

Emil MICHTA, Robert SZULIM
 UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
 INSTYTUT METROLOGII ELEKTRYCZNEJ

Technologie internetowe w rozproszonych systemach pomiarowo - sterujących

Dr inż. Emil MICHTA

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1978r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Instytucie Automatyki i Metrologii w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze. Stopień naukowy doktora otrzymał w Instytucie Metrologii Elektrycznej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w 1989r. Jest autorem ponad 70 publikacji naukowych i technicznych oraz wielu wdrożeń wyników badań do przemysłu. Zainteresowania ogniskują się wokół zagadnień inteligentnej aparatury pomiarowo – sterującej, systemów rozproszonych, sieci przemysłowych oraz technologii internetowych.



Mgr 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. Jest autorem 8 publikacji naukowych i technicznych. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z sieciami komputerowymi (instruktor akademii sieci Cisco), technologiami wymiany informacji poprzez www, hurtowniami danych, sztuczną inteligencją w szczególności pozyskiwaniem wiedzy z pomiarowych baz danych. Brał udział w pracach nad wieloma projektami zarówno badawczymi jak i wdrożeniowymi dla przemysłu.



Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania elementów technologii internetowych w rozproszonych systemach pomiarowo – sterujących (RSPS). Zaprezentowano dedykowane serwery WWW instalowane po stronie obiektowej oraz przedstawiono technologię ich konfigurowania i tworzenia stron WWW. Wskazano na możliwość realizacji RSPS, spełniających wymogi czasu rzeczywistego w sieciach z Ethernetem przemysłowym i ze stosem protokołowym TCP/IP. Przedstawiono architekturę typu „producent – konsument” oraz protokół NDDS do realizacji RSPS czasu rzeczywistego.

Abstract

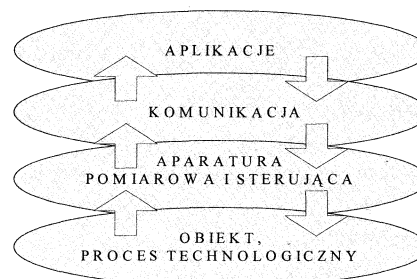
In the paper, current trends in development of distributed measurement – control (DMCS) systems are presented. Influence of Industrial Ethernet and Embedded Web Servers on creating new structure of DMCS is presented. Way of embedded Web Servers configuring and way of creating Web pages is outlined. Possible solutions of real-time issues in IP environment by means of PS architecture and NDDS protocol are described.

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój sieci komputerowych i technologii internetowych doprowadził do stanu, w którym występowanie infrastruktury komunikacyjnej oraz narzędzi do tworzenia aplikacji informatycznych jest powszechne. Sytuacja ta ma wpływ na obserwowane tendencje wprowadzania tych technologii do inteligentnych urządzeń pomiarowych, sterujących i systemów pomiarowo – sterujących wykorzystywanych do zdalnego sterowania, diagnozowania, konfigurowania i monitorowania pracujących z wykorzystaniem przeglądarek inter-

netowych jako standardowy interfejs użytkownika oraz wbudowanych serwerów WWW pracujących po stronie obiektów [1,3,4,7]. Na rys. 1 przedstawiono podstawowe elementy tworzące współcześnie opracowywane systemy pomiarowo – sterujące.

Podstawowym elementem systemu jest aparatura pomiarowo – sterująca wykorzystywana do pozyskiwania informacji z obiektu i do oddziaływania na obiekt. Na poziomie tej warstwy może być realizowane przetwarzanie informacji pozyskiwanej przez dany węzeł lub informacji pochodzącej od innych węzłów uzyskanej za pośrednictwem systemu komunikacyjnego.



Rys. 1. Elementy systemu pomiarowo – sterującego

Węzeł jest urządzeniem pomiarowym lub sterującym posiadającym wyjście do sieci przemysłowej. W zależności od wymagań stawianych przez nadzorowane obiekty lub procesy technologiczne różny jest stopień złożoności aparatury pomiarowo – sterującej i systemu komunikacyjnego umożliwiającego przesyłanie informacji zarówno pomiędzy poszczególnymi węzłami jak i pomiędzy węzłami a aplikacjami informatycznymi stanowiącymi sprzężenie pomiędzy użytkownikami a procesem technologicznym. Ważnym elementem systemu pomiarowo – sterującego są aplikacje informatyczne

służące do konfigurowania systemów pomiarowo – sterujących, wizualizacji stanu i diagnostyki obiektów. W artykule rozpatruje się zagadnienia obejmujące system komunikacyjny oraz aparaturę pomiarowo – sterującą RSPS.

