

MISKOLCI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR  
HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA



HOZZÁRENDELÉSI FELADATOK LOGISZTIKAI RÁFORDÍTÁS ALAPJÁN TÖRTÉNŐ  
OPTIMALIZÁLÁSA HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ, MŰSZAKI FELÜGYELETET ÉS  
KARBANTARTÁST ELLÁTÓ RENDSZEREKBE

PhD értekezés tézisei

Készítette:

**Kota László**

okleveles mérnök informatikus

Doktori iskola vezető:

**Prof. Dr. Tóth Tibor**

Tudományos vezetők:

**Prof. Dr. Jármai Károly**

**Dr. Bányai Tamás**

**Miskolc, 2012**

## **Bíráló bizottság**

Elnök:

Prof. Dr. Szigeti Jenő egyetemi tanár (ME)

Titkár:

Dr. Szabó Ferenc egyetemi docens (ME)

Tagok:

Dr. Vadászné Bognár Gabriella egyetemi docens (ME)

Dr. Kovács László tanszékvezető, egyetemi docens (ME)

Prof. Dr. Benkő János tanszékvezető, egyetemi tanár (SZIE)

Prof. Dr. Tímár Imre tanszékvezető, egyetemi tanár (PE)

Dr. Hartványi Tamás egyetemi docens (SZE)

Dr. Virág Zoltán egyetemi adjunktus (ME)

Bírálok:

Prof. Dr. Kulcsár Béla tanszékvezető, egyetemi tanár (BME)

Dr. Kulcsár Gyula egyetemi docens (ME)

## Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék .....	3
1 Bevezetés.....	5
2 Az értekezés célkitűzései és a kutatás módszertana.....	6
3 Irodalmi áttekintés .....	7
4 Új tudományos eredmények, tézisek.....	13
4.1 Hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek általános struktúrája .....	13
4.2 Hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek matematikai modellje .....	13
4.3 Multikromoszómás evolúciós programozáson alapuló algoritmus több körutas több szakértős hozzárendelési feladat megoldására .....	14
4.4 A kifejlesztett algoritmus vizsgálata, jóságának igazolása, összehasonlítása a tabu keresés algoritmusának két változatával .....	14
5 Eredmények hasznosítása, továbbfejlesztési irányok .....	15
6 New scientific results, theses .....	16
6.1 General structure of the of the network like technical inspection and maintenance systems.....	16
6.2 Mathematical model of the network like technical inspection and maintenance systems.....	16
6.3 Development of an evolutionary programming algorithm .....	16
6.4 Examination of the developed algorithm, comparison with two variants of the tabu search algorithm .....	17
7 Hivatkozások.....	18
7.1 Az értekezés témakörében megjelent saját publikációk.....	18
7.2 Hivatkozott irodalom.....	20



## 1 Bevezetés

Napjainkban a globalizált termelés és szolgáltatás területén egyre nagyobb mértékben terjednek a hálózatszerűen működő, logisztikával integrált rendszerek. Kezdetben a termelési ágazat globalizálódott, mára már a szolgáltató iparban is jelen vannak az akár több földrészen is működő lévő multinacionális vállalatok.

A szolgáltatások területén kiemelt jelentőségűek a műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek, mert ezek a termelésnek, szolgáltatásnak a biztonságát, megbízhatóságát biztosítják. Ilyen területek például a kommunális szolgáltatások, a víz, a szennyvíz, a gáz, a villamos energia, a távfűtés, az üzemanyag ellátás, a telekommunikációs szolgáltatások, vagy akár a felvonók és a kötélpályák karbantartásához kapcsolódó szolgáltatások [20][21].

Ezek megbízható, balesetmentes és gazdaságos üzemeltetése megköveteli az időszakos műszaki ellenőrzéseket, karbantartásokat. Felülvizsgálatuk, karbantartásuk pedig az esetek túlnyomó többségében speciális, vizsgához kötött szaktudást igényel. Ilyenek lehetnek például az emelőgépek egy sajátos változatai a felvonók, amelyek vizsgálata, karbantartása életvédelmi szempontból is igen fontos, így ezt a területet kormányrendelet szabályozza Hasonlóan kezelhetőek a különböző szolgáltató hálózatok, például villamos energia-, gáz-, hő-, vízellátás biztosítására szolgáló olyan objektumok, biztonsági berendezések, irányító alközpontok, ellenőrző egységek, kritikus hálózati elemek, amelyek időszakos felülvizsgálata, helyszíni ellenőrzése, karbantartása szükséges [22][23].

Az ilyen tevékenységek végrehajtásánál a következő feladatok jelentkeznek:

- egy-egy személynek kell évente egy vagy több alkalommal a helyszínre kiszállni,
- az alkatrészek, szerszámok, gépek egyéb eszközök helyszínre való ki- és visszaszállítására is szükség lehet,
- az is belátható, hogy a tevékenységet ellátó személyeknek vagy szakértőknek a kiszolgált terület objektumaihoz közel kell lakniuk, mert így képesek kis időráfordítással, költséghatékony tevékenységet végezni, mivel így a célterületre keveset kell utazniuk,

- a szükséges anyagok, alkatrészek, eszközök, gépek a rendszer különböző pontjaiban telepített raktárakban találhatóak, ezekből történik ki- ill. visszaszállításuk,
- illetve előfordulhatnak a helyszínen nem javítható szerkezeti elemek, amelyeket kiszereelés után a karbantartó üzemekben újítanak fel.

## **2 Az értekezés célkitűzései és a kutatás módszertana**

A felvonók vizsgálatát és kötelező karbantartását országunkban - hasonlóan a többi országhoz - törvény írja elő. A felvonóvizsgáló-karbantartó rendszer egész Magyarországot felöleli, hazánkat tekintve ez az egyik legnagyobb nagykiterjedésű karbantartó, felügyelő hálózat. Hazánk világviszonylatban kicsinek mondható, a kifejlesztett rendszer általános, alkalmazható bármely országra, vagy más egyéb kis, vagy nagyléptékű hálózatos rendszerekre. Ilyen nagyméretű, sokszereplős rendszerekben gyakori probléma a diszponálás optimalizálása, a hozzárendelések optimális meghatározása, egyedi igények kielégítése, és a váratlanul fellépő helyzetek gyors, minden igényt kielégítő megoldása.

