

Systemy operacyjne 1

Pamięć masowa

Arkadiusz Chrobot

Katedra Systemów Informatycznych, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Kielce, 19 grudnia 2024

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozważania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozważania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia

Plan wykładu

- 1 Wprowadzenie
- 2 Pamięć masowa
 - 1 Pierwsze rozwiązania
 - 2 Dyski magnetyczne
 - 3 Dyski optyczne
 - 4 Układy scalone
- 3 Katalog urządzenia
- 4 Zarządzanie obszarami wolnymi
 - 1 Wektor bitowy
 - 2 Lista powiązana
 - 3 Grupowanie
 - 4 Zliczanie
- 5 Przydział miejsca na dysku
 - 1 Przydział ciągły
 - 2 Przydział listowy
 - 3 Przydział indeksowy
- 6 Planowanie dostępu do dysku
 - 1 Metoda FCFS
 - 2 Metoda SSTF
 - 3 Metoda SCAN
 - 4 Metoda C-SCAN
 - 5 Metody LOOK i C-LOOK
 - 6 Kolejki do sektorów
- 7 Inne zagadnienia
 - 1 Efektywność i niezawodność oraz hierarchia pamięci

Wprowadzenie

Pamięć operacyjna komputera (RAM), mimo że jest głównym magazynem danych z którego korzysta procesor i urządzenia wejścia-wyjścia poprzez kanały DMA, to nie jest wystarczająco pojemna, aby pomieścić wszystkie dane, jakimi dysponują użytkownicy systemu komputerowego. Dodatkowo jest ona ulotna, co oznacza, że po wyłączeniu zasilania jej zawartość jest tracona. Konieczne więc było wprowadzenie dodatkowej pamięci, która byłaby szybka, pojemna i przechowywała dane w sposób trwały. Ten rodzaj pamięci nazywamy *pamięcią masową* lub *pamięcią zewnętrzną* (ang. *external memory, secondary storage*). Oprócz przechowywania danych ten rodzaj pamięci służy również do realizacji przestrzeni wymiany (nazywanej także *pamięcią pomocniczą*) w implementacjach pamięci wirtualnej. Ze względu na popularność i efektywność rozwiązania dalsza część wykładu będzie dotyczyła głównie dysków twardych, ale niektóre zagadnienia przenoszą się również na inne urządzenia pamięci masowej.

Plan wykładu

Wprowadzenie

Katalog urządzenia

Zarządzanie obszarami wolnymi

Przydział miejsca na dysku

Planowanie dostępu do dysku

Inne zagadnienia

Pierwsze rozwiązania

Dyski magnetyczne

Dyski optyczne

Układy scalone

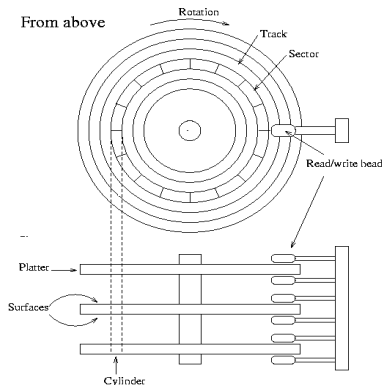
Pierwsze rozwiązania



Pierwsze rozwiązania

Pierwszą realizacją pamięci masowej były karty i taśmy perforowane (dziurkowane). Ich zaletą była możliwość odczytywania i bezpośredniej manipulacji danymi przez człowieka. Niestety czytniki taśm i kart perforowanych były urządzeniami powolnymi i zawodnymi. Dodatkowo karty i taśmy jako nośniki danych miały niewielką pojemność. Zastąpiły je taśmy magnetyczne. Miały one dużą pojemność i były stosunkowo szybkie. Informacje na taśmach magnetycznych przechowywane były w plikach. Pliki rozdzielane były odpowiednimi znacznikami identyfikującymi koniec pliku i początek następnego. Niestety taśmy magnetyczne oferowały jedynie *dostęp sekwencyjny*, co oznaczało, że aby odczytać plik zapisany na końcu taśmy należało odczytać wszystkie go poprzedzające. Obecnie taśmy magnetyczne stosuje się jedynie w urządzeniach do tworzenia kopii zapasowych danych, tzw. streamerach.

