

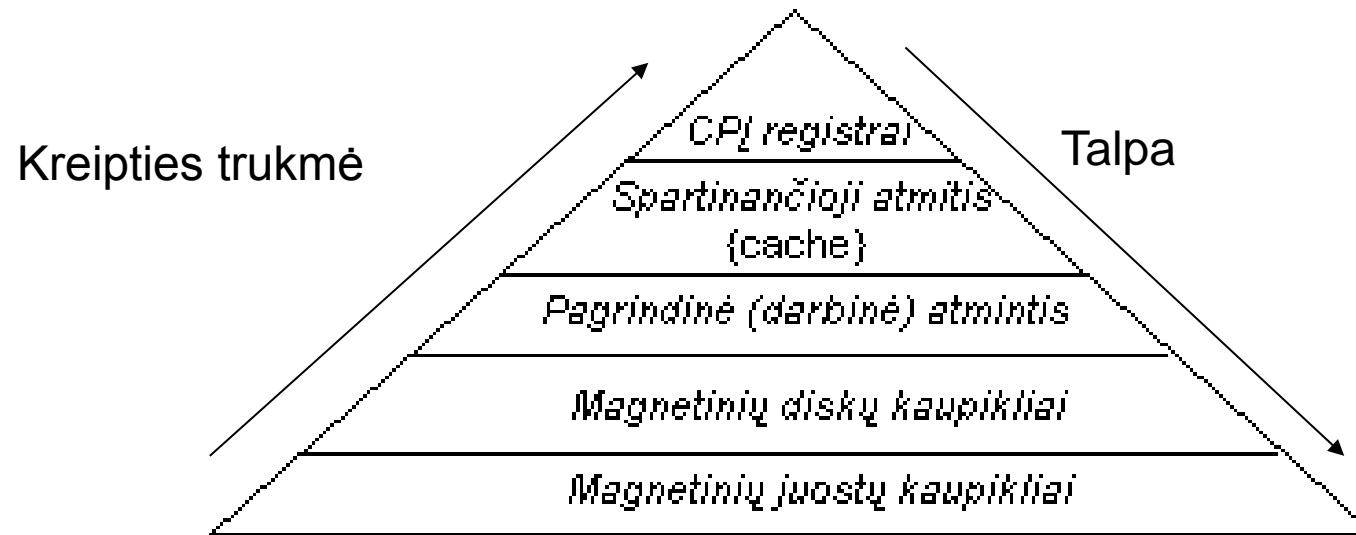
A decorative graphic consisting of a light gray circle on the left side, partially overlapping a horizontal gray bar. The bar has a gradient from dark gray on the left to light gray on the right. Large black brackets are positioned on the left and right sides of the bar, and a light gray bracket is on the right side of the slide.

Atminties technologijos

3 paskaita

RAM (laisvosios kreipties atmintis)

Atminties hierarchija

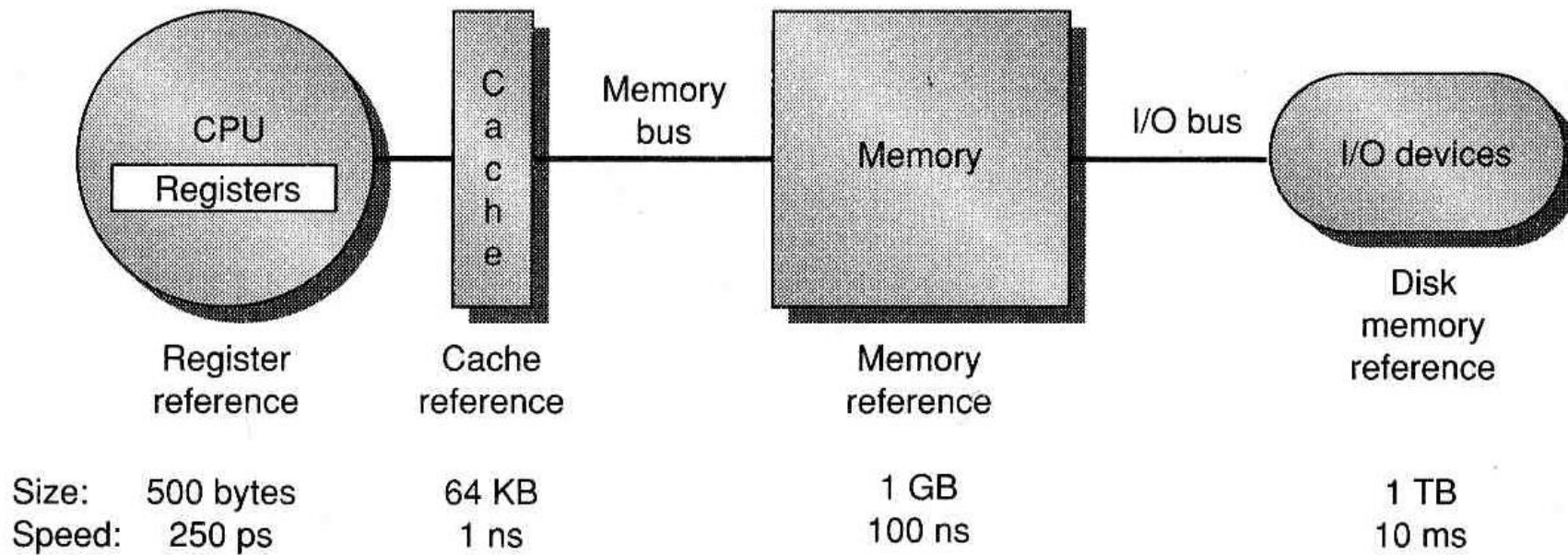


Kompiuterio resursai apibrėžiami pagal lokališkumo principą (laike ir erdvėje), kas leidžia naudoti hierarchinį atminties konstravimo principą.

Tarp trijų pagrindinių atminties charakteristikų – **kainos, talpos ir kreipties laiko** (greičio) turi būti darna. Šių technologijų aibėje galioja tokie santykiai:

- Kuo mažesnė kreipties trukmė, tuo didesnė bito kaina.
- Kuo didesnė talpa, tuo mažesnė bito kaina.
- Kuo didesnė talpa, tuo ilgesnė kreipties trukmė.

[Atminties dydis ir greitis]



Atminties lygių parametrai

Parametrai \ Lygis	Registrai	Spartinan. atmintis L3	Pagrind. atmintis	Išorinė atmintis
Talpa	~8 KB	~24 MB	~1000GB	~ 10 TB
Kreipties laikas (ns)	0.25	1 - 2	50 - 100	10 000 000
Pralaidumas (MB/s)	8000- 16000	1600-5000	500-2000	100-600
Kas valdo	Kompilia- torius	Aparatūra	OS	OS / vartot.
Žemesnis lygis	Spart. atmintis	Pagr. Atm.	MD	MJ
1 MB kaina, Lt	???	200-250	0,5 - 1	0,2 - 0,1

[Atminčių grupės sistema]

Procesoriaus atmintys

- Pirmojo, antrojo, trečiojo lygmens (L1, L2, L3) spartinančioji atmintis
- Registrai

Vidinė atmintis

- Pagrindinė (darbinė) atmintis (RAM), kurioje laikomos vykdomos programos ir joms reikalingi duomenys
- Vaizdo (video) atmintis, kurioje laikoma monitoriaus ekrane pateikiama informacija
- Kietojo disko buferinė atmintis
- BIOS (*basic input/output system*) – pagrindinėms kompiuterio nuostatoms, programoms, kurios reikalingos klaviatūros, monitoriaus, disko, ... darbui valdyti, saugoti.

Išorinė atmintis

- Standusis diskas HDD
- Lanksčių diskelių įtaisas
- CD-ROM, (DVD-ROM) įtaisas
- Magnetinių juostų įtaisas

Atminčių sistemos charakteristikos

Talpa

- Žodžio ilgis
- Žodžių skaičius

Kreipties metodas

- Nuoseklus (juostinės kaupyklos)
- Tiesioginis (HDD, CD, DVD)
- Bet kokia tvarka (laisvos kreipties – RAM)
- Asociatyvus (spartinančioji atmintis)

Persiunčiamas

- Žodis
- Blokas

Atminčių sistemos charakteristikos

Našumo metrika

- Kreipties laikas (*access time*)
- Ciklo trukmė (*cycle time*)
- Persiuntimo sparta (*throughput*)
- Uždelsimas (*latency*)

Fizinis tipas

- Puslaidininkinė
- Magnetinė
- Optinė
- Magneto-optinė

Fizinės charakteristikos

- Išsauganti informaciją/neišsauganti informacijos
- Ištrinama/neištrinama.

