

A menetidőbecslés alkalmazásai

A cikk a magyar közlekedési szakirodalomban egy újszerű területtel foglalkozik, – gyalogos mozgások időigénye a környezeti és egyéni paraméterektől függően –, amelynek felhasználási köre egyre inkább bővül. A személyhez rendelt mobileszközök fokozódó elterjedésével előtérbe kerülnek azon eljárások, amelyek segítségével egy-egy felhasználó gyaloglási teljesítményére lehet becslést adni a környezeti paraméterek és az egyéni preferenciák alapján. További előnyként jelentkezik az egyedülálló szakirodalmi hivatkozási lista.

Apáthy M. Sándor

e-mail: sandor.m.apathy@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A digitális korban az emberek egyre inkább tervezetten élik mindennapjaikat. Nem kivétel ez alól a szabadidejük sem, amit egyre inkább “hatékonyan” kívánnak eltölteni, ám kevés időt szánának annak megtervezésére. Az okostelefonok életünk részévé válnak, a tevékenységeinket megkönnyítik a mobilalkalmazások. A helyváltoztatással kapcsolatos alkalmazások esetén kulcsszerepet tölt be a menetidőbecslő eljárás pontossága, illetve előrejelző képessége. Az optimális útvonalat kereső algoritmusokat olyan gráfon értelmezzük, amelynek csúcsai a meglátogatható lokációk halmaza, míg élei a lokációkat összekötő útszakaszok. Az élköltések jellemzően az útszakasz megtételéhez szükséges időt jelölik, amelynek becslését (Estimated Time of Arrival, röviden ETA) sokan és több speciális területen kísérelték meg. A tanulmányban ezen élköltéseknek a minél precízebb becslését célul kitűző eljárásokat, illetve azok alkalmazási területeit mutatom be.

2. MENETIDŐBECSLŐ ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

2.1. Turizmus

Már az ókori Római Birodalom hadviselésében is nagy hangsúlyt fektettek a várható menetidő becslésére: *“A római légió katonáinak 24 mérföldet kell megenniük 5 óra alatt*

a standard katonai lépést alkalmazva”, olvashatjuk Vegetius *De Re Militari* c. művében [15]. A túrautakra vonatkozó modern menetidőbecslést leggyakrabban William Naismith, skót hegymászó 1892-ben meghatározott ökölszabályától eredeztetik [1], amely szerint 1 óra alatt 3 mérföldet (4827,9 méter) tud megtenni egy “átlagos” kondícióval bíró személy, “tipikus” terepviszonyok mellett és “normál” körülményeket feltételezve (hőmérséklet, páratartalom, szél, stb.), míg minden 2000 láb (632 méter) emelkedő további 1 órát vesz igénybe. A gyakorlatban tehát a sík terepen és emelkedőn való mozgás ekvivalenciáját mondja ki, vagyis 1 egység emelkedő 7,92 egység sík terepen megtett távolsággal egyenlő idő alatt teljesíthető (ezt szokás 1:8 szabályként is emlegetni). Negatív meredekségű lejtőkön sajnos a szakirodalomban sok helyen a vízszintes felszínre vonatkozó becsléssel élnek a kutatók, például Scarf [13] vagy Verriest [48].

Mills [49] állítása szerint a Naismith-szabály Colin MacLaurin skót matematikustól származik az 1740-es évekből, aki megállapította, hogy a taposómalomban dolgozó férfiak 30 fokos lejtőn tartósan nagyjából 1 láb/sec (31,6 cm/sec) sebességgel haladnak felfelé, vagyis óránként kicsivel több, mint 1800 láb (568,8 méter) emelkedőt tesznek meg (vertikális irányban). Akárhonnan is eredeztethető a fenti menetidőbecslés, úgy tűnik, mindenképpen Skóciát illeti az érdem.

Az idők folyamán megannyi módosítási javaslat született:

- Aitken [3] feltevése szerint úton és ösvényen elfogadható a Naismith-szabály, de minden egyéb felületen 20%-kal gyengébben teljesít a túrázó.
- Langmuir [2] Naismith becslését ambíciózusnak tartotta, és 4 km/h sebességet feltételezett sík terepen (± 5 fok eltérés esetén), továbbá minden 300 m-en csökkenünk a becsült menetidőt enyhe lejtőn (5-12 fok között), és növeljük 10 perccel minden 300 m-en meredek lejtőn (12 foknál nagyobb). A Langmuir által javasolt függvény idő becslésére a következők szerint alakul: $T = a \times \Delta H + b \times \Delta V_a + c \times \Delta V_{dm} + d \times \Delta V_d$, ahol ΔH a horizontális elmozdulás, ΔV_a a vertikális emelkedés, ΔV_{dm} a vertikális moderált ereszkedés, és ΔV_d az erős ereszkedés, míg $a=0,72$; $b=6,0$; $c=1,9998$ és $d=-1,9998$.
- Tranter [3] korrekciót javasol az empirikus fittségi szintek és fáradékonyosság függvényében, amit az alapján becsült, hogy a túrázó mennyi idő alatt tud 1 mérföldön 1/2 mérföld emelkedőt megtenni. Javasolja továbbá, hogy rossz talajon vagy nehezebb időjárási körülmények esetén a fittségi skála eredeti értékéhez képest 1-2 szintet csökkentve kaphatunk pontosabb becslést.
- Scarf [16] arra hívja fel a figyelmet, hogy a korrekció nem csak nagyobb meredekségű emelkedő esetén használandó, de meredek lejtőn is, amely szintén igénybe veszi a túrázó képességeit.

- Tobler [4] a gyaloglás sebességét exponenciális függvényvel becsülte az út meredekségének függvényében. Ennek maximuma kb. 6 km/h kis meredekségű lejtőn, míg a sebesség 0-hoz közelít ± 60 fok esetén, tehát extrém meredekségű emelkedőn vagy lejtőn.
- A különféle becsléseket az 1. ábrán foglalom össze, ahol a becsült sebességet láthatjuk az út meredekségének (fokban mérve) függvényében.

