



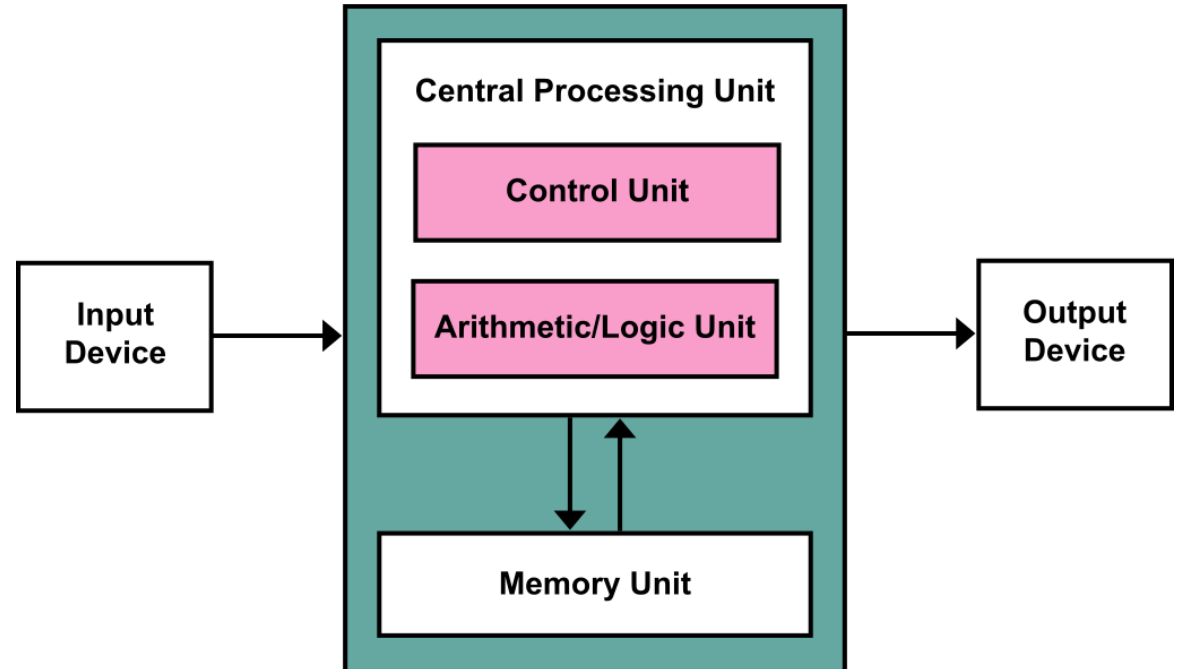
OPERACIJSKI SUSTAVI

Upravljanje memorijom – Straničenje

(Page replacement algorithms)

