

dr inż. Piotr Szulewski  
Instytut Technik Wytwarzania  
Politechnika Warszawska

## AUTONOMICZNY MODUŁ POMIAROWY

*Powszechnie występująca tendencja związana z wykorzystywaniem w obszarze automatyki przemysłowej (do sterowania i nadzoru) systemów rozproszonych wymusza konstruowanie rozwiązań autonomicznych charakteryzujących się rozbudowanymi możliwościami komunikacyjnymi. Artykuł omawia koncepcję wykonania w technice mikroprocesorowej niewielkiego modułu pomiarowo-sterującego pozwalającego na dołączanie różnorodnych elementów lub układów pomiarowych oraz wyposażonego w dedykowany interfejs sieciowy dla komunikowania się z urządzeniami zewnętrznymi.*

### DATA ACQUISITION MODULE FOR DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

*Referring to the very popular idea of distributed control systems the conception of small data acquisition module is presented in this paper. Thanks to the microelectronic technique rapid growth it is possible to use the popular microprocessor and it's components as universal and powerful diagnostic tool. The proposal for construction simple data module and it's implementation to the real laboratory environment is provisionally illuminated.*

#### 1. ISTOTA INFORMACJI

„W dzisiejszym świecie informacja jest towarem” – stwierdzenie to, tak powszechnie przytaczane, stało się już swoistym truizmem, którego głębokiego sensu praktycznie nie dostrzegamy. Próbując zdefiniować to fundamentalne pojęcie można posłużyć się konstatacją wskazującą na szerokie rozumienie pojęcia informacji jako „uniwersalnego tworzywa spajającego poszczególne elementy systemu, w jedną sprawnie i efektywnie działającą całość” [Marco, 96]. Informacja jest, więc dobrem szczególnym, bez którego trudno mówić o nowoczesnym i całościowym procesie zarządzania, zwłaszcza w produkcji oraz wytwarzaniu. W wielu przypadkach mamy do czynienia zazwyczaj z zarządzaniem intuicyjnym często opartym o różnego rodzaju estymacje czy wręcz szacunki. Trudno w takich warunkach podejmować trafne i wyważone decyzje a także na bieżąco reagować w przypadku pojawienia się sytuacji awaryjnej. W problematyce informacji występują dwa podstawowe zagadnienia określane jako pozyskanie informacji (*ang. data acquisition*) oraz dostęp do informacji (*ang. data access*). Jak się wydaje we współczesnych systemach pomiarowych są one szczególnie istotne i mogą być traktowane współbieżnie. Począwszy od formowania sygnałów poprzez ich interpretację i uporządkowanie uzyskujemy szczegółową wiedzę o warunkach pracy obrabiarek, urządzeń technologicznych lub stanie zaawansowania realizacji wytwarzania. Tak więc, spostrzeżenie, iż umiejętne, efektywne i skuteczne uzyskanie źródłowych sygnałów oraz ich udostępnianie (przesyłanie) stanowi klucz do sukcesu jest jak najbardziej poprawne i prawdziwe.

#### 2. SYSTEMY SIECIOWE

Przesyłanie informacji na odległość od zawsze stanowiło fascynację i znajdowało się w centrum zainteresowania człowieka [Tanebaum, 97]. O ile w początkowej fazie już sam fakt przesłania nawet pojedynczego sygnału (*np. sygnały świetlne – ogień lub dym, znaki dźwiękowe*) stanowił o sukcesie całego przedsięwzięcia to oczywiście nie wyczerpywało to możliwości dalszego rozwoju. Historycznie pierwszym standardem (*rok wprowadzenia 1960*)

używanym do przesyłania informacji w warunkach przemysłowych była pętla prądowa 4-20 mA. Rozpowszechnianie się sygnałów cyfrowych zaowocowało opublikowaniem w 1962 r. przez EIA (*ang. Electronic Industries Association*) noty normalizacyjnej wprowadzającej standard interfejsu komunikacyjnego RS-232 a sześć lat później RS-232C o szybkości transferu 20 KBit/s [Mielczarek, 93]. Wraz ze wzrostem wymagań dotyczących ilości przesyłanych danych i liczby współpracujących ze sobą urządzeń, pojawiać się zaczęły rozwiązania nowoczesnych systemów transmisyjnych opartych o magistrale cyfrowe. Sieć przemysłowa nazywana także siecią polową (*ang. fieldbus*) lub miejscową, stanowi kolejny etap w rozwoju systemów transmisji danych w warunkach zakładu przemysłowego. W ciągu ostatnich 10 lat obserwowany jest gwałtowny rozwój systemów sieciowych opartych o standard Ethernet w wykonaniu zarówno stacjonarnym jak i bezprzewodowym [Thompson, 04]. Jednocześnie, podkreślić należy, że producenci komponentów sieci przemysłowych pomimo wielu lat rozwoju i czynionych znacznych wysiłków w celu ujednoczenia nie wypracowali uniwersalnego standardu. Na rynku istnieje wiele różnorodnych propozycji sieci przemysłowych. Rozwiązania te charakteryzują się dość niewielkim pasmem przenoszenia, ograniczoną liczbą stacji i stosunkowo niewielką rozległością dopuszczalnych instalacji. Nie zawsze też zachowana jest pełna kompatybilność urządzeń pochodzących od różnych wytwórców, co może powodować powstawanie problemów w przypadku podejmowania prób unifikacji posiadanych zasobów. Istotną kwestią są także koszty zakupu i wykonania instalacji systemów przemysłowych. Wieloletni rozwój koncepcji sieci Ethernet zaowocował ustanowieniem jednolitego i powszechnie akceptowanego standardu. Rozpowszechnienie i zasłużona popularność nie mogła pozostać niezauważona przez producentów systemów sterowania i nadzoru zwłaszcza, iż jest to rynek zbytu gwarantujący niemałe zyski. Ethernet jest uznawany za najbardziej otwarte środowisko sieciowe na świecie pozwalające na daleko idącą integrację informatyczną.

