

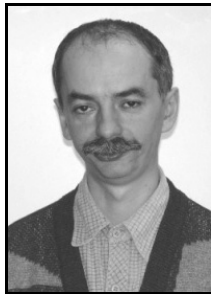
**Dariusz TOMKIEWICZ**

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY  
ul. Raclawicka 15, 75-620 Koszalin

## Bezprzewodowy moduł pomiarowy dla celów rolnictwa precyzyjnego

Dr inż. Dariusz TOMKIEWICZ

Pracuje jako adiunkt w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej. Stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Automatyka i Robotyka uzyskał w 2000 roku. W zakresie jego zainteresowań znajdują się sieci neuronowe, modelowanie i identyfikacja obiektów, sterowanie układami niestacjonarnymi.



e-mail: [dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl](mailto:dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl)

### Streszczenie

Rolnictwo precyzyjne jest coraz częściej stosowaną techniką w nowoczesnych gospodarstwach rolnych. Systemy związane z rolnictwem precyzyjnym charakteryzują się koniecznością dostarczania danych pomiarowych z punktów rozproszonych na dużym obszarze przy jednoczesnym braku możliwości zasilania z sieci energetycznej. W artykule przedstawiono opracowany autonomiczny moduł pomiarowy umożliwiający pobieranie danych z czujników z interfejsem analogowym oraz I2C, wstępne przetwarzanie danych oraz ich rejestrację. Moduły umożliwiają transmisję danych z zastosowaniem bezprzewodowych protokołów transmisji z wykorzystaniem układów XBee lub przewodową transmisję danych przez sieć CANBus.

**Słowa kluczowe:** sieć bezprzewodowa, autonomiczny moduł pomiarowy, rolnictwo precyzyjne.

### Wireless measuring module for precision agriculture

#### Abstract

Precision Agriculture is a technique increasingly used in modern farms. Systems related to precision agriculture are characterized by the need to provide measurement data from remote points spread over a large area without an access to the power network. This paper presents an autonomous measuring module. The developed wireless module is designed in such a way that it can become a part of the measuring system having application in precision agriculture. The system consists of a distributed set of sensors connected to the stand-alone modules. The wireless modules were designed to register data from sensors with analog and I2C interfaces, pre-process the data and storage them in an internal memory. The system also includes a base station which allows communication with the system of distributed sensors, process control, measurement and recording of the process data and their visualization. The modules allow the data transmission to the base station with wireless communication protocols using XBee modules or by wire with a CANbus network.

**Keywords:** wireless, autonomous measurement module, precision agriculture.

### 1. Wstęp

W wielu dziedzinach produkcji przemysłowej oraz gospodarstwach domowych coraz częściej do celu transmisji danych wykorzystywane są technologie bezprzewodowe. Technologie te charakteryzują się szybkim rozwojem, dzięki któremu możliwe jest przesyłanie większej ilości danych w bezpieczniejszy sposób. Rozwój następuje przede wszystkim w technologiach sieciowych oraz w układach elektronicznych, które coraz częściej są wyposażane w funkcje umożliwiające oszczędne gospodarowanie zasobami energii.

Szczególnie interesujące z punktu widzenia zastosowania w rolnictwie są technologie umożliwiające przesyłanie danych na niewielkim obszarze. Do technologii sieciowych, które są coraz

powszechniej stosowane należy zaliczyć bezprzewodowe sieci osobiste WPAN (Wireless Personal Area Network), których reprezentantami są protokoły Bluetooth i ZigBee, protokoły bezprzewodowych sieci lokalnych których przedstawicielem jest protokół WiFi a także sieci umożliwiające przesyłanie danych na długich dystansach poprzez sieci telefonii komórkowej, wykorzystujących protokoły takie jak GSM/GPRS i CDMA [3, 6].

Bezprzewodowe protokoły transmisji danych są coraz częściej stosowane w rozproszonych systemach pomiarowych. Wynika to z braku konieczności stosowania instalacji kablowej potrzebnej do transmisji danych oraz dzięki zastosowaniu energooszczędnych układów elektronicznych nie istnieje potrzeba zasilania z sieci elektrycznej. Otrzymujemy w ten sposób w pełni bezprzewodowe urządzenie, które może pracować w warunkach polowych, bez interwencji obsługi, nawet do kilkunastu miesięcy.

