

Sieci w przemyśle

Nowoczesny przemysł nie jest w stanie istnieć bez komunikacji sieciowej. Dominuje ta przewodowa, ale również interfejsy bezprzewodowe bywają niekiedy niezastąpione. Niezależnie, czy algorytmy sterowania wykonywane są w sposób scentralizowany, czy rozproszony, konieczny jest dostęp do danych procesowych, zbieranych przez dziesiątki, jeśli nie setki lub tysiące różnego rodzaju czujników. Sieci przemysłowe spajają automatykę w jeden, niemal żywy organizm.

Ewolucja sieci przemysłowych to ciekawa historia wzlotów i upadków, pełna przykładów łączenia standardów i pączkowania nowych. Rynek automatyki ma bowiem pewne specyficzne cechy, które sprawiają, że z jednej strony trafiają nań produkty implementujące najnowocześniejsze rozwiązania technologiczne (np. z zakresu bezpieczeństwa), a z drugiej – technologie stare z punktu widzenia rynku konsumenckiego (np. w zakresie mocy obliczeniowych komputerów przemysłowych). W przypadku sieci przemysłowych obserwujemy podobne zjawisko, w efekcie którego zwiększoną pewność i niezawodność transmisji uzyskuje się kosztem jej wydajności.

Standardy

Bardzo ważnym aspektem, decydującym o zastosowaniu różnych urządzeń w automatyce

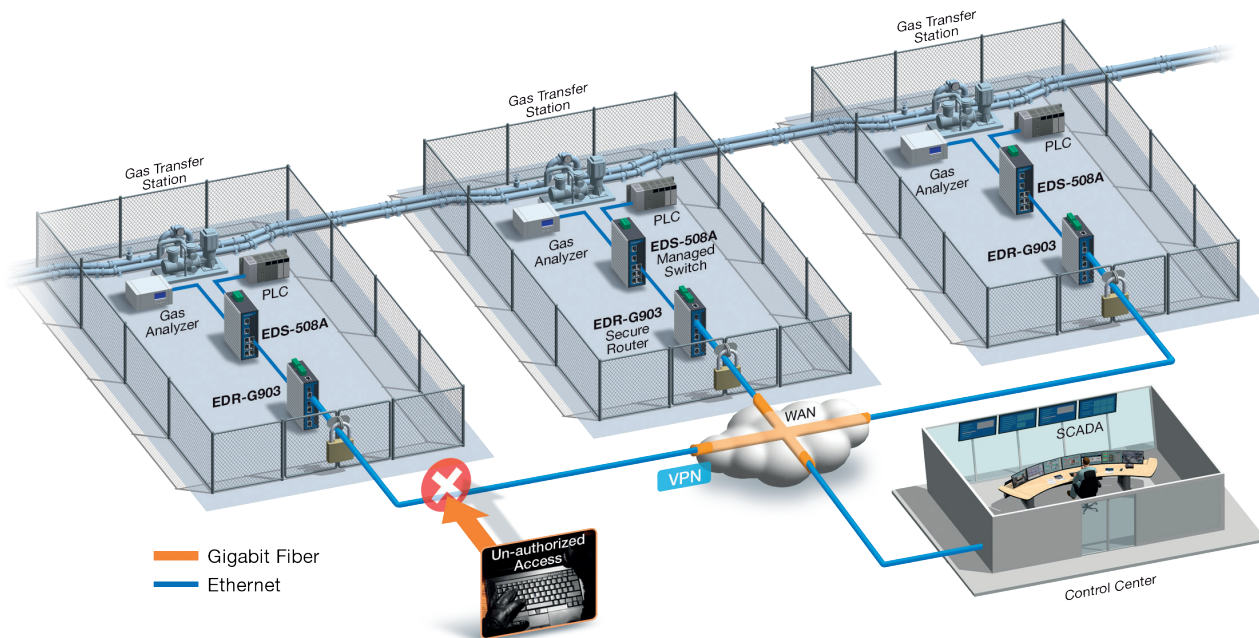
przemysłowej jest spełnianie określonych standardów. W przypadku sieci przemysłowych dawniej na rynku istniało bardzo wiele różnych technologii, promowanych przez poszczególnych producentów. Wzajemna komunikacja pomiędzy nimi nie była łatwa do uzyskania i wymagała zastosowania zaawansowanych bramek i mostów, które mogłyby dokonywać odpowiedniej translacji adresów i przeformatowywania ramek pakietów. Tak zbudowana infrastruktura była niezbyt łatwa do utrzymania i zdecydowanie trudniejsza w rozbudowie.