2. Rozwiązania komunikacyjne warstwy obiektowej

W pobliżu obiektów lub procesów technologicznych znajdują się szafy pomiarowe, w których zainstalowane są przetworniki, regulatory, sterowniki PLC lub koncentratory pomiarowe. Informacja pomiarowo-sterująca wykorzystywana jest lokalnie do realizacji funkcji sterujących i przekazywana jest do aplikacji informatycznych wykorzystywanych przez użytkowników na wyższych poziomach struktury informacyjnej przedsiębiorstwa, w której wykorzystuje się lokalne sieci komputerowe. Dominującym dotychczas rozwiązaniem stosowanym do integracji sieci przemysłowych z sieciami komputerowymi jest wykorzystanie komputerów osobistych, które spełniają funkcje bramy. Takie rozwiązanie jest skuteczne, ale jest ono rozwiązaniem nadmiarowym. Integrację sieci przemysłowych z sieciami komputerowymi można zrealizować z wykorzystaniem dedykowanych urządzeń posiadających, co najmniej dwa wyjścia komunikacyjne: jedno do sieci przemysłowej (RS-485 + protokół komunikacyjny) a drugie do sieci komputerowej Ethernet (10Base-T). W celu umożliwienia dostępu do informacji pomiarowo – sterującej z poziomu aplikacji internetowych w urządzeniu integrującym (bramie) powinien znajdować się stos protokołowy TCP/IP oraz protokół HTTP do udostępniania stron WWW znajdujących się w urządzeniu integrującym – bramie.

Rosnące możliwości obliczeniowe mikrokomputerów jednokładowych oraz dostępność i niskie ceny układów scalonych realizujących standard Ethernet stwarzają możliwość budowy dedykowanych serwerów WWW lub budowy urządzeń pomiarowo – sterujących z wyjściem do sieci Ethernet znajdującym się na pokładzie urządzenia. Tak skonstruowane urządzenie można podłączyć bezpośrednio do urządzenia lokalnej sieci komputerowej (koncentrator lub koncentrator przełączający) z pominięciem komputera PC. Wprowadzanie nowych technologii, zweryfikowanych wcześniej przez środowiska informatyczne, do inteligentnych urządzeń pomiarowych, sterujących i systemów pomiarowo – sterujących wykorzystywanych do zdalnego sterowania, diagnozowania, konfigurowania i monitorowania umożliwia wykorzystanie zarówno istniejącej infrastruktury komunikacyjnej jak i przeglądarek internetowych jako standardowego interfejsu po stronie użytkownika [1,3,4].

3. Technologie internetowe i Ethernet przemysłowy

Wykorzystanie na poziomie sieci przemysłowych rozwiązań sprzętowych i programowych, z sukcesem stosowanych w sieciach komputerowych (Ethernet, TCP/IP, HTTP, WWW itp.) [1,4,7], prowadzi do uproszczenia wielopoziomowej struktury tworzącej model systemu informacyjnego przedsiębiorstwa. Uproszczenie struktury (rys. 2) przejawia się w tym, że zarówno dostęp do informacji pomiarowych jak i przesyłanie informacji sterujących elementami wykonaw-

czymi lub danych konfiguracyjnych jest możliwe z poziomu przeglądarki internetowej, która stała się standardowym wyposażeniem komputera osobistego niezależnie od stosowanej platformy systemowej.

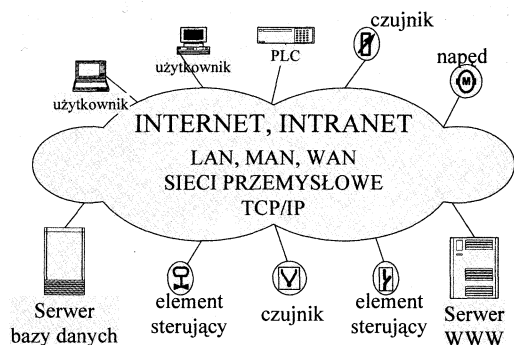
Podstawową zaletą wynikającą ze stosowania Ethernetu przemysłowego i technologii internetowych jest rezygnacja z konieczności stosowania dedykowanego oprogramowania pracującego po stronie użytkownika, co może w sposób znaczący obniżyć koszty zakupu oraz utrzymywania aplikacji, zwłaszcza przy dużej liczbie osób korzystających z niej.

Wprowadzenie technologii internetowej na poziom systemów pomiarowo - sterujących jest możliwe dzięki przeniesieniu na poziom węzłów pomiarowych i wykonawczych węzła autonomicznej, dedykowanej bramy internetowej lub węzłów realizujących jednocześnie funkcje pomiarowo – sterujące i posiadających wyjście do sieci Ethernet.

