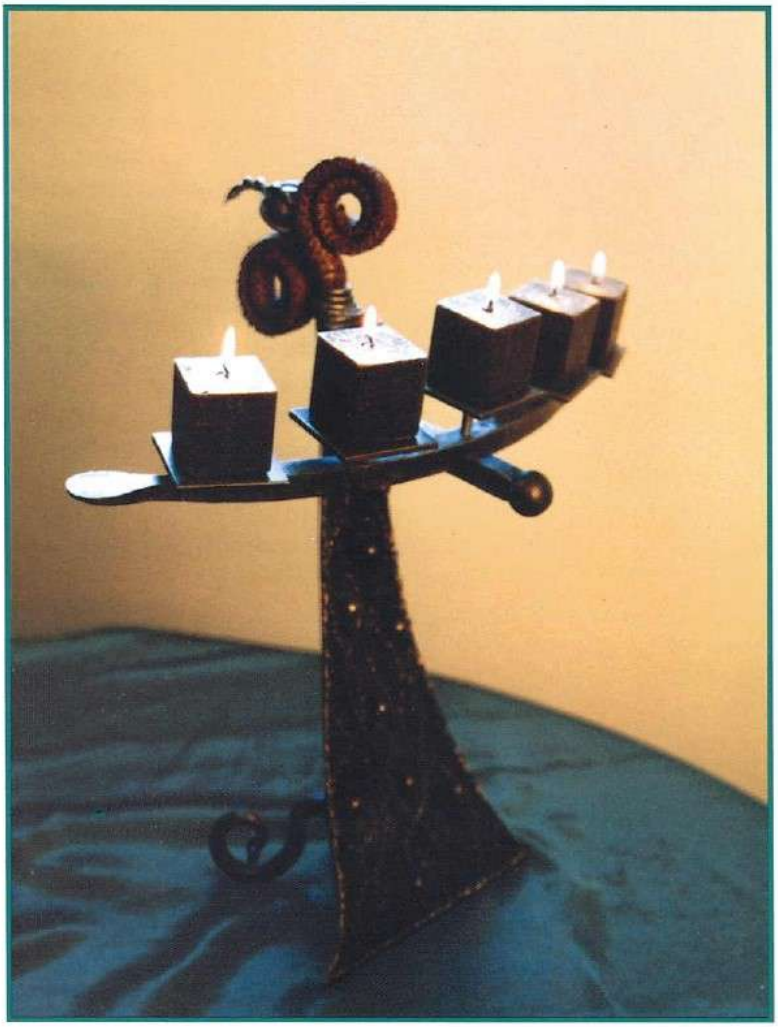
híradástechnika

VOLUME LVII.

2002/10

Október



Elektromágneses terek

Mobil távközlés

Távközlés-elmélet, fogalom, biztonság

Új elemek a távközlésbe

A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata

Előszó az októberi számhoz

Az elmúlt időszakban nemcsak a napi sajtóban, hanem még a szakfolyóiratokban is gyakran lehetett olvasni a távközlés gazdasági problémáiról és távközléspolitikai kérdésekről. A gazdaság megtorpanásáról és az infocom területén ennek hatásairól az infokommunikáció területén idehaza is sok szó esik. Jeles közgazdászok véleménye szerint a magyar lakosság sokkal kisebb hányada fekteti be pénzét részvényekbe, mint a nyugati országokban, és ezért, ha azok értéke csökken, az nem jelenti a fogyasztás általános visszaesését. Kritikusabb a helyzet az Egyesült Államokban, ahol sokan megélhetési gondokkal küzdenek az informatikai cégek bukása miatt. A vásárlási kedv csökkenése kiterjesztette ezt a válságot számos más iparágra is.

Mindenesetre a pillanatnyi helyzetben tanulságul szolgálhat, hogy a műszaki fejlesztés a legtöbb országban és a legtöbb nagyvállalatnál a válság ellenére is újabb eredményeket mutat fel. Ez is egy olyan tényező, amely segíthet a gazdasági nehézségek áthidalásában, mert a vonzó új termékek, új szolgáltatások kezdetben általában csak a fiatalokat érdekli, de később sokkal szélesebb körben is élénkítik a piacot. A versenyben is sikerre számíthat, aki újabb, jobb, gazdaságosabb kínálattal jelentkezik és felülmúlja a megszokott termékeket.

A fiatalok mindent megtesznek annak érdekében, hogy a távközlés válságát, a felmerülő problémákat megszüntető új megoldásokkal jelentkezzenek. Különösen a távközlés és informatika határterületén adódnak lehetőségek vonzó szolgáltatások és eszközök fejlesztésére. E számunk első két cikke doktorandusz hallgatók eredményeit mutatja be. A látszólag elvont skalár hiszterézis vizsgálata új roncsolás mentes anyagvizsgálati eljárásokat alapozhat meg, a solitonok pedig a fényvezetővel, erősítő nélkül áthidalható távolságot több száz kilométerre növelhetik. Az új távközlési elemek között említett MEMS a fényvezető technikával elindult fotonikai távközlést bővítheti, és terjesztheti ki a kapcsolástechnika területére.

Mindennek előfeltétele, hogy a fantáziadús és jó alapokkal rendelkező doktoranduszok ötletei a gyakorlatban is bevezethetők legyenek. Az újságban igyekszünk minél több ilyen ötletnek helyet adni, remélve, hogy azok a vezetők, akik az újdonságok alkalmazásáról döntenek, szakszerűen tájékozódhatnak lapunkból. A műszakilag megvalósítható új eszközök és szolgáltatások bevezetését gazdasági megfontolások is befolyásolhatják. Közrejátszik ez utóbbiban a társadalom befogadó készsége és a fizetőképes kereslet. Ennek egyik jellegzetes példája a 3. generációs hálózatok megjelenése, amellyel kapcsolatban egyik szerzőnk vázolja, hogy az első két generáció az alapvető igényeket mind kielégítette, így a prognosztizáltnál lényegesen csekélyebb az érdeklődés a 3. iránt.

A bizalmatlanság is késleltetheti a távközlési szolgáltatások elterjedését, ezért az elmélet, forgalom és biztonság csoportban olyan cikkeket gyűjtöttünk össze, amelyek igyekeznek a gyakorlati adatbiztonság kérdését a felhasználók bizalmával összekapcsolni. A bizalom megnyerése világszerte, de különösen Európában sokat tudna segíteni a távközlési piac élénkítésében. Ezzel visszatértünk a kiinduló gondolatunkhoz, hogy érdemes kutatni, fejleszteni akkor is, amikor a növekedés lassú, a gyártók és szolgáltatók bevétele nem növekszik, sőt sok esetben csökken. A fiatal mérnökök, kutatók ötletei, és azok megvalósítása lerövidítheti a visszaesés időtartamát.

Dr. Lajtha György
a szerkesztőbizottság elnöke

Emlékezés Simonyi professzorra

MÉREY IMRÉNÉ

a HTE volt főtitkárhelyettese
Főiskolai tanár
(Gábor Dénes Főiskola)

Október 18-án lett volna 85 éves Simonyi Károly professzor. Ebből az alkalomból közöljük egyik legközelebbi munkatársa visszaemlékezését.

Kötelességemnek érzem, hogy eleget tegyek Főszerkesztőnk kérésének, miszerint írjak megemlékezést Simonyi professzor úrról. Halála megrendítette itthon és a világ számtalan helyén élő tanítványait és mindazokat, akik az ő könyveiből tanultak (Németországban ma is az Elméleti Villamosságtan a hivatalos tankönyv) és olvasták a Fizika Kultúrtörténetét. A HTE vezérkarának legnagyobb része tanítványa volt, vagy közelében dolgozott. Munkásságának első 20 évében az Elméleti Villamosság Tanszéken mellette dolgoztam. Közös a gyászunk, és barátaim megértik, hogy visszaemlékezésem eltér a szokványostól, hisz felesége ikertestvérem, és mint ilyen, a Professzor különleges barátságát élveztem.

Azok a barátaim és nem barátaim, akik az 50-es és 60-as években átérezték és megrendültek egy tiszta és becsületes, akkor már világhírű pedagógus tanárnak a megalázásán, a kirekesztésén, most elgondolkozhatnak és emlékezhetnek előadásaira, hogy izzott körülötte a levegő, felejthetetlen volt, ahogy közel hozta és érthetővé tette a legelvontabb természeti jelenségek bonyolult felépítését. Amikor a Maxwel-egyenletek fizikai értelmezéséhez ért, engem olyan esztétikai gyönyörűség árasztott el, mint Bach vagy Mozart muzsikájánál. A „nem barátaim"-nak biztosan nem adatott meg ez a gyönyörűség, mert különben nem igyekeztek volna háttérbe szorítani, és megvonni a hallgatóktól ezt a lehetőséget, hogy előadásait élvezve bővüljön világképük.

A szomorú bevezetés után most elevenítsük fel életének, pályájának fontosabb állomásait:

1948-ban Sopronban az Egyetem Elektrotechnikai Tanszékének professzora, ahol családommal sok szép hetet töltöttem el. (Gondolatban ide menekültünk vissza később, ha fel akartuk rázni Karit depresszió jából.) Sokat jártam be a tanszékre, adott kisebb feladatokat. Bejártam az óráira és ámulva figyeltem szuggesztív előadásmódját. Gimnáziumi matematika- és fizikaalapok nem voltak elegendőek a megértésre, de nekem így is nagy élmény volt. Szabad estéin a szép művészettörténeti albumait nézegettük irodalommal, történelemmel kiegészítve, kultúrtörténelmi kiselőadásokkal szórakoztatott bennünket. Ekkor hallottam először tőle, hogy majd nyugdíjas korában kultúrtörténeti könyvet fog írni. Mesélt a magfizikai kutatásokról és láttam, hogyan készül a Van de Graaf generátor és a hozzá épített részecskegyorsító. És közben lemezekről szólt a zene. A komolyzene szeretetét élete végéig megőrizte. Első külföldi útjáról hazahozta Bach János Passióját. Sopronban – Budapestre költözése után is – minden évben a Nagy Hét ünnepi eseménye volt a Passiók meghallgatása, kezdetben társasággal vagy később már egyedül.

Tanúja voltam Sopronban, ahogy karjában Károly fiával fel és alá sétálva diktálja feleségének az Elméleti Villamosság tankönyvének kéziratát. Boldog, nyugodt békeidők voltak. Vasárnaponként nagy séták velünk és aspiránsaival a hegyekben. Aztán 1951-ben egy szép napon már készen állt az Elméleti Villamosságtan Tanszék, és már itt ünnepeltük a Kossuth Díjat. Nagy napok voltak, hisz közben a KFKI is felkérte kutatómunkára. Gyűltek a fiatal végzett villamosmérnökök, egyik tehetségesebb volt, mint a másik. A Prof. ebben az időben megosztotta magát a tanszék és Csillebérc között. Lelkesedése, munkabírása szinte határtalan volt. Emellett írta könyveit és még családjával is foglalkozott. Az akkori tanszék minden tagja kitüntetettnek érezhette magát, hogy mellette dolgozhatott. Az Atomfizikai osztályon (KFKI) a kutatásra predesztinált végzett hallgatóit vitte. Sok közös munkát tervezett és oldott meg közösen a két intézmény. Erről tudós neveltjei megemlékeztek (Híradástechnika 2002/4. szám).

Én a Frau für Alles szerepét játszottam, de ami vonzott az az egyetemi tudás megszerzése volt. Vendéghallgatóként matematikát és a Simonyi tárgyakat hallgattam, kipróbálva, bírni fogom-e az esti tagozat elvégzését. A Prof. becsülte igyekezetemet, a tanszéki barátaim segítettek behozni elmaradásomat, magam pedig tudtam, hogy tanulni kell életem végéig. Az idő múlt, miután a politika nem hatolt be a tanszékre, és minden improduktív munkát távol tartott munkatársaitól, aránylag békés légkörben tudott mindenki dolgozni. Pedig ekkor már gyűltek az ellenségek, a hatalom megszállottjai nem tűrték meg maguk között a kiemelkedőket, a tudósokat. Professzorunk már messze átlépte azt a határt, amelyet a középszerűek szabtak meg, a becsületes, tehetséges és példamutatásában első helyen álló tudósnak. Komoly nemzetközi sikerei még veszélyesebbé tették a Párt és zászlóvivői körében. Jött 1956. és Profot akarata ellenére (mintegy előre látta, milyen sors vár rá) egyhangúan megválasztották a KFKI Forradalmi Bizottsága elnökévé. Vállalta, bár pontosan tudta a Forradalom kimenetelét és tudta, hogy ezzel további ürügyet szolgáltat ellenségeinek. Nem búját el, nem disszidált, naponta felment munkatársával egy rozoga motorbiciklin, hogy jelenlétével óvja a drága berendezéseket.

Ötvenhat megfordította életét és a mienket is. Számos megaláztatás, félreállítás következett, megfosztva munkájától, az oktatástól, könyveit betiltották és nem volt nap, amikor ne történt volna számára valami kellemetlen esemény. Sok hű tanítvány összefogott, akik közül hat tapasztalt és jó összeköttetésekkel rendelkező pártösztöndíjas hatásosan lépett közbe érdekében. Velük egyébként is foglalkoztam, előkészítve vizsgájukat. Ők jöttek hozzám információért és meg is kapták világosan a valóságos okokat. Közbenjárásukkal és felvilágosító munkával sikerült Professzor urat rehabilitálni, és leszerelni, hátrább szorítani fő rosszakaróit.

A Prof. az őt ért támadások után nem lépte át a KFKI kapuját, megszakította az ott végzett tudományos munkáját. Átadta magát az ifjúság nevelésének, írta a könyveit és tanított. Soha nem panaszkodott, és egy lépést sem tett a felsőbb szerveknél saját érdekében. Miután mindig igazságra törekedett, kiállt viszont egy tehetséges diák ügyében. Ő volt az etikai bizottság elnöke és véleménye nem egyezett a Párt véleményével, így újból teret kapott az a pár ember, aki nem tudta elviselni, hogy még mindig tanszékvezető. Nem volt nehéz meggyőzni az ötvenhat után a tanszékre került párttagokat, akik mindent megtettek, hogy a Profnak ne maradjon egy nyugodt perce sem munkájára. A tanszék és személye elleni vizsgálat során végképp belátta: nincs maradása. Tragikus idők következtek. 1969. december végén leszerelte ajtajáról a névtáblát és örökre elhagyta az általa alapított Elméleti Villamosságtan Tanszéket. Miután mást nem tudtam csinálni, csak demonstrálni, én is elhagytam a tanszéket. Jó lenne egyszer egy őszinte vallomást kapni a következő évek tanszéki életéről. Hogyan polarizálódott a tanszemélyzet, mit hozott újabbat, mást a tanszék vezetése?

Én 25 év múlva, amikor kedves volt diákom és barátom lett a tanszékvezető, meglátogattam. Ott találkoztam a „nem barátokkal", akik úgy viselkedtek, mintha semmi sem terhelné lelkiismeretüket. Csodálkoztam ezen a furcsa magatartáson, de jó nevelésem tiltotta, hogy beolvassak nekik.

1970 igen nehéz éve volt. Tanítani akart. Először Gödöllőn a Mechanika Tanszékre hívták meg, majd Unger professzor – aki a németre fordított Elméleti Villamosságtanból adott elő –, hívta meg egy szemeszterre a Brauschweigi Egyetemre. Most a cikk írása közben lelki szükséglet volt, hogy Prof. leveleit, amelyeket nekem írt Brauschweigből, és amelyeket önvédelemből régóta nem olvastam el, elővegyem. Könnyezve olvastam és újból megelevenedett az a reménytelenség és szürkeség, ami körülvett engem is. Mennyit szenvedett az egyedülléttől és honvágytól. Alig várta, hogy hazajöhessen. Pedig sikere volt, az ifjúság ott is rajongott érte.

Közben itthon dr. Barta István professzor, a Híradástechnikai Intézet vezetője meghívta őt az intézetébe, helyet biztosított számára, és ami fő teljes nyugalmat. Dr. Csurgayné Ildikó – mint egyetlen munkatársa – követte őt. Nagyrészt neki is köszönhetjük, hogy Simonyi prof. elkezdett újból dolgozni, visszanyerte hitét pedagógiai munkájában. Körülötte sok tehetséges volt tanítványa segített neki legalább részben elfelejteni a nehéz éveket. Erről az időszakról Csurgayné Ildikó őszinte beszámolóiból sokat megtudhatunk.

Ez időben már a HTE főtitkárhelyetteseként tevékenykedtem. Szerencsés voltam, mivel régi tanáraim, egyetemi kollégáim, volt esti, levelező diákjaim szép számmal ügyködtek az egyesületben. Nem volt nap, hogy ne érdeklődjenek Simonyi prof. tevékenységéről, hogylétéről. Rajongva emlékeztek előadásaira, kutatva pedagógiai tehetségének titkát. Nagy kaland volt számukra és mindannyiunk számára, akik őt hallgatták és átélték a csodás pillanatokat, amikor előadásaiban közel hozta a természeti jelenségek bonyolult titkait.

Örömmel továbbítottam ezeket a gyakori megemlékezéseket és a lelkes megnyilvánulásokat, amelyek világosan mutatták, mennyire becsülték azt a páratlan emberséget, őszinteséget és szerénységet, amely töretlen maradt a sok megpróbáltatás ellenére, és példát mutatott jó- és rosszidőben egyaránt. Közvetítésem igen jólesett neki, különösen akkor, amikor a nagy könyv: a FIZIKA KULTÚRTÖRTÉNETE című művének nagy sikeréről kapott híreket.

Halála előtt még utolsó erőbedobással megírta a MAGYAR FIZIKA KULTÚRTÖRTÉNET-ét. Azután pár hét alatt elveszítette erejét, érdeklődését és csendesen elhagyta e világot. Soha nem felejtik el őt, akik szerették, tisztelték alkotásait, amelyek bennünket, tanítványait is túlélnek, a róla elnevezett csillag pedig mindettől függetlenül tovább világít az égen.

A Maxwell-egyenletekről.

A Maxwell-egyenletekben benne van az egész elektrodinamika. Valahogy úgy, mint ahogy Michelangelo írja az egyik szonettjában (Babits fordítás):

A legnagyobb szobrásznak sincs oly álma
Mit ne zárna bármely kocka márvány
Önnön feleslegébe, míg kitárva
A lélek által vont kéz megtalálja

Megjönnek a szállítómunkások és mondják Michelangelonak : Mester, itt van vagy három köbméter márvány, benne van Mózes, talán még Dávid is, csak le kell róla kaparni a fölösleget.

❖ ❖ ❖

A kvantumechanika megszületéséről.

Amióta Einstein felvetette a foton kettős természetét, a dualitás kérdése eléggé nagy gondot okozott: Baj van a fizika érthetőségével. A helyzet olyan volt, mint amikor egy kalauz felszáll az induló vonatra, majd az első utassal közli: kérem, Ön rossz vonatra szállt, mert ez a vonat nem Szegedre, hanem Debrecenbe megy. Még nagyobb a baj, ha egy másik utasnak is ezt mondja, mert akkor már két utas is tévedett. Ha azonban minden utasnak ugyanezt mondja, a megoldás kézenfekvően egyszerű : a kalauz tévesztette el a vonatot. Így gondolkozhatott de Broglie, amikor azt posztulálta, hogy nemcsak a foton, de minden anyagi részecske kettős természetű.

Berkes István

A skalár hiszterézis karakterisztika mérése és identifikációja a neurális hiszterézis modellel

KUCZMANN MIKLÓS–IVÁNYI MIKLÓSNÉ

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elméleti Villamosságtan Tanszék
H–1521 Budapest, Hungary
(+36 1) 463 1049, (+36 1) 463 3189, kuczman@evtsz1.evt.bme.hu

Reviewed

Eljárást dolgoztunk ki a skalár hiszterézis karakterisztika mérésére, amely a LabVIEW programcsomag interaktív felületére és az általa vezérelt digitális jelgenerátorra támaszkodva alkalmas a sok esetben megfelelően használható skalár hiszterézis modellek analízisét támogató mérési eredmények felvételére. A programcsomag hatékonyan használható a különféle jelformák matematikailag megfogalmazható alakjának előállítására, és egy a számítógéphez csatlakoztatható interfészen keresztül a jelforrás vezérlésére. A mérési eredményeket ugyanezen szoftver függvényeivel dolgozhatjuk fel. A kapott mérési adatok alapján identifikáltuk az általunk kidolgozott neurális skalár hiszterézis modellt, és a tanítási mintáktól eltérő mérésekkel is igazoljuk a szimulációs eljárás helyességét és pontosságát.

Kulcsszavak: mágneses hiszterézis karakterisztika mérése, neurális hálózatok.

Bevezetés

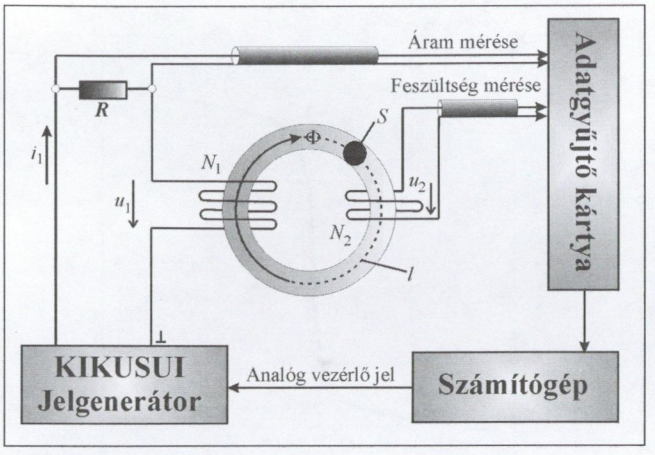
A hiszterézis karakterisztika szimulációja, azaz a ferromágneses anyagok $M(t)$ mágnesezettségének vagy $B(t)$ mágneses indukciójának ismerete a külső $H(t)$ mágneses térerősség függvényében rendkívül fontos a számítógéppel segített tervezés és a különböző elektromágneses térszámítási programcsomagok alkalmazása során. A skaláris hiszterézis modellek megfelelően leírják a mágneses térerősség és a mágnesezettség közötti nemlineáris és többértékű függvénykapcsolatot, amennyiben ezen vektorok mindvégig párhuzamosak maradnak egymással. Ez a feltétel teljesül a torroid alakú tekercsek esetében.

A mágneses anyagok skalár hiszterézis karakterisztikája tehát a $H(t)$ mágneses térerősség és a mágneses anyag $M(t)$ mágnesezettsége között teremt kapcsolatot. A mágnesezettség adott időpontbeli értéke nemcsak a mágneses térerősség ugyanezen időpontbeli értékétől függ, hanem az anyag mágneses előéletétől is [1, 2]. Ezen erősen nemlineáris és memóriával bíró rendszer modellezésére meglehetősen nehéz megfelelő struktúrát találni. A mágneses jelenségek vizsgálata során több modell is született már a hiszterézis karakterisztika, a mágneses anyagok viselkedésének reprodukálására, mint például a Preisach modell, és annak általánosításai [1, 2], a Jiles-Atherton [1], vagy a Stoner-Wohlfarth modell [1, 4], továbbá a neurális hálózatok függvényapproximációs képességén alapuló szimulációs eljárások [5, 6, 7, 9–15]. A modellek, szimulációs eljárások működésének helyessége, pontosságuk meghatározása mérési eredményekkel történő összevetéssel lehetséges. Célunk volt egy, a skalár hiszterézis karakterisztika felvételére alkalmas mérési elrendezés létrehozása, majd a kidolgozott modell identifikálása és analizálása. Mérési eljárást dolgoztunk ki a torroid alakú tekercsben elhelyezett vasmag mágneses hiszterézis karakterisztikájának felvételére és a mérési eredmények alapján felépítettük a skalár neurális hiszterézis modellt, majd a szimulációs eljárás alkalmazhatóságát illusztráljuk.

A mérési elrendezés

A neurális skalár hiszterézis modell felépítéséhez szükség van a szűzgörbére és az elsőrendű visszatérési görbékre [9–15], amelyeket lehetőség szerint kis frekvenciás gerjesztőjel mellett célszerű felvenni. Nagyobb frekvenciákon ugyanis a mágneses anyagban fellépő örvényáramokból származó veszteségek módosítják a statikus hiszterézis karakterisztikát, ezért a méréseket $f = 0{,}2$ Hz frekvencián végeztük el egy torroid alakú próbatekercsen [3]. A torroid a mérés szempontjából ideális, mert előnye, hogy a benne záródó fluxus nem lép ki a mágneses anyagból. A vasmag egy C19 típusú szerkezeti acélból készült gyűrű.

A mérési elrendezés az 1. ábrán látható. A számítógépen futó LabVIEW szoftvercsomag segítségével egy, a felhasználó által kidolgozott interaktív fejlesztői környezetben megtervezhető a mérés folyamata. A gerjesztő jel matematikai alakban adható meg, amelyet az installált NI-DAQ kártyán keresztül a KIKUSUI PBX-20-20 jelgenerátor mintavételezett formában követ és a kimenetére kapcsolja a kiválasztott jelformát. A jelgenerátor vezérelhető feszültség és áram módban. A mérés során az áram követését tartottuk szem előtt, mert az közvetlen kapcsolatban van a kialakuló



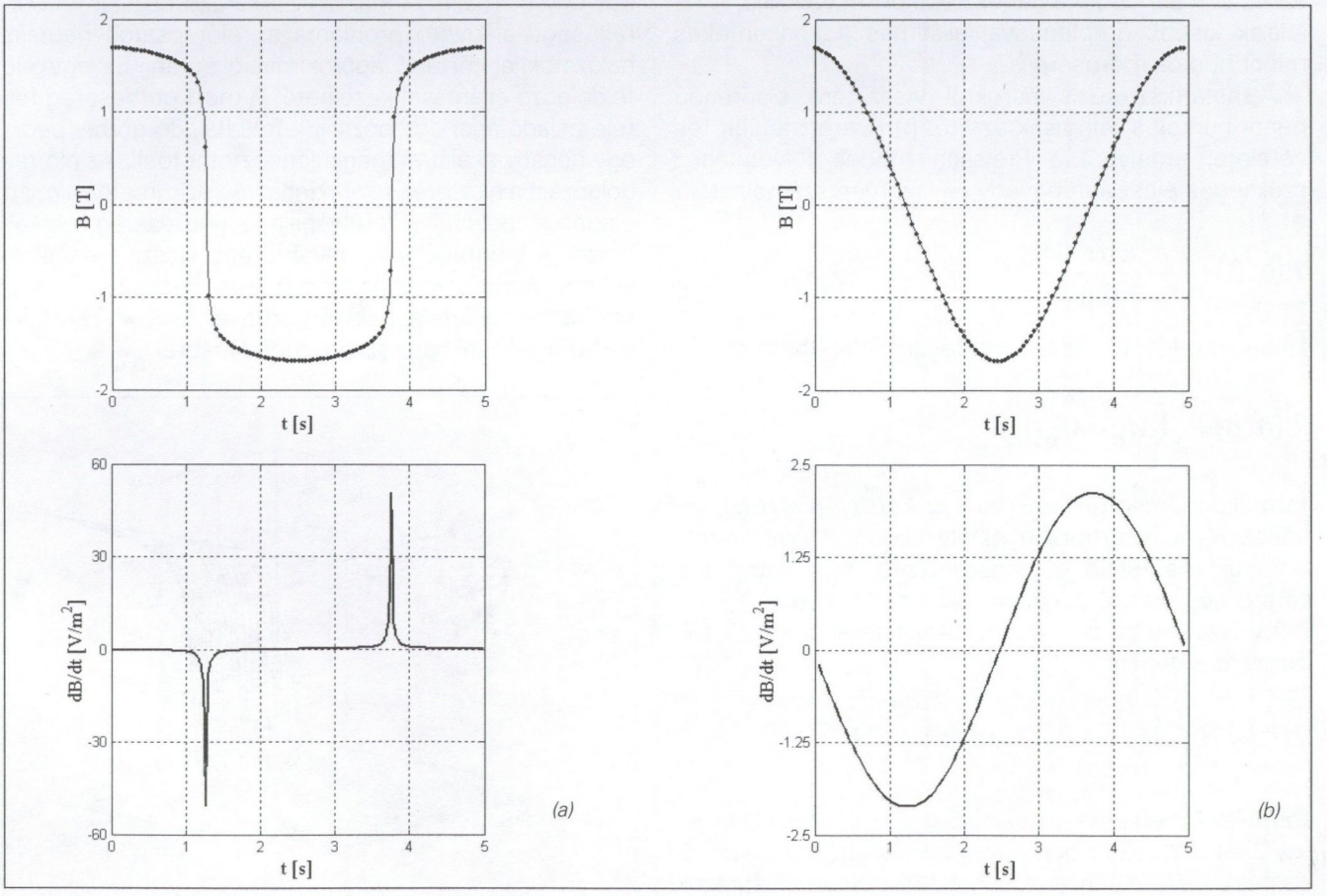
1. ábra A mérési elrendezés

$H(t)$ mágneses térerősséggel. Az N_1 menetszámú primer tekercs végzi a mágneses anyag gerjesztését, s az így kialakuló $\phi(t)$ fluxus hatására az N_2 menetszámú szekunder tekercsben a számítógép mérőkártyájával mért $u_2 = d\phi(t)/dt$ feszültség indukálódik, amelyből a fluxus kiszámítható,

$$\phi(t) = \phi_0 + \frac{1}{N_2}\int_0^{\tau} u_2(t)dt\,, \qquad (1)$$

ahol ϕ_2 integrálási állandó, amelynek értéke szabadon választható, de a hiszterézis karakterisztika szimmetriája miatt a mért fluxus középértékével tettük egyenlővé. A fluxus és a tekercs S keresztmetszetének ismeretében a $B(t)$ mágneses indukció, vagy az $M(t)$ mágnesezettség kiszámolható a $B(t) = \phi(t)/S$ és az $M(t) = \phi(t)\mu_0 S - H(t)$ összefüggésekkel, ahol μ_0 a vákuum permeabilitása. A mágneses térerősség a mért $i_1(t)$ áram ismeretében a $H(t) = N_1 i_1(t)/l$ formula segítségével kiszámítható, ahol l a közepes mágneses úthossz. Az $i_1(t)$ áramot egy $R = 0{,}01\Omega$ értékű nagyon pontos, etalon ellenálláson eső feszültségből kaphatjuk meg [3]. A tekercs adatai a következők: $S = 20\ \text{mm}^2$, $N_1 = 170$, $N_2 = 182$, $l = 176\ \text{mm}$.

A C19 szerkezeti acél karakterisztikája meglehetősen meredek a könyök és a koercitív tér környékén, ami gyors fluxus változást jelent. Ennek következtében az $u_2(t)$ feszültségben nagyon széles spektrumú tű-impulzusok jelennek meg, amit csak nagyon sűrű mintavételezéssel lehet hűen visszaállítani, s azt tapasztaltuk, hogy $f = 1$ Hz frekvenciájú jel esetében kb. 20.000 minta/periódus szükséges és elegendő a karakterisztika felvételéhez. Ellenkező esetben több egymás után elvégzett mérés nem adja ugyanazt az eredményt, hiszen nem garantált, hogy minden mérésben a mintavételezés során ugyanazon pontban kapunk adatot. A rendelkezésünkre álló jelgenerátor nem nyújtja azt a szolgáltatást, hogy a valós időben visszacsatolt induk-



2. ábra A mérési pontok eloszlása és a mágneses indukció változásának alakulása (a) a direkt karakterisztika és (b) az inverz karakterisztika szimulációja alapján

ció értéknek megfelelően módosítsuk a gerjesztő áramot úgy, hogy a nagy meredekségű karakterisztika szakaszokon több mintát vehessünk. Erre a célra a fenti módon kis frekvencián mért és valamely modell által identifikált inverz hiszterézis karakterisztika segítségével elő lehetne állítani olyan áram jelalakot, amely kielégíti ezen feltételt. Ezáltal tovább lehetne csökkenteni az örvényáramok hatását, hiszen a dB/dt érték sokkal kisebb lenne, mint az a 2. ábrán látható. Az ábrák a neurális skalár hiszterézis modellel készültek.

Az NI-DAQ kártyának van egy nagyon kis amplitúdójú, véletlenszerű, nem kiküszöbölhető zaja, amely a mérésben is megjelenik és az $u_2(t)$ feszültség jelének integrálása miatt egy állandó ofszetet jelent a mért karakterisztikában. Ezt a kellemetlen jelenséget úgy próbáltuk csökkenteni, hogy az egyik bemeneti csatorna rövidre zárt jelét (zaj) kivontuk az $u_2(t)$ feszültségből, s csak ezután végeztük el az utófeldolgozást.

A hiszterézis karakterisztika mérése

A fő hiszterézis karakterisztika előállítható a

$$H(t) = N_s sin(\omega t + \pi/2) \tag{2}$$

formulával megadott szinuszos lefutású jellel, ahol H_S a mágneses térerősség azon értéke, ahol a mágneses anyag eléri a telítéshez tartozó M_S mágnesezettség értékét, $\omega = 2\pi f$ pedig a gerjesztés körfrekvenciája. A (2) jelalak kisebb amplitúdóval alkalmas a koncentrikus minor hurkok mérésére is.

A határhiszterézis hurokról visszatérő elsőrendű minor hurkok alkalmasak az $E(\alpha, \beta)$ Everett felület felvételére, amelyből a Preisach modell felvételéhez szükséges eloszlásfüggvény egyszerűen számolható a

$$P(\alpha,\beta) = -\frac{\partial^2 E(\alpha,\beta)}{\partial\alpha\partial\beta} \tag{3}$$

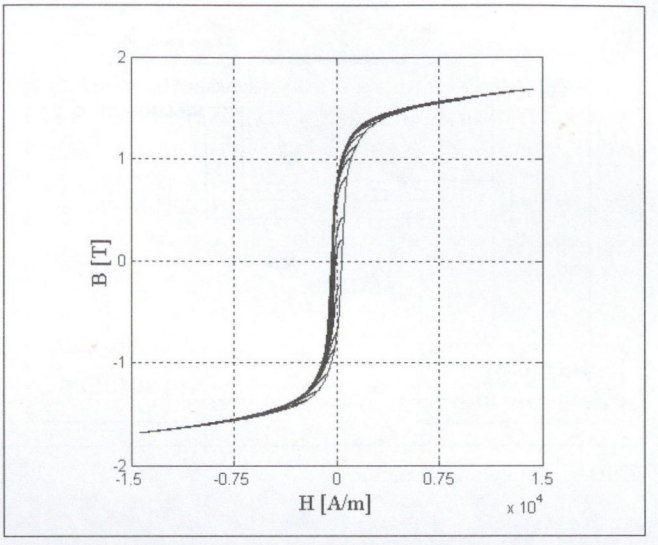
kifejezéssel [1, 2]. Az Everett felület felépíthető az

$$E(\alpha,\beta) = \frac{1}{2}\left(M_\alpha - M_{\alpha,\beta}\right) \tag{4}$$

formulának megfelelően, ahol $\alpha = H/H_S$, $\beta = H/H_S$, továbbá H_α a határhurkon elhelyezkedő α visszatérési pontnak megfelelő mágnesezettség, $H_{\alpha+\beta}$ pedig a β térerősséghez tartozó mágnesezettség az (α, H_α) pontból visszatérő görbe mentén. A visszatérő görbék felvételére alkalmas a

$$H(t) = H_s\left[\frac{\alpha-1}{2} + \frac{\alpha+1}{2}\sin(\omega t + \pi/2)\right] \tag{5}$$

formulával megadott gerjesztés, ahol $\alpha = k/n$ és $k \in [n, n]$. Így $2n+1$ visszatérő görbe mérhető le egyenletesen elosztva a $[-H_S, H_S]$ intervallumon [3]. A 3. ábrán ábrázoljuk a mért visszatérő görbéket. Ez a mérés szolgál a neurális skalár modell identifikációjának alapjául.

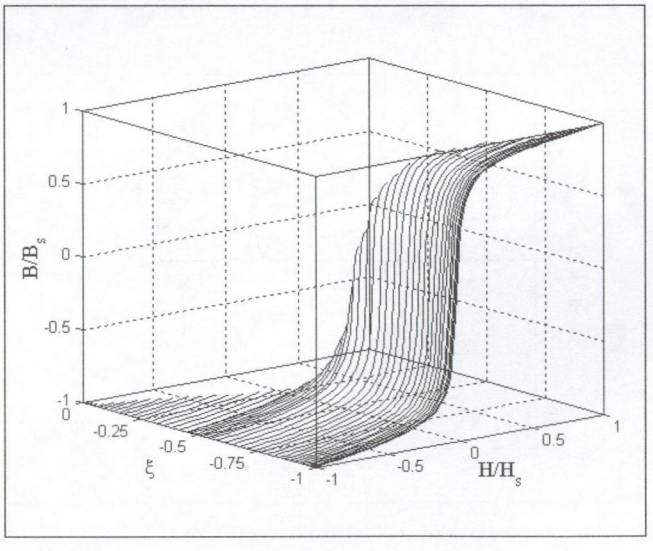


3. ábra A mért elsőrendű visszatérő hiszterézis görbék

A neurális skalár hiszterézis modell

Ebben a cikkben csak röviden utalunk a neurális skalár hiszterézis modellre. A neurális hálózatok elmélete és az eljárás bővebben a [8, 9–15] irodalomban található meg.

A tanítási mintahalmaz tehát a kísérletileg, mérésekből meghatározott szűzgörbe, illetve a felfelé vagy az ezekre szimmetrikus lefelé haladó visszatérési görbék egy-egy halmaza. A hiszterézis karakterisztika többértékűsége alapvető probléma az előrecsatolt neurális hálózatokkal történő approximáció során. Ez egy elő feldolgozó eljárással kezelhető. A mért görbesereg felfelé haladó ágai egy pozitív, lefelé haladó görbéi pedig egy negatív skalárral megkülönböztethetőek. Az elő feldolgozást a hiszterézis karakterisztika szimmetriája miatt elegendő például a lefelé haladó görbeseregre alkalmazni. A ξ betűvel jelölt paraméter a visszatérési értékekhez (turning point) tartozó H_{tp} mágneses térerősség értékekhez a lefelé haladó görbéken a $\xi = -(1+H_{tp})/2$ összefüggéssel határozható meg (4. ábra).



4. ábra Az elsőrendű visszatérő görbék elő feldolgozás után

Végeredményben tehát két független *(H, ξ)* és egy függő *(B)* változójú, egyértékű felületet, azaz kétváltozós függvényt kapunk, amely egyszerű előrecsatolt struktúrájú neurális hálózattal approximálható. A szűzgörbe egyértékű függvénykapcsolatot realizál a H mágneses térerősség és a B mágneses indukció között, approximálása egy, egyetlen rejtett réteget tartalmazó egy bemenetű és egy kimenetű neuronhálóval megoldható, amely a rejtett rétegben 8 neuront tartalmaz. A tanításhoz 41 H–B mintapárt használtunk. Az elő feldolgozás eredményeképp kialakult felületek approximálása egy három rejtett rétegből felépülő két bemenetű és egy kimenetű hálózattal megoldható, amely 7 neuront tartalmaz az első; 11 processzáló elemet a második; és 2 neuront a harmadik rétegben. A tanító mintahalmaz ebben az esetben 1200 mintából állt. A 2 neurális hálózat tanítása a Levenberg–Marquardt backpropagation eljárással kb. 25 percet vett igénybe $5 \cdot 10^{-6}$ értékű célfüggvény eléréséhez, egy Celeron 566 MHz számítógépen (192 Mbyte RAM), MATLAB környezetben.

A kifejlesztett neurális hiszterézis modell tehát két neuronháló rendszeréből, illetve a köréjük épített járulékos szervekből áll. A mért görbék egy-egy fekete dobozban tárolódnak. Ezek után a feladat csupán annyi, hogy egy adott k diszkrét időpillanatban a mágneses anyag előéletének figyelembevételével kiválasszuk a szükséges neuronhálót. A mágneses anyagok tulajdonságainak modellezését egy tudásbázis realizálja, amely ha-akkor formátumban hipotetikus szabályokat tartalmaz, továbbá az egyes járulékos tagok vezérlését végzi. A modell memóriája csupán az előélet matematikai absztrakciója, amely a visszatérési pontokat reprezentáló értékeket tartalmazza egy-egy mátrix formájában.

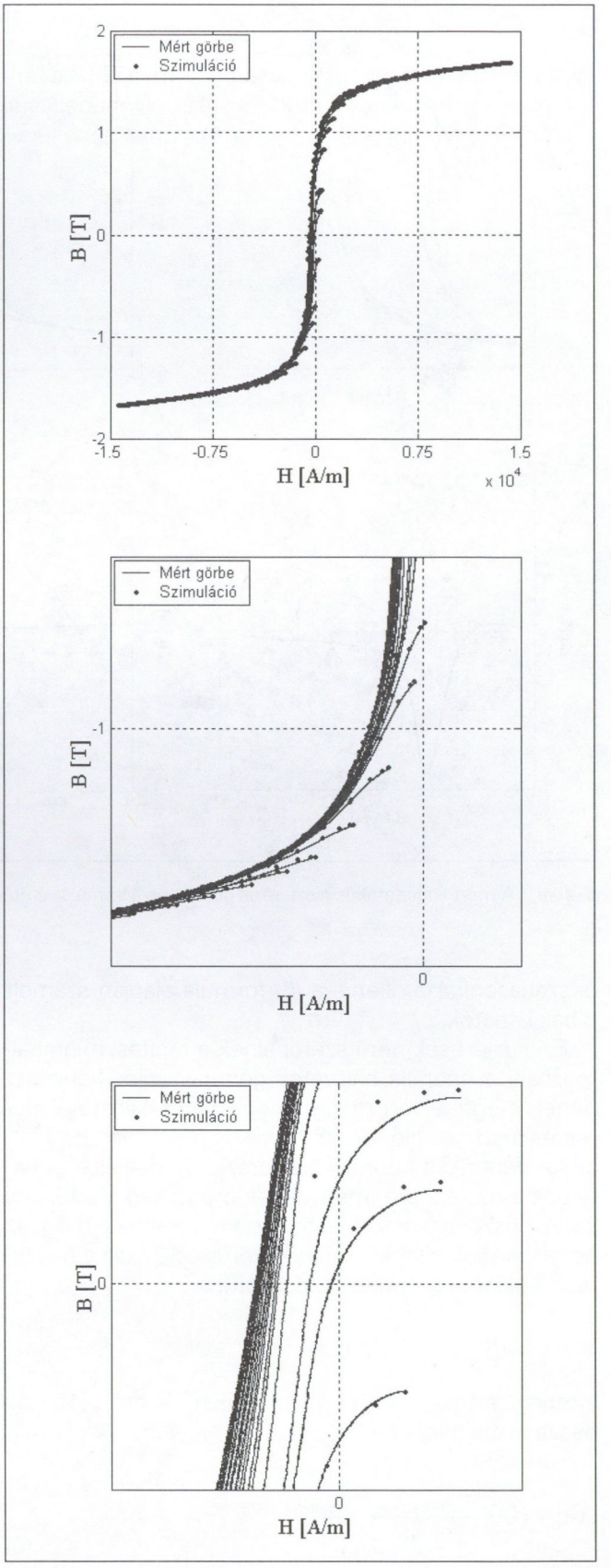
Az identifikáció eredménye

A tanítási mintahalmazban tárolt görbék jó egyezést mutatnak a modell által ugyanezen bemeneti mágneses térerősség változásra. Ez az identifikációból adódóan természetes, hiszen a tanító mintahalmaz figyelembevételével történt a modellalkotás. A mért visszatérő görbék és a modell szimulációs eredményeinek összehasonlítása az egyes részletek (a remanens indukció és a koercitív tér környékén) kinagyításával az 5. ábrasorozaton látható.

