

Transmisja danych pomiarowych w łączu radiowym 433 MHz małej mocy

Andrzej Jurkowski*

Celem pracy było zbadanie systemu radiowej transmisji danych pomiarowych pod kątem stopy błędów i przepływności w funkcji odległości. Przyjęto, iż projektowany system powinien umożliwić akwizycję danych pomiarowych, przesłanie ich drogą radiową na odległość do 10 metrów, poprawne odczytanie i archiwizację oraz wizualizację za pomocą PC. Układ powinien być zrealizowany w sposób niewymagający od użytkownika starania się o przydział pasma i rejestracji nadajnika. System powinien być przy tym tani i prosty w obsłudze.

W systemach pomiarowych często zachodzi potrzeba zastąpienia łącza przewodowego bezprzewodowym. Pozwala to na zwiększenie mobilności urządzenia, może obniżyć koszt realizacji systemu i jednocześnie stwarza zupełnie nowe, wcześniej nieosiągalne możliwości. W przypadku pomiarów obiektów drgających lub wirujących łącze bezprzewodowe bliskiego zasięgu pozwala na eliminację zestyków, które są narażone na uszkodzenia mechaniczne. Łącze bezprzewodowe czyni to urządzenie bardziej odpornym na uszkodzenia, czyli tańszym w eksploatacji.

Układ do transmisji danych

Zdecydowano się na zastosowanie układów nadawczo-odbiorczych (transceiverów) małej mocy o częstotliwości środkowej 433,92 MHz. Układy nadawczo-odbiorcze serii DR3100-1 firmy RFM, pozwalają na precyzyjne ustawienie mocy nadajnika, która została ustalona na 2,4 mW (3,8 dBm). Wybrana częstotliwość i moc pozwala na nielicencjonowane nadawanie, zgodnie z ustaleniem Urzędu Regulacji Telekomunikacji. Ponadto nie jest wymagana homologacja nadajnika (aneks 1 do Dz. U. 02.138.1162 z dnia 30 sierpnia 2002 r.).

System składa się z dwóch urządzeń: nadrzędnego – stacji bazowej, która inicjuje i steruje transmisją oraz podrzędnego – stacji ruchomej, która jest urządzeniem pomiarowym (rys. 1).

Stacja ruchoma musi być zasilana bateryjnie. Zastosowano trzy baterie typu AA oraz stabilizator napięcia LP2951-3,3V o ultraniskim spadku napięcia (380 mV przy 100 mA). Mikroprocesor wchodzący w skład stacji (ADuC812 firmy Analog Devices) wyposażony jest w system kontroli napięcia zasilającego (*Power Supply Moni-*

