

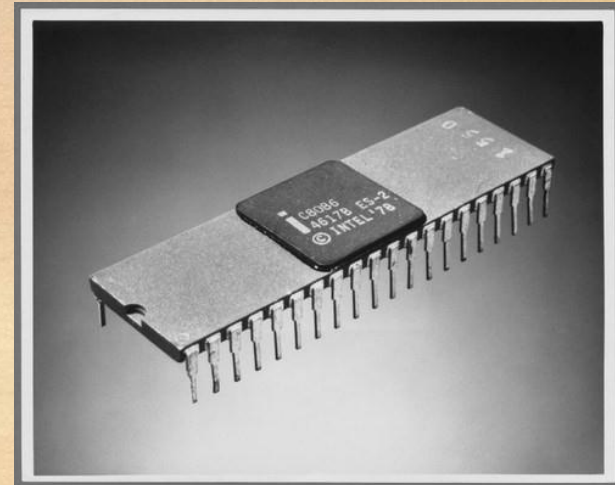
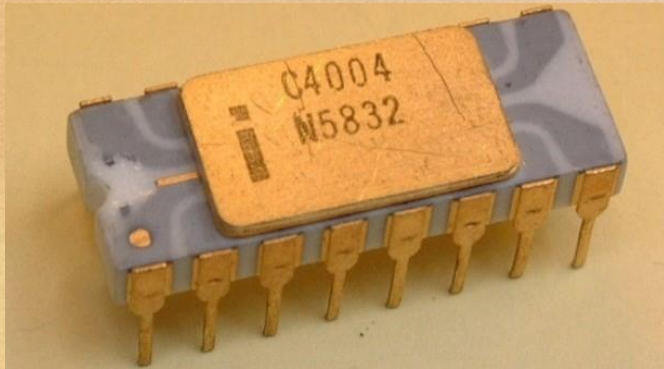
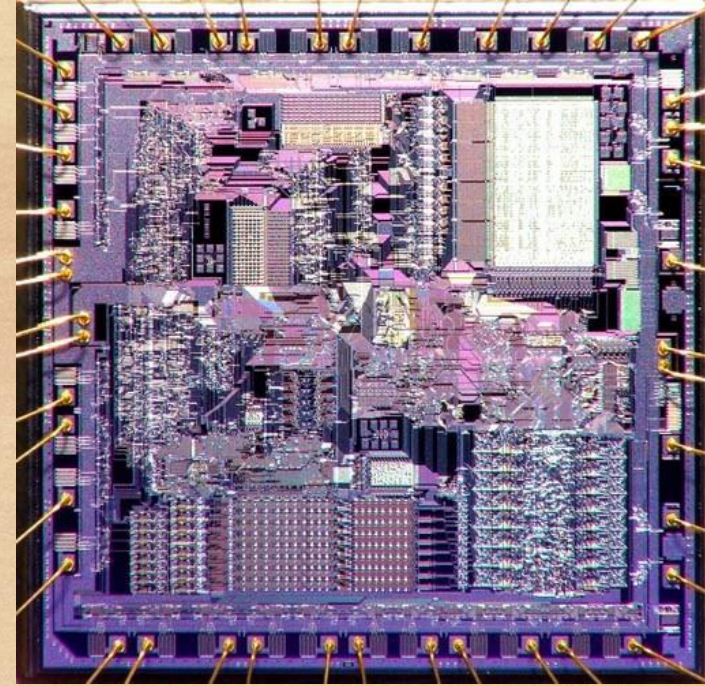
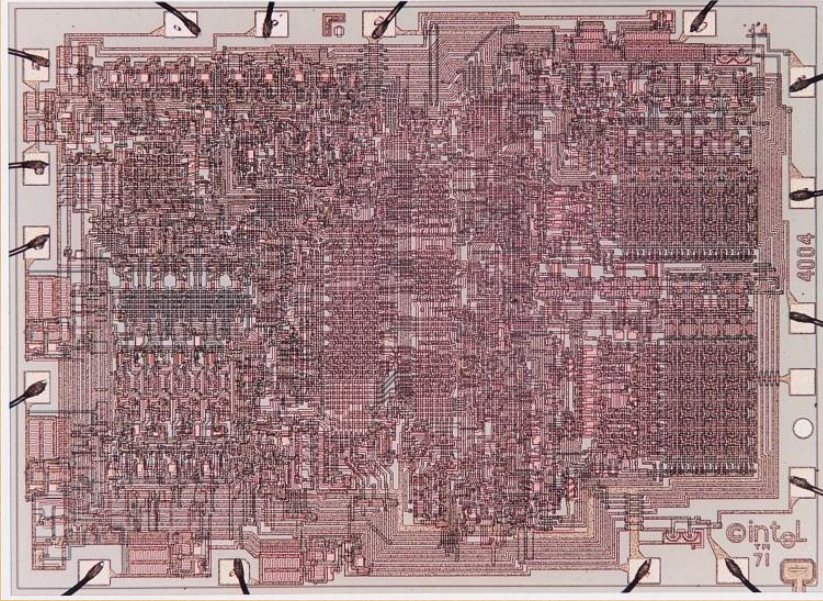
Bilgisayar Mimarisi