A mérési adatok és a szimulációs eredmények közötti különbségek analizálásához célszerű meghatározni a mért és a szimulált mágneses indukciók közötti eltérésből számolható

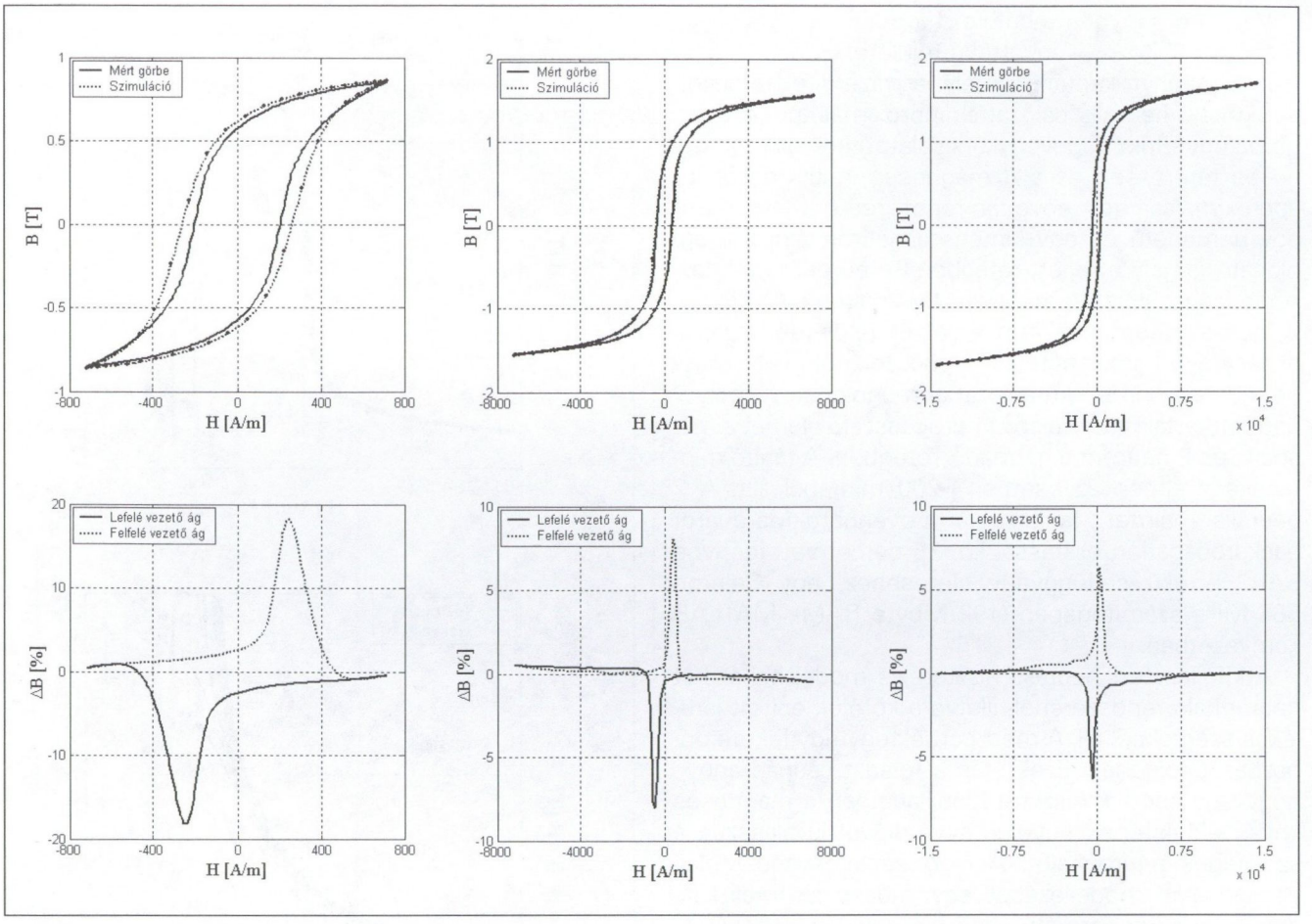
$$\Delta B = 100(B_{Mért} - B_{Szimultált})/B_S \qquad (6)$$

szimulációs hibát, amely megadja a direkt karakterisztika predikciójának hibáját a felfelé, illetve a lefelé vezető ágakon. Ezen eltérés maximális értékét jellemzően a koercitív térerősségnél veszi fel. Az összefüggésben szereplő B_S indukcióérték a fő hiszterézis hurok telítési



5. ábra A mért elsőrendű visszatérő görbék összehasonlítása a szimulációs eredményekkel

értéke [1]. A 6. ábrán három mért koncentrikus hurok és a neurális modell által szimulált hiszterézis görbék



6. ábra A mért koncentrikus hiszterézis görbék és a szimuláció eredményének összehasonlítása

összehasonlítása, illetve a (6) formula alapján számolt hibák láthatók.

Ezen mérések nem szerepelnek a tanítási mintahalmazban, a neurális hálózatok generalizációs képességének megfelelően mégis jó egyezés található a mérés és a szimuláció között.

Az identifikált neurális hiszterézis modell által generált és a mérési eredményeknek megfelelő hiszterézis karakterisztikák összehasonlítására alkalmas még az egyes hurkok által közrefogott területek, azaz a hiszterézis veszteségek kiszámítása, ami a

$$w = \oint H dB \tag{7}$$

integrál értékének meghatározását jelenti [1]. Az összehasonlításra a

$$\Delta w = 100 \left| \frac{w_{\text{szimuláció}} - w_{\text{mérés}}}{w_{\text{mérés}}} \right| \tag{8}$$

relatív hiba használható fel. A fő hiszterézis hurok (8) által definiált hibája 10%-nál jóval kisebb, ami azért fontos, mert a mágneses anyag mikrostrukturális inhomogenitásából származó veszteségek is ebbe a nagyságrendbe esnek. Ilyen veszteségek jelen vannak mágneses anyagokban, ugyanakkor a Maxwell egyenletekkel nem írhatók le, s ez elektromágneses térszámítási programcsomagok által számított térjellemzőkben kisebb hibát eredményez.

Összefoglalás

Mágneses laboratóriumunkban összeállítottunk egy mérési elrendezést a skalár hiszterézis karakterisztika felvételére, amely a LabVIEW programcsomag és az általa interfészen vezérelt jelforrás támogatására épül. A mért görbesereg alapján identifikáltuk a skalár neurális hiszterézis modellt, és a szimulációs eredmények mért adatokkal történő összevetésével igazoltuk a modell működésének helyességét.

A mérések alapul szolgálnak az örvényáramos roncsolás mentes anyagvizsgálati eljárás mérési elrendezéséhez, a gerjesztés méretezésének meghatározásához, s célunk a vizsgálati módszer megépítése és szimulációs eredmények alapján a mágneses anyagokban külső behatás következtében fellépő repedések identifikációja. További célunk a kétdimenziós vektor hiszterézis mérésének implementálása azon célból, hogy elméleti kutatási eredményeinket igazolhassuk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az OTKA T034164 program keretén belül készült, a Mágneses Laboratórium felállítását az OM Műszerpályázata támogatta, OMFB-00427/2001.

Irodalom

1. A. Iványi: Hysteresis Models in Electromagnetic Computation, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1997.
2. I. D. Mayergoyz: Mathematical Models of Hysteresis, Springer, 1991.
3. J. Füzi, E. Helerea, D. Oltenau, A. Iványi, H. Pfützner: Experimental Verification of a Preisach-Type Model of Magnetic Hysteresis, Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, vol.13, Non-linear Electromagnetic Systems, 8th ISEM Conference Braunschweig, IOS Press, 1997, pp.479–482.
4. Zs. Szabó, A. Iványi: Computer-Aided Simulation of Stoner-Wohlfarth Model, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.215–216, 2000, pp.33–36.
5. C. Serpico, C. Visone: Magnetic Hysteresis Modeling via Feed-Forward Neural Networks, IEEE Trans. on Magn., vol.34, 1998, pp.623–628.
6. A. A. Adly, S. K. Abd-El-Hazif: Using Neural Networks in the Identification of Preisach-Type Hysteresis Models, IEEE Trans. on Magn., vol.34, 1998, pp. 629–635.
7. A. A. Adly, S. K. Abd-El-Hafiz: I. D. Mayergoyz, Identification of Vector Preisach Models from Arbitrary Measured Data Using Neural Networks, Journal of Applied Physics, vol.87, No.9, 2000, pp.6821–6823.
8. C. Christodoulou, M. Georgiopoulos: Applications of Neural Networks in Electromagnetics, Artech House, Norwood, 2001.
9. M. Kuczmann, A. Iványi: Scalar Hysteresis Model Based on Neural Network, IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing, Budapest, Hungary, May 24–25, 2001, pp.143–148.
10. M. Kuczmann, A. Iványi: New Neural Network Based Scalar Hysteresis Model, Record of the 13th Compumag Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, Lyon-Evian, France, July 2–5, 2001, vol.2/4, PC1–9, pp.30–31.
11. M. Kuczmann, A. Iványi: Neural Network Based Scalar Hysteresis Model, Proceedings of the 10th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Tokyo, Japan, May 13–16, 2001, pp.493–494.
12. M. Kuczmann, A. Iványi: Scalar Neural Network Hysteresis Model, Proceedings of the XI. Internatonal Symposium on Theoretical Electrical Engineering, Linz, Austria, August 19–22, 2001, CD-Proceedings, ISTET131.
13. M. Kuczmann, A. Iványi, T. Barbarics: Neural Network Based Simulation of Scalar Hysteresis, Proceedings of the X. International Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering, Cracow, Poland, September 20–22, 2001, pp.413–416.
14. M. Kuczmann, A. Iványi: Neural Network Model of Magnetic Hysteresis, Compel, vol.21, No.3, 2002, pp.364–376.
15. M. Kuczmann, A. Iványi: Neural Network Simulation of Scalar Magnetic Hysteresis, Proceedings of the 4th Japan-Central Europe Joint Workshop on Energy and Information in Non-Linear Systems, Brno, Czech Republic, November 10–12, 2000, pp.102–105.

Hírek

Köszöntjük új laptársunkat

Augusztusban már az ötödik száma jelent meg az információs társadalom problémáit tárgyaló új folyóiratnak, az eVilág-nak. Az újság igen széles sávban vizsgálja a következő időszak társadalmi problémáit. Nem csak az új műszaki eredmények közvetlen hatását igyekszik megértetni és elfogadtatni, hanem sokkal szélesebb spektrumban tárgyalja a problémákat. Így például sorra veszi a turizmus, a közigazgatás, a fizika, a multimédia témáit, és egy-egy témakörben avatott szerzők írják le véleményüket. Az 5. szám beköszöntőjét Kovács Kálmán Informatikai és Hírközlési miniszter írta. Érdemes ebből idézni: „Az olvasó első kézből kaphat népszerű, ám szakmailag alapos tájékoztatást arról, hol tart az információs társadalom kialakítása. A lap egyszerre szól azokhoz, akik már ma is az új korban felértékelődő tudás és információ előállításán, terjesztésén, befogadásán munkálkodnak, és azokhoz is, akik mindennek politikai, jogi, gazdasági, műszaki és általános kulturális környezetét vizsgálják."

Külön értékelendő, hogy a lap veszi a bátorságot a pszichológia, a művészet átalakulásának bemutatására is. Gratulálunk az ebben aktív részt vállaló szakembereknek, szerzőknek és elsősorban Mező Margit főszerkesztő asszonynak.

A Maxwell-egyenletek soliton típusú megoldásainak alkalmazási módja az optikai hírközlésben

MATYI GÁBOR

e-mail: gabor_matyi@freemail.hu

Jelen írás a Maxwell-egyenletek soliton típusú megoldásainak alapvető tulajdonságait foglalja össze fényvezetők esetén, s ehhez csatlakozva a nemlineáris Schrödinger-egyenlet és a Maxwell-egyenletek kapcsolatáról szól. Tárgyalja a soliton típusú hullámok alapvető tulajdonságait, és azok eltérését a többi megoldási alakhoz képest.

I. Bevezetés

Napjaink kommunikációs feladataiban egyre fontosabbá válik az az igény, hogy minél rövidebb idő alatt minél több információt tudjunk eljuttatni rendeltetési helyére. Az elmúlt néhány évtizedben számos erőfeszítés történt a fénytávközlés képességeinek javítására. Érthető, hogy minden új lehetőség fontossá válhat az alkalmazásokban. Ilyen lehetőséget mutat be részletesen az [1] irodalom. Mióta nyilvánvalóvá vált a solitonok alkalmazási lehetősége az optikai szálakon, egyre többen vizsgálják az alkalmazási lehetőségek elméleti [2–9] és gyakorlati [10–12] hátterét. A fenti írásokból jól látható, hogy milyen kiterjedt elméleti és gyakorlati kutatások folynak a solitonok alkalmazásainak tökéletesítésére, a végbemenő fizikai jelenségek jobb megértésére és hatásaik pontosabb leírására. Ezért fontos megértenünk a ma használatos megoldások egyik legfontosabb változatának levezetését és ezen, fényvezető szálakon fellépő soliton megoldás fő tulajdonságait.

A szerző a soliton jelenség bemutatásához értelemszerűen használja a Maxwell-egyenleteket. A cikkben felhasznált összefüggések leírják a jelenséget, azonban a szerző nem vette figyelembe, hogy a mérnöki gyakorlatban az egyenleteknek dimenzióra is érvényeseknek kell lenniük, mint ahogy az Simonyi: Elméleti villamosságtan c. könyvében is szerepel. Így ha azt találják, hogy ez nem teljesül, akkor az nem sajtóhiba, hanem a szerző határozott kívánsága. A mérnöki beállítottságú olvasóktól elnézést kérünk.

II. Az ismert alapmegoldás és a soliton [1],[13]

Az elektromágneses jelenségeket a Maxwell-egyenletek segítségével írhatjuk le, amelyek alaptörvények és a jelenség vizsgálatakor mint axiómákra támaszkodunk [13]

$$\overline{\nabla} \times \overline{\mathrm{H}} = \overline{\mathrm{J}} + \frac{\partial\, \overline{\mathrm{D}}}{\partial\, \mathrm{t}} \tag{I}$$

$$\overline{\nabla} \times \overline{\mathrm{E}} = -\frac{\partial\, \overline{\mathrm{B}}}{\partial\, \mathrm{t}} \tag{II}$$

$$\overline{\nabla} \cdot \overline{\mathrm{B}} = 0 \tag{III}$$

$$\overline{\nabla} \cdot \overline{\mathrm{D}} = \rho \tag{IV}$$

és a kiegészítő egyenletek, ahol ε, γ és μ általános függvénykapcsolatot jelölnek $\overline{D}, \overline{J}, \overline{B}, \overline{E}$ és $\overline{H}$ között:

$$\overline{\mathrm{D}} = \varepsilon\, \left(\overline{\mathrm{E}}, \overline{\mathrm{H}}\right) \quad \text{és} \quad \overline{\mathrm{J}} = \gamma\, \left(\overline{\mathrm{E}}, \overline{\mathrm{H}}\right) \tag{V}$$

$$\overline{\mathrm{B}} = \mu\, \left(\overline{\mathrm{E}}, \overline{\mathrm{H}}\right) \tag{VI}$$

$$\overline{\mathrm{F}} = \mathrm{q}\left(\overline{\mathrm{E}} + \overline{\mathrm{v}} \times \overline{\mathrm{B}}\right), \tag{VII}$$

amelyek a közeg és az elektromágneses hullám, valamint az elektromágneses energia és más energiaformák kapcsolatát írják le. Ezekből kapjuk a hullámegyenleteket:

$$\nabla^2 \overline{H} = \varepsilon_0\ \mu_0 \frac{\partial^{\,2} \overline{H}}{\partial\, t^2} \tag{1.a}$$

$$\nabla^2 \overline{E} = \varepsilon_0\ \mu_0 \frac{\partial^{\,2} \overline{E}}{\partial\, t^2} \tag{1.b}$$

Ezen egyenletek megoldásának jól ismert alakja,

$$\overline{E} = \overline{E}_0 g\left(t - \frac{\overline{n} \cdot \overline{r}}{c}\right) \tag{2.a}$$

$$\overline{H} = \frac{\overline{n} \times \overline{E}_0}{Z_{00}} g\left(t - \frac{\overline{n} \cdot \overline{r}}{c}\right) \tag{2.b}$$

ahol $\bar{n}$ a terjedés irányába mutató egységvektor, $\bar{r}$ tetszőleges helyvektor és Z_{00} a vákuum hullám-impedanciája. Mivel tapasztalatunk van a villamos jel hullámszerű viselkedéséről, ezért trigonometrikus függvényeket választunk a hullámok leírására, azaz

$$g = \hat{g} e^{j\omega_0\left(t-\frac{\bar{n}\cdot\bar{r}}{c}\right)}, \tag{3}$$

ahol g tetszőleges függvényt jelent. Bevezetjük a terjedési vektort [13]

$$\omega_0 t - \omega_0 \frac{\bar{n}\cdot\bar{r}}{c} = \omega_0 t - \bar{k}\cdot\bar{r}\,. \tag{4}$$

Az eddigiekben a (2.a-b) egyenlet megoldását

$$(\omega_0 t - \bar{k}\cdot\bar{r}) \tag{5}$$

argumentumú függvények segítségével kerestük. Azonban bizonyos esetekben a jelenségeket jellemző hullámegyenlet – amely nem feltétlenül kell, hogy elektromágneses jelenséget írjon le – megoldását kereshetjük [1]

$$(\bar{r} - \bar{v}t) \tag{6}$$

argumentumú függvények segítségével is. A (5) argumentum, csak egy dimenziós esetben írható át (6) alakba. A (6) argumentumú megoldásra először Korteweg és DeVries jutott 1895-ben, amikor a sekély vízben fellépő hullámjelenségeket vizsgálták. A jelenség vizsgálatakor

$$g_t + \alpha g g_x + g_{xxx} = 0 \tag{7}$$

alakú (KdV) differenciálegyenletre jutottak – ahol α konstans és az alsó index a parciális deriválás műveletét jelöli – mely megoldásai a

$$\xi = x - vt \tag{8}$$

transzformáció – ami (6) legegyszerűbb alakja egy dimenziós esetben – után

$$g(x,t) = g_T(\xi)$$

alakot ölt, ahol a (8) transzformáció segítségével a hullámmal együtt mozgó koordinátarendszerbe térünk át, amelyben a hullám áll. Tehát,

$$g(x,t) = g_T(\xi)$$

és

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{d}{d\xi}, \quad \frac{\partial}{\partial t} = -v\frac{d}{d\xi}. \tag{9}$$

A (9) szerinti változó-transzformációval a jelenséget eredetileg leíró (7) parciális differenciálegyenlet, ξ-szerinti közönséges differenciálegyenletbe megy át. Definiáljunk ezután olyan jelet, amelyre

$$\lim_{\xi\to\pm\infty} g_T(\xi) = g_{ST}(\xi) = \text{állandó} \tag{10}$$

és legyen

$$\lim_{\xi\to-\infty} g_{ST}(\xi) = \lim_{\xi\to+\infty} g_{ST}(\xi)\,. \tag{11}$$

Válasszuk ezután a lehetséges jelformák közül azokat, amelyekre igaz, hogy

$$\lim_{\xi\to\pm\infty} g_{ST}(\xi) = 0\,. \tag{12}$$

Ilyenkor a $g_{ST}(\xi)$ függvényt „magányos hullám"-nak nevezzük. Ha egy hullám – a fentiek szerint – „magányos hullám", teljesül (12) és más magányos hullámokkal történő ütközéskor aszimptotikusan megőrzi alakját és sebességét, akkor solitonnak nevezzük.

A fenti definícióból jól látható, hogy g egy egészen új – a (6–7), alakú megoldástól eltérő – jelformát definiál. Vizsgáljuk meg, vajon milyen esetekben jöhet létre soliton alakú megoldás.



1. ábra

Ha a közeg lineáris és nemdiszperzív (1. ábra), akkor létrejöhetnek „magányos hullámok" és solitonok, mivel a hullámforrásból kibocsájtott hullámcsomag együtt maradását semmi sem gátolja, tehát a jel tud a fenti feltételeknek megfelelően terjedni (hiszen a jel különböző frekvenciájú Fourier-komponenseinek a terjedési sebessége a frekvenciától függetlenül ugyanaz). Lineáris diszperzív közeg esetében már nem jöhet létre soliton típusú megoldás, hiszen a különböző frekvenciájú tagok a különböző terjedési sebességek miatt egymáshoz képest szétcsúsznak a térben. Nemlineáris nemdiszperzív esetben a jel energiája a nagyobb frekvenciájú tagok felé áramlik át, s így a jel eltorzul, szétesik. Nemlineáris diszperzív esetben viszont lehetséges soliton típusú megoldás, mivel a két hatás – bizonyos feltételek teljesülése esetén – kompenzálhatja egymást. Érdekesség, hogy míg magányos hullám létezhet nemlineáris, diszperzív, disszipatív közegekben is (gyertyaláng), addig soliton csak lineáris, nemdiszperzív és nemlineáris, diszperzív esetben képzelhető el (gondoljunk a két végén meggyújtott gyertyalángra, amelyek ha találkoznak, akkor kioltják egymást).

Sokáig nem tulajdonítottak nagy jelentőséget a solitonok létezésének, ugyanis lineáris, nemdiszperzív közegekben már régóta ismeretes a „magányos hullámok" léte. Sokáig úgy gondolták, hogy nemlineáris, diszperzív közegekben a két egymással találkozó soliton, a nemlineáris hatások következtében teljesen

szétrombolják egymást. A digitális elektronikus számítógépek fejlődése tette lehetővé, hogy a hatvanas évek elején számításokat végezzenek, s ekkor derült ki, hogy a soliton típusú megoldások nem szóródtak szét az ütközés során, hanem alakjukat és sebességüket megtartva haladtak tovább. Ezután indultak el azok a kutatások, amelyek a solitonok létének feltételeit, és tulajdonságait vizsgálják a különféle hullámjelenségeket leíró nemlineáris parciális differenciálegyenletek esetében (ilyen a fényvezetők viselkedését leíró nemlineáris Schrödinger-egyenlet is). Most nézzük meg illusztratív példaként, hogyan adódik a KdV-egyenlet soliton típusú megoldása a legegyszerűbb esetben.

Az egyenlet (7) alakú, és a

$$L = \frac{1}{2}G_x G_t + \frac{\alpha}{6}G_x^3 + G_x F_x + \frac{1}{2}F^2 \tag{13}$$

Lagrange-függvényből származtathatjuk, ahol

$G_x = g$ és $F = G_{xx}$

A (8) transzformáció után (9)-t is figyelembe véve (7) új alakja,

$$g_\xi(\alpha\, g - v) + g_{\xi\xi\xi} = 0 \tag{14}$$

Integráljuk elemi módon,

$$g_{\xi\xi} = c_1 + vg - \frac{\alpha}{2}g^2,\ c_1 = \text{állandó} \tag{15}$$

szorozzuk meg g_ξ-val és újra integráljuk

$$\frac{1}{2}g_\xi^2 = C_2 + C_1 g + \frac{v}{2}g^2 - \frac{\alpha}{6}g^3,\ C_2 = \text{állandó}.$$

Ennek az egyenletnek a megoldása elliptikus integrál

$$\xi = x - vt = \int_{g_0}^{g} \frac{dg}{\sqrt{2C_2 + 2C_1 g + vg^2 - \frac{\alpha}{3}g^3}}.$$

Itt a $g_0 = g(x - vt = 0)$ peremfeltételi érték. Magányos hullám megoldás esetén $\xi \to \pm\infty$ miatt az első és a második deriváltaknak el kell tűnnie, ezért $C_1 = C_2 = 0$ és a fenti integrál elvégezhető:

$$g(x - vt) = \frac{3v}{\alpha}\sec h^2\left[\frac{\sqrt{v}}{2}(x - vt)\right] \tag{16}$$

A fentiekből jól látható, hogy (16) egyirányú hullám, mert csak $v > 0$ esetén létezik.

III. A hullámegyenlet megoldása fényvezetők esetén [14]

Az eddigiekben láttuk azon egyenleteket, amelyek leírják a villamos jelet szabadtéri, illetve vezetett terjedés esetén. Vizsgáljuk meg, hogy optikai szál esetén milyen egyenletekre jutunk. Tudjuk, hogy ebben az esetben más peremfeltételek érvényesek, mint a klasszikus hullámvezetők esetén. Az (V–VI) egyenletek a [15] alapján a polarizációs vektor és a mágneses momentum definícióiból az

$$\overline{D} = \varepsilon_0 \overline{E} + \overline{P}$$
$$\overline{B} = \mu_0 \overline{H} + \overline{M}$$
$$\overline{J} = \sigma \overline{E} \tag{17}$$

alakot öltik, ahol ε_0 a vákuum permittivitása. Fényvezetőkben $\overline{J}$, $\overline{M}$ és ρ nullának vehető. Ekkor (II) rotációját véve, felhasználva (I)-t és (17)-t, és élve a

$$\nabla \times \nabla \times \overline{E} = \nabla\left(\nabla \overline{E}\right) - \nabla^2 \overline{E} = -\nabla^2 \overline{E} \tag{18}$$

közelítéssel (mivel $\rho = 0$ és a (IV) egyenletben $\nabla \overline{D} = \varepsilon_0 \nabla \overline{E} = 0$) az alábbi egyenletre jutunk [14]

$$\nabla^2 \overline{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \overline{E}}{\partial t^2} + \mu_0 \frac{\partial^2 \overline{P}}{\partial t^2}. \tag{19}$$

Ezt a parciális differenciálegyenletet akkor tudjuk megoldani, ha ismerjük az $\overline{E}$ és $\overline{P}$ közötti kapcsolatot. Ennek sikeres meghatározásához kvantummechanikai megfontolásokkal kellene élnünk, mivel elkerülhetetlen volna az elektromágneses tér hatására létrejövő molekuláris rezonanciák vizsgálata. Tudjuk, hogy az üvegszál anyagának a rezonanciafrekvenciája elég távol esik a fény frekvenciájától, ezért nyugodtan élhetünk az ismert fenomenológikus közelítéssel [14]

$$\overline{P} = \varepsilon_0\left[\aleph^{(1)}\overline{E} + \aleph^{(2)}\overline{E}\,\overline{E} + \aleph^{(3)}\overline{E}\,\overline{E}\,\overline{E} + \ldots\right]. \tag{20}$$

ahol $\aleph$ tenzor, $\aleph$ és $\overline{E}$ között tenzoriális szorzás értelmezett. A (20) összefüggésben:

- $\aleph^{(1)}$ – a lineáris szuszceptibilitás
- $\aleph^{(2)}$ – másodfokú szuszceptibilitás (mivel a SiO_2 molekula szimmetrikus, elhanyagolható)
- $\aleph^{(3)}$ – harmadrendű szuszceptibilitás (nemlineáris hatásokat is jellemez).

Ha

$$\overline{P}_L = \varepsilon_0 \aleph^{(1)} \overline{E}$$
$$\overline{P}_{NL} = \varepsilon_0 \aleph^{(3)} \overline{E}\,\overline{E}\,\overline{E} \tag{21}$$

akkor

$$\overline{P} = \overline{P}_L + \overline{P}_{NL}. \tag{22}$$

Tegyünk néhány egyszerűsítést:

- $\bar{P}_{NL}$ nagyon kis perturbációt jelent $\bar{P}_L$-hez képest,
- a vezetett fény a polarizációt a szál teljes hosszában megtartja,
- a terjedő jelről feltesszük, hogy kvázi-monokromatikus.

Az elektromos komponensről feltesszük, hogy egy lassan és egy gyorsan változó részből áll:

$$\bar{E}(\bar{r},t)=\frac{1}{2}\hat{x}\left[\bar{E}(\bar{r},t)e^{-j\omega_0 t}+\bar{E}^{*}(\bar{r},t)e^{j\omega_0 t}\right]. \tag{23}$$

Ahol $\hat{x}$ a polarizáció egységvektora, és $\bar{E}(\bar{r},t)$ az időben lassan változó tag (a * a komplex konjugáltat jelöli).

Ha (23)-t behelyettesítjük (21)-be akkor

$$\bar{P}_L(\bar{r},t)=$$
$$=\frac{1}{2}\hat{x}\left[\bar{P}_L(\bar{r},t)e^{-j\omega_0 t}+\bar{P}_L{}^{*}(\bar{r},t)e^{j\omega_0 t}\right]$$
$$\bar{P}_{NL}(\bar{r},t)=$$
$$=\frac{1}{2}\hat{x}\left[\bar{P}_{NL}(\bar{r},t)e^{-j\omega_0 t}+\bar{P}_{NL}{}^{*}(\bar{r},t)e^{j\omega_0 t}\right] \tag{24}$$

Ha a (19) egyenletet Fourier-transzformáljuk és (24)-t behelyettesítjük, akkor

$$\nabla^2\tilde{E}+\varepsilon\ (\omega)k_0^2\tilde{E}=0 \tag{25}$$

egyenletet kapjuk, ahol

$$k_0=\frac{\omega}{c}$$

és

$$\varepsilon\ (\omega)=1+\tilde{\aleph}_{xx}^{(1)}+\frac{3}{4}\tilde{\aleph}_{xxx}^{(3)}\left|\bar{E}(\bar{r},t)\right|^2. \tag{26}$$

Keressük a (25) egyenlet megoldását szorzat alakban:

$$\tilde{E}(\bar{r},\omega-\omega_0)=$$
$$=F(x,y)\tilde{A}(z,\omega-\omega_0)e^{j\beta_0 z} \tag{27}$$

Ha (27)-t visszaírjuk (25)-be, olyan differenciálegyenletet kapunk, amely két részre bontható az alábbiak szerint

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}+\left[\varepsilon(\omega)k_0^2-\bar{\beta}^2\right]F=0 \tag{28}$$

$$\frac{\partial^2\tilde{A}}{\partial z^2}+2j\beta_0\frac{\partial\tilde{A}}{\partial z}+\left[\bar{\beta}^2-\bar{\beta}_0^2\right]\tilde{A}=0. \tag{29}$$

Ahol $\bar{\beta}$ a hullámszám és a (28) egyenlet megoldásából nyerhető. Mivel $\tilde{A}(z,\omega)$ függvényében lassan változik, $\tilde{A}(z,\omega)$ második deriváltja elhanyagolható. Éljünk a

$$\left(\bar{\beta}^2-\beta_0^2\right)\approx\beta_0\left(2\bar{\beta}-\beta_0\right)$$

közelítéssel, ekkor

$$\frac{\partial\tilde{A}}{\partial z}-j\left(\bar{\beta}-\beta_0\right)\tilde{A}=0. \tag{30}$$

Legyen

$$\bar{\beta}(\omega)=\beta(\omega)+\Delta\beta, \tag{31}$$

ahol $\Delta\beta$ perturbációs tag és $\beta(\omega)$ a módusok terjedését írja le a frekvencia függvényében. Fejtsük $\beta(\omega)$-t Taylor-sorba ω_0 körül,

$$\beta(\omega)=\beta_0+\left.\frac{d\beta}{d\omega}\right|_{(\omega=\omega_0)}(\omega-\omega_0)+$$
$$+\frac{1}{2!}\left.\frac{d^2\beta}{d\omega^2}\right|_{(\omega=\omega_0)}(\omega-\omega_0)^2+\ldots \tag{32}$$

ahol

$$\beta_n=\left.\frac{d^n\beta}{d\omega^n}\right|_{(\omega=\omega_0)}.$$

Mivel feltettük, hogy a jel kvázimonokromatikus, ezért itt elégséges a fenti Taylor-sor első három tagjával számolnunk. Most helyettesítsük (31)-t és (32)-t (30)-ba, ekkor a

$$\frac{\partial\tilde{A}}{\partial z}-j\beta_1(\omega-\omega_0)\tilde{A}-\frac{j}{2}\beta_2(\omega-\omega_0)^2\tilde{A}-j\beta_0\Delta\beta\ \tilde{A}=0 \tag{33}$$

egyenletet kapjuk, amit inverz Fourier-transzformálva a

$$\frac{\partial A}{\partial z}+\beta_1\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{j}{2}\frac{\partial^2 A}{\partial t^2}-j\Delta\beta\ A=0 \tag{34}$$

egyenletre jutunk [14]. A $\Delta\beta$ perturbációs tag a

$$\Delta\beta=-\frac{\alpha}{2}+j\gamma|A|^2 \tag{35}$$

összefüggés szerint írja le az optikai szál veszteségeit és nemlineáris jelenségeit. Ahol

$$\gamma=\frac{n_2\omega_0}{c\,A_{\text{eff}}}$$

és

$$A_{\text{eff}}=\frac{\left[\int_{-\infty}^{\infty}\int|F(x,y)|^2\,dxdy\right]^2}{\int_{-\infty}^{\infty}\int|F(x,y)|^4\,dxdy},$$

ami azt a keresztmetszeti felületet jelenti, ahol a jel terjed. Ez rendszerint valamivel nagyobb, mint az optikai szál magjának a keresztmetszeti felülete. Visszahelyettesítve (35)-t (34)-be kapjuk a

$$\frac{\partial A}{\partial z}+\beta_1\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{j}{2}\frac{\partial^2 A}{\partial^2}+\frac{\alpha}{2}A=j\gamma|A|^2A \tag{36}$$

egyenletet, amin végrehajtva a

$$T = t - \frac{z}{v_g} = t - \beta_1 z \tag{37}$$

transzformációt kapjuk a

$$j\frac{\partial A}{\partial z} = -j\frac{\alpha}{2}A + \frac{1}{2}\beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} - \gamma |A|^2 A \tag{38}$$

egyenletet ($\alpha = 0$ esetén), amit nemlineáris Schrödinger-egyenletnek szoktak nevezni [14]. Ennek az egyenletnek létezik soliton típusú megoldása is [14], [16], [17].

IV. Konklúzió

Vizsgáljuk meg az elektromos tér szerkezetét jellemző (27) összefüggést. Jól látható, hogy soliton típusú megoldása csak a fényvezetőn z (hosszanti) irányba terjedő $\tilde{A}(z,\omega)$ burkolófüggvénynek van, más szóval nem a teljes megoldás soliton. A (28) egyenletnek a kereszt-irányú $F(x,y)$ függvényre Hermite-Gauss típusú megoldásai vannak.

Jól látszik, hogy fényvezető szálon nem a teljes jelalak kereshető soliton alakban, hanem csak egy része, a burkoló. Az elektromos jel másik része – $F(x,y)$ –, ami a burkolót előállítja Hermite-Gauss típusú, tehát nem rendelkezik a soliton speciális tulajdonságaival (pl.: ha két ilyen jel találkozik akkor a solitonokkal ellentétben kiolthatják egymást). Viszont ezeknek a nem soliton típusú jeleknek a burkolója rendelkezik a soliton tulajdonságaival.

Látható, hogy ilyenformán sikerült megkerülni a szálon terjedő teljes jelalakra vonatkozó peremérték-probléma nehézségeit. Ezzel viszont szembekerültünk egy másik problémával. Hiszen a (27) típusú megoldás csak addig tartja meg számunkra előnyös tulajdonságait, amíg az optikai szál által biztosított peremfeltételek fennállnak. Visszagondolva a (17–38) levezetésre világosan látszik, hogy a nemlineáris Schrödinger-egyenlet levezetésekor kihasználtuk a fényvezető szál speciális tulajdonságait, tehát az egyenlet (38)-beli alakja, s maga a megoldása is addig érvényes, amíg fennállnak az itt vizsgált fényvezető szál által biztosított peremfeltételek (nemlinearitás, két különböző törésmutatójú anyag határfelülete stb.). Ha a (27) típusú megoldás elhagyja az üvegszálat, akkor többé már nem tartja meg előnyös tulajdonságait, s bizonyos divergenciával szabályos hullám-megoldásként terjed tovább.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton fejezi ki köszönetét dr. Zombory László, dr. Frigyes István és dr. Berceli Tibor tanár uraknak segítő munkájukért és tanácsaikért. Külön köszönet illeti dr. Ferencz Csaba tanár urat segítő tanácsaiért és hasznos észrevételeiért.

Irodalom

1. Alwyn C. Scott, F. Y. F. Chu, David W. McLaughlin: The Soliton: A New Concept in Applied Science, Proc. IEEE vol.61. No.10. pp.1443–1483, October, 1973.
2. J. Van Roey, J. van der Donk, P. E. Lagasse: Beam-propagation method: analysys and assessment, Opt. Soc. Am. vol.71. No.7. pp.803–810, July, 1981.
3. Kai Choong Cham, Hai Feng Liu: Effects of Raman scattering and Frequency chripping on soliton effect pulse compression, Optics Letters vol.18. No.14. pp.1150–1152, July, 1993.
4. Margarida Facao, Mario Ferreira: Analysis of Timing Jitter for Ultrashort Soliton Communication Systems Using Perturbation Methods, J. of Nonlinear Mathematical Physics 2001, vol.8. Supplement, pp.112–117. Proceedings: NEEDS'99. 2001.
5. D. Neshev1, A. Dreischuh1, G.G. Paulus, H.Walther: Directional coupling of optical signals by odd dark beams with mixed phase dislocations, Appl. Phys. B. 72. pp.849–854, 2001.
6. Suzanne Sears, Marin Soljacic, Mordechai Segev, Dmitriy Krylov, Keren Bergman: Cantor Set Fractals from Solitons, Phys. Rev. Letters vol.84. No.9. pp.1902–1905, Febr., 2000.
7. Yuri S. Kivshar: Dark Solitons in Optical fibers, IEEE J.Quant. Electr. vol.29. No.1. pp.250–265, Jan., 1993.
8. Anton S. Desyatnikov, Dragomir Neshev, Elena A. Ostrovskaya, Yuri S. Kivshar: Multipole composite spatial solitons: theory and experiment, J. Opt. Soc. Am. B vol.19. No.3. pp.586–595, March, 2002.
9. Yuri S. Kivshar, Wieslav Królikovski: Lagrangian aproach for dark solitons, Optics Communications 114. pp.353–362, Febr., 1995.
10. S. R. Friberg, S. Machida, M. J. Werner, A. Levanon, Takaaki Mukai: Observation of Optical Soliton Photon-Number Squeezing, Phys. Rev. Letters vol.77. No.18. pp.3775–3778, Oct., 1996.
11. G. Tamošauskas, A. Dubietis, G. Valiulis, Soliton-Effect Optical Pulse Compression in Bulk Media with $\chi^{(3)}$ Nonlinearity, Nonlinear Analysis: Modelling and Control, Vilnius, IMI, No. 5. pp.99–105, 2000.
12. B. A. Kalinikosa, N. G. Kovshikov, Observation of self-generation of dark envelope solitons for spin waves in ferromagnetic films, JETP Letters vol.68. No.3. pp.243–247, Aug., 1998.
13. Ferencz Csaba: Elektromágneses hullámterjedés, Akadémiai Kiadó, Budapest 1996.
14. G.P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, San Diego, 1989
15. Simonyi Károly: Teoretische Elektrotechnik, Vebdeutcher Verlag Der Wissenschaften Berlin, (447. oldal) 1968.
16. Hermann A. Haus: Waves and Fields in Optoelectronics, Prentice-Hall 1984
17. John A. Buck: Fundamentals of Optical Fibers, John Wiley & Sons, Inc. 1995.

Az IEEE 802.11b alapú mobil hálózatok viselkedésének elemzése

LAKATOS JÓZSEF–NUSSER PÉTER–VAJDA LÓRÁNT–SIMON CSABA–TÖRÖK ATTILA

Budapesti Műszaki Egyetem, Távközlési és Telematikai Tanszék, Nagysebességű Hálózatok Laboratóriuma

Reviewed

A távközlési kutatások egyik csomópontja az ad hoc hálózatok útvonalválasztó protokoljainak kutatása. Felmerül a kérdés, hogy mennyire működőképesek az ad hoc hálózatok? Erre a kérdésre keresve a választ hajtottuk végre az alábbi méréseket. Az egyik legelterjedtebb eszközt használtuk, az IEEE 802.11b szabványán alapuló vezetéknélküli helyi hálózati kártyát.

Bevezetés

Az IEEE 802.11 szabványt vizsgáljuk, amely a WaveLAN fizikai és adatkapcsolati rétegét írja le [1]. A mérésekhez a flexibilis, a hálózatkezelést hatékonyan támogató Linux operációs rendszert használtuk. Méréseink célja az ad hoc hálózatok működőképességének vizsgálata napjaink eszközeivel. Ezért először alapméréseket végeztünk bázisállomás (Access Point, BSS – Basic Service Set) üzemmódban, majd ehhez viszonyítottuk az ad hoc üzemmódban mért eredményeket. A bázisállomás üzemmód esetén a csomópontok csak a bázisállomáson (Access Point) keresztül „láthatják" egymást. A keretek csak egy ugrás hosszúsággal haladnak a rádiós közegen, így néhány a vezetékes hálózatokban ismeretlen jelenség (pl. rejtett csomópontok [2]) lép fel.

Ugyanakkor ad hoc üzemmódban is végeztünk méréseket. Itt az AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) útvonalválasztó protokollt használtunk. Az ad hoc hálózatokat központi irányítás nélkül egyenrangú csomópontok alkotják oly módon, hogy ezek egyszerre működnek végberendezésként, hálózati kapcsolóként és útvonalválasztóként. Az adatátvitel megvalósítása két távoli csomópont között köztes csomópontokon keresztül több ugrás közbeiktatásával jöhet létre. A gyors topológia-változás és a jel-zaj viszony folyamatos változása maga után vonja a csomópontok közötti egyes kapcsolatok bithiba arányának dinamikus változását. Ezek a speciális körülmények eredményezik, hogy speciális protokollokra van szükség ad hoc üzemmód esetén. Ilyen típusú protokollok széles tárháza áll rendelkezésre [4], a jelenleg használatban lévő vagy fejlesztés alatt álló protokollok már a legtöbb kérdésre hatásos választ adnak. Ezek közé tartozik az általunk használt AODV protokoll is. Ez indokolja, hogy a protokollok tervezése és szimulációs tesztelése után a gyakorlatban is megvizsgáljuk a képességeiket.

Az AODV protokoll működése

A mobil ad hoc hálózatok útvonalválasztó protokolljainak jelentős csoportját alkotják a reaktív (kérés-alapú, on-demand) protokollok [4]. Ezek csak azokat az útvonalakat tartják nyilván, amelyekre éppen szükség van. Ez azért előnyös, mert az útvonalak feltérképezéséhez és karbantartásához nem kell többletinformációt feldolgozni. Az egyik legismertebb és legelterjedtebb reaktív protokoll az AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) protokoll [4].

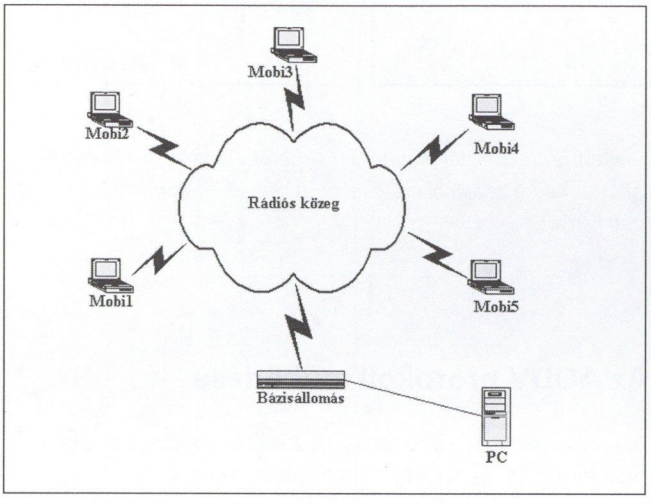
Az AODV protokollnál az útvonal felépítése útvonal kérés/útvonal válasz üzenetek segítségével történik: ha egy olyan célállomáshoz akar egy csomópont adatcsomagot küldeni, amihez még nem áll rendelkezésre útvonal, akkor a forrásállomás elárasztja az

útvonalkérés-üzenetet (Route Request – RREQ) a hálózaton. Az állomás, amely megkapja ezt a csomagot, frissíti a útvonalválasztási tábláját a forrásról és beállítja a visszafelé mutató utat. Abban az esetben, ha a vevő maga a keresett célállomás, akkor útvonal választ küld vissza a kérést igénylő felé (Route Reply – RREP), ellenkező esetben elindul egy újabb RREQ kérés a hálózat többi része felé. Az aktív útvonalon a folyamatos adatátvitel megszűnése esetén az útvonalbejegyzések rövid idővel automatikusan megszűnnek. Az állomások a szomszédok felderítését HELLO üzenetek szétküldésével végzik. A küldő figyeli a szomszédaitól az üzenetre érkező válaszokat, és ha valamelyiktől egy bizonyos időn belül nem érkezik válasz, akkor az ezen szomszéd felé irányuló kapcsolat megszakadt.

Az AODV protokollnak előnye más protokollokkal szemben, hogy a csomag fejrésze nem tartalmaz felesleges információkat, így a csomagméret kisebb, ezáltal nem rontja az átvitel teljesítményét.

A mérési környezet ismertetése

Méréseinket Orinoco Silver Turbo 11Mb típusú IEEE 802.11b szabvány alapú WaveLAN hálózati kártyákkal ellátott öt laptopon és egy AP-1000 típusú bázisállomáson kialakított mérőhálózattal végeztük. A bázisállomás egy Ethernet alapú fix hálózatra hidal át. Méréseink során használtunk egy asztali számítógépet is, amely a mobil egységekhez hasonló konfigurációval rendelkezik. Az általános hálózati topológiát az 1. ábra mutatja.

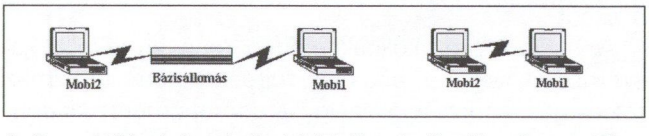


1. ábra Mintahálózat

A mérések első részét egy zárt teremben végeztük, ekkor a mobil számítógépek a bázisállomáson keresztül kommunikáltak egymással, nem volt szükség a fizikai elkülönítésre. A mérések második részében az ad hoc hálózatok tulajdonságait vizsgáltuk, ahol minden állomás az AODV protokollt futtatta. Ebben az esetben a topológiát úgy alakítottuk ki, hogy kizárólag a szomszédos számítógépek tudjanak kommunikálni egymással.

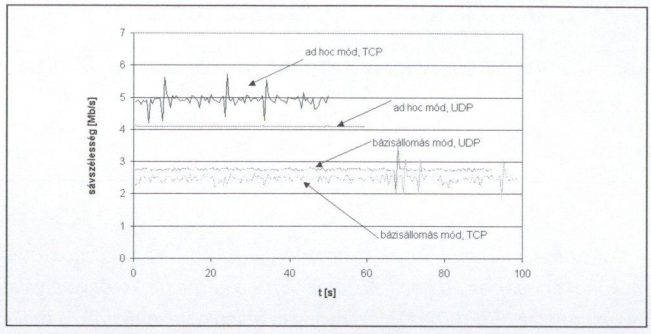
Bázisállomás és Ad Hoc üzemmódok összehasonlítása

Az összehasonlító mérések eredményei alapján lehet eldönteni, hogy mely teljesítményváltozások forrása a fizikai réteg szintjén előforduló esemény (ütközés, alacsony jelszint), a fizikai réteg és a csomagtovábbítás kapcsolata, illetve az útvonalkeresés. Ezen méréseknél egy-egy adatfolyamot alkalmaztunk a topológiában szereplő két gép között (2. ábra). A két mobil állomás első esetben ad hoc üzemmódban működött, míg második esetben bázisállomás módban. Ahogy azt már említettük, mindkét esetben TCP és UDP forgalom alkalmazásával vizsgáltuk a rendszer viselkedését. A felajánlott forgalom 8Mb/s volt.



