طراحی سیستم‌های تعبیه‌شده
Embedded System Design

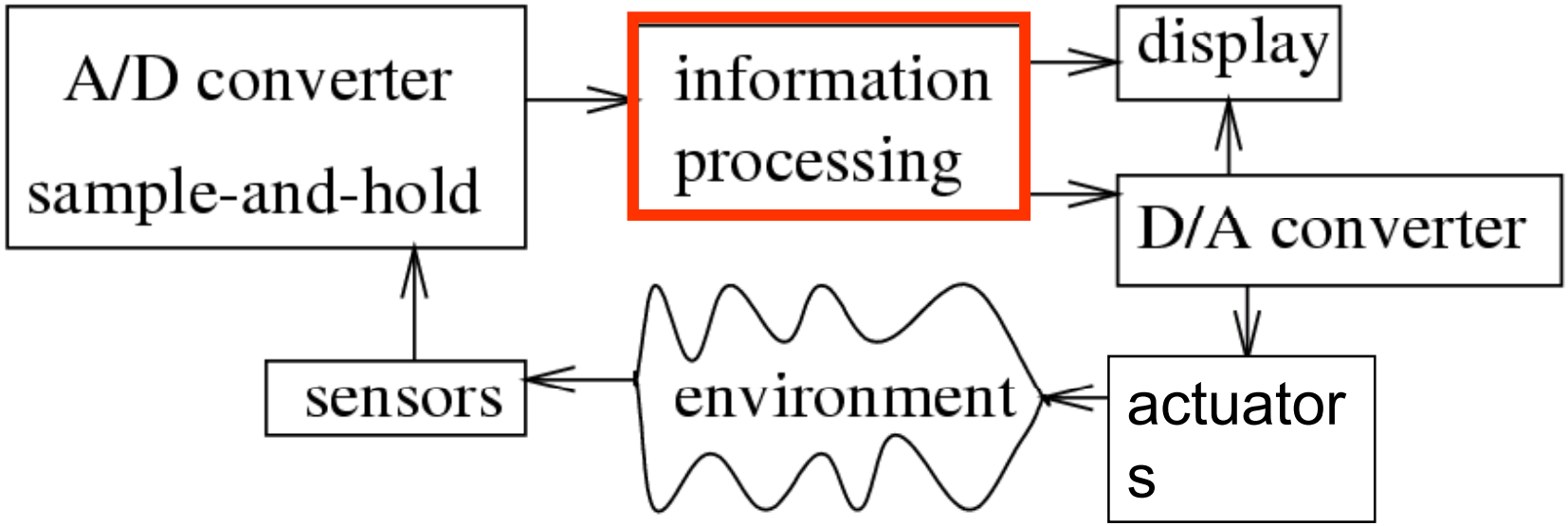
فصل سوم ـ قسمت چهارم

سخت‌افزار سیستم تعبیه‌شده
Embedded System Hardware

کاظم فولادی
دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه تهران

kazim@fouladi.ir

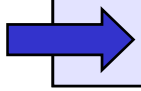
Embedded System Hardware



مرور کلی

Processing units

- Power efficiency of target technologies
- ASICs
- Processors
  - Energy efficiency
  - Code size efficiency and code compaction
  - Run-time efficiency
  - DSP processors
  - Multimedia processors
  - Very long instruction word (VLIW) machines
  - Micro-controllers
- Reconfigurable Hardware
- Memory



حافظه

Memory

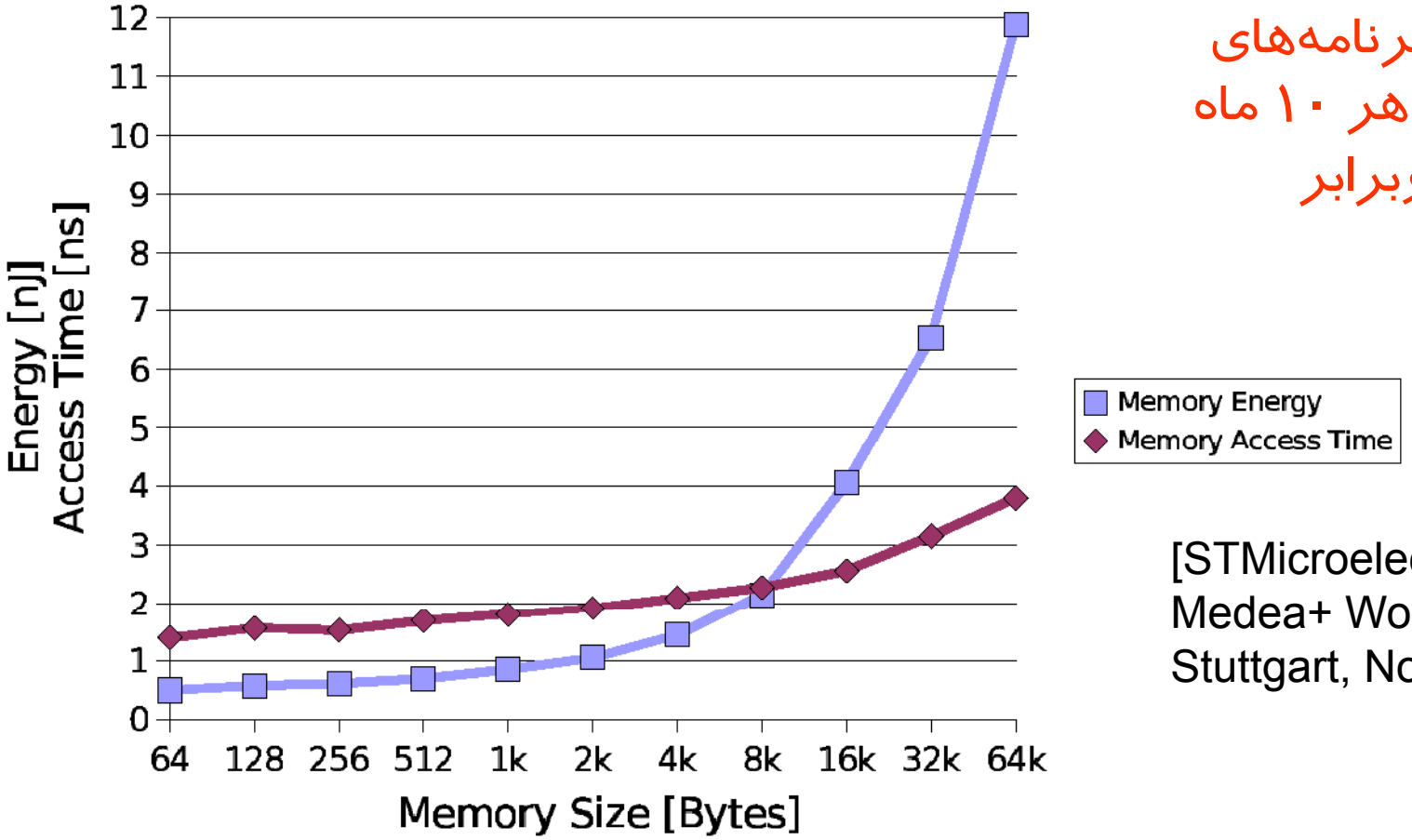
برای حافظه هم **کارامدی** اهمیت دارد:

- **سرعت**
- **کارامدی انرژی**
- **اندازه**
- **هزینه**
- صفات دیگر (**نامانا** volatile در برابر **مانا** persistent)

زمان دسترسی و مصرف انرژی با افزایش اندازه‌ی حافظه افزایش می‌یابند

Access times and energy consumption increases with the size of the memory

Example (CACTI Model):

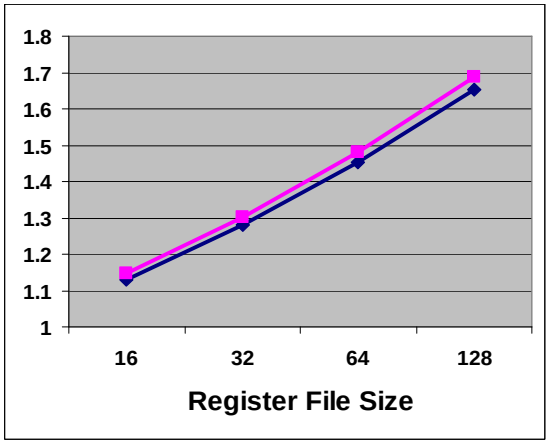


«هم‌اکنون، اندازه‌ی برخی از برنامه‌های کاربردی هر ۱۰ ماه یک بار دوبرابر می‌شود»

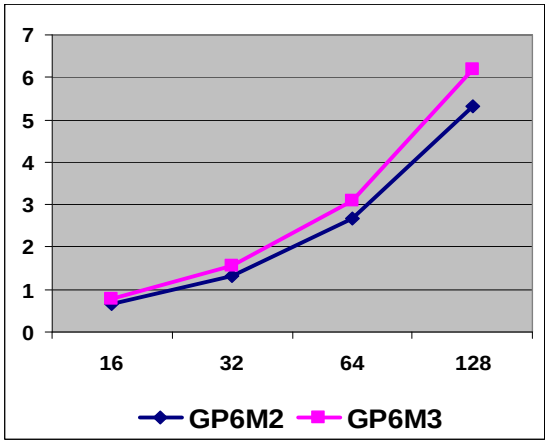
[STMicroelectronics, Medea+ Workshop, Stuttgart, Nov. 2003]

زمان دسترسی و مصرف انرژی برای فایل‌های ثبات چند درگاهی
Access times and energy consumption for multi-ported register files

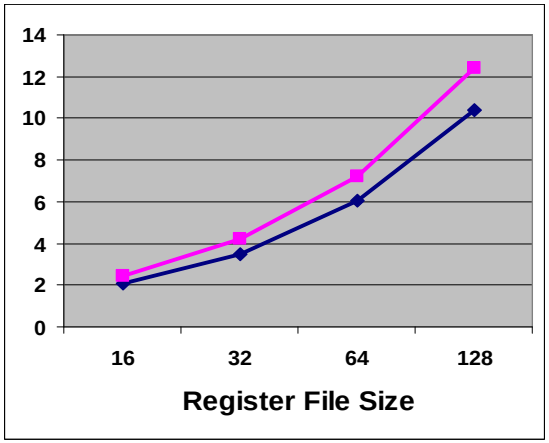
Cycle Time (ns)



Area ($\lambda^2 x 10^6$)



Power (W)