W czasie, gdy w przemyśle dominowały zamknięte standardy własnościowe, na rynku konsumenckim powoli rozwijał się Ethernet. Najpierw pod postacią grubych kabli koncentrycznych, a później nieco cieńszych, ale też wymagających stosowania terminatorów

i niezbyt wygodnej topologii magistrali – zbiegów bardziej kojarzących się z przemysłem niż z biurami. W końcu, gdy koncentryk zastąpiła 8-żyłowa skrętka, a terminatory i magistrala ustąpiły hubom i topologii gwiazdy, sieci konsumenckie wyszły poza jednostki naukowe i wkroczyły do zwykłych domów. W tym czasie w przemyśle wciąż dominowały grube lub powolne, a do tego kosztowne magistrale, jak np. GPIB lub CAN. Gdy na rynku konsumenckim huby ethernetowe zostały zastąpione przez switchy, a klasyczny Ethernet technologią Fast Ethernet, w przemyśle zaczęto bardziej przyglądać się tej sieci i rozważać możliwości zaimplementowania jej także w środowisku przemysłowym. W końcu, gdy dosyć powszechnym standardem komunikacji na rynku konsumenckim stał się gigabitowy Ethernet, a switchy coraz częściej są nabywane jako integralne części routerów Wi-Fi, Ethernet podbił automatykę przemysłową i stał się podstawowym standardem stosowanym w nowych sieciach. Tyle, że w przemyśle Ethernet nie zawsze oznacza to samo.

Przemysłowy Ethernet niejedno ma imię

Protokoły komunikacyjne klasycznego Ethernetu nie są przystosowane do rygorów, które



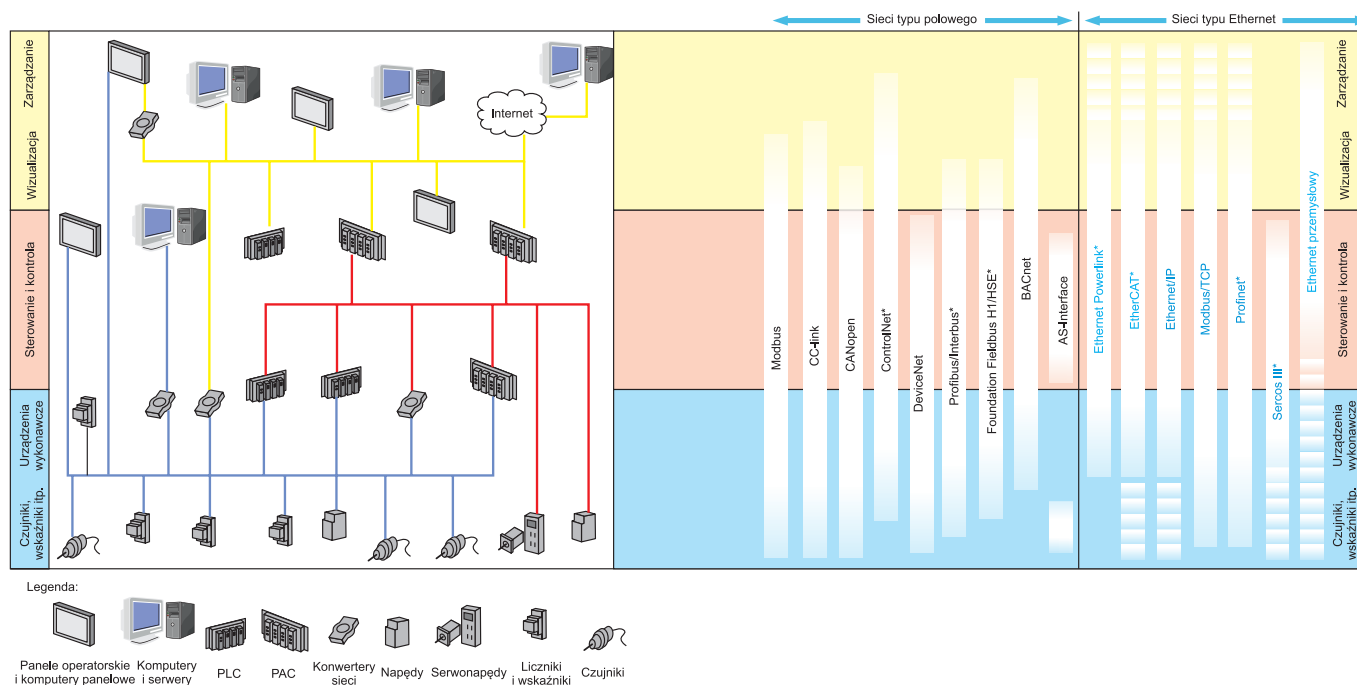
Rysunek 1.

