

Kovács Gábor

Az elektronikus fuvarbörzékben alkalmazható optimumkeresési eljárások, algoritmusok

Kovács Gábor a BME Közlekedésmérnöki Karán szerzett közlekedésmérnöki oklevelet 2006-ban. A BME Közlekedésüzemi Tanszékén 2006-2009 között állami ösztöndíjas PhD hallgató, ill. 2008 őszétől ugyanitt tanársegédi beosztásban dolgozik. Fő kutatási területe az elektronikus fuvar- és raktárbörzék moduljainak és algoritmusainak fejlesztése, valamint az alkalmazási lehetőségek feltárása. E mellett az Adversum Kft.-nél logisztikai tanácsadó. E-mail: kovacs@kku.bme.hu

Összefoglaló

A jelenlegi elektronikus fuvarbörzék a szállítási feladatok néhány szempont alapján történő kiválasztásán túl nem nyújtanak optimalizálási lehetőségeket. A tanulmány ebből kiindulva ismerteti a peremfeltételeket, valamint a szállítási feladatok és a szabad szállítási kapacitások összerendelésének célfüggvényét. Erre alapozva bemutatja az optimalizálás irányait az egyes felhasználók szemszögéből nézve. A szállítási kapacitással rendelkezők esetén részletezi az egyszerű-, a kapcsolódó- és a gyűjtő/elosztó járatok optimalizálásának módszerét. A járatok kialakítására egyszerű algoritmusokat és a hangya kolónia algoritmust javasolja.

1. Matematikai modell: korlátozó feltételek, célfüggvény

Az elektronikus fuvarbörzék szállítási feladatok szállítási kapacitásokhoz történő hozzárendelési folyamatát befolyásoló tényezők az alábbi főbb csoportokba sorolhatók:

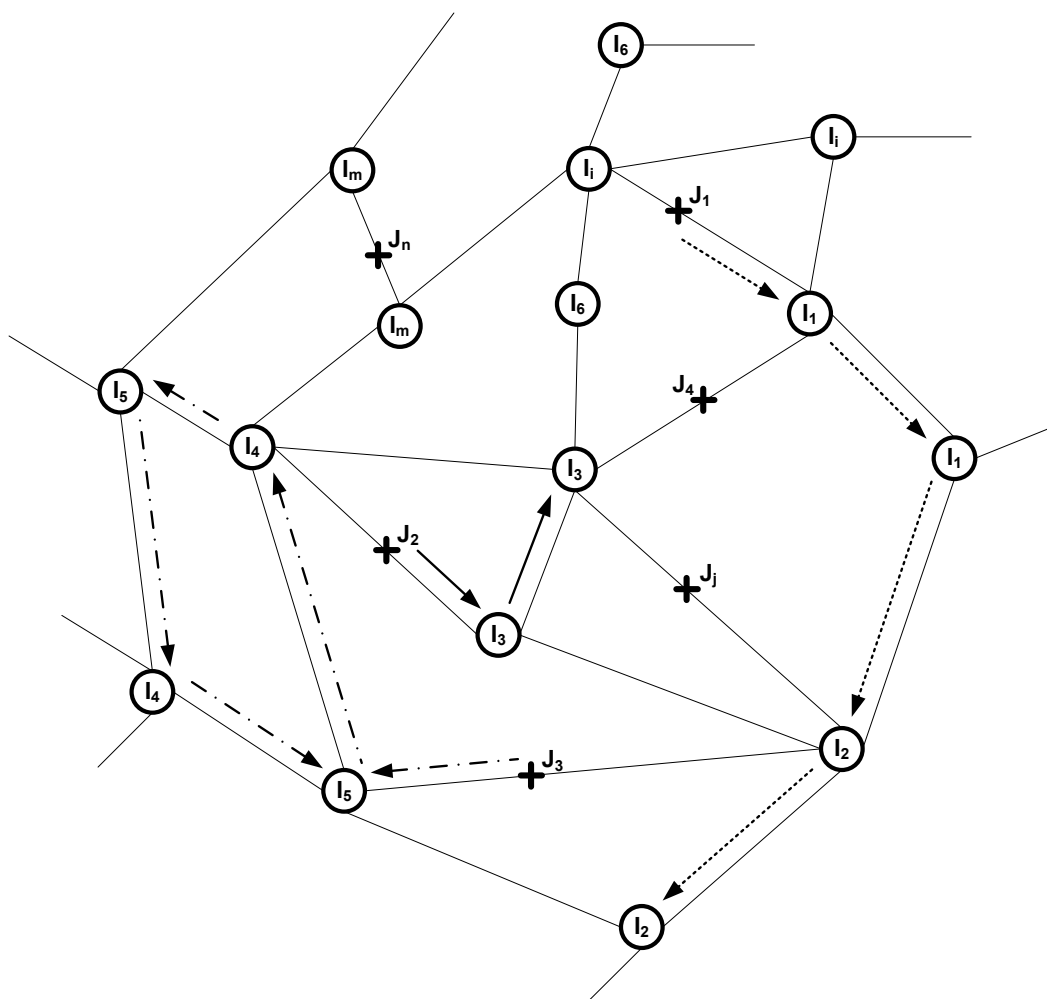
- térbeli elhelyezkedés: a szállító járművek telephelyei, a szállítási feladatok feladási- és rendeltetési állomásai;
- a szállító járművek kapacitása (teherbírás, raktérfogat, szállítható egységgrakományok fajtája és darabszáma), a szállítható áruk köre;
- a szállítandó áruk fizikai paraméterei (tömeg, térfogat, egységgrakomány képző eszköz fajtája és darabszáma), együttszállítás más áruval;
- a szállítási feladat időbelisége, a szállítási kapacitás időbeni foglaltsága;
- a szállítási feladat elvégzésének ellenértéke, fuvardíj (*FD*);
- egyéb szempontok (pl. a járat jellege, vezetési idő).