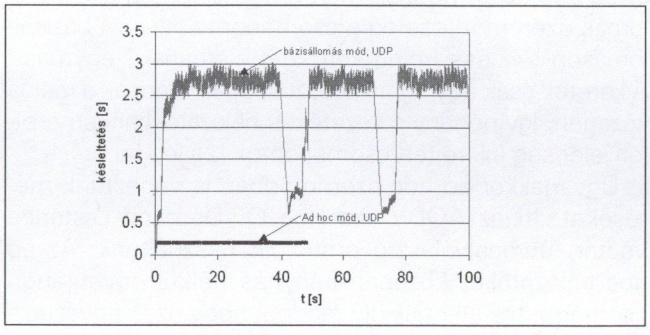
2. ábra Hálózati elrendezések bázisállomás, ill. ad hoc üzemmódban

Bár a WaveLAN kártyák fizikai rétege 11Mb/s-os sávszélességgel rendelkezik, a mérések során tapasztalható, hogy az adatkapcsolati réteg feletti rétegek számára a gyakorlatban csak 5Mb/s-os sávszélességet biztosítanak ad hoc üzemmódban (3. ábra). Ez a CSMA/CA közeghozzáférés [2] többletforgalmával és a keretek közt előírt szünetekkel magyarázható.



3. ábra Átviteli sávszélesség különböző üzemmódokban

Az ad hoc üzemmódhoz képest, bázisállomás üzemmódban a TCP és az UDP forgalom esetében is a sávszélesség a felére csökkent. Ezt tapasztaljuk, ha a 3. ábrán látható sávszélesség-görbéket hasonlítjuk össze. Ez a jelenség annak tulajdonítható, hogy a bázisállomás üzemmódban az adatforgalom minden esetben a bázisállomáson halad át. Így az upstream és a downstream forgalom ugyanazt a közeget használja, tehát a rendelkezésre álló sávszélességet meg kell osztani. Ez abban az esetben is fennáll, ha a két mobil egység közvetlenül látja egymást.



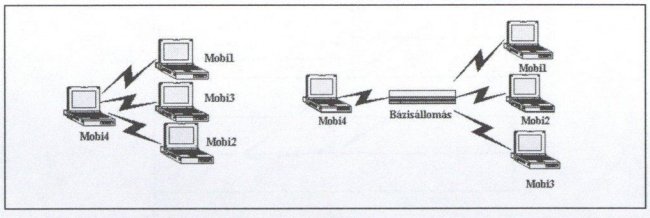
4. ábra Késleltetés különböző üzemmódokban

A fenti jelenségen kívül UDP forgalom esetén tapasztalható, hogy a csomagkésleltetés is jelentősen megnövekedett (lásd 4. ábra). Ez a késleltetés-növekedés azzal magyarázható, hogy az ad hoc módhoz képest csökkent a sávszélesség, ugyanakkor az alkalmazott forgalom miatt a meghajtó puffere jelentős mértékben feltöltődik keretekkel. Időnként a meghajtó eldob a pufferben várakozó „legöregebb" csomagok közül annyit, hogy a puffer telítettsége adott érték alá csökkenjen. Az eredményeket vizsgálva kiderül, hogy bár csekély a csomagvesztés (2,84%), ezek a sorszám szerinti két egymást követő rövid időintervallumban történnek. Ezt magyarázza a késleltetési grafikon két-

szeri visszaesését is (4. ábra). Az átviteli sávszélességet azonban nem befolyásolja, hiszen a keretek állandó ütemben haladnak, annyi különbséggel, hogy az „öregebb" csomagok eldobása után „frissebb" csomagokat küldünk.

Időzítés hatása a forgalom teljesítményére

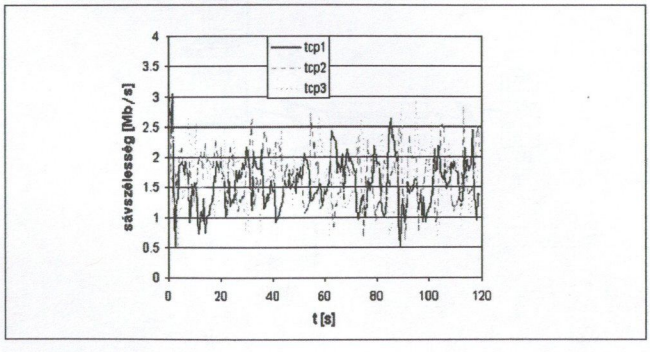
A bonyolultabb hálózati felépítés és nagyobb forgalmak csoportjába tartozó mérésekkel azt vizsgáltuk, hogy a 802.11b alapú rendszereknél, a közös átviteli közeg miatt felléphet-e valamilyen aránytalanság, versengés az egyes folyamok között (unfairness). A mérések folyamán egy-egy TCP és UDP folyamot generáltunk három mobil állomásról egy negyedik felé ad hoc és bázisállomás üzemmódban (lásd 5. ábra). A folyamok ugyanabban az időpontban indulnak.



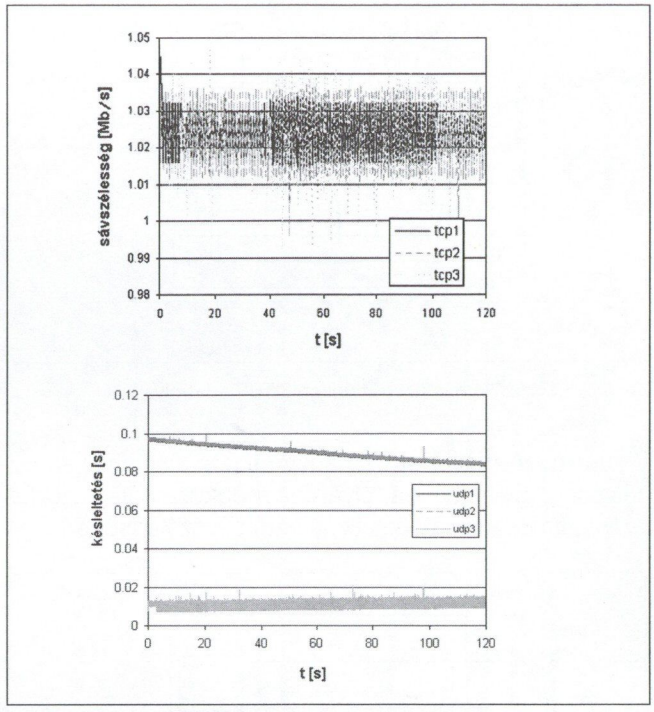
5. ábra Mérési elrendezés négy mobil állomással ad hoc és bázisállomás üzemmódban

Mérések ad hoc üzemmódban

A TCP és UDP forgalom esetén ad hoc üzemmódban (6. és 7. ábra) látható, hogy a három folyam osztozik a használható sávszélességen. A mérések során nem vizsgáltuk a TCP folyamok csomagkésleltetését, mivel azok nem tartalmaznak mérvadó információkat a folyam viselkedéséről. Ezzel szemben az UDP forgalom esetén fontos a csomagkésleltetést is vizsgálni. A TCP és UDP folyam sávszélességét vizsgálva megállapíthatjuk, hogy az átviteli sebesség kiegyenlített. Ellenben, ha az UDP forgalom késleltetését vesszük figyelembe, láthatjuk, hogy az egyik adatfolyam csomagjai minimális késleltetést szenvednek, míg a másik két folyam csomagjai 100ms-os késleltetéssel érkeznek meg. Az első csomagot elküldő gép ugyanis előnyre tesz szert a többihez képest.

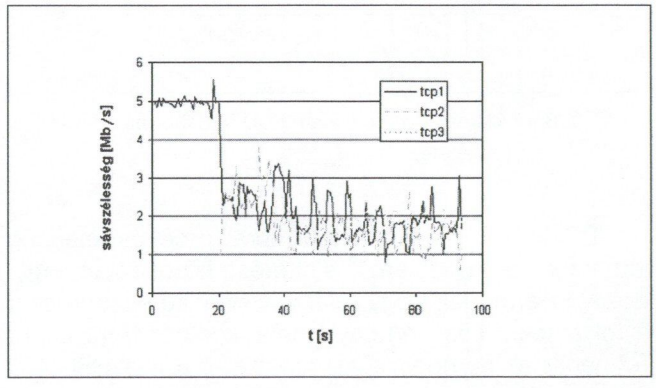


6. ábra Ad hoc üzemmódban 3 TCP adatfolyam sávszélessége



7. ábra Ad hoc üzemmódban 3 UDP adatfolyam sávszélessége és késleltetése

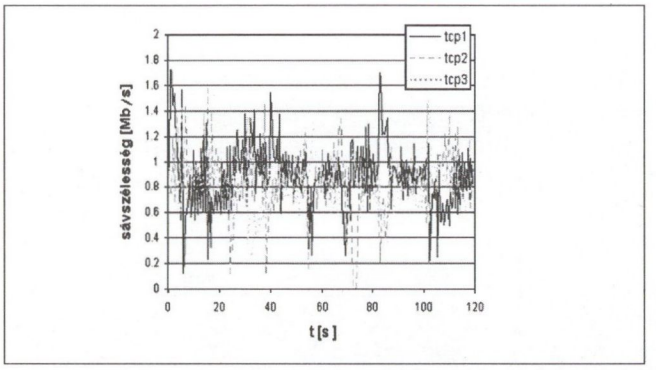
A TCP forgalommal végzett méréseink mindegyikét úgy is elvégeztük, hogy a három adatfolyam egymáshoz képest 20-20 másodperces késleltetéssel indult. A várakozásoknak megfelelően nem lép fel jelentős aránytalanság (unfairness). (Lásd 8. ábra.) Az egyes adatfolyamok egyenlő mértékben osztoznak a sávszélességen. Általánosan is levonhatjuk azt a következtetést, miszerint a 802.11b alapú rendszernél ebben a hálózati elrendezésben nem lép fel aránytalanság az egyes TCP folyamok között.



8. ábra Ad hoc üzemmódban 3 TCP adatfolyam 20 másodperces késleltetéssel

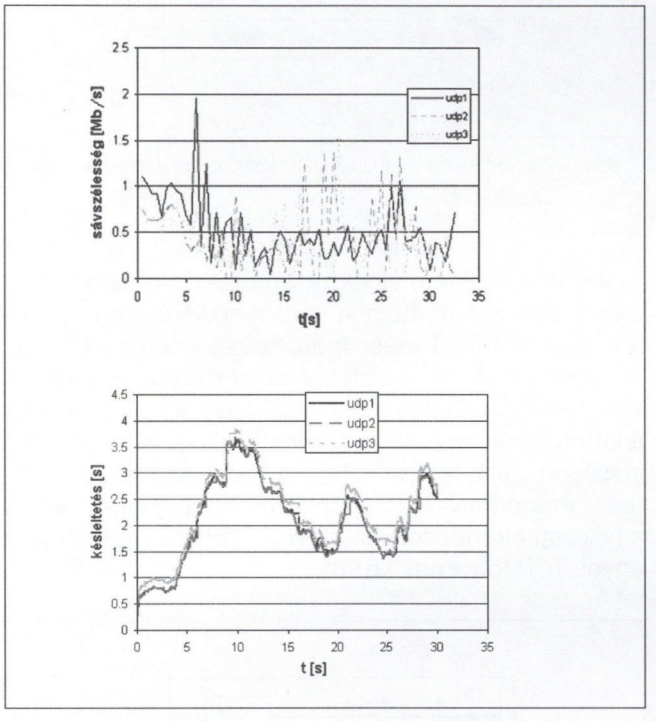
Mérések bázisállomás üzemmódban

A fenti méréseket megismételtük bázisállomás üzemmódban is. Ebben az esetben az effektív átviteli sávszélesség felére csökken (9. ábra). Ez is a bázisállomás üzemmódnak köszönhető.



9. ábra Bázisállomás üzemmódban 3 TCP adatfolyam

Észrevehetjük, hogy elhanyagolható az átviteli aránytalanság, így az egyes folyamok megközelítőleg azonos arányban osztoznak a használható sávszélességen.



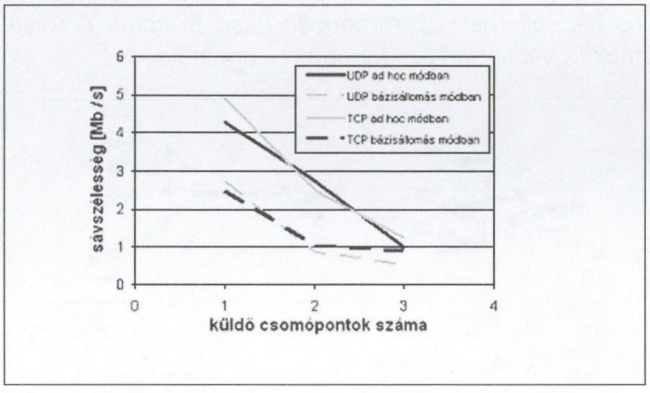
10. ábra Bázisállomás üzemmódban 3 UDP adatfolyam: sávszélesség, késleltetés

UDP forgalom esetén (10. ábra) érdekes jelenség látható: a három folyam késleltetése közel együtt ingadozik. Ez arra utal, hogy valamely szűk keresztmetszet a folyamokra közösen hat. Ennek konkrét forrásaként felmerült az is, hogy a szinkronizációra használt NTP protokoll kiesett a szinkronizációból a mérés alatt, mint ahogy az többször előfordult méréseink folyamán.

Összehasonlító mérések

A már bemutatott méréseket elvégeztük olyan topológiában is, ahol két küldő és egy fogadó állomás volt, vizsgálva, hogy milyen mértékben csökkent az adatátvitel ugyanolyan forgalmak, de több hálózati csomópont esetén A 11. ábra szerint a sávszélesség csökken az adó mobil állomások számával TCP és UDP forgalom esetén ad hoc és bázisállomásos üzemmódban egyaránt. A görbék alakjából arra következtettünk, hogy az átvitel minősége asszimptotikusan tart a nullához a csomópontok számának növekedésével.

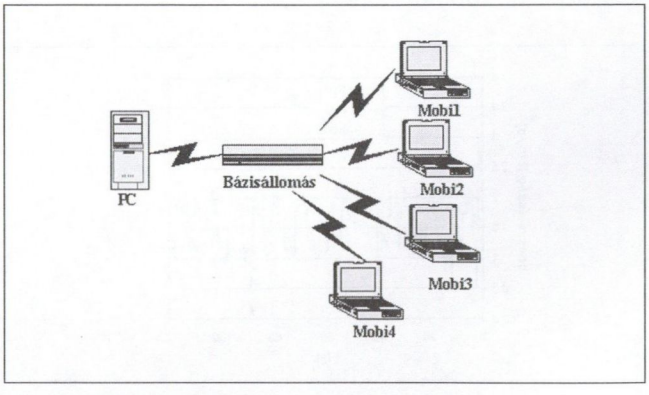
(A rendelkezésünkre álló eszközök száma meggátolt bennünket abban, hogy mérések alapján lemérjük azt a határt, amikor az adatkapcsolat már használhatatlan.) A 11. ábra alapján megállapítható, hogy bázisállomás üzemmódban kisebb az átvitt adatmennyiség. Ebből azt a következtetést is levonhatjuk, hogy hatékonyabb az ad hoc üzemmód a mobil állomások között. Így ajánlatos a bázisállomások kiiktatása a teljesítmény növelése érdekében.



11. ábra Sávszélességek változása az adó csomópontok számának függvényében: TCP, UDP (AH –Ad Hoc mód, AP – Bázisállomás-mód)

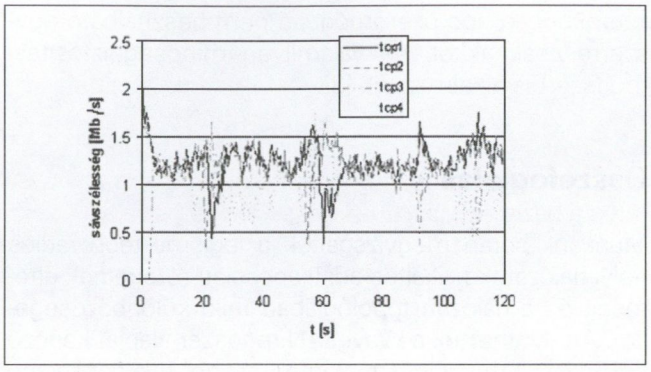
Mérések vezetékes hálózatra irányuló forgalommal

A fenti mérések mellett azt a lehetőséget is vizsgáltuk, ha a bázisállomás átjátszóként (bridge) működik a mobil hálózat és a vezetékes, Ethernet alapú hálózat között (12. ábra). Négy mobil állomást használtunk. A méréseket TCP és UDP folyamokkal is elvégeztük. A továbbiakban csak a TCP forgalommal kapcsolatos méréseket ismertetjük, mert az UDP forgalomra kapott eredményeink hasonlítanak az előző részekben ismertetettekre.



12. ábra Mérési elrendezés

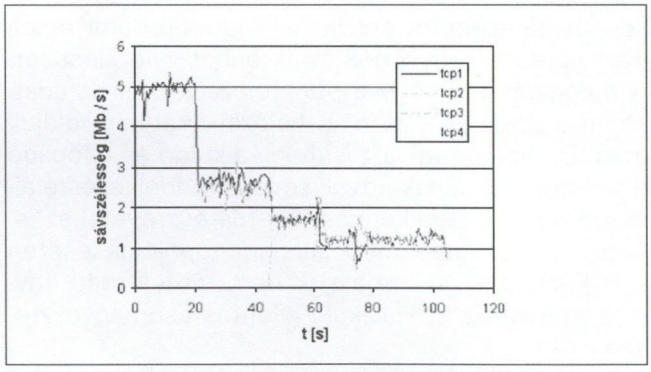
Mivel a bázisállomás mögötti Ethernet hálózat kapacitása és paraméterei nagyságrendekkel jobbak a rádiós közegénél, ezért a vezetékes kerettovábbítás ideje elhanyagolható a keretek rádiós közegen való áthaladási idejéhez képest. Így a vezetékes hálózat nem befolyásolta az eredményeket.



13. ábra 4 TCP adatfolyam sávszélessége

A 13. ábra észrevehetjük, hogy a harmadik folyam három másodperces késleltetéssel indul. Ez egy elég gyakran előforduló esemény volt méréseink során, ami arra utal, hogy könnyen előfordul a 802.11b közeghozzáférésénél, hogy az egyik állomás néhány másodpercig kiszorul a közeg használatából, ha többen kezdenek el egyszerre adni. De az is látható, hogy azután, miután a folyam elindul, ugyanolyan kiszolgálásban lesz része mint a többinek. Ezek után a négy folyam egyenlően osztozik a rendelkezésére álló sávszélességen.

Megvizsgáltuk azt az esetet is, amikor a TCP folyamok egymáshoz képest 20-20 másodperces késleltetéssel indulnak (14. ábra). A várakozásoknak megfelelően az előbbiekben magyarázott eredményt kaptuk. Ebben az esetben sem lép fel jelentős aránytalanság (unfairness).



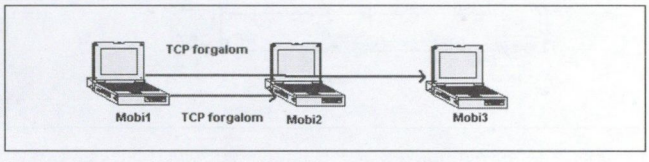
14. ábra 4 TCP adatfolyam késleltetve sávszélessége

Mérések AODV útvonalkeresési protokollal

Mint azt már korábban említettük, méréseink során vizsgáltuk azt az esetet is, amire az ad hoc hálózatot tervezték. Ebben az esetben a csomópontok végpontként, útvonalválasztóként és átjátszóként is szerepelnek, és nincs előre rögzített infrastruktúra. Az állomások önállóan oldják meg a mobilitásból és az egyedi elrendezésekből adódó problémákat. A mobil állomásokat mindhárom esetben sorban helyeztük el az épületben úgy, hogy csak a szomszédok tudjanak egymásnak közvetlenül adatot küldeni. Amennyiben az adatfolyam nem a közvetlen szomszédnak volt szánva, akkor a szomszédnak kellett megoldania a csomagtovábbítást az AODV által fenntartott útvonal-tábla (routing tábla) segítségével. A mérések során vizsgáltuk a különböző adatfolyam-típusok (TCP és UDP) egymástól való függetlenségét, azok teljesítmény-paraméterei segítségével. Vizsgáltuk azt is, hogy hogyan hat az útvonal „hossza" a folyamtípusok teljesítményére.

Útvonalhossz hatása a TCP forgalom teljesítményére

Az útvonal hosszának hatásvizsgálatához két TCP forgalmat generáltunk, amelyek különböző hosszúságú utakon haladtak (15. ábra). Így az egyik folyam az első csomópontról (Mobi1) a másodikra (Mobi2) irányult egy ugrás hosszúságban, a második pedig az első csomópontról (Mobi1) a harmadikra (Mobi3) két ugrás hosszan. Mind a két forgalom egy időben indult és azonos 8-8Mb/s felajánlott sávszélességgel rendelkezett.



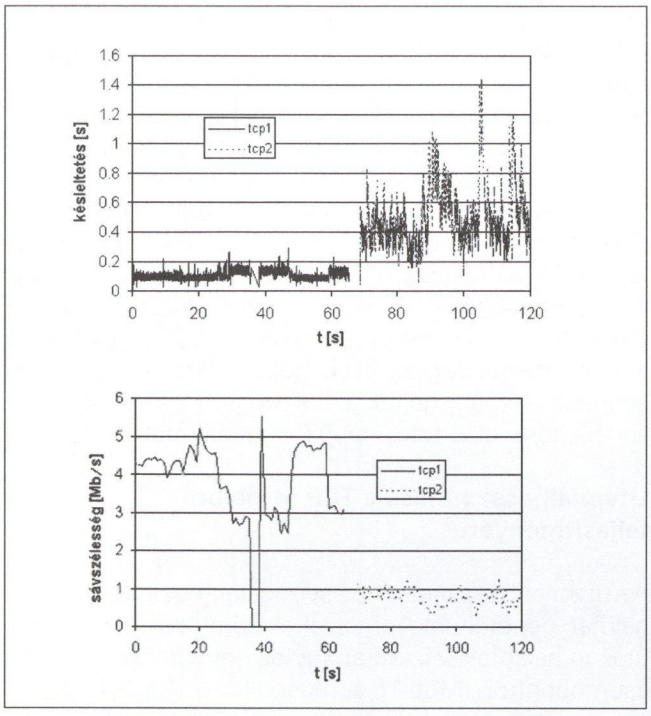
15. ábra Mérési elrendezés

Az elrendezés első mérései esetén az egy ugrás hosszú forgalmat leállítottuk a mérés 65. másodpercében. Az eredményeken az látszik (16. ábra), hogy az egy ugrásos adatfolyam teljes mértékben „elnyomta" a két ugrást áthidaló folyamot. Ezt a jelenséget biztosan nem a 2. és 3. csomópont közötti rádiós kapcsolat megszakadása okozta, mivel az egy ugrásos forgalom leállásakor szinte egyből létrejön a forgalom a másik kapcsolaton.

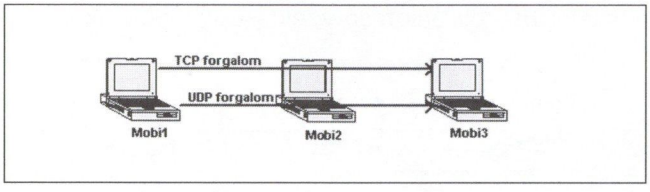
TCP és UDP forgalmak függetlenségvizsgálata

A vizsgálathoz itt is a lánctopológiára alkalmaztuk a forgalmat (17. ábra). Ezt a mérést egy TCP és egy UDP folyam esetén végeztük el. Amint az ábrán is látható, mindkét adatfolyam két ugrásos. Mindkettőnek ugyanúgy 8-8Mb/s volt a felajánlott sávszélessége.

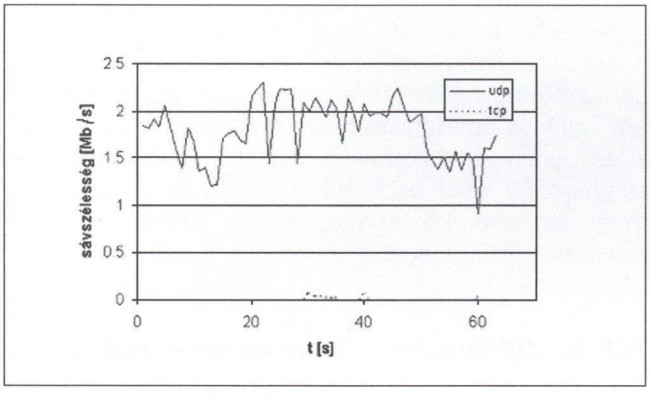
A 18. ábra láthatjuk, hogy a várakozásoknak megfelelően az UDP forgalom szinte teljesen elnyomja a TCP forgalmat. Ez abban nyilvánul meg, hogy néhány átjutó és igazolt TCP szegmensen kívül nem halad át semmi. Ezt jelöli a sávszélességeket ábrázoló diagramon a 30. és 40. másodperc között megjelenő szaggatott vonal. Ezzel szemben az UDP folyam csomagjai 50%-os veszteséggel átjutnak a hálózaton. Az 50%-os csomag-



16. ábra Késleltetés és sávszélesség két TCP folyammal



17. ábra Mérési elrendezés



18. ábra Késleltetés és sávszélesség egy TCP és egy UDP folyammal

veszteség a közbeeső csomópontnál egyszerre (ugyanabban az időpillanatban) érkező adatcsomagok ütközésével magyarázható. Ebben az esetben a fogadó állomás nem tudja az érkező adatokat dekódolni, így ezek az adatok elvesznek. TCP forgalom esetén ez az ütközés fontos lehet, mert a fogadó nem küld vissza nyugtacsomagot (ACK) a küldő félnek és a TCP mechanizmusa miatt a csomagok küldése leáll és csak egy bizonyos időintervallum után próbálkozik újra. Ha a következő csomag is elvész, akkor ez az intervallum növekszik. UDP forgalom esetén ez a csomagvesztés nem okoz ilyen eseményt. Fontos tényező az is, hogy a fizikai eszköz körülbelül 5Mb/s-os gyakorlati adatátvitelre képes. Ebből az eredményből az a következtetés vonható le, hogy lánc-topológia esetén nagyon erősen megnyilvánul a kiegyenlítetlen (unfair) tulajdonság. Látható, hogy a két típusú forgalom a 802.11b alapú rendszereknél ad hoc üzemmódban nem használható egyszerre csak akkor, ha valamilyen minőségbiztosítási módszert is alkalmazunk [3].

Összefoglalás

Munkánk során megvizsgáltuk a legismertebb rádiós helyi hálózatok fizikai és adatkapcsolati rétegeinek eltéréseit és a hálózati topológiában rejlő különbözőségeket. Áttekinthettük a WaveLAN rendszer alapját képező IEEE 802.11b szabvány legfontosabb tulajdonságait. Ismertettük a többugrásos ad hoc hálózatok méréseinkben használt útvonalválasztó protokolljának, az AODV-nek a működését.

Az elvégzett mérésekből kiderült, hogy az adatkommunikáció ad hoc üzemmódban hatékonyabb lehet mint bázisállomás üzemmódban. Azzal magyarázható, hogy bázisállomás üzemmódban egy közbeiktatott egységen keresztül haladnak az adatfolyamok, ugyanazt a közeget használva, a rendelkezésre álló sávszélességet a felére csökkentve. Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy közvetlen adatkommunikációhoz előnyösebb az ad hoc üzemmódot használni.

Fontos kérdés ad hoc üzemmód esetén a nagy hálózatok kialakítása is. Ehhez, mint már említettük, speciális útvonalválasztó protokollra van szükség (a mi esetünkben AODV). Ebben az esetben a mérések során felmerülő legfontosabb probléma a mobil egységek szinkronizációja volt, amit az NTP protokollal valósítottunk meg. A jelentős csomagvesztesség miatt ellenben problémák adódtak, ami maga után vonta az egységek szinkronból való kiesését. A megoldás az, hogy a szinkronizációt ne az adatkommunikációra használt hálózati kártyán oldjuk meg. Észrevehetjük azt is, hogy a küldő és a fogadó egységek számának növelésével a rendelkezésre álló erőforrások csökkennek. Fontos észrevétel az is, hogy ad hoc üzemmódban, lánc-topológia esetén a TCP és az UDP forgalmak nem férnek meg egymás mellett az itt kialakuló jelentős csomagvesztesség miatt.

A mérések a Nagysebességű Hálózatok Laboratóriumban WaveLAN alapú mobil ad hoc hálózatokkal foglalkozó kutatása keretében zajlottak. Ez a kutatás szimulációs és mérési fázisokból áll, az itt ismertetett munka a mérési fázisok első lépése. A mérések elsődleges célja, hogy a szimulációs eredményeket a gyakorlati eredmények tükrében értékeljük és a szimulációs modellt korrigáljuk. Ezáltal eldönthetjük, hogy mely tényezőket kell figyelembe venni a szimuláció során és melyeket nem.

Irodalom

1. Kubinszky Ferenc: Kis hatótávolságú, vezetéknélküli ad hoc hálózati technológiák, Híradástechnika LVI. évf., 2001/8.
2. Shugong Xu, Tarek Saadawi: „Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work Well in Multihop Wireless Ad Hoc Networks?", IEEE Communications Magazine, 2001. június
3. Barta Péter, Farkas Gábor, Kujbus Csaba, dr. Imre Sándor: A szogáltatásminőség biztosítása ad hoc hálózatokban, Híradástechnika LVI. évf. 2001/5.
4. Földesi András, Homolya György, Horváth Cz. János, dr. Imre Sándor: Bevezetés a mobil ad hoc útvonalválasztó protokollok világába, Híradástechnika LVI. évf. 2001/2.
5. Nitin H. Vaidya: „Mobile Ad Hoc Networks: Routing, MAC and Transport Issues", http://www.cs.tamu.edu/faculty/vaidya/
6. Charles E. Perkins: „Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-08.txt

Hírek

Magyarországon a Siemens Mobile a mobil telefonokon kívül drótnélküli (cordless) telefonokkal, GSM modulokkal, valamint ezek tartozékaival képviseli magát. A mobil telefon kínálat jelenleg hatféle készülékből és mobiltelefonos palmtopból áll. A mobil telefonokat mindhárom hazai GSM szolgáltató forgalmazza. Világviszonylatban a Siemens Mobile a mobiltelefonos megoldások teljes választékát kínálja, beleértve a mobil készülékeket, infrastruktúrákat és alkalmazásokat.

❖ ❖ ❖

A 2002-es pénzügyi évben a Cisco Systems Magyarország számos nagyszabású hálózati infrastruktúra-projekt megvalósításában vett részt. A Cisco hálózati eszközeire épül a Matáv DWDM optikai gerinchálózata, a Nemzeti Informatikai Infrastruktúra Fejlesztési Iroda országos gerinc és behívó hálózata, valamint számos hazai nagyvállalat és bank hálózata. A Cisco Systems közreműködött az Egységes Kormányzati Gerinchálózat kiépítésében, valamint az okmányirodai hálózatra épülő szavazatösszesítési, illetve tájékoztatási rendszer fejlesztésében, amely az országgyűlési választások informatikai hátterét biztosította, s amely rendszer az önkormányzati választások hátterét is adni fogja.

Magyarországon a vállalatok elsősorban a költségek csökkentése és az új alkalmazások bevezetésének lehetősége miatt választják az IP telefóniát. Az IP telefonkészülékek a számítógépes hálózaton keresztül kommunikálnak.

Az elmúlt évben jelentős előrelépés történt a vezetéknélküli hálózatok hazai bevezetésében. Ehhez kapcsolódik az a közelmúltbeli bejelentés, hogy az EnterNet internetszolgáltató a Cisco technológiára épülő új szolgáltatást indított, amely telefondíj nélkül kínál internetkapcsolatot az ország számos pontján.

Tovább bővült a Cisco Hálózati Akadémia (CAN) Program, amely ma már 52 akadémián több mint 800 hallgatót képez. A program célja, hogy aktívan közreműködjön a hálózati szakemberek képzésében, ezzel áthidalva a piacon mutatkozó munkaerőhiányt. Az Oktatási Minisztérium és a Nemzeti Szakképzési Intézet, megvizsgálva a Cisco által ajánlott oktatási modellt és tananyagot, a program hivatalos bevezetésének támogatása mellett döntött. A Nemzeti Szakképzési Intézet által koordinált közös munka eredményeképpen a képzést akkreditálták.

A jövő év célkitűzései között a kis- és középvállalati szektor internethasználatának elősegítése is szerepel. A TNS Modus felmérése szerint jelenleg hozzávetőleg a hazai vállalatok 68%-a rendelkezik internet-hozzáféréssel. A vállalatméret szerinti bontást tekintve megfigyelhető, hogy míg a nagyvállalatok szinte mindegyike (96%) használja a netet, addig a középvállalatok 76%-a, és a kisvállalatok 66%-a csatlakozik a hálóra. A felmérések azt mutatják, hogy a hazai kis- és középvállalatok többsége ma még nem látja, hogyan használhatná ki az internet előnyeit, s legtöbbjük nem rendelkezik az internetes megoldásokat üzemeltető szakembergárdával sem. Ugyanakkor egyre többen ismerik fel az internet fontosságát, s az internetben azt az eszközt, amely nagyban hozzájárulhat hatékonyságnövelési és költségmegtakarítási törekvéseikhez.

Harmadik generációs hálózatok Néhány gondolat az üzleti tervek realitásáról

HUSZLICSKA JÓZSEF

stratégiai üzletfejlesztési igazgató
Pannon GSM
e-mail: jhuszlicska@pgsm.hu

Ki ne hallott, olvasott volna már az egyesek szerint a távközlési szektor megrontójáról, mások szerint megmentőjéről, a harmadik generációról. A tőzsdei mutatók mélyrepüléséről, és nagynevű cégek agonizálásáról, a dotcom cégek végletekig való felértékeléséhez és végtelen elértéktelenedéséhez hasonló történetekről.

A résztvevők 100 milliárd eurónál is többet fizettek (pedig voltak országok, ahol ingyenes, vagy jelképes volt a belépés) az új lehetőségekben való részvételért. A kiépítendő hálózatok beruházásigénye ebben az összegben még nincs benne. Hasonló nagyságrendű összegekről beszélhetünk itt is.

Az EU ma úgy tekint erre a technológiára, és a technológia révén bevezetendő szolgáltatásokra, mint a térség versenyképességének előfeltételére, az Információs Társadalom elengedhetetlen feltételére.

Előhang

Évekig az üzemelésért, majd a teljes műszaki csapatért voltam felelős a Pannon GSM-nél. Tudom, hogy a műszaki szakembereink és vezetőik – beleértve jómagamat is –, de a cég többi területén dolgozók is nagy várakozással, érdeklődéssel figyelték, mikor mozdulhatunk rá erre az új, izgalmas technológiára és üzleti lehetőségre. Vizsgálódásaink megindulásakor a szkepticizmus meglehetősen erős volt az egész iparágban. Tulajdonosaink is mind érdekelve voltak valamilyen szinten a 3G bevezetésében. A 3G-s üzleti tervek vizsgálatakor alapvető szempontként mindig a realitásokhoz ragaszkodtunk.

Bevezetés

A harmadik generációs hálózatok bevezetését megalapozó üzleti terveknek ugyanazokon az elveken kell alapulniuk, mint bármilyen tervnek, amelyik akkora beruházásokról és potenciális bevételekről készül, mint a harmadik generációs (UMTS) technológia.

Mint a legtöbb üzleti tervnél, az üzleti terv készítői a leendő piac szereplőinek viselkedéséből, jó esetben a már működő piacok analíziséből, a leendő piac mai szereplőinek viselkedéséből produkálhatnak előrejelzéseket. Kevésbé jó esetben a leendő üzlet résztvevői a számukra rendelkezésre álló legjobb információk alapján becsülik meg a leendő piac várható működését. Ennél is kevésbé jó esetben az üzleti tervek készítésénél a „wishful thinking" is „besegíthet" egy kedvező üzleti terv készítésébe. A gyakorlatban előfordul a vegyes tervezés, amikor a létező piaci, előfizetői szokások analízise alapján felállított modellt becsléseken alapuló feltételezéssekkel módosítanak.

A gazdasági számításoknál kevesebb, a stratégiai döntéseknél már több szerep jut olyan tényezőknek, mint innovativitás, imázs, egy cégnek az előfizetői által való megítélése. Ezek számszerűsítése azonban bármelyik irányban torzíthatja a készítendő üzleti tervet. A szkeptikusabb megközelítésben ezt hajlamosak vagyunk alul értékelni, a túlzottan optimistában irreálisan felértékelni.

Az üzleti terv kiindulási feltételei

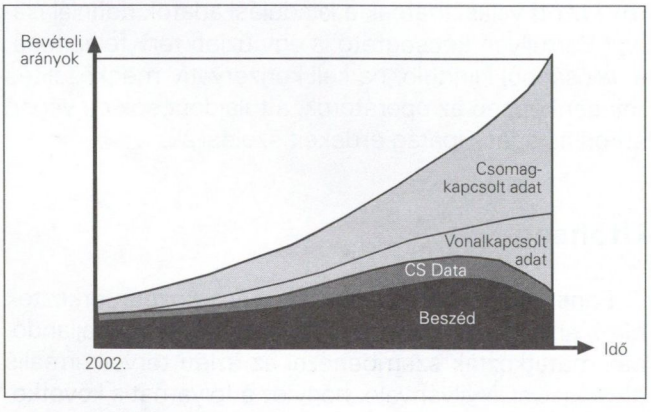
A 3G üzleti modell felállításával kapcsolatos vizsgálódásainknál két fontos alapelvet követtünk a hitelesség érdekében:

1. Csak olyan bevételoldali szolgáltatásokkal számoltunk, amelyekhez feltétlenül szükséges a 3G hálózat kiépítése. Alapvető kérdés, hogy milyen szolgáltatásokat vegyünk fel a bevételek listájára.
   Természetesen egy kissé pártos felfogásban minden olyan szolgáltatást fel kell itt sorakoztatni, ami bevételt generálhat a 3G hálózaton. Ez a felfogás lehet teljesen jogos és megalapozott, mivel a kiépített 3G hálózat által generált forgalom bevételei hivatottak az ide fordított beruházásokat megtermelni. Feltételezésem szerint ez a logika szükséges volt attraktív üzleti tervek készítéséhez.
   Kissé alaposabban megvizsgálva azonban csak azok a szolgáltatások generálhatnak plusz bevételeket, amelyek ma nem elérhetőek az előfizetőknek.

Ha a ma létező szolgáltatásokat a bevételek oldalán szerepeltetjük a harmadik generációs üzleti tervben, akkor ezeket bevétel csökkenésként kell kezelnünk a mai (2G, 2.5G) terveinkben. Ha a 3G tervben szereplő bevételek az itt jelentkező többletbevétel miatt keletkeznek, akkor is csak a bevétel növekménnyel szabad kalkulálni. Ellenkező esetben ugyanazok a bevételek a párhuzamos üzleti tervekben duplikáltan szerepelnek. (Itt most olcsó poén lenne az utóbbi időben könyvelési trükkökön rajta kapott telekommunikációs cégeket említeni, ezért ezt nem is teszem J.)

2. A potenciális, 3G hálózatot igénylő szolgáltatások mennyiségi tervezésénél a ma rendelkezésre álló adatokból, információkból indultunk ki. Hosszú éveken át figyeljük a főleg beszállítói oldalon favorizált adatkommunikációs trendet bemutató exponenciális görbéket. Az első ilyen görbék úgy 1996–97 környékén bukkantak fel. Jellegzetességük, hogy a kezdeti időszakban még volt mértékegység a függőleges és vízszintes tengelyeken. A vízszintes tengelyen az időskála szerepelt, a függőleges tengelyen az adatkommunikáció által generált bevételek aránya a teljes bevételekhez. Ebben az időszakban az adatkommunikációs robbanást 1999–2000-re prognosztizálták. Mértéke változott kb. 40 és 70% között az akkori körülbelül 1–2%-hoz képest.
   Később a görbék jellege nem változott, csak a tengelyek mértékegységei tűntek el. Ekkor az időponttal és az adatforgalom arányszámával is lehetett játszani az olvasók vagy a hallgatók tűrőképességének függvényében.
   Az extrapolálás a körülbelül 1–2%-ról az x (x=20....70) %-ra mindenféleképpen bátor matematikai hozzáállást jelentett és jelent ma is.
   Természetesen tudjuk, hogy nagyszabású piaci elemzések is készültek a fenti extrapoláció alátámasztására. Ezeknek a piaci elemzéseknek a megbízhatóságára itt nem térek ki.

Az 1. ábra a megszokott előrejelzést veti össze a mai átlagos 2G és 2.5G adatforgalommal (beleértve a WAP és SMS forgalmat is !!).



1. ábra A bevételi arányok változásának jóslata

Az operátorok túlnyomó többsége folyamatosan figyeli előfizetőinek mind vonalkapcsolt mind csomagkapcsolt adatforgalmát.

A jelenleg rendelkezésünkre álló méréseken alapuló forgalmi adatok azonban ma még nem mutatnak exponenciális jelleget és főleg mértéket. Különösen, ha figyelembe vesszük, hogy a fenti grafikonon a vízszintes tengelyen 2002 a tengely legeslegelején található. A vízszintes tengely skálája publikációnként változik.

A fenti elmélkedés eredményeként a tervezések legelején nyilvánvalóvá vált, hogy a forgalmi adatok elemzésén alapuló 3G-s becsléseink rendre elmaradtak az iparban publikált reményektől.

Az üzleti terv további realitásai

Az üzleti megfontolások e rövid áttekintésének nem célja, hogy az üzleti tervezés minden lépését végigkövesse. Mindazonáltal érdemes néhány további megfontolást megemlíteni.

A bázisállomások kialakításának nehézségei

Itt érdekes az abszolút tervezett számadatok mellett a relatív beruházási igény és költségek vizsgálata egy meglévő hálózattal rendelkező cég és egy új operátor viszonylatában. Általánosságban az új belépő hátrányban van a már sok ezer állomással rendelkező üzemeltetővel szemben. Magyarországon és persze más országokban is ma meg kell küzdeni a lakosság bizalmatlanságával, és nem utolsó sorban a bérleti díjak folyamatos emelkedésével. Amikor a hálózatok kiépítése és annak ütemezése alapkövetelmény a legtöbb koncessziónál, a gyors engedélyezés nincs mindig összhangban a gyors hálózatépítésre irányuló erőfeszítéssel.

Minden létező operátor alapvető érdeke, hogy a ma üzemelő hálózatát optimálisra tervezze és építse. Mivel ez a követelmény a hálózatok építésének kezdete óta fennáll, ezért a létező hálózatok felhasználása a 3G hálózat építésére jelentős beruházásokat igényel a ma létező operátoroktól is.

A 3G hálózatok megosztási lehetőségei

A harmadik generációs licenszek odaítélésének első hulláma után rögtön felmerült a hálózatok megosztásának igénye. Ezt nyilván a jogok megszerzésére fordított óriási összegek után még hátralévő hálózatépítési beruházási költségek lehetőség szerinti csökkentése motiválta. Alapos számításokat igényel azonban a valódi beruházási igénycsökkenés pontos meghatározása. Főleg az első 3G-s üzleti tervek esetében a résztvevők még nem tudhatták pontosan, hogy hatóságaik milyen mértékű hálózatmegosztást engedélyeznek majd. A másik kérdés nyilván, hogy a versenytársak milyen mértékű hálózatmegosztást szeretnének a verseny során. További bizonytalanságot eredményez ezen a területen, hogy várhatóan néhány operátor menet közben

kiszáll a versenyből. Ezekkel az operátorokkal tervezett hálózatmegosztás az üzleti tervek újragondolását, újraírását kell, hogy eredményezzék.

Internetpenetráció Magyarországon

Felmerül a kérdés, hogy vajon az internetelérés elterjedtsége segíti vagy hátráltatja a harmadik generációs szolgáltatások elterjedését. Mivel ez az elterjedtség egyrészt katalizátora is lehet az igények terjedésének, másrészt viszont egy alacsonyabb elterjedtség az elérést igénylőket rögtön a mobil elérés használatára ösztönözheti, ami megfelelő készülék és szolgáltatásárazással költséghatékonyabb lehet a ma létező lehetőségeknél.

Ennél a pontnál azonban folyamatosan emlékeznünk kell a WAP bevezetésekor megfogalmazott aggályokra. Mint operátorok folyamatosan figyelmeztettük létező és potenciális ügyfeleinket, hogy a WAP nem azonos a mobil telefonon való internetböngészéssel. Ugyanez a körültekintő, megfontolt hozzáállás lesz szükséges a 3G szolgáltatások bevezetése kapcsán, ha el akarjuk kerülni a várakozások és a realitások túlzott mértékű elszakadását.

A WAP elterjedésének korlátozott sikere meglehetősen kevés információval szolgál az alacsony internetpenetráció hatásának vizsgálatára. Ezen a területen is további kutatás és további valóságos adat elemzése szükséges. Ugyanez mondható el mai alacsony forgalom miatt a mobil adatforgalom elemzéséről.

Információs szolgáltatásokra fordított előfizetői kiadások becslése

Ez újból egy olyan terület, ahol felmerül a kérdés: mennyire lehet és mennyire kell a ma rendelkezésünkre álló adatokból kiindulni. Avagy reális-e elfogadni a főként a berendezés szállítók által prezentált előrejelzéseket, amelyek becsléseken vagy különböző mélységű felméréseken alapulnak. Mindkét megközelítésnek vannak előnyei és hátrányai:

Ha a ma rendelkezésre álló adatokból indulunk ki, akkor egy reális, létező előfizetői viselkedés és szokás alapján becsülhetjük a 3–5, esetleg 8–10 év múlva várható fizetési hajlandóságot. Nehéz feladat. Kevés a garancia arra, hogy becslésünk 2–3 év múlva is érvényes lesz.

Ha a sokszor valóban kiterjedt kutatásokon alapuló előrejelzésekből tervezzük az információs szolgáltatásokra fordított előfizetői kiadásokat, mint az üzleti modell bevételi oldalának egyik fontos elemét, akkor biztosnak kell lennünk abban, hogy tudjuk, kik, hogyan, pontosan milyen kérdéseket feltéve kapták a válaszokat.