stawia obsługa urządzeń przemysłowych. Komunikacja z użyciem protokołu IP w warstwie sieciowej modelu OSI i protokołów TCP oraz UDP w warstwie transportowej są zoptymalizowane pod kątem przesyłu dużych ilości informacji przez wiele niezależnych urządzeń jednocześnie. Niezawodność wymiany danych i dostępu do sieci osiągane są poprzez powtarzanie prób transmisji, aż do momentu, gdy ta się powiedzie. Czas potrzebny na dotarcie informacji od urządzenia nadającego do odbiorcy jest również trudny do określenia, bo droga, którą będą pokonywać pakiety danych nie zawsze jest z góry znana, a opóźnienia związane z dostępem do łącza mogą pojawiać się w każdym urządzeniu po-

średniczącym w przesyłaniu pakietu, w konsekwencji sumując się do wartości trudnej do przewidzenia. Dzieje się tak, gdyż poszczególne urządzenia sieciowe, takie jak np.: switche, routery i bramki oraz końcówki sieciowe, pomimo różnych funkcji, są w gruncie rzeczy równorzędne pod względem praw dostępu do łącza w warstwie fizycznej. Klasyczny Ethernet pozwala na szybką transmisję dużych ilości danych, ale czas potrzebny na przesłanie pojedynczego, małego pakietu może okazać się zbyt długi, w odniesieniu do rygorów panujących w przemyśle.

Zalety Ethernetu sprawiły jednak, że wielu niezależnych producentów rozpoczęło prace nad modyfikacją tego standardu

i obowiązujących w nim protokołów, tak by umożliwić nie tylko niezawodną komunikację spełniającą potrzeby transmisji danych pomiędzy komputerami biurkowymi i serwerami, ale też pomiędzy urządzeniami przemysłowymi. Podstawą tych starań było umożliwienie błyskawicznej wymiany pakietów z poleceniami, które należy bezwzględnie szybko wykonać. Przyjęte rozwiązania różnią się między sobą, ale wszystkie one zostały zaprojektowane tak, by można było bez problemu połączyć ze sobą w ramach tej samej sieci, serwery komputerowe obsługujące klasyczny Ethernet i maszyny wymagające pracy z rygorami czasu rzeczywistego.



Rysunek 2.

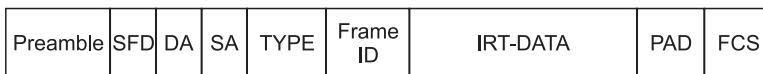
Ethernet II frame



PROFINET RT frame

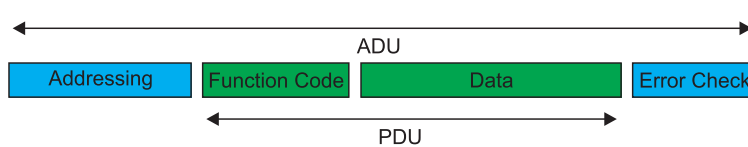


PROFINET IRT frame

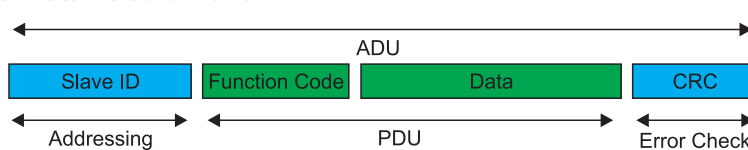


Rysunek 3.

