

Архитектура компьютера

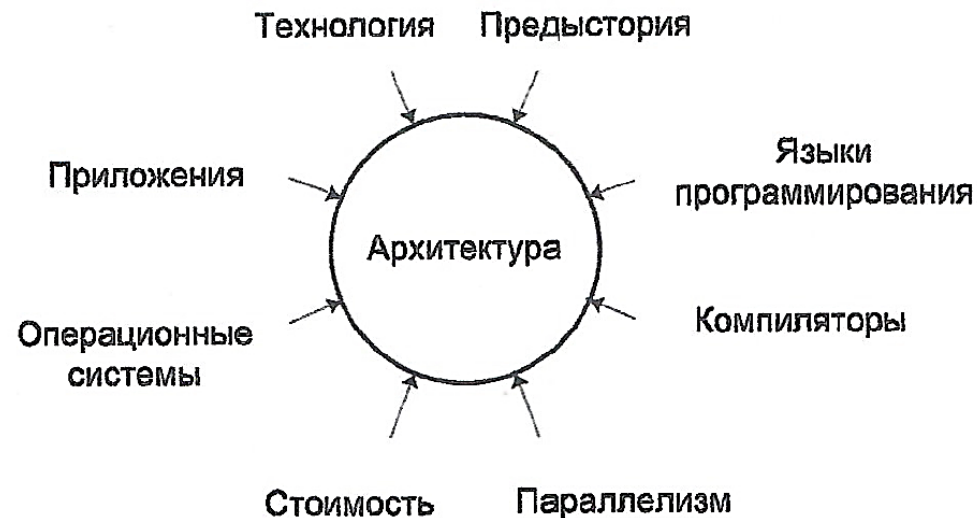
Эффективность

План лекции

- Производительность
- Надежность
- Тенденции
- Закон Амдала

Что влияет на производительность

- Язык программирования
- Компилятор
- Архитектура системы команд
- Микроархитектура
- Технология



