

XVI Seminarium
ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICE' 2006
Oddział Gdański PTETiS
Referat nr 22

**WYKORZYSTANIE SPRZĘTOWEGO STOSU TCP/IP W
MIKROPROCESOROWYCH URZĄDZENIACH ZDALNEGO
MONITOROWANIA OBIEKTÓW**

Michał PORZEZIŃSKI¹, Michał WIEDEMANN²

1. Politechnika Gdańska, Wydz. Elektrotechniki i Automatyki,
ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel: 058 3472935 fax: 058 3471270 e-mail: mporz@ely.pg.gda.pl
2. Propox Sp. z o.o., ul. Korzeniowskiego, 30 81-376 Gdynia
tel: 058 660 30 10 fax: 058 660 30 12 e-mail: m.wiedemann@propox.com

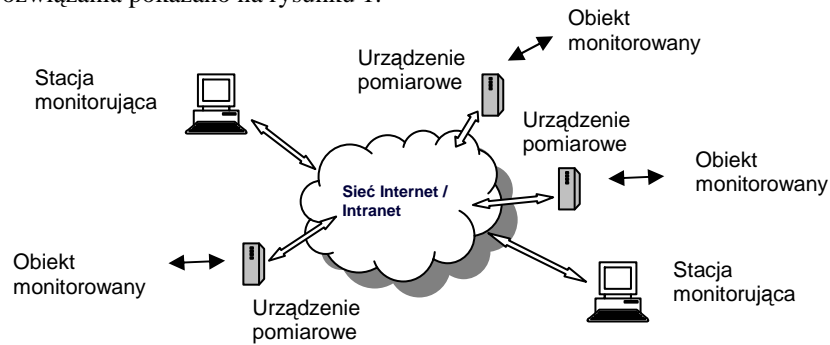
W artykule poruszono zagadnienie dołączania prostych urządzeń mikroprocesorowych do sieci TCP/IP. Przedstawiono przykład wykorzystania scalonego stosu TCP/IP w postaci układu scalonego W3100a współpracującego z prostym mikrokontrolerem z rodziny 8051. Omówiono właściwości funkcjonalne stosu, sposoby jego sprzęgnięcia z oprogramowaniem mikrokontrolera oraz możliwości wykorzystania protokołów UDP, TCP i HTTP do wymiany danych. Zaprezentowano również prototypowy układ mikroprocesorowy, bazujący na sprzętowym stosie TCP/IP, umożliwiający zdalną obserwację stanu obiektu oraz sterowanie nim z dowolnego komputera poprzez sieć Internet.

1. WPROWADZENIE

Ostatnio, w zastosowaniach przemysłowych, coraz większą popularność zdobywają sieci komputerowe wykorzystujące protokoły z rodziny TCP/IP [1,2]. Są one często wykorzystywane do komunikacji z rozproszonymi obiektami w celu monitorowania ich stanu oraz zdalnego sterowania z poziomu stacji operatorskiej. Zaletą takiego podejścia jest możliwość wykorzystania stosunkowo taniej i sprawdzonej infrastruktury sieciowej w postaci okablowania, kart sieciowych, ruterów, przełączników, która często już istnieje. Znaczenie ma również możliwość wykorzystania gotowych narzędzi konfiguracyjnych i protokołów wyższego poziomu (HTTP, SMTP, SNMP, MODBUS/TCP), co ułatwia integrację z innymi systemami [3]. W przypadku połączenia z siecią Internet (pomijając względy bezpieczeństwa) istnieje możliwość komunikowania się z obiektami rozproszonymi na bardzo dużym obszarze z dowolnego punktu „światowej pajęczyny”. Rolę stacji monitorujących i zarządzających pełnią zwykle komputery wyposażone w interfejs użytkownika (monitor, klawiatura), podczas gdy urządzenia pomiarowe i wykonawcze mogą być prostymi systemami mikroprocesorowymi komunikującymi się tylko poprzez

