

A BAYES-HÁLÓK RENDÉSZETI ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Bevezetés

Vitathatatlan, hogy a rendészeti feladatok megoldására biztosított erőforrások a demokratikus berendezkedésű országokban mindig alacsonyabb szinten jelennek meg, mint a diktatúrákban. A szervezett bűnözésnek is kedvez a demokráciák szabad légköre, ami rendészeti feladatot ellátók kedvezőtlen megítéléseként jelentkezik az állampolgárok szemszögéből. Az elvárások és az erőforrások egyenlőtlenségének ténye olyan helyzet, ami ellen lehet és kell is észérvekkel küzdeni, bár meggyőződésem, hogy az alternatív rendezési megoldások gyorsabb és látványosabb eredménnyel bíztathatnak. Nem használhatatlan általánosságok, hanem a gyakorlatias probléma-megközelítés ahajtómotorja az egyenlőtlen küzdelemben a helyzet javításának, ami az erőforrások jobb felhasználásában, valamint szemléletváltásban nyilvánulhat meg. A legköltséghatékonyabb megoldások a bevált szervezési módszerekben rejlenek, ami számos alkalommal önmagában még nem elegendő a célok eléréséhez. Ahol már minden közismert szervezési megoldás alkalmazási lehetőségét kimerítették, még mindig felcsillanhat egy reménysugár a Bayes-tételből (1763)⁶³² származó Bayes módszerek használatán keresztül. A bayesi szubjektív valószínűség gyakorlati alkalmazásának egy speciális területe a Bayes-háló – amely Wright 1920-ban írt hörcsögszaporodási tanulmányától⁶³³ eredeztethető, s kiteljesülése az 1970-es évek végen a Mesterséges Intelligencia kutatásával indult fejlődésnek – szervezési megoldáskeresésben is elérhető használatos szolgálat. A kezdeti időben kutatása és népszerűsítése leginkább Pearl⁶³⁴ nevéhez köthető. A Bayes-hálókról kriminológiai és kriminalisztikai kutatása és alkalmazása helyet kapott a tengerentúlon és a távol-keleti régiókban, példálózva említve az Egyesült Államok,⁶³⁵ Brazília,⁶³⁶ vagy Hong Kong⁶³⁷ kutatási központjainak publikációit. A bayesi gondolkodást teljes mélységében könyvtárnyi irodalommal lehet illusztrálni, az egyszerű (naiv) megközelítés elsődlegességét az elfogadás és a befogadtatás igénye szolgálja jobban, ezért jelen tanulmányban is ezt az utat választom.

⁶³² Thomas Bayes: An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 53. London, 1763. 370-419. o.

⁶³³ S. Wright: Systems of Mating. I: The Biometric Relations between Parent and Offspring. in: Genetics 6., 1921. 11-123. o.

⁶³⁴ J. Pearl: "Reverend Bayes on Inference Engines: a Distributed Hierarchical Approach" Proceedings, AAAI National Conference on AI, Pittsburgh, PA, 1982. 133-136. o.

Forrás: http://www.ece.tamu.edu/~bjyoone/ecen689-604-fall10/Pearl_1982.pdf (letöltés ideje: 2013.07.20.)

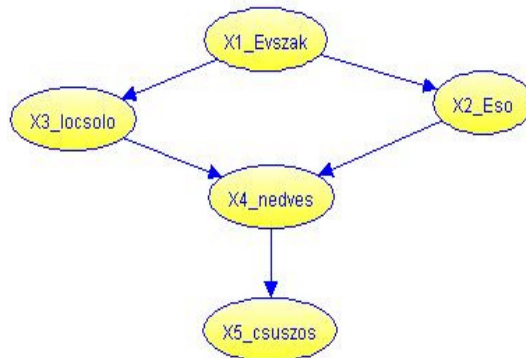
⁶³⁵ A.B. Hepler: Improving Forensic Identification Using Bayesian Networks and Relatedness Estimation: Allowing for Population Structure. <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/231831.pdf> (letöltés ideje: 2013.07.20.)

