

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mahtab Afsari pt.: „Fuzzy GERT algorithm for research project scheduling”.

(Rozmyty algorytm GERT do harmonogramowania projektów badawczych)

1. Obszar problemowy rozprawy

Planowanie przedsięwzięć wymaga dostępu do wielu, zwykle nieprecyzyjnych lub niepewnych danych dotyczących, tak samej struktury projektu, jego możliwych rozwiązań, jak i czasu trwania oraz kosztu poszczególnych czynności występujących na różnych etapach jego realizacji. W rozwiązywaniu tego typu problemów, zwykle sprowadzających się do wyznaczania czasu realizacji planowanych przedsięwzięć, wykorzystywane są metody sieciowe. W przypadku przedsięwzięć, struktura których jest zdeterminowana (np. przez kolejność czynności realizowanych zgodnie z ich następstwem w czasie) wykorzystywane są takie jak metody jak:

- **CPM** (*Critical Path Method*), stosowana w przypadkach gdy czasy trwania czynności są zdeterminowane,
- **PERT** (*Program Evaluation and Review Technique*), stosowana w przypadkach gdy czasy trwania czynności są niedeterministyczne (np. zadane funkcją gęstości prawdopodobieństwa standardowego rozkładu beta). Metody te znalazły swoje programowe implementacje odpowiednio w pakietach **MS Project**, **Primavera**, itp.

W planowaniu przedsięwzięć, których struktura może ulegać zmianie w trakcie przebiegu prac oraz w strukturze których mogą występować cykle/nawroty/pętle, wykorzystywane są metody sieci stochastycznych, a w szczególności metoda **GERT** (*Graphical Evaluation and Review Technique*). Metoda ta nie znalazła dotychczas swojej programowej implementacji co znacznie ogranicza zakres jej praktycznego wykorzystania. Sieci stochastyczne umożliwiając wielowariantowe ustalanie zależności między zdarzeniami, tzn. dając tym samym możliwość twórczego dobierania (w toku realizacji przedsięwzięcia) alternatywnych, innych niż pierwotnie ustalono dróg postępowania (w tym także pętli sprzężeń zwrotnych) pozwalają planować przedsięwzięcia o charakterze badawczo-rozwojowym. Przedsięwzięcia tego typu charaktery-

zuje ich wielowariantowość oraz niepewność realizacji wynikająca z oceny ryzyka, związanego z realizacją wybranego alternatywnego rozwiązania (tzn. z czasem oraz prawdopodobieństwem realizacji wyodrębnionych w nim czynności).

W tym kontekście, opiniowana praca koncentruje się na zagadnieniach:

- automatyzacji podstawowych etapów procedury GERT związanych z reprezentacją planowanego przedsięwzięcia w notacji sieci stochastycznej uwzględniającej transmitancje poszczególnych łuków,
- redukcji sieci stochastycznej umożliwiającej jej przekształcanie do postaci pozwalającej na interpretację prawdopodobieństw i czasów realizacji nowo wyznaczonych transmitancji.

Przedstawione w rozprawie podejście można zrekonstruować w następujący sposób: Dana jest struktura sieci czynności scharakteryzowanych rozmytymi wartościami czasów realizacji, zadanymi trójkątnymi funkcjami przynależności. Poszukiwany jest wariant rozmytej metody GERT umożliwiający bardziej efektywne (mniej czaso- i pracochłonne) planowanie projektów badawczo-rozwojowych i jednocześnie bardziej precyzyjne określanie czasu i prawdopodobieństwa realizacji projektu w porównaniu do konwencjonalnych, probabilistycznych sieci GERT oraz wybranych rozmytych sieci GERT opracowanych m.in. przez Gavareshki'ego, Itakurę i Nishikawę. Przyjmuje się, że komputerowa implementacja tej metody winna umożliwić interakcyjne planowanie przedsięwzięć w warunkach niepewności.

