

Dominik Sankowski*, Włodzimierz Mosorow*

Zastosowanie *Wireless Sensor Network Simulator* do badań sieci sensorowych

1. Wprowadzenie

Postęp w rozwoju urządzeń elektromechanicznych (*Electro-Mechanical Systems*) a przede wszystkim ich miniaturyzacja połączona z rozwojem komunikacji bezprzewodowej i elektroniki cyfrowej umożliwiła powstanie minisensorów [1, 2]. Nowe urządzenie cechuje wielofunkcyjność, oszczędność oraz niski koszt produkcji. Do głównych zadań sensora należy wykonywanie określonych pomiarów oraz komunikowanie się z pozostałą częścią sieci. Sensory połączone w sieć mogą służyć do monitorowania, wykrywania zdarzeń, a nawet zbierania danych i ich przetwarzania. Możliwości sieci uzależnione są od ilości i możliwości węzłów. Pojedynczy węzeł jest niewielkim urządzeniem, którego rozmiar zależy od wielu czynników. Znacznie mniejsze węzły zwane inteligentnym kurzem (*intelligent dust*) zostały stworzone dla DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) [3]. Prototypowe urządzenia mierzą tylko 2,5 mm.

Rozmiar urządzenia i jego wszechstronność ma jednak swoją cenę, jest nią zasilanie. Tak małego urządzenia nie uda się wyposażyć w wystarczający zapas energii. W wielu przypadkach nie ma możliwości wymiany źródła energii. Brak zasilania równoważny jest z uszkodzeniem węzła. W zależności od budowy sieci utrata jednego lub kilku węzłów wymusza na sieci rekonfigurację połączeń. Prowadzi to do zmian topologii sieci oraz konieczności ponownego trasowania.

W niektórych przypadkach uszkodzenie kilku sensorów rozdzieli sieć na dwie nie-współdziałające części. Najprostszym sposobem na niedopuszczenie do podziału sieci jest gęste rozmieszczenie węzłów. Rozwiązanie to stworzy wiele potencjalnych tras dla przesyłania danych. Przy tak dużej ilości połączeń przesyłanie danych w niezorganizowany sposób byłoby dużym marnotrawstwem energii. Dlatego też zamiast rozgłaszania danych w sieci zastosowane zostało trasowanie. Protokoły sieciowe muszą być jak najbardziej efektywne. Naukowcy dużą uwagę przywiązują do tworzenia energooszczędnych algorytmów i protokołów przeznaczonych dla sieci sensorowych [1, 2].

* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka

Częste zmiany struktury sieci wymagają odpowiedniego zarządzania. Sieć powstać może przez planowe rozmieszczenie węzłów, jak również całkiem przypadkowe, np. rozrzucone. Nie znając rozmieszczenia węzłów lub miejsca uszkodzenia sieci, nie jesteśmy w stanie odpowiednio zarządzać siecią.

Jedną z najważniejszych zalet nowej technologii jest jej zdolność do samodzielnego organizowania. Węzły same zbudują sieć poprzez odnajdywanie najbliższych sąsiadów i tworzenie odpowiedniej struktury. Zmiana oprogramowania czy zadań też jest stosunkowo prosta. Wystarczy umieścić dane w jednym węźle, ten automatycznie przetransmituje dane do sąsiednich węzłów, a one do kolejnych, aż cała sieć ulegnie rekonfiguracji. Siła takiego typu sieci tkwi w liczbie węzłów i odpowiedniej ich współpracy. Przy dużej liczbie węzłów zwiększa się prawdopodobieństwo nastąpienia awarii lub uszkodzenia któregoś z węzłów. Ulegają uszkodzeniu fizycznemu, wpływom środowiskowym lub braku energii [4]. Zniszczenie części sensorów nie może mieć wpływu na stabilność sieci. Uzyskanie niezawodności zagwarantuje wykonanie zadania, do jakiego sieć została stworzona.

Wszechstronność sieci sensorowych jest teoretycznie nieograniczona. Już teraz testuje się je w skrajnie różnych warunkach nawet ekstremalnych. Odpowiednio przygotowane urządzenia pracują na powierzchni ziemi, w oceanach, miejscach skażeń i katastrof, innych maszynach, na zwierzętach, w tornadach, magazynach i trudno dostępnych miejscach. Liczne zastosowania stawiają przed węzłami duże wymagania odpornościowe, głównie na zakłócenia i wpływ otaczającego środowiska.

