

Járműforgalom és információterjedés szimuláció

Simulation of vehicular traffic and information spreading

Dr. VARGA Imre

Debreceni Egyetem, Informatikai Kar, Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tanszék
H4028 Debrecen, Kassai út 26., tel: +36 52 512 900, web: www.inf.unideb.hu, email:
varga.imre@inf.unideb.hu

Abstract

In this work, we focus on the features of the self-assembly information spreading in Vehicular Ad hoc NETWORK (VANET). First an urban traffic model is proposed and implemented, where the vehicles proceed on a real road network considering the shortest travel time between their departure and destination locations. Assuming that these vehicles are equipped by smart communication devices, they can share information among neighboring vehicles. The statistical properties of a complex spreading model is presented in this paper.

Keywords: agent-based simulation, vehicular traffic, information spreading, VANET, complex systems

Kivonat

Ebben a munkában járművek ad hoc hálózatában (VANET) megvalósuló önszerveződő információterjedés sajátosságaira fókuszáltunk. Először egy városi járműforgalom modellt vezetünk be és implementáltunk, ahol a járművek egy valós úthálózaton haladnak a kiindulópontjuktól a célállomásaik felé. Feltételezve, hogy a járművek okos kommunikációs eszközökkel vannak felszerelve azok információt tudnak megosztani a szomszédos járművekkel. Egy komplex terjedési modellen alapuló rendszer statisztikai jellemzői kerülnek bemutatásra a cikkben.

Kulcsszavak: egyed-alapú szimuláció, járműforgalom, információterjedés, VANET, komplex rendszerek

BEVEZETÉS

Napjainkban az IKT eszközök terjedésével és az IoT megoldások bővülésével elérhetővé válnak olyan technológiák, amelyek a hétköznapi élet különböző tevékenységeit hatékonyabbá, olcsóbbá és kényelmesebbé tehetik. A XXI. századi felhasználók birtokában lévő okos eszközök száma és teljesítménye is folyamatosan növekszik. Ma már olyan szolgáltatások is megvalósíthatóak, amelyek korábban elképzelhetetlenek voltak.

A most bemutatásra kerülő kutatásnak és fejlesztésnek az volt a célja, hogy kiderítse milyen hatékonysággal működhet egy decentralizált, önszerveződő rendszer, amely a városi közlekedésben résztvevők számára hasznos információkat képes továbbítani. A feltételezés értelmében a forgalomban okos járművek is részt vehetnek, amelyek képesek a környezetükről adatot gyűjteni, azt szállítani és más járművekkel megosztani, így akár optimálisabb döntést is tudnak hozni a közlekedők. Mindezt számítógépes modellezés és szimuláció révén szerettük volna tanulmányozni.

Első lépésben a járműforgalom szimulációját kell megvalósítani. A szakirodalom erre sokféle megoldást szolgáltat. Használhatunk folytonos és diszkrét időt és teret alkalmazó modelleket is. Megközelíthetjük a rendszert mikro- és makroskálán. Előbbi esetén az egyes járműveket külön követjük, figyelembe véve a viselkedésüket (kivánt utazási sebesség, gyorsulás és lassulás mértéke, távolságtartás mértéke, sávváltási szokások, stb). Utóbbi megközelítésben a forgalom egy aggregált áramlatként fogható fel és csak a járműsűrűsége és az átlagos haladási sebessége koncentrálnak. [1, 5, 11]

A járművek ad hoc hálózatában (VANET) különböző adatátviteli protokollok (IEEE 802.11p, AS-DTMAC, DSRC, stb.) vannak alkalmazásban. Léteznek olyan megoldások, amelyek általános üzenetszórás révén mások speciális forgalomirányítási protokollok (OLSR, DSDV, AODV, TORA, stb.) használatával juttatják célba a csomagokat [2, 3, 9, 10]. A kommunikáció szempontjából máshogy viselkedhet például egy kiterjedt nagyvárosi környezet vagy egy egyenes autópálya szakasz [6].

