

Osadzony serwer WWW w bezprzewodowych sieciach sensorowych

Mgr inż. Michał GROBELNY

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego. Absolwent Zintegrowanych Studiów Zagranicznych Uniwersytetu Zielonogórskiego i Fachhochschule Giessen-Friedberg (Niemcy). Tematem pracy magisterskiej było zarządzanie danymi w bezprzewodowych sieciach sensorowych. Obecnie student studiów doktoranckich.

e-mail: M.Grobelny@weit.uz.zgora.pl



Dr inż. Marek WĘGRZYN

Adiunkt w Instytucie Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego. Pełni funkcję kierownika Zakładu Inżynierii Komputerowej. Zainteresowania badawcze obejmują zagadnienia projektowania systemów cyfrowych, ze szczególnym uwzględnieniem logiki programowalnej i języków opisu sprzętu (VHDL i Verilog).

e-mail: M.Wegrzyn@iie.uz.zgora.pl



Streszczenie

Bezprzewodowe sieci sensorowe z dnia na dzień stają się coraz bardziej popularne w wielu dziedzinach życia. Rozwój tej domeny wsparty jest szybkim rozwojem technologicznym oraz znacznym obniżaniem się kosztów produkcji pojedynczych urządzeń. Wraz ze wzrostem znaczenia sieci sensorowych zwiększa się zapotrzebowanie na systemy i rozwiązania umożliwiające efektywne wykorzystanie sieci w praktyce. Każdy element sieci sensorowej - pojedynczy węzeł - gromadzi na bieżąco znaczną ilość danych. Dane te mogą być pozyskiwane z własnych urządzeń pomiarowych i sensorów oraz od innych węzłów w sąsiedztwie. W przypadku sieci z punktem zbiorczym (ang. *sink*) dane są na bieżąco gromadzone w jednej bazie danych i tam dostępne. Sieci bez dedykowanego punktu odpowiedzialnego za gromadzenie danych nie posiadają takiego miejsca dostępowego, ale mogą umożliwiać dostęp do nich na każdym z węzłów. Proponowanym rozwiązaniem tego problemu jest dedykowany osadzony serwer WWW odpowiedzialny za prezentację danych w dowolnym momencie. Dane są prezentowane w postaci serwisu WWW po każdym połączeniu z węzłem przy pomocy urządzenia wyposażonego w odpowiednią kartę sieciową i przeglądarkę (np. laptop lub palmtop).

Abstract

Wireless Sensor Network are becoming more popular in many domains. The evolution is supported by fast technology progress and significant decrease of prices of single devices. There arises also need for systems and solutions enabling effective use of such networks in today's life. Every sensor network component - single mote - stores a big amount of data. Data can be delivered from own on-mote sensors and from other sensor network devices in the vicinity. In case of networks with a sink data is stored in one database and is there available. Networks without a dedicated place responsible for data storing do not have such an access point, however the access to data can be guaranteed on every particular mote. Proposed solution is a dedicated embedded WWW server responsible for data presentation. A WWW site will present data after every connection with sensor network element established by a user by using a device equipped with appropriate network card and web browser (i.e. laptop or palmtop).

Słowa kluczowe: bezprzewodowe sieci sensorowe, SoPC, serwer WWW, prezentacja danych.

Keywords: Wireless Sensor Networks, SoPC, WWW server, data presentation.

1. Wprowadzenie

Wiele lat temu marzeniem człowieka było rozmawianie przez telefon z dowolnego miejsca na świecie i z dowolną inną osobą. Najpierw wynaleziono bezprzewodowe telefony. Mimo, że ich zasięg był mocno ograniczony (od kilku do kilkunastu metrów), zdobyły one dużą część rynku, gdyż możliwe stało się przemieszczanie się w obrębie kilku pomieszczeń. Kolejnym krokiem było wynalezienie telefonów komórkowych - o prawie nieograniczonym zasięgu. Początkowe aparaty nie należały ani do małych, ani lekkich, ale postęp technologiczny szedł dalej. Obecnie telefony komórkowe tylko w Polsce używane są codziennie przez miliony osób. Marzenie człowieka się spełniło. Jakie są kolejne marzenia? W obecnych czasach coraz większą popularnością cieszą się sieci sensorowe, które badają otaczający je świat. Dane są przysyłane do komputera i jego użytkownik może je odczytać z monitora, często nawet w postaci graficznej. A gdyby tak możliwe było odczytanie danych z dowolnego miejsca objętego systemem w dowolnej chwili, a w dodatku w łatwy i szybki sposób?

