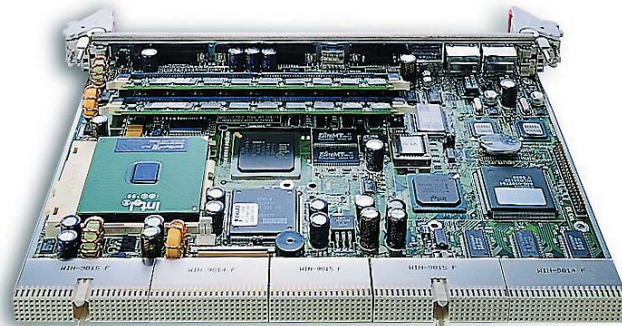


# Systemy wbudowane

## – kompendium

**System wbudowany można zdefiniować w ogólny sposób jako dedykowany system komputerowy, składający się z odpowiednio dobranych komponentów sprzętowych i programowych, zaprojektowany pod kątem wykonania określonej aplikacji programowej. Aplikacja odpowiada za realizację funkcji systemu wbudowanego i wpływa na sposób jego postrzegania przez użytkownika końcowego.**



Rys. 1. Karta w standardzie PCI typu MIC-3365 produkcji Advantech

Systemy wbudowane spotykane są w bardzo wielu dziedzinach życia, a obszar ich zastosowań, wraz z postępem technologicznym, ulega ciąglemu poszerzaniu. Systemy wbudowane to produkty elektroniczne, z którymi stykamy się każdego dnia w naszych samochodach, biurach i wielu innych miejscach, gdzie wykorzystywana jest „elektroniczna inteligencja”. Nowoczesne telefony komórkowe, odtwarzacze MP3, kioski informacyjne, systemy sterowania stosowane w motoryzacji, systemy nawigacji satelitarnej, urządzenia wykorzystywane w diagnostyce medycznej, rozwiązania dla telekomunikacji i teleinformatyki, specjalizowane roboty i maszyny przemysłowe, systemy kontroli lotu w samolotach, wahadłowcach oraz sondach kosmicznych to najbardziej reprezentatywne przykłady systemów wbudowanych.

Poziom złożoności systemów wbudowanych jest bardzo różny, począwszy od prostych rozwiązań powszechnego użytku, bazujących na mikrokontrolerach i mikroprocesorach małej mocy, a skończywszy na wieloprocessorowych, rozproszonych systemach, stosowanych w robotyce, telekomunikacji i lotnictwie.

Podstawową cechą wyróżniającą systemy wbudowane na tle innych systemów komputerowych, oprócz dedykowanego charakteru, jest jakość oprogramowania i stosowanych komponentów sprzętowych. System wbudowany ze względu na obszar zastosowań musi być dobrze przetestowany i stabilny. Błędy w oprogramowaniu mogą być katastrofalne w skutkach. Narzuca to dość wysokie wymagania projek-

tantom systemów wbudowanych, którzy powinni odznaczać się szeroką wiedzą i doświadczeniem. Olbrzymi postęp w dziedzinie mikroelektroniki i nauk komputerowych sprawił, że poza umiejętnościami, jedynymi praktycznymi ograniczeniami dla projektanta stanowią jego wyobraźnia oraz znajomość dostępnych rozwiązań sprzętowych i progra-

### **Podstawową cechą wyróżniającą systemy wbudowane na tle innych systemów komputerowych, oprócz dedykowanego charakteru, jest jakość oprogramowania i stosowanych komponentów sprzętowych**

mowych (systemy operacyjne, biblioteki, metodyka projektowa), ich zalet, wad i przeznaczenia. Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie problematyki systemów wbudowanych. Stanowi przegląd dostępnych rozwiązań sprzętowych, systemów operacyjnych oraz omawia podstawowe problemy związane z projektowaniem systemów wbudowanych.

