



# OPERACIJSKI SUSTAVI

RAID

Ishod 5!  
DISK

# RAID

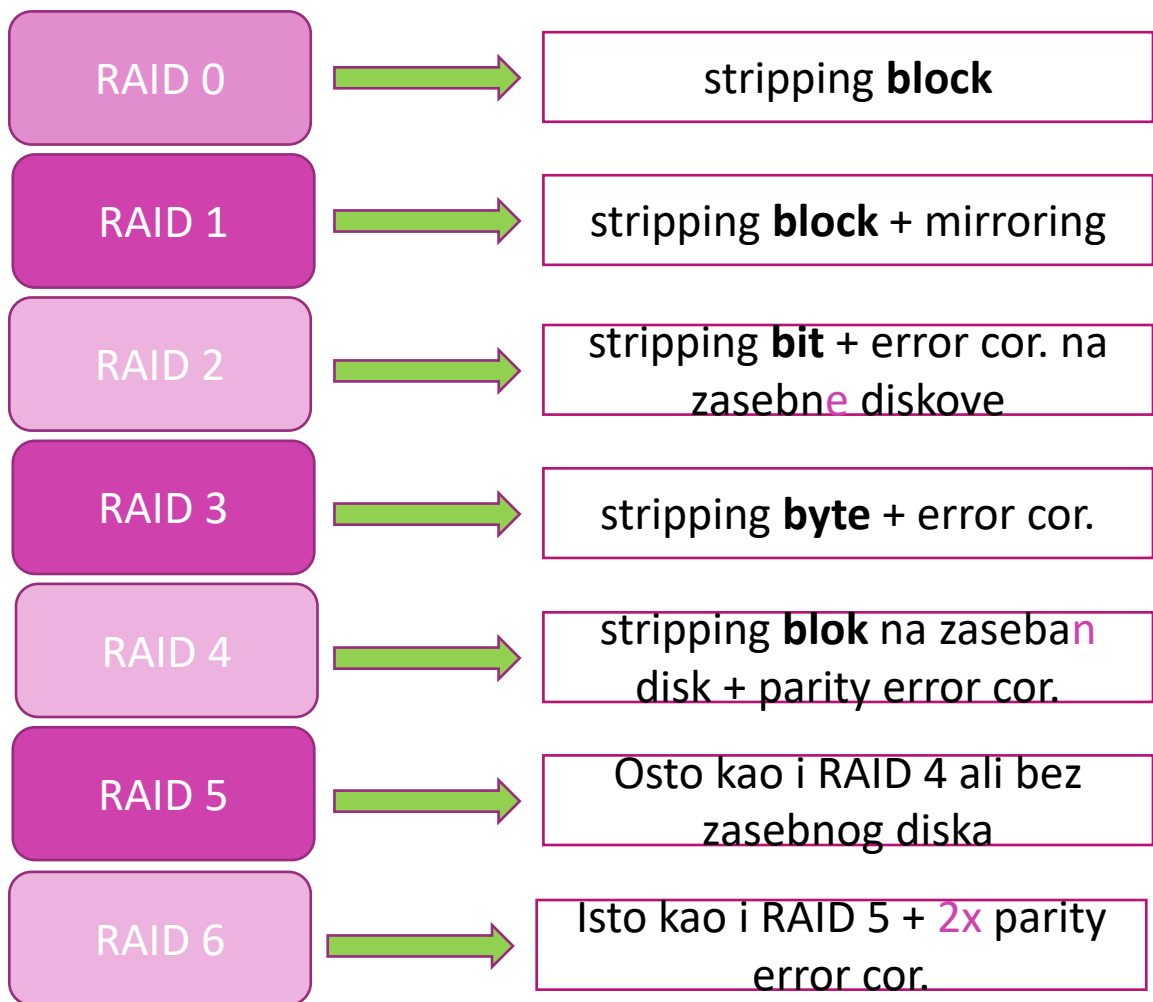
- Koriste se za redundantnu pohranu podataka (*disk failure*)
- Redundant Array of Inexpensive Disks
- Vidimo jedan (ili više) logičkih diskova (*virtual disk*)
- Imamo puno više fizičkih diskova
- U pravilu se koriste kod:
  - Poslužitelja – server
  - Pohrane podataka – NAS
  - Brze obrade podataka - HPC

Logički disk (byte)  $\leq$  Fizički disk (byte)