Célom a rendszer kiterjesztésével és általánosításával az ilyen és az ehhez hasonló, a logisztikában gyakran felmerülő nagykiterjedésű és elemeiben nagy számosságú, műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek matematikai leírása, matematikai módszerek és modellek definiálása, valamint optimalizálási kérdéseinek megoldása.

A szakirodalom kutatása folyamán megállapítható, hogy míg a „tisztá” többszörös utazó ügynök problémának igen kiterjedt irodalma van, az ilyen nagykiterjedésű sok bemeneti paraméterű és sok peremfeltétellel ellátott rendszerek - amelyek a logisztika tudományterületén gyakran előfordulnak - optimalizálása nincs kidolgozva. Bár vannak kutatások, amelyek a probléma alappilléreivel a több végpontú utazó ügynök problémával foglalkoznak [25], de ezek sem alkalmaznak kiterjedt feltételrendszert, bonyolult többfázisú módszereket használnak, amelyek összehangolása nehézkes.

Kutatásom során a problématerületet többféle módon megvizsgáltam. Megalkottam a műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek általános modelljét, amelyet a kutatómunka folyamán tovább finomítottam a modellek általánosításával és újabb feltételek bevonásával. Az optimalizálási vizsgálatot szűkítettem a szakértő objektum hozzárendelésre, valamint a szakértők bejárás

ciklusainak meghatározására, amelyet először egyszerűbb heurisztikákkal vizsgáltam, többfázisú modellek alkalmazásával [9].

Vizsgáltam az optimalizálás területén alkalmazott biológiai működés modellezésén alapuló algoritmusokat is [5][16]. Számos algoritmus tanulmányozása után döntöttem az evolúciós programozás alkalmazása mellett. A választott módszer az evolúciós módszertan szerinti mikroevolúciót valósítja meg. Az evolúciós programozás egy igen általános algoritmus, így konvergenciája lassabb lehet, mint a speciális, egyetlen problémára alkalmazható algoritmusnak [25][26][27], viszont megfelelően kidolgozva az adatstruktúrákat, valamint megfogalmazva a peremfeltételeket, alkalmassá tehető egy ilyen bonyolult probléma egyfázisú optimalizálására, amelyet kutatási eredményeim is igazolnak.

### **3 Irodalmi áttekintés**

Disszertációm a hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek hozzárendelési kérdéseivel foglalkozik. Ezen belül is az objektumok hálózatszerű műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerének átfogó modelljének egy alrendszerével: a hálózatszerűen működő, műszaki felügyeletet és karbantartást ellátó szakértő objektum hozzárendelési feladatok optimalizálásával.

A probléma megoldása visszavezethető az úgynevezett többszörös utazó ügynök problémára (MTSP - Multiple Traveling Salesman Problem), bár a megoldás részleteiben eltér a szakirodalomban eddig tárgyalt megoldásoktól.

A fellelhető szakirodalomban az utazó ügynök probléma (TSP – Traveling Salesman Problem) igen széleskörűen tárgyalt, sőt gyakran új algoritmusokat az utazó ügynök feladat megoldására fejlesztenek ki, mint például az Ant Colony algoritmus [28], amelyeket később általánosítanak más problématerületen való alkalmazásra. A többszörös utazó ügynök probléma azonban kevésbé kutatott terület így viszont jelenleg még nem rendelkezik hasonlóan átfogó szakirodalommal.

Az MTSP rövid definíciója a következő: Adott egy csomópont halmaz, amely a felkeresendő helyeket reprezentálja és  $m$  utazó ügynök. Az  $m$  utazó ügynöknek fel kell keresnie minden csomópontot, úgy hogy minden csomópontot egyszer és csak egyszer kereshetnek fel, majd az utazó ügynökök visszatérnek a kiinduló csomópontba úgy, hogy a csomópontok felkeresési költsége minimális [29] [30].

A MTSP problémakörben alkalmazott közelítő eljárások használata többféleképpen indokolható. A TSP így az MTSP probléma is NP-nehez (non-deterministic polynomial-time hard - nem determinisztikusan polinomiális időben eldönthető) [32], ebből következik, hogy az MTSP probléma is az NP-nehez feladatosztályba tartozik. Az NP-nehez problémák esetén nem ismeretesek polinom korlátos műveletigényű megoldó eljárások. A rendelkezésre álló algoritmusok műveletigénye általában exponenciális függvénye a probléma méretének. Ennek következtében a nagyobb méretű feladatok megoldásának időigénye annyira nagy, hogy esetenként a megoldás nem realizálható. Így az NP-nehez problémák esetében létjogosultsága van közelítő eljárásoknak. Ezek nem a tényleges optimális megoldást szolgáltatják, hanem egy lehetséges megoldást eredményeznek csak. Az így előállított lehetséges megoldással szemben alapvető elvárás, hogy „jó” legyen abban az értelemben, miszerint a hozzátartozó célfüggvény érték közel legyen az optimum értékhez [33].

Az utazóügynök- és a többszörös utazó ügynök probléma az operációkutatás valamint a mesterséges intelligencia kutatási területén is megjelenik a szakirodalomban. A megoldási módszerekben megfigyelhető, hogy míg az operációkutatás főleg az egzakt matematikai módszerek felől közelíti a megoldáshoz (integer programozás, korlátozások és szétválasztás, korlátozás és vágás) [34][35], addig a mesterséges intelligencia, az informatikai tudományok modelljeivel és módszereivel támogatja a feladatmegoldást. Így ilyen irányultságú kutatásoknál inkább a biológiai modellezésen alapuló algoritmusok (neurális hálók [36], genetikus algoritmus, hangyakolónia algoritmus [37][38], evolúciós algoritmusok [39], részecske algoritmus [40][41], tabukeresés [42], DNS algoritmus [43] alkalmazása és ezek kifejlesztése az elterjedtebb.

A TSP-hez képest az MTSP a valós szituációkhoz jobban alkalmazkodik, így a logisztikai területén e kutatási terület a feladatok centralizációja, a globalizáció és a nagyméretű hálózatok alkalmazása miatt került előtérbe.