A kutatás célkitűzései miatt fontos volt egy egyedi járművek nyomon követése, azonban az információterjedés szempontjából el szerettünk volna kerülni a mozgás túlságosan részletes dinamikai leírását. Ezért egy egyed-alapú szimulációs szoftvert készítettünk, amely mikroszkopikus és makroszkopikus forgalom modellek egyfajta átmenetén alapul. Ezen túlmenően nem szerettük volna a vizsgálatot konkrét kommunikációs protokollra korlátozni, ezért feltettük, hogy a járművek mozgásuk során elegendő ideig tudnak egymás kommunikációs hatókörében tartózkodni kisebb információcsomagok átadásának megvalósításához. Ilyen feltételek mellett a terjedés feltehetően teljesen máshogy zajlik le, mint mondjuk egy szociális hálózatban [4], de a VANET környezetben történő terjedés is máshogy viselkedhet függően a körülményektől [7, 8].

FORGALOM SZIMULÁCIÓ

A forgalom szimuláció alapjaként Debrecen város nyílt forráskódú térképe szolgált [12]. Az úthálózat egyenes útszakaszok végpontjainak gráfjaként fogható fel, ahol a kettőnél nagyobb fokszámú csomópontok az útkereszteződések, köztük pedig a kettő fokszámú csomópontok sorozatából álló útszakaszok vannak. A modellben feltételezzük, hogy egy adott útszakaszon a pontszerű járművek állandó sebességgel haladnak, azonban ez az átlag érték függ az adott útszakasz rangjától (főút, mellékút, lakóövezet stb.). A közlekedési lámpák, kanyarodás és egyéb forgalmi tényezők az átlagsebesség értékében vannak figyelembe véve. A szimulált járművek a véletlenszerűen választott kiinduló és célsomópontjaik között közlekednek a legrövidebb idő alatt megtehető útvonalat választva. Az eredmények azt mutatják, hogy a járművek eloszlása ezáltal realisztikusabbá válik, azaz a főbb útvonalak zsúfoltak, míg a kisebb rangú utak forgalma gyengébb. Amikor egy jármű megérkezik a céljához, akkor az egyszerűség kedvéért az kikerül a szimulációból és azonnal egy másik jármű indul el a saját útvonalán. Ezáltal a járművek száma (N) a szimuláció során állandó. Mivel a későbbi terjedési folyamatok viszonylag gyorsan lejátszódnak a szimulációval vizsgált időintervallumok rövidek a városi közlekedés napi ciklusához képest, vagyis az egyes napszakok eltérő intenzitású forgalma külön-külön szimulációkkal vizsgálható. A vizsgálatok szempontjából a forgalom szimuláció rövid kezdeti szakasza figyelmen kívül lett hagyva, amíg a rendszer el nem ér egy közel egyensúlyi állapotot. A járművek mozgása egy folytonosan változó kommunikációs hálózatot fog eredményezni, ahol nemcsak a topológia, de a járművek halmaza is változik.