Mi minden kísértés ellenére az első módszert választottuk. Mivel nem volt igazán lehetőségünk a felméréseken alapuló előrejelzéseket összevetni és ellenőrizni, így a rendelkezésre álló valós adatokból indultunk ki. Itt azt feltételeztük, hogy az elkövetkező években egy átlagos előfizető megközelítőleg a mai költekezési szintjének megfelelő mennyiségű információt lesz hajlandó megfizetni a 3G szolgáltatások választékából.

Ez nyilván egy meglehetősen konzervatív megközelítés. Az összes mai információnk azonban azt támasztja alá, hogy minden eddigi üzleti tervezési ciklusban alábecsültük a hang alapú felhasználók számát és a használat mennyiséget, míg szinte minden adat típusú használat tervezésekor magasabb használati szinttel kalkuláltunk, mint az a valóságban bekövetkezett. Ez a tapasztalat egyáltalán nem operátor specifikus. Elég csak a WAP, a HSCSD, a GPRS, vagy csak a hétköznapi GSM adatátvitelt említeni. Az egyetlen kivétel – a szakma által az adatkommunikációba sorolt – SMS forgalom.

És itt merül fel az olyan sokat említett és olyan sokat áhított „killer application" fogalma. Ez alatt azt a szolgáltatást vagy szolgáltatáscsoportot értjük, amely akkora mennyiségű forgalmat generál, hogy bevételei meghatározó mértékben hozzájárulnak a befektetések és költségek fedezetéhez. Alternatívaként a szolgáltatás olyan alapvető igényeket elégít ki, hogy havi előfizetési díja – forgalomtól függetlenül – jelentősen hozzájárul a bevételekhez.

Érdekes módon a „killer application" fogalma is bejárta a divatba jövetel és a divatja múlt periódusokat. A 3G láz kezdetekor napról napra bukkantak fel a fogalommal kapcsolatos előrejelzések. Ma már inkább beszél a szakma szolgáltatáscsoportokról, amelyek együttesen hivatottak a „killer application" szerepét betölteni.

Egy meglehetősen szigorú definíció szerint a „killer application" az a szolgáltatás, amit minden valószínűség szerint szinte minden előfizető, nap mint nap, állandóan és folyamatosan használna. Ezek a feltételek kellenek az elvárt forgalom generálásához. És ennek a feltételnek a beszéden és az SMS-en kívül még nem sok szolgáltatás tesz eleget.

Összefoglalás

A fenti néhány gondolattal mindössze az volt a célom, hogy jelezzem, a már elkötelezett és az üzleti terveket még csak most összeállító operátorok milyen tág határok között választhatnak a kiindulási adatok definiálásakor. Bármilyen kecsegtető is egy üzleti terv felépítése, a valóságból kiinduló, ha kell konzervatív megközelítés mindenképpen az operátorok, a tulajdonosok és végső soron az egész iparág érdekeit szolgálják.

Utóhang

Ennek az összefoglalónak az írása közben érkeztek hírek arról, hogy nagynevű távközlési cégek hajlandónak mutatkoztak szembenézni az üzleti terveik irreális elvárásaival. Nyilvánvaló, hogy ez a folyamat a következő hónapokban folytatódni fog.

A folytatódás nem csak abból adódik, hogy újabb operátorok juthatnak hasonló következtetésekre, hanem abból, hogy az operátorok bizonyos szintig egymásra is vannak utalva. Ha csak a hálózatok megosztásának a kérdését tekintjük, ez a folyamat definíciószerűen kihat majd a többi leendő 3G operátorra is.

Hivatkozások

Towards the Full Roll-Out of Third Generation Mobile Communications, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL, THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Brussels, 11.6.2002

eEurope 2005: An information society for all, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL, THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS ,COM(2002)263, 28.5.02

Hírek

Az Oracle forráskódként is közzétette egy új technológiáját, a fürtözött Linux-fájlrendszert, megerősítve ezzel elkötelezettségét az olcsó, megbízható, nagyvállalati feladatok ellátásra is alkalmas Linux platform mellett. A forráskód letölthető az Oracle Technology Network (OTN) webhelyről. Az új fürtözött Linux-fájlrendszer fejlesztői verziója várhatóan leegyszerűsíti az Oracle9i Real Application Clusters rendszerek felhasználói számára a fürtözött adatbázis-rendszerek kezelését és felügyeletét.

Az IDC (International Data Corp.) piackutató cég szerint a Linux a leggyorsabban terjedő platform, és 2006-ra várhatóan 174%-kal nő a piaca. Tavaly tizenkétszeresére nőtt az Oracle linuxos adatbázis-kezelő és alkalmazáskiszolgáló szoftverei letöltéseinek mértéke.

A fürtözött fájlrendszere segítségével az Oracle9i felhasználók könnyen megoldhatják fájljaik kezelését a fürtözött környezetben. A szokásos szemantikával nagy adatfájlok kezelhetők és kiterjeszthetők anélkül, hogy ez csorbítaná a rendszer használhatóságát vagy teljesítményét.

❖ ❖ ❖

A Neumann János Számítógép-tudományi társaság 2002-ben Neumann-díjjal jutalmazta Boda Miklós (Ericsson Magyarország) kutatásfejlesztési igazgatónak és Kozma László professzornak a távközlés területén végzett kiemelkedő tevékenységét. A kitüntetést 1976 óta évente egyszer legfeljebb három olyan személy kapja, aki rendkívüli eredményeket ért el a számítástechnikai kultúra elterjesztésének területén.

Boda Miklós az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen szerzett fizikusi diplomat, majd PhD fokozatot szilárdtest fizika témában az Uppsalai Egyetemen 1971-ben. Több különböző kutatási és fejlesztési vezetői pozíció után 1990-ben az ELLEMTEL (Ericsson Telecommunication System Laboratories) keretében az Advanced Technology Research vezetője, majd 1992-1998-ig a Swedish ATM Platform nevű nemzeti program koordinátora és az Ericsson Concern Committee for Artificial Neural Networks and Artificial Intelligence elnöke. 1992-ben a BME-n megalapította a HSN (Nagysebességű Hálózati) laboratóriumot. 1996-ban kezdeményezésére és saját irányításával létrejött a magyarországi Ericsson keretén belül a Trafficlab nevű alapkutatással foglalkozó egység. 1998-tól az Ericsson Magyarország K+F egységének ágazati igazgatója. A Swedish Neuronet Society alapítója és elnöke 1998-ig, a Research Center for Advanced Communications and Computing, North Caroline State Univesity és a Raleigh/USA ipari tanácsadó testületének tagja.

❖ ❖ ❖

A globális szolgáltató Damovo az Európa-szerte nagy sebességű vezetéknélküli helyi hálózati (WLAN) hozzáférési pontokat üzemeltető Megabeam cég rendszerintegrátor- és hivatalos szolgáltató partnere lett. A megállapodás értelmében a Damovo ügyfelei fix áron használható és biztonságos kapcsolattal hozzáférhetnek saját vállalati hálózatukhoz, elérhetik az internetet, olvashatják e-mailjeiket az üzleti csomópontok – repülőterek, szállodák, pályaudvarok – területén található hozzáférési pontok hatókörzetében. A Megabeam egész kontinensre kiterjedő hozzáférési szolgáltatást kínál.

A Megabeam fontos üzleti csomópontokban épített ki hozzáférést. A szolgáltatás hamarosan 12 európai repülőtéren elérhető lesz, és 2002. november végére összesen 65 csomópont fog üzemelni. A hozzáféréshez a WiFi szabványnak megfelelő eszközök, többek között PDA-k és hordozható számítógépek használhatók. A szervezetek számára biztonságos extraneten hozzáférhető online megrendelési, szolgáltatás- és felhasználó-felügyeleti megoldást biztosít.

A szélessávú internet-hozzáférések fejlődése

FÖLDES GÁBOR

ötödik évfolyamos egyetemi hallgató, demonstrátor
Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem (BKÁE)
Médiagazdaságtani és Telekommunikációs Tanszék
gabor.foldes@stud.bke.hu

A tanulmány a lakossági, valamint a kis- és középvállalatok piacán legelterjedtebb két szélessávú platformmal, a kábel modem és a DSL alapú (Digital Subscriber Line – digitális előfizetői vonal) hozzáférésekkel foglalkozik. A cikk a nemzetközi (elsősorban az EU- és az USA-beli) szabályzói gyakorlat és piaci folyamatok napjaink leggyakrabban felmerülő kérdéseiről egy összehasonlító áttekintést ad, és sor kerül a hazai szabályozási és piaci trendek bemutatására is. A vizsgálati időhorizont a kilencvenes évek második felétől napjainkig terjedő időintervallum.

Napjainkban az internet elérésére számos technológiával rendelkezünk, azonban a felhasználói igényeknek leginkább a szélessávú hozzáférések felelnek meg. A nagy sávszélességnek köszönhetően ezen hozzáférések a fogyasztók információkereső, levelező, szórakozási (pl.: filmletöltés), és „professzionális" (pl.: teleworking) igényeit is maradéktalanul képesek kielégíteni, így méltán tekinthetők az információs társadalom kialakítását elősegítő alapvető technológiáknak.

Nemzetközi szabályozási trendek

Az Európai Unió szabályozási gyakorlata

Az Európai Unió Bangemann jelentése a kilencvenes évek elején határozott elképzeléseket fogalmazott meg az információs társadalom, és az ahhoz szükséges infrastruktúra kialakításáról. Már a korai távközlési joganyagokban hangsúlyt helyeztek a nemzeti távközlési monopóliumok részleges oldására, az értéknövelt szolgáltatásokat nyújtó hálózatok összekapcsolására, és a hálózati hozzáférésekre.

A kilencvenes évek második felére a vezetékes telefonhálózatok mellett egy másik infrastruktúra, a kábelhálózatok szerepe is felértékelődött, mint alternatíva a telefon- és szélessávú internetszolgáltatásra. Az inkumbens (történelmi) távközlési szolgáltatók erőteljes érdeklődését a kábelhálózatok megvásárlására és kiépítésére vonatkozóan a nemzeti szabályzóhatóságok korlátozandónak tartották arra hivatkozva, hogy ha egy kézbe kerül két hasonló szolgáltatásokra alkalmas infrastruktúra, akkor a tulajdonosnak nem áll érdekében mindkét infrastruktúra fejlesztése. Az infrastruktúrák közötti verseny előmozdítása érdekében 1999-ben az EU kötelezte az inkumbens távközlési szolgáltatókat, hogy jogilag is különítsék el kábeltelevíziós és telekommunikációs tevékenységeiket.

A törvényi rendelkezés következtében az inkumbens távközlési cégek a meglévő hálózat lehetőségeinek kiaknázása felé fordultak: a már évekkel korábban is létező, ugyanakkor egyre újabb és jobb változatokkal megjelenő DSL technológiák felé. A DSL technológia azzal kecsegtetett ez időben, hogy ezen eljárással fel tudják venni a versenyt a kábelszolgáltatókkal, akik mind gyakrabban hangoztatták a kábelhálózatokon követhető „triple-play" stratégiát (elemei: telefon, kábeltelevízió és szélessávú internet). A kábelszolgáltatók háromelemű bevételforrásra épülő üzleti modellje veszélyt jelentett a csupán vezetékes távközlés és a kapcsolt internetszolgáltatás bevételeivel rendelkező történelmi szolgáltatókra.

A 2001. évi helyi hurok felszabadítása

Az ezredfordulón a korábban elképzelt infrastruktúrák közötti verseny lassúbb kibontakozása, a szabad szolgáltató választás mérsékelt sikere és a szélessávú internet lomha terjedése következtében előtérbe került a helyi hurokra vonatkozó szolgáltatás alapú verseny kikényszerítése. Az EU 2001. január 1-től előírta tagállamainak, hogy szabadítsák fel a helyi hurkokat (ULL – Unbundling of the Local Loop). A helyi hurok átengedésének alapvetően két formája létezik: a teljes átengedés (full unbundling), amikor az inkumbens szolgáltató lehetővé teszi az új piaci szereplő számára az előfizetőhöz vezető vonal kezelését; és a részleges átengedés, amely leginkább hozzáférés megosztása (line sharing) és digitális hozzáférés (high bit stream access) formájában valósul meg. A részleges átengedés esetében a hálózatüzemeltetők osztoznak a vonal kapacitásán.

A nemzetközi tapasztalatok alapján az ULL jelentősége a részleges hozzáférések területén kiemelkedő, amely elsődlegesen a DSL technológia révén valósítható meg. A gyakorlatban az EU a jelentős piaci erővel rendelkező (SMP – Significant Market Power) szolgáltatókat kötelezte az előfizetői hurok megosztására vonatkozó referenciaajánlat (RUO – Reference Unbundling Offer) elkészítésére és annak folyamatos naprakészen tartására. Az EU továbbá előírta, hogy a RUO milyen részletezettséggel, milyen költségszámítási módszerrel készüljön el.

A vezetékes távközlési infrastruktúrához való hozzáférés biztosítása (elsősorban alternatív internetszolgáltatók [ISP] számára) azonban aszimmetrikus szabályozást eredményezett, hiszen a kábelhálózatok üzemeltetőire nem vonatkozott a nyitási kötelezettség. Az inkumbens szolgáltatók a kábelszolgáltatókkal megegyező versenyszabályokat követeltek a szabályzóhatóságoktól, amíg a kábelüzemeltetők azzal érveltek, hogy a kábelhálózatok döntő része csak jóval a távközlési hálózatok kiépülése után készült el, így nekik a megtérüléshez további időre van szükségük.

Az USA szabályzói gyakorlata

Az USA szabályozási környezete lényegében az EU szabályozási tevékenységével megegyező módon alakult az ezredfordulóig: 1996-ban lépett életbe a Távközlési törvény, amelynek szintén egyik sarokköve volt a domináns, inkumbens szolgáltatókra (az USA jog gyakorlatában ILECs – Incumbent Local Exchange Carriers) vonatkozó helyi hurok átengedési kötelezettség.

Az amerikai piacon azonban az ezredfordulóra komoly feszültségeket okozott a kábel és vezetékes infrastruktúra közötti aszimmetrikus szabályozás, mert a kábelen elérhető szélessávú internet messze nagyobb penetrációval rendelkezett, mint a DSL. A feszültséget csak tetézte az alternatív szolgáltatók (CLECs – Competitive Local Exchange Carrieres) csődhulláma és az inkumbens szolgáltatók heves tiltakozása az ellenük felhozott kapcsolódó piacok elméletével szemben, amely szerint: azért szükséges a rájuk nézve hátrányos aszimmetrikus szabályozás, mert különben a telefonpiacon elért domináns pozíciójukat kiterjesztenék a szélessávú internetpiacra is.

Az ezredfordulón úgy tűnt, hogy az FCC (Federal Communication Commission) a két infrastruktúra közötti szabályozási rést azzal igyekszik megszüntetni, hogy a kábelszolgáltatók számára is előírja a hálózatnyitási kötelezettséget. Ennek első lépése az AOL – Time Warner fúzió esetében előírt feltétel, miszerint a Time Warner kábelinfrastruktúrájához az AOL-en kívül más ISP-k hozzáférését is biztosítani kell.

Nemzetközi piaci trendek

Az OECD országokban vizsgáljuk a szélessávú internet-hozzáférések inkumbens – alternatív szolgáltató szerinti megoszlást, majd áttekintjük, hogy milyen fenntartható üzleti modellek kínálkoznak.

Szélessávú internet-hozzáférések megoszlása platformok szerint

A 2001 őszén publikált OECD tanulmány szerint [1] amíg 1999 végén mindösszesen 3,1 millió szélessávú internetelőfizető volt az OECD országokban, addig a 2000. év végén 14 millió és 2001. júniusában már 22 millió. A szélessávú hozzáférések közül a két vezető technológia a kábel modem és a DSL alapú hozzáférés volt (egyéb technológiaként megjelent még: a műholdas [satellite] és vezeték nélküli fix hozzáférés [fixed wireless]). Amíg 1999-ben a kábeles hozzáférések még 84%-os részesedéssel rendelkeztek, addig 2000 végére már csak 55%-os volt az arányuk, és további csökkenés után 2001 közepére 49%-ra esett vissza a kábeles hozzáférések aránya a mind nagyobb mértékben előretörő DSL-lel szemben. Az EU-ban is a DSL előretörésének trendje mutatkozik [2]: 2001 decemberében 52%-os részesedéssel rendelkezett.

Az országok közötti fejlődés azonban korántsem egységes. Az előbb felvázolt folyamat alól az USA szélessávú internetpiaca a legszembetűnőbb kivétel. Amíg 1999-ben még úgy látszódott, hogy a DSL hozzáférések nagysága (0,85 millió elfizető) esetleg utolérheti a kábel hozzáférésekét (1,1 millió) [3], addig 2000 és 2001 folyamán a két platform közötti különbség még markánsabb lett: 2001. június végére 5,2 millió kábeles internet-hozzáféréssel szemben mindössze 2,7 millió DSL-es hozzáférés volt az országban [4].

Jellemzően azokban az országokban – így például Hollandiában – tartja meg előnyét a kábeles internet-hozzáférés, ahol a kábelrendszerek kiépítettsége már a kilencvenes évek közepén nagy volt, és az emberek többé-kevésbé hozzászoktak ahhoz, hogy bizonyos kábeltelevíziós szolgáltatásokért (pl.: ITV, VOD) piaci árat fizessenek. A DSL piac gyors és látványos fejlődése szinte országonként eltérő tényezőkre vezethető vissza: például a németországi szélessávú internetpiac több mint 2,2 millió DSL előfizetővel sikernek tekinthető, ugyanakkor az USA-ban mindenféle unbundling követelmény ellenére is látványos csődhullám söpört végig az alternatív szolgáltatók között.

Műszaki oldalról megközelítve a kérdést a kábelszolgáltatók a kezdeti időszak kevesebb internetelőfizetőjét könnyen el tudták látni internettel, azonban nagyobb előfizető létszám esetén vagy a szolgáltatás színvonala (sebessége) csökkent és/vagy a szükséges új elosztó pontok létesítése miatt a szolgáltatás költsége nőtt meg. Természetesen a DSL platform sem tekinthető műszakilag kifogástalannak, mert bizonyos előfizetői sűrűség fölött az áthallások elkerülésére sebesség leszabályzók léphetnek működésbe, így gyakorlatilag mindkét platform saját fejlődésének szab korlátot.

Szélessávú internet-hozzáférések megoszlása szolgáltatók szerint

Az infrastruktúrák közötti verseny mellett az ezredfordulótól az infrastruktúrán belüli verseny eszközével próbálták elősegíteni a szélessávú internet gyors terjedését. Egy évvel az EU és öt évvel az USA helyi hurok felszabadítása után az elért eredmények kiábrándítóak: az EU-ban az alternatív szolgáltatók (CLECs) aránya 2001 végén az ECTA (European Competitive Telecoms Association) szerint 3%, amíg az FCC szerint USA-ban 7% volt [4, 5]. (Lásd 1. táblázat.) Az EU-ban az egyik végletnek tekinthetőek a dél-európai államok: gyakran abszolút 0%-kal; a másik végletet pedig az északi államok adják: Dániában 44%-os CLECs részesedéssel.

A helyzet valójában még ennél is kedvezőtlenebb: egyrészt nem csak USA-szerte jellemző az alternatív szolgáltatók csődhulláma, hanem kisebb mértékben Európa- szerte is; másrészt pedig (az előző ok következményeként is) az EU 3%-os CLECs aránya nem növekvő, hanem 2001 közepe óta már csökkenő trendet mutat, jóllehet kisebb eltérések mutatkoznak az egyes adatforrások között. A csökkenés alól a sokáig minta értékűnek tartott Dánia sem kivétel már: az inkumbens szolgáltató (TDC) agresszív árpolitikájának köszönhetően 2002 elején 30% körüli arányra esett vissza az alternatív szolgáltatók aránya [6]. *Mindezek alapján erőteljesen kérdéses, hogy mennyiben teremt kedvezőbb helyzetet a helyi hurokra vonatkozó unbundling, mint a korábbi természetes monopólium.*

Fenntartható üzleti modell: „triple-play" stratégia

Kínálati oldalról a platformok és szolgáltatók közötti verseny egyik kulcskérdése az, hogy ki tud egységnyi infrastruktúrára fordított költséggel több bevételforráshoz jutni. Napjainkra már elfogadott a „triple-play" stratégia követésének szükségessége, azonban a kábelszolgáltatóknak a kábelrendszereken alkalmazható IP telefonok, a távközlési szolgáltatóknak pedig a DSL-en továbbítható filmek gyakorlati megvalósítása okoz problémát. Az egyre élesedő versenynek azonban csak azok válhatnak a nyerteseivé, akik valamilyen régebbi vagy mai eljárás segítségével „triple-play" stratégiát követnek, vagy azzal kísérleteznek. A kábelszolgáltatók közül az angol Telewest említhető meg, amely telefon előfizetőinek létszáma meghaladja a kábeltelevízió előfizetőinek számát. Angol szakértők szerint a telefonszolgáltatásból származó bevételek mentették meg az angol kábeltelevíziós szolgáltatót az összeomlástól [7]. A telefonszolgáltatók közül például a spanyol Telefonica emelhető ki, amelyik sikeres kísérleteket folytat „pay-per-view" filmek és digitális TV csatornák eljuttatásában [8].

A szélessávú szolgáltatók számára létezik egy negyedik, de erőteljesen vitatott bevételforrás: a hálózatok megnyitása és nagykereskedelmi értékesítése. Az inkumbens távközlési szolgáltatók számára ez nem egy bevételi opció, hanem az unbundling következtében kötelezettség: költség alapon élni kell ezzel a lehetőséggel. Azonban a kábeltelevíziós szolgáltatók számára nincs ilyen kötelezettség, hanem számukra bevé-

A szélessávú internet-hozzáférések platform és szolgáltató szerinti megoszlása 2002. január

	Kábel internet-hozzáférés	Összes DSL vonal	CLECs DSL vonal	CLECs DSL vonalak aránya
Ausztria	122.000	113.000	1.500	1%
Belgium	225.000	210.000	120	0%
Dánia	31.000	68.800	30.000	44%
Finnország	31.000	69.900	2.500	4%
Franciaország	169.000	400.000	400	0%
Görögország	10.000	0	0	0%
Hollandia	330.000	121.000	5.000	4%
Írország	52.000	0	0	0%
Luxemburg	0	1.215	0	0%
Nagy-Britannia	196.070	136.000	164	0%
Németország	n/a	2.100.000	100.000	5%
Olaszország	n/a	378.550	2.050	1%
Portugália	60.000	2000	0	0%
Spanyolország	67.000	375.000	10	0%
Svédország	263.000	142.953	1.953	1%
EU ÖSSZESEN	1.556.070	4.118.418	143.697	3%
Egyesült Államok	7.100.000	3.900.000	*189.000	*7%
Magyarország	16.500	10.000	**2.000–3.000	** 25%

* 2001. június 30-ai állapot

** Becsült adatok

Forrás: 4, 5, 14, 20 alapján

1. táblázat

telforrást jelenthetnek a piaci alapon megkötött nagykereskedelmi szerződések. Napjainkban az EU-ban több kábelszolgáltató is komolyan foglalkozik az ISP-k előtti nyitás gondolatával. Angliában az NTL jelentette be, hogy a nagykereskedelmi szerződéseket (wholesale offer) kiterjesztik az „utolsó mérföldre" is, Hollandiában pedig a UPC és az Essent próbálkozik az ISP-kel történő hozzáférés-megosztással (line sharing) [9, 10]. A nagykereskedelmi értékesítés gazdaságilag azzal támasztható alá, hogy ebben az esetben a kábelszolgáltató infrastruktúrájának kihasználtsága növekszik, mert a nagykereskedelmi szerződés alapján pénzt kap; ugyanakkor a költségek egy része (pl.: marketingköltségek) nem terheli a kábelszolgáltatót.

Keresleti oldalról a szélessávú internetszolgáltatók visszatérő dilemmája az, hogy mi az a termék, tartalom (content) amely valós vonzerőt képvisel a fogyasztók felé. A már hosszú évek óta – pl.: az interaktív televíziózás esetében is – fennálló problémára napjainkban az a válasz kezd körvonalazódni, hogy talán egyáltalán nincs is olyan termék-szolgáltatás kombináció, ami a fogyasztók összességére vonzerőt képviselne. Az „általános fogyasztó" koncepció helyett fogyasztói szegmensekben kell tovább gondolkodni, és a fizetőképes keresletnek megfelelően kell kialakítani az egyes szegmensek számára vonzerővel rendelkező szolgáltatás- csomagokat. Jelenleg azonban az emberek világszerte szerényebb igény- és alacsonyabb jövedelemszinttel rendelkeznek annál, mint ami a közeljövő tömeges szélessávú internet elterjedéséhez szükséges.

A hazai szabályozási környezet fejlődése

A hazai szabályozás területén az 1996. évi Média Törvényben a kábeltelevíziós hálózatok 2003-ig történő modernizációjára vonatkozó paragrafusban jelent meg az a jogalkotói szándék, hogy a kábelhálózatok szélessávú internet elérésére is alkalmasak legyenek. A nagyobb szolgáltatók azonban ezen kötelezettség nélkül is fejlesztettek volna; amíg a kisebb szolgáltatók – forráshiány miatt – törvényi kötelezettség mellett sem tudnak fejleszteni. A törvény másik vitatott pontja az, amelyik az ország lakosságának egyhatodában maximálta a tv-műsorral ellátható előfizetők számát. Ez az EU-ban is példátlan paragrafus negatívan érintette a kilencvenes évek második felében hazánkban is erőteljes terjeszkedésbe kezdett UPC-t, amely a műsorelosztásra vonatkozó korlátozás miatt az egyhatodos kereten felül nem épített és nem vásárolt hálózatot, hiszen ott nem végezhette volna a bevételeinek több mint 90%-t kitevő műsorelosztást. Ennek következtében az ország – egy akkor még tőkeerős szolgáltató – szélessávú internetre is alkalmas infrastruktúrába való beruházásától esett el.

A kábeltelevíziós piacon 1998–1999-ben éles verseny és jelentős koncentráció alakult ki a UPC és a Matáv leányvállalataként piacra lépett MatávkábelTV között. A hazai szabályzók szeme előtt az EU-ban valott versenyző (szélessávú) infrastruktúrák szükségessége lebegett, így 1999-ben a Távközlési Törvény módosításával kizárták az inkumbens távközlési szolgáltatókat a 30.000 főnél több lakossal rendelkező települések kábelhálózataiból. Azonban a Matáv a Hungária Biztosítóval kötött üzlet segítségével alkalmazkodott az új törvényi előíráshoz, és ezzel tovább folytathatta a kábeltelevíziós piacon történő terjeszkedést. Ezzel a törvényi rendelkezéssel is az volt a baj, hogy egy olyan szolgáltatót akart kizárni a hazai kábeltelevíziós piacról, amely megfelelő pénzügyi háttérrel rendelkezett ahhoz, hogy szélessávú internetszolgáltatásra alkalmas hálózatokat építsen ki.

A 2002-es távközlési liberalizáció

2001 közepén került sor a hazai távközlési liberalizációt elsődlegesen meghatározó Hírközlési Törvény elfogadására. A törvény nem törölte el a kábeltelevíziós piac fejlődését alapvetően befolyásoló egyhatodos küszöböt, és az inkumbens távközlési szolgáltatókat – szigorított feltételekkel – 2004-ig kizárta a kábeltelevíziós piacról. A kábelhálózatok fejlődését tekintve minden maradt a régiben: a UPC nem terjeszkedett tovább, mert nem tudta volna a „triple-play" stratégiát követni (és pénzügyi problémák is felmerültek); amíg a MatávkábelTV azért nem tudott tovább növekedni, mert a Matáv leányvállalata volt. Így összességében a kábelhálózatokra vonatkozólag a szélessávú internet további ugrásszerű fejlesztésének lehetősége megpecsételődött.

A 2002 folyamán bekövetkező liberalizáció a szabad szolgáltatóválasztást, és a távközlési hálózatok esetében a helyi hurok felszabadításának prioritását eredményezte a hazai távközlési piacon (hazánkban sem született döntés a kábelhálózatok kötelező megnyitásáról). A Matávnak a helyi hurok hozzáférésre vonatkozó jóváhagyott referenciaajánlata alapján már költség alapon kell nagykereskedelmi ajánlatot készítenie az alternatív szolgáltatók számára.

Összességében a hazai szabályozási környezet többékevésbé az EU gyakorlatát követte. A kábeltelevíziós piacra (így a kábeles szélessávú internetre is) vonatkozóan egy kedvezőtlen túlszabályozás alakult ki, amíg a hazai DSL piac fejlődésében a 2000 őszén előírt nagykereskedelmi szerződés készítési kötelezettség a verseny elősegítése szempontjából jelentős.

Hazai piaci folyamatok

A szélessávú internet-hozzáférések platformok és szolgáltatók szerinti megoszlása

A kábeltelevíziós internetpiac fejlődése korábbra nyúlik vissza, mint a DSL piacé: a TVNET és a UPC internetszolgáltatása (először csak Broadband néven, majd később Broadband és a magasabb színvonalú chello néven) mellett a MatávkábelTV hálózatain az Axelero (Broadway néven) szélessávú internetszolgál-

tatásai tekinthetők a legelső és mai napig legnagyobb szolgáltatásoknak. A szolgáltatás havi díjai 10.000 Ft körül alakultak, akciók esetében ingyenes csatlakozási lehetőséggel. A TGI felmérése szerint, amíg a 2000. év végén még csak 3.500 fényvezetős internet-hozzáférés volt hazánkban, addig 2001 végére ez a szám már 16.500-ra nőtt [11].

A hazai piacon jelenlevő ADSL platform megjelenésének évében, 2000-ben igen magas ára miatt mindössze néhány száz előfizető jelentkezett a szolgáltatásra [11]. A Matáv nagykereskedelmi ajánlatában hosszabb idejű (3 év), és nagyobb előfizetői létszámra (1000 előfizető) vonatkozó szerződés esetében jelentős (20–33%-os) kedvezményeket kínált az internetszolgáltatóknak [12]. A nagyobb kockázatvállalási hajlandóságot mutató ISP-k ezen megtakarítások alapján, a hasonló időtávra (2-3 év) vonatkozó elkötelezettség esetében belépési díj nélkül havi 6000-8000 Ft-os áron kínálták az ADSL hozzáféréseket 2001 végén. Ebben az időben nem volt ritka, hogy egy alternatív szolgáltató egy-két hónap alatt több száz előfizetőt, sőt az Interware saját bevallása szerint alig több mint egy hónap alatt 1000-t toborozzon [13].

Az inkumbens és az alternatív szolgáltatók megoszlása jelentősen eltér az EU-ban tapasztalt piaci trendektől. Az internet Markets szerint a Matáv-Axelero csoport a hazai DSL piac 2001. végi 10.000 előfizetéséből körülbelül 6.000-rel rendelkezett [14], így legalább 20-30%-os részesedése adódott az alternatív szolgáltatóknak a szélessávú internetpiacon, szemben az EU országaiban mutatkozó 3%-os aránnyal. (Lásd 1. táblázat.) Ennek az EU-ban is igen ritka versenypiacnak a kialakulása a DSL esetében, valószínűleg a HÍF által megkövetelt nagykereskedelmi ajánlatoknak, a Matáv által kínált kedvezményeknek és az alternatív ISP-k magas kockázatvállalási hajlandóságának volt köszönhető.

Hazai üzleti modell: legfeljebb „double-play" stratégia

Hazánkban a vizsgált szélessávú platformok fejlődése még kezdeti szakaszban van, így csak néhány esetben lehet tudatos üzleti modellépítésről beszélni. A kábelszolgáltatók közül a UPC készült a „triple-play" stratégia követésére, azonban a liberalizáció idejére a pénzügyi kifulladás, a technológiai kihívások (VoIP kábelen) és a változatlanul kedvezőtlen szabályzói környezet összességében csak „double-play" stratégiát (kábeltelevízió, szélessávú internet) eredményezett. A távközlési szolgáltatók esetében a filmek továbbítása nem szerepel napirenden, így esetükben is csak „double-play" stratégiáról (telefon, szélessávú internet) beszélhetünk.

A nemzetközi folyamatokhoz hasonlóan, hazánkban is a kábelszolgáltatók számára az előfizetői hurokhoz való hozzáférés nagykereskedelmi értékesítése opcionális jövedelemforrást jelent. Azonban 2001 decemberében a XIII. kerületi TVNET-UPC kábelhálózat átvétellel párosult internetszolgáltató váltási kötelezettség rámutatott arra, hogy a hazai kábeltelevíziós szolgáltatók egyelőre nem kívánnak élni ezzel az üzleti lehetőséggel.

A legtöbb vidéki kis kábel- és internetszolgáltatónál viszont nem lehet stratégiaalkotásról beszélni. Esetükben többnyire nincs is szükség hosszabb távú tervekre, mert a helyi lakosság szerényebb igényeit, szerényebb képességű rendszerekkel megfizethető áron látják el. A kábelrendszeren megvalósítható szélessávú internetet sem törvényi kötelezettség hatására valósítják meg, hanem csak akkor kínálják, ha az adott településen fizetőképes kereslettel rendelkező emberek élnek és/vagy a szolgáltató személyes elkötelezettsége, motiváltsága következtében fontosnak tartja az internet kiépítését.

Dilemmák a szélessávú internetszolgáltatás fejlődéséről és szabályozásáról

A szélessávú internet-hozzáférések elterjedését és a platformok között, de leginkább a DSL-en belül kialakult verseny intenzitását annyi év munkája után világszerte lehangolónak tartják a nemzeti szabályzóhatóságok. A legfejlettebb országban is csak 100 lakosra legfeljebb 10 gyors internet-hozzáférés jut, a versenypiacok elégtelen működését pedig az 5% alatti CLECs arány mutatja a legjobban. Ezen jelenségek láttán még Erkki Liikanen, az EU információs társadalom biztosa is úgy nyilatkozott: „Nem kellene csak azért utakat építenünk, mert az emberek lehet, hogy használni fogják." vagy hogy „Reálisan kell gondolkoznunk. Ha az emberek nem akarják a broadbandet, akkor nem akarják" [5].

A szélessávú internet vártnál lassabb elterjedése mögött összetett technológiai, szabályzói, gazdasági és társadalmi-kulturális okok húzódnak meg. A technológiai kihívások területén, például az unbundlinggal kapcsolatban az a probléma merül fel, hogy jóllehet – elvi szinten – optimális körülmények között működőképes a koncepció, de annak gyakorlati megvalósítására (betelepülés) és folyamatos fenntartására (pl.: javítás során felmerülő költségek megosztása) még nincsenek kiforrott eljárások.

A technológiai kihívásokon túlmenően az aszimmetrikus szabályozás (a kábellel szembeni DSL túlszabályozottsága) szükségességének és megvalósíthatóságának kérdése merül fel. Lehet, hogy a közgazdaságtanban évtizedekig uralkodó természetes monopólium elmélete (utólag) helyén valóbbnak bizonyul, mint az unbundling? – teszik fel a kérdést világszerte.

A gazdasági növekedés lassulása, a szolgáltatók tőzsdei alulértékeltsége mind-mind hátráltatják a szélessávú internet gyors elterjedését. Társadalmi oldalról talán az emberek értékrendje olyan, hogy inkább másra költik azt a havi 30–50 euro körüli összeget, amit szélessávú internetelőfizetésre költhetnének. Egyes felmérések szerint, egyrészt az európaiak több időt töltenek a családjukkal, mint az amerikaiak és jelentős szélessávú internetpenetráció növekedés csak a nagy

városok egyedül álló lakosai körében figyelhető meg. Másrészt az emberek konzervatívabb része fél a technológiai újdonságoktól, és csak a termék életciklus későbbi fázisaiban szánja rá magát az előfizetésre. További probléma az, hogy a jórészt technológia vezérelt növekedésű szélessávú internetszolgáltatáshoz nem kapcsolódik megfelelő tartalomszolgáltatás: például az új filmeket csak mozikban lehet megtekinteni, a régebbi filmekhez pedig a videótékákból egy motoros futár segítségével nem hogy csak olcsóbban, de hasonló idő alatt is hozzá lehet jutni.

Szabályzói válaszok a kihívásokra

USA: infrastruktúrák versenye kerülne az unbundling helyére

Az unbundling és az aszimmetrikus szabályozás kérdésének tisztázására úgy tűnik, hogy az amerikai FCC szánta rá magát először. Szerintük azért van szükség az 1996-os Távközlési törvény felülvizsgálatára, mert az azóta uralkodó bizonytalanság fékezi a beruházások, innovációk elterjedését, így végső soron az információs társadalom kialakulását. Az FCC szerint nem platformonként külön-külön kell szabályozni a szélessávú internetszolgáltatásokat hanem úgy, mint „broadband" internet-hozzáférés [5,15,16].

A változásokkal az inkumbens távközlési cégek nagyon meg vannak elégedve, mert ha már egyszer az új DSL definícióval egy kalap alá kerültek a kábel modemes internet-hozzáféréssel, akkor nem sokáig lesz értelme fenntartani a közöttük lévő aszimmetrikus szabályozást, így várhatóan rövid távon eltűnik, vagy legalábbis csökken a költség alapú nagykereskedelmi szerződéskötési (nyitási) kötelezettség. Ezt a változást minden bizonnyal jól is sejtik, mert az FCC infrastruktúrák versenyeként képzeli el a szélessávú internetszolgáltatás jövőjét, ahol a hasonlóan szabályozott kábeles modem, DSL, műholdas (satellite), vezeték nélküli fix (fixed wireless) és a harmadik generációs mobil készülék versenye alakítaná a piacot [17].

Összességében tehát annak ellenére, hogy az AOL-Time Warner fúzió idején még úgy tűnt, hogy az aszimmetrikus szabályozást a FCC a kábelhálózatokra is kiterjedő unbundling követelményével kívánja rendezni, 2002-ben úgy látszik, hogy miden visszájára fordul: az unbundling helyére infrastruktúrák versenye kerül.

EU: még szigorúbb unbundling követelmények

Az unbundling ügyében az EU hajthatatlannak bizonyul: a lehangoló versenykép láttán először 2001 decemberében Németország, Portugália és Görögország, majd 2002 márciusában Németország, Franciaország, Írország, Hollandia és Portugália ellen kezdeményezett eljárást, mert elmulasztották biztosítani, hogy az inkumbens szolgáltatók teljes és megfelelően részletezett RUO-ja álljon az alternatív szolgáltatók rendelkezésére [18]. Tehát az EU a DSL piac további fejlődését, a verseny kialakulását, és végül is a végfelhasználói árak csökkenését továbbra is az unbundling keretében képzeli el.

Az inkumbens szolgáltatók és a kábelszolgáltatók közötti szabályozási aszimmetriát továbbra is kábelszolgáltatókra történő unbundling követelmény kiterjesztésében látja az EU. Mindezt csak elvi szinten, mert gyakorlatban alátámasztani a jelentős piaci erőt a kábelszolgáltatókkal szemben nem könnyű, és egységes szabályozás EU szinten nem is lehetséges, mert a kábeltelevíziós penetráció igen tág határok között mozog Európában. Amíg a szerény kábel penetrációval rendelkező déli államokban nem nehéz a kábelszolgáltatónak meggyőznie a nemzeti szabályzóhatóságokat, hogy nekik nincsen jelentős piaci erejük, addig Hollandiában és Belgiumban nehezen kérdőjelezhető meg, hogy a szinte minden háztartásban jelenlevő kábelszolgáltatónak jelentős piaci ereje van, így rájuk is vonatkozzon az unbundling követelménye. Természetesen a holland kábelszolgáltatók hallani sem akarnak a (csak?) rájuk vonatkozó költség alapú hozzáférés biztosításának kötelezettségéről [10].

Összességében amellett, hogy az EU is az infrastruktúrák közötti verseny erősítésében látja a kívánatos szabályozási modellt, az egyéb szélessávú platformok jelenlegi igen alacsony elterjedtsége miatt továbbra is az unbundling keretében gondolja a szélessávú internetpiac rövid távú szabályozását.

Konklúziók

Az internet és a hozzákapcsolódó e-szolgáltatások „hype" egy idealista világkép részét képezték a kilencvenes évek második felében. Az elképzelés az volt, hogy a technológiai konvergenciát kihasználva, szabályzói eszközökkel (liberalizáció, ULL) koordinálva segítik elő a szélessávú internetszolgáltatás tömeges elterjedését. Azonban a keresletben még nem indult be egy öngerjesztő folyamat: az emberek szerényebb igényeikkel és kevesebb jövedelemmel rendelkeznek, így az internetre valamint az e-szolgáltatásokra is a vártnál kevesebbet fordítanak. Miután a kereslet alakulása nem igazolta be a korábbi mesés várakozásokat a „forró pénzek" hamar távoztak, a „hype" elszállt és az egész szektor lejtmenetnek indult. A romló pénzügyi helyzet mellett a távközlési cégek is mind jobban ragaszkodtak az elért pozícióik megtartásához, így a szabályozás egyre erőtlenebbnek bizonyult és a helyi hurokra vonatkozó unbundling a legtöbb országban zátonyra futott. A kínálat oldalán adódó probléma egyrészt az volt, hogy a mai napig nem sikerült a szélessávú platformokhoz kapcsolódóan általános vonzerőt képviselő szolgáltatást találni, és lehet, hogy éppen azért mert nincsenek is ilyenek, hiszen az emberek már sokkal inkább egyéniségek, egyedi igényekkel, mint húsz-ötven évvel ezelőtt. Másrészről a sikeres önfenntartó üzleti modellek bevezetését technológiai

nehézségek akadályozzák, mert műszakilag a konvergencia nem valósítható meg egy varázsütésre.

A platformok megoszlásáról elmondható, hogy azokban az országokban, ahol a kábelpenetráció magas, hagyományai vannak a fizetős kábeltelevíziós szolgáltatásoknak, ott várhatóan rövid távon sikerül a kábel alapú internetplatformnak megőriznie vezető szerepét.Azonban azokban az országokban, ahol a kábel hagyományai alacsonyabbak, ott az ADSL további előretörése fog folytatódni. Az alternatív infrastruktúrák hosszú távú jövőjét egyelőre nehéz előre jelezni, de egy idő után mind a kábel, mind a DSL rendszer önmaga fejlődésének és tömeges elterjedésének szab korlátot. Hosszabb távon a fényvezetőkre és a nagy sávszélességű rádiókapcsolatra épülő rendszerek válhatnak a szélessávú internet-hozzáférések legsikeresebb és legelterjedtebb platformjaivá.

Irodalomjegyzék

1. OECD tanulmány [2001]: The development of broadband access in OECD countries. OECD, 2001. október 29. www.oecd.org/pages/home/displaygeneral/0,3380,EN-home-13-nodirectorate-no-no-no13,ff
2. Mullins, Steve [2002]: Providers promote ADSL deals to get broadband cooking. internet Markets, március 15. pp.1–2.
3. Krapf, Eric [2001]: DSL Market: All Shook Out And Nowhere To Go. Business Communications Review, november, pp.56–60.
4. FCC releases report on the avability of high-speed and advanced telecommunications capability. FCC honlap, 2002. február 7. http://www.fcc.gov/Bureaus/Common_Carrier/News_Releases/2002/nrcc0201.html
5. Donegan, Michelle [2002]: Regulators geared for access overhoul. Communicationsweek International, március 4., p.16.
6. Hot copper loses allure as TDC puts steel into offerings. internet markets, 2002. február 15., pp.5–6.
7. McClune, Emma [2001]: Cable triple-play challenge to telcos. Communicationsweek International, november 26., p.6.
8. Hinman, Kristen [2002]: Telefonica ready to leverage ADSL to head off cable threat. Internet Markets, május 10., pp.1–2.
9. Tissot, Marléne [2002]: Cable operators untangle the local loop. Communicationsweek International, február 4., p.8.
10. McClune, Emma [2002]: Whose line is it anyway? Communications International, március, pp.21–24.
11. Bojkott és tüntetés a Matáv ellen. Népszabadság, 2002. május 16., p.17.
12. Pap Melinda [2000]: MATÁV-ADSL: nagykereskedelmi ár szigorú feltételekkel. Média- Kábel-Műhold, december, p. 5.
13. Az internetszolgáltatók egy éve. ISZ.hu honlap. 2002. február, www.isz.hu
14. Mullins, Steve [2002]: Kiwwi set to lose its feathers as investor takes flight. Internet Markets. január 18. pp.1–2.
15. Bischoff, Glenn [2002]: FCC closes regulatory GAP between cable modems, DSL. Telephony, március 25., pp.16–17.
16. Abernathy, Kathleen Q. [2002]: Bringing Regulatory Certainty to the Broadband Arena. Munkaértekezleti beszéd, június 28. http://www.fcc.gov/Speeches/Abernathy/2002/spkqa215.html
17. Spiwak, Larry [2002]: The Four Horsemen of the broadband apocalypse. Communicationsweek International, április 1., p.12.
18. Five countries taken to task over unbundling. Tech Europe. Telecommunications, 2002. április 12., p.I/4.
19. Donegan, Michelle [2002]: Is it time to break all the rules? Communicationsweek International, január 21., pp.8–9.
20. Federal Communications Commisions releases data on high-speed service for internet access. 2002. július 23., www.fcc.gov/wcb/stats.
21. Földes Gábor [2002]: The competition of leading platforms and carriers in residential and SME internet access market, especially between DSL and cable networks. Kézirat, Deutsche Telekom – BKÁE pályázat, február, pp.11–25.

A forgalomelemzés jelene és jövője

DÖMÖTÖR SÁNDOR

ügyvezető igazgató
e-mail: compargo@compargo.hu

PÉTER GÁBOR
távközlési szakmérnök
e-mail: peter.gabor@ln.matav.hu

Egyre több vállalkozást, intézményt érdekel, a távközlő forgalmának nagysága és ára. A mennyiségi kérdések után pedig automatikusan következik az okok felderítésének vizsgálata. Az utóbbi években a vállalati telefonforgalom jellege és a felhasználói szokások érzékelhetően változtak. A továbbiakban a lehetséges forgalom-követési megoldásokat, és a megfigyeléseinken alapuló elemzési tapasztalatokat tekintjük át röviden.