Reasumując, opiniowana rozprawa koncentrując się na zagadnieniach modelowania, projektowania i programowania wybranych etapów procedury rozmytej sieci GERT, podejmuje ważny i aktualny problem badawczy zorientowany na opracowanie efektywnych narzędzi wspomagających zarządzanie projektami. Oznacza to również, że wpisując się w cel jakim jest „doskonalenie środowiska pracy, w którym praca ludzka jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na wydajność, koszty i jakość pracy” wpisuje się swoją problematyką w zakres dyscypliny inżynieria produkcji (zgodnie z rozporządzeniem Dz.U.2018.1818, leżąc w zakresie dyscypliny „inżynieria produkcji” rozprawa ta wpisuje się również w dyscyplinę „inżynieria mechaniczna”). Elementy nowości zaproponowanego podejścia przejawiają się tak w próbie opracowania metodyki komputerowo wspomaganego planowania przedsięwzięć modelowanych w rozmytych sieciach GERT, jak i autorskich, implementowanych komputerowo procedurach redukcji sieci, wyznaczania transmitancji zastępczej grup czynności oraz analizy wrażliwości i oceny ryzyka.

Uważam, że podjęcie przedstawionej problematyki, w rozprawie o charakterze metodologiczno-eksperymentalnym jest uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak i możli-

wości wielu praktycznych zastosowań związanych z zarządzaniem projektami badawczo-rozwojowymi.

2. Kompozycja i treść rozprawy

Rozprawa napisana w języku angielskim, licząca 299 stron, została podzielona na sześć rozdziałów uzupełnionych streszczeniami, wykazem 131 pozycji literaturowych, listami symboli i skrótów, a także szeregiem załączników głównie prezentujących liczbowe wyniki eksperymentów obliczeniowych. Oprócz wspomnianego spisu literatury Doktorantka załączyła listy swoich prac opublikowanych w czasopismach naukowych oraz materiałach konferencyjnych. Niektóre z tych publikacji powtarzają się we wszystkich trzech listach, np. :” Lachmayer, R., Afsari, M., & Hassani, R. (2014b). C# method for all Types of Nodes in fuzzy GERT. International Journal of Artificial Intelligence and Neural Networks - IJAINN, Volume 5: Issue 1, 30”. W przedstawionych wykazach Doktorantka występuje łącznie w trzech współautorskich pracach opublikowanych w materiałach konferencyjnych, w dwóch współautorskich pracach opublikowanych w czasopismach oraz w jednej autorskiej wydanej w czasopiśmie z IF = 0.35. Reasumując, cytowane w rozprawie źródła bibliograficzne obejmują ważniejsze literaturowe pozycje z zakresu przedmiotu rozprawy.

Z merytorycznego punktu widzenia, w rozprawie wyodrębnić można trzy zasadnicze części. W części pierwszej, posiadającej wprowadzająco-systematyzujący charakter (obejmującej rozdziały 1-3) przedstawiono genezę podjętego tematu, sformułowano problem i cel rozprawy, przedstawiono pytania badawcze, a także przyjętą metodykę badań. Warto tutaj zwrócić uwagę na przyjęty schemat redakcyjny (zachowany również w rozdziałach pozostałych dwóch części pracy) – każdy z rozdziałów rozpoczyna podrozdział „wprowadzenie” i kończy podrozdział „konkluzje”.

W części tej, w ramach przeglądu literatury tematu, omówiono główne zagadnienia podejmowane w zakresie zarządzania przedsiębiorstwami badawczo-rozwojowymi (w szczególności obejmujące zarządzanie kosztem, jakością i ryzykiem, a także czasem realizacji przedsięwzięcia) oraz wybrane sieciowe metody planowania przedsięwzięć, takie jak CPM, PERT i GERT. Wskazując na zaobserwowaną lukę badawczą związaną z brakiem metod umożliwiających komputerowo wspomaganie planowanie projektów w warunkach niepewności (tzn. o rozmytym charakterze zmiennych decyzyjnych), a w szczególności przedsięwzięć, w których występuje konieczność nawrotów (tzn. powtarzania w pętli wybranych grup operacji) oraz dopuszczalne jest wariantowanie ich realizacji, zaproponowano autorską, obejmującą 10 etapów, metodykę badawczą. Monograficzna, bardzo lapidarna formuła prezentacji tej części rozprawy stanowi