A kutatás folyamán megvizsgáltam a szakirodalomban a témához kapcsolódó eddigi kutatásokat, publikációkat. Mivel a kutatási terület igen szorosan a gyakorlathoz kapcsolódik, így a publikációk is általában egy-egy alkalmazás köré szerveződnek, továbbá látható az is, hogy a kutatások zöme a logisztika területéhez köthető.

A problématerületen több egzakt módszer is ismert [44][45], különféle eljárásokat felhasználva, ilyenek például a következők:



- egészértékű lineáris programozás [46],
- vágósíkok módszere,
- branch and bound módszerek,
- Lagrange relaxáció.

Egészértékű lineáris programozás módszerét használja Bektas et al.[47], ahol a kutatók fix és nemfix végpontú MTSP-t modelljét építették fel, majd megvizsgálták a nemfix végpontú MTSP modell implementációját. A futási idők már igen kevés bejárando csomópont esetén is túllépték a kísérletben definiált három órás határt.

Laporte és Nobert [48] szimmetrikus és aszimmetrikus struktúrákra két MTSP modellt mutat be. Egy olyan modellt vizsgálva ahol az utazó ügynökök mind egy városban helyezkednek el. Publikációjukban először a problémát 1-TSP-vé konvertálják – a konverziós eljárás a peremfeltételek nélküli MTSP problémánál jól használható [49]- majd ennek megoldására egy egyenes és egy fordított algoritmust írnak le:

- egyenes algoritmus: nincsenek alkörút eliminációs és integralitási feltételek, amíg az egészértékű megoldást elérik, ha nem legális alkörutak vannak a megoldásban (amelyek a depót nem érintik) a feltétel bekerül a problémába és az optimalizálás újra megtörténik,
- fordított algoritmus: amikor először csak a fokszám feltételt veszik figyelembe, majd az illegális alkörutakat vizsgálják.

Az integralitást mindkét esetben korlátozás és szétválasztás vagy vágósík (Gomory vágósíkok) módszerrel érik el. A megoldást néhány száz (180-240) városra implementálják, ahol az egyenes algoritmus „hamar elvérzik” memóriaproblémák miatt (már mintegy 70 városnál) de e felett a problémaméret felett a fordított algoritmus megoldási sebessége gyorsan csökken.

Ali és Kennington [50] egy korlátozás és szétválasztás alapú algoritmust dolgozott ki az aszimmetrikus MTSP megoldására. Az algoritmusban Lagrange relaxációt és szubgradiens módszert, valamint mohó algoritmust használ fel. Ebben a modellben az utazó ügynökök szintén egyazon városból indulnak. A módszert mintegy hatvan városig és hét utazóügynökig ad elfogadható időn belül megoldást.

Gavish és Srikanth fix számú utazó ügynökre kínál megoldást [51] Lagrange relaxációt valamint a korlátozás és szétválasztás módszerét felhasználva, ahol az utazó ügynökök az előző megoldásokhoz hasonlóan szintén egyazon városból indulnak, valamint ugyan oda érkeznek vissza. A megoldás folyamata a következőképpen foglalható össze:

- Előállítja a probléma felső korlátját heurisztikus csomópont beillesztéses módszerrel, amely a Lagrange multiplikátorok előállítására szolgáló szubgradiens módszerhez szükséges.
- Megoldja a Lagrange problémát.
- Ha a csomópontok fokszáma kisebb, mint az előírt, heurisztikus módszerrel javítja az eredményt a Lagrange probléma megoldását használva kiindulópontként.
- A Lagrange vektor értékeit a szubgradiens módszerrel aktualizálja.
- Ha a megoldás nem elfogadható a korlátozás és szétválasztás módszerrel redukálja a problémaméretet.

A futtatások eredményeiből kiderül, hogy a módszerrel mintegy 500 csomópontig illetve 10 utazó ügynökig szolgáltat megoldást elfogadható időn belül

A publikációk másik nagy csoportja heurisztikus módszerekre fókuszál, e publikációk általában valamilyen gyakorlatorientált problémára adnak megoldást. A logisztika tudományterületén a problémák jellegénél fogva gyakori a heurisztikus módszerek használata [52], hiszen a logisztikai modellek, feltételrendszerek igen bonyolultak is lehetnek, amelyek egzakt módszerekkel nem vagy csak nehezen kezelhetők.

A következő felsorolásban szakirodalomból vett MTSP-hez kapcsolódó néhány példát mutatok be heurisztikus módszerek alkalmazására:

- Iskolabusz körútjának megtervezése: A problémát Angel et al.[53] vizsgálta az MTSP variációjaként több különféle feltétel bevezetésével. Ebben az esetben a célfüggvény igen komplex, a cél a buszok kihasználtságának maximalizálása, a buszok által megtett út minimalizálása, viszont a buszok nem szállíthatnak a névleges kapacitásukon felül utasokat és az iskolákba kell érniük a megadott időn belül.
- Mobil robotok útvonaltervezése: A probléma autonóm mobil robotoknál jelentkezik. Széleskörű elterjedésük folyamányaképp ilyen robotok nemcsak a logisztika területén vannak jelen, mint például raktár automatizálás, hanem megjelennek a katonai felderítés területén, UAV-k

(Unmanned Aerial Vehicle) útvonaltervezésénél, vagy a postai feladatok diszponálásánál. Különleges felhasználási területük például a bolygók felderítésére alkotott mobil robotok. Sőt már a háztartásokban is megjelennek az autonóm mobilrobotok robotporszívók formájában és az alkalmazások köre a jövőben szélesedhet. Ebben az esetben a cél az optimális út keresése valamilyen speciális feltételrendszer mentén. Például a terület bejárása a legrövidebb út megtétele mellett. Általánosan  $n$  számú robotnak  $m$  számú célpontot kell felkeresnie majd visszatérni a kiindulási pontra. Az autonóm robotok útvonaltervezésének problémáival foglalkozik Brummit et al. [54], akik speciális feltételeket igénylő nem strukturált környezetben is vizsgálták a problémát. Hasonló problémakör a pilótanélküli légitjárművek útvonalának megtervezése, viszont itt szigorú időtényező, az üzemanyag fogyása is, így a Ryan et al. [56] által kidolgozott alkalmazás az időablakos MTSP tárgykörét ismerteti.