A forgalom követését és regisztrálását – az üzleti, vállalati felhasználók esetében az alközponti rendszerekhez kapcsolódó tarifikációs rendszerekkel lehet legegyszerűbben elvégezni. Ezek a praktikus megoldások oly módon épülnek rá a vállalati hálózatra, hogy működésük során annak képességeit és szolgáltatásait használják fel. Mivel ez a fajta integráltság a plusz lehetőségekhez képest az árat alig növeli, így ezek intenzív piaci terjedésére várhatóan hosszú távon is számtani lehet. A tarifikációs rendszerek elterjedtségét jelenleg a hazai felhasználók körében jelentősnek nevezhetjük.

Az új – néhány évnél nem idősebb – vállalati távközlési rendszereknél a tarifikációs rendszerek gyakoriság meghaladja a 30%-ot, míg a teljes alközponti állomány esetében is 10% fölötti az alkalmazás valószínűsége. (Az egyedi, alközponttól független rendszerek végül nem terjedtek el, előfordulásuk ma már minimális.) Miután a vállalati szféra több mint kétharmada rendelkezik alközponttal, és a beszéd célú távközlésre fordított összegek kb. kétharmadát a fix hálózatra költik [1], így mára a tarifák követése alapvető anyagi szemponttá vált.

Az említett gyakoriság az alkalmazás igényétől, a felhasználó méretétől, forgalmának nagyságától erősen függ, így a kisebb, néhány mellékállomást lefedő rendszerek pillanatnyilag ritkák, míg a növekvő mellékállomás kapacitás-tartomány felé az előfordulási gyakoriságuk meredeken emelkedik. Ebből következően ma az a helyzet, hogy a nagy felhasználók részére az új alközpont telepítések során gyakorlatilag mindig tarifikációs rendszer is felszerelésre kerül.

Rendszertechnikai felépítések

A helyszíni forgalomelemzéshez több lehetőség is rendelkezésre áll, amelynek lényeges pontja a hívásadatok regisztrálása. Az adatgyűjtést jelentősen megkönnyíti, hogy a legújabb fejlesztésű alközpontok általában rendelkeznek egy, SMDR (Station Message Detail Recording) kimenettel. Ezen (sikeres, sikertelen, bejövő, kimenő stb.) hívásonkénti felosztásban általában a következő adatok jelennek meg:

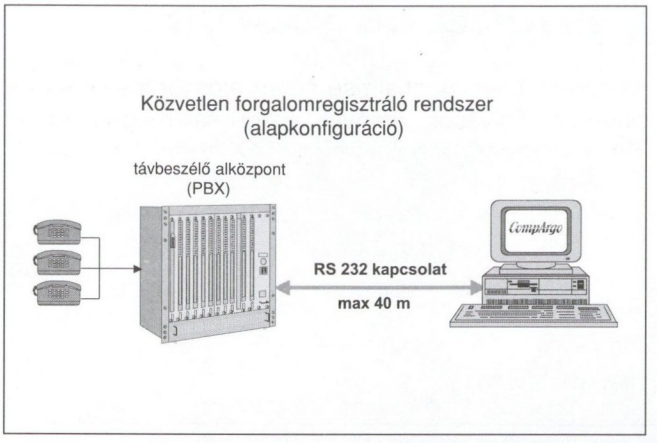
- a beszélgetés dátuma (hónap, nap)
- a beszélgetés kezdő időpontja (óra, perc)
- a beszélgetésnél használt fővonal azonosítója (trönkszám)
- a mellékállomás hívószáma
- a célállomás hívószáma
- a beszélgetés időtartama
- a kimenő hívásoknál megadható számlakód vagy személyi kód (pinkód)
- a tarifaimpulzus vagy ISDN unit.

Bizonyos alközpontok még további információkat (csengetési idő stb.) is tudnak küldeni, amelyekkel szélesebb körű elemzést is lehet végezni.

Az alábbiakban a négy legáltalánosabb adatgyűjtő rendszer elvét ismertetjük, ahol a gyűjtés és kiértékelés azonos számítógépen történik. Ezeknél a rendszereknél nincs tartalék, másodlagos számítógép, mivel ezek többletköltsége általában nem áll arányban az elérhető megtakarítással. (Természetesen van lehetőség ikerrendszer kiépítésére is, de ezek eddig nem terjedtek el.) (1. ábra)

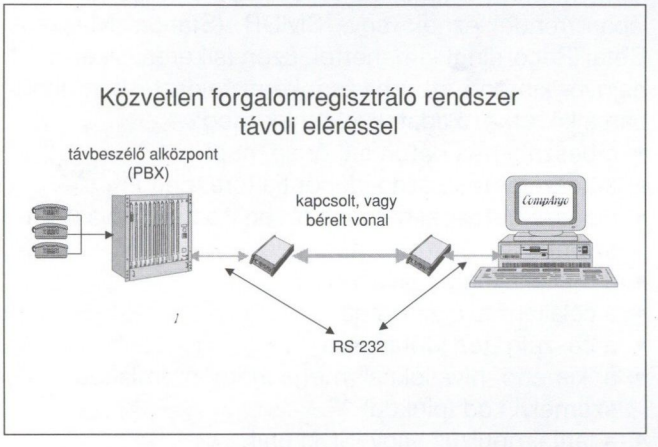
A távbeszélő-alközpont mellé közvetlenül telepített számítógépes rendszer on-line módon folyamatosan gyűjti az SMDR rekordokat, és ezután a helyszínen történik a kiértékelés.

A konfiguráció előnye az egyszerűség és áttekinthetőség, de nagy pontosságú elemzésre alkalmatlan, mivel a rendszer felügyelet nélkül üzemel és bármilyen hiba esetén nagymértékű adatvesztés következhet be.



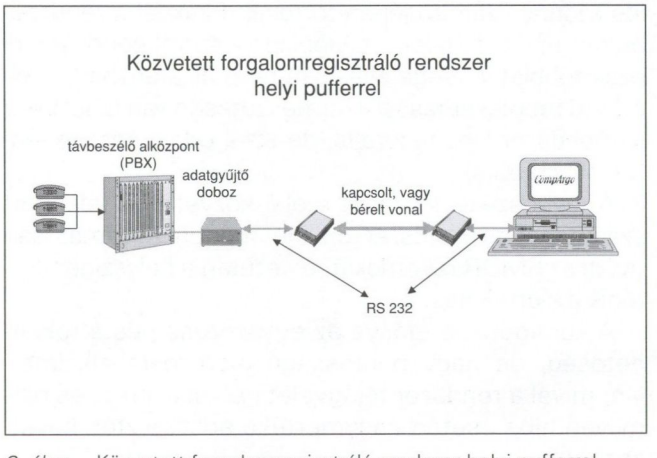
1. ábra Közvetlen forgalomregisztráló rendszer

A tarifikációs rendszerek kialakításánál az egyik leglényegesebb kérdés a megbízhatóság. A rendszer on-line módon, nem reprodukálható adatokat gyűjt, ami azt jelenti, hogy ha valamilyen adatsérülés, vagy -vesztés történik, akkor ez egy végleges állapot. A különböző tarifikációs konfigurációknál lényeges minőségi mutató az adatvesztés valószínűsége.



2. ábra Közvetlen forgalomregisztráló rendszer, távoli eléréssel

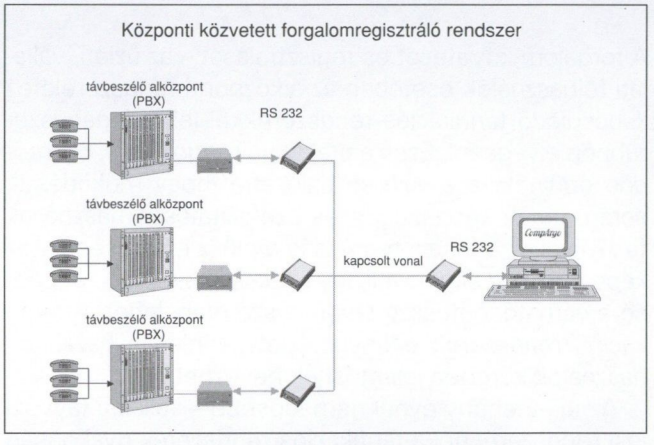
A távbeszélő-alközponthoz modemen keresztül kapcsolódó számítógépes rendszer on-line módon folyamatosan gyűjti az SMDR rekordokat. A konfiguráció előnye a nagyobb pontosság és áttekinthetőség, de kapcsolt vonalnál plusz távközlési költségek lépnek fel. Rendszertechnikailag az 1. ábrán lévő konfiguráció megfelelője, de itt már egy alacsonyabb szintű felügyelet is biztosítható, mivel a rendszert el lehet helyezni, egy (legalább) távfelügyelhető környezetbe (3. ábra).



3. ábra Közvetett forgalomregisztráló rendszer helyi pufferrel

A távbeszélő-alközpont mellé közvetlenül telepített adatgyűjtő doboz on-line módon folyamatosan gyűjti az SMDR rekordokat, amelyeket időszakosan egy távoli számítógépes rendszer olvas ki. A számítógép és a távbeszélő-alközpont közé iktatott adatgyűjtő doboz kiküszöböli a számítógép bizonytalanságait. Ezeknek az adatgyűjtő dobozoknak, amelyek EEPROM-ból épülnek fel, a megbízhatósága egy nagyságrenddel jobb, mint egy Windows-os környezetben működő számítógépeké.

A konfiguráció előnye a nagy pontosság, hátránya a relatíve nagyobb eszközköltség és a kapcsolt vonalnál fellépő távközlési költség. Ugyanakkor itt is biztosítható egy minimális szintű felügyelet.



4. ábra Központi közvetett forgalomregisztráló rendszer helyi pufferrel

A távbeszélő-alközpontok mellé közvetlenül telepített adatgyűjtő dobozok on-line módon folyamatosan gyűjtik az SMDR rekordokat, amelyeket egy távoli számítógépes rendszer olvas ki időszakosan. A rendszerrel egy időben több, egymástól független helyen is tudunk forgalomregisztrálást végezni. A konfiguráció előnye a nagy pontosság és a relatíve alacsonyabb eszközköltség, hátránya a kapcsolt vonal távközlési költsége.

Forgalmi jellemzők

A forgalom-regisztráló tarifikációs rendszerek használata jelenleg elsősorban a díjadatok feldolgozására terjed ki, de kiegészítő programok felhasználásával a feldolgozott adatokból a forgalmi jellemzők is számíthatóak. Ez a fajta utófeldolgozós a további egyedi elemzés alapadatai mellett, általában sok új információt is biztosít a felhasználó számára.

A díjadatokon kívüli főbb meghatározható jellemzők az alábbiak:

1. Forgalom mérete és eloszlása

A lebonyolított forgalom Erlangórában kifejezett értéke, annak átlagos eloszlása jól áttekintő képet ad a vállalat működési ütemére, a távközlő tarifaimpulzusok mennyiségére. (A fizetendő forgalmi díjak is leginkább ezzel függenek össze.) A jelentős technikai változások következtében új forgalmi elemek is megjelennek, hiszen az ISDN kapcsolatok esetében a beszéd és az adat típusú forgalom a feldolgozás során általában különválasztható. Ennek eredményeként a célszerűen külön vizsgálható forgalmi elemek:

- kimenő beszédforgalom,
- kimenő adatforgalom,
- bejövő forgalom,
- külön fővonali irányok (esetleg más-más szolgáltatók irányainak) forgalma,
- VPN jellegű (saját egyéb telephelyek felé menő) forgalom,
- és a házon belüli, belső forgalom.

Ezek megvalósítása természetesen függ az alkalmazott vállalati alközpontok képességeitől, és az létesítés során igényelt beállításoktól. Jelenleg például a felhasználó részére igen sok tanulságot biztosító bejövő forgalom gyűjtése a rendszerek többségében elmarad, míg a belső forgalom gyűjtésére alig létezik példa.

Ugyanakkor terjedőben van egy újabb szegmentálási lehetőség, a *hivatalos és a magán célú hívások* szétválasztása. Ennek a bontásnak és a részhalmazok elemzésének a jelentősége – a vállalati gazdálkodási módszerek fejlődésével arányosan – igen gyorsan növekszik. A vállalatokat a jövőbeni pénzügyi szabályzók is rákényszerítik a magán hívások kezelésére. A jelenlegi tapasztalatok azt mutatják, hogy a vállalati fix hálózaton a hívások kb. 20%-a, a vállalati mobil hálózaton lebonyolított hívások kb. 35%-a magán hívást takar. Ez közel 200 mrdFt forgalmat jelent országosan, és ennek az áfa részét szeretné a költségvetés megkapni.

A szétválogatásra jelenleg két módszert alkalmaznak. Az általánosabb az „önbevallásos" módszer, amikor a hívó eltérő módon vesz városi vonalat, mint a hivatalos beszélgetésnél (pl. a hivatalost „0"-val, míg a magán hívásnál „7"-el veszi a fővonalat ami az SMDR rekordba is beíródik). A másik módszer, amikor a hívott számot elemzik különböző adatbázisokban tárolt ügyfél adatokkal.

A napi eloszlások elemzése során általában a használat ideje is okozott már meglepetéseket. (Például sokan nem szembesültek még azzal, hogy a „napi 8 órás" működésű vállalatoknak is általában van éjszakai forgalma.) Emellett az illetéktelen használatra és bizonyos működési rendellenességekre is fényt deríthet a napi eloszlás analízise.

Másik érdekes jellemző az Erlangban kifejezett forgalom-intenzitás eloszlása, amelynek segítségével a fentiek mellett, a forgalmi okú torlódások, telítési időszakok, esetleges szűk keresztmetszetek is jól behatárolhatóak.

2. Bejövő (érkező) hívások fogadási jellemzői

Az érkező hívások analízise során először a sikeres és sikertelen hívások arányát érdemes meghatározni. Ebből a megoszlásból nem csak az látszik, ha a működésben, az alkalmazott megoldásban valami hiba van, hanem a veszendőbe menő forgalom is becsülhető. Ez – a felhasználó által is néha érzékelt – sikertelen „forgalom" az elérhetőség romlásában mutatkozik meg, amely a vállalat működésének ma is lényeges jellemzője. A klasszikus kezelői kapcsoláshoz képest módosul a kép a beválasztós alközpontok esetében. Itt a hívások egy jelentős részét közvetlenül a hívott mellék fogadja, de a *foglaltság* és a *nem válaszol* esetek miatt képződő „forgalom"-elemek továbbra sem elhanyagolhatóak, így azokra külön – általában a helyszíntől függő – vizsgálati módszereket kell alkalmazni. Ezeknek a hívásoknak egy része a kezelőhöz (vagy kezelői funkciójú mellékállomásokhoz) fut, más részét hangposta (Call-Centeres megoldásoknál az IVR egység) kezeli, de emellett további – általában nem elhanyagolható – része veszteségként jelentkezik. (Szigorúan véve sikertelenségnek csak azt a két esetet nevezzük, amikor a hívó bontása előbb bekövetkezik, mint a hívás fogadása, és amikor a távközlőrendszer a csengetési fázisban időzít.) A *csengetési idők elemzése* mind a sikeres, mind a sikertelen hívások esetében fontos jellemzőket eredményezhet.

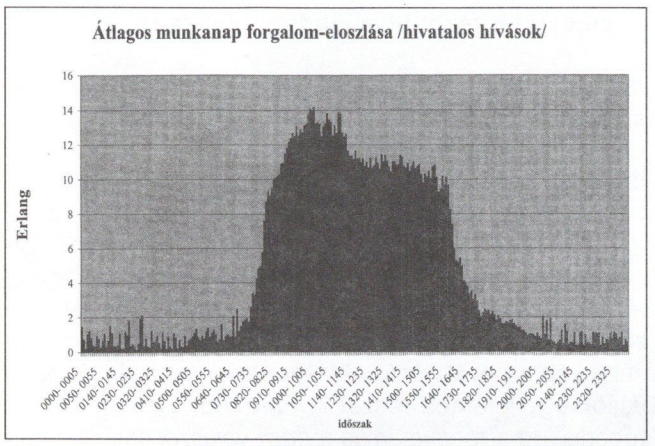
3. Kimenő forgalom diszperziója

A hívások *irányultság szerinti megoszlásának* vizsgálata általában a tarifa- költségekkel függ össze. A helyi, helyközi, nemzetközi vagy fix és mobil fő irányokra való szétbontás után, azok időbeni eloszlása és költségtartalma általában megadja a „miért annyi" kérdésekre a választ. Ezek alapján eldönthető, hogy érdemes-e, és ha igen, milyen belső irányítási eljárást kell bevezetni. Jelenleg erre legelterjedtebb módszer a mobil (GSM) adapterek rendszerbe állítása, de távlatilag több új módszer is terjed, amelyek az alközpontokban található (leastcost) útvonal választó rutinokat használják.

A forgalom mérete, eloszlása

A tarifarendszer adatainak további feldolgozása során elsőként a *napi átlagos forgalom-eloszlási képet* érdemes áttekinteni. Egy mai, tipikus nagyvállalati forgalmi képre láthatunk példát az 5. ábrán.

Ennek egyik – az utóbbi években egyre jellemzőbb – sajátossága, hogy már igazán nincsenek forgalommentes időszakok, és a forgalmasabb napszakok intenzitásbeli eltérése sem olyan jelentős, mint eddig. Másik lényeges változásnak tekinthetjük, hogy a forgalom jelentős része általában a délelőtti időszakra koncentrálódik, így a forgalom-elméletben elterjedt, klasszikus „M-görbe" gyakran már nem is igazán jelentkezik.



5. ábra

Fenti változások mellett elmondhatjuk, hogy az *átlagos tartásidők* a több éve az alközpontos külső forgalomban megfigyeltektől [2] lényegesen nem tér el, ma is a *80-100 másodperces* tartományba esnek. Ha ezeket a jellemzőket a (fő)központos értékekhez [3] hasonlítjuk, akkor a különbség nem jelentéktelen még azoknál a (fő)központoknál sem, ahol viszonylag nagyobb arányban vannak az üzleti csatlakozások. Ennek oka abban keresendő, hogy a jelenlegi elemzéseink a *tarifarendszerrel rendelkező*, jellemzően a nagy kategóriába tartozó felhasználókra terjednek ki, ahol – pont a költségérzékenység miatt – egy-egy kapcsolat ideje nem nyúlik hosszúra. Másik érdekes változás, hogy a hívásfogadást segítő eszközök (pl. integrált hangposta rendszerek) elterjedésével a csengetési idők is rövidültek, így a valaha jelentős meddő „forgalom" [4] is csökkent. Az ISDN adatforgalom növekedésével az átlagos tartásidők természetesen *növekednek*, de ez az eddig tapasztalt beszéd-adat arány esetében nem növeli lényegesen az együttes tartásidő átlagot.

Gyakorlati példák a rendszerek felhasználásával

Egy felhasználó kommunikációs forgalmának vizsgálatakor célszerű az extrém esetekre is elvégezni az elemzéseket. Erre legalkalmasabbak a TOP vizsgálatok, ahol a leghosszabb beszélgetéseket, legtöbbet hívott számokat, legköltségesebb beszélgetéseket, legnagyobb forgalmú melléket stb. vizsgáljuk egy adott időszakban. Ilyen típusú vizsgálatokat közel 10 éve végzünk, és ezen tapasztalatok alapján kívánunk az alábbiakban egy-két gondolatot megosztani.

Szinte triviális, hogy (és ezért nem is kívánunk hosszabban foglalkozni vele) a leghosszabb és legköltségesebb hívások, amelyek az adat típusú hívásokat leszámítva tipikusan magánbeszélgetések, tehát semmi közük sincs a felhasználó tevékenységéhez. Ahol éjszakai szolgálat is van, ott általában jó néhány érték ezen időszakra esik.

Érdekes következtetéseket lehet levonni a „legtöbbet hívott számok" elemzésénél. Ennél a vizsgálatnál a 100 legtöbbet hívott szám kerül összegyűjtésre.

Általános tapasztalatunk a 6. ábrán látható táblázatban foglaltuk össze. Itt három különböző méretű (kis, közepes, nagy) felhasználónál láthatjuk, hogy a teljes TOP lista egyes harmadaiban milyen típusú hívások szerepelhetnek.

TOP lista	kis	közepes	nagy
	felhasználó		
első harmada	banki help desk	banki help desk	198
	magán hívás	198	banki help desk
		magán hívás	saját telephelyek közötti forgalom
második harmada	magán hívás	adatforgalom	hivatalos beszélgetés
	adatforgalom	hivatalos beszélgetés	
harmadik harmada	hivatalos beszélgetés	magán hívás	hivatalos beszélgetés
		hivatalos beszélgetés	magán hívás

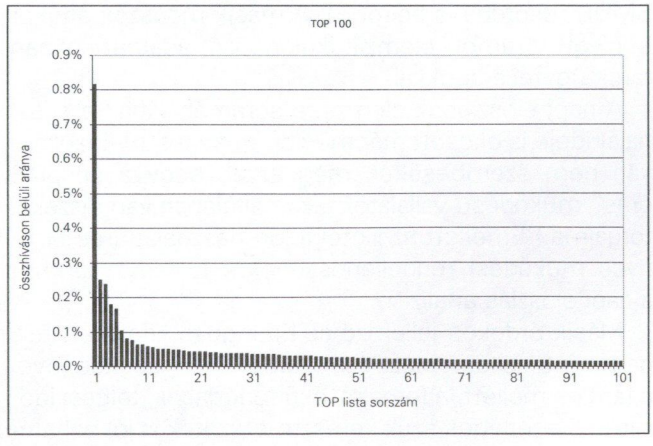
6. ábra

Szinte mindegyik kategóriában vezető a tudakozó, vagy valamelyik banki help desk, melyek tipikusan magán jellegű hívások. A banki help desk hívása egyértelmű, a tudakozót viszont jellemzően nem tudakozódás céljából hívják, hanem kihasználják azt a szolgáltatást, hogy a kérdezett számot kapcsolja a kezelő. Ez a szolgáltatás a szolgáltatónál letiltható, de erről eddig csak kevesen tudnak. A tudakozó hívásának két célja van, az egyik a távbeszélő-alközpont híváskorlátozásának a kikerülése, a másik a hívott szám elrejtése, mivel az SMDR rekordban csak a 198-as szerepel.

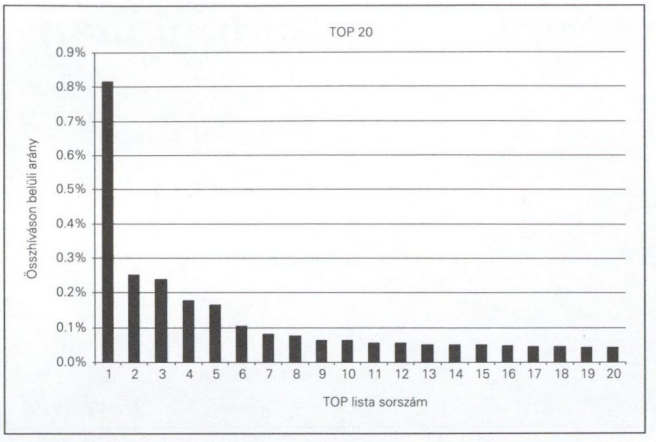
Minden kategóriában meghatározó a magán jellegű hívások nagy száma. Tipikusan a napi rendszerességgel hívott számok kerülnek fel a listára (a hozzátartozó értesítése a beérkezésről, ebédről stb.). Ezeknek az eredményeknek a további kezelését az adott felhasználónak kell meghatározni.

Nagy, több telephelyes felhasználóknál tipikus az egyes telephelyek közötti forgalom. Érdekes, hogy a felhasználók általában még nem vizsgálják egy bérelt összeköttetés lehetőségét.

A 7. ábrán egy 2500 főt foglalkoztató több telephelyes ügyfél „legtöbbet hívott számok" elemzése látha-



7. ábra



8. ábra

tó a teljes havi forgalomhoz viszonyítva , míg a 8. ábrán az előző diagram első része kinagyítva. A felhasználó átlagos havi forgalma 1.100.000 hívás/hó. A vízszintes tengelyen a hívott számok vannak, de adatvédelmi szempontból ezt egy sorszám szimbolizálja. Az első helyen a tudakozó szerepel, majd három banki help desk és a többi az egyes telephelyek közötti forgalom. Ami a két diagramból elgondolkoztató, hogy a teljes havi forgalom közel 1%-a teljesen ellenőrizetlenül történik a tudakozón keresztül és elég magas a belső forgalom.

A fenti fejezetben azt szerettük volna bemutatni, hogy az elemzés egy kis szeletével is mennyi, a felhasználó számára lényeges következtetést lehet levonni.

Utóirat

A cikkben szereplő rendszereknél felmerül a személyes adatvédelem kérdése. A jelenlegi gyakorlat ennél a kérdésnél a következő:

- A forgalom a vállalat eszközein és költségén történik, így jogos a forgalom regisztrálása.
- A regisztrálás tényét kötelező kihirdetni.
- A hívott számok megjelenítéskor letakarva jelennek meg és csak külön jogosultsággal lehet részlegesen, teljesen kitakarni.
- A Hírközlési Felügyelet által „nem azonosítható hívószámként" közzétett hívószámú hívások megjelenítése nem lehetséges.

A fenti elvek betartásával nézetünk szerint nem sérülnek az adatvédelmi jogok.

Irodalom

1. Az első „Hungarian ICT report" alapján: Infokommunikációs piaci mi mennyi..., MODEM KOR 2001. július.
2. Péter Gábor: Az alközpontok külső forgalmi viszonyairól, MAGYAR TÁVKÖZLÉS 1995/10.
3. dr. Buzás Ottó: Távközlési díjpolitika a mérnökök támogatásával, MAGYAR TÁVKÖZLÉS 1999/4.
4. Péter Gábor: Hogyan spóroljunk a csengetéseken? MAGYAR TÁVKÖZLÉS 1996/1.

Közlemény

Együttműködési megállapodást írt alá az Informatikai és Hírközlési Minisztérium (IHM) és a Foglalkoztatáspolitikai és Munkaügyi Minisztérium (FMM)

Az Informatikai és Hírközlési Minisztérium, valamint a Foglalkoztatáspolitikai és Munkaügyi Minisztérium a foglalkoztatás és képzés, valamint az informatika munkaerőpiaci és társadalmi alkalmazásának elősegítése céljából a mai napon közös projektekről és pályázati kezdeményezésekről szóló átfogó együttműködési megállapodást írt alá.

Kovács Kálmán informatikai és hírközlési miniszter és Kiss Péter foglalkoztatáspolitikai és munkaügyi miniszter stratégiai feladatnak tekintik az informatika alkalmazását a foglalkoztatás és humánerőforrás fejlesztésében. Ennek szellemében közvetlenül egyeztetnek az átfogó fejlesztési és finanszírozási feladatokról, az alábbi területeken pedig közös projekt- és pályázati kezdeményezéseket tesznek:

- Együttműködés az informatika- és humánerőforrás-fejlesztés témakörében a stratégiai tervezés szintjén, a Nemzeti Fejlesztési Terv keretei között.
- Közös kezdeményezések a hazai munkakultúra korszerűsítése érdekében.
- Közös pályázatok előkészítése a távmunka hazai elterjesztése, az informatikai feltételek és a különösen hátrányos térségek munkaerő-helyzetének javítása érdekében.
- Közös kezdeményezések a hátrányos helyzetűek informatikai eszközökhöz való hozzáférése céljából. Még 2002-ben meghirdetik első közös pályázatukat a hátrányos helyzetűek munkaerőpiaci lehetőségeinek javítása érdekében.
- Közös pályázatok és rendezvények a távoktatás és az elektronikus tanulás hazai elterjesztésért. („Közháló" fejlesztése.)

Budapest, 2002. szeptember 4.

Sashegyi Zsuzsanna
sajtófőnök

Biztonság és kockázat az információtechnológiában

DR. KRBILOVÁ IZABELA
egyetemi docens
Zsolnai Egyetem Villamosmérnöki Kar,
Információs és Biztonsági Rendszerek Tanszéke, Szlovákia
e-mail:krbil@fel.utc.sk

ONDRÚŠEK PETER
doktorandusz

DR. TARNAI GÉZA
egyetemi tanár
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki Kar,
Közlekedésautomatikai Tanszék

Reviewed

Az információtechnológián (IT) alapuló rendszerek széles körű alkalmazásával kapcsolatban egyre fontosabb e rendszerek biztonságával szemben támasztott igény. A cikkben a biztonság összetevőinek és az elért biztonság értékelési kritériumainak bemutatását követően a biztonsági rendszerek kialakítása, és ebben a kockázatelemzés szerepe kerül tárgyalásra. A cikk a biztonság megvalósítására alkalmas eszközök ismertetésével zárul.

Bevezetés

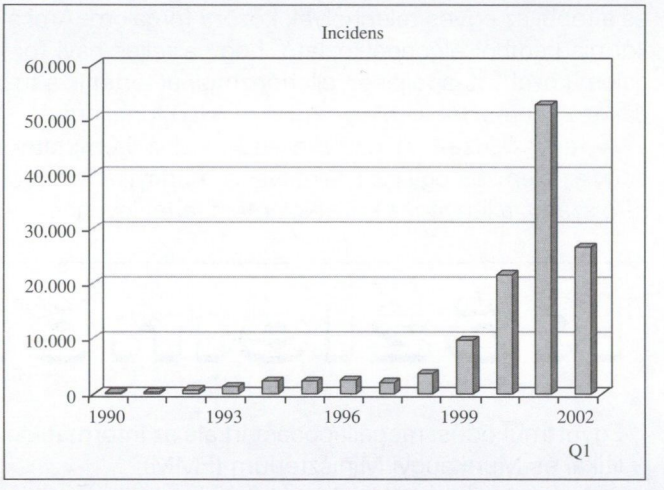
A számítógép-technológia fejlődése, a globalizáció, a számítógép-hálózatok és információs rendszerek gyors elterjedése kapcsán felmerül a kérdés, hogy milyen módon és eszközökkel lehet biztosítani a fontos adatok biztonságát az információs rendszerekben.

Gyakran kényes információkról van szó, esetleg olyan részletes, az alkalmazottakkal, ügyfelekkel, pénzügyi tranzakciókkal kapcsolatos, és különböző egyéb bizalmas adatokról, amelyek a szervezetek és a rendszerek hibátlan működéséhez szükségesek.

Más esetekben biztonságkritikus folyamatirányító rendszereknél (közlekedés, atomerőművek, vegyi üzemek stb.) a rendszer hibás működése az anyagi javak és/vagy a bizalom sérülésén túlmenően a környezet súlyos károsodásához, emberéletek elvesztéséhez, tömeges személyi sérülésekhez vezethet. Hasonlóan, emberek testi épsége vagy akár élete is veszélyben forogh at egy egészségügyi intézmény (pl. kórház) információtechnológián (IT) alapuló irányító rendszerének hibás működése következtében.

A CERT (Computer Emergency Response Team) által regisztrált incidensek (hibaesemények) száma az 1990. és 2001. közötti időszakra és 2002 első negyedévére vonatkozóan az 1. ábrán látható [10]. Az ábra alapján megállapítható, hogy a biztonsági incidensek száma különösen az utóbbi években rohamosan nő. Például, amíg 2001-ben egész évben 52.658 incidens történt, addig csak 2002 első negyedévében már 26.829 esetet jelentettek be a CERT-nél.

Az előbbiek miatt egyre erősebben törekszenek arra, hogy az információs rendszereket biztonsági funkciókkal lássák el, valamint, hogy e rendszereket a megfelelő biztonsági szabványok szerint alakítsák ki és működtessék.



1. ábra A biztonsági incidensek számának időbeli alakulása

Megbízhatóság – Biztonság – Adatbiztonság

A műszaki rendszerek egyik legfontosabb, átfogó jellegű minőségi jellemzője a **megbízhatóság** (dependability), amely a legáltalánosabban egy adott rendszer szolgáltatása iránti bizalomként definiálható. A megbízhatóságnak több összetevője van, amelyek az egyes alkalmazásokban különböző súllyal jelenhetnek meg.

A megbízhatóság

- a szolgáltatás folyamatossága szempontjából **működőképességet** (túlélés, reliability),
- a használatra való készség szempontjából **használhatóságot** (availability),
- a működőképesség fenntartása, illetve helyreállítása szempontjából karbantarthatóságot (maintainability),
- a környezetre gyakorolt katasztrofális hatás elkerülése szempontjából biztonságot (safety),
- a jogosulatlan hozzáférésnek és/vagy az információk jogosulatlan kezelésének megakadályozása szem-

pontjából **védettséget** (adatbiztonság, security) jelent. Ezen összetevők egymástól általában nem függetlenek. Egy IT rendszer biztonsága mindenesetre közvetve vagy közvetlenül függ a másik négy összetevőtől.

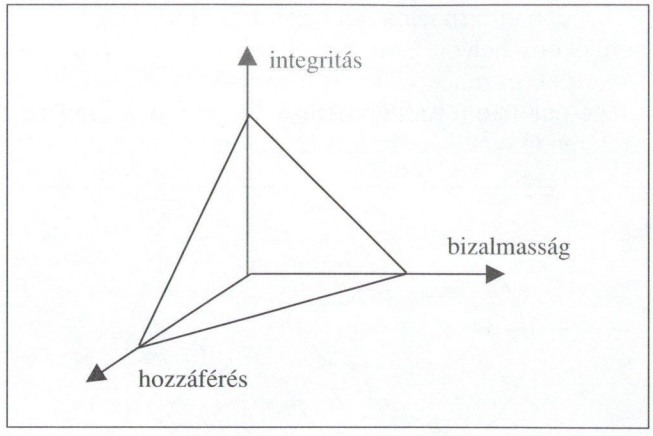
A **biztonság** egy rendszer azon tulajdonságát fejezi ki, hogy a rendszer sem létezésével, sem működésével nem vezet olyan állapothoz, amelyben életveszély, egészségkárosodás, vagyoni kár vagy környezeti ártalom keletkezik. A biztonságot a rendszer létéből vagy működéséből, használatából adódó kockázatok csökkentik. Ezek előfordulási valószínűségét a kockázattal jellemzik. A biztonság növelése tehát kockázatcsökkentéssel érhető el, illetve a teljes biztonság abszolút kockázatmentességet jelentene. Ez az állapot azonban a kockázatcsökkentés ráfordítás-igényessége miatt legfeljebb csak közelíthető, de a gyakorlatban nem érhető el. A közelítés elvárt mértéke a kockázat még elfogadható szintjével határozható meg. Így a gyakorlatban a biztonságot az elfogadhatatlan szintű „kockázatmentesség" fogalmával azonosíthatjuk.

A veszélyeztetéstől való védelem és a kockázat minimalizálása adminisztratív, logikai, technikai és fizikai intézkedések együttes alkalmazásával, az információs rendszer helytelen használatának megelőzésével, felfedésével és javításával érhető el [4].

Általánosságban egy IT rendszer biztonságát három összetevő határozza meg (2. ábra):

- a *bizalmasság* (confidentiality) azt fejezi ki, hogy az információ nem jogosított felhasználók számára nem hozzáférhető (felhasználó alatt ebben a vonatkozásban a rendszer aktív humán és gépi összetevőit értjük); a bizalmasság az **adatvédelem/adatbiztonság** (security) révén érhető el, amennyiben ez utóbbi alatt az információk véletlen vagy szándékos illetéktelen hozzáférés, felhasználás, módosítás, megsemmisítés, elérhetetlenné tétel elleni védelmét értjük;
- az *integritás* (integrity) reprezentálja az információ sértetlenségét, tehát azt az állapotot, amelyben az információ komplett és változatlan, tartalmát bármilyen adatkezelési és transzformációs folyamat során veszteség, módosítás és hozzáadás nélkül eredeti teljességében megőrzi; ez egyebek között azáltal érhető el, hogy az adatok modifikálását, adását és vételét csak jogosított felhasználók hajthatják végre;
- a *hozzáférés* (rendelkezésre állás, időszerűség, timeliness) azt fejezi ki, hogy a kívánt információ kellő időpontban való elérhetősége a jogosított felhasználók számára biztosított, és nem következik be a szolgáltatás elutasítása.

Az előbbi három összetevő mellett a biztonság szempontjából rendkívül fontos a **hitelesség** (authenticity, credibility) is, ami azt fejezi ki, hogy a kapott információ érvényes (tartalmának helyességét ellenőrizték), és valóban a megadott forrásból, engedélyezett módon származik.



2. ábra A rendszer biztonságának összetevői

A rendszer alkalmazásától függően változik a biztonság összetevőinek szerepe. Ha az információs rendszer nagy mennyiségben tartalmaz kényes adatokat, akkor az integritás számára elsőbbséget kell biztosítani a bizalmassággal és a hozzáféréssel szemben. Más rendszereknél mind a három, már említett paraméter azonos fontosságú lehet. Például a banki rendszereknél egyaránt biztosítani szükséges

- az adatok bizalmasságát (el kell hárítani a számlákhoz való nem jogosított hozzáférést),
- az adatok integritását (meg kell gátolni az adatok nem jogosított felhasználók által történő modifikálását), és
- a hozzáférést (a rendszerben keletkező torlódás esetén is biztosítani kell a jogosított felhasználóknak a számlákhoz való hozzáférést).

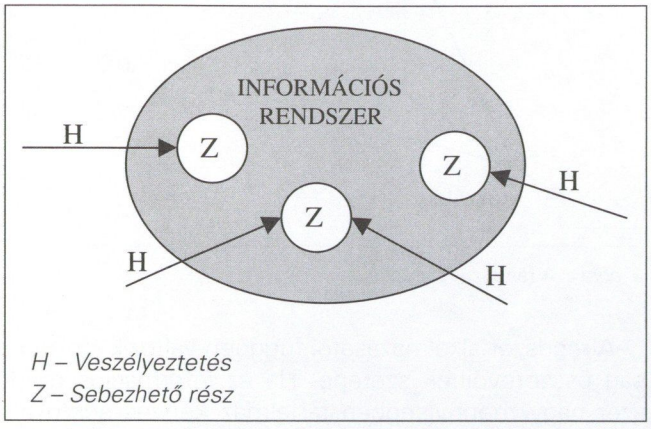
A biztonság kérdése szorosan kapcsolódik olyan fogalmakhoz, mint

- a veszélyeztetés,
- a támadás és
- a kockázat.

Veszélyeztetés vagy fenyegetés alatt a biztonság potenciális megsértését értjük, beleértve a rendszer hozzáférés-védelmének sérülését is. A veszélyeztetések lehetnek [1]:

- objektívek
  - természeti (természeti jelenségek, katasztrófák stb.),
  - fizikális (elektromágneses sugárzás stb.),
  - műszaki (véletlen jellegű hardver meghibásodások);
- szubjektívek
  - nem szándékosak (például emberi gondatlanság a rendszer életciklusának bármely szakaszában, a nem megfelelően kiképzett személyzet vagy a felhasználó hibás tevékenysége),
  - szándékosak
    - a belső környezetből (például valamely jogosított felhasználó jogaival való visszaélése),
    - a külső környezetből (például a hackerek behatolása).

Minden információs rendszernek vannak sebezhető, sérülékeny helyei. Ezek a rendszer olyan részei, amelyeken keresztül a külső környezetből kiinduló veszélyeztetések kedvezőtlen hatással lehetnek a rendszerre, támadhatják a rendszert (3. ábra).



3. ábra A külső környezet hatása az információs rendszerre

Támadás alatt a sebezhető helyeknek a rendszerösszetevők szándékos károsítása céljából történő felhasználása értendő. A támadások révén a rendszer összetevőiben, az ún. aktívákban (információk, adatok, HW, SW) károk keletkezhetnek. A sérülékenységek kihasználása elsősorban az adott rendszer működésének megakadályozásához, visszaélésekhez és illetéktelen hozzáférési jogosultságok megszerzéséhez vezethet.

Kockázat alatt annak valószínűségét értjük, hogy valamely meghatározható veszélyeztetés támadja a rendszert a sebezhető helyeken keresztül:

$R = H \times Z$,

ahol
- R a veszélyeztetés létezésének kockázata,
- H a veszélyeztetés valószínűsége,
- Z a sebezhetőség valószínűsége.

A kockázatot a sebezhető helyek számának redukálásával lehet csökkenteni. Ez a biztonsági politika helyes alkalmazásával érhető el. A biztonsági politikát különböző szabályok, eszközök és intézkedések reprezentálják, amelyek betartásával meghatározható az információs rendszer helyes védelme. A biztonsági politika elválaszthatatlan alkotóeleme a biztonsági célok és kockázatok meghatározása.

Biztonsági kritériumok

Az információs rendszer biztonsági szintjének megítélésére bevezették a biztonsági kritériumokat. A legismertebb biztonsági kritériumok a következők:

- ITSEC *(Information Technology Security Evaluation Criteria)* [8] – nemzetközileg harmonizált kritériumok az információtechnológiák biztonságára. Több nyugat-európai ország (Franciaország, Németország, Nagy Britannia, Hollandia) dolgozta ki 1990-ben. Ajánlásként 1995-ben fogadták el.
  Az elért biztonságot a biztonság mértékének garantálhatósága szerint 7 osztályba (E0 – E6) sorolják. Az E0 osztályt a biztonság elégtelen garantálhatóságához, az E6 osztályt a biztonsági architektúra formális leírása által nyújtott garantálhatósághoz rendelik.
  Ezek az osztályok követelményeket fogalmaznak meg az információs rendszer
  - fejlesztési folyamatára,
  - fejlesztésének környezetére,
  - az üzemeltetési dokumentációra és
  - az üzemeltetési környezetre

  vonatkozóan.
- CTCPEC *(Canadian Trusted Computer Product Evaluation Criteria)* – kanadai kritériumok az információs rendszerek biztonságának értékeléséhez, kiadva 1990-ben a Kanadai Kommunikáció-biztonsági Intézet által.
  A cél az itt biztonsági szolgáltatásoknak nevezett biztonsági funkciók kategorizálására szolgáló, gyakorlatilag használhatóbb kritériumok kialakítása volt.
  A biztonsági funkciókat a következő 4 kategóriába sorolják:
  - bizalmasság,
  - integritás,
  - hozzáférés és
  - könyvelhetőség (elszámolási célból).

  Az egyes funkciók keretében több szintet definiáltak. A biztonsági funkciók magasabb szintje hatékonyabb védelmet biztosít a veszélyeztetésekkel szemben.
- TCSEC *(Trusted Computer System Evaluation Criteria)* [9] – az USA Védelmi Minisztériumának kritériumai, kiadva 1983-ban (ún. „narancs könyv").
  Az értékelt termékeket négy osztályba (A, B, C és D) sorolják. Az A osztály a rendszer verifikált javaslata révén elért biztonságot, míg a D osztály a minimális biztonságot jelenti.
- CCITSE *(Common Criteria for Information Technology Security Evaluation)* – általános kritériumok az információs technológiák biztonságának bírálatára. Az EU országok több éves nemzetközi együttműködésének eredményeként, az ISO szervezet közreműködésével jött létre. Érvénybe lépett 1999. december 1-én. Szokásos jelölése: Common Criteria/ISO IS 15408 [5], [6], [7].
  A biztonsággal kapcsolatos követelmények két típusa:
  - a funkcionális követelmények (az információtechnológiai termékek és rendszerek biztonsági funkciói) és
  - a biztonság garantálhatóságával kapcsolatos funkciók.

  A biztonság garantálhatóságára 7 szintet definiáltak EAL1 – EAL7 (Evaluation Assurance Level). Az EAL1 olyan funkcionálisan ellenőrzött információtechnológiai terméket, illetve rendszert jelöl, amelynél követelmény a hibátlan működés, és a veszélyeztetést

nem tartjuk jelentősnek. Az EAL7 biztonságos IT termék vagy rendszer fejlesztésére vonatkozó formálisan hitelesített/igazolt javaslatot jelent, magas kockázatú környezetben való alkalmazáshoz.

A biztonsági IT rendszerek kialakítása, a kockázatelemzés szerepe

Az IT rendszerek biztonságos megvalósításának egyik alapvető problémája az, hogy minden konkrét rendszer más és más, és így sem a modellt, sem a rendszer kialakítására vonatkozó javaslatot, sem pedig a biztonság megvalósítását nem lehetséges teljes mértékben szabványosítani [2]. Az IT rendszerek összetettek, dinamikusak, interaktívak és tartalmazhatnak hibákat is. További nehézségek adódnak abból, hogy az IT rendszer környezetének viselkedése bizonytalan.

Megjegyzendő, hogy az egyes IT termékek biztonsága önmagában még nem elegendő, az IT rendszer egészét kell megfelelő biztonságúra kialakítani és üzemeltetni. Ehhez ismerni kell azt a környezetet, amelyben az IT rendszert üzemeltetik (veszélyeztetések, támadások, támadók), a kockázatok kezelésének stratégiáit, a biztonsági stratégiák felépítését, a tesztelési stratégiákat és nem utolsó sorban az alkalmazandó technológiákat, mint például a kriptográfia elveit, a hitelesítést, az integritás és a bizalmasság elveit stb.

A biztonságos IT rendszer kialakítására vonatkozó javaslat minden esetben kompromisszum az elérni kívánt biztonság és a megvalósítás költségei között.

Az IT rendszerek biztonságának megvalósításában fontos szerepe van többek között:

- a sebezhető helyek felderítésére szolgáló stratégiáknak és módszereknek,
- a sebezhetőség mérséklésére szolgáló stratégiáknak és módszereknek,
- a veszélyeztetés modellezésére szolgáló módszereknek,
- a támadások osztályozásának,
- a kockázatbecslési módszereknek,
- biztonsági politika kialakítására vonatkozó stratégiáknak és módszereknek,
- a termékek tesztelésének, verifikálásának és értékelésének.

A biztonsági IT rendszerek megvalósításának lépései a következők:

1. a biztonsági cél kitűzése/meghatározása,
2. a veszélyeztetési modell megalkotása,
3. a felelősség meghatározása,
4. a kockázatok elemzése,
5. az alkalmazható biztonsági intézkedések kidolgozása és anyagi értékelése,
6. az alkalmas biztonsági intézkedések kiválasztása és az alkalmazásukból eredő megtakarítás felbecsülése,
7. a biztonsági funkcionalitás definiálása és a szükséges biztonsági mechanizmusok meghatározása,
8. az előbbiek alapján javaslat tétele a megvalósítandó rendszerre,
9. a javasolt rendszer jóváhagyása,
10. a javasolt IT rendszer implementálása.

