Városi forgalomirányítás és gépjárművek optimális útvonal-tervezése játékelméleti módszerrel

Harmati István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Irányítástechnika és Informatika Tanszék
Budapest, Magyar Tudósok krt 2/B422
harmati@iit.bme.hu

Kivonat – A cikk a városi forgalomirányítás és a gépjárművek optimális útvonal-tervezési problémájára ad megoldást játékelméleti módszerek segítségével. A koncepcióban az útvonal-hálózat egy kereszteződése a játékelméletben definiált játékos fogalmának felelnek meg. A játékosnak tekintett kereszteződések igyekeznek a kereszteződésben felügyelt jelzőlámpák számára olyan zöld jelzés időintervallumokat találni, amelyek az úthálózaton a lehető legtöbb jármű áthaladását és így a kereszteződések minimális költségét biztosítják. A forgalmi adatok alapján a járművek pályatervezésére játékelméleti módszereken alapuló algoritmusok is bemutatásra kerülnek. A pályatervezés során hozott döntéseket a módszer determinisztikus illetve valószínűségi megfontolások alapján határozza meg. Az elméleti eredmények illusztrációja egy egyszerű közlekedési hálózat szimulációján keresztül történik.

1. Bevezetés

A növekvő városi forgalom és a közlekedésben résztvevő nagyszámú járműpark megköveteli a városi járműforgalom (urban traffic control) optimalizálását és a közlekedésben résztvevő járművek optimális útvonaltervezését. Ez utóbbi különösen nagy hangsúlyt kap megkülönböztetett jelzésű járművek (pl. mentőautók) útvonaltervezésénél.
A városi járműforgalom irányítása többnyire jelzőlámpákkal történik, tehát az optimális forgalomirányítást a kereszteződésekben található jelzőlámpák zöld jelzéseinek megfelelő beállításával lehet elérni, amely természetesen akár időben változó is lehet. A városi forgalomban a járművek optimális útvonaltervezése során a cél egy olyan útvonal (azaz kereszteződések közötti útszakaszok sorozatának) kijelölése, amely a járművet a kezdeti útszakaszról a célként megjelölt útszakaszra juttatja, lehetőleg egy kritérium által megfogalmazott költség minimalizálásával. Leggyakrabban a cél az, hogy a jármű minimális idő alatt jusson el a kívánt célszakaszra.
Az irodalomban megtalálható járműforgalmi modellek száma folyamatosan növekszik. Az aktuális trendek közül az egyik legsikeresebb modellt a cella transzformáción alapuló [1], [2], a heurisztikus vagy lágy számítási módszereken [1], [3] használó módszerek adják, de a tudásalapú technikák és a sztochasztikus rendszer-modellezésen [5] alapuló megközelítések is népszerűek. Egy másik sikeres megközelítés a forgalom járműfolyamát artéria struktúrába szervezi [6], ami különösen hasznos, ha zöld hullám létrehozása a közlekedési hálózatban egy járulékos cél [7]. Irányítástechnikai szempontból fontos szerepet játszik a store-and-forward modell [9], [10], [11] amelyek az állapotteres leírás segítségével a forgalomirányítási problémát irányítástechnikai problémává transzformálják. A [9] irodalomban bemutatott alapmódszer LQ optimális algoritmust használ forgalomirányításra, de prediktív irányítást is sikeresen teszteltek [12].
Ez a dolgozat új eredményeként a forgalomirányítási problémát játékelméleti problémaként kezeli és ennek megfelelően egy játékelméleti keretrendszerbe integrálja a forgalomirányítási és útvonal-tervezési algoritmusokat. A módszer elméleti alapjait a [8], [15], [16], []17 publikációk alkotják, amelyek közös jellemzője, hogy a közlekedési csomópontokat a problématérben játékosnak tekintik, amelyek döntéseket hoznak a kereszteződések zöldjel

hosszainak eloszlását illetően. A módszerek megértéséhez szükséges játékelméleti alapokat a [13], [14] irodalmakból sajátíthatja el az olvasó részleteiben.
A dolgozat struktúrája a következő. A 2. fejezet a járműforgalmi modellt tárgyalja, különös tekintettel a szükséges feltétételekkel. A 3. fejezet szuboptimális megoldást szolgáltat játékelméleti technikák alapján a városi forgalomirányítási problémára. A 4. fejezet járművek útvonal-tervezésére ad játékelméleti megoldást, miközben tekintetbe veszi a párhuzamosan futó forgalomirányítás beavatkozásait.