Celem artykułu są badania właściwości i zachowań wybranych topologii sieci sensorowych przy użyciu symulatora typu *Wireless Sensor Network Simulator* v.1.0.

2. Testy symulacje zachowań sieci sensorowej

Pośród wielu programów symulacyjnych służących do badania sieci sensorowych takich jak: *Ns2*, *Glomosim*, *Porsec*, *SensorSim*, na uwagę zasługuje *Wireless Sensor Network Simulator* v1.0 [5].

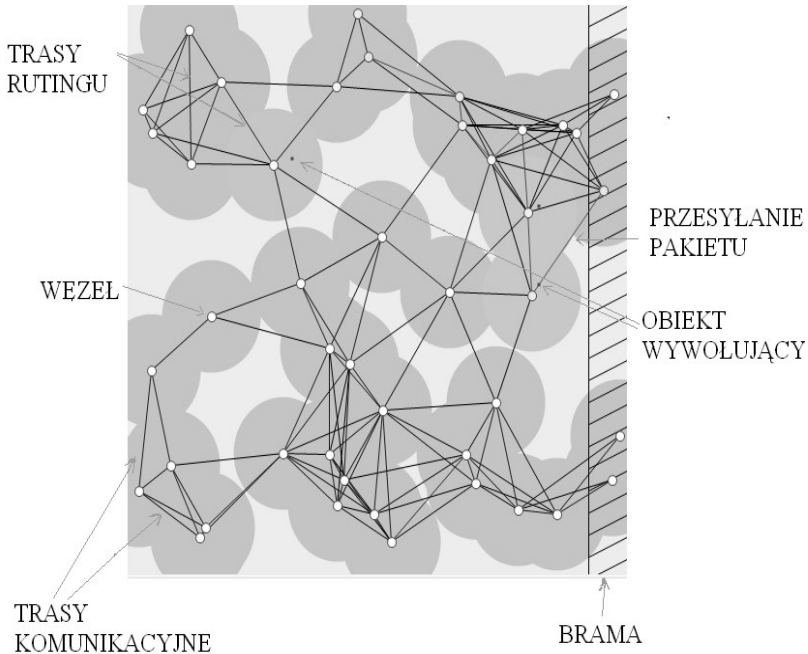
Do głównych zalet symulatora należy:

- duża liczba generowanych węzłów – od 10 do 410,
- obsługiwana liczba połączeń między węzłami do 160 tysięcy,
- możliwość wielokrotnego odtworzenia symulacji,
- możliwość obserwacji działania sieci,
- wprowadzanie dowolnej konfiguracji.

Program, z powodu swojej złożoności, wymaga od użytkownika dużej uwagi i dokładności. Do celów badania tworzone sieci posiadały ściśle określoną liczbę połączeń z bramą. Wszystkie węzły należały do jednej spójnej sieci. Każda badana konfiguracja tworzona była dwudziestokrotnie według tych samych reguł. Uśrednione wyniki badań zostaną przedstawione i omówione w dalszej części rozdziału. Przykład sieci utworzonej przez lo-

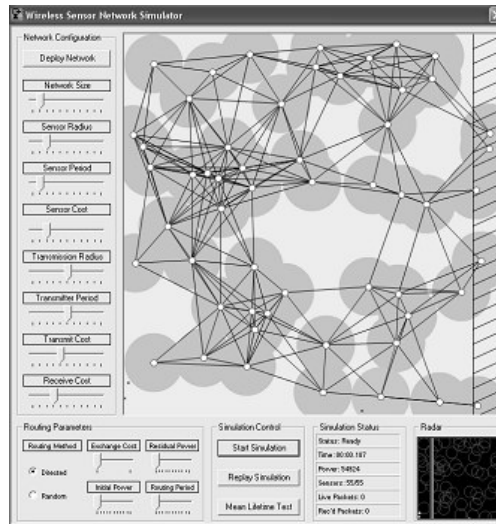
sowe rozrzucanie węzłów i automatyczne zestawienie wszystkich możliwych tras jest pokazany na rysunku 1.

