

BEZPRZEWODOWY SYSTEM POMIAROWO-DIAGNOSTYCZNY

Tomasz BOJKO, Grzegorz CHMAJ

Katedra Robotyki i Mechatroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, +12-634 35 05, bojko@agh.edu.pl

Streszczenie

Technologie wykorzystujące bezprzewodową transmisję danych są obecnie jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi elektroniki. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych podzespołów elektronicznych możliwa jest budowa inteligentnych układów pomiarowych znajdujących zastosowanie w pomiarach i diagnostyce urządzeń i budowli. W artykule opisano aplikację bezprzewodowych modułów pomiarowych z systemem TinyOS opracowaną do pomiarów związanych z diagnostyką strukturalną. Przedstawiono opracowane przez autorów artykułu oprogramowanie oraz uzyskane rezultaty pomiarów. Opisano również nowo projektowany system z synchronizacją pomiarów za pomocą odbiornika GPS.

Słowa kluczowe: systemy pomiarowe, analiza modalna, diagnostyka.

WIRELESS MEASUREMENT SYSTEM

Summary

Wireless data transfer technologies are one of the fastest developed applications in electronics. Recent technological advances have enabled the development of intelligent measurement sensor devices which can be applied in measurement and diagnostics of machines and civil constructions. In the paper the wireless measurement system based on TinyOS operating system was presented. This system was developed for structural health monitoring applications, The developed PC software and results of laboratory experiments was presented. In the paper the description of new developed system with GPS synchronisation was described.

Keywords: measurement systems, modal analysis, diagnostics.

1. WSTEP

Szybki postęp elektroniki umożliwił rozwój i zastosowanie zaawansowanych układów sensorycznych w diagnostyce. Dzięki zastosowaniu w tych układach mikrokontrolerów możemy realizować w nich nie tylko zadania związane z przetwarzaniem danych, ale również zadania obliczeniowe i związane z transmisją danych [1].

Wiele z oferowanych rozwiązań inteligentnych czujników pomiarowych bazuje na bezprzewodowej transmisji danych, która ułatwia, przyspiesza i zmniejsza koszty instalacji systemu diagnostycznego [2]. Rozwiązania związane z bezprzewodowymi układami pomiarowymi są jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin elektroniki. Pojawienie się nowych układów do bezprzewodowej transmisji danych umożliwia budowanie nowych, coraz bardziej wydajnych i zużywających coraz mniej energii układów pomiarowo diagnostycznych.

W niniejszym artykule opisano prace prowadzone w KRiM AGH, zmierzające do opracowania bezprzewodowego systemu

pomiarowego przeznaczonego dla rozległych obiektów technicznych, takich jak np. mosty.

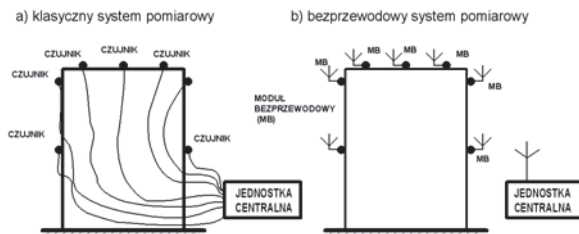
1.1. Wymagania stawiane bezprzewodowemu systemowi pomiarowo-diagnostycznemu

Analizując wymagania stawiane układom pomiarowym stosowanym w diagnostyce strukturalnej, wymienić można kilka istotnych parametrów, którymi powinien cechować się projektowany system.

Najistotniejszym z wymagań jest czasowa synchronizacja pomiarów realizowanych przez autonomiczne moduły pomiarowe. W układzie standardowym czujniki pomiarowe połączone są z jednostką akwizycji danych pomiarowych przez połączenia sztywne, natomiast przy zastosowaniu układów bezprzewodowych konieczne jest opracowanie mechanizmu synchronizacji pomiaru. Schemat klasycznego oraz bezprzewodowego układu pomiarowego pokazano na rys. 1.

