

Dr hab. inż. Krzysztof Krawiec, prof. nadzw.
Instytut Informatyki
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 2
60-965 Poznań

Poznań, 28.12.2016

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Michała Okulewicza
pt. “Zastosowanie populacyjnych metaheurystyk
uwzględniających rozkład danych problemu do
rozwiązywania problemu dynamicznej marszrutyzacji”

1 Tematyka rozprawy

Rozprawa mgr Okulewicza dotyczy algorytmów rozwiązywania problemów dynamicznej marszrutyzacji (ang. *dynamic vehicle routing problems*, DVRP), tj. problemów marszrutyzacji zmiennych w czasie. Mgr Okulewicz w swojej pracy skupił się na rozwijaniu algorytmów metaheurystycznych i hiperheurystycznych dedykowanych do tego problemu. Tematyka ta umiejscawia rozprawę w obszarze sztucznej inteligencji (*artificial intelligence*) i inteligencji obliczeniowej (*computational intelligence*), które są szeroko traktowane jako działy dyscypliny informatyka.

Problemy marszrutyzacji, także (a nawet zwłaszcza) w odmianie dynamicznej, spotyka się szczególnie często w praktyce. Znajdowanie dobrych rozwiązań dla takich problemów, nawet jedynie przybliżonych, jest znacznym wyzwaniem przy ograniczonym budżecie obliczeniowym (co ma szczególne znaczenie właśnie w wariancie dynamicznej). W tym świetle uważam temat podjęty przez Autora rozprawy za aktualny i istotny zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia.

2 Ocena wkładu oryginalnego

Za główne oryginalne przyczynki Autora uważam następujące elementy pracy.

1. Autorską taksonomię problemów optymalizacji dynamicznej, elegancko spinającą kilka alternatywnych charakterystyk znanych z literatury.

2. Opracowanie nowych sposobów kodowania problemu marszrutyzacji, w szczególności takich które umożliwiają bezpośrednie stosowanie algorytmów optymalizacji ciągłej.
3. Zaproponowanie oryginalnej heurystyki konstruującej rozwiązania początkowe.
4. Powiązanie zadania dynamicznej marszrutyzacji ze znanym ze sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego zagadnieniem transferu wiedzy.
5. Propozycje dwóch oryginalnych metod predykcyjnych do przewidywania nowych zamówień.
6. Propozycję wariantu hiperheurystycznego proponowanego algorytmu, polegającego na analizie charakterystyki problemu i wyborze do jego rozwiązania jednego z podrzędnych algorytmów.
7. Przekonujące wyniki uzyskane przez proponowane algorytmy na problemach testowych (benchmarkach), w szczególności osiągnięcie najlepszych w świecie wyników w trzech kategoriach konfiguracji eksperymentalnych.

Powyższa lista skłania mnie do stwierdzenia że rozprawa mgr Okulewicza wnosi wartościowy, oryginalny i znaczący wkład w rozwój informatyki i powiązanych dyscyplin, w szczególności sztucznej inteligencji i badań operacyjnych.

3 Ocena treści rozprawy

Praca prezentuje rodzinę nowych, nietrywialnych i dobrze uzasadnionych metod. Opisane badania przeprowadzone zostały w sposób metodologicznie poprawny, a ich realizacja wymagała znaczących umiejętności naukowych i praktycznych. Wyniki są zachęcające i dają nadzieję na owocną kontynuację.

Poza wymienionymi wcześniej głównymi przyczynkami oryginalnymi, praca zawiera wiele innych komponentów których obecność szczególnie doceniam. Autor uniknął nadmiernego skupienia się na jednym wątku, uwzględniając wiele alternatywnych podejść metaheurystycznych, w tym algorytmów genetycznych, mrówkowych, rojów cząstek oraz ewolucji różnicowej. Ilościowa analiza publikacji dotyczących problemów marszrutyzacji, zilustrowana wykresem (Rys. 3.1) jest przekonująca. Charakteryzacja zbiorów danych (tj. instancji problemu) w sekcji 7.1 dobrze ilustruje ich różnorodność i pozwala docenić uniwersalność algorytmów proponowanych w pracy. Po stronie rozwiązań technicznych, uważam przyjęty przez Autora model rozproszenia obliczeń przez serwisy optymalizacyjne za szczególnie trafny i ułatwiający dalsze prace nad tym zagadnieniem.