⁶³⁶ Carvalho, R.N. – Laskey, K.B. – Costa, P.C.G. – Ladeira, M. – Santos, L.L. – Matsumoto: Probabilistic Ontology and Knowledge Fusion for Procurement Fraud Detection in Brazil. http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-35975-0_2#page-1 (letöltés ideje: 2013.07.20.)

⁶³⁷ Kwan, M.Y.K. – Law, F.Y.W. – Lai, P.K.Y.: Computer Forensics Using Bayesian Network: A Case Study <http://i.cs.hku.hk/cisc/forensics/papers/BayesianNetwork.pdf> (letöltés ideje: 2013.07.20.)

A Bayes-tételtől a Bayes-hálókig vezető út vázlata

Tapasztalati tényként említhető, hogy a magyar közoktatásban a gyakorisági valószínűség minden képzési formában megjelenik, de a feltételes valószínűséggel történő találkozás már csak szerencse kérdése, ami a későbbi befogadás és alkalmazás problémájaként jelenik meg. Ámbár eddigi széles spektrumra állított kutatómunkám során a bayesi gondolkodással már magyarul is olvasható vallásfilozófiai^{638,639} műben és hitéleti periodikában^{640,641} is találkoztam, ezzel szemben a hazai rendészeti tevékenységek koordinálását célzó bayesi útmutatással nem. A felzárkózás szükségességére utal, hogy Pearl már 1982-ben hivatkozik a jogi érvelésben való hasznosságára, továbbá Schum és Martin (1980) Bayes hálókkal kapcsolatos jogalkalmazási tanulmányára.⁶⁴² A gondolkodásmód alapszinten nem is annyira elvont, mint annak matematikai részleteket is feltáró bizonyító levezetése, s meglepő, hogy a köznapi ember milyen gyakran használja logikáját, amint ez az 1. ábrán is látható.



3. sz. ábra: Bayes háló – Öt változó oksági kapcsolata

Pearl meghatározása szerint a Bayes-háló olyan irányított aciklikus gráf, melynek csomópontjaiban az érdekköri változók (pl. az elkövető neve, egy bizonyíték tulajdonsága, az esemény bekövetkezésének gyakorisága),⁶⁴³ s a pontokat összekötő kapcsolatok pedig a változók információs, vagy oksági függőségét jelzik. Pearl számos tanulmányban idézett „csúszós járda” példájais ezt az elvet követi.^{644,645}

Az évszak (X_1), az eső (X_2), a kerti öntöző üzemének (X_3) – mint szülőnek – eshetősége vezet a nedves járdához (X_4), ami a járda csúszósságát okozhatja (X_5), s

⁶³⁸ R. Swinburne: Isten volt Jézus? Helikon Kiadó, 2012. 143-149. o.

⁶³⁹ Jézus mibenlétét felismerhetően bayesi logikával elemzi a szerző.

⁶⁴⁰ Szilvay Gergely: Swinburne: A tudomány filozófiai érvei Krisztus mellett. Szolgatárs 2013/1. szám 58-60. o.

⁶⁴¹ A cikk azért érdekes, mert expressis verbis a Bayes tételt említik a hitéleti periodikában.

⁶⁴² Pearl: i.m. 133. o.

⁶⁴³ Az eredeti példában említett jellemzőket jelen tanulmány tárgyköréhez igazítottam.

⁶⁴⁴ J. Pearl: J. Bayesian Networks. Forrás: http://ftp.cs.ucla.edu/pub/stat_ser/R246.pdf 133-136. o. (letöltés ideje: 2013.07.20.)

⁶⁴⁵ J. Pearl: Causality. Models, Reasoning, and Inference. Cambridge University Press. Cambridge, 2009. 22-24. o.

számítása az elemi események bekövetkezési valószínűségének szorzatából (produktum: Π) adódik:

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_i P(x_i | p_{a_i})^{646}$$

A Bayes-hálókat illetően Conrady és Jouffe több figyelemreméltó megállapítást tesz: ismeretegyesítő, hordozható ismeretformátumú, kommunikálható érintettségre és dinamikára.⁶⁴⁷