- Globális navigációs rendszerek (GNSS Global Navigation Satellite System) alkalmazása a geodéziában: A legújabb kutatások közé tartozik a Saleh és Chelouah [57] által kidolgozott MTSP modell amely, a GPS rendszerrel kijelölt geodéziái hálózat bázispontjainak optimális meghatározására szolgál. A kidolgozott modell alkalma lineáris vagy trianguláris GPS hálózatoknál az optimális bejárás meghatározására. A kifejlesztett GPS-GA algoritmus képes az optimális bejárás meghatározására figyelembe véve többek között a vevőegységek számát, valamint az egyes referenciapontok időbeli felkeresési paramétereit, mint bejárési időkorlátokat. A kutatók a kapott eredményeket összevetették egy tabukeresés (TS) és egy szimulált hűtés (SA) algoritmus által szolgáltatott eredményekkel. A kutatók által vizsgált példákban a genetikai algoritmus minden esetben jobb eredményt szolgáltatott a másik két algoritmusnál

A disszertációmban vizsgált műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek a MSTP probléma egy speciális, kevésbé kutatott kiterjesztését képviselik a több végpontos fix végpontú utazó ügynök problémával körülírhatók (MmTSP vagy MDMTSP-vel jelöli a szakirodalom; Multi Depot Multiple Traveling Salesman Problem). A problématerület ezen ága azonban még a generalizált vagy speciális MTSP megoldásoknál is kevésbé kutatott terület. Csak a legújabb kutatások foglalkoznak a problémával, olyan heurisztikus algoritmusok alkalmazása jelenik meg, mint például a következők:

- Ágensalapú modellezés valószínűségi kollektívek módszerével, Anand et al. [58]: Egy többágensű modellt dolgozott ki az MTSP probléma megoldására, ahol a kollektív memória és a valószínűségi kollektívek módszerét használta

fel. Az ismertetett algoritmus egyszerű beszúrásos, csere és eliminációs heurisztikát is felhasznál. Két egyszerű esetben vizsgálja az algoritmus működését tizenöt csomóponttal és három utazó ügynökkel,

- Genetikus algoritmus, Suk-Tae Bae et al. [24]: Két fázisra bontva oldják meg a problémát. Első fázisban egy klasztering eljárással a több középpontú problémát lebontják több egy középpontú problémává, majd ezeket genetikus algoritmus segítségével oldják meg. Eljárásukat kilencvenkilenc csomópontig, négy ügynökig vizsgálták. A klasztering eljárás gyorsasága miatt széleskörűen használt módszer [59][58][60][61] de az esetek döntő többségében lokális optimumot ad eredményül. További gyakran használt módszer a megoldott TSP probléma particionálása is, amely szintén a gyors heurisztikák közé sorolható [62].
- Hangyakolónia algoritmus, Ghafurian et al. [63]: A Marco Dorigo által kidolgozott [64] hangyakolónia algoritmust felhasználva oldja meg az általános MmTSP modellt. A problémafán mesterséges hangyák - a biológiai hangyák élelemkeresési metódusát modellezve - keresik az optimális megoldást. A szerzők az algoritmust összehasonlították a Lingo szoftver megoldásával és kimutatták, hogy a hangyakolónia algoritmus hasonlóan jó, vagy jobb megoldást ad, viszont az algoritmust csak mintegy negyven csomópontig és öt ügynökig vizsgálták.

Ezekkel a módszerekkel csak maximum száz csomópontig vizsgálták a problémát, valamint a modellek nem terjednek ki speciális, a műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerekben felmerülő jellemzőkre.

A szakirodalom alapján megállapítható, hogy az alkalmazott egzakt módszerek csak igen kis problémaméreteknél (néhány 10 utazóügynök, valamint néhány száz bejárt pont) adnak kivárható időn belül megoldást [65].

A logisztika területén előforduló nagyméretű problémák – mint például a műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerekkel kapcsolatos optimalizálási feladatok – megoldása során előfordulhat akár több tízezer felkeresendő csomópont (objektum) is, amelyet tízes nagyságrendű vagy akár a százat is meghaladó számú ügynök (szakértő) felügyel. Ilyen esetekben - a legújabb kutatási irányzatokat figyelembe véve - a heurisztikus és a korszerű mesterséges intelligencia módszerek használata komoly sikerekkel kecsegtet.

## **4 Új tudományos eredmények, tézisek**

Az értekezésemben összefoglalt kutatás-fejlesztés során a következő új eredményeket értem el:

### **4.1 Hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek általános struktúrája**

Feltártam a hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek általános struktúráját, kitérve a kis- és nagyterjedésű rendszerek centralizált/decentralizált működésére.

A rendszerstruktúrában szereplő modellek alkalmasak: a kis kiterjedésű regionális hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek, valamint a közepes, továbbá a nagy kiterjedésű decentralizáltan működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek leírására.

Definiáltam a műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerek rendszerelemeit, azok jellegzetes funkcióit, feladatköreit, logisztikai szempontból.

Megalkottam a műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerek jellegzetes rendszerváltozatait leíró struktúrát.

A kapcsolódó modelleket és azok tulajdonságait az értekezés 4. és 5. fejezete ismerteti részletesen, továbbá a [3], [10], [14] publikációkban is bemutatam.

### **4.2 Hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek matematikai modellje**

Kidolgoztam a hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek matematikai leírását.

Meghatároztam a rendszert leíró rendszerszintű paramétereket, valamint az egyes rendszerkomponensek paramétereit.

A szakértők, valamint az objektumok paramétereinél ismertettem azokat a feltételeket, korlátozásokat, amelyeket az optimalizáló eljárás kidolgozásakor figyelembe kell venni.

Definiáltam a több szakértős, több körutas rendszerek problémáját, valamint a kapcsolódó logisztikai ráfordításokat.

A matematikai modellt az értekezés 6. fejezete ismerteti részletesen, továbbá a [4], [6], [7], [8], [9] publikációban is bemutatam.