jej główną zaletę. Stwarzając wrażenie swoistych wypisów z literatury przedmiotu, nadaje tej części pewien syntetyczny, faktograficzny charakter skutkujący niejednokrotnie brakiem przykładów ilustracyjnych, a także szerszych autorskich uwag i komentarzy. Potencjalnymi obszarami tego typu uwag mogłyby być tutaj np. wnioski płynące z przykładowych, obserwowanych w praktyce, prób wykorzystania komputerowo implementowanych metod planowania przedsięwzięć.

Pewien niedosyt w tym kontekście budzi również brak szerszej dyskusji ukazującej możliwości hybrydyzacji sieciowych metod planowania oraz kompilacji ich z technikami „cyfrowego bliźniaka” czy też uczenia maszynowego.

Część druga (rozdział 4), zawierająca główne, poznawcze wyniki rozprawy, poświęcona została przedstawieniu badań sygnalizowanych we wspomnianych już 10 etapach przyjętej metodyki badawczej. Do istotniejszych w tym zakresie należy zaliczyć prace dotyczące klasyfikacji sieci GERT, upraszczania (redukcji) struktury sieci i odchyień czasów czynności, oraz algorytmy planowania przedsięwzięć o różnych skalach złożoności.

Mocną stroną tej części pracy, stanowi dbałość Doktorantki o szczegóły opisu prowadzonych badań, widoczna m.in. w przedstawianiu sposobu przeprowadzania wywiadów (mających na celu określenie czynników) decydujących o stopniu złożoności struktury rozważanej sieci GERT oraz wykorzystania programu Expertise2go (do klasyfikacji sieci GERT według przyjętych stopni złożoności ich struktury), a także w przedstawianiu procedur planowania przedsięwzięć wariantowanych w środowiskach algorytmów genetycznych i sztucznych sieci neuronowych. Uzyskany w ten sposób, m.in. w wyniku tak szeroko zakrojonych badań, zbiór alternatywnych procedur planowania pozwolił na wybór najbardziej efektywnego rozwiązania.

Spośród niedostatków, głównie redakcyjnych, tej części rozprawy warto wskazać na często stosowane, mało przyjazne, odwołania tak do wcześniejszych, jak i przyszłych partii materiału (przykładowo: „The GERT network model of *this case study* was previously shown in Section 4.3.3, Figure 4.13. The details of this GERT network are described in Table 5.5.”) oraz na zakłócający tempo jego narracji (niepotrzebny w tej części) rozdział 4.4; wprowadzający do liczb rozmytych. Tak przy okazji, warto zauważyć, że w sieci z rys. 4.13 występuje wierzchołek o numerze 1, natomiast w tabeli 5.5 i związanych z nią (zredukowanych wersjach sieci z Rys. 4.13) tzn. na rys. 5.4 i rys. 5.5 już nie. Pomijając wiele innych tego typu usterek i niedociągnięć, warto zwrócić uwagę na brak dyskusji przyjętego sposobu wyznaczania czasu czynności powtarzających się cyklicznie. Wydaje się, że kolejne powtórzenia tych samych czynności powinny być co najmniej różne. Podobne uwagi dotyczą braku przekładów ilustrujących różnice występujące pomiędzy rozważanymi modelami sieci GERT, np. z i bez przypisanych po-

ziomów przynależności (membership degree), a także różnice występujące pomiędzy poziomem przynależności, a funkcją przynależności itp. W tym kontekście warto również zwrócić uwagę na brak stosownej dyskusji efektu „zasady rozszerzania” L. Zadeha, efektu występującego w klasycznej algebrze liczb rozmytych i związanego ze zwiększaniem rozmytości przy wykonywaniu kolejnych działań.

