

Sieci bezprzewodowe w automatyce

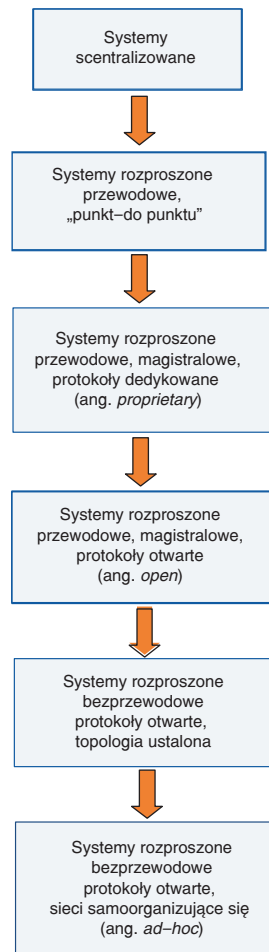
Wojciech Grega*

Na przykładzie popularnej technologii GPRS pokazano, że może ona z powodzeniem zostać wykorzystana do bezprzewodowego sterowania procesami wolnozmiennymi. Warunkiem prawidłowego zaprojektowania rozproszonego systemu pomiarowo-sterującego jest przeprowadzenie analizy wpływu rozproszenia w różnych aspektach (opóźnienia, zagubienie pakietów, odwrócenie kolejności dostarczania pakietów).

Rozwój systemów komputerowych i metod transmisji danych spowodował, iż współczesne układy sterowania rzadko występują jako samodzielne jednostki sterujące. Zazwyczaj są one połączone poprzez sieci teletransmisyjne, wymieniając dane z innymi urządzeniami automatyki i tworząc systemy sterowania rozproszonego. Konfiguracje rozproszone dominują we współczesnych układach automatyki przemysłowej.

Ewolucja metod transmisji danych (rys. 1) rozpoczęła się kilkanaście lat temu, kiedy zauważono, że decentralizacja sprzętu, jak i zadań przetwarzania danych obniża koszty, poprawia wydajność i niezawodność układów sterowania. W krótkim czasie nastąpiło przejście z analogowych sieci 4-20 mA na transmisję cyfrową. Odpowiednią jakością transmisji danych zapewniały specjalizowane magistrale miejscowe (*fieldbus*), wspierane przez dedykowane protokoły. Różniły się one od sieci komputerowych powszechnego użytku wysoką niezawodnością przesyłania danych oraz spełnieniem ograniczeń czasowych, co umożliwiło rozproszone sterowanie w czasie rzeczywistym. Głównym zastosowaniem sieci przemysłowych była i jest integracja systemów sterowania, nadzorowanie i zbieranie danych z wykorzystaniem oprogramowania SCADA.

Ze względów ekonomicznych przemysł dążył do wyeliminowania różnorodności kosztownych standardów przesyłania danych w układach sterowania i zastąpienia jednym lub co najwyżej kilkoma uniwersalnymi protokołami. Naturalnym efektem tej sytuacji są próby przeniesienia na platformę przemysłową niektórych tzw. otwartych standardów komunikacji



Rys. 1. Ewolucja metod transmisji danych w systemach sterowania

od lat stosowanych w sieciach komputerowych ogólnego zastosowania, czyli przejście od indywidualnych protokołów (*proprietary*) do standardowych protokołów otwartych (*open*). Ostatnio, coraz wyraźniej standardem takim stają się przemysłowe wersje sieci Ethernet takie jak Ethernet Powerlink [1] czy też FTE (*Fault Tolerant Ethernet*) [2].

Aplikacje wykorzystujące sprzęt i oprogramowanie sieciowe do sterowania i monitorowania procesów pojawiają coraz liczniej i w coraz bardziej zróżnicowanych zastosowaniach w całym przemyśle, transporcie, a nawet w zastosowaniach domowych.