Charakter transmisji radiowej oraz możliwości i parametry oferowanych rozwiązań sprzętowych ukierunkowują nasz wybór na rozwiązania, w których można bezpośrednio, z możliwie małymi

opóźnieniami sterować pracą toru radiowego. Przykładem takiego rozwiązania są moduły radiowe zbudowane na bazie układów firmy Chipcon np. CC1000 [3]



Rys. 1. Klasykny i bezprzewodowy system pomiarowy

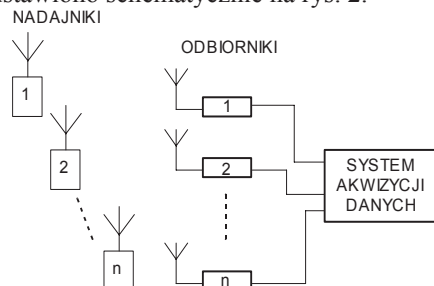
Układy radiowe zbudowane z zastosowaniem wymienionych modułów cechują się dużą wydajnością, nieskomplikowaną konstrukcją, niską ceną oraz niskim zużyciem energii.

Bezprzewodowe moduły pomiarowe stosowane w diagnostyce powinny również cechować się odpornością na wpływ temperatury. Zastosowanie modułów pomiarowych do pomiarów budowl i konstrukcji wiąże się z wpływem czynników środowiskowych, a w szczególności wpływem temperatury, która może zmieniać się w szerokich granicach. Zastosowanie standardowych metod kompensacji wpływu temperatury, stosowanych w układach stacjonarnych nie jest możliwe z uwagi na brak odpowiednio wydajnego źródła zasilania. Należy więc skupić się na innych metodach, umożliwiających kalibrację i synchronizację niezależnych układów pomiarowych.

1.2. Rozwiązania bezprzewodowych czujników pomiarowych dla potrzeb diagnostyki

Szczególnie trudna z technicznego punktu widzenia jest synchronizacja pomiaru, realizowanego przez system niezależnych czujników. Analizując dostępne rozwiązania można stwierdzić, że koncentrują się one wokół dwóch ogólnych schematów sieci bezprzewodowych.

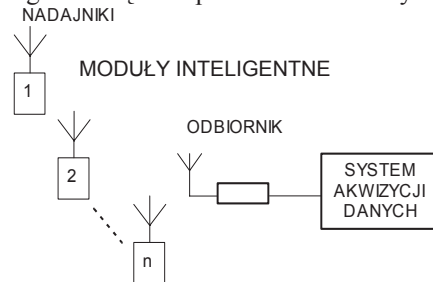
Pierwsze z nich charakteryzuje wykorzystanie wielu kanałów pasma radiowego do synchronicznej transmisji danych z czujników. Rozwiązanie to przedstawiono schematycznie na rys. 2.



Rys. 2. Bezprzewodowa transmisja wielokanałowa sygnałów pomiarowych

Istotnym ograniczeniem tego rozwiązania jest liczba kanałów w wybranym paśmie transmisji oraz to, że każdy z nadajników musi posiadać swój odbiornik, co czyni system skomplikowanym oraz drogim. Bezprzewodowe systemy transmisji danych bazujące na tym rozwiązaniu oferowane są przez szereg firm, w tym firmę MicroStrain Inc [4].