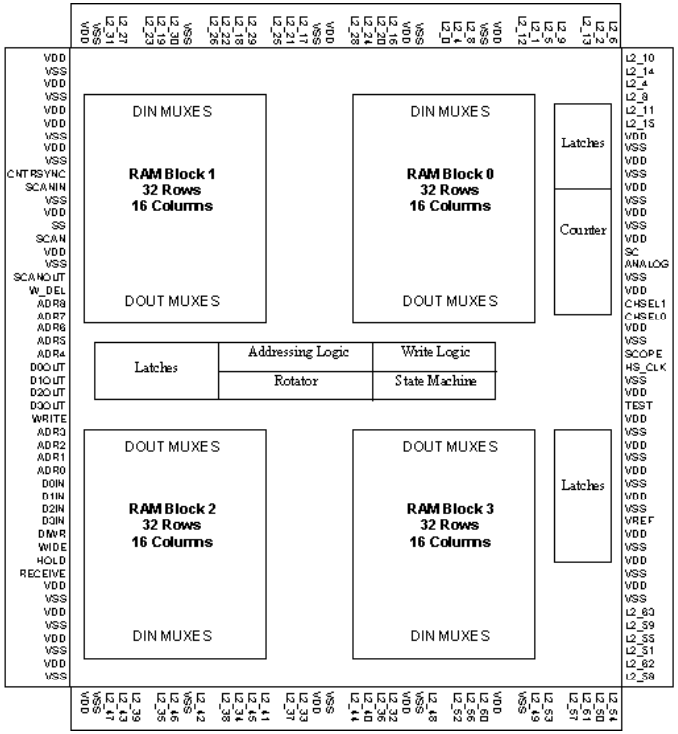


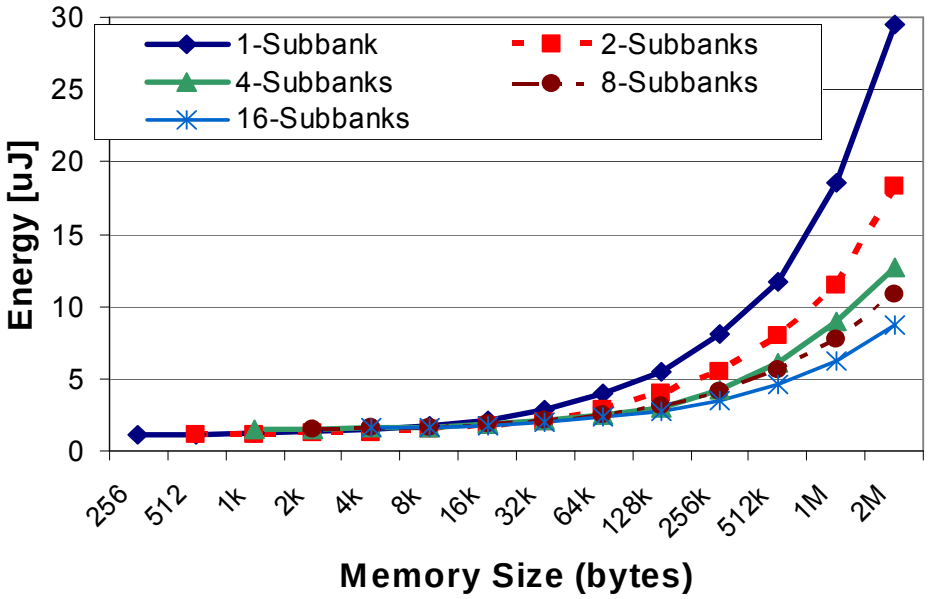
Rixner's et al. model [HPCA'00], Technology of 0.18 μm

Source and © H. Valero, 2001

کاهش مصرف انرژی با زیربانک‌سازی
Reducing energy consumption with Sub-banking

- سیم‌های کوتاه‌تر،
- خازن‌های کوچک‌تر
- دسترسی سریع‌تر



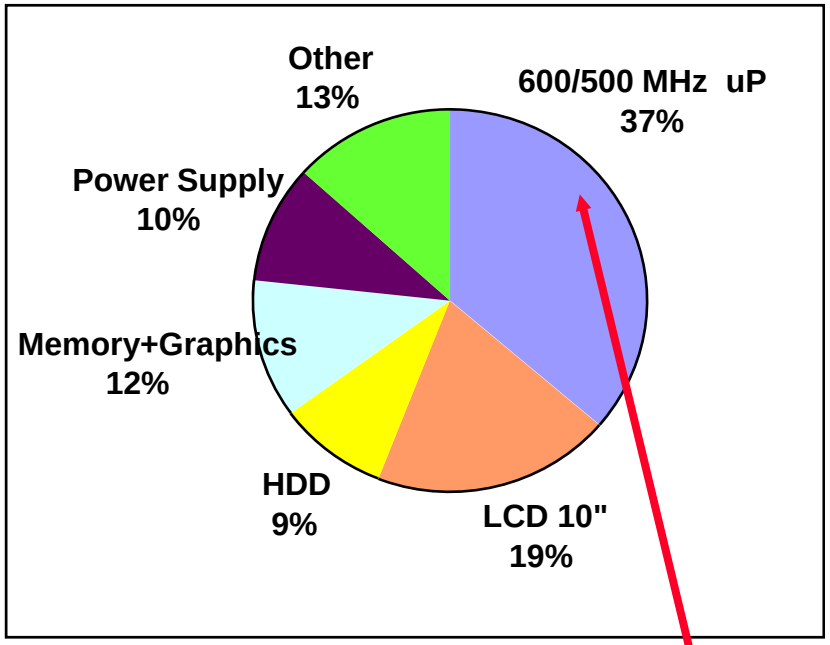


http://www.ecse.rpi.edu/frisc/theses/MaierThesis/FIG319.GIF

چه میزان از مصرف انرژی یک سیستم مرتبط به حافظه‌ی آن است؟

How much of the energy consumption of a system is memory-related?

Mobile PC
Thermal Design (TDP) System Power

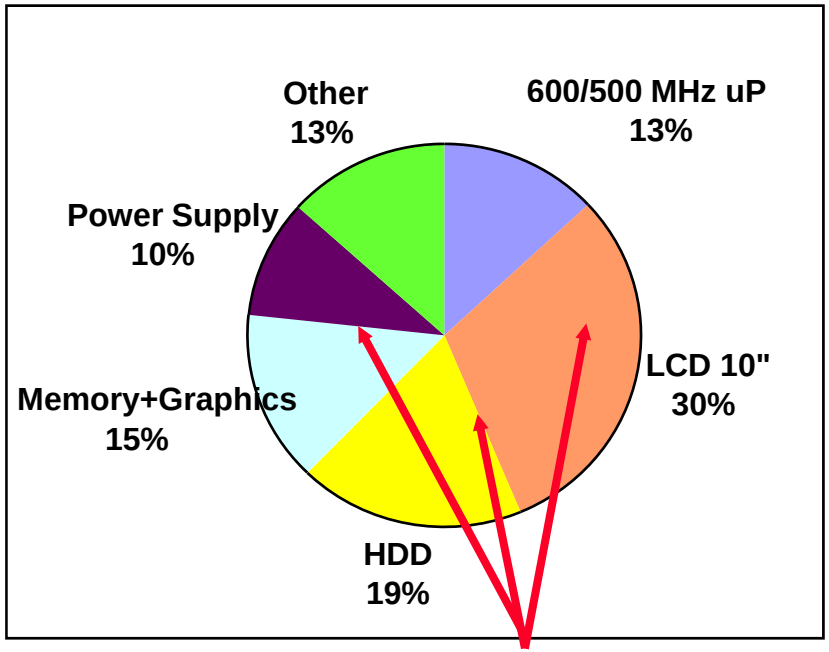


Note: Based on Actual Measurements

CPU Dominates Thermal Design Power

[Courtesy: N. Dutt; Source: V. Tiwari]

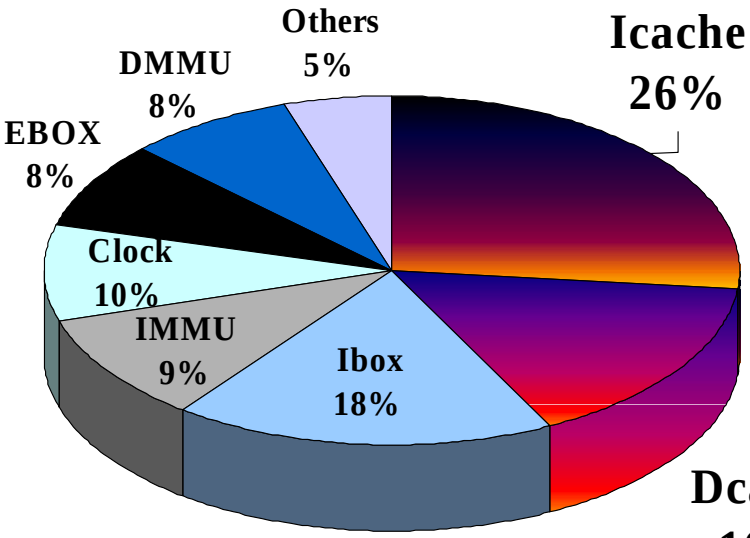
Mobile PC
Average System Power



Multiple Platform Components Comprise Average Power

پراکندگی توان واحد پردازش مرکزی

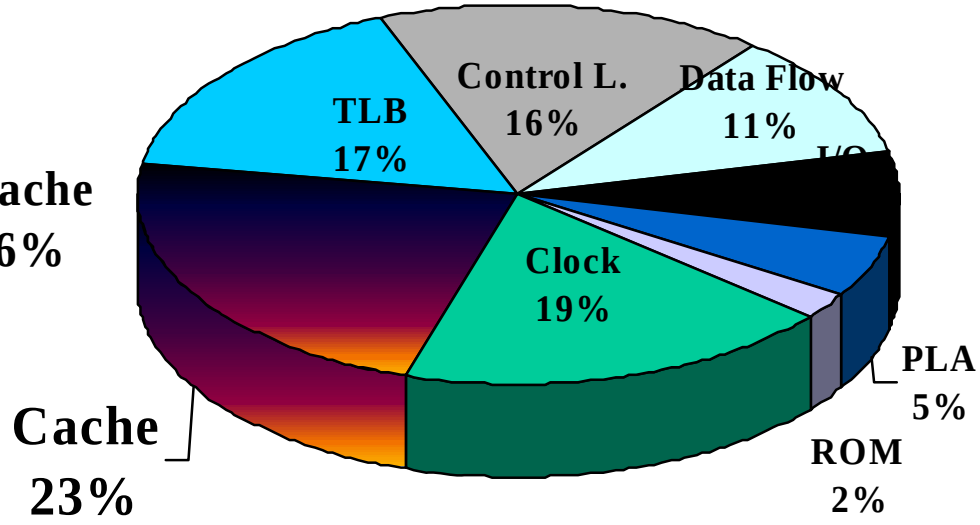
"CPU" Power Dissipation



Strong ARM

IEEE Journal of SSC
Nov. 96

42%/40% again memory-related !