Rozwiązaniem może być dedykowany osadzony na węźle sieci sensorowej serwer WWW odpowiedzialny za prezentację danych. Technologie sieciowe dostarczają bardzo dobry, wygodny i łatwy w użytkowaniu interfejs, którym jest serwis internetowy. Internet jest obecnie powszechnym medium stosowanym przez szeroką rzeszę użytkowników, na każdym kontynencie, w miastach i na wsiach, w domach, szkołach i pracy, począwszy od kilkuletnich dzieci na ludziach w podeszłym wieku skończywszy. Potrafią oni korzystać z zasobów umieszczonych w globalnym Internecie. Wykorzystanie serwisów internetowych do prezentacji danych pomiarowych sensorów wydaje się więc w pełni uzasadnione. Rozbudowanie możliwości serwisów WWW w kierunku sterowania zachowaniem systemu daje w pełni zarządzany system monitorowania otoczenia lub sterowania zachodzącymi procesami.

2. Bezprzewodowe sieci sensorowe

Bezprzewodowe sieci sensorowe (ang. *Wireless Sensor Networks*) stosowane są m.in. w rozwiązaniach komercyjnych, przemysłowych, wojskowych, medycznych, do monitorowania środowiska czy śledzenia zwierząt. Przykładowe ich zastosowania przedstawione są w [2] i [3].

Podstawowym elementem bezprzewodowej sieci sensorowej jest węzeł (ang. *mote*, *node* lub *sensor node*) - niewielkich rozmiarów urządzenie o ograniczonych zasobach - niedużym zapasie energii, niewielkiej mocy obliczeniowej oraz nieznacznym rozmiarze pamięci. Węzeł może posiadać kilka sensorów, które badają otaczający je świat oraz zachodzące w najbliższym otoczeniu zjawiska odczytując wartości różnych parametrów, przykładowo temperatury, ciśnienia, wilgotności, czy siły wiatru. Zbieranie tego typu danych oraz ich ewentualne późniejsze przetwarzanie jest głównym zadaniem sieci sensorowych.

Krytycznym elementem typowej bezprzewodowej sieci sensorowej jest bardzo ograniczony zasób energii. Węzły zasilane są nieodnawialnymi (baterie) lub odnawialnymi źródłami energii (czerpiąc energię ze słońca, wiatru, wibracji itp.). Powoduje to duże ograniczenia w czasie działania systemu. Wydłużenie pracy systemu opartego na zasilaniu baterijnym bez konieczności wymiany bądź doładowania źródła energii wydłuża się przy użyciu specjalnych mechanizmów zarządzania energią. Niestety większość z nich wymusza pracę z częstymi przerwami oraz ogranicza dostęp do poszczególnych elementów urządzenia. W rezultacie takie podejście zmusza twórców systemu do ograniczenia dostępnej funkcjonalności. Prowadzone są stałe badania nad sposobami pozyskiwania energii dla węzłów bezprzewodowych sieci sensorowych. Proponowane w [9] rozwiązania mają zarówno na celu zwiększenie pojemności baterii jak także pozyskiwanie energii z otaczającego środowiska zachowując niewielkie rozmiary węzłów.

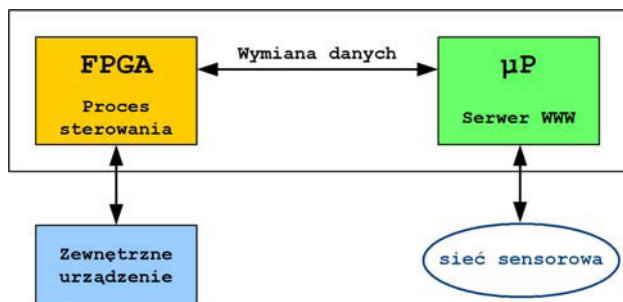
Węzły komunikują się ze sobą drogą bezprzewodową. Zazwyczaj stosowanymi mediami przenoszenia informacji są połączenia przy użyciu fal radiowych (RF), komunikacja optyczna (laser) lub podczerwień, aczkolwiek istnieją także inne sposoby nawiązania

połączenia, jak na przykład ultradźwięki w zastosowaniach podwodnych. Należy zauważyć, że elementem węzła bezprzewodowej sieci sensorowej zużywającym największą ilość energii jest właśnie moduł sieciowy. Technologia bezprzewodowa jest stale rozwijana przedstawiając coraz to nowsze urządzenia. Nowopowstające urządzenia są w dziedzinie poboru prądu coraz lepiej zorganizowane. Jednakże komunikacja bezprzewodowa i jej charakterystyka zawsze będzie się wiązać z dość dużym nakładem energetycznym.

