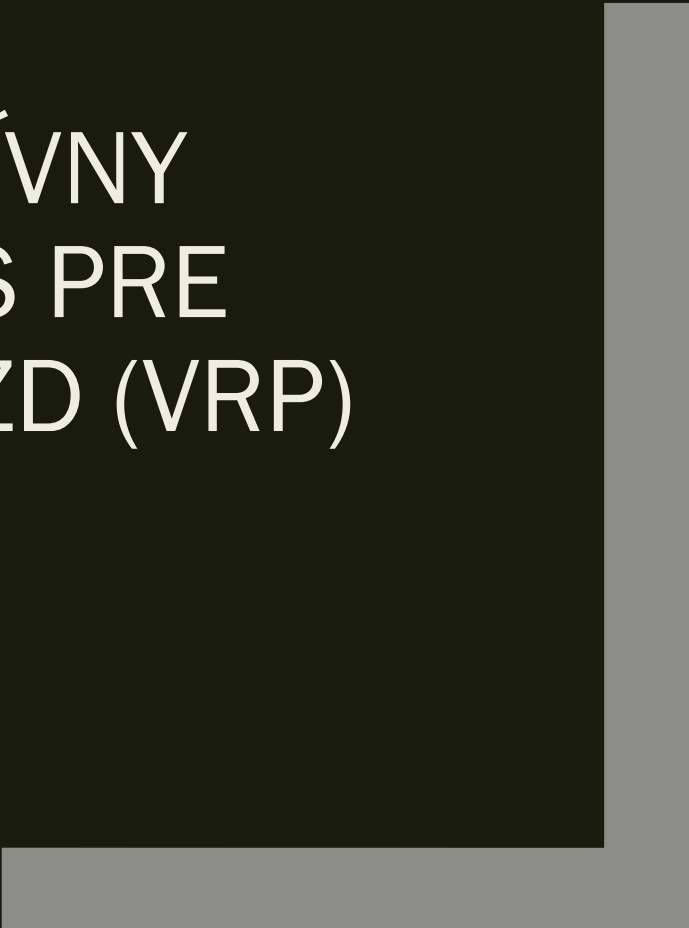




JEDNODUCHÝ A EFEKTÍVNY EVOLUČNÝ ALGORITMUS PRE PROBLÉM OKRUŽNÝCH JÁZD (VRP)

Autor: Christian Prins

Prezentácia: Júlia Sičáková, Pavol Slivoň



Úvod a motivácia

Problém Okružných Jazd (VRP):

- Centrálny problém v optimalizácii distribúcie.
- Cieľom je minimalizovať náklady na trasy vozidiel

Výpočtová Náročnosť:

- NP-ťažký problém. Pre reálne inštancie sa vyžadujú heuristiky/met aheuristiky.

Dominancia Tabu Search (TS):

- Pre štandardný VRP sú TS metódy považované za najvýkonnejšie.

Cieľ:

- Predstaviť jednoduchý, ale efektívny hybridný GA, ktorý dokáže konkurovať najlepším TS

Problém VRP a DVRP

VRP (Vehicle Routing Problem):

- Nájsť minimálne nákladné trasy pre m vozidiel (kapacita W) z depa (0) k n zákazníkom (požiadavka q_i), každý navštívený práve raz.

DVRP (Distance - constrained VRP):

- Dodatočné obmedzenie: Celková dĺžka (náklady) každej trasy nesmie prekročiť limit L .
- Môže zahŕňať aj "delivery costs" d_i u zákazníka.

Predpoklady

- (1) $c_{ik} + c_{kj} \geq c_{ij}$ (Trojuholníková nerovnosť pre cestovné náklady c_{ij})
 - *Priama cesta nie je nikdy dlhšia ako cesta cez iný bod.*
- (2) $q_i \leq W$ (pre $i > 0$) (Kapacitné obmedzenie)
 - *Požiadavka žiadneho zákazníka nesmie prekročiť kapacitu vozidla.*
- (3) $c_{0i} + d_i + c_{i0} \leq L$ (pre $i > 0$) (Obmedzenie na uskutočniteľnosť samostatnej trasy)
 - *Spiatočná cesta k akémukoľvek jednotlivému zákazníkovi musí byť možná v rámci limitu dĺžky trasy L .*
- Počet vozidiel m je výsledkom optimalizácie, nie vstupom.

Kľúčové princípy návrhu GA

- **K1:** Chromozóm = permutácia zákazníkov (ako v TSP), žiadne oddeľovače trás.
- **K2:** Presné vyhodnotenie fitness pomocou procedúry Split.
- **K3:** Malá populácia, žiadne duplikáty (klony) - vynútené podmienkou "well-spaced".
- **K4:** Dobré počiatočné riešenia z klasických heuristík.
- **K5:** Hybridizácia: Lokálne vyhľadávanie (LS) použité ako silný mutačný operátor.
- **K6:** Inkrementálna správa populácie (nahradenie len 1 jedinca za iteráciu).
- **K7:** Hlavná fáza prieskumu nasledovaná krátkymi reštartmi pre diverzifikáciu.

