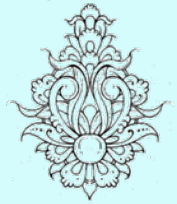
معماری کامپیوتر (۱۳۵۱۰-۱۱-۱۳۳)

جلسه‌ی سوم

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر
زمستان ۱۳۹۰
احمد محمودی ازناوه

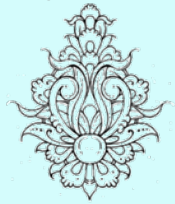
فهرست مطالب

- کارایی
- توان مصرفی
- پردازش موازی
- فرآیند ساخت تراشه



ظرفیت گذردهی در برابر زمان پاسخ

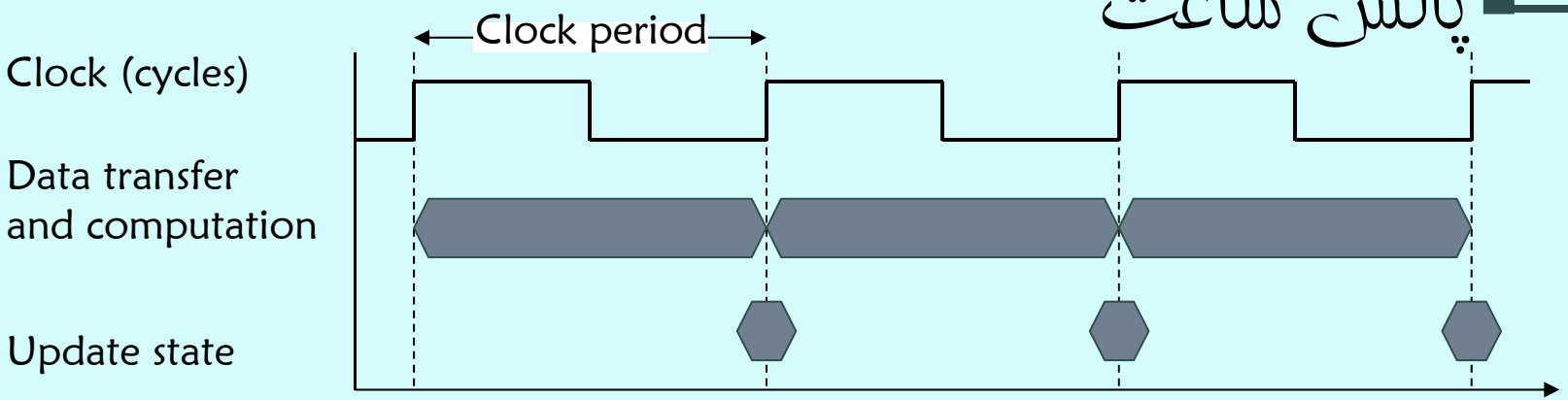
- **زمان پاسخ (اجرا):**
  - زمانی که طول می‌کشد تا یک کامپیوتر کاری را تمام کند.
- **ظرفیت گذردهی (توان عملیاتی):**
  - تعداد کارهایی که در واحد زمان انجام می‌شوند.



- «کارایی» به صورت معکوس زمان پاسخ تعریف می‌شود.
- X از Y، n بار سریع‌تر است اگر:

$$\text{Performance}_X / \text{Performance}_Y = \text{Execution time}_Y / \text{Execution time}_X = n$$

