

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Artura BASIURY  
pt. *Grafowy model formalny współbieżnego projektowania oświetlenia ulicznego*

### 1. Zakres rozprawy

Opiniowana praca doktorska jest rozprawą z zakresu komputerowej optymalizacji złożonych problemów, charakteryzujących się koniecznością przetwarzania dużej ilości danych. Jednym z takich problemów, o ogromnym znaczeniu praktycznym, jest zadanie projektowania systemów oświetleniowych układów komunikacyjnych pod względem optymalizacji zużycia energii, przy jednoczesnym spełnieniu bardzo sformalizowanych wymagań funkcjonalnych i uwzględnieniu licznych ograniczeń technicznych, konstrukcyjnych, czy organizacyjnych.

Mnogość istniejących tu koncepcji, metod i algorytmów nie jest równoznaczna z możliwością ich praktycznego wykorzystania, co głównie wynika z dużej złożoności obliczeniowej rozpatrywanego problemu. Wymaga to stosowania różnych kompromisów i wprowadzania założeń upraszczających, które, z jednej strony, prowadzą co prawda do wyniku uzyskiwanego w akceptowalnym czasie, ale, z drugiej strony, oznaczają przeciętną skuteczność znacząco odbiegającą od oczekiwań użytkowników. Każdą zatem pracę prowadzącą do konstruktywnych algorytmów optymalizacji systemu oświetleniowego ulic, o eksperymentalnie zweryfikowanej skuteczności i efektywności czasowej należy uznać za celową i ważną z praktycznego punktu widzenia i za taką właśnie uważam opiniowaną rozprawę.

Tak więc, tematykę podjętą w rozprawie uważam za oryginalną i w pełni uzasadnioną potrzebami praktycznymi, a z uwagi na stosowaną metodologię, praca stanowi wartościowy i istotny wkład w dyscyplinę informatyki w obszarze budowy formalnych modeli i wydajnych algorytmów z wykorzystaniem struktur grafowych i ich transformacji. Dodatkowo należy podkreślić dużą uniwersalność zaproponowanej koncepcji oznaczającą szerokie możliwości aplikacyjne w różnorodnych „trudnych” praktycznych zadaniach optymalizacyjnych.

## 2. Zawartość rozprawy

Recenzowana praca składa się z 10 rozdziałów, bibliografii zawierającej 123 pozycje (w tym 8 prac (współ)autorstwa Doktoranta), spisu tabeli i rysunków, oraz streszczeń w języku polskim i angielskim i obejmuje 136 stron maszynopisu. W rozdziale 1 (Wstęp) dokonano wprowadzenia w „klimat” pracy, przedstawiono w sposób jednoznaczny cel podjętych badań i tezę rozprawy oraz scharakteryzowano zawartość poszczególnych rozdziałów. Rozdział 2 prezentuje różne ujemne konsekwencje sztucznego oświetlenia przestrzeni miejskich (zanieczyszczenie światłem, wpływ na zdrowie i bezpieczeństwo człowieka) uzasadniając w sposób przekonujący celowość i znaczenie podjętej tematyki pracy. Rozdział 3 obejmuje przegląd norm obowiązujących w projektowaniu oświetlenia, które definiują wymagania, jakie muszą być spełnione przez metody i algorytmy stosowane w procedurach automatycznego projektowania oświetlenia traktów drogowych. W rozdziale dokonano także przeglądu literaturowego dotychczasowych rozwiązań stosowanych w zadaniach optymalnego projektowania oświetlenia.