Do pracy bezprzewodowych sieci czujników konieczne jest zastosowanie takich metod transmisji danych, które zapewnią możliwość samoorganizacji, automatycznej konfiguracji, rozszerzania sieci, automatycznego diagnozowania i usuwania ewentualnych problemów związanych z komunikacją i działaniem czujnika.

Technologie bezprzewodowe pozwalają na zastosowanie czujników do zadań, które nie byłyby możliwe do zrealizowania bez zastosowania tej technologii np. monitorowanie niebezpiecznych substancji, zastosowanie w miejscach w których istnieją problemy z zasilaniem w energię elektryczną. Technologie te zapewniają brak uszkodzeń związanych z okablowaniem które jest jednym z najbardziej wrażliwych elementów systemu pomiarowego.

Celem badań było opracowanie modułu pomiarowego umożliwiającego pomiar wielkości fizycznych ważnych w procesach zawiązanych z rolnictwem precyzyjnym, rejestrację danych oraz bezprzewodową transmisję danych. Zbiór opracowanych modułów pomiarowych może posłużyć do stworzenia rozproszonego systemu pomiarowego umożliwiającego monitorowanie procesów w punktach pomiarowych, które nie mają możliwości zasilania z sieci energetycznej.

### 2. Rolnictwo precyzyjne

Rolnictwo precyzyjne (Precision Agriculture) jest to kierunek w rozwoju techniki rolniczej, wykorzystujący informację z czujników oraz metod określenia pozycji w przestrzeni, do celów takiego doboru metod uprawy, aby uwzględniona była przestrzenna i czasowa różnorodność biofizyczna roślin i gleby [6].

Dzięki zastosowaniu tej technologii możliwe jest zmniejszenie kosztów związanych z produkcją rolniczą oraz umożliwiania to zastosowanie bardziej przyjaznych środowisku metod uprawy.

Precyzyjne rolnictwo można podzielić na następujące działy: precyzyjne leśnictwo, precyzyjna uprawa, precyzyjna hodowla, precyzyjne ogrodnictwo i sadownictwo.

Zagadnienia związanych z precyzyjną uprawą możemy pogrupować na następujące obszary:

- zarządzanie parkiem maszynowym,
- sterowanie maszynami,
- sterowanie sposobem przeprowadzania zabiegów uprawowych,
- pozyskiwanie informacji o stanie gleby, roślin, zwierząt hodowlanych i innych obiektów związanych z produkcją rolniczą,
- rejestracja i przetwarzanie danych związanych ze stanem uprawy, stanem gleby, zabiegami technologicznymi i ich intensywnością oraz wizualizacja tych danych.

Elementem integrującym każdy z tych działów są techniki związane z pozyskiwaniem informacji o stanie uprawy i metody transmisji danych.

Systemy pozyskiwania danych, wykorzystywane w rolnictwie precyzyjnym, powinny składać się z kilku podsystemów. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- podsystem sensoryczny,
- podsystem transmisji danych,
- podsystem ustalania pozycji w przestrzeni,
- podsystem gromadzenia i przetwarzania danych.

Ze względu na wymagania specyficzne dla rolnictwa, związane z dużym rozproszeniem punktów pomiarowych, brakiem dostępu do sieci energetycznej oraz mobilnością punktów pomiarowych (np. w przypadku monitorowania zwierząt hodowlanych) konieczne jest stosowanie autonomicznych czujników z wykorzystaniem bezprzewodowych protokołów transmisji.

Bezprzewodowe sieci, służące do transmisji danych w rolnictwie, powinny zapewnić [5]:

- samoorganizację i skalowalność: aby zmniejszyć liczbę interwencji obsługi i zapewnić automatycznie wykrywanie usuniętych lub nowo aktywowanych węzłów.
- pracę w czasie rzeczywistym: węzły muszą transmitować dane ze znanym deterministycznym opóźnieniem,
- niski koszt budowy i obsługi: ze względu na niską opłacalność produkcji rolniczej oraz na konieczność stosowania zazwyczaj wielu punktów pomiarowych,
- niski pobór mocy: w rolnictwie zazwyczaj w punktach pomiarowych nie ma dostępu do sieci energetycznej i konieczne jest stosowanie zasilania baterijnego lub zasilania z innych dostępnych na miejscu źródeł np. energii słonecznej, różnicy temperatur, drgań mechanicznych itd.

### 3. Sieci bezprzewodowe

Bezprzewodowe systemy transmisji danych, stosowane do monitoringu i w automatyce, powinny spełniać wiele wymagań [2, 4].