A biztonsági rendszerek megvalósításában központi szerepe van a lehetséges kockázatok elemzésének. A kockázatelemzés olyan folyamat, amelynek végrehajtása során meghatározzák a biztonsági kockázatok típusait, felismerik az egyes kockázatok jelentőségét és meghatározzák a rendszer azon részeit, amelyekben a biztonsági intézkedéseket alkalmazni szükséges.
A kockázatelemzés lehet:

- áttekintő analízis vagy
- részletes analízis.

Az elemzési folyamat lépései a következők:

- az információs rendszer struktúrájának elemzése,
- azonosítás és a követelmények felismerése, az elemek védelme,
- a veszélyeztetés elemzése és az egyes elemek sebezhetősége,
- a kockázatok meghatározása a vizsgált területre és elemekre,
- a hiányos vagy részben hiányos intézkedések azonosítása,
- a céloktól függően a további eredmények feldolgozása.

A kockázatelemzés eredménye egy olyan analitikus tanulmány, amely objektív alapot szolgáltat annak eldöntéséhez, hogy milyen eljárások szükségesek a továbbiakban a biztonsági intézkedések bevezetéséhez, a kockázatok eliminálásának céljából.

A biztonság megvalósításának eszközei

A biztonsági funkciók biztonsági eszközök révén valósíthatók meg. Ezeket az eszközöket négy kulcsterületbe lehet besorolni:

- hitelesítés (authentication),
- vizsgálat (audit),
- hozzáférés ellenőrzés (access control),
- kriptográfiai módszerek, titkosítás (encryption).

A hitelesítés az alapvető biztonsági funkciók közé tartozik. Ez egy olyan folyamat, amelynek során a rendszer azonosítja a felhasználót, esetleg felhasználó-csoportot, és utána verifikálja a felhasználók azonosságát. A hitelesítés során néhány alapelvet szokásos használni. Ezek

- a tudáson,
- a tulajdonságon és
- a sajátosságon

alapuló hitelesítés.

A *tudáson alapuló* hitelesítés az alapvető, a legrégibb és legelterjedtebb mód. A hitelesített felhasználó

névvel és a csak az általa ismert jelszóval jelentkezik be az információs rendszerbe. Jelszóként általában előre definiált alfanumerikus jelsorozatot (személyi azonosító szám, PIN) használnak. A titkos jelszavakkal szemben több biztonsági követelményt támasztanak. Pl.:

- a jelszó elegendő hosszú legyen, legalább 8 karakter,
- a betűkön kívül, számokat és más jeleket is tartalmazzon,
- ne legyen szokásos szó, vagy kifejezés, amelyet a felhasználó ismerete alapján le lehetne vezetni,
- gyakori módosítása szükséges.

A *tudáson alapuló* hitelesítés előnye, hogy többnyire csak szoftveres úton is megvalósítható, hardver kiegészítést, módosítást nem igényel.
Hátránya viszont

- a nagy sebezhetőség a jelszó elfogásával,
- a gyakori változtatás szükségességéből adódó rövid élettartam,
- a jelszó mintája a rendszerben el kell legyen helyezve és hozzáférhető kell legyen.

Mindez a biztonság oldaláról költséget jelent a szoftver modifikálásánál.

A *tulajdonságon alapuló* hitelesítés kiegészítő megoldásként, a tudáson alapuló hitelesítés megerősítésére használható (például mágnes- vagy csipkártyákkal).

A csipkártyáknál a hitelesítéshez szükséges információkat közvetlenül a kártya tartalmazza. Ez nagyfokú fizikai védelmet nyújt, és ugyanazon a médiumon lehet végrehajtani a megfelelő kulcsműveleteket. Az említtet fizikai védelmen kívül, e megoldás előnye a relatíve nagy memória kapacitás, az összetett belső elrendezés, ami megakadályozza a tartalom másolását, továbbá az egyszerű kártya aktiváció PIN kód megadással és a multifunkcionális alkalmazás lehetősége.

A megoldás hátránya a speciális hardver szükséglete, és a relatíve nagy üzemeltetési költségek.

A mágneskártyáknál a hitelesítő információ a mágneses csíkon van rögzítve, a kártya oldalán. A csík kapacitása nagyon kicsi (néhány 100 bit). A felhasználók azonosításának folyamatát több esetben a személyi azonosító szám megadásával kötik össze. Ennek az egyszerű hitelesítési módszernek az előnye a kártya gyártásának igénytelensége és az adat könnyű beírása a mágneses információhordozóra. Hátrány a kártyán elhelyezett információ könnyű másolhatósága és módosíthatósága, ami az említett könnyű adatbeírásból adódik.

A sajátosságon alapuló hitelesítés (vagy biometrikus mód) a felhasználó fizikai tulajdonságainak a korábbiakban rögzített tulajdonságaival való összehasonlításán alapszik. Ez a mód a legbiztonságosabbak közé tartozik. Azt a tényt hasznosítja, hogy a felhasználó fizikai tulajdonságai egyéniek, és ezért nem hamisíthatók, duplikálhatók, elfelejthetők vagy eltulajdoníthatók.
A jelenleg használatos módszerek:

- az ujjlenyomat kiértékelése,
- a tenyér geometria kiértékelése,
- az arc felismerése, megkülönböztetése,
- az aláírás dinamikájának felismerése,
- a szem recehártya megkülönböztetése,
- a szem szivárványhártya felismerése,
- az emberi hang felismerése.

A fenti biometrikus módszerek előnye az elérhető igen nagy biztonság, ami azon alapszik, hogy szinte lehetetlen az emberi jellemzőket hamisítani. További előnye a felhasználás egyszerűsége és a felelősség vállalásnak magas szintje. A módszerek hátránya a nagy HW- és pénzigény, valamint a nehéz és időigényes megvalósítás. Ez utóbbi abból ered, hogy az információs rendszerek részére a mintákat le kell venni, meg kell határozni a tolerancia határokat és a komparáló algoritmus pontosságát.

A biztonsági audit az adatintegritás megtartásához és a hozzáférés fizikai és logikai vezérléséhez szolgáló további eszköz. Audit alatt ebben a vonatkozásban az információs rendszer letapogatását és aktivitásainak feljegyzését értjük. Ezeket a feljegyzéseket azután a változások azonosításánál, a nem jogosított tevékenységeknél és a rendszer tevékenységének visszamenőleges elemzésénél hasznosítják.

A hozzáférés ellenőrzése során a felhasználóknak az információs rendszerrel végzendő munkájuknak megfelelő hozzáférési jogokat utalnak ki. Ez olyan biztonsági területet jelent, amely azokkal a kérdésekkel foglalkozik, hogy kinek milyen hozzáférése van az információkhoz, milyen operációkat lehet az információkkal végrehajtani, és kinek a számára lehetnek az információk hozzáférhetőek.

A kriptográfiai módszerek és titkosítás alkalmazása akkor szükséges, ha a szándékos támadások valamely nyílt átviteli hálózatban nem zárhatók ki. Ezek általában azok az esetek, amikor a biztonsági átviteli rendszer nyilvános hálózatot, rádió átviteli rendszert vagy nyilvános hálózathoz kapcsolódó átviteli rendszert használ. A titkosítás, mint kriptográfiai módszer, az adatvédelem egyik legrégibb módszere, megfelelő algoritmusok és kulcsok alkalmazásán alapul. A módszer előnye, hogy a nem jogosított felhasználók által az információk nem olvashatóak, és így részükre azok nem jelentenek semmilyen értéket. A módszer hatékonysága az algoritmusok erősségétől és a kulcsok titkosságától függ. Valamely kulcs titkossága az alkalmazott jelsorozat hosszától és a menedzseléstől függ. A kriptográfiai módszerek az integritás érdekében alkalmazott biztonsági kódolással kombinálva vagy önállóan alkalmazhatók.

Biztonsági magok, tűzfalak – számos alkalmazásnál a biztonság eléréséhez használt technikák között szerepel (safety kernels és firewalls) [3].

A biztonsági mag a kritikus rendszer „szívében" alkalmazott, viszonylag egyszerű, általában hardver/szoftver kombinációként kialakított elrendezés. Kis mérete,

egyszerű felépítése egyszerű fejlesztést és tesztelést tesz lehetővé a biztonság megbízható módon történő szavatolására. A biztonsági mag tipikusan biztonsági funkciókat hajt végre, vagy az operációs rendszer kritikus feladatokat ellátó részeiből áll. A megoldás eredményessége attól függ, hogy mennyire védhető a biztonsági mag a működését befolyásoló külső hatások ellen. A védelem lehet

- fizikai (külön hardver) vagy
- logikai (szoftvermag, a többi résztől elkülönítve).

A biztonságkritikus rendszerekben egyes elemek közvetlenül felelősek a biztonságért, míg más elemek szerepe jóval kevésbé kritikus. A kritikus elemek védelmének egyik lehetséges kialakítási módja, hogy a kritikus elemeket egy *tűzfal* mögött helyezik el. A tűzfalak alkalmasak lehetnek a belső hálózat és a külvilág közötti információáramlás árnyékolására, szűrésére, használatuk jelentősen csökkentheti a sebezhető pontok számát.

A hardver szempontjából a tűzfal fizikai akadályt jelent a káros hatásokkal (pl. alkatrész meghibásodások) szemben. A szoftver számára a tűzfal logikai akadályt, sorompót képez: megakadályozza a falon kívüli szoftver hibájának a falon belüli kritikus szoftverre való hatását. Ezt elérendő, a védett területen belül meg kell akadályozni az adatokhoz és a programkódhoz való illetéktelen hozzáférést, és ezek illetéktelen módosítását.

Összefoglalás

A számítógépen tárolt adatok mennyiségének és fontosságának növekedése következtében az adatvédelem és -biztonság az egyik legfontosabb tényezővé vált az informatikában. Biztonságkritikus alkalmazások esetén a rendszer hibás működése az anyagi javak és/vagy a bizalom sérülésén túlmenően a környezet súlyos károsodásához, emberéletek elvesztéséhez, nagyszámú személyi sérüléshez vezethet. A biztonság kívánt és megvalósítható szintje a felmerülő kockázatok elemzése és a kockázatokat az elfogadható szintre csökkentő eljárásokat alkalmazó eszközök révén érhető el.

A cikk a VEGA kutatási program 1/8182/01 regisztrációs számú, "Theoretical foundation for calculation of acceptable risk in control of transport process, especially the railway one" c. témájának keretében, a Zsolnai Egyetem Információs és Biztonsági Rendszerek Tanszékén készült.

Irodalom

1. Hanáček, P., Staudek, J.: Bezpečnost informačních systémů, ÚSIS, Praha, 2000, s. 127, ISBN80-238-5400-3
2. Staudek, J., Staudek, T.: Kudy vede cesta k bezpečnosti na počátku 3. milénia? AFOI 2001
3. Storey, N.: Safety-Critical Computer Systems. Addison Wesley 1996, 453 p.
4. Tomašov, P., Rástočný, K., Zahradník, J.: The task of safety-related and information systems in control of safety critical systems. Proc. of abstracts from conference with international participation, "Cybernetics and Informatics", Piešťany – Slovak Republic, 2001, pp.23–24
5. Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security – Part 1: Introduction and general model ISO/IEC 15408-1. First edition 1999-12-01
6. Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security – Part 2: Security functional requirements ISO/IEC 15408-2. First edition 1999-12-01
7. Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security – Part 3: Security assurance requirements ISO/IEC 15408-3. First edition 1999-12-01
8. Information Technology Security Evaluation Criteria, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 1991, ISBN 92-826-3004-8
9. Trusted Computer System Evaluation Criteria, DoD 5200.28 – STD, Department of Defense, U.S.A., 1985.
10. http://www.cert.org/stats/cert_stats.html

Az ITU tervei az adatbiztonság növelésére

MÉSZÁROS ETELKA

Főmunkatárs

meszaros.etelka@ln.matav.hu

Az önálló számítógépek és a hálózatok viszonya az adatbiztonság vonatkozásában hasonló, mint üzemeltetéskor: a számítógépek, a bennük tárolt adatok majdhogynem tökéletes védelme sem teszi automatikusan a hálózat egészét kielégítően biztonságossá. A megfelelő adatbiztonság azt jelenti, hogy a hálózatban kezelt adatokhoz csak az arra jogosultak férhetnek hozzá, ők azonban mindig gyakorolhatják jogaikat, továbbá az adatokat csak ők változtathatják meg és ennek valamilyen nyoma is marad. A fentiek megvalósítása összetett feladat, a megoldás több terület közös munkájának eredménye lehet.

Az internet átvitelére is alkalmas infocom hálózatok, nagymértékben függnek a távközlési infrastruktúrától: mind a gerinc mind a hozzáférési hálózatoktól. Egyértelmű, világos együttműködésre van szükség a távközlési és internetszolgáltatások működtetői között. Mivel a fent említett probléma számtalan oldalról megközelíthető, nem valószínű, hogy egyetlen nemzetközi fórum meg tudná oldani az információs rendszerek biztonsági problémáját és a hozzáférési hálózatok infrastruktúrájának a védelmét. A hálózat biztonságának kulcsa a helyi hálózat, amelyből kiindulva a biztonság tovább fejleszthető nagyterületű hálózatokra.

Az ITU (International Telecommunication Union – Nemzetközi Távközlési Egyesület) Új Kezdeményező Programot indított, amely a távközlési szektor munkáját gátló eseményeket gyűjti össze, csoportosítja, valamint ezekről az eseményekről rendszeres tájékoztatást készít az ITU főtitkárának. Ezen kívül évente jelentést készít az ITU tanácsának, valamint a meghatalmazottak értekezletének. A bizottsági ülések, munkacsoport összejövetelek témáit, mint pl. a többnyelvű domain neveket, az internet terjedését, az IP kapcsolódást és a harmadik generációs mobil kommunikációs rendszert a főtitkár konzultációk alkalmával szelektálja, megvitatja a tagországokkal és a távközlési szektor képviselőivel. Az együttműködést kihasználva az ITU felkéri a tagokat, hogy fórumokon vizsgálják meg a nagy nemzetközi érdeklődésre számot tartó biztonsági témákat. Az ITU feladata új nemzetközi műszaki szabványok kidolgozása és azok hatásának ellenőrzése. Áttekintheti a számítástechnikai csalási módszereket, az ezek elleni védelemre új megoldásokat vezettethet be és ezeket koordinálhatja, valamint a bevált adatvédelmi eljárások átadásával segítheti a fejlődő országokat.

A téma fontosságára tekintettel a 2002. május 20-án Koreában megtartott ITU fórum a következő kérdéseket vetette fel:

- Van-e valamilyen számszerűsíthető ismeret az internet felépítésének sebezhető pontjairól, összevetve más távközlési hálózattal. Hol van a gyenge pontja?
- Van-e adat az internetes hálózat sebezhetőségéről és annak hatásáról az előfizetőkre? Elvesztik-e a szolgáltató iránti bizalmukat?
- Hogyan növelhető a teljes átláthatóság?
- Szükség van-e teljes körű felügyeletre?
- A hálózati infrastruktúra biztonságtechnológiai vagy politikai probléma, vagy mindkettő kombinációja?
- Szükség van-e egy integrált kockázati stratégiára, beleértve a prevenciót (megelőzést), felismerést, felügyeletet és visszajelzést? Amennyiben igen, mi a szerepe a privát szektornak és a kormánynak?
- Szükséges-e világméretű koordinált, tartós és intézményes infrastruktúra védelem?
- Hogyan tudja az ITU támogatni a tagjait, hogy azok megfeleljenek a kihívásoknak?

A biztonsági kérdéseknél és elvárásoknál Koreában négy területet tárgyaltak:

- hálózati megbízhatóság
- protokollok sebezhetősége
- biztonsági távközlési szolgáltatások
- internetes kereskedelem

Az ITU feladata

Az ITU Tanulmányi Bizottságainak, és a speciális munkacsoportoknak sürgősen át kellene nézniük a jelenleg folyamatban lévő munkákat, amelyek kapcsolatosak az információ biztonságával, védelmével és összehangoltan kell előmozdítania az eredmények gyorsabb közzétételét a hálózati infrastruktúra védelméről, és ha szükséges akkor a biztonsági ajánlásokat meg kell változtatni. Döntő szerepe lehet a résztvevőknek az internetprotokoll sebezhetőségének csökkentésében, a biztonsági szabványok megváltoztatásában és újabb eljárások kidolgozásában, szoros kapcsolatban az internet

Engineering Task Force (IETF) testület munkájával. Ahol már van nemzeti vagy regionális biztonsági szabvány, azt nemzetközi téren is elérhetővé kellene tenni.

Nézzük meg egy ország példáján az információs infrastruktúra biztonság kérdéseit.

Kanadai esettanulmány

Kanada népessége 2001-re elérte a 31 milliót. Az ipar, a kormány és a népesség nagymértékben függ a kommunikációs infrastruktúrától és az országszerte egyre jobban terjedő internetszolgáltatástól.

A nemzeti távközlési infrastruktúra elemei (telefon, adatátviteli vonalak, mobil és PCS rendszerek, műhold, vezeték nélküli szolgáltatások, televízió, rádió) biztosítják, hogy az összes rendszer egyidejű meghibásodása ne következzen be. Vagyis ez azt jelenti, hogy ha bármelyik átviteli szolgáltatás valamilyen okból hibás vagy nem működik, akkor is más szolgáltatások segítségével az információcsere létrejöhet. A telefonszolgáltatás legkritikusabb elemei a telefonközpontok, amiből kb. 3600 található Kanadában és ezek közül némelyik igen nagy méretű. Egy nagyobb méretű katasztrófa, pl. földrengés vagy tűz, akár 100.000 vonalat is megszüntethet egyszerre. Ameddig egy telefonközpontot helyreállítanak, a mobil központok használhatók. A káreseményekre felkészülve az utóbbi időben a központokat biztonsági panelekkel, a központi irodákat pedig generátorokkal és üzemanyaggal látják el.

A kanadai szövetségi kormány hálózati adatvédelmi módszereinek előkészítése

A szövetségi kormány 1996-os együttműködési politikája meghirdette, hogy a különböző hálózaton történő szolgáltatások kapcsolódjanak, és határozott együttműködést javasolt többek között a műsorszórás, a távközlés és a kiadói szektor között. A szövetségi kormány hivatalai intenzív hálózati felhasználók. Ezt figyelembe véve egyúttal a hivatalok kötelesek gondoskodni a saját hálózati biztonságukról (kapcsolódva a kormány biztonsági politikájához). A szövetségi kormánynak két meghatározó hálózati biztonsági területről kell gondoskodnia – a belső hálózati biztonságról és a szolgáltatási hálózati biztonságról. E terület további feladatai közé tartozik az ügyfelek adathálózatainak feltérképezése, hálózati adatforgalmuk sérülékenységének vizsgálata, meglévő hálózati határvédelmi és forgalomirányító eszközeik beállítása, az alkalmazott szabályrendszerek (policy) feltérképezése.

A második fő tennivaló ezen a területen egy olyan független hitelesítő intézmény (trusted third party) kifejlesztése, amelyik hálózati biztonsági szolgáltatásokat nyújt (hozzáférési jogosultságok ellenőrzését, hitelesség), valamint címjegyzékek szolgáltatást. Ez lesz a legkritikusabb létesítménye a kormány online projektjének.

A kanadai kormány bevezette a PKI (Public Key Infrastructure) nyilvános kulcsú infrastruktúrán alapuló technológiát. Ennek segítségével az üzenetek hitelessége, a bizalmasság, a tranzakciók letagadhatatlansága, valamint a felhasználók egyértelmű azonosítása és az erőforrásokhoz való hozzáférés szabályozása valósítható meg. A szövetségi kormányzat minden asztali számítógépen alkalmazza a PKI-t. Számos tartomány követi a szövetségi kormányt és bevezette a PKI technológiát.

Gazdasági vállalatok hálózati biztonsága

Mind a kormány, mind pedig a pénzügyi vállalatok nagymértékben függnek a távközlési szolgáltatás minőségétől. A pénzügyi intézeteknél, a bankszektorban bármilyen hálózati hiba vagy rosszindulatú beavatkozás súlyos következményekkel járhat. Ezért mind műszaki, mind jogi úton is próbálják megakadályozni a számítógépes visszaéléseket, sürgősen szükség van az internethasználati törvény megalkotására és ennek ellenőrzésére. A kereskedelem és a pénzügyek globalizálódása miatt az internet terén is erős nemzetközi összefogásra van szükség.

ITU Szabványok

A TSAG (Telecommunication Standardization Advisory Group) felkért minden tanulmányi bizottságot, hogy aktívan működjenek közre a szabványosítási munkában a csalások kiküszöbölésére. A szabvány fejlesztése lehetővé teszi, hogy figyelemmel kísérjék a hálózati biztonság sebezhetőségét. A hálózati sebezhetőség oka a rendszertervezés gyengesége vagy a hibás alkalmazás lehet. Ezért számos ajánlást készítenek a hálózati protokollok fejlesztésére, továbbá protokollbiztonsági kézikönyveket adnak ki.

Kiemelt fontosságú az IP alapú hálózati biztonság, a biztonsági menedzsment, a biometrikus hitelesítés és mobil biztonsági technológia.

A biometrikus azonosítás a jövő útja, amelynek az a lényege, hogy a jelfelismerő és -feldolgozó processzorok számítási sebességének és az algoritmusok hatékonyságának növelésével a különböző egyedi és hamisíthatatlan jellegzetességek alapján (retinavizsgálat, ujj- és tenyérlenyomat) történő azonosítás is mind inkább előtérbe kerül, főleg a fokozott biztonságot követelő területeken. E technológia terjedésével reménhetően egyre többen alkalmazhatnak valamilyen biometrikus azonosító módszert és eljuthatunk odáig, hogy jelszóhasználat nélkül egy barátságos kacsintással beléphetünk a számítógépes programokba.

A hálózati rendszerek gyors növekedése és a hálózati összekapcsolások növelik a szervezetek függőségét a távközléstől. Ezért az ITU kiemelt figyelmet fordít az adatvédelem biztonságot veszélyeztető támadások gyors, kevés beavatkozást igénylő, személyre szabott elhárítására.

Irodalom

1. ITU News, No.6, July-August 2002-08-27, From Semaphore to Satellite, ITU Geneva, 1965, Larousse, Akadémiai Kiadó, Bp. 1991.

Adatot bányászunk

NAGY BEATRIX HAVASKA

igazgatásszervező

Az adatbányászattal adatbázisokból olyan információkat nyerünk ki, amelyek meghaladják az adatbázisok létrehozásának elsődleges céljait. Egy adott feladat megoldásához elkészített adatbázis nemcsak az adott elsődleges feladat megoldását teszi lehetővé, hanem más további következtetésekre, feladatok megoldására is lehetőséget, alapot teremt. Ebben rejlik az adatbányászat „titka".

A történelem során rengeteg adatbázissal találkozunk, már régről ismerjük az adatbázis és az adatbányászat fogalmát, ha nem is éppen ezzel az elnevezéssel. A régmúlt idők adatbázisai nem elektronikus formában, hanem általában papíron maradtak ránk. A bűnüldözésben, történettudományban a papíron lévő adatokból próbáltak addig nem ismert összefüggéseket feltárni. Sőt egyedi adatbányászati megoldással is találkozhatunk, ilyen Champollion kutatása, aki Napóleon tisztjeként a rosett-i kő háromféle írású feliratai alapján megfejtette az egyiptomi hieroglif írást, az egyiptomi hadjárat néhány hónapja alatt. Vagy megemlíthetjük az ujjlenyomatgyűjtést, ami Angliából terjedt szét az egész világon.

Rengeteg adatunk van mindenről, ettől azonban nem válik egyszerűbbé a tudás megszerzése. Az adat csak nyersanyaga a tudásnak, ami többlépcsős feldolgozás során teheti gazdaggá birtokosát. Az adatból először információt kell előállítani, majd az információból tudást. Ebben az átalakítási folyamatban módszerek és eljárások jelentek meg az elmúlt években és ezek kapták az adatbányászat nevet. A szakirodalom legtöbbször csak a harmadik lépcsőhöz, a tudáshoz rendeli az adatbányász tevékenységet, pedig az a teljes folyamatban megjelenik. Azért hívják ezt a tevékenységet adatbányászatnak, mert ez a legtalálóbb név. A bányászathoz hasonlóan itt is óriási adathegyek mélyén kell ravasz technikákkal feltárni a kincset, és felszínre hozni azt.

A vállalatok, intézmények rengeteg adatot tárolnak. A mindennapi működést megalapozó informatikai rendszerek adatbázisaiban gyűlnek az alapadatok. Az adatok könnyebb kezelésének érdekében adattárházakat is szoktak kiépíteni, amelyek a döntéshozók információs igényeit szolgálják ki. Magyarországon egyes nemzetközi felmérések szerint a tárolt adatok mennyisége az európai átlagnál is dinamikusabban fejlődik.

Az *adatminőség-biztosítás* célja a megbízható adatbázisok létrehozása és folyamatos karbantartása. Az informatikai rendszerek különböző azonosítókkal látják el ügyfeleiket, amelyek alapján nem lehet egymásnak megfeleltetni azokat. Ezzel a módszerrel kiszűrhetők az elavult adatok, és csökken a hibás adatok száma. A törzsadatok megtisztítására az adatbányászat egy különleges eljárását alkalmazzák az ún. linkanalízist, ami több adatbázis rekordjainak egyeztetését, összerendelését jelenti.

Az *adattisztítás* a folyamat egy nagyon fontos részét képezi. Az adatok egyszerűségük és egyértelműségük mögött rengeteg hibát tartalmazhatnak, és avatatlan kézben felbecsülhetetlen kárt okozhatnak. Ilyen például, ha egy ügyféltörzs hibásan írt postai címeket tartalmaz. A közvetlen anyagi káron túl még erkölcsi kárt is okozhat, ha a hibásan kiküldött levél miatt az ügyfél már nem bízik meg bankjában. Éppen ezért a leggyakoribb feladatuk az adatbányászoknak a törzsadat tisztítás.

Az *adattárház* nem más, mint egy egységesített, megtisztított, a felhasználói szempontok szerint rendezett adatbázisrendszer. Az adattárház létrehozás azonban nem előfeltétele az adatbányászkodásnak, csak elősegíti annak hatékonyságát és eredményességét. Számos feladatot lehet az adatbázisokra támaszkodva elvégezni, például ügyfélszegmentálás, lemorzsolódást előrejelző szabályrendszer. Ilyenkor az adatbázisban található adatokat egy bizonyos séma szerint egy elemzői-adatbázisba rendezzük, amelyből aztán az adatbányász módszerek jól hasznosítható eredményeket tudnak produkálni. Mai világunkban, ahol a piac változásaira szinte rögtön reagálnunk kell, elengedhetetlen egy megbízható, elemzésre előkészített adattárház. Az adatbányászat és az adattárházak közötti kapcsolat lehet oda-vissza irányú is. Ennek eredményeképpen a feltárt adatokat beépíthetjük a meglévő tárházba, amellyel aztán bővíteni tudjuk adatbázisunkat, még hatékonyabbá téve azt. A piaci sikerességhez leginkább az adatbányászattal kombinált adattárház alapú döntéstámogatási rendszerek járulnak hozzá.

Az adatbányászat elméleti háttere

Az adatbányászat a 90-es évek második felére önálló szakmává vált. Ennek egyik oka az újonnan kifejlesztett statisztikai és mesterséges intelligencia módszerek, programok, amelyekkel feltárhatóak a rejtett összefüggések. Másik, hogy a gyakorlatban megjelentek olyan nagy teljesítőképességű számítógépek, amelyek adatok millióira tudták – ésszerű költséggel és idővel – lefuttatni ezeket a programokat.

Az adatbányászkodáshoz szükség van a tisztított adatokra és egy adatbányász csapatra, amelynek összetétele a céltól, a szükséges sebességtől és a rendelkezésre álló eszközöktől függ. Egy adatbányászati project elkészítését öt lépcsőre oszthatjuk fel. Az üzleti probléma meghatározása, a felhasználandó adatok értelmezése, az adatok összegyűjtése, az adatok előkészítése, majd végül az eredmény kifejtése.

Az adatbányászati technikák alkalmazásával olyan összetett, általában rejtett, statisztikailag alátámasztott szabályszerűségek felismerésére van lehetőség, amelyek fontos alapot képezhetnek döntések meghozatalánál. A rejtett összefüggések feltárása mellett fontos, hogy ugyanezekkel a módszerekkel egyes szakértői döntések is automatizálhatóak, amivel nemcsak emberi erőforrást, de időt is megtakaríthatunk. Az összefüggések felderítésére kétféle módszert alkalmazhatunk, az egyik az *induktív* módszer, amellyel a speciális tulajdonságok közül egyből kiindulva következtethetünk az általános összefüggésekre, a másik a *deduktív* módszer, amellyel a levezetés az általánostól indul az egyedi felé.

Az indukció során az adatbázist elemezzük mintakeresés céljából. A hasonló információkat osztályba soroljuk, és ez alapján próbálunk szabályosságot találni. Szükséges, hogy a modellek képesek legyenek tanulni. Kétfajta tanulásról beszélhetünk: a felügyelt tanulásról, itt a rendszer a modellekhez már kész szabályok alapján dolgozik, míg a nem felügyelt tanulásnál a programnak magának kell a modellhez megkeresnie az információt és hozzáillesztenie ahhoz. Az induktív módszer lehetőséget ad arra, hogy a modelleket jövőbeni szituációk következményeinek előrejelzésére használjuk, mivel az nemcsak a megfigyelt állapotokra, hanem az előre nem látható állapotokra nézve is tartalmaz megállapításokat. Itt alkalmazzák a tanuló algoritmusokat.

A statisztika szilárd elméleti alapokkal rendelkező tudomány, de az eredmény értelmezéséhez szakember kell. A statisztika és az adatbányászat kapcsolatát leginkább ott ragadhatjuk meg, ahol az adatbányászat során közvetlenebb és automatizált elemzésekre van szükség, azaz a feladatot nem az elemző fogalmazza meg, hanem az adatbányászást végrehajtó rendszer. Egyesek szerint az adatbányászat nem más, mint kibővített statisztika némi mesterséges intelligenciával és tanuló algoritmusokkal.

Az adatbányászat két szokásos szolgáltatói alkalmazása: az ügyfélszegmentáció és a kockázatmodellezés. Bár az adatbányászatot az élet bármely területén lehet használni és használják is, itt csak a szolgáltatói alkalmazását emeljük ki.

Ügyfélszegmentáció: megalapozza és támogatja a hatékony marketing-értékesítési stratégiát és ügyfélkapcsolat-menedzsment (CRM) kialakítását, amelynek az a célja, hogy felismerjék a legjövedelmezőbb ügyfeleket és kielégítsék azok igényeit. A szegmentáció során különböző csoportokra osztják fel az ügyfeleket kulcsfontosságú tulajdonságaik szerint. A szegmensek különböző bánásmódot igényelnek, csoportonként más-más marketingstratégia alkalmazása hoz eredményt. A szegmentálás segít eligazodni az ügyfelek között és kiindulópontot jelent a részletesebb elemzésekhez. A szegmentációt tekinthetjük az ügyfélanalitika legalapvetőbb és egyben legfontosabb elemének. Két alapvető adatbányászati módszer szolgál az ügyfeleket jelképező ponthalmazok csoportosítására: a klaszteranalízis és a neurális háló felügyelet nélkül, öntanuló algoritmusai és önszervező rendszerei.

A kockázatmodellezés: egyik legelterjedtebb alkalmazási területe a pénzintézeteknél a hitelkockázat elemzés. Ebben a folyamatban a pénzintézet a saját ügyfeleiről rendelkezésre álló történeti adatokból kiindulva keresi a kockázatot leginkább befolyásoló tényezőket. A vizsgálat során megkülönböztetünk jó és rossz adósokat. A rossz adósokat vizsgálva alakítják ki a kockázati modellt, amelyet például egy hitelelbírálás során lehet alkalmazni. További alkalmazási terület lehet a csalásfelderítés, amelynek során kiszűrhetőek a gyanús viselkedések, visszaélések.

Ide tartozik még a kampánymenedzsment is, amikor az ügyfelek megtartására vagy új ügyfelek szerzésére irányuló kampányt folytat a cég. Ilyenkor az ügyfelekről szerzett információk alapján határozzák meg az adott kampány célcsoportját.

A szolgáltatói adatbányászat olyan területen hasznosítható, ahol nagy mennyiségű adat halmozódott fel egy meghatározott folyamat során, és abból bizonyos események bekövetkezésének valószínűsége megfelelő elemzéssel kiolvasható. Lehetnek például:

- *Webelemzések:* az internetes oldalak látogatásának elemzésére szolgál. A tipikus bejárási utakat, az egyes vásárlási döntéseket megelőző impulzusokat azonosítják.
- *Egészségügyi alkalmazások:* tipikus „betegutak" elemzése válik egyre elterjedtebbé. A módszer lehetővé teszi, hogy a betegeket a lehető legrövidebb úton, jóval alacsonyabb költséggel a megfelelő szakterület felé irányítsák. Így optimálható a szükséges vizsgálatok sorrendje.
- *Adatgazdagítás, integráció:* terméklisták egységesítése, ügyfélhierarchia-építés, szkennelt adatok javítása, közterületi címek egységesítése.
- Levéltárak, államigazgatási szakterületek, kriminológia területein jelentkező adatok bőven kínálnak lehetőséget a sokoldalú variációkhoz.
- *SQL vs. adatbányászat:* olyan komplex összefüggések, minták feltárásában nyújt segítséget, amelyek egyszerű vagy multidimenzionális lekérdezésekkel

egyáltalán nem kinyerhetőek, illetve csak nagyon bonyolult módon.
- *Telekommunikáció:* árérzékenység, ügyfélkommunikációs szokások, hálózat-terhelésoptimalizálás.
- *Kereskedelem:* forgalom előrejelzés, fogyasztói kosár elemzés.
- *Biztosítók:* kockázat-elemzés.

Az adatbányászatban alkalmazott modellek

Vannak *előrejelző modellek* és *leíró modellek*. Az előrejelző modellek olyan adatokat alkalmaznak, amelynek következményei ismertek. A leíró modellek esetében mintákat, kapcsolatokat írnak le, amelyeket fel lehet használni a döntéshozatalhoz.

A megoldandó feladat szempontjából hat különböző modellt ismerünk. Az *osztályozás:* az adatokat jellemzőik szerint csoportosítja, majd a felhasználásnál ezek szerint osztja el a további információkat. A *regresszió számítás:* statisztikai eljárás, lineáris modelleknél használják, ezeknél általában a feltárandó összefüggések nem lineárisak, vagy nem tudjuk, hogy milyen jellegűek. Az *idősorelemzés:* előrejelzési feladatai mindig kibővülnek az újabb problémákkal. A *klaszterezés:* az adatbázisban tárolt információk csoportosítását végzi, úgy, hogy a csoportok különbözzenek egymástól, az egy csoportba tartozó adatok viszont hasonlóak legyenek. A *kapcsolatelemzés:* olyan adattételeket keres, amelyek egyszerre vannak jelen eseményekben vagy az adatbázis egy rekordjában. A *sorozatkeresés* hasonló a kapcsolatelemzéshez azzal a különbséggel, hogy itt az adatok különböző időből származnak.

Az adott modelleket a következő módszerekkel tudjuk kielemezni

- Egyesítés vagy kapcsolódó elemzés, asszociáció: ennek célja, hogy az adatbázisból kikeressék a nagy valószínűséggel ismétlődő tranzakciókat.
- Sorrendi minták: ugyanazon alapadatokra támaszkodnak, mint az előző elemzés, de időtartam szerint összegyűjtött történeti vizsgálatra szolgálnak.
- Osztályozás: példák alapján szabályok felállítása.
- Csoportosítás, klaszterezés: hipotézis nélkül csoportosítja az adatokat ismeretlen összefüggések, csoportok felfedezése céljából. A csoportok képzése az adatelemek hasonlóságán és nem előre kialakított kritériumok alapján történik.

A linkanalízis felhasználásának egyik legjobb példája az egykori Szovjetunió területén eltűnt, eltemetett magyar katonák, hadifoglyok adatainak feldolgozása. A Hadtörténeti Múzeum 60 év után jutott hozzá ezekhez az anyagokhoz, azonban megoldhatatlannak látszó feladatot jelentett, hogy a szovjet nyilvántartásban a magyar nevek cirill betűvel szerepeltek. Így az összevetés a magyar honvédelmi adatbázisokkal megoldhatatlannak tűnt. A szakértők a magyar honvédség 630.897 sorból álló második világháborús nyilvántartásával – a linkanalízis módszerét alkalmazva, rejtett összefüggéseket feltárva – vetette össze az Oroszországból származó 58.781 karton értelmezett és elektronikus formában rögzített adatait. Két hónapos munka során az ismétlődések kiszűrésével 27.000 eddig eltűntnek vélt ember valódi sorsát tudták kideríteni.

A szakértők az adatbányászati tevékenységet hat fő lépésben határozzák meg. A lépések sorrendje gyakran felcserélődik, sőt egy lépés után egy előzőhöz is vissza lehet térni.
A lépések a következők:
1. Az üzleti környezet megismerése: ismeretek, összefüggések megszerzése, felismerése.
2. Az adatok megismerése: itt gyűjtik össze a bemenő adatokat. Meg kell vizsgálni az adatok minőségét, esetleges hiányosságait.
3. Az adatok előkészítése: az adatbázis megtisztítása a hibás adatoktól.
4. Modellezés: a paraméterek optimális értékének meghatározása.
5. Kiértékelés: Az eredmények összefoglalása egy kutatási dokumentumban.
6. Alkalmazás.

Az adatbázisok könnyebb kezelése érdekében olyan módszert is alkalmazhatunk, ami könnyebbé teszi az elsődleges adatok felületes megismerését, ez az adatvizualizáció: Az adatbányászati folyamat elején ez jól használható képet ad a vizsgálat irányára. A probléma az, hogy 2, legfeljebb 3 dimenzióra korlátozott, pedig az adatbányászatban általában több szempontot is használnak.

Az első adatbányász eljárások a statisztikusok íróasztalán születtek meg, a hasonló tartalmú adatok csoportosításának és csoportjai felismeréseinek módszereinél. Ezek a szűrő, hasonlóságokat kiemelő eljárások részben már a 100-200 évvel ezelőtti matematikában is ismeretesek voltak, de csak a számítástechnika fejlődése tette lehetővé a nagy adattömegek megbízható kezelését. A növekvő fejlődés ellenére sem elhanyagolható az emberi tudás részvétele az eljárásokban. Szükség van az emberi intuícióra, ami ki tudja válogatni az adott feladathoz a megfelelő módszert.

A kaliforniai Berkeley Egyetem tudósai szerint az emberiség eddig 18 exabyte (a 18 után 18 nullát kellene írni) mennyiségű információt produkált. Ennek 12%-át 1999-ben. A bányászok előtt az adatok mennyiségével exponenciálisan növekvő elemzési lehetőség áll, de a számítási kapacitások és a rendelkezésre álló idő véges, ezért meg kell keresniük, az adott feltételek melletti az optimumot.

Irodalom

1. Kőműves József: Adatbányászati algoritmusok, (www.kfki-isys.hu)
2. Benedek Zoltán: Nyakkendős bányászok, 2002. május., CEO magazin
3. Dr. Sramó András: Adatbányászat és statisztika, Statisztikai Szemle 1999. május, 77. évfolyam 5. szám

MEMS: ígéretes technológia az optikai kapcsolásban

BŐHM TAMÁS–ESCHWIG-HAJTS ATTILA

egyetemi hallgatók, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

Bevezetés

A jelenleg elterjedt nagysebességű hálózati technikák már nem képesek a napjainkban egyre nagyobb sávszélesség-igényű alkalmazások kielégítésére. Amíg a beszédforgalom kevesebb, mint évi 10 százalékkal növekedik, addig az adatátvitel iránti szükséglet a logisztikus görbe kezdeti közel exponenciális szakaszát követi. Az adatforgalom növekedésével kapcsolatos, pár éves előrejelzések azonban igen széles skálán mozognak. Érthető tehát, hogy a különböző fejlesztésekre szánt összegeket mindaddig visszatartják a szolgáltatók, amíg pontosabb jövőképet nem tudnak kialakítani, és nem látható előre, hogy a befektetések mikor térülnek meg. A kapacitás növelésének jelentős hányadát azonban az infrastruktúra teszi ki.

A már meglévő optikai hálózatokat a DWDM technológia segítségével teszik még hatékonyabbá. Ezzel azonban az a probléma, hogy a hálózathoz újabb réteg adódik, aminek következtében a hálózat kevésbé skálázható [1].

A jelenleg alkalmazott gerinchálózatokban a DWDM forgalmat meg kell szakítani mindegyik hálózati csomópontban. Ez azt jelenti, hogy először az optikai jeleket elektromos jelekké kell alakítani, és csak ezután lehet a forgalomirányítást, illetve a kapcsolást elvégezni, majd végül egy újabb elektromos-optikai átalakításra van szükség. Ez az O/E/O (Optical-Electrical-Optical) átalakítás azonban a teljesítményt jelentősen csökkenti, hiszen a kapcsoló, leágaztató berendezések miatt a forgalmas csomópontokban torlódás alakulhat ki. Nem ez az egyetlen probléma: a csatornák számának növekedésével a felhasznált elektronikus eszközök száma is gyorsan emelkedik, aminek következtében aránytalanul sok O/E/O átalakításra van szükség. A berendezés által lefoglalt hely, valamint az energiafogyasztás is nő, aminek következtében a működtetés költsége is emelkedik, amelyhez még az is hozzájárul, hogy az eszközökkel arányosan a hibalehetőségek száma is növekszik. Összefoglalva, a hálózatok skálázhatósága napjainkban az egyik legsúlyosabb probléma. Nem véletlen tehát, hogy a szolgáltatók olyan megoldásokat keresnek, amelyek segítségével a fent említett problémákat kezelni tudják [2].

A fény közvetlen kapcsolásának lehetősége megengedné, hogy a szolgáltatók teljes hullámhosszokat ajánljanak fel a fogyasztóknak, amit azok bármilyen típusú forgalom tetszőleges bitsebességű és protokoll szerinti átvitelére használhatnának.

A kapcsolófejlesztésekben alapvetően két irányvonal figyelhető meg: a gyártók egy része a MEMS felé fordult, és apró mozgatható tükrök segítségével térítik el a fénysugarakat; a többiek – nem bízva a mechanikusan mozgatott alkatrészekben – olyan megoldásokat dolgoztak ki, ahol más módon érik el, hogy a fénysugár irányt változtasson [4].

Cikkünkben részletesen szeretnénk bemutatni a MEMS eszközök gyártását, működésének elvét, alkalmazhatóságát, de előtte egy bekezdés erejéig kitérünk a konkurens technikákra.

Optikai kapcsolók palettája

Már az olyan optikai kapcsolók terén is széles a választék, ahol nincs szükség O/E/O átalakításra, azonban egyik megoldás sem élvezi a piac feltétlen bizalmát – többségük még a kutatási fázis elején van vagy csak prototípus készült belőle.

A MEMS legkomolyabb vetélytársa a *buborékkapcsoló*, amely az Agilent – egy Hewlett-Packard leányvállalat – photonic switching platformjának a lelke [5]. A buborékkapcsoló két jól ismert és bizonyított technológia ötvözete: a fényhullámáramköröké (Planar Lightwave Circuits) és a tintasugaras nyomtatás technikájáé. A kapcsolóelemen egymással párhuzamos és ezekkel 120 fokos szöget bezáró hullámvezetők (jelen esetben egy üvegcsatorna, ami a fénynyalábot behatárolja, és egy meghatározott pályán tartja) haladnak át. A metszéspontokon egy folyadékon megy át a fény, amelynek törésmutatója megegyezik a hullámvezetőével, így azon zavartalanul haladhat át a fénysugár. A tintasugaras nyomtatóknál alkalmazott megoldás segítségével buborék növeszthető a folyadékban. A törésmutatók aránya miatt a 120 fok meghaladja a határszög nagyságát, ilyenkor teljes visszaverődés jön létre – a fénynyalábot a keresztező hullámvezetőre irányítottuk át.

A már kiforrott nyomtatótechnológia újraalkalmazása lecsökkenti a költségeket és a fejlesztési időt. A MEMS-el szemben ez a kapcsoló nem tartalmaz mozgó alkatrészt, ami hosszabb élettartamot sejtet, viszont abban az esetben, ha a buborékot sokáig fenn kell tartani, a folyamatos hőtáplálás miatt a hő átterjedhet a szomszédos szálakra, ami áthalláshoz vezet.

A *folyadékkristályos* kapcsoló a laptopok és egyéb elektronikus eszközök kijelzőinek működési elvét vette alapul: feszültség hatására a hosszú kristályok iránya és így az anyag optikai jellemzői megváltoznak. Nagy problémát jelent a hosszú kapcsolási idő, amin egyes gyártók a kristály melegítésével és ezáltal viszkozitásának csökkentésével próbálnak segíteni. Áramfogyasztása rendkívül csekély, de melegítéssel együtt már ez az előny is eltűnik.

A *termooptikán* alapuló technológia csak kis méretű (1x2, 2x2) kapcsolóelemek építését engedi meg, de egyes álláspontok szerint elérhető a 64x64-es méret is. A termooptikai kapcsolók két típusát különböztetjük meg: digitális optikai kapcsoló (DOS – Digital Optical Switch) és interferometrikus kapcsoló (IS – Interferometric Switch). A legegyszerűbbek az 1x2-es DOS-ok: ez egy Y alakú hullámvezetőt tartalmaz, amelynek ha az egyik ágát felmelegítjük, megváltozik a törésmutatója és elzárja a fény útját abba az irányba. Ez a megoldás nem használ mozgó alkatrészt, de a gyakori felmelegítés és lehűtés az anyag élettartamát csökkentheti. A kapcsolási idő rövid, a csillapítása csekély és a gyártás is olcsó.