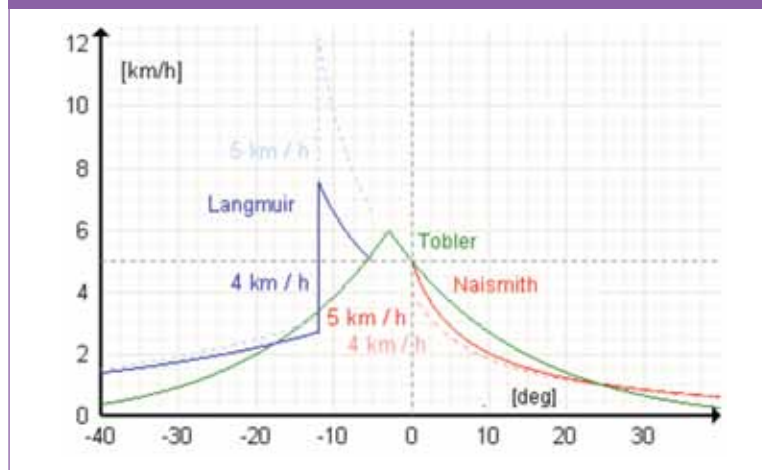
Látható, hogy Tobler eredményei, valamint Naismith-Langmuir görbéje pozitív értékek esetén egybeesik. Sík terepen mindkét módszer nagyjából 5 km/h sebességet becsül, bár Tobler egy nagyon enyhe ($-2,86^\circ$) lejtőn 6 km/h maximum sebességgel számol, míg Langmuirnél -12° -nál éri el a maximum sebességet (7,5 km/h), és ott - nehezen védhetően - hirtelen letörik. Mindazonon túl, hogy a fenti becslések nem vagy csak nehezen veszik számba a terepviszonyokat, a legkritikább esetben veszik figyelembe az időjárási körülményeket, a túrafelszerelés össztömegét, a megtett úttal fokozódó fáradást, a túrázó általános fittségét (kivéve Tranter) és a pillanatnyi/napi állapotát (vagyis azt a teljesítményt, amit magához mérten pillanatnyilag nyújtani képes), ezzel a kritikával élt például Aitken [3], Scarf [13] vagy Fritz és Carver [14].

A személyre szabott túra menetidőbecslésnek igen szűkös a szakirodalma. Pitman et al. [6] polinomiális becsülőfüggvényvel közelíti a túranaplók menetidejét

szakaszonként olyan változókkal, mint az adott pontig megtett út hossza (%), adott szakaszon az emelkedő mértéke, az adott pontig megtett összes emelkedés és ereszkedés (%). Ezt tovább finomítják a túrázó saját teljesítményét tükröző faktoral.

A turisztikai témájú ajánlórendszerek jó összefoglalóját adja Ricci [8]. Tumas és Ricci [9] már úgy ter-

1. ábra: Becslési eljárások összevetése



vez útvonalat városban, hogy a becsült érkezési időt a közösségi közlekedési eszközök menetrendjéhez hangolja. Az ajánlórendszerek a jövőben tartalom alapú szűréssel (content based filtering) és érkezési időpontokra vonatkozó személyre szabott becslésekből kalkulált elérhetőségi korlátokkal határozzák meg a következő lépésben a felhasználó számára ajánlott látnivalókat, ahogy azt Höpken et al. [22] már 2010-es cikkében előre látta. A fenti tényezőket mind figyelembe véve rangsorolhatjuk a túrázó számára elérhető és a róla kialakult preferencia profil alapján értékes helyszíneket, amelyre jó példa Letchner et al. [11] cikke; erről a 2.3-as szakaszban olvashatunk bővebben.

2.2. Sport és rekreáció

Hrncir et al. [42] cikkükben kerékpárosok számára készítették útvonaltervező algoritmust, amely figyelembe veszi a menetidőt, kerül a túlzott emelkedőket, és általában figyelembe veszi a kerékpárosok komfortérzetét. Menetidőbecslésre a Naismith-szabály multiplikátorokkal módosított változatát használja, amit költségfüggvényként használ, míg az útvonaltervezésre A* algoritmust alkalmaz. Az A* (A-star) 1968-ban született a Stanford Research Institute-ban, amely a best-first search [58] eljárást használja heurisztikaként minden iterációban, hogy a lehető leghamarabb megtalálja az optimális utat, lásd Hart et al. [59]. Pitman et al. [7] egy későbbi munkájukban kísérletet tesznek korábban ismertetett becslési eredményeik javítására kerékpáros túraadatokon, ahol a legközelebbi szomszéd módszerével próbálják becslésüket finomítani. Eredményeiket összevetik a regressziós modell által becsült eredményekkel, azonban a becslések mind alul maradnak a korábbi eredményekhez képest, egyrészt talán azért, mert a kerékpározók mozgásának modellezése komplexebb feladat (a fizikai paraméterekre vonatkozó adatok nem álltak rendelkezésre), mint a túrázóké, másrészt a rendelkezésre álló túranaplók szűkössége miatt (a feldolgozott 3 túraszakaszon összesen 49 adatsor szerepelt). Ez utóbbi munkájuk jelentősége sokkal inkább abban rejlik, hogy már közösségi adatokat is alapul vevő ajánlórendszerek (Recommendation Systems) irányába mutat a

túrázás területén, amely például a városnézést tervező applikációk terén korábban megjelent.