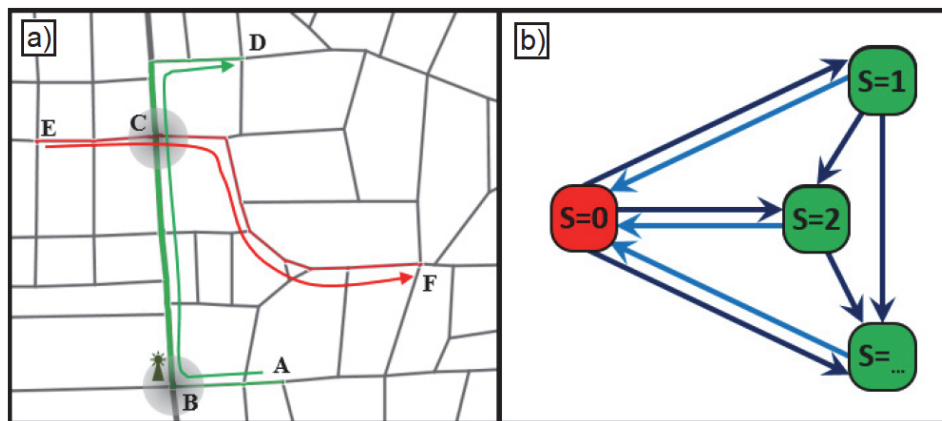
TERJEDÉSI MODELL

A rendszerünkben az okos járművek jelentik az egyedeket, amelyek képesek egymással kölcsönhatni rövid hatótávolságú kommunikáció révén. Ez átláthatóság kedvéért a vizsgálat során egyetlen helyszínrre vonatkozó információ (például úton folyó munkálat, forgalmi vagy útviszonyok adatok) elterjedését követjük nyomon a rendszerben. Ennek forrása lehet a jármű szenzorrendszere vagy egyszerűen egy út mentén elhelyezett „okos bója”. Kezdetben minden egyed ún. *informálatlan* állapotban van, azaz a jármű nem hordoz érvényes információt a vizsgált helyszínről. A város vizsgált pontján elhaladó járművek *informált* állapotúvá válnak és a továbbiakban hordozni fogják ezt az információs csomagot.

Az i egyed állapotát az S_i mennyiséggel jellemezzük. Az $S_i=0$ jelenti az informálatlan állapotot. Az adott helyszínrre vonatkozó információ időben néha megváltozhat, különböző verziói lehetnek a rendszerben. Az i informált egyed $S_i>0$ értéke a hordozott információ verzióját jelenti, azaz, ha $S_i>S_j$, akkor az i egyed frissebb információval rendelkezik, mint a j egyed. Ha két egyed a mozgása során egy adott időszakban közelebb van egymáshoz, mint a kommunikáció hatósugara, akkor képesek információt cserélni. Tehát egy újabb informálatlan egyed válik informálttá vagy ha két informált egyed találkozott, akkor mindketten a frissebb információt fogják tovább hordozni. A rendszer viselkedését az 1. ábra bal oldala szemlélteti. Ez egyik egyed az A-B-C-D csomópontokat érintve halad, kezdetben informálatlan. A B csomópont közelében az út menti információforrástól adatokat kap és informálttá válik. Később a C csomópont közelében találkozik egy informálatlan egyeddel, ami az E-C-F útvonalon

közlekedik. Ekkor átadja neki a B helyszínről szerzett információt, amelyet mindketten tovább szállítanak informált egyedként.

Az egyedek tehát különböző időpillanatban érvényes információval rendelkezhetnek egy adott helyszínről. Az elavult, már nem aktuális információk terjedése hátrányos a rendszer működése szempontjából. Ennek korlátozása érdekében minden információcsomag egy élettíddel rendelkezik. Amikor egy informált egyed által hordozott csomag rendszerbe történő bekerülése óta eltelt idő eléri az élettídkorlátot, akkor az adott egyed eldobja a hordozott csomagot és ismét informálatlan állapotba kerül. A rendszer állapotait és a lehetséges állapotátmeneteket az 1. ábra jobb oldala szemlélteti. Informálatlan (piros) állapotból informált (zöld) állapotba úgy juthat egy egyed, hogy vagy közvetlenül a forrástól, vagy más egyedektől kap meg egy csomagot. Az informált állapotok közötti átmenet egyirányú, azaz csak frissítés lehetséges. Informálatlan állapotban az az egyed lehet, amelyik még nem találkozott informált egyeddel vagy az által hordozott információ elévül.