Sieć Ethernet zdominowała środowisko lokalnych sieci komputerowych i jest powszechnie akceptowanym rozwiązaniem do szybkiego transferu dużych ilości danych. Wprowadzenie w 1995 r. Ethernetu przełączającego, wyeliminowało kolizje, co przy jednocześnie znacznej obniżce kosztów sterowników sieciowych znacznie uatrakcyjniło to rozwiązanie czyniąc je bardziej uniwersalnym i deterministycznym, co z punktu widzenia wymagań stawianych sieciom przemysłowym otworzyło nowe możliwości zastosowań. Ethernet przemysłowy jest funkcjonalnie i logicznie zgodny z klasycznym standardem Ethernet. W odmienny sposób rozwiązane są urządzenia sieciowe, stacje robocze i serwery. Urządzenia sieciowe (koncentratory lub przełączniki) stosowane w sieciach przemysłowych są znacznie prostsze od urządzeń stosowanych w sieciach komputerowych. Funkcję stacji roboczych w Ethernetie przemysłowym przejmują urządzenia pomiarowo – sterujące. W roku 1999 udział sieci Ethernet w rynku sieci przemysłowych nie był zbyt duży i wynosił 0,2%. Dominowały sieci *Fieldbus*, *Devicebus* i *Sensorbus*. Obecnie około 20% urządzeń produkowanych na potrzeby przemysłowych systemów pomiarowo – sterujących posiada wyjście do sieci Ethernet lub Fast Ethernet. Niskie ceny sterowników do sieci Ethernet, potrzeba integracji sieci przemysłowych z sieciami komputerowymi oraz rozwój technologii internetowych są czynnikami, które będą stymulowały dalszy rozwój Ethernetu przemysłowego. Oferowanie układów scalonych integrujących w sobie funkcje sterownika do sieci Ethernet, stosu TCP/IP, protokołu HTTP oraz dedykowanego serwera WWW standaryzuje dostęp do danych pomiarowo – sterujących z poziomu przeglądarki internetowej. Zastosowanie takiego układu scalonego w urządzeniu oznacza przeniesienie pewnych funkcji realizowanych dotychczas w komputerach osobistych, bramach lub w serwerach na poziom urządzenia pomiarowo-sterującego. Uprości to strukturę komunikacyjną przedsiębiorstwa (rys. 2) i otworzy nowe możliwości w sposobie dostępu do danych z poziomu aplikacji informatycznych takich jak systemy SCADA lub ERP. Dostęp do danych pomiarowo – sterujących gromadzonych w urządzeniu z poziomu przeglądarki internetowej nie wymaga instalowania na stacjach użytkowników dodatkowego, specjalizowanego oprogramowania wraz z protokołami komunikacyjnymi.

Zastosowanie technologii internetowych do budowy urządzeń może być najprostszą metodą standaryzacji środowiska komunikacyjnego w sieciach przemysłowych na poziomie sieci typu *fieldbus* i *devicebus*. Rozwiązanie takie umożliwi-

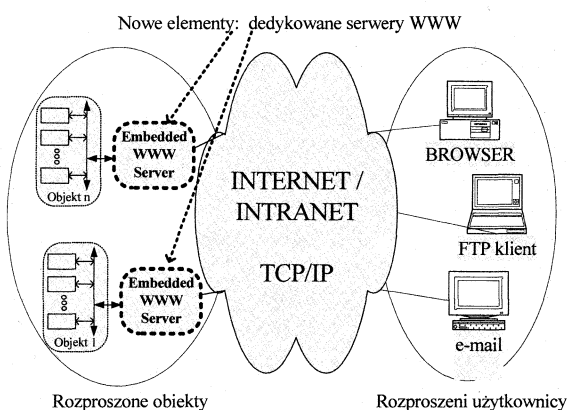
łoby budowanie systemów otwartych, w których projektanci lub użytkownicy mogliby zestawiać urządzenia pochodzące od różnych producentów i tworzyć oprogramowanie aplikacyjne metodą komponentową z wykorzystaniem przeglądarki internetowej.



Rys.2. Struktura komunikacyjna przedsiębiorstwa po wprowadzeniu technologii internetowych do RSPS

4. Dedykowane serwery WWW

Podstawowe elementy rozproszonych systemów pomiarowo – sterujących zbudowanych z wykorzystaniem technologii internetowych tworzą trzy: system komunikacyjny ze stosem protokołowym TCP/IP, dedykowany serwer WWW, do którego bezpośrednio lub za pośrednictwem sieci przemysłowej podłączone są czujniki i elementy wykonawcze oraz stacje klienckie z przeglądarkami internetowymi, przy użyciu których użytkownik uzyskuje dostęp do danych pomiarowych i ma możliwość oddziaływania na obiekt (rys. 3). Ze względu na sposób wykonania (mikroprocesory 8- i 16-bitowe) [3] i ograniczone możliwości dedykowanych serwerów WWW stosowanych w RSPS, określane są one jako nano- lub pikoserwery WWW.



