

# MŰSZAKI FELÜGYELETI ÉS KARBANTARTÓ RENDSZEREK OPTIMÁLÁSA

## OPTIMIZATION OF TECHNICAL INSPECTION AND MAINTENANCE SYSTEMS

*Kota László, Dr. Jármái Károly D.Sc., Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék*

### ABSTRACT

This paper describes a single phase algorithm for the fixed destination multi-depot multiple traveling salesman problem with multiple tours (mmTSP). The paper propose a mathematical model of the system's object expert assignment with the constraints like experts minimum and maximum capacity, constraints on experts' maximum and daily tours. The the second part describes the developed evolutionary algorithm which solves the assignment, regarding the constraints introducing penalty functions in the algorithm.

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a szolgáltatások területén kiemelt jelentőségűek a műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek, mivel ezek a termelési, vagy szolgáltatási terület - ezek közül kiemelt fontosságúak a lakosságot közvetlen érintőek – biztonságát, megbízhatóságát biztosítják, ilyen területek például, kommunális szolgáltatások, víz, szennyvíz, gáz, villamos energia, távfűtés, üzemanyag ellátás, telekommunikációs szolgáltatások, vagy akár a felvonók és kötélpályák.

Ezek megbízható, balesetmentes és gazdaságos üzemeltetése megköveteli az időszakos műszaki ellenőrzéseket, karbantartásokat, felülvizsgálatok, karbantartásuk az esetek túlnyomó többségében speciális szaktudást igényel, akár speciális vizsgálóhoz is kötött. Ilyenek például az emelőgépek közül a felvonók, amelyek vizsgálata, karbantartása életvédelmi szempontból is igen fontos, így ezt a területet kormányrendelet szabályozza. Hasonlóan kezelhetőek a különböző szolgáltató hálózatoknál, 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.

### 2. HÁLÓZATSZERŰ MŰSZAKI FELÜGYELETI ÉS KARBANTARTÁSI RENDSZEREK

A hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási rendszerek kiterjedhetnek egy városra, egy régióra, egy országra, lehetnek kontinensen belüli vagy akár földrészeken átívelő rendszerek. Ezen rendszerek feladata egyrészt a hálózat megfelelő pontjaiban az előírásoknak megfelelő időpontokban rendszeres felülvizsgálatok és vizsgálatok elvégzése szakértők által, másrészt karbantartások és felújítások megvalósítása

A logisztikai rendszer feladata, hogy biztosítsa a felülvizsgálathoz és karbantartáshoz szükséges erőforrások rendelkezésre állását. Tekintettel arra, hogy a logisztikai erőforrások és igények, szakértők, anyagok, eszközök, objektumok térben szétszórta, ezért hálózatszerűen működő műszaki felügyeleti és karbantartási integrált rendszer akkor működtethető optimálisan, ha virtuális logisztikai központtal, vagy az irányítási és anyagmozgatási feladatok egy szervezetbe tömörítése esetén logisztikai szolgáltató központtal rendelkező vállalat látja el az ilyen típusú feladatokat.

### 3. AZ OBJEKTUM SZAKÉRTŐ HOZZÁRENDELÉSEK MATEMATIKAI MODELLJE

A rendszerszintű paraméterek közé tartozik a rendszer útmátrixa, amely megmutatja az egyes rendszerelemek távolságát egy másik rendszerelemtől.

$$L = [l_{ij}] \quad (1)$$

A rendszer kimenő paramétereire tartozik a hozzárendelési mátrix, az útmátrixhoz hasonló

felépítésű, megmutatja az egyes rendszerelemek kapcsolatát.

$$Y = [l_{ij}] \quad (2)$$

Az  $Y$  meghatározása képezi a rendszerben azt a hozzárendelési feladatot, amely ez előírt célfüggvények adott feltételek melletti optimalizálásával oldható meg.