Pozytywnie oceniam też część eksperymentalną pracy (Rozdział 8), gdzie Autor nie ograniczył się do porównania finalnych miar skuteczności algorytmów, ale przeprowadził także analizę wpływu aspektów dynamicznych problemu oraz przetestował podejście hiperheurystyczne. Szczególnie doceniam ten ostatni przyczynek, nie tylko z racji jego pozytywnego wydźwięku empirycznego, ale także dlatego że w mojej opinii czyni rozprawę jeszcze bardziej aktualną, biorąc pod uwagę wykazywaną coraz częściej w ostatnich

latach skuteczność podejść hiperheurystycznych. Analiza wyników eksperymentalnych podparta jest poprawną analizą statystyczną.

Bardzo dobre wrażenie z lektury pracy nie powstrzymuje mnie jednak przed sformulowaniem kilku uwag o charakterze polemicznym.

Za dyskusyjne uważam zdefiniowanie podzbioru rozwiązań dopuszczalnych poprzez skończone wartości funkcji jakości (s. 5); w praktyce zbiór ten definiowany jest zazwyczaj przez niezależnie podane ograniczenia, a implementacja programistyczna funkcji celu pozwala ją stosować także do (niektórych) rozwiązań niedopuszczalnych. Nieco nienaturalne wydaje mi się także charakteryzowanie podziału problemów na statyczne, stochastyczne oraz dynamiczne terminem 'poziom dostępności danych problemu' (sekcja 1.4).

Opis przykładowych algorytmów heurystycznych w 4.1 jest nieco zdawkowy i nie zawsze jasny. Na przykład dopiero w dalszych częściach pracy staje się jasne że algorytm k średnich pracuje w przestrzeni współrzędnych lokalizacji, a nie np. w przestrzeni charakterystyk zadań. Podobnie, w momencie czytania opisu algorytmu płatkowego nie było dla mnie jasne jak definiowane są tam kąty i współrzędne katowe.

W części eksperymentalnej, autor zdefiniował względny średni wynik (formuła 8.2) celem umożliwienia zbiorczego porównania skuteczności algorytmów na poszczególnych instancjach problemu. Choć jest to rozsądne podejście, to pojawia się wątpliwość co do rozkładu tak zdefiniowanego wskaźnika (który powinien być rozkładem normalnym jeśli w dalszej części Autor poddaje go analizie testem t). Wielu autorów preferuje w takich sytuacjach wykorzystanie testów nieparametrycznych, np. testu Friedmana z odpowiednimi analizami post-hoc.

Opis kodowań w sekcji 5.1 jest przejrzysty i dobrze zilustrowany rysunkiem, ale miejscami miesza opis samego kodowania z opisem (w gruncie rzeczy) algorytmów przeszukiwania – choć przyznają że często zastosowanie takich algorytmów jest niezbędne aby utrzymać spójność (tj. poprawność kodowania) rozwiązania.

Ostatni z wymienionych tu wątków doprowadza mnie do głównej uwagi o charakterze polemicznym. Osobiście uważam nawyk prezentacji sposobu kodowania rozwiązań za – niekoniecznie przydatny – spadek po przywiązaniu do inspirowanych biologicznie metafor w algorytmach ewolucyjnych, gdzie zwykło się zakładać że rozwiązania są obiektami formalnymi w przestrzeni 'fenotypów', które są efektem ekspresji kodowania rozwiązań na poziomie 'genotypów'. Jednak z punktu widzenia algorytmu techniczny sposób reprezentacji rozwiązań nie ma zazwyczaj znaczenia. W rozważanym w pracy problemie DVRP rozwiązanie jest zbiorem sekwencji lokalizacji, czyli dobrze zdefiniowanym obiektem matematycznym. Większość operatorów przeszukiwania rozważanych w pracy da się zdefiniować wyłącznie w oparciu o to pojęcie, bez konieczności odwoływania się do poszczególnych kodowań. W tym kontekście prezentacja i rozważanie poszczególnych kodowań staje się raczej niepotrzebnym balastem dla czytelnika. Zaznaczam że ta uwaga odnosi się głównie do kodowań CIL, CIZ i WPP, podczas gdy kodowania WCZ i WRZ mają zasadniczo odmienny charakter.