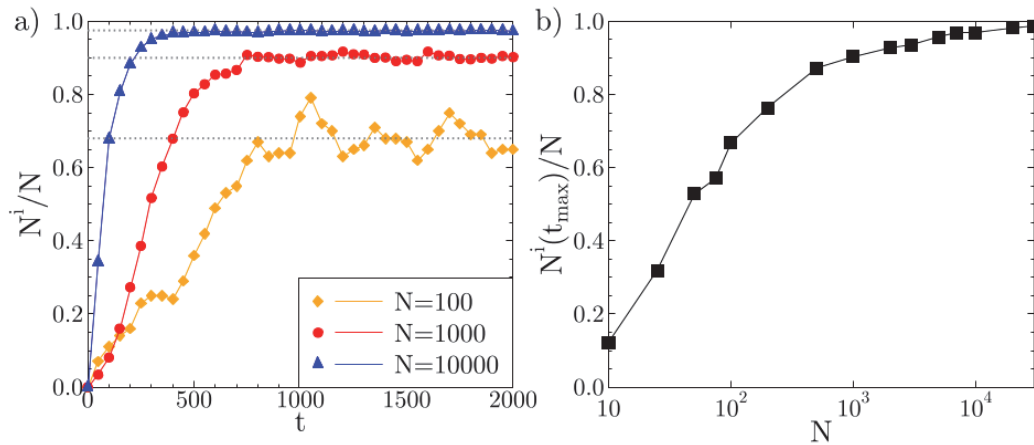
1. ábra. a) A rendszer viselkedése.
b) A lehetséges állapotátmenetek.

EREDMÉNYEK

Habár a terjedési modell elég komplex néhány korlátozás bevezetésével egyszerűbb rendszerek is vizsgálhatóak. Előbb ezek viselkedése kerül bemutatásra, majd fokozatosan az összetettebb rendszerekkel kapcsolatos eredmények következnek.

4.1. Időben állandó információ terjedése

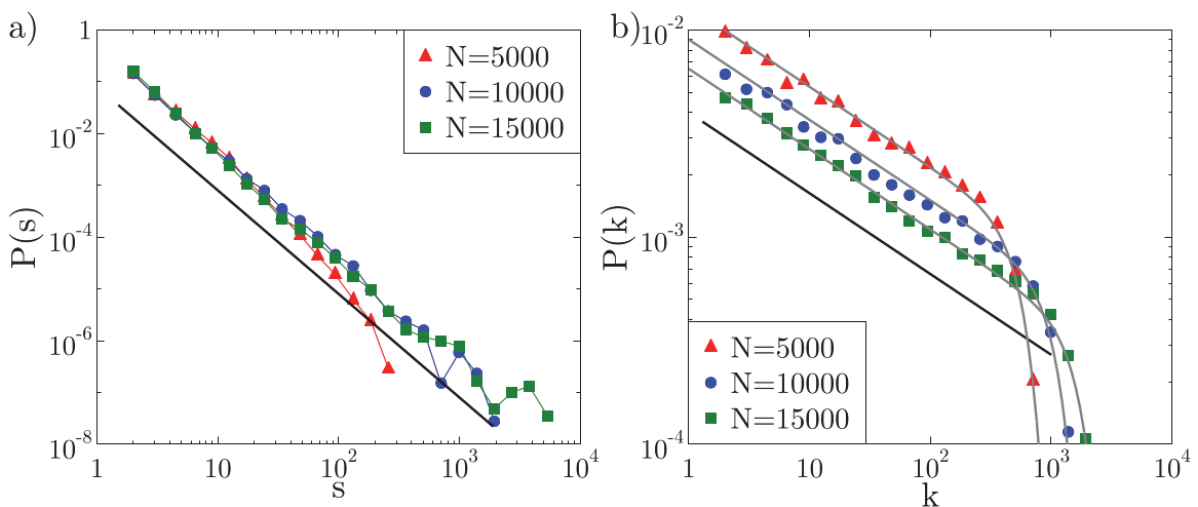
Az első egyszerűsített modellben a vizsgált helyszínrre vonatkozó információ időben nem változik és az elévülési időkorláttal sem rendelkezik. Ilyenkor az informált egyedek száma (N^i) idővel gyorsan növekszik, azonban szemben a járványterjedésben alkalmazott SI modellel, sohasem válik minden jármű információhordozóvá. Ennek az a magyarázata, hogy a járművek halmaza folyamatosan változik és a szimulációba újonnan belépő egyedek mindig informálatlanok. Az $N^i(\tau)$ görbén egy idő után szaturáció figyelhető meg, amelynek a mértéke függ a rendszerben lévő összes okos jármű számától (N), azaz a járművek sűrűségétől, a forgalom intenzitásától. Ezt illusztrálja a 2. ábra, amiből kiderül, hogy egy ilyen rendszerben az informáltsági arány csak akkor tesz lehetővé hatékony működést, ha az okos járművek száma nagy a városban.



