

CU PRIVIRE LA RUTAREA EURISTICĂ A TRANSPORTURILOR DE DISTRIBUȚIE ȘI COLETĂRIE

**Autori: dr.ing. MANOLI Ilie, dr.ing. AMBROSI Grigore,
drd. MANOLI Eugen, drd. AMBROSI Gheorghe**
Universitatea Tehnică a Moldovei,
Centrul Național de Cercetare, Inovare și Proiectare în Transporturi

Abstract: Prezenta lucrare abordează problematica complexă a optimizării transporturilor de mărfuri în rețele logistice de distribuție și coletărie. În articol se prezintă bazele teoretice și modalitatea de aplicare practică a metodei euristice de marșrutizare a transporturilor rutiere de distribuție, bazată pe utilizarea procedurii clasice Clarke-Wright.

Cuvinte cheie: optimizare, euristică, transport, distribuție, coletărie, rețea, rută, soluție

Introducere

Optimizarea transporturilor în rețelele logistice de distribuție și de coletărie continuă să prezinte un interes științific și practic major. Rutarea (marșrutizarea) este procesul de alegere (sinteză) științifică a itinerarelor optime de transport a unor loturi de mărfuri într-o rețea de distribuție sau de coletărie dată. În esență structurile de acest tip sunt dintre cele mai complexe și se referă la categoria problemelor matematice de optimizare combinatorială [1].

Eficiența metodelor exacte de rezolvare a problemelor de distribuție și de coletărie în cazul unor situații reale de dimensiuni mari este apreciată de mediul științific ca fiind una relativ redusă [2].

Cu mult mai practică este aplicarea metodelor euristice, capabile să ofere în timp util și cu un efort de calcul rezonabil soluții acceptabile. Eficiența acestor metode se bazează pe adaptarea lor ușoară la structura mediului de optimizat. Abordarea euristică reflectă revoluția din științele cognitive și are în vedere două cerințe: pe de o parte să găsească criteriile de discriminare care să permită găsirea soluției cu un consum cât mai mic de timp și resurse, iar pe de altă parte pe cât posibil pe cale optimă. Din studiile efectuate până în prezent, rezultă clar că metodele euristice, deși nu garantează optimalitatea tuturor soluțiilor, constituie singurul mijloc practic de optimizare, cel puțin din următoarele motive [3]:

- oferă soluții apropiate de optim și în multe cazuri chiar optime;
- cerințele de timp de calcul și memorie calculator sunt rezonabile;
- sunt flexibile în privința includerii unor noi restricții ale problemelor de soluționat.

Orice metodă euristică poate fi lejer proiectată pentru a fi interactivă. Procedura de calcul interactiv permite proiectantului să intervină direct la toate etapele elaborării soluțiilor, facilitând astfel aplicarea unor criterii subiective, greu de modelat matematic sau a unor euristici ce provin din experiența personală și care pot fi rezultate ale intuiției. Un exemplu de metodă euristică de rezolvare aproximativă este procedura clasică Clarke - Wright, descrisă succint și aplicată pentru optimizare în continuare.

2. Formularea problemei de transport

Enunțul problemei de transport este următorul: un transportator urmează să asigure livrarea unui produs într-o rețea logistică de distribuție, constituită din destinatarii D_1, D_2, \dots, D_n în cantitățile q_1, q_2, \dots, q_n . Livrările se realizează de la unicul depozit central D_0 . Parcul de autovehicule, utilizat în procesul de distribuție este constituit din camioane de capacități diferite de încărcare c_1, c_2, \dots, c_m în număr de n_1, n_2, \dots, n_m unități. Necesitățile comerciale ale destinatarilor se vor asigura prin livrarea produselor comandate într-un singur lot de livrare pentru fiecare destinatar în parte. Vehiculele antrenate în procesul de distribuție, pleacă de la depozitul central D_0 încărcate, traversând succesiv unele destinații, în care se descarcă, ulterior se întorc la punctul inițial pentru o nouă încărcare și distribuție.

Este necesar să se stabilească rutele (itinerarele) de distribuție, tipul și numărul de mijloace de transport care să satisfacă necesitățile comerciale ale tuturor destinatarilor în condițiile parcursului minim al parcului rulant, antrenat la distribuția loturilor de produs.

