

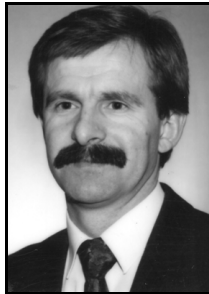
Emil MICHTA, Piotr POWROŹNIK, Robert SZULIM
 INSTYTUT METROLOGII ELEKTRYCZNEJ, UNIwersYTET ZIELONOGÓRSKI

Przetwarzanie rozproszone w bezprzewodowych sieciach czujnikowych

Dr inż. Emil MICHTA

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym WSIInż. w Zielonej Górze w 1978r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Instytucie Automatyki i Metrologii w WSIInż. w Zielonej Górze. Stopień naukowy doktora otrzymał w Instytucie Metrologii Elektrycznej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w 1989r. Jego zainteresowania ogniskują się wokół zagadnień inteligentnej aparatury pomiarowo – sterującej i sieci przemysłowych.

e-mail: E.Michta@ime.uz.zgora.pl



Dr inż. Robert SZULIM

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1995r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Instytucie Metrologii Elektrycznej w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z sieciami komputerowymi, hurtowniami danych, sztuczną inteligencją w szczególności pozyskiwaniem wiedzy z pomiarowych baz danych. Brał udział w pracach nad wieloma projektami badawczymi i wdrożeniowymi dla przemysłu.

e-mail: R.Szulim@ime.uz.zgora.pl



Mgr inż. Piotr POWROŹNIK

Ukończył studia wyższe na specjalności Przemysłowe Systemy Informatyczne na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego (2004). Od 2004 roku asystent w Instytucie Metrologii Elektrycznej. Zainteresowania naukowe związane są z projektowaniem, oprogramowaniem i analizą rozproszonych systemów pomiarowo – sterujących wykorzystujących rozwiązania technologiczne nowej generacji.

e-mail: P.Powroznik@ime.uz.zgora.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono model przetwarzania rozproszonego typu regulowego i pokazana zostanie jego przykładowa implementacja w sieci czujników opartej o standard ZigBee. Przedstawione zostaną wyniki symulacji przykładowej sieci czujników wykonane przy użyciu programu TrueTime. Przedstawiony w artykule, opracowany model symulacyjny pozwala na przetestowanie sieci czujników składającej się ze zdefiniowanej przez użytkownika liczby urządzeń i zawierających reguły przesłane do węzłów na etapie konfiguracji systemu.

Słowa kluczowe: Sieci czujnikowe, ZigBee, przetwarzanie rozproszone.

Distributed processing in wireless sensor networks

Abstract

In the paper, model of rule-based distributed processing and its implementation example in ZigBee sensor network is presented. Chosen results of simulation done by use of simulation tool TrueTime are shown. Presented in the paper simulation model allows to test sensor networks for defined by user number of the nodes, which contain rules send to nodes during system configuration.

Keywords: ZigBee, wireless networks, Communications networks.

1. Wstęp

Opracowanie nowych standardów transmisji bezprzewodowej klasy WPAN (ang. *Wireless Personal Area Network*), dedykowanego dla sieci czujnikowych i zawierających funkcje koordynowania i routowania, stworzyło nowe możliwości budowy bezprzewodowych systemów pomiarowo – sterujących (BSPS) [1, 2]. W odniesieniu do tych systemów często stawia się wymagania dotrzymania ograniczeń czasowych przez zadania realizowane w projektowanym systemie. Ponadto w systemach tych istnieje możliwość realizacji przetwarzania rozproszonego, dzięki któremu węzły BSPS mogą realizować funkcjonalności wymagające dotychczas istnienia poziomu nadrzędnego [2, 3].

W artykule zaprezentowane zostanie rozwiązanie bazujące na wykorzystaniu technologii sieci czujnikowych, które może być

wykorzystane do budowy BSPS. Dużą zaletą tego typu rozwiązań jest możliwość ich szybkiego uruchomienia na obiekcie z uwagi na brak konieczności kładzenia kabli połączeniowych. Urządzenia mogą być również zasilane bateryjnie, co pozwala na stosowanie ich w trudno dostępnych miejscach i stwarza zupełnie nowe możliwości budowy SPS.

Węzły bezprzewodowych sieci czujnikowych posiadają niewielkie możliwości do przetwarzania danych, które powinno być proste ze uwagi na dążenie do minimalizacji zużycia energii i powinno posiadać pewne cechy uniwersalności z uwagi na pożądaną unifikację oprogramowania dla poszczególnych węzłów. W tej sytuacji dobrym rozwiązaniem do rozproszonego przetwarzania danych jest wykorzystanie przetwarzania regulowego, które zostanie zaprezentowane w dalszej części artykułu.