2. ábra. a) Az informált egyedek arányának időbeli változása.
b) Az átlagos informáltság telítési szintjének alakulása a járművek számának függvényében.

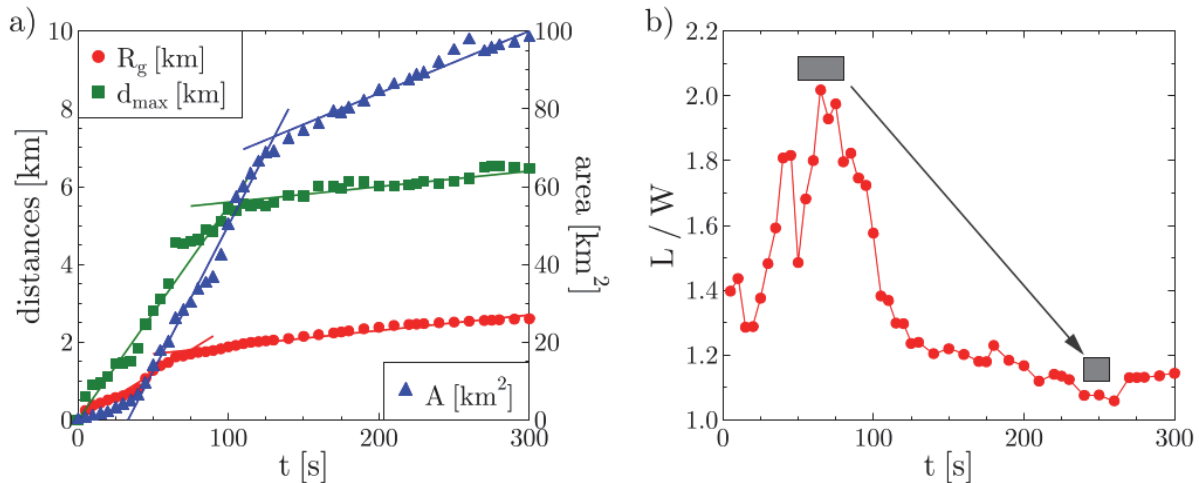
Állapotváltást eredményező információcsere csak akkor történik, ha két egyed egymás közelébe kerül és egyikük informált állapotú. Ezek alapján felépíthetünk egy kommunikációs hálózatot az egyedek között, amely természetesen nem egyezik meg a mozgást meghatározó úthálózattal. Ez a kommunikációs topológia folyamatosan változik a mozgó egyedeknek köszönhetően. Egyensúlyi állapotban ez a pillanatnyi hálózat érdekes viselkedést mutat. Az adott pillanatban kommunikáló egyedek sok kis klasztert alkotnak, ahol mindenki csak a klaszteren belüli más egyedekkel áll kapcsolatban, de nincs kommunikáció a klaszterek között. Rövid időskálán az információterjedés tehát klaszteren belül valósul meg. A kvantitatív vizsgálat kimutatta, hogy a klaszterek méreteloszlása ($P(s)$) hatványfüggvényt követ, ami a statisztikus fizikában a komplex rendszerek egyik ismérve. A log-log skálán ábrázolt fokszám eloszlás látható a 3. ábra bal oldalán, amely azt is igazolja, hogy az eloszlás exponense független a rendszermérettől. Az ábrán látható folytonos vonal exponense 2.