Problema formulată mai sus este una din cele mai complexe probleme de optimizare combinatorială.

De fapt această problemă de rutare reprezintă o generalizare a problemei clasice a comis-voiajorului [4].

Dacă capacitatea de încărcare a unui vehicul disponibil ar acoperi suma necesarului comercial al tuturor destinatarilor, atunci problema se poate reduce la necesitatea stabilirii consecutivității optime de trecere prin punctele de destinație, astfel ca parcursul total al vehiculului respectiv să fie minim (fig.1).

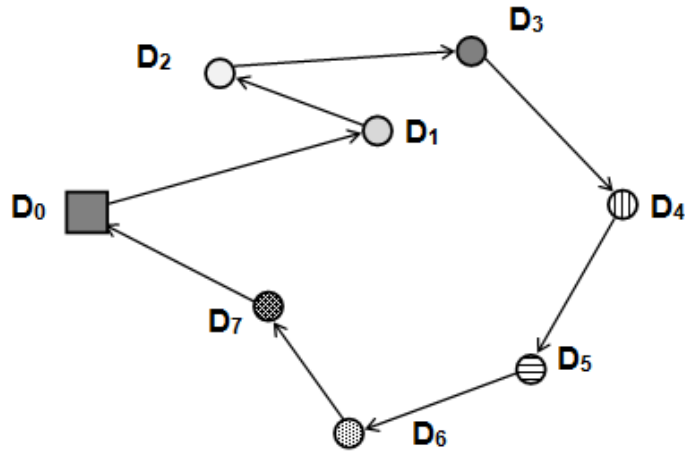


Fig. 1. Una dintre soluțiile posibile ale problemei comis-voiajorului

În caz contrar, atunci când capacitatea de transport totală nu poate fi acoperită cu un singur camion și când se impune distribuția unor cantități mari de produs, pentru realizarea practică a distribuției vor fi necesare mai multe rute, itinerarele optime ale cărora trebuie stabilite în baza unui criteriu de eficiență elocvent.

3. Aplicarea procedurii Clarke-Wright pentru rutarea transportului de distribuție

Pentru a explicita aplicarea metodei euristice în continuare va fi expusă procedura de marșrutizare a transporturilor de distribuție a mărfurilor.

La etapa inițială virtual se poate considera că fiecare destinatar va fi aprovizionat în mod direct de la depozitul central de câte un camion repartizat special pentru fiecare rută în parte (fig.2).

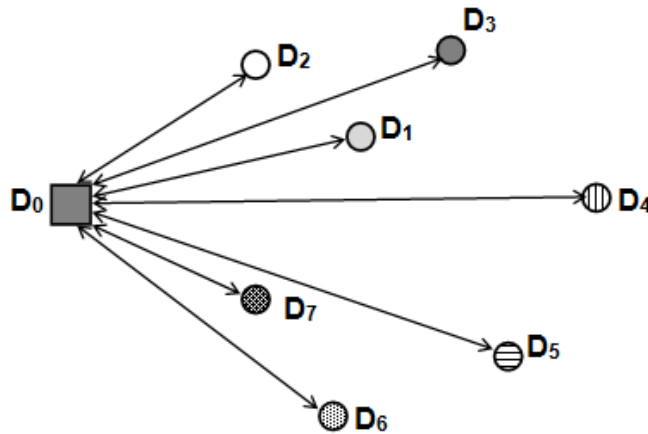


Fig.2. Etapa inițială a marșrutizării

Evident, numărul de itinerare în acest caz va fi egal cu numărul de destinatari. Parcursului total al parcului rulant (al tuturor camioanelor antrenate pentru distribuție) va fi egal cu:

$$L_{tot} = 2 \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n), \text{ km} \quad (1)$$

în care: L_1, L_2, \dots, L_n reprezintă distanța în km dintre depozitul central D_0 și destinatarii D_1, D_2, \dots, D_n .

În continuare este necesară adoptarea de măsuri de micșorare a parcursului determinat cu relația (1).

În acest scop se va realiza concatenarea (reunirea) itinerarelor, prezentate în fig.2.