Sieci bezprzewodowe

W ostatnim okresie okazało się, że wykorzystanie jako głównych sieci tradycyjnych struktur przewodowych o sztywnych połączeniach przestaje wzrastać na rzecz technologii bezprzewodowych (*wireless*). Jednym z impulsów powodujących wzrost zainteresowania tymi rozwiązaniami jest rozwój elastycznych systemów produkcyjnych. Coraz liczniejsze przedsiębiorstwa stosują modułowe linie produkcyjne, które mogą być szybko przekonfigurowane i dostosowane do wytwarzania nowych produktów. To wymaga także stosowania elastycznych, rekonfigurowanych systemów au-

tomatyki.

Sieci bezprzewodowe w stosunku do rozwiązań przewodowych mają istotne zalety, wśród których należy wymienić:

- redukcję kosztów w stosunku do sieci przewodowych tak przy instalacji, jak i podczas utrzymania w ruchu
- elastyczność: możliwość szybkiej rekonfiguracji układu sterowania
- mobilność: możliwość sterowania obiektami ruchomymi
- możliwość samoorganizacji sieci, tworzenie struktur nadmiarowych.

* prof. dr hab. inż. Wojciech Grega – Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Tabela 1. Porównanie wybranych standardów bezprzewodowych

	Bluetooth	WLAN	ZigBee	WiMax
Zasięg	10–100 m	100 m	30–100 m	45 km
Standard	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11a/b/g	IEEE 802.15.4	IEEE 802.16
Organizacja wspierająca	www.bluetooth.org	www.wi-fi.org	www.zigbee.org	www.wimaxforum.org
Zakresy częstotliwości	2,4 GHz	2,4 GHz lub 5 GHz	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	10–66 GHz
Maksymalna szybkość przesyłania danych	1 Mbit/s	5,5/11/54 Mbit/s (w zależności od substandardu)	20/40/250 kbit/s (w zależności od substandardu)	do 268 Mbit/s
Czas dostępu do węzła	3 s	2 s	30 ms	brak danych
Przewidywane główne zastosowania	Zastąpienie okablowania, zdalne pomiary	Ethernet bezprzewodowy, redukcja okablowania	Monitorowanie i sterowanie, sieci <i>ad hoc</i> , konfiguracje nadmiarowe, inteligentne budynki, macierze czujników	Sieci szkieletowe dla automatyki

Istnieją też wady tego rozwiązania:

- czas dostępu do węzła pomiarowego (sterującego) jest zazwyczaj dłuższy w porównaniu z analogicznym protokołem przewodowym
- większe jest prawdopodobieństwo utraty danych, spowodowane przerwami w transmisji.

Wady te można jednak w znacznym stopniu kompensować poprzez dobór odpornych algorytmów sterowania.

Podobnie jak w przypadku przejścia od protokołów dedykowanych do otwartych dla sieci przewodowych, także w przypadku sieci bezprzewodowych obserwujemy wykorzystanie rozwiązań stosowanych w sieciach komputerowych ogólnego zastosowania.

W tabeli 1 podano niektóre parametry wybranych standardów sieci bezprzewodowych używanych w automatyce przemysłowej.

W literaturze [3] podano przykład sieci przemysłowej o 200 węzłach, której koszt oszacowano dla realizacji w technologii przewodowej i kilku reprezentatywnych technologii bezprzewodowych (tab. 2). Warto zwrócić uwagę, że koszt elementów pojedynczego węzła (moduł radiowy, mikrokontroler) w każdym przypadku nie przekracza 20 USD i należy się spodziewać, że będzie się obniżał.