*Recenzent: Dr inż. Ireneusz Mosoń - Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Politechniki Gdańskiej*

mami mikroprocesorowymi komunikującymi się tylko poprzez sieć. Wykonują one polecenia napływające poprzez sieć ze stacji zarządzających polegające na podawaniu informacji o stanie wejść pomiarowych i generowaniu odpowiednich sygnałów sterujących. Ideę takiego rozwiązania pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Idea systemu monitorowania rozproszonych obiektów

Potrzebny do takiej komunikacji stos protokołów TCP/IP jest obecnie standardowym składnikiem większości systemów operacyjnych komputerów osobistych i przemysłowych takich jak Windows, Linux czy QNX. Bezpośrednie podłączenie do sieci TCP/IP prostych urządzeń mikroprocesorowych było do niedawna znacznie trudniejsze, ze względu na zbyt małe zasoby ich pamięci, jak i brak odpowiedniego oprogramowania. Sytuację zmieniło dopiero pojawienie się uproszczonych stosów programowych przeznaczonych dla mikrokontrolerów 8-mio bitowych, a ostatnio także specjalizowanych układów scalonych obsługujących stos protokołów TCP/IP „na zewnątrz” mikrokontrolera.

2. SPOSOBY REALIZACJI STOSU TCP/IP

Do zadań typowego stosu TCP/IP należy obsługa protokołu wymiany danych z innymi węzłami sieci poprzez realizację zadań odpowiadających funkcjom czterech najniższych warstw modelu OSI (rys. 2).

SNMP, HTTP, SMTP, MODBUS, Inne ...	Aplikacji
	Prezentacji
	Sesji
TCP, UDP	Transportowa
IP, ICMP	Sieciowa
Sterownik dostępu do sieci	Łącza danych
	Fizyczna

Rys. 2. Warstwy stosu TCP/IP w odniesieniu do modelu OSI

Najczęściej jest to oprogramowanie zintegrowane z systemem operacyjnym komputera, współpracujące z kartą sieciową i udostępniające usługi transportowe zgodne z protokołami TCP i UDP poprzez interfejs gniazd (sockets).

Stosy programowe od kilku lat są również dostępne dla małych systemów mikroprocesorowych opartych o mikrokontrolery ośmiobitowe np. z rodziny 8051 i AVR. Są one często darmowe i choć oferują dużą elastyczność konfiguracji, ich wadą jest duże zapotrzebowanie na zasoby pamięci mikrokontrolera. Chodzi zarówno o pamięć programu (złożoność oprogramowania) jak i pamięć danych (konieczność zarezerwowania odpowiednio dużych buforów danych). Trudność stanowi również fakt, że oprogramowanie to zwykle jest dostępne w postaci kodów źródłowych języka C lub asemblera, które należy połączyć z tworzonym oprogramowaniem użytkowym i skompilować. Różnice pomiędzy poszczególnymi typami mikrokontrolerów i odmianami kompilatorów wymagają zwykle pewnych modyfikacji kodu źródłowego stosu, co przy jego znacznym skomplikowaniu nie zawsze jest łatwe i może być przyczyną błędów.

Od niedawna alternatywą dla stosów programowych stały się stosy sprzętowe. W tego rodzaju elementach większość operacji związanych z wymianą danych realizowana jest w zewnętrznym układzie scalonym wyposażonym w potrzebne zasoby pamięci. Komunikacja pomiędzy mikroprocesorem a stosem odbywa się za pomocą prostego interfejsu równoległego lub szeregowego np. I2C i polega na zapisywaniu i odczytywaniu wartości odpowiednich rejestrów wewnętrznego układu. Dużą zaletą takiego rozwiązania jest niezależność od rodzaju mikrokontrolera i jego zasobów oraz przyjętego języka oprogramowania, a także znaczne uproszczenie i ograniczenie rozmiarów docelowego oprogramowania. Pewną wadą jest ograniczona możliwość konfiguracji, np. liczby możliwych równoczesnych połączeń TCP. Niemniej, dla zastosowań w prostych systemach pomiarowo-sterujących, nie powinno stanowić to poważnego ograniczenia.