Rys. 3. System zdalnego monitorowania ze dedykowanymi serwerami WWW

W systemach tych informacje pomiarowe i sterujące pomiędzy serwerem WWW a użytkownikiem przesyłane są postaci tekstowych stron WWW napisanych w języku znacznikowym HTML. Zakres zastosowań internetowych systemów pomiarowo-sterujących może być bardzo szeroki. Zdalne pomiary, diagnostyka, konfigurowanie, załączanie wykonywane z poziomu przeglądarki internetowej standaryzują interfejs użytkownika i znacznie upraszczają dostęp do zasobów wbudowanego serwera WWW. Wykorzystywanie w środowisku

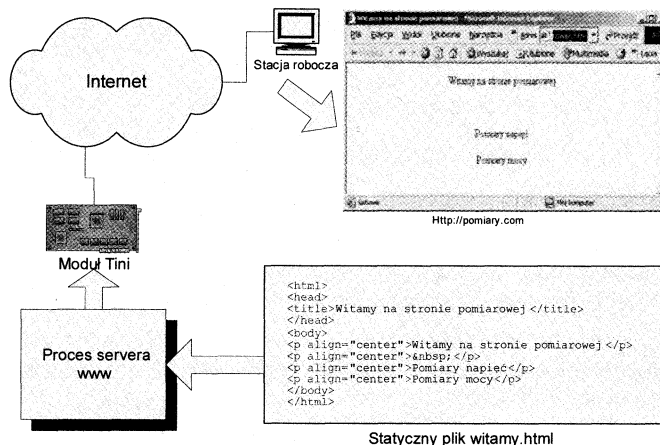
systemów pomiarowo – sterujących sprawdzonych i wykorzystywanych w środowisku informatycznym standardowych protokołów komunikacyjnych oraz internetowych technologii informatycznych znacznie ułatwia integrację urządzeń pochodzących od różnych dostawców oraz integrację z systemem informacyjnym firmy. Przewiduje się, że liczba urządzeń dedykowanych z wyjściem do sieci Internet będzie znacznie szybciej przyrastała niż obserwowany od 1995 r. przyrost stacji roboczych. Internetowe RSPS posiadają wiele atrakcyjnych zalet, jednak ich stosowanie wymaga bardzo starannego rozwiązania, przede wszystkim zagadnień bezpieczeństwa [3]. Ponadto w takich systemach trudne jest dotrzymanie wygórowanych warunków czasu rzeczywistego.

5. Tworzenie stron WWW

Przygotowanie dedykowanego serwera WWW do pracy wymaga jego wcześniejszego skonfigurowania a następnie przesłania do niego stron WWW udostępnianych podczas pracy na żądanie klientów. Zagadnienia te zostaną omówione na przykładzie dedykowanego serwera WWW TINI bazującego na 8-bitowym procesorze DS80C390i pracującego w środowisku java. Serwer WWW TINI udostępnia pliki wykorzystując protokół HTTP. Jest to prosty moduł, który nie posiada takich możliwości jak komercyjne serwery WWW takie jak Microsoft Information Server lub Apache z systemu Linux.

5.1. Tworzenie stron statycznych

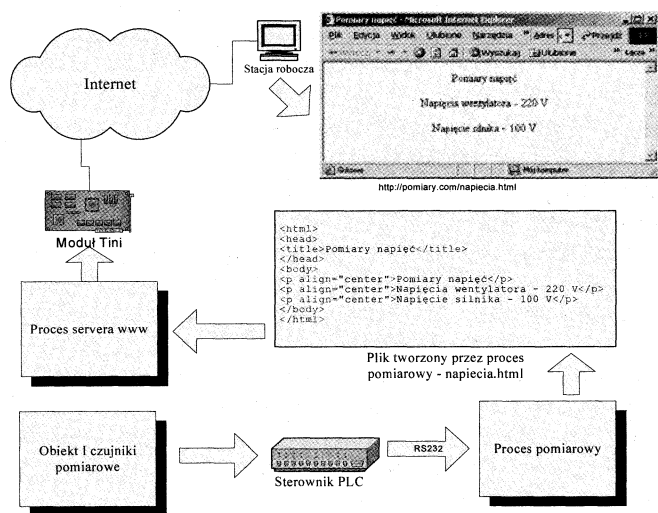
Moduł TINI posiada możliwość uruchamiania różnych procesów, które będą działały jednocześnie. Jednym z takich modułów może być serwer WWW. Proces ten musi być napisany i skompilowany przy pomocy kompilatora java. Moduł realizuje obsługę protokołu wymiany plików poprzez Internet i przeglądarki WWW – HTTP 1.1 w uproszczonej wersji. Możliwe jest wykorzystanie tylko metody GET protokołu. Oznacza to jedynie możliwość statycznego przesyłania plików html do przeglądarki. Pliki html mogą być utworzone w dowolnym edytorze i zapisane w systemie plikowym serwera TINI przy pomocy protokołu FTP. Użytkownik w przeglądarce podaje adres internetowy i nazwę pliku statycznego, który ma być wysłany do przeglądarki. Moduł serwera WWW przesyła plik w całości, tak jak jest zapisany w systemie plikowym, do przeglądarki klienta. Schemat działania systemu przedstawiono na rys.4.