2. A járműforgalmi modell

A közlekedési hálózat játékelméleti modellje a [15]-[17] irodalomban felállított modellből indul ki, amely a Store-and-Forward modell [9] bővítése.
A modellben a közlekedési hálózatot élekből és csomópontokból álló gráf írja le. Az élek reprezentálják az útszakaszokat, a csomópontok reprezentálják a kereszteződéseket (csomópontokat). Legyen j egy kereszteződés azonosítója, legyen I_j a j kereszteződésbe torkolló ún. bemenő útszakaszok halmaza, legyen O_j a j kereszteződést elhagyó ún. kimenő útszakaszok halmaza. A modell a következő feltételekre épül:

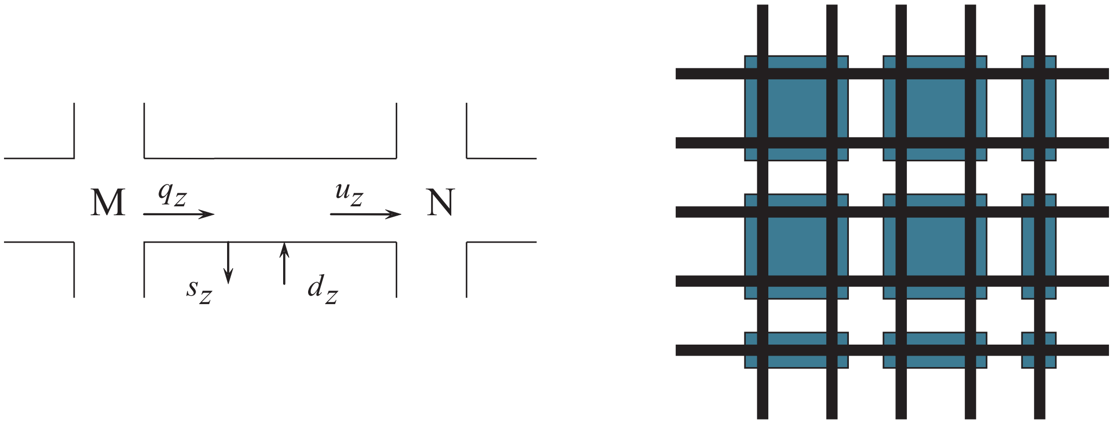
(ASF1) a járművek a szakaszokon állandó sebességgel közlekednek, a szakaszok végein található kereszteződésekben pedig egymás után tárolódnak a zöld jelzésre várva, ha a bejövő forgalom nagyobb, mint a kimenő forgalom. Minden kimenő útszakaszra külön kanyarodó sáv van megvalósítva minden bemenő útszakaszról.
(ASF2) Minden megengedhető kanyarodási kombináció kap zöld jelzést, egymás után, ciklusba szervezve. A j kereszteződés w-dik bemenő útszakaszáról az i-dik kimenő útszakaszra legalább $g^j_{w,i,\min}$ a zöld jelzés hossza.
(ASF3) A j kereszteződés C_j ciklusideje és az L_j teljes idővesztesége (ofszete) adott. Az egyszerűség kedvéért a modellben $C_j = C$ minden $j \in J$ kereszteződésre, ahol J a kereszteződések halmaza. Ezen kívül C_j és L_j konstans.
(ASF4) Minden ciklusban az ofszet (a ciklus elején a fő állapotokat megelőző) idő adott.
(ASF5) Az S_z szaturációs járműfolyam ismert minden $z \in I_j$ esetén.
(ASF6) A $t_{z,w}$ fordulási tényező (turning rate) fix és ismert (vagy becsült) minden $z \in I_j$ és $w \in O_j$ esetén.
(ASF7) A kereszteződések mátrix struktúrát alkotnak. Minden kereszteződésnek 4 bemenő és 4 kimenő útszakasza van (hasonlóan az észak-amerikai városok közlekedési hálózatához.).
(ASF8) Az útszakaszok képesek új járművek fogadására más útszakaszokról és egy kereszteződés bemenő útszakaszáról a kimenő útszakaszokra ugyanakkor van zöld jelzés. Eközben a kereszteződésben az összes többi irányára piros jelzés van érvényben.
A fenti feltételek alapján