A járatok jellegét tekintve az *egyszerű* (csak egy szállítási feladat elvégzése) és a *kapcsolódó* (egy szállítási feladat befejezését egy másik megkezdése követi) járatok szervezésénél elegendő a fenti szempontokat számításba venni. *Gyűjtő/elosztó* szállítás (egy szállítási feladat teljesítése közben további szállítási feladatot lehet elkezdni, ill. már elkezdett szállítási

feladatot lehet befejezni) esetén figyelembe kell venni az újabb szállítási feladat illeszkedését a már járatba vont többi feladathoz. Amennyiben egy fuvarozó a szállítási feladat teljesítése közben más fuvarozó szállítási kapacitását is igénybe veszi (*eszközpark átcsoportosítás*), számolnia kell annak adottságaival.

A szállítási feladatokat jelöljük I_i -vel, ahol i jelenti a szállítási feladat sorszámát ($i=1 \dots m$, m a szállítási feladatok összes száma). A szállítási feladatok teljesítésére szolgáló járműveket jelöljük J_j -vel ($j=1 \dots n$, n a járművek összes száma).

1. ábra: Az elektronikus fuvarbörzékben alkalmazható optimalizálási elvek a szállítási kapacitással rendelkezők szempontjából



Forrás: saját szerkesztés

Az 1. ábráról az elektronikus fuvarbörzén, a szállítási kapacitással rendelkezők szempontjából (mint legmeghatározóbb irány) alkalmazható optimalizálási elvek olvashatók le. A legegyszerűbb elv szerinti megoldásra a folytonos vonalú nyíllal jelölt szállítási feladat mutat példát, amelyen a J_2 -vel jelölt jármű az I_3 -as szállítási feladatot teljesíti (a jármű a

telephelyéről először eljut az árufeladási pontba, majd teljesíti a feladatot a telephelyre történő visszatérés nélkül). A kapcsolódó szállítási feladatok teljesítésére példa a szaggatott vonalú nyíllal jelölt járat, amely esetén a J_1 -el jelölt jármű elsőként az I_1 , majd ennek befejezése után az I_2 jelű szállítási feladatokat teljesíti. A gyűjtő/elosztó szállítást a pontvonalas nyíllal szemléltetett járat mutatja be, amelynek során a J_3 -al jelölt jármű először az I_5 , aztán az I_4 jelű szállítási feladatok rakományát felveszi, majd az I_5 és ezt követően az I_4 rendeltetési helyén lerakodik.

