

## ZASTOSOWANIE PROTOKOŁU ZIGBEE DO TRANSMISJI SYGNAŁÓW W ROZPROSZONYM SYSTEMIE POMIAROWYM

Dariusz Tomkiewicz

*Katedra Automatyki, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono badania dotyczące możliwości zastosowania bezprzewodowych metod transmisji danych w rozproszonym układzie czujników, znajdujących się we wnętrzu złoża ziarna. Stwierdzono, że najodpowiedniejszym standardem transmisji danych jest standard ZigBee, pod warunkiem stosowania w transmisji danych odpowiednich częstotliwości fal elektromagnetycznych.

**Słowa kluczowe:** sieć bezprzewodowa, układ pomiarowy, protokół ZigBee, monitorowanie złoża ziarna

### Wprowadzenie

Jedną z głównych przyczyn strat jakościowych produktów rolnych (takich jak ziarno zbóż, owoce, warzywa) przechowywanych w komorach lub silosach jest intensywność procesów życiowych. W celu prawidłowego przeprowadzenia procesu przechowywania konieczne jest ograniczenie intensywności procesów życiowych zachodzących w złożu przechowywanego produktu. Jedną z metod ograniczenia intensywności procesów życiowych jest kontrolowanie temperatury, wilgotności oraz składu powietrza otaczającego składowany produkt. Parametry termodynamiczne otaczającego powietrza poprzez proces wymiany ciepła i masy wpływają na temperaturę oraz wilgotność materiału przechowywanego, od którego zależy intensywność procesów życiowych [Navarro, Noyes 2001].

Ze względu na charakter procesu, którego przebieg jest zależny nie tylko od czasu, ale i położenia w trójwymiarowej przestrzeni konieczne jest zastosowanie nie pojedynczych czujników, lecz zbioru czujników umieszczonych w takich punktach złoża, w których wrażliwość na zmianę mierzonego parametru jest największa. Układ takich czujników musi posiadać możliwość transmisji danych.

### Cel badań

System pomiarowy umożliwiający pomiar zmiennych termodynamicznych opisujących parametry złoża ziarna podczas procesu przechowywania jest systemem rozproszonym. Użytkownicy dobrze zaprojektowanego systemu rozproszonego powinni go odbierać, jako jedno, zintegrowane środowisko obliczeniowe.

W rozproszonych układach pomiarowych, w których występuje duża liczba punktów pomiarowych oddalonych od siebie w przestrzeni powstaje problem związany z transmisją sygnałów pomiarowych oraz zasilaniem czujników. Do tej pory do transmisji danych w takich układach były stosowane przewody miedziane lub światłowody w przypadku dużych ilości danych lub konieczności zapewnienia ich bezpieczeństwa.

Przewód, do którego podłączone były czujniki umożliwiał przesyłanie sygnałów pomiarowych oraz umożliwiał zasilanie czujnika. W przypadku, gdy układ czujników był rozproszony na dużej przestrzeni, rozproszenie to powodowało konieczność zastosowania dużej ilości okablowania. Ponadto okablowanie było wrażliwą częścią systemu pomiarowego, która bardzo często ulegała uszkodzeniu [Stojmenović 2005].

Coraz częściej ze względu na wygodę użytkownika do transmisji danych stosowane są bezprzewodowe protokoły transmisji danych. Jedną z takich metod zastosowano w opracowywanym systemie pomiarowym.

Celem badań był wybór bezprzewodowej metody transmisji danych oraz jej przetestowanie. Metoda ta będzie służyła do przesyłania danych pomiędzy elementami systemu pomiarowego znajdującego się we wnętrzu złoża ziarna tak, aby umożliwiło to budowę układu pomiarowego składającego się z autonomicznych czujników pomiarowych, które można umieścić w dowolnym punkcie złoża ziarna.

### Wybór protokołu transmisji danych

Współcześnie na rynku dostępnych jest kilka standardów transmisji danych. Do najpopularniejszych można zaliczyć: GSM/GPRS, Bluetooth, Wi-Fi oraz ZigBee. Parametry ich porównano w tabeli 1. Systemy bezprzewodowe stosowane w układach monitorowania i automatyki powinny spełniać wiele wymagań [Stojmenović 2005; Wang Fei-Yue, Liu Derong, 2008]:

- Wymagania dotyczące połączenia: moc sygnału nadawanego, czułość odbiornika, typ anteny, selektywność odbiornika, możliwość oceny jakości kanału komunikacyjnego.
- Wymagania dotyczące ograniczenia mocy zasilania: zasypianie i budzenie poprzez sygnał radiowy, czas budzenia, możliwość włączania i wyłączania układów peryferyjnych, możliwość sterowania mocą nadawanego sygnału w zależności od zakłóceń występujących w środowisku.
- Wymagania systemowe: bezpieczeństwo transmisji danych, niezawodność, prędkość transmisji danych.
- Wymagania dotyczące zasobów systemowych: pobór energii elektrycznej, zapotrzebowanie na moc obliczeniową, zapotrzebowanie na zasoby pamięci, rozmiary geometryczne.