#### **■ Projektowanie systemów wbudowanych**

Projektowanie systemu wbudowanego jest procesem skomplikowanym. Składa się zarówno z opracowania dedykowanej warstwy sprzętowej jak i odpowiedniego oprogramowania. Oprogramowanie dzieli się na warstwę systemową i aplikacyjną. Warstwa systemowa tworzy środowisko wykonania dla aplikacji wbudowanej i w zależności od obszaru zastosowań cechuje się różnym stopniem skomplikowania. W przypadku prostych systemów wbudowanych, o zam-

kniętej, nieskalowalnej architekturze, warstwa systemowa nie jest ściśle wyodrębniona i nie zawiera mechanizmów wspierających tworzenie aplikacji. Zaawansowane systemy, przeznaczone dla medycyny, lotnictwa, telekomunikacji czy robotyki, realizowane są w oparciu o specjalne systemy operacyjne lub biblioteki ekstrakodów, które zawierają mechanizmy i funkcje ułatwiające tworzenie aplikacji i testowanie systemu. Mimo tego projektant musi rozszerzyć warstwę systemową o sterowniki dedykowanych urządzeń, wykonać odpowiednie testy i przygotować oprogramowanie aplikacyjne. Od funkcjonalności i użyteczności aplikacji zależy w dużej mierze powodzenie całego projektu.

Tworzenie systemu wbudowanego wymaga dokładnego przeanalizowania wymagań, opracowania odpowiedniej architektury i przemyślanej dekompozycji. Każdy błąd, czy zlekceważenie pewnych wymagań we wstępnych fazach projektu może prowadzić do niepowodzenia całego przedsięwzięcia. Złe decyzje projektowe pociągają za sobą często konieczność modyfikacji nie tylko oprogramowania, lecz także sprzętu. W przypadku systemów do zastosowań krytycznych pojawia się też problem wiarygodności, czyli odporności systemu na awarie sprzętu, zakłócenia elektromagnetyczne, błędy implementacyjne. Analiza wiarygodności oprogramowania jest cały czas przedmiotem wielu prac badawczych i nie opracowano do tej pory żadnej metodyki postępowania. W przypadku, gdy projektowany system jest skompliko-

wany, na przykład system sterujący robotem w fabryce układów scalonych, projekt przeobraża się w skomplikowane przedsięwzięcie logistyczne, wymagające koordynacji prac kilku zespołów inżynierów elektroników, mechatroników i informatyków.

## ■ Stosowane platformy sprzętowe

Podstawowymi czynnikami wpływającymi na architekturę systemu wbudowanego jest poziom skomplikowania realizowanych przez niego funkcji i obszar zastosowań. Zupełnie inne wymagania stawiane są przed odpowiedzialnym systemem kontroli lotu, inne w przypadku urządzeń powszechnego użytku. System kontroli lotu powinien cechować się dużą niezawodnością i odpornością na błędy. Urządzenia powszechnego użytku powinny być tanie i dawać radość z długiej bezawaryjnej pracy.

Ze względu na bardzo różnorodne wymagania i funkcje systemów wbudowanych nie jest możliwe zbudowanie jednej uniwersalnej platformy sprzętowej dla wszystkich zastosowań. Z punktu widzenia technicznego najlepszym rozwiązaniem jest zaprojektowanie dedykowanego sprzętu na potrzeby konkretnego zastosowania, jednak takie postępowanie nie ma uzasadnienia ekonomicznego przy produkcji małoseryjnej. W takim wypadku lepiej zastosować gotowe platformy sprzętowe dla aplikacji wbudowanych, opierające się o ustalone standardy. Do najbardziej znanych można zaliczyć systemy typu: Compact PCI, PC/104 i SOM. Ważną grupę stanowią także miniaturowe i subminiaturowe rozwiązania potocznie zwane komputerami „ciasteczkowymi” (*biscuit PC*). Każdy z powyższych standardów ce-

kuje się innymi parametrami użytkowymi i obszarem zastosowań.

