

# Urządzenia wej.-wyj.

## Rodzaje urządzeń wejścia-wyjścia (ang. IO devices)

- ☼ Urządzenia składowania danych (dyski, dyskietki, taśmy, CD ROM, DVD itp.)
- ☼ Urządzenia transmisji danych (karty sieciowe, modemy)
- ☼ Urządzenia do komunikacji z człowiekiem (monitory, projektor, klawiatury, myszy, drukarki, skanery, kamery itp.)
- ☼ Urządzenia specjalizowane
  - układy sterowania (np. elektroniką, samolotem, systemem obrony antyrakietowej itd.)
  - kasy i drukarki fiskalne itp.
  - urządzenia medyczne

## Plan (1)

1. Rodzaje urządzeń wejścia-wyjścia
2. Struktura mechanizmu wejścia-wyjścia
  - a) sterownik urządzenia
  - b) moduł sterujący
  - c) podsystem wejścia-wyjścia
3. Miejsce urządzeń wejścia-wyjścia w architekturze systemu komputerowego
  - a) odwzorowanie w przestrzeni adresowej wejścia-wyjścia
  - b) odwzorowanie w przestrzeni adresowej pamięci

## Właściwości urządzeń wejścia-wyjścia (1)

- ☼ Tryb transmisji danych:
  - znakowy — urządzenie przysyła dane bajt po bajcie (ang. character-stream device)
  - blokowy — dane przysyłane są w blokach (np. po 512 bajtów)
- ☼ Sposób dostępu do danych:
  - sekwencyjny — urządzenie przysyła dane w określonym porządku, zależnym od samego urządzenia (np. karta sieciowa)
  - swobodny — możliwy jest wpływ na wybór danych do przysyłania przez urządzenie (np. dysk)

## Plan (2)

4. Interakcja z urządzeniem wejścia-wyjścia
  - a) odpytywanie (ang. polling)
  - b) przerwania (ang. interrupts)
  - c) bezpośredni dostęp do pamięci (ang. direct memory access)
5. Buforowanie i spooling
6. Urządzenia pamięci masowej
7. Wirtualne wejście-wyjście

## Właściwości urządzeń wejścia-wyjścia (2)

- ☼ Tryb pracy urządzenia:
  - synchroniczny — dane zostaną przekazane w znanym z góry (przewidywalnym) czasie (np. dysk)
  - asynchroniczny — dane mogą zostać przesłane w dowolnym, trudnym do przewidzenia, momencie (np. klawiatura, karta sieciowa)
- ☼ Tryb współdzielenia:
  - wyłączny — niemożliwe jest współbieżne używanie urządzenia przez wiele procesów (np. drukarka)
  - współdzielony — dopuszczalne jest współbieżne używanie urządzenia przez wiele procesów (np. dysk)

## Właściwości urządzeń wejścia-wyjścia (3)

- ✿ Szybkość działania (transmisji)
  - od bardzo wolnych (np. drukarka)
  - do bardzo szybkich (np. dysk)
- ✿ Kierunek przekazywania danych
  - urządzenia wejścia i wyjścia — możliwość zarówno zapisu jak i odczytu (np. dysk, karta sieciowa)
  - urządzenia wejścia — tylko możliwość odczytu z urządzenia (np. klawiatura)
  - urządzenia wyjścia — tylko możliwość zapisu (np. drukarka)

## Moduł sterujący (ang. device driver)

- ✿ Dostarczanie jednolitego (wspólnego dla pewnej grupy urządzeń) interfejsu dostępu, czyli pewnego standardowego zbioru operacji na danym urządzeniu (ukrywanie sprzętowych szczegółów realizacji danego urządzenia przed podsystemem wejścia-wyjścia).
- ✿ Kontrola realizacji operacji na urządzeniu
- ✿ Moduły dostarczane są dla typowych systemów operacyjnych (Windows 95/98, Windows NT, Solaris, Linux) przez wytwórców urządzeń zewnętrznych.

## Struktura mechanizmu wejścia-wyjścia



## Sterownik portu (adapter)

	zajętość	gotowość
bezczynność	0	0
zakończenie	0	1
praca	1	0
(stan przejści.)	1	1

... zajętość gotowość kod błędu ...



