

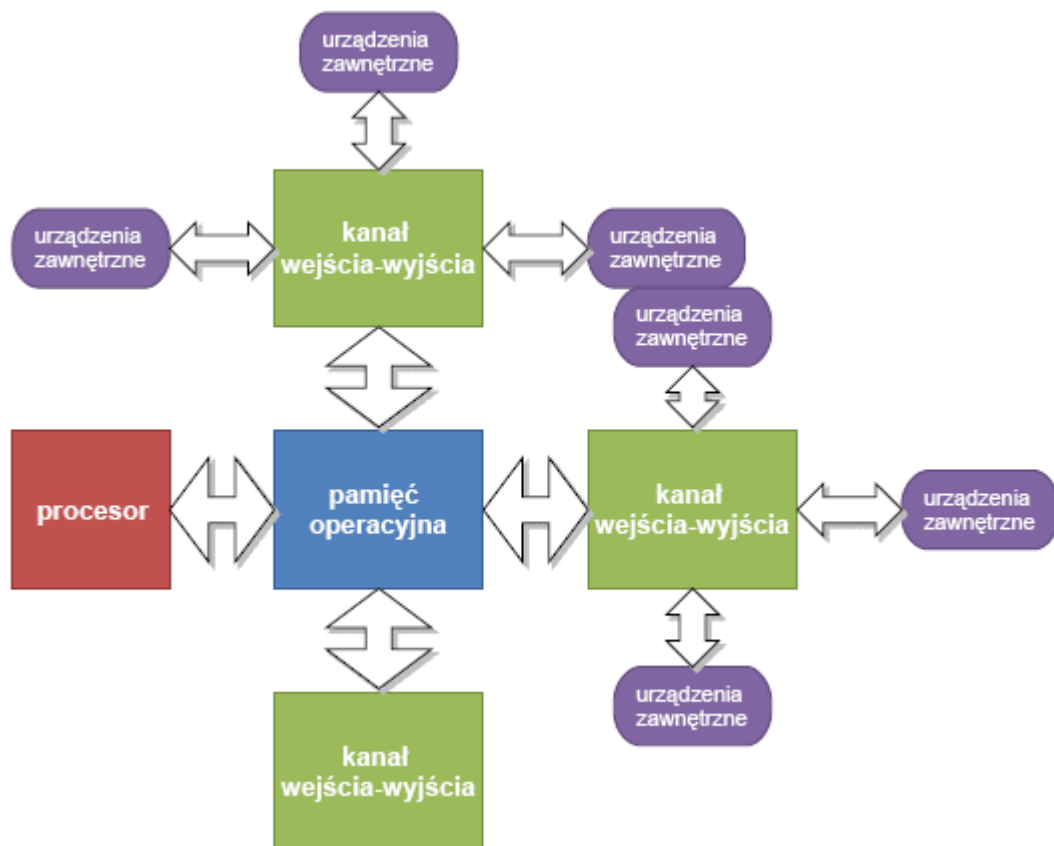
Organizacja architektury komputera

Sposób organizacji architektury komputera PC przeszedł długą ewolucję, wraz ze wzrostem wymagań (prędkość przesyłu danych) stawianych komputerom PC szukano nowych rozwiązań umożliwiających jak najwydajniejszą pracę.

Koncepcje:

- Architektura pamięciowo-centryczna
- Architektura szynowa
- Architektura dwuszynowa
- Architektura trójszynowa
- Architektury z połączeniami punkt-punkt

Architektura pamięciowo-centryczna



Architektura charakterystyczna dla dużych komputerów budowanych w latach 60-tych XX wieku. Zgodnie z nazwą, centralnym elementem struktury jest pamięć, wyposażona w kilka portów, umożliwiających połączenie jej z kilkoma urządzeniami. Urządzeniami tymi są procesor (lub procesory) i tzw. kanały wejścia-wyjścia, czyli specjalizowane procesory transmitujące dane pomiędzy urządzeniami zewnętrznymi i pamięcią komputera.

Cechy:

- Charakterystyczna dla dużych komputerów budowanych w latach 60-tych XX wieku.
 - Centralnym elementem struktury jest pamięć, wyposażona w kilka portów, umożliwiających połączenie jej z kilkoma urządzeniami.
- W technologii wówczas stosowanej każde z tych urządzeń miało postać dużej szafy.

- Urządzenia połączone z pamięcią:
 - » procesor (lub procesory)
 - » kanały wejścia-wyjścia, czyli specjalizowane procesory transmitujące dane pomiędzy urządzeniami zewnętrznymi i pamięcią komputera
- Szybka wymiana danych z urządzeniami zewnętrznymi (bezpośredni dostęp do pamięci).

Problemy:

- Mała elastyczność konfiguracji uwarunkowana liczbą interfejsów pamięci.
- Wysoki koszt.

Magistrale I/O

Magistrala komunikacyjna, magistrala (ang. bus) – zespół linii przenoszących sygnały oraz układów wejścia-wyjścia służących do przesyłania sygnałów między połączonymi urządzeniami w systemach mikroprocesorowych. Ze względu na typ prowadzonej transmisji magistrale można podzielić na:

- Równoległe – sygnały przesyłane są równoległe, jednocześnie wieloma kanałami (np. przewodami, ścieżkami); do magistral tego typu należą m.in. ISA, PCI, AGP.
- Szeregowo – sygnały są przesyłane szeregowo, jednym lub wieloma pojedynczymi kanałami; do nich należą magistrale: PCI Express, USB.

PCI Express



PCI



AGP



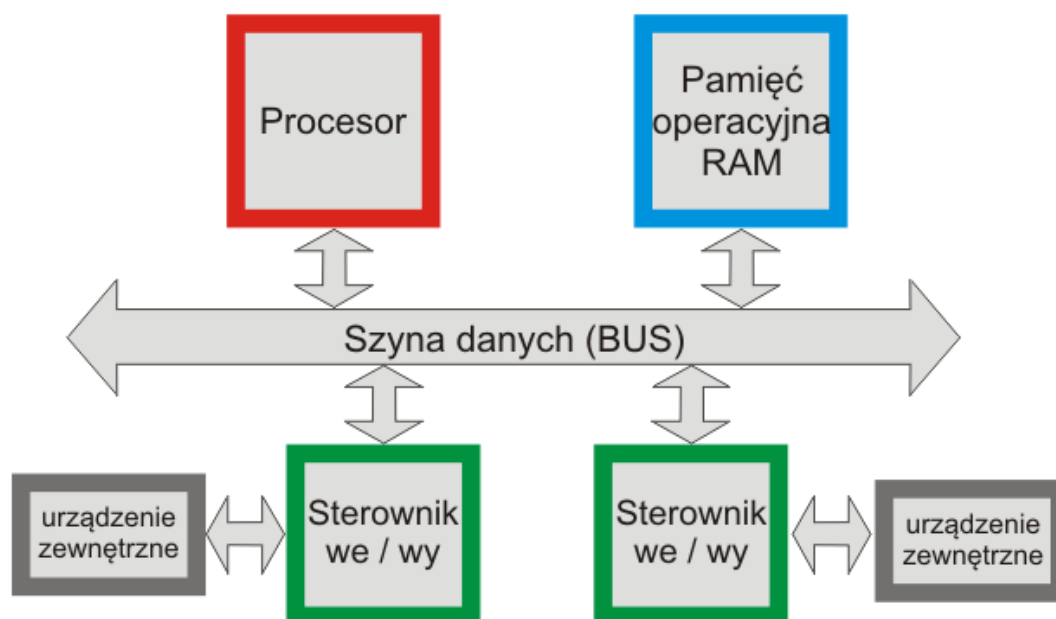
ISA

W komputerze klasy PC najważniejsze i zazwyczaj najszybsze są magistrale obsługujące wymianę danych wewnątrz procesora oraz między procesorem a podstawowymi komponentami płyty głównej i pamięcią RAM. Kolejne w hierarchii są magistrale lokalne (ang. local bus) ulokowane w pobliżu CPU, co umożliwia zwiększenie szybkości komunikacji z magistralą procesora.

Następnie znajdują się magistrale wejścia-wyjścia (ang. input/output bus) służące do podłączania kart rozszerzeń, które wzbogacają możliwości komputera PC. Z racji swojej specyfiki magistrale tego typu często są nazywane peryferyjnymi (ang. peripheral bus).

Na końcu mamy magistrale zewnętrzne (ang. external bus) służące do przyłączania urządzeń zewnętrznych, takich jak modemy drukarki, skanery, kamery internetowe, klawiatury, myszy itp.