Dyski twarde



Współcześnie podstawowym rodzajem pamięci masowej jest *dysk twardy*. Fizycznie dysk twardy jest zbudowany z jednego lub kilku talerzy wykonanych z sztywnego materiału (stąd inna nazwa dysku twardego: *dysk sztywny*). Każdy z tych dysków jest pokryty obustronnie warstwą nośnika magnetycznego. Wszystkie dyski są osadzone na jednej osi i wirują z taką samą prędkością kątową. Z każdą stroną dysku jest stowarzyszona głowica potrafiąca zapisywać i odczytywać informacje. Logicznie każda strona dysku jest podzielona na koncentryczne okręgi zwane *ścieżkami*. Ścieżki na talerzach, które są osiągalne przy tym samym ustawieniu głowic tworzą *cylinder*. Każda ścieżka jest podzielona na *sektory* o takiej samej wielkości, których na każdej ścieżce jest taka sama liczba. Sektory są oddzielane za pomocą odpowiednich znaczników.

(Rysunek pochodzi

z: http://www.faqs.org/docs/linux_admin/x1001.html)

Dyski twarde

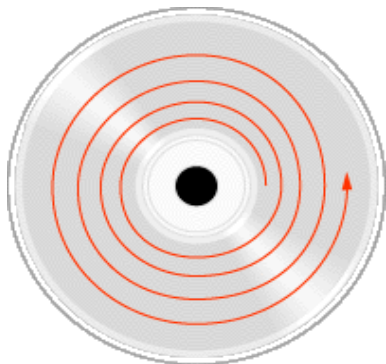
Typowy rozmiar sektora wynosi 512 bajtów. Posługiwanie się tak małą jednostką pamięci jest stosunkowo niewygodne, więc system operacyjny łączy je w większe jednostki nazywane *jednostkami alokacji* lub *blokami alokacji* (krótko: *blokami*). Aby zaadresować pojedynczy sektor należy podać trzy współrzędne: numer głowicy, numer cylindra (ścieżki) i numer sektora. Aby ułatwić ten proces system operacyjny stosuje konwersję adresu dla bloków alokacji. Adres jest przeliczany z trójwymiarowego na jednowymiarowy za pomocą równania: $nb = ns + ls \cdot (nh + lh \cdot nc)$, gdzie nb jest numerem bloku, ns jest numerem sektora, ls liczbą sektorów na ścieżce, nh numerem głowicy, lh liczbą głowic, nc liczbą ścieżek w cylindrze. Taki proces przeliczania adresów nazywamy *linearyzacją*. Jak wynika z opisu, konstrukcja dysku twardego umożliwia *bezpośredni dostęp* do każdego miejsca na dysku. Ten rodzaj dostępu nazywamy również *dostępem swobodnym*. Typowy dysk twardy, jest dyskiem z ruchomymi głowicami, co oznacza, że każda głowica umieszczona jest na końcu ramienia, które ustawia ją nad określoną ścieżką. Istnieją również konstrukcje w których głowice są nieruchome, ale każda ścieżka ma swoją głowicę. Umieszczone są one na ramieniu przewieszonym wzdłuż talerza. Pierwowzorem tego rozwiązania były *bębny magnetyczne*, które miały kształt cylindra powleczonego nośnikiem magnetycznym. Powierzchnia tego nośnika była podzielona logicznie na ścieżki, a każda ze ścieżek dysponowała własną głowicą.