Dla dobrej przejrzystości wyników wykonane zostały symulacje tylko dla trzech rozmiarów sieci złożonych z 53 węzłów, 173 węzłów i 410 węzłów oraz energii początkowej odpowiednio 53 000, 173 000 i 410 000. Liczba węzłów łączących z bramą została ściśle określona i stanowić mogła od 6 do 9 procent węzłów w sieci. Badane konfiguracje posiadały identyczny parametr *Sensor Cost* oraz *Transmitter Period*. Ponadto badany routing ograniczony został do badania dwóch parametrów: *Directed* i *Random*. Test sieci był przerywany w momencie, gdy sieć traciła połączenie z bramą lub pokrywała badane pole mniej niż w 20%. Wynikiem badania jest czas życia sieci, dla ułatwienia podawany w minutach, liczba żyjących węzłów i energia jaka pozostała niewykorzystana.



Rys. 1. Część wizualizacyjna programu z przykładową siecią i opisem poszczególnych elementów

Pierwszemu badaniu poddana została mała sieć złożona z 53 węzłów wyposażonych w małe pola sensorowe wykonujące częste pomiary. Sieć korzystała z algorytmów trasowania. Rozmiar pól sensorowych umożliwił pokrycie 70% badanego obszaru (rys. 2). Przy tak niedokładnym pokryciu terenu konieczne jest dokonywanie częstych pomiarów przez sensory, co zapewnia wykrycie wszystkich obiektów. Skuteczny czas działania sieci wyniósł 37 minut. Sieć utraciła 75% całej energii, a działających pozostało aż 53% węzłów. Statystyka ta świadczy o dość równomiernym zużyciu energii.



Rys. 2. Przykład symulacji dla pierwszej konfiguracji

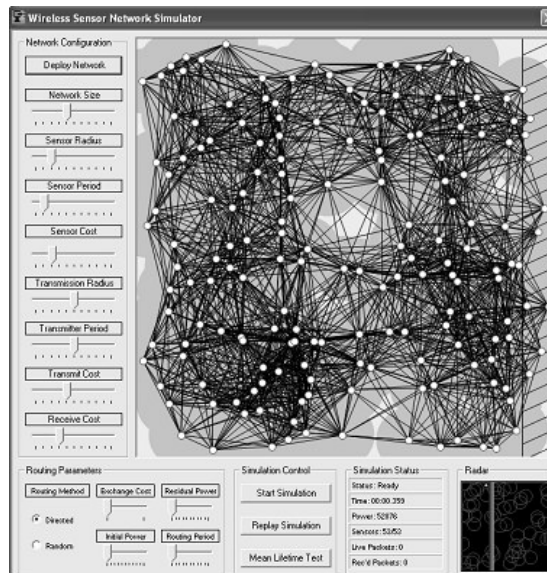
Drugie badanie przeprowadzone zostało na sieci o identycznych parametrach jak poprzednie. Zmianie uległa jedynie metoda routingu na Random. Otrzymane wyniki są znacznie gorsze. Czas życia sieci wyniósł jedynie 24 minuty. Sieć wykorzystała 67% energii i utraciła 37% węzłów. Powodem krótszego działania aż o 35%, mimo zachowania większej energii i liczby węzłów, jest sposób trasowania. Losowe trasowanie dużo szybciej wyczerpało zasoby węzłów bliższych punktu docelowego przeprowadzanych transmisji. Utrata kontaktu z bramą sprawiła, iż sieć stała się nieużyteczna.

Trzecie badanie wykonane zostało również dla małej sieci. Celem było osiągnięcie 100% pokrycia terenu, dla większej pewności wykrycia pakietu i lepszego porównania możliwości z większymi sieciami dokładniej pokrywającymi badany teren. Użyta konfiguracja wykorzystywała trasowanie sieci. Zwiększenie pola sensorowego spowodowało znaczne zwiększenie zużycia energii węzłów aż do 89%. Sieć działała 24 minuty i utraciła 60% węzłów. Otrzymany wynik czasowy jest porównywalny z konfiguracją drugą, jednak wyraźnie widać, że sieć zdążyła wykorzystać dużo więcej zasobów energetycznych. Dla dokładniejszego porównania wyników badań drugiego i trzeciego wykonane zostało kolejne. Zmianie w konfiguracji trzeciej uległ sposób trasowania na losowy. Otrzymane wyniki nie zaskakują. Sieć działała jedynie 12 minut wykorzystując przy tym 75% energii i utraciła 41% węzłów. Na tej podstawie wyraźnie widać, że w małej sieci dużo lepiej sprawdza się trasowanie od komunikacji przypadkowej.