Pribul és Price [43] tájfutók teljesítményét vizsgálták mindkét nemet és több korcsoportot összevetve 119 versenyzőből álló mintán. A t-teszt eredményei szerint nem tapasztalható szignifikáns eltérés a profi és nem profi futók stratégiája között, így az eredményeik közötti különbség inkább az erőnléti különbségekkel magyarázható. Szintén tájfutók eredményeit vizsgálva Scarf [13] a Naismith-szabályban túrázókra megfogalmazott horizontális és vertikális távolságok megtételéhez szükséges idő ekvivalenciáját akarta futókra is kiterjeszteni (Naismith-nél ez $\alpha=7,92$, vagyis 1 km emelkedő megtételéhez szükséges idő megegyezik 7,92 km sík terepen történő gyaloglás idejével). Modeljében számolva a versenyzők fáradékony-ságával is, log-lineáris modellt illeszt a tájfutók teljesítményét leíró adatsorra, és OLS becsléssel $\alpha=8$ értéket kap a férfi versenyzőkre és $\alpha=9,5$ -öt a nőkre. Norman [44] becslése során ehhez képest $\alpha=4,4$ adódott, míg Kay [10] szintén futók eredményeit vizsgálva $\alpha=11,7$ -es értéket kapott OLS becsléssel, ahol a sebességet a meredekség 4-edfokú polinomjával magyarázta, és figyelembe vette a teljes út hosszát is. A Naismith-féle ekvivalencia paraméter értékének ilyen nagy eltéréseit Norman és Scarf is annak tulajdonítja, hogy a vizsgált utak körülményei nagyjából homogének a vizsgált mintán belül, azonban jelentősen eltérhetnek (pl. a talaj minősége) különböző kutatók mintaadatai között. Minetti [45] megállapítja, hogy $|m| > 0,15$ meredekség értékek esetén nem alkalmazható ugyanaz a modell, mint viszonylag sík terepen, így erre a két szakaszra külön illesztést javasol. Minetti et al. [46] kismintán vizsgálta a tájfutók elméleti sebességhatárait (olyan fiziológiai korlátokra alapozva, mint pl. az oxigénfelvétel), és bár meredek emelkedőkön a megfigyelt sebességhatárok jól közelítették a feltevéseit, meredek lejtőn alatta maradtak a megfigyelések a várakozásoknak. Ezt azzal magyarázza, hogy túl meredek lejtőkön az ételöztön tartja vissza a futókat a nagyobb sebességtől. A legkisebb költségű utak keresését néhányan nem az idő minimalizálásával oldották meg, inkább a felhasznált energiát igyekeztek minimalizálni. Rees [47] cikkében például Dijkstra algoritmussal ke-

reste a leginkább “energiahatékony” útvonalat. Változatos felszínű terepen történő két pont közötti útvonal optimalizálásra Kay ad egy Euler-Lagrange-egyenleten alapuló variációs számítási megoldást [18]. Annak ellenére, hogy olyan egyszerűsítési feltétellel élt, miszerint a sportoló sebessége egyedül az út gradiens vektorától függ. Eredményeit drámaian befolyásolja, hogy a gyaloglás vagy futás ütemét becslő függvénye nem közelíti eléggé a tesztadatokat. Hasonlóan optimális útvonalat keres Verries [48] is cikkében, de ő Kay-jel ellentétben nem időt minimalizál, hanem e ráfordított energiát, és optimális irányítási technikával számolja a trajektóriát. A teljesség kedvéért fontos megemlíteni, hogy a szakirodalomban túlnyomó részben az út “költségének” a két pont között megtett út menetidejeként definiálják, bár számos példa szerint inkább a ráfordított energiát tekintik az út költségének [46], [47].

2.3. Közgazdaságtan

A közgazdasági modellek egy jelentős részénél szerepet játszik a távolság vagy idő, mint költség tényező. Ennek jó példája a piacszerkezetekből ismert Hotelling-modell [21], amely az ellátóhelyek optimális elhelyezését írja le. Ennek gyakorlati alkalmazása során használt költségfüggvényekben a becsült menetidő alapján kalkulálnak. Erre jó példa Steif lakáspiac modellje [20]. Fontos szerepet tölt be a menetidőbecslés a logisztika területén is. Asdemir et al. [60] például élelmiszerboltok házhozzállítási szolgáltatásainak árazását modellezi Markov-döntési folyamat alapú eljárással, amely során a kapacitáskorlátok és a házhozzállítási időablakok mellett figyelembe veszik a szállítási időt. Minden új megrendelésnél dinamikusan változnak a házhozzállítási árak úgy, hogy a hátralevő foglalási horizonton állandó maradjon a bolt várható haszna függetlenül attól, hogy milyen házhozzállítási opciót választ a vásárló. Yang et al. [61] a rendelkezésre álló időablakokat is egyenként dinamikusan árazzák attól függően, mennyi az adott útszakaszon a várható (forgalomtól függő) menetidő és a teherautók szabad kapacitása az időszakban.

Az útvonaltervező és menetidőbecslő eljárások egy máshova kevésbé beilleszthető példája

De Choudhury et al. [62] cikke, akik “közösségi kenyérmorzskáknak” (social breadcrumbs) nevezett információk alapján építenek túraútvonalakat. Az interneten (Facebook, Flickr, stb.) megosztott fotók és egyéb bejegyzések gyűjtése és szisztematikus válogatása alapján, összeegyeztetve a felhasználó előre kinyilvánított preferenciáival. Mivel a fotókhoz időbélyegek (timestamp) is tartoznak, így Popescu és Grefenstette [12] korábbi munkája alapján már lehetőség nyílt az egyes helyszínek látogatási idejének, illetve a köztük megtett út menetidejének becslésére is. Hasonlóan közösségi adatokon alapszik Letchner et al. [11] munkája, akik helyi lakosok autós GPS adatai alapján jobb útvonalat javasolnak az átutazóknak, mint amit bármilyen útvonaltervező adott, mert ők egy eddig fel nem használt információt építettek a tervezésbe: a tapasztalatot.

