

A Mills féle monocentrikus modellre épülő komplex városszerkezet optimalítása

Török Árpád
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Budapest, 1111 Bertalan Lajos u. 2.
artorok@kgazd.bme.hu

Összefoglalás

A komplex városi környezet modellezésére alkalmazható eljárások célja, hogy a lehető legszélesebb körben tekintsenek az urbanizált környezetet jellemző összefüggésekre. Így a tervezésben használható modellek jellemzője, hogy a közlekedési rendszert hosszútávon befolyásoló, műszaki, területhasználati, gazdasági, valamint társadalmi hatásokat is figyelembe véve írják le a városi rendszer működését.

Tehát modell típustól függetlenül elmondhatjuk, hogy az urbanizált környezet működését komplex formában vizsgáló modellnek bizonyos műszaki, gazdasági és társadalmi, tényezőket figyelembe kell vennie. A rendszerváltozók száma, valamint a modell komplexitása azonban nagymértékben függ az alkalmazási területtől.

A cikk célja a Közlekedésgazdasági Tanszék városi környezet fejlesztésére irányuló kutatásainak területén szerzett tapasztalataiból kiindulva (IMPRINT¹, CIVTAS², SPECTRUM³, Tánczos, K. – Bokor, Z.: *Kutatások a city-logisztikai fejlesztések előkészítésére*), Edwin S. Mills, amerikai közgazdász professzor komplex monocentrikus város modellje alapján kidolgozott eljárás bemutatása.

1. Bevezetés

A komplex városszerkezet modellezése (társadalmi, gazdasági, hálózati jellemzők figyelembevételével) igen összetett probléma. A modellezni kívánt rendszer összetettségéből adódó nagyszámú rendszerváltozó rendkívül nehézkessé teszi a rugalmas, jól kezelhető modellek kialakítását. Érthetőek tehát az alkalmazott modellezési eljárások egyszerűsítésére irányuló modellfejlesztési törekvések.

A város működését jellemző elsődleges folyamatok lineáris modellezése kielégíti a módszertani háttérrel szemben imént támasztott elvárásokat, és emellett lehetőséget teremt a lineáris rendszerben megfogalmazott korlátozó tényezők együttes figyelembe vételével történő optimalizálásra.

A logisztikai szemlélet bevezetésével a forgalomkeltés a – vizsgált városból / vizsgált városba áramló - termék volumenek (árúk és szolgáltatások) szállítási igényeiből, emellett a városban előállított termék volumenekhez szükséges erőforrásigény kielégítéséből származó helyváltoztatási igények becsülésével végezhető el.

A logisztikai szemléleten alapuló forgalom előrebecslésén túl, céloim egy olyan eljárás bemutatása, mely a Mills féle monocentrikus városmodell egyes módszertani elemeiből kiindulva lehetővé teszi a vizsgált város szerkezetének – a működési hatékonyság szempontjából történő - lineáris programozáson alapuló optimalizálását. Ez megfelel az Európai Unió városfejlesztésre vonatkozó irányelveinek, miszerint a közlekedést és városi területek felhasználását összefüggéseikben, egymásra gyakorolt hatásaik tükrében kell vizsgálni.

¹ IMPRINT: Implementing Pricing Reform in Transport - Árképzés korszerűsítése a közlekedésben

² CIVTAS: Cleaner and better transport in cities – A városi közlekedés fejlesztése

³ SPECTRUM: Study of Policies regarding Economic instruments Complementing Transport Regulation and the Undertaking of physical Measures - Az EU közlekedéspolitikák gyakorlati alkalmazásának/alkalmazhatóságának vizsgálata

2. Forgalom keltés

A vizsgált várost jellemző termékcsoportok tulajdonságaiból kiinduló lineáris közlekedési modell egy városi területegység helyváltoztatásainak számát és tulajdonságait a városi termelési struktúrához, az egyes terméktípushoz és a szállítóeszköz-típusokhoz rendelt jellemzők alapján becsüli.