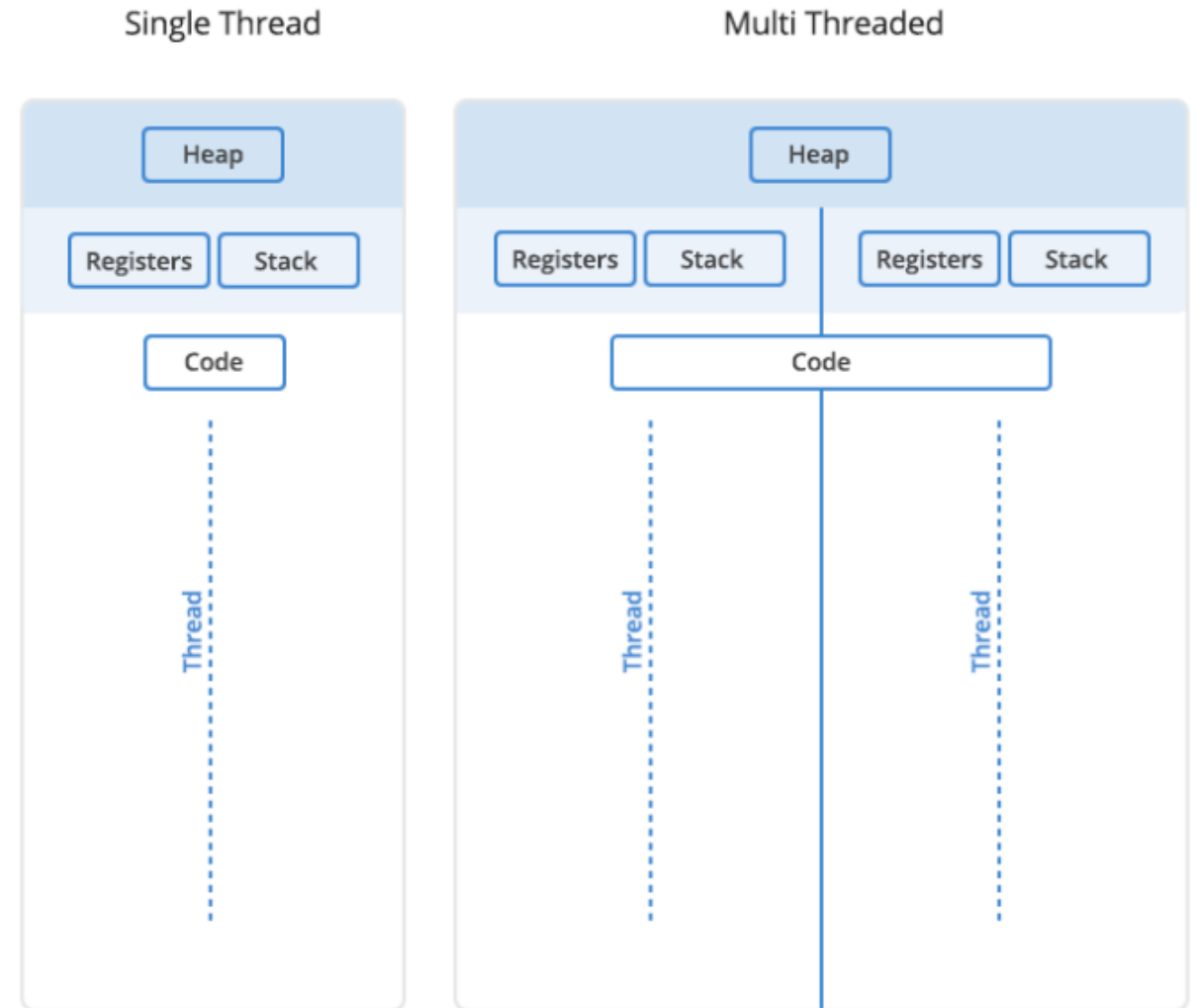
Komponente računala

- CPU
- Glavna memorija (RAM)
- Vanjska memorija (Disk)
- I/O uređaji
- Sabirnica
- Struja



Podsjetnik: Što je process!

- Heap/Varijabilni dio memorije procesa
- Područje unaprijed rezervirano u RAMu, koje programski proces može koristiti za pohranu podataka
 - Rezerviran je u nekom varijabilnom iznosu koji neće biti poznat dok se program ne pokrene (da li će dobiti 100% ili 1% ili 0%+greška?!)