A pillanatnyi kommunikációs hálózat mellett megvizsgálható a kumulatív topológia is, ahol azok az egyedek vannak összekötöttesben, amelyek a szimuláció során bármikor kommunikáltak egymással. A szimulációk kimutatták, hogy van néhány olyan jármű, amelyek sok másik járművet informál, míg a többség csak kevés másik járműnek adta át az általa hordozott csomagot. A 3. ábra jobb oldalán leolvasható, hogy a kumulatív topológia fokszám eloszlása szintén hatványfüggvény viselkedést mutat exponenciális levágással a véges rendszerméret miatt. Kijelenthetjük tehát, hogy ez egy skálafüggetlen hálózat.



3. ábra. a) A pillanatnyi kommunikációs hálózatokban megfigyelhető klaszterek méreteloszlása.
b) A kumulatív kommunikációs hálózat fokszám eloszlása.

Egy adott helyszínre vonatkozó információcsomag átadása újabb egvedek számára a város számos különböző pontján megtörténik. Elemzésünk kitért ezeknek a kommunikációs helyszíneknek a térbeli eloszlására és annak változásaira is. A csomagátadások helyszíneit egy kétdimenziós ponthalmazként foghatjuk fel. Ennek térbeli jellemzésére meghatároztuk a ponthalmaz girációs sugarát (R_g), a befoglaló téglalap oldalhosszainak arányát (L/W) és a téglalap területét (A), valamint az információforrás és a tőle legmesszebbi információátadás távolságát (d_{max}). A szimulációs adatok azt mutatják, hogy egy átmenet figyelhető meg a rendszer viselkedésében, amit a 4. ábrán is szemléltet. Eleinte az információcsere többnyire egy hosszúkas területen történik, majd idővel gyakorlatilag térkitöltő lesz. Ennek oka az úthálózat mikotopológiája.

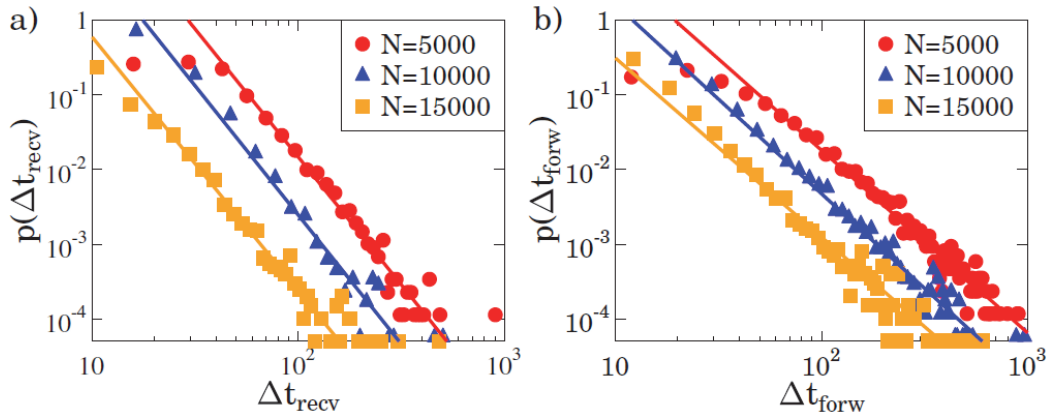


4. ábra. a) Átmeneti viselkedés a rendszer térbeli jellemzőiben.
 b) A kommunikációs pontokat befoglaló téglalap oldalarányának változása.

4.2. Időben változó információ hatása

Amennyiben az adott helyszínre vonatkozó információ változik, akkor a rendszerben lehetnek olyan egvedek, amelyek még a korábbi (akár már érvényét veszített) információt hordozzák és terjesztik. Természetesen az újabb információ mindig felülírja a régebbit, azonban a vizsgálatok azt mutatják, hogy a korábbi információ teljes eltűnése a rendszerből egy hosszú folyamat lehet.