Tabela 2. Koszt sieci w zależności od jej typu

Typ sieci	Koszt (USD)
przewodowa	70 000
Bluetooth	34 000
WLAN	17 500
ZigBee	12 000

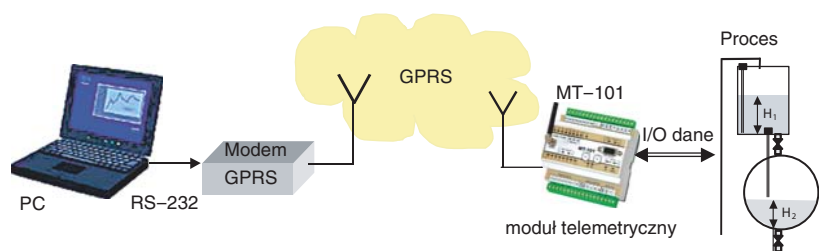
Pomiary i sterowanie w technologii GPRS

Technologia GPRS jest uważana za rozszerzenie zastosowań popularnej sieci GSM. Oferuje ona pakietową transmisję danych i dostęp do innych, zewnętrznych sieci (np. do Internetu).

GPRS ma szereg cech istotnych z punktu widzenia zastosowań w monitorowaniu i sterowaniu rozproszonym:

- raz nawiązane połączenie jest trwałe i nie wymaga wielokrotnego wywoływania
- dane są szyfrowane
- szybkość transmisji jest wystarczająca dla większości zastosowań w automatyce (do 171,2 kbit/s)
- zasięg jest globalny, a sama sieć już istnieje, nie wymagając inwestycji w infrastrukturę
- technologia oferuje dostęp do Internetu i innych usług WWW.

A zatem technologia GPRS może być rozważana jako alternatywa połączeń kablowych dalekiego zasięgu lub zgoła w sytuacjach, gdy połączenia kablowe nie są możliwe.

**Rys. 2.** Konfiguracja sprzętowa rozproszonego układu regulacji

Jeśli będziemy świadomi pewnych negatywnych cech tej technologii, takich jak:

- losowe opóźnienia transmisji
- określony koszt transmisji danych, narzucany przez operatora telefonii komórkowej,

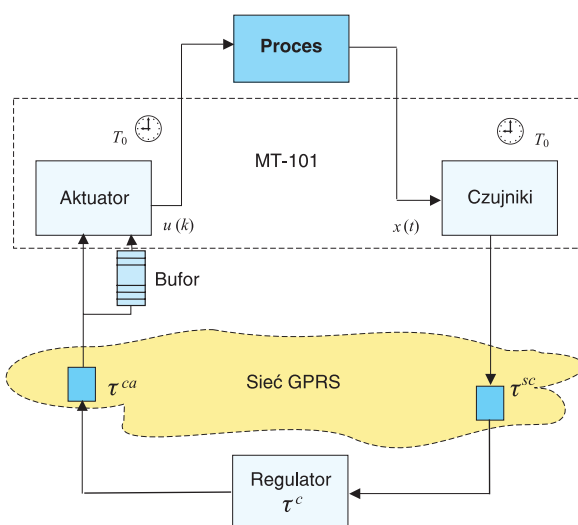
to możemy podjąć próby realizacji układów sterowania i monitorowania wykorzystujących technologię GPRS.

Ogólny schemat takiego układu jest przedstawiony na rys. 2. Węzeł sterujący wykorzystuje moduł telemetryczny MT-101 [5]. Moduł ten dysponuje binarnymi i analogowymi wejściami i wyjściami. Proste, lokalne funkcje sterujące mogą być programowane przez użytkownika z wykorzystaniem wewnętrznego języka. Moduł może pracować w trybie transmisji SMS lub GPRS. W tym ostatnim przypadku emulowany jest protokół MODBUS RTU (*master-slave*). Komputer PC i zainstalowane na nim oprogramowanie zapewniają połączenie z siecią GPRS poprzez typowy modem GPRS. Wymiana pakietów odbywa się z użyciem zdefiniowanego wcześniej APN.