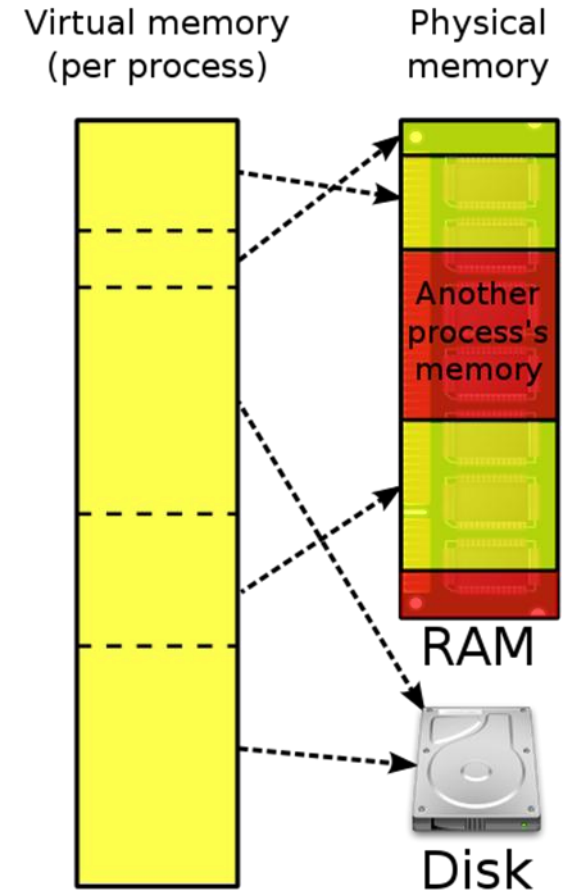


Primjer procesa memorije/heap

- Primjer:
- Računalo ima ukupno **8Gbyte RAM-a**
- Aplikacija mora učitati **10Gbyte** podataka iz diskovne datoteke za računanje
- Rezervirano od strane OS-a za naš postupak prijave = **2Gbyte RAM-a**
 - Aplikaciji su potrebni svi podaci iz datoteke za izračun (10)
 - Aplikacija dobiva samo 2 Gbyte RAM-a
 - Nedostaje 8 Gbyte (10 - 2)? Što će OS učiniti?

Virtual memory

- Operativni sustav **rezervira** dio memorije za svaki proces
- Operativni sustav **mapira** memorijske adrese (virtualne adrese) koje aplikacija koristi na fizičke adrese
- Operacijski sustav grupirat će podatke u blokove – koji se nazivaju **stranica**
- Operativni sustav će uravnotežiti ono što se nalazi u RAM-u pomoću **algoritama** zamjene stranica
- Blok više stranica u RAM-u je **segment** (ili okvir ili **stranice**)



Algoritmi zamjene stranica

- Operativni sustav koristi algoritme zamjene stranica:
- **Pogreška** – stranica NIJE u RAM-u (događa se kada pokrenuti program pristupi memorijskoj stranici koja je mapirana u virtualni adresni prostor, ali nije učitana u fizičku memoriju)
 - Budući da je fizička memorija (RAM) manja od virtualne memorije (Disk)
 - **FIFO** – First In First Out
 - **LRU** – Least Recently Used
 - **LFU** – Least Frequently Used

FIFO

- Operacijski sustav prati sve stranice u memoriji u redu čekanja,
- Najstarija stranica nalazi se ispred reda čekanja.
- Kada stranicu treba zamijeniti – stara će se zamijeniti novom stranicom na kraju reda čekanja

Task 1.1. - FIFO

- Najstarija stranica u memoriji je ona koju ćemo odabrati za zamjenu
- Stranice se postavljaju kao vezana lista, stranica se skida sa kraja dok se nova stranica stavlja na početak
- Neka sljedeći referentni niz bude zadan: **3, 2, 1, 0, 3, 2, 4, 3, 2, 1, 0, 4**, broj referenci je 12.
- Neka memorija stane **3** bloka (segment).

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	3	Miss		3		
2	2	Miss		3	2	
3	1	Miss		3	2	1
4	0	Miss	3	2	1	0
5	3	Miss	2	1	0	3
6	2	Miss	1	0	3	2
7	4	Miss	0	3	2	4
8	3	Hit		3	2	4
9	2	Hit		3	2	4
10	1	Miss	3	2	4	1
11	0	Miss	2	4	1	0
12	4	Hit		4	1	0

Number of Hits: 3

Number of Miss: 9 (75%)

Task 1.2. - FIFO

- Najstarija stranica u memoriji je ona koju ćemo odabrati za zamjenu
- Stranice se postavljaju kao vezana lista, stranica se skida sa kraja dok se nova stranica stavlja na početak
- Let the following reference string be defaulted: **3, 2, 1, 0, 3, 2, 4, 3, 2, 1, 0, 4**, the number of references is 12.
- Neka memorija stane **4** bloka (segment).