Kolejne rozdziały zawierają oryginalne wyniki Doktoranta. I tak, w rozdziale 4 przedstawiono nowe podejście do zadania optymalizacji oświetlenia poprzez dekompozycję optymalizacji na tzw. podsegmenty z uwzględnieniem wzajemnego wpływu wyników optymalizacji. Rozdział 5 przedstawia oryginalny model grafowy systemu oświetleniowego obejmujący graf infrastruktury oraz graf wiedzy, który modeluje wiedzę skojarzoną ze strukturą systemu. Opisano tu także reguły transformacji dla wprowadzonych grafów. Rozdziały 6 i 7 są poświęcone platformie do obliczeń równoległych, które – zgodnie z przyjętą koncepcją – bazują na systemie agentowym. Rozdział 8 dotyczy studium przypadku obejmującego problem optymalizacyjny zużycia energii dla rzeczywistego projektu instalacji oświetleniowej w Krakowie. Rozdział 9 pokazuje inne zastosowanie zaproponowanych grafów infrastruktury obejmujące badanie sprawozdań finansowych, demonstrując w ten sposób szerokie możliwości aplikacyjne opracowanej metodologii. Rozdział 10 podsumowuje rozprawę i zawiera także propozycje dalszych badań, zarówno w aspekcie prac podstawowych, jak i zastosowań praktycznych.

Przedstawiona praca prezentuje najważniejsze rezultaty objęte jej tematyką w logicznym i przejrzystym układzie oraz w formie, w której widoczna jest duża dbałość doktoranta o należyty poziom edytorski. Umożliwiło to zaprezentowanie uzyskanych wyników w sposób szczegółowy i kompletny, co zostało w ocenianym tekście dobrze wykorzystane. Ogólnie zatem objętość pracy, jej zakres, sposób ujęcia materiału oraz redakcję całości oceniam pozytywnie.

## 3. Uzyskane wyniki

Celem pracy było wykazanie następującej tezy (cyt.):

*Zastosowanie rozproszonych transformacji grafowych umożliwia wykonanie skalowalnych, optymalnych obliczeń w akceptowalnym czasie.*

Realizacja sformułowanego celu doprowadziła do szeregu szczegółowych i konkretnych osiągnięć, które można ująć w następujące punkty:

1. Zaproponowanie koncepcji optymalizacji oświetlenia metodą CWR (*Custom with Relation*). W metodzie dokonuje się dekompozycji oświetlanego układu ulic na segmenty,

które nie optymalizuje się w sposób niezależny, jak w dotychczasowej metodzie CUST, ale w procesie optymalizacji uwzględnia się parametry punktów oświetleniowych z innych segmentów, mających wpływ na sytuację oświetleniową aktualnie optymalizowanego segmentu.

2. Opracowanie reprezentacji grafowej infrastruktury oświetleniowej. Zaproponowany model bazuje na zdefiniowanym w pierwszej kolejności grafie bazowym (*Base Graph* – BG), będącym abstrakcyjną konstrukcją, obejmującą nie tylko zbiory wierzchołków i krawędzi, ale także zbiory ich typów, typów posiadanych atrybutów oraz funkcje odwzorowujące określone zbiory w inne. Dla wierzchołków i krawędzi grafów BG określono zasady dziedziczenia oraz zdefiniowano reguły transformacji grafów. Reguły te obejmują między innymi operacje powielania podgrafów (*Duplicate*), podziału grafu na podgrafy (*SplitGraph*), połączenia grafów (*Incorporate*) i zmianę struktury grafów zgodną z kontekstem użycia (*TransformToContext*)

Na bazie BG zbudowane zostały dwa kolejne grafy, opisujące konkretne elementy systemu oświetleniowego w obrębie składników struktury (urządzeń) systemu oraz informacji (wiedzy) o urządzeniach, stanowiącej istotny czynnik (np. ograniczenia i wymagania projektowe) wykorzystywane na etapie optymalizacyjnym. Pierwszy graf, zwany IAG (*Infrastructure Abstract Graph*), stanowi opis infrastruktury oświetleniowej. Wierzchołki grafu IAG stanowią zhierarchizowany układ obiektów infrastruktury (ulice, segmenty ulic, podsegmenty, ciągi punktów świetlnych, punkty świetlne, słupy, wysięgniki), a krawędzie ujmuje określone relacje pomiędzy wierzchołkami (np. odległość od krawędzi ulicy do punktu oświetleniowego) lub związki zależności wynikająca z hierarchicznego układu obiektów. Drugi graf KAG (*Knowledge Abstract Graph*) modeluje informacje powiązane z obiektami fizycznymi infrastruktury oświetleniowej. Jego wierzchołki reprezentują atrybuty i typy elementów infrastruktury oświetleniowej (np. typ i moc oprawy, dopuszczalne kąty montażu, geometria wysięgnika, wysokość słupa), a krawędzie wskazują na relacje krytyczne z punktu widzenia projektowanej instalacji (np. rodzaj wysięgnika dedykowany konkretnemu typowi słupa).

