

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
POLSKO-JAPOŃSKIEJ AKADEMII
TECHNIK KOMPUTEROWYCH

Tytuł rozprawy: Application of nature inspired algorithms to maximum lifetime coverage problem in wireless sensor networks

(Zastosowanie algorytmów inspirowanych naturą do problemu maksymalizacji czasu życia pokrycia w bezprzewodowych sieciach sensorowych)

Autor rozprawy: mgr inż. Antonina Tretyakova

1. Problem naukowy rozprawy

Rozprawa poświęcona jest problemowi maksymalizacji czasu życia pokrycia w bezprzewodowych sieciach sensorowych.

Przez sieć sensorową $S = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, rozumie się zbiór urządzeń, s_i , komunikujących się ze sobą, z reguły o małych rozmiarach, zwanych sensorami lub węzłami sensorowymi. Liczba urządzeń, N , tworzących sieć jest zwykle duża. Sieć umożliwia monitorowanie jej otoczenia, zbieranie danych dotyczących środowiska, w którym jest zainstalowana, oraz realizowanie innych zadań. W wielu przypadkach sensory są rozmieszczone w monitorowanym środowisku F w sposób losowy, przy czym dostęp ludzi do środowiska jest ograniczony lub niemożliwy, np. na pustyniach, w lasach, w górach, albo w terenach trudno dostępnych. Z tego względu baterie zasilające sensory nie mogą być zwykle doładowywane lub wymieniane. Wyczerpywanie się baterii powoduje zmianę topologii sieci bezprzewodowej, wpływa na jakość jej pracy, a także redukuje czas jej życia. Z uwagi na małe rozmiary, węzeł sensorowy ma określone ograniczenia, wśród których można wymienić: skończoną ilość energii zasilającej wyznaczającej moc obliczeniową sensora, zdefiniowany obszar, który sensor jest w stanie śledzić, zasięg oraz szybkość transmitowania danych, i in. Zakłada się, że dowolny sensor s_i w może pozostawać w przedziale czasowym t_j w stanie aktywnym (ON, włączony) lub uśpionym (OFF, wyłączony), oraz że określone są dla niego zakres śledzenia R_s oraz pojemność baterii równa b jednostek energii (w rozprawie przyjęto, że sensory są homogeniczne, tj. mają takie same wartości R_s i b). Pojedyncza jednostka zapewnia aktywną pracę sensora w dowolnym przedziale czasowym t_j . Niech $S(s_i, t_j) \in \{ON, OFF\}$ oznacza stan sensora s_i w przedziale czasowym t_j .

Aby sformułować problem rozważany w rozprawie potrzebne są następujące pojęcia.

Dane jest środowisko (pole) F w kształcie prostokąta o rozmiarach $W \times H$, na którym została rozpięta regularna siatka z krokiem g , zarówno w poziomie, jak i w pionie. Na przecięciu poziomych oraz pionowych linii siatki występują tzw. punkty zainteresowania, $z(x, y)$, które powinny być śledzone, gdzie x oraz y są współrzędnymi punktu w polu F . Na polu F zostały rozmieszczone w sposób losowy sensory sieci bezprzewodowej $s_i(x_i, y_i) \in S$, $i = 1, 2, \dots, N$, gdzie x_i oraz y_i są współrzędnymi sensora w polu F . Mówimy, że sensor $s_i(x_i, y_i)$ pokrywa punkt zainteresowania $z(x, y)$, jeśli odległość euklidesowa między sensorem a punktem zainteresowania jest mniejsza od zakresu śledzenia sensora R_s .

Niech $p_j(s_j)$ oznacza zbiór punktów zainteresowań pokrytych przez sensor s_j . Wówczas zbiór wszystkich punktów zainteresowań pokrytych przez aktywne sensory sieci w przedziale czasowym t_i jest równy: $\mathcal{P}(t_i) = \cup_{j=1}^N (p(s_j) | S(s_j, t_i) = ON)$. Stopień pokrycia $c(t_i)$ pola

F w przedziale czasowym t_i jest równy ilorazowi liczby $|\mathcal{P}(t_i)|$ punktów zainteresowań pokrytych przez aktywne sensory sieci oraz liczby P wszystkich punktów zainteresowań w polu F : $c(t_i) = |\mathcal{P}(t_i)|/P$. W rozprawie przyjęto warunek, by stopień pokrycia wynosił q , $0 < q \leq 1$, tj. powinno zachodzić $c(t_i) \geq q$ (czasami z dokładnością $\pm\delta$).