پالس ساعت

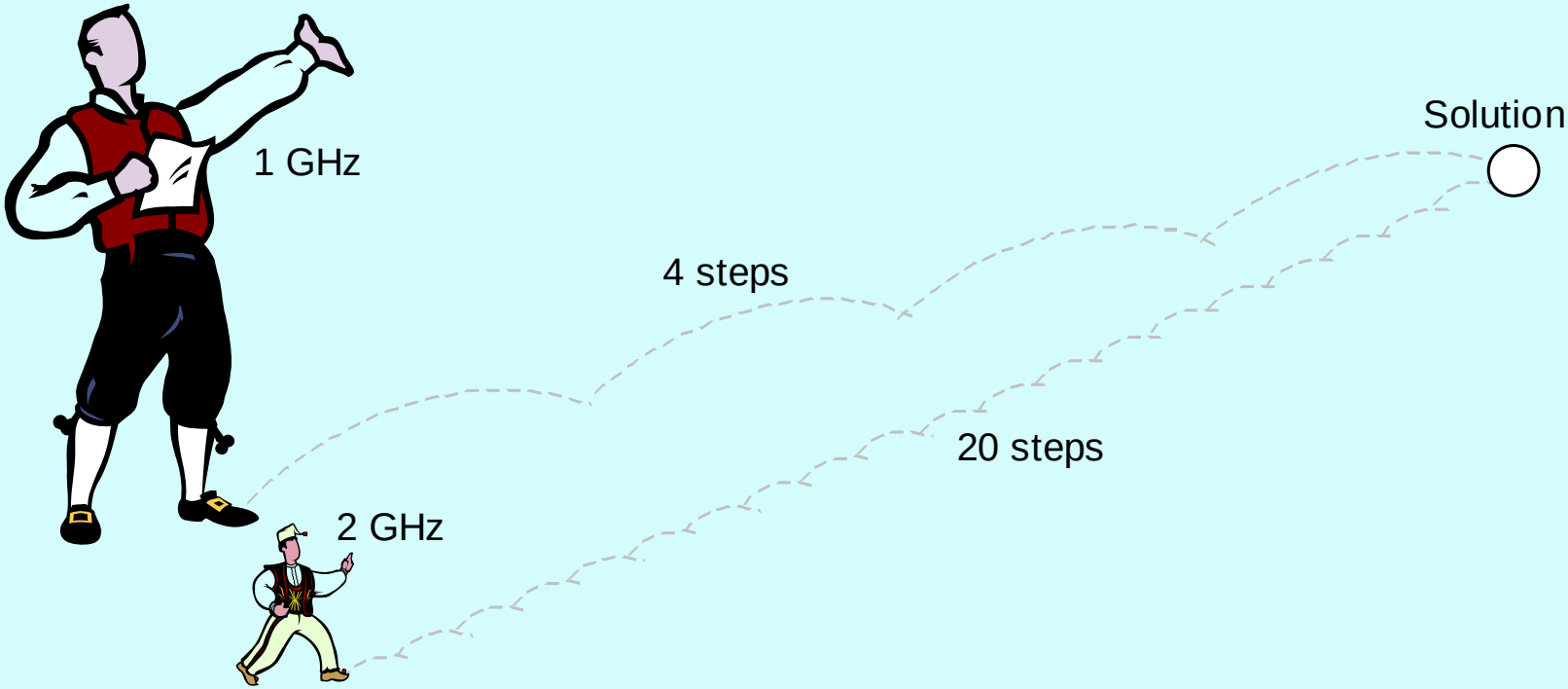


$$\text{CPU Time} = \text{CPU Clock Cycles} \times \text{Clock Cycle Time}$$
$$= \frac{\text{CPU Clock Cycles}}{\text{Clock Rate}}$$

- برای افزایش سرعت cpu
  - فرکانس پالس ساعت را افزایش داد.
  - تعداد پالس به ازای هر دستورالعمل را کاهش داد.

سرعت کامپیوترها

بالا بودن ساعت سریع‌تر به معنای سرعت اجرای بیشتر نیست



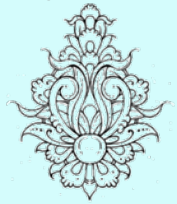
مثال

- کامپیوتر A با 2GHz clock به ده ثانیه برای اجرای برنامه‌ای خاص نیاز دارد. می‌خواهیم کامپیوتر B را به گونه‌ای طراحی کنیم که زمان اجرا را به شش ثانیه تقلیل دهد. با این فرض که در صورت افزایش سرعت پالس ساعت مجبور به تغییر طراحی خواهیم شد به طوری که تعداد سیکل‌های لازم برای اجرای دستورات ۱,۲ برابر می‌شود. فرکانس کامپیوتر B را حساب کنید؟

$$\text{Clock Rate}_B = \frac{\text{Clock Cycles}_B}{\text{CPU Time}_B} = \frac{1.2 \times \text{Clock Cycles}_A}{6\text{s}}$$

$$\text{Clock Cycles}_A = \text{CPU Time}_A \times \text{Clock Rate}_A$$
$$= 10\text{s} \times 2\text{GHz} = 20 \times 10^9$$

$$\text{Clock Rate}_B = \frac{1.2 \times 20 \times 10^9}{6\text{s}} = \frac{24 \times 10^9}{6\text{s}} = 4\text{GHz}$$