### 3. MIKROKONTROLERY

Od początku lat 70. rokrocznie zwiększa się wykorzystanie systemów mikroprocesorowych. W zespołach obrabiarek i maszyn technologicznych coraz częściej można spotkać specjalizowane układy mikroprocesorowe spełniające zadania lokalnych sterowników logicznych. Układy te oparte są zazwyczaj o mikroprocesory jednoukładowe (*ang. single-chip microcomputer*) zwane mikrokontrolerami [Pełka, 99]. Termin ten pojawił się w dostępnych opracowaniach stosunkowo niedawno, bowiem dopiero w początku lat osiemdziesiątych. Obecnie oznacza on układ scalony ze specjalizowanym mikroprocesorem, spełniający dwa główne, kryteria:

- jest zdolny do samodzielnej, autonomicznej pracy – nie wymaga dołączania żadnych dodatkowych urządzeń (*dopuszczalny jest zewnętrzny rezonator [generator kwarcowy] i zasilacz*),
- przeznaczony jest do pracy w systemach kontrolno-pomiarowych lub sterujących co oznacza konieczność posiadania rozbudowanych możliwości komunikacji z otoczeniem.

Obecnie na rynku dostępnych jest szereg rozwiązań mikrokontrolerów począwszy od modeli 8 bitowych a skończywszy na 32-bitowych. Największa dynamika rozwoju obserwowana jest w zakresie urządzeń o najszerszej szynie danych. Jest to związane z coraz większymi wymogami dotyczącymi żądanych mocy obliczeniowych i wykorzystywaniem mikrokontrolerów w coraz bardziej skomplikowanych układach [Internet, 02/a]. W mikrokontrolerach wykorzystywanych w procesach sterowania coraz częściej pojawiają się także nowoczesne rozwiąza-

nia w postaci procesorów sygnałowych DSP (*ang. Digital Signal Processor*). Są to specjalizowane mikroprocesory realizujące bardzo szybkie wykonywanie operacji przetwarzania (*mnożenia i rotacji*) danych w postaci wektorów. Procesory sygnałowe są najczęściej stosowane do wydajnej obróbki szybkozmiennych sygnałów analogowych.

Ze względu na szerokie możliwości mikrokontrolery wykorzystywane są do coraz bardziej odpowiedzialnych zadań. Stają się częścią wielu urządzeń technologicznych. Pełnią samodzielne i często odpowiedzialne zadania. Występują np. jako regulatory w silnikach napędowych, moduły komunikacyjne w sterownikach PLC itp. Ze względu na ich autonomię, jak też i inne specyficzne własności można traktować je jak mikrokontrolery wbudowane. Wyposażenie w związany mikrokontroler dowolnego urządzenia technologicznego lub nawet tylko jego komponentów jest zabiegiem bardzo efektywnym, podnoszącym funkcjonalność i zwiększającym wachlarz jego zastosowań. Czasami nazywane są one wbudowanymi komputerami sieciowymi (*ang. EmNets*) [Estrin, 01]. Z punktu widzenia systemu informatycznego oraz, ogólnie, konsolidacji informatycznej stosowanie tych urządzeń jest korzystne z powodu posiadania przez nie rozbudowanych interfejsów komunikacyjnych. Pozwalają one, praktycznie bez konieczności wykonywania dodatkowych zabiegów, na pełną integrację z istniejącym systemem informatycznym zakładu. Takie rozwiązanie obniża koszty oraz zwiększa efektywność wykorzystania posiadanych zasobów. Intensywny rozwój i coraz powszechniejsze stosowanie systemów związanych pozwala na wykorzystywanie ich w coraz szerszym, spektrum urządzeń. Takie działanie umożliwia szybką integrację informatyczną wszelkich regulatorów, zadajników, sterowników i innych składników maszyn i obrabiarek [Hung, 04].

#### 4. AKWIZYCJA DANYCH

Opisane wcześniej zagadnienie przetwarzania informacji występują także w obszarze przemysłowych systemów wytwarzania. Nieustanne dążenie do zwiększania wydajności i dokładności pracy obrabiarek oraz urządzeń technologicznych generuje potrzebę szczegółowego i precyzyjnego monitorowania warunków, w jakich realizowany jest proces obróbki oraz stan maszyn. Tylko posiadanie aktualnych danych umożliwia podejmowanie poprawnych decyzji o wymaganej korekcji parametrów procesu technologicznego. Oczywistym jest fakt, że najlepszym sposobem uzyskiwania takich danych (np. naprężenia, temperatura, drgania itp.) jest stosowanie odpowiednich czujników lub elementów pomiarowych nadzorowanych przez systemy mikroprocesorowe (stosowanie zaawansowanych algorytmów przetwarzania). Dla dystrybucji tak gromadzonych danych idealnym wprost rozwiązaniem jest wykorzystanie sieci komputerowej Internet jako najbardziej rozpowszechnionego medium. Jest ona także coraz częściej wykorzystywana w zakładach produkcyjnych i na halach maszyn [Samaranayake, 05]. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem, będącym jednocześnie optymalnym pod względem różnorodnych własności, wydaje się być wykorzystanie do akwizycji danych systemu opartego o mikrokontroler wraz z układem interfejsu sieciowego w standardzie Ethernet.