Rys. 4. Tworzenie stron statycznych

5.2. Tworzenie stron dynamicznych

Jak wspomniano w poprzednim punkcie moduł serwera WWW może pracować tylko w trybie statycznego udostępniania plików HTML. Nie oznacza to jednak, że udostępniane pliki nie mogą być zmieniane tak często jak często wykonywany jest pomiar danej wartości. W taki sposób zrealizować można udostępnianie danych pomiarowych w sposób dynamiczny. Dane, które użytkownik widzi na swoim ekranie w oknie przeglądarki muszą być w dynamiczny sposób zapisywane do pliku, który jest przesyłany. Może to być zrealizowane przy pomocy osobnego modułu programowego napisanego w języku java. Moduł ten powinien realizować operacje zapisu plików w formacie HTML. Pliki mogą być formatowane w ten sposób, że znaki sterujące HTML mogą być przeplatane z wynikami pomiarów pochodzących z różnych urządzeń. Do dedykowanego serwera WWW można dołączyć urządzenia i za pomocą łącza RS-232 lub RS-485 odczytywać wartości z odpowiednich urządzeń i umieszczać je na stronie HTML. Możliwość przeplatania kodu HTML i tekstu daje duże możliwości tworzenia atrakcyjnej szaty graficznej takich stron. Możliwe jest stworzenie strony w formie obrazu synoptycznego z graficznym widokiem obiektu i punktów pomiarowych. Dane np. z czujników pomiarowych będą w sposób programowy umieszczane w odpowiednich miejscach na stronie WWW. W taki sposób możliwe jest dynamiczne umieszczanie danych pomiarowych na stronach WWW przy pomocy modułu TINI. Schemat działania przykładowego systemu przedstawiono na rys. 5.

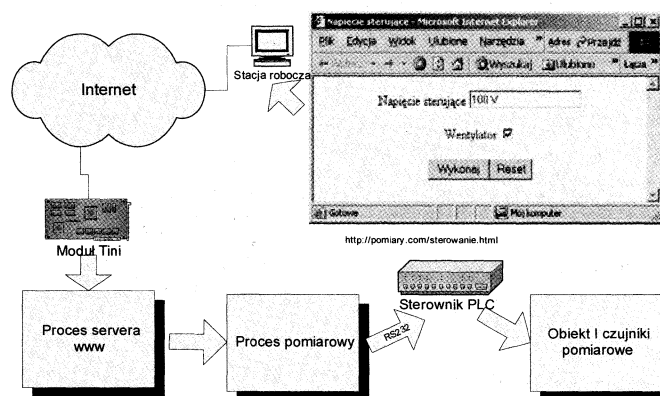


Rys. 5. Tworzenie stron dynamicznych

5.3. Tworzenie stron sterujących

Jak wspomniano w poprzednim podrozdziale moduł dedykowanego serwera WWW realizuje tylko metodę GET protokołu HTTP. W celu sterowania serwerem z poziomu przeglądarki należałoby użyć stron z formularzami. Serwer WWW musiałby mieć możliwość wykonywania metody POST protokołu HTTP. W wersji dostarczanej przez producenta modułu jest to niestety niemożliwe. Istnieją jednak rozwiązania programowe serwerów WWW dla modułu TINI dostarczane przez innych, niezależnych producentów oprogramowania. Jednym z takich rozwiązań jest moduł TiniHttpServer [8] stworzony przez firmę Smart Software Consulting [9]. Moduł

między innymi umożliwia tworzenie apletów do dynamicznej wymiany danych wysyłanych z przeglądarki użytkownika. Dostępny on jest na zasadzie licencji GNU. Przy pomocy tego modułu możliwe jest zrealizowanie funkcji sterowania przy pomocy strony WWW z przeglądarki strony klienta. Strona, która może np. wymuszać odpowiednie napięcie sterownika lub włączyć silnik wentylatora musi być napisana w języku HTML z użyciem formularzy. Działanie takiego systemu zilustrowano na rys. 6.



Rys. 6. Tworzenie stron sterujących

Formularze są jedyną metodą protokołu HTTP umożliwiającą przesyłania danych z przeglądarki do serwera WWW. W formularzu mogą znajdować się takie elementy sterujące jak pola edycyjne do wpisania wartości, listy wyboru, włączniki i przełączniki. Po wpisaniu odpowiednich wartości strona zostaje wysłana metodą POST protokołu do modułu serwera WWW. Moduł odbiera wartości, dekoduje je i następnie może w sposób programowy wykonać odpowiednie polecenie, które spowoduje wykonanie określonej akcji np. wysłanie polecenia do dołączonego sterownika PLC, który włączy silnik wentylatora.