کارایی دستورالعمل

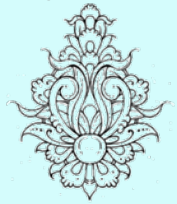
clock cycle per instruction

$$\text{Clock Cycles} = \text{Instruction Count} \times \text{Cycles per Instruction}$$

$$\text{CPU Time} = \text{Instruction Count} \times \text{CPI} \times \text{Clock Cycle Time}$$

$$= \frac{\text{Instruction Count} \times \text{CPI}}{\text{Clock Rate}}$$

- تعداد متوسط دستورالعمل توسط
  - برنامه، ISA و کامپایلر تعیین می‌شود
- تعداد سکیل به ازای هر دستورالعمل توسط سخت‌افزار تعیین می‌شود.



مثالی از CPI

- دو کامپیوتر را در نظر بگیرید:
  - کامپیوتر A با پالس ساعت 250ps و CPI=2 برای برنامه‌ای خاص
  - کامپیوتر B با پالس ساعت 500ps و CPI=1.2 برای همان برنامه
- کدام سریع‌ترند؟

$$\text{CPU Time}_A = \text{Instruction Count} \times \text{CPI}_A \times \text{Cycle Time}_A$$
$$= I \times 2.0 \times 250\text{ps} = I \times 500\text{ps}$$
$$\text{CPU Time}_B = \text{Instruction Count} \times \text{CPI}_B \times \text{Cycle Time}_B$$
$$= I \times 1.2 \times 500\text{ps} = I \times 600\text{ps}$$
$$\frac{\text{CPU Time}_B}{\text{CPU Time}_A} = \frac{I \times 600\text{ps}}{I \times 500\text{ps}} = 1.2$$

کامپیوتر A سریع‌تر است

این قدر

دستورات با سیکل‌های متفاوت

- در صورتی که یک cpu دارای دستورات با سیکل‌های متفاوت باشد، تعداد پالس ساعت برای اجرای یک برنامه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Clock Cycles} = \sum_{i=1}^{n} (\text{CPI}_i \times \text{Instruction Count}_i)$$

- و CPI کلی با میانگین وزن‌دهی شده به دست می‌آید

$$\text{CPI} = \frac{\text{Clock Cycles}}{\text{Instruction Count}} = \sum_{i=1}^{n} \left(\text{CPI}_i \times \frac{\text{Instruction Count}_i}{\text{Instruction Count}} \right)$$

Relative frequency

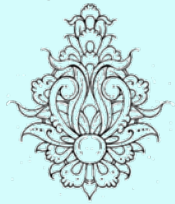
مثال

- برای اجرای یک تکه کد، دو شیوه قابل به کارگیری است، کدامیک سریع‌تر خواهد بود؟

Class	A	B	C
CPI for class	1	2	3
IC in sequence 1	2	1	2
IC in sequence 2	4	1	1

- Sequence 1: IC = 5
  - Clock Cycles
    = 2×1 + 1×2 + 2×3
    = 10
  - Avg. CPI = 10/5 = 2.0

- Sequence 2: IC = 6
  - Clock Cycles
    = 4×1 + 1×2 + 1×3
    = 9
  - Avg. CPI = 9/6 = 1.5

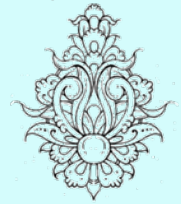


جمع‌بندی در مورد کارایی

دورنما

$$\text{CPU Time} = \frac{\text{Instructions}}{\text{Program}} \times \frac{\text{Clock cycles}}{\text{Instruction}} \times \frac{\text{Seconds}}{\text{Clock cycle}}$$

- کارایی یک برنامه به عوامل زیر بستگی دارد:
  - الگوریتم IC CPI
  - زبان برنامه‌نویسی IC CPI
  - کامپایلر IC CPI
  - معماری مجموعه‌ی دستورالعمل‌ها (ISA) IC CPI T



تمرین کلاسی

Op	Freq	CPI_i	Freq x CPI_i			
ALU	50%	1	.5	.5	.5	.25
Load	20%	5	1.0	.4	1.0	1.0
Store	10%	3	.3	.3	.3	.3
Branch	20%	2	.4	.4	.2	.4
			$\Sigma =$ 2.2	1.6	2.0	1.95

