Chapter 9: Virtual Memory

Chapter 9: Virtual Memory

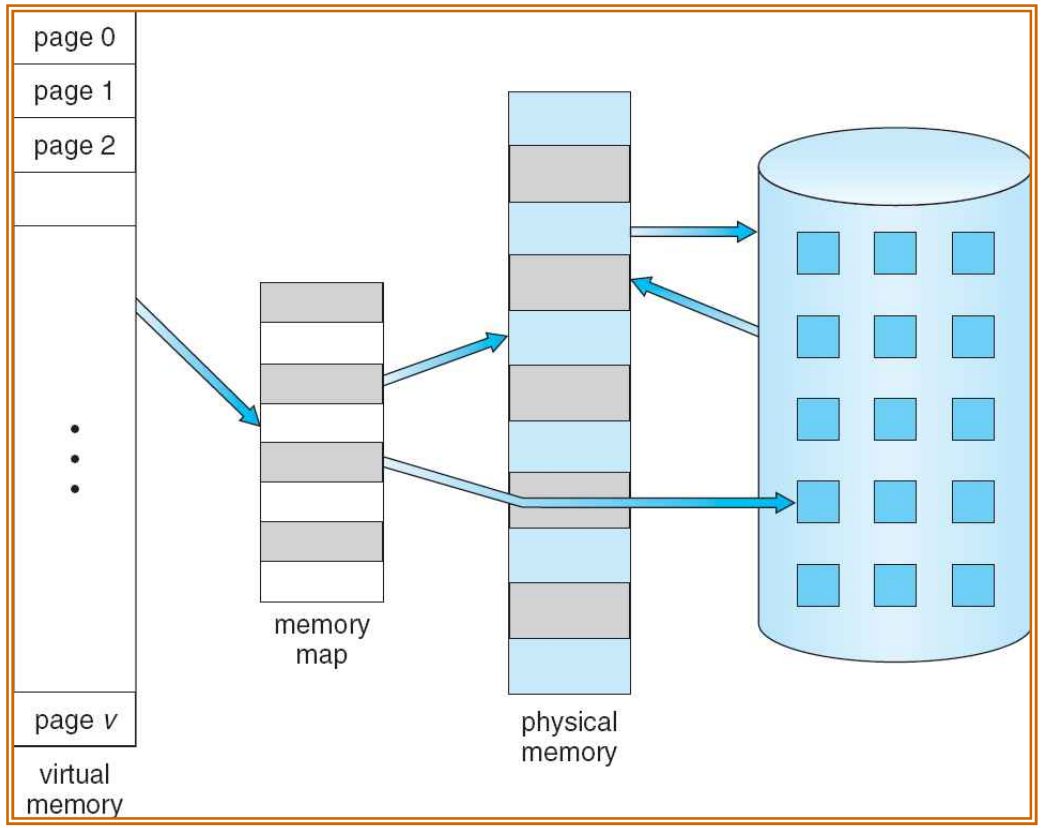
- Background
- Demand Paging
- Copy-on-Write
- Page Replacement
- Allocation of Frames
- Thrashing
- Memory-Mapped Files
- Allocating Kernel Memory
- Other Considerations
- Operating-System Examples

가상 메모리 개념

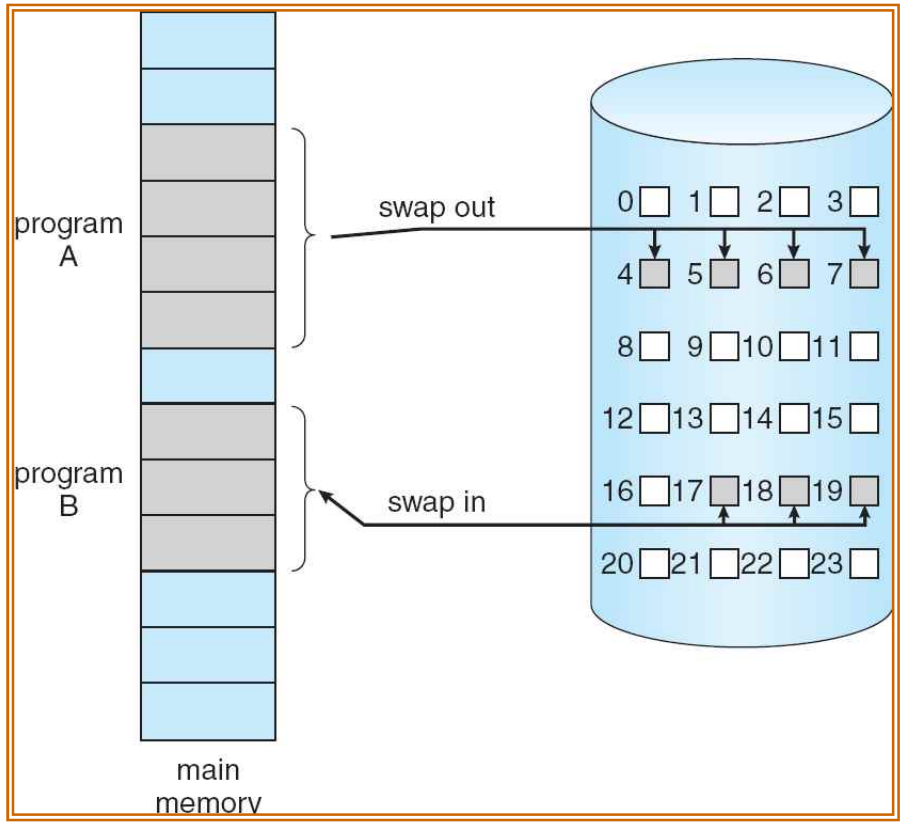
- **Virtual memory**
  - 프로그램의 block들(페이지 또는 세그먼트)을 디스크에 저장하고 있다가, 실행도중 수시로 이들을 block 별로 메모리로 적재하거나 디스크로 교체하는 기법