# RAID koncepti

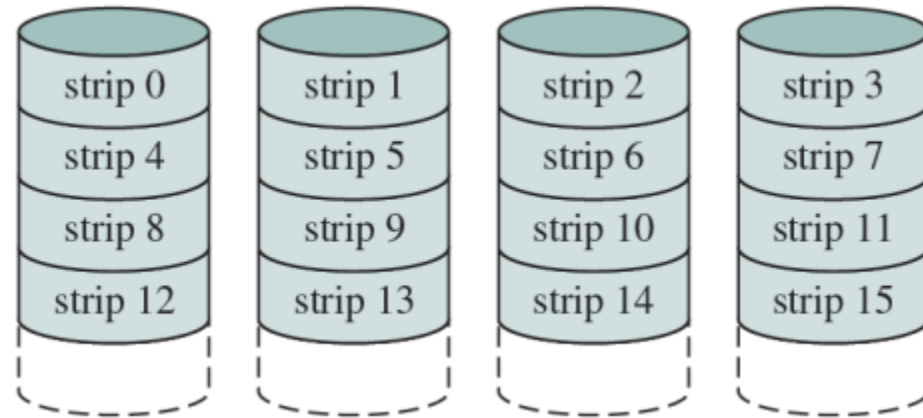
- **Striping**
  - Podaci se dijele/režu u blokove
- **Mirroring**
  - Stvaranje zrcalne kopije
- **Parity or Error Correction**
  - Korištenje algoritama za ispravljanje grešaka
  - Npr. Hamming code
- **Hardware or Software RAID**
  - Gdje se nalazi logika upravljanja sa podacima (na koji disk sad pišem?!)
    - Hardware – brzo i skupo
    - Software – sporo i jeftino

# RAID Level (nivo)



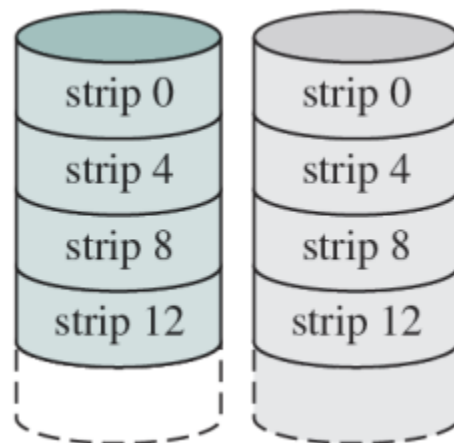
# RAID 0

- Striping blokova
- Što ako „ode” jedan disk?
  - veliki stream podacima – bez ispravljanja grešaka



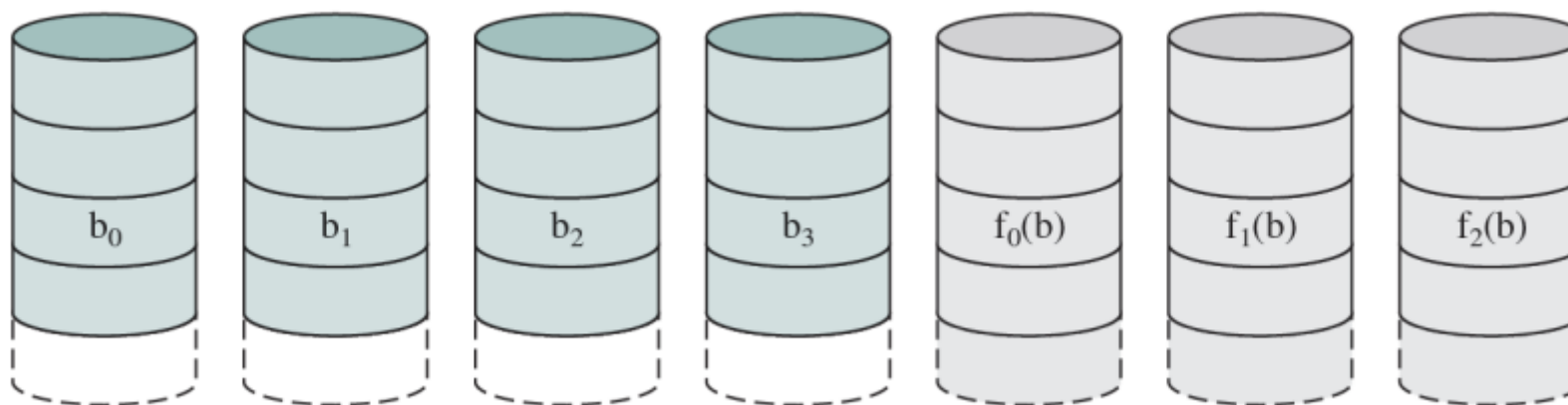
# RAID 1

- Striping blokova + Mirroring
- Što ako „ode” jedan disk?
  - 😊
  - to koriste banke