[Registrai]

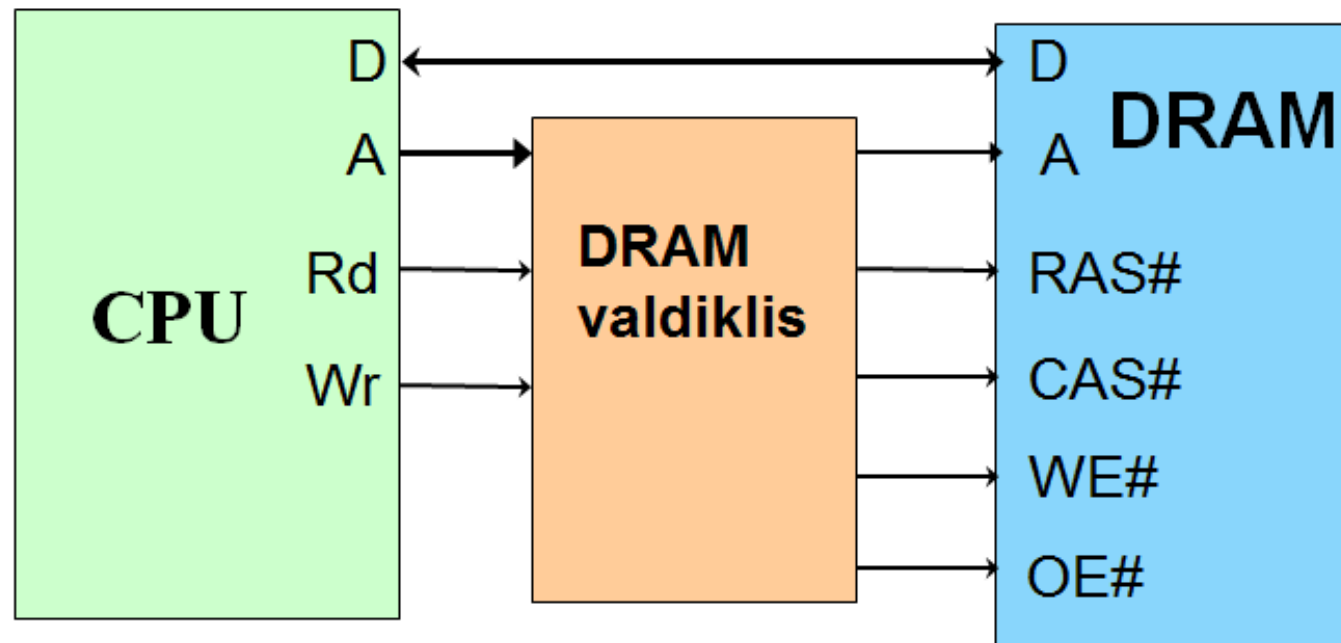
Procesoriaus registrai – tai maža bet labai greita atmintis naudojama pagreitinti programos vykdymą, teikiant greitą priėjimą prie dažnai naudojamų resursų.

Procesoriaus registų tipai:

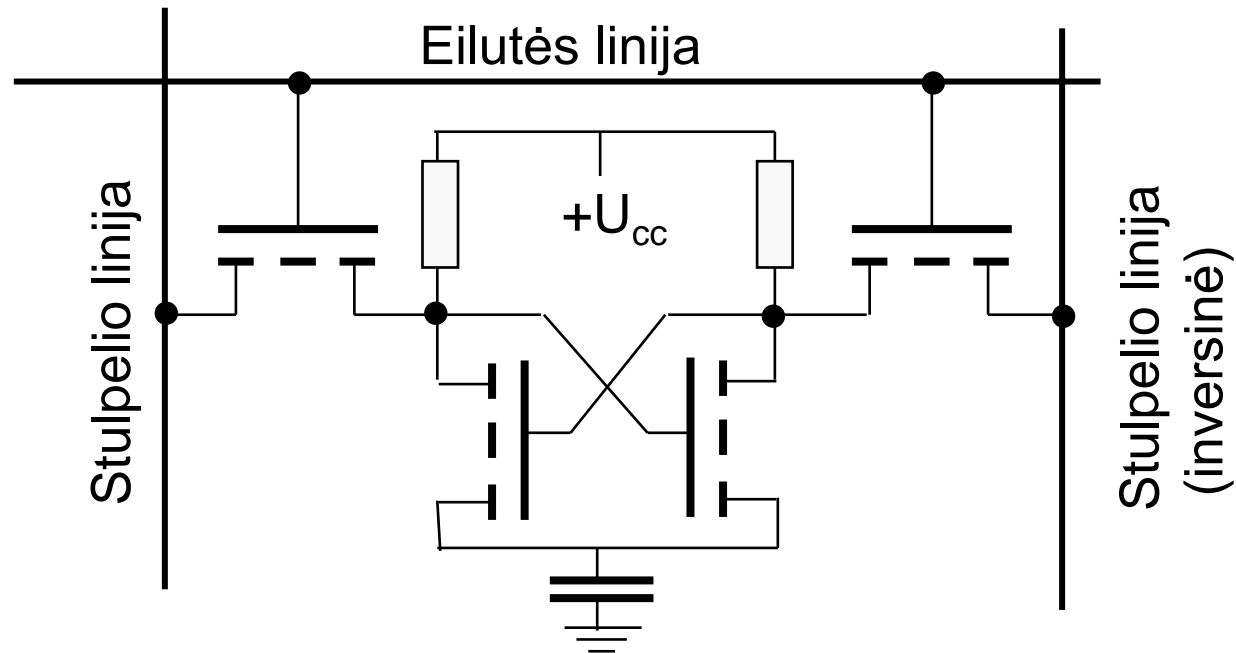
- Duomenų registrai
- Adresų registrai
- Sąlygos registrai
- Bendros paskirties registrai
- Slankaus kablelio registrai
- Konstantų registrai (0, 1, PI ...)
- Vektorių registrai

Laisvosios kreipties puslaidininkinė atmintis

Laisvosios kreipties atmintis (RAM – random access memory), t. y. puslaidininkinė atmintis, kai bet kuris atminties žodis tiesiogiai pasiekiamas naudojant adresavimo mechanizmui.



SRAM ląstelė



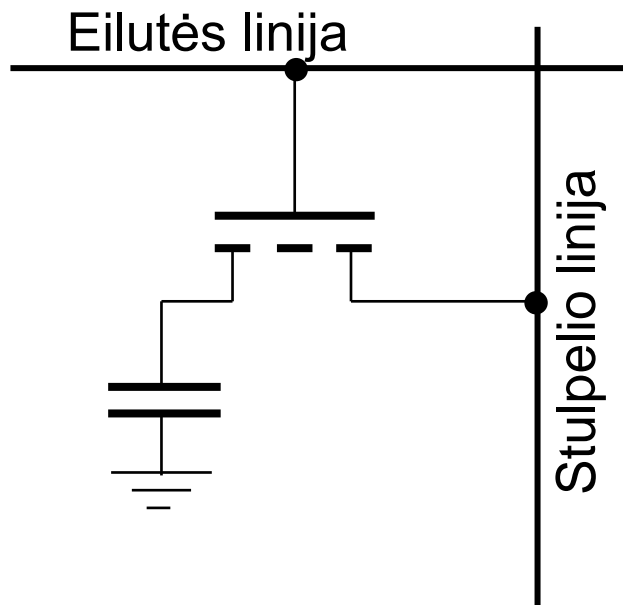
SRAM – static random access memory

Ši atmintis vadinama **statine** todėl, kad atminties elementas (trigeris) gali išlaikyti būseną kiek norima ilgai (kol jis gauna maitinimą).

Vienam bitui saugoti statinės atminties ląstelėje reikia 6-8 tranzistorių (dinaminėje atmintyje pakanka vieno).

Todėl SRAM ląstelė užima žymiai didesnę plotą, užtat dirba greičiau nei DRAM t.y. ciklo trukmė 8-16 kartų mažesnė nei DRAM ir beveik lygi kreipties laikui.

DRAM ląstelė



DRAM – dynamic random access memory.

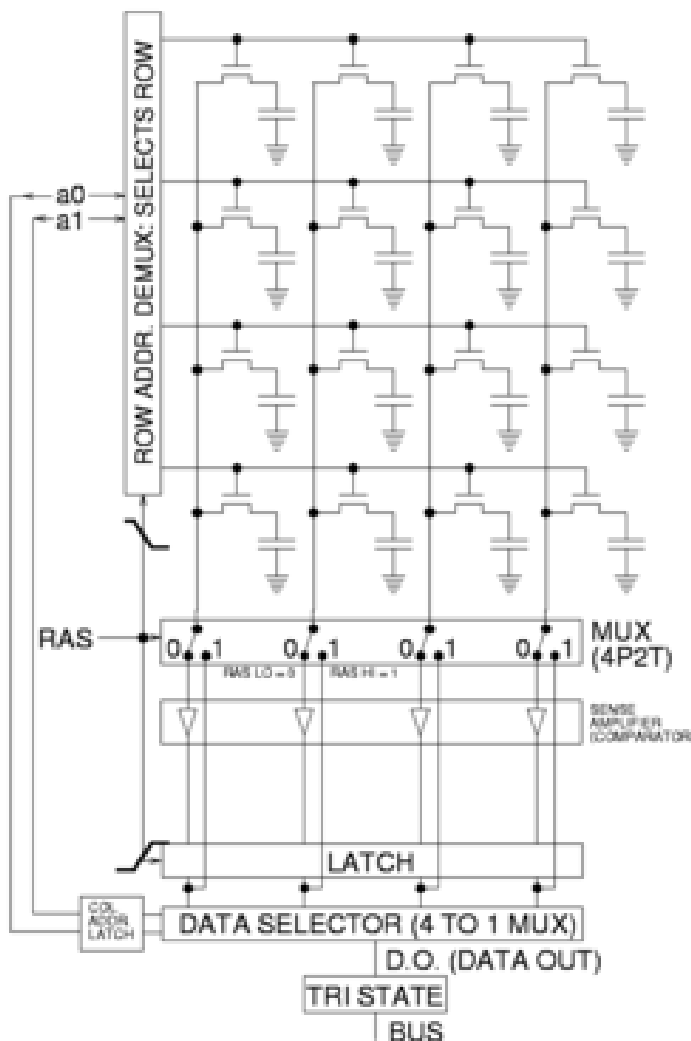
Dinaminė, nes krūvis ląstelėje turi būti nuolat atnaujinamas. Vienam bitui saugoti dinaminės atminties ląstelėje pakanka vieno tranzistoriaus (statinėje atmintyje – 6-8). Siekiant sumažinti mikroschemos kontaktų skaičių, tradiciškai buvo

pereita prie adreso perdavimo dalimis: pradžioje į schemą paduodamas eilutės adresas, po to – stulpelio).