Jednostką przetwarzającą dane jest mikroprocesor lub mikrokontroler, rzadziej układ FPGA [11]. Węzły posiadają także pamięć lokalną, która może służyć m.in. do przechowywania danych. W przypadku aplikacji monitorujących ilość gromadzonych danych może osiągać znaczne rozmiary. Dobrym rozwiązaniem są w tym przypadku pamięci typu Flash. Dużą zaletą tego typu elementów jest ich duża pojemność, niska cena, a co najważniejsze niskie zużycie energii. Dodatkowym aspektem jest nieulotność pamięci pozwalająca na zachowanie wyników pracy węzła po wyczerpaniu się energii. Łatwy sposób rozbudowy urządzenia o dodatkową zewnętrzną pamięć Flash prezentuje [10].

3. Osadzony serwer WWW

Proponowany system ma za zadanie umożliwić prezentację danych w bezprzewodowej sieci sensorowej, a także w łatwy i efektywny sposób komunikację pomiędzy użytkownikiem a węzłami sieci. Każdy węzeł sieci w ramach swojego oprogramowania posiada osadzony serwer WWW, który jest odpowiedzialny za komunikację z użytkownikiem. Jego zadaniem jest odbieranie zapytań, analizowanie ich oraz gromadzenie danych niezbędnych do udzielenia odpowiedzi. Odpowiedź jest przesyłana w postaci odpowiednio przygotowanej strony WWW. Strona prezentuje uzyskane wyniki pomiarów, jak również niezbędne mechanizmy umożliwiające konfigurację parametrów pracy urządzenia i jego ustawień. Schemat komunikacji pomiędzy użytkownikiem a elementem sieci sensorowej z wbudowanym serwerem WWW przedstawiony jest na Rys. 1.

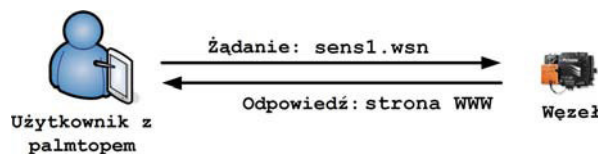


Rys. 1. Schemat komunikacji w systemie
Fig. 1. Schema of communication in the system

Dodatkową funkcją kontrolną może być nadzór przez wygenerowaną stronę WWW nad procesem monitorowanym przez węzeł bezprzewodowej sieci sensorowej wykorzystującej urządzenia typu SoPC (ang. *System-on-Programmable-Chip*). Sterowanie może być realizowane w sieci bezprzewodowej z dowolnego jej miejsca, bez znaczenia, z którym węzłem komunikuje się użytkownik. Sieć przy wykorzystaniu własnych mechanizmów sama wyśle odpowiednie sygnały sterujące do adresowanego urządzenia oraz zwróci jego stan i odpowiedź.

Kontrolowanie procesów sterowania może zostać zrealizowane przy użyciu dodatkowego osadzonego układu FPGA (ang. *Field Programmable Gate Array*). Układ ten jest odpowiedzialny za monitorowanie i sterowanie procesem technologicznym lub sam realizuje funkcje automatu wysyłającego zadane sygnały sterujące. Takie połączenie mikroprocesora i układu FPGA w jednym urządzeniu umożliwia przeprogramowanie układu w dowolnym momencie przy użyciu serwera WWW, a dokładnie wygenerowanej przez niego strony internetowej. Komunikacja pomiędzy układami jest szerzej opisana w [5,8]. Proponowany schemat opisywa-

nego systemu przedstawiony jest na rys.2. Wadą takiego rozwiązania jest duży pobór energii, jakim charakteryzują się układy FPGA, co wymusza użycie w węźle baterii o zwiększonej pojemności, odnawialnego źródła energii lub zasilania przewodowego.