#### 5. AUTONOMICZNY MODUŁ POMIAROWY - URZĄDZENIE

Opracowano koncepcję autonomicznego modułu pomiarowego możliwego do zastosowania jak interfejs pomiarowy w rozproszonych systemach akwizycji danych. Starano się posługiwać rozwiązaniami i urządzeniami powszechnie dostępnymi na rynku tak aby zmniejszać koszty. Takie podejście wiąże się także z minimalizowaniem problemów technicznych (uru-

chamianie, błędy itp.) ponieważ korzysta się z wielokrotnie wdrażanych i szczegółowo zweryfikowanych przez użytkowników systemów sprzętowych i narzędzi programowych. Dzięki temu oszczędzany jest czas potrzebny na uruchomienie własnej aplikacji i zapewniona jej stabilna i bezawaryjna praca.

Mikroprocesorowym „sercem” modułu pomiarowego jest wykonany w architekturze Harvard przedstawiciel rodziny AVR firmy ATMEL - układ ATmega128. Procesory tego producenta są rozwijane od ponad 10 lat i poza nowoczesną konstrukcją charakteryzują się bardzo dużą

| Procesor | 8088 (XT) | 80286 | 80486 | ATMega 128 | Pentium IV |
|----------|-----------|-------|-------|------------|------------|
| MIPS     | 1         | 1 ÷ 5 | 12    | 16         | ~ 8000     |

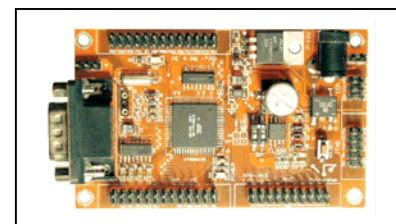
**Tab. 1.** Porównanie wydajności procesorów

mocą obliczeniową. Handlowy slogan określa go jako „16 bitową wydajność przy koszcie struktury 8 bitowej”. Pozwala to na uruchamianie również dość skomplikowanych programów. Szacunkowe porównanie mocy obliczeniowej w stosunku do starszych (nawet 32 bitowych) procesorów firmy Intel znanych z komputerów klasy IBM PC, jest umieszczone w tab. 1 i wypada bardzo korzystnie dla przyjętego procesora. Kryterium porównawcze stanowi ilość milionów operacji (instrukcji) jakie może wykonać ALU (jednostka arytmetyczno logiczna) w ciągu 1 s. Uwagę zwraca bardzo bogate wyposażenie w różnorodne układy peryferyjne takie jak interfejsy, przetworniki czy liczniki pozwalające na traktowanie tego mikroprocesora jak kompletnego systemu mikrokontrolerowego mogącego samodzielnie realizować nie tylko zadania obliczeniowe ale przede wszystkim zadania kontrolne i sterujące. Szczególnie istotne, z punktu widzenia przygotowywanej aplikacji, jest występowanie dużej ilości interfejsów komunikacyjnych umożliwiających dołączanie rozmaitych układów peryferyjnych. Zestawianie rodzajów interfejsów i ich głównych parametrów funkcjonalnych znajduje się w tab. 2.

| Nazwa        | I <sup>2</sup> C | 1 Wire                     | RS232              | SPI               | IrDA               |
|--------------|------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Szybkość     | 100 – 400 kbit/s | 16,3 – 142 kbit/s          | 1,2 - 115,2 kbit/s | 12 Mbit/s         | 1,2 - 115,2 kbit/s |
| Końcówki     | 128 - 1024       | 100                        | 2                  | 4                 | 2                  |
| Liczba linii | 2                | 1                          | 2                  | 4                 | 1                  |
| Rozpiętość   | 400 pF (4 m)     | 5 - 400 m                  | 15 m               | 5                 | 0,5 – 1 m          |
| Topologia    | linia            | Linia, magistrala, gwiazda | linia              | Linia, magistrala | linia              |
| Arbitraż     | x-Master/x-Slave | 1-Master/x-Slave           | 1-Master/1-Slave   | 1-Master/x-Slave  | RC5, RS6, SONY     |

**Tab. 2.** Magistrale szeregowie procesora ATmega 128

Podkreślić należy, iż zgodnie z powszechnie panującą tendencją wbudowane interfejsy pozwalają wyłącznie na stosowanie transmisji szeregowej. Jest ona szybsza, łatwiejsza w implementacji, bardziej odporna na zakłócenia i nie obciąża dużej liczby portów procesora. Wszystkie interfejsy są typu sprzętowego<sup>1</sup>, co również zmniejsza obciążenie procesora zadaniami transmisji danych.



