

*XVIII Seminarium*

**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2008**

Oddział Gdański PTETiS

Referat nr 29

**OKREŚLANIE POŁOŻENIA ZA POMOCĄ SIECI BEZPRZEWODOWEJ  
W STANDARDZIE ZIGBEE**

**Piotr PREDKIEL, Janusz SMULKO**

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

tel: +58 3486095

fax: +58 3416132

e-mail: jsmulko@eti.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Mimo wprowadzenia systemu nawigacji GPS, nadal istnieje zapotrzebowanie na inne, tańsze systemy lokalizacji położenia, w szczególności pracujące w pomieszczeniach, gdzie często nie dochodzi sygnał z satelity. Taki system można zrealizować za pomocą bezprzewodowej sieci czujników w standardzie ZigBee za pomocą kilku różnych metod. W pracy przedstawiono metodę RSSI (ang.: Received Signal Strength Indicator) oceny odległości za pomocą pomiaru mocy sygnału odbieranego od kilku sąsiednich węzłów sieci. Podano ograniczenia tej metody oraz przykładowe wyniki określania położenia węzłów uzyskane w dostępnej sieci ZigBee za pomocą opracowanego oprogramowania przy różnych warunkach transmisji sygnału radiowego (zmiennych warunkach pogodowych). Na podstawie uzyskanych wyników oceniono skuteczność tej metody w praktyce oraz wskazano na możliwości wykorzystania innych dostępnych metod lokalizacji węzłów sieci.

**Słowa kluczowe:** standard ZigBee, sieci bezprzewodowe.

## 1. WPROWADZENIE

W tradycyjnych, przewodowych sieciach czujników położenie węzła sieci jest znane, ponieważ węzeł jest umieszczany w określonym miejscu i ma zwykle ograniczoną możliwość ruchu. Transmisja bezprzewodowa otworzyła przed projektantami sieci zupełnie nowe możliwości: węzeł może być umieszczony w dowolnym miejscu, a do jego rozmieszczenia można użyć takich technik jak zrzut na spadochronie. Umożliwia to błyskawiczne pokrycie nieprzygotowanego wcześniej obszaru gęstą siecią czujników i monitorowanie w zależności od zastosowanych sensorów np. stanu środowiska. Stąd istnieje potrzeba określania położenia węzłów względem siebie w możliwie prosty sposób.

Istnieje wiele metod określania pozycji węzłów sieci bezprzewodowej [1, 2]. Proponowane metody bazują na zastosowaniu znanych i popularnych technik określania położenia (np. wykorzystanie systemu GPS) lub mniej popularnych, polegających na ocenie statystyk błędów przesyłanych danych [3], pomiarze różnicy czasów przesyłu danych przy zastosowaniu ultradźwięków [4] lub pomiaru natężenia sygnału od poszczególnych sąsiednich węzłów [5]. Niestety, wiele z nich posiada istotne ograniczenia, gdy dotyczy sieci bezprzewodowych w standardzie ZigBee, głównie ze względu na konieczność dużego zużycia energii przez węzły tej sieci oraz koszty ekonomiczne przy ich

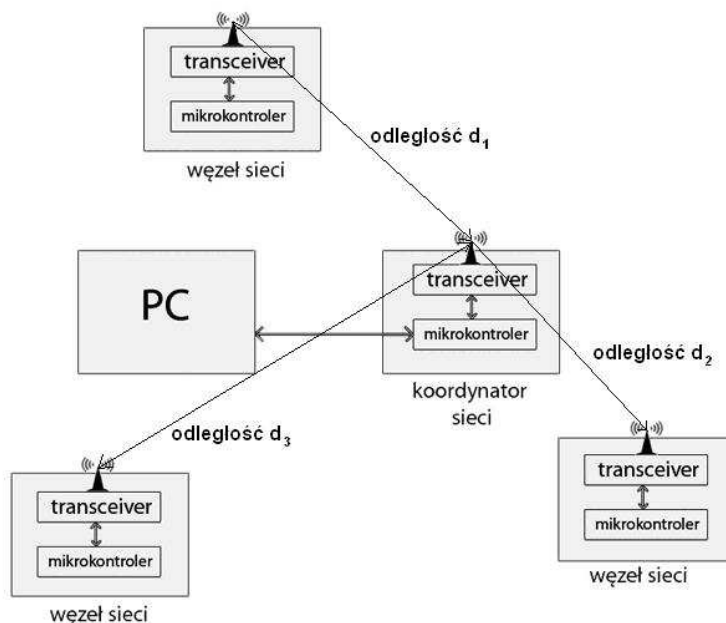
wdrożeniu. Ponadto, niektóre ze wspomnianych metod pozwalają na dokładną lokalizację węzła sieci jedynie w określonym zakresie odległości (np. do kilku metrów dla metody wykorzystującej ultradźwięki), natomiast przy innych odległościach między węzłami dokładność lokalizacji gwałtownie spada.