2. Sieci czujnikowe

Osiągnięcia w dziedzinie technologii doprowadziły do pojawienia się sieci czujników zbudowanych z prostych węzłów realizujących funkcje pomiarowe, sterujące lub pomiarowo - sterujące. Przewiduje się, że w 2010 roku liczba wyprodukowanych węzłów do sieci czujnikowych przekroczy 200 mln sztuk, co oznacza, że ten segment rynku stanie się bardzo atrakcyjny zarówno dla producentów jak i projektantów SPS [2].

Sieci czujników są zbudowane z przestrzennie rozmieszczonych autonomicznych węzłów o niewielkich rozmiarach i o niskim poborze mocy oraz ograniczonych możliwościach do przetwarzania danych, posiadających zdolność do transmisji bezprzewodowych. Na poziomie nadajnika/odbiornika radiowego są to sygnały o małej mocy o zasięgu do 50 m, z prędkościami transmisji nieprzekraczającymi 4 Mbity/sek i wykorzystujący pasma z zakresu ISM. Protokoły komunikacyjne wykorzystywane w sieciach czujnikowych do wymiany danych pomiędzy węzłami bezprzewodowymi pozwalają na realizację prostych topologii "punkt-punkt" lub "gwiazda" oraz topologii złożonych typu „gwiazda rozszerzona” lub "siatka". Z punktu widzenia projektanta i użytkownika SPS, sieci czujnikowe oferują wiele korzyści, do których należy zaliczyć: niski pobór mocy, niski koszt węzłów, łatwość instalacji, łatwość rozbudowy oraz szybki zwrot poniesionych kosztów. Jednak praktyka ostatnich lat pokazuje, że prognozy związane z wprowadzeniem sieci czujnikowych, które miały oferować takie korzyści były zbyt optymistyczne.

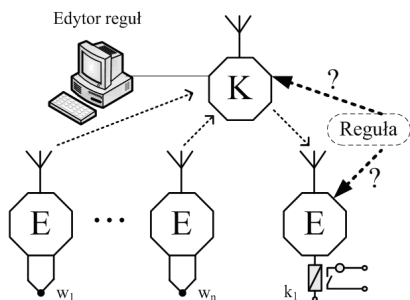
3. Przetwarzanie regulowe

Ważnym elementem BSPS jest rozwiązanie przetwarzania rozproszonego. Przetwarzanie w klasycznych SPS najczęściej jest realizowane centralnie. W proponowanym rozwiązaniu systemu planuje się wdrożenie przetwarzania rozproszonego bazującego na regułach. Wdrożenie takiego przetwarzania oznacza, że system poza funkcjami pomiarowo – sterującymi będzie w stanie realizować inne zadania realizowane zazwyczaj na poziomie PLC lub komputerów PC.

W wielu przypadkach, w BPSPS jednym z ważnych wymogów stawianych węzłom projektowanej sieci jest czas funkcjonowania węzła bez konieczności wymiany baterii. Sytuacja ta narzuca ostre wymagania na taki sposób zorganizowania przetwarzania informacji pomiarowo – sterującej, ażeby spełniał on wymagania użytkownika i jednocześnie prowadził do minimalizacji zużycia energii. Prezentowane w artykule rozwiązanie sposobu przetwarzania rozproszonego bazującego na przetwarzaniu regułowym stwarza warunki do takiego zorganizowania przetwarzania rozproszonego, ażeby spełniało ono zarówno wymagania funkcjonalne stawiane przed systemem jak i prowadziło do minimalnego zużycia energii.

Jedną z metodą realizacji prostych aplikacji jest tzw. bindowanie. Polega ono na skojarzeniu w tablicy bindowania wejścia (węzeł pomiarowy) z wyjściem (węzeł wykonawczy). Technika ta jest dostępna w standardzie ZigBee [6]. Tablica bindowania w sieci ZigBee umieszczona jest centralnie i znajduje się w koordynatorze. W prostych przypadkach stosowanie tablicy bindowania jest wystarczające. Natomiast, jeżeli występuje konieczność realizacji funkcji logicznych wiążących informacje z kilku węzłów, to rozwiązanie to nie jest wystarczające.