Egy adott pontból kiinduló járművel (J_j) vizsgálva felírható egy adott szállítási feladat (I_i) teljesítésének költsége, amely a feladási pontba történő eljutás, a tényleges árutovábbítás, valamint a jármű telephelyére történő esetleges visszatérés költségének összege:

$$K_i = k_i^{eljutás} + k_i^{árutovábbítás} + k_i^{visszatérés}$$

Ekkor az általános célfüggvény az alábbi formában írható fel:

$$H_i^a = \{FD_i - K_i\} \rightarrow MAX$$

A célfüggvény járatok jellege szerinti értelmezését a következő fejezet tartalmazza.

2. A szállítási feladat és kapacitás összerendelésének alapelei

2.1. Optimalizálás a szállítási kapacitással rendelkezők szempontjából

Az optimumkeresés az alábbi vezérfonal mentén hajtható végre:

- 1) A keresési tér szűkítése (pl. dátum és távolság alapján);
- 2) Az árutovábbítási költség ($k_i^{árutovábbítás}$) és a fuvardíj (FD_i) meghatározása;
- 3) A jármű telephelye és a szűrések után megmaradt szállítási feladatok feladási pontjai közötti eljutás költségének számítása ($k_i^{eljutás}$);
- 4) A kiindulási pontba történő visszatérés költségének kalkulálása ($k_i^{visszatérés}$);
- 5) A haszon kalkulálása, járatok jellege szerint más-más logika alapján;
- 6) A legnagyobb hasznot nyújtó szállítási feladat kiválasztása (célszerű multikritériumos döntésszegítő algoritmus segítségével (Kovács, 2008)).

A haszon számítása egyszerű járatok esetén az általános célfüggvény alapján történhet. A kapcsolódó szállítási feladatok ($i=1\dots l$) esetén a költségkalkuláció bonyolultabb (az $(i+1)$. szállítási feladat az (i) . befejezése után kezdődhet meg):

$$K_l = \sum_{i=1}^l k_i^{\text{eljutás}} + \sum_{i=1}^l k_i^{\text{árutovábbítás}} + k_l^{\text{visszatérés}}$$

$$H_i^{\text{kapcsolódó}} = \sum_{i=1}^l \{FD_i\} - K_l$$

A gyűjtő/elosztó járatok esetén az előbbi képlethez hasonló módon történik a számítás, annyi megkötéssel, hogy az (i+1). szállítási feladat az (i). befejezése előtt is megkezdődhet, valamint az (i+1). szállítási feladat az (i). befejezése előtt is teljesíthető. A gyűjtő elosztó járatok esetén az eljutási költség e miatt több szállítási feladat esetében is nulla lehet. Az árutovábbítási költség számításánál figyelembe kell venni a gyűjtő/elosztó járatokon belül az egyes szállítási feladatok teljesítésének útvonalait, és ezek átfedéseit.

A haszon szempontjából várhatóan a gyűjtő/elosztó jellegű szállítás a legkedvezőbb, viszont számításigénye nagy. A kapcsolódó járatok a gyűjtő/elosztó járatokhoz képest kisebb hasznot adnak, de egyszerűbb az optimumkeresési algoritmus megvalósítása. Az egyszerű szállítási feladatok könnyen szervezhetőek, de a haszon tekintetében alulteljesítenek.

2.2 A megbízók szempontjai

A megbízók szemszögéből a szállítási feladat maradéktalan teljesítése a mérvadó, amelyhez kapacitás általában egyszerű keresés végrehajtásával rendelhető. A megbízók akár olyan járműveket is igénybe vehetnek, amelyekre már más szállítási feladatot terheltek, viszont még rendelkezésre áll a szükséges járműkapacitás. Az elektronikus fuvarbörze így jellegéből adódóan, algoritmusok nélkül is képes gyűjtő/elosztó járatok szervezésére, viszont ezek nem biztosítanak optimális hasznot a szállítási kapacitás tulajdonosának részére.

2.3 Rendszerszintű szempontok

A rendszerszintű optimum úgy képzelhető el, mintha az elektronikus fuvarbörzén megjelenő szállítási kapacitások egy virtuális vállalat tulajdonában lennének, melynek célja a lehető legnagyobb haszon mellett a lehető legtöbb igény maradéktalan kielégítése lenne. A jelenlegi elektronikus fuvarbörzék esetén ez a megállapítás nem állja meg a helyét, hiszen az egyedi fuvarozóknak nem érdeke rendszerszintű optimum elérése. Az elektronikus fuvarbörzék továbbfejlődésével viszont elképzelhető a börzén belüli virtuális szövetségek létrejötte (például az eszközpark átcsoportosítás által), amely esetén már értelmezhető alrendszer-szintű

optimum. A rendszerszintű optimum keresése jellegében hasonló feladat, mint amit a jelenlegi vállalati járat tervező rendszerek is megvalósítanak.