- چنانچه که با به‌کارگیری که حافظه‌ی نهان بهتر دستورات خواندن به میانگین دو سیکل برسند، سرعت تا چه‌میزان بهبود می‌یابد؟

CPU time new = 1.6 x IC x CC so 2.2/1.6 means 37.5% faster

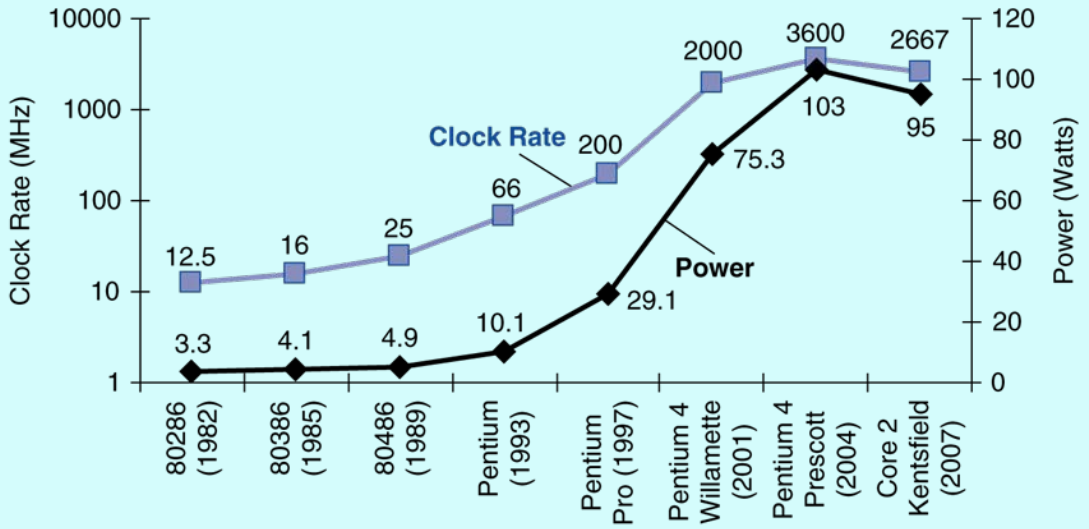
- در صورتی که با پیش‌بینی دستورات پرش میانگین اجرای دستورات پرش به نصف کاهش یابد، سرعت چه تغییری خواهد کرد؟

CPU time new = 2.0 x IC x CC so 2.2/2.0 means 10% faster

- در صورتی که دو دستور همزمان در واحد محاسباتی اجرا شوند چه؟

CPU time new = 1.95 x IC x CC so 2.2/1.95 means 12.8% faster

رویه تغییرات توان مصرفی



- در تکنولوژی CMOS

$$\text{Power} = \text{Capacitive load} \times \text{Voltage}^2 \times \text{Frequency Switched}$$