2.4. Környezetvédelem

Az utaktól távol eső területek elérési idejét talán először Fritz és Carver [14] modellezte. Ők teljes Skócia területére elkészített hőterképük segítségével kimutatták a forgalomtól távol eső, nehezen megközelíthető területeket. Munkájuk során Dijkstra-algoritmust alkalmaztak a legrövidebb út meghatározására, és a Naismith-szabály alapján kalkulálták a menetidőket, figyelembe véve az esetleges akadályokat és a talajtípust is. Yang et al. [23] ezt alkalmazzák cikkükben, ahol a nemzeti parkok veszélyeztetett területeit tárják fel menetidőbecslési eljárással, azt vizsgálva mennyire frekvenciáltak az egyes, utaktól távol eső területek. Feltevésük szerint a környezet terheltsége egyenes arányosan nő a terület megközelíthetőségével, így a veszélyeztetett területek folyamatos ellenőrzése különösen fontos. Li et al. [24] azt találta, hogy minél több körút található a kijelölt ösvények között és minél inkább összefüggőek az utak, annál kevésbé terhelik a turisták a környezetet (például azzal, hogy letapossák az aljnövényzetet). Lynn és Brown [25] már sokkal tudatosabb tervezés alapjait teszi le a természetvédelmi területek vezetői számára, és olyan úthálózat kialakítását javasolja, ami minimalizálja a terület terheltségét, ugyanakkor szem előtt tartja a látogatók érdekeit is.

2.5. Régészet

Herzog [26] részletesen tárgyalja az alkalmazható legkisebb költségű hálózatok (Least-cost Networks) modelljeit egy észak-rajna-vesztfáliai területre alkalmazva. Ismerteti, hogy figyelembe véve a középkori terepviszonyokat, a modellek által kalkulált útvonalak mennyiben egyeznek a történelmileg ismert, kialakult utakkal. Másik gyakori alkalmazása a gyűjtőterületek (Site catchment) modellezése, vagyis az egy adott pontból bizonyos költségkereten (pl. idő, energia, stb.) belül elérhető terület. Kienlin et al. [27] például két késő bronzkori település 15 percen belüli gyűjtőterületét becsülték Tobler-görbe alapján kalkulált időkkal. Ullah és Bergin [28] ágens alapú modellel szimulálták spanyol falvak környezetre gyakorolt hatását. A legkisebb költségű utak (Least-cost Paths) kalkulálása során történő felhasználásnak az egyik jó példája Verhagen és Jeneson [29] munkája, akik a limburgi régióban igyekeztek rekonstruálni az ókori római via Belgica utat dombos területen. A témában megjelent tanulmányok közös gyengesége, hogy nem számolnak a terhelésből származó lassulással (kivéve Rademaker et al. [30]), holott ez különösen fontos lenne ott, ahol vizet vagy élelmiszert szállítanak, és csak a legritkébb esetben veszik figyelembe alternatívaként a vízi utakat. A menetidőbecslésen alapuló régészeti kutatások részletes összefoglalóját találjuk Herzog [31] cikkében.

2.6. Kitelepítés tervezés (Emergency Evacuation Modeling)

Wood és Schmidtlein [32] Washington állam lakosságán szimulálták egy esetleges szökőár során alkalmazandó kitelepítési stratégiák eredményességét. Rámutattak, hogy az eredmények nagyon érzékenyek egyrészt az alkalmazott gyalogos menetidőket becsülő függvényekre, másrészt a populáció összetételére, így különösen fontos, hogyan szegmentálják mozgékonyaságuk szerint a teljes lakosságot.

Az elveszett turisták keresése esetén kiemelkedően fontos annak a területnek a minél pontosabb behatárolása, ahova a csoport eljuthatott, hiszen minél kisebb területet kell átkutatni, annál könnyebben, gyorsabban juthatnak ered-

ményre. Magyarai-Sáska és Dombay [17] Tobler-görbén alapuló menetidőbecslést használtak a menetidő egy alsó becslésére, hogy meghatározzák azt a maximális területet, ahol egy elveszett turistát keresni kell. Magyarai-Sáska [41] cikkében ennek továbbgondolásaként Dijkstra-algoritmust használ az útvonaltervezésre, és igyekszik szűkíteni a keresési területet.

2.7. Egészségügy (különös tekintettel a fejlődő országokra)

Gething et al. [33] a ghánai egészségügyi ellátás helyzetét vizsgálva azt találta, hogy a nők 34%-a él a klinikailag kritikusan tartott 2 órás tűrészatháron kívül a legközelebbi ellátó központtól. Menetidőbecslési eljárások segítségével gyökeresen más szempontokat tudnak az egészségügyi infrastruktúra stratégiai tervezése során figyelembe venni. Noor et al. [34] tanulmányukban megmutatták, hogy a kenyai kormány malária, tuberkulózis és HIV elleni védekezésre telepített egészségügyi központjainak lakosság általi elérhetősége jóval túlbecsült (a lakosság 63% van 1 órányi távolságra, szemben a jelentésekben szereplő 82%-kal), így további központok létesítésére tesznek javaslatot a modell eredményeire alapozva.

2.8. Légiirányítás és reptéri optimalizálás

A légiirányítás alapfeladata, hogy a légiforgalmi igényeket és a repülőtéri kapacitásokat összeegyeztesse, miközben minimalizálja a késéseket [54]. Carr et al. [35] olyan algoritmus megalkotását tűzte ki célul, amely a korábban használt érkezési sorrend alapú kiszolgálási elv (First-come-first-served) helyett egyéb légiforgalom-irányítási prioritásokat is figyelembe vesz. Menetidőbecslésen alapuló forgalmi modelljükkel (Estimated Time of Arrival, röviden ETA) jelentősen csökkentették az átlagos késést szinte minden légiforgalmi szegmensben.

Repülőtéri kapu hozzárendelési feladat (Airport Gate Assignment Problem, röviden AGAP) néven ismert a nemzetközi szakirodalomban a járatok kapukhoz rendelése, ahol a cél az utasok kényelmének biztosítása a repülőtéri operáció hatékonyságának magas szinten tartása mellett. Bolat [50] például

kevert egészértékű lineáris programozási feladatként formalizálta a problémát, ahol a kapuk holtidejének tartományát minimalizálta. Maharjan és Matis [51] több-árucikkos bináris hálózati folyamként modellezi a problémát, és a gyalogos összes megtett útját minimalizálja a gépek üzemanyag-fogyasztása mellett. A repéri kapuk optimalizálásáról bővebben Bouras et al. [52] összefoglaló cikkében olvashatunk.

