



---

## **ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИМПЕРИАЛИСТИЧЕСКИ КОНКУРЕНТЕН АЛГОРИТЪМ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ МАРШРУТИЗАЦИЯТА НА ПРЕВОЗНИТЕ СРЕДСТВА**

**Кирил Карагъзов, Теодор Беров**  
[kkaragyzov@yahoo.com](mailto:kkaragyzov@yahoo.com), [tberov@vtu.bg](mailto:tberov@vtu.bg),

*ВТУ "Тодор Каблешков", ул. "Гео Милев" № 158, София  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** транспорт, товарен, автомобилен, империалистически конкурентен алгоритъм, проблем за маршрутизацията на транспортните средства*

***Резюме:** Разгледан е тип Еволюционен алгоритъм (Империалистически конкурентен алгоритъм) и приложението му при решаване на Проблем за маршрутизацията на на фиксиран разнороден парк транспортни средства с отчитане на времевия прозорец. Това е комбинаторен оптимизационен проблем, занимаващ се с изготвяне на маршрути и съответни графици при дистрибуция на стоки от център на разпространение към географски разпръснати клиенти с ограничен, наличен автопарк от превозни средства с различен капацитет. Описан е математическия модел на проблема и е разгледано прилагането на Империалистически конкурентен алгоритъм за решаването му.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Много различни товарни потоци непрекъснато влизат, преминават, и излизат през градските райони. Примерно това са: потребителски стоки, строителни материали, отпадъци, пратки и пощенски доставки и др. Общите разходи за товарен транспорт и логистика са значителни и имат въздействие върху ефективността на икономиката и околната среда.

Ефективната логистика при дистрибуцията на стоки е основна цел на съвременните компании, стремящи се за отлично обслужване на клиентите с минимални инвестиции и оперативни разходи. Разхода на гориво, ремонт и поддръжка, заплати на персонала, и всички свързани с транспортните операции, представляват съществена част от разходите на логистичната дейност за повечето фирми. Дори малки подобрения на ефективността, свързани с използване на ресурсите на дневна база, могат да доведат до огромни подобрения в дългосрочен план.

Проблема за маршрутизация на транспортните средства (VRP) се състои от проектиране на  $m$  маршрути на превозно средство с най-малки общи разходи, всеки с начало и край в депо, като всеки клиент се посещава само един път, общото търсене на всеки маршрут не надвишава капацитета на превозното средство, и дължината на всеки маршрут не надвишава предварително зададена максимална дължина на пътя. Едно характерно разширение на основният VRP проблем, насочено към проблемите на градската логистика, е свързано с отчитане наличния парк от превозни средства за

съответния логистичен оператор. Проблемата е известен като „Проблем за маршрутизацията на фиксиран разнороден парк транспортни средства с отчитане на времеви прозорец“ (HFFVRPTW). Той е обобщение на основния проблем „Fleet Size and Mix VRPTW“ (FSMVRPTW), включващ неограничена наличност от различни видове превозни средства, като целта е да се определи оптималният състав на парка с минимални общи разходи за дистрибуция (сумата на постоянните и променливи разходи).

Проблема HFFVRPTW е насочен към разработването на оптимални доставки от дадено депо, за да се задоволи търсенето на клиентите чрез наличния парк от превозни средства, които се различават по отношение на тяхната максимална товароносимост и променливи разходи на единица разстояние.

Голям брой алгоритми са разработени, за да се реши VRP проблема. Те могат да бъдат категоризирани като точните алгоритми или евристични методи (класически евристични методи, разработени най-вече между 1960 и 1990 г., и мета-евристични, възникнали след това), в зависимост от това дали постигат точно оптималното решение или приблизително решение.

В този материал, се предлага мета-евристичен подход за решение на поставения проблем, чрез използване на сравнително нов (2007г.) тип Еволюционен алгоритъм за оптимизация - Импералистически конкурентен алгоритъм (ИКА)[1].

## 2. МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ МАРШРУТИЗАЦИЯТА НА ПРЕВОЗНИТЕ СРЕДСТВА

Да представим градската пътна мрежа във вида на ориентиран свързан граф  $G=(V,E)$ , съответстващ на VRP, където  $V=\{1,2,..n_0\}$  – множеството върхове в гафа с мощност  $d_0$ ,  $E$  – множеството на дъгите, съединяващи върховете. Връх 0 съответства на депо и връх  $i$  съответства на клиент  $i$ , за  $1 \leq i \leq n$ . Всички осъществими маршрути на превозно средство, съответстват на пътища в  $G$ , които започват от  $0$  и завършва на  $0$ .