Dyskietki

Dyski twarde są najczęściej instalowane na stałe w komputerach. Choć istnieje możliwość uczynienia ich mobilnymi za pomocą tzw. kieszeni na dyski twarde, to to rozwiązanie nie jest zbyt poręczne. Odmianą dysku magnetycznego, który jest przeznaczony do przenoszenia danych między systemami komputerowymi jest dysk elastyczny zwany popularnie dyskietką. Składa się ona z obudowy i zawartego w niej dysku wykonanego z elastycznego materiału (stąd nazwa), pokrytego nośnikiem magnetycznym i dodatkowo warstwą ochronną. Dyskietki mają wielokrotnie mniejszą pojemność niż dyski twarde. Zasadnicza różnica między tymi dwoma nośnikami informacji polega na zachowaniu głowic podczas pracy. Talerze dysku twardego zamknięte są w hermetycznej obudowie i kiedy wirują tworzy się na ich powierzchni poduszka powietrzna, po której ślizgają się głowice. Jeśli głowica zetknie się z powierzchnią talerza, to nastąpi jej uszkodzenie, dlatego przed wyłączeniem dysku jego sterownik wykonuje operację *parkowania głowic*, czyli umieszcza je w bezpiecznym miejscu tak, aby nie mogły uszkodzić nośnika¹. W przypadku dyskietki głowica porusza się po warstwie ochronnej. Dopóki nie zostanie ona uszkodzona, dopóty dyskietka nadaje się do użytku.

¹Kiedyś tę operację należało wykonywać samodzielnie, za pomocą odpowiedniego programu.

Dyski optyczne



©2000 How Stuff Works

Najpopularniejszymi rodzajami dysków optycznych są obecnie dyski CD, DVD i Blue-ray (w odmianach tylko do odczytu, do jednokrotnego zapisu, do wielokrotnego zapisu). Dane w tego typu dyskach zapisywane są na pojedynczej ścieżce, która tworzy „muszlę ślimaka” i rozpoczyna się od środka dysku. Jest ona podzielona na sektory o wielkości 2048 bajtów (2 KiB). Dyski zapisywane jednokrotnie są pokryte substancją, która przy podgrzaniu silniejszym światłem lasera staje się matowa. Dyski zapisywane wielokrotnie są pokryte specjalnym stopem metali, który w zależności od temperatury podgrzania staje się przezroczysty lub matowy. Dyski optyczne, ze względu na sposób zapisu danych nie nadają się do realizacji urządzenia wymiany. Odczyt danych z dysków optycznych wymaga stałej prędkości liniowej, a więc te nośniki wirują ze zmienną prędkością kątową.

(Ilustracja pochodzi z <http://computer.howstuffworks.com/cd.htm>)

Układy scalone

Do realizacji pamięci masowej nadają się pamięci trwałe wykonane w postaci układów scalonych. Pierwszymi historycznie pamięciami tego typu były pamięci ROM (ang. *Read Only Memory*). Dane zapisywane w nich były na stałe przez producenta za pomocą procesu fotolitografii. Później pojawiły się pamięci PROM (ang. *Programmable Read Only Memory*). Te pamięci użytkownik mógł zapisać, ale tylko raz. Możliwość kasowania danych po raz pierwszy pojawiła się w pamięciach typu EPROM (ang. *Erasable Programmable Read Only Memory*). Dane kasowane były przy pomocy promieniowania ultrafioletowego, dlatego te układy miały charakterystyczne, kwarcowe „okienko” w obudowach. Możliwość kasowania zawartości przy pomocy impulsu elektrycznego posiadają pamięci EEPROM (ang. *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*). Udoskonaleniem tych pamięci są pamięci Flash-EEPROM nazywane krótko Flash. Obecnie istnieje wiele odmian pamięci Flash-EEPROM wykonanych w postaci urządzeń USB (PenDrive), kart SD/MMC itd. Mają one w porównaniu z dyskami twardymi małą pojemność, ale istnieją wersje systemów operacyjnych, które całkowicie można umieścić na tych urządzeniach, wraz z oprogramowaniem użytkowym (np.: SLAX Linux). Duże pojemności oferują urządzenia SSD (ang. *Solid State Drive*), które w przyszłości mogą zastąpić dyski twarde.