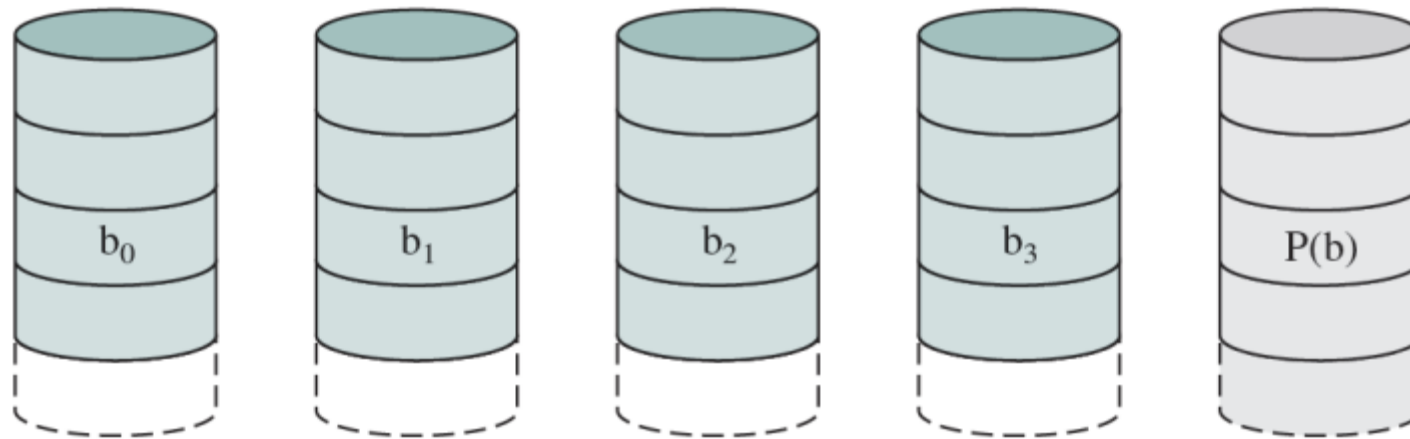
# RAID 2

- Stripping **bitova**
- Hamming code (error corection) – na zasebne diskove
- Što ako „ode” jedan disk?



# RAID 3

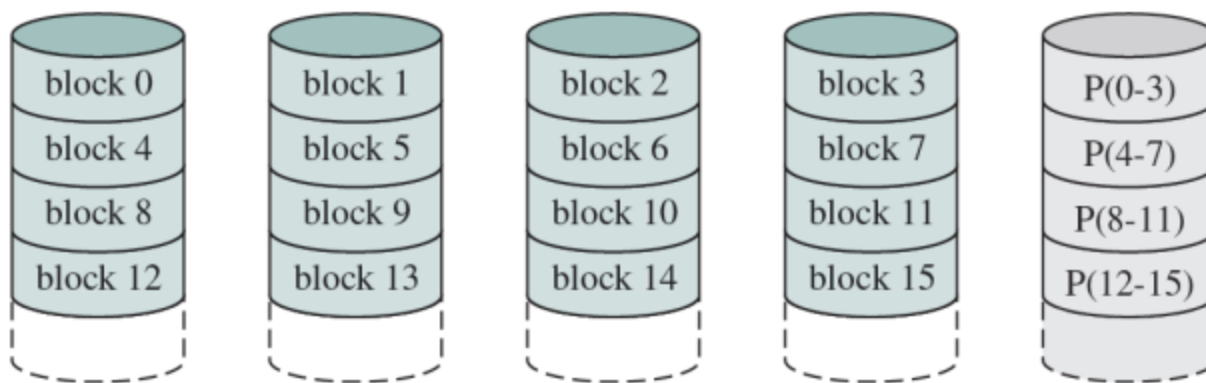
- Samo jedan disk za redundanciju
- Striping **byte** za redundanciju  $P(b)$