Всеки клиент  $i \in V$  е асоцииран с известно търсене  $d_i^q$ , от предварително определена стока  $q$  ( $q = 1,2,..,|Q|$ ). Освен това, всеки клиент притежава времеви прозорец  $[a_i,b_i]$ , представляващи най-ранното и най-късното времена за осъществяване на услугата. Обслужване на всеки клиент трябва да започне в рамките на времето, свързано с времеви прозорец, докато превозното средство трябва да престои на място при клиента за  $t^{ок}$ . В случай на по ранно пристигане на мястото от  $i$ , превозното средство остава да чака, до началото  $a_i$ .

Към склада имаме асоцииран парк от определен брой разнородни превозни средства, съставен от  $m$  типа превозни средства(товароносимост),  $M = \{1,..,m\}$ . За всеки тип  $m \in M$ ,  $m_g$  превозни средства са налични в склада и имат: товароносимост  $Q_g$ ; постоянни разходи  $F_g$ . Освен това, за всяка дъга  $(i,j) \in E$  и всеки тип превозно средство  $g \in M$ , имаме променливи разходи  $c_{ij}^g$ , зависещи от пробега.

Маршрута, дефиниран от двойка  $(R,k)$ , където  $R=(i_1, i_2,..,i_{|R|})$ , като  $i_1=i_{|R|}=0$ , е обиколка в  $G$ , съдържаща склада, и  $k$  е типа превозно средство  $m_g$ , асоциирано с маршрута. В следващите разглеждания,  $R$  ще бъде отнесено както за последователността за посещение, така и за набор от клиенти (включително склад) по маршрута. Маршрута  $(R,k)$  е изпълним, ако сумата от търсенето на клиентите, посетени по маршрута не надвишава капацитета на превозното средство  $Q_g$  по маршрута ( $\sum_{i=1}^n q_{k_i} \leq Q_g$ ). Разходите за даден маршрут, кореспондират със сумата от разходите по дъгите на маршрута плюс постоянните разходи за превозното средство, асоциирано с маршрута ( $F_g + \sum_{i=1}^n c_{ij}^g$ ). Едно решение  $S$  е колекция от маршрути,  $R_1, R_2 .. R_l$ , по такъв начин, че всеки клиент ще бъде покрит от точно един маршрут  $R_i$ .

Поради спецификата на проблема *HFFVRPTW*, при обслужването на клиентите, могат да възникнат две характерни събития: необслужени заявки (пълно или частично); неизпълнени ограничения на изискванията на времевите прозорци на клиентите. За отчитането на тези събития, към целевата функция, добавяме допълнителен разход за времевия прозорец [2] и за неувоени заявки.

$$(1) \quad C(S) = \sum_{k=1}^m F_k + \sum_{i=1}^n C^{об.}(R_i) + \sum_{i \in V} p_i^t(t_i) + \sum_{i \in V} p_i^q(d_i) \rightarrow \min$$

Разглеждайки даден маршрут  $R_i = (i_1, i_2, \dots, i_k)$ , действителното време на пристигане  $t_{i_j}$  може да бъде определено от:

$$(2) \quad t_{i_j} = t_{i_{j-1}} + t_{j-1}^{прес.} + t_{ij}^{дв}$$

Т.е., времето на пристигане при клиента  $i_{j-1}$ , плюс време на престой при клиента  $i_{j-1}$  и времето за пътуване от клиента  $i_{j-1}$  до клиента  $i_j$ . За да се гарантира условието за най-ранния час на пристигане  $t_i^e$  (отнесено за времевия прозорец), може да се модифицира като:

$$(3) \quad t_{i_j} = \max\{t_{i_j}^e, t_{i_{j-1}}\} + t_{j-1}^{прес.} + t_{i_{j-1},j}^{дв}$$

Времето за очакване (начало на обслужването на клиента) на превозно средство (асоциирано с мар.*R*) за клиента  $j$  може да бъде определено като:

$$(4) \quad t_{i_j}^{очк.} = \max\{0, t_{i_j}^e\} - t_{i_{j-1}} - t_{j-1}^{прес.} - t_{i_{j-1},j}^{дв}$$

Допълнително ограничение, ще осигури, че превозно средство няма да работи повече от позволеното време за работа  $L$ , т.е.  $R_i$  е изпълним маршрут.

$$(5) \quad t_{i_k} + t_{j-1}^{прес.} + t_{i_k,0}^{дв} \leq L$$

Общото време на пътуване за маршрут  $R_i$  може да бъде определена като:

$$(6) \quad t^{об.}(R_i) = t_{0,i_1}^{дв} + \sum_{j=2}^k t_{i_{j-1},j}^{дв} + \sum_{j=1}^k t_{i_j}^{очк.} + \sum_{j=1}^k t_{i_j}^{прес.} + t_{i_k,0}^{дв}$$