## ■ Systemy Compact PCI

Rozwiązania Compact PCI znajdują zastosowanie w odpowiedzialnych systemach sterowania i zaawansowanych urządzeniach telekomunikacyjnych, gdzie konieczne jest zapewnienie dużego stopnia niezawodności sprzętu, a niekiedy nawet wymiana jego komponentów w trakcie działania. Systemy oparte o Compact PCI charakteryzują się budową modułową, dzięki czemu są skalowalne i mogą dość łatwo zostać rozszerzone o nową funkcjonalność. W przypadku urządzeń telekomunikacyjnych cecha ta nabiera istotnego znaczenia. Pojedyncze urządzenie może zostać wyposażone w odpowiednie moduły, dopasowa-

ne do konkretnej konfiguracji sieci telekomunikacyjnej. Dodatkowo w przypadku awarii pojedynczego modułu nie jest konieczna wymiana całego urządzenia, a uszkodzony element może zostać wymieniony w trakcie jego działania, co nie powoduje przerwy w dostarczaniu usług. Należy podkreślić, że

wymiana modułów w trakcie pracy, mimo odpowiedniej konstrukcji elektrycznej magistrali Compact PCI, jest możliwa wyłącznie wtedy, gdy wspiera ją odpowiednio zaprojektowane oprogramowanie urządzenia.

Historia standardu Compact PCI, zwanego dalej w skrócie CPCI sięga 1994 roku, kiedy to został on zaprojektowany przez grupę producentów systemów automatyki i komputerów przemysłowych, działających pod wspólnym szyldem organizacji PICMG (*PC Industrial Computers Manufacturers Group*). Wśród członków or-

**Ze względu na bardzo różnorodne wymagania i funkcje systemów wbudowanych nie jest możliwe zbudowanie jednej uniwersalnej platformy sprzętowej dla wszystkich zastosowań**



Rys. 2. Obudowa CPCI typu MIC-3041 produkcji Advantech. Po prawej stronie widoczne są wsuwki zasilacza redundantnego

**GURU**® ul. Słomińskiego 1  
00-204 Warszawa  
tel.: (22)831-1042  
www.guru.com.pl info@guru.com.pl

## Komputery przemysłowe

panelowe, rackowe, naściennne, wolnostojące; wersje z monitorem LCD, ekranem dotykowym, klawiaturą foliową, gładzikiem; podzespoły: klawiatury, zasilacze, monitory, dyski Flash



## Karty ISA i PCI

akwizycji danych, we-wy analogowych i cyfrowych, akwizycji obrazów (frame grabbers), sterowania napędów, wieloportowe RS232/422/485, GPIB (IEEE488), komputerów PC

## Jednopłytkowe komputery PC do zastosowań wbudowanych



PC/104, WAFER, NOVA; procesory od 386SX do P IV, niski pobór prądu, niewielkie rozmiary, bogate zasoby, praca bez wentylatora

## Miniaturowe komputery PC

Temperatura pracy -25°C ... +75°C, zasilanie 10...30V DC, RS485,232, Ethernet, pamięć FLASH i SRAM, bogaty wybór modułów we-wy pracujących w sieci; idealne jako konwertery protokołów, sterowniki kontrolno-pomiarowe, bezobsługowe rejestratory danych, sieciowe serwery urządzeń z interfejsem RS232/485



## Akcesoria do PC

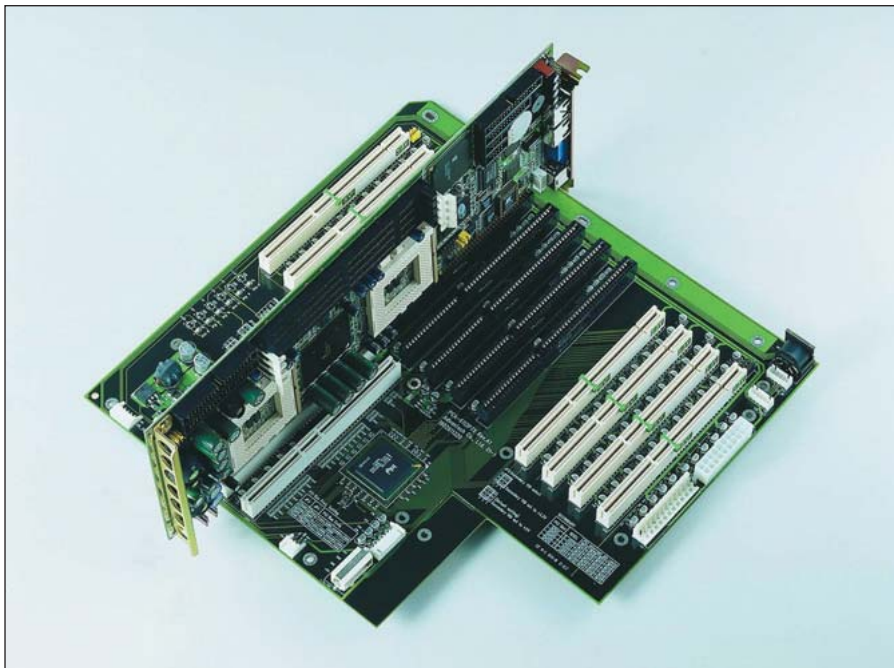
rozdzielacze klawiatur i monitorów; konsole KVM (klawiaturowa, monitor, mysz) 1U do szaf 19" z wbudowanym przełącznikiem KVM dla 8 komputerów, konwertery RS232 na RS422/485