Stosowanie przetwarzania regułowego daje pewną elastyczność w odniesieniu do lokalizacji interpretera reguł i pozwala na stosowanie kwantyzacji przetwarzanych danych, co przedstawiono na rys. 1. Kwantyzacja danych jest realizowana w węzłach pomiarowych i oznacza ona przejście z danych pomiarowych na informację. Typowym przykładem kwantowanych danych jest następująca kwantyzacja trzypoziomowa: "w normie", "powyżej normy" i "poniżej normy". Taką informację można zakodować na dwóch bitach, co w porównaniu do długości danych pomiarowych skraca czas transmisji i upraszcza przetwarzanie regułowe



Rys. 1. Reguła w węzle końcowym lub w węzle koordynatora
Fig. 1. The rule in the end node or in coordinator node

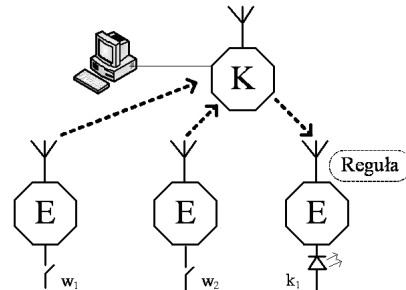
Reguły tworzone są z wykorzystaniem oprogramowania wspomagającego w postaci edytora reguł. Po utworzeniu reguł są one przesyłane do danego węzła końcowego E lub do koordynatora K. Węzłem, w którym umieszczana jest reguła może być węzeł wykonawczy, który wypracowuje sterowanie w zależności od wyniku przetworzenia reguły. Informacje w_i niezbędne do przetworzenia reguły, które stanowią jej część warunkową dostarczane są do węzła końcowego z koordynatora. Węzeł pomiarowy wysyła informację do koordynatora, jeżeli zmieni się jej stan. Strategia rozmieszczenia reguł ma wpływ na obciążenie sieci, co ma wpływ długość życia baterii.

4. Przetwarzanie rozproszone

Implementacja przetwarzania regułowego dla sieci czujników została wykonana i przetestowana dla zestawu uruchomieniowego firmy Meshnetics oraz stosu ZigBee dostarczanego wraz z zestawem. Stos firmy Meshnetics cechuje przystosowanie do pracy na urządzeniach o zredukowanych zasobach (Atmel 1281) wraz z układem radiowym pracującym w standardzie IEEE 802.15.4. W oprogramowaniu firmy Meshnetics występują elementy dedykowanego dla sieci czujnikowych systemu operacyjnego TinyOS.

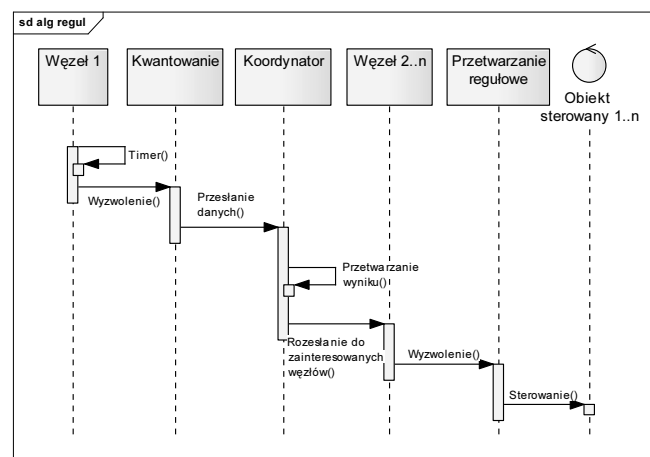
Program realizujący przetwarzanie rozproszone stanowi integralny składnik oprogramowania węzła. Realizacja przetwarzania

rozproszonego typu regułowego wymaga parametryzacji programu realizującego przetwarzanie. Parametryzacja przetwarzania regułowego polega na przesłaniu do tych węzłów, w których będą przetwarzane reguły tablic z danymi do przetwarzania, które są tworzone w edytorze reguł. Zgodnie z obowiązującą zasadą w sieci ZigBee, wszystkie dane przechodzą przez koordynator, a więc reguły przeznaczone dla poszczególnych węzłów dystrybuowane są przez koordynator. Schemat logiczny testowanego systemu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat logiczny testowanego systemu
Fig. 2. Logical diagram of the tested system