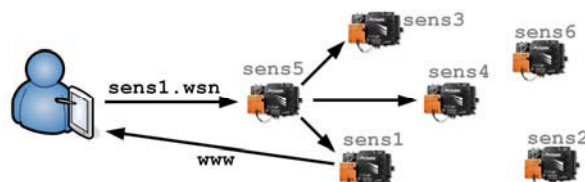


Rys. 2. Komunikacja pomiędzy użytkownikiem a węzłem
Fig. 2. User-mote communication

4. Scenariusz użycia

Proponowane rozwiązanie może być stosowane w wielu dziedzinach życia. Przykładowo możliwe jest rozmieszczenie węzłów w pomieszczeniach biurowych dużego budynku, gdzie każdy węzeł mierzy temperaturę i wilgotność powietrza w danym biurze. Użytkownik systemu może przemieszczać się po budynku z przenośnym komputerem lub PDA (ang. *Personal Digital Assistant*) wyposażonym w odpowiedni moduł sieciowy (np. ZigBee czy Bluetooth) i w dowolnym momencie odczytywać dane z węzłów. Wystarczy, że wpisze w przeglądarce odpowiedni adres strony internetowej w zdefiniowanym wcześniej formacie (np. sens1.wsn wskazujący na sensor o identyfikatorze „sens1” w bezprzewodowej sieci sensorowej o nazwie „wsn”, Rys.2 i Rys.3), który jest tłumaczony przez węzeł na odpowiednią lokalizację. W odpowiedzi użytkownik otrzyma wyniki pomiarów z wybranego węzła w przystępnej formie.

Aktualne dane, a na żądanie również dane archiwalne, odczytane zostaną z pamięci lokalnej węzła i będą zaprezentowane jako strona WWW przesłana w odpowiedzi. Zapytanie wysłane przez użytkownika interpretowane jest przez pierwsze urządzenie, które przechwyci wiadomość. Powiadomi ono od razu pozostałe węzły w najbliższym otoczeniu o rozpoczęciu przetwarzania zapytania w celu uniknięcia wielokrotnych odpowiedzi. Zapytanie, dotyczące danych z innego węzła lub danych, które muszą zostać pobrane z sieci, jest realizowane po uzyskaniu tych danych przez węzeł. Zapytanie o dane z innego węzła może zostać wykonane w dwojaki sposób. Pierwszym przypadkiem jest sytuacja kiedy wybrany przez użytkownika węzeł znajduje się w zasięgu wzajemnej widoczności (ang. *one-hop communication*). Wtedy zapytanie zostaje przesłane przy użyciu wewnętrznego mechanizmu komunikacji między węzłami do wybranego węzła, który sam odpowiada stroną WWW. Schemat takiego działania został przedstawiony na Rys. 3.



Rys. 3. Realizacja zapytania przez odpowiedni węzeł
Fig. 3. Request realization by appropriate sensor node

Drugi wariant komunikacji jest realizowany jeżeli węzły nie widzą siebie nawzajem. Wtedy węzeł, który odebrał żądanie od użytkownika wysłał odpowiednio skonstruowane zapytanie o dane do sieci. Ich gromadzenie odbywa się przy użyciu mechanizmów dedykowanych dla bezprzewodowych sieci sensorowych. Mechanizmy dedykowane są efektywniejsze w działaniu i pozwalają na maksymalizację wykorzystania zasobów. Dodatkowo przy realizacji odpowiedzi na zapytanie o dane mogą zostać wykorzystane mechanizmy agregacji danych [6] oraz ich odpowiedniego przetworzenia w sieci, które umożliwiają ich minimalizację bez utraty ich jakości. Wspomniane mechanizmy wymuszają dodatkowe obliczenia oraz zwiększoną pracę węzłów, jednakże w wielu przypadkach dodatkowy nakład obliczeniowy zwraca się w posta-

ci zmniejszenia energii potrzebnej do transmisji tych danych do źródła zapytania. Węzeł, po otrzymaniu wszystkich niezbędnych danych lub po upływie czasu przewidzianego na udzielenie odpowiedzi, generuje stronę WWW z wynikami i odsyła ją (udostępnia) do użytkownika.

Sieci sensorowe rzadko kiedy są systemami działającymi samodzielnie. Najczęściej wchodzi one w interakcje z innymi systemami [1]. W tym przypadku sieć sensorowa jest jedynie elementem większej całości. Dokonuje ona pomiarów otoczenia, zmierzone wartości zapisuje w lokalnej pamięci (ewentualnie replikuje na inne węzły znajdujące się w pobliżu) i na tym jej funkcjonalność się kończy. Za pobieranie danych odpowiedzialne są mechanizmy sieci sensorowych a za ich prezentację wbudowany serwer WWW.