Jak wynika z przedstawionej charakterystyki, graf IAG określa strukturalne własności projektowanego systemu oświetleniowego, natomiast graf KAG obejmuje informację odnoszącą się do charakterystyki projektowanej instalacji. Aby otrzymać całościowy model została zaproponowana zasada konsolidacji obu grafów, które łącznie stanowią pełną specyfikację problemu optymalizacyjnego oraz są podstawą realizacji odpowiednich procedur obliczeniowych.

3. Opracowanie mechanizmów przetwarzania grafów IAG i KAG. Podstawą zaproponowanego schematu przetwarzania jest niezależne przetwarzanie grafów IAG i KAG i traktowanie KAG, jako grafu wspierającego operacje na grafie IAG. Prowadzi to do sekwencji przetwarzań, obejmujących kolejno podział grafu IAG na podgrafy, replikowanie dla każdego podgrafu informacji z KAG, tworzenie kompleksów złożonych z podgrafów IAG i replik KAG i ich równoległa optymalizacja. Dodatkowo, aby w procedurze redukcji (optymalizacji) grafów KAG uwzględnić sytuację, w której równolegle przetwarzane podgrafy IAG mają wspólne (współdzielone) węzły, czyli może występować wzajemny wpływ równoległe wykonywanych procesów projektowania, wprowadzono tzw. mechanizm

opóźnionej produkcji polegający na opóźnieniu projektowania/optimalizacji do czasu uzyskania wyników cząstkowych z innego podzadania wykonywanego równoległe.

4. Opracowanie algorytmu optymalnego projektowania systemu oświetleniowego w trybie równoległym w środowisku agentowym. Dzięki zaproponowanej koncepcji podziału grafu IAG na podgrafy, a tym samym dekompozycji przetwarzania grafu na podzadania, możliwe stało się przetwarzanie równoległe, dla którego naturalnym środowiskiem jest system agentowy. Agenci mogą tu niezależnie od siebie dokonywać optymalizacji wyznaczonych podproblemów, a następnie scalać uzyskane cząstkowe rozwiązania w całość. Zwrócono uwagę na problemy związane z równoległą realizacją algorytmów w środowisku agentowym (kryteria podziału grafu na podgrafy, sposób wymiany informacji pomiędzy agentami, określenie rozmiaru obszaru analizowanego przez agenta), które powinny zostać określone w zaproponowanych algorytmach, i które mają istotny wpływ na własności zaimplementowanych procedur obliczeniowych. W zaproponowanym środowisku agentowym wyróżnia się agenta koordynatora/nadzorcy (*Dispatcher agent* – DA) oraz agentów obliczeniowych/optimalizujących (*Region agent* – RA). Zadaniem DA jest nadzór nad przebiegiem obliczeń i zlecanie zadań dla agentów RA, zgodnie z przyjętą strategią. Z kolei agent RA znajduje najlepsze rozwiązanie dla analizowanego obszaru przy jednoczesnym uwzględnieniu rozwiązań dla elementów infrastruktury (wierzchołków grafu IAG) współdzielonych z innymi agentami. Algorytm działania agenta DA składa się z dwóch etapów: wstępne przetwarzanie danych wejściowych i przygotowanie do optymalizacji (podział grafu IAG na podgrafy, szeregowanie podgrafów do przetwarzania według malejącego stopnia wzajemnych powiązań) oraz koordynacja zadań i agentów (przydział zadań obliczeniowych agentom, weryfikacja uzyskanych wyników cząstkowych, tworzenie końcowego rozwiązania). Algorytm działania agenta obliczeniowego sprowadza się do przeszukania zbioru dopuszczalnych rozwiązań (z wykorzystaniem ewentualnych heurystyk), walidacji wyniku i przekazanie rozwiązań do koordynatora.