×30

5V → 1V

×1000

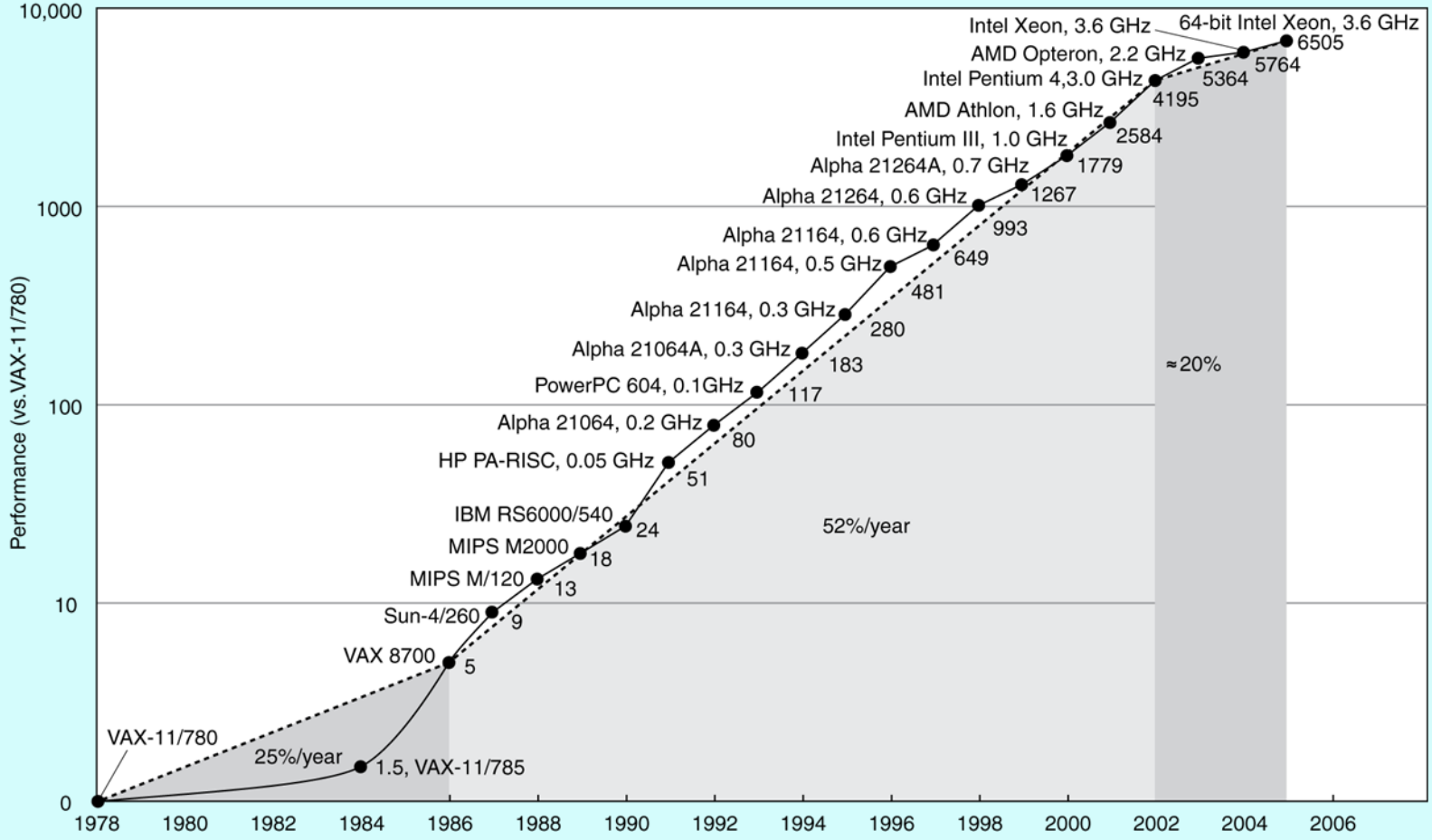
مثال- توان نسبی

- در صورتی که در یک پردازنده طراحی به گونه‌ای تغییر کند که ولتاژ، فرکانس پالس ساعت و بار خازنی هر یک پانزده‌درصد کاسته شوند، توان مصرفی چه تغییری می‌کند؟

$$\frac{P_{new}}{P_{old}} = \frac{C_{old} \times 0.85 \times (V_{old} \times 0.85)^2 \times F_{old} \times 0.85}{C_{old} \times V_{old}^{\ 2} \times F_{old}} = 0.85^4 = 0.52$$

- بیش از این نمی‌توان ولتاژ را کاهش داد.
- روش‌های متفاوتی برای خنک کردن cpu به کار گرفته شده است.