Obecnie dostępne układy tranceiver'ów pracujące w standardzie ZigBee posiadają wbudowany układ mierzący moc sygnału odbieranego z węzła nadawczego. Stąd, pomiar mocy sygnału (RSSI) między wybranym węzłem a kilkoma pozostałymi węzłami sieci oraz niezbędne obliczenia mogą doprowadzić do określenia położenia węzła sieci. Taka metoda nie wymaga stosowania dodatkowych układów elektronicznych, a jedynie implementacji odpowiedniego oprogramowania.

W pracy została zaimplementowana wymieniona metoda oraz poddano ocenie jej skuteczność w praktyce (otwarta przestrzeń o zmiennych warunkach klimatycznych), wykorzystując wcześniej przygotowaną i obecnie uaktualnioną o nowe oprogramowanie sieć ZigBee [6].

## 2. BUDOWA ZASTOSOWANEJ SIECI ZIGBEE

W prezentowanych wynikach badań wykorzystano sieć bezprzewodową w standardzie ZigBee, składającą się z pojedynczego koordynatora sieci oraz trzech niezależnych węzłów (rys. 1). Koordynator sieci był dołączony do komputera IBM PC, za pomocą którego dokonywano niezbędnych obliczeń przy wyznaczeniu położenia węzłów sieci. Do tego celu przygotowano oprogramowanie w środowisku LabVIEW. Każdy węzeł sieci był zbudowany w identyczny sposób. Transmisja danych odbywała się przy częstotliwości 2,4 GHz, za pomocą układu tranceiver'a Chipcon CC2420EM. Pracą układu tranceiver'a sterował mikrokontroler PIC18LF4620. Ten układ charakteryzuje się niewielkim zużyciem energii oraz niewielkimi możliwościami obliczeniowymi. Natomiast pozwala w łatwy sposób dołączyć układy szeregu różnych czujników. W koordynatorze sieci zastosowano dodatkowo układ konwertera interfejsu RS232 na złącze USB (Prolific Y-105), co umożliwiło podłączenie koordynatora do komputera złączem USB i transmisję danych odbieranych od węzłów sieci. Ponadto, każdy z elementów sieci ZigBee został wyposażony w identyczną antenę dołączaną przez złącze SMA do zastosowanego układu tranceiver'a.



Rys. 1. Schemat blokowy sieci ZigBee zastosowanej do badania metody RSSI lokalizacji jej węzłów

### 3. METODA TRILATERACJI WYZNACZANIA POŁOŻENIA WĘZŁÓW SIECI

W pracy wykorzystano metodę trilateracji, lokalizującą położenie koordynatora sieci na podstawie kilku pomiarów mocy sygnału odbieranego od poszczególnych dostępnych węzłów sieci. Według przyjętej metody znane jest położenie poszczególnych węzłów, natomiast koordynator sieci może przemieszczać się w swobodny sposób na obszarze pracy sieci. Metoda zakłada zależność mocy odbieranego sygnału  $P_r$  od odległości  $d$  między nadajnikiem a odbiornikiem:

$$P_r = \frac{P_t}{d^\alpha} \quad (1)$$

gdzie  $P_t$  oznacza moc sygnału nadawanego a  $\alpha$  jest stałą z zakresu 2÷5, zależną od środowiska i charakteryzującą warunki propagacji fali elektromagnetycznej.