- 가상기억장치 관리 정책(페이징 정책)
  - 페이징 알고리듬에서 결정해야 하는 정책
    1) 페이지 반입정책(FETCH)
    2) 페이지 배치 정책(PLACEMENT)
    3) 페이지 교체 정책(REPLACEMENT)
  - 메모리는 임의 접근 장치이므로 PLACEMENT는 문제가 되지 않고 나머지만 성능에 영향을 줌

Virtual Memory That is Larger Than Physical Memory



Transfer of a Paged Memory to Contiguous Disk Space



요구 페이징(Demand Paging)

- 요구 페이징의 정의
  - 프로세스가 실행하면서 실제로 필요로 될때만 메모리로 페이지를 가져오는 반입(fetch) 정책
    - **Lazy swapper** – never swaps a page into memory unless page will be needed

- Page is needed ⇒ reference to it
  - invalid reference ⇒ abort
  - not-in-memory ⇒ Page Fault ⇒ bring to memory
    - 프로그램이 페이지를 요청할때 그 페이지가 메모리에 미처 적재 되지 못한 경우 Page Fault 발생
      - Prefetch 를 통해 해결 ⇒ 선반입된 페이지가 사용되지 않는 상황 발생

요구 페이징 : Valid-Invalid Bit

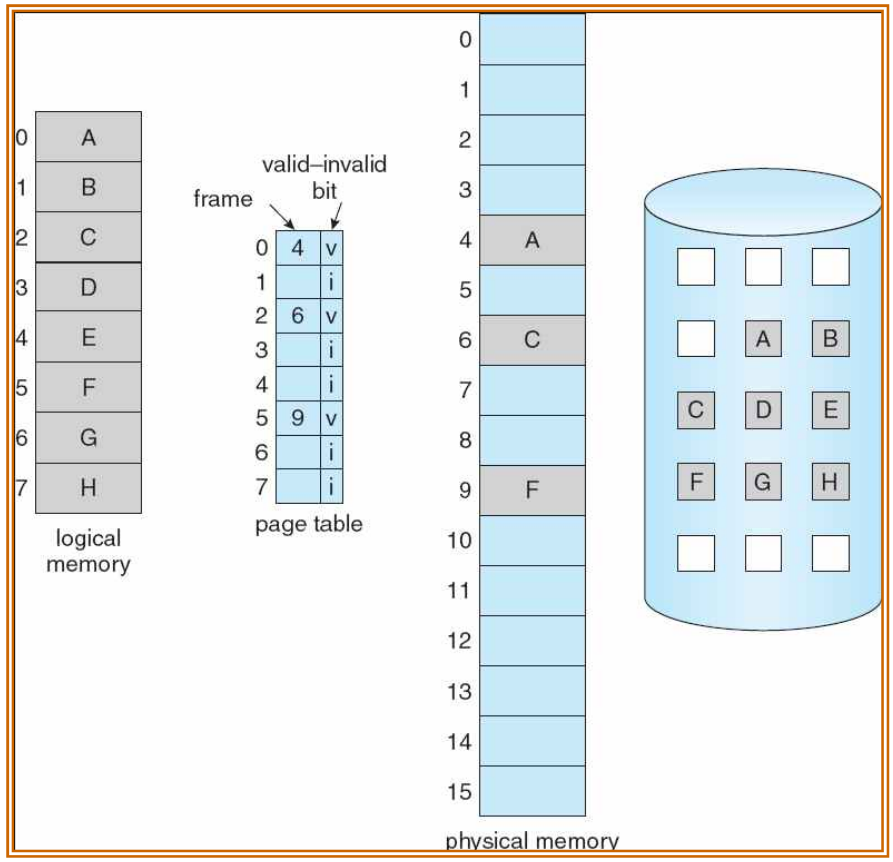
- With each page table entry a valid–invalid bit is associated (**v** ⇒ in-memory, **i** ⇒ not-in-memory)
- Initially valid–invalid bit is set to **i** on all entries
- Example of a page table snapshot:

Frame #	valid-invalid bit
	v
	v
	v
	v
	i
….	
	i
	i

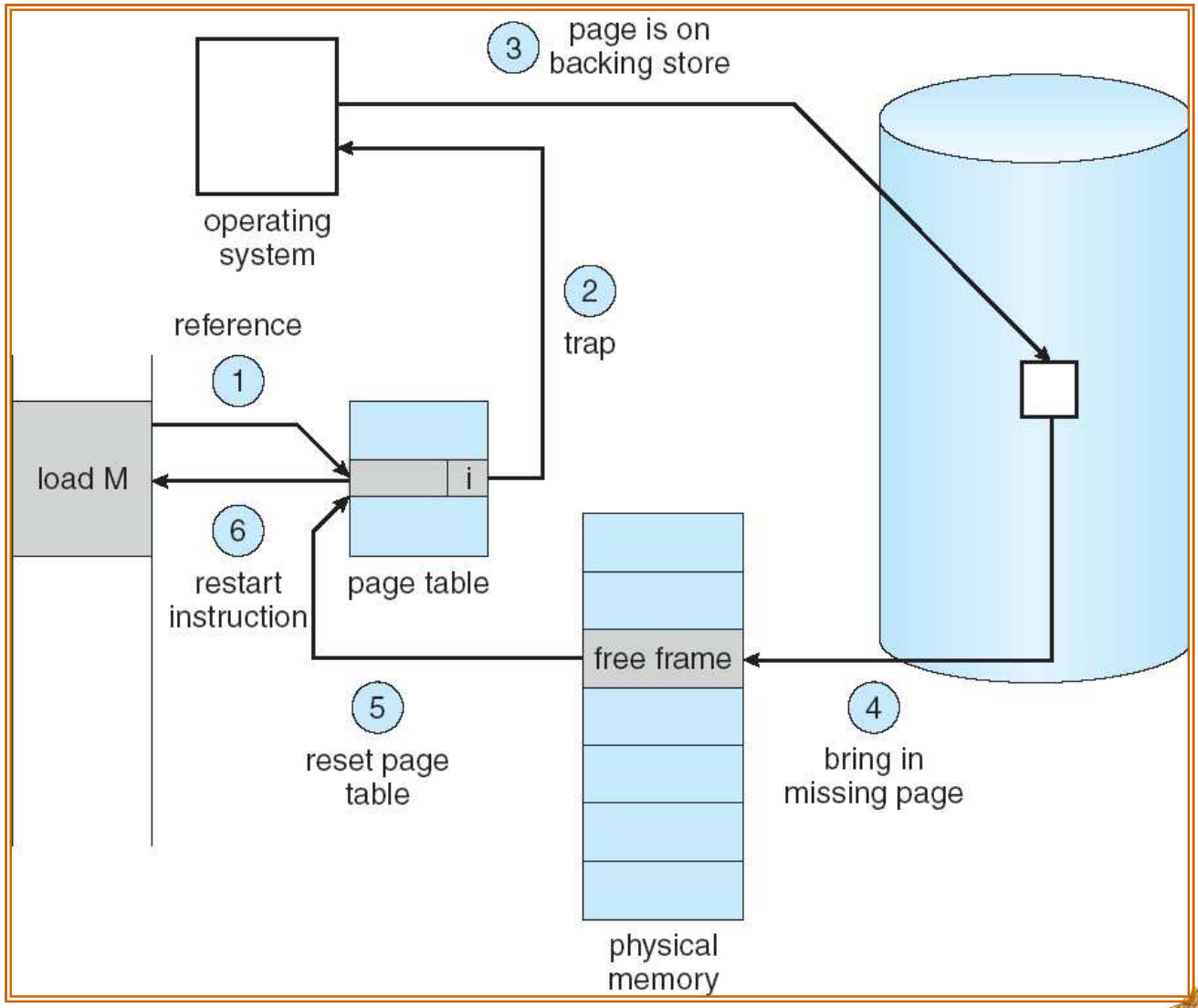
page table

- During address translation, if valid–invalid bit in page table entry is **I** ⇒ page fault

Page Table When Some Pages Are Not in Main Memory



Steps in Handling a Page Fault



Demand Paging의 성능

- Page Fault Rate $0 \le p \le 1.0$
  - if $p = 0$ no page faults
  - if $p = 1$, every reference is a fault

- Effective Access Time (EAT)

$$EAT = (1 - p) \times \text{memory access} + p\ (\text{page fault overhead} + \text{swap page out} + \text{swap page in} + \text{restart overhead})$$

프로그램은 페이지 부재가 발생할 때마다
디스크에서 그 페이지가 올라올때까지 기다려야 하므로
페이지 부재율(Page Fault)를 낮추지 않으면
프로그램의 수행이 매우 느려짐

Demand Paging Example

- Memory access time = 200 nanoseconds
- Average page-fault service time = 8 milliseconds
- EAT = (1 – p) x 200 + p (8 milliseconds)

  = (1 – p x 200 + p x 8,000,000

  = 200 + p x 7,999,800
- If one access out of 1,000 causes a page fault, then

  EAT = 8.2 microseconds.

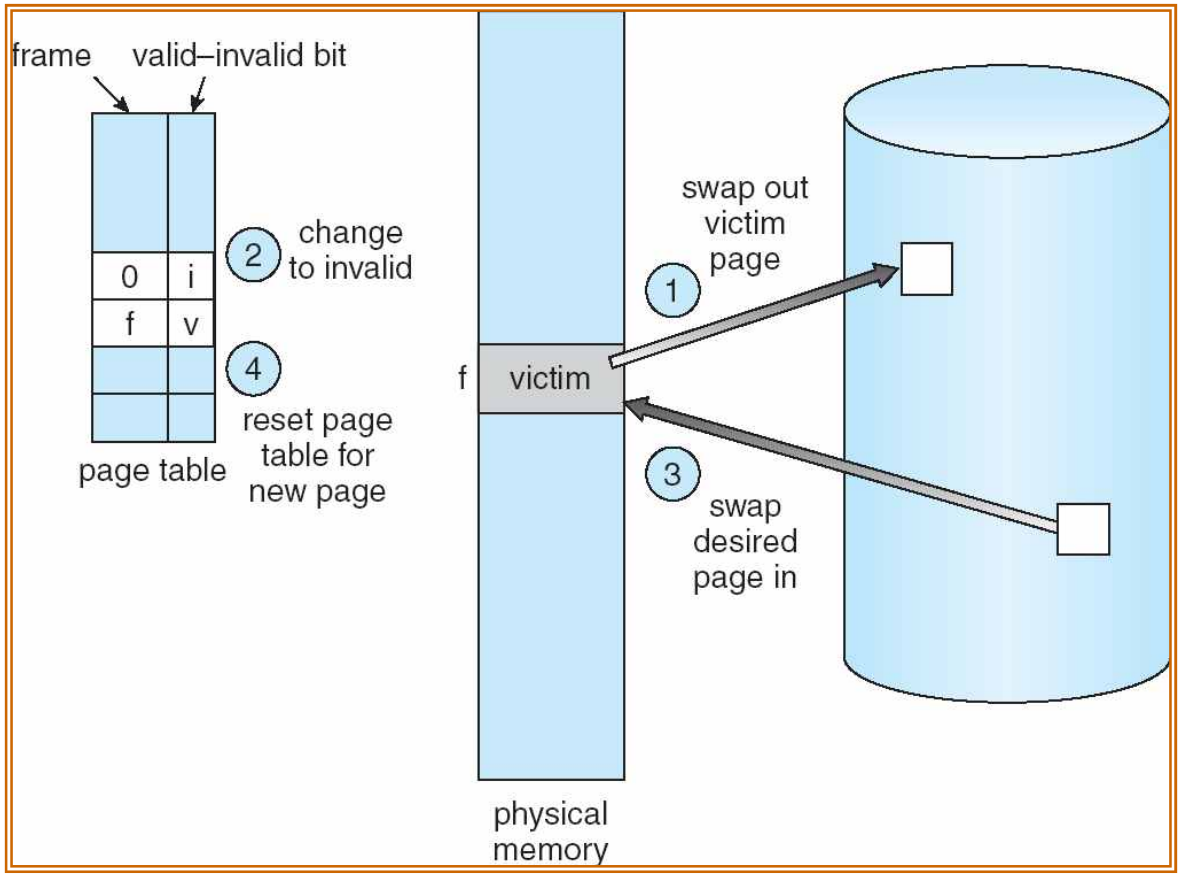
  This is a slowdown by a factor of 40!!