2023-2024 Bahar Dönemi

Hafta-3

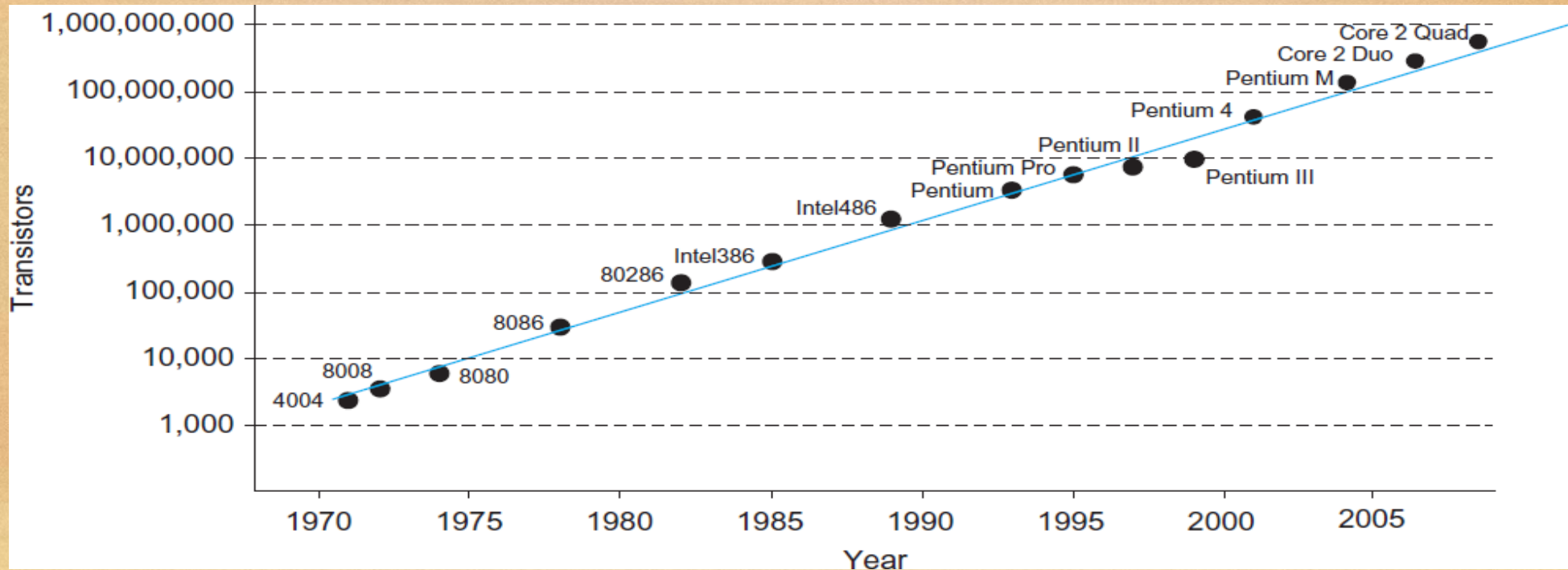
Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ÖZTÜRK