6. Czas rzeczywisty w sieciach IP

W przypadku stosowania technologii internetowych w systemach pomiarowo-sterujących, którym stawia się wymagania czasu rzeczywistego, zasadniczą kwestią jest możliwość realizacji tych zadań przez stos protokołowy TCP/IP. Protokół TCP jest protokołem połączeniowym warstwy transportowej i został zaprojektowany do realizacji połączeń typu „point-to-point”. Przesłanie wiadomości wymaga wcześniejszego ustanowienia połączenia a przesłanie tej samej wiadomości do wielu miejsc wymaga nawiązywania oddzielnych połączeń i alokowania zasobów dla każdego połączenia. Takie rozwiązanie jest dobre dla architektury „klient-serwer” natomiast w systemach z występowaniem ograniczeń czasowych korzystniejsze rezultaty uzyskuje się stosując transmisję bezpołączeniową typu rozgłoszeniowego.

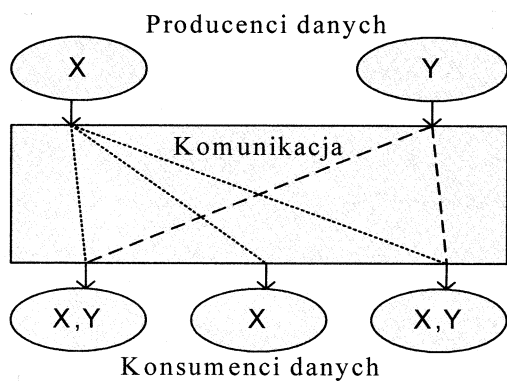
Ponadto, w przypadku wystąpienia zakłóceń podczas transmisji danych protokół TCP dokonuje retransmisji uszkodzonych danych. W pewnych przypadkach podejmowanie próby przesłania starszych danych w sytuacji, kiedy dostępne są nowe dane nie jest rozwiązaniem racjonalnym. Ta cecha protokołu jest bardzo cenna podczas transmisji danych wielosegmentowych, ponieważ gwarantuje wysoką niezawodność dostarczenia danych. Natomiast w systemach pomiarowo –

sterujących dane generowane są w sposób okresowy, zatem w chwili pojawienia się nowych danych, dane z poprzedniej chwili czasowej przestają być potrzebne.

Dominujące w technologii internetowej rozwiązania „klient-serwer” są dobrym rozwiązaniem dla systemów bazy – danych, serwerów plikowych itp., w których informacja przechowywana jest centralnie. Jeżeli informacja generowana jest przez wiele węzłów i przeznaczona jest dla wielu węzłów, to stosowanie modelu klient - serwer oznaczałoby, że w pierwszym kroku informacje byłyby gromadzone na serwerze a następnie rozsyłane do pozostałych węzłów. Taki sposób wymiany informacji jest dalece nieefektywny i nie gwarantujący determinizmu czasowego, więc jego stosowanie w systemach pomiarowo – sterujących z występowaniem ograniczeń czasowych nie jest dobrym rozwiązaniem.

7. Architektura typu PS

Wymienionych powyżej wad pozbawiona jest architektura typu PS (ang.: „Publish – Subscribe”) (rys. 7)[2,5]. W tej architekturze węzły dzielą się na producentów i konsumentów informacji. Producent danych może obsługiwać wielu konsumentów. Każda informacja wysyłana przez producenta posiada nazwę oraz przypisany jej na etapie konfigurowania typ, na podstawie których konsumenci je identyfikują. Przesyłanie informacji inicjowane jest przez producentów w trybie wyzwalanym zdarzeniowo tzn. pojawienie się nowych danych powoduje ich rozesłanie do konsumentów. Taki sposób przesyłania danych jest bardziej wydajny niż stosowane dotychczas architektury klient- serwer takie jak DCOM lub CORBA. Zalety architektury PS ujawniają się zwłaszcza jeżeli dane są przesyłane w sposób okresowy i nałożone są na nie ograniczenia czasowe.