### **4.3 Multikromoszómás evolúciós programozáson alapuló algoritmus több körutas több szakértős hozzárendelési feladat megoldására**

Kidolgoztam egy multikromoszómás evolúciós programozáson alapuló algoritmust, amely egyrészt alkalmas a műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek több szakértős, több körutas hozzárendelési problémájának megoldására, másrészt a szakértők által bejárt körutak meghatározására. Figyelembe véve a matematikai modellben megadott feltételeket és korlátozásokat, az algoritmus multikromoszómás ábrázolásmódot használ, ahol egy gén egy adott objektum adott vizsgálatát jelenti. A kidolgozott heurisztikus algoritmus lokális, valamint a kromoszómák között globális operátorokat használ a körutak meghatározására.

Az egyedek jóságát az algoritmusban büntetőfüggvények határozzák meg, amelyek az operátorokhoz hasonlóan szintén globálisak vagy lokálisak lehetnek.

Az operátorok tervezésekor megvizsgáltam az egyes kontrakciós operátorok működését, hatásukat a célfüggvény konvergenciájára.

A kidolgozott algoritmust az értekezés 7. fejezete ismerteti részletesen, továbbá a [18] publikációban is bemutattam.

### **4.4 A kifejlesztett algoritmus vizsgálata, jóságának igazolása, összehasonlítása a tabu keresés algoritmusának két változatával**

Az algoritmus vizsgálatára, jóságának igazolására implementáltam az algoritmust, amely lehetővé tette az algoritmus tesztelését, működésének elemzését kis és nagyméretű problémákon.

Kisméretű problémákon az algoritmus a program által igazoltan helyes eredményt adott, nagyméretű problémákon az eredmény már nem igazolható, azonban a tesztelés folyamán nyilvánvalóvá vált, hogy egy processzormagon szekvenciális végrehajtással a nagyméretű problémák futásideje igen magas.

Szükségessé vált az algoritmus párhuzamosítása, amelynek hatását a megoldás sebességére nagyméretű példákon keresztül vizsgáltam.

A kifejlesztett szoftver felhasználásával az algoritmust több példán keresztül összehasonlítottam a tabu keresés egy egyszerűsített, valamint szomszédsági listás általános algoritmusával. A vizsgálatok és összehasonlítások megerősítették a kidolgozott algoritmus jóságát.

Az algoritmus jóságának igazolása az értekezés 8. fejezetében található, továbbá a [19] publikációban is bemutattam.

## 5 Eredmények hasznosítása, továbbfejlesztési irányok

A kifejlesztett modell és algoritmus széleskörűen felhasználható valós hálózatszerű műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerek optimalizálására, mint például a bevezetőben említett felvonó karbantartó rendszerek optimalizálására. Az algoritmus a büntetőfüggvények módszerével képes igen sok egyéb feltétel bevezetésével is megoldást szolgáltatni, ezáltal igen rugalmas eszköznek tekinthető hasonló rendszerek tervezésekor és optimalizálásakor. Használatával akár az is kimutatható, hogy az adott feltételrendszerhez nem létezik megvalósítható megoldás, de az algoritmus képes megadni a feltételeket legkevésbé megsértő kvázi-megoldást.

Az értekezés témaválasztásában meghatározó szerepet játszott az ÉMI-TÜV Bayern Kft. számára végzett „Felvonóvizsgáló szakértők optimális hozzárendelési kérdései” című kutatás-fejlesztési munka. Felismertem, hogy a felvonóvizsgáló szakértők feladatokhoz és felvonókhoz történő hozzárendelése új - a szakirodalomban eddig nem tárgyalt - modellek és módszerek kifejlesztését és alkalmazását teszi szükségessé. A kidolgozott új modellek és módszerek alkalmasak a gyakorlatban is jól hasznosítható megoldások elérésére, előállítására.

A kidolgozott algoritmus evolúciós jellegéből adódóan is sok továbbfejlesztési lehetőséget kínál, ilyenek például a következők:

- új mutációs operátorok bevezetése,
- új szelekciós módszerek alkalmazása.

Igen nagy potenciál rejlik az algoritmus párhuzamosíthatóságának kihasználásában, hiszen a párhuzamosítás különböző technikáit felhasználva nagyméretű rendszerek optimalizálása rövidebb (futási) időn belül lehetővé válik.

Az algoritmus megvalósítható nagyteljesítményű számítógép klasztereken vagy számítási felhőkön, bár külön vizsgálat tárgyává kell tenni a kommunikáció hatását az algoritmus sebességére, hiszen az adatokra való várakozás és a kommunikáció miatt a sebességnövekedés a számításba bevont számítógépek számával nem egyenesen arányos.

Érdemes megvizsgálni még az algoritmus párhuzamos szálainak futtatási lehetőségét általános célú grafikus processzorokon (GPGPU General Purpose Graphics Processing Unit). Mivel ezek a speciális processzorok egyszerre több számítási szál futtatásával nagy teljesítményre képesek, megfelelően megírt szoftverek esetén párhuzamos teljesítményük sokszorosan meghaladja az általános célú processzorokét, így használatukkal a futásidő jelentősen csökkenthető.

## **6 New scientific results, theses**

### **6.1 General structure of the of the network like technical inspection and maintenance systems**

I have described the general structure of the network like technical inspection and maintenance systems, including the centralized/decentralized operation of the small and large scale systems.

The models in the system structure are appropriate to describe the small scale network like technical inspection and maintenance systems operating regionally and the medium and large scale network like technical inspection and maintenance systems operating decentralized.

I had defined the system elements of the technical inspection and maintenance systems with their characteristic functions and roles in a logistics point of view.

I had created the generator structure which describes the standard system variants of the technical inspection and maintenance systems.

### **6.2 Mathematical model of the network like technical inspection and maintenance systems**

I had developed the mathematical description of the network like technical inspection and maintenance systems.

I had determined the system wide parameters which describe the system and the parameters of the individual system components.

I had presented the constraints and conditions which have to be taking into consideration at the development of the optimization process.

I had defined the typical problems of the multi expert, multi route systems and the associated logistics expenditures.

### **6.3 Development of an evolutionary programming algorithm**

I had developed an evolutionary programming algorithm based on multi chromosome technique which in one hand is suitable to solve the multi expert, multi object assignment problem of the technical inspection and maintenance systems and on the other hand, it is appropriate to determine the routes travelled by the experts. Considering the constraints and conditions described in the mathematical model the algorithm using a multi chromosome model where one gene describes an examination of an object.