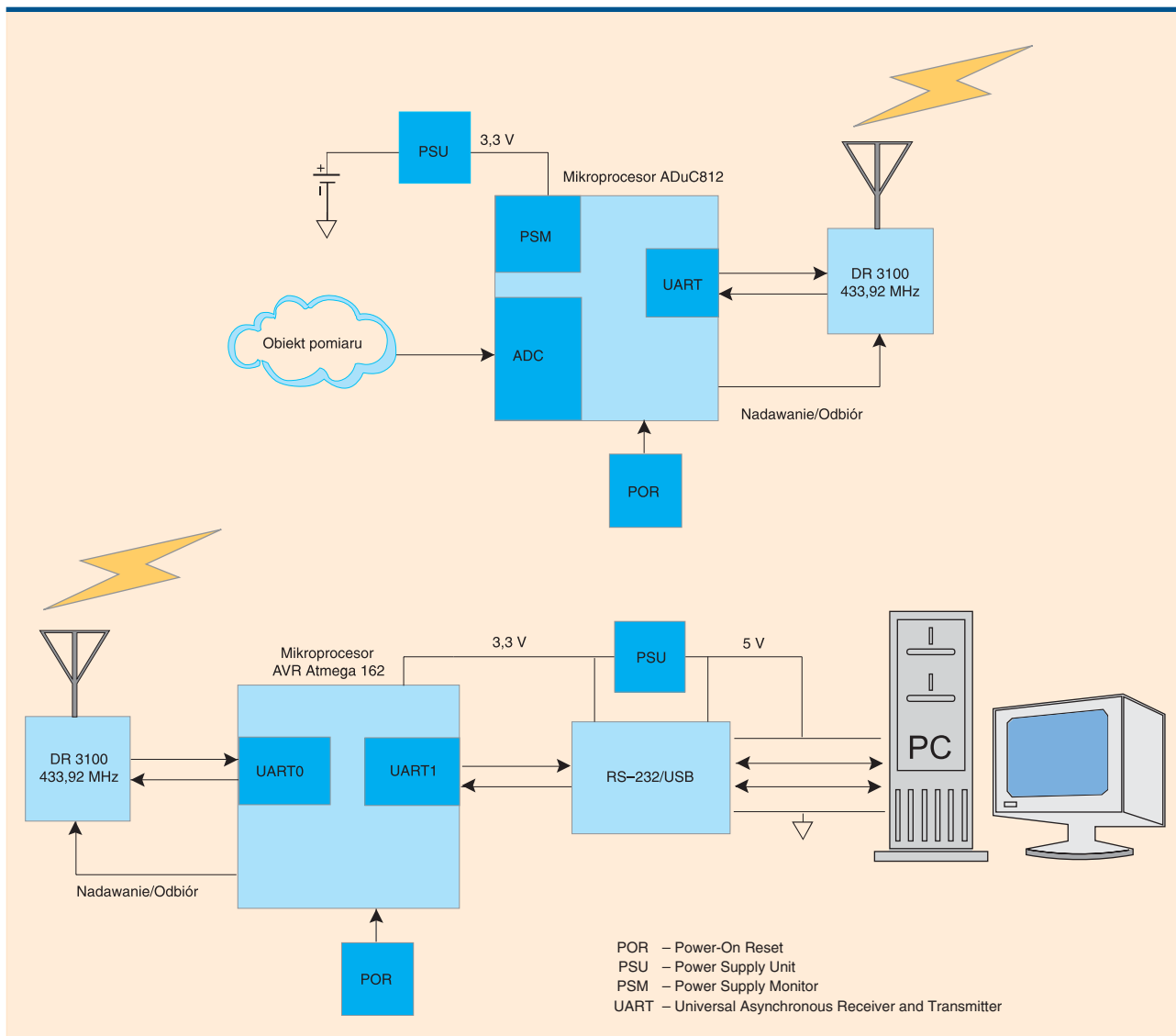
tor). Oprogramowanie zostało tak napisane, aby następowało ciągle śledzenie stanu zasilania i dołączanie statusu zasilania do komunikatu radiowego. Pozwala to stacji bazowej na ocenę stanu baterii. Ponieważ transmisja radiowa jest prowadzona w trybie półdupleks, stacja ruchoma prowadzi ciągły nasłuch i odpowiada na zapytania stacji bazowej. Mikroprocesor stacji ruchomej, na żądanie, próbkuje wybrany kanał i przesyła dane do stacji bazowej poprzez łącze radiowe, wykorzystując do tego interfejs szeregowy. Sygnał pomiarowy może zostać doprowadzony do jednego z 8 kanałów pomiarowych 12-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego.

Stacja bazowa jest zasilana bezpośrednio z interfejsu szeregowego USB komputera osobistego PC. Eliminuje to potrzebę stosowania zasilacza sieciowego i czyni układ mniej skomplikowanym i tańszym. Obsługę protokołu USB zapewnia układ konwertera USB/RS-232. Ten układ scalony (FT8U232 firmy FTDI), sprzętowo realizuje cały proces komunikacji poprzez interfejs szeregowy USB, a sterownik zainstalowany na komputerze PC powoduje, iż po podłączeniu stacji bazowej do komputera interfejs USB jest widoczny jako dodatkowy port komunikacji szeregowy (np. COM4). Mikroprocesor stacji bazowej ma dwa układy transmisji szeregowy (UART) – przez pierwszy odczytuje komunikaty sterujące z komputera PC i odpowiednio zarządza transmisją radiową, która jest zestawiona na drugim porcie. Dodatkowo mikroprocesor został oprogramowany tak, aby możliwe było buforowanie przesyłanych informacji z/do komputera PC. Pozwala to na kontrolowany poślizg, który jest nieunikniony przy retransmisji danych podczas wykrycia błędnego pakietu.

Ramka transmisyjna

W celu uproszczenia modułów zdecydowano się, że poprzez łącze radiowe dane będą przesyłane typowym protokołem szeregowym (bit startu, 8 bitów danych i bit stopu).