A város termelési struktúrája meghatározza az egyes terméktípusok iránti igény mértékét. Adott városi területegységet jellemző termékszükségletek alapján kifejezhetjük a forgalmi áramlatokat generáló termékáramokat. A termékek szállítási jellemzői meghatározzák a terméktípusok és a modellben bevezetett szállító eszközök viszonyát (pl.: szállítási tényező: szállított mennyiség / szállítóeszköz) jellemző tényezők, így a szállítóeszköz-típusok, valamint a közlekedési rendszer kapcsolatát leíró paraméterek (pl.: jármű-együttható: egységjármű / szállítóeszköz) rögzítésével a város forgalmi áramlatai meghatározhatók [1].

A közlekedési részrendszer vizsgálatánál, ha ismerjük a több irányból beáramló és több irány felé kiáramló járművek számát, akkor becsülhető az, hogy valamely bemenet esetén a kiáramló járművek milyen irányokban távoznak (OD-matrix) [2].

Amennyiben az egyes városi területeken előállított termékek mennyisége és jellemzője, a termelési folyamatok erőforrásigénye (pl.: munkaerő, alapanyag szükséglet), az egyes területeken rendelkezésre álló erőforrások mennyisége (pl.: munkaképes népesség; előállított / rendelkezésre álló alapanyag- / termékmennyiség - mint egy másik termék alapanyaga), a városon kívülről érkező erőforrások mennyisége, valamint a városon kívüli piacokra előállított termékek mennyisége meghatározható, akkor a város érték előállító folyamataihoz kapcsolódó forgalmi áramlatait nagy pontossággal becsülhetjük.

3. A városmodell bemutatása

3.1 A térbeli kapcsolatok modellezése

A városmodell közlekedési rendszerének jellemzőit a modell térbeli szerkezete jelentősen befolyásolja. A policentrikus városmodell alapját képezi Mills monocentrikus modelljének szerkezete. Feltételezzük, hogy a vizsgált policentrikus modell felosztható olyan területegységekre, melyek egyetlen kitüntet központtal rendelkeznek, és e központok magukban foglalják az adott területegységről exportált termékek, szolgáltatások, erőforrások feladóhelyeit. Az egyes cellák és az őt körülvevő elemi cellák közötti közlekedési kapcsolatokat módunként vizsgált aggregált hálózattal célszerű leírni (módváltás cellánként lehetséges). Az összegzett közlekedési hálózat egyes (szomszédos cellák között vizsgált közlekedési folyosó) elemeinek külső paraméterként definiált kapacitása a két szomszédos területegység között kapcsolatot teremtő valós közlekedési hálózat jellemzőitől függnék (K' - kapacitás, E' - lefedettség, S' - hálózat hossza), hossza egységnyi, sebessége $[V]$ a vizsgált térségeket összekötő valós hálózat átlagos áramlási sebességétől függ $[V']$. Az egyes területegységek közötti utazások hossza az (i, j) koordináta pártól függően becsülhető. Az eljárás időigényét jelentősen lecsökkenti, annak az egyszerűsítő feltételnek a modellben történő figyelembe vétele, hogy az egyes elemi cellákra jellemző közlekedési hálózaton csak észak-déli, valamint kelet-nyugati irányok mentén történhet helyváltoztatás. Ebben az esetben az egyes cellák közötti helyváltoztatás hossza az $u = \Delta i + \Delta j$ képlettel fejezhető ki [3].