2.9. Lift ütemezés (Elevator scheduling)

Az egyre magasabb felhőkarcolók építése a lifteket tervező mérnököket is egyre nagyobb kihívások elé állítják. A lakók és látogatók zökkenőmentes szállítása érdekében a pontos menetidőbecslésen túl egy sor egyéb körülményt kell figyelembe venni a liftek prioritizálásánál. Ennek jó példája Rong et al. [36] munkája, ahol a szokásos menetidőbecslő eljárásokat kiegészítették a várható megállások időtartamával, és azok átlagos várakozási időre gyakorolt hatását figyelembe véve engedik vagy blokkolják a további megállásokat. Xiong et al. [53] dinamikus programozási technikával optimalizálja a több liftből álló rendszert. Additív modellt alkalmazva egyedi liftek optimalizálására vezeti vissza a problémát.

2.10. Közlekedés

Az intelligens közlekedési rendszerek (Intelligent Transport Systems), már jó ideje mindennapi életünk részét képezik. Céljuk az aktuális forgalmi helyzethez dinamikusan alkalmazkodó automatikus forgalomirányítás kialakítása és üzemeltetése. Sándor és Csiszár cikkükben [19] egy intelligens parkolómenedzsment modellt írnak le, amely dinamikusan képes kezelni a változó körülményeket és a felhasználók igényeit. Jó példa továbbá a maximális haladási sebesség dinamikus szabályozása, vagy alagutakban és hidakon az egy irányba haladó sávok számának dinamikus változtatása ugyanúgy, mint a forgalmi lámpák forgalomtól függő szabályozása (Al-Khateeb et al. [37], Sándor [55], Sándor és Csiszár [56]). A közlekedési lámpáknál történő sorban állás hagyományosan input-output szemléletben modellezték, míg Lighthill és Whitham [65], valamint Richards [66] egymástól függetlenül

megalkották a forgalmi lökeshullám elméletüket (Lighthill–Whitham–Richards shockwave theory), amelyben klasszifikálják a forgalom szereplőit a forgalmi állapotra gyakorolt hatások alapján, és az interakcióik alapján jelzik előre a sorban állás várható idejét. A modell egy továbbfejlesztését láthatjuk Logghe és Immers cikkében [67], ahol a különféle csoportok között non-kooperatív interakciókat feltételezve pontosabb becslésekhez jutottak a korábbi eredményeknél.

A közösségi közlekedési eszközök menetrendjének betartása az utazók elégedettségének alapfeltétele. Az esetleges késések minél pontosabb előrejelzése, valamint az azokról történő tájékoztatás szintén javíthatják a felhasználói élményt, ahogy ezt Watkins et al. [68] is megfogalmazza tanulmányukban. Zhou et al. [38] az autóbuszok érkezésének becslését javította a buszon tartózkodó utasok mobil eszközeinek GPS adataival, hogy az autóbuszra várakozókat minél pontosabban tudják tájékoztatni az érkezésekről, valamint a várható késésekről. Vu és Khan [70] munkájában a valós idejű GPS adatok mellett utasszámláló rendszerek, valamint historikus adatokon végzett mintafelismerés (pattern recognition) segítségével pontosítják az előrejelzéseket. Stover és McCormack [69] rámutatnak arra, hogy a menetidők előrejelzésének pontosságát jelentősen lehet javítani, ha az időjárás körülményeket is figyelembe vesszük. Vizsgálataik szerint az eső a legerősebb befolyásoló tényező, és a téli időszakban a legnagyobb annak menetidőre gyakorolt hatása. Sándor és Csiszár [57] cikkében a menetidőbecslés pontosságának javítását a historikus adatok felhasználásával érték el, kihasználva azt az egyszerű megfontolást, hogy az utasforgalmi létesítmények és az aktuális környezeti paraméterek kategorizálhatók. Cathey és Dailey [63] tranzit érkezési és indulási időpontokat jeleznek előre modelljükkel, amely a járművek GPS adatai alapján becsüli a menetidőket Kálmán-filter segítségével. A közlekedésben használt vezeték nélküli kommunikációs eszközök adta lehetőségekről bővebben olvashatunk Rappaport et al. [64] cikkében, amely kitér azok közlekedésbiztonságban betöltött szerepére, valamint a technikai megvalósítás nehézségeire is.