Tai sąlygoja didesnį taktų skaičių kreipinio metu.

Informacija saugoma krūvio pavidalu **kondensatoriuje**, kuris palaipsniui išsikrauna, todėl ją periodiškai reikia atkurti (regeneruoti) – 8ms. Skaitymo metu kondensatorius taip pat išsikrauna, todėl jo krūvis taip pat atkuriamas.

[DRAM matricos schema]

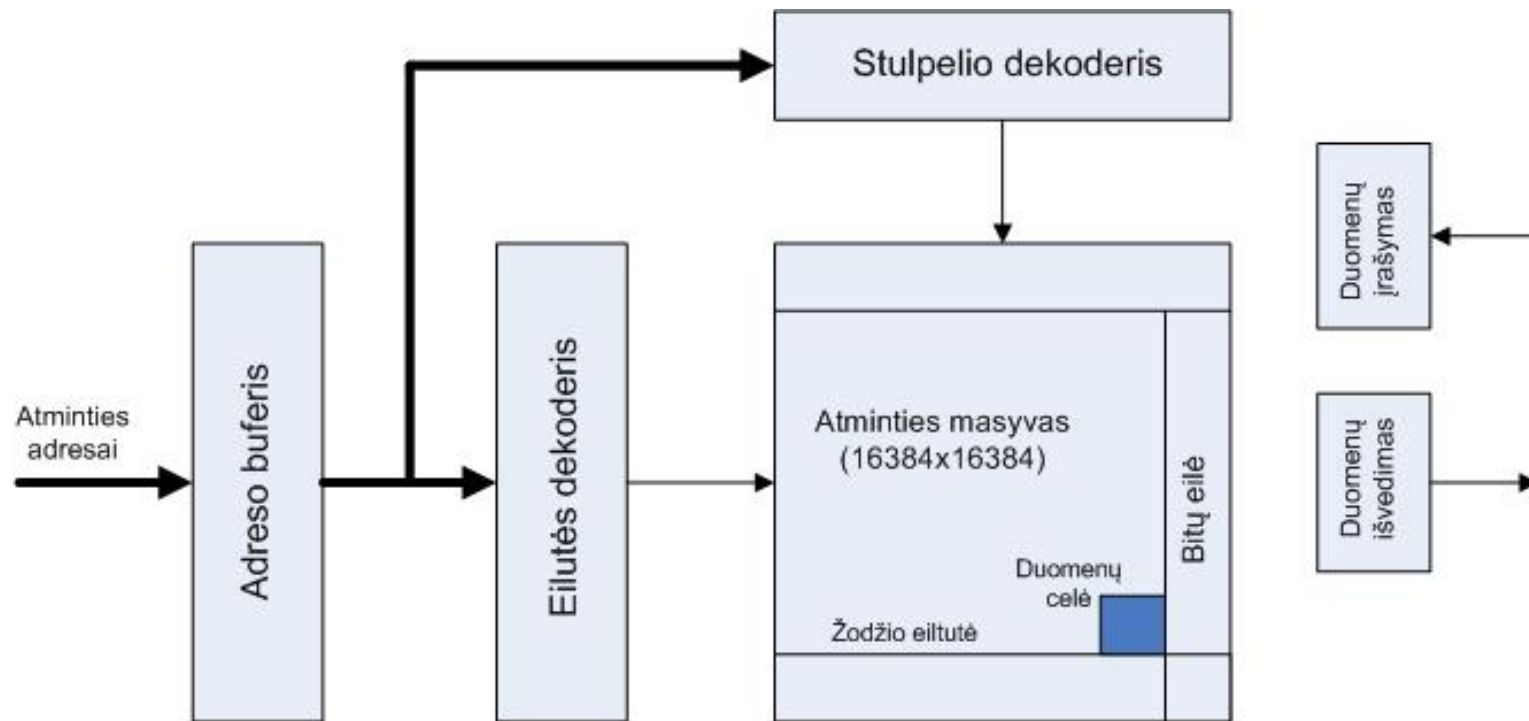


4x4 atminties modulio matrica, kur kiekviena ląstelė turi savo eilutės ir stulpelio numerį.

Atminties matricos sudedamos į sluoksnius taip taupiai suformuodamos daugiasluoksnię matricą.

Atminties celės adresas nustatomas panaudojant matricos eilutės ir stulpelio numerius.

DRAM vidinė struktūra



Duomenų nuskaitymo iš atminties procedūra.

Iš duomenų atminties adreso išskiriama:

- eilutės adresas ir siunčiamas į RAM (Row Access Strobe - RAS)
- stulpelio adresas ir siunčiamas į RAM (Column Access Strobe -CAS)

RAS siejamas su uždelsimu (latency) CAS siejamas su pralaidumu (bandwidth)

[DRAM tipai]

DRAM tipai:

- Asinchroninė
- Sinchroninė (SDRAM)

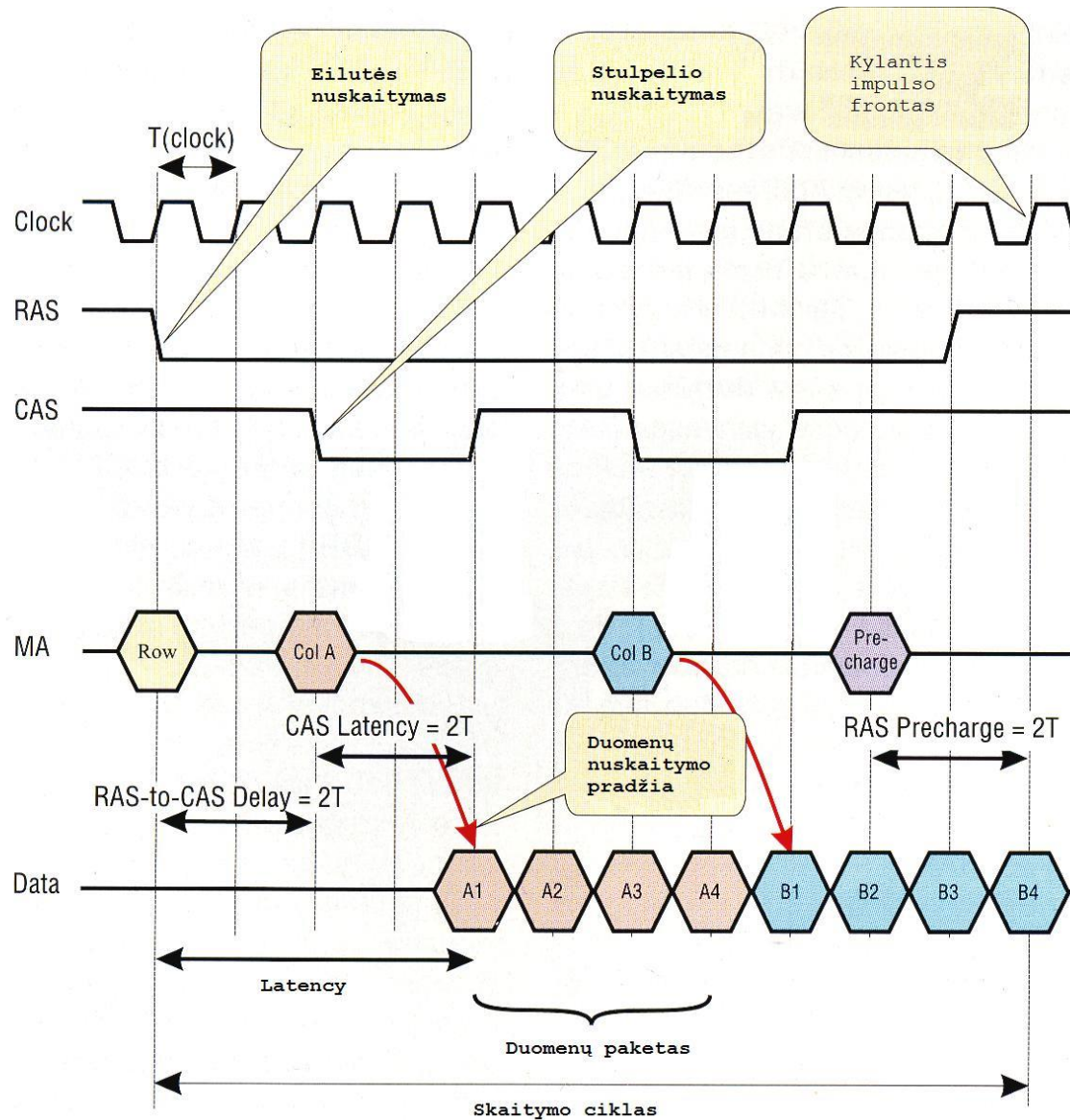
Asinchroninėje atmintyje adreso nustatymas, valdymo signalų generavimas, skaitymas/rašymas į atmintį **gali vykti bet kuriuo laiko momentu** t.y. tokios atminties darbas nėra sinchronizuotas su sisteminės magistralės taktiniu dažniu.