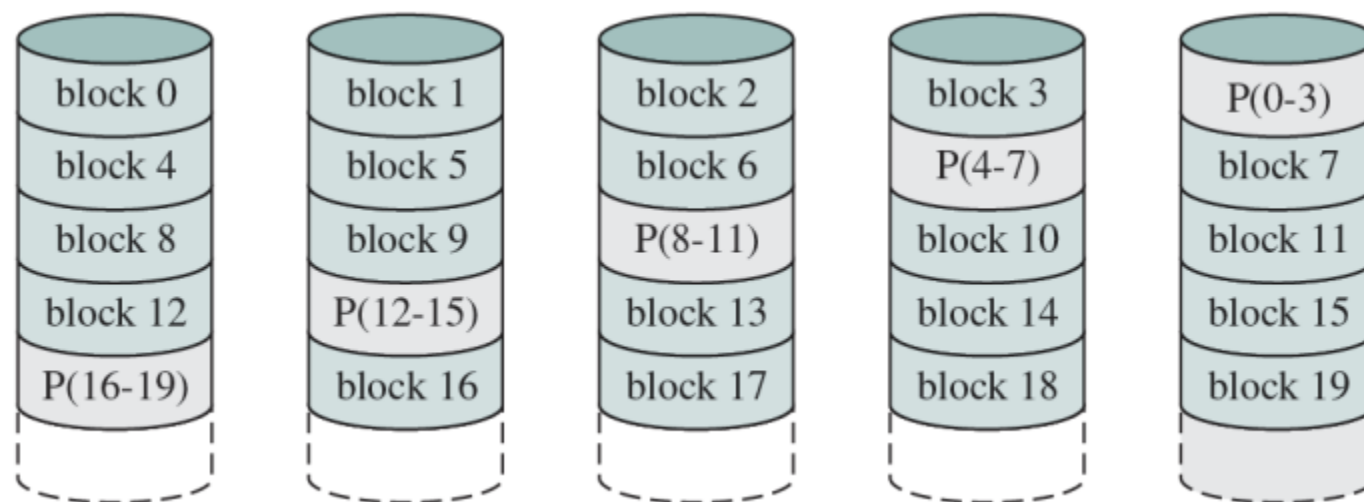
# RAID 4

- Stripping **blokova**
- Bit **pariteti** se zapisuju na zaseban disk



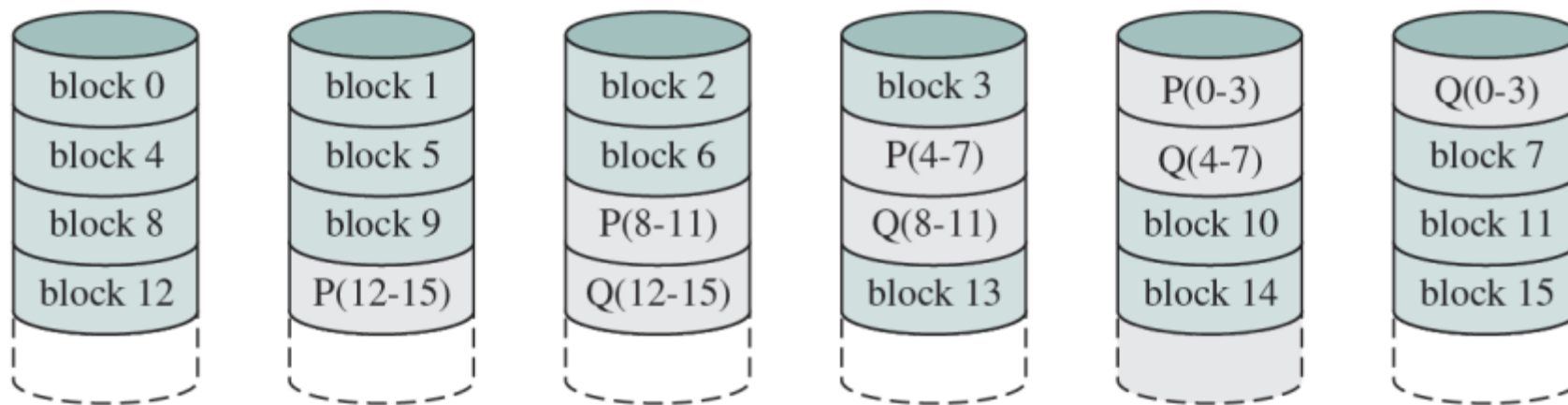
# RAID 5

- Isto kao i RAID 4, ali bez zasebnog diska
  - Za sigurnu pohranu podataka
- Što ako „ode” jedan disk?
- Što ako „ode” još jedan disk?!