* mgr inż. Andrzej Jurkowski – doktorant w Instytucie Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej



Rys. 1. System pomiarowy z radiową transmisją danych

Tabela 1. Format ramki transmisyjnej

Nagłówek				Segment danych	Sekwencja końcowa	
preambuła	syncByte	startWord	dataLength Byte	dane	CRC16	endByte
180-870 μs	1 bajt	2 bajty	1 bajt	max 128 bajtów	2 bajty	1 bajt
2-10 bajtów 0xAA	0xFF	0x01 0x7F				0x00
520–1215 μs				87 μs–11,1 ms	260 μs	

Po wstępnych próbach, a także opierając się na danych katalogowych producenta transceiverów wprowadzono następujący format ramki transmisyjnej (tabela 1).

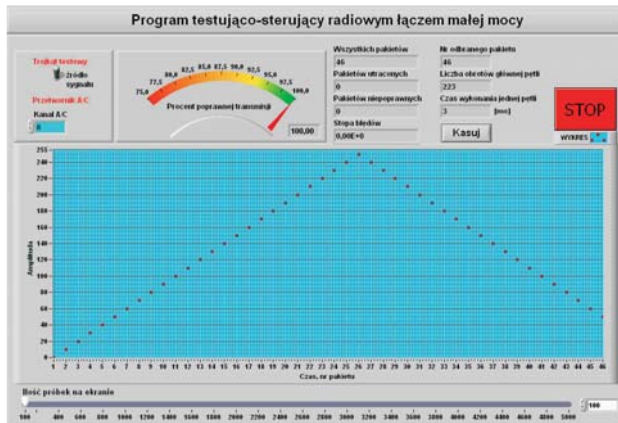
W nagłówku zawarto „preambułę”, która przygotowuje obwody wejściowe odbiornika na poprawne odebranie nadchodzących danych. W celu poprawnego wykrycia (przez odbiornik) początku transmisji, zastosowano słowo startowe. Kolejną składową ramki jest segment danych oraz zabezpieczająca go sekwencja końcowa. Zastosowano wielomian korekcyjny CRC16 naliczony przez nadajnik z segmentu danych.

W odbiorniku, wielomian ten jest porównywany z wielomianem naliczonym w identyczny sposób. Na tej podstawie podejmowana jest decyzja o poprawności odebranego pakietu. Prawdopodobieństwo, że odebrany pakiet uznany za poprawny na podstawie CRC16, zawiera błędy wynosi 20×10^{-6} . Podana wartość dotyczy najgorszego przypadku, tzn. gdy błędy w pakiecie są seryjne i dłuższe niż 18 bitów. Dla błędów pojedynczych, podwójnych i seryjnych krótszych niż 16 bitów wykrycie błędu jest pewne w 100 %.

Wpływ języka programowania na pracę systemu

Oprogramowanie całego systemu zostało napisane w kilku językach, między innymi w assemblerze, C, C++ i LabView. Powodem takiej różnorodności języków

było wykorzystanie możliwości, jakie daje język C dla oprogramowania mikroprocesorów jednocukładowych oraz możliwości, jakie daje LabView przy wizualizacji systemów pomiarowo-kontrolnych.



Rys. 2. Widok okna programu sterującego napisanego w LabView

Zastosowanie języka C, było podyktowane tym, że ma on większą przejrzystość kodu źródłowego od języków niskiego poziomu (assembler). Jest to ważna cecha podczas budowania systemu, który ma być często modyfikowany. Dodatkowo zastosowanie języka C w urządzeniach, które zawierają procesory z różnymi jądrami (AVR, MCS51) pozwala na częściową przenośność oprogramowania. Napisaną procedurę fragment programu, można użyć w układzie z procesorem o innej architekturze. Skracza to czas realizacji projektu oraz koszty wdrożenia.

Program dla mikroprocesora ADuC812 (zgodny z MCS-51), który zarządza stacją ruchomą, został napisany w zasadzie w języku C, jednak najważniejsze algorytmy zostały zakodowane w assemblerze, ze względu na wydajność. Język C w tym wypadku pozwolił na jasne zdefiniowanie relacji między podprogramami (modułami), a assembler – na pełne wykorzystanie możliwości przeliczeniowych i pomiarowych mikroprocesora. Główne zadania stacji bazowej to: nasłuch radiowy, analiza pakietów transmisyjnych i w nich zawartych rozkazów przychodzących od komputera PC, akwizycja danych pomiarowych, budowanie pakietów transmisyjnych i ich wysyłanie, kontrola wysyłanych i odbieranych pakietów za pomocą CRC16.