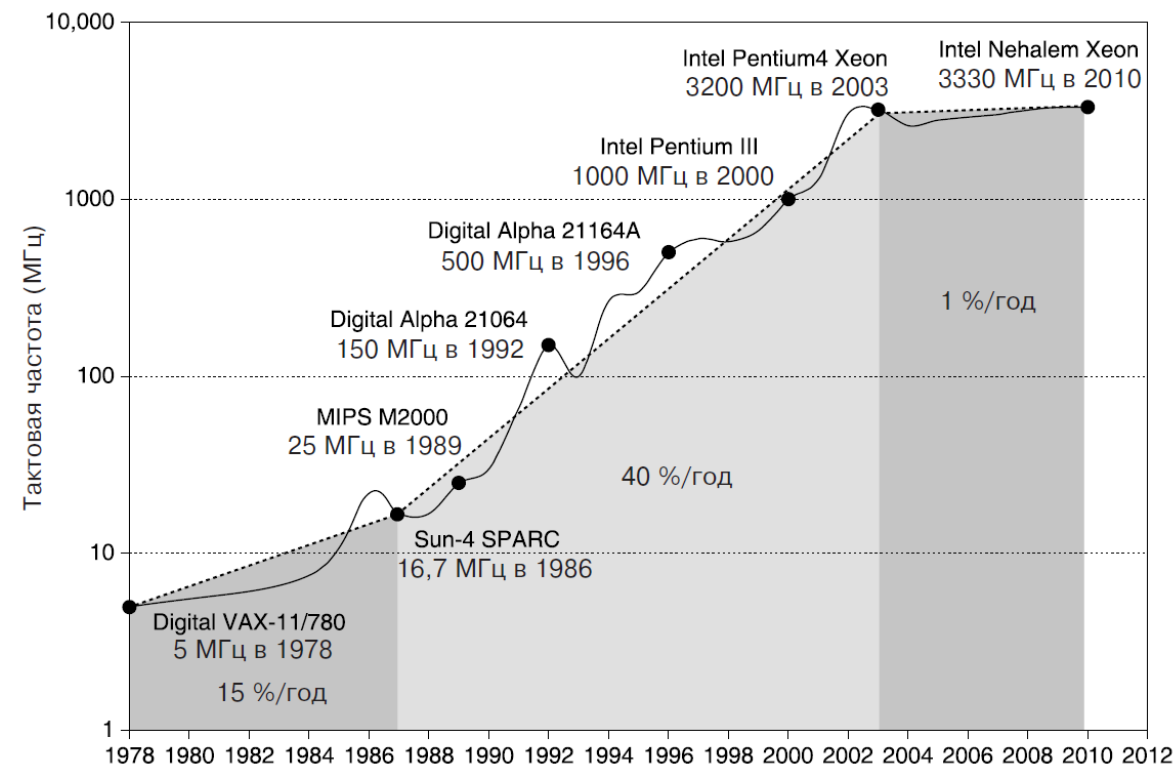
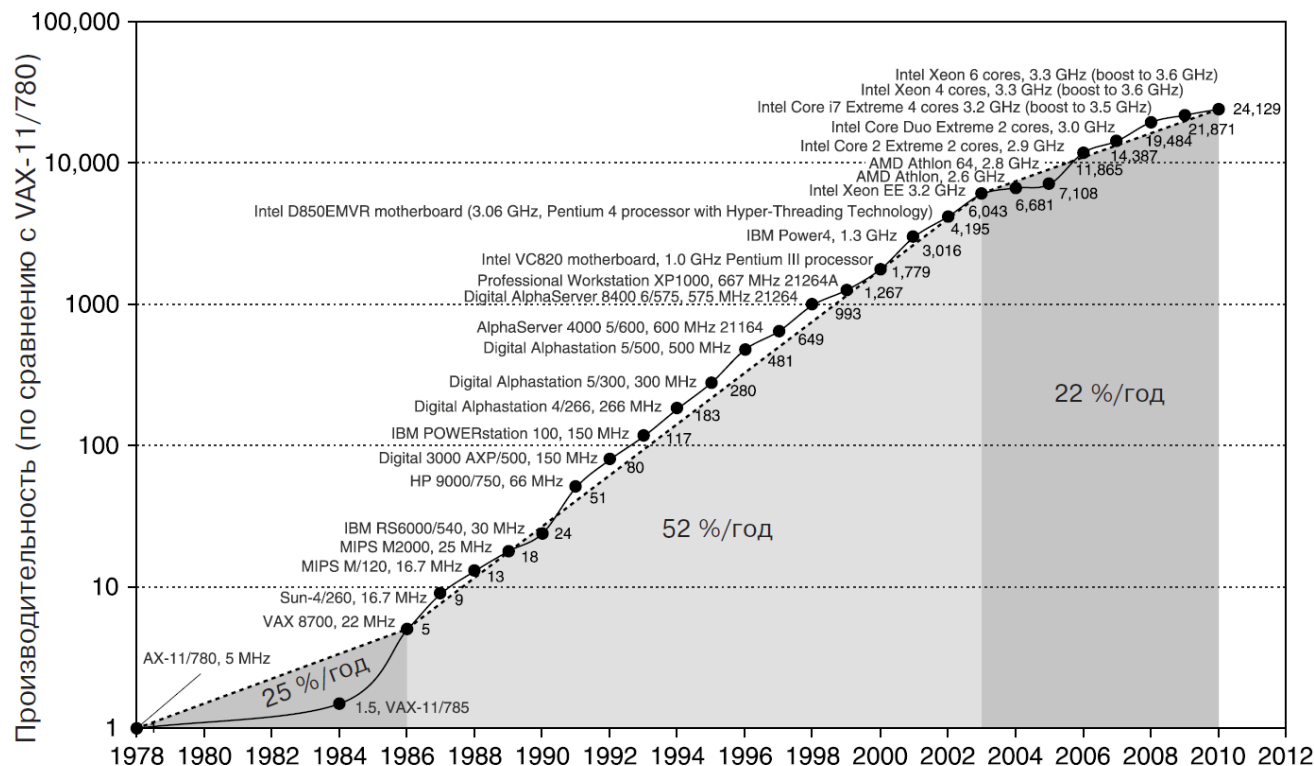
$$Performance = \frac{Cycles}{Instr} * \frac{seconds}{Cycles} * \frac{Instr}{Program}$$

uArch → (points to the first fraction)