페이지 교체 알고리즘(Page Replacement)

- 페이지 교체 알고리즘(Page Replacement Algorithm)
  - Page Fault가 발생하여 새로운 페이지를 메모리로 적재하고자 할때 빈공간 없는 경우 기존의 페이지중 하나를 디스크로 내리고 새 페이지를 적재하여야 함
  - 이 때, 교체될 페이지를 고르기 위해 사용되는 알고리즘

- 알고리즘의 종류
  - Belady의 최적 알고리즘(OPT 알고리즘)
  - FIFO(First-In First-Out) 알고리즘
  - LRU(Least Recently Used) 알고리즘
  - LFU(Least Frequently Used) 알고리즘
  - NUR(Not Used Recently) 알고리즘

Page Replacement



First-In-First-Out (FIFO) Algorithm

- Reference string: 1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5
- 3 frames (3 pages can be in memory at a time per process)

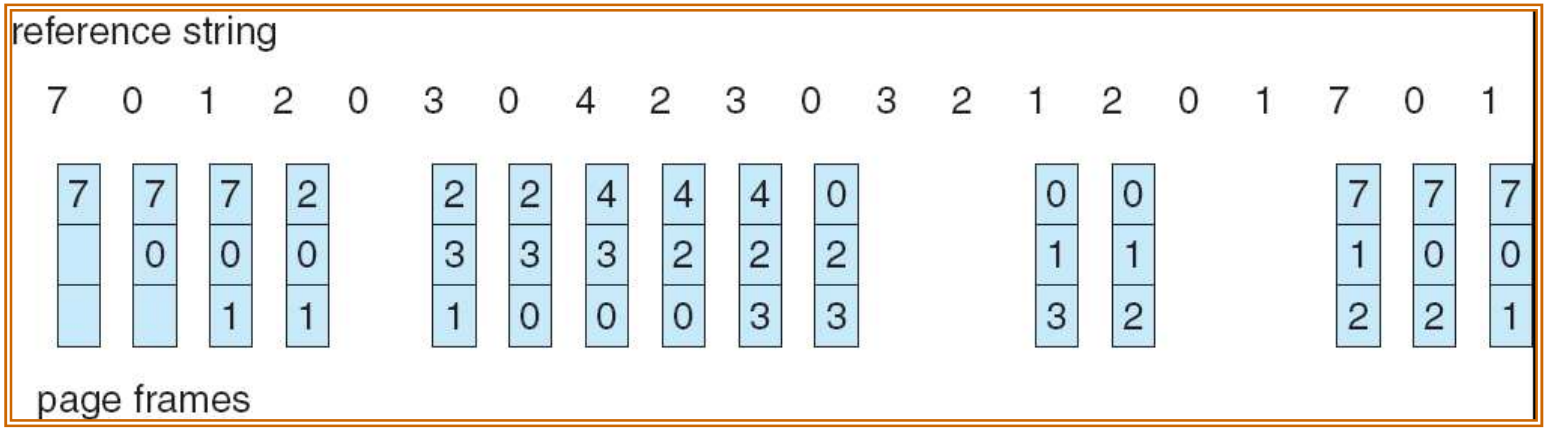
1	1	4	5	
2	2	1	3	9 page faults
3	3	2	4	

- 4 frames

1	1	5	4	
2	2	1	5	10 page faults
3	3	2		
4	4	3		

- Belady's Anomaly: more frames ⇒ more page faults

FIFO Page Replacement



Page Fault : 15

FIFO Illustrating Belady's Anomaly

주기억장치의 할당량을 늘려주었는데도 불구하고,
page fault가 증가하는 현상

Belady의 최적 알고리즘(OPT)

- 정의
  - Belady가 제안한 것으로, 페이지 부재를 최소화하기 위해서 향후 가장 오랫동안 사용되지 않을 페이지를 교체시키는 알고리즘

- 성능이 가장 좋지만 프로세스가 향후 어떤 페이지를 필요로 할지 예측할 수 없기 때문에 구현 불가능
  - 다른 알고리즘의 성능 비교 알고리즘으로 이용

Optimal Algorithm

- Replace page that will not be used for longest period of time
- 4 frames example