Chromozóm a vyhodnotenie fitness

■ (K1) Reprezentácia Chromozómu:

- *Jednoduchá sekvencia (permutácia) S všetkých n zákazníkov.*
- *Príklad: $S = (3, 1, 4, 2, 5)$*
- *Interpretácia: Poradie návštev, ak by všetkých obslúžilo jedno vozidlo sekvenčne.*

■ (K2) Vyhodnotenie Fitness $F(S)$:

- *Fitness $F(S)$ = Náklady optimálneho DVRP riešenia (množiny trás), ktoré rešpektuje poradie zákazníkov dané sekvenciou S .*
- *Na výpočet $F(S)$ sa používa procedúra Split.*

- *Výhoda: Garantuje najlepšie možné delenie pre danú sekvenciu, na rozdiel od ad-hoc alebo sekvenčných metód delenia.*

Procedúra Split

- Hľadá optimálne delenie sekvencie S na úseky, kde každý úsek tvorí platnú DVRP trasu.
- Pomocný Graf H :
 - Uzly: $0, 1, \dots, n$ (indexy v sekvencii S).
 - Hrana (i, j) existuje, ak sekvencia $S(i+1) \dots S(j)$ tvorí platnú trasu.
- Podmienky Platnosti Trasy $S(i+1) \dots S(j)$:
 - Súčet požiadaviek zákazníkov na potenciálnej trase nesmie prekročiť kapacitu vozidla W .
 - Celkové náklady trasy nesmú prekročiť limit L .
- Cieľ Split: Nájsť najkratšiu cestu v H z uzla 0 do uzla n . Jej cena je $F(S)$.

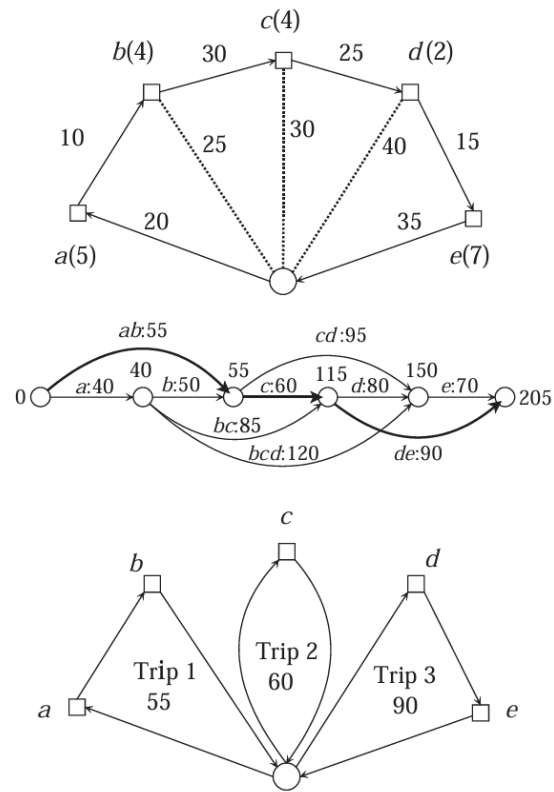


Fig. 1. Example of chromosome evaluation.

Flexibilita Procedúry Split

Split sa dá ľahko modifikovať pre rôzne ciele:

Minimalizácia nákladov a počtu vozidiel:

- Pridať druhý atribút (počet trás) do stavu dynamického programovania.

Zmiešaná flotila (VFMP):

- Pri výpočte ceny trasy pridať fixné náklady najlacnejšieho vhodného typu vozidla.

Obmedzený počet vozidiel (homogénny/heterogénny):

- Problém sa mení na hľadanie najkratšej cesty s obmedzením na zdroje (počet trás/typy vozidiel) – výpočtovo náročnejšie.