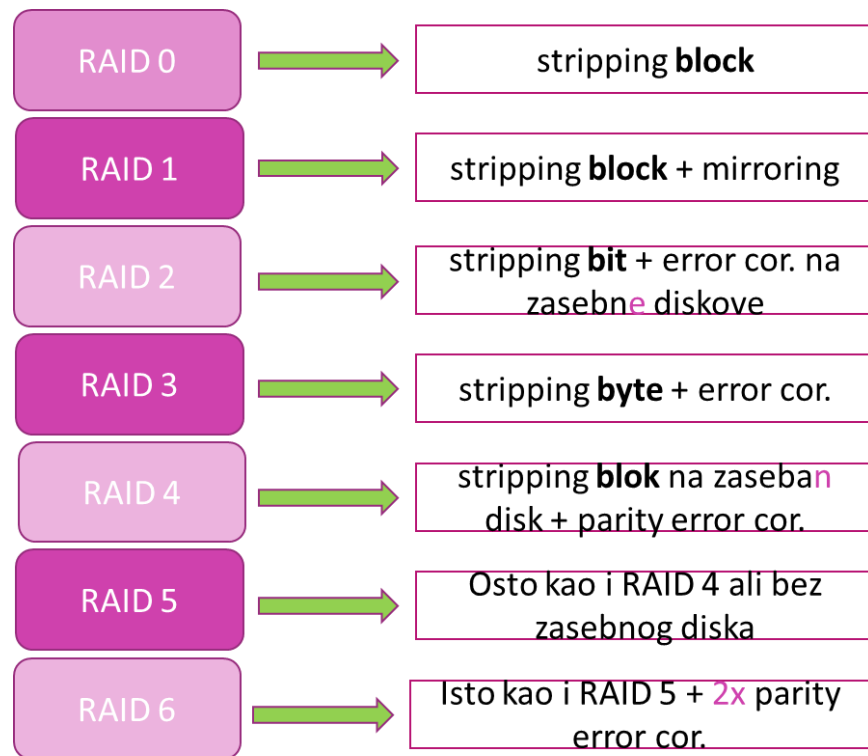


# RAID 6

- Isto ako i RAID 5 ali računa dodatni paritet



# Usporedba



| Raid        | Min.Disks | Storage Efficiency %                       | Cost                          | Read Performance   | Write Performance  | Write Penalty |
|-------------|-----------|--|-------------------------------|--|--|---------------|
| 0           | 2         | 100  | Low                           | Very good for both random and sequential read.                       | Very good  | No            |
| 1           | 2         | 50   | High                          | Good, better than a single disk.                                     | Good, slower than a single disk, as every write must be committed to all disks.            | Moderate      |
| 3           | 3         | $(n-1)*100/n$<br>Where n = number of disks | Moderate                      | Good for random reads and very good for sequential reads.            | Poor to fair for small random writes, good for large, sequential writes.                   | High          |
| 4           | 3         | $(n-1)*100/n$<br>Where n = number of disks | Moderate                      | Very good for random reads. Good to very good for sequential writes. | Poor to fair random writes, fair to good for sequential writes.                            | High          |
| 5           | 3         | $(n-1)*100/n$<br>Where n = number of disks | Moderate                      | Very good for random reads. Good for sequential reads.               | Fair for random writes, slower due to parity overhead, fair to good for sequential writes. | High          |
| 6           | 4         | $(n-2)*100/n$<br>Where n = number of disks | Moderate but more than RAID 5 | Very good for random reads. Good for sequential reads.               | Good for small, random writes (has write penalty).   | Very high     |
| 1+0 and 0+1 | 4         | 50   | High                          | Very good.   | Good   | Moderate      |

# U praksi...

## BREAKDOWN OF COMMON RAID LEVELS

Hewlett Packard  
Enterprise



| RAID LEVEL          | METHOD                   | HARDWARE / SOFTWARE | MINIMUM # OF DISKS | COMMON USAGE                      | PROS   | CONS  |
|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|--|---|
| <b>JBOD</b>         | SPANNING                 |                     | 2                  | INCREASE CAPACITY                 | COST-EFFECTIVE STORAGE                           | NO PERFORMANCE OR SECURITY BENEFITS             |
| <b>0</b>            | STRIPING                 |                     | 2                  | HEAVY READ OPERATIONS             | HIGH PERFORMANCE (SPEED)                         | DATA IS LOST IF ONE DISK FAILS                  |
| <b>1</b>            | MIRRORING                |                     | 2                  | STANDARD APP SERVERS              | FAULT TOLERANCE, HIGH READ PERFORMANCE           | LAG FOR WRITE OPS, REDUCED STORAGE (BY 1/2)     |
| <b>5</b>            | STRIPING & PARITY        |                     | 3                  | NORMAL FILE STORAGE & APP SERVERS | SPEED + FAULT TOLERANCE                          | LAG FOR WRITE OPS, REDUCED STORAGE (BY 1/3)     |
| <b>6</b>            | STRIPING & DOUBLE PARITY |                     | 4                  | LARGE FILE STORAGE & APP SERVERS  | EXTRA LEVEL OF REDUNDANCY, HIGH READ PERFORMANCE | LOW WRITE PERFORMANCE, REDUCED STORAGE (BY 2/5) |
| <b>10<br/>(1+0)</b> | STRIPING & MIRRORING     |                     | 4                  | HIGHLY UTILIZED DATABASE SERVERS  | WRITE PERFORMANCE + STRONG FAULT TOLERANCE       | REDUCED STORAGE (1/2), LIMITED SCALABILITY      |

### What Happened to 2-4 and 6-9?

The RAID levels described above are the most common levels used in enterprise scenarios. The levels in between are highly specialized and only make sense in very specific scenarios.