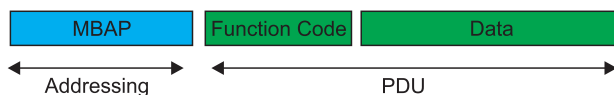
General MODBUS Frame



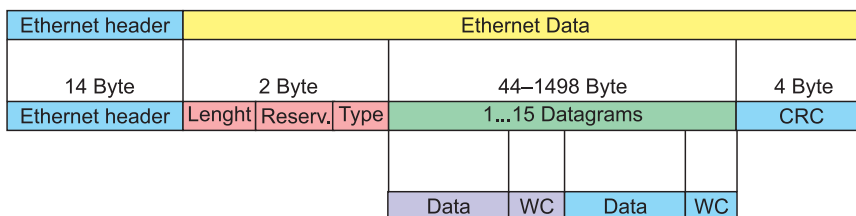
MODBUS/RTU Serial Frame



MODBUS/TCP Frame



Rysunek 4.



Rysunek 5.

Przemysłowy Ethernet/IP

Jednym z przykładów Ethernetu przemysłowego jest opracowany przez Rockwell Automation standard Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol). Zastosowano w nim protokół CIP (Common Industrial Protocol), znany z sieci DeviceNet, CompoNet i ControlNet oraz dwa tryby transmisji danych. Zwykle pakiety i dane konfiguracyjne przesyłane są za pomocą protokołu TCP, w trybie „Explicit Messages”. Tymczasem dane krytyczne czasowo („Implicit Messages”) nadawane są z użyciem protokołu UDP, a ich szybką transmisję zapewnia obsługa priorytetyzacji ruchu sieciowego. Synchronizacja czasowa w sieciach Ethernet/IP realizowana jest za pomocą rozbudowanego protokołu PTP, pod postacią standardu CIPSync.

Profinet

Dużą popularnością cieszy się standard Profinet, opracowany przez Profibus i Profi-

net International. Profinet łączy cechy sieci Profibus DP z uniwersalnością Ethernetu, utrzymując wysoki stopień kompatybilności zarówno z klasycznymi urządzeniami ethernetowymi, jak i z dawniej stosowanymi urządzeniami automatyki przemysłowej. Wprowadzono w nim również mechanizmy zwiększające niezawodność komunikacji i możliwość wykonywania niektórych operacji w czasie rzeczywistym. Czas transmisji został podzielony na cyklicznie i występujące po sobie naprzemiennie okresy przeznaczone dla komunikacji zgodnej z zasadami klasycznego Ethernetu – tj. z użyciem protokołów TCP/IP oraz na okresy przeznaczone dla komunikatów czasu rzeczywistego.

Komunikacja z protokołem TCP/IP świetnie sprawdza się do przesyłu danych pomiędzy serwerami, panelami operatorskimi i sterownikami oraz aplikacjami uruchamianymi na komputerach PC podłączo-

nych do infrastruktury fabrycznej. Pozwala na dostęp do serwerów z użyciem np. popularnych protokołów, takich jak.: HTTP, FTP, SSH i SMTP. Opóźnienia występujące w tym trybie transmisji wynoszą około 100 ms, a kolejność docierania pakietów do odbiorcy nie zawsze musi być identyczna z kolejnością ich nadawania. Pakiety czasu rzeczywistego są przesyłane w specjalnie wyznaczonych oknach czasowych, co gwarantuje zmniejszenie opóźnień nawet do 1 ms w przypadku trybu izochronicznego (IRT) i do 10 s dla trybu synchronicznego czasu rzeczywistego (RS/SRT). Wszystkie urządzenia korzystające z transmisji IRT muszą być zsynchronizowane ze sobą z dokładnością do 1 μs, dzięki czemu są w stanie rozpoznać moment, w którym rozpoczyna się okno transmisji tego trybu.