A *holografikus* elven működő kapcsolók a MEMS ígéretes versenytársai. Az elektroholográfián alapuló módszer lényege az, hogy egy lézer segítségével olyan hologramot írnak egy kristályba, ami úgy viselkedik, mint egy Bragg-rács, de ez elektromosan vezérelhető (feszültség alatt visszaveri az adott hullámhosszú fényt, alapállapotban pedig teljesen átlátszó). Egy bejövő fényvezető szál jelét hullámhossz szerint szétválasztják, majd egy kristály-mátrixba irányítják. A mátrix minden sora egy hullámhossznak felel meg, míg az oszlopai egy-egy kimeneti szálnak. Egy adott hullámhosszú jel addig fut végig egy soron, amíg egy aktív kristályt el nem ér. Kapcsolási ideje felülmúlhatatlan: mindössze nanoszekundumok szükségesek, azonban hullámhosszok egy csoportjának kapcsolásakor nem előnyös.

Akusztooptikai kapcsolásnál hanghullámok segítségével törjük meg a fényt. Így elérhető, hogy egyes hullámhosszakat leválasszon a szálról (megtörjön), másokat pedig átengedjen az eszköz – ezért a technológia OADM kialakítására alkalmas.

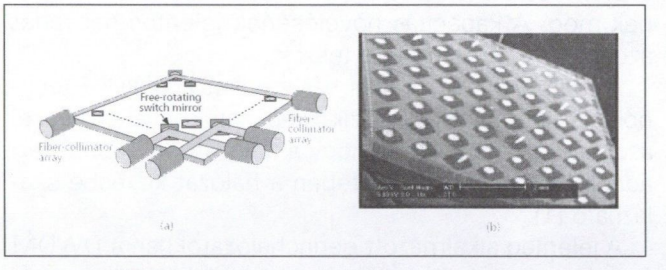
MEMS

Ez a terület – amelyről az elmúlt tíz évben igen sok kutatási eredményt publikáltak – mind a tudomány, mind pedig a technológia igen sok, mikroszkopikus méretekkel dolgozó területét öleli át. Összefogja a mikroelektronika, a mikrooptika és a mikromágnesesség területén elért eredményeket, amelyeket az integrált áramkörök gyártásánál alkalmazott félvezető technológiával vegyít. A MEMS eszközök mérete a néhány mikron és milliméter nagyságrend között változik. Számtalan olyan jó tulajdonsággal rendelkeznek, mint a nagy sebesség, alacsony energiafogyasztás, magas portszám (kb.1000), alacsony áthallás, valamint nagyfokú funkcionalitás.

Az optikai kapcsolásra tervezett MEMS eszközöknek az a koncepciója, hogy a beérkező fény útjába apró, mozgatható tükröt helyeznek el, és ennek a segítségével tudják szabályozni, a bejövő fény kimeneti irányát. Alapvetően két MEMS kapcsoló- típust szoktak megkülönböztetni: digitális vagy kétdimenziós (2D), és az analóg vagy más néven háromdimenziós (3D) eszközt.

2D MEMS kapcsolók

A kétdimenziós kapcsolóarchitektúra esetében a tükröket egy kapcsolómátrixban helyezik el. Minden tükörnek két állapota van. Nyugalmi helyzetben a fény akadálytalanul továbbhalad, lehetővé téve csatornák leágaztatását, illetve újabb csatornák bekapcsolását. Aktív állapotban a tükör a fény útjába kerül – 45°-os szöget bezárva –, ezzel lehetővé téve a kapcsolást az egyik kimenetre [2]. (Lásd 1. ábra.)



1. ábra a) 2D MEMS kapcsoló felépítésének tematikus rajza
b) Egy AT&T 8x8-as MEMS kapcsoló (forrás: [3])

A MEMS eszközök tervezésénél kiemelt figyelmet fordítanak arra, hogy a struktúra a külső mechanikus rezgésekkel szemben ellenálló és érzéketlen legyen. A tükrök mozgatásánál biztosítani kell a hosszú távú megbízható működést, amely egyrészt az ismételhető mozgást, másrészt aktív állapotban a folyamatos pozíciótartást jelenti. A kapcsolási időt jelentősen befolyásolja a nyugalmi és aktív állapotok közötti átmenet, amelynek minimalizálására törekednek.

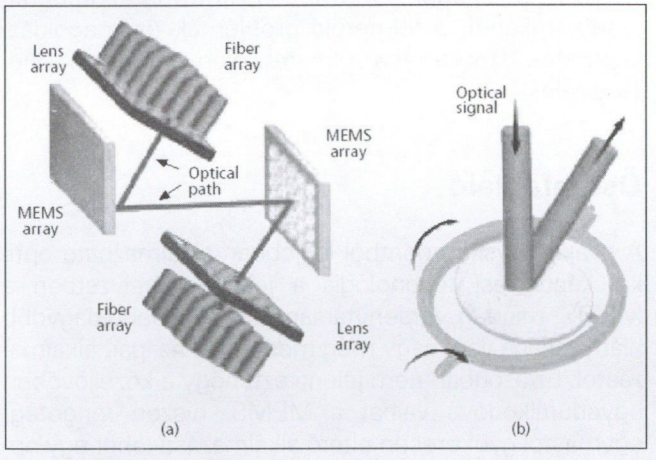
Amikor a mozgatókar és a félvezető közé feszültséget kapcsolnak, az elektrosztatikus vonzás következtében a tükör kiemelkedik, és 90°-os szöget zár be a félvezető felülettel, ezzel lehetővé válik a kapcsolás. A mozgatókar alatt egy fékező elem található, ezzel védve a félvezető réteget a sérüléstől és a rövidzártól, mikor a tükröt nyugalmi helyzetbe kell hozni. A működés során az egyik kulcsfontosságú tényező, hogy a kapcsolás egész ideje alatt a mozgatókar szabadon mo-

zog a levegőben, azaz nincs kontaktus a félvezető felülettel, kivéve, amikor nyugalmi állapotba kerül vissza. Az érintkezésmentes működés következtében nincs súrlódás, így hosszabb a struktúra élettartama [2].

A kétdimenziós MEMS eszközök nem használhatóak 32x32-nél nagyobb méretben (kaszkádosítással is csak 512x512 portig lehet felmenni) [3].

3D MEMS kapcsolók

A háromdimenziós MEMS kapcsolókban egy tükör sokféle helyzetben lehet, mert ennek már nem egy, hanem két szabadság foka van. Minden tükör analóg módon működik, és két tengely körül mozoghat (2. ábra).



2. ábra a) A 3D MEMS kapcsoló felépítése
b) A fény irányítása kardángyűrű segítségével (forrás: [3]).

Ennek az elegáns architektúrának az az erénye, hogy az optikai út hossz N helyett -nel arányosan növekszik, így több ezer csatorna is elérhető 10dB-nél kisebb csillapítással. Egy háromdimenziós MEMS kapcsolóba a fénysugár a fényvezetőről egy szabad tükörfelületre visszaverve érkezik a megfelelő kimenetre. Az N bemenettel rendelkező kapcsolóban bármelyik bemenetet bármelyik kimenettel össze lehet kapcsolni. A kétdimenziós MEMS kapcsoló esetén N darab be- és kimenet esetén N^2 mozgatható tükörre van szükség, míg a háromdimenziós esetben a bemenetek számával arányos számú tükör elegendő.

A mozgatható tükör szerkezete három fő részből épül fel: tükör, kardán gyűrű, valamint a rugók. A három elem együttesen határozza meg az optikai kapcsoló olyan fontos paramétereit, mint az elérhető maximális portszám, a késleltetési idő, a belépési veszteség valamint az energiadisszipácó.

A maximális szükséges dőlésszög és a kardán gyűrűk által kifejtett erő határozza meg a rugó merevségének felső határát. Merev gyűrűkkel nagy dőlésszöget is el lehet érni, de ennek a nagy működtetési feszültség (50–200 V) az ára [3].

A tükör pozicionálására két lehetséges megoldás van. Az egyik mágneses, a másik elektrosztatikus elven működik. A mágneses mozgatásnak megvan az az előnye, hogy nagy kétirányú (vonzó és taszító) lineáris erő jön létre, ennek a gyártása azonban bonyolult, és árnyékolásra is szükség van, ezért inkább az elektrosztatikus megoldást részesítik előnyben, mivel aránylag olcsó az előállítása és könnyen integrálható [3].

Különösen nagy kihívást jelent a tükrök tervezésénél az ROC (Radius of Curvature) maximalizálása. Olyan szilárd fémborítást, mint például az arany, gyakran használnak tükröző felületnek. Az eltérő anyagok eltérő tágulási együtthatója, valamint az anyag belső feszültsége miatt, nem kívánatos felületi görbület alakulhat ki a tükröződést csökkentő rétegen. Ez a probléma különösen súlyos, ha ezt a fémborítást a tükörtestnek csak egyik oldalán használják, ellenkező esetben ugyanis kevésbé valószínű nem kívánt felületi görbület megjelenése. Egy vastagabb tükör jobban ellenáll a belső feszültség okozta felületi görbületnek, ennek azonban a lassabb reakció idő – ebből következően lassabb kapcsolási idő – és a sztochasztikus rezgésekre való nagyobb érzékenység az ára [3].

A MEMS tükröket manapság nem fémből, hanem szilíciumból készítik az integrált áramkörökhöz hasonló technológiával, ezért előállításuk olcsóbb.

A MEMS alapú optikai kapcsoló szíve az igen robosztus tükörvezérlő. Két igen fontos feladatot lát el: először is garantálnia kell, hogy egy új kapcsolatot a meghatározott kapcsolási időn belül felépít; másodszor biztosítja, hogy a már felépített kapcsolat nem szakad meg. Ez azt jelenti, hogy kapcsolatkérés után a controllernek rendkívül gyorsan (5–10ms) a megfelelő pozícióba kell a tükröt állítania, és mindaddig, amíg újabb utasítást nem kap, a tükör helyzetét fent kell tartania.

MEMS gyártástechnológia

Eddig áttekintettük a MEMS működési elvét, felépítését és a vele szemben támasztott követelményeket. Az alábbiakban a MEMS gyártási folyamatának néhány kritikus lépését ismertetjük.

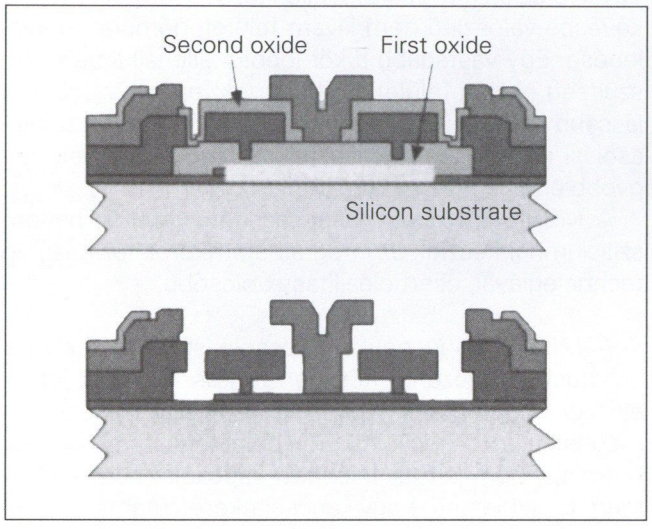
Talán a legfontosabb, hogy az integrált áramkörökhöz (IC, Integrated Circuit) hasonlóan az eszköz tömegesen, nagyiparilag készíthető egyszerre, és az elektromechanikus elemek az elektronikusakkal közös gyártási folyamatban jönnek létre. Ezáltal a termék bonyolultsága ellenére marad az előállítási költség alacsony.

Ez az új típusú gyártástechnológia nem csak azért előnyös, mert a MEMS potenciálisan hatást gyakorolhat a kereskedelmi és katonai termékek minden területére, hanem azért is, mert elmossa a határt a komplex mechanikus rendszerek és az integrált áramkörök között.

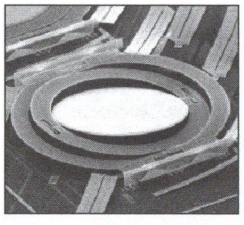
Míg Ázsiában más megközelítések is léteznek, az Egyesült Államokban a MEMS termelés a tervezés, gyártás, tokozás és vizsgálat ismétlődő folyamatát jelenti.

Néhány fontosabb tervezési problémát már felvetettünk a 2D és 3D MEMS ismertetésénél, ezekből látszik, hogy bonyolult mérnöki feladatot jelent ezeknek az eszközöknek a megtervezése. Ehhez különböző tervezési és szimulációs szoftvereszközök állnak rendelkezésre.

A gyártás során felhasználható anyagok jellemzően az IC-k gyártásfolyamata során alkalmazottakra szűkülnek. Egy szilíciumszeletből kiindulva poliszilícium, szilícium-nitrid, szilícium-dioxid és arany rétegeket visznek fel különböző technológiai lépések sorozatában. Így egy bonyolult, háromdimenziós struktúra jön létre (3. ábra). A végén maratással érhető el, hogy egyes darabok mozoghassanak [4].



3. ábra Felső kép: maszkolással felvitt rétegek. Alsó kép: a maratás után visszamaradt bonyolult struktúra (forrás: [4]).



4. ábra (forrás: [6])

Egy érdekes lehetőséget jelent a tervezők számára, hogy a MEMS lapkák önmagukat is „összeszerelhetik", azaz a gyártási folyamat végén mikroszkopikus méretű rugók mozgatják az egyes darabokat a végleges pozícióikba. Erre egy példa a 4. ábrán látható optikai kapcsolásra szolgáló tükör. Az oldalt látható rugók emelik ki a tükröt és a mozgatószerkezetet a szubsztrátból és a képen látható állapotban hagyják.

A MEMS eszközök tokozása – amely a költségek legnagyobb részét teszi ki – erősen függ az alkalmazástól. Egy optikai kapcsoló esetében tükrök, lencsék és fényvezetők ezreit használjuk fel, amelyek pozíciója egymáshoz képest pár mikronos és néhány száz mikroradiános pontosságú kell, hogy legyen. Annak a toknak, amiben ez a rengeteg elem található, ellen kell állnia a hőhatásoknak, ütésnek és rezgésnek a szállítás és a folyamatos működés alatt. Ahhoz, hogy garantálni lehessen a hosszú távú működést a hibahatárokon belül, hermetikusan lezárt tok szükséges egy tükröződésgátló réteggel bevont, optikai szempontból tiszta ablakkal (a ki- és bemenetek számára). Nagy számú be- és kimenethez tartozó kivezetések megvalósítása Land-Grid Array (LGA) és Ball-Grid Array (BGA) tokozási technológiával megoldható [3].

A MEMS integrált elektronikus és mechanikus jellege miatt az ellenőrzés jóval összetettebb az integrált áramkörökénél, a felmerülő problémák és megoldási javaslatok ismertetése túlmutat jelen publikáció lehetőségein.

Összefoglaló

A gyakorlati szempontból legjobban alkalmazható optikai kapcsolási technológia a jelenlegi helyzetben a MEMS: minden versenytársának vagy kisebb-nagyobb hiányossága van, vagy még messze áll az ipari alkalmazástól. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a közeljövőben egyeduralkodóvá válhat a MEMS, hiszen rengeteg, egymástól gyökeresen eltérő alkalmazása lehet egy optikai kapcsolóelemnek, ami több különböző technológia együttes használatát fogja megkövetelni [5].

A szerzők ezúton is szeretnék megköszönni Dr. Cinkler Tibor segítségét a cikk elkészítéséhez.

Irodalom

1. Dr. Stuart Barnes: Migrating to an all-optical network, www.telecommagazine.com
2. Digital MEMS for Optical Switching, IEEE Communications Magazine, March, 2002.
3. MEMS: The Path to Large Optical Crossconnects, IEEE Communications Magazine, March, 2002.
4. The Lucent LambdaRouter: MEMS Technology of the Future Here Today, IEEE Communications Magazine, March, 2002.
5. Bőhm Tamás, Zombori Tamás: Az optikai kapcsolás jelenlegi helyzete, Híradástechnika LVI. Évf., 2001/5.
6. 238x238 Surface Micromachined Optical Crossconnect With 2dB Maximum Loss, Optical Fiber Communications Conference OFC, 2002 Post deadline paper.

Szén nanocsövek az integrált elektronikában

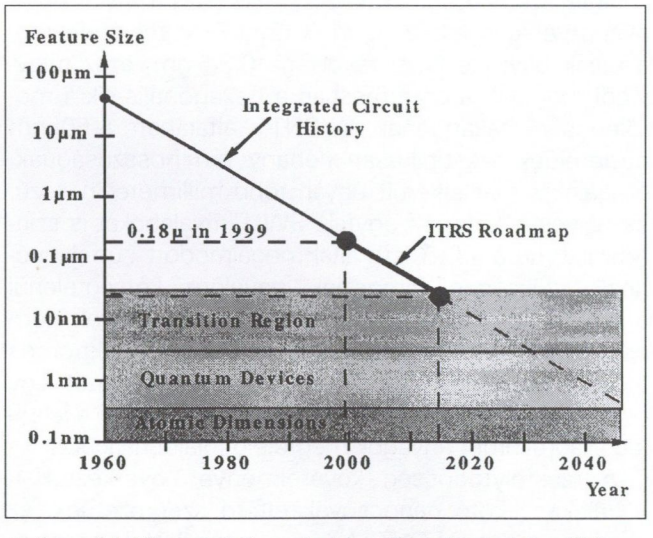
BÁRSONY ISTVÁN

MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet
e-mail: barsony@mfa.kfki.hu

Merre tart a mikroelektronika?

A szilíciumalapú mikroelektronikában évtizedek óta töretlenül érvényesül a közismert Moore-törvény, ami az egy chipen integrált elemszám (tranzisztorok száma) megduplázódását prognosztizálja 18 havonként (ld. 1. ábra). A műszaki-gazdasági cél kézenfekvő: a lehető legnagyobb rendszer integrálása, a lehető legkomplexebb funkció megvalósítása egy chipen úgy, hogy az a legnagyobb működési sebesség mellett a legkisebb energiát igényelje. Ez természetesen csakis az eszközméreteknek, elsősorban az 1. ábrán legkisebb csatornahossznak megfelelő gate-hosszúságmérettel jellemzett ún. kritikus méretnek a folyamatos, drasztikus csökkentésével képzelhető el. A méretcsökkentés viszont technológiai, és ami sokkal kritikusabb, fizikai akadályokba ütközik, hiszen pl. a jelenlegi ütemben az 1 elektron/bit memóriaméret 2015-re lenne elérhető.

Közismert, pl. hogy a termikus szilíciumdioxid, mint a szilíciumalapú planáris technológia diadalútját



1. ábra A kritikus struktúra-méretek csökkenése az integrált áramköri technológiában a Moore-törvény érvényesülése következtében. Az előrejelzések szerint századunk második évtizedében a Si technológia fejlődése az ún. átmeneti tartományban kritikus szintre érkezik.

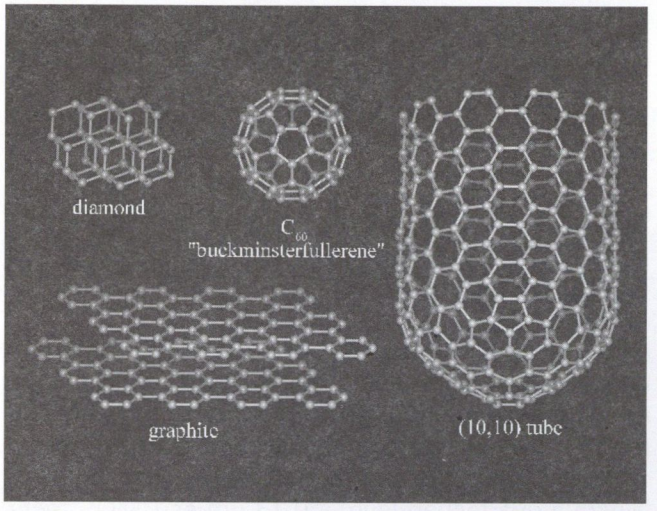
lehetővé tevő elektromos szigetelő anyag, gate-dielektrikumként csak addig használható, amíg a rajta átfolyó parazita alagútáram (gate-áram) nem hiúsítja meg a MOS (azaz szigetelt vezérlőelektródás térvezérlésű) tranzisztor-viselkedést. Ezt az állapotot napjainkra a gyártásban lévő, a 0,13 µm-es CMOS technológiáknál gyakorlatilag elértük. Továbblépésre már ma is csak az anyagtudomány segítségével, új gate-dielektrikum anyagok fejlesztésével és technológiába való beillesztésével van lehetőség. Világosan látszik azonban, hogy a jelenlegi ütemben a fejlődés aligha folytatódhat a szilícium mikroelektronikában, 2010 környékére várható a technológia érettségében egy „telítődés". Ezt követően tervezési, technológiai, esetleg anyagválasztási koncepcióváltásra lesz szükség.

A fenti fejlődési tendencia csak növekvő szeletátmérők mellett érvényesíthető gazdaságosan, ami viszont horribilis beruházási költségek előteremtését igényli egy-egy szeletátmérő váltásnál (pl. áttérés a 300 majd 450 mm-es szeletekre a jelenlegi gyártásban uralkodó 200 mm szeletátmérőről). A méretcsökkentés, szeletátmérő növekedés miatti *beruházási költségek exponenciálisan növekednek, 2015-ben pl. egyetlen gyártósor létrehozása horribilis, $5x10^{11}$$ összegű ráfordítást igényelne!* A gazdasági szükségszerűségek tehát áthághatatlan akadályt valószínűsítenek a beruházási költségek terén is, ami a fenti technológiai kényszer mellett szintén alternatív megoldások keresését indokolja.

Az immáron nanométeres (<100 nm) mérettartományt ostromló szilícium alapú mikroelektronika fejlődésének ebben a helyzetében sokan fűznek nagy reményeket *a szén nanocsövek alkalmazásához*, ami a *nanoelektronika* egyik alapanyaga lehet. Csakhogy míg a *mikroelektronika felülről lefelé (top-down), azaz destruktív módon építkezve* integrálja a tranzisztorok milliárdjait egy nagy felületen (litográfiás és marási műveletek sorozatával), addig a nanoelektronikában már paradigmaváltásra lesz szükség. Az egyedi elemekből felépülő nanorendszerek alulról felfelé építkezéssel (bottom-up), konstruktív módon jöhetnek csak létre.

A molekuláris szén

A szén allotróp módosulatait a 2. a. ábra mutatja. A négy szomszéddal rendelkező, sp3 hibridizációjú



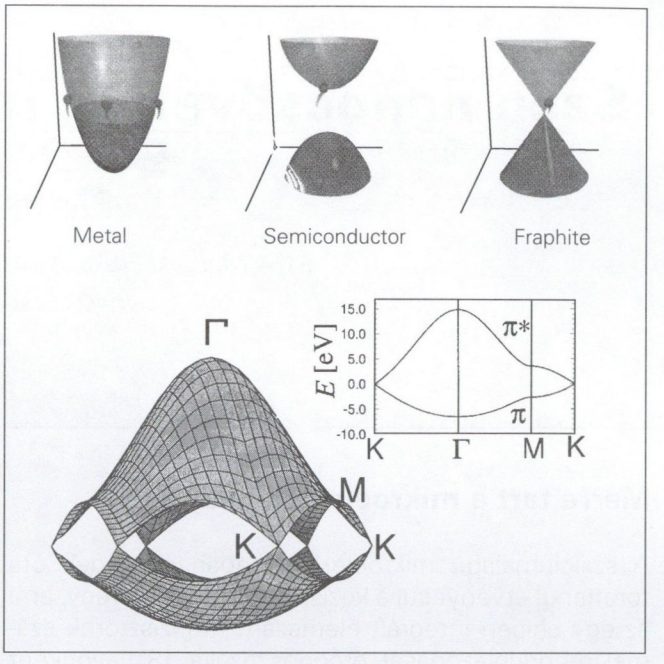
2. a. ábra A szén allotróp módosulatai: a gyémánt, a grafit, a Buckminster-fullerén és a szén nanocső rácsszerkezete.

kovalens kötésekkel felépülő, tetraéderes szerkezetű *tömbi gyémánttal* szemben a *grafit* hexagonális kristályaiban levő rétegekben a szénatomok sp2 hibridizációjúak, három szomszéddal rendelkeznek és a síkban, szabályos hatszögek csúcsain helyezkednek el. Ennek megfelelően a grafitsíkok sávszerkezete a szigetelő tulajdonságú, intrinsic félvezetőnek tekinthető gyémántéval ellentétben az ún. félfém (semimetal)-sávszerkezetnek felel meg, hiszen a 2. b. ábra tanúsága szerint a k-térben a valencia sáv maximuma és a vezetési sáv minimuma érintkezik. A grafit kristályban ezek a méhsejt-szerű elrendezést mutató síkok rendkívül stabilak és flexibilisek, az egymásra rétegezett síkok közötti kötés viszont igen gyenge (ld. grafitceruza működése).

A közismert szénszálak, melyeket kompozit anyagok szálerősítésére használnak, spirálisan feltekert grafitsíkból épülnek fel. Ezzel szemben a szén nanocsövek (Carbon NanoTubes – CNT) hengeres szénmolekulákból állnak. Az előző cikkben a fullerének kapcsán részben már esett szó a szén nanocsövekről is, melyek tehát olyan hengeresen „feltekert", önmagába záródó grafitsíknak tekinthetők, ami két végén egy-egy fullerén „félgömbbel" van lezárva.

A nanocsövek nem új keletűek, csupán mostanára rendelkezünk akkora felbontású technikai eszközökkel (TEM, AFM, STM, FESEM) amivel ezeket a környezetünkben jelenlévő hengeres szénmolekula-szerkezeteket „láttatni" tudjuk [5, 6]. A nanocső kutatás, szintetizálás, manipuláció és alkalmazás naponta produkál újabb eredményeket, így ez a rövid áttekintés is csak pillanatfelvételnek tekinthető.

A szintetizált CNTk megjelenési formája változó. Általában *többfalú* (Multiple Wall NT), azaz mindegyik héjat külön kell egy-egy hengerformába feltekert grafit-



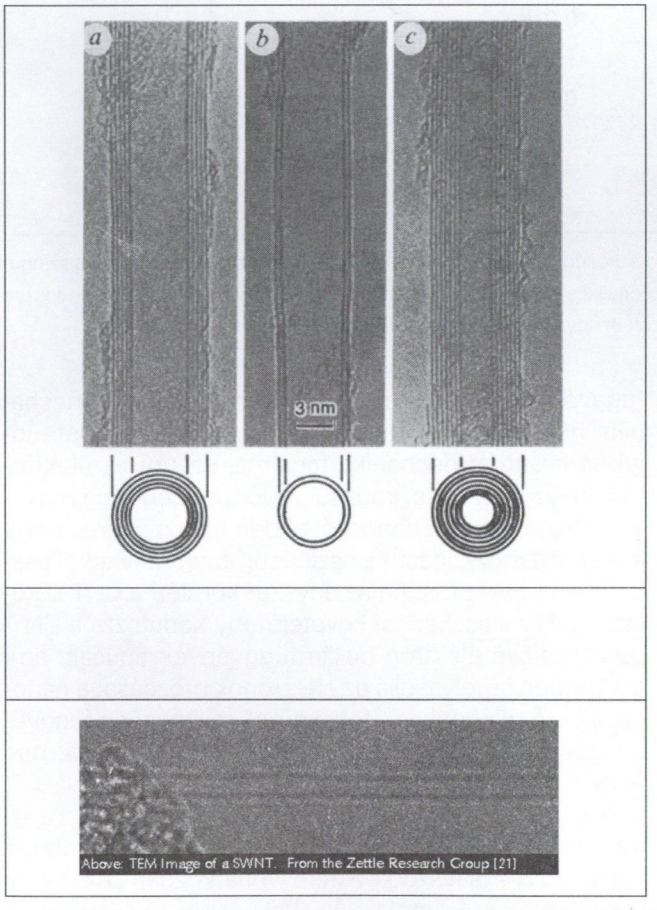
2. b. ábra Balra a fém, félvezető és a fél fémes tulajdonságú grafit sávszerkezetének sematikus rajza. Míg a jó vezető fém esetében a vegyértéksáv és a vezetési sáv állapotai átfednek és a Fermi szintig betöltöttek, a félvezetőkben a két sávot egy tilos sáv választja el, ahol nincsenek megengedett elektronállapotok. Vezetési elektronok így csak gerjesztéssel keletkezhetnek.
A grafit esetében a két sáv éppen érintkezik, ami a fél fémes vezetési tulajdonságok magyarázatául szolgál. A jobboldali ábrán a hexagonális Brilluin zónában a π valenciasáv és a π* vezetési sáv degenerált a K pontokban, ami megfelel a Fermi energiának.

sikként elképzelni úgy, hogy a szénatomok szabályos hexagonális hálója a kerület mentén folytonos marad. A héjak száma egytől (Single Walled NT) a MWNT-ben akár ötvenig is változhat (ld. 3. ábra TEM felvételei [5]), a héjak egymás közti távolsága 0,34 nm, azaz nagyjából megfelel a grafitrácsban a hexagonális-síkra merőleges rácsállandónak. A CNT-k általában 1–50 nm átmérőjűek, és tipikusan néhány μm hosszúságúak. Napjainkra már sikerült ugyan több milliméter hosszú, szabályosan kötegelt egyfalú SWNT nyalábokat is szintetizálni, de a T.C. Clark által megálmodott „űrfelvonóhoz" szükséges dimenziók egyelőre kétségtelenül a fantázia birodalmába tartoznak. A nanocsövek nem csak rendkívül teherbíróak, hanem érdekes elektromos tulajdonságokkal is rendelkeznek. Az 1. táblázat egy összehasonlítás (azonos méreteket feltételezve) a jelenleg világrekorder anyagok megfelelő tulajdonságaival.

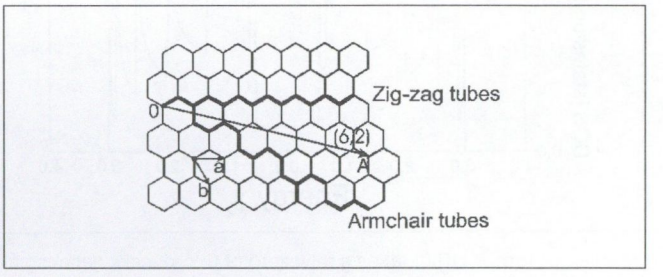
A rácsfolytonosság követelménye következtében a héjakat alkotó nanocsövek eltérő szerkezetűek, az egyenes tengelyű CNTk-ben a csavarodottak, azaz ún. kiralitással rendelkeznek. (Ez nem tévesztendő össze a telefonzsinórként tekeredő spirális tengelyű nanocsövekkel.) A helikus szerkezetkialakulást mutatja az 4. ábra, melyen szemléltetjük az un. *kiralitási vagy*

Paraméter	SWCNT	Jelenlegi rekorder
Jellemző méret	átmérő: 0,4–1,8 nm	elektronsugaras litográfia min. csíkszélessége: 50 nm
Fajlagos sűrűség	1,33–1,4 g/cm^3	Al: 2,7 g/cm^3
Húzó terhelhetőség	45x10^9 Pa	nemesacél: 2x10^9 Pa
Alaktartóság	korlátlan	törés szemcsehatárok mentén
Maximális áramsűrűség	10^9 A/cm^2 (becsült érték)	Cu (olvadás): 10^6 A/cm^2
Szupravezetés	T_C=15K (d=04nm!)	
Téremisszió (kritikus térerő foszfor aktiváláshoz)	1–3 V/μm	Mo: 50–100V/μm
Hővezetés (T=300K)	6000W/m/K (becsült érték)	gyémánt: 3320W/m/K
Termikus stabilitás (vákuumban / iners gázban)	2800°C / 750°C	IC fémezés: 600–1000°C
Fajlagos kereskedelmi ár	$ 1200/g	Au: $ 10/g

1. táblázat



3. ábra Felül az első, 1991-ben publikált transzmissziós elektronmikroszkóp felvételek sokfalú szén (MWNT) nanocsövekről az Iijima-csoportban [5]. Az alsó felvételen egy egyfalú (SWNT) nanocső elektronmikroszkópos képe látható.

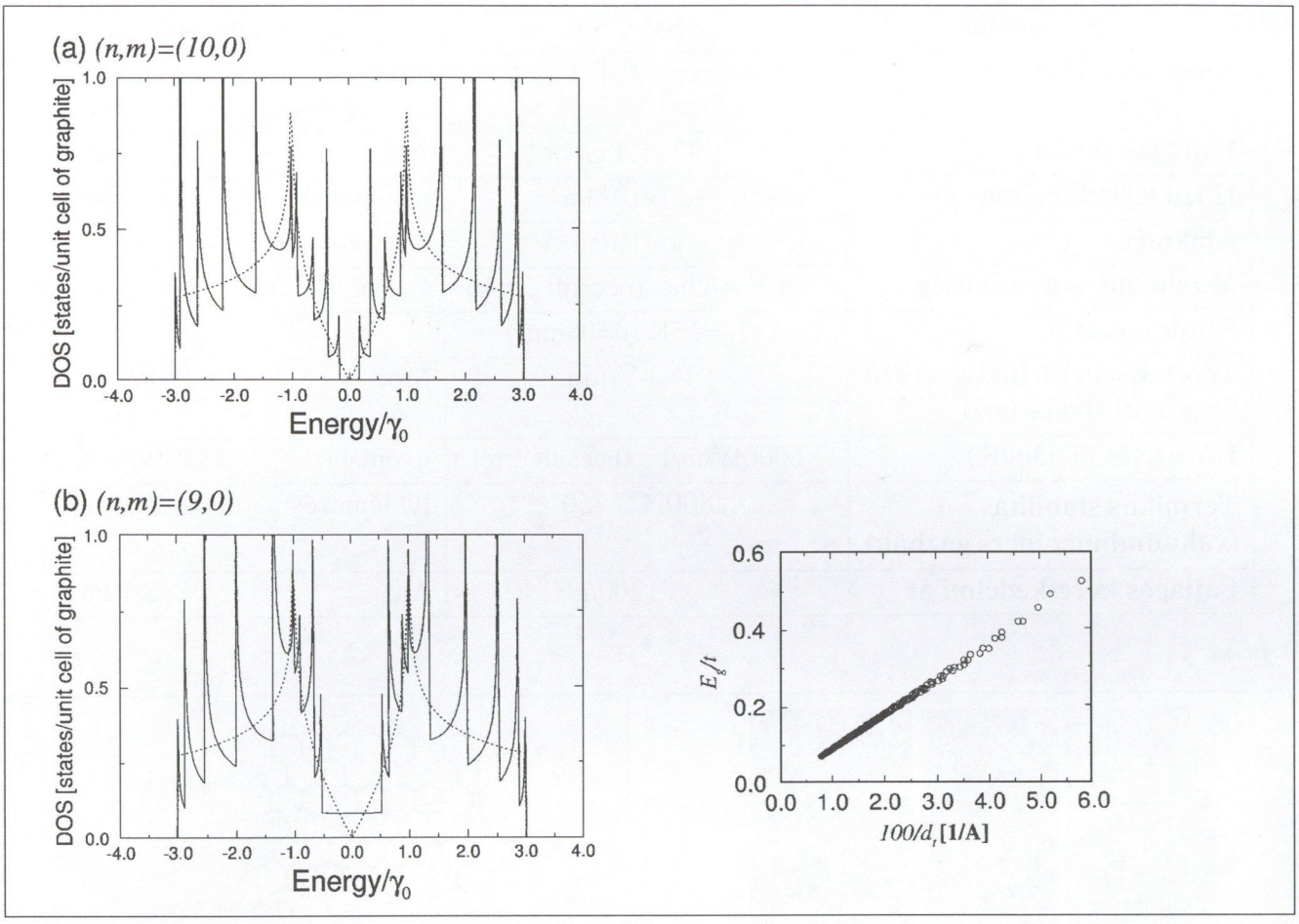


4. ábra A szén nanocsövek kiralitását vagy helicitását szemléltető ábra. A cikk-cakk tengelyre merőlegesen az ún. cikk-cakk nanocsöveket, a „karosszék" tengelyre merőlegesen összetekert grafitsíkból a karosszék-típusú nanocsöveket kapjuk. A két speciális eseten kívül a kiralitási vektor értékével jellemezhető a nanocső.

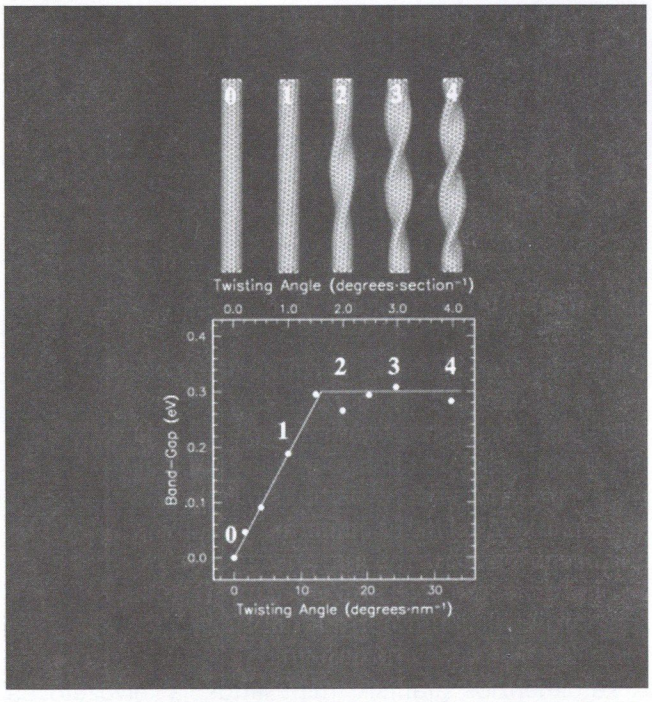
helicitási tényező megadását. A grafitsíkon értelmezett ún. *feltekerési vektor* az ***a*** és ***b*** egységvektorokkal megadva **C**= n***a*** + m***b***. Két végpontja, O és A egybe kell hogy essen, így a vektor hossza a nanocső kerületének felel meg. A **C** (n,m) vektor és az ún. *cikk-cakk tengely* által bezárt szög a *királis szög* Θ. Csak kétféle speciális, *nem helikus vagy nem királis* szerkezetű CNT típus létezik. Az (a) ábrán bemutatott *karosszék-típusú nanocsövek,* amelyekben a hexagonális szénkötések merőlegesek a nanocső hossztengelyére, azaz n=m és Θ=30°. A (b) ábra szerinti *cikk-cakk típusú nanocsövek* azok, amelyekben párhuzamosak a nanocső tengelyével a hexagonális szén-kötések, azaz n=0 és Θ=0°. *Általános esetben* 0°<Θ<30°, azaz valamelyik királis változattal van dolgunk, pl. a (c) ábrán n=10, m=5 esetében.

A szénmolekulák elektronszerkezete

A kétdimenziós grafitsík, mint láttuk, a félvezető és a fém közötti tulajdonsággal rendelkezik. Ha viszont a fentiek szerint nanocsővé tekerjük össze, nem csak a szénatomok helye kötött a kerület mentén a kiralitás



5. ábra A fémes (10,0) (a) és a félvezető (9,0) cikk-cakk nanocső állapotsűrűség-eloszlása (ld. tilos sáv!) (b) a jellemző egydimenziós szingularitásokkal (M. Dresselhaus elméleti számításai alapján). Pontvonallal a kétdimenziós grafit állapotsűrűség-eloszlása látható. Jobbra a nanocsövekben a tilos-sáv szélesség átmérő-függését ábrázolták ugyancsak elméleti számítások alapján.



6. ábra A tilos-sáv szélességének változása a nanocső csavarodása következtében. Az abszcisszán a csavarási szög látható a fok/nm egységben.

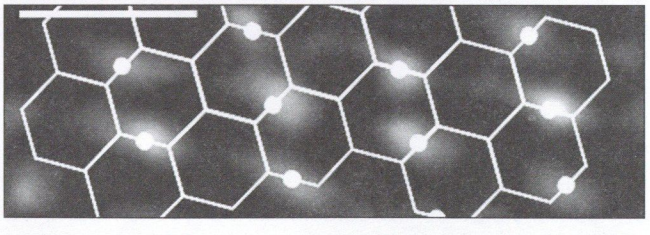
függvényében, hanem az elektronok kvantummechanikai hullámfüggvényének is illeszkednie kell. Mint tudjuk, a kvantummechanika fogalmai szerint az elektronok helyzete a tartózkodásuk valószínűség-függvényével adható meg. A nanocsövekben ez azt jelenti, hogy ennek a tartózkodási valószínűség-függvénynek illeszkednie kell akkor is, ha az egyszer körüléri a CNT kerületet. Ez az illeszkedési követelmény korlátozza a CNT-ben létrejövő elektron hullámfüggvények típusait, ami alapvetően befolyásolja az elektronok mozgását a nanocsőben. A mindenkori „feltekerés" milyensége függvényében tehát a *nanocső vagy félvezető vagy fémes vezető tulajdonságot mutat.*

A (sokfalú) nanocsövek 1991-es felfedezését követően [5] elméleti számításokat végeztek a különböző típusú CNT-k sávszerkezetére vonatkozóan. Az 1993-ban felfedezett szimplafalú SWNT nanocsövek egyszerű, jól definiált struktúrájuk révén kiváló egydimenziós modellrendszernek bizonyultak. A sávszerkezet-számítások kimutatták, hogy a vezetési tulajdonságok erősen függnek a CNT átmérőjétől és kiralitásától. A nanocsövek unikális kvantum-huzal tulajdonsággal rendelkeznek, ami egyrészt nm-es átmérőjükből, másrészt a grafit speciális elektronikus szerkezetéből fakad. A nanocsőben a cső kerülete mentén az impulzus-

momentum a már említett periodikus határfeltételek következtében kvantált. Az ún. *karosszék-típusú* (n, n) nanocsövek esetében pl. a szénmolekula-szerkezetben a legkisebb egydimenziós alsáv csak egyetlen pár tilossáv-mentes egydimenziós terjedési módust eredményez a cső tengelyével párhuzamosan. Ennek megfelelően a *karosszék-típusú* (n, n) nanocsövek a fémes vezetést mutató egydimenziós kvantum-huzalok prototípusai. Mint láttuk, a *kiralitás enyhe megváltozása viszont máris átalakíthatja a fémes vezetőt nagy tilossávú félvezetővé!* A félvezető nanocső sávszerkezetét az 5. ábra mutatja a kialakuló diszkrét energiaszintekkel. A 6. ábrán IBM kutatók elméleti számításai alapján szemléltetjük, hogy az SWNT saját tengelye körüli megcsavarásával az eredetileg vezető nanocső félvezetővé tehető, ahol a tilos sáv aktuális szélessége a hosszegységre eső csavarodási szögtől függ. Hasonlóképpen befolyással van a nanocső „behorpadása", ill. tengelyére merőleges irányú meghajlítása a sávszerkezeti tulajdonságokra, ami újfajta nanoérzékelési mechanizmusok lehetőségét veti fel.

A nanocsövek elektronszerkezetének vizsgálatára a Delfti Műszaki Egyetemen Cees Dekker csoportja [3] használta először a pásztázó-alagútmikroszkópiát (STM) kiemelkedő hatékonysággal. Az STM-mel nem csak atomi felbontással lehetett leképezni a hexagonok királis elhelyezkedését a nanocső tengelye mentén, hanem spektroszkópiai információt is kaptak, azaz láthatóvá tették a nanocsőben kialakuló egyedi hullámfüggvényeket. Mivel a rövid nanocső egy egydimenziós dobozba zárt részecske esetének felel meg, a nanocsőben kialakuló állóhullámok a cső felületén eloszlott állapot-sűrűsödéseknek felelnek meg. Az STM-mel mérhetővé vált a nanocső mentén az elektronállapotok sűrűség-eloszlása, így kísérletileg is reprodukálhatók voltak a korábbi elméleti eredmények a vezető és félvezető típusú nanocsöveken. A kapott sávszélességek a csavarodási szög és az átmerő függvényében a számítottakkal megegyezőek voltak. A 7. ábra a hullámfüggvény STM térképét mutatja. A fehér vonalak a rávetített hexagonális atomrácsot jelzik. Látható, hogy az elektron hullámfüggvény periodicitása nem egyezik meg a rácsperiódussal.

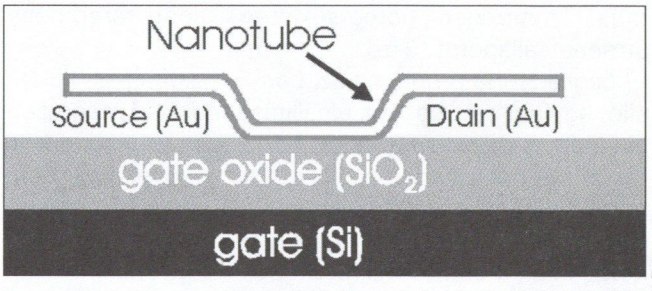
Ugyancsak ebben a kutatócsoportban egyedi szimplafalú nanocsöveken, azaz molekuláris kvantumhuzalokon kapták az első transzport eredményeket [2]. A nano-elektródok közé fektetett SWNT-n alacsony hőmérsékleten lépcsős áram-feszültség jelleggörbét regisztráltak, ami egyedi elektronok transzportjára utal a molekuláris pályákon ún. Coulomb-blokádos és rezonáns alagutas jelenségek közepette. A Coulomb-blokád hatására alacsony feszültségen a vezetés gátolt, mert a nanocső kapacitása olyan kicsiny, hogy az egyetlen további elektron beviteléhez szükséges töltési energia már meghaladja a termikus energiát. Az előfeszítetlen állapotú vezetőképesség visszaállítható úgy, hogy a nanocső elektrosztatikus potenciálját egy „gate-feszültséggel" hangoljuk a tervezérlési analógia alapján. Elektrontranszport-spektroszkópiával néhány mK hőmérsékleten kimutatták, hogy a molekulában az elektronállapot sűrűségeloszlás diszkrét, jól elkülönülő állapotokból áll. Ez a kb. 0,4 meV szeparáció megfelel egy olyan egydimenziós dobozba befogott részecskének, ahol az elektron kvantumbezáródását a 3 μm hosszú nanocső okozza. Külön figyelmet érdemel, hogy a nanocsövek *koherens kvantumhuzal-vezetőként* viselkednek, azaz az elektronvezetés kvantum-koherens módon folyik a diszkrét állapotokon keresztül több μm-es távolságon át.