4 Ocena redakcji rozprawy

Praca została przygotowana w języku polskim i składa się z wprowadzenia, dziewięciu rozdziałów pogrupowanych w dwie części, dwóch załączników, oraz listy literatury. Struktura pracy jest logiczna i dobrze przemyślana. Szczególnie doceniam bogate ilustrowanie pracy rysunkami i przykładami. Mimo zaawansowanych treści i wielowątkowego charakteru rozprawy, Autor przedstawił omawiane treści w zwięzły a mimo to dogłębny sposób.

Niedociągnięcia w redakcji pracy są nieliczne. Na przykład miara zmienności problemu (formuła (5.1), str. 44) oznaczona jest symbolem ρ , tym samym który wcześniej (i wg Tabeli 3.1) wykorzystywany jest do oznaczania odległości pomiędzy lokalizacjami. W Definicji 12 symbol F wydaje się oznaczać pewną funkcję historii procesu stochastycznego, podczas gdy stroną wcześniej wykorzystywany był do oznaczenia rozkładu prawdopodobieństwa. Definicja problemu kombinatorycznego (s. 6) sugeruje stałą długość wektora kodującego rozwiązanie, co w wielu problemach kombinatorycznych nie ma miejsca (np. w programowaniu genetycznym). Wbrew temu co sugerują ostatnie zdania w przedostatnim akapicie sekcji 7.2.2, przykładowe rozwiązanie pośrednie w podejściu z funkcją kary na Rys. 7.3 nie wydaje się być podrozwiązaniem rozwiązania finalnego z tego samego rysunku. Niektóre cytowania w bibliografii wydają się być niekompletne, np. [27]. Zdarza się że tekst odwołuje się do rysunków i tabel umieszczonych wcześniej (np. tekst na str. 66 do Rys. 7.4, tekst na str 84 do rys. 8.4), co nieco komplikuje proces czytania. Z drugiej strony jest zrozumiałe że przy znacznej liczby ilustracji przypadków takich nie dało się uniknąć.

Problem DVRP jest obszerny, niemniej Autorowi udało się go zaprezentować w elegancki, zwięzły, niemniej jednocześnie precyzyjny sposób. Można by jednak osiągnąć jeszcze bardziej zwięzłą prezentację przez uproszczenie terminologii. Na przykład z racji wzajemnie jednoznacznej odpowiedniości pojazdów i tras, można by zrezygnować z używania obu tych terminów i poprzestać być może na drugim z nich.

Te nieznaczne niedociągnięcia nie utrudniają jednak lektury rozprawy i nie wpływają na moją finalną ocenę.

5 Konkluzja końcowa

Wymienione powyżej uwagi krytyczne odnośnie treści i prezentacji pracy nie podważają głównych konkluzji rozprawy i mojej wysokiej jej oceny, zarówno od strony merytorycznej jak i prezentacyjnej. Uważam że cele postawione przez Autora pracy zostały osiągnięte, podparte silnymi wynikami empirycznymi o wybitnie praktycznym charakterze, oraz przedstawione w interesujący sposób. Za szczególnie przekonujące uważam osiągnięcie przez Autora najlepszych dotąd wyników w tej wysoce konkurencyjnej dziedzinie, co rodzi nadzieje na potencjalnie zastosowanie opracowanej metodyki w praktyce. Wyniki zreferowane w rozprawie mgr Okulewicza podparte są kilkoma dobrymi publikacjami, które mimo ukazania się stosunkowo niedawno są już cytowane.

Wobec powyższych obserwacji, stwierdzam że rozprawa mgr Okulewicza wyraźnie

wykracza ponad poziom przeciętny i spełnia z nawiązką warunki stawiane przez ustawę o tytule naukowym i stopniach naukowych w odniesieniu do rozpraw doktorskich, a zatem powinna być dopuszczona do publicznej obrony. Z uwagi na nowatorski temat rozprawy i obszerność uzyskanych wyników, wnioskuję także o jej wyróżnienie.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hubert Urban". The signature is written in a cursive, flowing style.