Kolejne badanie ma na celu przedłużyć czas życia sieci o dużym polu sensorowym poprzez zmniejszenie częstotliwości badania pola sensorowego. Zabieg ten jest dopuszczalny, ponieważ więcej czasu potrzeba, by obiekt przebył obszar badany. Okazuje się, że zabieg poprawił nieznacznie wyniki, sieć działała 28 minut, zużyła mniej energii, tylko 78%, i utraciła więcej węzłów (51%).

Te same ustawienia dla sieci nietrasowanej w badaniu szóstym nie są zaskakujące. Sieć ponownie wypada źle, niepoprawiając czasu życia.

W trakcie symulacji nasunęło się pytanie, jaki wpływ na działanie sieci będzie miało zwiększenie liczby węzłów. Proponowana sieć składa się z trzykrotnie większej liczby węzłów, wynoszącej 173. Badanie jedenaste posiada pozostałe parametry zgodne z badaniem pierwszym, czyli małe pole sensorowe i korzysta z routingu. Już na początku symulacji było widać lepsze pokrycie badanego pola sięgające 100% (rys. 3). Następnie okazuje się, że czas działania sieci wzrósł do 56 minut. Sieć zużyła prawie całą energię, (94%) i wyczerpała zasoby 77% węzłów.



Rys. 3. Przykład symulacji sieci dla wybranej konfiguracji

Kolejna próba dwunasta została pozbawiona trasowania. Skutek zmiany jest oczywisty, dużo gorsze parametry dla sieci. Zaskakujący jest jednak fakt, iż sieć mimo większej liczby połączeń działała krócej niż dużo mniejsza sieć o tych samych parametrach.

Następne badanie wykonane zostało dla zwiększonego zasięgu transmisji. Czas działania sieci był nieznacznie krótszy i wyniósł 54 minuty. Różnica widoczna jest natomiast przy ilości sensorów jakie zostały bez zasobów energetycznych, która wyniosła aż 13%.

Badania udowadniają bezcelowość stosowania dużych pól sensorowych przy dużej gęstości sieci. Choć sieć wykorzystwała zasoby energetyczne w tym samym stopniu, to energia potrzebna na badanie większego pola sensorowego i obsługę większej ilości komunikatów skracza czas życia sieci do 31 minut.

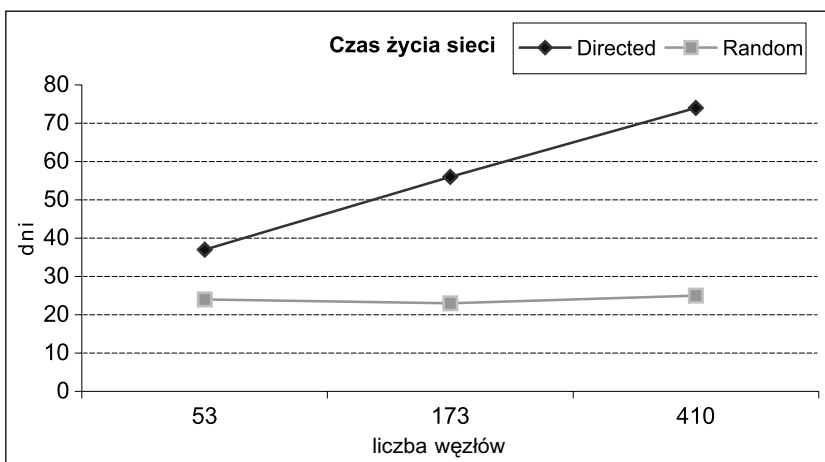
Ostatnie dwa badania zmuszają do innego podejścia do sieci o większych rozmiarach. Działania odwrotne względem dotychczasowych przynoszą dość ciekawe wyniki. W małych

sieciach niewskazane było zmniejszenie zasięgu transmisji. W większej sieci nie wprowadza to żadnych trudności. Krótsze transmisje wymagają mniej energii, a więc i koszt transmisji również został zmniejszony. Takie parametry zostały zastosowane w konfiguracji piętnastej. Otrzymane wyniki są znacznie lepsze. Czas życia sieci wzrósł o 38% w porównaniu z najlepszym dotychczas otrzymanym czasem i osiągnął 77 minut. Sieć wykorzystywała również mniej zasobów energetycznych tylko 83% i utraciła 54% węzłów. Zwiększenie liczby połączeń z bramą nieznacznie przedłużyłoby czas życia sieci. Choć pozostało wiele działających węzłów, to posiadają one niewielkie zasoby energetyczne.