2.11. Infrastruktúra tervezés

A közutak, alagutak és vezetékek tervezésénél szintén kézenfekvő a legkisebb költségű utak (Least-cost Paths) kalkulálására használt algoritmusok alkalmazása. Yu et al. [39] ST (Smart Terrain) algoritmusra az A* algoritmuson alapszik, amit kiegészítettek olyan gyakorlati megfontolásokkal, mint a hidak és alagutak figyelembevétele az autót út tervezésénél. Bár algoritmusuk ezen kiegészítő tereptárgyakról még azt feltételezi, hogy vertikális irányban nem mozgunk, ha áthaladunk rajtuk, ezt leszámítva nagy előrelépést jelentett munkájuk a gyakorlati probléma megoldásában. Bagli et al. [40] villanyvezetékek tervezése során továbbfejlesztett algoritmusra már számos más tényezőt is figyelembe vesz az útvonal tervezésénél, köztük legfontosabb a környezeti hatások minimalizálása.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Remélhetően ezzel a rövid és koránt sem teljes összefoglalóval sikerült betekintést nyújtani a menetidőbecslési eljárások alapuló alkalmazások széles spektrumába, ami jól példázza a téma gyakorlati fontosságát, és néhol rávilágít annak hiányosságaira is. Látható, hogy a GPS eszközök, - valamint a mobilkészülékekbe épített egyéb szenzorok, pl. gyorsulásmérő és interciális navigáció alapuló eszközök - elterjedésével, illetve a mért adatok tömeges feldolgozásával egyre pontosabb előrejelzést adhatunk arra vonatkozóan is, kit, mikor és hol találhatunk, ami egyszerre bravúros és ijesztő. Ugyanakkor az új technológiai vívmányok felhasználásával olyan integrált rendszereket hozhatunk létre, amelyek nagyban hozzájárulnak a közlekedéstervezés pontosításához, lehetőséget nyújtva az előálló szokatlan helyzetekre történő azonnali reakcióra, nagyobb kényelemre és hatékonyságra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] W. Naismith: Notes and queries, [1892] Scottish Mountaineering Club Journal, Vol. 2, p. 133.
- [2] E. Langmuir (1995): Mountaincraft and Leadership, 3rd ed. SportsScotland.
- [3] R. Aitken (1977): Wilderness Areas in Scotland, unpublished Ph.D. Thesis. University of Aberdeen. Aberdeen.
- [4] W. Tobler (1993): Three presentations on geographical analysis and modeling: Non-isotropic geographic modeling speculations on the geometry of geography global spatial analysis, National Center for Geographic Information and Analysis Technical Report, Vol. 93, No. 1, pp. 1–24.
- [5] A. Kay (2012): Route choice in hilly terrain, Geographical Analysis, Vol. 44, No. 2, pp. 87–108. DOI: 10.1111/j.1538-4632.2012.00838.x
- [6] A. Pitman - M. Zanker - J. Gamper - P. Andritsos (2012): Individualized hiking time estimation, in Proceedings of the 23rd International Workshop on Database and Expert Systems Applications, pp. 101-105. doi: 10.1109/DEXA.2012.51
- [7] A. Pitman - J. Bernhart - C. Posch - M. Zambaldi - M. Zanker (2013): Time-of-arrival estimation in mobile tour guides, in Proceedings of the 20th Conference on Information and Communication Technologies in Tourism (ENTER), pp. 7-81. doi: 10.1007/978-3-642-36309-2_7
- [8] F. Ricci (2011): Mobile Recommender Systems, Journal of Information Technology & Tourism, Vol. 12, No. 3, pp. 205-231. doi: 10.3727/109830511X12978702284390
- [9] G. Tumas - F. Ricci (2009): Personalized mobile city transport advisory system, W. Höpken - U. Gretzel - R. Law (eds.): Information and Communication Technologies in Tourism, Springer Vienna, pp. 173–183. doi: 10.1007/978-3-211-93971-0_15
- [10] A. Kay (2012): Pace and Critical Gradient for Hill Runners: An Analysis of Race Records, Journal of Quantitative Analysis in Sports, Vol. 8, No. 4. doi: 10.1515/1559-0410.1456,
- [11] J. Letchner - J. Krumm - E. Horvitz (2006): Trip router with individualized preferences (trip): incorporating personalization into route planning, in Proceedings of the 18th Conference on

- Innovative Applications of Artificial Intelligence, Vol. 2, pp. 1795–1800. doi: 10.1.1.67.194
- [12] A. Popescu - G. Grefenstette (2009): Deducing trip related information from flickr, in Proceedings of the 18th international conference on World wide web (WWW'2009), pp. 1183-1184. doi: 10.1145/1526709.1526919
- [13] P. Scarf (2007): Route choice in mountain navigation, Naismith's rule, and the equivalence of distance and climb, *Journal of Sports Science*, Vol. 25, No. 6, pp. 719-726. doi:10.1080/02640410600874906
- [14] S. Fritz - S. Carver (2000): Modelling remoteness in roadless areas using GIS, In: B.O. Parks - K.M. Clarke - M.P. Crane, (editors): *Problems, Prospects and Research Needs*, in Proceedings of the 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling (GIS/EM4), No. 157.
- [15] F. V. Renucci (1767): *De Re Militari Book I: The Selection and Training of New Levies*, english translation by John Clarke, p. 390.
- [16] P. Scarf (1998): An empirical basis for Naismith's rule, *Mathematics Today*, Vol. 34, pp. 149-151. doi: 10.1080/02640410400023282
- [17] Zs. Magyari-Sáska - S. Dombay (2012): Determining Minimum Hiking Time using DEM, *Geographia Napocensis Anul*, Vol. 6, Nr. 2, pp. 124-129.
- [18] A. Kay (2012): Route choice in hilly terrain, *Geographical Analysis*, Vol. 44, No. 2, pp. 87–108. DOI: 10.1111/j.1538-4632.2012.00838.x
- [19] Zs. Sándor - Cs. Csiszár (2015): Role of Integrated Parking Information System in Traffic Management, *Periodica Polytechnica - Civil Engineering*, Vol. 59, No. 3, pp. 327-336. doi: 10.3311/PPci.7361
- [20] K. Steif (2004): Creating a Model for Geodemographic representations of Housing Market Activity: A Research Note with possible Public Policy implications, *Middle States Geographer*, Vol 37, pp. 116-121.
- [21] H. Hotelling (1929): Stability in Competition, *Economic Journal*, Vol. 39, pp. 41-57. doi: 10.1007/978-1-4613-8905-7_4
- [22] W. Höpken - M. Fuchs - M. Zanker - T. Beer (2010): Context-based adaptation of mobile applications in tourism, *Information Technology and Tourism*, Vol. 12, No. 2, pp. 175–195. doi: 10.3727/109830510X12887971002783
- [23] M. Yang - F. van Coillie - M. Liu - R. de Wulf - L. Hens - X. Ou (2014): A GIS Approach to Estimating Tourists' Off-road Use in a Mountainous Protected Area of Northwest Yunnan, China, *Mountain Research and Development*, Vol. 34, No. 2, pp. 107-117. doi: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-13-00041.1
- [24] W.J. Li - X.D. Ge - C.Y. Liu (2005): Hiking trails and tourism impact assessment in protected area: Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China, *Environment Monitoring Assessment*, Vol. 108, pp. 279–293. doi:10.1007/s10661-005-4327-0
- [25] N.A. Lynn - R.D. Brown (2003): Effects of recreational use impacts on hiking experiences in natural areas, *Landscape Urban Planning*, Vol. 64, pp. 77–87. doi:10.1016/S0169-2046(02)00202-5
- [26] I. Herzog (2013): The potential and limits of optimal path analysis, in A. Bevan, M. Lake (eds.): *Computational Approaches to Archaeological Spaces*, Walnut Creek, Left Coast Press, pp. 179-211.
- [27] T.L. Kienlin - K. Cappenberg - M.M. Korczyńska (2013): Überlegungen zu den spätbronze- und früheisenzeitlichen Landnutzungsstrategien im mittleren Dunajectal, Klempol. In: G. Kalaitzoglou- G. Lüdorf (Hrsg.), *Petasos, Festschrift für Hans Lohmann. Mittelmeerstudien Vol. 2*, pp. 319-332.
- [28] I.I. Ullah - S.M. Bergin (2012): Modeling the consequences of village site location, in D.White - S. Surface-Evans (eds.): *Least Cost Analysis of Social Landscapes, Archaeological Case Studies*, Salt Lake City, University of Utah Press, pp. 155-173.
- [29] P. Verhagen - K. Jeneson (2012): A Roman puzzle. Trying to find the Via Belgica with GIS, in A. Chrysanthi -