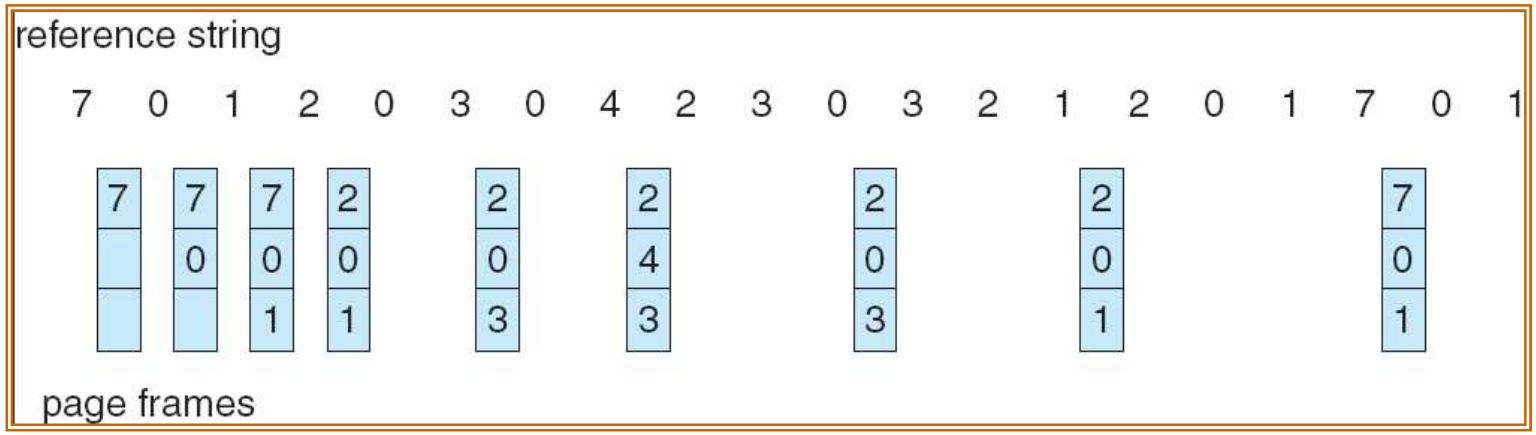
1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5

1	4
2	
3	
4	5

6 page faults

- How do you know this?
- Used for measuring how well your algorithm performs

Optimal Page Replacement

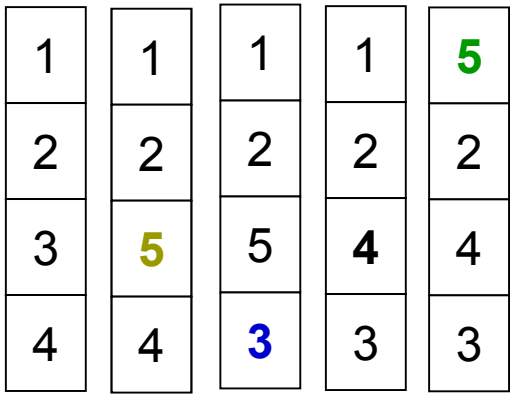


Page Fault : 9

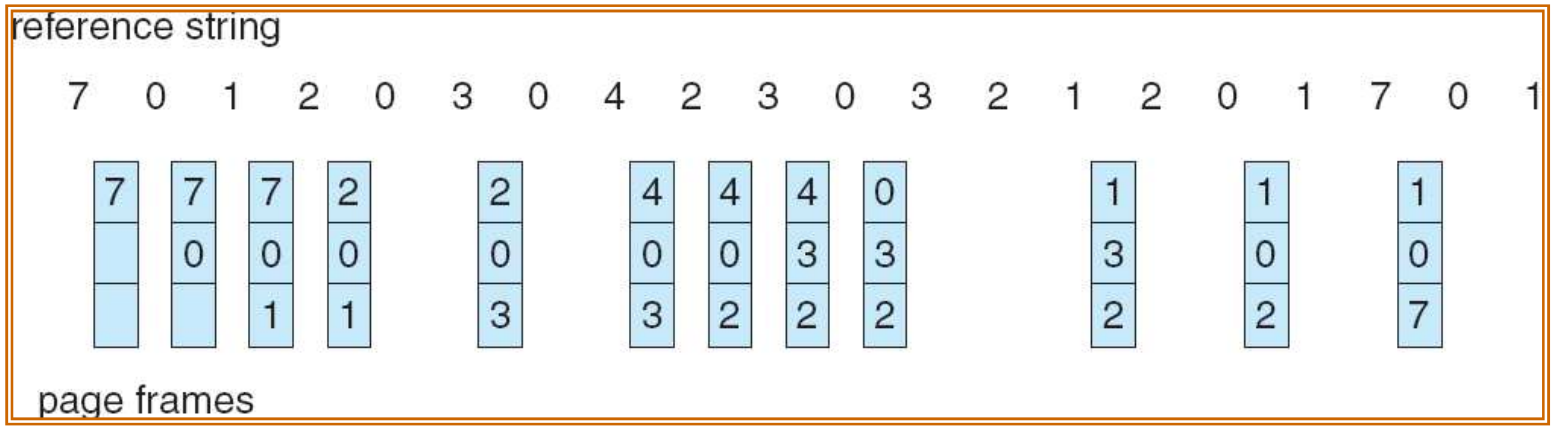
Least Recently Used (LRU) Algorithm

- 개념
  - 최근에 가장 오랫동안 사용하지 않은 페이지를 교체하는 기법

- LRU 기법의 예
  - Reference string: 1, 2, 3, 4, 1, 2, **5**, 1, 2, **3**, **4**, **5**