2.4 A felmerülő célkonfliktusok

A szállítási kapacitással rendelkezők és a megbízók között a konfliktus fő okozója, hogy a fuvarozók egyedileg optimalizált járatainak paraméterei nem minden esetben lesznek megfelelőek a megbízók számára. Ennek egyik oka lehet, hogy a járatok tervezése során a nagy számításigény miatt néhány korlátozó feltétel kimaradt, vagy pedig ezeket a szállítási kapacitással rendelkező a szállítási folyamatainak optimalizálása miatt nem vette figyelembe.

A szállítási kapacitással rendelkezők és a rendszerszintű optimumot nyújtó megoldás között a fő ellentétet az okozza, hogy mialatt a rendszerszintű haszon optimális, addig az egyéni haszon nem minden esetben lesz az. Emiatt a közeljövőben nehezen elképzelhető ilyen jellegű együttműködés, hiszen a fuvarbörzét az egyedi fuvarozói érdekek vezérik.

3. Kapcsolódó járatok optimalizálási algoritmusai

3.1 Egyszerű, közelítő módszerek

Az elvégzett szállítási feladatok számának maximalizálása a szállítási feladatok térbeli elhelyezkedését figyelembe véve. A jármű telephelyéhez, majd az aktuálisan elvégzett szállítási feladat célállomásához legközelebb lévő szállítási feladatot kell kiválasztani, amennyiben az a korlátozó feltételeknek megfelel. Ezzel várhatóan nagyszámú szállítási feladat teljesíthető.

A megszerezhető haszon maximalizálása a legnagyobb hasznot ígérő szállítási feladatok járatba rendelésével. Haszon szerinti csökkenő sorrendben mindig a legnagyobb hasznot nyújtó szállítási feladatot kell kiválasztani, amennyiben az a korlátozó feltételeknek megfelel. Várhatóan kisszámú szállítási feladat teljesíthető. Egyik módszer sem ad optimális megoldást.

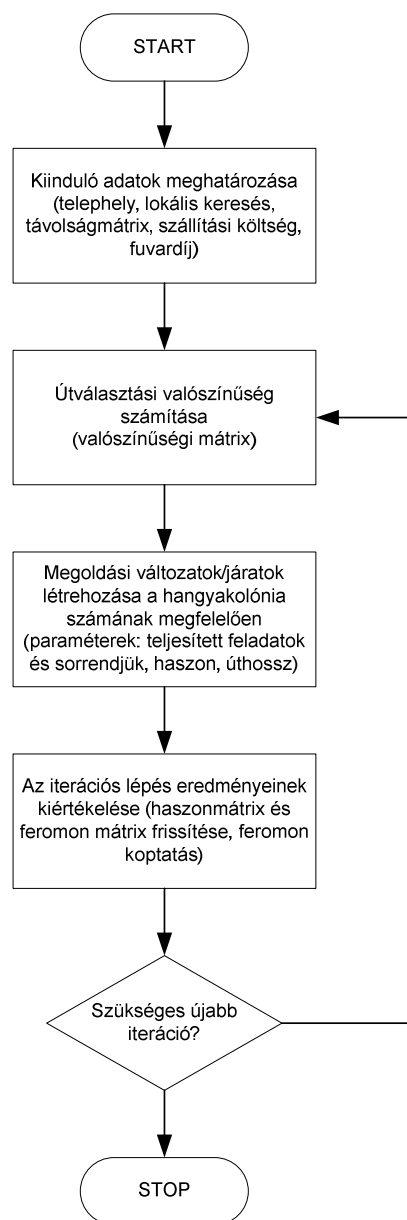
3.2 Hangya kolónia (Ant Colony) algoritmus

Az Ant Colony optimalizáló algoritmus egy, Marco Dorigo által kifejlesztett, a hangyák szociális viselkedésének modellezésén alapuló metaheurisztikus módszer (*Dorigo és Stützle, 2004*). A hangyák a természetben először véletlenszerűen keresnek élelemforrást, majd ha ételmezt találnak, a bolyba visszatérve feromonnal jelölik meg az utat. Más hangyák az utakon lévő feromonjel alapján nagyobb valószínűséggel válasszák ki a megjelölt utat a véletlen vándorlás helyett. A rövidebb utak hamarabb bejárhatóak, így ezeken több, a hosszabbakon

pedig kevesebb feromon lesz. Idővel az utakon lévő feromon mennyisége csökken (párolog), a lokális optimumnál való leragadást gátolva meg.