Mikroişlemciler

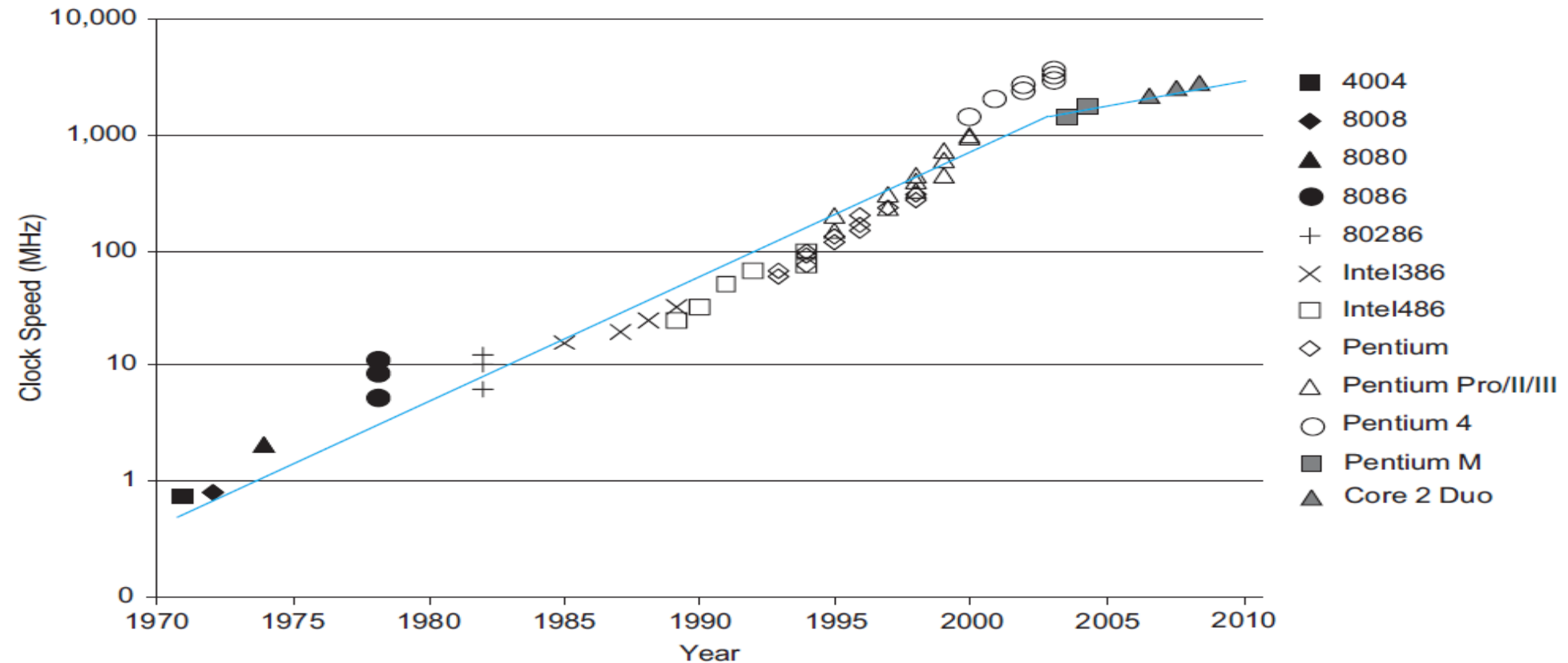


MOORE'S LAW

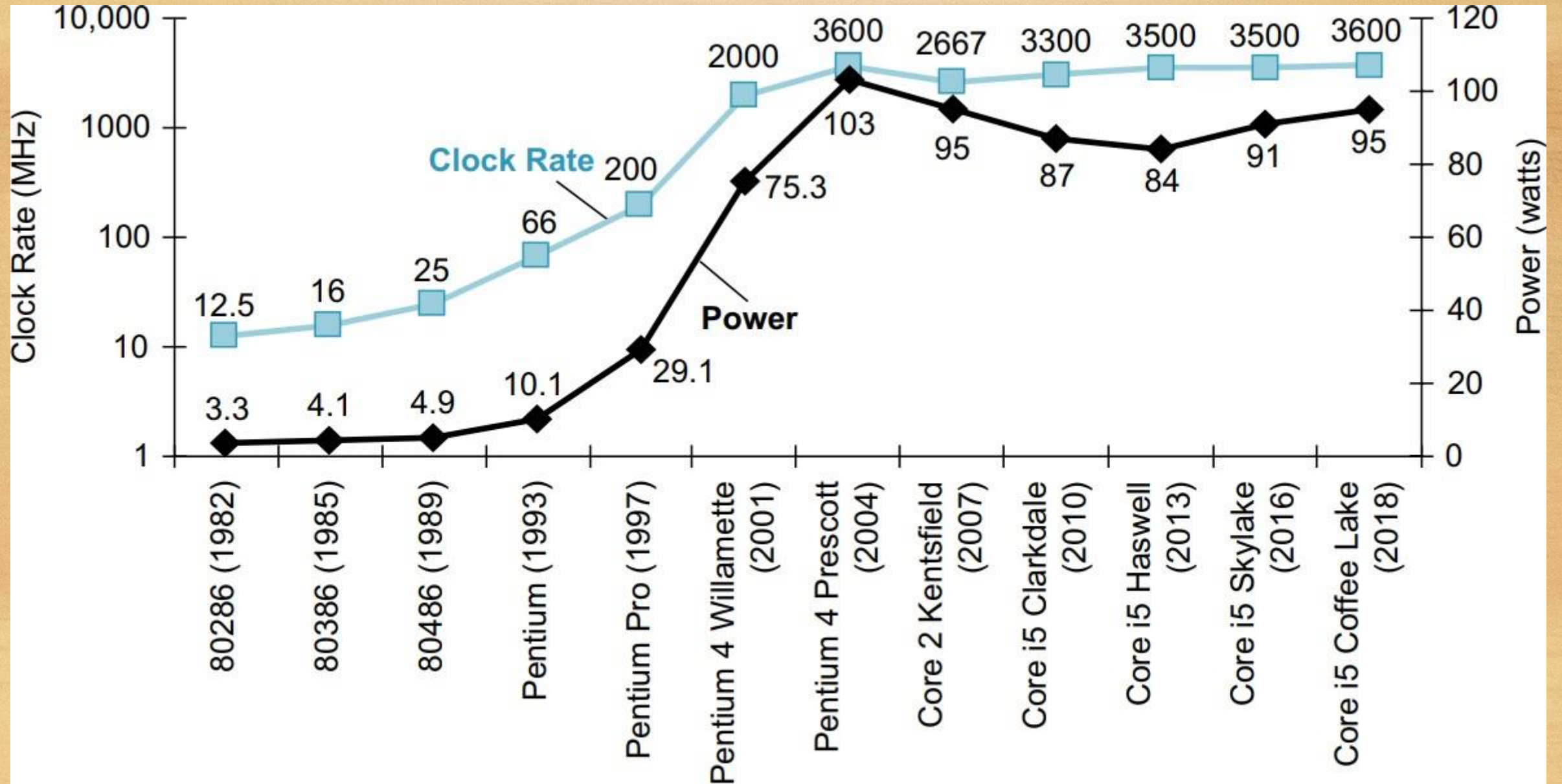
- 1965 Moore Law - he found transistor count doubling every 18 months