Drugie z możliwych rozwiązań polega na budowie inteligentnych modułów pomiarowych wyposażonych w układy pamięci, w których podczas sesji pomiarowej gromadzone są dane. Zgromadzone dane pomiarowe wraz ze znacznikiem czasowym przesyłane są, po pomiarze, kolejno do odbiornika stacji bazowej, gdzie podlegają archiwizacji i dalszej obróbce. Schemat blokowy opisanego rozwiązania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Bezprzewodowy system pomiarowy z inteligentnymi modułami pomiarowymi i jedną stacją bazową

Istotnym problemem tego rozwiązania jest synchronizacja podczas pomiaru poszczególnych modułów pomiarowych. Problemem pozostaje również wpływ temperatury na dokładność i synchronizację sygnału zegarowego dla mikrokontrolerów, w które wyposażone są moduły. Mimo tej niedogodności systemy bazujące na modułach inteligentnych są jednymi z najczęściej oferowanych rozwiązań z zakresu bezprzewodowych układów pomiarowych. Przykładem rodziny takich układów są moduły MICA2 oferowane przez firmę Crossbow Inc. [5], które zastosowano w podczas pomiaru opisanego w dalszej części artykułu.

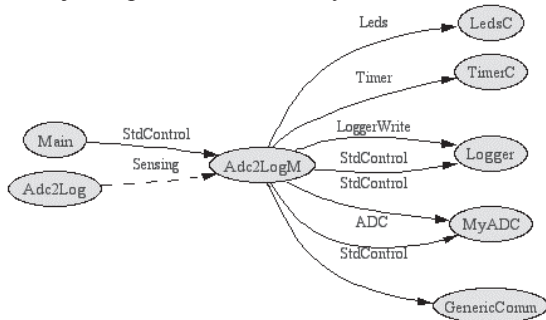
2. ZASTOSOWANIE UKŁADÓW MICA2 ORAZ SYSTEMU TINYOS

2.1. Aplikacja pomiarowa w systemie TINYOS

Oprogramowanie pomiarowe inteligentnych modułów zastosowanych podczas pomiaru testowego, wykonano w systemie operacyjnym TinyOS [6]. System przystosowany jest do obsługi inteligentnych bezprzewodowych modułów pomiarowych. Dostarczany z systemem TinyOS kompilator języka nesC umożliwia łatwe i szybkie projektowanie aplikacji użytkownika za pomocą standardowych komponentów takich jak: proces główny, zegar, obsługa pamięci, funkcje transmisji bezprzewodowej.

Architektura języka nesC uwalnia użytkownika od technicznych aspektów związanych ze specyfiką sprzętu. Ten sam program użytkownika, po uprzednim skompilowaniu, może być uruchamiany na wszystkich platformach sprzętowych dostępnych w systemie TinyOS. Zadaniem programisty jest zatem jedynie ustalenie logiki działania programu i poprawne wykorzystanie dostępnych metod.

Schemat współdziałania i zależności pomiędzy zastosowanymi w opracowanym programie interfejsami przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat współdziałania komponentów w opracowanej aplikacji pomiarowej.

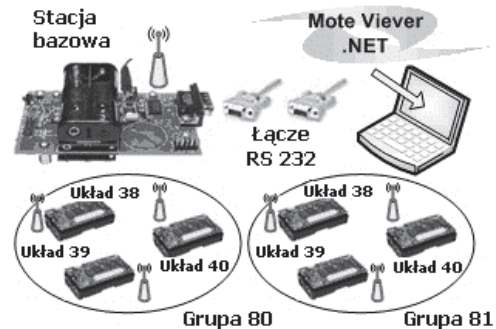
Aplikacja pomiarowa współdziała z opracowanym przez autorów artykułu programem Mote Viewer, który umożliwia komunikację pomiędzy komputerem bazowym i modułami pomiarowymi, zarządzanie przesłanymi danymi pomiarowymi, testowanie modułów oraz ich konfigurację. Schemat blokowy kompletnego systemu oraz opis aplikacji MoteViewer zostanie przedstawiony w kolejnych podrozdziałach.