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM			
1	3	Miss		3			
2	2	Miss		3	2		
3	1	Miss		3	2	1	
4	0	Miss		3	2	1	0
5	3	Hit		3	2	1	0
6	2	Hit		3	2	1	0
7	4	Miss	3	2	1	0	4
8	3	Miss	2	1	0	4	3
9	2	Miss	1	0	4	3	2
10	1	Miss	0	4	3	2	1
11	0	Miss	4	3	2	1	0
12	4	Miss	3	2	1	0	4

Number of Hits: 2

Number of Miss: 10 (83%)

Belady anomalija

- Dokazuje da je moguće imati više grešaka stranica ako se poveća segment dok koristimo FIFO algoritam
- Iz prošlog primjera:
 - String: 3, 2, 1, 0, 3, 2, 4, 3, 2, 1, 0, 4
 - Segment = **3**; Broj grešaka = **9**
 - Segment = **4**; Broj grešaka = **10**

LRU vs. LFU

- LRU – Least recently used
 - Zamjeni se stranica kojoj najduže vrijeme nije pristupano u prošlosti
 - *“Vjerojatno ako nešto nismo dugo koristili nam neće trebati sutra”*
- LFU – Least Frequently used
 - Zamjeni se stranica koja se najrijeđe koristila u prošlosti (*“stranica koja je u prošlosti imala najmanje pregleda/učitavanja”*)

Task 2.1 LRU

- Zadan je sljedeći referentni niz:
0,2,1,6,4,0,1,0,0,0,1,1,0,4,2,1,1,1,
 broj referenci je 16.
- Neka memorija stane u **3** segmenta
 (više stranica).

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	0	Miss		0		
2	2	Miss		0	2	
3	1	Miss		0	2	1
4	6	Miss	0	6	2	1
5	4	Miss	2	6	4	1
6	0	Miss	1	6	4	0
7	1	Miss	6	1	4	0
8	0	Hit		1	4	0
9	0	Hit		1	4	0
10	1	Hit		1	4	0
11	1	Hit		1	4	0
12	0	Hit		1	4	0
13	4	Hit		1	4	0
14	2	Miss	1	2	4	0
15	1	Miss	0	2	4	1
16	1	Hit		2	4	1

Number of Hits: 7

Number of Miss: 9 (56%)

Task 2.1 LRU – detaljnije rješenje

- Korak 4: '0' -> najduže čeka pogodak t-3; '1'-> t-1
- Korak 5: '2'-> t-3; 6-> t-1; '1'-> t-2
- Korak 6: '1'-> t-3; '6'-> t-2; '4'->t-1
- Korak 7: '6'-> t-3; '4'-> t-2; '0'->t-1
- Korak 14: '1'->t-3; '4'->t-1; '0'->t-2

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	0	Miss		0		
2	2	Miss		0	2	
3	1	Miss		0	2	1
4	6	Miss	0	6	2	1
5	4	Miss	2	6	4	1
6	0	Miss	1	6	4	0
7	1	Miss	6	1	4	0
8	0	Hit		1	4	0
9	0	Hit		1	4	0
10	1	Hit		1	4	0
11	1	Hit		1	4	0
12	0	Hit		1	4	0
13	4	Hit		1	4	0
14	2	Miss	1	2	4	0
15	1	Miss	0	2	4	1
16	1	Hit		2	4	1

Task 2.2 LFU

- Zamjenjuje stranicu koja se u prošlosti najrjeđe koristila
- Zadan je sljedeći referentni niz: **0,2,1,6,4,0,1,0,0,1,1,0,4,2,1,1**, broj referenci je 16.
- Neka u memoriju stane **3** segmenta (više stranica).