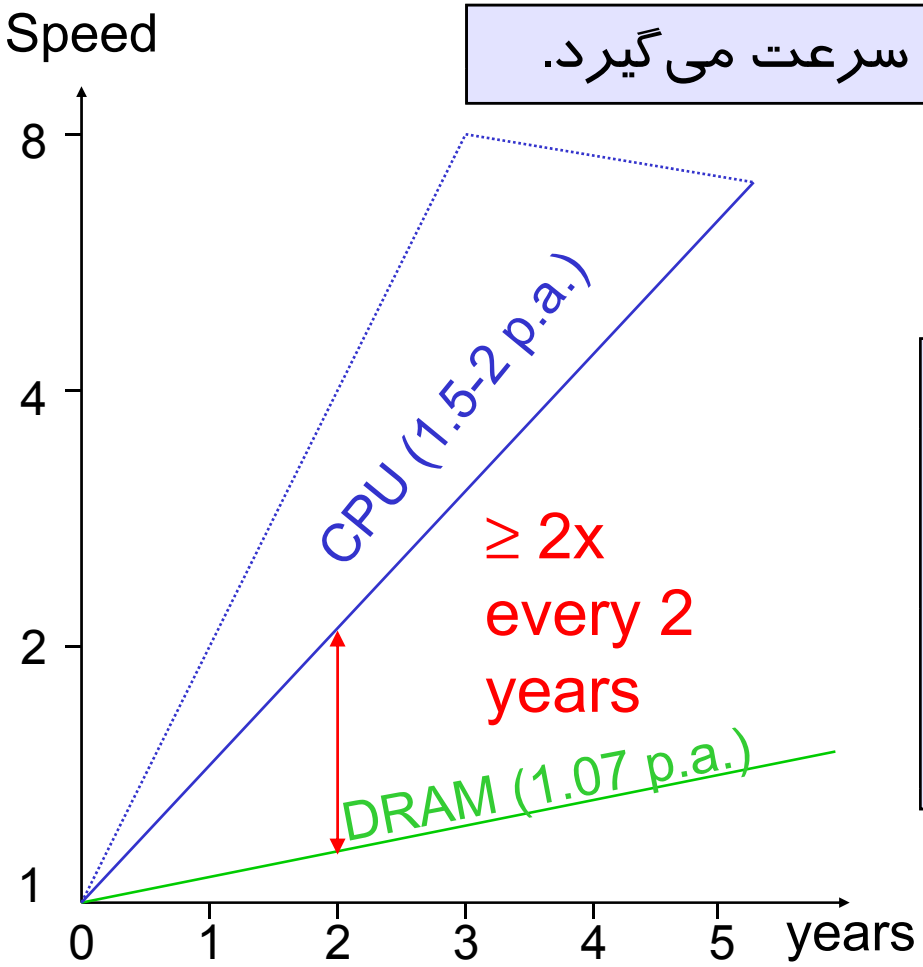
Power PC

Proceedings of ISSCC 94

Based on slide by and ©: Osman S. Unsal, Israel Koren, C. Mani Krishna, Csaba Andras Moritz, University of Massachusetts, Amherst, 2001

زمان دسترسی یک مساله خواهد شد

شکاف بین پردازنده و DRAM اصلی سرعت می‌گیرد.



- early 60ties (Atlas):
  page fault ~ 2500 instructions
- 2002 (2 GHz µP):
  access to DRAM ~ 500 instructions

☞ penalty for cache miss about same as for page fault in Atlas

[P. Machanik: Approaches to Addressing the Memory Wall, TR Nov. 2002, U. Brisbane]

قابلیت پیش‌بینی یک مساله است
Predictability is a problem (1)

سیستم‌های تعبیه‌شده اغلب، سیستم‌های بی‌درنگ هستند.

باید رعایت قیدهای زمانی تضمین شود.

قابلیت پیش‌بینی: برای ارضای رعایت قیود زمانی در سیستم‌های بی‌درنگ سخت، قابلیت پیش‌بینی مهم‌ترین مساله است؛

زمان‌بندی پیش از زمان اجرا معمولاً تنها وسیله‌ی عملی برای فراهم کردن قابلیت پیش‌بینی در یک سیستم پیچیده است [Xu, Parnas]

⇐ سیستم‌های عامل حساس به زمان، زمان‌بند به طور ایستا

قابلیت پیش‌بینی یک مساله است
Predictability is a problem (2)

حافظه‌های نهان موجود فعلی این مساله را حل نمی‌کنند:

- بهبود رفتار در حالت متوسط
- استفاده از الگوریتم‌های جایگزینی «**غیرقطعی**» برای حافظه‌ی نهان

☞ **Scratch-pad/tightly coupled memory based predictability**

حافظه‌های سلسله‌مراتبی با استفاده از SPM

Hierarchical memories using scratch pad memories (SPM)

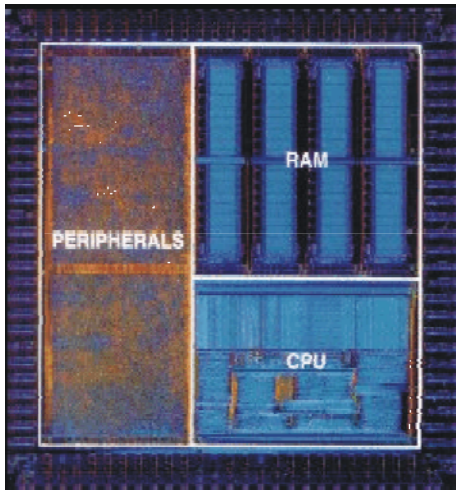
Hierarchy

main

SPM

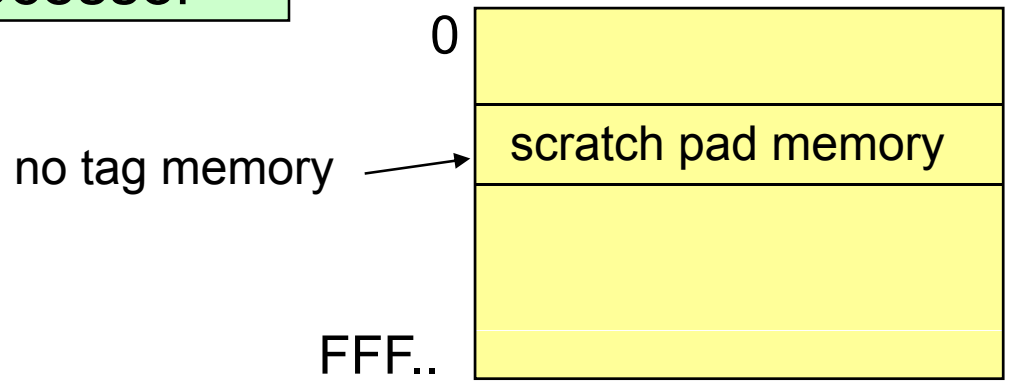
processor

Example



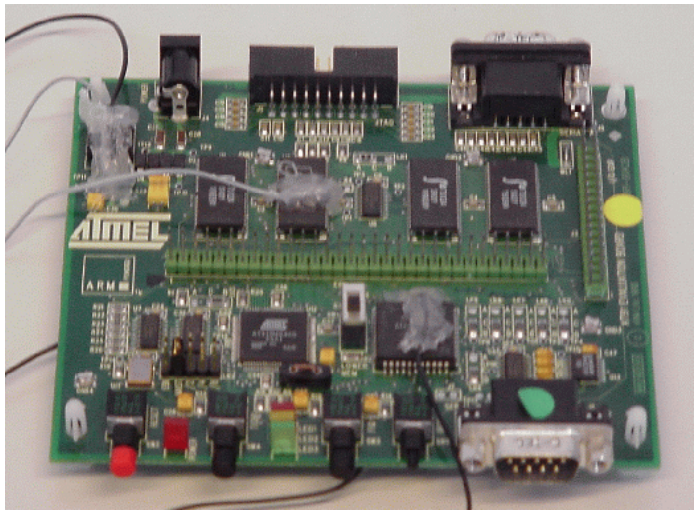
ARM7TDMI cores, well-known for low power consumption