Model układu sterowania o strukturze rozproszonej jest przedstawiony na rys. 3 [6]. W modelu tym uwzględniono opóźnienia w transmisji sygnału pomiędzy czujnikiem a regulatorem τ^{sc} , czas obliczeń sterowania τ^c , a także opóźnienia w transmisji sygnału od regulatora do urządzenia wykonawczego τ^{ca} . Opóźnienia te wynikają zarówno z ograniczonej szybkości przesyłania danych, konieczności retransmisji w przypadku zagubienia pakietu, jak i „współzawodnictwa” różnych węzłów sieci w dostępie do kanału komunikacyjnego.

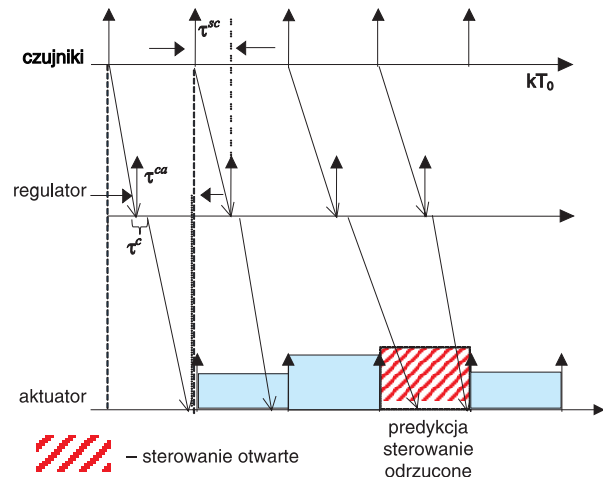
Zadania zdalnego regulatora w rozproszonym układzie sterowania to:

- odczytanie pomiarów dostarczonych poprzez sieć
- wyliczenie sygnału sterującego
- wysłanie sygnału sterującego przez sieć do urządzenia wykonawczego (aktuatora).



Rys. 3. Schemat układu sterowania

Operacje te mogą być aktywowane zegarami, synchronizowanymi zegarami lub zdarzeniami. Dla rozważanego modelu z rys. 3 przyjęto, że zadania czujnika i aktuatora są aktywowane zegarami o synchronizowanych częstotliwościach. Działanie regulatora jest aktywowane zdarzeniem, którym w tym przypadku jest odebranie przesłanego przez sieć pakietu zawierającego nowe odczyty z czujników.



Rys. 4. Diagram czasowy dla rozproszonego układu sterowania

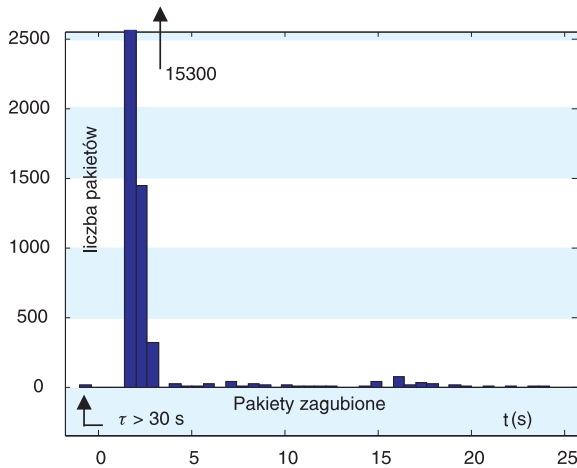
Rys. 4 przedstawia diagram czasowy przepływu danych. Warto zwrócić uwagę, że przyjęty sposób synchronizacji zakłada opóźnienie o długości jednego kroku. Rysunek ten ilustruje także nietypową sytuację, jaka może zaistnieć w modelu układu sterowania rozproszonego z rys. 3. Gdy $\tau^{sc} + \tau^c + \tau^{ca} > T_0$, wtedy dane z regulatora przesyłane przez sieć nie docierają przed kolejnym cyklem działania aktuatora. Aktuator wykorzystuje więc dane z poprzednich cykli sterowania do predykcji kolejnej wartości sygnału posyłanego do obiektu i sterowanie odbywa się w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego.