- P. Murrieta-Flores - C. Papadopoulos (eds.): *Thinking Beyond the Tool*, BAR International Series 2344, Oxford, Archaeopress, pp. 123-130.
- [30] K. Rademaker - D.A. Reid - G.R.M. Bromley (2012): *Connecting the dots*, in D. White - S. Surface-Evans (eds.): *Least Cost Analysis of Social Landscapes*, Archaeological Case Studies, Salt Lake City, University of Utah Press, pp. 32-45.
- [31] I. Herzog (2014): *A review of case studies in archaeological least-cost analysis*, *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 25, pp. 223-239. doi:10.11141/ia.34.7
- [32] N.J. Wood - M.C. Schmidlein (2013): *Community variations in population exposure to near-field tsunami hazards as a function of pedestrian travel time to safety*, *Natural Hazards*, Vol. 65, No. 3, pp. 1603-1628. doi: 10.1007/s11069-012-0434-8
- [33] P.W. Gething - F.A. Johnson - F. Frempong-Ainguah - P. Nyarko - A. Baschieri - P. Aboagye - J. Falkingham - Z. Matthews - P.M. Atkinson (2012): *Geographical access to care at birth in Ghana: a barrier to safe motherhood*, *BMC Public Health*, Vol. 12, pp. 991-998. DOI: 10.1186/1471-2458-12-991
- [34] A.M. Noor - A.A. Amin - P.W. Gething - P.M. Atkinson - S.I. Hay - R.W. Snow (2006): *Modelling distances travelled to government health services in Kenya*, *Tropical Medicine & International Health*, Vol. 11, No. 2, pp. 188-196. DOI: 10.1111/j.1365-3156.2005.01555.x
- [35] G.C. Carr - H. Erzberger - F. Neuman (2000): *Fast-time study of airline-influenced arrival sequencing and scheduling*, *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 23, No. 3, pp. 526-531. doi: 10.2514/2.4559
- [36] A. Rong - H. Hakonen - R. Lahdelma (2003): *Estimated Time of Arrival (ETA) Based Elevator Group Control Algorithm with More Accurate Estimation*, *Turku Centre for Computer Science TUCS Technical Report No 584*, ISBN 952-12-1289-6
- [37] K.A.S. Al-Khateeb - J.A.Y. Johari - W.F. Al-Khateeb (2008): *Dynamic Traffic Light Sequence*, *Journal of Computer Science*, Vol. 4, No. 7, pp. 517-524. doi: 10.3844/jcssp.2008.517.524
- [38] P. Zhou - Y. Zheng - M. Li (2012): *How Long to Wait?: Predicting Bus Arrival Time with Mobile Phone based Participatory Sensing*, in *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, pp. 379-392. doi: 10.1109/TMC.2013.136
- [39] C. Yu - J. Lee - M.J. Munro-Stasiuk (2003): *Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning*, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 17, No 4, pp. 361-376. DOI:10.1080/1365881031000072645
- [40] S. Bagli - D. Geneletti - F. Orsi (2011): *Routing of power lines through least-cost path analysis and multi-criteria evaluation to minimise environmental impacts*, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 31, pp. 234-239. DOI: 10.1016/j.eiar.2010.10.003
- [41] Zs. Magyari-Sáska (2013): *Efficient Spatial Time-cost Analysis for Search of Lost Tourists*, *Geographia Technica*, No. 1, pp. 47-55.
- [42] J. Hrnčir - Q. Song - P. Zilecky - M. Nemet - M. Jakob (2014): *Bicycle route planning with route choice preferences*, in *Prestigious Applications of Artificial Intelligence*, pp. 1149-1154. DOI: 10.3233/978-1-61499-419-0-1149
- [43] R.F. Pribul - J. Price (2005): *An Investigation into the Race Strategies of Elite and Non-Elite Orienteers*, *Scientific Journal of Orienteering*, Vol. 16, pp. 34-40.
- [44] J.M. Norman (2004): *Running uphill: energy needs and Naismith's rule*, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 55, pp. 308-311. doi:10.1057/palgrave.jors.2601671
- [45] A.E. Minetti (1995): *Optimum gradient of mountain paths*, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 79, pp. 1698-1703.
- [46] A.E. Minetti - C. Moia - G.S. Roi - D. Susta - G. Ferretti (2002): *Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes*, *Journal of Applied*