Architektura szynowa (lata 1970)



Architektura szynowa - cechy

- Wprowadzona na szeroką skalę w minikomputerach.
- Podstawą architektura jest szyna (zespół przewodów połączonych z gniazdami).
- Komputer ma postać kasety lub szafy z wymiennymi modułami –szufladami
- Moduły:
 - » procesory
 - » pamięci
 - » sterowniki wejścia - wyjścia
- Łatwa rekonfiguracja i rozbudowa komputera.
- Stosunkowo niska cena.
- Sterowniki urządzeń wejścia-wyjścia dostępne do procesora w taki sam sposób jak pamięć.
- Model szynowy stanowi wygodny model logiczny komputera, niezależnie od fizycznej implementacji (wszystkie współczesne komputery mają model logiczny (programowy) bazujący na modelu szynowym).

Architektura szynowa - problemy

- Długość i struktura połączeń ogranicza szybkość transmisji (MHz)
 - » zjawiska falowe
 - » rozproszone indukcyjności i pojemności
- Dysproporcja wydajności procesora i pamięci jest dodatkowo powiększana przez wolną transmisję danych na szynie
- Krytyczna jest szybkość dostępu procesora do pamięci (inne transmisje, np. do i z urządzeń wejścia-wyjścia, zachodzą stosunkowo rzadko i mogą być realizowane wolniej).
- Długość szyny wynika z konieczności dołączenia wielu urządzeń - sterowników wejścia – wyjścia

Architektura stosowana do ok. 1994 r.

Magistrala ISA

1	GND	~I/O CH CK	1
2	RESET DRV	D7	2
3	+5 V	D6	3
4	IRQ2	D5	4
5	-5 V	D4	5
6	DRQ2	D3	6
7	-12 V	D2	7
8	RESERVED	D1	8
9	+12 V	D0	9
10	GND	I/O CH RDY	10
11	~MEMW	AEN	11
12	~MEMR	A19	12
13	~IOW	A18	13
14	~IOR	A17	14
15	~DACK3	A16	15
16	DRQ3	A15	16
17	~DACK1	A14	17
18	DRQ1	A13	18
19	~DACK0	A12	19
20	CLOCK	A11	20
21	IRQ7	A10	21
22	IRQ6	A9	22
23	IRQ5	A8	23
24	IRQ4	A7	24
25	IRQ3	A6	25
26	~DACK2	A5	26
27	T/C	A4	27
28	ALE	A3	28
29	+5 V	A2	29
30	OSC	A1	30
31	GND	A0	31



Wyprowadzenia magistrali ISA

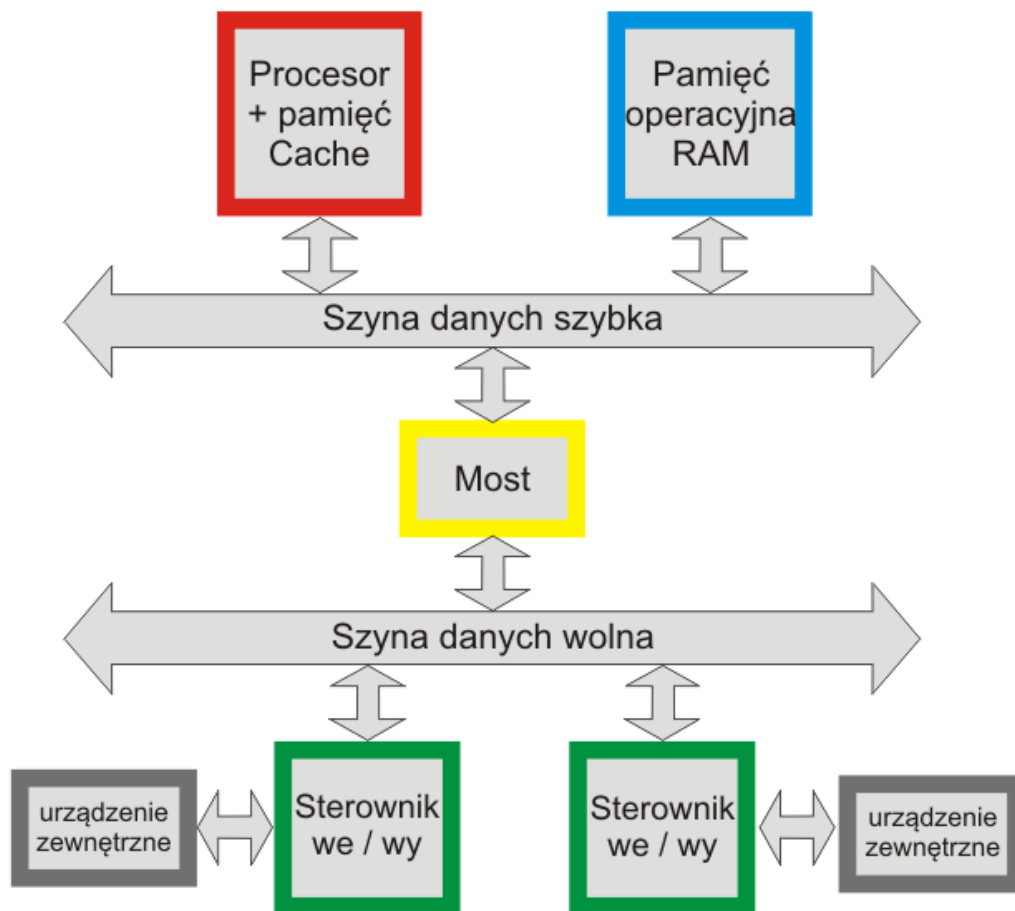
Karta ISA

Wybrane parametry magistrali ISA:

- szyna danych - 16-bitowa,
- częstotliwość pracy - 8,33 MHz,
- przepustowość 8 MB/s (efektywna w granicach od 1,6 MB/s do 1,8 MB/s)
- szyna adresowa - 24-bitowa,
- brak sygnałów związanych z DMA,
- sygnały sterujące: MEMR, MEMW, IRQ1, IRQ7, IRQ9, IRQ12, IRQ14, IRQ15, CLK, OSC
- brak obsługi Plug and Play

W latach dziewięćdziesiątych XX wieku znaczenie tej magistrali zaczęło maleć, a jej funkcje przejmował standard PCI.

Architektura dwuszynowa



Architektura dwuszynowa zawiera dwie szyny: szybką, łączącą procesor lub procesory z pamięcią oraz wolną, do której podłączone są sterowniki urządzeń zewnętrznych. Obie szyny łączy układ mostu.

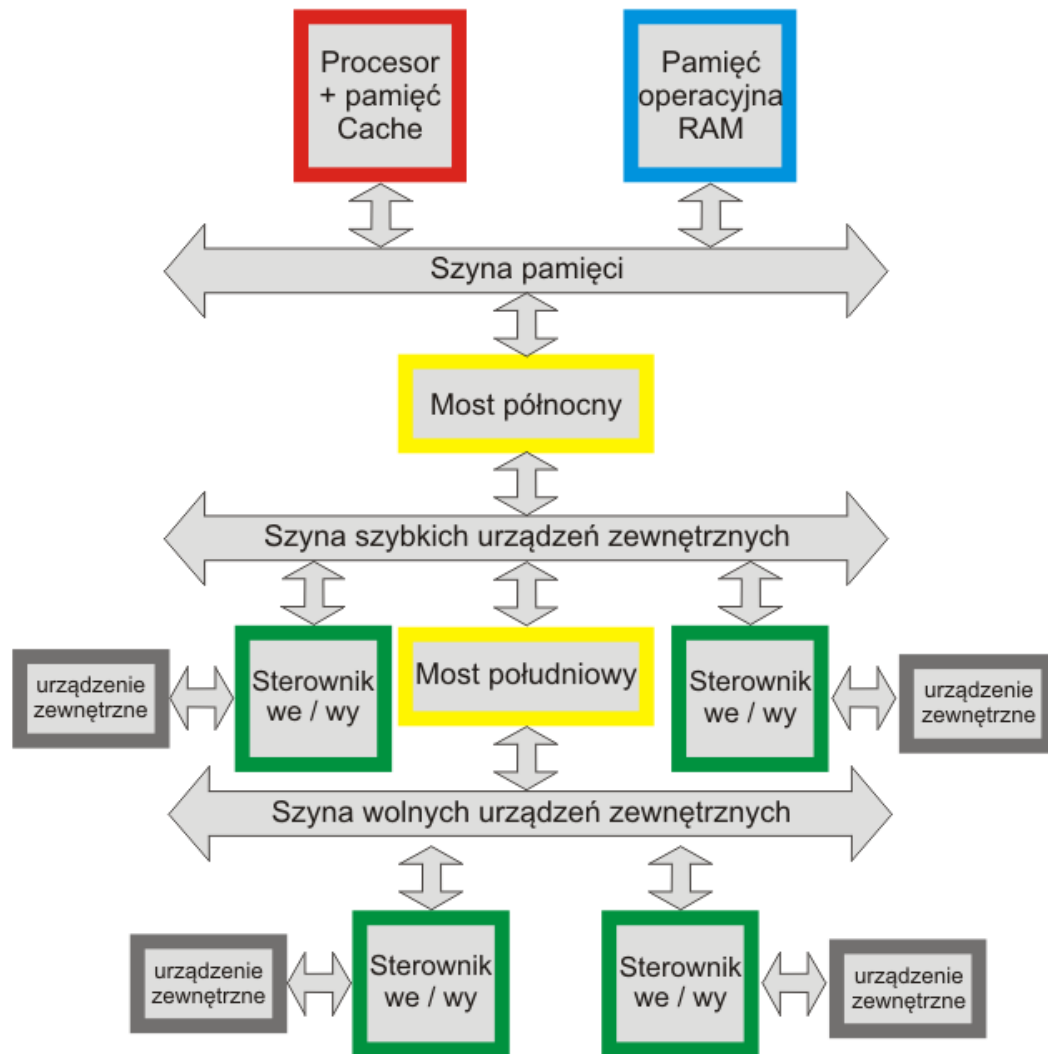
Cechy:

- Szybka, krótka magistrala (szyna) łączy procesor (lub procesory) z pamięcią (i ew. pamięcią podręczną - kieszenią) (ang. FSB front side bus).
- Wolna (dłuższa) szyna (magistrala) obsługuje sterowniki urządzeń wejścia wyjścia.
- Obie magistrale (szyny) są połączone za pomocą mostu (ang. bridge).
- Logicznie obie szyny są widziane przez procesor jak jedna, ale różnią się głównie parametrami elektrycznymi i wydajnością.
- Architektura stosowana w komputerach PC w latach 1994 - 1998.

Problemy:

- Niektóre urządzenia zewnętrzne wymagają bardzo szybkiej transmisji.

Architektura trójszynowa



W architekturze trójszynowej, stosowanej w komputerach PC w drugiej połowie lat 90-tych XX wieku, istnieją dwie szyny urządzeń zewnętrznych – szybka i wolna.

W strukturze tej występują dwa mostki, zwane od swego położenia na schemacie blokowym odpowiednio „północnym” i „południowym”.

Cechy:

- Trzy szyny (magistrale):
 - » procesora i pamięci (FSB ang. front side bus)
 - » szybkich urządzeń zewnętrznych (PCI)(ang. Peripheral Component Interconnect)
 - » wolnych urządzeń zewnętrznych (ISA) (ang. Industry Standard Architecture)
- Typy mostków:
 - » mostek północny (ang. northbridge) - łączy szynę procesora z szyną szybkich urządzeń
 - » mostek południowy (ang. southbridge) - łączy szynę szybkich urządzeń z szyną wolnych urządzeń
- Używana w komputerach PC 1999-2002
 - » w praktyce most południowy zawierał sterowniki niektórych urządzeń
 - » sterownik pamięci umieszczony w moście północnym

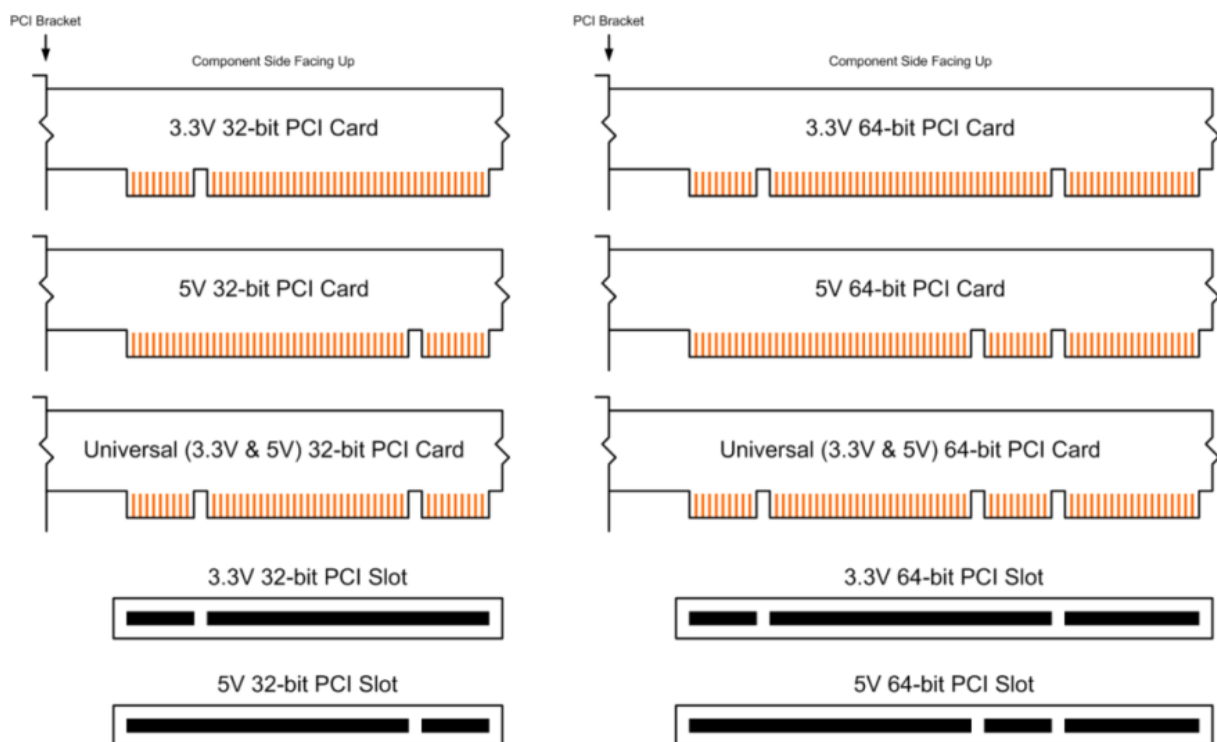
Problemy:

- szybka szyna zbyt wolna dla podsystemu graficznego
- wobec rosnącej integracji wolna szyna stała się zbędna

Magistrala PCI

Pracę nad standardem PCI Local Bus (ang. Peripheral Component Interconnect Local Bus) zapoczątkowała w 1992 roku firma Intel, tworząc organizację PCI-SIG (ang. PCI Special Interest Group). Celem było stworzenie magistrali lokalnej, która byłaby niezależna od procesora oraz umożliwiała podłączenie różnych kart rozszerzeń (nie tylko graficznych).

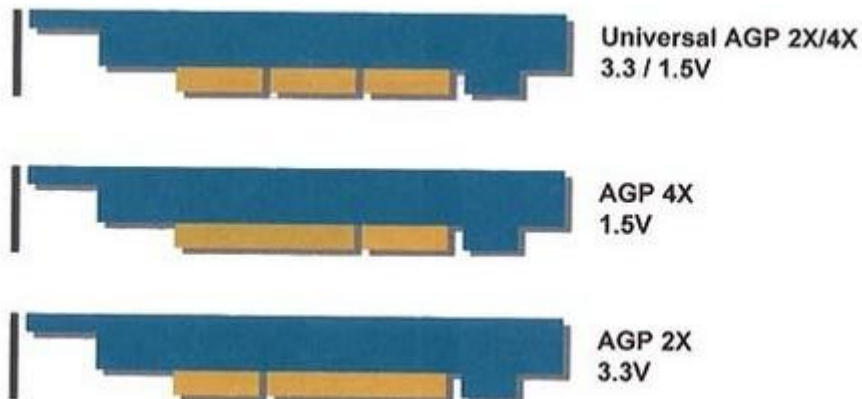
W systemie komputerowym magistrala PCI była umieszczana zaraz za magistralą procesora za pośrednictwem mostu PCI. Początkowo PCI-SIG założyła, że będzie to 32-bitowa, synchroniczna magistrala równoległa taktowana zegarem 33 MHz. Przewidziano także możliwość jej rozszerzenia do 64 bitów oraz zwiększenie częstotliwości do 66 MHz. Zaimplementowano w pełni funkcjonalny system konfiguracji automatycznej (ang. Plug & Play, PnP).