A bayesi gondolatok rendészeti szempontú felvezetése

A tétel felírása előtt érdemes egy fiktív, de gyakorlatias esettel megvilágítani a módszer alapjait. A városban a diákok bejelentett tiltakozó demonstrációkívánnak tartani. Korábban – a mostaninál nagyobb hátrányok kilátásba helyezésénél – fegyelmetten demonstráltak, ezért jelentősebb rendészeti beavatkozás szükségességemost sem merült fel. A művelei vezető tiltakozó megmozdulás reggelén tudja meg, hogy a randalírozásairól országosan elhíresült motoros csapat a városszéli kempingbe érkezett. Jelenlétiük kockázati tényező lehet, ha a békés megmozdulásról tudomást szerez a kétes hírű csoport, s provokálják a diákokat, s esetleg utcai csatározásokba fordul a békésnek tervezett demonstráció. Milyen intézkedési változtatásokra van szükség az új információ ismeretében?

Tekintsük át bayesi megközelítésben a fiktív esettanulmányt. A korábbi tapasztalatok (a priori információk) alapján a döntéshozó (kezdeti) hipotézist (H_0) állít fel a várható események (E_0) alakulásáról. Valószínűsíthető (Probability, $P_0 = P(\text{Rendzavarás} | \text{Nincs_más_esemény})$)⁶⁴⁸, hogy elhanyagolhatóan kicsi az esélye (Odds, O_0) annak, hogy az események kedvezőtlen irányba fordulásakor rendészeti beavatkozásra lesz szükség. A parancsnok a reggel szerzett friss (a posteriori) információk (Information, I) alapján új hipotézist (H_1) állít fel. A rendzavarás valószínűsége ($P_1 = P(\text{Rendzavarás} | \text{Ha_motorosok_is})$)⁶⁴⁹ a megváltozott feltételrendszerben sokkal nagyobb, ennek megfelelően a rendészeti intézkedések szükségességének esélye (O_1) is jelentősebb ($O_1 \gg O_0$). Az új információkon alapuló hipotézis és a régi hipotézis aránya az esélyek arányában (Likelihood Ratio, LR vagy λ) mutatkozik meg szemléletesen.

Miért jó a valószínűségi-arány használata? Az agy, különösen a ragadozók agya a változások követésében rendkívül érzékeny. A vízzel együtt melegített béka esete mutatja a lassú, veszélyes változásokkal szembeni kisebb fogékonyságot, s ezen keresztül a béka halálát, míg a magasban keringő sólyom a fűben mozgó piciny, de észlelhető változásban az élelmét találja meg. Az emlékezetes tiszazugi emberölés-sorozat hosszú időbeni kiterjedése a béka-példán keresztül könnyen érthető, a zsebtolvaj pedig a sólyom logikájával fürkészi az egyformának látszó emberek tömegében áldozatának villanásra nyitott táskájában rejtő értékeket.

⁶⁴⁶A matematikailag kissé pontatlan leírás a gondolatok követését nem zavarja.

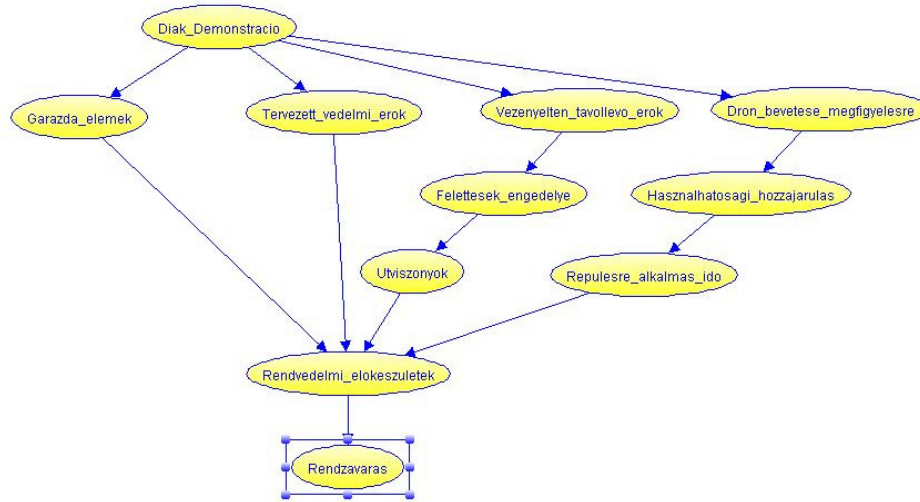
⁶⁴⁷Conrady, S. Jouffe, L. Introduction to Bayesian Networks, Practical and Technical Perspectives. 2011. 02.15. http://www.bayesia.us/white_papers/BBN_Introduction_V13.pdf (letöltés ideje: 2013.07.20.)