Duża gęstość sensorów pozwala na wprowadzenie dłuższych przerw pomiędzy pomiarami. Uzyskany czas sięgnął aż 109 minut i wzrósł w porównaniu do poprzedniej konfiguracji o 42%. Pozostała energia 22% i liczba działających węzłów 48% również utrzymała się powyżej normy. Jest to ciekawy wynik, biorąc pod uwagę dłuższy czas działania. Użycie dodatkowej liczby połączeń z bramą teoretycznie może poprawić uzyskany czas o kilka procent. Uzyskanie większej liczby połączeń z bramą przy danej liczbie węzłów spowoduje niedokładne pokrycie obserwowanego terenu lub powstaniu wąskich gardeł.

Szukając jeszcze dłuższej działającej sieci, zwiększono liczbę węzłów do 410. Badanie siedemnaste przedstawia sieć sparametryzowaną jak dla konfiguracji pierwszej zbudowanej z 53 węzłów i dziesiątej wyposażonej w 173 węzły. Uzyskane wyniki okazały się lepsze od wszystkich poprzednio badanych sieci z wykluczeniem sieci badanych w kroku piętnastym i szesnastym. Otrzymany wynik to 74 minuty.

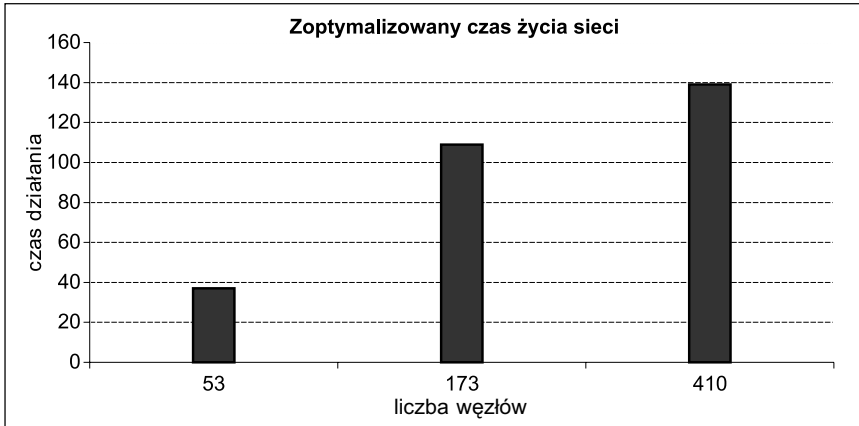
Otrzymane wyniki można zwizualizować za pomocą kilku wykresów (rys. 4–6). Wykres z rysunku 4 wykonany został dla kilku sieci o identycznych parametrach, różniących się jedynie liczbą węzłów. Wykres przedstawia dwa parametry routingu: Random i Directed. Wyraźnie widać, iż dla sieci o routingu Directed wraz ze wzrostem liczby węzłów wydłuża się czas życia sieci. Natomiast sieć korzystająca z routingu Random równie szybko wykorzystuje zasoby każdej sieci.



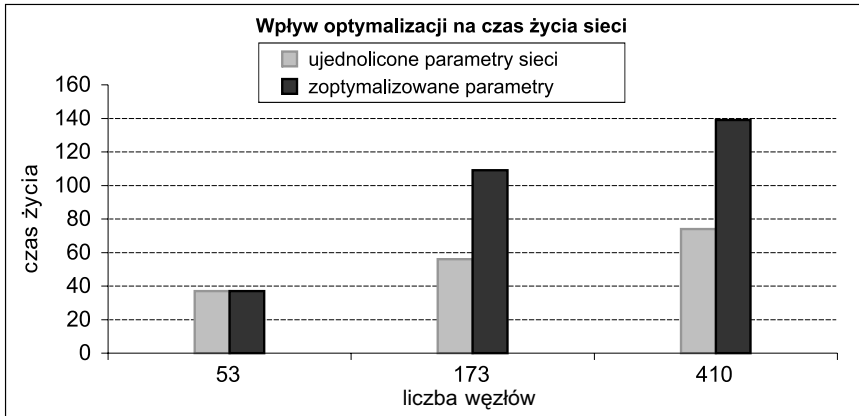
Rys. 4. Czas życia sieci w zależności od liczby węzłów: dla sieci o routingu Directed i Random

Kolejny wykres (rys. 5) przedstawia trzy zoptymalizowane sieci o różnej liczbie węzłów. Wykres wyraźnie pokazuje znaczne różnice czasu życia poszczególnych sieci.