Izvor: [www.hp.com](http://www.hp.com)

# Hamming code

Za one koji žele znati više

# Hamming code

- Korištenje redundantnih bit-ova **R<sub>x</sub>** (0,1)
  - Ako je paran broj binarnih „1” pišemo „0”
  - Ako je neparan broj binarnih „1” pišemo „1”
    - Primjer: 1011011 – neparno = „1”
    - Primjer: 1011010 – parno = „0”
- Početna informacija se povećava za dodatni broj bitova – **R<sub>x</sub>**
  - **Koliko dodati redundantnih bitova r?**

$$2^r \geq m + r + 1$$

$$2^r \geq m + r + 1$$

| Parity bits | Total bits    | Data bits         | Name                                     | Rate                      |
|-------------|---------------|-------------------|--|---------------------------|
| 2           | 3             | 1                 | Hamming(3,1)<br>(Triple repetition code) | $1/3 \approx 0.333$       |
| 3           | 7             | 4                 | Hamming(7,4)                             | $4/7 \approx 0.571$       |
| 4           | 15            | 11                | Hamming(15,11)                           | $11/15 \approx 0.733$     |
| 5           | 31            | 26                | Hamming(31,26)                           | $26/31 \approx 0.839$     |
| 6           | 63            | 57                | Hamming(63,57)                           | $57/63 \approx 0.905$     |
| 7           | 127           | 120               | Hamming(127,120)                         | $120/127 \approx 0.945$   |
| 8           | 255           | 247               | Hamming(255,247)                         | $247/255 \approx 0.969$   |
| ...         |               |                   |  |                           |
| $m$         | $n = 2^m - 1$ | $k = 2^m - m - 1$ | Hamming( $2^m - 1, 2^m - m - 1$ )        | $(2^m - m - 1)/(2^m - 1)$ |

Na poruku od 8 bitova + dodaje se još 4 = 12  
 Na poruku od 11 bitova + dodaje se još 4 = 15



# Hamming algoritam

- Zapišite pozicije bitova počevši od 1 u binarnom obliku (001, 010, 011, 100, itd.).
- Svi položaji bita koji imaju potenciju broja 2 označeni su kao paritetni bitovi (1, 2, 4, 8, itd.).
- Svi ostali bitovi su označeni kao podatkovni bitovi.
- Originalna informacija: **I<sub>x</sub>**
- Izračunajte paritete i upišite pod **R<sub>x</sub>**

|                    |     |     |    |                |    |    |    |                |    |                |                |
|--------------------|-----|-----|----|----------------|----|----|----|----------------|----|----------------|----------------|
| Mjesto:            | 11  | 10  | 9  | 8              | 7  | 6  | 5  | 4              | 3  | 2              | 1              |
|                    |     |     |    | 2 <sup>3</sup> |    |    |    | 2 <sup>2</sup> |    | 2 <sup>1</sup> | 2 <sup>0</sup> |
| Mjesto za 0 ili 1: | D11 | D10 | D9 | D8             | D7 | D6 | D5 | D4             | D3 | D2             | D1             |
|                    | I7  | I6  | I5 | R4             | I4 | I3 | I2 | R3             | I1 | R2             | R1             |

# Primjer 1 – kreiranje referentnog niza

- Informacija: 1011001
  - 7 bitova – 4 redundantna

| Informacija | I7 | I6 | I5 | I4 | I3 | I2 | I1 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
|             | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  |

- Redundantni niz (7+4):

|      |     |     |    |       |    |    |    |       |    |       |       |
|------|-----|-----|----|-------|----|----|----|-------|----|-------|-------|
|      | 11  | 10  | 9  | 8     | 7  | 6  | 5  | 4     | 3  | 2     | 1     |
|      |     |     |    | $2^3$ |    |    |    | $2^2$ |    | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11 | D10 | D9 | D8    | D7 | D6 | D5 | D4    | D3 | D2    | D1    |
| Ref. | 1   | 0   | 1  | R4    | 1  | 0  | 0  | R3    | 1  | R2    | R1    |

# Algoritam

- Svako polje raspisati u binarnom obliku
- R1 – izračunati paritet od mjesta koja imaju binarni broj „1” na zadnjem mjestu (**least significant bit**)
  - Mjesta: 1,3,5,7,9,11...
- R2 – izračunati paritet od drugog mjesta od kraja koja imaju „1”
  - Mjesta: 2,3,6,7,10,11...
- R3 - izračunati paritet od trećeg mjesta od kraja koja imaju „1”
  - Mjesta: 4, 5, 6, 7...
- R4 - izračunati paritet od četvrtog mjesta od kraja koja imaju „1”
  - Mjesta: 8,9,10,11...