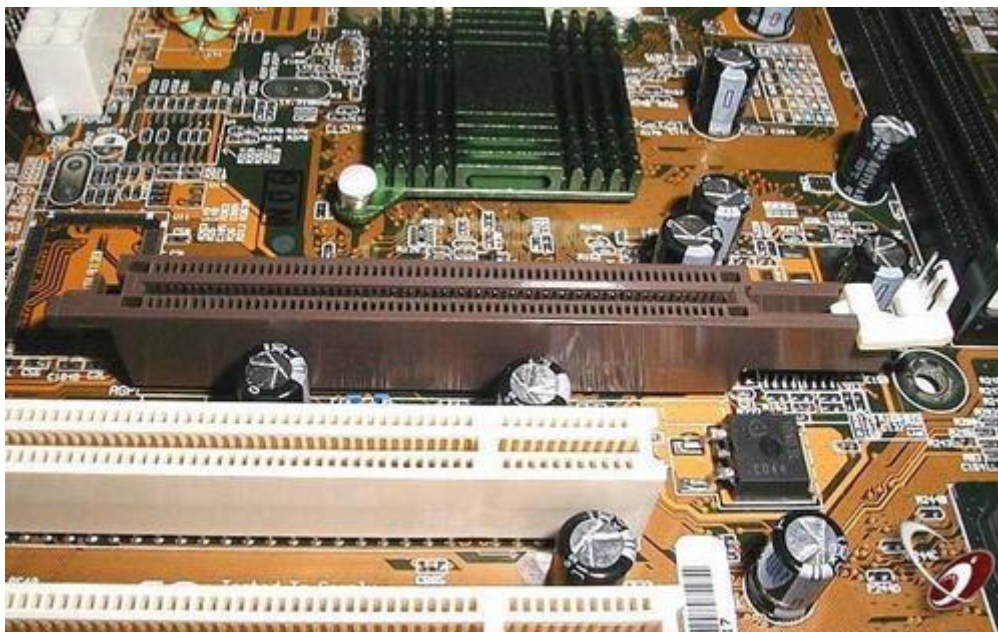
Po włożeniu nowej karty do gniazda rozszerzeń (ang. slot) parametry takie jak numery przerwań, adresy I/O itd. są przydzielane automatycznie. Dzięki PnP karty są pozbawione zworek i mikroprzełączników, konfiguracji dokonuje oprogramowanie. W tradycyjnych komputerach klasy PC jedyną dostępną wersją jest 32-bitowa magistrala PCI taktowana niezależnie od procesora zegarem 33 MHz o przepustowości 132 MB/s.

Wersje 64-bitowe PCI-X powstały w celu przystosowania magistrali do współpracy z serwerami, których magistrale danych mają szerokość 64 bitów. Najczęściej na bazie PCI-X budowane są karty dla Gigabit Ethernet, Fibre Channel oraz SCSI Ultra, czyli urządzenia wymagające dużej przepustowości. Obecnie odchodzi się od równoległej magistrali PCI — jej poszczególne zastosowania przejmuje nowa magistrala szeregowo PCI-Express.

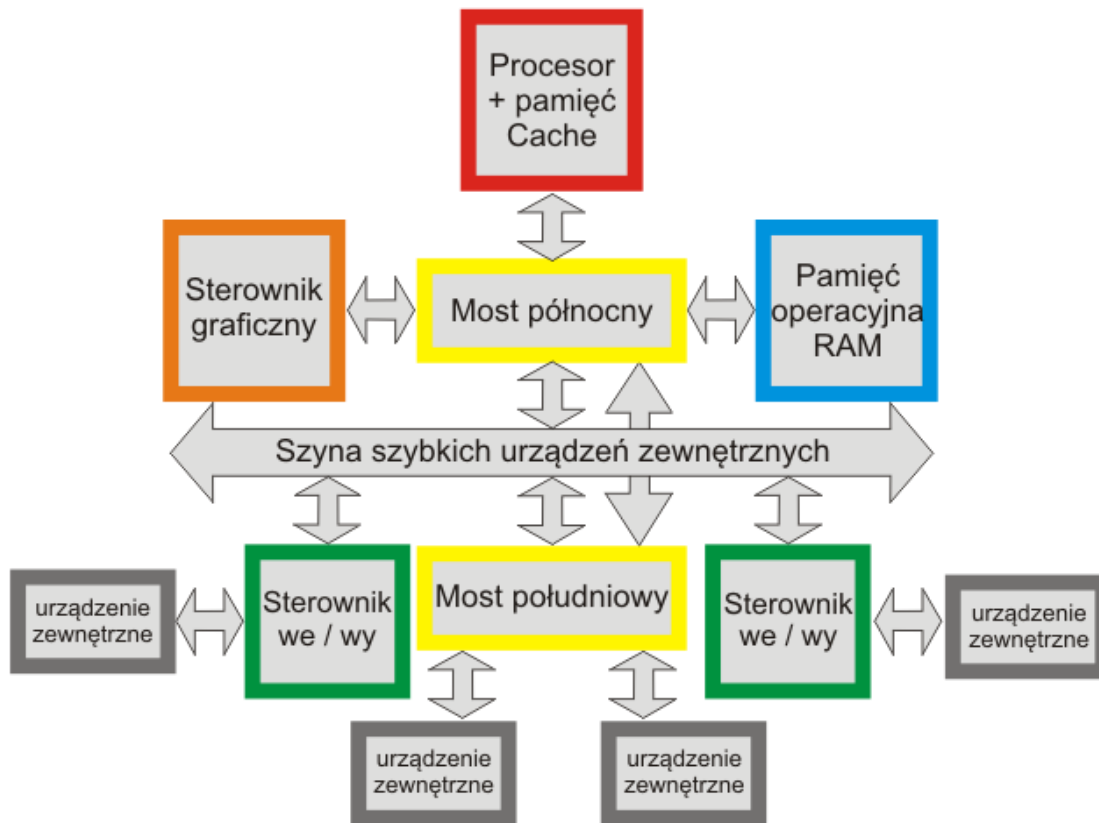
Magistrala AGP



Magistrala AGP (ang. Accelerated Graphics Port) to produkt firmy Intel. Punktem odniesienia dla jej twórców była magistrala PCI, jednakże Intel opracował rozwiązanie całkowicie niezależne. AGP to 32-bitowa magistrala równoległa taktowana zegarem 66 MHz (dwa razy szybciej niż magistrala PCI), zoptymalizowana pod kątem współpracy z kartami graficznymi. Magistrala jest wyposażona w jedno gniazdo rozszerzeń (dla karty graficznej) przesunięte w prawo (z perspektywy płyty) w stosunku do slotów magistrali PCI. Technologia AGP pozwala na dość wydajną wymianę danych między pamięcią operacyjną komputera a kartą graficzną.



Architektura z połączeniami punkt-punkt (2004)



Architektura z połączeniami punkt-punkt (2004) - cechy

- Nie ma szyny wolnych urządzeń wejścia-wyjścia, pozostała tylko szyna PCI.
- Część połączeń szynowych została zastąpiona połączeniami typu punkt-punkt, o dużo większej przepustowości:
 - procesor - most północny,
 - most północny - pamięć,
 - most północny – sterownik graficzny,
 - most północny – most południowy.
- Mostek północny zawiera sterownik pamięci.
- Mostek południowy nie pełni roli mostu pomiędzy szynami, lecz zawiera sterowniki większości niezbędnych w komputerze PC urządzeń zewnętrznych.

Ewolucja struktury komputera - 2005

Wzrost wydajności procesora zwiększa zapotrzebowanie na wymianę danych z pamięcią:

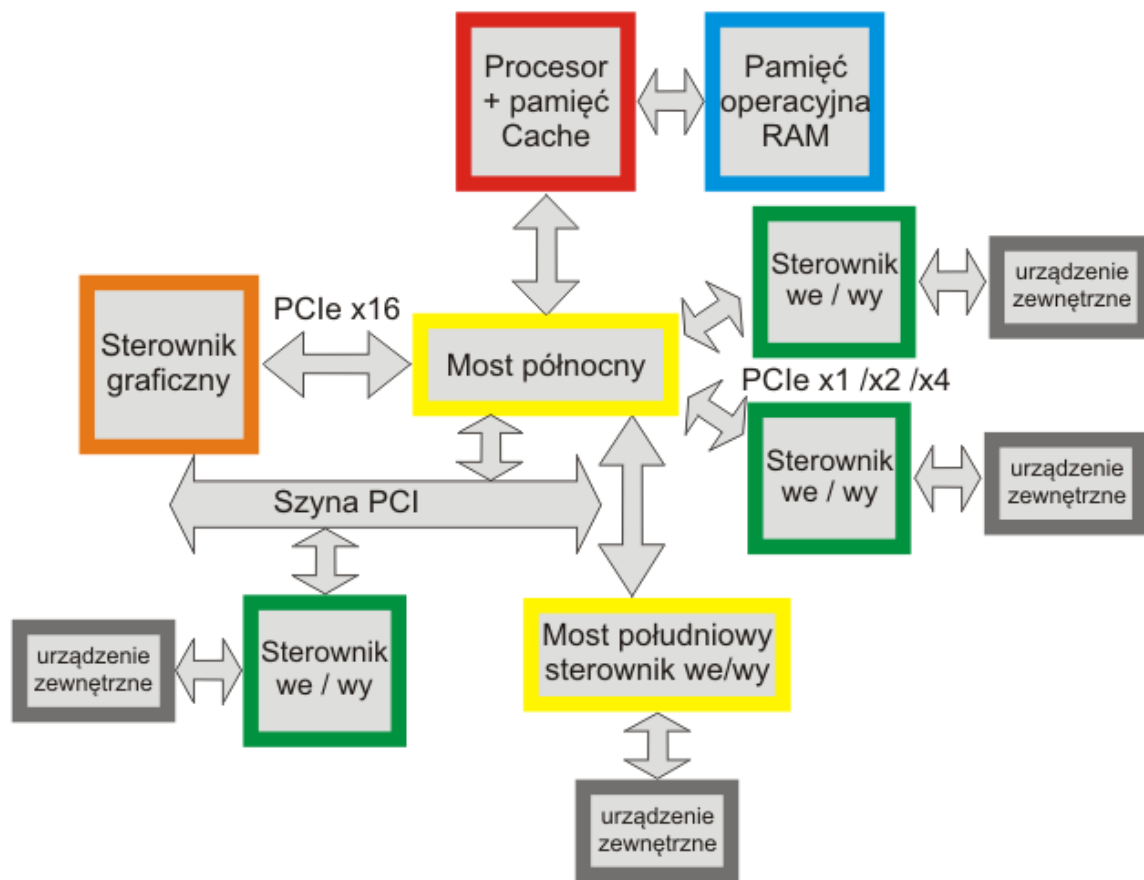
- dostęp do pamięci za pośrednictwem dodatkowych układów jest zbyt wolny,
- procesor powinien posiadać dedykowane łącze pamięci.

W komputerach wieloprocessorowych szyna jest zbyt wolna do łączenia procesorów – potrzebne są łącza międzyprocesorowe.

Wszystkie połączenia realizowane jako punkt-punkt.

- szyny urządzeń zewnętrznych zastąpione przez indywidualne łącza (np. PCI Express) o różnych przepustowościach, w zależności od potrzeb.

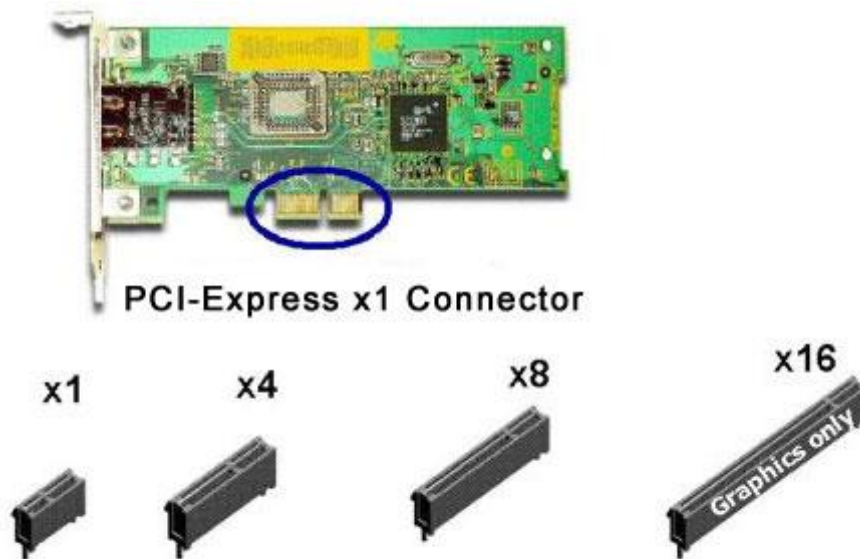
Architektura z połączeniami punkt-punkt (2006)



Architektura z połączeniami punkt-punkt (2006) - cechy

- Sterownik pamięci umieszczony jest w procesorze.
- Mostek północny wyposażony w indywidualne łącza dla sterowników urządzeń zewnętrznych, zrealizowane w standardzie PCI express.
- Mostek południowy jest zintegrowanym sterownikiem urządzeń zewnętrznych.
- Szyna PCI została zachowana w celu umożliwienia podłączenia starszych sterowników urządzeń (skazana na usunięcie podobnie jak kiedyś EISA).

Magistrala PCI Express



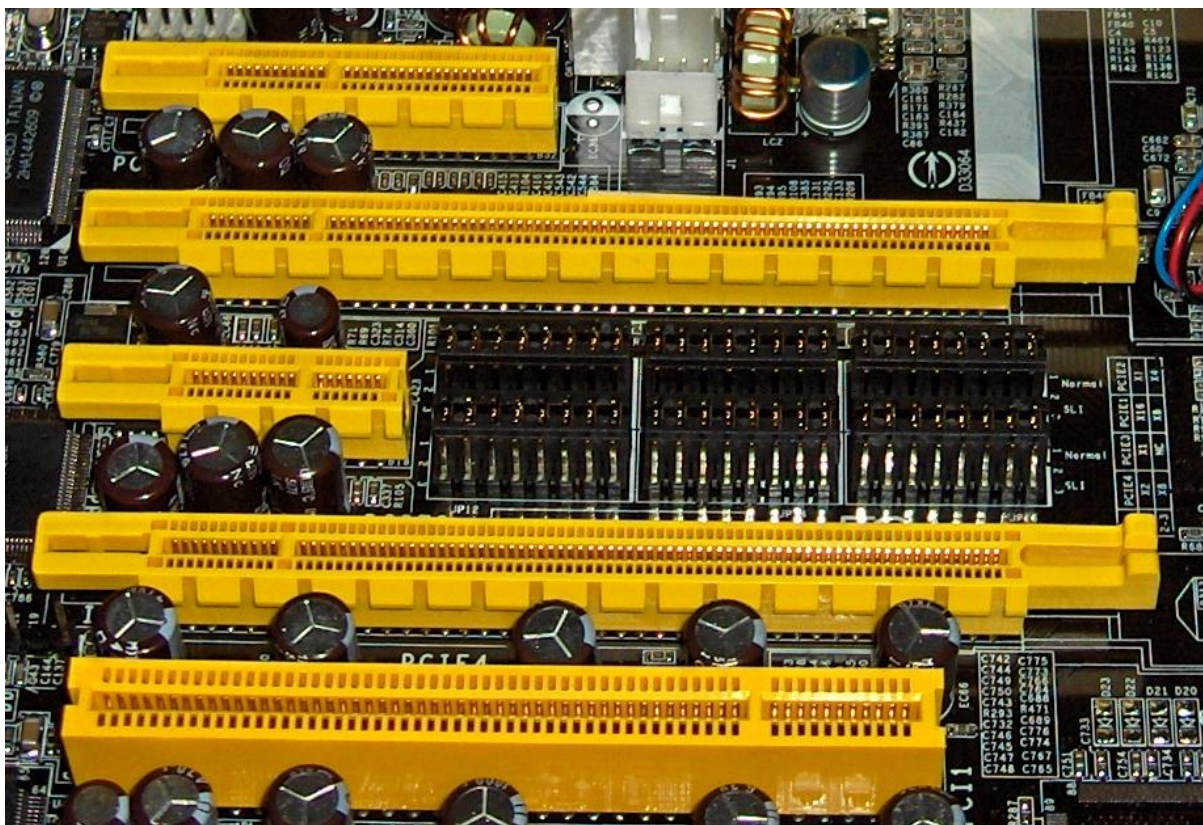
Types of PCI-Express connectors

Szeregowa magistrala PCI Express (PCI-E, PCIe) zastąpiła starsze równoległe standardy PCI i AGP. W pierwszej fazie rozwoju projekt funkcjonował pod nazwą 3GIO (ang. 3rd Generation I/O), jednak w 2001 roku prace nad nim przejęła organizacja PCI-SIG i ostatecznie zmieniono nazwę na PCI Express. Magistrala PCI-E jest szeregową magistralą lokalną działającą w trybie point to point (punkt-punkt — połączenie dwóch punktów), co wyklucza ją z grona typowych magistral. W klasycznym podejściu (np. PCI) wszystkie urządzenia współdzielą pasmo przenoszenia danych — im więcej komponentów podłączonych do szyny, tym bardziej spada ogólna prędkość transmisji. W technologii point to point każde urządzenie podłącza się bezpośrednio do kontrolera magistrali, co eliminuje potrzebę współdzielenia pasma.