⁶⁴⁸Értelmezése: $P(\text{Rendzavarás} | \text{Nincs_más_esemény})$: a rendzavarás valószínűsége abban az esetben, ha (I) nincs más esemény. Jelölése a későbbiekben $P(R|N)$

⁶⁴⁹Értelmezése: $P_1 = P(\text{Rendzavarás} | \text{Ha_motorosok_is})$: a rendzavarás valószínűsége abban az esetben, ha (I) nincs más esemény. Jelölése a későbbiekben $P(R|M_is)$

A kezdeti feltételezést, az információ megjelenése új hipotézissé formálta, más szóval a rendzavarás esélyének újragondolásához az adott eseményhez látszólagosan nem kapcsolódó történés adott okot. Miután a Bayes-tétel gyakorlati alkalmazását láttuk, vizsgáljuk meg, miként alkalmazhatja a műveleti vezető a Bayes-hálókat.

A parancsnok az új hipotézis (H_1) alapján a rendzavarási esélyek arányát olyan jelentősnek ítéli, hogy rendkívüli eligazításon helyzetértékelést tart az érintett állománynak. Az eligazításon számos tennivaló, illetve erőforrás eloszlási probléma merül fel, melyből az alábbiakban a teljesség igénye nélkül példálózva említek néhányat. Az állomány egy részét továbbképzésre vezényelték, de az új helyzetben szükség van közreműködésükre is. A demonstrációt, melynek rendzavarásba torkollását vélelmezi ($P(RIM_is)$) a műveleti vezető, a megmozdulás szervezői délutánra tervezték, ezért azonnali parancs kiadása esetén nagy valószínűséggel ($P(\text{Azonnali_parancslvégrehajtható})$) időben visszaérkeznek a vezényelték ($P(\text{visszaérkezés_időben} | \text{Közlekedési_akadály})$). A fentieket, valamint a továbbiakban még említésre kerülő felvetéseket demonstrálja Bayes-hálón a 2. ábra.



4. sz. ábra: Bayes-háló rendfenntartási intézkedések valószínűségi változóinak áttekintésével

A korábbiak alapján látható, hogy a valószínűségi értékeknél a köznapi kockázati tényezők is szerepelnek. A parancs végrehajthatóságánál a feljebbvaló vétőjét, vagy egyéb, az intézkedés szempontjából releváns akadályozó körülményt, valamint a vezényelték visszaérkezésénél az adott útszakaszra vonatkozó forgalmi dugókat, időjárási körülményeket és a baleseti gyakoriságot is figyelembe vesszük. A Bayes-hálón alapuló intézkedési tervnél az összes ismert elemet, releváns kockázati tényezőfigyelembe kell venni. Az intézkedési terv hatékonysága és megbízhatósága a teljes körűsége törekvéstől és az elemi események valószínűségének becslési pontosságától függ. A Bayes-háló felépítésénél felmérés tárgyát képezi ez események kapcsolati rendszere is, mert a háló nem az intézkedési folyamatot, az elemi események milyenségét, hanem az adott struktúra és valószínűségi értékek figyelembevételével a történések végkimenetelének valószínűségét adja. (A példa továbbgondolása:) Adott esetben szóba jöhet