Jest rzeczą oczywistą, że zarówno opóźnienia, jak i utrata danych pogarszają jakość sterowania, a w skrajnych przypadkach mogą destabilizować rozproszony układ sterowania [7].

Charakterystyka sieci

Rys. 5 przedstawia wyniki eksperymentu polegającego na przesłaniu przez sieć GPRS 15 000 pakietów [8]. Każdy pakiet był opatrzony znacznikiem czasowym. Pakiety po odebraniu przez moduł MT-101 były natychmiast odsyłane do sterownika. Mierzona w regulatorze różnica czasu pomiędzy znacznikiem czasowym a aktualnym czasem zegara pozwalała obliczyć opóźnienia.

Jak widać na rys. 5, większość opóźnień mieści się w przedziale 2-3 s, ale sporadycznie pojawiają się opóźnienia dłuższe, które mogą destabilizować system sterowania.



Rys. 5. Charakterystyka opóźnień w sieci GPRS [9]. Pakiety opóźnione o więcej niż 30 s były traktowane jako zagubione

Eksperymentalny układ sterowania

Rozproszony układ sterowania laboratoryjnym układem zbiorników (Katedra Automatyki AGH) przedstawia rys. 6 [8].

Elementem wykonawczym jest pompa tłocząca wodę do górnego zbiornika, a poziomy cieczy są mierzone za pomocą czujników ciśnienia. Wypływ cieczy jest swobodny, a celem sterowania jest doprowadzenie poziomów do zadanego stanu ustalonego (H_1^u, H_2^u) i stabilizacja na tym poziomie.

Gdy okres próbkowania jest oznaczony jako T_0 , wtedy układ sterowania z rys. 3 w normalnych stanach pracy ($\tau^{sc} + \tau^c + \tau^{sc} \leq T_0$) charakteryzuje się opóźnieniem jednokrokovym ($\tau = T_0$) i jako taki może być modelowany jako liniowy układ dyskretny o postaci [6]:

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ z_1(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_0 & \Gamma_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ z_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \bar{u}(k)$$

gdzie:

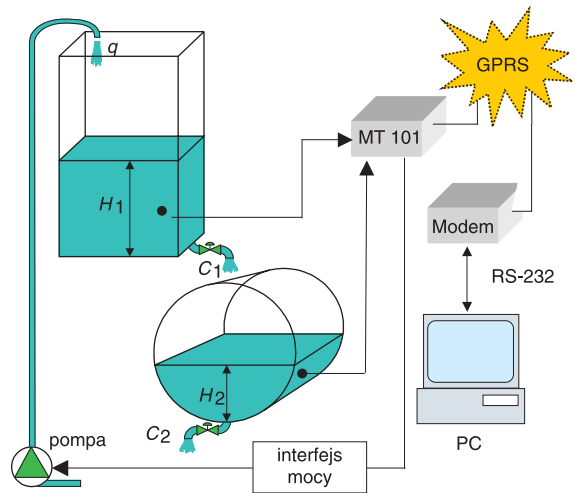
$$\Phi_0 = e^{AT_0}, \Gamma_1 = \int_0^{T_0} e^{As} B ds, x = [h_1 \quad h_2]^T, z_1[k] = u[k-1],$$

$H_1 = H_1^u + h_1, H_2 = H_2^u + h_2, A$ - jest macierzą stanu dla modelu ciągłego układu zbiorników [6].

Zastosowane sterowanie było liniowym sprzężeniem od stanu w normalnych stanach pracy lub predykcją sterowania (praca w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego), jeśli pakiet z sygnałem sterującym nie został dostarczony w okresie T_0 :

$$\bar{u}(k) = \begin{cases} -[K_x \quad K_z] \begin{bmatrix} x(k) \\ z_1(k) \end{bmatrix} & \text{dla } \tau^{sc} + \tau^c + \tau^{sc} \leq T_0 \\ u_{pred} & \text{dla } \tau^{sc} + \tau^c + \tau^{sc} > T_0 \end{cases}$$

Predykcja sterowania była wykonywana na podstawie poprzednich sterowań pobranych z bufora umieszczonego w pamięci modułu MT-101 (rys. 3).