W omawianym scenariuszu wykorzystania sieci sensorowych nie tylko do pomiarów, ale także do kontroli procesów sterowania uzasadnione jest zastosowanie węzłów sieci sensorowej podłączonych do stałego źródła prądu. Częsty pomiar danych oraz ich zapis w lokalnej pamięci oznacza częste wykonywanie operacji w jednostce przetwarzania danych. Stała kontrola procesu wymusza także nieprzerwaną pracę układu FPGA, który konsumuje dużą ilość energii. Ewentualne okablowanie będzie jednak służyło jedynie do zasilania urządzeń, komunikacja pomiędzy nimi będzie odbywać się drogą bezprzewodową. Zastosowana sieć sensorowa nie jest więc typową siecią bezprzewodową, w której urządzenia są w pełni bezprzewodowe, a więc także mobilne. W opisywanym scenariuszu użycia węzły mają swoje stałe miejsce, które uwzględnia możliwości podłączenia ich do stałego źródła prądu. Rozwiązanie takie posiada dużą wadę, którą jest konieczność zapewnienia odpowiedniej infrastruktury i okablowania. W przypadku systemu instalowanego w nowo powstającym budynku okablowanie można ukryć w ścianach, a elementy sieci sensorowej umieścić w dogodnych miejscach. Jednakże w przypadku instalowania systemu w już istniejącym i eksploatowanym budynku należy znaleźć kompromis pomiędzy korzystnym z punktu widzenia systemu umiejscowieniem węzłów sieci sensorowej, a jednocześnie dopasowaniem ich do wyglądu pomieszczeń.

Rozwiązaniem tego problemu mogą okazać się odnawialne źródła energii, które znajdują coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach życia, a także w bezprzewodowych sieciach sensorowych [9].

Osadzony serwer WWW pracuje nieprzerwanie w węźle i udostępnia dane w sposób łatwy i niewymagający posiadania żadnych dodatkowych aplikacji. Węzeł sieci sensorowej dokonuje pomiarów otoczenia w stałym interwale czasowym zależnym od badanego parametru i konkretnego wdrożenia systemu. Wyniki pomiarów zapisywane są następnie w lokalnej pamięci. Niestety ze względu na ograniczony rozmiar pamięci nie zawsze wszystkie dane mogą być zachowane lub też czas ich przechowywania może być znacznie ograniczony. Prowadzone są obecnie działania zmierzające ku lepszemu wykorzystaniu posiadanej pamięci. Propozycja efektywnego energetycznie, a przy tym oszczędzającego zasoby pamięciowe systemu służącego do przechowywania danych w węzłach bezprzewodowych sieci sensorowych przedstawiona została w [7]. Innym sposobem rozwiązania wspomnianego problemu jest umieszczenie w sieci jednego lub kilku węzłów o bardzo rozbudowanych zasobach z większą pamięcią na przechowywanie danych i transportowanie do niego danych stale lub w pewnym określonym interwale czasowym [12]. Taki węzeł mógłby mieć także bardziej rozbudowany serwer WWW umożliwiający wykonanie większej ilości zadań i jednoczesnej obsługi większej liczby zapytań w celu odciążenia „zwykłych” węzłów.

W przypadku zastosowania rozproszonego przechowywania danych, gdzie dane pomiarowe jednego urządzenia przechowywane są na kilku różnych urządzeniach w pobliżu, dodatkową operacją jest replikacja danych. Węzeł wysyła synchronicznie pakiety zawierające określone zbiory pomiarów (zawierając m.in. identyfikator źródła danych, typ mierzonego parametru, jego wartość oraz stempel czasowy). Węzły w najbliższym otoczeniu, które przechwyca przesłaną wiadomość mogą zapisać poszczególne dane w swojej lokalnej pamięci zwiększając tym samym redundancję, a stąd i bezpieczeństwo danych. Następnie mogą tą wia-

domość przesłać jeszcze dalej w niezmienionej postaci lub też dołączając swoje pomiary. Oczywiście pewnym ograniczeniem jest tutaj rozmiar lokalnej pamięci, który jednakże w przypadku urządzeń zasilanych stałym źródłem energii może być całkiem duży. Ponadto istnieją różne strategie przechowywania danych w pamięci, ich kasowania bądź nadpisywania przez nowe wartości. Możliwe jest także wykonanie częściowej migracji danych z węzła o maksymalnie wypełnionej pamięci do węzła, którego pamięć lokalna nie została jeszcze wypełniona. Aspekt rozkładania danych w bezprzewodowej sieci sensorowej w celu ich efektywnego przechowywania zaprezentowany został w [4].