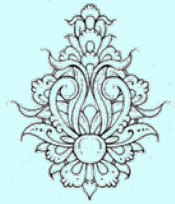
حرکت به سوی پردازش موازی



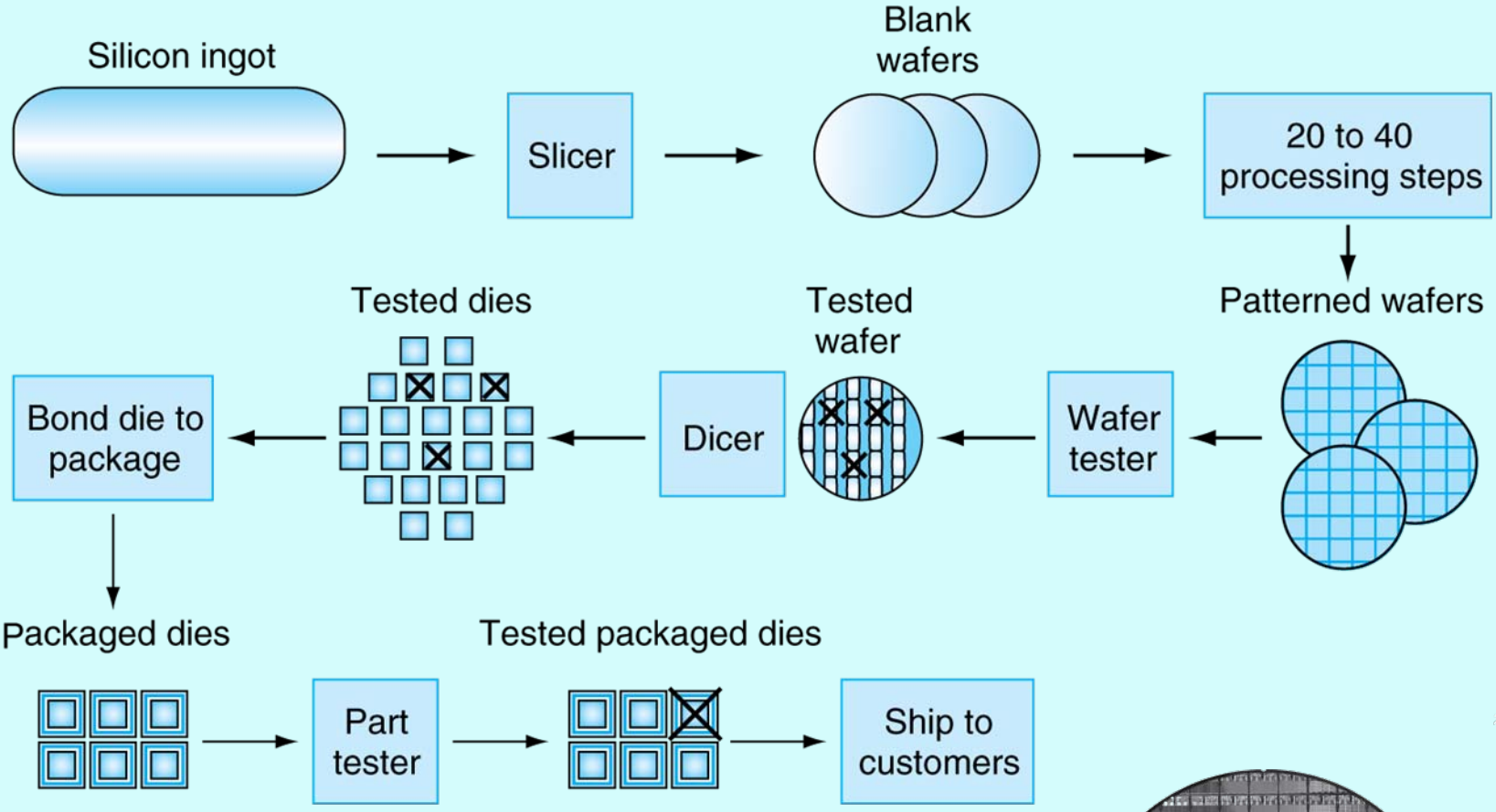
چندپردازشی

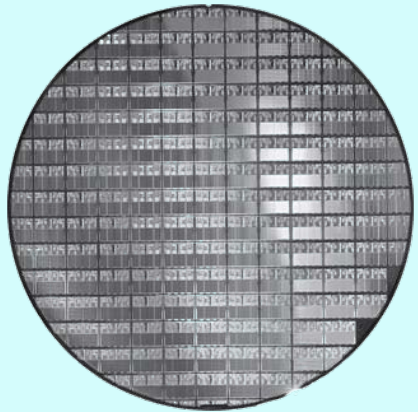
multiprocessing

- پردازنده‌های چند هسته‌ای
  - بیش از یک پردازنده در یک تراشه
- نیاز به نوشتن برنامه‌های که قابلیت اجرا شدن به صورت موازی را دارند.
- دشواری‌های برنامه‌نویسی به صورت موازی
  - باید کارا باشد، در این حالت تنها پاسخ درست مد نظر نیست
  - توزیع بار (Load balancing)
  - کاهش ارتباط و نیاز به هماهنگ کردن



ساخت تراشه



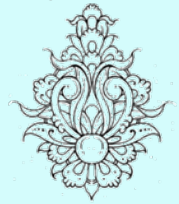


300mm wafer, 117 chips, 90nm technology

محک آزمون برای بررسی کارایی

- بار کاری (workload):
  - مجموعه برنامه‌ای که بر روی یک کامپیوتر اجرا می‌شود.
- محک (benchmarks):
  - مجموعه برنامه‌هایی که برای ارزیابی یک سیستم کامپیوتری مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- SPEC برای ارزیابی کارایی یک سری محک عرضه می‌کند.
  - SPEC CPU2006، عملیات ورودی خروجی را در نظر نمی‌گیرد، و در نتیجه بر روی کارایی پردازنده تمرکز دارد.