3.2 A szállítási folyamat modellezése

Felteszem, hogy a vizsgált városban r' (a továbbiakban vesszővel jelölöm az adott paraméter rögzített felső határértékét) típusú terméket állítanak elő. Az r' -edik terméktípus a város munkaerőforrását biztosító termelőképes lakossági réteget jelöli. A vizsgált város exportját az $X'r$, importját $M'r$, előredefiniált paraméterek rögzítik. Az eddig rögzített modelljellezőket kiegészítve azzal, hogy a ki- és bemenő termékek exportálása és importálása a peremkerületek kiemelt közlekedési központjain keresztül bonyolódhat $[x'r_{ij-i'j'}, r=1,2,r']$, a valóságot jobban megközelítő modellhez jutunk, míg az optimálós eljárás összetettsége nem növekszik számottevően. Két egymástól u távolságra lévő cella között az r -edik terméktípus input / output $(x_{r_{ij-i'j'}}, r=1,2,r')$ volumenének szállítása a közlekedési hálózatot $[tr=f(x_{r_{ij-i'j'}})]$ forgalommal terheli, $[tr=f(x_{r_{ij-i'j'}})]$ forgalom kifejezhető a szállított termékmennyiség, a jármű-együttható, valamint a termék szállítási együtthatójának hányadosaként.

3.3 A modellre jellemző korlátok

A modellre vonatkozó korlátozó tényezők a termelőtevékenységhez szükséges erőforrások korlátos rendelkezésre állásából, valamint az előzetesen rögzített külső paraméterekből származtathatók. A város exportra előállított termékmennyiségének minimálisan el kell érnie az előzetesen meghatározott export igényt. Az áruforgalom volumenéből következő közlekedési áramlatokat a szállítási tényező segítségével írhatjuk le, amely kifejezi r -edik típusú termék szállítási egységéből származtatható közlekedési jellemzőket. A rendelkezésre álló földterület szűkössége meghatározza a közlekedésre és termelésre használható területek maximumát. Abból kiindulva, hogy egy vizsgált cellától u cellányi úthosszra lévő terület egységén adott mennyiségben előállított r -edik típusú termék adott cellába történő szállítása $[tr_{ij-i}^r = f(xr_{ij-i}^r)]$ forgalmat generál $[tr_{ij-i}^r = f(xr_{ij-i}^r)]$ forgalom átbocsátásához szükséges közlekedési kapacitás az egységjármű előzetesen definiált területfoglalásának függvényében meghatározható), felírhatjuk az egymástól u cellányi úthosszra lévő terület egységek között rendelkezésre álló közlekedési kapacitások és a közlekedési rendszert terhelő közlekedési áramlatok viszonyát. Tehát a modellben előzetesen definiált - a közlekedési rendszerhez rendelt - erőforrások meghatározzák az egyes cellák közlekedési kapacitását.

3.3 Modellszerkezet

A modellszerkezet bemutatása az egyes különálló modulok összegzésén keresztül történik (térbeli szerkezet, szállítási folyamat, korlátozó tényezők). A térbeli kapcsolatok derékszögű koordináta-rendszerben írható le. A hálózat eltérő közlekedési módokat tartalmaz, a helyváltoztatás észak-déli, kelet-nyugati irányok mentén lehetséges. Két szomszédos cella között kapcsolatot teremtő hálózati elem jellemzői (kapacitás, átlagos utazási sebesség) a valós hálózat elemeinek jellemzőitől függenek $[V=f(V), K=f(E, S, V)]$.

A hálózatot terhelő közlekedési igények az egyes cellákhoz rendelt külső paraméterként vizsgált kimenő és bemenő termék áramok (árak és szolgáltatások) jellemzői alapján kerülnek meghatározásra $[tr_{ij-i}^r = f(xr_{ij-i}^r)]$. A terület egységek termék input / output igényeinek kielégítése a cellák, mint feladó és célhelyek közötti szállítási feladat megoldásával lehetséges. Ez a folyamat egyben a közlekedési modell forgalomgerjesztő eljárása is.

A városi szerkezet optimalizálása az adott közlekedési folyosó aggregált kapacitásának és a cellából elfoglalt területének viszonyán (mint földhasználati költségek minimalizálása a külső paraméterként adott fajlagos földáron $[R]$ keresztül), a közlekedési folyamatok költségének minimalizálásán $[C=f(tr_{ij-i}^r, u)]$, valamint az új infrastruktúra építési költségének minimalizálásán (módonként adott fajlagos építési költség $[R_m]$ alapján) keresztül lehetséges.