2.1. Struktura opracowanego systemu pomiarowego z modułami MICA2 i aplikacją Mote Viewer

Na rys. 5 został przedstawiony schemat blokowy opracowanego systemu pomiarowego. Jak wynika ze schematu, aplikacja Mote Viewer wykorzystując port szeregowy komputera klasy PC, komunikuje się ze stacją bazową sieci. Zadaniem stacji bazowej jest wysyłanie oraz odbieranie odpowiednio skonstruowanych pakietów sieciowych. W podstawowym cyklu pracy, aplikacja Mote Viewer wysyła rozkaz rozpoczęcia pomiaru do wszystkich modułów w sieci, a następnie kolejno z każdego modułu odczytuje zarejestrowane dane i udostępnia innym aplikacjom. Aby rozpocząć pomiar we wszystkich modułach sieci bezprzewodowej, Mote Viewer wysyła odpowiednio skonstruowany pakiet sieciowy zawierający między innymi informację do kogo adresowany jest pakiet.

Każdy moduł posiada nadany swój unikalny adres sieciowy i w normalnym cyklu pracy analizuje przychodzące pakiety w celu wyłapania pakietów zaadresowanych do niego. Wysyłając do modułów pakiet, w którym adres sieciowy ustawiony jest na 65535 wywołany jest jego odbiór przez wszystkie węzły w sieci i następuje rozpoczęcie pomiaru.

W ten sposób aplikacja wysyła rozkaz startu pomiaru do wszystkich modułów. Po odebraniu rozkazu startu pomiaru, niezależne moduły rozpoczynają pomiar. Ustawienie częstotliwości próbkowania oraz liczby próbek do zarejestrowania umieszczona jest w pakiecie konfiguracyjnym wysylnym przed rozpoczęciem sesji pomiarowej.



Rys. 5. Komunikacja aplikacji Mote Viewer z bezprzewodowym systemem pomiarowym

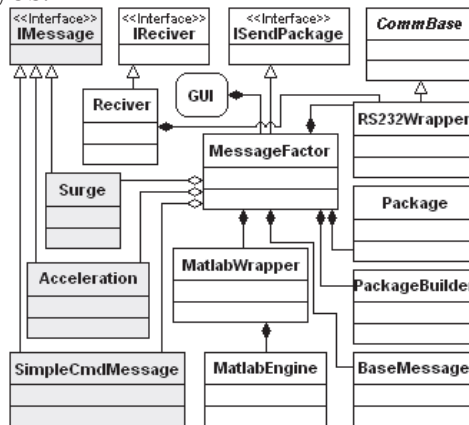
Po zarejestrowaniu i umieszczeniu przez moduły w pamięci danych pomiarowych aplikacja Mote Viewer wysyła następnie do każdego modułu pakiet zawierający rozkaz odczytu danych. W tym przypadku każdy wysłany pakiet zostaje zaadresowany do pojedynczego modułu i w momencie odebrania go przez adresata rozpoczyna się transfer zarejestrowanych danych do stacji bazowej. Dane z każdego modułu zostają zgromadzone w aplikacji MoteViewer, gdzie możliwa jest ich dalsza obróbka przez użytkownika systemu.

2.2. Struktura aplikacji MOTE VIEWER

Strukturę aplikacji akwizycji danych pomiarowych wraz z dodatkowymi modułami klas zbudowano w języku UML [7] i przedstawiono na rys. 6. Diagram klas generowany jest przez kompilator w języku angielskim i wynika to ze specyfiki kompilatora.

Całość aplikacji składa się z szeregu klas pełniących odpowiednie funkcje oraz panelu użytkownika - Graphics User Interface (GUI) - skąd cała aplikacja jest sterowana. Główną klasą aplikacji jest klasa *MessageFactory*, która jest klasą nadrzędną dla pozostałych. Dziedziczy ona metody z interfejsu *ISendPackage*, implementując jego metody w celu zapewnienia możliwości wysłania informacji do panelu użytkownika o każdym pakiecie sieciowym, który został odebrany. Odbiorem i wysyłaniem pakietów zajmuje się klasa *RS232Wrapper*, która jest odpowiedzialna za komunikację z portem szeregowym komputera. Zanim jednak jakikolwiek pakiet zostanie wysłany do węzłów sieci, musi on zostać w odpowiedni sposób zbudowany i sprawdzony. Zadanie to realizowane jest w klasie *Package*, w której zostały zaimplementowane metody budowy pakietów

sieciowych zgodnych z specyfikacją systemu TinyOS.