Większość obecnie stosowanych układów nadawczo-odbiorczych (transceiver'ów) dla sieci ZigBee posiada rejestr, z którego można odczytać wartość  $P_r$  odbieranego sygnału. Stąd, przyjmując wartość  $\alpha$  dla danego środowiska, można wyznaczyć odległości  $d$  między punktami o określonych współrzędnych a punktem, którego współrzędne są nieznane (rys. 2). Znając pozycję  $n$  węzłów sieci  $(x_i, y_i)$  dla  $i=1...n$  oraz wyznaczone na podstawie pomiarów odległości  $d_i$  między tymi punktami a punktem o poszukiwanych współrzędnych  $(x, y)$  uzyskuje się układ równań:

$$\begin{pmatrix} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

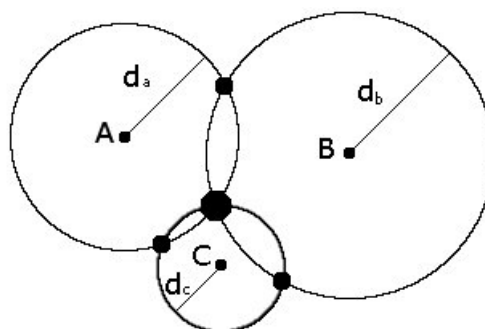
Po przekształceniu układ (2) przyjmuje postać równania macierzy:

$$A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = B \quad (3)$$

gdzie macierze  $A$  i  $B$  oznaczają odpowiednio

$$A = -2 \begin{pmatrix} (x_1 - x_n) & (y_1 - y_n) \\ (x_2 - x_n) & (y_2 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ (x_{n-1} - x_n) & (y_{n-1} - y_n) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{pmatrix} d_1^2 - d_n^2 + x_n^2 - x_1^2 + y_n^2 - y_1^2 \\ d_2^2 - d_n^2 + x_n^2 - x_2^2 + y_n^2 - y_2^2 \\ \vdots \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 + x_n^2 - x_{n-1}^2 + y_n^2 - y_{n-1}^2 \end{pmatrix} \quad (5)$$



Rys. 2. Ilustracja wyznaczania położenia koordynatora sieci według metody trilateracji przy znanych współrzędnych węzłów sieci A, B, C oraz odległości  $d_a$ ,  $d_b$ ,  $d_c$  od koordynatora

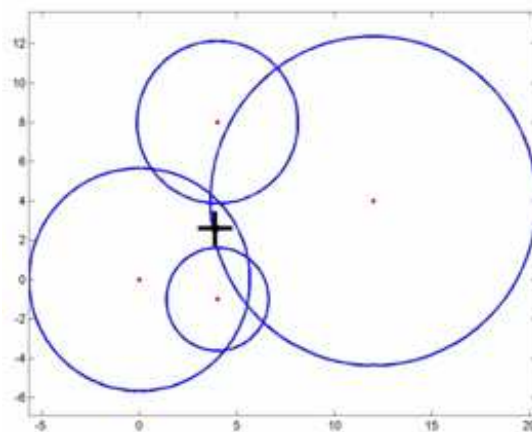
Poszukiwane współrzędne punktu  $(x, y)$  wyznacza się na podstawie rozwiązania równania macierzy o postaci [5]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (6)$$

Podane równanie (6) zapewnia bezbłędne wyznaczenie współrzędnych  $(x, y)$  tylko w idealnym przypadku, gdy okręgi o promieniu  $d_i$ , wyznaczone na podstawie pomiarów odebranej mocy, przecinają się w jednym punkcie. W praktyce, pomiary mocy są obarczone pewnym błędem. Dodatkowy błąd jest wprowadzany przez arbitralne ustalenie wartości  $\alpha$  w równaniu (1) i trudności z uwzględnieniem wpływu odbić sygnałów radiowych na mierzone wartości mocy odbieranego sygnału. Stąd, w rzeczywistych warunkach opisywane okręgi nie będą się przecinały w jednym miejscu (rys. 3). Pozycję poszukiwanego punktu wyznacza się wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów do określenia najbardziej prawdopodobnych współrzędnych poszukiwanego punktu. Nieco lepszą dokładność można uzyskać stosując algorytm iteracyjny, który wymaga podania przybliżonego punktu położenia [7]. W pracy ograniczono się do metody najmniejszych kwadratów [6], ponieważ poprawa dokładności wyznaczania położenia za pomocą algorytmu iteracyjnego okazała się w praktyce nieistotna.