4. Optimalizálás

Európai szinten megfigyelhető, hogy a közúti közlekedés környezetre és életszínvonalra gyakorolt negatív hatása egyre növekszik. Ez a hatás fokozottan jelentkezik a nagyvárosokban és azok vonzáskörzetében. Mindezt figyelembe véve elkerülhetetlen, hogy újszerű tervezési és szervezési technikák fejlődjenek ki a kínálati lánc folyamatirányításában. [4].

A modell három különböző szempont (cellához rendelt attribútumok) szerint vizsgálja a városi környezet felépítésének versenyképességre gyakorolt hatásait (tőkehányad, területhasználati költségek, közlekedési költségek). Adott térség összes tőkehányada a földterületek termelésre és közlekedésre hasznosított tőkerészből tevődik össze, ahol a közlekedési infrastruktúra tőkeigénye a kapacitáskorlátoktól függően kerül meghatározásra [pl.: infrastruktúra arányos tőkeigény paraméter, a tőke fajlagos díja]. A területhasználati költségek a városi földterületek felhasználásától [pl.: infrastruktúra arányos területigény paraméter, a föld fajlagos ára] függő díjakat írják le. A város gazdasági teljesítőképességét nagymértékben befolyásolja a termelési lánc meghatározó elemeként vizsgálható közlekedés hatékonysága, melyeket a közlekedés teljesítményarányos költségei foglalnak magukba [pl.: fajlagos jármű üzemköltség paraméter]. A három szempontból kialakított célfüggvény $[min Z=f(\Sigma C, \Sigma R_m, \Sigma R)]$ a modell által vizsgált társadalmi költségeket foglalja magába, melyek minimalizálása lehetőséget teremt a megfogalmazott korlátozó tényezők együttes figyelembe vételével történő optimalizálásra.

A többváltozós célfüggvény extrémális pontjának meghatározására széles körben alkalmazott optimalizációs eljárások állnak rendelkezésre. Célok az elterjedt optimalizációs algoritmusok

felvázolt rendszerbe történő implementálása, később a rendszer sajátosságainak megfelelő, a speciális rendszerjellemzőkhöz illeszkedő optimáló eljárás / eljárások kiválasztása.

4.1 A szimplex algoritmus

A szimplex algoritmus esetében a keresés trajektóriája megközelíti az optimális gradiens trajektóriát, ugyanakkor a függvény értékét csak minimális számú pontban kell meghatározni. Míg a gradiens módszer esetében minden egyes lépés előkészítése az n változós függvény $2 \cdot n$ próbapontban történő meghatározásával jár, a szimplex algoritmusnál ilyen előkészítés nem szükséges, a függvény értékét lépésenként csak egy alkalommal kell kiszámítani. A szimplex algoritmus a keresést és függvényfelszín tanulmányozását egységes eszközként kezeli.

Mint ismeretes az extrémális pont megközelítésének legrövidebb útját a gradiens trajektória adja meg. Elegendő tehát az F halmaz elemei közül kiválasztani a "legkedvezőtlenebb" elemet (például minimumkeresésnél a maximális elemet) és a hozzá tartozó szimplex csúcst az R^n tér egy újabb pontjával helyettesíteni a szimplex képzés előző pontban kimondott általános szabálya szerint, mégpedig úgy, hogy az "új" és a "régi" szimplex különbségvektora megegyezzen a gradiens vektor előző közelítésével.

Kevésbé szigorú esetben elegendő a "hozzávetőleges" egyezést megkövetelni. Ekkor a gradiens vektor meghatározása feleslegessé válik.

Mivel a szimplex képzés általános szabálya szerint új és régi szimplex csak egy csúcspontban különbözhet egymástól, ezért a hozzájuk tartozó F halmazok is csak egy elemben térnek el egymástól. Ez azt jelenti, hogy az extrémális pont keresése során minden egyes lépés a függvény értékének csak egy pontban történő meghatározását igényli.