The developed heuristic algorithm uses local and global operators to determine the routes of the experts.

The goodness of individuals is determined by penalty functions, which can be also local and global like the operators.

At the design process of the operators, I have examined several contraction operators and their impact on the convergence of the target function.

#### **6.4 Examination of the developed algorithm, comparison with two variants of the tabu search algorithm**

I had implemented the algorithm to confirm and justify the goodness of the algorithm which allowed to evaluate and analyze the algorithm on small and large scale problems.

On small scale problems, the algorithm had given accurate results certified by the naked eye, but on large scale problems, the goodness of the algorithm cannot be certified, but during the tests, it was obvious that the run time of the algorithm on a single processor core with sequential processing at large scale problem could be extremely high.

It has become necessary the parallelization of the algorithm whose impact on the speed was examined on a large scale problems.

Using the developed application, the algorithm was compared to the simple and to the generic neighborhood list tabu search algorithm. The examinations and comparison tests had confirmed the goodness of the developed algorithm.

## 7 Hivatkozások

### 7.1 Az értekezés témakörében megjelent saját publikációk

- [1] Kota László, Dr. Cselényi József: Felügyeletet ellátó szakértők optimális hozzárendelése különböző helyeken üzemelő felvonókhoz, Miskolc, PhD fórum 2000, pp. 39-46.
- [2] Kota László: Air cargo raktár logisztikai rendszerének vizsgálata, Ferihegy: kelet-európai hub, *Logisztikai Híradó*, 2001 február, XI. Évf 1. szám, pp. 3-6.
- [3] Prof. Dr. Cselényi József, Dr. Illés Béla, Kota László: Szétszórt objektumok karbantartásának, időszakos műszaki ellenőrzésének optimális működtetésére szolgáló virtuális logisztikai központ, Országos Emelőgép-Üzemeltetői Biztonságtechnikai Konferencia. 2001. Nyíregyháza. 2001. június 20-21. *Gépgyártás XLI. évfolyam* 5. szám, pp. 15-18.
- [4] Kota László, Cselényi József: Felvonó szakértők felvonókhoz való hozzárendelésének metamatikai modellei és módszerei dinamikusan változó felvonószám esetén, Ph.D. fórum 2001 november 6., pp. 103-109.
- [5] Kota László: Termelési mélység optimalizálása Ant Colony algoritmus alkalmazásával, Repüléstudományi konferencia 2009, Szolnok, *Repüléstudományi közlemények* különszám, 2009. április 24., [www.szrfk.hu/rtk/](http://www.szrfk.hu/rtk/), Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, HU-ISSN 1789-770X
- [6] Dr. József Cselényi, László Kota, Dr. Ágota Bányai, Dr. Tamás Bányai: Dynamic Assignment of Experts Doing Analyses to Elevators in Different Places, *GÉP*, 2001, vol. LII. pp. 28-33.
- [7] Cselényi J., Kota L., Bányainé Tóth Á., Bányai T.: Dynamic assignment of experts doing analyses to elevators in different places. Proceedings of MicroCAD 2001, University of Miskolc, pp. 23-32.
- [8] László Kota, Dr. József Cselényi, Dr. Ágota Bányai, Dr. Tamás Bányai: Mathematical models and methods of the assignment of elevator experts

- to elevators in case of different constrains, Proceedings of 3rd International Conference of Ph.D. Students, University of Miskolc, Miskolc, ISBN 963 661 480 6 (2001 aug.), Engineering Sciences, Vol. I, pp. 245-252.
- [9] László Kota, Dr. József Cselényi: Mathematical models and methods of the assignment of elevator experts to elevators, in case of dynamically changed elevator number, Miskolcer Gespräche 2001 „Die neusten ergebnisse auf dem Gebiet Fördertechnik und Logistik“ Universität Miskolc. ISBN 9636614938, Universität Miskolc, 13-14 September 2001, Miskolc pp. 118-122.
- [10] József Cselényi, Béla Illés, László Kota: Die Virtuelle Zentrale zum optimalen Betreiben bei der Wartung, bei der periodisch technischen Kontrolle von zerstreuten Objekten, *GÉP*, 2002/2-3 vol LII. pp: 43-46
- [11] L. Kota, J. Cselényi: Defining the locations of new experts in an elevator maintenance-examination system, *Modelling and Optimisation of Logistic Systems*, 2001, University of Miskolc, ISBN 963 661 510 1, pp. 91-96.
- [12] Cselényi J., Kota L.: Determination of storage capacity requirement of EEEs before packaging. MicroCAD 2002, International Scientific conference 7-8 Marc. 2002. Selection I, Material Flow Systems, Logistical Informatics Miskolc, pp. 69-75. ISBN 963 661 515 2
- [13] L. Kota, J. Cselényi: Defining the new experts location in an elevator maintenance examination system, Вестник Национального технического Университета «ХПИ» 9'2002 т. 10, Харьков, Сборник научных трудов Тематический выпуск "Технологии в машиностроении" Удк 621.9, страницы:96-102.
- [14] Prof. Dr. hc. Mult. József Cselényi, Dr. Béla Illés, László Kota: Virtuelle Zentrale zur Disposition der Inspektion räumlich verteilter Objekte, *Magdeburger Schriften zur Logistik*, Otto von Guericke Universität Magdeburg 2003, ISSN 1436-9109

- [15] László Kota, József Cselényi: Optimal Layout Planning in Case of Combined Assignment Model, microCAD 2004, International Scientific Conference 18-19 March 2004, Supplementary Volume ISBN 963 661 608 6 ö, ISBN 963 661 624 8
- [16] László Kota: Ant Colony Based Optimization of Production Depth, XXIII microCAD 2009 International Scientific Conference 19-20 March 2009, ISBN 978-963-661-866-7 ö, ISBN 978-963-661-880-3
- [17] T. Bányai, L.Kota: BOM optimisation to advance assembly processes, Lamdamap 2009, 9th International Conference and Exhibition on Laser Metrology, Machine Tool, CMM & Robotic Performance, 30 June- 2 July, Brunel University, West London, ISBN 978-0-9553082-7-7, pp. 156-164
- [18] Kota László, Jármai Károly: Műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerek optimalizálása, GÉP LXII: évfolyam, 2011/7-8, I. Kötet, pp.: 75-78, ISSN: 0016-8572
- [19] Kota László: Genetikus programozás és tabu keresés összehasonlítása műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerek optimalizálási feladatainál, GÉP LXIII: évfolyam, 2012/2, pp.: 33-36, ISSN: 0016-8572
- Kota L.: Optimisation of Large Scale Maintenance Networks with Evolutionary Programming, DAAAM International Scientific Book 2011 ISSN 1726-9687, ISBN 978-3-901509-84-1, pp.: 495-512, Chapter 40., (reviewed) (könyvfejezet), doi: 10.2507/daaam.scibook.2011.40