drón^{650,651} alkalmazása is,⁶⁵² amely a megmozdulás különböző pontjairól szolgáltathat információt. Ez emberi erőforrásmegtakarítás és az intézkedésben résztvevők veszélyeztetése szempontjából komolyan figyelembeveendő tényező lehet. Ahogy a drón bevetése⁶⁵³ előnyt jelenthet, ugyanúgy lehet a rendzavarás elfajulásának (P(Rendzavarás_fokozódásdrón_bevetés)) katalizátorais.⁶⁵⁴ Azonban felmerülhet olyan szempont is, hogy a drón bevetésének tervébe bevonják a megmozdulás vezetőit, feltárva az alkalmazás okait, s hogy ez nem a megmozdulásban résztvevők ellen, hanem a közbiztonság érdekében történik. (P(Rendzavarás_csökkenéslademónstráció_vezetők_bevonása)). A drónok programozása a Mesterséges Intelligencia⁶⁵⁵ és a Bayes módszerek alkalmazása nélkül kevésbé képzelhető el.⁶⁵⁶

A bayesi gondolatok kriminalisztikai szempontú felvezetése

A fentiekhez hasonlóan kövessünk végig egy olyan fiktív esetet, amivel a kriminalista találkozhat, s a fent ismertetett gondolatmenetet és eszközöket is alkalmazzuk. Az ebédidőben néptelen utcák adta helyzetet is betervezve, a városka bankja ellennegy állig beöltözött ismeretlen tettes fegyveres rablást követett el. A kábelkötegelővel mozgásképtelenné tett banki alkalmazottak és a rosszul elhelyezett kifelbontású kamerák kevés érdemleges információval szolgáltak, amit a következő lista összegez:

- a) az egyik támadó (a_1) kissé elhízott, (a_2) szájszaga cukorbetegségre utalt,⁶⁵⁷
- b) a kamerák szerint, egy másik elkövető bal lábfeje jellegzetesen befelé fordult,
- c) egy helyi lakos nagy sebességű (c_1) piros (c_2) Lada (c_3) 1200 típusú gépjármű mozgásáról adott információt.

Példálózva értékeljük az esetet Fenyvesi piramis modelljének⁶⁵⁸ alapkérdéseiből indulva. A mi, hol, mikor és hogyan „piramis talpazati elemekre” a válasz megadható, de a ki, kivel és miért hiányzó válaszaira a vélelmezett elkövetők elfogásával könnyebben lehet

⁶⁵⁰ Drón: etimológiailag az angol „drone” hímnemű méh, avagy a zümmögés szóból egyaránt származhat, amely kisméretű pilótanélküli légi járművet (UAV) jelent általánosságban, de terjedőben van, hogy leginkább a négy-hajtóműves helikopterszerű pilótanélküli járműveket értik alatta.

⁶⁵¹ S. Wehmeier: Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English. Oxford University Press Oxford, 2002. 387. o.

⁶⁵² A drónok alkalmazásának hazai szabályozásának elégtelen volta, valamint az emberi jogi aktivisták tiltakozása miatt alkalmazását kellő körültekintéssel kell végezni.

⁶⁵³ A drónok nem katonai alkalmazhatóságának törvényi szabályozása az USA-ban is csak 2012-ben született meg. (US Public Law 112-95-Feb.2012.)

⁶⁵⁴ Nemzetközi terrorelhárítási esetekben való alkalmazását követően komoly megmozdulások történtek, melynek hatására az Egyesült Államok speciális felvilágosító program kidolgozásába kezdett. in:How to Ensure that the U.S. Drone Program does not Undermine Human Rights http://www.humanrightsfirst.org/wp-content/uploads/pdf/blueprints2012/HRF_Targeted_Killing_blueprint.pdf(2013.07.17.)