MOORE'S LAW

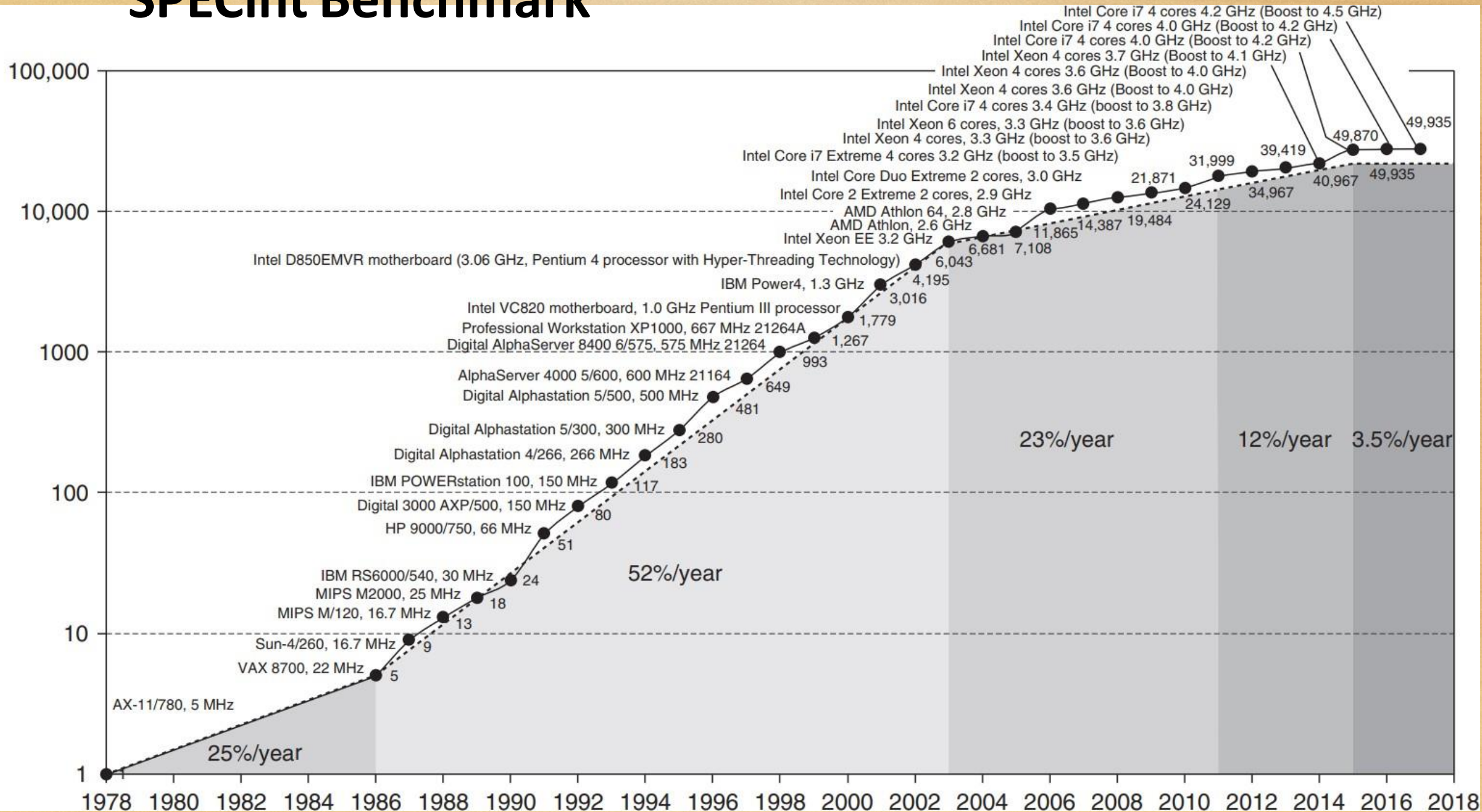


POWER WALL



SPECint Benchmark

Performance (vs. VAX-11/780)



BENCHMARKING

Soru : Hangi işlemci daha hızlı?

Cevap : Neye göre, kime göre?