За отчитане допълнителния разход за времевия прозорец [2]:

$$(7) \quad p_i^t(t_i) = \begin{cases} \phi, & \text{if } t_i < e_i \\ f_i^e + u_e(a_i - t_i), & \text{if } e_i \leq t_i < a_i \\ 0, & \text{if } a_i \leq t_i \leq b_i \\ f_i^l + u_l(t_i - b_i), & \text{if } b_i < t_i \leq l_i \\ \phi, & \text{if } t_i > l_i \end{cases}$$

За отчитане неувоено търсене на клиентите:

$$(8) \quad p_i^q(d_i) = \begin{cases} 0, & \text{if } d_i^q = q_i^k \\ f_i^q(d_i^q - q_i^k), & \text{if } d_i^q > q_i^k \end{cases}$$

### 3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИКА

#### Подход на ИКА

ИКА започва с начална популация. Индивидите на популацията са наречени страна (държава), която се отнася до предложено решение на дадения проблем.

Страните са разделени в империалистическите държави и колонии. Преместване на колонии насочено към съответната им империя се отнася към асимилаторската политика. Основната част от този алгоритъм е империалистическата конкуренция. Империалистическата конкуренция, освен преместване на колониите към съответният им империалист, причинява колониите да се приближат към общият минимум себестойност на целевата функция. Механизъм на разпадането е да се премахне слаб империалист, който няма колонии.

Този алгоритъм, с прилагането на империалистическа конкуренция, движението на колониите спрямо империалисти и механизъм на колапс, има тенденция да се постигне състояние, в които съществуват само една империя в света и всички други страни са нейните колонии, които са в същото положение и власт, като на империята.

#### Приложение на ИКА

За разглеждания от нас проблем, целта е да се намери най-добрия вариант (брой превозни средства и съответните им маршрути за обслужване заявките на клиентите, отчитащи ограничителните условия), с минимални общи разходи, т.е. минимизиращ проблем. В случая, един индивидуалист, „страна“, е последователността от обекти за обслужване  $страна = [v_1, \dots, v_n]$ . Най-добрата страна  $страна^*$  се дефинира като:  $страна^* = [v_1, \dots, v_n]^* = \min\{cost(страна)_i\}$ , т.е. минимална *Стойност на целевата функция*  $C(S)$  от (3).

За да се изпълнят предвидените стъпки на ИКА - *Империалистическа конкуренция*, е необходимо да се определи Обща мощ на една Империя, отнесено към нашия *VRP* проблем.

Общата мощ на една Империя, се определя основно от моща на Империалиста, увеличена от моща на притежаваните от него колонии. За нашия случай, най-мощния Империалист е този с най-малка *Стойност на целевата функция*. ИКА определя Общата мощ на една империя на базата на нейната Обща стойност ( $TC_n = Cost(империалист_n) + \varepsilon \text{mean}\{Cost(колонии на империалист_n)\}$ ). Поради нашия минимизиращ проблем, ще определяме Общата стойност чрез „спестявания“, т.е. разликата между стойността на най-лошия индивидуалист (страна) от всички империи и разглеждания:

$$(9) \quad SC_n = \max\{C_{ij}\} - C_n, \quad i = 1 \dots N_{imp}, \quad j = 1 \dots N_i(col)$$

Общата стойност на n – тата Империя:

$$(10) \quad TC_n = SC(империалист_n) + \varepsilon \text{mean}\{SC(колонии на империалист_n)\}$$

където  $TC_n$  е Общата стойност на n – тата Империя и  $\varepsilon$  е положителен коефициент  $0 < \varepsilon < 1$ .

Моделира се асимилаторска политика чрез придвижване на колониите в рамките на империята, в която се намират те. За разглеждания проблем, това означава създаване на нова последователност от пунктове за обхождане и определяне на новата стойност на така получената последователност. Сравнявайки стойността на новата последователност със стойността на изходната последователност, ако имаме по-добра стойност, заменяме изходната последователност с новата такава. Може да настъпи *Смяна на позицията на Империалиста и Колония*.

*Империалистическа конкуренция* се моделира чрез отбор на някои (обикновено една) от най-слабите колонии от най-слабата империя и конкуренция между всички останали империи да притежават тези (тази) колонии.

Накрая се достига до само една империя, като най-добър вариант.

Предложените ИКА стъпки са както следва:

1. Начално установяване: Установяване на параметрите: определяне броя на популацията ( $N_{pop}$ ), брой на империалисти ( $N_{imp}$ ), максимален брой итерации ( $n_{dec}$ ),

условия за „край“ (наличие на само една Империя) и положително число по-малко от 1 ( $\xi$ ).

2. Генериране на начална популация-  $N_{pop}$ : - пригодени за целта Евристики - Clarke – Wright, Sweep, TSP; алгоритми за последователно и паралелно изграждане на маршрути чрез „вмъкване“. Тук се използва и случайно разпределение на клиенти.