$$\sum_{w \in I_j} g^j_{w.i} + L_j = C$$
$$g^j_{w,i} \geq g^j_{w,i,\min}, \ \forall j, \forall i, w \in \{1, \ldots, 4\} \tag{1}$$

ahol $g^j_{w,i}$ a nettó zöld jelzés hossza a j kereszteződés w bemenő útszakaszáról az i kimenő útszakaszára. Tekintsünk az M és N kereszteződés közötti z útszakaszt ($z \in O_M$, $z \in I_N$), amelyet az 1.a ábra illusztrál. Az útszakasz dinamikáját az

$$x_z(k+1) = x_z(k) + T\left[q_z(k) - s_z(k) + d_z(k) - u_z(k)\right]$$

egyenlet írja le, ahol x_z a z útszakaszon található járművek száma, q_z és u_z az útszakasz bemenő és kimenő forgalmi járműfolyama T irányítási periódus mellett a $[kT,(k+1)T]$, $k=1,2,\ldots$ időintervallumban, d_z és $s_z = t_{z,0} q_z(k)$ az útszakasz forrás és célforgalmának járműfolyama.



1. ábra. Egy városi útszakasz (balra) és kereszteződések csoportosítása (jobbra).

A zöld jelzések hatásait figyelembe véve a z útszakasz diszkrét dinamikája állapottérben leírható az

$$x_z(k+1) = x_z(k) + T\left[(1-t_{z,0})\sum_{w\in I_M} t_{w,z}\frac{S_w \sum_{i\in O_M} g_{w,i}^M(k)}{C} - \frac{S_w \sum_{i\in O_N} g_{w,i}^M(k)}{C}\right] \qquad (2)$$

egyenlettel. A levezetés részletei megtalálhatók a [8] irodalomban.

3. Járműforgalom irányítása játékelméleti módszerrel

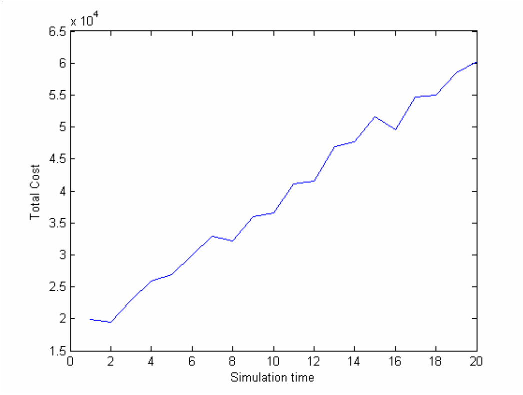
A kombinatorikai robbanás elkerülése érdekében a javasolt módszer a kereszteződéseket csoportokba szervezi és a lehetséges döntések számát is csökkenti. Egy csoport legfeljebb 4 szomszédos kereszteződést tartalmaz az 1.b ábrán illusztrált módon. Egy kereszteződés döntése szintén 4 különböző alternatíva valamelyikét jelenti, nevezetesen minden egyes lehetséges választás csak az egyik bemenő útszakaszt részesíti előnyben (megnövelve a hozzá tartozó zöld jelzések hosszát), míg a többi bemenő útszakaszhoz tartozó zöld jelek hossza egyenlő arányban csökken úgy, hogy a kereszteződésben a ciklusidő nem változik. A csoportosítás új jelölések bevezetését teszi célszerűvé. Legyen J_2 a kereszteződések halmaza, ahol az $(i,j)\in J_2$ pár azonosítja a hálózatban az i-dik csoport j-dik kereszteződését (játékosát). Jelölje J_2^i az i-dik csoportban található kereszteződések halmazát, és jelölje $|J_2^i|$ a csoportban található kereszteződések számát. Legyen $O(i,j)$ az (i,j) kereszteződés kimenő útszakaszainak halmaza. Hasonlóan, legyen $I(i,j)$ az (i,j) kereszteződés bemenő útszakaszainak halmaza. Ekkor a forgalomirányítási algoritmus lépései a következők:

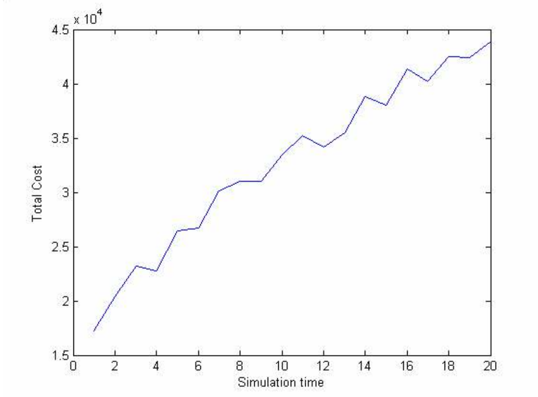
Algoritmus 1. (Városi forgalomirányítás Nash stratégiával)

1. Inicializálás. Legyen Δg a zöld jel változás kvantuma.
2. Az aktuális forgalmi jellemzők mérése a k-dik irányítási intervallumban: S_z, $t_{w,z}$, $d_z(k)$, $t_{z,0}$.

3. Minden kereszteződésre kiszámítani a potenciális döntéseket: Az i-dik csoport j-dik kereszteződése csak egy bemenő útszakaszt preferál a zöld jelzés hossz növelésével. Legyen ennek sorszáma p. Ekkor a zöld jelzés hossz növekedésének mértéke a preferált útszakaszról $\delta_{p,w}^{i,j} = 3\Delta g$, $\forall w \in O(i,j)$, míg a nem preferált $h \neq p$ útszakaszokról $\delta_{h,w}^{i,j} = -\Delta g$, $\forall w \in O(i,j)$. Ezzel a teljes ciklusidő hossza nem változik. A $\hat{g}_{p,w}^{i,j}(k,\tau_{(i,j)})$ potenciális zöld jelzés hossza ekkor a p bemenő útszakaszról a w kimenő útszakaszra az i-dik csoport j-dik kereszteződésének $\tau_{(i,j)}$ döntése alapján
$$\hat{g}_{p,w}^{i,j}(k,\tau_{(i,j)}) = g_{p,w}^{i,j}(k) + \delta_{p,w}^{i,j}(k,\tau_{(i,j)})$$
4. Az összes $(i,h) \in J_2$ kereszteződés döntéseihez tartozó költségek számítása:
$$X^{(i,h)}\left(k,\tau_{(i,1)},\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}\right) = \sum_{z\in I(i,h)} x_z\left(k,\tau_{(i,1)},\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}\right) + \lambda \sum_{\substack{j=1\\ j\neq h}}^{|J_2^i|} \sum_{z\in I(i,h)} x_z\left(k,\tau_{(i,1)},\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}\right)$$
ahol $0 \le \lambda \le 1$ egy súlyzótényező és $x_z(k)$ meghatározása (2) alapján történik. Megjegyzendő, hogy $\lambda = 1$ Pareto optimális megoldáshoz vezet, míg $\lambda = 0$ lokális optimalizálást valósít meg, ahol nem feltételezhető megbízható kommunikációs csatorna a kereszteződések között.
5. A játék normál alakjának meghatározása. Ehhez szükséges a
$$X^{i}\left(k,\tau_{(i,1)},\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}\right) = \left[X^{(i,1)}\left(k,\tau_{(i,1)},\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}\right),\ldots,X^{(i,|J_2^i|)}\left(k,\tau_{(i,1)},\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}\right)\right]$$
vektor-vektor függvények kiértékelése minden $\tau_{(i,j)}$ döntéskombinációra minden i csoportban.
6. A játék $\left(\tau_{(i,1)}^*,\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}^*\right)$ Nash egyensúlyának meghatározása. Ehhez olyan Nash stratégia megtalálása szükséges, amely teljesíti a
$$X^{(i,h)}\left(k,\tau_{(i,1)}^*,\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}^*\right) \le X^{(i,h)}\left(k,\tau_{(i,1)}^*,\ldots,\tau_{(i,h-1)}^*,\tau_{(i,h)},\tau_{(i,h+1)}^*,\ldots,\tau_{(i,|J_2^i|)}^*\right)$$
$$\forall h \in J_2^i$$
egyenlőtlenségeket.
7. A zöld jelzések hosszának módosítása a Nash egyensúlyi pontnak megfelelően. Ez azt jelenti, hogy $g_{p,w}^{i,j}(k) = \hat{g}_{p,w}^{i,j}(k,\tau_{(i,j)})$ kiválasztás az optimális $\tau_{(i,j)}^*$ stratégiák alapján.
8. Az eljárás ismétlése a a következő irányítási intervallumban a 2. lépéstől.