PCI Express, PCIe, (ang. Peripheral Component Interconnect Express), – połączenie Point-to-Point, służące do instalacji kart rozszerzeń na płycie głównej. Zastąpiła ona magistrale PCI oraz AGP.

Warianty z 1, 2, 4, 8, 12, 16 lub 32 liniami. Wraz ze wzrostem liczby linii wydłużeniu ulega złącze, jego konstrukcja (poprzez wspólna część początkowa i jedynie dodawanie na końcu nowych linii) umożliwia działanie kart wolniejszych niż te, które maksymalnie obsługuje gniazdo. Sytuacja odwrotna (karta przygotowana na większą liczbę linii w gnieździe o mniejszej ich liczbie) może nie być możliwa (ze względu na ograniczenie przepustowości) lub wymagać fizycznej modyfikacji karty lub złącza.

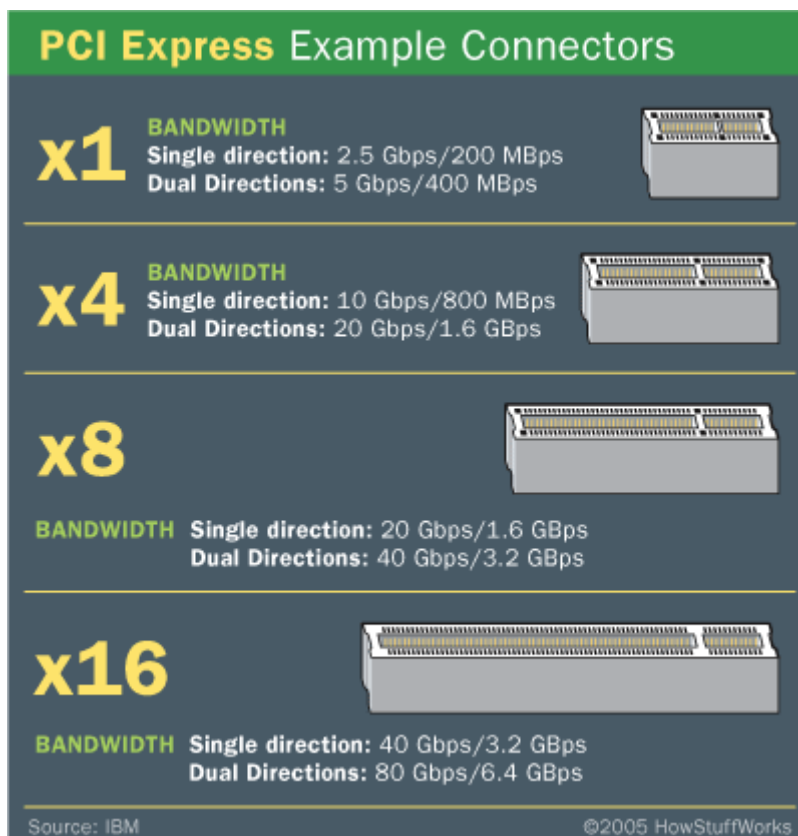
Gniazdo x1 ma 18 pinów z każdej strony, gniazdo x4 – 32, gniazdo x8 – 49, zaś gniazdo x16 – 82 piny z każdej strony.



Gniazda PCI-E od góry: x4, x16, x1 i x16 w porównaniu ze złączem PCI (na dole).



Karta graficzna przystosowana do pracy w porcie x16



Magistrala PCI-E wykorzystuje do przesyłania informacji dwie linie sygnałowe pracujące w trybie pełnego duplexu (ang. full-duplex). Jeden tor umożliwia transfer danych do 250 MB/s (w jedną stronę), a w wersji PCI-E 2.0 — do 500 MB/s. Tory są łączone w grupy po 4, 8, 16, 32. W zależności od zastosowanego wariantu zmienia się rozmiar złącza. Specyficzna budowa slotu umożliwia np. montaż kart x1 w złączu x4, x8, x16, co pozwala na poprawną pracę urządzenia, które wykorzystuje tylko 18 pinów (z obydwu stron) każdej z wersji gniazda PCIe. Karta x4 może zostać zainstalowana w złączu x8 i x16 itd. Najczęściej spotykanymi wersjami złącz PCI Express są sloty x1, x16, rzadziej x4 i x8. Złącze x16 jest montowane w miejscu slotu AGP i przeznaczone do kart graficznych; złącze x1 jest ulokowane w pobliżu wyprowadzeń magistrali PCI i docelowo ma ją zastąpić. Gniazdo x4 najczęściej wykorzystują wydajne gigabitowe karty sieciowe z przeznaczeniem do serwerów. Istnieją płyty główne wyposażone w dwa złącza x16 służące do pracy współbieżnej (SLI, CrossFire) — dwie karty graficzne działają jak jedna wydajna karta.

W 2007 roku PCI-SIG ogłosiła nowy standard PCI Express w wersji 2.0, w którym zwiększono częstotliwość pracy magistrali, dodano możliwość obsługi kart graficznych z poborem energii do 300 W oraz zaimplementowano wspomaganie wirtualizacji. Przepustowość w trybie x1 zwiększyła się do 500 MB/s, a w trybie x16 — do 8GB/s.

W roku 2011 wprowadzono na rynek nowy standard PCI Express w wersji 3.0, w którym zwiększono częstotliwość pracy magistrali, dodano możliwość obsługi kart graficznych

z poborem energii aż 300 W dla x1. Przepustowość w trybie x1 zwiększyła się do 1 GB/s, a w trybie x16 — do 16 GB/s.

Przepustowość PCI Express

Wariant PCIe		Przepustowość (w każdym kierunku)
x1	v1.0	250 MB/s
x2	v1.0	500 MB/s
x4	v1.0	1000 MB/s
x8	v1.0	2000 MB/s
x16	v1.0	4000 MB/s (4 GB/s)
x16	v2.0	8000 MB/s (8 GB/s)
x16	v3.0	16000 MB/s (16 GB/s)
x16	v4.0	32 GB/s
x16	v5.0	64 GB/s

sposoby kodowania 8b/10b, 128b/130b – możliwość korekcji błędów

Magistrale lokalne

Omówione poniżej trzy rodzaje magistral, swoje działanie opierają na zasadzie *magistrali lokalnej* (ang. *local bus*). W komputerach PC można się spotkać z trzema podstawowymi rodzajami magistral lokalnych:

- VL-Bus (VESA *local bus*),
- PCI,
- AGP.

Magistrala VESA

Magistrala VESA (ang. *Video Electronics Standards Association*) Local Bus okazała się najpopularniejszym typem magistrali lokalnej stosowanym w okresie od sierpnia 1992 r., gdy miała swoją premierę, do 1994 r. Standard VL-Bus został opracowany przez komitet VESA, organizację non-profit założoną przez firmę NEC. Jej zadaniem było opracowywanie nowych standardów magistral i kart graficznych. Firma NEC dokonała większości prac nad standardem VL-Bus (który tak później został nazwany), a następnie, po utworzeniu organizacji VESA, przekazała jej nadzór nad dalszymi rozwojem projektu. Początkowo nowa magistrala lokalna była opracowywana z myślą o współpracy z kartami graficznymi. W tym okresie zwiększenie wydajności podsystemu graficznego dla firmy NEC było sprawą najważniejszą, mającą pomóc w osiągnięciu lepszych wyników sprzedaży wysokiej jakości monitorów i komputerów PC przez nią produkowanych. Około roku 1991 wydajność kart graficznych w większości systemów PC okazała się prawdziwym "wąskim gardłem".

Magistrala VL-Bus pozwala jednocześnie przesyłać 32 bity danych, dzięki czemu możliwa jest komunikacja pomiędzy procesorem a kompatybilnym podsystemem graficznym lub dyskiem twardym odbywająca się przy wykorzystaniu pełnej 32-bitowej szyny danych procesora 486. Magistrala VL-Bus oferuje maksymalną przepustowość wynoszącą 133 MB/s. Mówiąc inaczej, nowa magistrala jest wynikiem długiej drogi, jaką trzeba było przejść, aby wyeliminować poważniejsze "wąskie gardła" występujące w poprzednich typach magistral.

Niestety, magistrala VL-Bus nie okazała się rozwiązaniem, które na dłużej pozostanie w użyciu. Jej projekt był wyjątkowo prosty. Polegał na przeniesieniu schematu końcówek procesora 486 do gniazda rozszerzeń magistrali. Wynika z tego, że magistrala VL-Bus tak naprawdę jest magistralą procesora 486. Dzięki temu, koszt jej wykonania był niewielki. Nie były wymagane żadne dodatkowe chipsety lub interfejsy. Producent płyt głównych klasy 486 mógł w prosty i tani sposób dodawać do nich gniazda magistrali VL-Bus.