Katalog urządzenia

Katalog urządzenia, zwany również *katalogiem głównym* lub *katalogiem fizycznym*, jest miejscem, gdzie zgromadzone są dane na temat plików zawartych w pamięci masowej. Jest on umiejscowiony w określonym miejscu urządzenia. Może to być drugi sektor urządzenia (pierwszy jest zarezerwowany na program ładujący system operacyjny) lub któryś z początkowych sektorów. Do informacji zgromadzonych w katalogu głównym należą, lub mogą należeć: nazwy plików, rozmieszczenie plików na dysku, rozmiar i typy plików, identyfikatory ich właścicieli, informacje o ochronie, czas i data utworzenia, modyfikacji lub odczytu. Katalog ten ma ograniczoną pojemność.

Zarządzanie obszarami wolnymi

System operacyjny utrzymuje wykaz wolnych bloków alokacji, aby móc prawidłowo i sprawnie nimi zarządzać. Taki wykaz jest przechowywany w urządzeniu, nawet jeśli ono nie jest podłączone do systemu komputerowego lub gdy system ten jest wyłączony. Wykaz wolnych bloków może być zrealizowany na kilka sposobów.

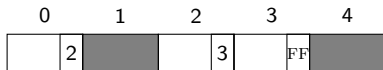
Wektor bitowy

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0

Rysunek: Wektor bitowy

Wektor bitowy lub *mapa bitowa* jest ciągiem bitów. Wartość każdego bitu opisuje zajętość bloku, którego numer odpowiada pozycji bitu w wektorze. Jeśli bit ten ma wartość *1* to został już przydzielony, jeśli *0* to jest wolny. Znajdywanie bloków wolnych na dysku przy pomocy wektora bitowego umożliwiającą rozkazy bitowe procesorów. Metoda ta nie jest wygodna dla dużych dysków. Ponadto nie pozwala oznaczyć, np.: bloków uszkodzonych.

Lista powiązana



Rysunek: Lista powiązana

Bloki wolne mogą być powiązane w listę. W tym przypadku w każdym takim bloku umieszczany jest wskaźnik zawierający numer kolejnego wolnego bloku. Ostatni wolny blok zawiera we wskaźniku pewną ustaloną wartość sygnalizującą koniec listy (wartość ta oznaczana jest jako nil lub null). Wskaźnik do pierwszego wolnego bloku jest umieszczany w określonym miejscu na dysku. Wadą tego rozwiązania jest przeglądanie listy wolnych bloków - wymaga ono dużej ilości czasu.

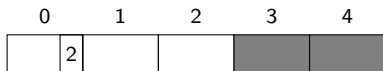
Grupowanie



Rysunek: Grupowanie

W tej metodzie poświęca się jeden z bloków wolnych po to aby, utrzymać w nim numery innych bloków wolnych. Ten blok nazywa się *blokiem indeksowym*. Jeśli jeden blok indeksowy nie wystarcza do zapamiętania numerów wszystkich bloków wolnych, to stosuje się kilka bloków indeksowych połączonych w listę. Ostatni wskaźnik w takim bloku jest wskaźnikiem do kolejnego bloku indeksowego.

Zliczanie



Rysunek: Zliczanie

W metodzie zliczania zapamiętywany jest na liście adres pierwszego wolnego bloku i liczba bloków wolnych występujących za nim. Takie rozwiązanie jest efektywne, jeśli na dysku występuje mało zgrupowań dużej liczby wolnych bloków, przylegających do siebie.

Przydział miejsca na dysku

Równie ważne co zarządzanie obszarami wolnymi na dysku jest przydzielanie miejsca na pliki. Istnieje kilka metod rozwiązania tego problemu, ale należy pamiętać, że każda z nich jest obciążona fragmentacją wewnętrzną.