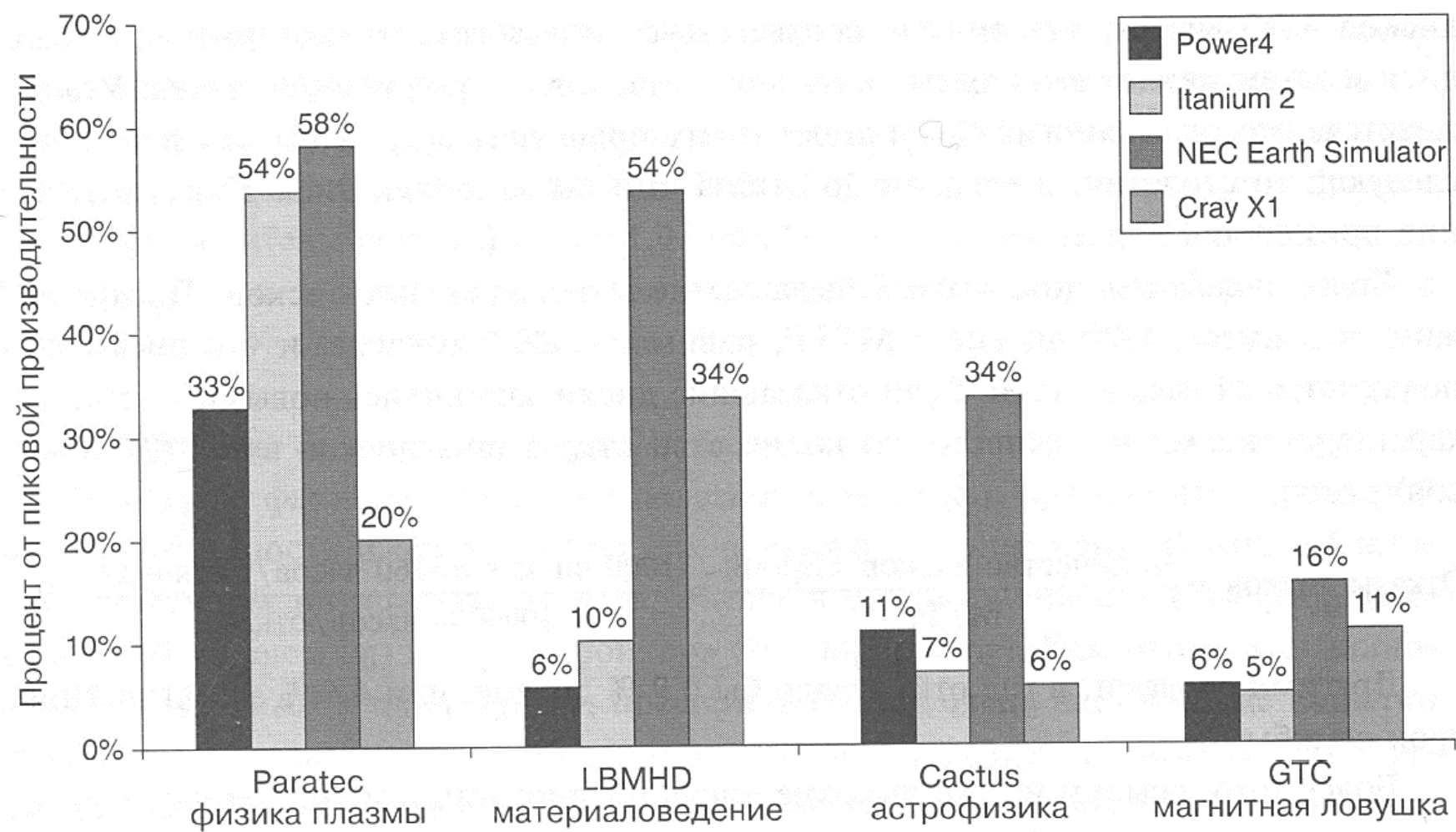
Технология → (points to the second fraction)

ISA → (points to the third fraction)