Rys. 6. Sterowanie układem zbiorników

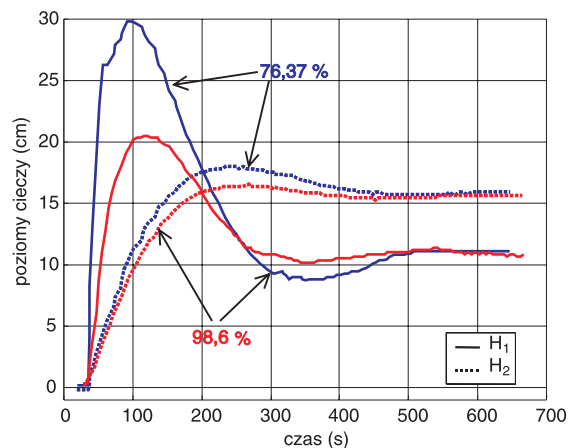
Eksperymenty

Przykładowe wyniki eksperymentu przedstawia rys. 7. Zadanie sterowania polegało na doprowadzeniu poziomu cieczy w dolnym zbiorniku do 16 cm. Zastosowano regulator liniowy od stanu, realizowany poprzez LQ - optymalne sprzężenie zwrotne o postaci

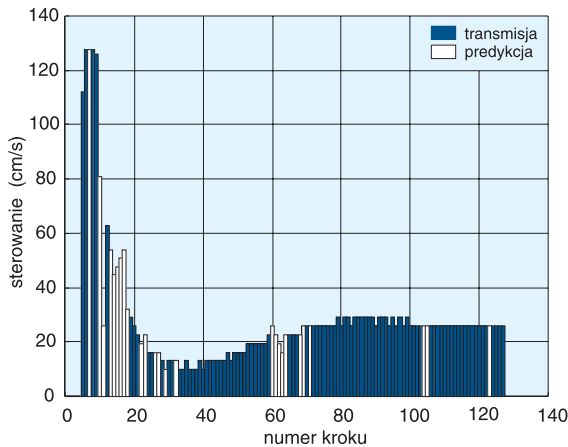
$$K = \begin{bmatrix} 1,2344 & 3,9403 & 0,2017 \end{bmatrix}$$

Okres próbkowania/sterowania wynosił 5 s. Jak widać na rys. 7 zadanie sterowania zostało zrealizowane, a jakość sterowania była zadowalająca, nawet przy prawie 25-procentowym czasie pracy w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego.

Rys. 8 przedstawia wartość sygnału sterującego podawanego na pompę w poszczególnych krokach sterowania. Jasnym kolorem są zaznaczone te sterowania, które z powodu opóźnień przekraczających 5 s były generowane (predykcja) na podstawie sterowań poprzednich zawartych w buforze.



Rys. 7. Stabilizacja poziomu cieczy dla 98,6 % i 76,3 % sprawności dostarczania pakietów



Rys. 8. Sterowanie generowane przez moduł MT-101: 76,37 % pakietów dostarczonych z regulatora zdalnego: predykcja: 23,63 % [9]

Podsumowanie

Sterowanie z wykorzystaniem technologii bezprzewodowych jest kolejnym etapem rozwoju rozproszonych układów sterowania. Niewątpliwe zalety takich rozwiązań przeważają nad niekorzystnymi zjawiskami – jakich niekiedy doświadczamy, stosując układy rozproszone – takimi jak opóźnienia transmisji danych lub utrata danych. Wystąpienie tych zjawisk, ich charakter i intensywność zależą od protokołu transmisji w używanej sieci, a także od warunków środowiska, w którym transmisja się odbywa.