Mikroprocesor zarządzający stacją bazową (ATmega162) ma rdzeń typu RISC. Sprawia to, że większość instrukcji wykonuje w jednym taktcie, co sprawia, że jest bardzo szybki (7 MIPS – Million Instructions per Second). Zapas mocy, prostsza budowa w porównaniu ze stacją ruchomą i skromniejsze zadania pozwoliły w całości oprogramować stację w języku C. Jej główne zadania to: komunikacja szeregową z komputerem *via* USB, buforowanie danych odbieranych i wysyłanych, budowanie i dekompilacja pakietów transmisyjnych, retransmisja w wypadku braku potwierdzenia ze strony stacji ruchomej.

Najbardziej rozbudowanym w obu stacjach jest moduł zarządzający transmisją radiową. Implementuje on

transmisję szeregową między stacjami, wykorzystując transceivery. Komunikacja polega na wymianie odpowiednio zdefiniowanych ramek transmisyjnych, oraz ich analizie pod względem poprawności. Akwizycją, wizualizacją i archiwizacją danych pomiarowych ze stacji zdalnej oraz sterowaniem przebiegiem pomiaru zajmuje się program na komputerze PC. Stworzony w środowisku LabView program jest przedstawiony na rys. 2.

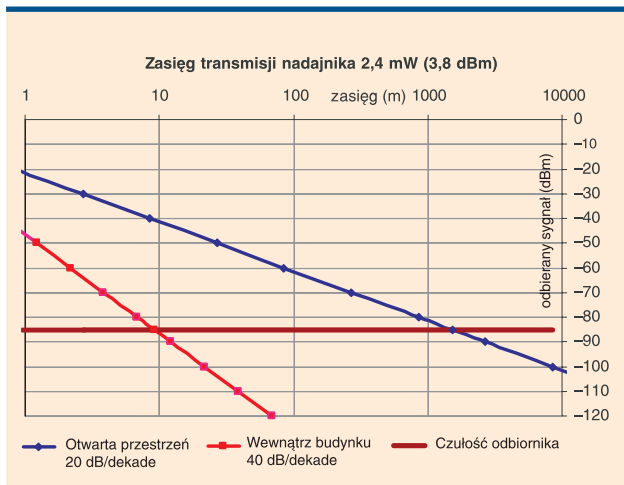
Wyniki badań systemu

Wykorzystując informacje zawarte w notach katalogowych producenta i na podstawie poniższego wzoru, wyznaczono teoretyczny zasięg transmisji na zewnątrz i wewnątrz budynku.

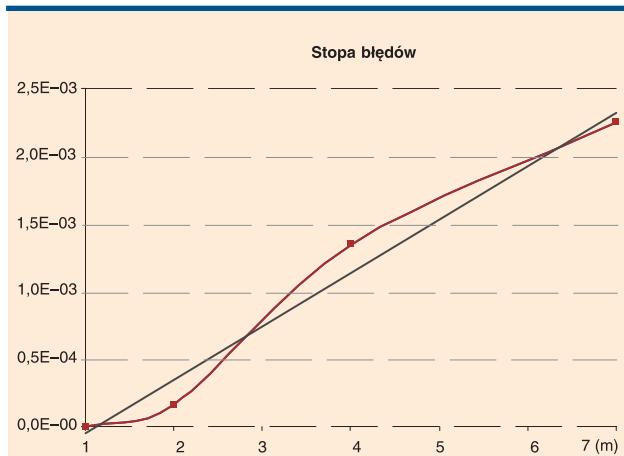
$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{TX}}{P_{IX}}} = \frac{23,87 \times 10^{20}}{f}$$

R – zasięg w metrach, f – częstotliwość w MHz, L – strata na ścieżce w dB.

Na wykresie 1 przedstawiono wyniki obliczeń. Można zauważyć, że przy danej czułości odbiornika (-85 dBm) i danej mocy nadajnika (3,8 dBm) jest moż-



Wykres 1. Zasięg transmisji na zewnątrz i wewnątrz budynku



Wykres 2. Stopa błędów w funkcji odległości

liwe uzyskanie połączenia wewnątrz budynku na odległość 10 m, a w otwartej przestrzeni nawet do 1500 m. Transceivery DR3100-1 umożliwiają transmisję z szybkością do 576 kbit/s, lecz ze względu na charakter systemu, w którym najważniejsza jest niezawodność, zdecydowano się na szybkość 115 kbit/s.

Przeprowadzono badania pod kątem poprawności transmisji, przy różnej odległości odbiornika od nadajnika, przesłano łącznie ponad 24 miliony pakietów (12 godzin bezustannej transmisji). Podczas badań nie wykorzystywano mechanizmów retransmisji, który w większości przypadków powinien skorygować błędy. Badano także wpływ rodzaju ramki transmisyjnej na przepływność systemu oraz na liczbę błędów.