Problem maksymalizacji czasu życia pokrycia w bezprzewodowej sieci sensorowej sformułowany jest następująco.

Niech dana będzie rodzina zbiorów $\overline{\mathcal{P}} = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$, gdzie poszczególne zbiory p_i zawierają punkty zainteresowań pokryte przez sensor s_i . Należy znaleźć maksymalną liczbę m zbiorów w ciągu $\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_m$, gdzie każdy zbiór \mathcal{P}_i , będący sumą wybranych elementów rodziny $\overline{\mathcal{P}}$, spełnia warunek pokrycia:

$$\frac{|\mathcal{P}_i|}{P} \geq q. \quad (1)$$

Ponadto każdy zbiór p_i rodziny $\overline{\mathcal{P}}$ powinien być zawarty w b zbiorach $\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_m$, tzn. dla pewnego ciągu indeksów j_1, j_2, \dots, j_b powinno zachodzić:

$$p_i \in \mathcal{P}_{j_1}, p_i \in \mathcal{P}_{j_2}, \dots, p_i \in \mathcal{P}_{j_b}. \quad (2)$$

Ciąg zbiorów $\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_m$ zwany jest również harmonogramem włączeń i wyłączeń sensorów, przy czym każdy zbiór \mathcal{P}_i określa aktywne sensorom w przedziale czasowym t_i , zaś m wyznacza maksymalny czas życia pokrycia w sieci sensorowej. Warunek (2) mówi, że każdy sensor użytkuje całość dostępnej energii, będąc aktywnym w wybranych przedziałach czasowych t_i działania sieci.

Sformułowany powyżej problem maksymalizacji czasu życia pokrycia w bezprzewodowej sieci sensorowej należy do klasy problemów NP-trudnych.

2. Teza (cele) rozprawy

W rozprawie Autorka nie sformułowała tezy, nie jest więc jasne co chciała wykazać. Stwierdziła natomiast, że celem rozprawy jest zastosowanie algorytmów inspirowanych naturą oraz algorytmów korzystających z wiedzy o problemie, w celu jak najlepszego jego rozwiązania.

Jak już wspomniano, problem polega na maksymalizacji czasu życia pokrycia w bezprzewodowych sieciach sensorowych. Problem ten jest rozwiązywane za pomocą algorytmów scentralizowanych oraz algorytmów o charakterze lokalnym (ang. localized algorithms). Rozwiązując rozważany problem, Autorka precyzuje cele częściowe (podrozdział 1.2). Cele wymienione poniżej dotyczą algorytmów scentralizowanych:

- Opracowanie i zaimplementowanie algorytmu zachłannego.
- Opracowanie i zaimplementowanie algorytmu symulowanego wyżarzania.
- Opracowanie i zaimplementowanie algorytmu genetycznego z użyciem wiedzy o rozwiązywanym problemie.
- Eksperymentalna weryfikacja powyższych algorytmów dla opracowanych testów wzorcowych sieci o różnych gęstościach.

Oprócz tego w rozprawie badane są algorytmy o charakterze lokalnym (zwane również algorytmami rozproszonymi). Sformułowano dla nich następujące cele:

- Opracowanie i zaimplementowanie algorytmów opartych na grafowych automatach komórkowych.
- Eksperymentalna weryfikacja tych algorytmów z zastosowaniem różnych reguł uaktualniania stanu.

3. Aktualność i ważność tematyki rozprawy

Nie ulega wątpliwości, że tematyka przedstawionej rozprawy, w której rozważane są zagadnienia bezprzewodowych sieci sensorowych, jest aktualna i ważna. Sieci te znajdują obecnie wiele zastosowań w różnych dziedzinach życia. Przykładowo, sieci są stosowane do kontrolowania procesów przemysłowych w miejscach trudnodostępnych, odległych, oraz z elementami będących w ruchu. Wiele zastosowań dotyczy monitorowania różnego rodzaju środowisk, np. leśnych, rolnych, miejskich, w tym budynków mieszkalnych (mierzenie parametrów życiowych), a także terenów niebezpiecznych bądź odległych, np. powierzchnie planet, dna oceanów, terenów skażonych radiacją. Bardzo użyteczne są zastosowania medyczne do monitorowania czynności życiowych w oparciu o dane przekazywane z osobistych sensorów noszonych przez pacjentów. W ogólnym przypadku, sensory mogą dokonywać pomiarów temperatury, wilgoci, natężenia i wysokości fal akustycznych, obecności lub braku obiektu, także jego ruchu. To stwarza możliwości zastosowań militarnych, śledzenia zjawisk meteorologicznych, obserwacji habitatów zwierząt, i wiele innych.