## Sterowniki PLC o architekturze PC

Programowane drabinkowo lub w języku C; z bogatą kolekcją modułów we-wy analogowych i cyfrowych; budowa zwarta lub rozproszona (sieć RS485)



www.guru.com.pl



Rys. 3. „Plater” z zamontowaną kartą procesorową

ganizacji są takie firmy jak: Intel, Hewlett-Packard, IBM, Motorola, Siemens, SUN. CPCI jako podstawową magistralę komunikacyjną wykorzystuje popularną magistralę PCI, stosowaną w komputerach PC i stacjach roboczych. Dzięki zastosowaniu popularnego PCI, rozwiązania CPCI są tańsze od systemów opartych o magistralę VME, stosowanych od wielu lat w przemyśle. Częstotliwość pracy magistrali PCI to 66MHz, zaś maksymalna przepustowość 133Mbit/s. Najnowsza specyfikacja CPCI wykorzystuje 64 bitowy PCI-X, zapewniający transfer z szybkością powyżej 1Gbit/s i pozwala na wymianę kart bez wyłączenia zasilania.

Od strony mechanicznej CPCI nawiązuje do standardu Eurokarty i VME. Poszczególne moduły w postaci kart o wymiarach zgodnych ze standardem Eurokarty i o wysokościach 3 lub 6U są wkładane do stan-

### Z punktu widzenia interfejsu standard PC/104 stanowi zmodyfikowaną magistralę ISA o zredukowanym poborze mocy

daryzowanych kaset. Karty mogą być umieszczane poziomo lub pionowo w kasetach o różnej liczbie gniazd, różnych rozwiązaniach układów zasilania i chłodzenia (układy z redundancją). Kasety w formacie 19” posiadają po osiem złącz w jednym segmencie dla kart procesorowych, jednak poprzez dodanie dodatkowego mostka PCI-PCI można łatwo zwiększyć ich liczbę do 24. Charakteryzują się różnymi gabarytami i wagą – wysokości od 1U (1 karta) do 12U.

Karty procesorowe stosowane w Compact PCI wyposażone są w procesory różnych producentów. Spotykane są zarówno procesory o modelach programowych typu RISC (np. ARM, Power PC, MIPS), jak i CISC (Intel IA32, Motorola 68K). Wybór procesora uzależniony jest przede wszystkim od specyfiki aplikacji wbudowanej oraz jej zapotrzebowania na moc obliczeniową.

Systemy CPCI są wydajne, elastyczne i niezawodne, jednak charakteryzują się wysoką ceną, znacznymi gabarytami i wagą, co czyni je nieprzydatnymi w aplikacjach, gdzie istotne są małe rozmiary i niski koszt systemu.

#### ■ Komputery „platerowe”

Dla tańszych aplikacji wbudowanych właściwym rozwiązaniem są komputery wbudowane przy wykorzystaniu pasywnych platerów oraz kart procesorowych lub minia-

turów i subminiatury w standardzie PC/104 oraz komputery „ciasteczkowe”.