Relativ la o rută dată, un destinatar se va considera vecin cu D_0 dacă el este fie primul, fie ultimul destinatar vizitat. Doi destinatari se vor considera vecini dacă în itinerarul dat, aceștea sunt traversați consecutiv.

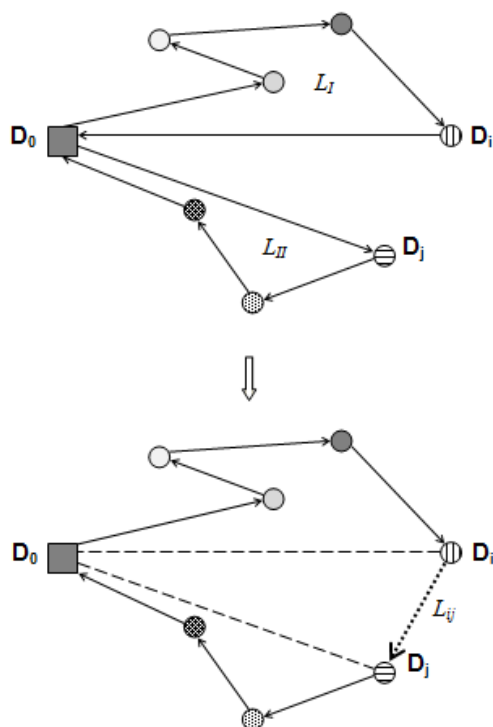


Fig.3. Ilustrarea grafică a concatenării (reunirii) itinerarelor

Itinerarul stabilit la rezolvarea problemei comis-voiajorului (fig.1.) poate fi divizat în două rute circulare cu lungimile sumare egale respectiv cu L_I și L_{II} , astfel cum este prezentat în graful de sus din fig.3. Pentru fiecare dintre rutele circulare se pot evidenția doi destinatari vecini D_i și D_j , vecini cu depozitul central D_0 .

Reprezentarea din fig.3. demonstrează elocvent că lungimea rutei L_{RC} , rezultate din concatenarea rutelor L_I și L_{II} , este egală cu:

$$L_{RC} = (L_I - L_i) + L_{ij} + (L_{II} - L_j) = L_I + L_{II} - (L_i + L_j - L_{ij}) = L_I + L_{II} - R_{ij}, \text{ km} \quad (2)$$

în care: $R_{ij} = (L_i + L_j - L_{ij})$, în km.

Mărimile R_{ij} , determinate conform procedurii Clarke-Wright în condițiile $1 \leq i \neq j \leq n$, sunt definite în teorie cu noțiunea generică de reduceri. Evident că: $R_{ij} \geq 0$ și $R_{ij} = R_{ji}$.

Relația (2) demonstrează elocvent că concatenarea itinerarelor generează micșorarea lungimii rutei rezultate din reunire, deci și a parcursului total al vehiculelor care deservește traseele respective.

Revenind la cele două itinerare L_I și L_{II} , presupunem că Q_I și Q_{II} sunt cantitățile necesare de produs, care sunt solicitate de destinatarii amplasați pe rutele respective. Fiecare dintre rutele L_I și L_{II} poate să fie deservită de câte un camion cu capacitatea de încărcare, care să depășească sau să fie egală, respectiv, cu cantitățile Q_I și Q_{II} . Concatenarea celor două itinerare este posibilă doar dacă transportatorul dispune de un vehicul cu capacitatea de încărcare care să acopere necesarul integral de produs în sistemul de distribuție, egal cu $Q_I + Q_{II}$.

Deoarece în orice graf sunt posibile mai multe concatenări, este prioritară și se realizează mai întâi concatenarea care asigură cea mai mare reducere a parcursului total. Procesul de concatenare se încheie în momentul în care nu mai pot fi realizate aceste reuniri (alăturări).