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	0	Miss		0		
2	2	Miss		0	2	
3	1	Miss		0	2	1
4	6	Miss	0	6	2	1
5	4	Miss	2	6	4	1
6	0	Miss	1	6	4	0
7	1	Miss	6	1	4	0
8	0	Hit		1	4	0
9	0	Hit		1	4	0
10	1	Hit		1	4	0
11	1	Hit		1	4	0
12	0	Hit		1	4	0
13	4	Hit		1	4	0
14	2	Miss	4	1	2	0
15	1	Hit		1	2	0
16	1	Hit		1	2	0

Number of Hits: 8

Number of Miss: 8 (50%)

Task 2.2 LFU – detaljnije – računanje frekvencije (broj_pogodaka/ukupan_broj_pojavljivanja u prošlosti):

- Korak 4:
 - '0'=>1/3 – '0': OUT;
 - '2'=>1/2;
 - '1'=>1/1
- Korak 5:
 - '6'=1/1;
 - '2'=>1/3 – '2': OUT;
 - '1'=>1/2
- Korak 6:
 - '6'=>1/2;
 - '4'=>1/1;
 - '1'=>1/3 – '1': OUT;
- Korak 7:
 - '6'=>1/3 – '6': OUT;
 - '4'=> 1/2 ;
 - '0'=> 1/1
- Korak 14:
 - '1'=>4/10=0.4;
 - '4'=>2/9=0.22 – '4': OUT;
 - '0'=>5/11=0.45

Notice for Task 2.1 & 2.2!

- Step 14:
 - **LRU** – out '1' since it was used -2t (longest time not used)
 - **LFU** – out '4' since it has lowest frequency
 - '1'= $\Rightarrow 4/10 = 0.4$;
 - '4'= $2/9 = \mathbf{0.22}$;
 - '0'= $5/11 = 0.45$

Task 2.3 LRU

- Zadani niz: 0,2,1,1,6,4,0,1,0,3,1,2,1,1, broj referenci je 12.
- Let the memory fit 4 segments (frames).

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM			
1	0	Miss		0			
2	2	Miss		0	2		
3	1	Miss		0	2	1	
4	6	Miss		0	2	1	6
5	4	Miss	0	4	2	1	6
6	0	Miss	2	4	0	1	6
7	1	Hit		4	0	1	6
8	0	Hit		4	0	1	6
9	3	Miss	6	4	0	1	3
10	1	Hit		4	0	1	3
11	2	Miss	4	2	0	1	3
12	1	Hit		2	0	1	3

Number of Hits: 4

Number of Miss: 8 (67%)

Task 2.4 LFU

- Zadani niz: 0,2,1,1,6,4,0,1,0,3,1,2,1,1, broj referenci je 12.
- Neka u memorija stane u 4 stranice (segment/okvir/frame...).

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM			
1	0	Miss		0			
2	2	Miss		0	2		
3	1	Miss		0	2	1	
4	6	Miss		0	2	1	6
5	4	Miss	0	4	2	1	6
6	0	Miss	2	4	0	1	6
7	1	Hit		4	0	1	6
8	0	Hit		4	0	1	6
9	3	Miss	6	4	0	1	3
10	1	Hit		4	0	1	3
11	2	Miss	4	2	0	1	3
12	1	Hit		2	0	1	3

Number of Hits: 4

Number of Miss: 8 (67%)

Homework 1. - FIFO

- Stranice se postavljaju kao vezani popis; stranica se uklanja s kraja dok je nova stranica postavljena na početku
- Zadan je sljedeći referentni niz: 0,2,1,1,6,4,0,1,0,3,1,2,1, 1, broj referenci je 12.
- Ispunite tablicu ako je:
 - 1.a) Rezervirane su 3 stranice/segmenta u memoriji
 - 1.b) Rezervirane su 4 stranice/segmenta u memoriji

Homework 2. – LRU/LFU

- Niz: 3, 2, 1, 0, 3, 2, 4, 3, 2, 1, 0, 4, 3, 2
- Prikažite sva stanja straničenja LRU algoritma
 - 2.a) Kapacitet memorije je = 3
 - 2.b) Kapacitet memorije je = 4
- Prikažite sva stanja straničenja LFU algoritma
 - 2.c) Kapacitet memorije je = 3
 - 2.d) Kapacitet memorije je = 4