### 3.1. Objektumok

Az objektumok fő paraméterei:

- $p$ : az objektumok száma,
- $L$  útmátrix mátrix: az objektumok távolsága más rendszerlemeztől,
- $\kappa_i (i=1..p)$  a kötelezően előírt vizsgálatok száma objektumonként,
- $MTBF_i$ : az  $i$ -edik objektumnál a meghibásodások között eltelt átlagos idő (Mean Time Between Failures)
- $\varepsilon_i (i=1..p)$ : eseti karbantartási feladatok száma, amely az MTBF értékből származtatható,
- $\tau_i^K (i=1..p)$  egy-egy karbantartás, műszaki felülvizsgálat átlagos ideje az  $i$ -edik objektumon.

A felülvizsgálatok, karbantartások számát egyes berendezéseknél biztonsági megfontolások valamint az emberi élet védelme miatt akár törvény is előírhatja.

A vizsgálatok viszont nem történhetnek egymás után tetszőlegesen rövid időközönként, definiálni kell egy időközt minden objektumra, amelynél rövidebb időn belül a következő felülvizsgálat nem végezhető el:

$$\tau^m = [\tau_i^m]_{i=1..p} \quad (3)$$

A felülvizsgálatok időközére megadható a:

$$\tau_i^m * (\varepsilon_i - 1) \leq \vartheta. \quad (4)$$

korlátozó feltétel.

#### 3.1. Szakértők

A szakértők matematikai leírásához szükséges paraméterek:

- $s$ : a szakértők száma,
- $L$  mátrix : definiálja a szakértők állomáshelyét, illetve megadja a

szakértők távolságát a rendszer többi elemétől,

- $\bar{v}$ : a szakértő átlagos sebessége, állandónak tekintjük minden szakértőre

Ezekből a paraméterekből származtatható az adott  $i$ -edik objektum felkeresési idejének összefüggése a  $h$ -adik szakértőnél:

$$\tau_i^f = \frac{l_{p+h,i}}{\bar{v}} \quad (5)$$

ahol:

- $l_{p+h,i}$ : a  $h$ -adik szakértő és az  $i$ -edik objektum közötti úthossz.

Adott  $i$ -edik és  $j$ -edik objektum közötti út megtételéhez szükséges idő:

$$\tau_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{\bar{v}} \quad (6)$$

ahol:

- $l_{i,j}$ : a  $i$ -edik és a  $j$ -edik objektum közötti úthossz,

valamint:

- $P$ : a szakértők teljesítménye, az értéke megmutatja hány felügyeleti, karbantartási feladatot végez a szakértő.

Korlátozó feltételek:

A szakértő teljesítménye ( $P_i$ : az  $i$ -edik szakértő teljesítménye) az:

- előírt minimum ( $P_i \min$ ) és
- előírt maximum ( $P_i \max$ )

érték között változhat, ez lehet globálisan meghatározott korlát vagy egyedileg megállapított korlát is.

$$P_i \min < P_i < P_i \max \quad (7)$$

ahol:

$$P_i = \sum_{j=1}^p (Y_{12,i,j} * \varepsilon_j) \quad (8)$$

Korlátot szab az egy ciklus ( $t$ ) - jellemzően 1 nap - alatt felkeresendő objektumok vizsgálatára és a felkeresésre fordított idő összege is:

$$\tau^t = \tau_{0,1}^f + \tau_1^k + \sum_{i=2}^t (\tau_i^k + \tau_{i-1,i}^f) + \tau_{q,0}^f < \tau_{max} \quad (9)$$

ahol:

- $\tau^t$ : az az időintervallum, amelyben a szakértő állomáshelyéről elindul, vizsgálatokat végez, majd oda visszatér, ez az országos vagy regionális rendszereknél jellemzően 1 nap:

$$\sum_{i=1}^T \tau_i^t = \vartheta, \quad (10)$$

ahol:

- $T$ : a ciklusok száma a  $\vartheta$  időintervallumban,
- $\tau_{max}$  egy ciklus ideje,
- $c^t$ : a t-edik ciklusban felkeresendő objektumok száma,
- $\tau_{i,1}^f$ : az első objektum felkeresési ideje,
- $\tau_{q,0}^f$ : visszatérés az utolsó objektumtól a szakértő bázisállomására,
- $\tau_i^k$ : az i-edik objektum felülvizsgálatának, karbantartásának átlagos ideje.