Modbus TCP

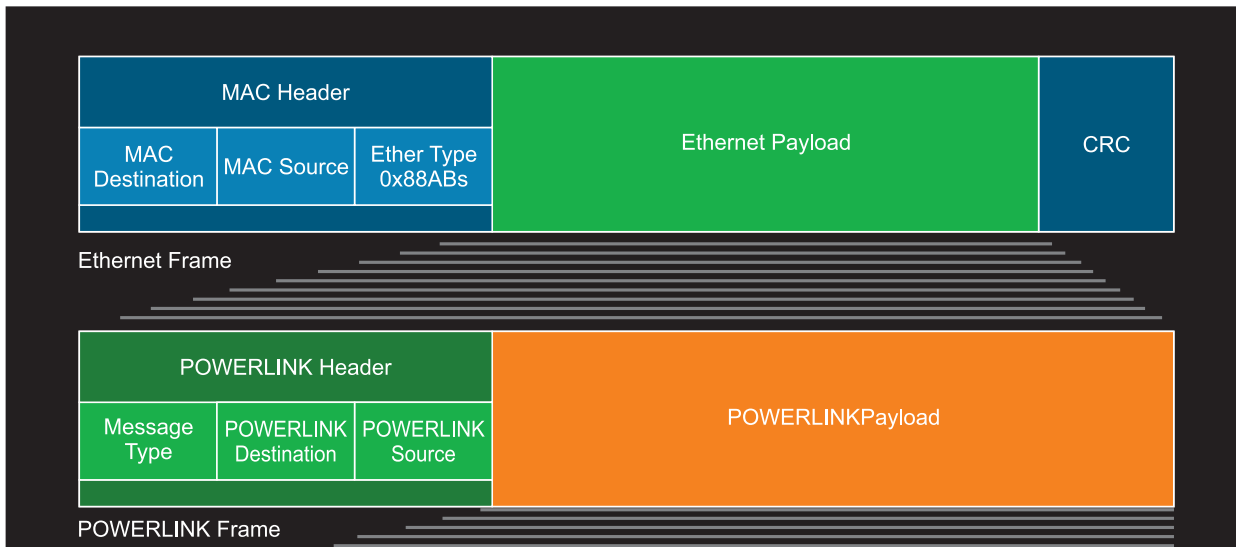
Standard Modbus TCP został opracowany na podstawie sieci Modbus RTU, której pakiety – w ramach zachowania kompatybilności wstecznej, są transmitowane po uprzednim opakowaniu nagłówkami typowymi dla protokołu komunikacyjnego TCP/IP i przesyłane siecią ethernetową zamiast łączami szeregowymi. Zrezygnowano jednak z adresowania stosowanego w oryginalnej wersji standardu i zastąpiono je adresami IP. Pakiety pozbawiono też stosowanej dotąd sumy kontrolnej, ale całość wzbogacono o rozszerzony nagłówek „MBA” (Modbus Application Protocol Header), w którym zawarto pola: identyfikatora transakcji, identyfikatora protokołu, rozmiaru wiadomości i identyfikatora urządzenia.

Transmisja w sieci Modbus TCP wymaga rozróżnienia urządzeń nadrzędnych i podrzędnych, a komunikacja prowadzona jest za pomocą pakietów TCP/IP, więc pole identyfikatora transmisji służy do rozpoznania, do którego zapytania urządzenia nadrzędnego pasuje dana odpowiedź. Pole rozmiaru wiadomości służy obsłudze podziału transmitowanych danych na pakiety TCP/IP, a pole identyfikatora urządzenia pozwala łatwo adresować końcówki sieci obsługujące jedynie klasyczną wersję Modbusa, poprzez zastosowanie odpowiednich bramek.

Ponieważ twórcom Modbus/TCP zależało na zaletach związanych z kontrolą połączenia nawiązywanego przy użyciu protokołu TCP, zrezygnowali oni z oparcia swojej sieci na popularniejszym w przemyśle, bezpotwierdzeniowym UDP. Umożliwia to znacznie bardziej zaawansowane nadzorowanie transmisji i w gruncie rzeczy zwiększa jej niezawodność oraz pozwala na wygodne stosowanie takich mechanizmów, jak złożone zapory sieciowe.