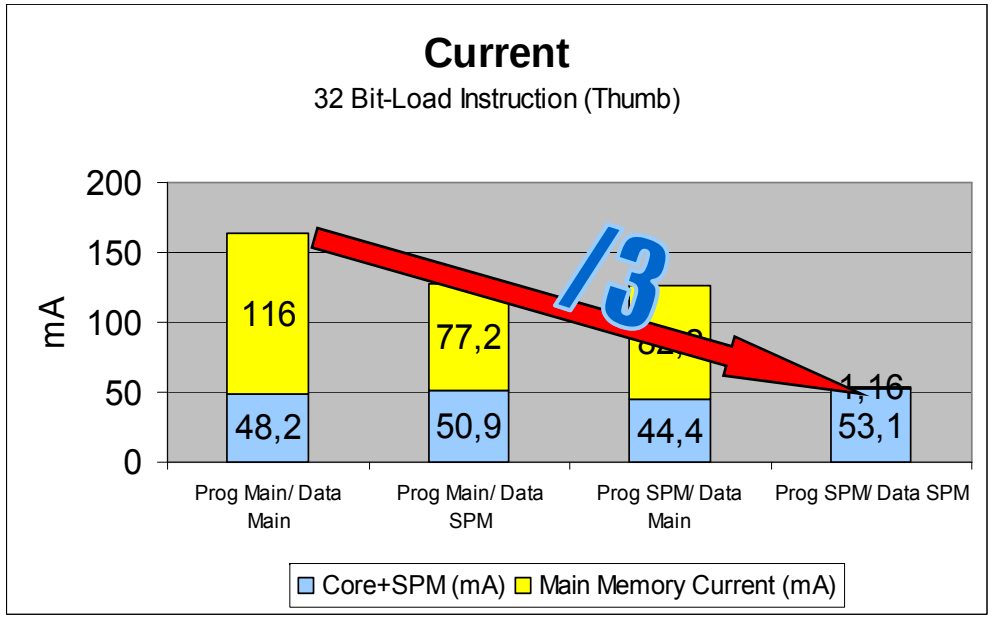
Address space



Comparison of currents using measurements

E.g.: ATMEL board with ARM7TDMI and ext. SRAM



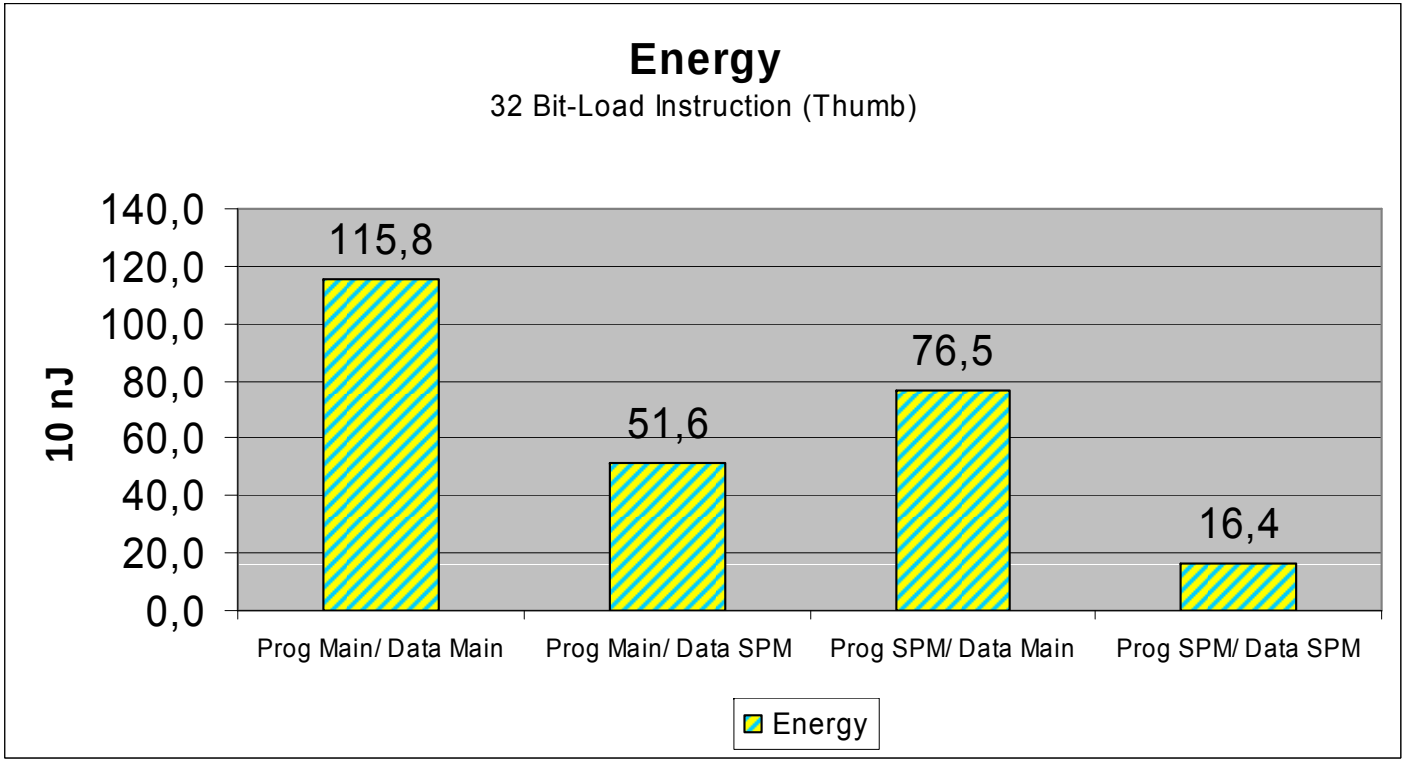


Comparison of energy consumption

Example: Atmel ARM-Evaluation board

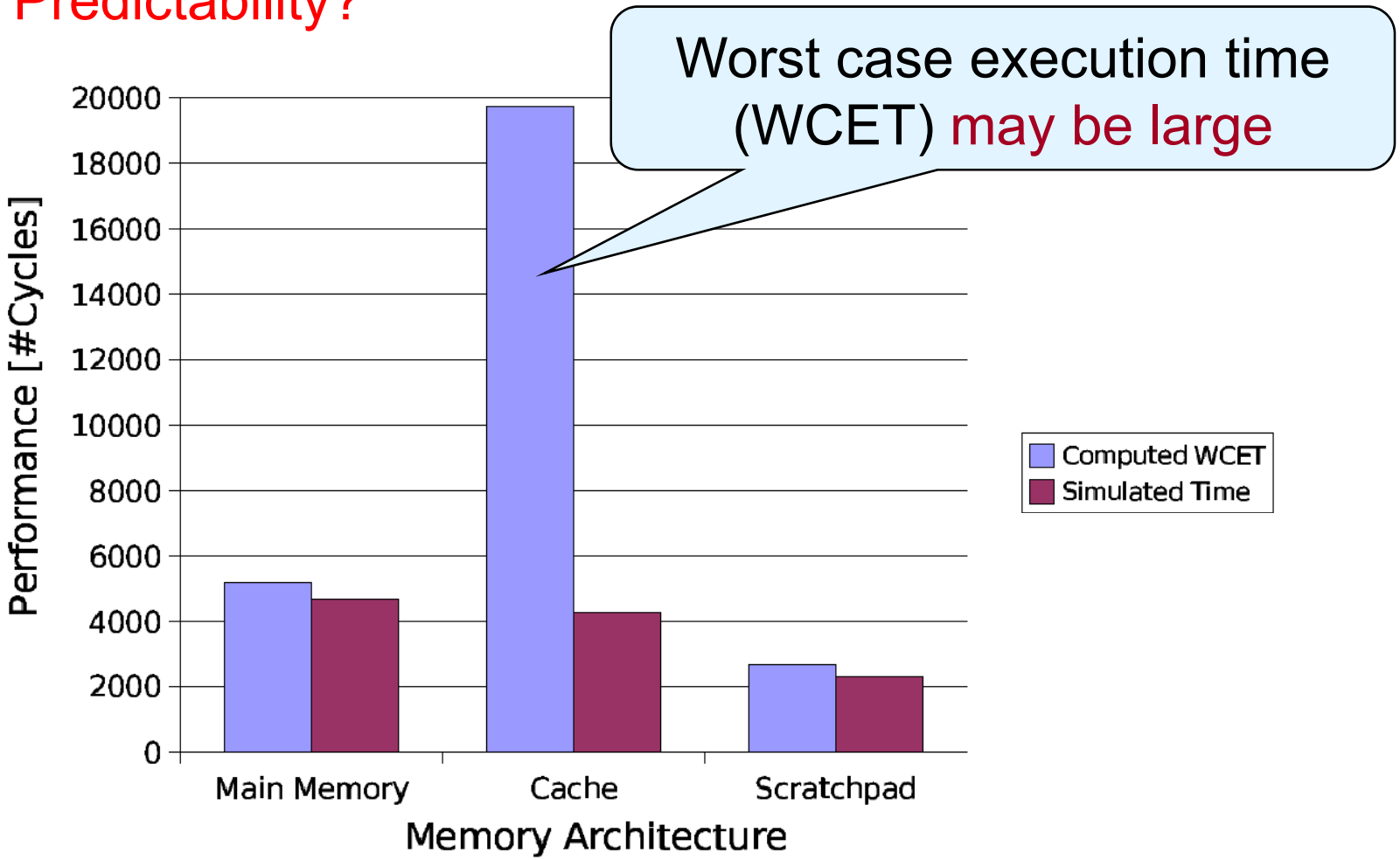
Main memory access takes more cycles
☞savings (86%) larger than for current.

energy reduction:
/ 7.06



چرا فقط از حافظه‌ی نهان استفاده نمی‌کنیم؟
Why not just use a cache ? (1)

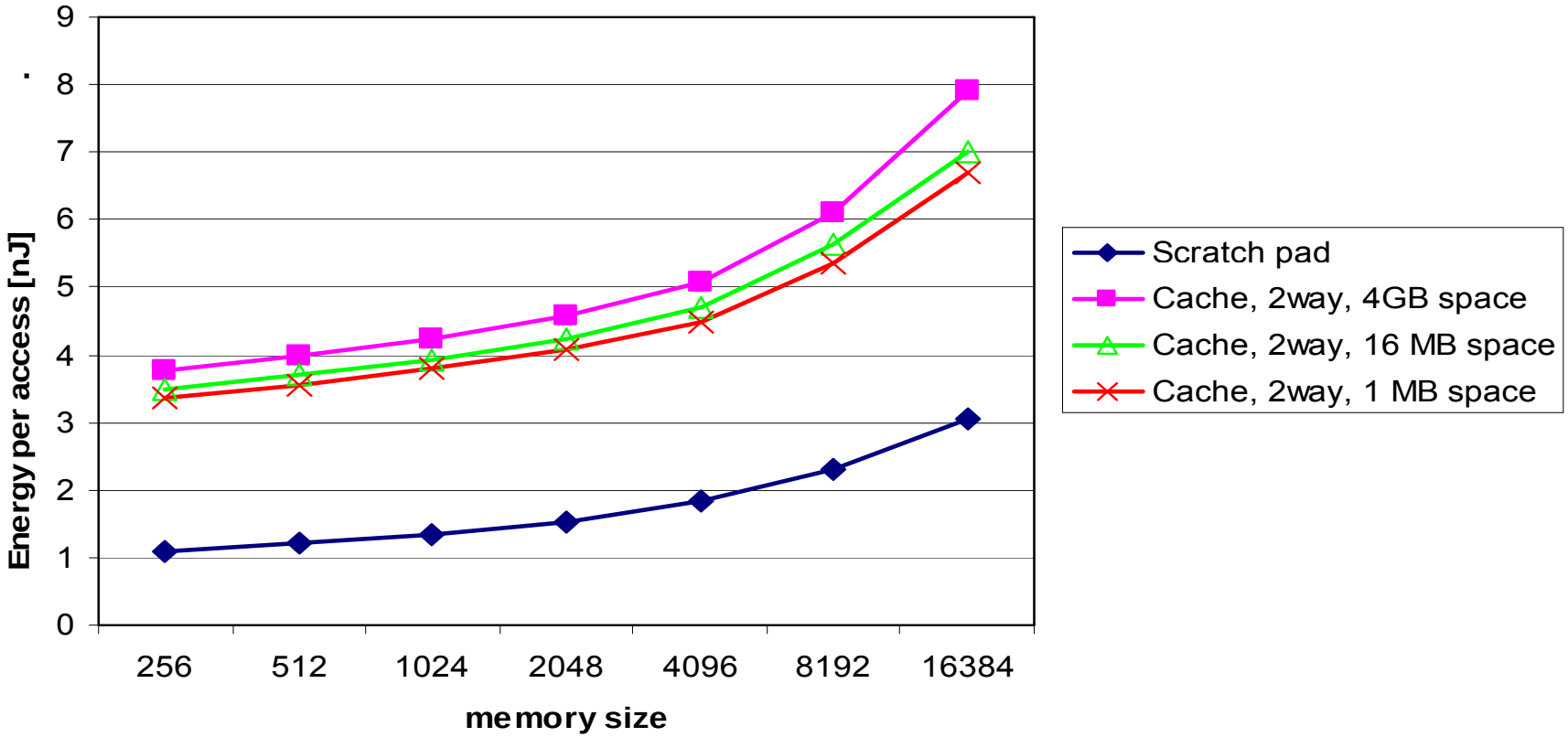
1. Predictability?