#### 4. SKUTECZNOŚĆ METODY TRILATERACJI W PRAKTYCE

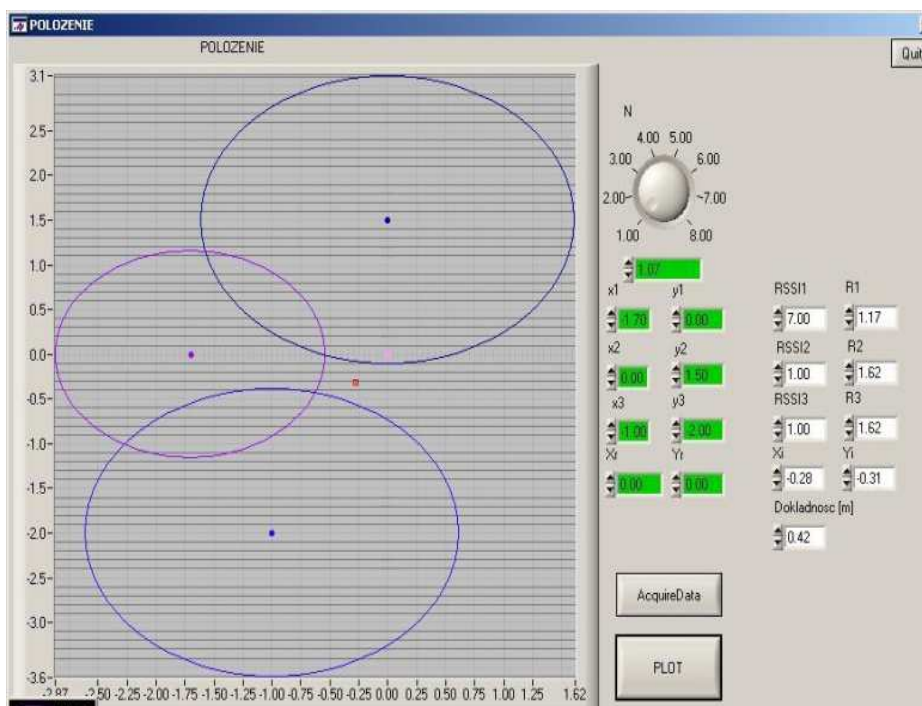
Wybraną metodę zaimplementowano w środowisku LabVIEW. Przygotowany program, poza realizacją przedstawionego algorytmu, zapewnia łączność między komputerem IBM PC a układem koordynatora sieci ZigBee. W trakcie badania skuteczności wybranej metody ograniczono się do poszukiwania położenia koordynatora sieci, przyjmując, że znane były położenia pozostałych węzłów. Przyjęty algorytm oraz konfiguracja węzłów sieci pozwalają na zamianę ról między koordynatorem a dowolnym węzłem, który może się wówczas przemieszczać.



Rys. 3. Ilustracja wyznaczania położenia koordynatora sieci według metody trilateracji dla rzeczywistych pomiarów, gdy okręgi o promieniach  $d_i$  prowadzone od punktów położenia węzłów sieci nie przecinają się w jednym punkcie; wartości  $d_i$  wyrażono w metrach

Przygotowany przyrząd wirtualny (rys. 4) pozwala na wprowadzenie danych o współrzędnych trzech istniejących węzłów sieci oraz podanie parametru  $\alpha$  (za pomocą pokrętła wirtualnego, oznaczonego na rys. 4 literą N). Wartość  $\alpha$  ustalano w fazie kalibracji urządzenia dokonując kilku pomiarów mocy odbieranego sygnału między koordynatorem a wybranym węzłem sieci, przy kilku jego znanych położeniach.

Po wprowadzeniu podanych danych oraz wyborze przycisku *Acquire Data* następował pomiar a następnie przesłanie do programu z rejestru transceiver'a informacji o mocy odbieranego sygnału przez koordynatora sieci. Na panelu przyrządu wirtualnego wyświetlano jednocześnie przeskalowane dla potrzeb algorytmu wyznaczenia położenia odczytane wartości mocy odbieranych sygnałów oraz wyznaczone wartości odległości między koordynatorem a węzłami sieci, zilustrowanej na rys. 4 jako okręgi. Program rysuje wspomniane okręgi po wybraniu przycisku *PLOT*, uruchamiającego właściwy program realizujący algorytm metody trilateracji.