Rys. 7. Architektura typu PS

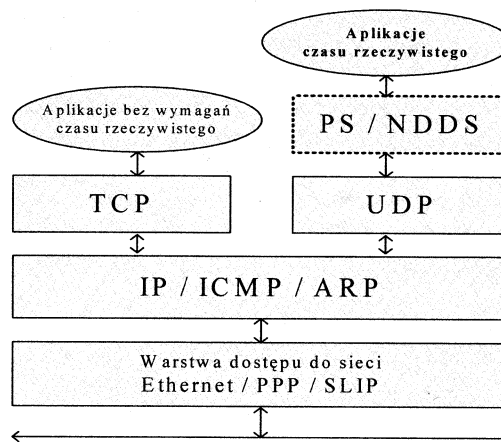
Architektura ta umożliwia bezpośredni przepływ danych pomiędzy producentami a konsumentami informacji, bez konieczności nawiązywania połączenia, dzięki czemu jest ona bardziej wydajna od architektury „klient - serwer”. Nie występują tutaj mechanizmy centralizacji informacji, a jako mechanizm transportowy jest wykorzystywany protokół bezpołączeniowy UDP gwarantujący szybkie dostarczenie informacji. Protokół ten wykorzystuje w warstwie sieciowej, podobnie jak protokół TCP, protokół IP. Takie rozwiązanie nadaje się do przesyłania informacji w systemach z rozproszonymi źródłami informacji i z rozproszonymi odbiorcami informacji, w których występują ograniczenia czasowe. Ze względu na występowanie, na poziomie protokołu UDP, bezpołączeniowych mechanizmów transportowych, ale nie gwarantujących

wysokiej niezawodności dostarczenia informacji, rozwiązania te mogą być z sukcesem stosowane w systemach z występowaniem ograniczeń czasowych, ale jedynie w systemach typu „soft real-time”.

Funkcje architektury typu „publish – subscribe” realizowane są w warstwie protokołowej pośredniczącej pomiędzy aplikacją węzła a protokołami UDP/IP. Architektura typu „publish – subscribe” pozwala na realizację wielu funkcji komunikacyjnych parametryzowanych przez użytkownika. Wzrost zainteresowania tą architekturą w obszarze rozproszonych systemów pomiarowo – sterujących wynika ze wzrostu liczby instalowanych tam sieci przemysłowych bazujących na Ethernetie przemysłowym oraz wzrostu rozwiązań bazujących na technologiach internetowych np. dedykowane serwery WWW.

8. Architektura PS w systemach RT

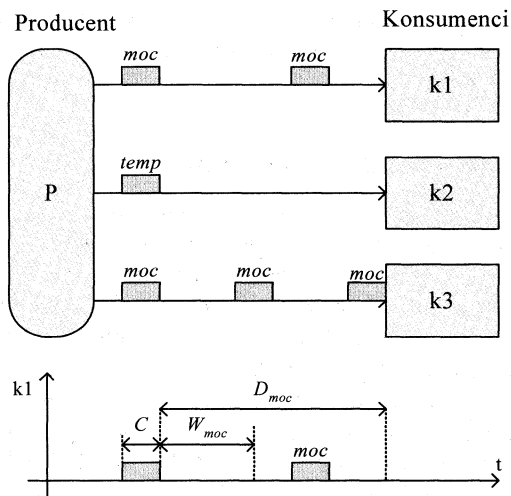
Realizacja wymagań czasu rzeczywistego w architekturze PS wymaga rozszerzenia rozbudowy jej podstawowych funkcji o następujące funkcje: ustalenie okresu generowania wiadomości, możliwość ustawienia ograniczenia czasowego na wiadomości okresowe i sporadyczne, kontrola przepływu wiadomości pomiędzy jej producentem a jej konsumentami, dostępność mechanizmów tolerujących uszkodzenia, możliwość realizacji stempli czasowych, współpraca z systemami RTOS. Implementacja architektury RTPS została zrealizowana w firmie *Real Time Inovations Inc.* i jest dostępna dla wielu systemów operacyjnych czasu rzeczywistego stosowanych zarówno w rozwiązaniach dedykowanych jak i w stacjach roboczych jako protokół NDDS (*Network Data Delivery Service*) [5]. Na rys. 8 przedstawiono strukturę stosu TCP/IP i umiejscowiono protokół NDDS.



Rys. 8. Protokół NDDS na tle stosu TCP/IP

W pierwszej, handlowo dostępnej implementacji protokołu NDDS węzeł mógł publikować pojedynczą wiadomość o długości do 1024 bajtów oraz mógł prenumerować do 64 zmiennych o długości do 1024 bajtów. Konsument pozwala na kontrolowanie ograniczenia czasowego oraz minimalnej odległości pomiędzy kolejnymi wiadomościami przychodzącymi od producenta. Każdy z konsumentów może żądać od producenta wiadomości spełnienia różnych parametrów czasowych. Na rys. 9 przedstawiono sytuację, w której konsumenci k1 i k3 oczekują na dane o nazwie *moc*. Każdy z konsumentów uzgodnił różny okres dostarczania tej samej danej. Producent P będzie wysyłał te dane z uzgodnionym z obu

konsumentami okresem. Przepływ danych pomiędzy producentem a konsumentem jest kontrolowany przez konsumentów poprzez zdefiniowanie dwóch czasów: minimalnego czasu oczekiwania W_{moc} na przyjęcie kolejnej wiadomości od producenta oraz maksymalnego ograniczenia czasowego D_{moc} . Konsument k1 po odebraniu danych moc przez czas W_{moc} nie będzie przyjmował nowych danych typu moc nawet jeżeli one pojawią się w sieci. Po upływie czasu W_{moc} konsument k1 będzie oczekiwał na nowe dane typu moc . Jeżeli dane te dotrą do węzła konsumenta k1 przed upływem ograniczenia D_{moc} , to oznacza