5. Podsumowanie

Osadzenie minimalnego serwera WWW w każdym węźle sieci sensorowej daje możliwość łatwego dostępu do zgromadzonych danych oraz sterowania kontrolowanymi procesami. Użytkownik w dowolnym momencie może wysłać zapytanie do węzła i otrzymać od niego odpowiedź bez użycia dodatkowych dedykowanych aplikacji wykorzystując łatwo dostępną przeglądarkę internetową. W odpowiedzi otrzymuje dane w postaci serwisu WWW, który umożliwia komunikację zwrótną w celu modyfikacji kontrolowanych procesów. Formułując odpowiednio zapytanie, przykładowo poprzez zaznaczenie wybranych opcji lub naciśnięcie określonych przycisków, hiperłączy (ang. *link*), czy pozycji menu, użytkownik może otrzymać interesujące go dane. W przypadku braku danych zostanie wysłane odpowiednie zapytanie o nie do sieci przy użyciu dedykowanych mechanizmów minimalizujących nakład na realizację takiego zapotrzebowania. Po uzyskaniu odpowiedzi z sieci węzeł zapisuje otrzymane dane w ramach możliwości w swojej pamięci tak, aby być przygotowanym na kolejne podobne zapytania w przyszłości.

6. Literatura

- [1] Römer K.: Programming Paradigms and Middleware for Sensor Networks, GI/ITG Fachgespräch Sensornetze, Karlsruhe, 2004.
- [2] Xu N.: A Survey of Sensor Network Applications, University of Southern California, 2003.
- [3] Culler D., Estrin D., Srivastava M.: Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks, IEEE Computer, Vol. 37, 2004, No. 8, 41-49.
- [4] Luo L., Huang C., Abdelzahr T., Stankovic J.A.: EnviroStore: A Cooperative Storage System for Disconnected Operation in Sensor Networks, Proceedings of the 26th Conference on Computer Communications, Infocom'07, 2007, 1802-1810.
- [5] Grobelny M., Węgrzyn M.: Implementation of WWW server in SoPC, Proceedings of SPIE, Vol.6347, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2006, Romaniuk R.S. (Ed.), 2006, 63472Y1-8.
- [6] Kalpakis K., Dasgupta K., Namjoshi P.: Maximum Lifetime Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks, Computer Networks, Vol.42, No.6, 2003, 697-716.
- [7] Mathur G., Desnoyers P., Ganesan D., Shenoy P.: CAPSULE: An Energy-Optimized Object Storage System for Memory-Constrained Sensor Devices, Proceedings of the Fourth ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems – SenSys'06, Boulder, 2006, 195-208.
- [8] Bukowiec A., Węgrzyn M.: Design of logic controllers for safety critical systems using FPGAs with embedded microprocessors, W: Real-time Programming 2004: a proceedings volume from the 28th IFAC/IFIP Workshop - WRTF 2004, Colnaric M., Halang W.A., Węgrzyn M. (Eds.), Elsevier Ltd., Oxford, 2005, 107-112.
- [9] Roundy S., Steingart D., Frechette L., Wright P., Rabaey J.: Power Sources for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the First European Workshop on Wireless Sensor Networks, EWSN'04, Holger K., Willig A., Wolisz A. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2920, Springer, Berlin, Germany, 2004, 1-17.
- [10] Mathur G., Desnoyers P., Ganesan D., Shenoy P.: Ultra-Low Power Data Storage for Sensor Networks, IPSN'06, 2006, 374-381.
- [11] Vieira M.A.M., Coelho C.N. Jr., da Silva D.C. Jr., da Mata J.M.: Survey on Wireless Sensor Network Devices, Proceedings of the IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA '03, Vol.1, 2003, 537-544.
- [12] Balani R., Han C.-C., Raghunathan V., Srivastava M.: Remote Storage for Sensor Networks, NESL Technical Report, 2005.

Title: Embedded WWW server in Wireless Sensor Networks

Artykuł recenzowany