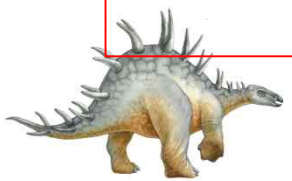
LRU Page Replacement



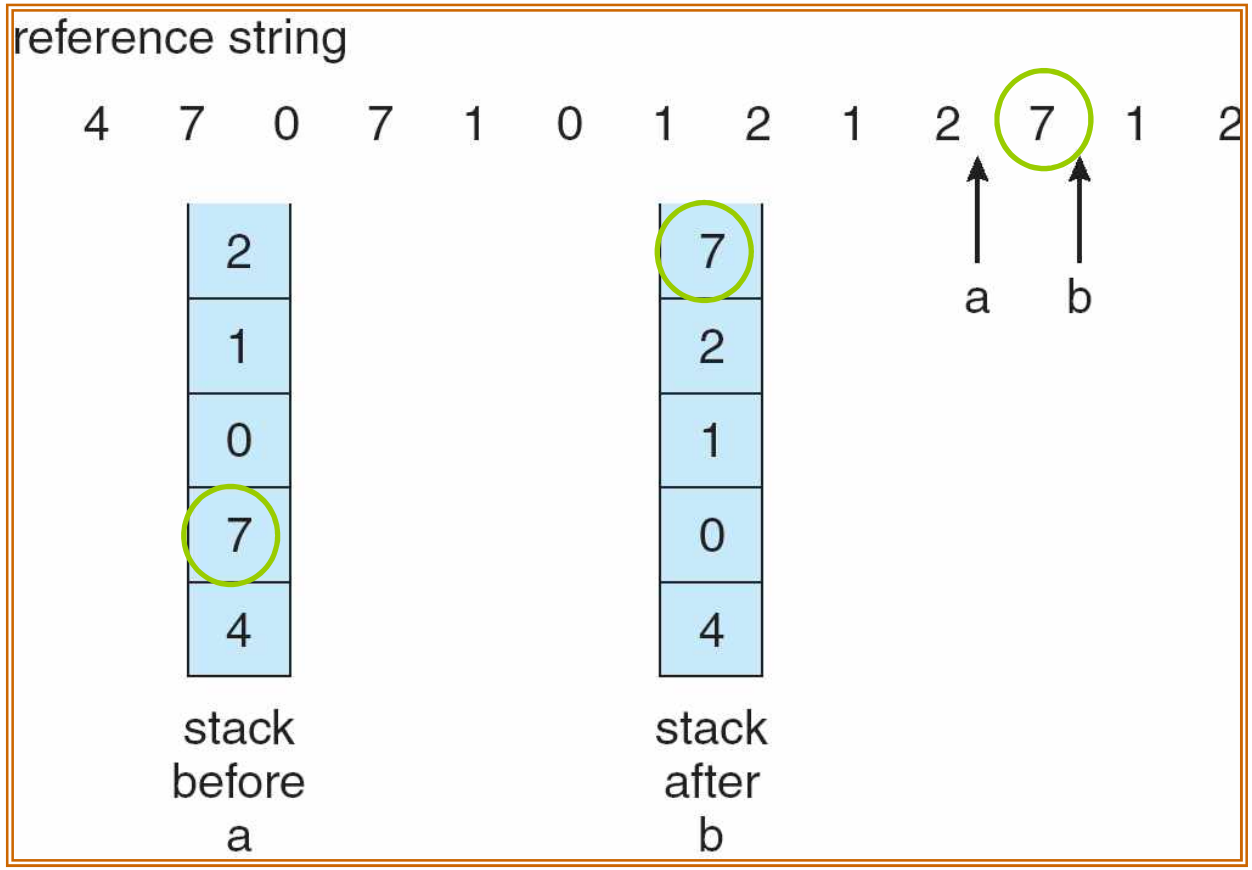
Page Fault : 12

LRU Algorithm (Cont.)

- LRU 알고리즘의 구현방법
  - Counter 이용 구현 방법
    - 가장 최근 페이지 참조시간을 포함한 counter 사용
    - 페이지 교체를 위해 counter를 검색해야함
  - Stack을 이용한 구현
    - keep a stack of page numbers in a double link form:
    - Page referenced:
      - move it to the top
      - requires 6 pointers to be changed
    - 교체할 페이지를 찾기 위한 검색이 필요없음



Use Of A Stack to Record The Most Recent Page References



ALRU(Approximatiing LRU) Algorithms

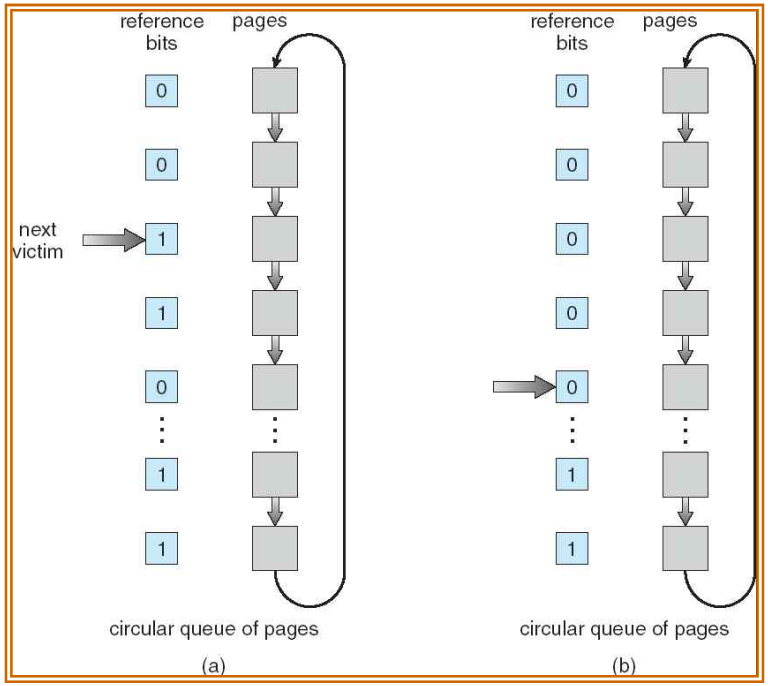
- 개념
  - LRU 기법이 counter 또는 stack과 같은 높은 비용을 요구하므로 reference bit를 이용한 대략적 구현 방법

- Reference bit
  - With each page associate a bit, initially = 0
  - When page is referenced bit set to 1
  - Replace the one which is 0 (if one exists)
    - We do not know the order, however

Second-Chance (clock) Page-Replacement Algorithm

가장 오랫동안 주기억 장치에 있던 페이지 중 자주 사용되는 페이지의 교체를 방지하기 위한 것으로 FIFO 기법의 단점을 보완한 기법

1. 교체 대상이 되기전에 참조 비트를 검사하여 1일 경우 한번더 기회를 부여
2. 각 페이지에 프레임을 FIFO순으로 유지시키면서 LRU 근사 알고리즘처럼 참조 비트를 가짐