[P. Marwedel et al., ASPDAC, 2004]

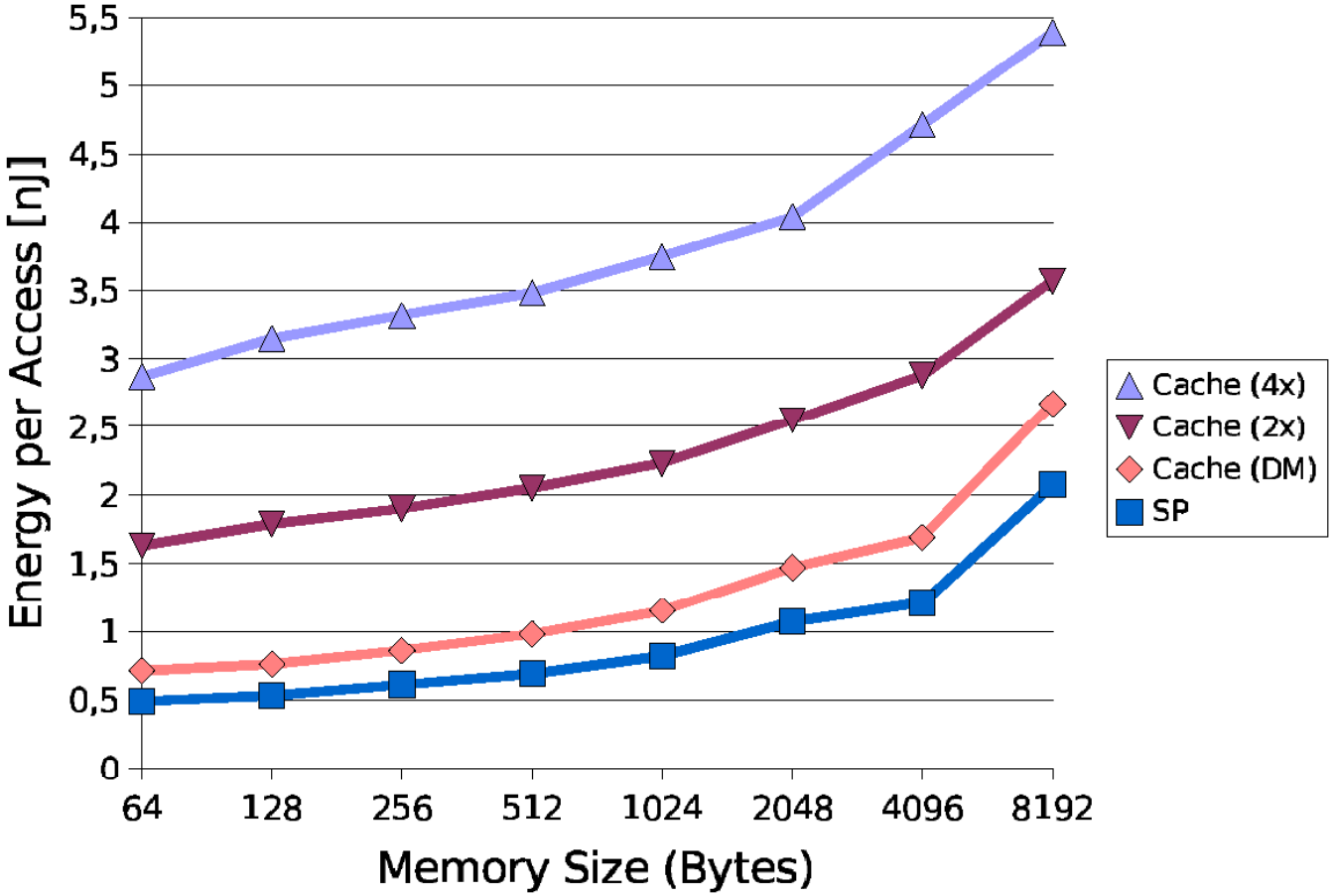
چرا فقط از حافظه‌ی نهان استفاده نمی‌کنیم؟
Why not just use a cache ? (2)

2. Energy for parallel access of sets, in comparators, muxes.



[R. Banakar, S. Steinke, B.-S. Lee, 2001]

تاثیر شرکت‌پذیری
Influence of the associativity

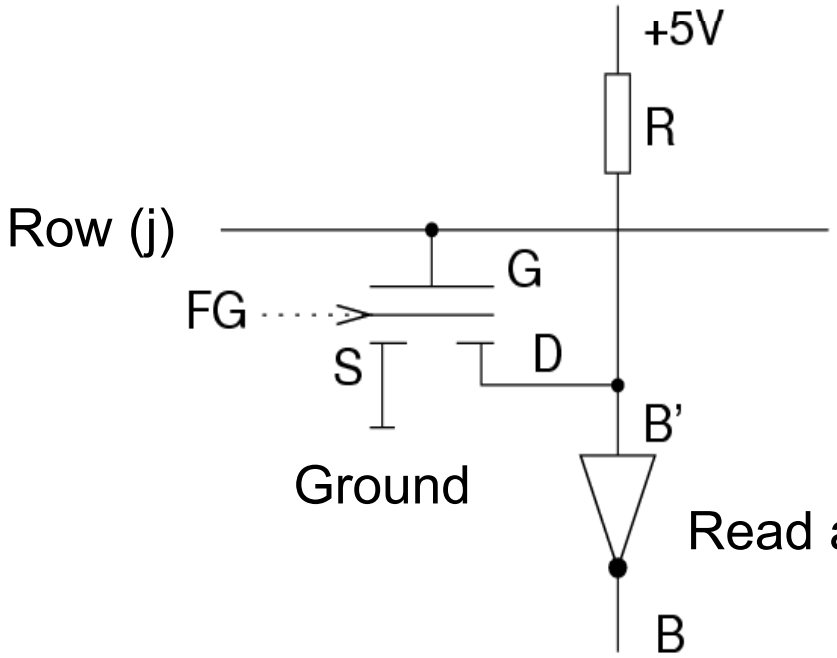


Parameters different from previous slides

[P. Marwedel et al., ASPDAC, 2004]

Flash Memory Based on EPROM/EEPROM-Memory

EPROM storage cell

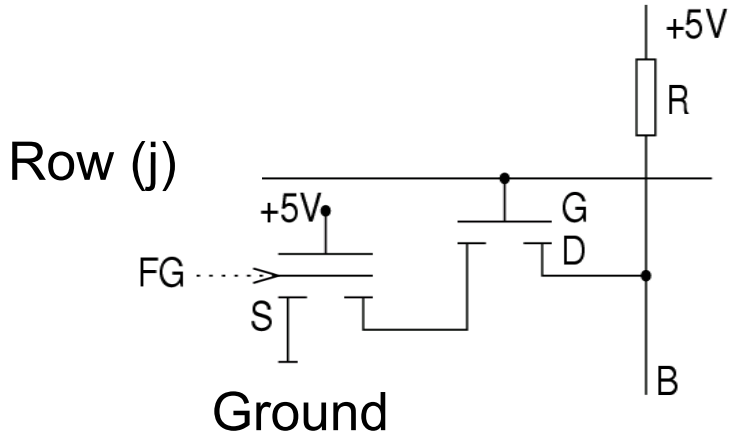


	B'	B
FG charged	'1'	'0'
FG not charged	'0'	'1'

گیت شناور FG می‌تواند با یک ولتاژ بالا شارژ شود.
ترانزیستور شارژشده نارسانا می‌شود، اگر سطر آن انتخاب شود.
دشارژ شدن با نور UV.

EEPROMS storage cell

EEPROM= *electrically erasable read only memory.*
EEPROM needs additional transistor per bit



	B
FG charged	+5V '0'
FG not charged	0V '1'

EEPROM برای هر بیت به یک ترانزیستور اضافی نیاز دارد.
نوشتن و پاک‌کردن تنها به سیگنال‌های الکتریکی نیاز دارد.

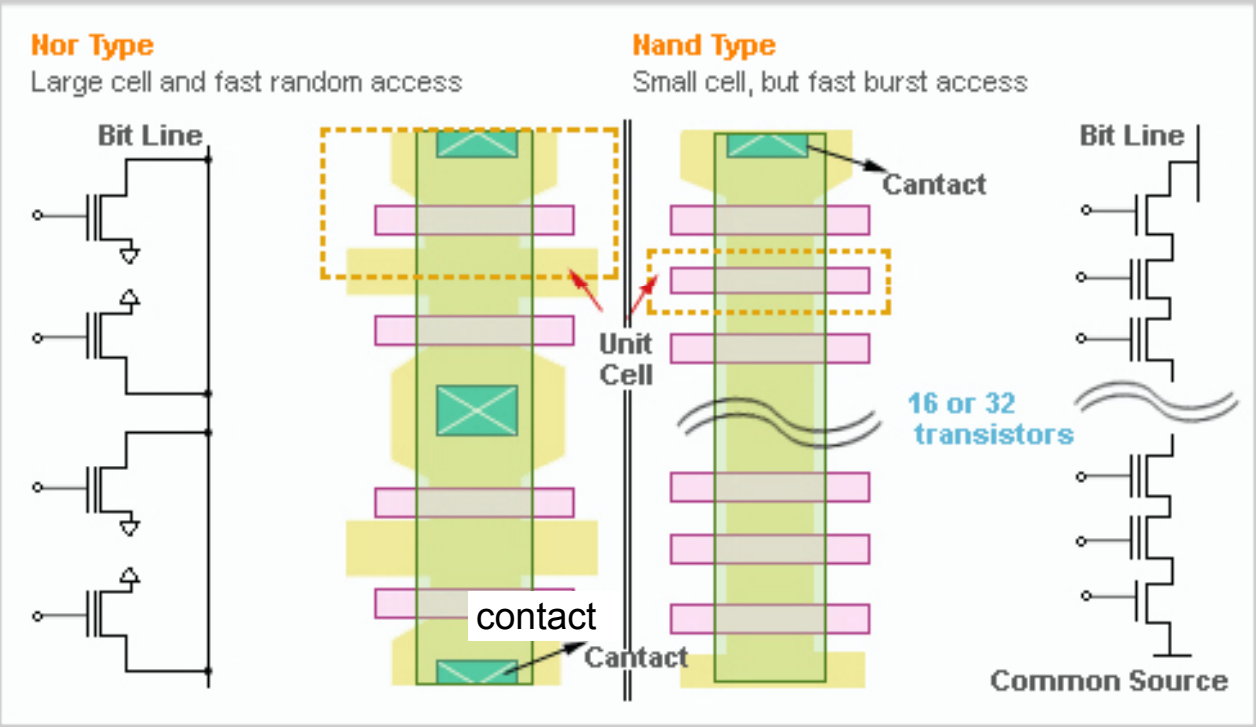
NOR- and NAND-Flash

NOR: Transistor between bit line and ground

NOR: ترانزیستور بین خط بیت و زمین قرار می‌گیرد.

NAND: Several transistor between bit line and ground

NAND: چند ترانزیستور بین خط بیت و زمین قرار می‌گیرد.