A szimulációs eredmények egy 5×5 méretű hálózat esetén a 2. ábrán láthatóak. A szimuláció során $T = 60\,\text{sec}$, $C = 300\,\text{sec}$, $t_{z,0} = 0.01$, $d_z = 0.01$, $S_z = 1$, $x_z(0) = 30$, $\Delta g = 3\,\text{sec}$, $g_{w,z,\min}^{j} = 5\,\text{sec}$, $\lambda = 0.5$. Az ábrák alapján megállapítható, hogy a játékelméleti megoldás 25%-al jobb eredményt ad a konstans zöld jelzéshosszt alkalmazó stratégiához képest. Ez az eredmény hasonló eredményt ad az LQ optimális megoldáshoz, azonban az ágensek autonóm módon is döntést tudnak hozni és akkor is alkalmazható a módszer, ha a kommunikációs szolgáltatás hiányos. A ciklusidő és ofszet konstans megválasztása nem kötelező érvényű, a játékelméleti megoldás a jobb teljesítmény érdekében képes a ciklusidő és ofszet változtatására is, amely alkalmas zöld hullám létrehozására. Azonban a döntési változók növelése megnöveli a számítási időt is. A játékelméleti keretrendszerbe ezen kívül könnyen integrálhatóak a megkülönböztetett járművek pályatervezési algoritmusa is.





2. ábra. A teljes költség állandó (balra) és Nash stratégiával módosított (jobbra) zöld jelzéshossz mellett

4. Útvonal-tervezési algoritmusok

A kereszteződések döntése alapján a k -dik irányítási mintavételben $x_z(k)$ jármű található a z útszakaszon. Az útvonal-tervezési algoritmusok feladata az, hogy egy adott járművet a közlekedési hálózat egy kezdeti útszakaszáról egy kívánt útszakaszra juttassa a lehető legkisebb költség árán. A költség tipikusan a kívánt útszakasz eléréséhez szükséges időt jelenti. A következőkben bemutatandó algoritmusok a [14] irodalomban vázolt koncepció alapján került kidolgozásra. Feltesszük, hogy az útvonal-tervezést csak egyes járművekre kell végrehajtani. Ezeket a járműveket irányított járműveknek nevezzük. Legyen $O(z)$ azon w útszakaszok halmaza, amelyekre $w \in O(i,j)$ és $z \in I(i,j)$. Az útvonal-tervezési algoritmus a következő lépésekben foglalható össze:

Algoritmus 2. (Járművek determinisztikus útvonal-tervezése Nash stratégiával)

1. Inicializálás. Az Algoritmus 1.–nek az 1. lépésének végrehajtása. Járulékosan az irányítandó jármű z_i kezdeti és z_d kívánt útszakaszának megadása. Legyen K a játékelméleti horizont.
2. A kereszteződések közötti játék felállítása az Algoritmus 1.-nek a 2-4 lépései alapján.
3. Annak a v útszakasznak a meghatározása, amelyre a z útszakaszról a járműnek kanyarodnia kell a k -dik diszkrét irányítási mintavételben. Ehhez V költségfüggvény rekurzív meghatározása szükséges a $k \le j \le k+K$ időintervallumban:
$$v = \arg\min_{w \in O(z)} V_k(w)$$