Рост производительности



Описание пакета тестов SPEC2006	Название теста в различных поколениях SPEC				
	SPEC2006	SPEC2000	SPEC95	SPEC92	SPEC89
GNU компилятор языка Си					gcc
Интерпретация обработки строк			perl		espresso
Комбинаторные оптимизации		mcf			li
Сжатие с сортировкой блоков		bzip2		compress	eqntott
Игра Го (искусственный интеллект)	go	vortex	go	sc	
Сжатие видео	h264avc	gzip	jpeg		
Игры/поиск пути	astar	eon	m88ksim		
Поиск нуклеотидной последовательности гена	hmmer	twolf			
Моделирование квантового компьютера	libquantum	vortex			
Библиотека моделирования дискретных событий	omnetpp	vpr			
Игра в шахматы (искусственный интеллект)	sjeng	crafty			
Синтаксический анализ XML	xalancbmk	parser			
Вычислительная гидродинамика / ударные волны	bwaves				fpppp
Численное моделирование в теории относительности	cactusADM				tomcatv
Метод конечных элементов	calculix				doduc
Решение дифференциальных уравнений	dealll				nasa7
Квантовая химия	games				spice
Решение уравнений Максвелла (во временной/частотной областях)	GemsFDTD			swim	matrix300
Масштабируемая молекулярная динамика	gromacs			hydro2d	
Метод решеточных уравнений Больцмана (потoki жидкости/воздуха)	lbm		apsi	su2cor	
Моделирование больших вихрей / турбулентная вычислительная гидродинамика	LESlie3d	wupwise	mgrid	wave5	
Квантовая хромодинамика на решетке	milc	apply	applu		
Молекулярная динамика	namd	galgel	turb3d		
Трассировка лучей	povray	mesa			
Распознавание речи	soplex	art			
Квантовая химия (ОО-модель)	sphinx3	equake			
Исследование и прогноз погоды	tonto	facerec			
Магнитогидродинамика	wrf	ammp			
Решение уравнений Максвелла (во временной/частотной областях)	zeusmp	lucas			
		fma3d			
		sixtrack			



Классификация компьютеров

Характеристика	Персональное мобильное устройство (PMD)	Настольный компьютер	Сервер	Кластер/WSC	Встроенные
Цены системы, долл.	100—1000	300—2500	5000—10000000	100000—200000000	10—100000
Цена микропроцессора, долл.	10—100	50—500	200—2000	50—250	0,01—100
Критические параметры при проектировании системы	Цена, энергопотребление, медиапроизводительность, время отклика	Цена, производительность, энергопотребление, графическая производительность	Скорость обработки, доступность, масштабируемость, энергопотребление	Цена, производительность, пропускная способность, пропорциональность энергопотребления	Цена, энергопотребление, прикладная производительность

Потери от простоев

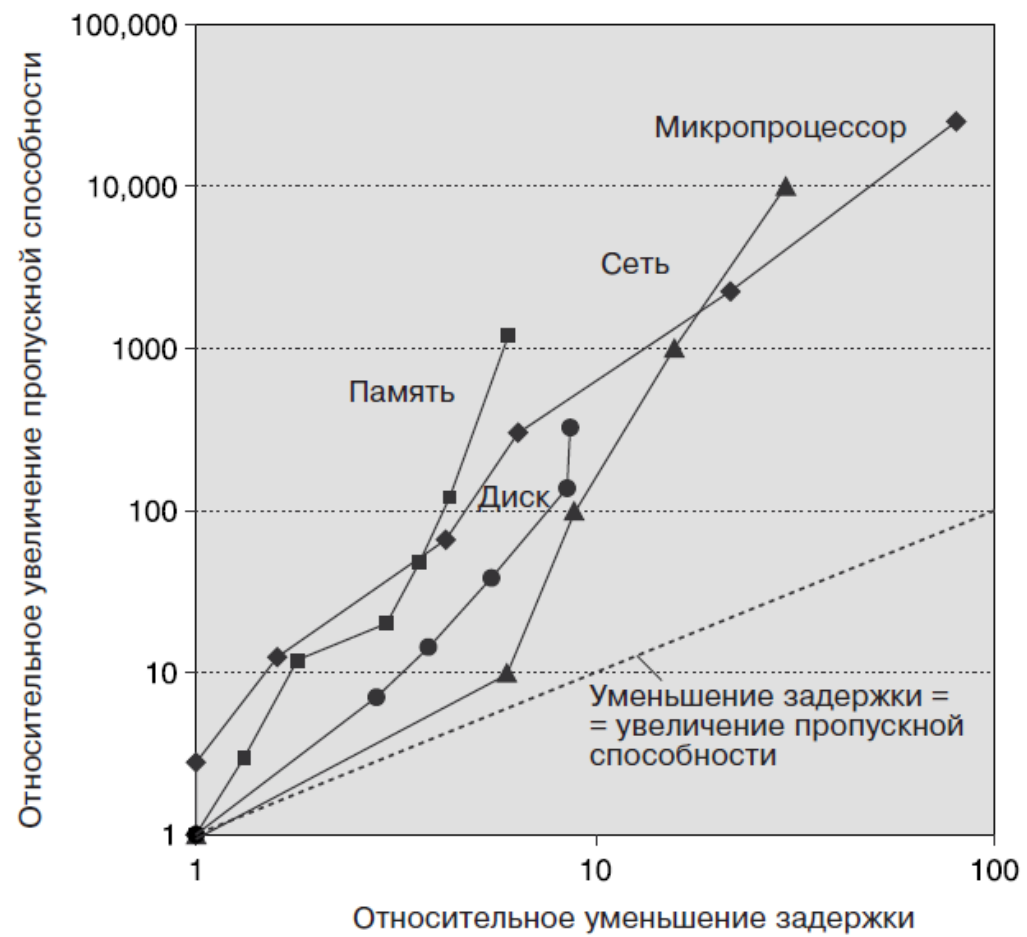
Приложение	Стоимость простоя, долл. в час	Ежегодные потери (долл.) от простоев, составляющих		
		1% (87,6 ч/год)	0,5% (43,8 ч/год)	0,1% (8,8 ч/год)
Брокерские операции	6 450 000	565 000 000	283 000 000	56 500 000
Авторизация кредитных карт	2 600 000	228 000 000	114 000 000	22 800 000
Службы доставки посылок	150 000	13 000 000	6 600 000	1 300 000
Канал покупок на дому	113 000	9 900 000	4 900 000	1 000 000
Центр продаж по каталогам	90 000	7 900 000	3 900 000	800 000
Центр бронирования авиабилетов	89 000	7 900 000	3 900 000	800 000
Служба активации мобильных телефонов	41 000	3 600 000	1 800 000	400 000
Оплата сетевых услуг онлайн	25 000	2 200 000	1 100 000	200 000
Оплата обслуживания банкоматов	14 000	1 200 000	600 000	100 000