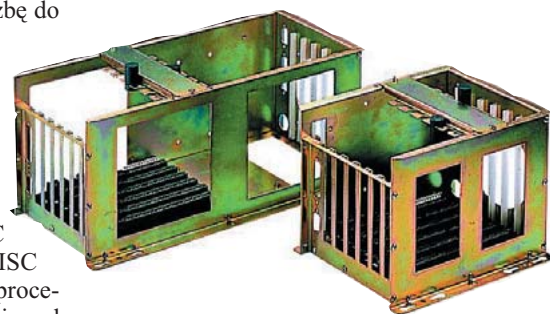
Rozwiązania „platerowe” z kartami procesorowymi zapewniają elastyczność – możliwość montowania dużej ilości standardowych kart rozszerzeń, wykorzystujących magistralę PCI lub ISA. Podstawowe cechy rozwiązania to:

- dostosowanie do pracy w trudnych warunkach otoczenia – odporność na wibracje i zakłócenia,
- możliwość montażu typowych kart rozszerzeń,
- zastosowanie standardowych rozwiązań, wykorzystywanych w komputerach PC,
- ułatwiony serwis,
- długi „czas życia” poszczególnych elementów systemu.

Dzięki uznaniu standardu przez wielu producentów komputerów przemysłowych, dostępna jest bardzo szeroka gama kart procesorowych, platerów i obudów. Daje to w efekcie rozwiązanie charakteryzujące się dużą elastycznością, a jednocześnie, dzięki zastosowaniu typowych rozwiązań układowych ze standardowych komputerów PC, pozwala na wygodne wytwarzanie aplikacji.

Dostępne karty procesorowe wyposażone są w procesory o różnej mocy obliczeniowej – od procesorów czwartej generacji po najnowsze Pentium IV.

Jako układy sterujące stosowane są typowe rozwiązania produkcji firm Intel czy SIS. Karty procesorowe wyposażone są zwykle w kilka interfejsów komunikacyjnych – co najmniej jeden interfejs sieci Ethernet (10/100 Mbps lub gigabitowy), szeregowy RS-232C/RS-422, równoległy Centronics, interfejsy dla pamięci masowych IDE, SCSI i układy grafiki.



Rys. 4. Chassis dla kart procesorowych – idealne rozwiązanie do wbudowania w maszynę

Obudowy komputerów platerowych występują w formie modułów 19” montowanych w stojaku, szafie lub są przystosowane do powieszenia na ścianie. Występują także jako moduły do wbudowania tzw. chassis (rys. 4). Dzięki zastosowaniu wielosekcyjnych platerów możliwe jest zabudowanie do 4 jednostek procesorowych w jednej obudowie, które mogą pracować w układzie redundantnym lub niezależnie. Niezwykła elastyczność tego rozwiązania

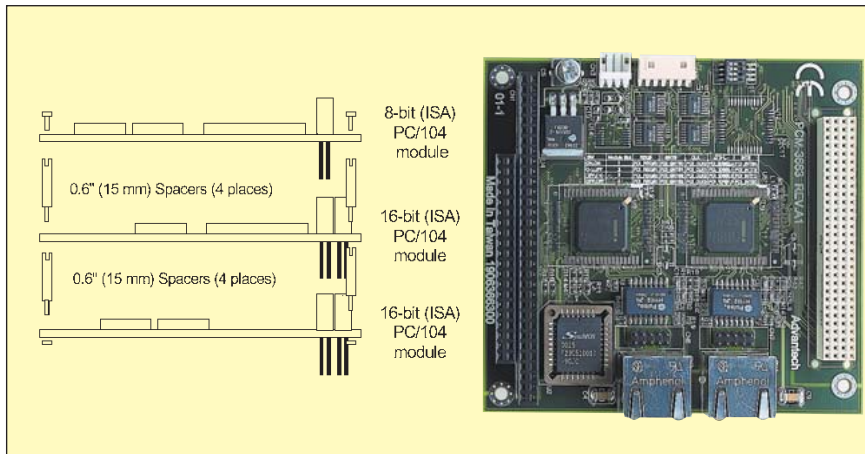
# RFID

Transpondery  
Czytniki  
Sterowniki

## MIKROKONTROLA

ul. Wólczyńska 55  
01-908 Warszawa  
Tel. +48 22 865 55 45  
Fax +48 22 865 55 44

www.mikrokontrola.com.pl



Rys. 5. Po lewej – konstrukcja kanapkowa, po prawej moduł procesorowy PC/104 firmy Microsys. Widoczne są złącza ISA (czarne z lewej strony) i PCI (białe z prawej strony)

powoduje, że komputery te znakomicie sprawdzają się w stacjonarnych systemach wbudowanych, gdzie nie ma ostrych wymagań co do gabarytów i pobieranej mocy, natomiast potrzebny jest system stosunkowo niedrogi, o dużych możliwościach obliczeniowych, pozwalający na łatwe serwisowanie i rozbudowę. Bardzo często istotnymi parametrami systemu wbudowanego są małe gabaryty, waga i pobór mocy. Dla tej klasy systemów wbudowanych zaprojektowano platformy sprzętowe w standardzie PC/104.