Çözüm : Benchmarking

Dhrystone: 1984 Reinhold Weicker tarafından geliştirildi. Floating-point operasyonlar içermiyor, yalnızca integer. DEC VAX 11/780 (1977) minicomputer performansına referansla DMIPS (Dhrystone Millions Instructions per Second), MIPS veya DMIPS/MHz olarak sonuç verilir. Örnek PicoRV32 0.516 DMIPS/MHz.

CoreMark: List processing (find and sort), matrix manipulation (common matrix operations), state machine (determine if an input stream contains valid numbers), and CRC (cyclic redundancy check). It is designed to run on devices from 8-bit microcontrollers to 64-bit microprocessors. CoreMark/MHz olarak hesaplanır. Örnek: Ibex RV32IMC 2.47 CoreMark/MHz.

SPEC: 1988'de ABD'de kurulan bir organizasyon. Güncel SPEC CPU2017. Genelde akademik çalışmalarda en çok kullanılan benchmarktır.

SPEC BENCHMARKS



Standard Performance Evaluation Corporation

[Home](#) [Benchmarks](#) [Tools](#) [Results](#) [Contact](#) [Blog](#) [Join Us](#) [Search](#) [Help](#)

Benchmarks

- [Cloud](#)
- [CPU](#)
- [Graphics/Workstations](#)
- [High Performance Computing](#)
- [Java Client/Server](#)
- [Machine Learning](#)
- [Storage](#)
- [Power](#)
- [Virtualization](#)
- [Results Search](#)

Submitting Results

- Cloud/CPU/Java/Power
- Storage/Virtualization
- ACCEL/HPC/MPI/OMP
- SPECcapc/SPECviewperf
- SPECworkstation

Tools

- [SERT Suite](#)

The Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) is a non-profit corporation formed to establish, maintain and endorse standardized benchmarks and tools to evaluate performance and energy efficiency for the newest generation of computing systems. SPEC develops benchmark suites and also reviews and publishes submitted results from our [member organizations](#) and other benchmark licensees.

What's New:

February 9, 2023: The [14th International Conference on Performance Engineering \(ICPE\)](#) will be held April 15-19, 2023 in Coimbra, Portugal.

December 14, 2022: The International Standards Group (ISG) has [formed the Client Efficiency Committee](#) to oversee the establishment and development of standardized client computing benchmarks for use primarily in national and international standards organizations, governmental regulations and energy efficiency programs for client computing systems. The benchmarks will focus on application types that are often used on notebooks, desktops and workstations.

December 1, 2022: The OSG CPU Committee has released version 1.1.9 of the [SPEC CPU 2017 benchmark suite](#). The new update includes: an initial toolset to enable limited usage on RISC-V architectures (reportable runs not supported at this time), improved automated system configuration gathering tools (sysinfo) and [new Academic Pricing \(\\$50\)](#). Please note, as of February 28, 2023, all SPEC CPU 2017 results submitted to SPEC must use version 1.1.9.

<https://www.spec.org/>

Başarım Nedir ?



Başarım nedir?

Uçak	Yolcu Kapasitesi	Uçuş Menzili (Mil)	Uçuş Hızı (Mil/Saat)	Yolcu Çıktısı (yolcu * Mil/Saat)
Boeing 777	375	4630	610	228.750
Boeing 747	470	4150	610	286.700
BAC/Sud Concorde	132	4000	1350	178.200
Douglas DC-8-50	146	8720	544	79.424
F-16	1	2622	1500	1500

Hangi uçağın başarımı en iyi?

- Yolcu Kapasitesi: Boeing 747
- Uçuş Menzili: Douglas DC-8-50
- Uçuş Hızı: F-16
- Yolcu Çıktısı (birim zamanda taşınan yolcu): Boeing 747

Yolcu: "En hızlı uçak en iyidir."

Havayolu Şirketi: "Masraf/yolcu oranı düşük olan uçak en iyidir."

Başarımın tek bir ölçütü yoktur.