Rys. 6. Diagram klas systemu Mote Viewer

Odbiorem pakietów przesyłanych przez węzły sieciowe zajmuje się klasa *Reciver*. Klasa ta ma za zadanie budowę pakietów z pojedynczych bajtów odczytanych z portu szeregowego. Na podstawie otrzymanych bajtów następuje rozpoznanie początku i końca pakietu. Jeżeli pakiet został pomyślnie rozpoznany i zbudowany zostaje on przekazany do klasy *PackageBuilder*, gdzie gromadzone są wszystkie otrzymane pakiety.

Każdy program zaimplementowany w aplikacji jest również osobną klasą, dziedziczącą z interfejsu *IMessage*, umożliwiając w ten sposób wykorzystanie niezbędnych metody budowy komunikatów sterujących węzłami sieci. Rozwiązanie takie, w łatwy sposób pozwala na rozszerzanie aplikacji o nowe programy, dla których rozkazy sterujące mogą się różnić. Opisujemy wcześniej program służący do równoczesnego pomiaru we wszystkich węzłach sieci został zaimplementowany w klasie *Acceleration*.

Po zakończonym pomiarze i akwizycji danych, wszystkie próbki pomiarowe z poszczególnych modułów są przechowywane, jak już wspomniano wcześniej, w klasie *PackageBuilder*. Użytkownik ma do dyspozycji panel, na którym może oglądać zarejestrowane sygnały, może je również wyeksportować do przestrzeni roboczej środowiska Matlab. Zadaniem tym zajmuje się klasa *MatlabWrapper*, która jest odpowiedzialna za nawiązanie sesji z środowiskiem Matlab oraz transfer danych.

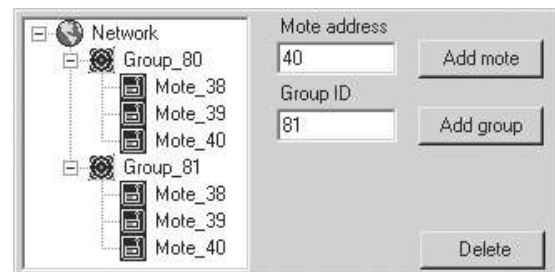
2.3. Opis przykładowej sesji pomiarowej

Opis przykładowej sesji pomiarowej zostanie przedstawiony dla aplikacji *Acceleration*. Zadaniem aplikacji jest pomiar drgań mechanicznych równocześnie we wszystkich modułach, a po zakończonym pomiarze następuje akwizycja danych do stacji bazowej.

W przykładowej sesji pomiarowej brało udział sześć modułów podzielonych na dwie grupy. Jednej z grup nadano identyfikator o numerze 80 drugiej o numerze 81. Każdemu modułowi w danej grupie

przydzielone zostały odpowiednio adresy 38, 39 oraz 40. Pomiar został przeprowadzony przy udziale wszystkich modułów należących do grupy 80 i następnie 81. W pierwszym kroku wykonano konfigurację sieci odpowiadającą podanemu powyżej opisowi elementów sieci. Do tego celu zastosowano obiekt z panelu użytkownika pokazany na rys. 7.

Budowa sieci następuje poprzez dodanie do drzewa odpowiedniej liczby grup, a następnie do każdej grupy - modułów do niej należących. Drugim krokiem było ustalenie czasu próbkowania oraz wymaganej liczby próbek, wybranie grupy, w której ma być przeprowadzony pomiar, a następnie przesłanie rozkazu startu pomiaru do modułów. Warunkiem jednoczesnego rozpoczęcia pomiaru we wszystkich modułach danej grupy jest zaadresowanie pakietu sieciowego adresem 65535.