SPEC: (System Performance Evaluation Cooperative)



AMD Opteron X4

$$\sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} \text{Execution time ratio}_i}$$

Name	Description	IC×10^9	CPI	Tc (ns)	Exec time	Ref time	SPECratio
perl	Interpreted string processing	2,118	0.75	0.40	637	9,777	15.3
bzip2	Block-sorting compression	2,389	0.85	0.40	817	9,650	11.8
gcc	GNU C Compiler	1,050	1.72	0.47	24	8,050	11.1
mcf	Combinatorial optimization	336	10.00	0.40	1,345	9,120	6.8
go	Go game (AI)	1,658	1.09	0.40	721	10,490	14.6
hmmer	Search gene sequence	2,783	0.80	0.40	890	9,330	10.5
sjeng	Chess game (AI)	2,176	0.96	0.48	37	12,100	14.5
libquantum	Quantum computer simulation	1,623	1.61	0.40	1,047	20,720	19.8
h264avc	Video compression	3,102	0.80	0.40	993	22,130	22.3
omnetpp	Discrete event simulation	587	2.94	0.40	690	6,250	9.1
astar	Games/path finding	1,082	1.79	0.40	773	7,020	9.1
xalancbmk	XML parsing	1,058	2.70	0.40	1,143	6,900	6.0
							11.7

High cache miss rates

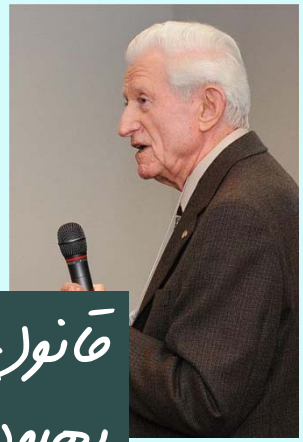
قانون Amdahl

- برنامه‌ای را در نظر بگیرید که زمان پاسخ آن ۱۰۰ ثانیه است، ۸۰ ثانیه‌ی مربوط به عملیات ضرب می‌باشد، سرعت عملیات ضرب چند برابر شود تا سرعت برنامه پنج بر ابر شود؟

$$T_{improved} = \frac{T_{affected}}{improvement\ factor} + T_{unaffected}$$

$$20 = \frac{80}{n} + 20$$

Amdahl's law



دام: نباید انتظار داشت متناسب با بهبود یک بخش عملکرد کلی بهبود یابد شدنی نیست!

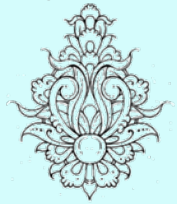
قانون Amdhal

بهبود کارایی سیستم ، هنگامی که بخشی از آن بهبود یابد

نتیجه: بهتر است قسمت‌های پرکاربرد بهبود یابند

- توان مصرفی X4
  - در صورت به‌کارگیری ۱۰۰ درصدی 295W
  - در صورت به‌کارگیری ۵۰ درصدی 246W
  - در صورت به‌کارگیری ۱۰ درصدی 180W
- سرورهای گوگل اغلب با ده تا پنجاه درصد ظرفیت کار می‌کنند و تنها یک درصد اوقات بار آن به صددرصد می‌رسد.

Energy-proportional computing



معیاری دیگر برای ارزیابی کارایی

MIPS: million instructions per second

$$\text{MIPS} = \frac{\text{Instruction count}}{\text{Execution time} \times 10^6}$$

- در ISAهای متفاوت، توانایی‌ها فرق می‌کند.
- MIPS در یک کامپیوتر خاص برای برنامه‌های متفاوت، مقادیر متفاوتی خواهد داشت.
- برای یک برنامه با تعداد دستورات بیشتر اما سریع‌تر معیار خوبی نخواهد بود.

$$\text{MIPS} = \frac{\text{Instruction count}}{\frac{\text{Instruction count} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}} \times 10^6} = \frac{\text{Clock rate}}{\text{CPI} \times 10^6}$$