## Podsystem wejścia-wyjścia (ang. I/O subsystem)

- ✿ Dostarczanie aplikacji interfejsu funkcji (API) umożliwiających wykonywanie operacji wejścia-wyjścia w sposób jednolity, niezależny od urządzenia lub grupy, do której należy urządzenie.
- ✿ Typowy interfejs obejmuje funkcje:
  - **read** — odczyt z urządzenia (pobieranie danych)
  - **write** — zapis do urządzenia (wysyłanie danych)

## Typowe rejestry sterownika portu (adaptera)

- ✿ rejestr stanu (ang. status register) — zawiera bity wskazujące na stan portu (np. zakończenie polecenia, dostępność bajtu, błąd urządzenia itp.), może być czytany przez procesor
- ✿ rejestr sterowania (ang. control register, command register) — zawiera bity definiujące tryb pracy urządzenia lub umożliwiające rozpoczęcie realizacji polecenia, jest najczęściej zapisywany przez procesor
- ✿ rejestr danych wejściowych (ang. data-in register) — jest czytany przez procesor w celu odbioru danych z urządzenia
- ✿ rejestr danych wyjściowych (ang. data-out register) — jest zapisywany przez procesor w celu wysłania danych do urządzenia

## Miejsce urządzeń wejścia-wyjścia w architekturze systemu komputerowego

- Odzworowanie w przestrzeni adresowej wejścia-wyjścia (tzw. izolowane wejście-wyjście) — rejestry sterownika widoczne są w przestrzeni adresowej wejścia-wyjścia systemu komputerowego i dostępne są przez specjalne rozkazy (np. in i out w procesorach Intel'a).
- Odzworowanie w przestrzeni adresowej pamięci — rejestry sterownika widoczne w przestrzeni adresowej pamięci fizycznej i dostępne są pod odpowiednimi adresami tak samo, jak inne komórki pamięci.

Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

13

## Interakcja jednostki centralnej ze sterownikiem urządzenia wejścia-wyjścia

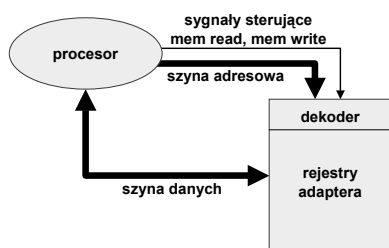
- Odpytywanie (ang. polling) — procesor co jakiś czas (w szczególności bez przerwy) wykonuje rozkaz odczytu odpowiedniego rejestru sterownika, sprawdzając jego stan.
- Sterowanie przerwaniem (ang. interrupt-driven I/O) — procesor inicjalizuje pracę sterownika a o jej zakończeniu lub zaistnieniu określonego stanu informowany jest przez przerwanie, które zgłasza sterownik.
- Bezpośredni dostęp do pamięci (ang. direct memory access) — zadanie przekazywania danych pomiędzy sterownikiem a pamięcią spada na specjalizowany układ (DMA), który wykonuje swoje zadanie bez angażowania procesora.

Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

16

## Odzworowanie w przestrzeni pamięci



Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

14

## Odpytywanie

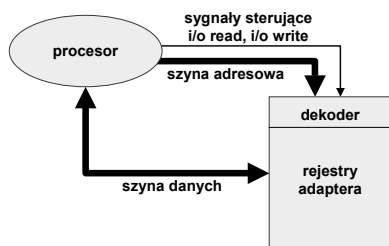


Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

17

## Odzworowanie w przestrzeni wejścia-wyjścia

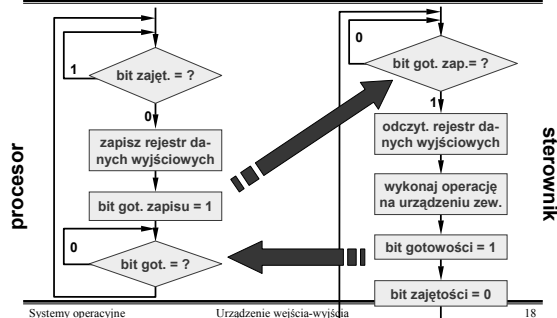


Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

15

## Interakcja procesor — sterownik w oper. wyjścia w trybie odpytywania

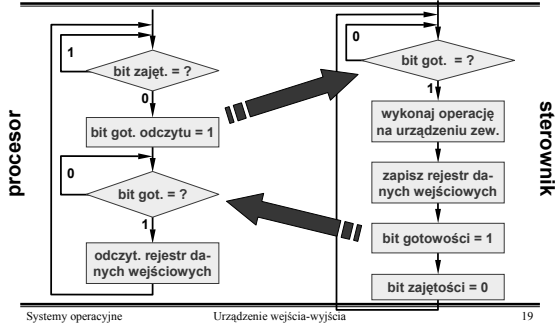


Systemy operacyjne

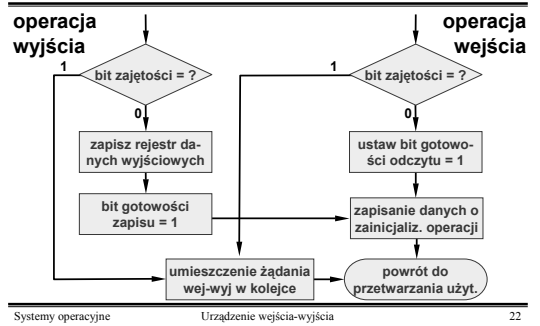
Urządzenie wejścia-wyjścia

18

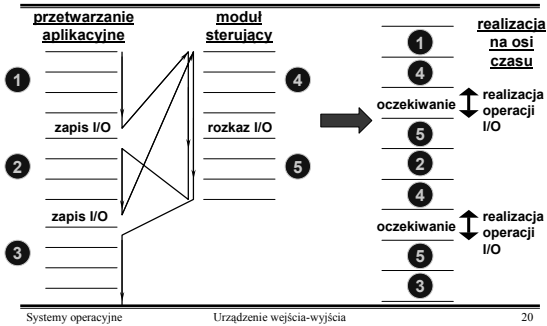
## Interakcja procesor – sterownik w oper. wejścia w trybie odpytywania



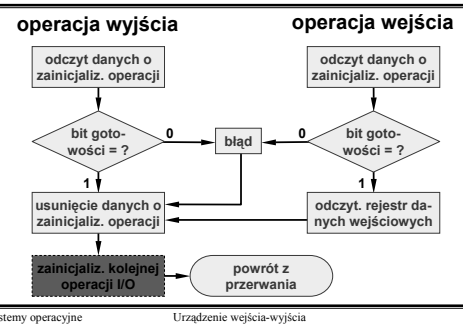
## Sterowanie przerwaniami – inicjalizacja operacji



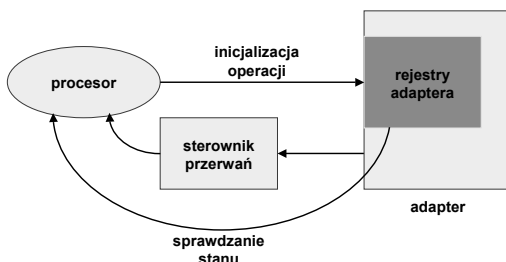
## Odpytywanie – przepływ sterowania



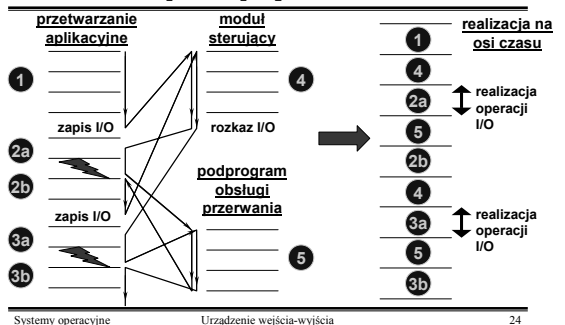
## Sterowanie przerwaniami – obsługa przerwania



## Sterowanie przerwaniami



## Sterowanie przerwaniami – przepływ sterowania



## Obsługa przerwania wielokrotnych

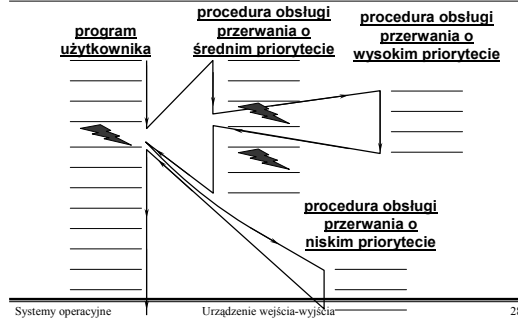
- Problem przerwania wielokrotnych polega na zgłoszeniu kolejnego przerwania w czasie obsługi innego przerwania.
- Podejścia do obsługi przerwania wielokrotnych:
  - obsługa sekwencyjna — kolejne przerwanie (zgłoszone podczas obsługi) obsługiwane jest po zakończeniu obsługi bieżącego,
  - obsługa zagnieżdżona — po zgłoszeniu nowego przerwania obsługa bieżącego jest zawieszana i kontynuowana po obsłudze przerwania nowo zgłoszonego,
  - obsługa priorytetowa — zawieszenie obsługi bieżącego przerwania następuje tylko wówczas, gdy nowo zgłoszone przerwanie ma wyższy priorytet, w przeciwnym razie obsługa następuje po obsłudze wszystkich zgłoszonych przerwania o wyższym prioryecie

Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

25

## Priorytetowa obsługa przerwania — przepływ sterowania

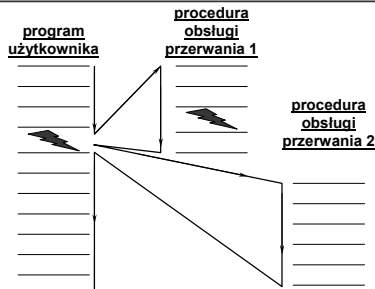


Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

28

## Sekwencyjna obsługa przerwania — przepływ sterowania



Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

26

## Problemy współbieżnej obsługi wielu urządzeń

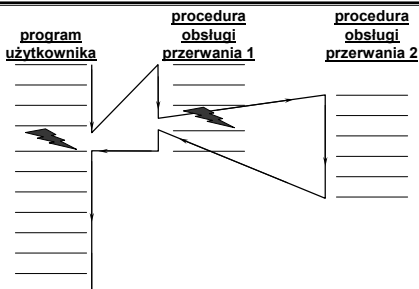
- Problem identyfikacji źródła przerwania — zidentyfikowanie urządzenia, które poprzez zgłoszenie przerwania wymusiło przekazanie sterowania do procedury obsługi przerwania.
- Problem priorytetów — zagwarantowanie określonej kolejności wyboru urządzeń w przypadku deklaracji gotowości kilku z nich w tym samym czasie.

Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

29

## Zagnieżdżona obsługa przerwania — przepływ sterowania



Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

27

## Sposoby identyfikacji źródła przerwania (1)

- Wiele linii przerwania — doprowadzenie do procesora osobnej linii przerwania dla każdego urządzenia i przygotowanie osobnej procedury obsługi przerwania dla każdej linii.
- Odpytywanie programowe — odczyt rejestru stanu i sprawdzanie bitu gotowości każdego urządzenia, które mogło potencjalnie zgłosić przerwanie.

Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

30

## Sposoby identyfikacji źródła przerwania (2)

- ☼ Odpytywanie sprzętowe — wysłanie sygnału potwierdzającego otrzymanie sygnału przerwania propagowanego łańcuchowo przez urządzenia aż do napotkania tego, które zgłosiło przerwanie i które w odpowiedzi wystawi odpowiedni wektor na magistralę.
- ☼ Arbitraż na magistrali — uzyskanie przed zgłoszeniem przerwania wyłączności dostępu do magistrali i wystawienie odpowiedniego wektora.

## Efektywność interakcji w trybie ster. przerwaniem

- ☼  $T_h$  — skumulowany czas obsługi przerw
- ☼  $T_b$  — skumulowany czas oczekiwania na zwolnienie urządzenia
- ☼  $T_r$  — skumulowany czas oczekiwania na przydział procesora po zakończeniu operacji wejścia-wyjścia
- ☼ Narzut czasowy:  

$$T_o = T_h + T_b + T_r$$

## Efektywność interakcji CPU ze sterownikiem — oznaczenia

- ☼  $T_c$  — czas przetwarzania (obliczeń) przez CPU
- ☼  $T_d$  — czas realizacji operacji wejścia-wyjścia przez sterowniki urządzeń
- ☼  $T_o$  — skumulowany narzut czasowy wynikający ze zwłoki czasowej pomiędzy zgłoszeniem gotowości przez sterownik, a reakcją przez procesor
- ☼  $T_t$  — czas cyklu przetwarzania (całkowity czas realizacji przetwarzania)  

$$T_t = T_c + T_d + T_o$$

## Porównanie efektywności przetwarzania

- ☼  $T_p < T_h + T_b + T_r$
- ☼ Z punktu widzenia pojedynczego procesu odpytywanie zapewnia większą efektywność
- ☼ Podobnie, w systemie jednozadaniowym odpytywanie zapewnia większą efektywność nawet przy założeniu, że  $T_r = 0$  i  $T_b = 0$