Wraz z wprowadzeniem różnych kart wyposażonych w układy elektroniczne wykorzystujących kondensatory i w efekcie wprowadzające pojemności do obwodów zaczęły się pojawiać zakłócenia związane z ich taktowaniem. Ze względu na to, że magistrala VL-Bus pracowała z częstotliwością magistrali procesora, pojawienie się kolejnego szybszego procesora wiązało się z przyspieszeniem jego magistrali, co sprawiało, że utrzymanie pełnej kompatybilności obu magistral było zadaniem trudnym do wykonania. Chociaż magistrala VL-Bus mogła być przystosowana do współpracy z innymi procesorami, takimi jak 386 lub nawet Pentium, to jednak została zaprojektowana z myślą o układzie 486 i z nim działała najlepiej. Wkrótce po wprowadzeniu na rynek nowej magistrali PCI, pomimo niskiej ceny magistrala VL-Bus bardzo szybko popadła w niełaskę. Nigdy nie została zastosowana w systemach opartych na procesorze Pentium, natomiast jej dalszy rozwój był niewielki lub nawet żaden.

Magistrala PCI

Na początku roku 1992 firma Intel wyszła z inicjatywą utworzenia kolejnej organizacji zrzeszającej przedstawicieli przemysłu komputerowego. Nowa organizacja miała podobne założenia jak komitet VESA, ale dotyczyły one magistrali PCI. Powstanie organizacji PCI-SIG (ang. *PCI Special Interest Group*) wynikało z potrzeby opracowania nowej magistrali, która będzie pozbawiona wad swoich poprzedników ISA i EISA.

Odkąd w czerwcu 1992 r. pojawiła się specyfikacja standardu PCI w wersji 1.0, opracowano jej kilka aktualizacji. Umieszczenie kolejnej magistrali PCI pomiędzy procesorem a magistralą I/O wpłynęło na zmianę standardowej architektury magistral systemowych komputera PC, która wynikała z zastosowania mostków. Zamiast podłączać nową magistralę, charakteryzującą się, podobnie jak magistrala VL-Bus, specyficznymi wartościami taktowania, bezpośrednio do magistrali procesora, został opracowany zestaw nowych kontrolerów rozszerzających możliwości magistrali PCI.

Magistrala PCI pomija zwykłą magistralę I/O, natomiast w celu zwiększenia własnej częstotliwości pracy i pełnego wykorzystania możliwości magistrali danych procesora komunikuje się z magistralą systemową. Systemy wyposażone w magistralę PCI pojawiły się w połowie 1993 r. i od tego czasu stanowią jeden z filarów komputera osobistego.

Zazwyczaj magistrala PCI taktowana zegarem 33 MHz przesyła jednocześnie 32 bity danych. Oferuje przepustowość wynoszącą 133 MB/s.

Aktualnie 64-bitowa wersja magistrali PCI taktowana zegarem 66 lub 133 MHz jest stosowana tylko w serwerach lub bardziej zaawansowanych stacjach roboczych. Magistrala PCI charakteryzująca się zwiększoną wydajnością, może pracować z szybkością oferowaną przez magistralę procesora, ale nie oznacza to, że ją zastąpi. Obecność obu magistral pozwala przykładowo na to, aby procesor w czasie, gdy magistrala PCI jest zajęta przesyłaniem danych pomiędzy innymi komponentami systemu, mógł przetwarzać dane znajdujące się w zewnętrznej pamięci podręcznej. Jest to jedna z podstawowych zalet wynikających z zastosowania magistrali PCI.

W specyfikacji standardu PCI określono trzy różne konfiguracje gniazd, z których każde zostało przewidziane do zastosowania w systemie dysponującym określonymi parametrami zasilania. W każdym wariantcie uwzględniono zarówno wersję 32-bitową, jak i dłuższą 64-bitową. Pierwszy wariant konfiguracji dotyczy gniazda zasilanego napięciem 5 V przeznaczonym dla komputerów stacjonarnych, drugi gniazda zasilanego napięciem 3,3 V i stosowanym w komputerach przenośnych, natomiast trzeci ma charakter uniwersalny przystosowany do współpracy z systemami obu typów. Gniazda PCI w wersji 64-bitowej zasilanej napięciem 5 V oraz w wersji uniwersalnej spotykane są głównie na płytach głównych serwerów.

Kolejna znacząca korzyść wynikająca z zastosowania magistrali PCI jest związana z tym, że posłużyła za wzorzec przy opracowywaniu specyfikacji Intel **PnP**. W związku z tym, karty PCI są pozbawione zworek i przełączników, a ich konfiguracja jest wykonywana za pomocą oprogramowania. Prawdziwe systemy **PnP** potrafią dokonać automatycznej konfiguracji zainstalowanych kart. W przypadku komputerów pozbawionych funkcji **PnP** i wyposażonych w karty ISA, w celu ustawienia ich parametrów konieczne jest zastosowanie programu, który zazwyczaj stanowi część narzędzia konfiguracyjnego CMOS. Pod koniec roku 1995, większość systemów kompatybilnych z komputerem IBM PC była wyposażona w BIOS **PnP** pozwalający na automatyczną konfigurację urządzeń **PnP**.

Magistrala PCI Express

W 2001 r. grupa firm działających pod nazwą Arapahoe Work Group (wśród których główną rolę odgrywała firma Intel) opracowała wstępną wersję specyfikacji bardzo szybkiej magistrali o nazwie kodowej 3GIO (ang. **third-generation I/O**). W sierpniu 2001 r. organizacja PCI-SIG (ang. **PCI Special Interest Group**) wyraziła zgodę na przejęcie, nadzorowanie i promowanie specyfikacji dotyczącej architektury 3GIO, która miała zastąpić standard PCI. W kwietniu 2002 r. ukończono wstępną wersję 1.0 specyfikacji 3GIO i zmieniono jej nazwę na PCI Express.

Pierwotna nazwa kodowa specyfikacji 3GIO nowej magistrali wynikała stąd, że początkowo miała ona być dodatkiem do już istniejących magistrali ISA/AT-Bus (pierwsza generacja) i PCI (druga generacja), a ostatecznie miałyby je zastąpić. W trakcie projektowania dwóch pierwszych generacji architektur magistral stosowanych w komputerach PC określono czas ich żywotności na okres od 10 do 15 lat. Po przejęciu przez organizację PCI-SIG specyfikacji nowej magistrali PCI Express zostanie ona przygotowana do tego, aby stać się dominującą na rynku architekturą, która będzie w stanie spełnić wymagania związane z coraz większą przepustowością i pozostanie obecna w komputerach PC przez następne 10-15 lat.

Do podstawowych właściwości magistrali PCI Express należy zaliczyć:

- kompatybilność z już istniejącymi wersjami standardu PCI oraz sterownikami urządzeń,
- możliwość współpracy z różnymi fizycznymi nośnikami danych (miedzianymi, optycznymi) pozwalająca na implementację przyszłych układów taktujących,
- jak największa przepustowość (w przeliczeniu na jedną końcówkę) pozwalająca na zastosowanie mniejszych formatów, obniżenie kosztów, uproszczenie budowy kart i ścieżek sygnałowych oraz wyeliminowanie problemów związanych z obniżoną integralnością sygnału,
- wbudowany układ taktujący, który pozwala na prostszą w porównaniu z taktowaniem synchronicznym modyfikację częstotliwości (szybkości),
- uproszczone zwiększanie przepustowości (pasma) wraz ze wzrostem częstotliwości i szerokości szyny,
- zmniejszone opóźnienie mające szczególne znaczenie w przypadku aplikacji przesyłających obraz wideo w trybie strumieniowym wymagających izochronicznego przesyłania danych,
- funkcje **hot-plug** i
- hot-swap,
- funkcje zarządzania energią.

Magistrala PCI Express jest kolejnym przykładem przejścia z interfejsów równoległych na szeregowy. W przypadku starszych architektur magistral stosowanych w komputerach PC opierano się na interfejsie równoległym, który charakteryzuje się tym, że wiele bitów jest jednocześnie przesyłanych przez kilka równoległych linii. Im więcej jednocześnie przesłanych bitów, tym większa przepustowość magistrali. Taktowanie wszystkich zrównoległonych sygnałów musi być identyczne, co w przypadku coraz szybszych i dłuższych połączeń staje się coraz trudniejsze do wykonania.