Definiálható a felkeresendő objektumok halmaza az c edik szakértőnél:

$$O_c := \{o_i \mid Y_{12,s,i} = 1; i = 1..p\}, \quad (11)$$

$$|O_c| = P_c, \quad (12)$$

valamint ezen részhalmazai, az egy ciklus (t) alatt felkeresendő objektumok halmaza

$$O_c^t \subseteq O_s, \quad (13)$$

amely halmaz a felkeresési idő alapján rendezett.

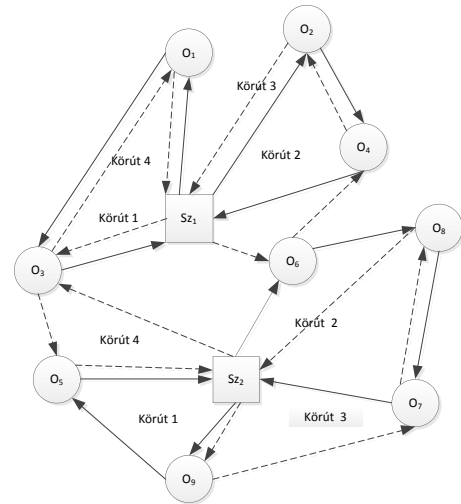
Mivel a szakértő egy objektumnál több vizsgálatot is végez (1. ábra) így egy objektum annyiszor kell hogy szerepeljen a (13). összefüggésnél definiált halmazokban ahány vizsgálatot kell végezni rajta.

Így az i-edik szakértő által az egy ciklus (t) alatt az objektumok felkeresése miatt megtett út leírható az:

$$l_i^t = l_{0,o_i^t(1)} + \sum_{c=1}^{|o_i^t|-1} (l_{o_i^t(c),o_i^t(c+1)} + l_{o_i^t(|o_i^t|),0}) \quad (14)$$

összefüggéssel, a p-edik szakértő által a teljes időintervallumban megtett út pedig a következő összefüggéssel:

$$l_p^T = \sum_{t=1}^T \left[ l_{0,o_i^t(1)} + \sum_{c=1}^{|o_i^t|-1} (l_{o_i^t(c),o_i^t(c+1)} + l_{o_i^t(|o_i^t|),0}) \right] = \sum_{t=1}^T l_p^t \quad (15)$$



1. ábra Több körutas rendszer objektumként több vizsgálattal, szétszort vizsgálatokkal

A szakértők (s) által a megadott időintervallum (T) alatt felkeresett objektumokhoz kapcsolódó ráfordítások:

$$C^S = \left[ \sum_{j=1}^s (\sum_{t=1}^T l_j^t) \right] * c_u + \left[ \sum_{j=1}^s P_j \right] * c_v \quad (16)$$

ahol a:

- $c_u$ : az 1 kilométerre jutó fajlagos költség,
- $c_v$ : az egy objektumra jutó fajlagos vizsgálati költség.

$$C^S \rightarrow \min \quad (17)$$

Vagyis a ráfordítások legyenek minimálisak a korlátozó feltételek figyelembevételével.

#### 4. A TÖBBSZÖRÖS KÖRJÁRAT PROBLÉMA MEGOLDÁSA EVOLÚCIÓS PROGRAMOZÁSSAL

A kidolgozott algoritmus egy fázisban megoldja a körutakra bontott fix végpontú, több

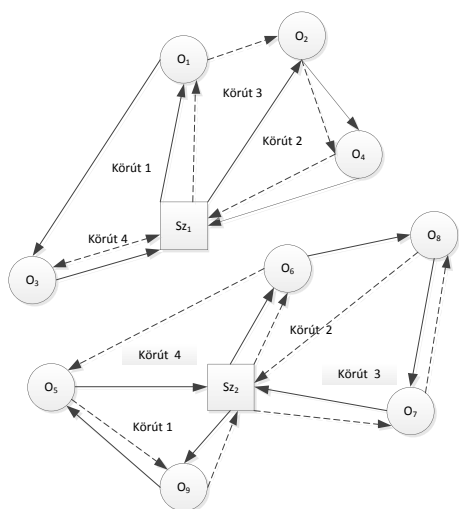
bázisállomású többszörös utazóügynök problémát a műszaki felügyeleti és karbantartó rendszereknél felmerülő speciális feltételrendszerek figyelembevételével.