## Efektywność interakcji w trybie odpytywania

- ☼  $T_p$  — skumulowane opóźnienie w pętli odpytywania pomiędzy ustawieniem bitu gotowości, a odczytaniem rejestru stanu
- ☼ Narzut czasowy:  

$$T_o = T_p$$

## Porównanie efektywności w systemie wielozadaniowym (1)

- ☼ Rozważmy współbieżnie procesy  $P_1, \dots, P_n$
- ☼ Oznaczmy parametry czasowe procesu  $P_i$  przez  $T_{t,i}$ ,  $T_{d,i}$ ,  $T_{c,i}$ ,  $T_{p,i}$ ,  $T_{h,i}$ ,  $T_{b,i}$  i  $T_{r,i}$
- ☼ Całkowity czas przetwarzania w trybie odpytywania:

$$\sum_{i=1}^n T_{t,i} = \sum_{i=1}^n T_{c,i} + \sum_{i=1}^n T_{d,i} + \sum_{i=1}^n T_{p,i}$$

## Porównanie efektywności w systemie wielozadaniowym (2)

- Całkowity czas przetwarzania w trybie sterowania przerwaniem w wariancie optymistycznym przy założeniu, że

$$\sum_{i=1}^n T_{c,i} \geq \sum_{i=1}^n T_{d,i}$$

$$\sum_{i=1}^n T_{c,i} + \sum_{i=1}^n T_{h,i}$$

## Porównanie efektywności w systemie wielozadaniowym (5)

- Ogólna efektywność przetwarzania w trybie sterowania przerwaniem w wariancie pesymistycznym jest większa w porównaniu z trybem odpytywania wówczas, gdy

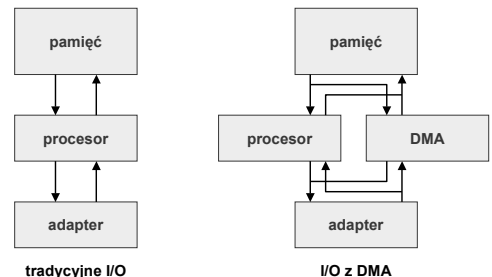
$$\sum_{i=1}^n T_{d,i} - \max_{i=1..n} T_{d,i} + \sum_{i=1}^n T_{p,i} > \sum_{i=1}^n T_{h,i}$$

## Porównanie efektywności w systemie wielozadaniowym (3)

- Ogólna efektywność przetwarzania w trybie sterowania przerwaniem w wariancie optymistycznym jest większa w porównaniu z trybem odpytywania wówczas, gdy

$$\sum_{i=1}^n T_{d,i} + \sum_{i=1}^n T_{p,i} > \sum_{i=1}^n T_{h,i}$$

## Bezpośredni dostęp do pamięci



## Porównanie efektywności w systemie wielozadaniowym (4)

- Całkowity czas przetwarzania w trybie sterowania przerwaniem w wariancie pesymistycznym przy założeniu, że

$$\sum_{i=1}^n T_{c,i} \geq \sum_{i=1}^n T_{d,i}$$

$$\sum_{i=1}^n T_{c,i} + \sum_{i=1}^n T_{h,i} + \max_{i=1..n} T_{d,i}$$

## Działanie układu DMA (1)

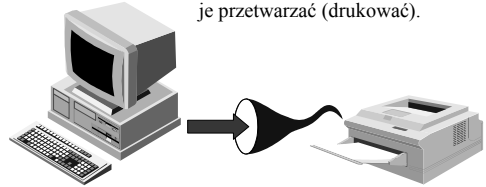
- Układ DMA ma „kompetencje” procesora w zakresie dostępu do pamięci, w związku z czym może rywalizować z procesorem o dostęp do magistrali systemowej w celu przejścia sterowania systemem komputerowym.
- Procesor zleca układowi DMA transmisję danych przekazując następujące dane:
  - rodzaj operacji (zapis lub odczyt bloku w pamięci),
  - adres urządzenia wejścia-wyjścia
  - początkowy adres bloku w pamięci do zapisu/odczytu
  - rozmiar zapisywanego lub odczytywanego bloku w bajtach lub słowach

## Działanie układu DMA

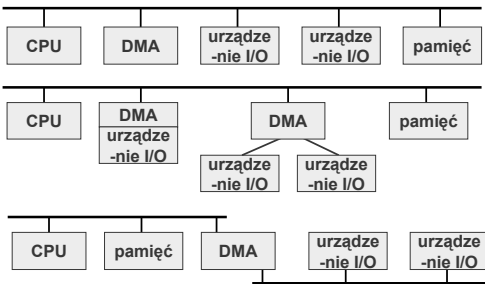
- W celu realizacji zlecenia układ DMA przejmuje kontrolę nad magistralą, gdy nie jest ona potrzebna procesorowi lub „wykrada” cykl magistrali procesorowi, realizuje przesłanie słowa.
- Fakt zakończenia transmisji układ DMA sygnalizuje procesorowi zgłaszając przerwanie.