## ■ Komputery PC/104

Standard PC/104 został zdefiniowany w 1992 roku i określa zarówno parametry elektryczne, jak i mechaniczne stosowanych modułów. Z punktu widzenia interfejsu standard PC/104 stanowi zmodyfikowaną magistralę ISA o zredukowanym poborze mocy. Nazwa standardu – pochodzi od liczby styków na złączu modułu – 104 styki. Wszystkie moduły mają ściśle określone gabaryty (90 x 96mm). Łączy się je w samonośną „konstrukcję kanapkową”, która charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną. Dzięki specjalnej konstrukcji złącza o długich stykach i zastosowaniu tulei spinających moduły, wyeliminowano potrzebę stosowania dodatkowych konstrukcji, przytrzymujących jednostkę procesorową i karty rozszerzeń.

W 1996 roku powstała kolejna wersja PC/104 nazwana PC/104+, wyposażona w dwie magistrale ISA i PCI (33/66 MHz). Zastosowanie PCI, zapewniającej dużo większą przepływność, pozwoliło na stosowanie urządzeń o dużo większych wymaganiach magistralowych, takich jak na przykład karty akwizycji obrazów, stosowane w robotyce i medycynie.

Oprócz standardu magistrali, PC/104 określa również maksymalną moc pobieraną przez każdy z modułów interfejsowych. Maksymalna moc modułu interfejsowego została określona jako 2W, natomiast dostępne moduły procesorowe pobierają moc nieprzekraczającą 7,5W. Jest to możliwe

do uzyskania dzięki zastosowaniu energooszczędnych procesorów zgodnych z modelem programowym IA32. Jednym z częściej stosowanych procesorów jest NS Geode 300MHz. Parametry przykładowego modułu wykorzystującego ten procesor (Advantech, PCM-3350) są następujące:

- procesor klasy Pentium: NS Geode 300 MHz – zredukowany pobór mocy (praca bez wentylatora),
- układ sterujący (chipset) NS CS 5530A,
- układ graficzny (zintegrowany z procesorem): CS 5530A, sterowanie matrycą TFT 18bit,
- pamięć RAM: SODIMM SDRAM do 128 MB,
- interfejs sieci Ethernet 10/100 Mbps: Intel 82559,
- zakres temperatur pracy: 0-60°C,
- interfejsy komunikacyjne: 2 x USB, 2 x RS-232C/RS-485,
- interfejsy pamięci masowej: IDE 44pin, FDD, Compact Flash (CFC).

Moduły procesorowe PC/104 wyposażone są zazwyczaj w interfejs Compact Flash, który pozwala wyeliminować mechaniczny dysk twardy IDE i zastąpić go dyskiem typu FLASH. Dzięki temu system staje się znacznie bardziej odporny na wibracje i niezawodny. Jednocześnie zmniejsza się pobór mocy ze źródła zasilania.

Warto zwrócić także uwagę na warunki środowiskowe, jakim musi sprostać system wbudowany. Często zachodzi konieczność zapewnienia poprawnej pracy w rozszerzonym zakresie temperatur. Niektórzy producenci oferują moduły zdolne do pracy w zakresie temperatur od -40°C do +120°C. Moduły PC/104 dzięki małym gabarytom, odpornej mechanicznie konstrukcji i zredukowanemu poborowi mocy znajdują zastosowanie w wielu systemach wbudowanych, zarówno przenośnych, jak i stacjonarnych.

*Paweł Pisarczyk, Rafał Jurkiewicz,  
Michał Sadowski*

*Dokończenie tekstu  
opublikujemy za miesiąc.*