

Czeladź, 29 listopada 2023

Recenzja pracy doktorskiej Pana Pawła Gora
„Metaheuristics in optimization of complex processes”

Rozważana rozprawa dotyczy problemu tworzenia metaheurezy w optymalizacji procesów złożonych. Zacznę recenzję rozprawy od przedstawienie jej głównych wyników.

Rozdział 1 to wprowadzenie w motywację stojącą za rozprawą, postawienie problemu oraz omówienie wyników i wkładu autora. W uproszczeniu autor definiuje układy złożony jako interakcję wielu prostszych modeli, które w konsekwencji powodują powstanie bardziej skomplikowanego obiektu, którego badamy zachowanie w czasie. Motywacja autora pochodzi zarówno od procesów biologicznych (rozwój raka) jak i problemu analizy ruchu miejskiego. W sekcji 1.2 „Research objectives” autor stara się postawić główne cele rozprawy, jednakże odnoszę wrażenie, że są one sformułowane dosyć ogólnie, i już po uzyskaniu wyników. Trochę brakło mi tutaj klarownie postawionego problemu badawczego który autor stara się rozwiązać. Pod koniec tego rozdziału zawarte jest podsumowanie wkładu autora, i tu też nie jest do końca oczywiste czy najważniejszym jest próba zrozumienia procesów złożonych, czy też raczej utworzenie, testowanie i rozwój symulatorów. Tą dychotomię widać także w całości rozprawy. Rozdział 2 zawiera omówienie istniejących podejść, w szczególności tych stosowanych w optymalizacji ruchu miejskiego oraz rozwoju raka poddanego radioterapii, wraz z wyróżnieniem ich ograniczeń. Rozdział 3 zawiera wprowadzenie do teorii układów złożonych. W szczególności autor analizuje istniejące definicje układu złożonego i procesu złożonego oraz ich własności. Podaje także różne przykłady układów złożonych. W rozdziale 4 autor skupia się na modelowaniu układów złożonych, gdzie szczegółowo opisuje istniejące podejścia do modelowania ruchu drogowego oraz rozwoju raka.

Rozdział 5 jest pierwszym z rozdziałów rozprawy w których autor prezentuje rezultaty otrzymane przez siebie. Zawiera on wprowadzenie w „Traffic

Simulation Framework” (TSF), narzędzie służące do symulacji ruchu drogowego zbudowane przez autora. TSF zawiera implementację zarówno 4-krokowego modelu, jak i mikroskopowego modelu bazującego na modelu Nagela-Schreckenberga oraz modelu mezoskopowego. Model TSF jest modelem grafowym który bazuje na mapie Warszawy, jest jednakże łatwo adaptowalny do innych potencjalnych miast. Autor opisuje kolejne modele zaimplementowane w TSF, zaczynając od klasycznego modelu 4 krokowego modelu zapotrzebowania (4-step travel demand model), prze model mikroskopowy ruchu, kończąc na modelu mezoskopowym. Model TSF został zaimplementowany w środowisku C#. TSF ma szeroką funkcjonalność, w szczególności GUI, model do symulacji i generowania tras. Wartościowym aspektem TSF było użycie wiedzy eksperckiej do oceny i poprawienia modelu. Dużą wartością modelu TSF jest fakt, że znalazł on zastosowania w pracach innych naukowców. Model ten uzyskał także nagrodę „Lider ITS 205” za najlepszą pracę R&D w VI konkursie ITS Polska.

Rozdział 6 zawiera wprowadzenie do różnych metod optymalizacji, ze szczególnym uwzględnieniem metaheurystyki. Autor dokonuje porównania różnych możliwych schematów optymalizacji, w szczególności przeszukiwania lokalnego oraz globalnego, deterministycznego oraz probabilistycznego, przeszukiwania ciągłego oraz dyskretnego. Następnie autor opisuje typowe działania klasycznych podejść, czyli algorytmów genetycznych, rojowych, tabu search, symulowane wyżarzanie oraz paru innych typowych metod. Niestandardowym jest wspomnienie o podejściu kwantowym. Następnie autor omawia podejście Bayesowskie oraz metodę minimalizacji gradientu. Rozdział 8 zawiera wprowadzenie w metodologię stosowaną przez autora w rozważanych problemach.

Kluczowym rozdziałem rozprawy jest rozdział 8, Experiments, który zawiera wybrane eksperymenty przeprowadzone w trakcie prac nad rozprawą. Większość z opisanych eksperymentów była zaplanowana i przeprowadzona samodzielnie przez autora, zaś część została przeprowadzona w ramach współpracy z grupą TensorCell (którą utworzył autor). Eksperymenty zostały przeprowadzone na dwóch problemach badawczych, analizie ruchu drogowego oraz optymalizacji terapii raka. W problemie optymalizacji ruchu drogowego autor rozważa dwa główne podejścia optymalizacyjne – za pomocą algorytmów genetycznych i optymalizacji gradientowej. Kluczowe charakterystyki które były minimalizowane to sumaryczny czas czekania na światło czerwonym oraz sumaryczny czas jechania powoli (poniżej 20km/h). W przypadku modelu TSF (Traffic Signal Setting) celem było znalezienie optymal-