기타 Counting 기반 Algorithms

- **LFU(Least Frequently Used) Algorithm**
  - 사용 빈도가 가장 낮은 페이지를 교체하는 기법

참조 페이지	2	3	1	3	1	2	4	5
페이지 프레임	2	2	2	2	2	2	2	2
		3	3	3	3	3	3	3
			1	1	1		1	1
							4	5
부재 발생	○	○	○				○	○

- **MFU Algorithm(Most Frequently Used)**
  - 사용빈도가 높은 페이지를 교체하는 기법

기타 Algorithms

- NUR(Not Used Recently)
  - LRU와 비슷한 알고리즘으로 최근에 사용하지 않은 페이지를 교체하는 기법
    - 최근의 사용여부를 확인하기 위해 각 페이지 마다 2개의 비트를 사용, 참조비트와 변형 비트를 사용
  - 참조 비트와 변형 비트의 값에 따라 순서가 결정되고 페이지 교체
  - NUR 교체 순서

참조비트	변형비트	교체순서
0	0	1
0	1	2
1	0	3
1	1	4

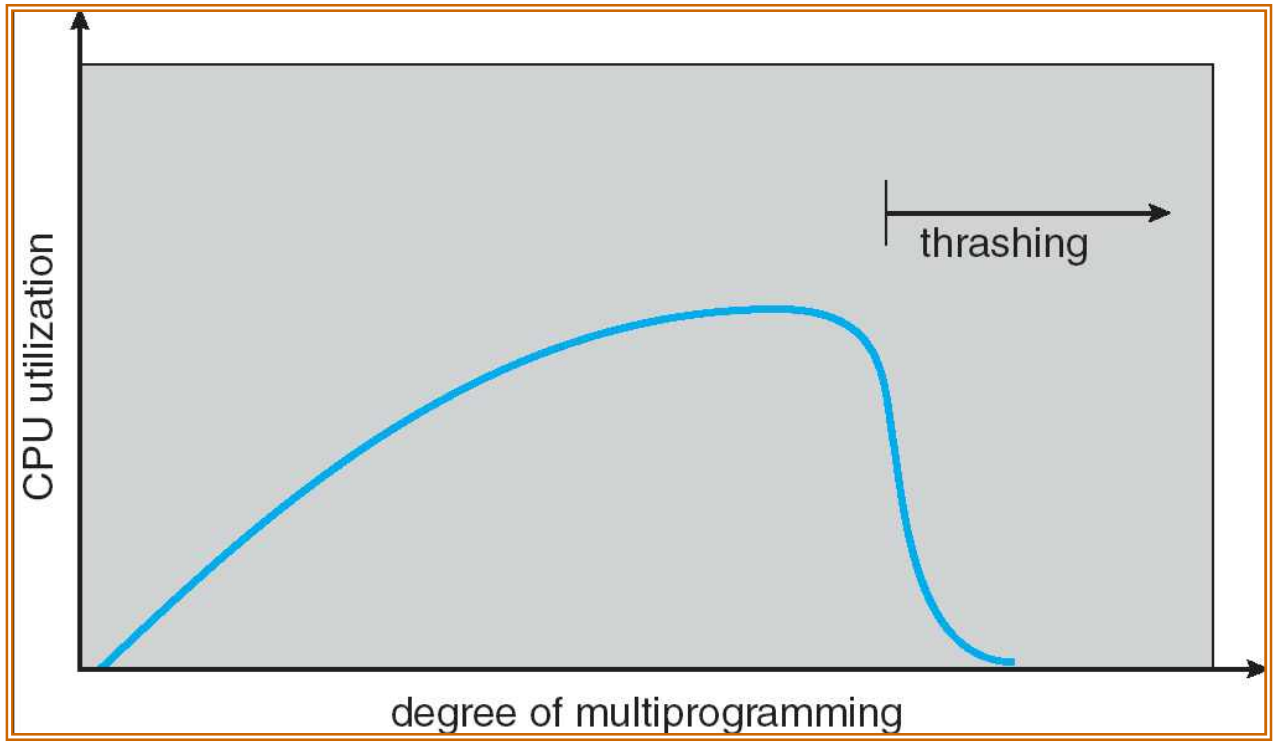
페이지 할당 알고리즘

- 페이지 프레임들을 프로세스들에게 분배해주는 방법
  - 균등 할당법(Equal Allocation)
    - 모든 프로세스에게 똑같은 수의 프레임을 배정하는 방법
  - 비례 할당법(Proportional Allocation)
    - 각 프로세스마다 다르게 할당하는 방법
    - Priority Allocation

스래싱(Thrashing)

- 스래싱의 정의
  - 한 프로세스가 충분한 페이지 크기를 갖지 않아 너무 자주 page fault가 발생하여,
  - 프로그램 수행보다 페이지 교환에 더 많은 시간이 소요되는 현상
- 스래싱의 원인
  - 멀티 프로그래밍의 정도가 높아짐에 따라 CPU 이용률은 높아지게 되나, 프로세스당 할당된 메모리의 페이지 프레임수가 너무 적게 되어 Page Fault가 급격하게 증가되고,
  - 이에 따라 CPU 이용률이 급격하게 감소되어 역전 현상이 발생

Thrashing (Cont.)