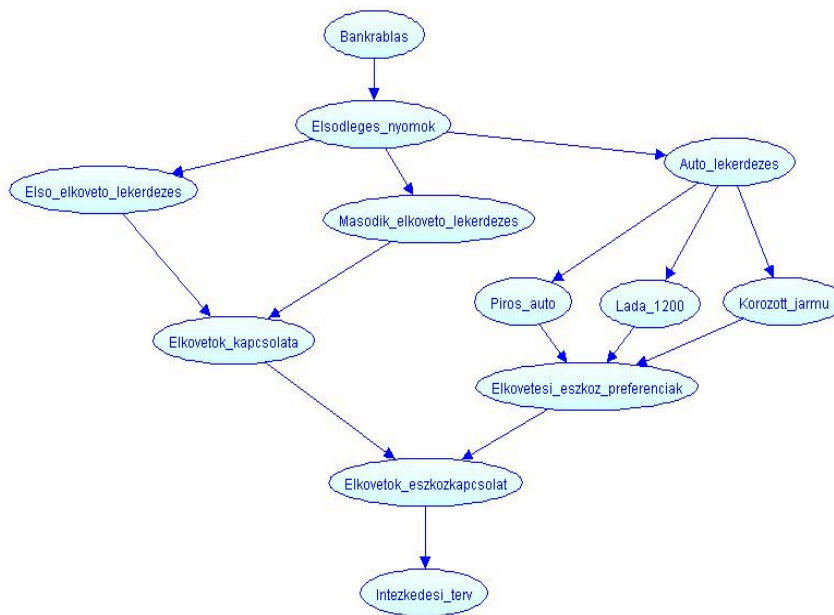
⁶⁵⁵ A Mesterséges Intelligenciával (MI) kapcsolatos, még hazai tudományos berkekben is felmerülő téveszméket saját magam is megtapasztaltam, ezért érdemesnek tartom ehelyt is néhány szót ejteni a témáról. Az MI-t alkalmazó gépek, berendezések emberi logika szerint oldanak meg ismert, s tesznek kísérletet ismeretlen problémák megoldására. Öntanuló képesség jellemzi működésüket, melyben a programozó szándékolt, vagy tehetségbeli korlátjai képeznek határt. Nem klónjai az embernek, s jelenleg nem is lehet, hiszen az agy működéséről csak kezdetleges elképzeléseink vannak. Olyan helyeken elengedhetetlen az MI alkalmazása, ahol a környezet veszélyes az emberi létre (pl. mars-járó, aknakereső, stb.).

⁶⁵⁶ Csak arra gondolva, hogy az erőszakos demonstrálók szándékosan megzavarják a drón és vezérlője közötti rádiókapcsolatot, akkor a drón fedélzeti számítógépére van bízva annak további működése.

⁶⁵⁷ A szájszag alapján történő tettes-azonosságkapcsolatosan a „viszkis rabló” esete szolgálhat jó példával.

⁶⁵⁸ Fenyvesi Csaba: A kriminalisztika piramismodellje és alapelvei. Belügyi Szemle 2012/10. sz. 14-26. o.

az ügy megoldásához eljutni. A piramis statikus voltát a szükséges intézkedés foganatosításához dinamikus kérdéselemekkel is ki kell egészíteni: mikor, merre, hogyan, kik és mivel.⁶⁵⁹ A „mikor” kérdésre a forrnyomon történő intézkedés miatt az azonnal a válasz, de a többi esetében az intézkedést érdemleges döntés-előkészítésnek kell megelőzni. A Fenyvesi-modell „mediátor” szintjén szereplő nyomoknál, anyagmaradványoknál és vallomásoknál is információ ínség van. A banki alkalmazottak intézkedésének, vagy esetleges védekezésük megakadályozásához használt és a villamos iparban széleskörűen elterjedt műanyag kötegelő az egyetlen azonnal fellelhető hasznosítható anyagmaradvány, mivel a meglepetésszerű támadás során nem használták az elkövetők a fegyvernek látszó tárgyakat, így akár hatástalanított eszközök, vagy replikák is lehettek, amit a tanúk láttak. Megállapítható, hogy a piramis modell csúcsán lévő „azonosításhoz” elégtelen a rendelkezésre álló adat. A Bayes-háló alkalmazásával készített egyszerűsített intézkedési tervet a 3. ábra mutatja, amit az elkészítésnél felhasznált ismeretek magyarázata követ.



5. sz. ábra: Egyszerű Bayes-háló példa egy nyomozási intézkedési terv előkészítésénél

Ha korábbi cselekmények kapcsán már kerültek a hatóságok látókörébe az elkövetők (P(Elkövető|Szerepel_bűnügyi_nyilvántartásban), az adatbázisokból az alábbiak alapján végeznek lekérdezést:(Gyanúsított_2:Gy₂) bankrablás, és csoportos bűnelkövetés, és túlsúlyos és cukorbeteg elkövető, és aki a tényleges szabadságvesztéssel járó büntetését kitöltötte, vagy büntetőintézetből eltávozáson volt.