Ha a szimplex legkedvezőbb csúcsa a keresett extrémális pont σ sugarú környezetébe esik, akkor előfordulhat, hogy az ezen csúcshoz tartozó függvényérték a továbbiakban már mindig a "legkedvezőbb" érték marad: a szimplex "forogni" kezd. A szimplex egy adott csúcspontja körüli forgása a keresés befejezését jelenti. A szimplex algoritmus meglehetősen gyors, azonban alkalmazhatóságát korlátozza, hogy általában lokális extrémálisérték meghatározásánál eredményes [6].

4.2 Genetikus algoritmus

A genetikus algoritmus egy kezdeti „ n ” kromoszómából álló populáció létráhozásával indul, melyben egy kromoszóma a vizsgált probléma egy adott elfogadható megoldását reprezentálja.

Ezt követően megtörténik az értékelési és osztályozási eljárást lehetővé tevő „fitness” értékek meghatározása az összes kromoszómára.

A kromoszómák jósági fokának meghatározása utána az új populáció generálása következik, ami magába foglalja a szelekciót (szülők kiválasztása), a keresztezést (utódok létrehozása), mutáció (az utód hibás másolása), valamint ezt követően megtörténhet az így előálló egyedek vizsgálata abból a szempontból, hogy elfogadható megoldást jelentenek-e az adott problémára.

A következő lépést csere jelenti, ahol az előző populáció legélelképtelenebb egyedeit helyettesítjük az életképebb utódokkal.

Végül megtörténhet a kilépési feltétel teljesülésének vizsgálata. Amennyiben nem teljesül a vizsgált feltétel, az eljárás folytatódik az új kromoszómák értékelésével. Ha teljesül, megtörténhet a legutolsó populáció "legélelképebb" egyedének kiválasztása. A módszer előnye hogy globális extrémálisérték keresésére is alkalmas, azonban a városi szerkezet lineáris reprezentációjának optimálására történő kalibrációja további vizsgálat tárgyát kell képezze [7].

4.3 Gauss-Seidel algoritmus

A módszer lényege, hogy adott n változós függvény $n-1$ változóját rögzítjük és egyetlen változót „mozgatva” megkeressük a generált egyváltozós függvény szélsőértékét. Ezt követően a következő még nem vizsgált változót „változtatjuk” mindaddig, amíg nem teljesül az algoritmus függvényértékre vonatkozó kilépési feltétele. A módszer előnye, hogy mindig egyváltozós függvényt vizsgálunk ezért igen egyszerű, azonban általában lokális szélsőértéket ad eredményül.

Az egyes eljárások értékelését követően megkezdődhet a város modell hatékony optimalizálásának lehetőségét megteremtő módszertan kifejlesztése. A metodológia meghatározása során kiemelt figyelmet kell szentelni a hazai városszerkezet sajátosságaira, valamint arra, hogy a várost mindvégig élő, organikus, folyamatosan alakuló egységként kezeljük.

Irodalom

1. Mills, E.S., MacKinnon, J. Notes on the New Urban Economics. Bell Journal of Economics and Management Science, 1973. Vol. 4, No. 2. p. 593-601.
2. Dr. Péter Tamás- Dr. Bokor József: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve,1-2. Bp. 2006. pp19-23.
3. Mills, E.S. Urban economics. Glenview: Scott, Forsman & Co., 1972.
4. Tánczos K. – Bokor Z.: A city-logisztikai koncepciót megalapozó kutatások c. előadás, LOGI-TECH 2001 Logisztika a Gyakorlatban Szakkiállítás, 2001. szeptember 14., Budapest.
5. Tánczos, K. – Bokor, Z.: Kutatások a city-logisztikai fejlesztések előkészítésére, Logisztikai Évkönyv, Magyar Logisztikai Egyesület, 2002.
6. Lipovszki Gy., Molnár I. Virtual and Augmented Reality: An Advanced Simulation Methodology. Simulation in Industry, Ed. SCS Publ. House, Ghent, 2004 pp. 5-16.
7. Molnár B. Szimulációs modell és optimalizáló algoritmusok kidolgozása. PhD értekezés, Budapest 2005.