3. SPRZĘTOWY STOS TCP/IP

W zbudowanym prototypie internetowego urządzenia pomiarowego wykorzystano gotowy moduł II7010a zawierający sprzętowy stos TCP/IP. Jego widok został przedstawiony na rysunku 3.



Moduł II7010a zawiera:

- układ scalony W3100A pełniący rolę sprzętowego stosu TCP/IP (implementuje protokoły TCP, UDP, IP, ICMP, ARP, DLC i MAC),
- kontroler sieciowy: RTL8201BL,
- złącze MAG-JACK (transformator separujący, złącze RJ-45).

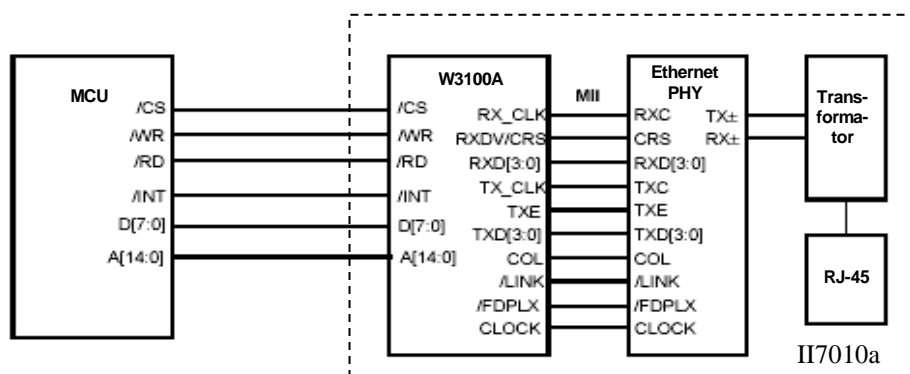
Rys. 3. Widok modułu II7010a

Istotne cechy układu to:

- możliwość równoczesnego ustanowienia 4 niezależnych połączeń TCP,
- kompatybilność ze standardem IEEE 802.3/802.3u,
- zasilanie napięciem 3,3 V z tolerowaniem sygnałów I/O o napięciu 5 V,
- wbudowany konfigurowalny bufor nadawczy i odbiorczy o rozmiarze 8 KB,

- możliwość wykorzystania interfejsu „DirectBus” lub I2C do połączenia z nadrzędnym mikrokontrolerem.

Podłączenie w trybie „DirectBus” pomiędzy mikrokontrolerem a układem II7010a przedstawia rysunek 4. Jest to połączenie wykorzystujące 15 linii adresowych 8 linii danych oraz sygnały sterujące /WR , /RD, /CS i /INT. Możliwe jest również podłączenie modułu w trybie I2C. W tym wypadku wykorzystuje się szeregowy interfejs I2C zawierający tylko dwie linie: linię danych SDA i zegarową SCL oraz odpowiedni algorytm wymiany danych.



Rys. 4. Połączenie modułu II7010a z mikrokontrolerem w trybie „DirectBus” [4]

Korzystanie ze stosu jest stosunkowo proste. Moduł w sposób kompleksowy obsługuje wymianę danych pomiędzy mikrokontrolerem, a siecią Ethernet. Służą do tego określone rejestry, które można podzielić na kategorie odnośnie: sterowania, zarządzania i informowania o wykonywanych połączeniach. Wszelkie operacje i konfiguracja stosu jest związana z ustawieniem odpowiednich wartości w tych rejestrach. Za wykonanie tych czynności odpowiada program zawarty w mikrokontrolerze współpracującym ze stosem. Tworzenie aplikacji ułatwia dostarczana ze stosem biblioteka języka C zawierająca odpowiednie funkcje API. Pozwala to na bardzo szybkie i wygodne tworzenie projektów wykorzystujących ten moduł.