**Rys. 1.** Płytki ATmega128

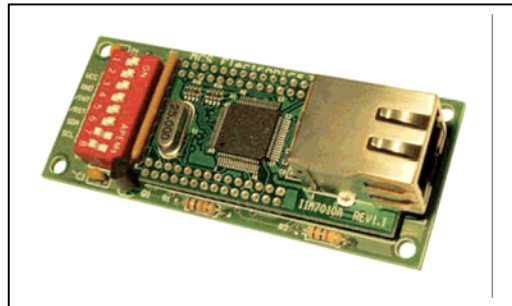
1. Często praktyką producentów jest wykorzystywanie interfejsów programowych, co z jednej strony znacznie zmniejsza koszty produkcji układu, ale zajmuje porty procesora oraz zmusza użytkownika do instalowania dodatkowych układów komplikując strukturę systemu



Wbudowane przetworniki analogowo/cyfrowe pozwalają na precyzyjne przetwarzanie wielkości analogowych – napięciowych. Przy rozdzielczości pomiaru 10 bitów i zakresie pomiarowym +5 V uzyskiwana dokładność jest na poziomie  $\pm 4,8$  mV (przy wykorzystaniu wysokostabilnego źródła odniesienia). Maksymalna częstotliwość przetwarzanego sygnału to 20 kHz (lub 10 kHz zgodnie z postulatem Shannona-Kotelnikowa). W budowanym systemie wykorzystano płytke prototypową polskiego producenta firmy Mikrovega z wybudowanym układem omawianego mikroprocesora ATmega128 (rys. 1). Jest to element małogabarytowy wykorzystujący zminiaturyzowane układy wykonane w technologii montażu SMD i przewlekane. Na płycie, poza procesorem, został umieszczony także układ stabilizatora dostarczającego odpowiednie napięcie zasilające (dowolna polaryzacja, zakres napięć 7-16 V, prąd stały lub zmienny), specjalizowany układ sprzętowego resetu, konwerter napięć interfejsu szeregowego RS-232C i dodatkowa pamięć Flash o pojemności 4 MB. Wszystkie porty procesora są wyprowadzone w postaci złoconych pinów o standardowym rastrze 2,54 mm. Moduł w stanie fabrycznym jest od razu gotowy do wykorzystania.

## 6. AUTONOMICZNY MODUŁ POMIAROWY – UKŁAD KOMUNIKACJI SIECIOWEJ

Zgodnie z przyjętymi założeniami o dążeniu do uzyskania modułowej budowy, jako interfejs sieciowy zastosowano moduł NM7010A-LF firmy Wiznet. Moduł stanowi kompletny system sieci w standardzie Ethernet. Składa się on ze sprzętowego stosu protokołu TCP/IP (W3100A-LF), interfejsu sprzętowego sieci (RTL8201BL) a także odpowiedniego gniazda przyłączeniowego (RJ45)



Rys. 2. Moduł Wiznet 7010A-LF

wraz z transformatorem separującym. Taka konstrukcja pozwala na uniknięcie czasochłonnego oprogramowywania warstw sieciowej i umożliwia bardzo efektywne budowanie aplikacji z wykorzystaniem sieci w standardzie Ethernet. W module zaimplementowane są protokoły warstwy transportowej TCP, IP Ver.4, UDP, ICMP, ARP oraz protokoły warstwy łącza i fizycznej DLC, MAC. Podczas nawiązywania połączenia stosowane są protokoły i metody autonegocjacji umożliwiające dobór odpowiedniej szybkości połączenia i trybu pracy (10 Mbit/s lub 100 Mbit/s, fullduplex/halfduplex). Jednocześnie możliwe jest obsłużenie czterech indywidualnych sesji połączeniowych co jest wynikiem zastosowania niewielkiej pamięci podręcznej (SRAM) o pojemności 16 KB jako bufora danych. Widok modułu jest zamieszczony na rys. 3. Niekorzystną cechą jest wymagane zasilanie modułu Wiznet napięciem stałym o wartości 3,3 V, co powoduje konieczność stosowania dodatkowego stabilizatora – linie sygnałowe akceptują jednak tradycyjne poziomy napięcie TTL. Do połączenia z mikroprocesorem wykorzystywana jest magistrala I<sup>2</sup>C. Obsługiwane są także szyny procesorów Intel i Motorola. Poza standardowymi liniami interfejsu I<sup>2</sup>C służącymi do dwukierunkowego przekazywania danych pomiędzy mikroprocesorem sterującym a modułem sieciowym zastosowano także dodatkową linię do obsługi przerwania sprzętowego mikroprocesora. W ten sposób moduł sieciowy „zawidamia” o pojawieniu się gotowych danych do odebrania lub o gotowości do wysłania, co zdecydowanie przyspiesza obsługę interfejsu sieciowego.

## 7. AUTONOMICZNY MODUŁ POMIAROWY - CZUJNIKI

Jako przykład możliwości obsługi czujników i modułów pomiarowych przez zastosowany mikroprocesor wybrane zostały popularne i łatwo dostępne układy.

**pomiar wilgotności** – Moduł wilgotności typu SY-HS-230 (koreańskiego producenta SY HITECH) przeznaczony jest do pomiaru wilgotności względnej w zakresie  $10 \div 90$  %. Dokładność pomiaru wynosi:  $\pm 5$  % RH a dopuszczalne temperatury pracy od  $0$  °C do  $+60$  °C. Sygnałem wyjściowym jest wartość napięcia  $0,580 \div 2,870$  V zależna od mierzonej wilgotności – może być wprowadzona bezpośrednio na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego. Urządzenia te charakteryzują się bardzo dużą liniowością charakterystyki, dużą czułością i małą histerezą. Najczęściej znajdują zastosowanie w nawilżaczach oraz osuszaczach powietrza, systemach klimatyzacji i wentylacji, oczyszczaczach powietrza, inkubatorach, miernikach wilgotności, szklarniach, samochodach itp. Napięcia zasilania wynosi 5 V DC (pobór prądu 3mA) i jest zgodne z napięciem zasilania mikroprocesora, co upraszcza konstrukcję eliminując stosowanie dodatkowych źródeł zasilania i stabilizatorów. Niewielkie wymiary  $18 \times 25 \times 9$  mm pozwalają na dość swobodne umieszczanie modułu nawet w niewielkich przestrzeniach (obudowy zespołów napędowych maszyn, układy sterowania itp.).