EtherCAT

Kolejnym standardem Ethernetu przemysłowego jest EtherCAT (Ethernet for Con-



Rysunek 6.

trol Automation Technology), wprowadzony i rozwijany przez organizację EtherCAT Technology Group. Różni się od innych standardów przemysłowych tym, że zamiast dzielić czas transmisji na dane priorytetowe i mniej ważne lub nadawać priorytety wszystkim pakietom, uwzględniono fakt, że większość danych i rozkazów transmitowanych przez urządzenia przemysłowe wymagające krótkich czasów reakcji jest bardzo mała. W praktyce rozmiar porcji informacji wymienianych jednorazowo przez pojedyncze przyrządy podłączone do sieci jest nawet mniejszy niż minimalny rozmiar ramki stosowanej w klasycznym Ethernetie. Ramkę ethernetową potraktowano jak pewnego rodzaju pamięć RAM, do której zapisywane i z której odczytywane są dowolne informacje w oparciu o adresy lokalizujące pożądane dane w tej pamięci. Kolejne ramki nadawane są przez urządzenie pełniące rolę kontrolera i przesyłane do najbliższego urządzenia podrzędnego. Ma ono przydzielony adres, który jednoznacznie identyfikuje pewien fragment ramki (zwany datagramem), dzięki czemu może odczytać przeznaczone dla siebie dane. W przypadku, gdy urządzenie to samo chce zainicjować komunikację, zapisuje pod odpowiednim adresem w odebranej ramce informacje przeznaczone dla innego urządzenia podłączonego do sieci EtherCAT. Niezależnie od tego, czy coś zapisało, czy też tylko odczytywało fragment ramki, przesyła ją dalej do kolejnego z elementu sieciowego. Duża szybkość tej metody transmisji wynika m.in. z tego, że nie ma potrzeby dekodowania całej ramki danych ani enkapsulacji w protokoły TCP/IP danych zapisywanych. Pozwala to błyskawicznie przekazywać ramki.

Opisana procedura wymaga jednak zastosowania topologii magistrali, która w przypadku klasycznego Ethernetu jest generalnie nieopłacalna i ma wiele wad. Problem ten został rozwiązany poprzez zwielokrotnienie portów ethernetowych urządzeń

zgodnych z EtherCAT. Dostyc powszechnie spotykane są urządzenia z dwoma lub trzema portami, a te wystarczają już do realizacji topologii gwiazdy – czy nawet zmieszanie topologii gwiazdy i magistrali w ramach jednej sieci i utworzenie struktury mocno redundantnej. Specyficzny sposób zapisywania danych w pakietach Ethernetowych również przystosowano do wymagań klasycznego Ethernetu – i tam, gdzie konieczny jest routing pakietów w oparciu o protokół IP, ramki charakterystyczne dla EtherCAT są przesyłane w ramach pakietów protokołu UDP. Mogą one być formowane i nadawane również przez zwykłe urządzenia ethernetowe, dzięki czemu sterowanie aparaturą polową EtherCAT jest możliwe z poziomu choćby klasycznych serwerów.

Wydajność tego rozwiązania jest dosyć duża, choć zależy od liczby elementów podłączonych do sieci. W praktyce czas opóźnienia nie wzrasta powyżej 1 ms i zazwyczaj jest znacznie krótszy. Czas synchronizacji nie przekracza 1 μ s.