5. Opracowanie komputerowego systemu agentowego stanowiącego platformę implementacyjną do obliczeń równoległych. Opracowany system z założenia powinien wykazywać się uniwersalnością, która pozwalałaby na realizację obliczeń, niezależnie od kontekstu praktycznego. Cel ten został uzyskany poprzez zapewnienie realizacji następujących funkcji: translacja danych wejściowych do struktury grafowej, modyfikacja struktury grafowej do postaci zgodnej z wybranym kontekstem przetwarzania, dekompozycja grafu głównego i konsolidacja reprezentacji rozproszonej, wykonanie zleconych obliczeń, prezentacja wyników użytkownikowi.

6. Przeanalizowanie problemu projektowania optymalnego systemu oświetleniowego na danych rzeczywistych (studium przypadku). Przeanalizowana sytuacja dotyczy obszaru o różnej charakterystyce (parki, drogi osiedlowe, drogi szybkiego ruchu), obejmującego łącznie 606 odcinków dróg oraz prawie 4 tys. punktów świetlnych. Do rozwiązania zadania zastosowano 3 metody: metodę klasyczną, która uśrednia parametry elementów infrastruktury oświetleniowej, metodę CUST oraz zaproponowane podejście bazujące na schemacie CWR. Uzyskane wyniki dotyczące projektowanej mocy całej instalacji (odpowiednio 153 kW, 130 kW i 126 kW) jednoznacznie pokazują skuteczność opracowanej metody przekładającą się na wyraźną poprawę wskaźników ekonomicznych (zużycie energii) charakteryzujących

projektowana instalację. Porównanie czasów obliczeń prowadzi do wniosku, iż czasochłonność opracowanej metody jest wyraźnie zależna od rozmiaru segmentów, na które jest dekomponowany całościowy problem i – choć czas obliczeń dla proponowanej metody jest najdłuższy, to – biorąc pod uwagę rozmiar analizowanego problemu (skala miasta) – wciąż mieści się w akceptowalnych granicach.

#### 4. Uwagi szczegółowe

W recenzowanej rozprawie dostrzega się usterki, które można ująć w następujące punkty:

1. Kluczowe dla uzyskanych wyników projektowania systemu oświetleniowego określonej przestrzeni miejskiej jest sformułowany problem optymalizacyjny (funkcja celu, ograniczenia, zmienne optymalizujące) oraz metoda służąca do jego rozwiązania. W pracy funkcja celu została przedstawiona jedynie na str. 28 (uwaga na marginesie: brak numeracji wzorów utrudnia dyskusję o treści rozprawy), jako jedna z możliwych, gdyż w dalszej treści rozprawy pojawiają się pomysły innych kryteriów. Brak również szczegółów odnośnie złożonej postaci funkcji celu (str. 32), funkcji składowych ( $f$ ) oraz ograniczeń równościowych i nierównościowych. Ta ostatnia uwaga jest ważna w sytuacji, gdy problem optymalnego projektowania całego systemu jest dzielony na (pod)segmenty, gdyż wtedy właśnie dla każdego optymalizowanego (pod)segmentu mamy do czynienia z lokalną funkcją celu, które łącznie składają się na optymalizowany wskaźnik. Brak również informacji nt. metod optymalizacyjnych. Wiadomo jedynie, że standardowo jest to przegląd zupełny. Ale wiadomo również, że mogą być wykorzystane w procedurze optymalizacyjnej różne heurystyki. Recenzent nie znalazł w pracy żadnego przykładu takiej heurystyki. Nie ma również dyskusji, czy ich zastosowanie gwarantuje uzyskanie rozwiązania optymalnego, co jest ważne z punktu widzenia sformułowanej tezy.
2. W definicji grafu BG występują funkcje, które w dalszym ciągu nigdzie się nie pojawiają (np. w formie przykładów). Jak się wydaje, szczególną rolę do odegrania może mieć funkcja *val*, która dla węzłów i ich atrybutów grafu IAG mogłaby przecież pełnić rolę informacyjną o dopuszczalnych wartościach atrybutów, a tym samym o ich ograniczeniach, czyli mogłaby przejąć rolę nośnika wiedzy ujętej w grafie KAG.
3. Bardzo pomocny przy opisie modelu grafowego i algorytmów projektowania systemu świetlnego w trybie rozproszonym (agentowym) byłby kompleksowy przykład – z jednej strony na tyle prosty, aby można było bez trudu prześledzić wszystkie elementarne kroki poszczególnych procedur (algorytmów), a z drugiej – na tyle złożony, aby pojawiły się w nim sytuacje wzajemnych oddziaływań (współdzielenia) urządzeń poszczególnych segmentów, aby trzeba było je uwzględniać w zdekomponowanym procesie optymalizacyjnym.
4. Niejasne lub dyskusyjne sformułowania:
  - W tekście inne parametry niż w Tab. 2 (str. 26).
  - $B$  we wzorze na str. 28 powinno zależeć od numeru segmentu  $s$ .
  - Niewyjaśniony symbol  $k$  na str. 30.
  - Jakie przykładowo byłyby atrybuty wierzchołka „abstrakcyjny węzeł” (rys. 21) dziedziczone przez wszystkie inne węzły przedstawionej struktury?