A megadott feltételrendszer kielégítése érdekében az algoritmus adatstruktúrája a genetikusan algoritmusok körében kevésbé alkalmazott [1] – elsősorban párhuzamos evolúciós, illetve neuro-evolúciós algoritmusoknál használt - multi-kromoszómás struktúrán alapul. Ezen technikák csak nemrégiben terjedtek el a genetikusan módszerek körében [2].

Az algoritmus a korlátozó feltételek kielégítése végett kétszintű büntetőfüggvény rendszert alkalmaz:

- lokális büntetőfüggvények,
- globális büntetőfüggvények.

A büntetőfüggvények lokalitása vagy globalitása az egyes egyedekre és a szakértőkre, vagyis kromoszómákra vonatkozik. A lokális büntetőfüggvények egy kromoszóma adatain kerülnek végrehajtásra, míg a globális büntetőfüggvények több kromoszóma – akár az összes – adatait használják bemenő paraméterként, vagyis globálisan a teljes egyedre vonatkoznak



2. ábra Több körutas rendszer objektumonként több vizsgálattal

Lokális büntetőfüggvények a:

- ciklusidő túllépése,
- megengedettnél kevesebb vizsgálat,
- megengedettnél több vizsgálat.
- időben közel lévő vizsgálatok.

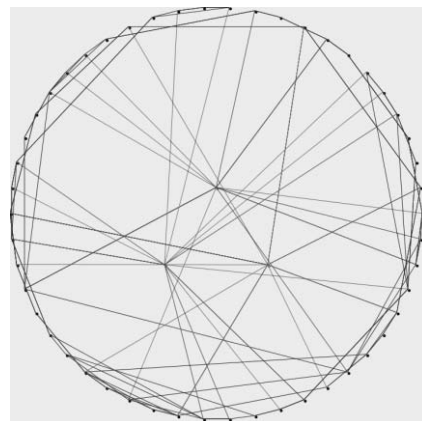
Globális büntetőfüggvények:

- objektumok szétszórtsága,
- szakértők száma, költsége.

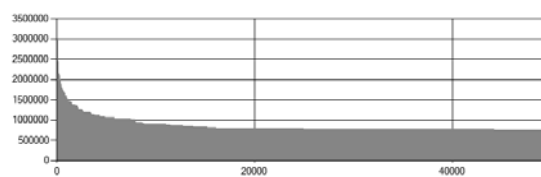
Például az objektumok szétszórtsága büntetőfüggvény szabályozza, hogy az objektum minden vizsgálata egyazon szakértőhöz (2. ábra) vagy külön szakértőkhöz legyen rendelve (1. ábra).

#### 4.1 Többszörös körjárat tesztfeladat megoldása

A tesztfeladatban 3 szakértő, 48 objektum, objektumonkénti 2-4 (véletlenszerűen megadott) vizsgálat (3. ábra).



3. ábra Tesztfeladat megoldása



4. ábra A célfüggvény konvergenciája

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg, valamint az OTKA T 75678 projekt keretében, illetve támogatásával.

## 6. IRODALOM

- [1] Hans J. Pierrot, Robert Hinterding: Using Multi-chromosomes to Solve a Simple Mixed Integer Problem, AI '97 Proceedings of the 10th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence: Advanced Topics in Artificial Intelligence, pp. 137-146 , ISBN:3-540-63797-4
- [2] Ronald, S. Kirkby, S. Eklund, P.: Multi-chromosome mixed encodings for heterogeneous problems, Evolutionary Computation, (1997), pp. 37-42, ISBN: 0-7803-3949-5, doi: 10.1109/ICEC.1997.592264