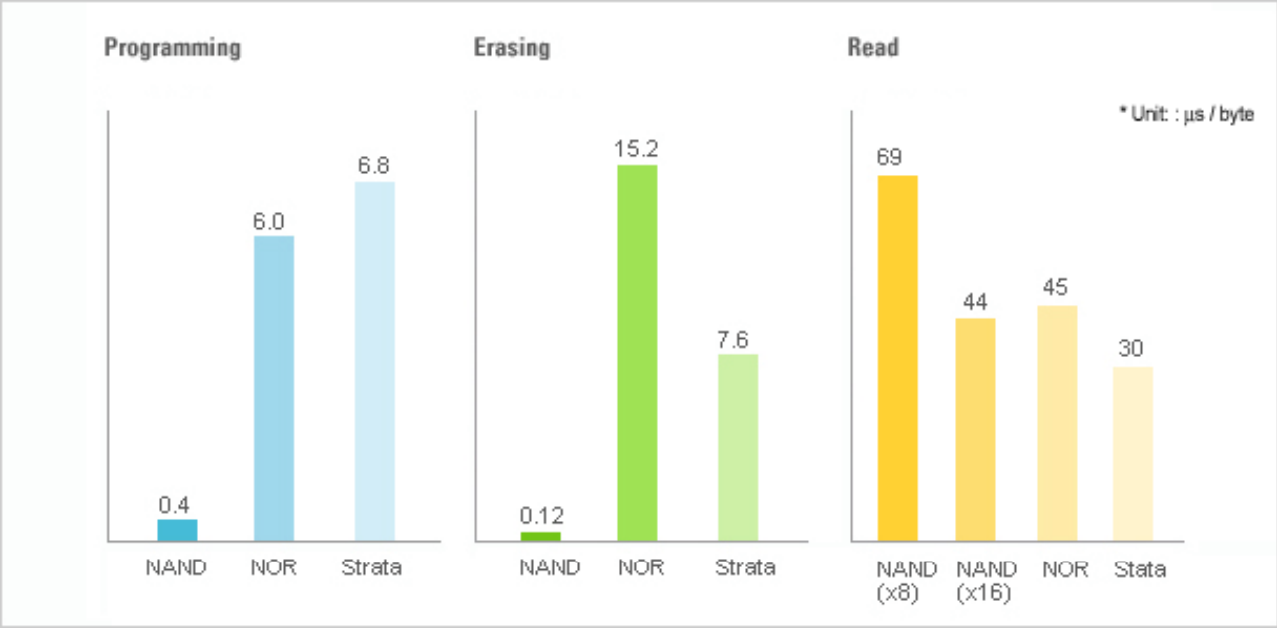


[www.samsung.com/Products/Semiconductor/Flash/FlashNews/FlashStructure.htm]

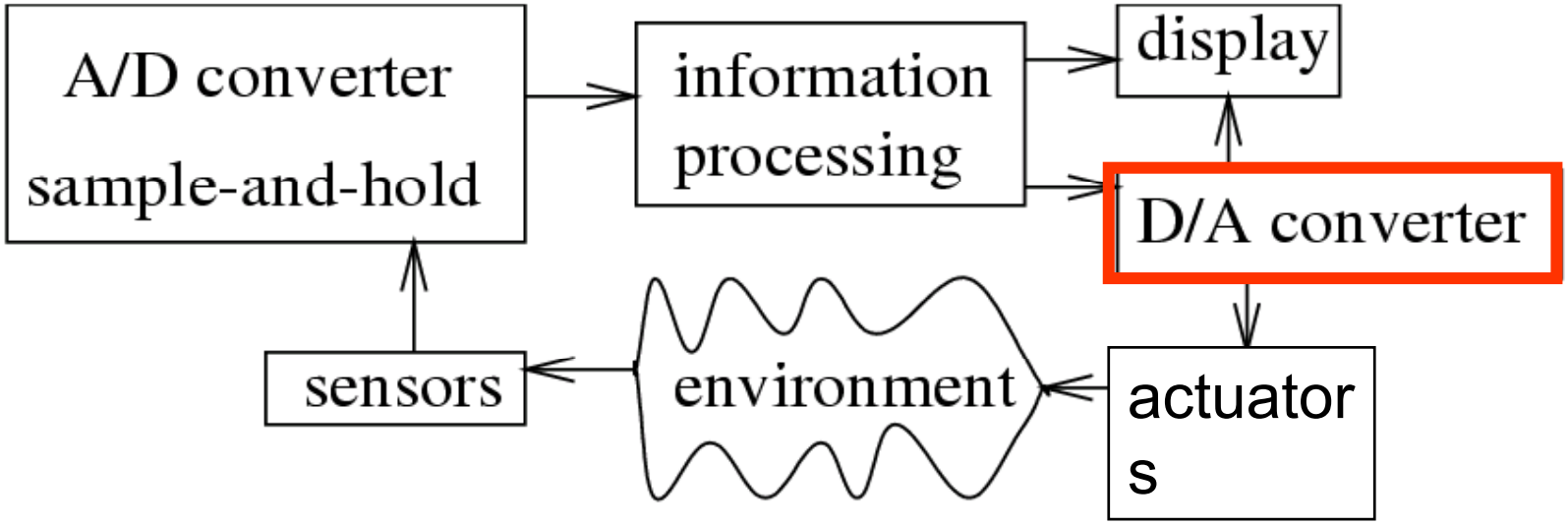
Properties of NOR- and NAND-Flash memories

Type/Property	NOR	NAND
Random access	Yes ☺	No ☹
Erase block	Slow ☹	Fast ☺
Size of cell	Larger ☺	Small ☺
Reliability	Larger ☺	Smaller ☹
Execute in place	Yes ☺	No ☹
Applications	Code storage, boot flash, set top box	Data storage, USB sticks, memory cards

[www.samsung.com/Products/Semiconductor/Flash/FlashNews/FlashStructure.htm]

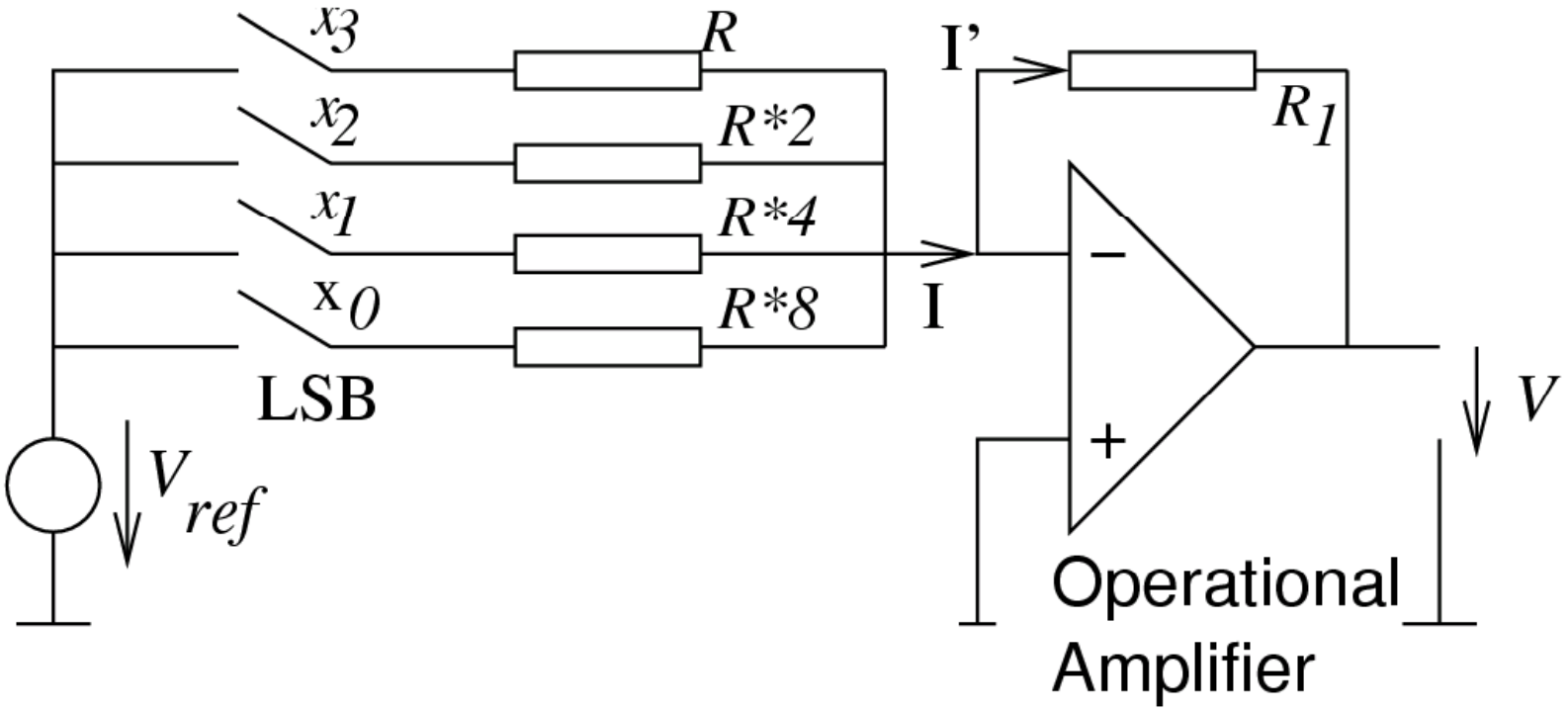


Embedded System Hardware

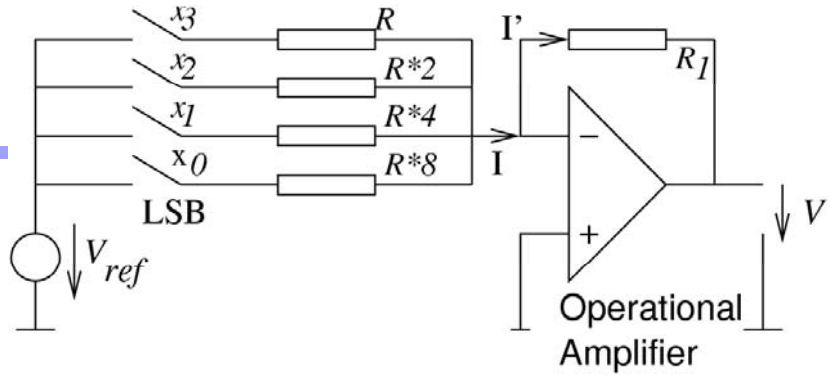


مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال
Digital-to-Analog (D/A) Converters

انواع مختلفی دارد، مانند:



ولتاژ خروجی:
عدد نمایش داده شده با X



Output voltage ≈
no. represented by x

Due to Kirchhoff's laws:

$$I = x_3 \times \frac{V_{ref}}{R} + x_2 \times \frac{V_{ref}}{2 \times R} + x_1 \times \frac{V_{ref}}{4 \times R} + x_0 \times \frac{V_{ref}}{8 \times R}$$

$$= \frac{V_{ref}}{R} \times \sum_{i=0}^{3} x_i \times 2^{i-3}.$$

Due to Kirchhoff's laws: $V + R_1 \times I' = 0.$

Current into Op-Amp=0: $I = I'.$

Hence: $V + R_1 \times I = 0.$

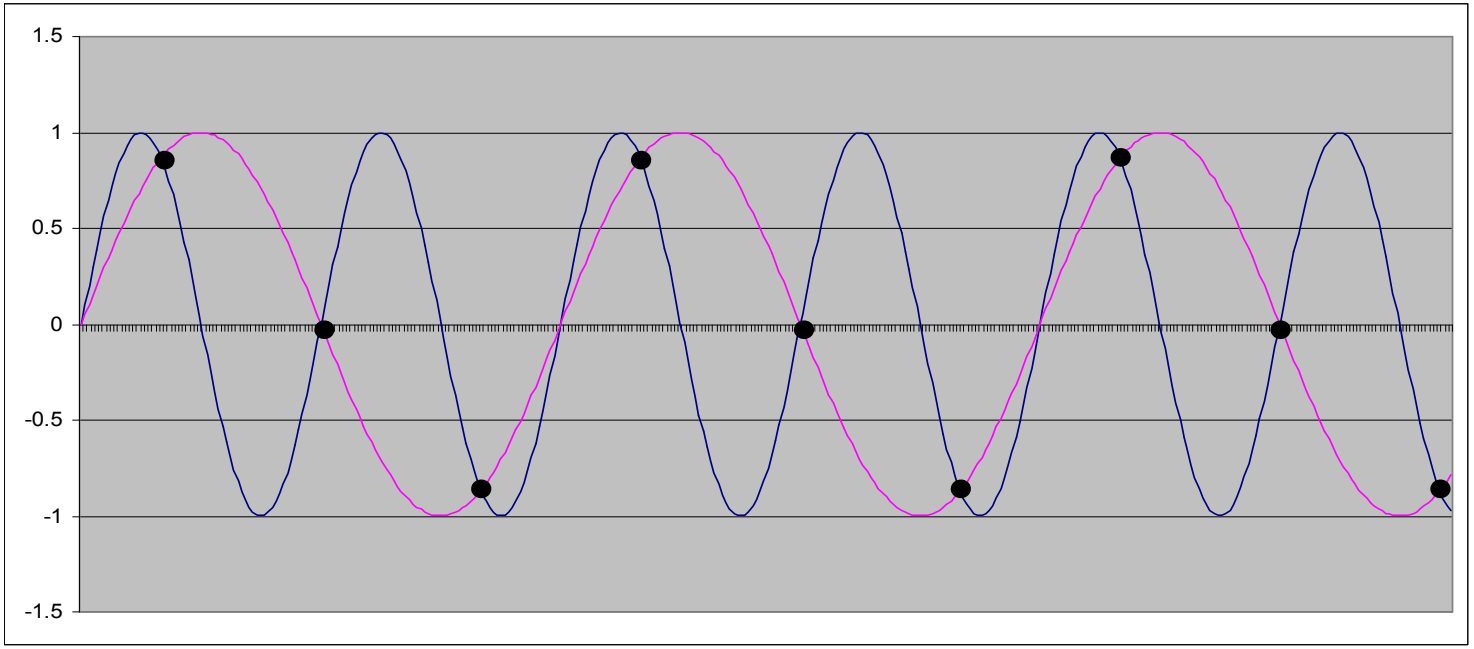
Finally: $$-V = V_{ref} \times \frac{R_1}{R} \sum_{i=0}^{3} x_i \times 2^{i-3} = V_{ref} \times \frac{R_1}{8 \times R} \times nat(x).$$

آیا می‌توان سیگنال آنالوگ را از روی مقدار دیجیتال آن بازسازی کرد؟
Possible to reconstruct analog value from digitized value?

Let f_s be the sampling frequency

Input signals with frequency components > $f_s/2$ cannot be distinguished from signals with frequency components < $f_s/2$.

Example: Signal: 5.6 Hz; Sampling: 9 Hz



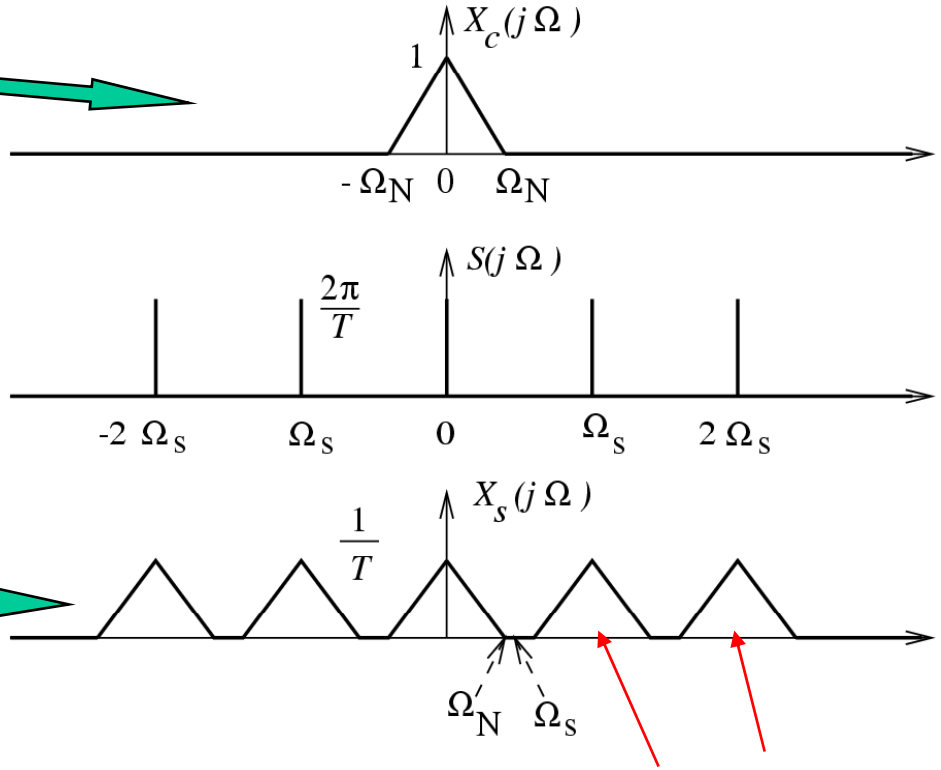
طیف فرکانسی یک سیگنال نمونه‌برداری‌شده
Frequency spectrum of sampled signal

Let $X_c()$: frequency spectrum of the continuous signal, cut-off frequency $\Omega_N=2\pi f_N$

Let $\Omega_s=2\pi f_s$: sampling frequency

Let X_s: frequency spectrum of the sampled signal

X_s consists of multiple copies of X_c, separated by Ω_s



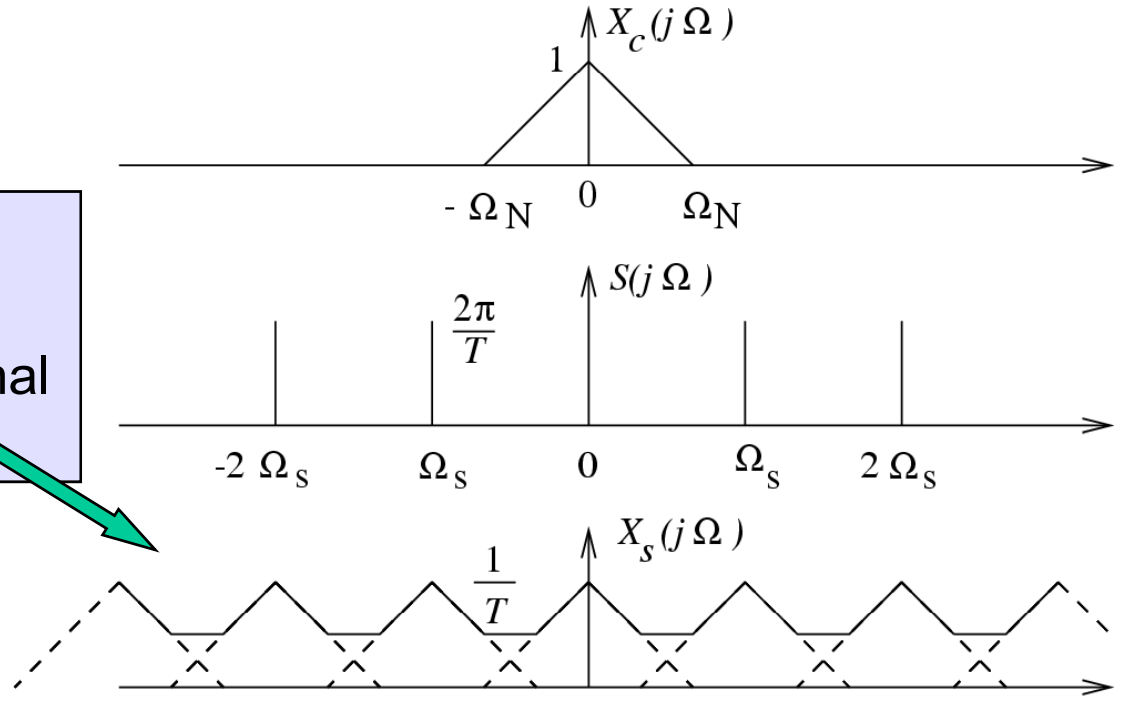
Cannot be distinguished in sampled signal

Formally: $X_s = X_c$ folded with S,
with S: frequency spectrum of clock

Aliasing

If $\Omega_s < 2 \times \Omega_N$ copies of spectrum will overlap

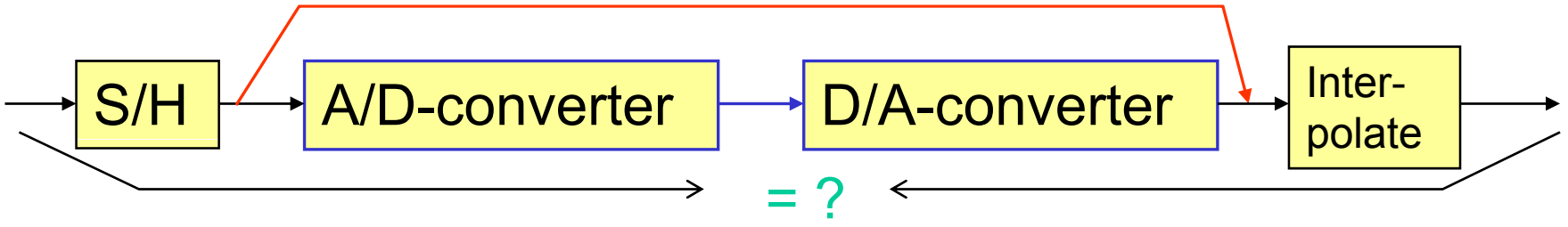
(we don't know the original frequencies any more)



No problem for signal reconstruction if this is avoided.