4. Exemplu de marșrutizare euristică a transporturilor de distribuție

Este analizată o rețea logistică de distribuție a unui produs, constituită dintrun depozit central D_0 și șapte destinatari: $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ și D_7 . Se cunoaște necesarul comercial al fiecărui destinatar q_i , exprimat în kg, distanțele dintre depozitul central și fiecare destinatar L_i , distanțele dintre destinatari L_{ij} , ambele exprimate în km, precum și valorile reducerilor R_{ij} , calculate pentru fiecare dintre perechile de destinatari și exprimate în km. Datele inițiale sunt prezentate în tabelul 1.

Transportatorul angajat pentru asigurarea livrării produsului distribuit are în dotare doar două camioane, cu capacități de încărcare de, respectiv, 4500 și 6000 de kg.

Este necesar să se stabilească rutele de distribuție, care pentru structura dată a parcului rulant să satisfacă necesitățile comerciale ale tuturor destinatarilor în condițiile parcursului minim al camioanelor antrenate.

Tabelul 1. Datele inițiale

Ruta	Destinatar	q_i , kg	L_i , km	Reduceri calculate R_{ij} și distanțele dintre destinatari L_{ij} , în km						
				D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
1	D_1	1100	316		316 224	247 608	88 640	1 539	0 632	50 849
2	D_2	1300	224			363 400	212 424	48 400	40 500	167 640
3	D_3	1200	539				635 316	197 566	215 640	622 500
4	D_4	1200	412					320 316	367 361	771 224
5	D_5	1900	224						440 100	395 412
6	D_6	1800	316							499 400
7	D_7	1700	583							

Conform procedurii euristice expuse în lucrare, la etapa inițială distribuția ar trebuie să fie realizată în mod direct de la depozitul central D_0 la fiecare destinatar, astfel rețeaua inițială de distribuție va include 7 rute cu lungimea totală egală cu $L_{tot} = 2 (316+224+539+412+224+316+583) = 5228$ km, pentru deservire fiind necesare 7 vehicule.

Pasul 1: Conform datelor inițiale din tabelul 1 se constată că cea mai mare reducere este $R_{47} = 771$ km. Astfel, devine posibilă concatenarea rutei $D_0 \rightarrow D_4 \rightarrow D_0$ cu ruta $D_0 \rightarrow D_7 \rightarrow D_0$ într-o ruta comună $D_0 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_0$, obținându-se o reducere a parcursului total cu 771 km. Pe itinerarul reunit va circula un singur camion cu cantitatea inițială de produs, egală cu $1200 + 1700 = 2900$ kg. Astfel, vor rămâne neanalizate celelalte șase rute, lungimea cărora însumează $5228 - 771 = 4457$ km.

Pasul 2: Cea mai mare reducere admisibilă dintre cele nevalorificate este reducerea $R_{34} = 635$ km. Concatenăm ruta $3D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_0$ și cu ruta comună $D_0 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_0$ (pasul 1) în altă rută reunită $D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_0$, pe care urmează să se transporte $2900 + 1200 = 4100$ kg. Astfel, după doi pași numărul de rute s-a redus până la cinci, însumând lungimea de $4457 - 635 = 3822$ km. În urma celor întreprinse, va rezulta situația din tabelul 2.

Tabelul 2. Situația după doi pași: ruta reunită de distribuție $D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_0$

Ruta	q_i , kg	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
1	1100							
2	1300							
3	1200				635			
4	1200							771
5	1900							
6	1800							499
7	1700							

Pasul 3: Următoarea reducere ca mărime este $R_{37} = 622$ km, care, însă, se exclude, deoarece cererea destinatarilor D_3 și D_7 , poziționați pe ruta reunită la pasul precedent, a fost acoperită. Reducerea care va fi luată în considerare în acest caz este $R_{67} = 499$ km, indicată și în tabelul 2. Astfel, se va concatena ruta a șasea $D_0 \rightarrow D_6 \rightarrow D_0$ cu ruta $D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_0$ în rută reunită $D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_6 \rightarrow D_0$, dealungul căreia se va livra cantitatea de produs $4100 + 1800 = 5900$ kg, care este puțin mai mică decât capacitatea de încărcare a unui dintre cele două camioane disponibile ale transportatorului (tabelul 3). Astfel, au rămas patru trasee, însumând lungimea totală de $3822 - 499 = 3323$ km. Primul dintre vehiculele disponibile a fost valorificat capacitar pentru deservirea necesarului comercial al destinatarilor D_3, D_4, D_6 și D_7 .