**Hvala vam na
pažnji!**



Rješenje 1

- 1.a (3 segmenta)

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	0	Miss		0		
2	2	Miss		0		
3	1	Miss		0	1	
4	6	Miss		0	1	6
5	4	Miss	0	2	6	4
6	0	Miss	2	6	4	0
7	1	Miss	6	4	0	1
8	0	Hit		4	0	1
9	3	Miss	4	0	1	3
10	1	Hit		0	1	3
11	2	Miss	0	1	3	2
12	1	Hit		1	3	2

Broj učitavanja: 3
Broj pogreški: 9 (75%)

- 1.b (4 segmenta)

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM			
1	0	Miss		0			
2	2	Miss		0	2		
3	1	Miss		0	2	1	
4	6	Miss		0	2	1	6
5	4	Miss	0	2	1	6	4
6	0	Miss	2	1	6	4	0
7	1	Hit		1	6	4	0
8	0	Hit		1	6	4	0
9	3	Miss	1	6	4	0	3
10	1	Miss	6	4	0	3	1
11	2	Miss	4	0	3	1	2
12	1	Hit		0	3	1	2

Broj učitavanja: 3
Broj pogreški: 9 (75%)

Rješenje 2a,b

- 2a (LRU, s=3)

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	3	Miss		3		
2	2	Miss		3	2	
3	1	Miss		3	2	1
4	0	Miss	3	0	2	1
5	3	Miss	2	0	3	1
6	2	Miss	1	0	3	2
7	4	Miss	0	4	3	2
8	3	Hit		4	3	2
9	2	Hit		4	3	2
10	1	Miss	4	1	3	2
11	0	Miss	3	1	0	2
12	4	Miss	2	1	0	4
13	3	Miss	1	3	0	4
14	2	Miss	0	3	2	4

Number of Hits: 2
Number of Miss: 12 (86%)

- 2b (LRU, s=4)

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM			
1	3	Miss		3			
2	2	Miss		3	2		
3	1	Miss		3	2	1	
4	0	Miss		3	2	1	0
5	3	Hit		3	2	1	0
6	2	Hit		3	2	1	0
7	4	Miss	1	3	2	4	0
8	3	Hit		3	2	4	0
9	2	Hit		3	2	4	0
10	1	Miss	0	3	2	4	1
11	0	Miss	4	3	2	0	1
12	4	Miss	3	4	2	0	1
13	3	Miss	2	4	3	0	1
14	2	Miss	1	4	3	0	2

Number of Hits: 4
Number of Miss: 10 (71%)

Rješenje 2c,d

- 2c (LFU, s=3)

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM		
1	3	Miss		3		
2	2	Miss		3	2	
3	1	Miss		3	2	1
4	0	Miss	3	0	2	1
5	3	Miss	2	0	3	1
6	2	Miss	1	0	3	2
7	4	Miss	0	4	3	2
8	3	Hit		4	3	2
9	2	Hit		4	3	2
10	1	Miss	4	1	3	2
11	0	Miss	3	1	0	2
12	4	Miss	2	1	0	4
13	3	Miss	1	2	0	4
14	2	Hit		2	0	4

Number of Hits: 3
Number of Miss: 11 (79%)

- 2d (LFU, s=4)

Korak Step	Ulaz IN	Što/What? Hit/Miss	Izlaz OUT	Memorija RAM			
1	3	Miss		3			
2	2	Miss		3	2		
3	1	Miss		3	2	1	
4	0	Miss		3	2	1	0
5	3	Hit		3	2	1	0
6	2	Hit		3	2	1	0
7	4	Miss	1	3	2	4	0
8	3	Hit		3	2	4	0
9	2	Hit		3	2	4	0
10	1	Miss	0	3	2	4	1
11	0	Miss	4	3	2	0	1
12	4	Miss	3	4	2	0	1
13	3	Miss	0	4	2	3	1
14	2	Hit		4	2	3	1

Number of Hits: 5
Number of Miss: 9 (64%)