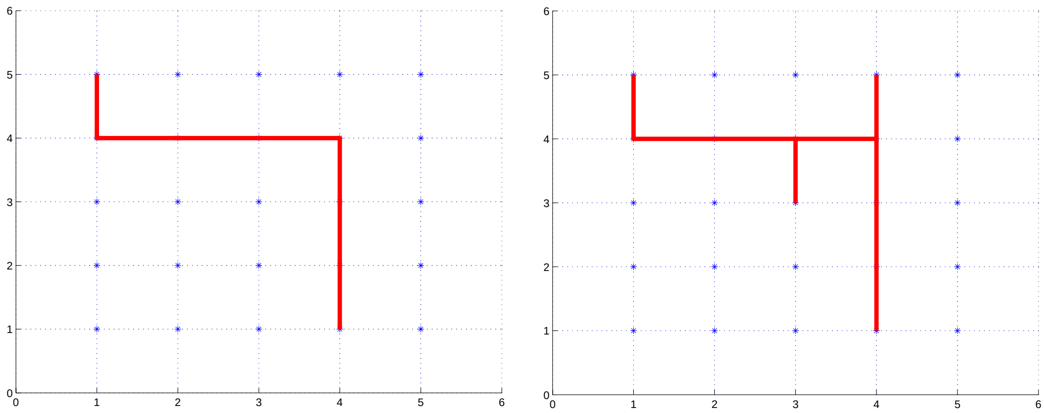
$$\text{Ha } k \le j \le k+K \text{ akkor } V_{k+j}(w) = \min_{p\in O(w)} \left(V_{k+j+1}(p) + \max_{\substack{\tau_{(i,r)},\tau_{(m,n)} \\ p\in O(i,r) \\ p\in I(m,n)}} x_k\left(p, \tau_{(i,r)}, \tau_{(m,n)}\right) \right)$$

Ha $k = k + K$ akkor $V_{k+j}(w) = D(w, z_d)$

ahol $D(w, z_d)$ a w és z_d útszakasz közötti távolság útszakaszokban mérve.

4. A kereszteződések döntéseinek meghatározása az Algoritmus 1.-nek a 7. lépése alapján.
5. Az eljárás ismétlése a 2. lépéstől a következő irányítási

Ha léteznek olyan kimenő útszakaszok a z bemenő útszakaszról, amelyeknél az optimális w kimenő útvonal választás csak kicsit jobb, akkor az ugyanazt az elérni kívánt útszakaszt fogja a összes (ugyanazon kereszteződés bemenő útszakaszain található) jármű választani, ami konnyen közlekedési dugóhoz vezet. A probléma megoldására egy lehetséges megközelítés, ha a megtervezett útvonal első útszakaszát csak egy bizonyos valószínűséggel választja a jármű a kereszteződésben. Ha tehát a jármű egy (i, j) útszakasz bemenő útszakaszán található, akkor a jármű az $O(i, j)$ halmazból egy adott valószínűséggel fog választani. Minél kisebb egy kimenő útszakaszhoz tartozó költség, annál nagyobb valószínűséggel választja a jármű. A szelektáláshoz alkalmazható pl. a fitnesz alapú rulett kerék módszer. A determinisztikus és valószínűségi választást használó stratégia szimulációs eredményeit mutatja a 3. ábra.



3. ábra. A jármű útvonala a $z_i = (1,5,dél)$ útszakaszról a $z_d = (4,1,észak)$ útszakaszra determinisztikus és valószínűségen alapuló választási stratégia esetén

Mindkét az Algoritmus 2. és a valószínűségi választással módosított verziója esetén a z_d kívánt útszakaszt eléri a jármű. Algoritmus 2. ugyan valószínűségi döntésen alapuló verzióval szemben rövidebb útvonalat szolgáltat, azonban a valószínűségi döntésen alapuló stratégia robosztusabb a közlekedési dugó elkerülésére, ha egyszerre több irányított jármű van jelen a hálózatban.

5. Konklúzió

Nash stratégiát alkalmazó játékelméleti keretrendszer és algoritmusok kerültek bemutatásra városi forgalomirányítási és jármű útvonal-tervezési feladat megoldására. A szimulációs eredmények alátámasztották azt az intuíciót, hogy a játékelméleten alapuló forgalomirányítási stratégia jobb teljesítményt szolgáltat a hagyományos, állandó zöld jelzés hosszúságokat használó algoritmusokkal szemben. A megoldás azonban nagy számításigénnyel rendelkezik, ezért a koncepcióban egyszerűsítések váltak szükségessé. A legfontosabb egyszerűsítések a