Asinchroninė atmintis lėta, kadangi dažnai reikia laukti min. vieną taktą, kol bus įvykdyta procedūra, nes jos vykdymo pradžia turi sutapti su taktinio impulso frontu.

Sinchroninėje atmintyje adreso nustatymas, valdymo signalų generavimas, skaitymas/rašymas į atmintį **sinchronizuojamas su taktinių generatoriumi**.

Sinchroninė atmintis dirba paketiniu režimu, kiekvieną paketo porciją perduodant kas 1 taktą. Paketo ilgis programuojamas: 1, 2, 4, 8 arba 256 B.

SDRAM darbo eigos diagrama



Pagrindiniai DRAM laiko parametrai

- t_{RAC} : minimalus laikas nuo RAS krintančio fronto iki duomenų pasirodymo išėjime.
 - Laikomas DRAM spartos rodikliu perkant atmintį
 - Klasikinių DRAM $t_{RAC} = 60$ ns
- t_{RC} : minimalus laikas nuo vienos eilutės išrinkimo iki kitos eilutės išrinkimo (ciklo trukmė).
 - $t_{RC} = 110$ ns , kai DRAM, kurios $t_{RAC} = 60$ ns
 - $t_{RC} = 60$ ns , kai DRAM, kurios $t_{RAC} = 30$ ns
- t_{CAC} : minimalus laikas nuo CAS krintančio fronto iki duomenų pasirodymo išėjime.
 - $t_{CAC} = 15$ ns, kai DRAM, kurios $t_{RAC} = 60$ ns
- t_{PC} : minimalus laikas nuo vieno stulpelio išrinkimo iki kito stulpelio išrinkimo.
 - $t_{PC} = 35$ ns, kai DRAM, kurios $t_{RAC} = 60$ ns
- RAS-to-CAS delay; CAS delay; RAS Precharge

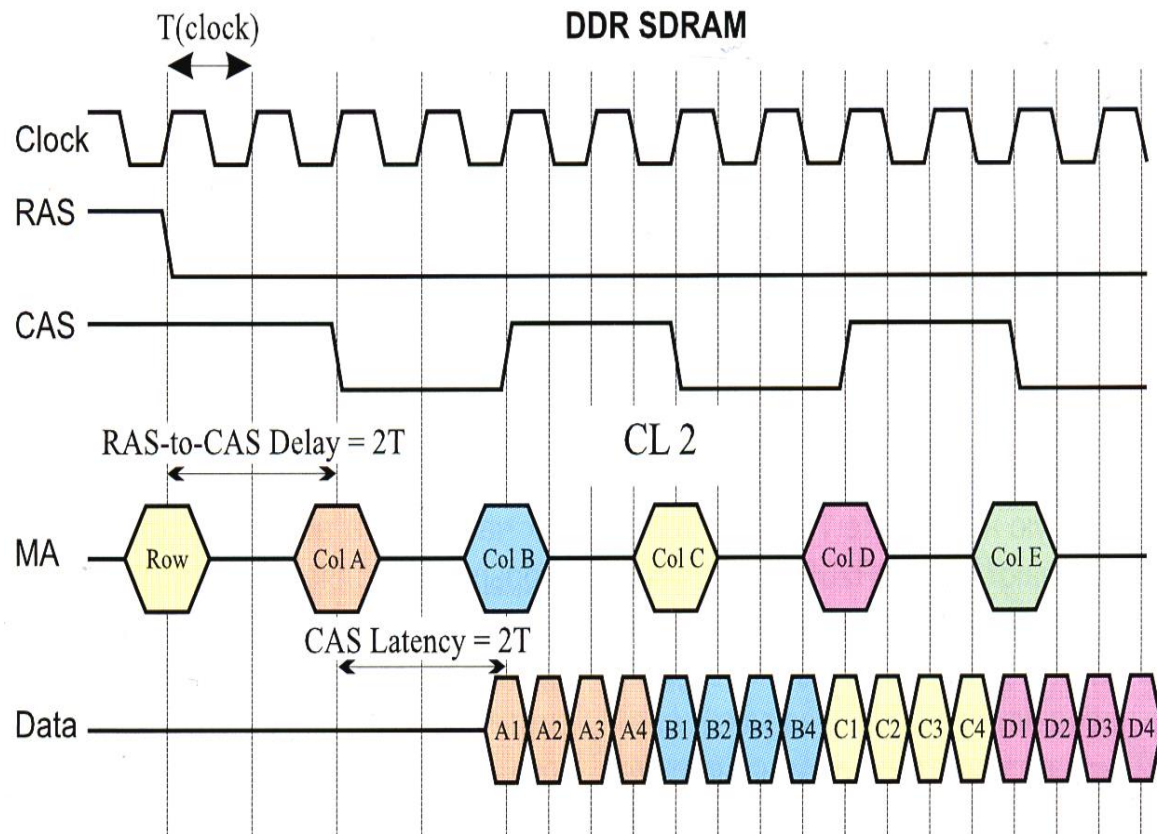
[SDRAM tipai]

SDRAM tipai:

- **SDR** – single data rate
 - SDRAM PC100 (100MHz); SDRAM PC133 (133 MHz)
- **DDR** – double data rate
 - Dažniai (100, 133, 166, 200 MHz) dauginami iš 2, todėl žymėjimai: DDR200 (PC1600), DDR266 (PC2100), DDR 333 (PC2700), DDR400 (PC3200)
- **DDR2** – double data rate 2 (100, 133, 166, 200, 266 MHz) dauginami iš 4.
- **DDR3** – double data rate 3 (100, 133, 166, 200, 233, 266 MHz) dauginami iš 8.
- **DDR4** – double data rate 4 (iki 16 GB, 2xDDR3 MT/s, nuo 2014 m.)

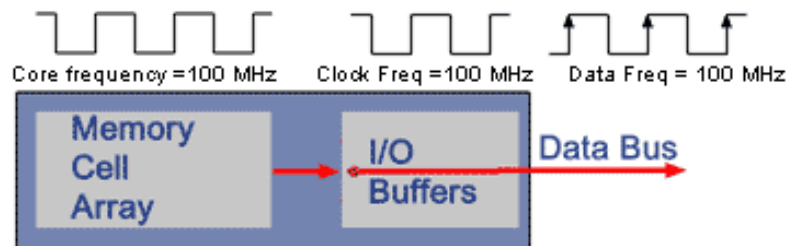
DDR SDRAM

DDR SDRAM – dirba dvigubu magistralės dažniu: skaitymo ir rašymo operacijos vykdomos du kartus vieno takto metu - pagal kylantį ir krintantį taktinio impulso frontus



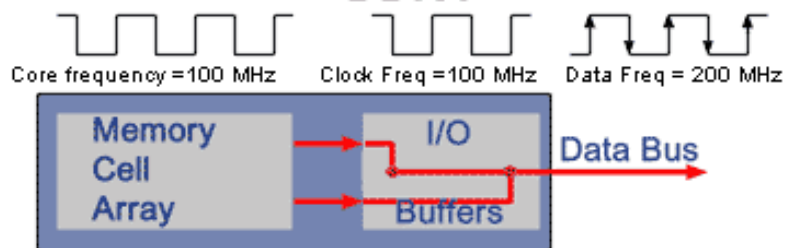
SDRAM, DDR, DDR 2

SDRAM



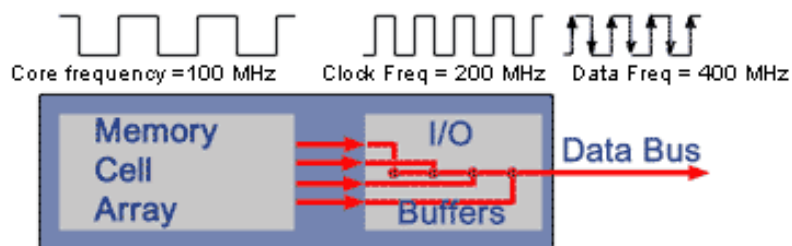
Kaip matome, visos SDRAM schemas dirba pagrindiniu dažniu, o duomenys perduodami kartą per taktą.