- Wymagania związane z połączeniem (moc nadawania sygnału, czułość odbiornika, typ anteny, selektywność odbiornika, zdolność do oceny jakości kanału komunikacji),
- Wymagania zasilania (zасыpanie i budzenie poprzez sygnał przesyłany drogą radiową, możliwość zaprogramowania czasu timera budzącego urządzenie, możliwość włączania i wyłączania urządzeń peryferyjnych, możliwość kontroli mocy przekazywanego sygnału w zależności od zakłóceń w środowisku),
- Wymagania systemowe (bezpieczeństwo danych, niezawodność, szybkość transmisji danych),
- Wymagania dotyczące zasobów systemowych (zużycie energii, zapotrzebowanie na moc obliczeniową, zapotrzebowanie na zasoby pamięci, wymiary geometryczne).

Istnieje wiele powszechnie stosowanych standardów przesyłania danych w sieciach bezprzewodowych, stosowanych w monitoringu. Do najpopularniejszych standardów, stosowanych w czujnikach bezprzewodowych, można zaliczyć: w przypadku sieci LAN standard IEEE 802.11n ("WiFi" IEEE 2004), w przypadku sieci PAN, IEEE 802.15.1 (Bluetooth IEEE 2002) oraz IEEE 802.15.4 (ZigBee IEEE 2003) (Tabela 1).

Standardy te korzystają z pasm częstotliwości radiowych, przeznaczonych dla oprzyrządowania, stosowanego w celach naukowych i medycznych, w tym z pasm subgigaherzowych z zakresu 902÷928 MHz (USA), 868÷870 MHz (Europa), 433.05÷434.79 MHz (USA i Europa) i 314÷316 MHz (Japonia) oraz pasma gigaherzowego z zakresu 2.400÷2.4835 GHz (cały świat).

Wykorzystanie do transmisji danych niższych częstotliwości pozwala na zwiększenie zasięgu transmisji oraz większa możliwość sygnału radiowego związane z przenikaniem przez przeszkody typu mury i szyby. W przypadku korzystania z fal radiowych o wyższych częstotliwościach możliwe jest zastosowanie bardziej kompaktowych anten oraz uzyskuje się dostęp do szerszego zakresu kanałów dzięki czemu uzyskujemy zwiększenie niezawodności układu transmisji.

Tab. 1. Cechy wybranych protokołów bezprzewodowych  
Tab. 1. Characteristics of selected wireless protocols

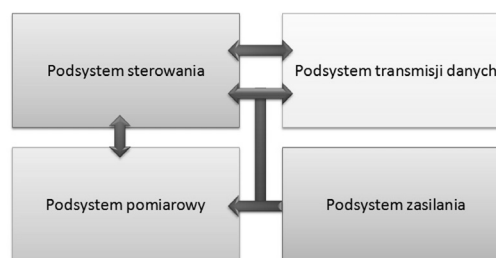
Cecha	ZigBee	Bluetooth	WiFi
Prędkość	250kb/s	1Mb/s	11Mb/s
Liczba węzłów	64000	7	32
Maksymalne opóźnienie	< 30ms	< 10s	< 3s
Zasięg	100m	10m	70m
Czas pracy baterii	>rok	<tydzień	godziny
Zasoby pamięci	64 kb	250 kb	1 Mb

### 4. Bezprzewodowy moduł

W przypadku systemów automatycznego monitorowania w rolnictwie precyzyjnym coraz częściej konieczne jest stosowanie metod pomiarowych, które umożliwiają obserwację zmiennych wartości na bieżąco, w trakcie trwania procesu. Aby prawidłowo kontrolować procesy zachodzące w systemach rolniczych niezbędne jest wykonywanie pomiarów od kilku do nawet kilkuset wielkości, w wielu rozproszonych lokalizacjach.

Opracowany moduł bezprzewodowy został zaprojektowany w taki sposób, aby mógł stać się częścią systemu pomiarowego, mającego zastosowania w rolnictwie precyzyjnym.

System składa się z zestawu rozproszonych czujników podłączonych do autonomicznych modułów. W skład systemu wchodzi także stacja bazowa, która umożliwia komunikację z układem rozproszonych czujników, kontrolę procesów, pomiar i rejestrację danych procesowych oraz ich wizualizację.