W części trzeciej (obejmującej rozdziały 5 i 6), podejmującej próbę oceny i wyboru rozwiązania (jednego spośród 10 opracowanych) zwracającego wyniki planowanych przedsięwzięć najbliższe terminom ich faktycznego ukończenia przeprowadzono szereg pracochłonnych testów obejmujących przypadki sieci o różnych stopniach złożoności. Rozważane przypadki sieci dotyczyły siedmiu projektów badawczo-rozwojowych, różnej skali i charakteru. Podobnego typu eksperymenty, przeprowadzono dla wybranych, sześciu znanych metod planowania przedsięwzięć (CPM, PERT, probability GERT, fuzzy GERT i FGERT Gavareshki).

Dla dwóch spośród rozważanych studiów przypadku (4-ego i 5-ego) przeprowadzone zostały również eksperymenty mające na celu ocenę wrażliwości opracowanych rozwiązań. W obu przypadkach, korzystających z modelu α - przekrojów rozmytych wartości czasów realizacji, zadanych trójkątnymi funkcjami przynależności, potwierdzono liniową zależność czasu realizacji przedsięwzięcia od wielkość α - przekroju.

Słabością tej części rozprawy jest brak bardziej szczegółowego przedstawienia przypadków referencyjnych rozważanych w wykorzystywanych studiach przypadku. Brakuje w nich cech oddających badawczo-rozwojową specyfikę projektu, tzn. cech wpływających np. na konieczność planowania powtórzeń, czy też możliwość uwzględnienia rozwiązań alternatywnych. Zabrakło też moim zdaniem głębszej dyskusji kierunków przyszłych badań zapoczątkowanych w opiniowanej rozprawie.

Pewnym niedostatkiem tej części rozprawy jest również brak wcześniej przedstawionego planu przeprowadzanych eksperymentów, a także brak odpowiedzi na pytania badawcze sformułowane w Rozdziale 1.5. Szkoda, że Doktorantka nie przedstawiła przykładowego scenariusza ilustrującego możliwości praktycznego wykorzystania opracowanego przez siebie algorytmu rozmytej metody GERT. Szkoda również, że nie udostępniła elektronicznej wersji wykorzystywanego przez siebie oprogramowania metody.

W podsumowaniu tej części, należy zauważyć, że wyniki, szeroko zakrojonych i bardzo rzetelnie przeprowadzonych, badań potwierdzających możliwość opracowania metody planowania przedsięwzięć, konkurencyjnej w stosunku do aktualnie dostępnych, składają się na oryginalny i ważki dorobek Doktorantki.

3. Oryginalne osiągnięcia

Zmierzając do osiągnięcia zamierzonych przez siebie celów, m.in. do opracowania konkurencyjnej, względem aktualnie dostępnych w literaturze przedmiotu, autorskiej wersji metody FGERT, umożliwiającej komputerowo wspomaganie planowanie projektów badawczo-rozwojowych, Doktorantka uzyskała szereg nowych rezultatów. Do ważniejszych z nich, wyróżniających je spośród dostępnych w literaturze przedmiotu, można zaliczyć:

1. Identyfikację i ocenę kluczowych kryteriów decydujących o ocenie efektywności i dokładności algorytmów implementujących metodę GERT w planowaniu przedsięwzięć badawczo-rozwojowych.
2. Opracowanie i komputerową implementację procedur planowania przedsięwzięć różnej skali wielkości w modelu metody fuzzy GERT.
3. Opracowanie prototypu środowiska wspomagającego eksperymenty komputerowe i wykorzystanie go do przeprowadzenia eksperymentów weryfikujących efektywność opracowanych procedur planowania przedsięwzięć różnej skali.
4. Zaplanowanie i przeprowadzenie szeregu eksperymentów i analiz porównawczych, weryfikujących efektywność opracowanych wariantów algorytmu planowania przedsięwzięć w warunkach niepewności na tle wybranych metod harmonogramowania takich jak CPM, PERT, probability GERT, fuzzy GERT.
5. Zaplanowanie oraz przeprowadzenie szeregu eksperymentów i analiz wrażliwość proponowanych algorytmów planowania uwzględniających skłonności ekspertów do podejmowania ryzyka, w modelu α - przekrojów rozmytych wartości czasów realizacji, zadanych trójkątnymi funkcjami przynależności.