7. ábra Az egyfalú nanocsőben pásztázó alagútmikroszkópiával (STM) detektált hullámfüggvény térkép. A fehér vonalak a rávetített hexagonális atomrácsot szimbolizálják, a fehér pöttyök az elektronsűrűség maximum helyeinek jelzésére szolgálnak. Az elektron állóhullámok periodicitása eltér a rácsperiódustól [3].

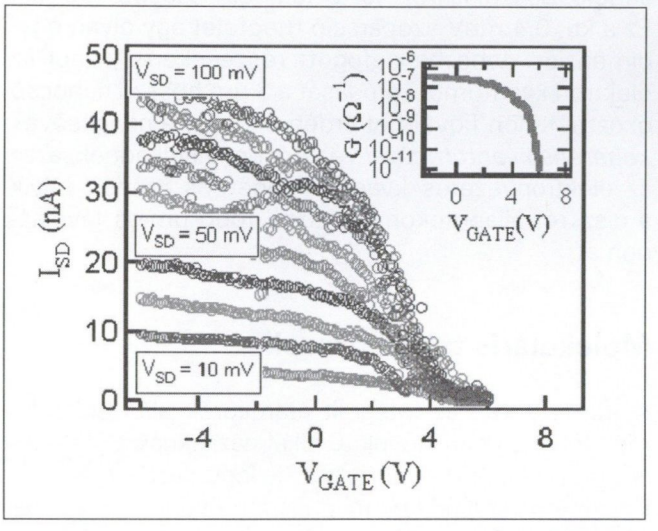
Molekuláris tranzisztorok

A tranzisztorok az integrált áramkörök alap építőelemei, tehát a nanocsövek IC alkalmazásának előfeltétele, hogy belőlük tranzisztor jellegű eszköz legyen készíthető. Az IBM kutatói Phaedon Avouris [2] vezetésével egyfalú nanocsövekből több elrendezésben is készítettek tervezérelt szerkezeteket a 8. ábra szerint oxidált szilíciumszeleten. Hasonló szerkezeteket a delfti csoportban is előállítottak [3]. Megjegyzendő, hogy két alapvető vertikális elrendezés létezik, melyek gyökeresen különböznek az effektív „csatornahosszúság" szempontjából. Ha a source-drain fémkontaktus a nanocső tetején van kialakítva, akkor a kontaktusok távolsága szabja meg az effektív csatornahosszat. Ha viszont a nanocső a kontaktusokon keresztbe van fektetve (mint a 8. ábrán), akkor az effektív csatornahossz ennél jóval hosszabb, a nanocső teljes hosszának megfelelő lesz [4].



8. ábra Tervezérelt szerkezetek egyfalú félvezető nanocsövekből (CNTFET) oxidált szilíciumszeleten arany source-drain kontaktussal. A CNTFET gate-elektródja maga a Si szubsztrát [2].

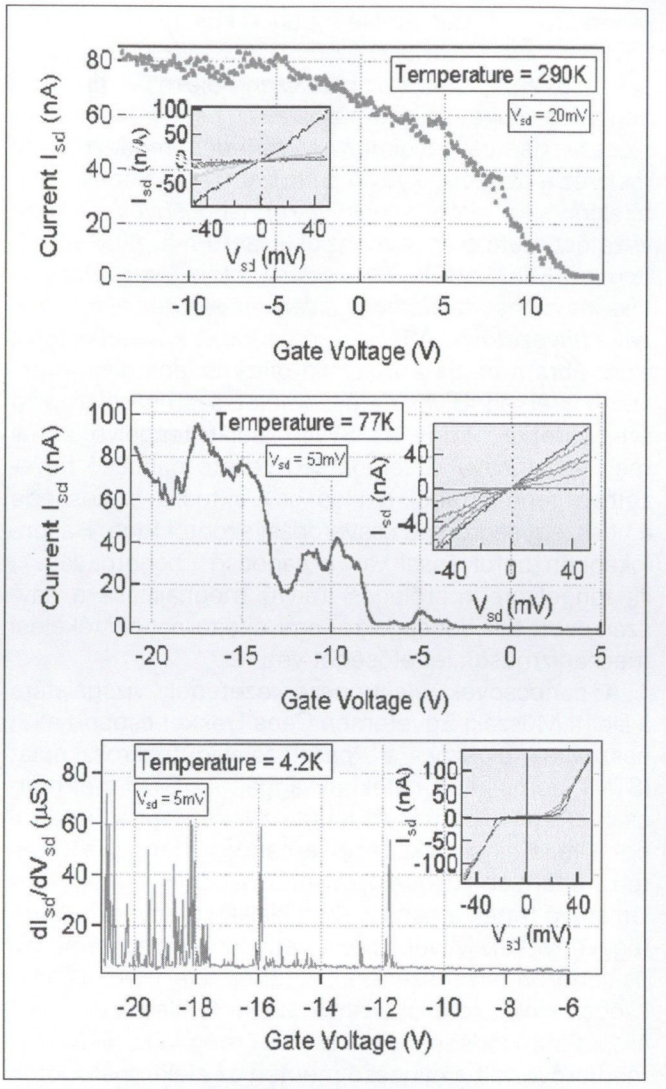
A szilícium szubsztrátot használva gate-elektródaként, a 9. ábrán bemutatott, szobahőmérsékleten felvett bemenő jelleggörbe alapján a nanocső alkotta csatorna vezetőképessége 8V-on belül több mint öt nagyságrenddel változott. Az elrendezés tehát szobahőmérsékleten *térvezérelt tranzisztorként* működik, megszületett a **CNTFET**. Megjegyzendő, hogy *valamennyi kezdeti CNTFET p-csatornás kiürítéses eszköz* volt, tehát negatív gate-feszültséggel lehetett a csatornában folyó lyuk-áramot kikapcsolni! Érdemes megemlíteni, hogy *ha a CNTFET-et több ezerszeresére, azaz a mai szilícium MOSFET-nek megfelelő méretre „fújnánk fel", akkor teljesen analóg, paramétereiben is megegyező működést kapnánk.* Ez azt jelenti, hogy elvileg nincs akadálya a Moore-törvény érvényesülésének akár egészen a CNT mérettartományig sem!



9. ábra A CNTFET bemenő karakterisztikái különböző V_{SD} előfeszítés mellett. A jelleggörbe alapján a normál állapotban nyitott csatornás, lyukvezetéses működés egyértelműen megállapítható. A csatorna vezetőképességének változását a gate-feszültség hatására a beillesztett ábra mutatja.

Ugyanezt a CNTFET eszközt 290K-röl 77K-re, ill. 4.2K hőmérsékletre hűtve alapvetően eltérő viselkedést kaptak a 10. ábra szerint. A bemenő-karakterisztika és az ábrába ültetett kimenő jelleggörbe szobahőmérsékleten egyértelműen tranzisztor jellegű. Hélium hőmérsékleten viszont tipikusan az egyelektronos tranzisztor (Single Electron Transistor) -működést mutatja. A nitrogén hőmérsékleten kapott eredmény átmeneti állapotot tükröz.

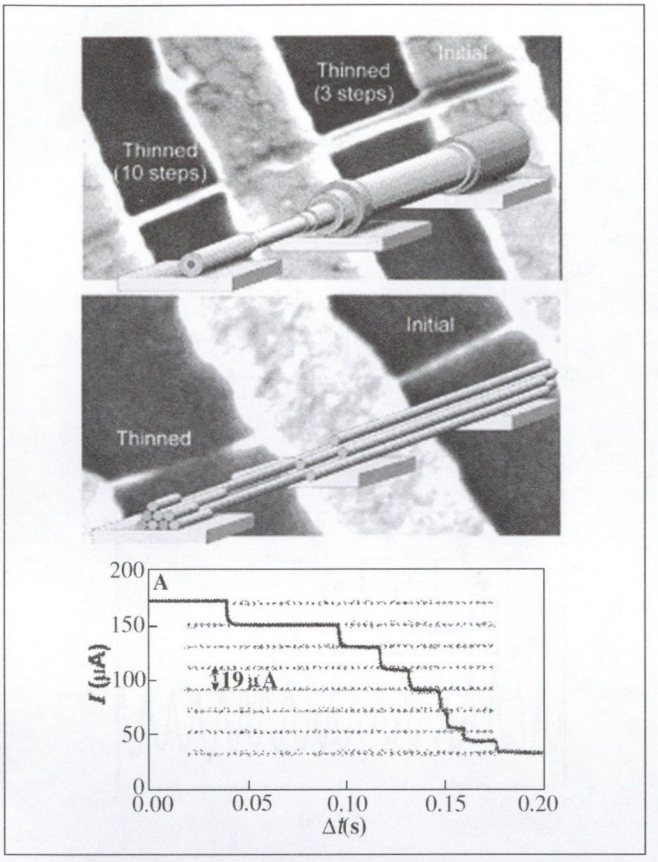
Legnagyobb probléma az, hogy a szinguláris, különálló, egyfalú nanocsövek előállítása ma még megoldatlan (nem is beszélve az adott pozícióban történő előállításról!). A napjainkban előállított nanocsövek vagy sokfalú MWNT formájában vagy egyfalú SWNT formában ugyan, de köteget alkotva sok párhuzamos cső keletkezik. Ezek atomerő mikroszkópos (AFM) manipulációval ugyan a kívánt pozícióba hozhatók, mivel a Van der Waals erők a szubsztráttal erős kontaktusban tartják az egyébként rugalmas nanocsöveket. De hogyan vá-



10. ábra A CNTFET bemenő-karakterisztikája és az ábrába ültetett kimenő jelleggörbéje három hőmérsékleten [2]. T=290K esetén, azaz szobahőmérsékleten a CNTFET viselkedése egyértelműen tranzisztor jellegű. T= 4,2K, azaz hélium hőmérsékleten a jelleggörbe az egyelektronos tranzisztor (SET) működést mutatja. A T=77K nitrogén hőmérsékleten kapott eredmény átmeneti állapotnak felel meg [2].

lasszuk ki a CNTFET felépítéséhez szükséges félvezető típusú nanocsöveket? Az ilyen „összetapadt" kötegekben, vagy MWNT-ben ugyanis minden esetben a fémes nanocsövek határozzák meg az elektromos viselkedést.

Az IBM kutatói 2001 áprilisában jelentették be, hogy sikerült megfelelő módszert kifejleszteniük a nanocsövek szelektálására. Az ún. „konstruktív destrukció" módszerének a lényegét a 11. ábra mutatja. Az oxidált szilíciumszeleten fekvő sokfalú nanocsöveken (fent) és egyfalú nanocső-kötegeken (lent) keresztül arany fémkontaktusokat alakítanak ki. A szilícium gate-elektróda segítségével „kikapcsolják" a félvezető tulajdonságú nanocsövek vezetését a kontaktusok között (lezárjak a „kiürítéses" CNTFET-eket). A kontaktusok közötti esetleges félvezető CNT-k tehát a továbbiakban nem vezet-

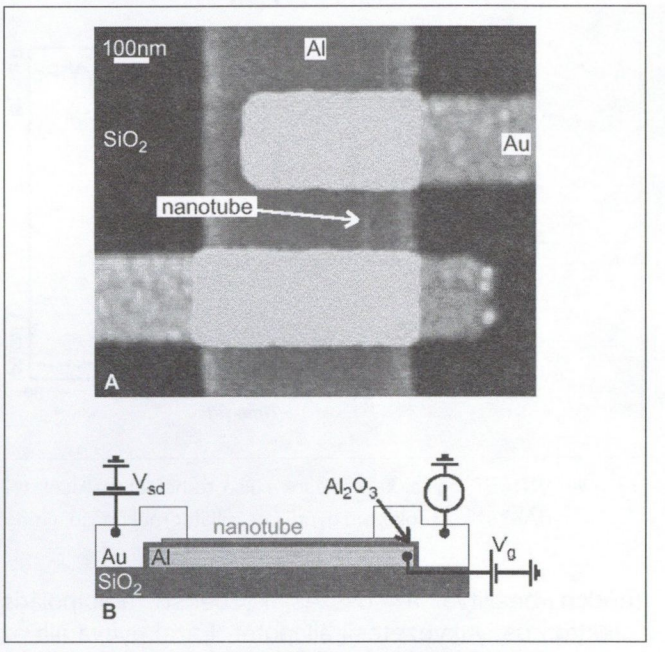


11. ábra Az IBM kutatói által kidolgozott ún. „konstruktív destrukció" módszerének ábrázolása egyfalú félvezető nanocsövek kiválasztására sokfalú MWNT nanocsövekből (fent) és egyfalú SWNT nanocső-kötegekből (lent). Az oxidált szilíciumszeleten fekvő sokfalú nanocsöveken és egyfalú nanocső-kötegeken keresztül arany fémkontaktusokat alakítanak ki. A félvezető nanocsövek kikapcsolása után adott feszültségről áramot kényszerítenek a fémes CNT-ken keresztül, ami ezek fokozatos letörését, ill. megszakítását eredményezi. Az alsó görbén jól követhető az áram időfüggő alakulása egy-egy héj eltávolítása után. A felső képen az eljárás vázlata mellett a SEM képen jól látható a végeredmény is.

nek, csupán a fémes CNT-k. Adott feszültségről ezeken keresztül áramot kényszeríthetnek. Bár a nanocsövekben elérhető maximális áramsűrűség százszorosa a fémekben mért maximális értéknek, levegőben elég magas áramértéknél azonban a nanocső oxidálódik és megszakad. Ezzel a módszerrel héjanként adott energiamennyiség befektetésével (ld. lépcsős áramfelvétel a fokozatos letörések során) eltávolíthatok a külső fémes CNT-k a MWNT-ban, ill. szelektíven kiiktathatok az SWNT kötegben. Ezeket a lépéseket, ill. a kapott eredményt szemlélteti a 11. ábra vázlata és SEM felvétele. A hátramaradó félvezető jellegű nanocsövek már használhatók molekuláris eszközök, ill. logika kialakítására. Sőt mi több, mód van a megfelelő sávszerkezetű, tilossáv szélességű nanocsövek kiválasztására is. Köztudomású, hogy *a tilos sáv a nanocső átmérőjével fordítottan arányos.* Ezért „kívülről befelé haladva" egyre nagyobb sávszélességű molekuláris félvezetővel van dolgunk.

Logikai alapkapcsolások szén nanocsöves tranzisztorokkal

Egy-egy CNTFET a félvezető nanocsővel egy *molekuláris* eszközt testesít meg. A delfti kutatóknak Al vezetékeket és a rajtuk képződő oxidot használva gate elektróda-szerkezetként a rájuk fektetett nanocső-molekulával, a rajtuk kialakított arany kontaktusok között sikerült >10-szeres erősítésű, a be- és kikapcsolt állapot között >100.000-szeres ellenállásarányt realizáló CNTFET-etket előállítaniuk (12. ábra) [3]. Külső ellenállásokat használva terhelés gyanánt, ezekkel a 13. ábrán bemutatott alap-

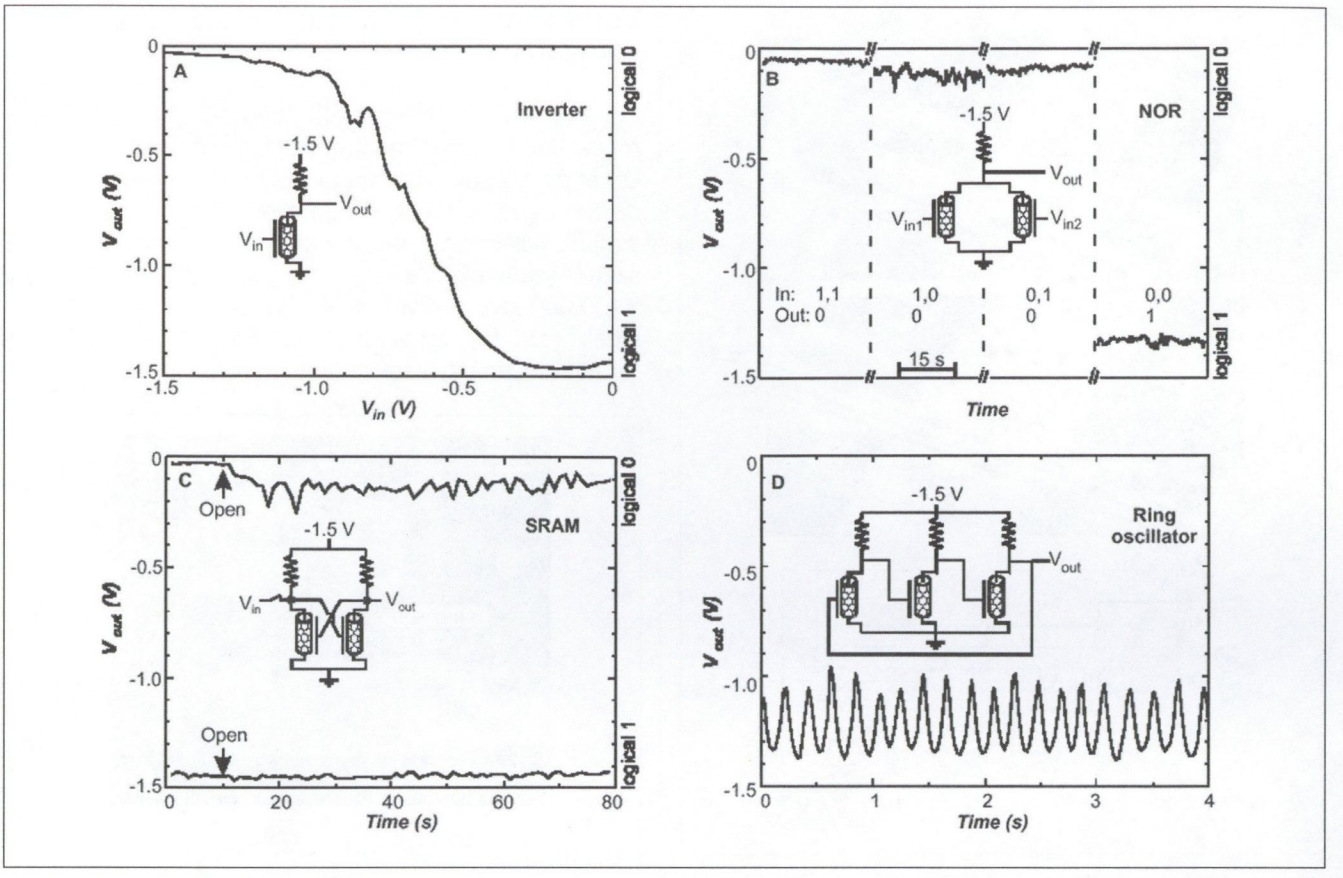


12. ábra CNTFET szerkezet kialakítása oxidált szilíciumon futtatott Al vezetéken a rajta képződő aluminiumoxidot használva gate elektródaszerkezetként arany kontaktusok között. Fent a szerkezet nagyfelbontású pásztázó elektronmikroszkópos képe, lent a tervezérelt eszköz vázlata. A be- és kikapcsolt állapot között >100.000-szeres ellenállásarányt kaptak [3].

kapcsolások (inverter, NOR kapu, sztatikus RAM cella, gyűrűs oszcillátor) is demonstrálhatóvá váltak [3].

Intermolekuláris integráció

Az IBM-es kutatók a fentebb leírt szelekciós eljárásukkal szintén inverter alapú logikai kapcsolásokat céloztak meg, viszont a CMOS működéssel analóg módon. Ehhez az eddigi p-csatornás eszközök mellett n-csatornás eszközt is elő kellett állítaniuk. Bár az összes laboratóriumban megvalósított félvezető eszköz alapvetően lyukvezető volt, a CNTFET a nanocső elektropozitív elemmel (pl. K-mal) adalékolás réven n-csatornássá tehető. *Miért lenne azonban intrinsic tulajdonsága a félvezető nanocsőnek a lyukvezetés?* Vákuumban történő hőkezeléssel sikerült is a kezdetben p-típusú molekulát folyamatosan n-típusúva tenni, vezérelhető



13. ábra CNTFET logikai kapcsolások külső terhelőellenállások felhasználásával. A logikai alapkapcsolások, inverter, NOR kapu, sztatikus RAM cella, 3 fokozatú gyűrűs oszcillátor működése a megfelelő diagramokon követhető nyomon [3].

módon beállítva az összes közbenső ambipoláris (elektron és lyukvezetési) állapotát. Ezzel nyitva állt az út a komplementer eszközök kialakítására akár egyetlen közös szubsztráton. Ezeket a p- és n-csatornás CNTFET-eket ún. *intramolekuláris logikai kapcsolásba* lehet integrálni.

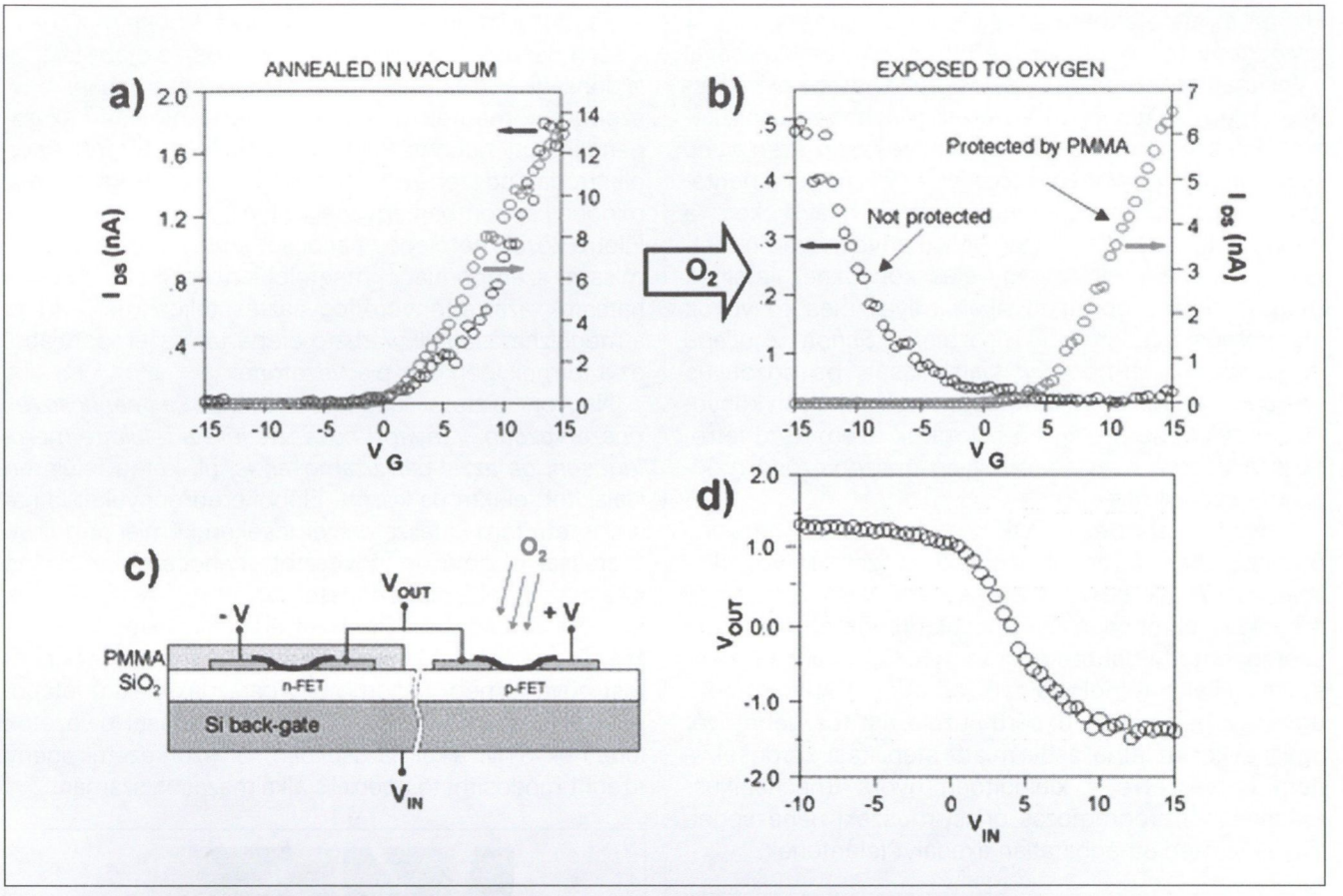
A 14. a. ábra $I_{DS}=f(V_G)$ karakterisztikái mutatják az eredetileg p-csatornás CNTFET metamorfózisát egy rövid 400°C-os vákuum-hőkezelés után. A pozitív gate-feszültség hatására immáron elektronáram folyik, és a csatorna negatív gate-feszültséggel zárható le. A folyamat oxigénben megfordítható, azaz az eszköz ismét lyukvezetővé tehető. Természetesen működés közben stabilan és folyamatosan biztosítani kell vagy az egyik, vagy a másik állapotot, ami az elektronsugaras rezisztanyagként közismert polimer, PMMA bevonat alkalmazásával megoldható. Ezzel az anyaggal bevont CNT vákuumos hőkezelés esetén n-vezetővé tehető, de alatta alacsony nyomású oxigénben nem konvertálódik a vezetés típusa, szemben a fedetlen nanocsövekével. Így szelektív módon lehet azonos lépéssorral (vákuumos hőkezelés, majd oxigénes temperálás) mindkét komplementer CNT-t létrehozni egy szeleten, ami az *intermolekuláris logikai integráció* alapja lehet. Míg a káliumos adalékolás a Fermi szint helyzetét változtatja meg a szerkezetben, az oxigén hatása inkább a kontaktusok állapotát befolyásolja, mintsem ún. „tömbi" adalékoló hatást vált ki.

Intramolekuláris integráció

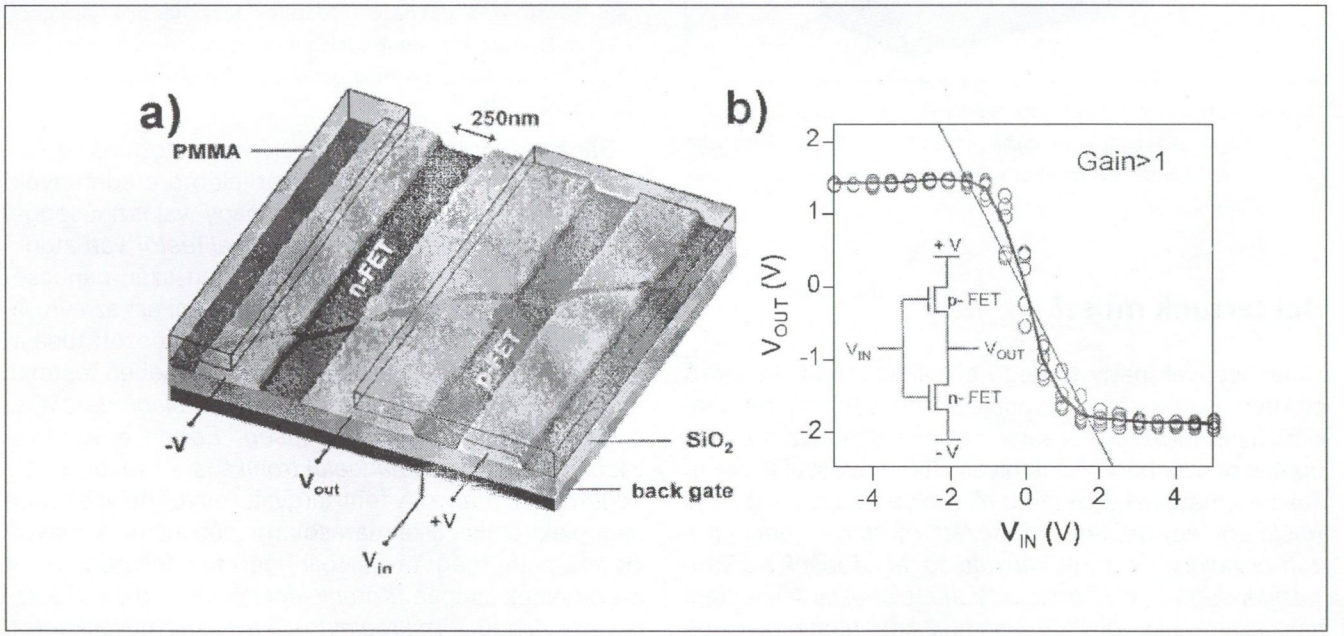
A CNTFET-es integrációval elérhető optimális komplexitás az lenne, ha *egyetlen molekulán belül lehetne a logikai alapkapcsolatokat,* ill. komplex átmeneteket kialakítani. Ez az *intramolekuláris, valóban molekulaszintű* integráció!

A 14. c. ábrán látható az IBM csoport eljárása ennek megvalósítására. A képen egyfalú nanocsőköteg látható 3 arany vezetékre fektetve. Ez két sorbakapcsolt CNTFET-nek felel meg. A teljes felületet borító PMMA rétegbe elektronsugaras litográfiával ablakot nyitottak úgy, hogy ezen át káliummal adalékolhatóvá váljék az egyik „csatorna", azaz a nanocső-molekula egyik fele. Az n-típusú adalékolást úgy állították be, hogy a p- és az n-csatornák kinyitásához szükséges küszöbfeszültség megegyezzék. Ez a relatív küszöbfeszültség-pozíció az adalékolás szintjével igény szerint optimálisan változtatható, amit a 15. b. ábrán bemutatott éles inverter-átmenet igazol. Az inverter erősítése 1,6, azaz képes egy másik inverter vagy gyűrűsoszcillátor meghajtására is.

Még további lehetőségeket rejt magában az intramolekuláris integráció azzal, hogy elvileg két eltérő tulajdonságú, pl. két fémes, vagy két különböző tilossávú félvezető vagy egy vezető és egy félvezető nanocső is összekapcsolható azonos molekulán belül.



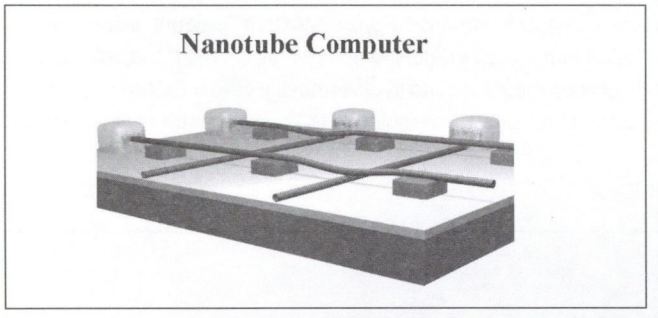
14. ábra Az IBM csoport eljárása komplementer CNTFET-ek megvalósítására d_t=1,4nm átmérőjű egyfalú SWCNT félvezető nanocsöveken, melyek sávszélessége E_g=0,6eV. Az (a) ábra $I_{DS}=f(V_G)$ karakterisztikái mutatják az eredetileg p-csatornás CNTFET átalakulását rövid 400°C-os vákuum-hőkezelés után. A folyamat a (b) ábra szerint oxigénben megfordítható (lyukvezetés), kivéve a PMMA réteggel védett eszközt. A (c) ábra egy p- és n-csatornás eszköz felhasználásával felépített intramolekuláris komplementer invertert mutat, melynek kimenő karakterisztikája a (d) ábrán látható [2].



15. ábra Az IBM intramolekuláris komplementer CNTFET inverter képén (a ábra) oxidált Si szeleten egyfalú nanocső-köteg AFM képe látható 3 arany vezetékre fektetve. A két sorbakapcsolt CNTFET közül a jobboldalit PMMA réteg borítja az oxigénes hőkezelés alatt. Az n-csatorna adalékolása miatt a p- és az n-CNTFET küszöbfeszültsége megegyezik. A (b) ábrán az inverter erősítése 1,6, azaz egy további inverter vagy gyűrűsoszcillátor meghajtására is képes [2].

Ha az átmeneteket a tökéletes hexagonális rácsok között egy-egy pentagon és hepptagon beiktatásával valósíthatnánk meg, folytonos átmenetet valósíthatnánk meg a különböző vezetési mechanizmusok között. Ezek az átmenetek már egy *teljesen szén-alapú nanoelektronika alapegységei lehetnek.* Mivel a pentagon beiktatása pozitív görbületet (konkáv) okoz, a hepptagon beiktatása negatív (konvex) görbületet, ezek az átmenetek egy-egy éles könyöknek felelnek meg. A delfti csoportban sikerült ilyen éles könyökök elektromos minősítésével igazolni a *Schottky jellegű egydimenziós átmenetek* kialakulását, és egzotikus tulajdonságú fém-fém átmenetek létét [3]. Ilyen könyökkel felépíthető elágazó hálózatok üzemszerű létrehozása viszont csakis valamilyen önszerveződő módszerrel képzelhető el.

Vannak elképzelések (MIT, Lieber csoport) koncepcionálisan eltérő integrált nanocső-hálózatokra vonatkozóan is [7]. A *nanoméretű keresztsínes (cross-bar)* megoldással mechanikai kapcsolat révén előálló tároló csomópontba írnák be az információt, ill. annak megszakításával törölnék (ld. 16. ábra). A CNT-k mérete ugyan elvben rendkívül sűrű huzalozást tesz lehetővé, ugyanakkor az áthallások miatti stabilitási kérdések – nem is beszélve a kielégítően gyors (mechanikus, mágneses?) programozás óriási műszaki nehézségeiről –, ma még áthághatatlan akadályt jelentenek.



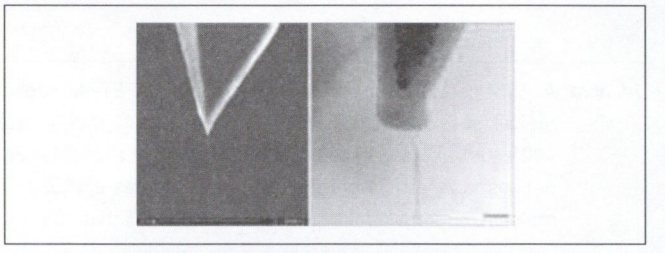
16. ábra A nanoméretű keresztsínes (cross-bar) elképzelés vázlata. A tároló csomópontokba címzett mechanikai kapcsolat révén írnák be az információt, ill. annak megszakításával törölnék [7].

Hol tartunk most?

A nanocsövek nagy tömegű előállítása, mint az előző cikkben is olvashattuk, napjainkban van napirenden. Bármilyen funkcionális vagy integrált alkalmazás szempontjából azonban csakis olyan CNT növesztési eljárások alkalmazása képzelhető el, melyek *viszonylag nagy felületen, egyidejűleg, rendezett módon, meghatározott pozícióba és adott irányultsággal képesek a kívánt tulajdonságú SWNT molekulákat létrehozni.* A jelenlegi használatos egyedi CNT manipulációs, kontaktálási és adalékolási technikák kizárólag az alapkutatási fázisban elfogadható és megfizethető módszerek.

Hogy a gazdaság milyen gyorsan rámozdul a technológia nyújtotta új lehetőségekre, azt a Samsung cég téremissziós képmegjelenítője példázza. Ebben már ma is a szén nanocsövek kiváló téremissziós és stabilitási tulajdonságait használják ki. A technológia roppant egyszerű: egy megfelelő masszában egyenletesen szuszpendáltatott nanocsöveket kennek fel a téremissziós elektródarendszerre. Nagy valószínűséggel így is lesz minden képpontban egy megfelelő pozícióban álló, a felületre közel merőleges nanocső, amelyik az elektronemisszió szempontjából megfelelően viselkedik. Mind a hatásfok, azaz a fényerő/fogyasztási teljesítmény, mind a megbízhatóság, ill. várható élettartam szempontjából ez a termék ígérkezik piacvezetőnek.

Nagyon biztató kísérletek vannak a *nanocsövek önszerveződő, irányított növesztésére a felületre merőlegesen, de azzal párhuzamosan is,* pl. két, a felületen kialakított elektróda között. Előbbi eredményeket, a nanoméretű fém katalizátorszemcséken kémiai gőzfázisú eljárással plazmásan növesztett nanocsöveket máris alkalmazza a mikrorendszer-technika. A CNT tűk (unikális hossz/keresztmetszet arányuk miatt) a pásztázó mikroszondás tűk hegyén nem csak a laterális felbontást növelik meg, hanem mély barázdák alakhű letapogatását is lehetővé teszik (17. ábra). Ráadásul jó vezetők lehetnek STM alkalmazásokban, ill. szerkezetük igény szerint módosítható speciális alkalmazások számára.



17. ábra Pásztázó mikroszondás tűk hegyén növesztett szén nanocsövek a pásztázó módszerek felbontásának javítására. Nem csak a laterális felbontást növelik meg, hanem mély barázdák alakhű letapogatását is lehetővé teszik [7].

Bár a terület rendkívül intenzíven kutatott, és naponta jelennek meg új mérföldkövet jelentő eredmények, megoldást ezen a területen is nagy valószínűséggel csak az *interdiszciplináris megközelítéstől* várhatunk. A molekuláris elektronika a szervetlen szén nanocsövek esetében sem fogja tudni nélkülözni azt az évmilliós evolúció során a természetben felhalmozott tudást, ami az élő biológiai szervezetek működésében testesül meg. *A konstruktív, alulról építkezés alapfeltétele az önszervező reprodukcióképesség. Ebben a vonatkozásban a szervetlen nanoelektronika is a biológia segítségére lesz utalva.* A fent tárgyalt mikro- helyesebben nanoelektronikai alkalmazások mindazonáltal a gyakorlat számára még távoli, bár ígéretes lehetőségként szerepelnek csupán. *Korunk legkiforrottabb ipara, a szilícium alapú mikroelektronika méretcsökkentett CMOS tranzisztorainak tehát a CNTFET-ek még belátható ideig nem lesznek konkurensei, ezért egyelőre nem is jelenthetnek alternatívát vele szemben.* Nagy örömünkre szolgál, hogy szerény eszközeinkkel az

MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetben is folyik olyan CNT kutatás, ami szép kezdeti eredményekkel jó alapot szolgáltat a nanotechnológia irányába történő továbblépésre [8].

További információk beszerezhetők az alábbi honlapokról:

1. http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/nanotube.html (The Nanotube Site linkekkel)
2. http://researchweb.watson.ibm.com/nanoscience/nanotubes.html (IBM, Avouris csoport)
3. http://www.mb.tn.tudelft.nl/nanotubes.html (Delft, Dekker csoport)
4. http://www.lassp.cornell.edu/lassp_data/mceuen/homepage/welcome.html (Cornell, McEuen Lab)
5. http://nlpgw.jst.go.jp/ (NEC, Iijima Group)
6. http://www.ruf.rice.edu/~smalleyg/ (Rice, Smalley Group)
7. http://cmliris.harvard.edu/html_natalya/research/research.htm (Harvard, Lieber csoport)
8. http://www.mfa.kfki.hu (MTA MFA, Gyulai J.-Biró L. csoportja)

Hír

A rEVOLUTION Software közleménye

A BellResearch piackutató legfrissebb adatai szerint a 180.000 mikrovállalkozás (1–10 fő) 30%-a a kereskedelemben, 40%-a pedig a szolgáltatások terén működik, azaz 70%-uk éppen olyan tevékenységet folytat, amelyben az ügyfelek és partnerek nagy száma miatt indokolt lenne a modern ügyviteli szoftverek használata. Ugyanez az arány a 10 főnél többet foglalkoztató cégeknél 23-, illetve 15 százalék, tehát itt is jelentős.

A kis- és középvállalatokra a jelenleginél nagyobb figyelmet kellene fordítani, mert ezek – informatikai fejlesztésekkel javítható – életképessége, versenyképessége és jövedelem-termelő képessége fontos tényező a hazai gazdaság növekedésében is. Az ügyviteli szoftverek szélesebb körű elterjedésében az is fontos tényező, hogy a vezetők eljussanak ahhoz a döntéshez, hogy cégük számára egy informatikai rendszer bevezetése szükséges-e. Ehhez több piaci információra és alaposabb tájékoztatásra lenne szükség, különös figyelmet fordítva arra, hogy a döntéshozóknak nem elsősorban részletes technikai paraméterekre, hanem gazdasági típusú háttérinformációkra van szüksége.

Az ügyviteli feladatok ellátásához szükséges szoftver kiválasztásakor meg kell határoznunk azokat az igényeket, amelyek kielégítését a szoftvertől várjuk. Ehhez a kezdeti lépéshez érdemes szakember segítségét kérni, de alapos munkával a cég vezetői vagy szakemberei is átgondolhatják a belső folyamatokat, mert e munka során sokszor – függetlenül a szoftvervásárlási szándéktól – olyan felismerésekre juthatunk, amelyek révén a folyamatok racionalizálásával már önmagában javítható az üzletmenet hatékonysága.

Először az egyedi és késztermék között kell választani. Az egyedi fejlesztésű szoftverek drágák, megvásárolni csak akkor érdemes, ha az igényelt funkciók többségének olyan speciális elvárásokat kell kielégíteni, amelyek nem szerepelnek a mindennapi gyakorlatból szerzett tapasztalatok alapján kifejlesztett kész alkalmazásokban. A másik oldalon a „kész" szoftverek állnak, amelyekben megtalálhatóak az alapfunkciók, de az alacsonyabb ár fejében sokszor kompromisszumra van szükség, a speciális elvárások kielégítése ezeknél nem lehetséges.

A rEVOLUTION Software fejlesztői tapasztalata azt igazolja, hogy a vállalatok túlnyomó többségénél a cég működése valójában nem egyedi, ezért érdemes inkább a folyamatokat módosítani, standardizálni, mintsem néhány speciálisnak hitt folyamat miatt egyedi rendszert fejleszteni.

A harmadik lehetőség a két előző megoldás ötvözete – amelyet általában kevésbé vesznek igénybe a cégek – az, hogy kiválasztanak egy, az alapvető igényeinek megfelelő szoftvert, és a termék gyártójával elvégeztetik az egyedi elvárásoknak megfelelő változtatásokat. Így, egyedi fejlesztéssel kiegészítve a cég mérsékelt áron jut olyan alkalmazáshoz, amely tejles mértékben kielégíti elvárásait.

A hazai piacon a kis- és középvállalatok számára egyre több kategóriában találhatók elérhető áron hazai fejlesztésű ügyviteli szoftverek, az egyszerű számlázó programoktól a nagyvállalatok számára készült szoftverek minden funkcióját tartalmazó vállalatirányítási rendszerekig, de sok területen – éppen a keresletről hiányzó információk miatt – még nem megfelelő a kínálat. A cégek forgalmától, alkalmazottainak és partnereinek számától függően szinte minden fejlődésre törekvő vállalkozás számára elérhető olyan szoftver – akár egyszerű számlázó vagy kisvállalati CRM (ügyfélkezelő) program – amely hozzájárulhat a teljes működés vagy egy-egy funkció fejlesztéséhez.

A hazai környezetben fejlesztett szoftverek előnye, hogy a törvényi és jogszabályi előírásoknak maradéktalanul megfelelnek, és követik ezek módosításait. E szoftverek rövid időn belül megtérülnek. A modern szoftverek alkalmazásával a csökkenő költségek és az információk hatékony felhasználása az életképességhez teremthet alapot.

Contents

Foreword to the issue of October 1

Mérey, Imréné:
In memory of Professor Simonyi 2

ELECTROMAGNETIC FIELDS

Kuczmann, Miklós–Iványi, Miklósné:
Measurement and identification of the scalar hysteresis characteristics by using of the neural hysteresis model 4

Matyi, Gábor:
Application method of soliton-type solutions of Maxwell´s equations in the optical communications 10

MOBILE TELECOMMUNICATIONS

Lakatos, József–Nusser, Péter–Vajda, Lóránt–Simon, Csaba–Török, Attila:
Analysis of behaviour of IEEE 802.11b-based mobile networks 15

Huszlicska, József:
Third generation networks – Several thoughts about the reality of business plans 22

THEORY OF TELECOMMUNICATIONS, TRAFFIC, SAFETY AND SECURITY

Földes, Gábor:
Development of broadband Internet accesses 26

Dömötör, Sándor:
The present and the future of the traffic analysis 33

Dr. Krbilová, Izabela–Ondrú_ek, Peter–Dr. Tarnai, Géza:
Security and risk in the information technology 38

Mészáros, Etelka:
ITU's plans for improving the data security 44

Nagy, Beatrix Havaska
Our data mining 46

NEW ELEMENTS IN THE TELECOMMUNICATIONS

Bőhm, Tamás–Eschwig-Hajts, Attila
MEMS, a promising technology in optical switching 49

Bársony, István:
Carbon nano-tubes in the integrated electronics 53

Szerkesztőség
HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6–8.
Tel.: 353 1027, Fax: 353 0451
e-mail: hte@mtesz.hu

Hirdetési árak:
1/1 (205 x 290 mm) 4C 120 000 Ft + áfa
Borító 3 (205 x 290 mm) 4C 180 000 Ft + áfa
Borító 4 (205 x 290 mm) 4C 240 000 Ft + áfa

Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is
BME Szélessávú Hírközlő Rendszerek
Budapest XI., Goldmann Gy. tér 3.
Tel.: 463 1559, Fax: 463 3289
e-mail: zombory@mht.bme.hu

Előfizetés
HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6–8.
Tel.: 353 1027, Fax: 353 0451
e-mail: hte@mtesz.hu

2001-ES ELŐFIZETÉSI DÍJAK
Hazai közületi előfizetők részére
1 évre bruttó 30 000 HUF

Hazai egyéni előfizetők részére
1 évre bruttó 6 000 HUF

Subscription rates for foreign subscribers
12 issues 150 USD, single copies 15 USD

www.hte.hu

Felelős kiadó: MÁTÉ MÁRIA
Lapmenedzser: Dankó András

Design by: Kocsis és Szabó Kft.
HU ISSN 0018-2028

Printed by: Regiszter Kft.