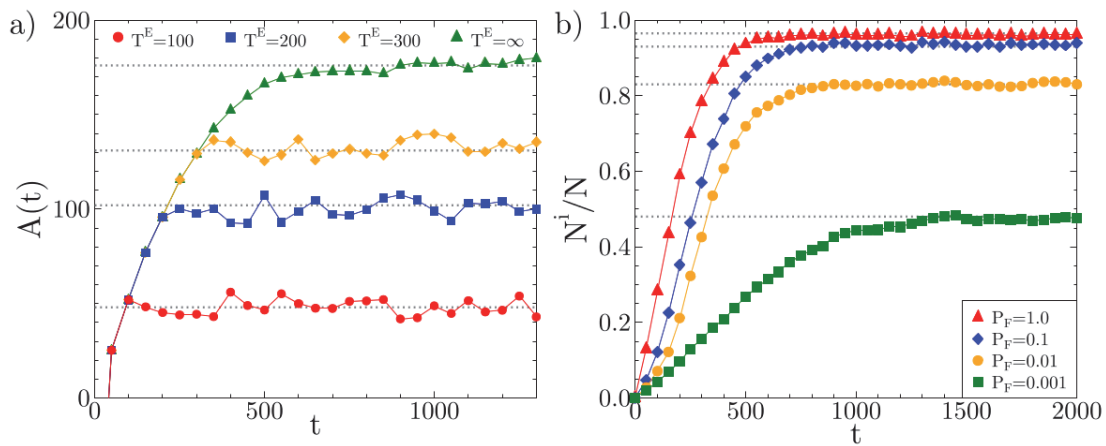
Egy adott forrásból származó folyamatosan változó információ nyomon követéséhez hozzárendelhetünk minden csomaghoz egy időbélyeget, ami az adott információ rendszerbe történő belépésének időpontja. Ilyen rendszerben egy jármű rendszeresen kaphat újabb és újabb időbélyeggel ellátott csomagot, azaz különböző verziójú *informált* állapotban lehet, anélkül, hogy közben *informálatlanná* válna. A rendszer akkor tud igazán naprakész lenni, ha minél sűrűbben kapnak információt az járművek. A szimulációs eredmények alapján a két egymás utáni csomag fogadás között eltelt idő (Δt_{recv}) nagyon változatos lehet. Az időszerelemzés megmutatta, hogy a csomag érkezési események közötti várakozási idő szintén hatványfüggvény eloszlást követ, ahogy az az 5. ábra bal oldalán is látható. Hasonló eloszlás figyelhető meg a továbbítási időközök (Δt_{forw}) esetén is (lásd az 5. ábra jobb oldalát). Vagyis a legtöbb jármű gyakran ad át információt másoknak, de néhányan csak ritkán jutnak friss információhoz.



5. ábra. a) Csomagérkezési időközök eloszlása.
b) Csomagtovábbítási időközök eloszlása.

4.3. Az elévülési idő hatása

Mint a 4.2 alfejezetben már említésre került, egy elévült információt tartalmazó csomag sokáig elérhető maradhat a rendszerben. Ez a dezinformáltságot okozó tényező nem előnyös a felhasználók számára. Ennek hatásait a csomagok élet idejére vonatkozó korlát (T^E) bevezetésével csökkenthetjük. Az elévült csomagok eltávolítása kis mértékben csökkenti az informált egyedek arányát a rendszeren belül, de az egyedek által hordozott információcsomagok átlagos kora (A) jelentősen csökken, azaz naprakészebb a rendszer. (Lásd 6. ábra bal oldal.)



6. ábra. a) Az életidő hatása a csomagok átlagos korára.
b) Az informált egyedek aránya a továbbítási valószínűség függvényében.