DDR I



DDR schemas taip pat dirba pagrindiniu dažniu, o duomenys perduodami du kartus per taktą.

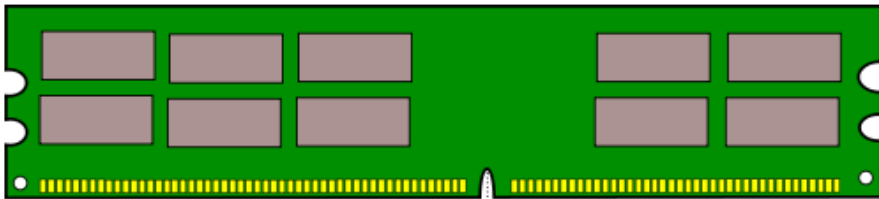
DDR II



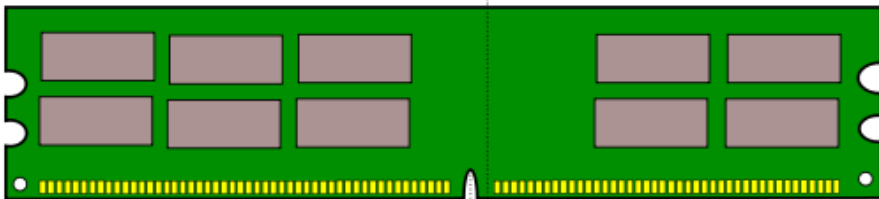
DDR 2 išėjimo buferiai dirba dvigubu dažniu, o duomenys perduodami keturis kartus per taktą.

DDR atminčių lyginimas

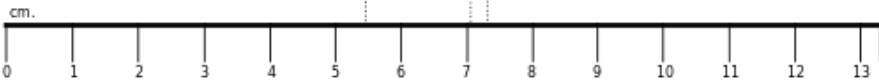
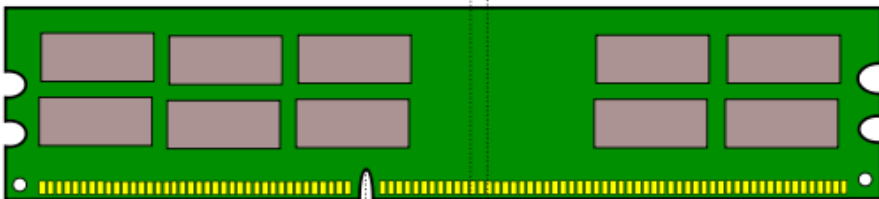
DDR



DDR 2

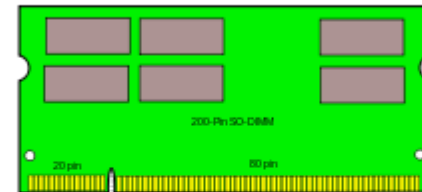


DDR 3

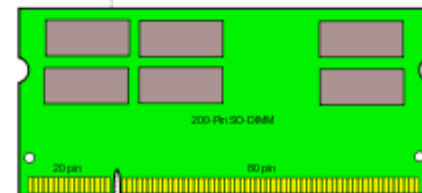


13.3 cm (5.25 coliai)

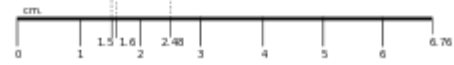
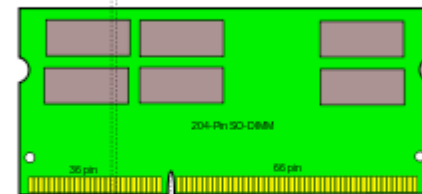
SO-DIMM DDR



SO-DIMM DDR 2



SO-DIMM DDR 3



6,7 cm

DDR laiko parametrai

Pagrindiniai SDRAM laiko parametrai yra:

- *RAS-to-CAS delay* – laikas, reikalingas adresui pakeisti
- *RAS-precharge* – laikas, reikalingas schemoms atsistatyti
- *CAS-delay (latency)* – laikas, reikalingas duomenims išrinkti

Kokie būna parametrai DDR atmintyse:

RAS-Precharge: 2, 3, 4;

RAS-to-CAS Delay: 2, 3, 4;

CAS-Latency: 2.0, 2.5, 3.0;



[DDR3 savybės]

DDR3 SDRAM - double-data-rate three synchronous dynamic random access memory.

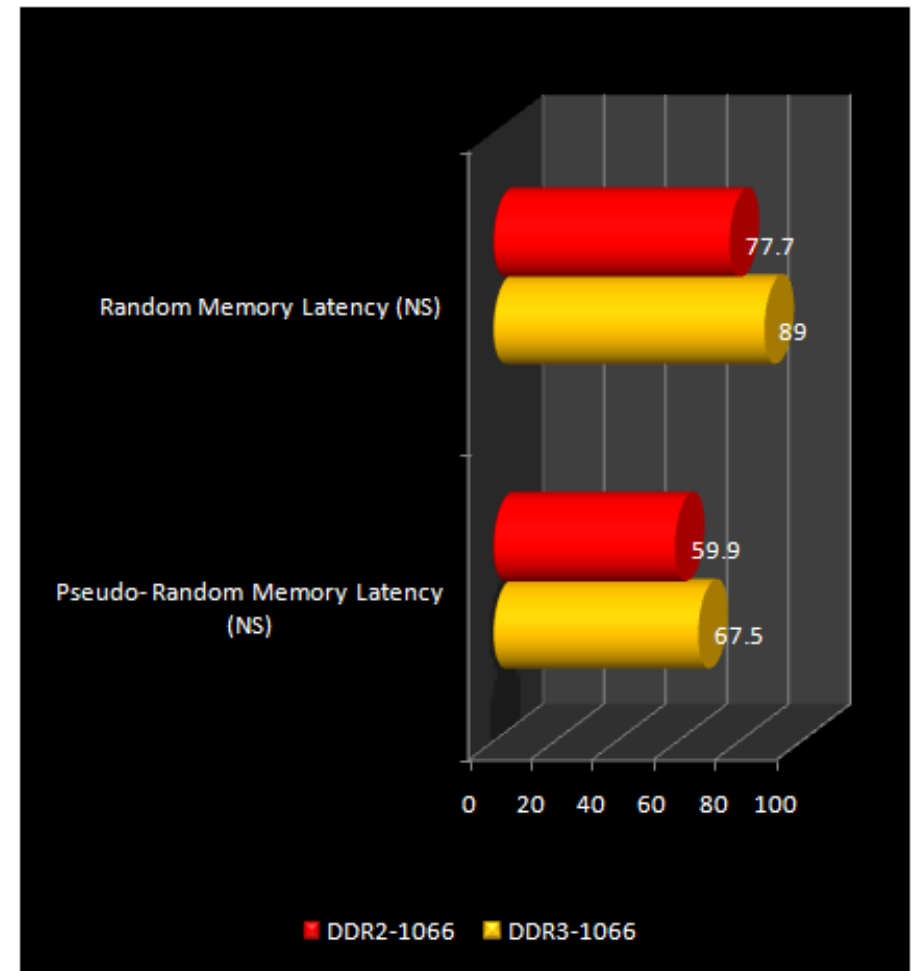
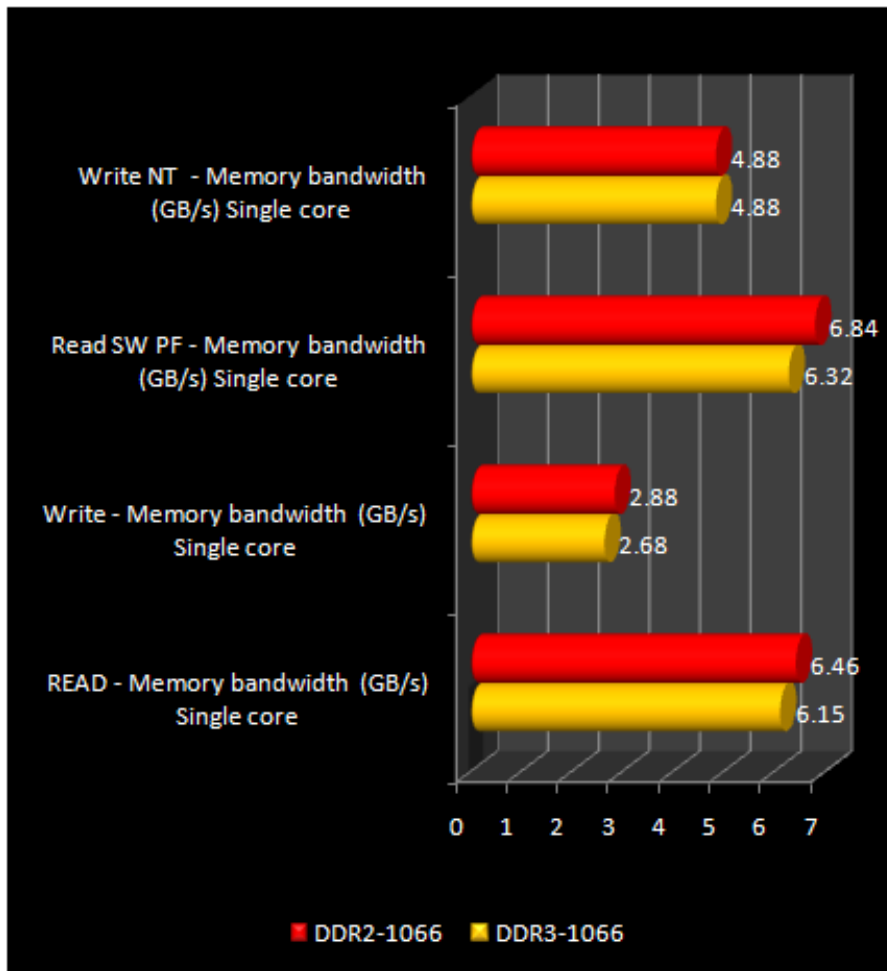
Pagrindinės savybės:

- Duomenų perdavimo greitis 2 kartus didesnis nei DDR2 t.y.
atminties branduolio dažnis x 8 (dažnio daugiklis) x 2 (DDR) x 8 (baitai)
- 16% sumažintos energijos sąnaudos t.y.
DDR4 – 1,2 V; DDR3 - 1.5 V, DDR2 - 1.8 V, DDR - 2.5V.
- Sumažintas uždelsimas (*latency*) lyginant su DDR2
- Padidintas pralaidumas iki 17000 MB/s

[DDR3 savybės]

Atminties modulio tipas	Žymėjimas	Sisteminė magistralė MHz	Atminties dažnis, MHz	Tipinis Uždelsimas (latency)	Teorinis pralaidumas, GB/s	
					1 kanalo režimas	2 kanalų režimas
DDR 3-800	PC 3-6400	400	100	6-6-6-18	6.40	12.80
DDR 3-1066	PC 3-8500	533	133	7-7-7-21	8.53	17.07
DDR 3-1333	PC 3-10667	667	166	8-8-8-24	10.67	21.33
DDR 3-1600	PC 3-12800	800	200	9-9-9-27	12.80	25.60
DDR 3-1866	PC 3-14900	933	233	10-10-10-30	14.93	29.87

[DDR2 ir DDR3 palyginimas]



Pralaidumo testai, kai naudojamas 1 kanalas Uždelsimo testas, DDR2 5-5-5, DDR3 7-7-7

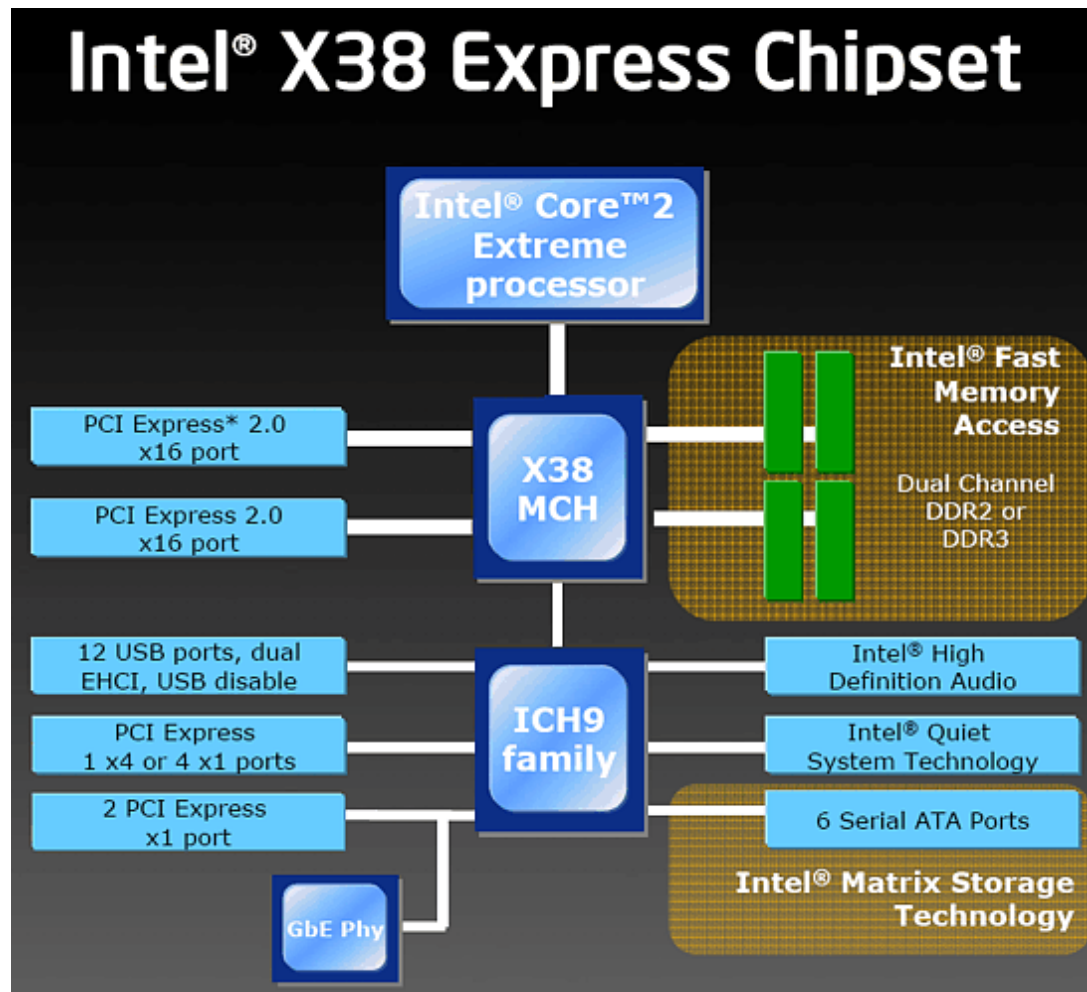
[Atminties kanalai]

Kiekviena kompiuterinė (ypač – multiprocesorinė) sistema turi būti gerai subalansuota: per greita atmintis yra brangi, per lėta – smarkiai sumažina našumą.

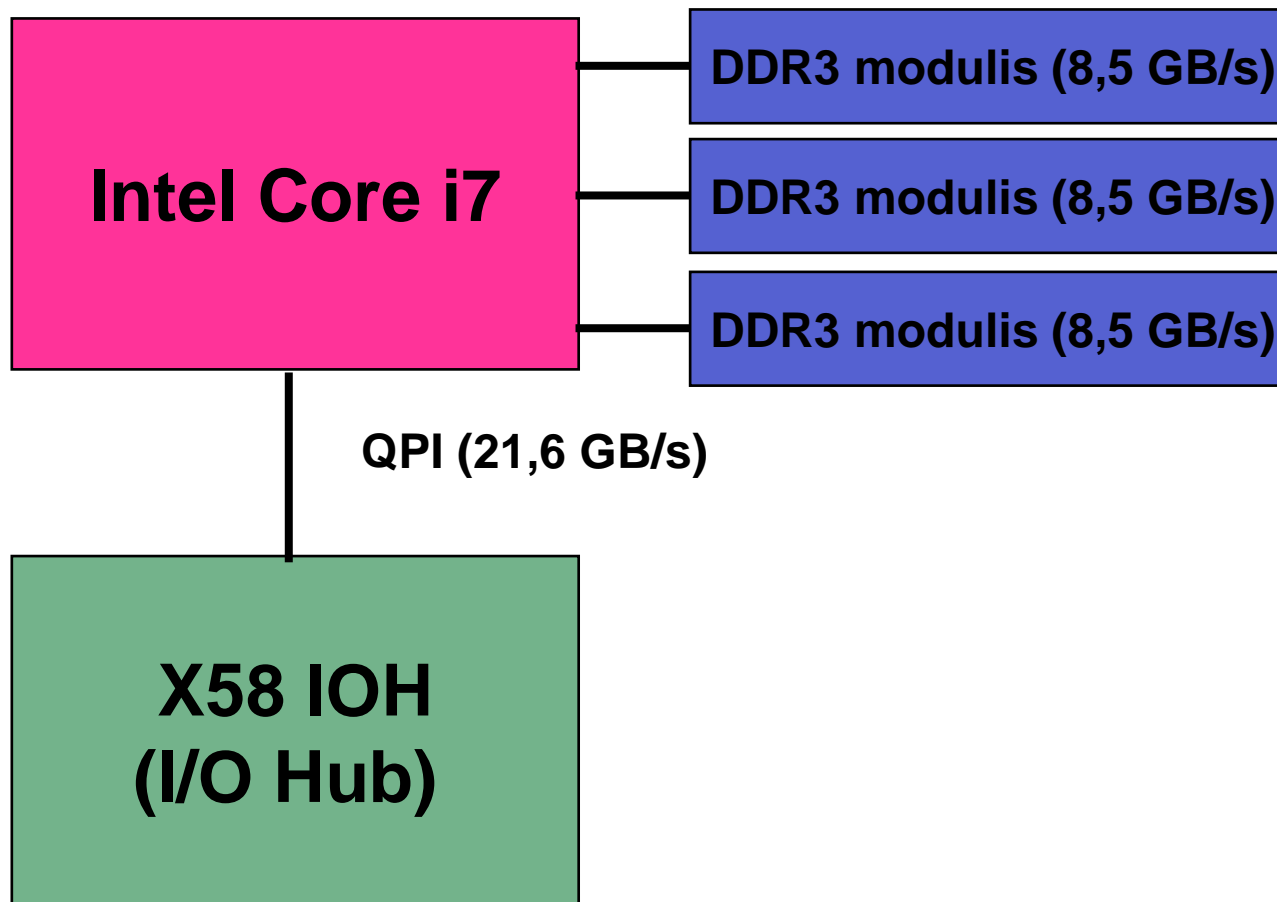
Jei vienprocesorinei sistemai pakanka dviejų kanalų DDR, tai dviprocesorinei sistemai reikėtų keturių kanalų, dar sudėtingesnei – aštuonių ir t.t.