Podsumowanie

Przepływność na poziomie 600 S/s rekomenduje ten układ do pracy jako zdalny system do pomiaru wielkości o względnie niskiej dynamice. Na przykład do pomiaru częstotliwości, jej harmonicznych lub innych zjawisk powiązanych z częstotliwością wału typowego silnika prądu przemiennego obracającego się z prędkością 24 obr/s. Pomiar takiej częstotliwości, jej harmonicznych lub innych zjawisk powiązanych z tą częstotliwością może być dobrym zastosowaniem dla tej aplikacji.

Ogólnie można podać, że układ nadaje się do zastosowania w następujących przypadkach:

- pomiary kontrolne obiektów takich jak mosty, załadki, silosy
- pomiary kontrolne obiektów wirujących (wały silników, generatorów)
- pomiary kontrolne w miejscach trudnodostępnych
- monitoring
- pomiary sygnałów wolnozmiennych (temperatura, ciśnienie, naprężenie, odczyn pH)
- zdalne sterowanie urządzeniami amatorskimi.

Literatura

John Anthes, RFM, „Unique considerations for data radio UARTs”.

Radiometrix Ltd. „Radiometrix BiM Transceiver Data Sheets”.

TriCOME Microwave Electronics Corporation, „Integrated Miniaturized Antenna for 433 MHz ISM Band Wireless RF Applications”.

RFM, „Antennas for low power applications”.

RFM, „ASH Transceiver Antenna Impedance Matching”

Andrew Simmonds, „Wprowadzenie do transmisji danych”.

Wojciech Mielczarek „Szeregowe interfejsy cyfrowe”, Helion Gliwice 1993 r.

National Instruments „LabVIEW 6i, Student Edition”

National Instruments „LabVIEW, Measurements Manual”.

Przenośne systemy pomiarowe



Systemy do pomiaru temperatury

- połączenie z komputerem przez Ethernet 10/100 Mbps
- maksymalnie do 896 kanałów w systemie pomiarowym
- termopary typu: J, K, T, E, S, R, B, N28, N14
- rozdzielczość: 0,1 C; dokładność 0,5 C
- temperatura pracy systemu od -30°C do +70°C
- temperatura pracy modułu do termopar od -40°C do +125°C
- zasilanie napięciem stałym 10-30 V
- bezpłatne oprogramowanie pomiarowe DqView
- sterowniki do DasyLab, LabVIEW, Matlab, Linux
- biblioteki dla programistów: C++, Visual Basic, ActiveX

Systemy do pomiaru wibracji

- połączenie z komputerem przez Ethernet 10/100 Mbps
- od 8 do 256 kanałów pomiarowych w systemie
- częstotliwość próbkowania do 500 kHz, 16 bit
- programowalne zakresy pomiarowe od 25 mV do 25 V
- jednoczesne próbkowanie wszystkich kanałów (SS8H)
- filtr antyaliasingowy, Butterworth, 12 pozycyjny
- temperatura pracy systemu od -30°C do +70°C
- zasilanie napięciem stałym 10-30 V
- oprogramowanie pomiarowe WaveView, PostView, eZ-Analyst, eZ-Rotate, eZ-Balance, eZ-TOMAS
- sterowniki do DasyLab, LabVIEW, Matlab, Linux



DaqBook

- próbkowanie z prędkością do 200 kHz
- rozdzielczość 16 bitów
- od 16 do 1024 wejść analogowych
- możliwość synchronizacji kilku jednostek
- połączenie z komputerem przez Ethernet 10/100M
- duży wybór modułów kondycjonujących
- bezpłatne oprogramowanie pomiarowe DqView
- Sterowniki do LabView, DasyLab, MATLAB

WaveBook

- próbkowanie z prędkością do 1 MHz
- rozdzielczość 12 lub 16 bitów
- od 8 do 288 wejść analogowych
- możliwość synchronizacji kilku systemów
- Połączenie z komputerem przez Ethernet 10/100M
- duży wybór modułów kondycjonujących
- bezpłatne oprogramowanie pomiarowe WaveView
- sterowniki do LabView, DasyLab



ul. Radna 12, 00-341 Warszawa
tel. (22) 821 30 54
faks: (22) 821 30 55
e-mail: elmark@elmark.com.pl

www.elmark.com.pl