Powerlink

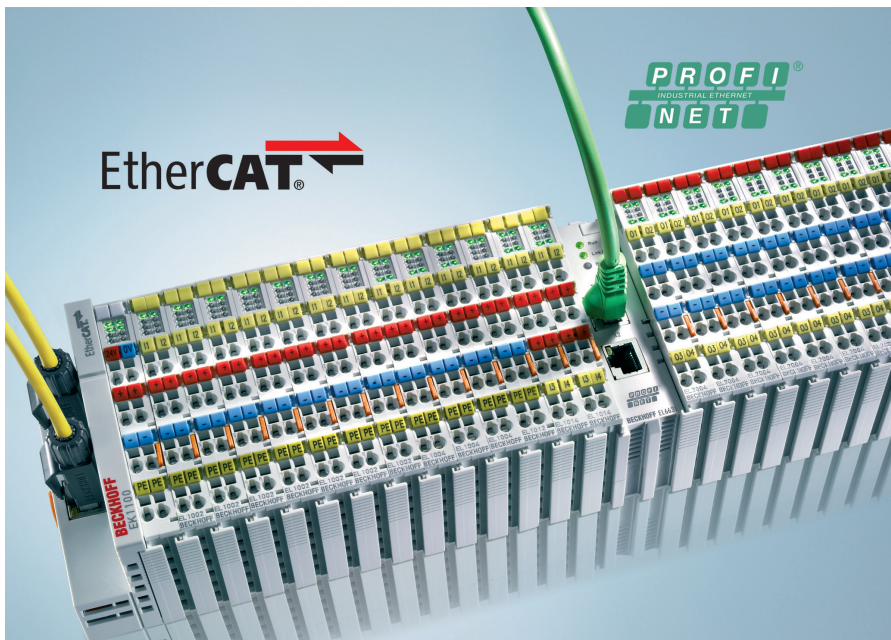
Ostatnim z omawianych standardów ethernetowych sieci przemysłowych jest Ethernet Powerlink. Rozróżnia się w nim urządzenia nadzorujące i podrzędne, ale sposób transmisji oparty jest przede wszystkim na podziale czasu transmisji danych na pakiety izochroniczne i asynchroniczne. W trakcie komunikacji izochronicznej, zaraz po przeprowadzeniu synchronizacji, kontroler sieci odpytuje cyklicznie kolejne urządzenia sieciowe, które odpowiadają, przesyłając swoje dane. Następnie kontroler przechodzi do transmisji asynchronicznej, w której odpytuje tylko jedno wybrane urządzenie, po czym cykl jest powtarzany. Ponieważ nie wszystkie urządzenia potrzebują takiej samej dostępności łącza, możliwe jest wskazanie, by kontroler część okien transmisyjnych w trybie izochronicznym przypisywał w każdym

cyklu pewnej grupie końcówek sieciowych, a część dzielił, odpytując naprzemiennie kolejne urządzenia z grupy wymagającej mniejszej dostępności łącza. Dzięki takiemu rozwiązaniu Ethernet Powerlink jest przewidywalny, a przy zastosowaniu najnowszej infrastruktury pozwala osiągnąć opóźnienia rzędu 0,2 ms i dokładność synchronizacji na poziomie 1 μ s.

Sieci bezprzewodowe

Oprócz opisanych powyżej, w przemyśle stosuje się też sieci bezprzewodowe. Mają one znaczenie szczególnie wtedy, gdy koszt położenia przewodów do transmisji danych jest nadmiernie wysoki, lub gdy łączone ze sobą urządzenia poruszają się względem siebie. Transmisja bezprzewodowa jest znacznie bardziej zawodna i narażona na opóźnienia niż kablowa, co da się szczególnie zaobserwować na terenie zakładów przemysłowych. Sprawia to, że nie jest chętnie stosowana, choć czasami naprawdę stanowi optymalne rozwiązanie. Na rynku znaleźć można wiele profesjonalnych urządzeń sieciowych, nie tylko w postaci radiomodemów, ale także routerów i punktów dostępowych Wi-Fi. Jednakże różnią się one znacząco od





klasycznych rozwiązań, gdyż wspierają precyzyjne protokoły synchronizacji urządzeń oraz są wykonane tak, by wytrzymać nagłe skoki napięć, wysokie temperatury i zapylenie. Producenci tego typu routerów i switchy ethernetowych nierzadko pokazują, że ich urządzenia mogą komunikować się ze sobą nawet wtedy, jeśli znajdują się w otoczeniu pracujących maszyn elektrycznych o dużej mocy, gdy są zanurzone w wodzie, lub gdy komunikacja przewodowa pomiędzy niektórymi elementami sieci odbywa się po zardzewiałych drutach kolczastych.

Duże znaczenie dla przemysłu mają też anteny, które pozwalają znacząco wzmocnić i ukierunkować sygnał, co umożliwi pokonanie zakłóceń pochodzących z otoczenia.