Rys. 9. Architektura PS w systemach czasu rzeczywistego

to, że postawione ograniczenie czasowe zostało dotrzymane. C_{moc} jest czasem potrzebnym a na przesłanie danych moc od producenta do konsumenta.

W modelu RTPS dopuszcza się istnienie dwóch takich samych nazw danych produkowanych przez różnych producentów. Stwarza to możliwości budowy systemu z tolerancją błędów. Pomiędzy producentami danych o tej samej nazwie można utworzyć hierarchię, z której będzie wynikało, który producent będzie generował dane o wyższym, a który z nich będzie producentem rezerwowym i będzie generował dane o niższym priorytecie. Jeżeli do konsumenta dotrą wiadomości o tym samym temacie, to ta o niższym priorytecie zostanie odrzucona.

W modelu komunikacyjnym RTPS pomiędzy producentem a konsumentem możliwy jest również tryb pracy „klient – serwer”. W tym trybie węzły konsumenta mogą wysyłać zapytania do producenta lub producentów podając nazwę żądanych danych oraz minimalny czas oczekiwania na odpowiedź i ograniczenie czasowe, po któregoż żądane dane nie będą przyjmowane i wygenerowany zostanie błąd. Ponieważ zapytanie może dotrzeć do kilku producentów danych o żądanej nazwie, to wówczas konsument dokonuje arbitrażu otrzymanych danych na podstawie ich priorytetu.

NDDS jest protokołem symetrycznym, nie posiadającym węzła centralnego, serwerowego lub jakiegokolwiek wyróżnionego o prostej konfiguracji. Uszkodzenie jednego z węzłów nie powoduje zawieszenia pracy pozostałej części systemu. NDDS pozwala na dynamiczne konfigurowanie węzłów (dodawanie producentów i konsumentów) w trakcie pracy pozostałych węzłów. Ze względu na niewielką objętość kodu i wykorzystanie protokołu UDP, NDDS jest bardziej

efektywny od stosowanych na tym poziomie protokołowym rozwiązań takich jak: DCOM, OPC i CORBA.

9. Podsumowanie

W artykule przedstawiono strukturę rozproszonych systemów pomiarowo – sterujących zbudowanych w oparciu o dedykowane serwery WWW. Przedstawiono sposób konfigurowania i tworzenia stron WWW dla dedykowanego serwera WWW TINI zbudowanego na bazie mikrokomputera DS80C390. Zaprezentowano elementy architektury PS do realizacji RSPS z wymogami czasu rzeczywistego w środowisku internetowym. Przedstawiony w artykule kierunek rozwoju systemów pomiarowo – sterujących z wykorzystaniem technologii internetowych może otworzyć nowe możliwości wykorzystania inteligentnej aparatury pomiarowo – sterującej dzięki wykorzystaniu standardowego interfejsu użytkownika i powszechnie dostępnej internetowej technologii komunikacyjnej.

Literatura

1. Bolikowski J., Michta E.: *Wykorzystanie technologii internetowych do zdalnego monitorowania obiektów*. AU-ROMECON 2002. Poznań, 2002. - Poznań, 2002, s. 12-17.
2. Castellote G.P., Thiebaut S., Hamilton M., Choi H.: *Real-Time Publish-Subscribe Protocol for IP-Based Real-Time Communication*. Instrument Society of America, 2001. (<http://www.rti.com/>)
3. Michta E., Szulim R.: *Wbudowane serwery WWW*. Studia Informatica 2002, Vol. 23, no 2B, s. 121-132.
4. Rytting T.: *Internet Enables Existing Embedded Process Control Devices*. RTC Magazine, Oct. 2000, pp. 58-64.
5. Schneider Electric. *Real Time Publish-Subscribe Protocol: Determinism and reliability for synchronization of distributed intelligence*.
6. Schneider S.: *Making Ethernet Work in Real-Time*. Sensors Magazine Nov. 2000. (<http://www.sensorsmag.com/articles/>)
7. Schneider S.: *Ethernet-Based Control Links Automation to the Web*. RTC Magazine, Oct. 2000, pp. 48-57.
8. <http://www.smartsc.com/>
9. <http://www.smartsc.com/tini/TiniHttpServer/>

Artykuł recenzowany.