Na rys. 2. oprócz modułów firmy Meshnetics umieszczono komputer PC. Jest on wykorzystany do wizualizacji stanu sieci oraz stanu przetwarzania reguł. Oprócz funkcji diagnostycznych z poziomu komputera PC możliwe jest programowanie nowych ustawień dla działającej sieci w postaci umieszczania nowych reguł dla węzłów końcowych oraz ustawień dla koordynatora niezbędnych dla prawidłowego wykonywania reguł. Zapis nowych ustawień wymaga jednokrotnego zapisania do pamięci programu i pamięci danych, wcześniej przygotowanego oprogramowania osobno dla koordynatora i węzłów końcowych. Schematy funkcjonalne zachowania poszczególnych węzłów testowanego systemu podczas przetwarzania regułowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Diagram funkcjonalny przetwarzania regułowego
Fig. 3. Functional diagram of the rule-base processing

5. Badania symulacyjne

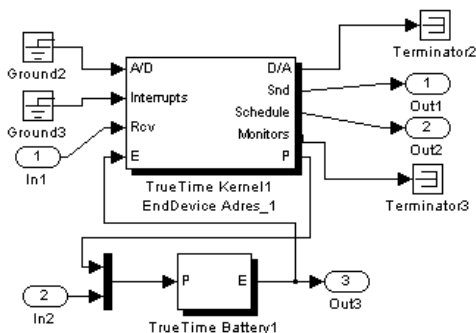
W fazie projektowania sieci czujników z przetwarzaniem rozproszonym pomocne może być przeprowadzenie symulacji pracy SPS. Wyniki przeprowadzonych symulacji dają możliwość zweryfikowania i doboru parametrów dla wykonywanych zadań już na początkowym etapie projektowania SPS.

Do przeprowadzenia symulacji sieci z rys. 2 wykorzystano program narzędziowy TrueTime 1.5 pracujący w środowisku Matlab

[4, 5]. Do poprawnej pracy symulatora TrueTime 1.5 wymagany jest pakiet Simulink. Symulator umożliwia symulację sieci przewodowych (CSMA/CD, CSMA/AMP, Round Robin, FDMA, TDMA, Ethernet) przelazczajacy zgodnego ze schematem *store and forward*) oraz sieci bezprzewodowych w standardzie IEEE 802.11b/g oraz IEEE 802.15.4. Kolejna funkcjonalnosc stanowi mozliwosc umieszczenia i symulowania modelu urzadzen, dla ktorzych odczytywany jest podczas pracy stan rzeczywistych wejsci i wyjsci analogowych lub cyfrowych.

Podczas przeprowadzania symulacji mozliwe jest graficzne zobrazowanie stanu komunikacji w sieci dla wszystkich pracujacych wzolow, co daje mozliwosc szybkiej oceny stanu obciazenia sieci zadaniami komunikacyjnymi. Dla tych wzolow sieci bezprzewodowych, dla ktorzych waznym kryterium jest czas pracy na zasilaniu bateryjnym, uzyteczna informacja uzyskiwana z symulatora TrueTime 1.5 jest to, w jaki sposob przy projektowanych parametrach systemu nastepuje rozladowanie baterii.

W artykule przedstawiono przykladowe wyniki symulacji sieci bezprzewodowej z czterema wzolami, z ktorzych jeden pelnil funkcje koordynatora, natomiast trzy pozostale pelnily role urzadzen koncowych. Symulowana siec pracowala w topologii gwiazdy a schemat blokowy jednego z wzolow testowanej sieci w srodowisku symulatora TrueTime 1.5 przedstawiono na rys. 4.

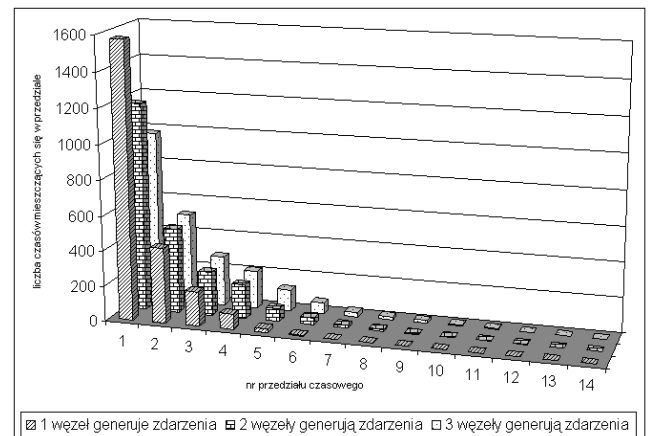


Rys. 4. Model testowanego wzolow w symulatorze TrueTime
Fig. 4. Tested node model built in TrueTime simulator

Jednym z zadan BPS przedstawnego na rys. 4 jest przesylnie informacji o stanie przelazcznikow wejsciowych oraz przyciskow z wzolow koncowych do koordynatora. Nastepnie informacje te przesylnie sa do wzolow koncowych, w ktorzych nastepuje przetworzenie reguly uwzględniajace nowe informacje. Wynik przetworzenia reguly decyduje o sterowaniu elementem wykonawczym.