Rys. 7. Panel konfiguracji sieci w aplikacji Mote Viewer

Wykonano pomiar kolejno w grupie numer 80 i w grupie 81. Po zakończonej sesji pomiarowej w dwóch grupach zrealizowano akwizycję danych pomiarowych do stacji bazowej.

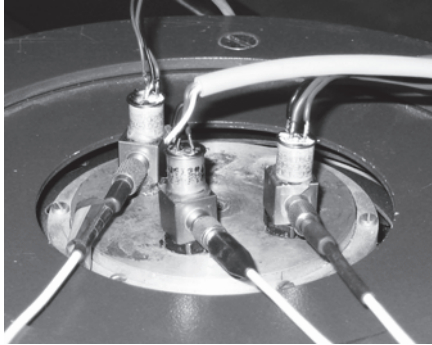
Odczyt danych z modułów polega na zaznaczeniu odpowiedniego węzła z rys. 7, a następnie wysłaniu do rozkazu czytania danych. Pakiety są automatycznie zaadresowane wybranym numerem modułu pochodzącym z ustalonej konfiguracji. Dane z wszystkich modułów sieci zgromadzone w aplikacji, można wyeksportować do przestrzeni roboczej środowiska Matlab, gdzie zostaną poddane procesowi dalszej obróbki.

3. EKSPERYMENT POMIAROWY

3.1. Opis stanowiska

Do weryfikacji opisywanego systemu pomiarowego zastosowano stanowisko ze wzbudnikiem drgań. Do pomiaru referencyjnego zastosowano system pomiarowy SCADAS III firmy LMS. Wykonano pomiary z wymuszeniem 5Hz, 30Hz, 60Hz i 100Hz. Wybranie tak niskich częstotliwości podyktowane było przewidywanym zastosowaniem systemu do pomiarów drgań budowli. Częstotliwość próbkowania obu systemów referencyjnego i badanego wynosiła 200Hz. Do pomiaru przyspieszeń mierzonych przez moduły radiowe zastosowano zintegrowane czujniki

przyśpieszeń firmy Oceana Sensors [8]. Widok zamocowanych na wzbudniku czujników pomiarowych oraz czujników referencyjnych pokazano na rys. 8.

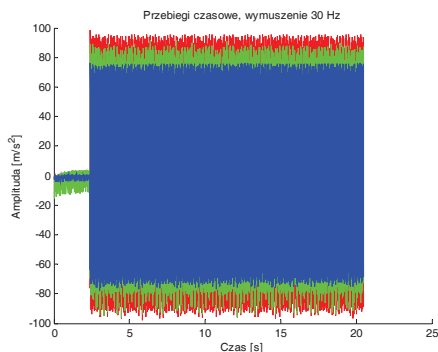


Rys. 8. Czujniki pomiarowe oraz referencyjne zamocowane na wzbudniku

3.2. Wyniki pomiarów

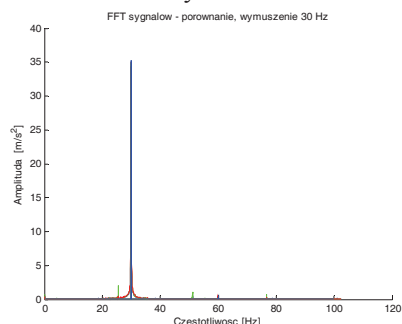
Eksperyment zrealizowano w kilku seriach pomiarowych. Dane pomiarowe zostały odczytane z modułów i umieszczone w przestrzeni Matlab. Następnie wykonano skalowanie pomiarów i porównano wyniki z wynikami uzyskanymi za pomocą czujników referencyjnych.