Başarım hedefleri kişiden kişiye değişir.

Sistem Başarımı Ölçümü



A

Yürütme Zamanı: (*ing. execution time*) bir işi başlangıcı ile bitişi arasında geçen süreye denir.

$$Başarım_A \sim \frac{1}{Yürütme\ Zamanı_A}$$

Başarım karşılaştırmalı ölçülür.

$$\frac{Başarım_A}{Başarım_B} = n$$



B

$$Yürütme\ Zamanı_B > Yürütme\ Zamanı_A$$

$$\Rightarrow \frac{1}{Yürütme\ Zamanı_A} > \frac{1}{Yürütme\ Zamanı_B}$$

$$\Rightarrow Başarım_A > Başarım_B$$

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

Başarımın tanımı değişkenlik gösterebilir. Örnek olarak tek kullanıcıya hizmet veren bir bilgisayarın tek bir işi ne kadar zamanda bitirdiği (latency) önem arz ederken çoklu kullanıcılara hizmet veren bir sunucunun tek bir işi bitirdiği süreden ziyade birim zamanda bitirdiği iş sayısı (throughput/bandwidth) önem arz etmektedir.

Bilgisayar başarımı (performance), bir işin bitmesi için geçen toplam zamanla (execution time) ters orantılıdır.

$$\text{Performance}_X = \frac{1}{\text{Execution time}_X}$$

$$\begin{array}{l} \text{Performance}_X > \text{Performance}_Y \\ \frac{1}{\text{Execution time}_X} > \frac{1}{\text{Execution time}_Y} \\ \text{Execution time}_Y > \text{Execution time}_X \end{array}$$

$$\frac{\text{Performance}_X}{\text{Performance}_Y} = n$$

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

X'in performansı, Y'nin "n" katıdır
X, Y'den "n" katı kadar hızlıdır

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

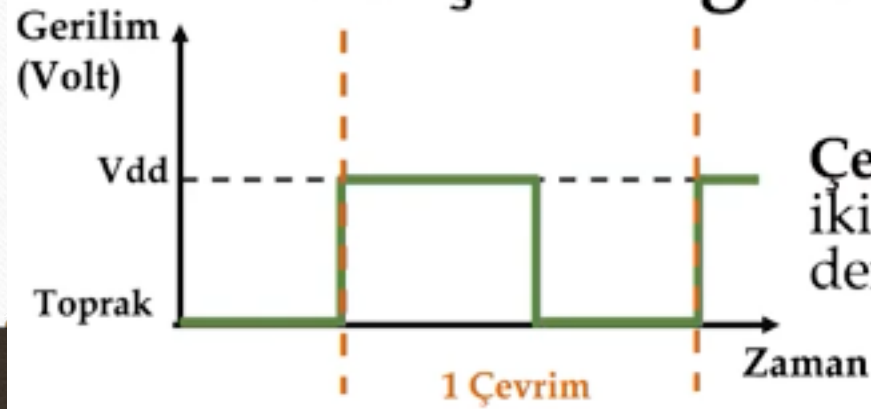
Örnek: Eğer Bilgisayar_A bir işi 10 saniyede, Bilgisayar_B 15 saniyede bitiriyorsa, Bilgisayar_A, Bilgisayar_B'den ne kadar daha hızlıdır?

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

$$\frac{\text{Başarım}_A}{\text{Başarım}_B} = \frac{\text{ÇalışmaZamanı}_B}{\text{ÇalışmaZamanı}_A} = \frac{15}{10} = 1.5$$

Bilgisayar_A, Bilgisayar_B'nin 1.5 katı kadar hızlıdır.

Saat Vuruş Sıklığı ve Çevrim Zamanı



Çevrim Zamanı: Saatin iki yükselen ya da iki düşen darbesi arasında geçen süreye denir.

