# Směrování vozidel při rozsáhlých evakuacích

Každoročně dochází k humanitárním katastrofám při kterých je nutné důsledné plánování logistických prací. Jen v roce 2019 došlo k rozsáhlým požárům v Řecku na ostrově Samos a v Kalifornii ve Spojených státech. Tyto katastrofy vyhnaly nebo ponechaly bez prostředků tisíce lidí. Jedná se o reálné problémy, problémy jejichž řešení může mít za následek zachráněné nebo zmařené lisdké životy. Problém smerování vozidel (VRP - Vehicle Routing Problem) je optimalizační úloha pro plánování tras flotily vozidel pro obsluhu skupiny zákazníků. Tato úloha patří mezi takzvané NP-těžké úlohy, to znamená, že v obecném případě není známo, ani jak pro každý vstup nalézt přesné řešení, a dokonce ani zda vůbec může existovat algoritmus, který takové řešení najde v akceptovatelnem čase. V praxi se podobná úloha obvykle řeší pouze přibližně (heuristickými algoritmy, např. genetickými algoritmy, tabu prohledáváním atd.). Tím se (za cenu vzdání se nároku na nalezení optimálního řešení) dosahuje prakticky použitelných časů.

Pro použití v humanitární oblasti, ať už pri evakuaci nebo distribuci pomoci existuje pro VRP několik variací a specializací. Jedná se zejména o variaci, kdy se v problému musí počítat s omezenou kapacitou vozidel (CVRP - Capacitated Vehicle Routing Problem). (MTCVRP - Multi-Trip Capacitated Vehicle Routing Problem) je varianta CVRP, kde je jednotlivá vozidla možné použít opakovaně v rámci více routingů. Obecně je typickým cílem MTCVRP minimalizace součtu cestovních nákladu (v jednotkách času nebo v jednotkách vzdálenosti). Kontext, který je blíže humanitárnímu přístupu, lze nalézt v odborne literatuře jako problém kumulativního kapacitního směrování vozidel s více cestami (MT-CCVRP). Což je varianta MTCVRP s tím rozdílem, že nyní je cílem minimalizace součtu časů příjezdu do jednotlivych destinaci. To znamená minimalizaci čekací doby oběti katastrof žádajích o pomoc, také známé jako latence. V tomto článku budeme místo klasické latence uvažovat o maximální době čekání v jednotlivých destinacích. Tj. minimalizaci času čekání poslední evakuované osoby v oblasti katastrofy. Mezi klasickou a maximální latencí je zásadní rozdíl, kdy je důležitější minimalizace čekací doby poslední evakuované oběti při katastrofě spíše než jejich celková suma. Tímto způsobem se snažíme vyhnout tomu, že by některé postižené oběti v oblasti katastrofy čekaly na záchranu velmi dlouho, zatím co by byl zbytek evakuován výrazně dříve. To znamená, že se snažíme vyrovnat čekací dobu na evakuaci všech postižených (Molina, et al., 2018).

Úloha VRP a její variace je obvykle definována jako ohodnocený orientovaný graf, kde uzly jsou jednotlivé destinace (v našem případě skupiny obětí čekající na záchranu) a hrany jsou trasy spojující tyto destinace. Hodnoty hran odpovídají jejich vzdálenosti resp. cestovnímu času. První uzel typicky reprezentuje depo kde je disponována flotila dopravních prostredků s limitovanou kapacitou. MTVRP vyžaduje stanovení sady jízd a přiřazení každé jízdy k vozidlu tak, aby se minimalizoval čas jízdy. A aby bylo splněno, že každá cesta začíná a končí v depu a dále, že není překročena kapacita žádneho vozidla (Cattaruzza, et al., 2018).

Pro řešení různých variant VRP se používá několik přístupů. Hlavní rozdíl v metodách řešení je zejména mezi přesnými metodami na jedné straně a heuristickými metodami na straně druhé. I přesto že se realistické VRP problémy často obtížně řeší, byly s určitým úspěchem použity přesné metody. Tyto metody považují problém za zvláštní případ celočíselného nebo smíšeného celočíselného programu (Oyola, et al., 2017). Nástroje pro řesení tohoto typu úloh, takzvané solvery, jsou zahrnuty ve většině současného optimalizačního software. Existují jak komerční řešení, např. LINGO nebo Gurobi, tak i volně dostupné, například SCIP. Typicky je použití přesných metod vhodné pro úlohy menšího rozsahu. Tj. do úloh kde je maximálně 50 destinací.

Aktuálně existuje celá řada problémů bez známé metody přesného řešení při reálném použití. To vytváří potřebu takzvaných heuristik, které ačkoli nezaručují nalezení nejoptimálnějšího řešení problému, mohou být schopné nalézt dostatečně dobré řešení dostatečně rychle. Jedná se o populární a rostoucí oblast řešení VRP. Pro použití heuristik v rámci VRP existuje několik základních strategií. Tyto strategie se typicky aplikují na nějaké (například náhodně vygenerované) výchozí řešení a pokoušejí se ho iterativně vylepšit.