Tabelul 3. Situația după trei pași: ruta reunită de distribuție $D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_6 \rightarrow D_0$

Ruta	q_i , kg	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
1	1100							
2	1300							
3	1200				635			
4	1200							771
5	1900							
6	1800							499
7	1700							

Pasul 4: Cea mai mare reducere admisibilă la această etapă este $R_{12} = 316$ km. Se vor concatena rutele $D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_0$ și $D_0 \rightarrow D_2 \rightarrow D_0$ în ruta reunită $D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_0$, pe care se va transporta cantitatea de produs $1100 + 1300 = 2400$ kg. În aceste circumstanțe au mai rămas trei rute, iar distanța totală s-a redus la $3323 - 316 = 3007$ km.

Pasul 5: Următoarea reducere admisibilă este $R_{25} = 48$ km. Concatenăm ruta reunită la pasul precedent $D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_0$ și ruta rămasă $D_0 \rightarrow D_5 \rightarrow D_0$ în ruta finală $D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_5 \rightarrow D_0$, pe care se va livra cantitatea de produs $2400 + 1900 = 4300$ kg. Cele două rute de distribuție finală sunt vizualizate în tabelul 4.

Tabelul 4. Situația după cinci pași: rutele finale de distribuție

Ruta	q_i , kg	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
1	1100		316					
2	1300					48		
3	1200				635			
4	1200							771
5	1900							
6	1800							499
7	1700							

În rezultatul aplicării procedurii Clarke-Wright au fost elaborate următoarele două rute de distribuție:

- $D_0 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_7 \rightarrow D_6 \rightarrow D_0$ cu lungimea totală egală cu $L_I = (L_3 + L_{34} + L_{47} + L_{76} + L_6) = (539 + 316 + 224 + 400 + 316) = 1795$ km, deservită de camionul cu capacitatea de încărcare 6000 kg;
- $D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_5 \rightarrow D_0$ cu lungimea totală egală cu $L_{II} = (L_1 + L_{12} + L_{25} + L_5) = (316 + 224 + 400 + 224) = 1164$ km, deservită de vehiculul cu capacitatea de încărcare 4500 kg.

Procedură euristică de rutare, expusă mai sus, este aplicabilă și pentru marșrutizarea transporturilor de coletărie, rezultatele obținute sunt soluții acceptabile și în acest caz.

Totuși, este necesar de a evidenția faptul că metoda analizată mai sus face parte din clasa de euristici, care pot prezenta soluții, optimicitatea cărora este relativă. Această metodă de marșrutizare nu asigură optimizarea distribuției destinatarilor pe rute, nici nu determină consecutivitatea optimă de traversare a destinatarilor în cadrul fiecărei rute sintetizate de distribuție [2].

În consecință, după alegerea rutelor de distribuție și de coletărie prin metoda euristică propusă în lucrare, este necesar ca pentru fiecare rută sintetizată să se rezolve adăugător și separat problema determinării consecutivității optime de traversare a destinatarilor deserviți la ruta dată pentru stabilirea posibilităților reale de micșorare adăugătoare a parcursului vehiculelor care deserveșc rutele respective. Fără un astfel de control adăugător al optimalității soluțiilor obținute prin metoda euristică nu poate fi obținută soluția cea mai bună.

Avantajele principale ale metodei euristice constau în simplitatea procedurii, operativitatea gășirii soluției și posibilitatea elaborării de programe de soluționare a problemelor de marșrutizare a transporturilor de mărfuri.

Bibliografie

1. Dragoș-Radu Popescu., *Combinatorica și teoria grafurilor*, București, Societatea de Științe matematice din România, 2005, 253 p.
2. Геронимус Б.Л., Царфин Л.В., *Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте*, Москва, Транспорт, 1988, 190 стр.
3. Gerd Gigerenzer, Peter Todd., *Metode euristice simple pentru decizii inteligente*, București, Centrul de cercetare ABC, 2010, 616 p.
4. Николин В.И., *Автомобильный процесс оптимизация его элементов*, Москва, Транспорт, 1990, 191 стр.