A másik lekérdezésnél (Gyanúsított_1:Gy₁): bankrablás, és csoportos bűnelkövetés, és erőteljesen befelé forduló ballábfejű elkövető, és aki a kiszabott büntetését kitöltötte, vagy büntetőintézetből eltávozáson volt. A keresésnél további szűkítő, de kizárást

⁶⁵⁹A felsorolás nem teljes körű, hanem csak példálózó.

nem megengedő tényező lehet, a leválogatott egyének közül kik töltötték azonos helyen és azonos időben büntetésüket, vagy rendelkeznek azonos, vagy közeli lakó-, vagy tartózkodási hellyel, vagy milyen egyéb közös jellemző található a rögzített adatok között.

A harmadik lekérdezés a gépjárműre (J) vonatkozik, ahol a szempont- és kapcsolati-rendszer kibővül, különösen azért, mert a szemtanú tévedésének esélye miatt minden paramétert külön is meg kell adni kereső feltételként:

- piros (J₁), Lada(J₂), Lada-1200(J₃),
- ismert-e olyan cselekmény, amit hasonló járművel követtek el(J₄), körözés alatt áll-e(J₅), van-e bűnelkövetői csoport, aki előnyben részesíti ezt a típust(J₆).

A lekérdezéseket követően a Bayes-háló a paraméterekhez tartozó valószínűségi értékekkel feltölthető, az egyes gyanúsítottak érintettsége megbecsülhető, s a maximum likelihood arány megtalálása már konkrét elkövetőre vonatkozó vélelmezéssel is szolgálhat!

A Bayes-hálóak a kriminológiában

Az emberiség történelme során állandó társadalmi problémát jelentett a bűncselekmények léte, az adott közösség kriminológiai értelmű fertőzöttsége. A városiasodással, a lakosság koncentrációjával nemcsak fajlagos számosságában, de összetettségében is egyre bonyolultabb helyzet alakult ki. A statisztika büntetőjogi alkalmazása Magyarországon a kriminológiai összefüggések feltárását jellemezte. A Bayes-hálóak hazai kriminológiai alkalmazásával kutatásaim során nem találtam publikált példát, talán éppen ezért fontos Boondao Bangkokra vonatkozó tanulmányának megismerése.⁶⁶⁰

2000 január és 2003 decembere között a Thaiföldi Statisztikai Hivatal, a Királyi Thai Rendőrség, a Bangkok Városi Nyilvántartási Hivatal és Közlekedési Minisztérium adatokat gyűjtött kutatási céllal. Az analízishez az adatokat népességi, a bűncselekmény helyszíne, a bűncselekmény típusa, forgalmasság és környezeti tényezők szerinti faktorcsoportonként gyűjtötték. Bangkok közigazgatási területére vonatkoztatva a faktorcsoportokhoz tartozóan alfaktorokat képeztek, melyekhez hozzárendelték a mért nagyon alacsony, illetve a nagyon magas posteriori valószínűségeket. Megvizsgálták az emberölés korrelációs együtthatóját a többi változóra vonatkoztatva, s megállapították, hogy más bűncselekmények és a helyszín érzékelhető összefüggést mutat. A forgalmi és a népességi tényezők kevésbé hatnak az emberölésekre. Az analízisből megállapították, hogy a legnagyobb hatással a környezeti tényezők jelennek meg az emberölés valószínűsíthetőségében.

A faktorcsoportokon belül az emberölés szempontjából legjelentősebb tényezőkként a következőket említi Boondao:⁶⁶¹ környezet → drogforgalmazás; bűncselekményfajta → rablás; helyszín → éjszakai szórakozóhely; forgalmasság → kis forgalom; népességi szempontok → magas népsűrűség (nyomornegyed).

⁶⁶⁰ R. Boondao: Crime risk factor analysis In: Bayesian Networks. In: Pourret – Naïm – Marcot (szerk.) A Practical Guide to Applications. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 2008. 73-85. o.

⁶⁶¹ Boondao: i.m. 81. o.