Heuristiky založené na strategii lokálního prohledávání (LS - Local Search) se pokouší zlepšovat dané řešení provedením sady malých úprav (neboli tahů) výchozího řešení. Dá se říci, že LS navštěvuje blízské okolí studovaného řešení a vybírá nejlepší sousední řešení podle nějakého kritéria. Po určitém počtu iterací již LS není schopno vyrábět kvalitnější řešení. Říkáme, že je heuristika uvězněna v lokálním optimu (Chentli, et al., 2019). Odvozená strategie TS (Tabu search) zvyšuje výkon LS uvolněním jeho základního pravidla. Za prvé, v každém kroku mohou být přijaty zhoršující pohyby pokud není k dispozici žádný zlepšující pohyb (hledání uvízlo na přísném lokalnim minimu). Kromě toho jsou zavedeny zákazy (tzv, „Tabu“), které odrazují vyhledávání od návratu k dříve navštíveným řešením. Další variaci LS je opakované lokální vyhledávání (ILS - Iterated Local Search). Principem ILS je zlepšit dané počáteční řešení střídáním postupů místního vyhledávání (LS) a rozrušování. Aby LS mohla uniknout místním optimům, poskytuje ILS dodatečný rozrušovací postup. Tento provádí dodatečné úpravy současného lokálního optima a vytváří tím nové výchozí řešení pro LS. Kvalita toho nového výchozího řešení sice není obvykle tak dobrá jako kvalita místního optima, postup ale umožňuje LS prohledat větší oblast prostoru řešení (Chentli, et al., 2019). MS-ILS (Multi Start - Iterated Local Search) je opakované lokální vyhledávání (ILS) s více starty. Tato varianta, spočívá v restartování ILS z několika počátečních řešení pro diverzifikaci vyhledávání (Rivera, et al., 2015).

Některé metody VRP jsou založeny na principu přírodních spolecenství. Metaheuristická metoda ACO (Ant Colony Optimization) je inspirovaná chováním přírodních mravenců. Pro úplnou sadu komponent řešení daného problému, musí být definována sada takzvaných feromonových hodnot. Tato sada se nazývá feromonový model, který je z matematického hlediska parametrizovaný pravděpodobnostní model. Feromonový model se následně používá k pravděpodobnostnímu generování řešení uvažovaného problému sestavením ze sady komponent řešení.

Algoritmy, které jsou založeny na principech přírodní evoluce, se nazývají evoluční algoritmy (EA). Evoluční algoritmy mohou byt charakterizovány jako výrazně zjednodušený výpočetní model evolučního procesu. Tyto algoritmy jsou inspirovány schopností přírody vyvíjet živoucí organismy adaptací na jejich prostředí. V jádře všech evolučních algoritmů je sada jednotlivců, takzvaná populace. Tito jednotlivci jsou v zásadě kandidáti řešení daného problému. Nejdříve se náhodně vygeneruje iniciální populace, pokud možno s důrazem na maximální diverzifikaci. V každé iteraci se vybere část jedinců ze zdrojové populace. Tito jedinci následně slouží jako rodiče, kdy se za použití reprodukčních operátorů vytvoří dalši sada potomků. Evoluční algoritmy používají jako evoluční operátory náhodnou rekombinaci a křižení, které kombinuji potomky z vlastností jejich předků (Oyola, et al., 2017).

V případě humanitární katastrofy, zejména pokud je nutné evakuovat velký počet osob, je kvalitni naplánování celé akce zásadním předpokladem úspěchu. Koordinační týmy mohou použít některé z palety popsaných VRP řešení pro pokrytí logistického aspektu. Uvedené postupy jsou ověřené v praxi a zdokumentované v odborné literatuře.

# Reference

Cattaruzza, D., Absi, N. & Feillet, D., 2018. Vehicle routing problems with multiple trips. *Annals of Operations Research,* 01 12, Svazek 271, pp. 127-159.

Chentli, H., Ouafi, R. & Cherif-Khettaf, W. R., 2019. *Impact of Iterated Local Search Heuristic Hybridization on Vehicle Routing Problems: Application to the Capacitated Profitable Tour Problem.* Cham, Springer International Publishing, pp. 80-101.

Molina, J., López-Sánchez, A. D., Hernández-Díaz, A. G. & Martínez-Salazar, I., 2018. A Multi-start Algorithm with Intelligent Neighborhood Selection for solving multi-objective humanitarian vehicle routing problems. *Journal of Heuristics,* 01 4, Svazek 24, pp. 111-133.

Oyola, J., Arntzen, H. & Woodruff, D. L., 2017. The stochastic vehicle routing problem, a literature review, Part II: solution methods. *EURO Journal on Transportation and Logistics,* 01 12, Svazek 6, pp. 349-388.

Rivera, J. C., Afsar, H. M. & Prins, C., 2015. A multistart iterated local search for the multitrip cumulative capacitated vehicle routing problem. *Computational Optimization and Applications,* 01 5, Svazek 61, pp. 159-187.