2008 metais sukurti DIMM leidžia kurti 6 ir 8 kanalų atminties sistemas serveriams.

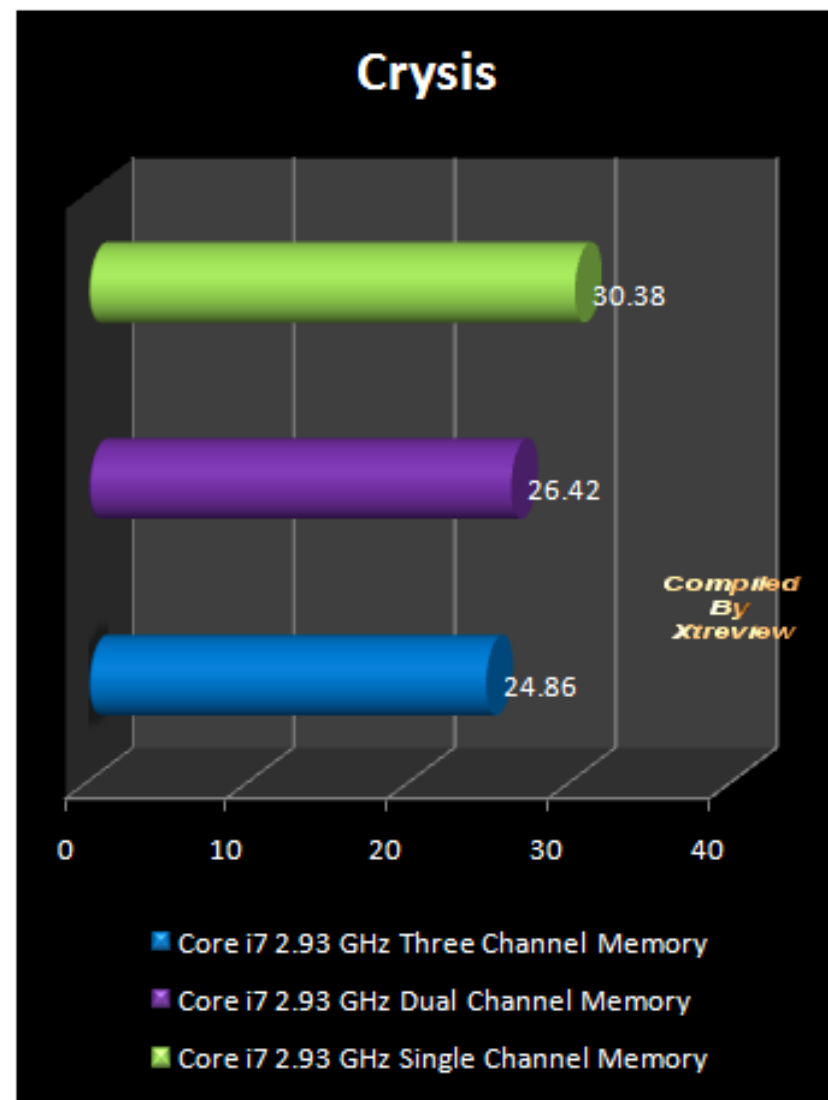
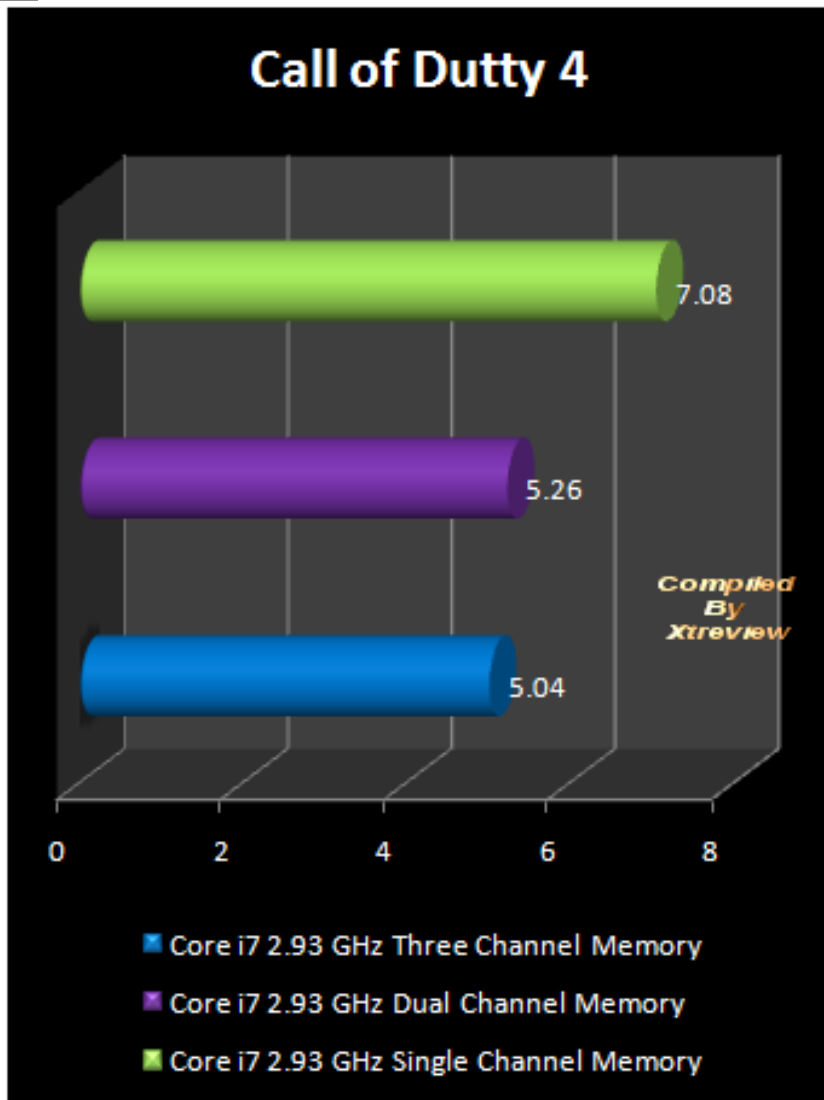
[2 kanalı atmintis]



[3 kanalų atmintis]



Našumo palyginimas (3,2,1 kanalai)



[Našumo palyginimas]

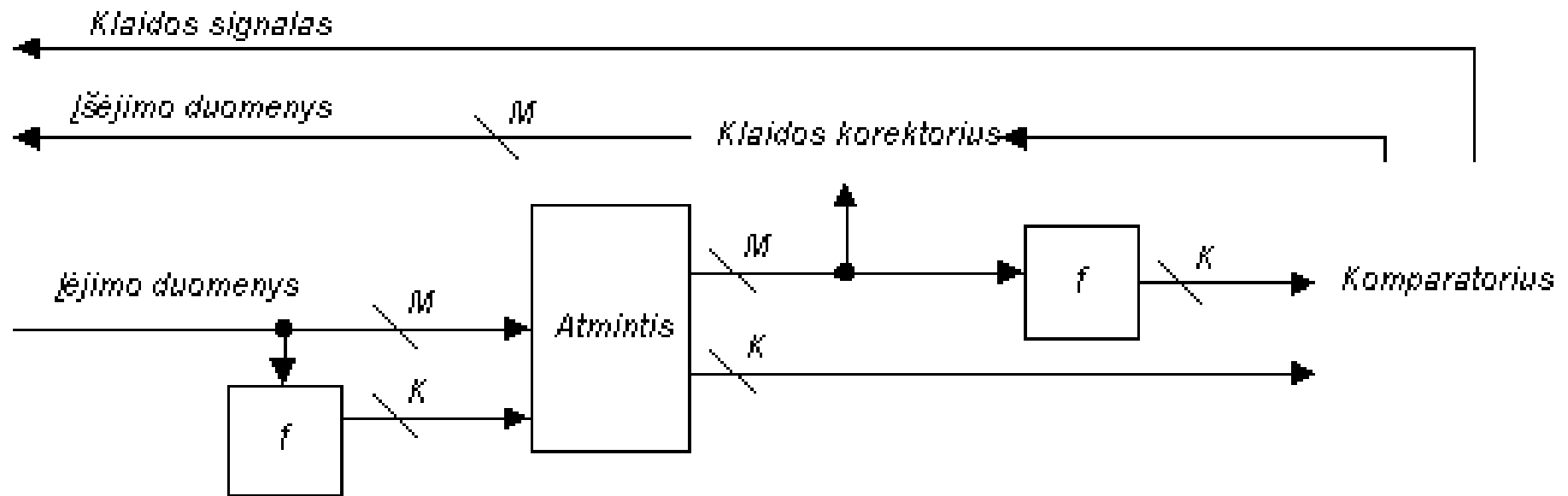
Test	Dual Channel DDR3-1066 (9-9-9-20)	Triple Channel DDR3- 1066 (9-9-9-20)
Memory Tests - Everest v1547		
Read Bandwidth	12859 MB/s	13423 MB/s
Write Bandwidth	12410 MB/s	12401 MB/s
Copy Bandwidth	16474 MB/s	18074 MB/s
Latency	37.2 ns	44.2 ns
Cinebench R10 (Multi-threaded test)	18499	18458
WinRAR 3.80 - 602MB Folder	118 seconds	117 seconds
PCMark Vantage	7438	7490
SuperPI - 32M (mins:seconds)	11:55	11:52
Far Cry 2 - Ranch Medium (1680 x 1050)	62.1 fps	62.4 fps
Company of Heroes - 1680 x 1050	136.6 fps	133.6 fps