W przypadku transmisji danych pomiędzy rozproszonym w przestrzeni układem autonomicznych czujników pomiarowych najbardziej dostosowanym do wymagań układu monitorującego procesy życiowe w złożu ziarna jest protokół ZigBee, gdyż spełnia większość zestawionych powyżej wymagań.

Protokół ZigBee jest protokołem otwartym. Został wprowadzony w 2004 r. i bazuje na standardzie IEEE 802.15.4, opracowanym do komunikacji w sieciach WPAN (Wireless Personal Area Network). Standard ZigBee w stosunku do IEEE 802.15.4 został rozszerzony o wyższe warstwy modelu ISO-OSI, umożliwiając dodatkowo tworzenie struktury sieci

o rozbudowanej topologii, rutowanie pakietów w przypadku, gdy sieć jest rozbudowana wprowadzając autoryzację węzłów i szyfrowanie danych oraz tworzenie tzw. profili aplikacyjnych [Mahalik 2007]. Dzięki niskiemu poborowi energii elektrycznej, przez moduł komunikacyjny, możliwe jest zastosowanie zasilania bateryjnego.

Tabela 1. Porównanie wybranych standardów bezprzewodowych metod transmisji danych  
Table 1. Comparison of selected standards for wireless data transmission methods

Standard	ZigBee 802.15.4	GSM/GPRS	Wi-Fi 802-11b	Bluetooth 802.15.1
Zastosowanie	Monitorowanie i sterowanie	Przesyłanie głosu i danych na duże odległości	Dane z Internetu, poczta elektroniczna, odtwarzanie wideo	Eliminacja połączenia kablowego
Zasoby systemowe	32÷>64 kb	>16 Mb	>1 Mb	>250 kb
Żywotność zasilania bateryjnego	100÷>1000 dni	1÷7 dni	0,5÷5 dni	1÷7 dni
Liczba węzłów sieci	Praktycznie nieograniczona	1	32	7
Prędkość transmisji	20÷>250 kb/s	64÷>128 kb/s	>11000 kb/s	720 kb/s
Zasięg transmisji	1÷>100 m	>1000 m	1÷100 m	1÷>10 m
Zalety	Niezawodność, niski pobór energii, niski koszt	Zasięg, jakość transmisji	Szybkość transmisji	Niski koszt, prosta konfiguracja

### Układ pomiarowy

W stanowisku badawczym do transmisji danych zostały zastosowane moduły XBee firmy MaxStraeam Inc. Moduły te wykorzystują protokół ZigBee.

Moduły XBee umożliwiają przesyłanie i odbieranie danych poprzez port szeregowy pomiędzy układem mikroprocesorowym a modulem. Dodatkowo posiadają one po cztery wejścia analogowe i odpowiednio cztery wyjścia PWM (Pulse Width Modulation), oraz dwanaście wejść - wyjść cyfrowych. Dzięki tym wejściom/wyjściom można bezpośrednio dokonywać pomiarów i przysyłać dane pomiarowe do innych urządzeń. Do transmisji danych w tych modułach wykorzystywane jest pasmo 2,4 GHz [Digi International]. Pasma to w standardzie IEEE 802.15.4 jest podzielone na szesnaście kanałów oznaczonych liczbami od 11 do 26 o częstotliwości 2,405 GHz dla kanału 11 z przyrostem 5 MHz dla każdego kanału, aż do częstotliwości 2,480 GHz dla kanału 26.

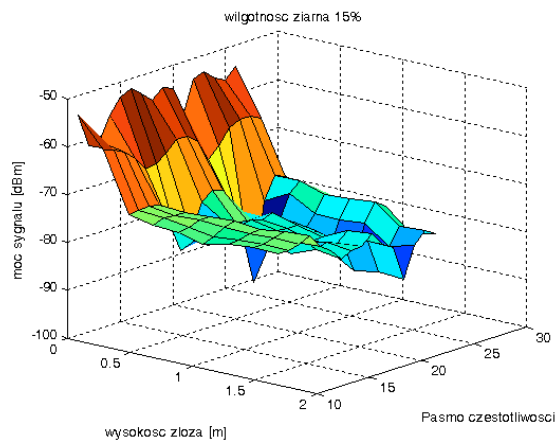


Rys. 1. Stanowisko badawcze do pomiaru mocy sygnału odbieranego  
Fig 1. Test stand for received signal power measurement