Az elektronikus fuvarbörzén, a kapcsolódó járatok tervezése során a hangyák élelemkereséséhez hasonló probléma merül fel: a cél a jármű telephelyéről kiindulva a lehető legnagyobb járatszintű hasznot jelentő szállítási feladatok teljesítése, a korlátozó feltételek figyelembe vételével. A probléma tehát kétszintű: egyrészt ki kell választani a teljesítendő szállítási feladatokat, másrészt meg kell határozni ezek felkeresési sorrendjét. Az optimumkeresés a 2. ábrán látható lépések szerint hajtható végre.

2. ábra: A elektronikus fuvarbörzékben alkalmazható hangyakolónia algoritmus



1) Kiinduló adatok meghatározása:

- az optimumkeresés kiindulópontja (a jármű *telephelye*);
- a keresési tér szűkítése (*lokális keresés*): a jármű telephelyéhez képest teljesíthető szállítási feladatok távolság alapján történő kiválasztása;
- a szállítási feladatok *távolságmátrixának* felírása (a jármű telephelyéről, ill. egy feladat befejezésétől egy új feladat megkezdéséig mekkora utat kell megtenni);
- szállítási feladatok fő jellemzőinek (*szállítási költség, fuvardíj*) kigyűjtése;
- *feromon mátrix* előállítása (a szállítási feladatok egymás, valamint a jármű telephelye után következésének erőssége, kezdetben csupa 1-es értékeket tartalmaz).

2) Útválasztási valószínűség számítása:

- Annak valószínűsége, hogy az r-edik szállítási feladatot (vagy a telephelyet) az s-edik követi az alábbi képlettel számítható:

$$p_{r,s} = \frac{\varphi_{r,s}^{\alpha} * \left(\frac{1}{d_{r,s}}\right)^{\beta}}{\sum_{t=1}^L \left[\varphi_{r,t}^{\alpha} * \left(\frac{1}{d_{r,t}}\right)^{\beta} \right]}$$

$\varphi_{r,s}$: az r és s szállítási feladatok viszonylatán lévő feromon mennyisége

$d_{r,s}$: az r és s szállítási feladatok között megteendő eljutási úthossz

L: az r. szállítási feladat után választható feladatok száma (t = 1 ... s ... L)

α : a keresésből származó információk fontosságát kifejező kitevő ($\alpha = 2$)

β : heurisztikus információ (úthossz)fontosságát kifejező kitevő ($\beta = 1/3$)

- a fenti valószínűségekből képezhető egy mátrix, amely a szállítási feladatok egymás, ill. a telephely után következésének valószínűségét mutatja (*valószínűségi mátrix*).

3) Megoldási változatok létrehozása:

- *véletlen számok* generálása, majd szállítási feladatok kiválasztása a valószínűségi mátrix alapján, a korlátozó feltétel (úthossz) teljesüléséig;
- a járat fő paramétereinek (szállítási feladatok, sorrend, haszon, úthossz) meghatározása;
- a fenti lépések végrehajtása a *hangyakolónia* számának megfelelően (pl. 50 hangya=50 verzió).