## Dopasowanie różnic szybkości

Przykład: komputer potrafi wysyłać dane znacznie szybciej niż drukarka je przetwarzać (drukować).

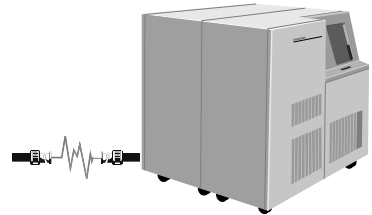


## Organizacja wejścia-wyjścia z układem DMA



## Dopasowanie jednostek transmisji

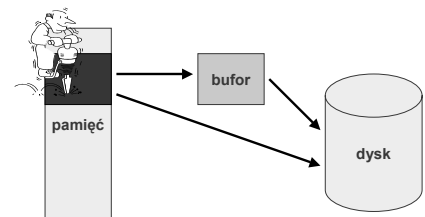
Przykład: zapis na dysku danych odbieranych z sieci.



## Buforowanie

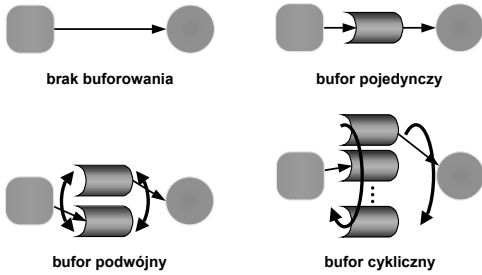
- Dopasowanie urządzeń różniących się szybkością przekazywania danych — dopasowanie chwilowo szybszego producenta danych do możliwości konsumenta.
- Dopasowanie urządzeń różniących się podstawową jednostką transmisji danych — dopasowanie w celu efektywnego przekazywania danych urządzeń przesyłających mniejsze jednostki danych do urządzeń wymagających większych jednostek lub odwrotnie (fragmentowanie).
- Semantyka kopii — zagwarantowanie niezmienności danych w czasie wykonywania operacji wejścia-wyjścia.

## Semantyka kopii





## Realizacja buforowania



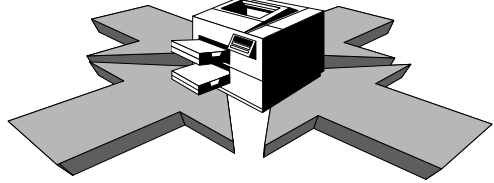
Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

49

## Spooling

Buforowanie strumienia danych przekazywanych do urządzenia zewnętrznego, które nie mogą być przeplatane z danymi pochodzącymi z innych strumieni.



Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

52

## Dobór sposobu realizacji buforowania

- ☼ Który sposób realizacji buforowania byłby odpowiedni w celu dopasowania różnic szybkości?
- ☼ Który sposób realizacji buforowania byłby odpowiedni w celu dopasowania jednostek transmisji danych?
- ☼ Który sposób realizacji buforowania byłby odpowiedni dla zagwarantowania semantyki kopii?



Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

50

## Urządzenia składowania danych

- ☼ Urządzenia o dostępie sekwencyjnym — np. taśma magnetyczna.
- ☼ Urządzenia o dostępie bezpośrednim (swobodnym) — np. napęd dysku.

Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

53

## Przechowywanie podręczne

- ☼ Przechowywanie podręczne polega na gromadzeniu kopii danych w pamięci w celu poprawy efektywności ich przetwarzania.
- ☼ Przechowywanie podręczne w przypadku operacji wejścia zmniejsza czas dostępu.
- ☼ Przechowywanie podręczne w przypadku operacji wyjścia umożliwia skumulowanie wyników przetwarzania w dłuższym czasie i przekazanie ich na urządzenie zewnętrzne w wyniku jednej operacji wyjścia.