Podczas projektowania SPS, w ktorzych wystepuja ograniczenia czasowe istotne jest określenie wartosci granicznych czasow reakcji na zdarzenia, a w kontekście poruszanej w artykule tematyki istotne jest określenie wplywu przetwarzania regulowego na wartosci tych czasow. Na rys. 5 przedstawiono trzy histogramy czasow reakcji na zdarzenie mierzonye pomiedzy chwila rozpoczecia transmisji przez wzol koordynatora a wykonaniem sterowania przez wzol wykonawczy, ktore jest poprzedzone wykonaniem reguly. Wartosc przedzialu czasowego na histogramach wynosi 5 msek.

Histogramy te otrzymano dla trzech przypadkow, w ktorzych koordynator przesylnie informacje o zdarzeniach generowanych przez jeden, dwa i trzy wzoly pomiarowe, ktore nastepnie sa przesylnie do jednego wzolow wykonawczego, przy przyjetym w symulacji poziomie prawdopodobienstwa wystapienia zdarzenia w kazdym z przypadkow na poziomie 0.1. Przyjecie takiego poziomu prawdopodobienstwa wystapienia zdarzenia ma jedynie charakter przykladowy a nie wynika z konkretnego przypadku. Na podstawie otrzymanych wynikow mozna oszacowac ilosciowy wplyw obciazenia BPS na czas reakcji na zdarzenie w danym wzole sieci.



Rys. 5. Histogram czasow odpowiedzi w wzole wykonawczym na zdarzenia w wzole koordynatora

Fig. 5. Response time histograms in actuators on events in coordinator node

Wykorzystujac symulator TrueTime, dla rozpatrywanego w artykule przykladowego BPS mozna wyznaczc srednie czasy odpowiedzi dla danego zadania przy przyjeciu poziomu obciazenia BPS generowanego przez pozostale zadania oraz histogramy czasow reakcji danego zadania na zdarzenia przy danym obciazeniu BPS realizacja innych zadan.

W artykule zaprezentowano jedynie przykladowe mozliwosci symulacji BPS. Przeprowadzanie symulacji dla sieci czujnikow daje mozliwosc stwierdzenia, w jaki sposob zdefiniowane reguly oraz zdefiniowana aktywnosc wyzwalania zdarzen wplywa na funkcjonowanie calego systemu. W przypadku symulacji nalezy jednak zwrócic uwage na to, ze symulacja jest przeprowadzana w warunkach bez obecności zaklócen.

6. Wnioski

Przedstawiona w artykule metoda realizacji przetwarzania rozproszonyego w bezprzewodowych sieciach czujnikowych z wykorzystaniem regul stwarza udogodnienie do budowy takich BPS, w ktorzych mozna optymalizowac zuzycie baterii zasilajacych wzoly. Zapropozowane stosowanie kwantyzacji danych w wzolach zdrojowych, prowadzace do przesylnia informacji a nie danych minimalizuje dlugosc przesylnych danych oraz prowadzi do zmniejszenia czasu ich transmisji i czestosci ich nadawania. Na wybranym przykladzie pokazano przydatnosc symulatora sieci bezprzewodowych TrueTime.

Praca naukowa finansowana ze srodkow na nauke w latach 2006 - 2008 jako projekt badawczy rozwojowy.

7. Literatura

- [1] A. Reguzi, M. Eltoweissy: Service-Oriented Sensors-Actuator Networks. IEEE Communications Magazine, Dec. 2007, pp. 92-100.
- [2] E. Michta: Tendencje rozwojowe w obszarze systemow pomiarowo-sterujacych. PAK 6/2006. pp. 5-7.
- [3] A. Markowski, E. Michta: Simulation of Distributed Measurement-Control Systems. IMTC, Warsaw, 2007.
- [4] A. Cervin, D. Henriksson, M. Ohlin: Simulation of Networked Control systems using TrueTime, In Proc. 3rd International Workshop on Networked Control Systems: Tolerant to Faults, Nancy, France, June 2007
- [5] M. Ohlin, D. Henriksson, A. Cervin: TrueTime 1.5 Reference Manual. Department of Automatic Control, Lund University, Sweden, 2007.
- [6] ZigBee Specification. ZigBee Alliance, November 2007.