# Primjer 1 - Svako polje raspisati u binarnom obliku:

|      |     |     |    |       |    |    |    |       |    |       |       |
|------|-----|-----|----|-------|----|----|----|-------|----|-------|-------|
|      | 11  | 10  | 9  | 8     | 7  | 6  | 5  | 4     | 3  | 2     | 1     |
|      |     |     |    | $2^3$ |    |    |    | $2^2$ |    | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11 | D10 | D9 | D8    | D7 | D6 | D5 | D4    | D3 | D2    | D1    |
| Ref. | 1   | 0   | 1  | R4    | 1  | 0  | 0  | R3    | 1  | R2    | R1    |

11=1011, 10=1010...

|      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |       |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
|      | 1011 | 1010 | 1001 | 1000  | 0111 | 0110 | 0101 | 0100  | 0011 | 0010  | 0001  |
|      | 11   | 10   | 9    | 8     | 7    | 6    | 5    | 4     | 3    | 2     | 1     |
|      |      |      |      | $2^3$ |      |      |      | $2^2$ |      | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11  | D10  | D9   | D8    | D7   | D6   | D5   | D4    | D3   | D2    | D1    |
| Ref. | 1    | 0    | 1    | R4    | 1    | 0    | 0    | R3    | 1    | R2    | R1    |

# Primjer 1 – računanje pariteta R1

- R1 - binarni broj „1” na zadnjem mjestu

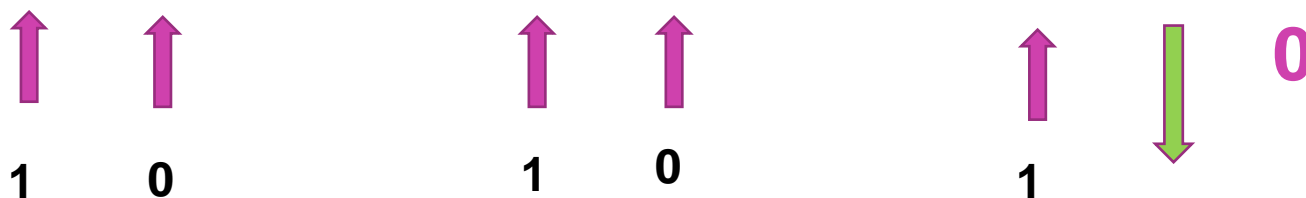
|      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |       |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
|      | 1011 | 1010 | 1001 | 1000  | 0111 | 0110 | 0101 | 0100  | 0011 | 0010  | 0001  |
|      | 11   | 10   | 9    | 8     | 7    | 6    | 5    | 4     | 3    | 2     | 1     |
|      |      |      |      | $2^3$ |      |      |      | $2^2$ |      | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11  | D10  | D9   | D8    | D7   | D6   | D5   | D4    | D3   | D2    | D1    |
| Ref. | 1    | 0    | 1    | R4    | 1    | 0    | 0    | R3    | 1    | R2    | R1    |
|      | ↑    | ↑    | ↑    | ↑     | ↑    | ↑    | ↑    | ↑     | ↑    | ↓     |       |
|      | 1    | 1    | 1    | 1     | 0    | 1    | 1    |       |      |       | R1=0  |

Ako je paran broj binarnih „1” pišemo „0”  
 Ako je neparan broj binarnih „1” pišemo „1”

# Primjer 1 – računanje pariteta R2

- R2 - paritet od drugog mjesta od kraja koja imaju „1”

|      |      |      |      |                |      |      |      |                |      |                |                |
|------|------|------|------|----------------|------|------|------|----------------|------|----------------|----------------|
|      | 1011 | 1010 | 1001 | 1000           | 0111 | 0110 | 0101 | 0100           | 0011 | 0010           | 0001           |
|      | 11   | 10   | 9    | 8              | 7    | 6    | 5    | 4              | 3    | 2              | 1              |
|      |      |      |      | 2 <sup>3</sup> |      |      |      | 2 <sup>2</sup> |      | 2 <sup>1</sup> | 2 <sup>0</sup> |
|      | D11  | D10  | D9   | D8             | D7   | D6   | D5   | D4             | D3   | D2             | D1             |
| Ref. | 1    | 0    | 1    | R4             | 1    | 0    | 0    | R3             | 1    | R2             | R1             |