- Physiology, Vol. 93, pp. 1039–1046. doi:10.1152/japplphysiol.01177.2001
- [47] W.G. Rees (2004): Least-cost paths in mountainous terrain, *Computers and Geosciences*, Vol. 30, pp. 203–209. doi:10.1016/j.cageo.2003.11.001
- [48] E.I. Verriest (2008): A variant to Naismith's problem with application to path planning, in *Proceedings of the 17th World Congress, International Federation of Automatic Control* (eds. M.J. Chung - P. Misra), pp. 7136–7141. doi:10.3182/20080706-5-KR-1001.01210
- [49] S. Mills (1982): Naismith's rule, *Climber and Rambler*, Vol. 21, pp. 47.
- [50] A. Bolat (1999): Assigning arriving flights at an airport to the available gates, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 1, pp. 23–34.
- [51] B. Maharjan - T. I. Matis (2012): Multi-commodity flow network model of the flight gate assignment problem, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 63, No. 4, pp. 1135–1144.
- [52] A. Bouras - M.A. Ghaleb - U.S. Suryahatmaja - A.M. Salem (2014): The Airport Gate Assignment Problem: A Survey, *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 923859, pp. 1-27, dx.doi.org/10.1155/2014/923859
- [53] B. Xiong - P.B. Luh - S.C. Chang (2005): Group Elevator Scheduling with Advanced Traffic Information for Normal Operations and Coordinated Emergency Evacuation, *Robotics and Automation (ICRA 2005)*. IEEE. pp. 1419–1424.
- [54] Zs. Sándor (2015): A légiforgalmi szolgáltató és légiforgalmi irányítás funkcionális modellezése, *Repüléstudományi Közlemények* (1997-től), Vol. 3, pp. 133-148.
- [55] Zs. Sándor (2014): Intelligens tehergépjármű parkolás-irányító rendszer moduláris fejlesztési lehetősége, *Az aszfalt: A Magyar Aszfaltipari Egyesülés (HAPA) hivatalos szakmai lapja*, Vol. 19, No. 1, pp. 48-54.
- [56] Zs. Sándor - Cs. Csiszár (2013): Development Stages of Intelligent Parking Information Systems of Trucks, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 10, No. 4, pp. 161-174.
- [57] Zs. Sándor - Cs. Csiszár (2016): Method for analysis and prediction of dwell times at stops in local bus transportation, *Transport*, May 2016, DOI: 10.3846/16484142.2016.1190402
- [58] J. Pearl (1984): *Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving*, Addison-Wesley, p. 48.
- [59] P.E. Hart - N.J. Nilsson - B. Raphael (1968): A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths, *Transactions on Systems Science and Cybernetics*, Vol. 4, No. 2, pp. 100–107.
- [60] K. Asdemir - J.S. Varghese - K. Ramayya (2009): Dynamic pricing of multiple home delivery options, *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 1, pp. 246–257. doi:10.1016/j.ejor.2008.03.005
- [61] X. Yang - A.K. Strauss - C.S.M. Currie - R. Eglese (2013): Choice-Based Demand Management and Vehicle Routing in E-Fulfillment, *Transportation Science*, Vol. 50, No. 2, pp. 473 - 488, DOI: 10.1287/trsc.2014.0549
- [62] M.DeChoudhury - M.Feldman - S.Amer-Yahia - N. Golbandi - R. Lempel - C. Yu (2010): Automatic construction of travel itineraries using social breadcrumbs, in *Proceedings of the 21st ACM conference on Hypertext and Hypermedia*, pp. 35-44. doi: 10.1145/1810617.1810626
- [63] F.W. Cathey - D.J. Dailey (2003): A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 11, No. 3-4, pp. 241–264, DOI: 10.1016/S0968-090X(03)00023-8
- [64] T.S. Rappaport - J.H. Reed - B.D. Woerner (2002): Position location using wireless communications on highways of the future, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34, No. 10, pp. 33-41, DOI: 10.1109/35.544321
- [65] M.J. Lighthill - G.B. Whitham (1955): On kinematic waves. II. A theory of traffic flow on long crowded roads, *Proceedings of Royal Society A*, Vol. 229, pp. 281–345.
- [66] P.I. Richards (1956): Shockwaves on the highway, *Operations Research*, Vol. 4, pp. 42–51.

- [67] S. Logghe - L.H. Immers (2008): Multi-class kinematic wave theory of traffic flow, Transportation Research Part B, Vol. 42, pp. 523–541, DOI:10.1016/j.trb.2007.11.001
- [68] K. E. Watkins - B. Ferris - A. Borning - S. G. Rutherford - D. Layton (2011): Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders. Transportation Research Part A, Vol. 45, pp 839-848.
- [69] V.W. Stover - E.D. McCormack (2012): The Impact of Weather on Bus Ridership in Pierce County, Washington, The Journal of Public Transportation, Vol. 15, No. 1, pp. 95-110.
- [70] N.H. Vu - A.M. Khan (2010): Bus running time prediction using a statistical pattern technique, Transportation Planning and Technology, Vol. 33, No. 7, pp. 625-642



The applications of travel time estimation

Even today, hikers often estimate the travel time for the selected road sections using centuries-old rules of thumb, whilst in many areas, using the advances of the digital age, GPS devices serve for more and more accurate forecasts. The aim of this paper is to demonstrate the results in a variety of disciplines, which apply travel time estimation procedures during modelling. In addition to the obvious areas such as transport, shipping, hiking or air traffic control, they play just as important a role in environmental studies, health care, and, surprisingly, even in archeology. As often the travel time estimation is not the purpose, but merely a tool in the aforementioned applications (such as the estimation of costs), this paper serves to raise awareness of the importance of travel time estimation, and briefly describe several estimation procedures.



Die Anwendungen der Schätzung der Reisezeit

Heutzutage schätzen Wanderer immer noch oft die Reisezeit für ausgewählte Straßenabschnitte mit jahrhundertealten Faustregeln, während in vielen Gebieten mit Hilfe der Fortschritte des digitalen Zeitalters GPS-Geräte immer genauere Prognosen liefern. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Ergebnisse in einer Vielzahl von Disziplinen, die das Verfahren der Reisezeit-Schätzung bei der Modellierung anwenden, vorzustellen. Neben den offensichtlichen Bereichen wie Transport, Schifffahrt, Wandern oder Flugsicherung spielen sie eine ebenso wichtige Rolle in Umweltstudien, Gesundheitsversorgung und überraschenderweise auch in der Archäologie. Da die Reisezeitabschätzung oft nicht der Zweck, sondern lediglich ein Mittel für die vorhin genannten Anwendungen (z. B für die Kostenschätzung) ist, das Ziel dieser Arbeit ist, die Bedeutung der Reisezeitschätzung zu betonen, und eine kurze Beschreibung einiger Schätzverfahren zu geben.

E számunk lektorai

Dr. Katona András
Dr. Sándor Zsolt

Dr. Prileszky István
Dr. Várlaki Péter

Szűcs Lajos