Rys. 1. Schemat podsystemów bezprzewodowego modułu pomiarowego  
Fig. 1. Diagram of the wireless subsystem measuring module

Podstawowym elementem systemu pomiarowego jest bezprzewodowy autonomiczny moduł, który został tak zaprojektowany aby mógł pełnić wszystkie funkcje związane z pomiarami, transmisją sygnałów oraz wstępnym przetwarzaniem danych (rysunek 1). Moduł może służyć jako koordynator lub urządzenie końcowe (end-device) w sieciach opartych na protokole IEEE 802.15.4.

Autonomiczny bezprzewodowy moduł można podzielić na następujące układy funkcyjne:

- podsystem sterowania, przetwarzania i gromadzenia danych, umożliwiający interpretację i wykonywanie komend przesyłanych ze stacji bazowej, sterowanie poszczególnymi elementami funkcyjnymi modułu, wstępne przetwarzanie danych (przeliczanie jednostek, kompensacja zakłóceń) oraz zapisywanie w pamięci EEPROM danych pomiarowych.
- podsystem komunikacyjny umożliwiający przesyłanie danych z autonomicznego czujnika do stacji bazowej w przypadku gdy moduł pełni funkcję urządzenia końcowego lub przesyłanie komend sterujących ze stacji bazowej do urządzeń końcowych,

gdy moduł pełni funkcję koordynatora i jest podłączony bezpośrednio do stacji bazowej,

- podsystem zasilania, dostarczający energię elektryczną do wszystkich elementów modułu, umożliwiającą przejście do trybu uśpienia, wybudzenia na skutek przerwania wygenerowanego przez zegar czasu rzeczywistego lub po przyjęciu żądania nawiązania komunikacji ze strony stacji bazowej.
- podsystem pomiarowy, umożliwiającą podłączenie zespołu czujników, dzięki którym możliwe jest monitorowanie różnych wielkości fizycznych.

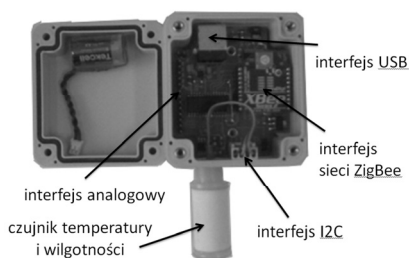
Do budowy modułu zastosowano mikrokontroler PIC24F16KA102. Rodzina mikrokontrolerów firmy Microchip PIC24F charakteryzuje się bogatym zestawem wbudowanych układów. Mikrokontroler między innymi umożliwia przesyłanie danych przez różne interfejsy komunikacyjne, posiada wbudowany zegar czasu rzeczywistego z kalendarzem oraz jest wyposażony w interfejsy analogowo – cyfrowe umożliwiające akwizycję sygnałów analogowych. Rodzina PIC24F należy również do grupy mikrokontrolerów z jedną z najlepszych technologii oszczędzania energii o nazwie nanoWatt.

Na bazie mikrokontrolera zbudowano podsystem sterowania, przetwarzania i gromadzenia danych. Podsystem ten uzupełniono o układ dodatkowej pamięci EEPROM 24LC256 w celu zapewnienia możliwości rejestracji i przechowywania danych w odstępach czasu, gdy nie ma możliwości przesyłania danych do systemu bazowego.

Mikrokontroler PIC24F16KA102 zastosowano do sterowania również podsystemem zasilania modułu. Mikrokontroler dzięki rozbudowanym funkcjom, związanym z zarządzaniem energią (pięć trybów pracy), może teoretycznie w najbardziej oszczędnym trybie głębokiego uśpienia (Deep Sleep) zużywać tylko 20 nA prądu. W przypadku, gdy konieczny do pracy modułu jest zegar czasu rzeczywistego z kalendarzem oraz inne układy peryferyjne, zużycie energii jest znacznie wyższe. Jednak nawet w tym przypadku czas pracy na zasilaniu baterijnym można wydłużyć, przy użyciu odpowiednio zaprojektowanego układu zasilania i oprogramowania, do kilku, a nawet kilkunastu miesięcy.

Podsystem komunikacyjny składał się z dwóch interfejsów (rysunek 2):

- interfejsu przewodowego wykorzystującego protokół USB,
- interfejsu bezprzewodowego wykorzystującego moduły komunikacyjne XBee firmy DIGI.