**pomiar ciśnienia** – Moduł pomiaru ciśnienia atmosferycznego typu MPX4115A (firmy Motorola) należy do bardzo dużej rodziny czujników piezorezystywnych z płaszczem silikonowym. Przeznaczony jest do wielu zastosowań z wykorzystaniem pomiaru ciśnienia względnego lub bezwzględnego w zakresie  $15 \div 115$  kPa ( $2.2 \div 16.7$  psi). Posiada wbudowany w swoją strukturę układ formowania sygnału a także pełną kompensację temperaturową w zakresie od  $-40$  °C do  $+125$  °C. Sygnałem wyjściowym jest napięcie  $0,350 \div 4,850$  V zależne od mierzonej wartości ciśnienia – może być wprowadzone bezpośrednio na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego. Osiągana dokładność pomiaru to 1,5 % w zakresie temperatury od  $0$  °C do  $85$  °C. Czujniki tego typu przeznaczone są do zastosowania w aplikacjach wymagających szybkiego i precyzyjnego pomiaru ciśnienia atmosferycznego np. turbosprężarki samochodowe, barografy itp. Niewielki pobór prądu (7 mA) pozwala na prace także w aplikacjach mobilnych.

**pomiar temperatury** – Elektroniczny termometr typu DS18B20 (firmy Dallas/Maxim) oferuje pomiar temperatury w zakresie od  $-55$  °C do  $+125$  °C z dokładnością  $\pm 0,5$  °C (w przedziale  $-$ od  $10$  °C do  $+85$  °C). Pomiar odbywa się z wykorzystaniem programowanej przez użytkownika rozdzielczości przy słowie o wielkości od 9 bitów do 12 bitów. Maksymalny czas przetwarzania temperatury to 750 ms przy rozdzielczości 12 bitów. Uzyskane dane pomiarowe są wystawiane na magistralę 1-Wire® i mogą być odczytywane przez nadzorujący ją mikroprocesor. Każdy termometr posiada unikalny 64-bitowy kod identyfikacyjny (niezmienny umieszczony w pamięci ROM), co pozwala na stworzenie (przy wykorzystaniu magistrali 1-Wire®) sieci punktów pomiarów temperatury. Możliwe jest także zaprogramowanie w wewnętrznej strukturze (nieulotna pamięć NV) punktów alarmowych (dwuprogowy przedział temperatury), po przekroczeniu, których następuje wysłanie stosownego komunikatu. Zasilanie może być dostarczane bezpośrednio z magistrali 1-Wire® lub z innego zewnętrznego źródła. Akceptowalny zakres napięć to od 3,0 V do 5,5 V. Urządzenia te są powszechnie wykorzystywane w aplikacjach związanych z monitorowaniem warunków środowiska, pomiarami stanu urządzeń i instalacji itp.

**pomiar napięcia** – Przy wykorzystaniu wbudowanego w mikroprocesor przetwornika analogowo-cyfrowego przeprowadzany jest pomiar wartości skutecznej napięcia zasilającego sieci

energetycznej 230V. Ze względu na dopuszczalną wartość mierzonego napięcia na wejściu przetwornika ADC – 5 V, mierzone napięcie jest najpierw prostowane w układzie mostkowym Greatz'a a następnie poddawane podziałowi w rezystancyjnym dzielniku napięcia. Odpowiednie przeliczenia są dokonywane w programie sterującym mikroprocesorem. Realna dokładność pomiaru, przy wykorzystaniu dzielnika obniża się więc do wartości  $\pm 0,2$  V.

**wejścia/wyjścia cyfrowe** – Do uzyskiwania informacji o stanie monitorowanego urządzenia wykorzystywane są także wejścia cyfrowe mikroprocesora. Wykonane w standardzie TTL akceptują sygnały nie przekraczające wartości 5 V. Sygnały podawane przez wejścia cyfrowe mają charakter dwustanowy. Ich źródłem mogą być dowolne przełączniki, przyciski itp. a także elementy elektroniczne stanowiące komponenty monitorowanej instalacji. Zwarcie odpowiedniego wejścia do masy układu jest traktowane jako logiczne 0. Maksymalna częstotliwość zmian stanu wejścia wynosi 1,6 MHz. W modelu jako ustawialne wejście zostały zastosowane tradycyjne przełączniki dźwigniowe (bistabilne) w ilości 2 sztuk. Stan ich jest sygnalizowany na płycie prototypowej diodami LED w kolorze czerwonym. Jako ciekawostkę można wymienić, że przy wykorzystaniu dwóch wejść cyfrowych procesora możliwe jest również dołączenie tradycyjnej klawiatury komputerowej – w standardzie AT. Obsługiwane są dwa rodzaje złącz: standard DIN 5 lub PS2 (DIN6).