## 7.2 Hivatkozott irodalom

- [20] Joel Levitt: *The handbook of maintenance management*, Industrial Press Inc, 2009 , ISBN 978-0-8311-3389-4, 477 p.
- [21] Dr. habil Illés Béla: A karbantartási logisztika, a minőségbiztosítási logisztika alapjai, folyamatainak matematikai modellezése, Miskolci Egyetem habilitációs füzetei, 2005

- [22] Illés B., Cselényi J., Németh J.: Hálózatszerűen működő karbantartás, felújítás és hálózatépítés logisztikai rendszereinek tervezési és irányítási módszerei, A Miskolci Egyetem Közleménye, Mechatronika, Anyagtudomány, Vol. 1., No. 2 (2005), pp. 149-164. oldal, ISSN 1589-827X
- [23] David Achermann: Modelling, Simulation and Optimization of Maintenance Strategies under Consideration of Logistic Processes, PhD. thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich 2008, Diss. ETH No. 18152
- [24] Suk-Tae Bae, Heung Suk Hwang, Gyu-Sung Cho and Meng-Jong Goan: Integrated GA-VRP solver for multi-depot system, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 53, No. 2, (2007), pp. 233-240, ISSN: 0360-8352, doi:10.1016/j.cie.2007.06.014
- [25] David H. Wolpert, William G. Macready: No Free Lunch Theorems for Search, Technical Report SFI-TR-95-02-010 (Santa Fe Institute), 1995, <http://econpapers.repec.org/RePEc:wop:safiwp:95-02-010>
- [26] David H. Wolpert, William G. Macready: No Free Lunch Theorems for Optimization, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 1, pp. 67-82, ISSN: 1089-778X,
- [27] Travis C. Service: A No Free Lunch theorem for multi-objective optimization, *Information Processing Letters*, Vol. 110, No. 21, (2010), pp. 917–923, ISSN (Print) 0020-0190, doi:10.1016/j.ipl.2010.07.026
- [28] Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, Alberto Coloni: Ant system: optimization by a colony of cooperating agents, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics--Part B*, Vol. 26, No. 1, (1996), pp. 29-41, ISSN: 1083-4419, doi: 10.1109/3477.484436
- [29] Arthur E. Carter, Cliff T. Ragsdale: A new approach to solving the multiple traveling salesperson problem using genetic algorithms, *European Journal of Operational Research*, Vol. 175 (2006), No 1, pp. 246–257
- [30] Johannes Wilhelm Joubert: An integrated and intelligent metaheuristic for constrained vehicle routing, Phd dissertation, Department of Industrial and

- Systems Engineering, University of Pretoria 2007, 167p., doi:10.1016/0377-2217(94)00011-Z
- [31] Gilbert Laporte, Yves Nobert, Serge Tailleffer: Solving a family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location-Routing Problems, *Transportation Science*, Vol.22 1988, No. 3, pp. 161-172, doi: 10.1287/trsc.22.3.161
- [32] David L. Applegate, Robert E. Bixby, Vasek Chvátal, William J. Cook: The Traveling Salesman Problem: A Computational Study, Princeton University Press 2006, ISBN 978-0-691-12993-8
- [33] Imreh Balázs, Imreh Csanád: *Kombinatorikus optimalizálás*, Egyetemi tankönyv, Szegedi Tudományegyetem 2005, 339 p., ISBN: 9639056367
- [34] Fábos Róbert: Operációkutatás, az elfeledett tudomány a logisztikában, *Katonai Logisztika*, Vol. 14, No. 2 (2006), Honvédelmi Minisztérium, pp. 56-70.
- [35] T.K. Ralphs, L. Kopman, W.R. Pulleyblank, L.E. Trotter: On the capacitated vehicle routing problem, Springer Verlag 2003, *Mathematical Programming*, Vol. 94, No. 2-3, pp. 343-359, doi: 10.1007/s10107-002-0323-0
- [36] Hong Qu, Zhang Yi, HuaJin Tang: A columnar competitive model for solving multi-traveling salesman problem, *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 31, No. 4, (2007), pp. 1009–1019, doi:10.1016/j.chaos.2005.10.059
- [37] Michel Gendreau, Gilbert Laporte, Jean-Yves Potvin: Metaheuristics for the Vehicle routing problem, University of Montreal, Séminaire D'Intégration interdisciplinaire sur les transports: Logistique et distributique 200, szemináriumi segédanyag
- [38] Balogh Sándor: Több szempontú gazdasági döntéseket segítő genetikusan algoritmus kidolgozása, Phd értekezés, Kaposvári Egyetem. Gazdaságtudomány Kar. Informatika Tanszék, 2010, 143 p.