Rys. 2. Moduł bezprzewodowy z czujnikiem temperatury i wilgotności powietrza  
Fig. 2. The wireless module with a temperature and humidity sensor

Interfejs przewodowy USB umożliwiał komunikację i zasilanie modułu, po podłączeniu modułu bezpośrednio do komputera, przez łącze kablowe. Interfejs ten jest wykorzystywany w przypadku, gdy moduł jest podłączony bezpośrednio do stacji bazowej i pełni funkcję interfejsu komunikacyjnego sieci bezprzewodowej dla stacji bazowej.

Interfejs bezprzewodowy umożliwia podłączenie modułów komunikacji bezprzewodowej serii XBee firmy DIGI [1]. Moduły te charakteryzują się standardowym interfejsem połączeniowym, umożliwiającym szybką i łatwą wymianę modułów, w zależności

od typu i zasięgu sieci. Umożliwiają one stosowanie protokołów sieciowych z rodziny IEEE 802.15.1, w tym protokołu ZigBee, protokołów 802.11n (Wi-Fi), a także poprzez rozwiązania firmowe dają możliwość przesyłania danych nawet na odległość do 80 km.

Dodatkowo, możliwości komunikacyjne modułu pomiarowego zostały uzupełnione o opracowany interfejs sieci CANBus. Rozszerzenie CANBus może być zainstalowane zamiast modułów bezprzewodowych XBee. W takim przypadku moduły pomiarowe mogą być częścią sieci przemysłowej i po odpowiednim przeprogramowaniu pełnić rolę inteligentnych przetworników pomiarowych, w układach monitorowania lub sterowania procesami w budynkach gospodarczych lub maszyn rolniczych.

W przypadku, gdy moduły nie są podłączone do sieci komunikacyjnej, mogą pełnić rolę autonomicznego rejestratora danych. Dane z podłączonych do modułu czujników w zaprogramowanych odstępach czasu mogą być pobierane, a po wstępnym przetworzeniu zapisywane są w pamięci EEPROM. Wówczas istnieje, poprzez złącze kablowe USB, możliwość pobierania danych z pamięci modułu.

Podsystem pomiarowy wykorzystuje interfejs I2C, w który standardowo jest wyposażony mikrokontroler PIC24F16KA102 oraz jego przetworniki analogowo - cyfrowe i timery. W celu oszczędnego gospodarowania energią zasilanie czujników jest włączane programowo tylko w momencie przeprowadzania pomiarów a po pomiarze wyłączane.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Procesy produkcyjne w nowoczesnym rolnictwie często wymagają zastosowania systemu pomiarowego składającego się z dużej liczby punktów pomiarowych rozproszonych na dużym obszarze. Głównym problemem w takim systemie jest transmisja danych i zasilanie czujników. Moduł umożliwia podłączanie różnych typów czujników ich zasilanie, wstępne przetwarzanie danych pomiarowych oraz ich transmisję do stacji bazowej bez konieczności stosowania okablowania. Moduł może pracować jako zdalny rejestrator danych w przypadku gdy nie jest konieczne przesyłanie danych w czasie rzeczywistym np. transport produktów. Dzięki budowie składającej się z bloków funkcyjnych możliwe jest jego szybkie dostosowanie do innych potrzeb np. zastąpienie sieci bezprzewodowej siecią przemysłową CANBus.

*Autor pragnie podziękować Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za finansowanie badań (Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki – projekt badawczy nr N N313 211337).*

## 6. Literatura

- [1] Digi International Inc., Application notes XBee and XBee-Pro, www.digi.com
- [2] Mahalik N.P. (Ed): Handbook of Sensors and Networks, Springer-Verlag Berlin, 2007.
- [3] Michta E.: Tendencje rozwojowe w obszarze systemów pomiarowo – sterujących, PAK 6/2006.
- [4] Stojmenović I. (Ed): Sensor Networks and Configuration, John Wiley & Sons, 2005.
- [5] Tomkiewicz D.: Zastosowanie protokołu ZigBee do transmisji sygnałów w rozproszonym systemie pomiarowym, Inżynieria Rolnicza 9 (118), 2009.
- [6] Tomkiewicz D.: Układy elektroniczne w maszynach i urządzeniach rolniczych, podręcznik akademicki pt. Technologia prac maszynowych w rolnictwie ekologicznym, pod redakcją Dulcet E., Fleszar J., Koszalin 2010.

otrzymano / received: 10.07.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.09.2012

artykuł recenzowany / revised paper