R2=1 (neparno)

Ako je paran broj binarnih „1” pišemo „0”  
 Ako je neparan broj binarnih „1” pišemo „1”

# Primjer 1 – računanje pariteta R3

- R3 - paritet od trećeg mjesta od kraja koja imaju „1”

|      |      |      |      |       |      |      |      |                |      |       |       |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|----------------|------|-------|-------|
|      | 1011 | 1010 | 1001 | 1000  | 0111 | 0110 | 0101 | 0100           | 0011 | 0010  | 0001  |
|      | 11   | 10   | 9    | 8     | 7    | 6    | 5    | 4              | 3    | 2     | 1     |
|      |      |      |      | $2^3$ |      |      |      | $2^2$          |      | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11  | D10  | D9   | D8    | D7   | D6   | D5   | D4             | D3   | D2    | D1    |
| Ref. | 1    | 0    | 1    | R4    | 1    | 0    | 0    | R3             | 1    | R2    | R1    |
|      |      |      |      |       | ↑    | ↑    | ↑    | ↓              |      | 1     | 0     |
|      |      |      |      |       | 1    | 0    | 0    | R3=1 (neparno) |      |       |       |

Ako je paran broj binarnih „1” pišemo „0”  
 Ako je neparan broj binarnih „1” pišemo „1”

# Primjer 1 – računanje pariteta R4

- R4 - paritet od četvrtog mjesta od kraja koja imaju „1”

|      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |       |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
|      | 1011 | 1010 | 1001 | 1000  | 0111 | 0110 | 0101 | 0100  | 0011 | 0010  | 0001  |
|      | 11   | 10   | 9    | 8     | 7    | 6    | 5    | 4     | 3    | 2     | 1     |
|      |      |      |      | $2^3$ |      |      |      | $2^2$ |      | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11  | D10  | D9   | D8    | D7   | D6   | D5   | D4    | D3   | D2    | D1    |
| Ref. | 1    | 0    | 1    | R4    | 1    | 0    | 0    | R3    | 1    | R2    | R1    |

↑   ↑   ↑   ↓   1   1   0

1   0   1   **R4=0 (parno)**



# Primjer 1 – Konačni niz - Hamming code

- Originalna informacija: 1011001
- Redundantni niz: 0110
- Referentni niz (ukupno): 10101001110

|      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |       |       |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
|      | 1011 | 1010 | 1001 | 1000  | 0111 | 0110 | 0101 | 0100  | 0011 | 0010  | 0001  |
|      | 11   | 10   | 9    | 8     | 7    | 6    | 5    | 4     | 3    | 2     | 1     |
|      |      |      |      | $2^3$ |      |      |      | $2^2$ |      | $2^1$ | $2^0$ |
|      | D11  | D10  | D9   | D8    | D7   | D6   | D5   | D4    | D3   | D2    | D1    |
|      | 1    | 0    | 1    | R4    | 1    | 0    | 0    | R3    | 1    | R2    | R1    |
| Ref. | 1    | 0    | 1    | 0     | 1    | 0    | 0    | 1     | 1    | 1     | 0     |

# Primjer 1 – greška je u 6-tom bitu

- Originalna informacija: 10101001110
- Informacija sa greškom: 10101**1**01110

Ako je paran broj binarnih „1” pišemo „0”  
 Ako je neparan broj binarnih „1” pišemo „1”

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 11   | 10   | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
| Ref. | 1011 | 1010 | 1001 | 1000 | 0111 | 0110 | 0101 | 0100 | 0011 | 0010 | 0001 |
|      | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    |

1,1,1,0,1,0 = 0

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 11   | 10   | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
| Ref. | 1011 | 1010 | 1001 | 1000 | 0111 | 0110 | 0101 | 0100 | 0011 | 0010 | 0001 |
|      | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    |

1,0,1,1,1,1 = 1

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 11   | 10   | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
| Ref. | 1011 | 1010 | 1001 | 1000 | 0111 | 0110 | 0101 | 0100 | 0011 | 0010 | 0001 |
|      | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    |

1,1,0,1 = 1

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 11   | 10   | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
| Ref. | 1011 | 1010 | 1001 | 1000 | 0111 | 0110 | 0101 | 0100 | 0011 | 0010 | 0001 |
|      | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    |

1,0,1,0 = 0

Greška je na mjestu:  
 0110 = 6

**Hvala na pažnji!**