Uaktywnienie stosu wymaga przeprowadzenia procedury inicjalizacji. Obejmuje ona:

- reset programowy modułu,
- konfigurację sieci, czyli ustawienie odpowiednich rejestrów zawierających: adres bramy, maskę podsieci, adres MAC modułu, adres IP modułu,
- konfigurację obszaru pamięci buforów odbiorczych i nadawczych,
- zatwierdzenie konfiguracji - na tym etapie poprawnie skonfigurowany i podłączony moduł powinien odpowiadać na komendę „ping” protokołu ICMP),
- wybór protokołu TCP lub UDP,
- wybór trybu pracy gniazda dla protokołu TC, czyli czy gniazdo ma nasłuchiwać, czy połączyć się z hostem o wskazanym adresie (adres IP i nr portu).

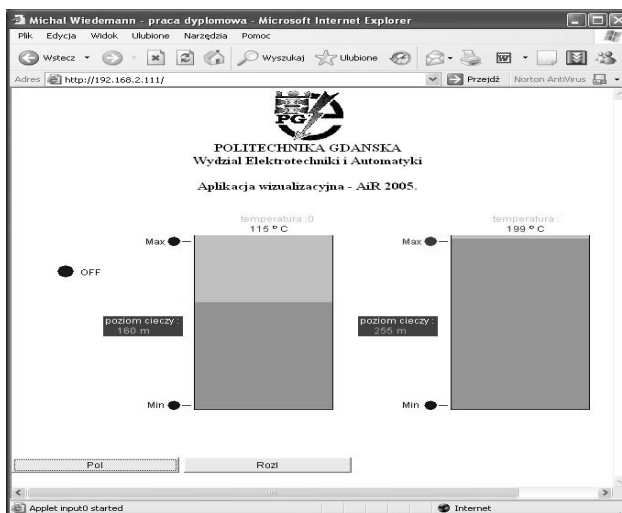
Na tym etapie stos TCP/IP jest w pełni skonfigurowany i możliwa jest wymiana danych w trybie TCP lub UDP. Odbywa się ona, podobnie jak podczas fazy inicjalizacji, za pośrednictwem odpowiednich rejestrów układu. Szczegółowe informacje na ten temat za-

warte są w dokumentacji układu [4]. Realizacja protokołów wyższych warstw np. HTTP odbywa się na drodze czysto programowej i wymaga przygotowania własnego oprogramowania.

4. REALIZACJA I TESTOWANIE PROTOTYPU

Na potrzeby systemu monitorowania obiektów, z użyciem sieci Ethernet i modułu scalonego stosu, powstał prototyp internetowego układu pomiarowego. Na zaprojektowane urządzenie składają się głównie: mikrokontroler P89C51RD2BN (64kB Flash), moduł stosu II7010a, zewnętrzna pamięć SRAM (32kB - potrzebna jako bufor podczas wymiany informacji pomiędzy stosem a mikrokontrolerem), przetwornik A/C, diody LED przedstawiające stan wyjść binarnych oraz przełączniki i potencjometry jako symulatory wejść.

Działanie urządzenia polega na pełnieniu funkcji serwera WWW i przeprowadzaniu transakcji z przeglądarką internetową. Na żądanie przeglądarki mikrokontroler wysyła treść zaimplementowanej w pamięci strony WWW wraz z apletem Javy. Na żądanie apletu otwierane jest drugie równoległe połączenie dla celów przekazywania danych kontrolno-pomiarowych. Urządzenie nie posiada systemu plików, treść stron WWW jak i kod apletu implementowane były w kodzie programu jako tablice danych. Na rysunku 5 pokazano przykład okna (aplet Javy) widzianego w przeglądarce internetowej, generowanego przez zbudowany układ. Pozwala ono na bieżącą obserwację zachowania symulowanego obiektu składającego się z dwóch zbiorników z płynami o zmieniającej się temperaturze i poziomie.