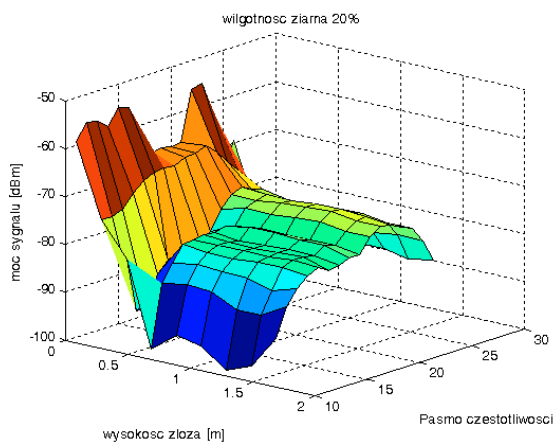
W celu sprawdzenia, czy możliwe jest przesyłanie danych poprzez złożę ziarna o różnej wilgotności, zbudowano stanowisko doświadczalne. Składało się ono z dwóch rur grubościennych o wysokości 0,8 m połączonych razem tak, że uzyskano kolumnę o wysokości 1,6 m (rysunek 1). Na dnie kolumny umieszczono nadajnik w postaci modułu XBee. Na górze kolumny umieszczono również moduł XBee, który służył jako odbiornik. Oba moduły były połączone do komputera. Na komputerze, w środowisku Matlab, została napisana funkcja umożliwiająca transmisję pakietu danych do modułu nadajnika, akwizycję tego pakietu z modułu odbiornika, wybór kanału transmisji danych oraz odczytanie z modułu wartości mocy sygnału odbieranego poprzez moduł. Moduł nadajnika zaprogramowano tak, aby nadawał sygnał maksymalną mocą, czyli 1 dBm (1,25 mW). Jeżeli moc odbieranego sygnału była mniejsza niż -95 dBm, moduł odbiornika nie jest w stanie odczytać przesyłanych danych.

### Procedura pomiarowa

Zboże (żyto) przed pomiarami zostało namoczone do wilgotności 15% oraz 20%. Po namoczeniu było sezonowane przez dwa dni. W trakcie przeprowadzania doświadczenia kolumnę stopniowo wypełniano żytem dokonując pomiaru mocy transmitowanego sygnału na każdym z szesnastu kanałów. Pomiar powtarzano sześciokrotnie. Pomiar wykonywano dla wysokości złoża od pustej kolumny (0 m) co 0,2 m do wysokości 1,6 m. Dane pomiarowe dla wilgotności 15% zaprezentowano na rysunku 2 i dla wilgotności 20% na rysunku 3. Średnia moc odbieranego sygnału zmieniała się w zakresie od wartości mniejszej niż -95 dBm do -52 dBm i była uzależniona od grubości warstwy i częstotliwości sygnału nadawanego.



Rys. 2. Średnia wartość mocy odbieranego sygnału dla zboża o wilgotności 15%  
Fig. 2. Mean value of received signal power for crops with humidity 15%



Rys. 3. Średnia wartość mocy odbieranego sygnału dla zboża o wilgotności 20%  
Fig. 3. Mean value of received signal power for crops with humidity 20%

W trakcie badań stwierdzono, że podczas transmisji dla niektórych częstotliwości fal elektromagnetycznych tłumienie spowodowane przez ośrodek (złóże ziarna) było zbyt duże i moc sygnału docierającego do odbiornika była zbyt niska. Ze względu na niską wrażliwość na zmiany wilgotności i grubości warstwy, do transmisji danych wybrano kanał 22, który przesyła sygnały wykorzystując częstotliwość fali 2,46 GHz.

## Wnioski

Po przeanalizowaniu cech opisujących wybrane bezprzewodowe metody transmisji danych wybrano protokół ZigBee, jako najlepszy do celów transmisji danych w rozproszonym układzie pomiarowym służącym do monitorowania stanu złoża ziarna. Ze względu na to, że moc sygnału nadawanego przez moduły ZigBee jest wystarczająca do przesyłania sygnałów na odległości sięgające ponad 100 m w otwartej przestrzeni, to w przypadku umieszczenia go w złożu wilgotnego ziarna, sygnały przesyłane przez niektóre stosowane w standardzie kanały były zbyt silnie tłumione żeby można je było odbierać. Tylko niektóre kanały dawały możliwość prawidłowej transmisji danych. Najbardziej niewrażliwym kanałem na zmiany wilgotności i grubość warstwy zboża był kanał o częstotliwość fali 2,46 GHz

## Bibliografia

- Mahalik N.P.** (Ed). 2007. Handbook of Sensors and Networks, Springer-Verlag Berlin. ISBN-10 3-540-37364-0
- Navarro S., Noyes R. T.** 2001. The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management, CRC Press, ISBN 0-8493-1355-4.
- Stojmenović I.** (Ed). 2005. Sensor Networks and Configuration, John Wiley & Sons. ISBN-13 978-0-471-68472-5.
- Wang Fei-Yue, Liu Derong.** 2008. Networked Control Systems, Springer-Verlag London, ISBN 978-1-84800-214-2.
- Digi International Inc., Noty aplikacyjne układów XBee oraz XBee-Pro, [www.digi.com](http://www.digi.com).

## USING THE ZIGBEE PROTOCOL FOR SIGNAL TRANSMISSION IN A DISPERSED MEASURING SYSTEM

**Abstract.** The paper presents research on the possibility to use wireless data transmission methods in a dispersed system of sensors located inside grain bed. It has been observed that the ZigBee standard is the most appropriate data transmission standard, provided that proper electro-magnetic wave frequencies are used in data transmission.

**Key words:** wireless network, measuring system, the ZigBee protocol, grain bed monitoring

### Adres do korespondencji:

Dariusz Tomkiewicz; e-mail [dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl](mailto:dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl)  
Katedra Automatyki  
Politechnika Koszalińska  
ul Raławika 15  
75-620 Koszalin