Kríženie (Operátor OX)

- Typ kríženia: Order Crossover (OX). Vhodný pre permutácie bez definovaného začiatku/konca (ako TSP).
- Mechanizmus:

01

*Náhodne vyber
rezné body i, j v
 $P1$.*

02

*Skopíruj $P1[i..j]$ do
 $C1[i..j]$.*

03

*Postupne (cyklicky
od $j+1$) doplň $C1$
prvkami z $P2$,
ktoré ešte v $C1$
nie sú.*

04

*$C2$ sa vytvorí
symetricky.*

Lokálne Vyhľadávanie ako mutácia (Hybridný Prístup)

- Samotný GA bez lokálneho zlepšovania nestačí na konkurovanie TS. LS výrazne zlepšuje kvalitu.
- Proces (Aplikuje sa s pravdepodobnosťou p_m):
 - *Dekódovanie: Chromozóm C -> Riešenie (množina trás) pomocou rekonštrukcie zo Split.*
 - *Lokálne Zlepšovanie (LS): Aplikuj LS na riešenie.*
 - Prehľadáva okolia definované presunmi uzlov (páry u, v).
 - Stratégia: Prvé nájdené zlepšenie (First Improvement). Iteruje do lokálneho optima.
 - *Kódovanie: Zlepšené riešenie (s nákladmi λ) -> Nový chromozóm M (spojením trás).*
 - *Opätovné Vyhodnotenie*

Populácia: Štruktúra a Inicializácia

- Štruktúra: Pole Π veľkosti σ , vždy usporiadané podľa fitness.
- Zákaz Klonov (K3): "Well-Spaced", podmienka:
 - $\forall P1, P2 \in \Pi: P1 \neq P2 \Rightarrow |F(P1) - F(P2)| \geq \Delta$
 - *Fitness hodnoty dvoch rôznych jedincov v populácii sa musia líšiť aspoň o konštantu Δ .*
- Inicializácia (K4):
 - *Vlož riešenia z heuristik po vyhodnotení Split-om (ak sú "well-spaced").*
 - *Doplň zvyšok náhodnými permutáciami (Split-nutými), opakovane generuj, kým nespĺňajú "well-spaced" podmienku.*
 - *Zorad' populáciu.*
- Správa Populácie (K6): Inkrementálna - nahrádza sa len jeden (podpriemerný) jedinec.

Celková Štruktúra a Iterácie GA (Reštarty)

- Základná štruktúra



- Hlavná fáza: Beží do splnenia kritéria ($\alpha_{\max}$ produktívnych iter., $\beta_{\max}$ bez zlepšenia, nájdenie optima LB).
- Reštarty:
 - *Efektívne prekonávanie lokálnych optim.*

Experimentálne Vyhodnotenie: Nastavenie

- **Benchmarks:**
 - *Set 1: Christofides (14 inšt., 50-199 zákazníkov, VRP/DVRP).*
 - *Set 2: Golden (20 inšt., 200-483 zákazníkov, DVRP/VRP).*
- **Potvrdenie Dôležitosti Princípov (C1-C9):** Experimenty ukázali, že zmena K1-K7 zhoršuje výsledky (najmä K4, K5, K6).
- **Parametre (Najlepšie nájdené):**
 - $\sigma = 30$ (*malá populácia*)
 - $\Delta = 0.5$ (*well-spaced*)
 - $pm = 0.05 - 0.20$ (*relatívne vysoká miera LS mutácie*)
 - $\rho = 8$ (*počet nahradených pri reštarte*)
- **Kritériá zastavenia:** α_{max} , β_{max} (rôzne pre hlavnú fázu a reštarty).

Výsledky

- Christofides Inštancie (Klasické, 50-199 zákazníkov):
 - GA (najlepšie): Avg. odchýlka +0.08%; nájdených 10/14 BKS.
 - Porovnanie: GA je veľmi konkurencieschopný s najlepšimi TS metódami (prekonaný len 1 TS v čase publikácie).
- Golden Inštancie (Veľké, 200-483 zákazníkov):
 - GA (finálne): Avg. odchýlka -0.78% od BKS.
 - Nový Stav BKS: GA sa stal držiteľom 13/20 najlepších známych riešení.
- Porovnanie: GA prekonáva RTR, XK a GTS v kvalite riešenia na tomto sete.
- Časová Náročnosť:
 - Christofides: ~5 min (štandard GA).
 - Golden: ~67 min.
- Záver z Výsledkov: Navrhnutý GA dosahuje špičkovú kvalitu riešenia na oboch sadách a posunul hranice najlepších známych riešení pre veľké VRP inštancie.

Zhrnutie a Prínosy

Hlavný Prínos:

- *Predstavený prvý hybridný GA pre VRP, ktorý dosahuje špičkovú kvalitu riešenia, porovnateľnú alebo lepšiu ako najlepšie TS metódy.*

Kľúčové Výsledky:

- *Výborný výkon na Christofides inštanciách.*
- *Najlepší známy algoritmus pre veľké Goldenove inštancie (definoval 13 nových BKS).*

Metodologické Prínosy:

- *Úspešná aplikácia TSP-like chromozómu s optimálnym Split vyhodnotením.*
- *Demonštrácia sily hybridného prístupu (GA + LS) pre VRP.*
- *Efektivita riadenia populácie (well-spaced, inkrementálnosť, reštarty).*

ĎAKUJEME ZA POZORNOST

[A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem - ScienceDirect](#)