nych/dobrych ustawień dla sygnałów drogowych (optymalizacji sygnalizacji świetlnej). Przeprowadzono w tym przypadku jedynie 9 kroków algorytmu ewolucyjnego. Konkluzje które autor wynosi z tego eksperymentu, że niezbędne byłoby przyspieszenie rozważanego modelu, aby móc za pomocą tego podejścia uzyskać lepsze wyniki. W związku z tym autor przechodzi z modelu mikroskopowego na model mezoskopowy. Niestety okazało się, że model chociaż działa szybko, to nie przybliży w wystarczającym stopniu modelu mikroskopowego. Następnie autor rozważa podejście polegające na zastosowaniu modelu uproszczonego zbudowanego za pomocą sieci neuronowych – co nie zaskakujące sieci neuronowe potrafią przybliżać wyniki poprzednich modeli, i w związku z tym możnaby stosować je do optymalizacji. Podstawowy problem z użyciem modeli przybliżonych polega na tym, że model sieci jest uczony bowiem na bazowych (początkowo wybranych) parametrach, zaś sieci potrafią dobrze interpolować ale nie ekstrapolować. Oznacza to, że w trakcie procesu optymalizacji parametry sieci zmieniają się na tyle, że wyjdą poza zakres na którym były uczone i w którym sieci dobrze aproksymowały model mikroskopowy, i w konsekwencji model zbudowany z sieci może przestać dobrze przybliżać model oryginalny. Nie jest oczywiste jak często takie zachowanie może w praktyce zajść, i jeżeli zachodzi, jak sobie z tym problemem poradzić. Następnie autor bada znaczenie parametrów sieci na potencjalny wynik aproksymacji. Przeprowadza także eksperymenty testujące jak znaleziony model za pomocą sieci radzi sobie gdy zastosujemy do niego minimalizację za pomocą algorytmów ewolucyjnych, oraz sprawdza na ile te algorytmy prowadzą do jednakowych minimów. Finalnie autor stosuje także inne algorytmy jak symulowane wyżarzanie. W dalszej części autor przechodzi do modelowania za pomocą sieci grafowych, które wydają się bardziej naturalnym narzędziem do badania postawionego problemu, który w sposób naturalny ma strukturę grafową. Okazuje się, co nie jest zaskakujące, że wyniki dla sieci grafowych znacznie przewyższają te uzyskane dla sieci fully connected. Autor pokazuje także, że zmiana grafu połączeń na losowy pogarsza wyniki. Finalnie autor przeprowadza zbiorcze eksperymenty podsumujące wszystkie zaimplementowane metody optymalizacji. Następnie autor przechodzi do problemu optymalizacji radioterapii w przypadku leczenia raka. Używa tutaj standardowe algorytmy ewolucyjne. Następnym zadaniem było utworzenie modeli zastępczych (surrogate models), używając zarówno modeli za pomocą różnych typów sieci neuronowych oraz drzew decyzyjnych (LightGBM). Wyniki uzyskane pokazały skuteczność zastosowania modeli zastępczych. Finalnie autor rozważa możliwość przewidywania przyszłych sta-

nów prostych automatów komórkowych.

W rozdziale 9 autor rozważa potencjalne rozszerzenia i zastosowania opracowanych podejść. O ile problem optymalizacji ruchu drogowego jest potencjalnie możliwy do implementacji, o tyle modele terapii raka są jeszcze daleko od potencjalnych zastosowań.

Po omówieniu wyników rozprawy chciałbym przejść do finalnego podsumowania.

Zacznę tu od potencjalnych braków rozważanej rozprawy. Autor postawił w rozprawie bardzo ambitny cel analizy układów złożonych. Problem ten jest chyba w swojej ogólności trochę niedookreślony, co więcej uwaga autora skupiła się głównie na stronie implementacyjnej. Zadanie to udało się w praktyce zrealizować dla dwóch podzadań – sterowania ruchem drogowym oraz optymalizacji terapii raka. Odczuwa się w związku z tym pewien niedosyt, gdyż w praktyce znaczna większość eksperymentów dotyczy problemu sterowania ruchem drogowym. Drugim istotnym brakiem rozprawy jest brak jakichkolwiek eksperymentów, porównujących wyniki modeli autora z wynikami prac innych naukowców. Dodatkowo, modele testowane dla ruchu drogowego, są w dużej większości płytkie - brakło tu większej uwagi dla różnych typów sieci grafowych z atencją czy transformerów. Wydaje się także, że mogłyby się sprawdzić różne rodzaje dyskretyzacji dla sieci neuronowych (choćby za pomocą metody Gumbel softmax). Trochę brakuje także większego nacisku implementacyjnego na zrównoleglenie metod optymalizacyjnych w celu umożliwienia większego użycia GPU.

Z pozytywów rozprawy bardzo pozytywnie odbieram fakt, że autorowi udało się zbudować wokół siebie grupę roboczą i zainteresować rozważanymi problemami, eksperymentami i konstrukcją symulacji młodych naukowców. Wyniki osiągnięte w rozprawie i są ciekawe i wartościowe, i mogą stanowić porządną podstawę do przyszłej implementacji. Utworzony symulator ruchu drogowego jest istotnym narzędziem przydatnym dla szerszego środowiska naukowego. Niewątpliwie wrażenie robi duża wiedza autora dotycząca szeroko rozumianych problemów złożonych, problemów optymalizacji, i jego umiejętności implementacyjne. Postawiona rozprawa stanowi także spójną całość która wynika z konsekwentnego zajmowania się autora rozważaną tematyką.

Podsumowując, rozprawa spełnia wszelkie zwyczajowe i ustawowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim, w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.