kereszteződések csoportokba szervezését és a kereszteződések döntési alternatíváinak redukálását foglalja magában.
A játékelméleti keretrendszerbe lehetséges a járművek útvonal-tervezését szolgáló algoritmusok integrálása. Két algoritmus vizsgálata történt meg. A determinisztikus döntéshozatal szuboptimális útvonal megtalálására alkalmas, azonban a valószínűségi alapon hozott döntésekkel a közlekedési dugók elkerülésére nagyobb esély kínálkozik. Ez súlyozottan igaz sok irányított jármű jelenléte esetén.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal NKTH RET 04/2004 számú és az Oktatási Minisztérium OTKA K 71762 számú elnyert pályázatainak és a Magyar Tudományos Akadémia Bólyai János Kutatói Ösztöndíjának támogatásával valósult meg.

Hivatkozások

[1] B. Friedrich and E. Almasri: Modellbasierte Optimierung der Versatzzeiten mit dem Cell Transmission Model. Tagungsband HEUREKA '05, 2./3. März 2005. Hrsg. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2005

[2] B. Friedrich: Traffic Monitoring and Control in Metropolitan Areas. Proc. of the 2nd International Symposium "Networks for Mobility", September 29 - October 1, 2004, Stuttgart, Germany

[3] M. Kaczmarek: Fuzzy group model of traffic flow in street network. Transportation Research Part C, Elsevier Ltd, Vol. 13, pp. 93-105, 2005.

[4] F. Logi and S. G. Ritchie: Development and evaluation of a knowledge-based system for traffic congestion management and control. Transportation Research Part C, Elsevier Ltd, Vol. 9., pp. 433-459, 2001.

[5] J. Sheu, Y. Chou and M. Weng: Stochastic system modeling and optimal control of incident-induced traffic congestion. Mathematical and Computer Modeling, Elsevier Ltd. Vo. 38, pp. 533-549, 2003.

[6] N. H. Gartner and C. Stamatiadis: Arterial based control of traffic flow in urban grid networks. Mathematical and Computer Modeling, Elsevier Ltd. Vo. 35, pp. 657-671, 2002.

[7] C. Diakaki, V. Dinopoulou, K. Aboudolas, M. Papageorgiou, E. Ben-Shabat, E. Seider and A. Leibov: Extensions and new applications of the Traffic Control Strategy TUC. TRB 2003 Annual Meeting, 2003.

[8] Harmati I.: Matlab programfejlesztés városi forgalmi jelzőlámpák együttes irányítására játékelméleti módszerrel. Szoftver és dokumentáció. Tanulmány a RET 1.1. járműforgalmi rendszerek modellezése és irányítása projekt keretében, 2006.

[9] V. Dinopoulou, C. Diakaki and M. Papageorgiou: Applications of urban traffic control strategy TUC. European Journal of Operational Research, Elsiever Ltd., 175(3):1652-1665, 2005.

[10] C. Diakaki, M. Papageorgiou and K. Aboudolas: A multivariable regulator approach to traffic-responsive network-wide signal control. Control Engineering Practice, Elsevier Ltd., Vol. 10, pp. 183-195, 2002.

[11] C. Diakaki: Integrated control of traffic flow in corridor networks. PhD thesis, Department of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, Chania, Greece, 1999.

[12] T. Bellemans, B. De Schutter and B. De Moor: Model predictive control for ramp metering of motorway traffic: A case study. Control Engineering Practice, Elsevier Ltd, 2005, In appear.

[13] T. Basar and G. J. Olsder: Dynamic noncooperative game theory, Academic Press, New York. Second Edition, 1998.

[14] S. M. LaValle: A game theoretical framework for robot motion planning. PhD thesis, University of Illinois at Urbana-Campaign, 1995.

[15] I. Harmati: Urban traffic control and path planning for vehicles in game theoretic framework. Robot motion and control 2007. Recent Developments. Series: Lecture Notes in Control and Information Sciences. Editor: K. Kozlowski, pp: 437-444

[16] I. Harmati: Game theoretic control algorithms for urban traffic network, WSEAS Transactions on systems and control, Vol. 1, No. 2, pp .141-148, 2006.

[17] I. Harmati: Urban traffic control in game theoretic framework, Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on System Science and Simulation Engineering, pp. 346-351, Puerto de la Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, 2006