4) Az iterációs lépés eredményeinek kiértékelése:

- *haszonmátrix* (az egyes szállítási feladatok egymás, ill. telephely után következése a teljes járat szempontjából mekkora haszonnal jár) kinullázása;
- haszonmátrix feltöltése: az iterációs lépésben elért legnagyobb járatszintű haszon beírása az egyes viszonylatokba. Ebben a mátrixban csak azon viszonylatokban lesz érték, melyeket a hangyák közül legalább egy érintett, több hangya esetén a lépés során elért legnagyobb haszon kerül beírásra;
- az iterációs lépések során elért maximális haszon (H_{max}) frissítése, amennyiben sikerült javulást elérni;
- a *feromon mátrix frissítése* (az 5/36-os szorzó a *konzervatív* és a *felfedező keresés* közötti egyensúlyt biztosítja; H_{max} használata un. *erős elitizmust* eredményez):

$$\varphi_{r,s} = \varphi_{r,s} + \frac{5}{36} * \varphi_{r,s} * \frac{H_{r,s}}{H_{Max}}$$

$H_{r,s}$: az r és s szállítási feladatok sorrendjével elért legnagyobb haszon

H_{Max} : az iterációs lépések során elért legnagyobb haszon

- *feromon koptatás* (csak az adott iteráció során bejárt viszonylatokon kell feromon frissítést végrehajtani; a minimális feromon szint 0,5, a maximális feromon szint 2):

$$\varphi_{r,s} = \varphi_{r,s} * (1 - \rho)$$

ρ : feromon párolgási együttható ($\rho = 0,1$)

5) Újabb iterációs lépés végrehajtása (2, 3, 4 lépések) mindaddig, amíg további lényeges javulás (H_{max}) már nem elérhető, vagy bizonyos lépésszám után.

A fenti módszer segítségével rövid időn belül, a lokális optimumok kiszűrésével lehet megtalálni azt a megoldást, amely egy adott pontból kiinduló szállítási kapacitáshoz közel optimális módon kapcsolódó szállítási feladatokat rendel. Az algoritmus MS Visual Basic nyelven került kódolásra és tesztelésre, a képletek és azok paraméterei is ez alapján lettek kialakítva.

4. Konklúzió, továbbfejlesztési lehetőségek

Az elektronikus fuvarbörzékben több irányú optimumkeresésre van szükség, melyek közül a tanulmány által is részletesen bemutatott, kapcsolódó járatok szervezésére vonatkozó módszerek az egyik legígéretesebb eszközei egyrészt az ilyen jellegű online börzék fejlődésének, és jövőbeni, a szállítási piac meghatározó közvetítőjévé válásának, valamint a felhasználók folyamatainak támogatásához is elengedhetetlenek.

Fontos megemlíteni, hogy a metaheurisztikus módszerek alkalmazása nem garantálja az optimális megoldás megtalálását. Minden egyes optimumkeresési probléma, így például a jelen cikkben is részletezett VRP (Vehicle Routing Problem) megoldása során a tapasztalatok alapján finomítani kell az algoritmust, és a legújabb kutatások szerint kombinálni is lehet más metaheurisztikus módszerekkel (pl. szimulált hűtés, genetikus algoritmus, tabu keresés). A szakirodalom így a VRP hangyakolónia algoritmussal történő megoldásán túl (pl. *Bell és McMullen, 2004*) javítási lehetőségként tárgyalja például a mutáció alkalmazását (*Yu, Yang és Yao, 2010*), vagy a legújabb evolúciós algoritmusokkal való párosítását (*Zhang és Tang 2009* valamint *Thang, Zhang és Pang 2010*). A kutatás következő fázisában a cél a fuvarbörzékben alkalmazható hangyakolónia algoritmus továbbfejlesztése, a keresés hatékonyságának javítását célul kitűzve, főként a szakirodalomra és egyéni elképzelésekre alapozva.

Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

Felhasznált irodalom

John E. Bell, Patrick R. McMullen (2004): Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics* 18 (2004) pp. 41.–48.

M. Dorigo, T. Stützle (2004): *Ant Colony Optimization*, MIT Press, ISBN 0-262-04219-3

Kovács Gábor (2008): Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék tenderei esetén alkalmazható multikritériumos döntésségítő algoritmus. *Közlekedéstudományi Szemle*, 58. évf. 2. szám 2008. szeptember, pp. 44.-51.

Jiafu Tang, Jun Zhang, Zhendong Pan (2010): A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost, *Expert Systems with Applications* 37 (2010) pp. 4073.–4083.

Xiaoxia Zhang, Lixin Tang (2009): A new hybrid ant colony optimization algorithm for the vehicle routing problem, *Pattern Recognition Letters* 30 (2009) pp. 848.–855.

Yu Bin, Yang Zhong-Zhen, Yao Baozhen (2009): An improved ant colony optimization for vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research* 196 (2009) pp. 171.–176.