4. Ocena oryginalnego dorobku Autorki, jego znaczenie poznawcze oraz przydatność praktyczna dla nauki i techniki

Oryginalny dorobek Autorki zawarty jest w punkcie 2.3.1 oraz rozdziałach 4–8 rozprawy. Do dorobku tego należy zaliczyć:

- (a) Opracowanie dziewięciu testów wzorcowych dotyczących bezprzewodowych sieci sensorowych o liczbie sensorów 100, 200 i 300, oraz trzech różnych, losowych sposobach ich rozmieszczenia w polu śledzenia (p. 2.3.1). W trakcie badania algorytmów z użyciem powyższych testów rozważano także różne liczby i rozmieszczenia punktów zainteresowań, oraz różne pojemności baterii b oraz zakresy śledzenia sensorów R_s .
- (b) Opracowanie dwóch zachłannych algorytmów heurystycznych z lokalną optymalizacją, nazwanych *greedy-one* i *greedy-random*. Różnią się one sposobem ustalenia rozwiązania początkowego oraz metodami wyznaczenia następnego rozwiązania na podstawie rozwiązania bieżącego. Podczas badań eksperymentalnych określono wpływ wielkości charakteryzujących dane testowe, np. takie jak δ , R_s , q , b , na efektywność oraz jakość wyników uzyskiwanych przez algorytmy. Badania pokazały, że algorytm *greedy-random* w większości przypadków dawał lepsze rezultaty niż *greedy-one* (rozdział 4).
- (c) Opracowanie dwóch wersji algorytmu symulowanego wyżarzania z losowym budowaniem rozwiązań sąsiednich oraz z zastosowaniem elementów wiedzy o problemie. W badaniach eksperymentalnych dobrano parametry algorytmu oraz określono wpływ wielkości związanych z rozwiązywaniem problemem na jakość uzyskiwanych rezultatów (rozdział 5).
- (d) Opracowanie algorytmu genetycznego dla rozwiązywania rozważanego problemu. Zastosowano selekcję elitarną i turniejową, oraz zbadano eksperymentalnie kilka wersji operatorów krzyżowania i mutacji, w szczególności te uwzględniające wiedzę o rozwiązywaniu problemie (rozdział 6).
- (e) Przeprowadzenie badań porównawczych zaproponowanych algorytmów scentralizowanych, tj. algorytmu zachłannego, symulowanego wyżarzania oraz genetycznego. Badania miały na celu stwierdzenie, które z algorytmów osiąga najlepsze wyniki pod względem jakościowym (rozdział 7). Do badań porównawczych wybrano najlepsze wersje tych algorytmów wyselekcjonowane w rozdziałach 4–6. Stwierdzono, że najgorsze wyniki daje algorytm genetyczny, natomiast algorytmy zachłanny i symulowanego wyżarzania były raz lepsze, a raz gorsze w zależności od testu wzorcowego.
- (f) Opracowanie, zaimplementowanie oraz eksperymentalna weryfikacja wyników działania algorytmu rozproszonego opartego na grafowych automatach komórkowych. Stosowane automaty miały zmienną konfigurację komórek oraz połączeń między nimi, co zależało od struktury sieci sensorowej i parametrów obszaru podlegającego śledzeniu. W badaniach eksperymentalnych użyto wybranych reguł uaktualniania stanu automatów (rozdział 8).

Oceniając dorobek rozprawy należy zauważyć, że rozwiązywany w niej problem należy do klasy problemów NP-trudnych. Zakres rozprawy jest bardzo szeroki, można nawet dyskutować czy nie za szeroki (sam tekst rozprawy liczy 187 stron, co istotnie przekracza zwyczajowe objętości rozpraw doktorskich).

Autorka rozwiązała analizowany problem za pomocą scentralizowanych oraz lokalnych (rozproszonych) algorytmów heurystycznych. Dla poszczególnych algorytmów przedstawiła kilka ich wersji. Rozprawa ma charakter eksperymentalny. Autorka przeprowadziła bardzo szczegółowe i wnikliwe badania algorytmów, korzystając z opracowanych testów wzorcowych opisujących przykładowe, bezprzewodowe sieci sensorowe. Bogate i ciekawe wyniki eksperymentalne, które uzyskała, stanowią cenny materiał źródłowy do dalszych badań nad efektywnym rozwiązaniem trudnego problemu optymalizacyjnego.