[Našumo palyginimas]

Test	<i>DDR3-1066 (9-9-9-20)</i>	<i>DDR3-1333 (9-9-9-20)</i>	<i>DDR3-1600 (9-9-9-24)</i>
Memory Tests - Everest v1547			
Read Bandwidth	13423 MB/s	14127 MB/s	17374 MB/s
Write Bandwidth	12401 MB/s	12404 MB/s	14169 MB/s
Copy Bandwidth	18074 MB/s	16953 MB/s	19447 MB/s
Latency	44.2 ns	38.8 ns	33.5 ns
WinRAR 3.80 - 602MB Folder	117 seconds	111 seconds	106 seconds
PCMark Vantage	7490	7569	8102
SuperPI - 32M (mins:seconds)	11:52	11:36	11:25
Far Cry 2 - Ranch Medium (1680 x 1050)	62.4 fps	62.5 fps	62.7 fps
Company of Heroes - 1680 x 1050	133.6 fps	135.8 fps	136.8 fps

[Klaidų korekcija atminties sistemoje]

ECC- error correcting code (Hamming, Triple Modular Redundancy metodai)

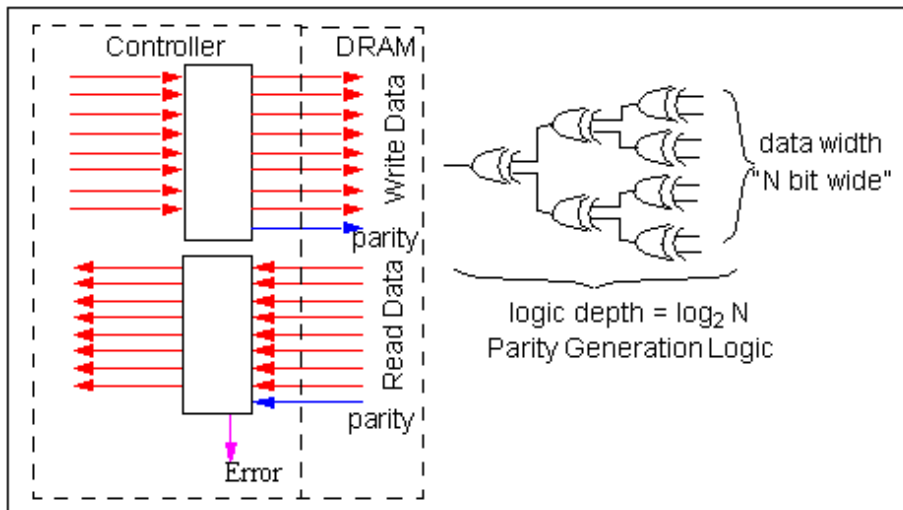


Kai duomenys rašomi į atmintį, generuojamas tam tikras kontrolės kodas. Kai atmintyje saugomas žodis yra iš jos skaitomas, galimoms klaidoms aptikti ir ištaisyti naudojamas minėtas kodas.

Parity metodas naudoja 1 bitą tam, kad apsaugoti 8 bitus.

SEC ECC – naudoja $(\log_2 N) + 1$ bitus tikrinimui, kur N duomenų bitų skaičius.

[SDRAM paritetas]



7 bitai duomenims	1 baitas su paritetiniu bitut	
	Lyginis (even)	Nelyginis (odd)
0000000	0000000	1000000
1010001	1101000	0101000
1101001	0110100	1110100
1111111	1111111	0111111

Atminties paritetas naudojamas klaidų detektavimui.

Atminties kontrolerio tikrinimo mechanizmas generuoja lyginį arba nelyginį pariteto bitą naudodamas XOR funkciją. Paritetas tikrinamas duomenų nuskaitymo metu, t.y. dar kartą suskaičiuojamas paritetas ir užtikrinama gautoji reikšmė su saugoma pariteto reikšme..

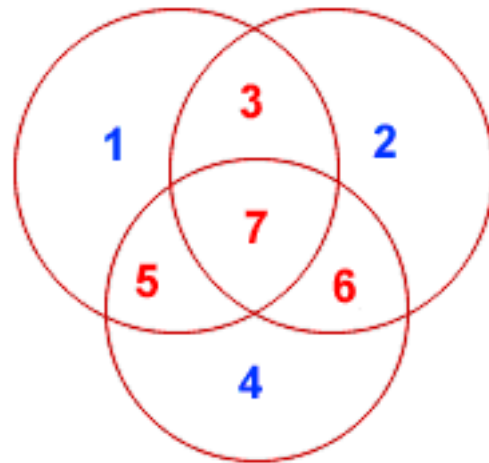
[Hamming metodas (ECC)]

Sakykime paketą sudaro 4 duomenų bitai (D) ir 3 klaidų kontrolės bitai. Žodis lygus 7 bitams. Toks paketas vadinamas (7,4). Tegul 3 bitai yra lyginio pariteto bitai (P), kur kiekvienas pariteto bitas yra išskaičiuojamas iš skirtingo 4 duomenų bitų rinkinio kombinacijų, kaip parodyta žemiau.

7	6	5	4	3	2	1	
D	D	D	P	D	P	P	7-Bitų žodis
D	-	D	-	D	-	P	(Lyginis paritetas)
D	D	-	-	D	P	-	(Lyginis paritetas)
D	D	D	P	-	-	-	(Lyginis paritetas)

[Hamming metodas (ECC)]

3 bitai (1,2,4) susieti su duomenų bitais (3,5,6,7) kaip parodyta. Šioje diagramoje, kiekvienas persidengianti apskritimas atitinka vieną pariteto bitą ir prisideda prie kito duomenų rinkinio pariteto. Pavyzdžiui duomenų bitas 3 priklauso pariteto bitui 1 ir 2.

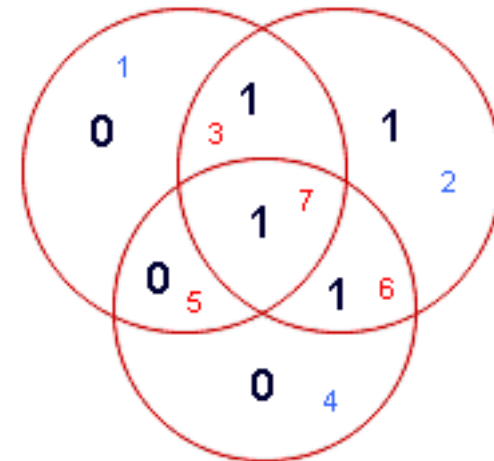


Galime nesunkiai pastebėti, kad pakeitus vieną duomenų bitą, įtakosime 2 arba visus 3 pariteto bitus, kaip pvz. pakeitus bitą 7. bet kurio duomenų bito pakeitimą galime nesunkiai atstatyti pagal trijų paritetų bitus.

[Hamming metodas (ECC)]

Pavyzdys, duomenys 1101 bus nusiunčiami kaip paketas 1100110

7	6	5	4	3	2	1	
1	1	0	0	1	1	0	7-Bitų žodis
1	-	0	-	1	-	0	(Lyginis paritetas)
1	1	-	-	1	1	-	(Lyginis paritetas)
1	1	0	0	-	-	-	(Lyginis paritetas)



Pavyzdžiui paketas 1100110 gaunamas su klaida t.y. tokiame pavidale 1110110, bet klaida ištaisoma, palyginus ir perskaičiavus paritetus.

7	6	5	4	3	2	1			
1	1	1	0	1	1	0	7-Bitų žodis		
1	-	1	-	1	-	0	(Lyginis paritetas)	NOT!	1
1	1	-	-	1	1	-	(Lyginis paritetas)	OK!	0
1	1	1	0	-	-	-	(Lyginis paritetas)	NOT!	1