Rys. 4. Panel czołowy przyrządu wirtualnego realizującego algorytm wyznaczania położenia koordynatora sieci metodą trilateracji

Efektem końcowym działania programu było wyświetlenie wyznaczonego położenia (kropka w centralnej części rys. 4) oraz dokładności wyznaczenia współrzędnych ( $x$ ,  $y$ ) jako różnica odległości między wyznaczonymi współrzędnymi a rzeczywistymi (wprowadzanymi jako wartości  $X_r$ ,  $Y_r$  w oknie przyrządu wirtualnego z rys. 4).

Uzyskane wyniki, dla kilku wybranych warunków klimatycznych (odwilż, mżawka, słoneczna pogoda), wpływających istotnie na przyjmowaną na podstawie wstępnych pomiarów wartość parametru  $\alpha$  potwierdzają, że zaimplementowana w sieci ZigBee metoda pozwala na uzyskanie największej dokładności lokalizacji węzła sieci w przypadku, gdy odległość między węzłami wynosi do kilku metrów. Dla podanych warunków błąd bezwzględny pomiaru był rzędu 0,5 m. Przy odległościach powyżej kilkunastu metrów (pomiar przeprowadzono do odległości 100 m) dokładność wyznaczania pozycji była ograniczona w najlepszym przypadku do kilku metrów. Najczęściej sięgała jednak kilkunastu metrów. Na ograniczoną dokładność miały wpływ zjawiska odbić sygnałów radiowych od różnych obiektów występujących w otoczeniu sieci ZigBee oraz anizotropowość anten. Stąd, metoda trilateracji ma istotne ograniczenia w zastosowaniach praktycznych, ze względu na niewielką dokładność.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiono szczegółowe wyniki określania położenia koordynatora sieci ZigBee za pomocą metody trilateracji. Wybrano metodę, która nie wymaga zmian w układach transceiver'ów tej sieci. Stwierdzono, że w praktyce dokładność tej metody jest niewielka, co ogranicza jej potencjalne zastosowania. Metoda może być stosowana właściwie tylko do szacowania położenia elementów sieci.

Należy sądzić, że dopiero zastosowanie metody wykorzystującej pomiar różnic czasu przejścia sygnału

między elementami sieci zapewni dużą dokładność wyznaczania położenia, rzędu pojedynczych cm dla transceiver'ów pracujących z częstotliwością 2,4 GHz [1]. Wykorzystane układy nadawczo-odbiorcze nie pozwalały na aplikację tej metody.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Zhao F., Guibas L.: *Wireless Sensor Networks*. Morgan-Kaufman 2004.
2. Callaway E.: *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*. CRC Press 2004.
3. Weijun Xiao, Yan Sun, et al.: TEA: transmission error approximation for distance estimation between two Zigbee devices. *Int. Workshop on Networking, Architecture and Storages*, Shengyang, China, 2006, s. 15–22.
4. Savvides A., Han C.C., Strivastava M.B.: Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *7th Int. Conf. on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, 2001, s.166–179.
5. Ohta Y., Sugano. M., Murata M.: Autonomous Localization Method in Wireless Sensor Networks. *Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, Piza, Italy, 2006, s.379–384
6. Gadaj M., Smulko J.: Realizacja bezprzewodowej sieci czujników w standardzie ZigBee. *XVII Seminarium Zastosowanie komputerów w nauce i technice 2007. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki nr 23, Gdańsk 2007, s.45–48.*
7. Mirisola L.G.B.: *The localization problem on sensor networks*. Praca dyplomowa, Mellon Univ., Pittsburgh, USA, 2003, dostępna na stronie [www.ece.cmu.edu/research/publications/2003/](http://www.ece.cmu.edu/research/publications/2003/)

## LOCALIZATION OF NODES IN WIRELESS ZIGBEE NETWORK

**Keywords:** ZigBee standard, wireless networks

There is still a strong demand on the cheap localization systems (especially in buildings), even the fact that GPS systems are quite popular. The localization system can be prepared by applying a wireless sensor ZigBee network. There are a few various methods that could be applied for this aim. The method that uses received signal strength indicator (RSSI) was implemented. The method localizes nodes by measurements of the received signals that are emitted by the neighboring nodes. Limitations of the method were discussed by presenting practical results of nodes localization at various weather conditions. Effectiveness of this method was assessed in practice and other methods were pointed out to improve quality of nodes localization.