Rysunek 6 to połączenie wykresów z rysunków 4–5. Wykres uwidacznia, jak istotne jest odpowiednie zoptymalizowanie sieci. Dzięki odpowiednim ustawieniom czas życia można podwoić. Ustawienia te pomogą zaoszczędzić energię, którą sieć wykorzysta do przedłużenia życia oraz pozwoli na optymalne wykorzystanie zasobów.



Rys. 5. Czas życia sieci o zoptymalizowanych parametrach



Rys. 6. Porównanie ustawień sieci standardowych oraz zoptymalizowanych

3. Podsumowanie

Po przeprowadzonych badaniach, kluczem do dłuższego życia każdego rodzaju sieci okazuje się odpowiedni wybór algorytmów trasowania. Bardzo łatwo zauważyć można

również zależność między długością łącza komunikacyjnego a energią potrzebną do przesłania i odebrania pakietu. Im odległość jest mniejsza, tym mniej energii zostanie wykorzystane. Dla zachowania odpowiedniego pokrycia badanego obszaru przy krótszych odcinkach transmisyjnych, konieczne jest zastosowanie większej liczby sensorów. Jeśli sieć jest bardzo rozbudowana, a pola sensorowe nachodzą na siebie, wówczas warto zmniejszyć obszar badany przez pojedynczy węzeł. Jeśli węzeł bada duży obszar lub kilka węzłów bada ten sam, wówczas należy wydłużyć czas pomiędzy kolejnymi pomiarami. Zdarzenie zostanie wykryte, a węzły zużyją mniej zasobów.

Budując sieć, należy zastanowić się nad kilkoma jej parametrami. Przede wszystkim trzeba określić, jak długo ma działać i w jakim stopniu pokrywać badany obszar, a także jak dokładne dane mają być przesyłane. Zastosowanie dużej sieci nie zawsze ma sens. Czas jaki upłynie, zanim pakiet dotrze do bramy, spowoduje dezaktualizację danych. Dużo większy nakład finansowy nie poprawi w znaczący sposób długości życia sieci. Bardzo ważne zatem jest odpowiednie ustawienie parametrów sieci i odpowiednie jej oprogramowanie. Większa sieć byłaby skuteczniejsza, gdyby część węzłów pośredniczyła jedynie w transmisji danych, niewykonując żadnych pomiarów. Inne węzły dokonywałyby jedynie pomiarów, niebiorąc udziału w pośredniej komunikacji. Rozwiązanie to nie jest wykorzystywane z powodu braku odpowiednich algorytmów określających, jaką funkcję w sieci węzeł ma pełnić w danej chwili. Innym rozwiązaniem udoskonalającym może być opóźnione aktywowanie części węzłów. Zapobiegałoby to dublowaniu danych, a nowo aktywowane węzły przejmowałyby funkcje uszkodzonych. To udoskonalenie również nie posiada odpowiednich algorytmów i rozwiązań z powodu dużego skomplikowania.

Literatura

- [1] Haenselmann T., *Sensornetworks*. GFDL Wireless Sensor Network textbook. http://www.informatik.uni-mannheim.de/~haensel/sn_book. Retrieved on 2006-08-29.
- [2] http://www.chip.pl/arts/archiwum/n/articlear_85167.html.
- [3] Szetyński T., Dębek P., *Sieci sensorowe. Wszędobylskie cybermikroby*. Chip, 2004.
- [4] Strzelczyk T., *Sieć sensorowa do monitorowania środowiska naturalnego*. Politechnika Łódzka, Łódź, 2008 (praca magisterska, opiekun W. Mosorow).
- [5] <http://www.djstein.com/projects/WirelessSensorNetworkSimulator.html>.