Przydział ciągły

W metodzie przydziału ciągłego, plikom przydzielane są przylegające do siebie bloki alokacji. W katalogu zapamiętywany jest numer pierwszego bloku i liczba bloków przydzielonych plikowi. Przydział ten pozwala zarówno na dostęp sekwencyjny, jak i swobodny do pliku. Do wyboru miejsca na dysku dla pliku stosuje się takie same strategie, jak w przypadku przydziału obszarów ciągłych w pamięci operacyjnej. Przydział ten prowadzi do fragmentacji zewnętrznej, która może być likwidowana techniką upakowania, ale jest to działanie czasochłonne. Kłopotliwe jest również dopisywanie informacji do pliku. Wiąże się ono z koniecznością skopiowania istniejącej już zawartości pliku do innego wolnego miejsca, które pomieściłoby powiększony plik.

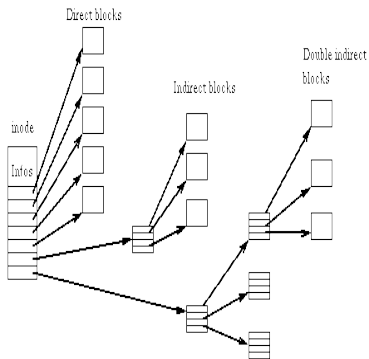
Przydział listowy

1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12
5	0	0	0	7	FE	A	0	0	10	0	0	0	0	0	FF	0	0

Rysunek: Tablica FAT

W przydziale listowym wszystkie bloki należące do jednego pliku są powiązane w listę. Poświęca się część bloku na zapamiętanie wskaźnika do następnego bloku należącego do pliku. Ostatni blok zawiera we wskaźniku ustaloną wartość. Zaletą tego rozwiązania jest brak fragmentacji zewnętrznej, bo pliki nie muszą zajmować obszaru ciągłego na dysku. Wadami natomiast mała odporność na błędy (by ją zwiększyć podwaja się wskaźniki), dostęp wyłącznie sekwencyjny do pliku i poświęcenie części przydzielonego bloku na wskaźnik. Dwie ostatnie wady można wyeliminować stosując *tablicę alokacji plików*, która pozwala zapamiętać informacje nie tylko o przydzielonych blokach, ale również o uszkodzonych i wolnych. Numer pierwszego bloku przydzielonego plikowi zapamiętywany jest w katalogu.

Przydział indeksowy



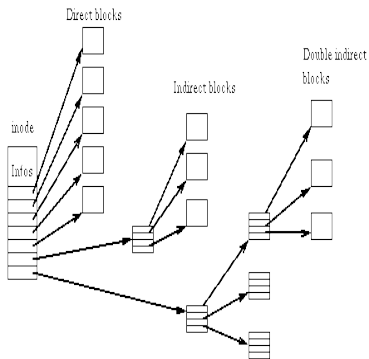
W metodzie przydziału indeksowego wykorzystuje się bloki indeksowe do zapamiętania numerów kolejnych bloków przydzielonych plikowi. Jeśli plik jest duży, to jeden blok indeksowy może nie wystarczyć. Stosuje się więc trzy rozwiązania:

- Schemat listowy-ostatni wskaźnik w bloku indeksowym wskazuje kolejny blok indeksowy.
- Indeks wielopoziomowy-buduje się hierarchie bloków indeksowych, w postaci drzewa. Bloki indeksowe, które są liśćmi wskazują na bloki danych
- Schemat kombinowany-po raz pierwszy zastosowany w Uniksie BSD. Kilka pierwszych wskaźników bloku indeksowego wskazuje bloki z danymi, drugi od końca na *pojedynczo pośredni blok indeksowy*, a ostatni na *blok podwójnie pośredni*, tak jak przedstawia umieszczony obok rysunek

W przydziale indeksowym możliwy jest zarówno dostęp sekwencyjny, jak i swobodny do pliku. Nie występuje fragmentacja zewnętrzna. W katalogu zapamiętywany jest numer pierwszego bloku indeksowego związanego z plikiem.