Системная надежность

- **Надежность модуля**
 - Время безотказной работы (MTTF – Mean Time To failure)
 - Частота отказов - $1/\text{MTTF}$
 - Среднее время восстановления (MTTR - Mean Time To Repair)
 - Среднее время наработки между отказами (MTBF – Mean Time Between Failure) = $\text{MTTF} + \text{MTTR}$
- **Доступность модуля = $\text{MTTF} / \text{MTBF}$**
- **PFD (Probability of Failure on Demand, Вероятность отказа при запросе)** — средняя вероятность того, что система не выполнит свою функцию по запросу.
- **PFH (Probability of Failure per Hour, Вероятность возникновения отказа за час)** — вероятность возникновения в системе опасного отказа в течение часа.

Тенденции в развитии технологий

- Технологии интегральных логических схем
- Полупроводниковая технология памяти DRAM
- Полупроводниковая flash-память
- Технология магнитных дисков
- Сетевые технологии



Эволюция цифровых устройств

Микропроцессор	16-битовые адрес и шина, микро- кодирование	32-битовые адрес и шина, микро- кодирование	5-стадийный конвейер, кэши команд и данных на кристалле, FPU	Суперскаляр 2 команды за такт, 64-битовая шина	Внеочередное выполнение команд, суперскаляр 3 команды за такт	Внеочередное выполнение команд, супер- конвейер, кэш второго уровня на кристалле	Многоядерный, внеочередное выполнение команд, 4 команды за такт, кэш третьего уров- ня на кристалле, турборежим
Модель	Intel 80286	Intel 80386	Intel 80486	Intel Pentium	Intel Pentium Pro	Intel Pentium 4	Intel Core i7
Год	1982	1985	1989	1993	1997	2001	2010
Размер кристалла (мм ²)	47	43	81	90	308	217	240
Количество транзисторов	134000	275000	1200000	3100000	5500000	42000000	1170000000
Процессоров на чип	1	1	1	1	1	1	4
Количество выводов	68	132	168	273	387	423	1366
Задержка (тактов)	6	5	5	5	10	22	14
Ширина шины (биты)	16	32	32	64	64	64	196
Тактовая частота (МГц)	12,5	16	25	66	200	1500	3333
Пропускная способность (MIPS)	2	6	25	132	600	4500	50.000
Задержка (нс)	320	313	200	76	50	15	4