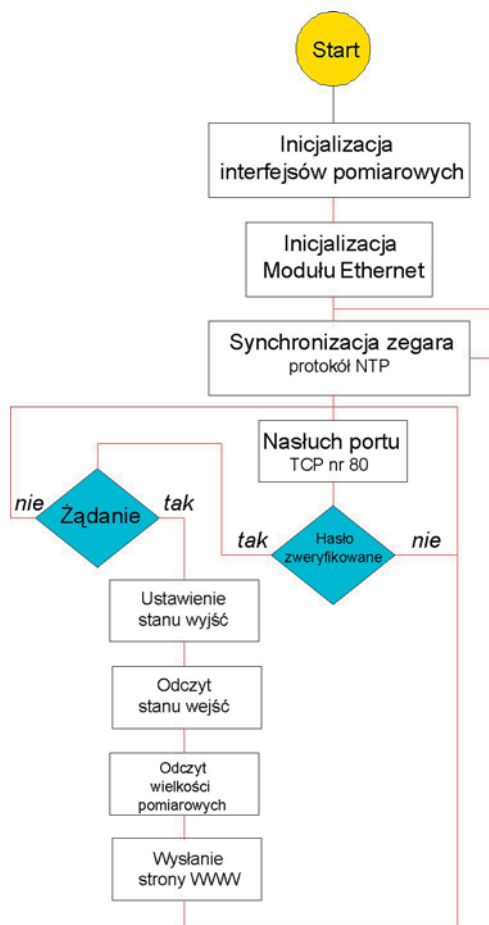
Wykonany model, poza zbieraniem danych umożliwia także odbiór dwustanowych sygnałów sterujących i bezpośrednie lub pośrednie załączanie lub wyłączenie urządzeń technologicznych. Ze względu na niewielkie dopuszczalne obciążenie wyjść mikroprocesora (napięcie 5 V, prąd rzędu kilkunastu miliamperów) konieczny stało się zastosowanie obwodu pośredniczącego odpowiedzialnego za transformowanie sygnału sterującego. Obwód został zbudowany przy wykorzystaniu scalonego modułu ULN2003. W skład układu wchodzi 7 niezależnych bramek pracujących w układzie wzmacniacza prądowego (układ Darlingtona) pozwalających na załączanie napięć do 30 V i prądzie 500 mA. Przy zastosowaniu innych rozwiązań sprzętowych np. przekaźniki, styczniki, triaki itp. umożliwiające jest sterowanie znacznie większymi mocami i napięciami. W modelu sterowanie to jest wykorzystane do zapalania reflektora diodowego (12 V, 50 mA).

Jako urządzenie sygnalizacyjno-informujące zastosowano wyświetlacz LCD. Dołączony jest on bezpośrednio do portu mikrokontrolera przy wykorzystaniu 8 linii. Umożliwia on wyświetlenie czterech linii po 20 znaków alfanumerycznych (maksymalnie kontroler wyświetlacza typu Hitachi umożliwia obsługę matrycy 4x40 znaków). Wbudowany generator znaków pozwala na samodzielne zdefiniowanie 7 dowolnych znaków (raster 5x8 pikseli). Wyświetlacz dysponuje podświetleniem wykonanym przy użyciu diód LED. Możliwe jest niezależne, programowe sterowanie poziomem podświetlenia wyświetlacza przy wykorzystaniu wbudowanego w mikroprocesor generatora PWM. W opracowanym modelu sterowanie podświetleniem jest realizowane na drodze potencjometrycznej (regulowany ręcznie rezystor obrotowy). Mikrokontroler umożliwia także dołączenie i pełną obsługę wyświetlacza graficznego.

## 8. AUTONOMICZNY MODUŁ POMIAROWY - OPROGRAMOWANIE

Spośród wielu oferowanych na rynku kompilatorów pozwalających na generowanie kodu dla procesorów AVR wybrany został całościowy pakiet Bascom firmy MCS Electronic pracujący na standardowym komputerze klasy PC pod kontrolą systemów operacyjnych rodziny MS Windows.. Środowisko programowe, oparte jest na popularnych implementacjach języka programowania Basic i umożliwia łatwe oraz wydajne programowanie. Wbudowane w strukturę

języka gotowe instrukcje i procedury przyspieszają znacznie proces konstruowania oprogramowania zwłaszcza z wykorzystaniem różnorodnych interfejsów komunikacyjnych. W skład pakietu wchodzi także wiele narzędzi programowych np. symulator, program komunikacyjny, konwerter graficzny, analizator, debugger itp. pozwalających na wydajne testowanie poprawności stworzonego kodu. Nie bez znaczenia jest także fakt udostępniania przez producenta wielu interesujących i praktycznych przykładów programów uruchamianych na mikrokontrolerach AVR a także szybkie reagowanie na wprowadzane przez wytwórców procesorów nowości. Procedury obsługi komunikacji sieciowej zostały napisane z wykorzystaniem biblioteki EasyTCP/IP w wersji 1.0. Należy zauważyć i podkreślić problem doboru właściwego kompilatora, który dokonuje tłumaczenia opracowanego algorytmu pomiarowego na język maszynowy bezpośrednio wykonywany przez mikroprocesor. Jest to za zagadnienie bardzo istotne albowiem wpływ jakości generowanego kodu na szybkość realizacji poszczególnych instrukcji jest bardzo duży. Różnica pomiędzy kompilatorami waha się w granicach 30–40 % czego bezpośrednim skutkiem może być skrócenie lub wydłużenie czasu trwania pętli głównej programu sterującego [Mohani, 04]. W opracowanym modelu nie występowały zagadnienia krytyczne czasowo a stosowana wewnętrzna (zaimplementowana w kompilatorze) optymalizacja kodu była całkowicie wystarczająca.