(Źródło ilustracji: <http://wikipedia.org>)

Przydział indeksowy



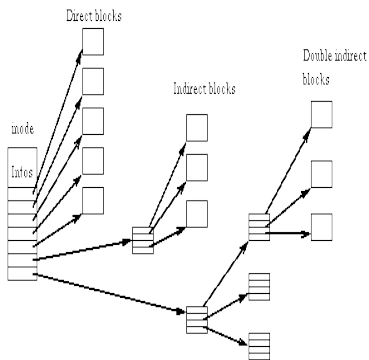
W metodzie przydziału indeksowego wykorzystuje się bloki indeksowe do zapamiętania numerów kolejnych bloków przydzielonych plikowi. Jeśli plik jest duży, to jeden blok indeksowy może nie wystarczyć. Stosuje się więc trzy rozwiązania:

- **Schemat listowy**—ostatni wskaźnik w bloku indeksowym wskazuje kolejny blok indeksowy.
- **Indeks wielopoziomowy**—buduje się hierarchie bloków indeksowych, w postaci drzewa. Bloki indeksowe, które są liśćmi wskazują na bloki danych
- **Schemat kombinowany**—po raz pierwszy zastosowany w Uniksie BSD. Kilka pierwszych wskaźników bloku indeksowego wskazuje bloki z danymi, drugi od końca na *pojedynczo pośredni blok indeksowy*, a ostatni na *blok podwójnie pośredni*, tak jak przedstawia umieszczony obok rysunek

W przydziale indeksowym możliwy jest zarówno dostęp sekwencyjny, jak i swobodny do pliku. Nie występuje fragmentacja zewnętrzna. W katalogu zapamiętywany jest numer pierwszego bloku indeksowego związanego z plikiem.

(Źródło ilustracji: <http://wikipedia.org>)

Przydział indeksowy



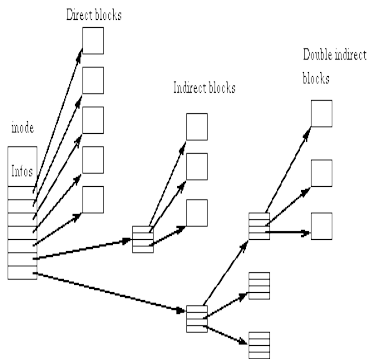
W metodzie przydziału indeksowego wykorzystuje się bloki indeksowe do zapamiętania numerów kolejnych bloków przydzielonych plikowi. Jeśli plik jest duży, to jeden blok indeksowy może nie wystarczyć. Stosuje się więc trzy rozwiązania:

- **Schemat listowy**—ostatni wskaźnik w bloku indeksowym wskazuje kolejny blok indeksowy.
- **Indeks wielopoziomowy**—buduje się hierarchie bloków indeksowych, w postaci drzewa. Bloki indeksowe, które są liśćmi wskazują na bloki danych
- **Schemat kombinowany**—po raz pierwszy zastosowany w Uniksie BSD. Kilka pierwszych wskaźników bloku indeksowego wskazuje bloki z danymi, drugi od końca na *pojedynczo pośredni blok indeksowy*, a ostatni na *blok podwójnie pośredni*, tak jak przedstawia umieszczony obok rysunek

W przydziale indeksowym możliwy jest zarówno dostęp sekwencyjny, jak i swobodny do pliku. Nie występuje fragmentacja zewnętrzna. W katalogu zapamiętywany jest numer pierwszego bloku indeksowego związanego z plikiem.