- Z rys. 20 wynika, że grafy IAG i KAG są szczególnymi przypadkami grafów BG. Ze zdania poniżej wynika, że grafy te są rozszerzeniem (uogólnieniem) grafu BG.
  - W tab. 7 i na rys. 26 są inne symbole.
  - Zdanie „należy zauważyć .....” (str. 59) jest przedwczesne, bo nie znamy jeszcze procedury optymalizacyjnej.
  - Czy istotnie kontekst działania algorytmu zawiera reguły transformacji grafowych (str. 77)? Są one przecież związane z grafem (BG), który podlega przetwarzaniu, a więc narzędzia do tego przetwarzania nie muszą być powtórnie określane.
  - Parametr wejściowy  $G_{WE}$  nie pojawia się w algorytmach (str. 79).
  - $\Phi$  nie określa reguł podziału grafu na podgrafy (str. 80), ale zawiera jedynie operacje, które taki podział umożliwiają.
5. Usterki redakcyjne i językowe: „W wyżej wymienionej publikacji” (str.12) – powyżej nie ma żadnej wymienionej publikacji, „najmniejszej efektywności” (str. 28), „Zanieczyszczeniem światłem” „zaburzenie rytmy” (str. 15), (z) „Kanadzie” (str. 23), uwzględniała ... kątów montażu (str. 32), w rozdziale 0 (str. 49, 64 i dalej), Definicji 3 (str. 56), punkt świetlnego (str. 57), mało czytelne niektóre rysunki (np. 45 i 46), błędy w algorytmach (KOL\_ODP\_AGENT i ODP\_OD\_AGENT, KOL\_PG i ZKOL\_PG)
6. Edytor wzorów systemu Word powinien być stosowany konsekwentnie, nie tylko do wydzielonych formuł matematycznych, ale także do wzorów znajdujących się w strukturze tekstu. Wtedy uniknęlibyśmy takich sytuacji, że ta sama zmienna jest oznaczana różną czcionką i w różnej formie (np. str. 28-29, str. 32).

## 5. Podsumowanie recenzji - ocena rozprawy

Reasumując stwierdzam, iż mgr inż. Artur Basiura wykazał się dużą wiedzą z zakresu komputerowego projektowania systemów oświetleniowych z wykorzystaniem modeli grafowych, a także opanowaniem i właściwym posługiwaniem się odpowiednim warsztatem naukowym. Przedstawiona praca zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz stanowi istotny i wartościowy wkład w dyscyplinę informatyki w obszarze metod optymalizacji zadań złożonych z wykorzystaniem modeli grafowych i środowiska agentowego. Zawarte w niej rezultaty obejmujące opracowanie modelu grafowego zadania projektowania infrastruktury oświetleniowej, algorytmy optymalnego projektowania systemu oświetleniowego wraz z ich implementacją umożliwiającą przetwarzanie równoległe oraz analizę zaproponowanych modeli i algorytmów w sytuacjach rzeczywistych, są oryginalne i zostały przedstawione na odpowiednim poziomie formalnego matematycznego opisu. Uważam, że praca doktorska Pani mgr inż. Artura Basiury spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez odpowiednią Ustawę i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

M. Basiura