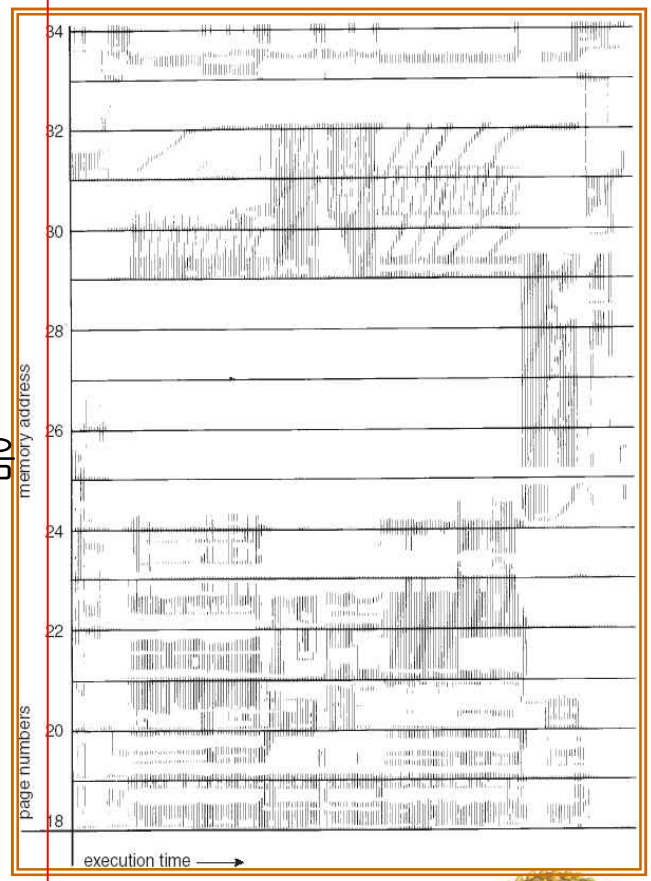


스래싱(Thrashing) 현상 해결 방법

- 해결방법
  - 부족한 자원을 증설
  - 일부 프로세스를 중단
    - 낮은 우선순위 프로세스를 중단
  - 성능자료의 지속적 관리 및 분석으로 임계치를 예상하여 운영
  - 페이지 부재율을 조절하여 대처함
  - Working Set 방법을 이용

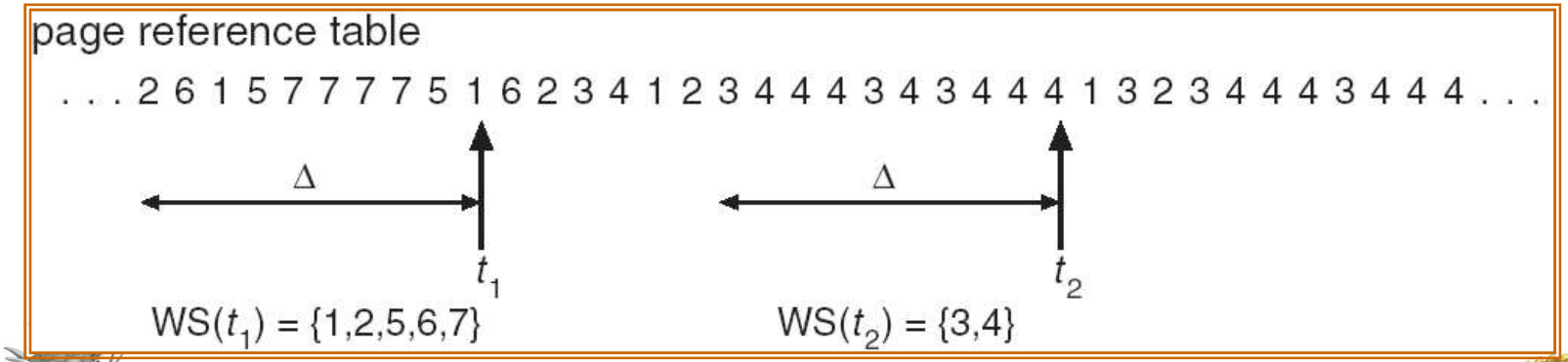
구역성(Locality) : 메모리 참조에서의 구역성

- 정의
  - 실행중인 프로세스가 일정시간 동안 메모리의 일정 부분만을 집중적으로 참조하는 경우가 발생
  - Working Set 이론의 기반
  - 시간구역성
    - 처음에 참조된 기억장소가 가까운 미래에도 계속 참조될 가능성이 높음
      - 반복(Loop), 스택(Stack), Subroutine, Counting, 집계(Totaling) 등
  - 공간 구역성
    - 어떤 기억장소가 참조되었을 때, 그 근처의 기억장소가 계속 참조될 가능성이 높음
      - 배열 순례, 순차적 코드



Working-Set Model

- Working Set의 정의
  - 실행중인 프로세스가 최근 T초 동안에 참조한 페이지들의 집합
  - 해당 프로세스에게 할당해 주어야할 최소한의 페이지 수를 뜻하며,
    - Working Set의 크기보다 적게 페이지 프레임을 할당해 주면 스래싱이 발생할 수 있음



Other Issues – 페이지크기(Page Size)

- 가상 메모리에서 페이지 크기의 영향
  - 페이지 크기가 작을 경우
    - 페이지 단편화가 감소되고, 한 개의 페이지를 주기억 장치로 이동하는 시간이 줄어듦
    - 프로그램 수행에 필요한 내용만 주기억 장치에 적재될 수 있고, 지역성이 높아져 기억 장치 효율이 높아짐
    - 페이지 정보를 갖는 페이지 맵 테이블의 크기가 커지고 맵핑 속도가 늦어짐
    - 디스크 접근횟수가 많아져서 전체적인 입출력 시간은 늘어남
    - 페이지 개수가 증가

Other Issues – 페이지크기(Page Size)

- 가상 메모리에서 페이지 크기의 영향
  - 페이지 크기가 클 경우
    - 페이지 정보를 갖는 페이지 맵 테이블의 크기가 작아지고, 맵핑 속도가 빨라짐
    - 디스크 접근 횟수가 줄어들어 전체적인 입출력 효율성이 증가함
    - 페이지 단편화가 증가되고 한 개의 페이지를 주기억 장치로 이동하는 시간이 늘어남
    - 프로그램 수행에 불필요한 내용까지 주기억장치에 적재될수 있음

End of Chapter 9