Reasumując uważam, że uzyskane rezultaty potwierdzają kwalifikacje Doktorantki umożliwiające Jej swobodne poruszanie się zarówno w obszarach zagadnień z zakresu zarządzania przedsięwzięciem, modelowania, programowania i symulacji procedur implementowanych w formalizmach algorytmów genetycznych oraz sztucznych sieci neuronowych (w szczególności przy użyciu **C++**, **C#**, **Matlab**, **SLAM-Simulation Language for Alternative Modeling**), a także oprogramowania systemów ekspertowych, jak np. **Expertise2Go** oraz pakietów implementujących techniki **AHP** (*Analytic Hierarchy Process*), **FAHP**, **TOPSIS** (*Technique of Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) wykorzystywanych do programowania i planowania eksperymentów badawczych, potwierdzają również, że Doktorantka potrafi podejmować i samodzielnie realizować zaplanowane cele poznawcze.

4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury.

Uwagi ogólne:

1. Na tle bardzo licznych czaso- i pracochłonnych, rzetelnie przeprowadzonych analiz i eksperymentów odczuwalny jest brak próby całościowego uporządkowania uzyskanych wyników. Niedosyt ten, w szczególności, dotyczy dyskusji wyników badań składających się na przedstawioną na Rys. A.23 strukturę algorytmu zaproponowanej metody – strukturę ilustrującą schemat metodyki problemowo zorientowanego planowania przedsięwzięć modelowanych w rozmytych sieciach GERT. Interesującym w tym kontekście byłby tutaj również opis przykładowego scenariusza ilustrującego możliwości wykorzystania opracowanego algorytmu fuzzy GERT.
2. Przedstawione w pracy sposoby redukcji grafów rozmytych mogą być arbitralnie stosowane co może prowadzić do kilku alternatywnych wariantów realizacji przedsięwzięcia, a zatem do różnych wyników. Dyskusja tego wątku w kontekście oceny wrażliwości wyniku końcowego na przyjęty sposób redukcji grafów rozmytych wydaje się być równie ważna jak przedstawiana w rozprawie analiza oceny wrażliwości ryzyka.
3. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów mających na celu ocenę efektywności opracowanej metody planowania przedsięwzięć odnoszą się do danych historycznych uzyskanych z przebiegu arbitralnie wybranych 7 projektów badawczo-rozwojowych. Pomijając wielkość rozważanej próbki szczególnie istotnym dla oceny skuteczności proponowanej metody byłby jakikolwiek test typu *ex ante*, odnoszący się do jej praktycznej weryfikacji, np. do projektu jakim jest recenzowana rozprawa, a dokładnie mówiąc przedstawiany w niej autorski algorytm rozmytej metody GERT.

Uwagi szczegółowe:

Oprócz wcześniej już wspomnianych, wartościowych aspektów rozprawy warto również wskazać na jej niedostatki:

1. Lekturę pracy bardzo utrudnia brak pełnej listy stosowanych w jej tekście skrótów, symboli i oznaczeń, a także zwyczajowo dołączanych list tabel i rysunków. Konsekwencje tego braku widoczne są m.in. w zapisach formuł, np. (4.7) $V(S_i \geq S_k) = \alpha S_i(d) = \dots$ symbol α podany jest bez wyjaśnienia podobnie jak symbole μ i $\mu(x)$ z rysunków 4.23 i 4.24. Podobna uwaga dotyczy braku stosownego glosariusza terminów technicznych wykorzystywa-

nych

w tekście pracy.