(Źródło ilustracji: <http://wikipedia.org>)

Przydział indeksowy



W metodzie przydziału indeksowego wykorzystuje się bloki indeksowe do zapamiętania numerów kolejnych bloków przydzielonych plikowi. Jeśli plik jest duży, to jeden blok indeksowy może nie wystarczyć. Stosuje się więc trzy rozwiązania:

- **Schemat listowy**—ostatni wskaźnik w bloku indeksowym wskazuje kolejny blok indeksowy.
- **Indeks wielopoziomowy**—buduje się hierarchie bloków indeksowych, w postaci drzewa. Bloki indeksowe, które są liśćmi wskazują na bloki danych
- **Schemat kombinowany**—po raz pierwszy zastosowany w Uniksie BSD. Kilka pierwszych wskaźników bloku indeksowego wskazuje bloki z danymi, drugi od końca na *pojedynczo pośredni blok indeksowy*, a ostatni na *blok podwójnie pośredni*, tak jak przedstawia umieszczony obok rysunek

W przydziale indeksowym możliwy jest zarówno dostęp sekwencyjny, jak i swobodny do pliku. Nie występuje fragmentacja zewnętrzna. W katalogu zapamiętywany jest numer pierwszego bloku indeksowego związanego z plikiem.

(Źródło ilustracji: <http://wikipedia.org>)

Planowanie dostępu do dysku

Czas dostępu do danych na dysku zależy od trzech składowych: czasu potrzebnego na ustawienie głowicy nad odpowiednią ścieżką, nazywanego *czasem przeszukiwania* (ang. *seek time*), czasu oczekiwania na pojawienie się pod głowicą odpowiedniego sektora nazywanego *czasem oczekiwania* (ang. *latency time*) oraz czasu poświęconego na transfer informacji, nazywanego *czasem przesłania* (ang. *transfer time*). Najbardziej znaczącą (i jedyną na którą możemy mieć wpływ) jest składowa związana z czasem przeszukiwania. Metody dostępu pozwalają zminimalizować ten czas.

Metoda FCFS

Metoda FCFS może być użyta nie tylko do szeregowania procesów, ale również do szeregowania żądań dostępu do dysku. Jest ona łatwa w implementacji, ale niestety daje niedobre rezultaty, prowadzi do znacznych wychyłów głowicy dysku, nie tylko powodując duże czasy przeszukiwania, ale również negatywnie wpływając na żywotność mechanizmu pozycjonowania głowicy.

Metoda SSTF

Metoda SSTF (ang. *Shortest Seek-Time-First*) polega na dynamicznym wybieraniu spośród zleceń tego, które dotyczy ścieżki położonej najbliższej bieżącego położenia głowicy. Przeliczenie odległości następuje po każdym przesunięciu głowicy. Metoda ta jest optymalna, ale może prowadzić do zagłodzenia żądań.

Metoda SCAN

W tej metodzie głowica dysku porusza się jednostajnym ruchem od brzegu talerza, ku centrum i z powrotem. Podczas tego ruchu realizuje napływające zamówienia. Jeśli zamówienie jest zgodne z obecnym jej kierunkiem ruchu, to jest realizowane, jeśli nie, to jest realizowane dopiero po zmianie kierunku. Przypomina to odśnieżanie drogi: pług porusza się w jednym kierunku usuwając śnieg, a z tyłu pługa pada śnieg, który zostanie przez niego usunięty, kiedy będzie jechał w przeciwnym kierunku.

Metoda C-SCAN

Metoda ta jest drobną modyfikacją metody SCAN. Głowica po osiągnięciu środka dysku wraca natychmiast do jego krawędzi, nie realizując przy tym żadnych zleceń. Zlecenia są realizowane wyłącznie podczas ruchu głowicy od krawędzi do środka talerza.

Metoda LOOK i C-LOOK

Metody te są modyfikacjami metod SCAN i C-SCAN. Głowica podąża w jednym kierunku dotąd, dopóki są zamówienia do ścieżek położonych przed nią. Jeśli tych zamówień zabraknie, to głowica zmienia kierunek ruchu i zależnie od metody wykonuje jałowy ruch w kierunku krawędzi talerza lub podejmuje realizację nowych zleceń.