Rys. 5. Panel wizualizacyjny generowany przez internetowy układ pomiarowy widziany w przeglądarce internetowej

Działanie układu zostało przetestowane w sieci lokalnej, w której skład wchodziły 3 komputery klasy PC oraz przełącznik sieci Ethernet do którego podłączony został testowany układ. Przy takiej konfiguracji pakiety PING protokołu ICMP wracały w czasie krótszym niż 5 ms. Układ został również poddany testom w publicznej sieci Internet. Korzystając z połączenia modemowego o prędkości transmisji 128 kbit/s i przydzielonego ze-

wewnętrznego IP, wykonane zostało połączenie w sieci WAN. Okres w którym testowano działanie (godz. 20.00 - 20.30) jest zwykle czasem wzmożonego ruchu w publicznej sieci Internet. Układ działał w pełni poprawnie i odpowiadał w zróżnicowanym czasie od 50 ms do 100ms.

5. PODSUMOWANIE

Zbudowany prototyp potwierdził możliwość wykorzystania scalonego stosu TCP/IP w systemach monitorowania obiektów wykorzystujących tanie, rozproszone urządzenia pomiarowo-sterujące, oparte na ośmiobitowych mikrokontrolerach z niewielkimi zasobami pamięci. Stos sprzętowy przy porównaniu z programowym pozwolił na znaczne uproszczenie oprogramowania, a koszt elementów potrzebnych do budowy urządzenia nie przekroczył 250zł.

Zadaniem autorów proste w użyciu stosy sprzętowe mogą odegrać znaczącą rolę w przeistaczaniu sieci obsługujących protokoły TCP/IP w medium umożliwiające zdalne sterowanie i pomiary rozproszonych obiektów czasie rzeczywistym.

Odrębnym zagadnieniem jest bezpieczeństwo stosowania tego typu rozwiązań w sieciach publicznych. Zbudowany prototyp nie posiada dostatecznych zabezpieczeń, a jego niewielkie zasoby uniemożliwiają zastosowanie standardowych protokołów autoryzacji i szyfrowania danych stosowanych w Internecie. W tej sytuacji najskuteczniejszym rozwiązaniem wydaje się być odseparowanie podsieci w których pracują węzły pomiarowo-sterujące od publicznego Internetu za pomocą odpowiednich bramek/ruterów wyposażonych w niezbędne mechanizmy bezpieczeństwa oraz ewentualne ograniczenie funkcjonalności urządzeń do zadań pomiarowych, wymagających jedynie odczytu danych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. T. Parker: TCP/IP, Wydawnictwo Helion, Gliwice 1997, ISBN: 83-86718-55-2.
2. D.E. Comer: Sieci komputerowe TCP/IP zasady, protokoły i architektura, WNT, Warszawa 1997, ISBN: 83-204-2316-3.
3. L.Mazur, M.Porzeziński: Remote Monitoring and Control of Technical Systems Using Internet Network Technology, Proceedings of the IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security and Safety, 28-30.09.2005, Gdańsk, s. 407-412, ISBN: 83-917681-9-8.
4. Dokumentacja techniczna układu w3100a - zasoby internetowe firmy WIZnet:
www.iinchip.com.

THE USE OF HARDWARE TCP/IP STACK IN REMOTE OBJECT MONITORING DEVICES

In the paper, the issue of connecting simple microcontrollers to TCP/IP network was described. An example of the use of integrated hardware TCP/IP stack W3100 working with simple 8051 family microcontroller was presented. Features of the stack, methods of connecting to microcontroller and methods of the use of TCP, UDP and HTTP protocols was discussed. The prototype of microprocessor application with TCP stack, giving the ability of remote monitoring and controlling simple object through Internet network, was also presented.