2. Rozprawa sprawia wrażenie pisanej w pośpiechu, bardzo widoczny jest tutaj brak korekty tak autorskiej, jak i redakcyjnej. Brak tej staranności widać m.in. w wielu usterkach typograficznych, niezręcznościach i/lub błędach stylistycznych. Przykładowe z nich to:
- błędy formalne np.: wiele spośród zamieszczonych rysunków i tabel bądź to nie ma załączonych „Legend” lub te, już załączone nie są kompletne przykładowo rys. ze str. 154 nie ma podpisu, schemat z rys. 4.40 jest nieoprawny, podobnie zapis formuły (4.8) $V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \dots, (S \geq S_k)) = \dots$ jest niepoprawny (wykorzystywany w niej operator min odnosi się do zbioru, a nie do sekwencji), to samo dotyczy wiersza *Path numer 6: 1 → 2 → 3 → 4 → 1 → 1 → 2 → 3 → 4 → 1*, ze str. 154, itd., itp.
 - usterki typograficzne np.: 133⁶ „... a back box ...” 153¹³, „... *Artificial neural networks...*” 101¹, „... *If there are we have more than three parallel paths ...*”, 164¹⁵, „... *This indicates that in the proposed method, in order to make it possible to complete the project within the predicted time, the predicted values must be considered higher (must be assumed to be higher?)....*”.
 - niezręczności, skróty myślowe i/lub błędy stylistyczne np.: „77², ... *in the fuzzy situation...*”, 173₆, „... *Since the training error was about one percent, and this error is not accurate, it was not a good reference and cannot be cited....*”, 153₂, „... *Fault-tolerant (similar to eyes able to adjust itself according to the distance between subject and eyes, or when your hand vibrate when you write some things it is able to detect handwriting)...*”, 66¹, „... *In addition, you need more time for a complex GERT model than a simple GERT model. Maybe you could not simulate a GERT model when your time is short. Mistakes in the simulation are considerable. Moreover, you are not sure about the result of the simulation....*”, itd.
 - bardzo liczne powtórzenia, np.: ten fragment: „... *For simplification, we have considered three parallel paths to analyze. If we have more than three parallel paths, we should consider first three parallel paths and analyze them. Then we have to combine the results of three parallel path with other parallel paths. This is because of the restriction in our developed software....*” powtórzony jest dwukrotnie na 101¹ i 123¹, „... *Figure 4.48 shows the steps of the algorithm for the defuzzified version with con-*

sidering MD (Membership Degree). This algorithm is similar to above version but uses MD (Membership Degree) computation....” 151₂, podobnie tekst ze str. 80 :

This thesis includes six chapters and appendices:

Chapter 1: Research overview

Chapter 2: Background and literature review

Chapter 3: Research methodology

.....

Chapter 6: Main achievements and final conclusions

Appendix 1: Questionnaire 1

....

Appendix 4: Questionnaire 4

Appendix 5: Moment generating functions

....

Appendix 9: Data analysis process using ANP and Fuzzy ANP methods

Appendix 10: Description of a developed software and its implementation

pojawia się w cytowanym, na wstępie rozprawy, spisie treści, itp.

Część z tych uwag, zwłaszcza dotyczących sposobu prezentacji oraz uzasadnienia celowości badań, ma charakter polemiczny i potencjalnie może być wykorzystana w dalszym publikowaniu wyników pracy.

5. Konkluzja

Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr inż. Mahtab Afsari przedstawiona została oryginalna metoda planowania przedsięwzięć badawczo-rozwojowych – lepszych pod względem kryterium jakości oraz czasu obliczeń niż inne arbitralnie wybrane, znane z literatury, referencyjne metody Fuzzy GERT. Uważam też, że przedstawiony, związany z jej opracowaniem, przebieg badań stanowi swoistą próbę opracowania metodyki syntezy problemowo zorientowanych, komputerowo wspomaganých metod planowania implementujących paradygmat rozmytych sieci GERT.

Mimo dostrzeżonych i wyżej omówionych niedostatków opiniowanej pracy uważam, że przedstawiony w niej dorobek naukowy uzasadnia jej **dopuszczenie** do publicznej obrony mającej na celu nadanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie „inżynieria produkcji”. W mojej opinii, wymogi stawiane tego typu pracom w odpowiedniej Ustawie o tytule i stopniach naukowych zostały spełnione w stopniu zadawalającym. Na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Mahtab Afsari do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