Analizując wyniki w zakresie częstotliwości 5 Hz stwierdzono, że z uwagi na słabe parametry wzbudnika nie są one wystarczająco dokładne do uzyskania wiarygodnych porównań. Do dalszej analizy przyjęto zatem dane pomiarowe w zakresie 30Hz, 60Hz oraz 100 Hz. Przykładowy przebieg czasowy dla wymuszenia 30 Hz pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Przebiegi czasowe dla wymuszenia 30Hz

Dla powyższego wymuszenia wykonano analizę FFT przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Analiza FFT dla wymuszenia 30 Hz

Analogiczne wyniki uzyskano dla kolejnych częstotliwości wymuszeń.

3.3. Wnioski z przeprowadzonych pomiarów

Analizując otrzymane dane stwierdzono, że:

1. konieczne jest wprowadzenie mechanizmów potwierdzenia rozpoczęcia pomiaru przez moduły z uwagi na zdarzające się sytuacje braku odbioru sygnału startu pomiaru przez poszczególne moduły
2. brak jest mierzalnych przesunięć fazowych pomiędzy modułami w sieci w stosunku do czujników referencyjnych.

Wyniki pomiarów umożliwiają zastosowanie opisywanego systemu do pomiarów związanych z analizą modalną i diagnostyką po rozwiązaniu problemu zapewnienia potwierdzenia startu wszystkich modułów pomiarowych.

4. OPIS PROJEKTOWANEGO SYSTEMU POMIAROWEGO

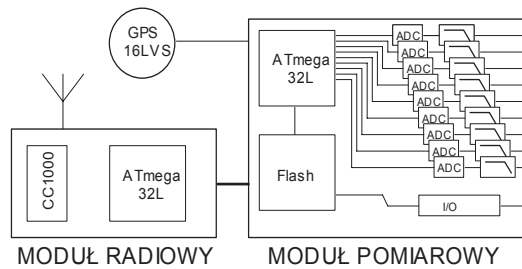
4.1. Opis przyjętego rozwiązania

Analiza wyników eksperymentu oraz inne praktyczne doświadczenia autorów pracy spowodowały rozpoczęcie prac nad własną konstrukcją bezprzewodowych modułów pomiarowych, w których czas pomiaru byłby synchronizowany z wysoką precyzją przy zachowaniu komunikacji bezprzewodowej. Analizując szereg możliwości synchronizacji danych oraz biorąc pod uwagę potencjalne pole zastosowań czyli diagnostykę mostów, budowli, rozległych obiektów, założono, że sygnałem synchronizującym pomiar i jednocześnie kalibratorem zegarów modułów pomiarowych będzie sygnał PPS (Pulse Per Second) pochodzący z niskonapięciowego odbiornika GPS serii 16LVS firmy Garmin [9].

Sygnał PPS jest standardowo generowany przez większość odbiorników GPS. Dokładność tego impulsu znajduje się w granicach $\pm 1 \mu s$, co jest wielkością wystarczającą przy założonych częstotliwościach próbkowania z zakresu 200-2000 Hz. Testy laboratoryjne potwierdziły dużą dokładność tego sygnału, maksymalne przesunięcie fazy pomiędzy dwoma odbiornikami GPS wynosiło 800 ns.

4.2. Opis modułu pomiarowego

Schemat blokowy zaprojektowanego modułu pokazano na rysunku 11. Opracowany moduł składa się z modułu komunikacji bezprzewodowej – w skład którego wchodzi mikroprocesor i moduł radiowy oraz modułu pomiarowego wyposażonego w: pamięć, 9 przetworników AC o rozdzielczości 16 bitów, układy filtrów anti-aliasingowych oraz obwody zasilania. Moduły wyposażone są w niskonapięciowe, wysokowydajne mikrokontrolery firmy Atmel serii ATmega [10].