Bluetooth i ZigBee

Oprócz Wi-Fi, radiomodemów, modemów GSM i innych, mniej spopularyzowanych technologii komunikacji bezprzewodowej, takich jak np. zestandaryzowany już WirelessHART, w przemyśle, a tym bardziej w automatyce bu-

dynkowej dominują Bluetooth i ZigBee. Są one przeznaczone do bezpośredniej obsługi różnego rodzaju urządzeń wykonawczych i czujników. Bluetooth przeznaczony jest do małych sieci, z maksymalnie siedmioma urządzeniami i prędkościami rzędu do 1 Mb/s. Jego zaletą jest duża niezawodność uzyskana dzięki technologii przeskakiwania po częstotliwościach z rozproszonym spektrum (FHSS). Transmisja odbywa się w całym zakresie pasma 2,4 GHz, a kanały wykorzystywane przez inne sieci, są automatycznie wykrywane i usuwane z sekwencji skoków, dzięki czemu komunikacja jest bardziej niezawodna.

Bezpośrednią alternatywą dla Bluetooth jest mniej popularny w zastosowaniach konsumenckich ZigBee. Wykorzystuje on standard IEEE 802.15.4, który zapewnia **transmisję bezprzewodową** w pasmach 868 MHz, 915 MHz lub 2,4 GHz. Wszystkie odmiany ZigBee używają technologii DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum), a sam algorytm łączenia w sieć automatycznie ustanawia połączenie z najbliższym węzłem.

Taka sieć może zostać skonfigurowana w topologii gwiazdy, drzewa lub kraty. Podstawową jej zaletą jest bardzo niskie zapotrzebowanie na energię i prostota, która znacznie obniża koszty wdrożenia.

W przypadku niskobudżetowych aplikacji o małym dystansie transmisji sieci Bluetooth i ZigBee można zaimplementować z użyciem niedrogich adapterów na USB. Po wyposażeniu je w opcjonalne anteny bardziej kierunkowej charakterystyce, mogą komunikować się na-



wet na dosyć duże odległości, choć z przepustowością liczoną co najwyżej w setkach kilobitów na sekundę. Natomiast wybór pomiędzy siecią Wi-Fi, Bluetooth i ZigBee należy oprzeć o rozważania odnośnie wielkości planowanej aplikacji, złożonością sieci, stopniem rozproszenia węzłów, dostępnością zasilania oraz ilością przesyłanych danych i dopuszczalnymi opóźnieniami. Co ważne, sieci te mogą zostać zaimplementowane jednocześnie, nawet z sieciami przewodowymi, co często stanowi optymalne rozwiązanie. Umożliwia wykorzystanie najważniejszych zalet każdej z nich, a dzięki zastosowaniu protokołu IP i enkapsulacji pakietów, przesył danych pomiędzy poszczególnymi węzłami różnych sieci nie będzie stanowił problemu.

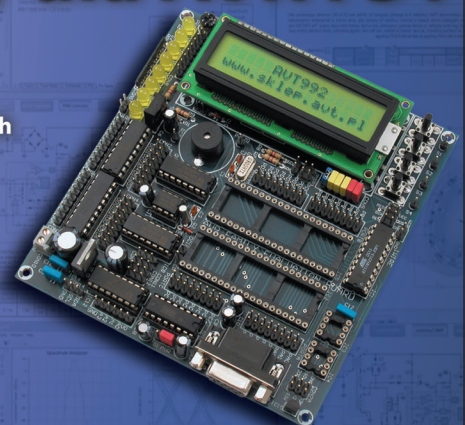
Marcin Karbowniczek, EP

Zestaw uruchomieniowy dla AVR i 51

AVT 992

Płytkę testową pozwala zbudować i przetestować szereg układów wykorzystujących procesory ATTINY 2313, 89Cx051 ATMEGA 8535, 8515, 16, 32, 162, ATTINYxx

W zestawie znajdują się praktycznie wszystkie niezbędne w systemie peryferia. Są to np.: diody LED, piezo, wyświetlacz alfanumeryczny LCD, przetwornik A/C i C/A. Wszystkie połączenia wykonuje się dzięki przewodom lutowanym do punktów zaopatrzonych w goldpiny lub wykorzystuje odpowiednie zworki (jumpery lub przewody połączeniowe).



www.sklep.avt.pl