- [39] Zhifeng Hao, Han Huang and Ruichu Cai: Bio-inspired Algorithms for TSP and Generalized TSP, *Traveling Salesman Problem*, Federico Greco (Ed.), InTech 2008, p. 202, ISBN: 978-953-7619-10-7
- [40] Donald Sofge, Alan Schultz Kenneth De Jong: Evolutionary Computational Approaches to Solving the Multiple Traveling Salesman Problem Using a Neighborhood Attractor Schema, *Applications of Evolutionary Computing Lecture Notes in Computer Science*, 2002, Vol. 2279/2002, pp. 153-162, ISBN: 3-540-43432-1, doi: 10.1007/3-540-46004-7\_16
- [41] József Farkas, Károly Jármay: *Design and Optimization of Metal Structures*, Horwood Publishing Limited 2008, ISBN 978-1-904275-29-9, 300 p.
- [42] Thomas Weise, Hendrik Skubch, Michael Zapf, Kurt Geihs: Global Optimization Algorithms and their Application to Distributed Systems, Technical Report, Distributed Systems Group, FB 16, University of Kassel, Kasseler Informatikschriften 2008, 3, pp. 1-69.
- [43] B.S.E.Zoraida, Michael Arock, R.Ponalagusamy: DNA Algorithm Employing Temperature Gradient for Multiple Traveling Salesperson Problem, *International Journal of Computer Applications*, Vol.1, No. 22, (2010), IJCA Journal, doi: 10.5120/441-674
- [44] Tolga Bektas: The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures, *The International Journal of Management Science*, Omega Vol. 34 (2006), No. 3, pp. 209-219.
- [45] G. Laporte: The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, Vol. 59, No. 2, (1992), pp. 231-247, ISSN: 0377-2217, doi:10.1016/0377-2217(92)90138-Y
- [46] Roberto Wolfler Calvo, Roberto Cordone: A heuristic approach to the overnight security service problem, *Computers & Operations Research*, Vol. 30, No. 9, (2003), pp. 1269-1287, ISSN: 0305-0548, doi:10.1016/S0305-0548(02)00070-9

- [47] Imdat Kara, Tolga Bektas: Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations, *European Journal of Operational Research*, Vol. 174, No. 3, (2006), pp. 1449–1458, doi:10.1016/j.ejor.2005.03.008
- [48] Gilbert Laporte and Yves Nobert: A Cutting Planes Algorithm for the m-Salesmen Problem, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 31, No. 11 (1980), pp. 1017-1023, ISSN: 01605682, doi:10.1057/jors.1980.188
- [49] Yang GuoXing: Transformation of multidepot multisalesmen problem to the standard travelling salesman problem, *European Journal of Operational Research*, Vol. 81, No. 3 (1995), pp. 557-560.
- [50] A. Iqbal Ali, Jell L. Kennington: The asymmetric m-traveling salesman problem: A duality based branch-and-bound algorithm, *Journal of Discrete Applied Mathematics*, Vol. 13, No. 2-3, (1986), pp. 259-276, ISSN: 0166-218X, doi 10.1016/0166-218X(86)90087-9
- [51] Bezalel Gavish, Kizhanathan Srikanth: An optimal solution method for large-scale multiple traveling salesman problems, *Journal of Operations Research*, Vol. 34, No. 5, (1986), pp. 698-717, ISSN: 0030364X, doi 10.1287/opre.34.5.698
- [52] David Simchi-Levi, with Xin Chen and J. Bramel: *Logic Of Logistics: Theory, Algorithms, And Applications For Logistics and Supply Chain Management*, Springer-Verlag 2004, ISBN: 0387221999, 355 p.
- [53] R. D. Angel, W. L. Caudle, R. Noonan, A. Whinston : Computer assisted school bus scheduling. *Management Science*, Vol. 18, No. 6, February 1972, pp. B-279-B-288 doi: 10.1287/mnsc.18.6.B279
- [54] Barry L. Brumitt, Anthony Stentz: Dynamic mission planning for multiple mobile robots. Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation, Vol 3., (1996), pp. 2396-2401, ISBN: 0-7803-2988-0, doi: 10.1109/ROBOT.1996.506522



- [55] Barry L. Brumitt, Anthony Stentz: GRAMMPS: A generalized mission planner for multiple mobile robots. Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation, Vol 2., (1998), pp. 1564-1571, ISBN: 0-7803-4300-X, doi: 10.1109/ROBOT.1998.677360
- [56] Joel L. Ryan , T. Glenn Bailey, James T. Moore, William B. Carlton: Reactive Tabu search in unmanned aerial reconnaissance simulations. Proceedings of the 1998 winter simulation conference, Vol. 1, 1998. pp. 873-879., ISBN:0-7803-5134-7, doi: 10.1109/WSC.1998.745084
- [57] Hussain Aziz Saleh, Rachid Chelouah: The design of the global navigation satellite system surveying networks using genetic algorithms, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 17, No. 1, (2004), pp. 111-122, ISSN 0952-1976, doi:10.1016/j.engappai.2003.11.001
- [58] Anand J. Kulkarni, K. Tai: Probability Collectives: A multi-agent approach for solving combinatorial optimization problems, *Applied Soft Computing*, Vol. 10, No. 3, (2010), pp. 759-771, doi:10.1016/j.asoc.2009.09.006
- [59] R. Nallusamy, K. Duraiswamy, R. Dhanalaksmi, P. Parthiban: Optimization of Non-Linear Multiple Traveling Salesman Problem Using K-Means Clustering, Shrink Wrap Algorithm and Meta-Heuristics, *International Journal of Nonlinear Science*, Vol.8 No.4 (2009),pp.480-487, ISSN 1749-3889 (print), 1749-3897 (online)
- [60] Ding Chao, Cheng Ye, He Miao: Two-Level Genetic Algorithm for Clustered Traveling Salesman Problem with Application in Large-Scale TSPs, *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 12, No. 4, (2007), pp.459-465, ISSN 1007-0214 15/20
- [61] T.Y.El Mekkawy, S.Liu: A new memetic algorithm for optimizing the partitioning problem of tandem AGV systems, *International Journal of Production Economics*, Vol. 118, No. 2, (2009), pp. 508-520, doi:10.1016/j.ijpe.2009.01.008

- [62] Gur Mosheiov: Vehicle routing with pick up and delivery: Tour Partitioning heuristics, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 34, No. 3, pp. 669-684, 1998, doi:10.1016/S0360-8352(97)00275-1
- [63] Soheil Ghafurian, Nikbakhsh Javadian: An ant colony algorithm for solving fixed destination multi-depot multiple traveling salesman problems, *Applied Soft Computing*, Vol. 11, No. 1, (2011), pp. 1256–1262, doi:10.1016/j.asoc.2010.03.002
- [64] M. Dorigo, T. Stützle: *Ant Colony Optimization*, MIT Press 2004.. ISBN 0-262-04219-3, 319 p
- [65] San Nah Sze, Wei King Tiong: A Comparison between Heuristic and Meta-Heuristic Methods for Solving the Multiple Traveling Salesman Problem, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 25, 2007, pp. 300-303.