Ry. 11. Schemat blokowy opracowanego modułu pomiarowego z zewnętrzną synchronizacją modułów za pomocą sygnału PPS

W roku 2008 dostępny będzie europejski system nawigacji satelitarnej GALILEO, który dzięki dużej sile sygnału i nowoczesnej technologii umożliwi pozycjonowanie modułów pomiarowych z dokładnością poniżej 10 cm (przy lokalnej korekcji sygnału) [11]. Zintegrowanie funkcji synchronizacji czasowej z dokładnym pomiarem położenia umożliwi bezproblemową instalację oraz konfigurację systemów pomiarowych oraz innych urządzeń wymagających dokładnej synchronizacji czasowej.

5. WNIOSKI

Nowoczesne technologie transmisji sygnału oraz tanie i dostępne komponenty elektroniczne pozwalają na budowę inteligentnych modułów pomiarowych. Zastosowanie technologii satelitarnych pozwoli na proste i dokładne rozmieszczenie czujników pomiarowych na dużych obiektach.

Osiągnięto główne założenia systemu polegające na pełnej synchronizacji pomiaru oraz modułowej budowie. Zaproponowane nowe rozwiązanie umożliwi podniesienie niezawodności i dokładności pomiarów rozległych obiektów technicznych. Opisany w artykule bezprzewodowy system pomiarowy może zostać z powodzeniem zastosowany w realizacji pomiarów dla celów analizy modalnej.

Dalszy rozwój prac nad opisanym systemem skierowany zostanie na jego aplikację do diagnostyki strukturalnej. Zastosowanie diagnostyki strukturalnej umożliwi podniesienie bezpieczeństwa użytkowania obiektów oraz zapewni zmniejszenie bieżących kosztów zastępując terminarz remontów - analizą aktualnego stanu obiektu.

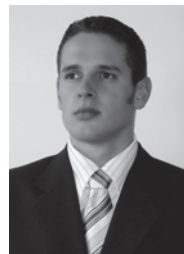
Prace finansowane są z tematu badawczego numer T1825130728.

LITERATURA

- [1] Ivan Stojmenović et al., "Handbook of Sensor Networks", Wiley-Interscience, New Jersey, 2005.
- [2] K. F. Kiefer, E. Krug, G. Ajupova, P. L. Walter, *Wireless sensors Applied to Modal Analysis*, XXI IMAC Proc., 2003, pp. 253-258.
- [3] Texas Instruments Norway, www.chipcon.com/files/CC1000_Data_Sheet_2_3.pdf, 2006.
- [4] MicroStrain Inc., www.microstrain.com/agile-link.aspx, 2005.
- [5] Crossbow Technolog Inc., www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICA2_Datasheet.pdf, 2004.
- [6] TinyOS, www.tinyos.net/scoop/.
- [7] Wrycza S., Marcinkowski B., Wyrzykowski K., *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*, Wydawnictwo Helion, 2006.
- [8] Oceana Sensor, www.oceanasensor.com/Products/PB3AXN.pdf.
- [9] Garmin International Inc., www.garmin.com/manuals/GPS16HVS_TechnicalSpecifications.pdf.
- [10] Atmel Inc., www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf.
- [11] Komisja Europejska, europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo.



dr inż. **Tomasz BOJKO** jest adiunktem w Katedrze Robotyki i Mechatroniki AGH w Krakowie. Jego zainteresowania dotyczą mechatroniki, robotyki i automatyki. Jest autorem prac dotyczących robotyki, układów napędowych robotów, szybkiego prototypowania układów sterowania, układów MEMS oraz rozwiązań komunikacji bezprzewodowej



mgr inż. **Grzegorz CHMAJ** jest doktorantem w Katedrze Robotyki i Mechatroniki, AGH w Krakowie. Jego zainteresowania dotyczą mechatroniki, akwizycji sygnałów pomiarowych oraz zastosowań systemów informatycznych w dziedzinie pomiarów i mechatroniki. Jest autorem prac dotyczących systemów informatycznych stosowanych w zagadnieniach akwizycji sygnałów pomiarowych.