Strona teoretyczna rozprawy jest słabsza, co jest wadą rozprawy. Ograniczając nieco zakres badań eksperymentalnych, być może należało przytoczyć pewne literaturowe wyniki (lub podjąć próbę ich rozwinięcia) dotyczące np. zbieżności i skuteczności zastosowanych algorytmów heurystycznych. W ten sposób uzyskano by szersze spojrzenie na efektywność oraz przydatność przybliżonych algorytmów heurystycznych do rozwiązywania problemów NP-trudnych, w szczególności problemu pokrycia. Uwaga ta ma charakter dyskusyjny.

Podsumowując ocenę dorobku rozprawy stwierdzam, że jej cele zostały osiągnięte, zgodnie z założeniami sprecyzowanymi w podrozdziale 1.2.

5. Wiedza Autorki oraz znajomość współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa

Autorka rozprawy wykazuje bardzo dobrą znajomość dorobku literaturowego dotyczącego zagadnień, którym poświęcona jest rozprawa. Przegląd tych zagadnień znajduje się w podrozdziale 2.4 oraz rozdziale 3. W podrozdziale 2.4 omówione są dotychczas osiągnięte rezultaty w rozwiązywaniu problemu maksymalizacji czasu życia pokrycia w sensorowych sieciach bezprzewodowych, natomiast w rozdziale 3 zawarto ogólne omówienie heurystycznych algorytmów inspirowanych naturą.

6. Wady i słabe strony rozprawy, uwagi dyskusyjne

Rozprawa jest trudna w czytaniu. Używana terminologia jest miejscami nieprecyzyjna i stosowana niekonsekwentnie, np. niektóre wielkości są definiowane bądź oznaczane w różny sposób. Język angielski, którym napisana jest rozprawa pozostawia wiele do życzenia. W rezultacie są fragmenty, co do których trzeba się domyślać co Autorka chciała powiedzieć. Wśród wad, słabych stron i uwag dyskusyjnych dotyczących rozprawy, można wymienić co następuje:

- (a) Wzór (2.3) na str. 10: $Lifetime(q) = \sum_{i=1}^{T_{\max}} i |_{cov(i) \geq q}$ jest błędny. Określa sumę arytmetyczną(!) kolejnych wartości i , z wyłączeniem tych, które nie spełniają warunku $cov(i) \geq q$. Jaką interpretację ma rezultat takiej sumy w kontekście definiowanej wielkości $Lifetime(q)$? Ponadto we wzorze brakuje nawiasu klamrowego „}”, jak również nie wyjaśniono co oznacza T_{\max} i jaką ma wartość (tu powinno być odwołanie do p. 2.3.2).
- (b) Na str. 12 stwierdzono, że T_{\max} jest predefiniowaną stałą. Chyba należało dodać, że wielkość tej stałej jest funkcją parametrów q , R_s oraz b , czyli zachodzi $T_{\max}(q, R_s, b)$.
- (c) Na str. 13 mamy np. określenie „Reduntant Subsequence” (RS), a na rys. 2.2 RS to „Redundant sequence”. Czy nadmiarowa podsekwencja składa się z nadmiarowych sekwencji?
- (d) Na rys. 2.2 przedział czasowy t_7 jest pokolorowany jako Excellent sequence, choć nie spełnia on warunku (2.9): $|0.6 - 0.55| \leq 0.01$. Rzecz się wyjaśnia na str. 15, gdzie mówi się, iż $q = 0.05$; stąd wniosek, że $q = 0.01$ podane w podpisie rys. 2.2 jest błędne. Dlaczego w podpisie rys. 2.2 nie podano, ile wynosi b ? Stwierdzenie na str. 15, że $Lifetime(0.55)$ rozważanej sieci wynosi 3 jest prawdziwe, jak się wydaje, jeśli założymy, że $b \geq 3$ (albo innymi słowy: jest nieprawdziwe, jeśli $b = 2$).