Magistrala oparta na interfejsie szeregowym jest o wiele prostsza. Jej działanie polega na jednoczesnym przesłaniu za pomocą jednej linii 1 bitu. Operacja jest wykonywana ze znacznie większą szybkością, która jest niemożliwa do osiągnięcia w przypadku interfejsu równoległego. Dzięki szeregowemu przesyłaniu bitów, taktowanie kolejnych wartości lub długość magistrali nie mają już takiego znaczenia. Poprzez połączenie wielu linii szeregowych możliwe jest uzyskanie przepustowości, która w znaczący sposób przerasta możliwości typowych magistral równoległych.

PCI Express jest bardzo szybką magistralą szeregową, która dodatkowo jest kompatybilna wstecz ze sterownikami aktualnie stosowanej magistrali równoległej PCI. W przypadku magistrali PCI Express dane są przesyłane w trybie pełnego duplexu (dane przesyłane jednocześnie jednokierunkowymi liniami) dwuparowymi kablami (zasilanymi różnymi napięciami) określanymi mianem torów. Tor oferuje początkową przepustowość 250 MB/s w każdym kierunku. Istnieje możliwość łączenia ze sobą kilku torów w grupy liczące 2, 4, 8, 16 lub 32. Przykładowo, konfiguracja o dużej wydajności licząca 8 torów umożliwia jednoczesne przesłanie w obu kierunkach danych odpowiadających maksymalnej przepustowości 2000 MB/s (w jedną stronę). Aby uzyskać taką przepustowość, wystarczy załadować 40 końcówek (32 dla danych i 8 sterujących). Magistrala PCI Express wykorzystuje opracowany przez firmę IBM schemat kodowania 8-bitów na 10-bitów. Umożliwia on przesyłanie sygnałów, które same określają taktowanie, dzięki czemu w przyszłości znacznie łatwiejsze będzie zwiększanie częstotliwości magistrali PCI Express. Początkowa wartość częstotliwości została ustalona na 2,5 GHz, ale w specyfikacji przewidziano jej zwiększenie w przyszłości do maksymalnie 10 GHz, co jest bliskie ograniczeniom technologii opartej na połączeniach wykonanych z miedzi. Wskutek połączenia możliwości zwiększania częstotliwości z użyciem maksymalnie 32 torów, magistrala PCI Express będzie w stanie osiągać w przyszłości przepustowość rzędu 32 GB/s.

Magistrala PCI Express jest projektowana jako uzupełnienie i ostatecznie następca aktualnie wykorzystywanych magistral stosowanych w komputerach PC. Jej użycie nie ograniczy się tylko do roli dodatku do magistrali PCI (i ostatecznie następcy), ale również zastąpi obecnie wykorzystywane interfejsy Intel Hub lub AMD Hypertransport łączące elementy składowe chipsetu płyty głównej. Ponadto magistrala PCI Express zastąpi interfejsy graficzne takie jak AGP i będzie pełnić funkcję magistrali współpracującej z innymi interfejsami takimi jak Serial ATA, USB 2.0, 1394b (FireWire lub iLink) oraz Gigabit Ethernet.

Magistrala AGP (Accelerated Graphics Port)

Firma Intel opracowała magistralę AGP jako rozwiązanie przeznaczone do współpracy z bardzo szybkimi kartami graficznymi. Magistrala AGP wzorowana jest na magistrali PCI, ale zawiera kilka dodatków i ulepszeń. Ponadto, pod względem budowy, zastosowanej elektroniki i logicznej architektury jest zupełnie niezależna od magistrali PCI. Gniazdo AGP jest podobne do gniazda PCI, ale jest również wyposażone w dodatkowe końcówki. Poza tym gniazdo AGP inaczej jest usytuowane na płycie głównej. W przeciwieństwie do magistrali PCI, która zawiera kilka gniazd, magistrala AGP dysponuje tylko jednym bardzo wydajnym gniazdem umożliwiającym instalację wyłącznie karty graficznej. Ograniczenie to wynika z faktu, że w systemie może być zainstalowana tylko jedna taka karta. W lipcu 1996 r. firma Intel opracowała pierwszą wersję specyfikacji AGP 1.0, w której określiła magistralę pracującą z częstotliwością 66 MHz i dysponującą trybem x1 i x2. Magistrala AGP była zasilana napięciem 3,3 V. W maju 1998 r. pojawiła się wersja 2.0, w której dodano możliwość pracy magistrali w trybie x4 zasilanej napięciem 1,5 V.

W sierpniu 1998 r. została opracowana nowsza wersja specyfikacji AGP Pro 1.0, a następnie dokonano jej modyfikacji i w kwietniu 1999 r. pojawiła się wersja 1.1a. Nowa wersja specyfikacji definiuje trochę dłuższe gniazdo poszerzone o dodatkowe końcówki zasilające umieszczone po obu jej końcach. Ich zadanie polegało na obsłudze większych i szybszych kart AGP zużywających od ponad 25 do maksymalnie 110 W energii. Karty AGP Pro najprawdopodobniej będą wykorzystywane w zaawansowanych stacjach graficznych i raczej nie będą stosowane w typowych komputerach PC. Niezależnie od tego, gniazda AGP Pro są kompatybilne wstecz, co oznacza, że umożliwiają instalację standardowych kart AGP. W związku z tym kilku producentów płyt głównych wyposaża swoje najnowsze modele zamiast gniazd AGP x4 w gniazda AGP Pro. Ze względu na to, że gniazda AGP Pro są dłuższe, instalowane w nich karty AGP x1/x2 mogą być nieprawidłowo zamontowane, co w efekcie może doprowadzić do ich uszkodzenia. Z tego też powodu niektórzy producenci płyt głównych umieszczają z tylnej strony gniazda AGP Pro osłonę, która powinna być zdejmowana tylko wtedy, gdy zaistnieje potrzeba instalacji karty AGP Pro.

Najnowsza wersja 3.0 specyfikacji standardu AGP przeznaczonego dla komputerów PC określa tryb AGP x8. AGP x8 pozwala na osiągnięcie przepustowości 2133 MB/s, która dwukrotnie przewyższa możliwości trybu AGP x4. Specyfikacja AGP x8 po raz pierwszy została oficjalnie zaprezentowana w listopadzie 2000 r.

AGP jest bardzo szybką magistralą pracującą z częstotliwością 66 MHz (dokładnie 66,66 MHz), czyli dwukrotnie wyższą niż w przypadku magistrali PCI. Magistrala AGP oferująca tryb podstawowy x1 w ciągu jednego cyklu wykonuje pojedynczą operację przesłania danych. Szerokość magistrali AGP wynosząca 32-bity (4 bajty) i częstotliwość 66 MHz (66 miliony razy na sekundę) pozwala na przesyłanie danych przy przepustowości około 266 MB/s! W oryginalnej wersji specyfikacji standardu AGP określono również tryb x2, który charakteryzuje się tym, że w każdym cyklu są wykonywane dwie operacje przesłania danych, co odpowiada przepustowości 533 MB/s. Początkowo większość pierwszych kart AGP pracowała tylko w trybie x1, ale dość szybko wiele firm rozpoczęło produkcję kart kompatybilnych z trybem x2. W nowszej specyfikacji AGP 2.0 dodano możliwość pracy w trybie x4, który pozwala na przesyłanie danych cztery razy w ciągu cyklu, co odpowiada przepustowości 1066 MB/s. Większość obecnie dostępnych kart AGP obsługuje tryb x4, który jest traktowany jako absolutne minimum. Ponieważ magistrala AGP działa niezależnie od magistrali PCI, dzięki zastosowaniu karty graficznej AGP magistrala PCI jest odciążona

i efektywniej obsługuje inne urządzenia wejścia-wyjścia, takie jak kontrolery IDE/ATA lub SCSI, kontrolery USB, karty dźwiękowe itp.

Poza wyższą wydajnością kart graficznych, jednym z podstawowych powodów, dla których firma Intel opracowała standard AGP, było utworzenie bezpośredniego szybkiego połączenia karty graficznej z pamięcią RAM, które umożliwiłoby uzyskanie wystarczająco szybkiego i wydajnego podsystemu graficznego charakteryzującego się niższymi kosztami integracji. Magistrala AGP pozwala karcie graficznej na uzyskanie bezpośredniego dostępu do pamięci operacyjnej. Dzięki temu możliwe jest umieszczenie tańszych układów graficznych bezpośrednio na płycie głównej bez konieczności wyposażania ich w dodatkową pamięć RAM lub pozwolenie karcie AGP na korzystanie z podstawowej pamięci operacyjnej. Bardzo wydajne karty graficzne prawdopodobnie w dalszym ciągu będą wyposażane w coraz większą ilość bezpośrednio zintegrowanej pamięci, co ma szczególne znaczenie w przypadku wykorzystywania aplikacji przetwarzających grafikę trójwymiarową wymagających dużej wydajności.