3. Инициализиране на Империи: селектиране  $N_{imp}$  от най-добрите страни като начални империалисти. Останалата част от популацията ще са колонии и те ще се рапределят на случаен принцип между Империалистите пропорционално на моща им.

4. Елиминирание на Империи: елиминирание на империите без колонии.

5. Привдвижване на колонии в съответният им империалист(Асимилация): движение спрямо империалиста на всички негови колонии.

6. Смяна позиция на Империалист и най-добра колония.

7. Обща мощ на една Империя: изчисляване общата мощ на всяка империя, която е мощта на империалиста плюс процент от неговите колонии.

8. Империалистическа конкуренция: избиране на най-слабите колонии от най-слабите империя и предаването им на империята която има най-голяма вероятност да ги притежава.

9. Елиминирание на Империя: елиминирание на империи без колонии.

10. Наличие на една империя: условие за прекратяване.

11. Проверка за Прекратяване на изчисленията : прекратяване на алгоритъма ако е изпълнен критерий за спиране; ако не, се върнете към стъпка 5.



Фиг.1 Блок-схема на модела

#### 4. РЕЗУЛТАТИ

Разгледания метод е приложен върху тестващите набори на Соломон в [5] (C101..C104) и вариант за налични разнородни превозни средства от [3] (с три превозни средства средства  $(Q_k, F_k)$  – A(100, 300), B(200, 800) и C(300,1350)). Например, за C101:

Общо маршрути 10	Route cost = 9828,93686694283	Veh cost = 8000	Total cost = 17828,93
1. 0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0	allowed = 200	actual = 160	cost = 1234,8
2. 0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0	allowed = 200	actual = 170	cost = 1040,8
3. 0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0	allowed = 200	actual = 180	cost = 1139,6

4. 0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0	allowed = 200 actual = 170 cost = 976,06
5. 0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0	allowed = 200 actual = 190 cost = 905,94
6. 0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0	allowed = 200 actual = 190 cost = 815,88
7. 0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0	allowed = 200 actual = 200 cost = 907,22
8. 0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0	allowed = 200 actual = 200 cost = 1049,4
9. 0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0	allowed = 200 actual = 200 cost = 821,88
10. 0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0	allowed = 200 actual = 150 cost = 937,29

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В този материал е разгледан проблема *HFFVRPTW*. При неговото формулиране, са добавени допълнителни разходи за отчитане на: неизпълнение на ограничение от „времеви прозорец“ (7) и неусвоено търсене на клиентите (8).

Разгледан е тип Еволюционен подход - *Империалистически конкурентен алгоритъм*, за оптимизиране на първоначалните варианти на решения при маршрутизацията на транспортните средства. Предложено е адаптирането на подхода към разглеждания проблем, чрез съответни стъпки и формулировки (9),(10). Дадени са резултати от изпълнението му.

Предложения алгоритъм е за ежедневни задачи и разглежда основно проблема за изграждане на маршрути от едно депо.

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Atashpaz-Gargari, Caro Lucas (2007), *An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition*. Proceedings of Congress on Evolutionary Computation, pp.4661-4667
- [2] Chi-Bin Cheng, Keng-Pin Wang (2009), *Solving a vehicle routing problem with time windows by a decomposition technique and a genetic algorithm*, Expert Systems with Applications 36 (2009) 7758–7763
- [3] Liu, F. H., S. Y. Shen. (1999). *A Method for Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types and Time Windows*. Proc. Natl. Sci. Coun. ROC(A) Vol. 23, No. 4, 1999. pp. 526-536.
- [4] Geng-jia Wang, Yuan-Biao Zhang, Jia-Wei Chen (2011) *A Novel Algorithm to Solve the Vehicle Routing Problem with Time Windows: Imperialist Competitive Algorithm*. Advanced in Information Sciences and Service Sciences. Volume 3, Number 5
- [5]. <http://www.bernabe.dorransoro.es/vrp/>

## APPLICATION OF IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM

**K. Karagyozov, T. Berov**  
[kkaragyozov@yahoo.com](mailto:kkaragyozov@yahoo.com), [tberov@vtu.bg](mailto:tberov@vtu.bg),

*Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, 158 Geo Milev str.,  
 BULGARIA*

**Key words:** Transport, Freight, Automotive, Vehicle routing Problem, Imperialist Competitive Algorithm

**Abstract:** In this paper, a type of Evolutionary algorithm (Imperialist competitive algorithm) and its application for solving a Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows is reviewed. This is a combinatorial optimization problem, dealing with route scheduling and the distribution of goods from the distribution center to geographically dispersed customers by a limited available fleet of vehicles with different capacity. We first formulated the mathematical model of the problem and then has been viewed the implementation of the Imperialist competitive algorithm to solve it.