- (e) Na str. 15 stwierdza się, że w rozważanym problemie wartość funkcji oceny (evaluation function) zdefiniowanej jako $Lifetime(q)$ powinna być maksymalizowana. Nie wspomina się o istotnym ograniczeniu w postaci warunku (2.5) (w niniejszej recenzji: warunek (2)), który musi być spełniony podczas procesu maksymalizacji wielkości $Lifetime(q)$. Zastanawiający jest także brak uwzględnienia pojemności baterii sensorów we wzorze (2.3).
- (f) Następujące stwierdzenia dotyczące pojemności baterii (str. 18) są niejasne: „Battery capacity b parameter is defined in time units dependently on initial(?) battery capacity of a sensor”. I dalej: „In the case of the same initial battery capacity the higher value of b corresponds to shorter duration of the time unit value in the schedule timeline”.
- Powyższe stwierdzenia są sprzeczne, jak się wydaje, z tymi ze str. 11: • „duration of all time intervals are the same” oraz • „a number b is predefined and ... sufficient for every sensor’s activity during the b time intervals (rounds)”.
- (g) Rozważania dotyczące oszacowania T_{max} z p. 2.3.2 są niejasne. Np., nie wiadomo, jak interpretować zdanie: „The i -th sensor during activity time(?) can monitor $cov(s_j)$ POIs”. Nazwa cov w rozprawie z reguły dotyczy stopnia pokrycia wyrażonego ułamkiem, por. wzór (2.2). A w liczniku wzoru (2.15) zapewne nie chodzi o sumowanie ułamków. W zdaniu następnym jest kolejna wątpliwość co do znaczenia sformułowania: „sum of cardinalities of coverage areas of all sensors”. O jakie obszary (areas) chodzi? Pojęcie pokrywania (coverage) dotyczy w rozprawie punktów zainteresowań, a nie obszarów (areas), ponadto pojęcie liczności (cardinality) związane jest ze zbiorami. Prawa strona wzoru (2.15) jest wartością rzeczywistą, zaś lewa strona wielkością naturalną, chyba brakuje operacji *ceil*.
- (h) W tabeli 2.2 obliczone górne ograniczenia $Lifetime^{Up}$ są liczbami rzeczywistymi, podczas gdy zgodnie z wzorem (2.3) wielkość $Lifetime$ jest liczbą naturalną.
- (i) W p. 3.1.2 dotyczącym opisu ogólnego algorytmu symulowanego wyżarzania jest sprzeczność. W tekście czytamy, że gorsze rozwiązanie jest akceptowane z prawdopodobieństwem $\exp^{-\Delta/T}$ (str. 39), podczas gdy w Algorytmie 3.1, wiersz 16, gorsze rozwiązanie jest akceptowane z prawdopodobieństwem $\exp^{\Delta/T}$ (ponieważ Δ jest dodatnia, wartość tego prawdopodobieństwa może przekroczyć 1). Na marginesie, dlaczego w algorytmie w wierszu 18 zwiększa się i wewnątrz instrukcji iteracyjnej *for* i — podobnie jest w Algorytmach 5.1, 5.2 (dla j oraz i), 6.1.
- Tego rodzaju błąd (zmiana wartości zmiennej kontrolnej wewnątrz iteracji *for*) często jest wykrywany przez kompilator. Autorka w pracy nie podała jakiego kompilatora (lub kompilatorów) użyła, w jakim języku zostały napisane implementacje, jakie były parametry komputera/procesora, w którym zostały przeprowadzone badania eksperymentalne. Na płycie CD załączonej do rozprawy nie ma plików źródłowych, plików z danymi testowymi, etc.; jest jedynie tekst rozprawy w formacie PDF.
- (j) Opis Algorytmu 5.3 symulowanego wyżarzania zawiera błędy. Np. „na końcu iteracji poziom temperatury jest zwiększany zgodnie ze schematem schładzania” i dalej „Im większa temperatura, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo zaakceptowania rozwiązania gorszego niż rozwiązanie bieżące” (str. 81). W wierszu 19 w Algorytmie 5.3 gorsze rozwiązanie jest akceptowane z prawdopodobieństwem $\exp^{\Delta/T}$ (str. 82). Obniżanie temperatury $T(i)$ nie powinno występować w wierszu 21. Pseudokod algorytmu nie odzwierciedla schematów schładzania, w których następuje wzrost temperatury w momencie osiągnięcia stanu stagnacji.
- (k) Algorytmy 5.1 i 5.2 zwracają jako wynik działania *Chromosom*. O jaki chromosom chodzi? Jest prawdopodobne, że algorytmy te mogą zwrócić niepoprawne „rozwiązanie” sąsiednie $SolN(Sol)$, tzn. niespełniające warunku (2.5) (w niniejszej recenzji warunku (2)). Co wtedy? – czy takie „rozwiązanie” jest odrzucane, czy naprawiane? Jaki jest związek między daną wejściową k tych algorytmów, a zmienną k_{neigh} określającą liczbę wykonań iteracji po i ?
- (l) Algorytm genetyczny 6.1 zwraca jako wynik swego działania populację harmonogramów $P(G)$. Dlaczego? Następujące uzasadnienie zasadności stosowania selekcji tur-

niejowej jest niejasne: „Due to the fact that individuals converge to local maxima independently from other individuals tournament selection can be used” (str. 101).