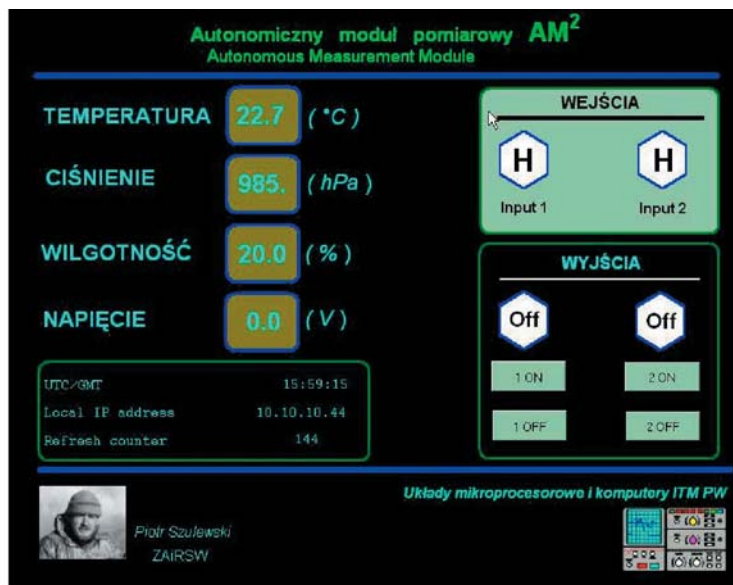
Rys. 3. Schemat algorytmu

operacyjnej w module Wiznet. Najnowsze rozwiązania modułów Ethernetowych oferują znacznie większą ilość jednocześnie obsługiwanych sesji (8÷16). Pierwszą czynnością po

Podstawowym zadaniem napisanego oprogramowania sterującego jest dokonywanie odczytów z dołączonych czujników i zespołów pomiarowych a także udostępnianie wyników. Jak wspomniano wcześniej najbardziej rozpowszechnioną i najbardziej elastyczną instalacją sieciową jest Internet. Właśnie to medium zostało przyjęte jako forma rozpowszechniania wyników pomiarów. Niewątpliwie najbardziej znaną formą publikacji informacji w sieci Internet jest stosowanie technologii WWW, czyli stron internetowych. Popularnym i chętnie wykorzystywanym standardem tworzenia stron WWW jest hipertekstowy język znaczników (ang. HyperText Markup Language - html), który opisuje strukturę informacji zawartych w dokumencie przeznaczonym do publikacji. Zastosowany został on również w opracowanym modelu. Schemat ideowy realizowanego algorytmu znajduje się na rys. 3. Mikrokontroler sterujący pracuje jako serwer danych, stale nasłuchując na porcie TCP 80 żądań obsługi nadchodzących od użytkowników (komputerów zdalnych). W obecnym wykonaniu możliwe jest obsłużenie tylko jednego połączenia sieciowego na raz. Po uzyskaniu potrzebnych danych wymagane jest zakończenie połączenia dla umożliwienia innemu „zainteresowanemu” uzyskania połączenia. Po zmianie oprogramowania sterującego maksymalna liczba jednocześnie realizowanych sesji może wynosić 4 co wynika z wielkości dostępnej pamięci



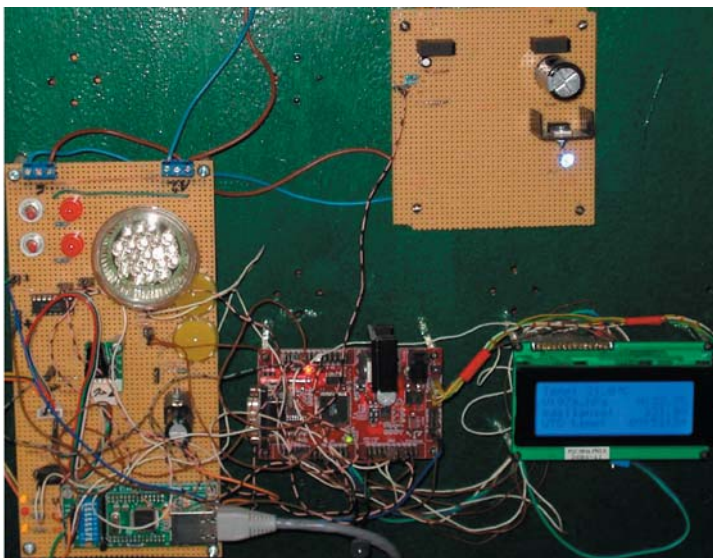
włączeniu zasilania i uruchomieniu modułu sieciowego jest przeprowadzenie synchronizacji wewnętrznego zegara z wzorcowym serwerem czasu. Dopiero po poprawnym zakończeniu procedury ustawiania czasu mikrokontroler jest gotowy do obsługi zadań bieżących. Dla zabezpieczenia poufności komunikacji oraz prezentowanych danych przed dostępem osób nieuprawnionych wymuszono konieczność zalogowania się użytkownika. Wymagane jest podanie nazwy konta i odpowiedniego hasła (konto i hasło są przechowywane w pamięci mikrokontrolera i nie jest możliwa ich zmiana przez użytkownika). Weryfikacja użytkownika jest przeprowadzana jednorazowo tylko na początku sesji. Aplikacja składa się z jednej strony rys. 4, na której są podawane wszystkie mierzone wielkości. Strona zawiera w swoim kodzie automatyczne ponowienie (odświeżenie) swojej zawartości w interwale 10 s. Oznacza to, iż komputer zdalny samoczynnie ponowi żądanie skierowane do serwera o wysłanie uaktualnionej strony.