4.4. Hatékonysági kérdések

Az eddigiekben amikor két jármű egymás kommunikációs hatókörébe kerül és nem azonos csomagot hordoznak, akkor mindenképpen információt cserélnek. Belátható, hogy ez jelentős kommunikációs erőfeszítést jelent az egyedek számára. Kevesebb kommunikációs processzáli időt és kisebb sugárterhelést jelent, ha az információcserék számát csökkentjük. Egy kiterjesztett modellben, azt vizsgáltuk, hogyan viselkedik a rendszer, ha csak az esetek bizonyos százalékában valósul meg a hatókörön belüli kommunikáció. Bebizonyosodott, hogy a továbbítási valószínűség (P_F) jelentősen csökkenthető, miközben az informált egyedek száma csak alig csökken, ahogy ez a 6. ábra jobb oldalán is látható.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a munkában azt vizsgáltuk meg, hogy egy VANET rendszerben üzemeltethető-e olyan szolgáltatás, amely központi irányítástól mentes alapon működő, önszerveződő információterjesztésen alapul. Egy komplex modellt megvalósító számítógépes szimulációk sorozata igazolta, hogy az információterjedés gyors és széleskörű, ha kellő számú okos jármű vesz benne részt. A továbbítandó adatcsomagok életidejének korlátozásával a rendszer domináns része naprakész állapotban tartható. Kiderült, hogy az egyes járművek különbözőképpen viselkedhetnek. A szimulációs eredmények alátámasztották, hogy a kommunikációk költségeik jelentős csökkentése esetén is sikeres lehet az információterjedés.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A szerző szeretne köszönetet mondani hallgatóinak Tisza Grétának, Ilyés Antalnak, Kovács Tomajnak, Némethy Attilának, Borbély Dávidnak a témához kapcsolódó munkájukért és TDK szereplésükért.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Bátfa, N., Besenczi, R., Mamenyák, A., Ispány, M., *Traffic simulation based on the Robocar World Championship initiative*, Infocommunications Journal, 7, (2015) pp. 50–58.
- [2] Busetta, P., Bouquet, P., Adami, G., Bonifacio, M., Palmieri, F. *K-Trek: a peer-to-peer approach to distribute knowledge in large environments*, International Workshop on Agents and P2P Computing, (2003) pp. 174–185.
- [3] Domingos Da Cunha, F., Villas, L., Boukerche, A., Maia, G., Carneiro Viana, A., Mini, R. A. F. and Loureiro, A. A. F., *Data communication in VANETs: Survey, applications and challenges*, Ad Hoc Networks 44 (2016) 90–103.
- [4] Kocsis, G., Varga, I., *Agent Based Simulation of Spreading in Social-Systems of Temporarily Active Actors*, In: Was, J., Sirakoulis, G. Ch., Bandini, S. (eds.) Cellular Automata for Research and Industry 2014. LNCS vol. 8751, Springer, (2014) pp. 330–338.
- [5] Nurul N. N. A., M. M. Rohani, *Overview of Application of Traffic Simulation Model*, MATEC Web of Conferences 150, (2018) 03006
- [6] Porta, S., Crucitti, P., Latora, V., *The network analysis of urban streets: A dual approach*, Physica A, 369, (2006) pp. 853–866.
- [7] Qiao, L., Shi, Y. and Chen, S., *An empirical study on the temporal structural characteristics of VANETs on a taxi GPS dataset*, IEEE Access 5 (2017) 722–731.
- [8] Salvo, P., De Felice, M., Cuomo, F. and Baiocchi, A., *Infotainment traffic flow dissemination in an urban VANET*, in 2012 IEEE Global Communications Conf. (GLOBECOM), Anaheim, USA, 2012, pp. 67–72, ISSN 1930-529X.
- [9] Sanguesa, J. A., Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F. J., Cano, J. C., Calafate, C. T., *A Survey and Comparative Study of Broadcast Warning Message Dissemination Schemes for VANETs*, Mobile Information Systems, 8714142, (2016) pp. 1–18.
- [10] Tomar, P., Chaurasia, B. K. and Tomar, G. S., *State of the art of data dissemination in VANETs*, Int. J. Comput. Theory Eng. 2 (2010) 957–962.
- [11] Treiber, M. and Kesting, A., *Traffic Flow Dynamics* (Springer, Berlin, 2013).
- [12] *** OpenStreetMap térkép adatok, <https://www.openstreetmap.org>. (Utolsó letöltés: 2020. 11.24)