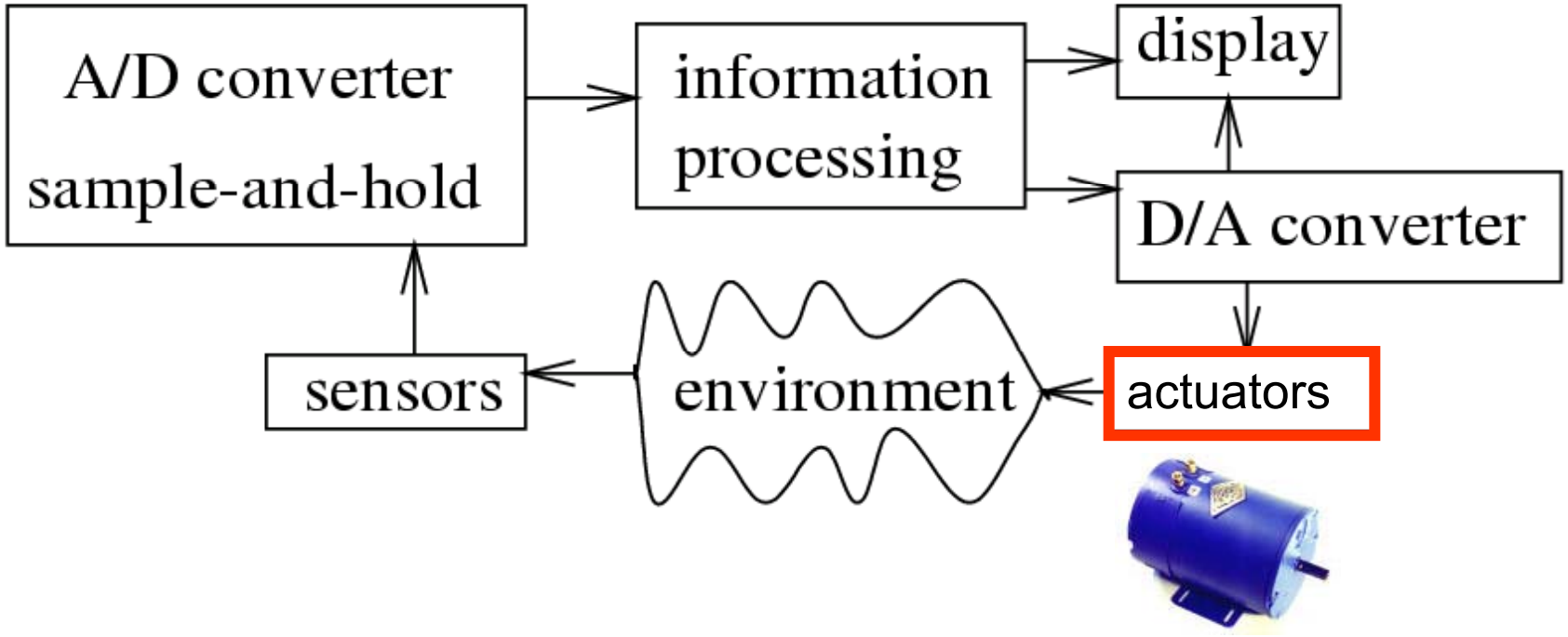
☞ Nyquist theorem

- Analog input to sample-and-hold can be precisely reconstructed from its output, provided that sampling proceeds at ≥ double of the highest frequency found in the input voltage. [Nyquist 1928, Shannon, 1949]



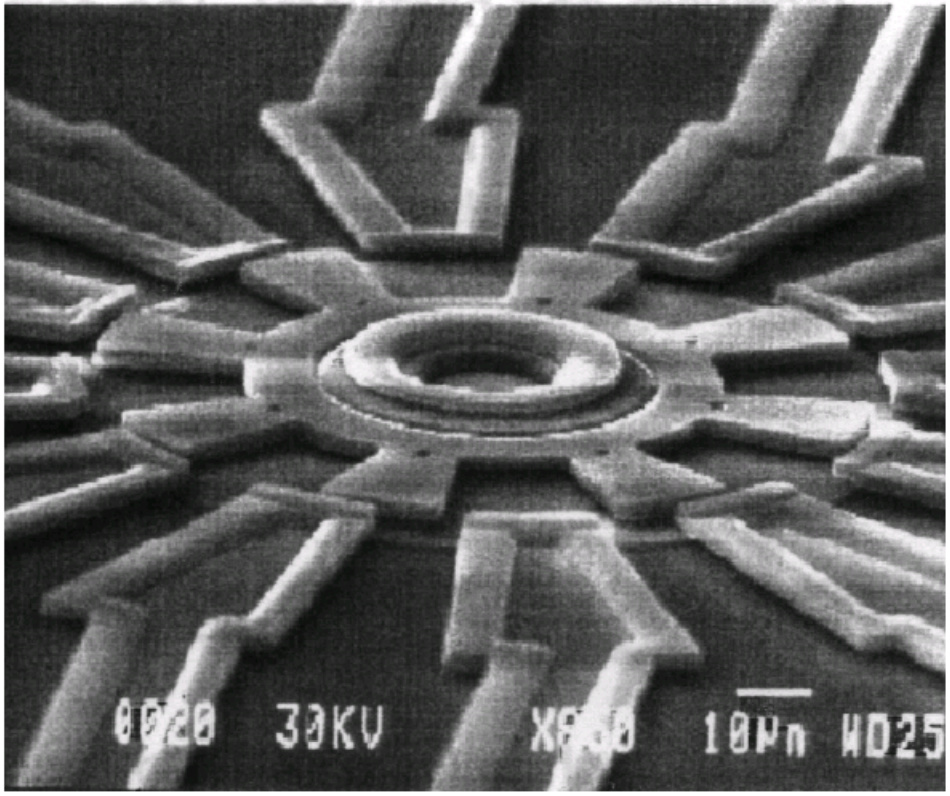
Does not capture effect of value quantization:
Quantization noise prevents precise reconstruction.

Embedded System Hardware



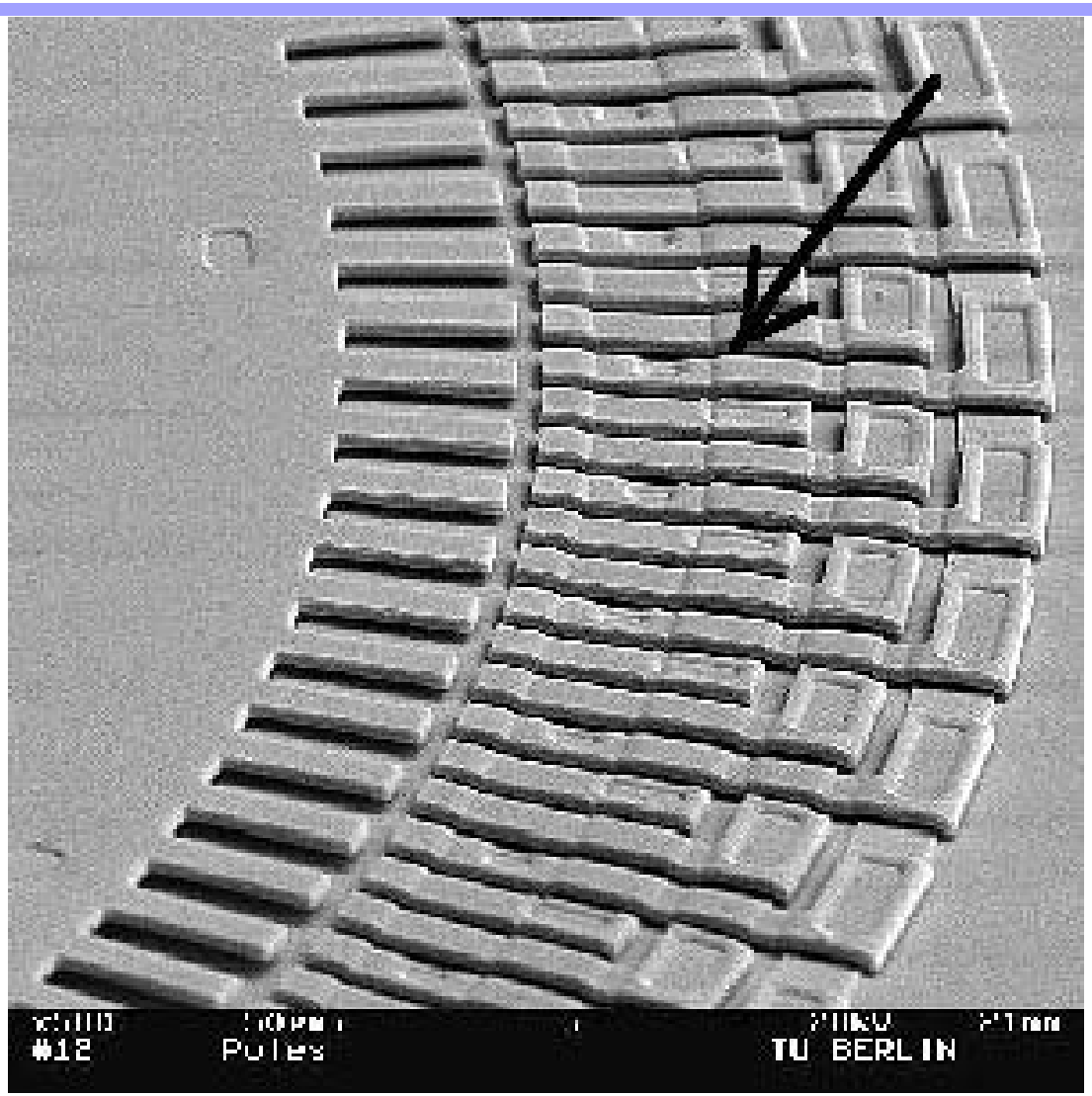
محرکه‌ها و خروجی‌ها
Actuators and output

Huge variety of actuators and output devices, impossible to present all of them.
Microsystems motors as examples (© MCNC):



(© MCNC)

Actuators and output (2)



Courtesy and ©:
E. Obermeier, MAT,
TU Berlin

موتور پله‌ای
Stepper Motor

- موتور پله‌ای: وقتی سیگنال "step" را دریافت می‌کند، به اندازه‌ی زاویه‌ی ثابت می‌چرخد.
- بر خلاف موتور DC که تنها در زمان اعمال توان می‌چرخد.
- چرخش با اعمال دنباله‌ی ولتاژ خاص به سیملوله‌ها coils انجام می‌شود.
- کنترل‌کننده، این کار را بسیار ساده می‌کند.

http://www.cise.ufl.edu/~prabhat/Teaching/cis6930-f04/comp4.pdf

خلاصه

We have covered:

- sensors (briefly)
- sample-and-hold and A/D converter circuits
- communication
- information processing hardware
  - ASICs (briefly)
  - processors
  - FPGAs
  - memory
- D/A-converters
- actuators (briefly)