Эволюция цифровых устройств

Микропроцессор	16-битовые адрес и шина, микро- кодирование	32-битовые адрес и шина, микро- кодирование	5-стадийный конвейер, кэши команд и данных на кристалле, FPU	Суперскаляр 2 команды за такт, 64-битовая шина	Внеочередное выполнение команд, суперскаляр 3 команды за такт	Внеочередное выполнение команд, супер- конвейер, кэш второго уровня на кристалле	Многоядерный, внеочередное выполнение команд, 4 команды за такт, кэш третьего уров- ня на кристалле, турборежим
Модуль памяти	DRAM	Страничная DRAM	Быстрая страничная DRAM	Быстрая страничная DRAM	Синхронная DRAM (SDRAM)	SDRAM удво- енной скорости (DDR SDRAM)	DDR3 SDRAM
Шина модуля (биты)	16	16	32	64	64	64	64
Год	1980	1983	1986	1993	1997	2000	2010
Мбит/DRAM чип	0,06	0,25	1	16	64	256	2048
Размер кристалла (мм ²)	35	45	70	130	170	204	50
Количество выводов на чип DRAM	16	16	18	20	54	66	134
Пропускная способность (Мбайт/с)	13	40	160	267	640	1600	16.000
Задержка (нс)	225	170	125	75	62	52	37
Локальная сеть	Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet	10 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet		
Стандарт IEEE	802.3	803.3u	802.3ab	802.3ac	802.ba		
Год	1978	1995	1999	2003	2010		
Пропускная способность (Мбит/с)	10	100	1000	10 000	100 000		
Задержка (мкс)	3000	500	340	190	100		

Эволюция цифровых устройств

Микропроцессор	16-битовые адрес и шина, микро-кодирование	32-битовые адрес и шина, микро-кодирование	5-стадийный конвейер, кэши команд и данных на кристалле, FPU	Суперскаляр 2 команды за такт, 64-битовая шина	Внеочередное выполнение команд, суперскаляр 3 команды за такт	Внеочередное выполнение команд, супер-конвейер, кэш второго уровня на кристалле	Многоядерный, внеочередное выполнение команд, 4 команды за такт, кэш третьего уровня на кристалле, турборежим
Жесткий диск	3600 об/мин	5400 об/мин	7200 об/мин	10 000 об/мин	15 000 об/мин	15 000 об/мин	
Модель	CDC WrenI 94145-36	Seagate ST41600	Seagate ST15150	Seagate ST39102	Seagate ST373453	Seagate ST3600057	
Год	1983	1990	1994	1998	2003	2010	
Объем (Гбайт)	0,03	1,4	4,3	9,1	73,4	600	
Форм-фактор	5,25 дюйма	5,25 дюйма	3,5 дюйма	3,5 дюйма	3,5 дюйма	3,5 дюйма	
Диаметр носителя	5,25 дюйма	5,25 дюйма	3,5 дюйма	3,0 дюйма	2,5 дюйма	2,5 дюйма	
Интерфейс	ST-412	SCSI	SCSI	SCSI	SCSI	SAS	
Пропускная способность (Мбайт/с)	0,6	4	9	24	86	204	
Задержка (мс)	48,3	17,1	12,7	8,8	5,7	3,6	

Закон Амдала

$$\text{Speedup} = \frac{1}{1 - p + \frac{p}{n}}$$

Amdahl's Law in Practice

Bad synchronization ruins everything



Пример

Your application is:

60% concurrent

40% sequential

How close to a 10-fold speedup?

$$\frac{1}{1 - 0.6 + \frac{0.6}{10}} = 2.17$$

Закон Амдала

$$\frac{\text{Время выполнения}_{\text{новое}}}{\text{Время выполнения}_{\text{старое}}} = \left((1 - \text{Доля}_{\text{улучшенная}}) + \frac{\text{Доля}_{\text{улучшенная}}}{\text{Ускорение при улучшении}} \right)$$

Пример

- Новый процессор работает в 10 раз быстрее
- 40% времени вычисляет, 60% времени ввод-вывод
- Какое будет ускорение?

- $\text{Доля}_{\text{улучшенная}} = 0.4$

- $\text{Ускорение}_{\text{при улучшении}} = 10$

- $\text{Ускорение} = \frac{1}{0.6 + \frac{0.4}{10}} = 1.56$

$$\text{Ускорение}_{\text{общее}} = \frac{\text{Время выполнения}_{\text{старое}}}{\text{Время выполнения}_{\text{новое}}} = \frac{1}{(1 - \text{Доля}_{\text{улучшенная}}) + \frac{\text{Доля}_{\text{улучшенная}}}{\text{Ускорение}_{\text{при улучшении}}}}$$