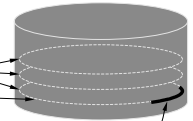
Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

51

## Budowa dysku

- ☼ Płyta (ang. platter) pokryta nośnikiem magnetycznym
- ☼ Głowica odczytująco-zapisująca umieszczona na ramieniu (ang. disk arm) nad każdą powierzchnią pokrytą nośnikiem
- ☼ Podział dysku
  - cylinder (ang. cylinder)
  - ścieżka (ang. track)
  - sektor
  - Jednostka transferu — blok logiczny (np. 512 B)



Systemy operacyjne

Urządzenie wejścia-wyjścia

54

## Parametry dysku

- Tempo przesyłania (ang. transfer rate) — szybkość przekazywania danych pomiędzy dyskiem a jednostką centralną
- Czas pozycjonowania głowicy (ang. positioning time)
  - czas wyszukiwania (ang. seek time) — czas przesuwania głowicy na właściwą ścieżkę (do właściwego cylindra)
  - opóźnienie obrotowe (ang. rotational delay) — czas oczekiwania na wejścieżądanego sektora pod głowicę
- Prędkość obrotowa (ang. rotational speed) — liczba obrotów (płyt wokół osi) na minutę.

*Jakie jest średnie opóźnienie obrotowe dla dysku, dla którego prędkość obrotowa wynosi 10 000 rpm?*

## Metody planowania dostępu do dysku

- C-SCAN — ramię porusza się tak, jak w SCAN, ale żądania obsługiwane są tylko przy ruchu dośrodkowym
- LOOK — ramię jest przemieszczane pomiędzy skrajnymi cylindrami zawierającymi sektory, do których są żądania
- C-LOOK — ramię porusza się tak, jak w LOOK, ale żądania obsługiwane są tylko przy ruchu dośrodkowym

## Czas dostępu do danych

- Czas przesyłania danych (ang. transfer time)

$$T = \frac{b}{r \cdot N}$$

$\frac{b}{r \cdot N}$  —  $\frac{\text{liczba bajtów do przesłania}}{\text{prędkość obrotowa} \cdot \text{liczba bajtów na ścieżce}}$

- Czas dostępu (ang. access time)

$$T_a = T_s + \frac{1}{2 \cdot r} + \frac{b}{r \cdot N}$$

$T_a$  —  $\frac{\text{średni czas wyszukiwania}}{\text{opóźnienie obrotowe} + \frac{1}{2 \cdot r} + \frac{b}{r \cdot N}}$

## Macierze dyskowe (RAID)

- RAID (Redundant Array of Independent Disks) jest zbiorem urządzeń dyskowych widzianych przez system jako jedno urządzenie logiczne.
- Dane mogą być umieszczone na różnych dyskach macierzy.
- Nadmiarowe dane umieszczane są w odpowiednich miejscach w celu zwiększenia niezawodności (możliwość odzyskania danych przy awarii jednego lub kilku z urządzeń w macierzy).

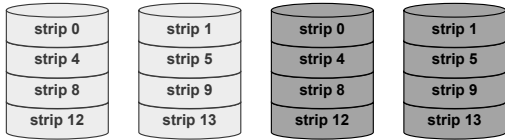
## Metody planowania dostępu do dysku

- metoda losowa — obsługa żądań w przypadkowej kolejności
- FCFS (first-come first-served) — obsługa żądań w kolejności ich zgłoszenia
- SSTF (shortest-see-time-first) — jako kolejne wybierane jest żądanie wymagające najmniejszego ruchu ramienia
- SCAN — ramię jest przemieszczane tam i z powrotem pomiędzy skrajnymi cylindrami, obsługując po drodze żądania

## RAID 0



## RAID 1



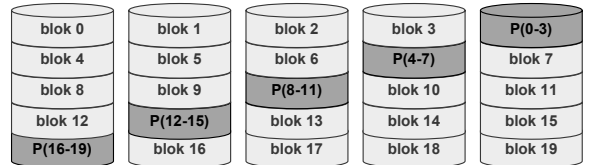
## RAID 4



## RAID 2



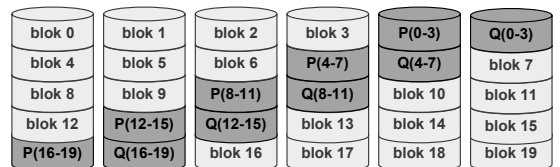
## RAID 5



## RAID 3



## RAID 6



# Wirtualne wejście-wyjście