- (m) Porównania wyników jakościowych osiągniętych przez algorytmy scentralizowane powinny być prowadzone przy założeniu takiego samego, lub zbliżonego, czasu obliczeń procesora. Niestety, w tabelach z wynikami poszczególnych algorytmów zamieszczonych w rozdziale 7 nie podano, jakie były czasy rozwiązywania wybranych egzemplarzy problemu dla poszczególnych algorytmów.
- (n) Przykłady błędów redakcji, korekty oraz uwagi inne: Na str. 10 użyto dwóch wzorów na liczbę pokrytych elementów: $|\cup_{S_i \in S'_j} S_i|$ oraz $|\cup_{S_i \subseteq S'_j} S_i|$; tylko jeden z nich jest poprawny. Str. 13: „ $T - b$ zeros” \rightarrow „ $T_{\max} - b$ ” zeros. Wzór (2.7) na str. 13 powinien mieć postać:

$$\binom{T_{\max}}{b}^N = \left(\frac{T_{\max}!}{b!(T_{\max} - b)!} \right)^N.$$

Str. 15: $|\cup_{j=1}^{j_{\max}} POI_{obs}(s_j)|$, $j_{\max} = ?$ Niedokończone zdanie na str. 83: „As one can see,”. Str. 84: „decrease”. W rozdziale 6 podrozdziały są numerowane 6.0.1, 6.0.2, ... Na str. 100 występuje odwołanie do nieistniejącego podrozdziału Section III.A.

Niejednolita terminologia: str. 8: sleeping mode; str. 12: sleeping state; N_{POIs} (str. 19) i P (str. 10) oznaczają liczbę punktów śledzenia; dlaczego użyto dwóch oznaczeń?; czy $cov(i)$ (wzór (2.2)) i $cov(s_i)$ (wzór (2.15)) oznaczają to samo? Wydaje się, że pierwsze cov jest ułamkiem, a drugie cov jest liczbą całkowitą; $Lifetime^{Up}$ we wzorze (2.16), $Lifetime_{up}$ na str. 51.

Zwyczajowo, rozmiary dwuwymiarowej macierzy Sol powinny być specyfikowane jako $N \times T_{\max}$, gdzie N jest liczbą wierszy, a T_{\max} liczbą kolumn macierzy; a nie w postaci $T_{\max} \times N$, jak na str. 12.

- (o) Oto kilka przykładów błędów językowych (jest ich wiele):
- i. Pomijanie przedimków a/an/the, np. „Wireless sensor network...is” zamiast „A wireless sensor network...is” (str. 1); „algorithms solving MLCP and derived” zamiast „algorithms solving the MLCP problem and derived” (str. 4).
 - ii. „when one of the active sensors detects the event occur” (str. 2).
 - iii. „these algorithms will studied under...” (str. 4).
 - iv. „In Chapter 5 simulated annealing (SA) algorithm worked out to be applied to...” (str. 5).
 - v. „exemplary schedule solution correspondingly to the network” (str. 12).
 - vi. „during time interval including in lifetime” (str. 19).
 - vii. „integer number less than the upper bound $Lifetime^{Up}$ multiple factor $\frac{b}{q}$ ” (str. 20).
 - viii. „Pseudo code...consists of follows” (str. 39).
 - ix. „algorithm works until determination condition meets performaing cycles of searching solutions” (str. 80).
 - x. „At each generation a population goes is under genetic operators” (str. 99).

7. Wniosek końcowy

W podsumowaniu stwierdzam, że mimo wskazanych powyżej wad i słabych stron, rozprawa doktorska mgr inż. Antoniny Tretyakovej spełnia wymagania obowiązujących przepisów dotyczących zawartości i formy rozpraw doktorskich. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr inż. Antoniny Tretyakovej do następnej fazy przewodu doktorskiego.

Na podkreślenie zasługuje opublikowanie przez Autorkę części wyników rozprawy w siedmiu sprawozdaniach z konferencji międzynarodowych oraz jednym czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.