Kolejki do sektorów

W przypadku niektórych dysków opłacalne jest utrzymywanie kolejek żądań dostępu do sektorów, tak aby można było jednorazowo odczytać lub zapisać wszystkie żądane sektory, kiedy głowica znajduje się nad ścieżką je zawierającą. Ta technika wywodzi się z bębnow magnetycznych. Obecnie, kiedy stosowane są dyski z dużą pamięcią podręczną (ang. *cache memory*), pozwalającą zapamiętać nawet do kilku takich ścieżek, przydatność tej metody jest znikoma.

Efektywność i niezawodność

Dyski twarde składają się z części elektronicznej stanowiącej ich sterownik, oraz części mechanicznej. Aby zwiększyć niezawodność dysków dubluje się sterowniki, a nawet dubluje się całe dyski, które pracują w trybie *odzwierciedlenia* (ang. *mirroring*). Do zwiększenia szybkości działania dysków używa się techniki nazywanej *podziałem na paski* (ang. *stripping*). Polega ona na podziale pojedynczego bloku na podbloki, które są umieszczane na osobnych dyskach, tak aby można je odczytać równolegle (równocześnie) w jednym żądaniu. Technika ta stała się podstawą do budowy macierzy RAID (ang. *Redundant Array of Inexpensive Disks*) — nadmiarowej macierzy niedrogich dysków. Z czasem akronim RAID zaczęto tłumaczyć jako nadmiarowa macierz niezależnych dysków (ang. *Redundant Array of Independent Disks*).

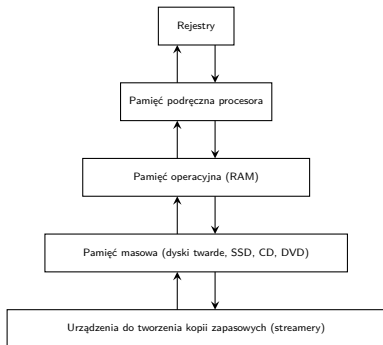
Macierze RAID

Typy macierzy RAID:

- RAID 0 podział bloków na paski rozmieszczone na kilku dyskach,
- RAID 1 podział na paski i zdublowanie każdego dysku,
- RAID 2 podział odbywa się na poziomie bajtów; na każdym dysku zapisywany jest jeden bit słowa opatrzonego kodem detekcyjno-korekcyjnym Hamminga; wymaga dużej liczby dysków i synchronizacji ich głowic,
- RAID 3 uproszczona wersja RAID 2, w której do każdego słowa dołączany jest bit parzystości, zapisywany na wyznaczonym do tego dysku,
- RAID 4 jak wyżej, ale parzystość jest obliczana na poziomie pasków, nie wymaga synchronizacji głowic,
- RAID 5 paski parzystości nie są przechowywane na pojedynczym dysku, a zapisywane z przeplotem (ang. *interleaving*), czyli rozproszone po wszystkich dyskach macierzy.

Niektóre poziomy macierzy RAID mogą być ze sobą łączone.

Hierarchia pamięci



Rysunek: Hierarchia pamięci w systemie komputerowym

Ilustracja obok przedstawia hierarchię pamięci systemu komputerowego. Na szczycie znajduje się pamięć, o najkrótszym czasie dostępu, a zarazem o najmniejszej pojemności. Są nią rejestry procesora. Na dole hierarchii znajduje się pamięć w postaci taśm magnetycznych, o bardzo dużej pojemności, ale za to o bardzo długim czasie dostępu. Poziomy pośrednie tworzy pamięć podręczna procesora, która odwzorowuje część pamięci operacyjnej, pamięć operacyjna i pamięć pomocnicza. Po analizie rysunku można dojść do wniosku, że stan pamięci danego poziomu jest podzbiorem stanu pamięci znajdującej się od niej niżej w hierarchii.

Pytania

?

Koniec

Dziękuję Państwu za uwagę!