**Rys. 4.** Ekran aplikacji pomiarowej na komputerze użytkownika

wykorzystywane przy budowie strony są przechowywane na zdalnym komputerze PC i w odpowiedniej chwili automatycznie pobierane przez komputer użytkownika. Rozwiązanie to zmniejsza efektywną szybkość odświeżania strony głównej ale pozwala na znaczne „uplastycznienie” prezentowanych danych. W docelowej aplikacji korzystać można z bardzo uproszczonej formy graficznej lub wręcz ją pominąć. Na wyświetlaczu LCD bezpośrednio dołączonym do mikrokontrolera podawane są informacje dotyczące aktualnego czasu (UTC), ilości dokonanych odświeżeń strony (licznik powtórzeń) a także o aktualnie wykorzystywanym do komunikacji porcie TCP po stronie zdalnego użytkownika. Całkowity program źródłowy składa się z 784 linii, przy czym 223 linie stanowią kod strony internetowej w języku html. Skompilowany i skonsolidowany program ma objętość prawie 30 KB i zajmuje ok. 23 % dostępnej w mikrokontrolerze pamięci flash.

W prawej, dolnej części ekranu umieszczone są dwa przyciski pozwalające na wydawanie poleceń związanych z ustawianiem wartości dwóch wyjść programowalnych. Naciskając odpowiedni przycisk następuje ustawienie stanu odpowiedniego wyjścia. W taki przypadku odpowiedni komunikat jest wysyłany z komputera użytkownika niezwłocznie bez oczekiwania na upływanie czasu odświeżenia. Zmiana stanu wyjścia jest wskazywana właściwym piktogramem. Dla oszczędności miejsca w pamięci podręcznej mikrokontrolera wszystkie obrazy i grafiki



Rys. 5. Wygląd modułu

## 9. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych opracowano koncepcję autonomicznego modułu pomiarowego w oparciu o mikrokontroler wyposażony w zestaw czujników i ethernetowy moduł komunikacyjny (rys. 5). Sprawdzono w warunkach laboratoryjnych poprawność pracy wybranych komponentów sprzętowych i programowych. Napisana aplikacja pracuje stabilnie i może być stosunkowo łatwo rozbudowywana. Podkreślić należy, że uzyskane wyniki mają zdecydowanie charakter rozpoznawczo-przygotowawczy. Na podstawie

poczynionych obserwacji i przemyśleń można sformułować korzystne cechy zaproponowanego rozwiązania:

- możliwość implementowania bardzo złożonych i skomplikowanych algorytmów,
- łatwa i wydajna zmiana lub modyfikacja realizowanego algorytmu,
- umożliwianie bardzo efektywnej diagnostyki i raportowania,
- prosta wymiana danych z systemami nadrzędnymi,
- zwarta struktura.

Prototyp autonomicznego modułu pomiarowego jest dostępny pod adresem: <http://docent.cim.pw.edu.pl> Wymagana nazwa użytkownika oraz hasło to akronim (w języku angielskim) komputerowo zintegrowanego wytwarzania pisany małymi literami.

## LITERATURA:

[Estrin, 01] D. Estrin, G. Borriello, R. Colwell, J. Fiddler, M. Horowitz, W. Kaiser, N. Leveson, B. Liskov, P. Lucas, D. Maher, P. Mankiewich, R. Taylor, and J. W. (eds.). Embedded, Everywhere, A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computers. Computer Science and Telecommunications Board, National Academies Press, 2001.

[http://www.nap.edu/html/embedded\\_everywhere/ch1.html](http://www.nap.edu/html/embedded_everywhere/ch1.html)

[ Hung, 04] Min-Hsiung Hung, Johnny Tsai, Fa-Tien Cheng, Haw-Ching yang, "Development of an Ethernet-based equipment integration framework for factory automation", Elsevier, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 20 (2004), 369-383

[Internet, 02/a] Internetowa składnica wiedzy, „Microperipheral market trends” Serwer: <http://smithsonianchips.si.edu/ice/cd/MICRO97/SEC04.PDF>

- [Marco, 96] Tom deMarco, "Measuring and Managing Performance in Organizations", <http://www.systemsguild.com/GuildSite/DandL/AustinForeword.html>
- [Mielczanek, 93] Mielczarek W., „Szeregowe interfejsy cyfrowe”, Wydawnictwo Helion, Gliwice 1993 r., str. 3
- [Mohani, 04] Sabin Mohani, Frank Mueller, David Whalley, Christopher Healy, "Timing Analysis for Sensor Network Nodes of the Atmega Processor Family" , Dept. of Computer Science, Center for Embedded Systems Research, <http://moss.csc.ncsu.edu/~mueller/ftp/pub/mueller/papers/rtas05mica.pdf>
- [Pełka, 99] Pełka R., "Mikrokontrolery – architektura, programowanie, zastosowania", Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa 1999
- [Samaranayake, 05] Lilantha Samaranayake, Mats Leksell, Thilakasiri Vijayananda, Sanach Alahakoon, „Ethernet ready Sensor Acuator Module for Distributed Control Applications”, EUROCON 2005 Serbia & Montenegro, Belgrade, November 22-24, 2005]
- [Tanenbaum, 97] Tanenbaum Andrew, "Rozproszone systemy operacyjne", Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997 r. ("Distributed operating systems", Prentice-Hall international, Inc., 1995)
- [Thompson, 04] Haydn A. Thompson, "Wireless and Internet communications technologies for monitoring and control", Elsevier, Control engineering practice 12 (2004), 781-791