Na przykładzie popularnej technologii GPRS pokazano, że może ona z powodzeniem zostać wykorzystana do bezprzewodowego sterowania procesami wolnozmiennymi. Warunkiem jest przeprowadzenie analizy wpływu rozproszenia w różnych aspektach (opóźnienia, zagubienie pakietów, odwrócenie kolejności dostarczania pakietów), próbując uzyskać odpowiedź na pytanie: ile tego typu zakłóceń system sterowania może znieść i czy w pewnym stopniu nie można algorytmu sterowania uodpornić na te niekorzystne efekty.

Analiza taka jest niezbędna dla prawidłowego zaprojektowania rozproszonego systemu pomiarowo-sterującego, ponieważ sposób działania sieci i jej parametry mają bezpośredni wpływ na jakość sterowania rozproszonego realizowanego przez taką sieć, w tym na stabilność rozproszonego układu sterowania.

Warto podkreślić, że stały koszt dostępu do kanału transmisji danych GPRS o praktycznie nieograniczonym zasięgu nie jest wysoki – dla karty SIM ze statycznym adresem IP nie przekracza kilkudziesięciu złotych na miesiąc, przy limicie umożliwiającym transmisję danych co 20 sekund [5].

Bibliografia

1. www.ethernet-powerlink.org
2. <http://hpsweb.honeywell.com>

3. M. Mathiens, G. Thonet, N. Aakvaag, *Wireless Ad-Hoc Networks for Industrial Automation: Current Trends and Future Prospects*, Proc. of 16th IFAC World Congress, Paper no. 04112, Prague 2005.
4. J. Montague, *Sieci stopniowo stają się wszechobecne*, Control Engineering, v. 18, czerwiec 2005, s. 24–33.
5. www.abmicro.pl
6. W. Grega, *Sterowanie cyfrowe w systemach skupionych i rozproszonych*, Seria: Monografie Komitetu Automatyki i Robotyki PAN, vol. 7, Wydawnictwa AGH, Kraków 2004.
7. W. Zhang, M. Branicky, S. Philips, *Stability of Networked Control Systems*, IEEE Control System Magazine, vol. 21, 2001, pp. 84-99.
8. W. Grega, M. Rosół, *Distributed Control Using GPRS Wireless Network*, Proc. of the 11th IEEE International Conference on MMAR, 29 August-1 September, Międzyzdroje, Poland, 2005, pp. 1025–1030.
9. A. Simicz, *Technologia GPRS w monitorowaniu procesów*, Praca magisterska (W. Grega opiekun), AGH, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Kraków 2005. ■

REKLAMA ▼

WSPIERAMY TWÓJ SUKCES

**AUTOMATYKA
POMIARY
STEROWANIE Sp. z o.o.**

projektowanie:

- systemy zasilania
- układy pomiarowe, regulacyjne, AKPIA
- systemy sterowania, nadzoru i wizualizacji
- instalacje elektryczne
- układy sterowań i zabezpieczeń elektr.
- pomiary wielkości elektrycznych i nieelektr.
- automatyka inteligentnych domów

wdrażanie:

- kompletacja urządzeń
- dostawa
- montaż i uruchomienie
- serwis techniczny
- naprawa, kontrola, kalibracja
- eksploatacja
- szkolenia i doradztwo techniczne

produkcja prefabrykatów:

- szafy, pulpity, stojaki, tablice AKPIA
- rozdzielnice elektryczne

Projektowanie i usługi w zakresie układów elektrycznych, sterowań, pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, automatyki zabezpieczeń elektrycznych i technologicznych, automatyzacji procesów technologicznych

APS Sp. z o.o. Białystok 15-257, ul. Mickiewicza 95F,
tel. +48 (85) 748 34 00, fax +48 (85) 748 34 19
www.aps.pl