Saat Vuruş Sıklığı: 1 saniyelik zaman aralığındaki çevrim sayısına denir.

$$\text{Saat vuruş sıklığı} = \frac{1}{\text{Çevrim Zamanı}}$$

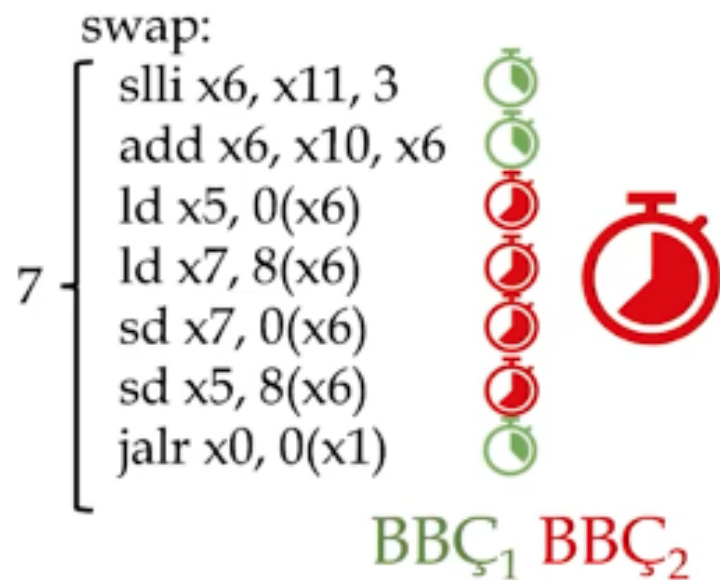
BİLGİSAYAR BAŞARIMI

Clock Cycle (Saat Çevrimi): Sayısal sistemler (CPU da buna dahil) bir saat sinyali ile senkron olarak çalışırlar. Saat sinyalinin sıklığı, bir saniyede gerçekleştirdiği çevrim miktarı ile frekans olarak tanımlanır. Örnek olarak 1 kilohertz (kHz) frekansa sahip bir saat bir saniyede 1000 çevrim gerçekleştirebilmektedir.

Frekansın tersi ($1/\text{frekans}$) period (periyot) olarak tanımlanmaktadır ve bir zaman ifade etmektedir. Örnek olarak 1 kHz frekansa sahip bir saatin bir çevrimi tamamlaması 1 ms sürer.

<u>Frekans:</u>	<u>Period:</u>	<u>Frekans:</u>	<u>Period:</u>
1 Hz	1 sn	333.3 MHz	3 ns
5 Hz	200 ms	1 GHz	1 ns
1 kHz	1 ms	4 GHz	250 ps
500 kHz	2 us	10 GHz	100 ps
1 MHz	1 us		
100 MHz	10 ns		

Buyruk Başına Çevrim (BBÇ)



$$\text{BBÇ} = \frac{\text{Çevrim Sayısı (program için)}}{\text{Buyruk Sayısı}}$$

Her buyruk eşit sürede
tamamlanmaz.

Yürütme Zamanı

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Yürütme Zamanı} & = & \text{Buyruk Sayısı} & \times & \text{BBÇ} & \times & \text{Çevrim Zamanı} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Saniye} & & \frac{\text{Buyruk Sayısı}}{\text{Program}} & & \frac{\text{Çevrim Sayısı}}{\text{Buyruk Sayısı}} & & \frac{\text{Saniye}}{\text{Çevrim Sayısı}} \end{array}$$

Yürütme zamanı eşitliğine göre başarıyı artırmak (yürütme zamanını azaltmak) için neler yapılabilir?

- Programın içerdiği buyruk sayısını **azaltmak**.
- Birim buyruk başına geçen çevrim sayısını **azaltmak**.
- İşlemcinin saat vuruş sıklığını **artırmak** (ya da çevrim zamanını azaltmak)

Örnek

Buyruk Türü	A	B	C
BBÇ	1	2	3

Buyruk Sayısı			
Buyruk Türü	A	B	C
Program 1	2	1	2
Program 2	4	1	1

- Hangi program daha fazla buyruk yürütüyor?
- Hangisi daha hızlı çalışır?
- Programların BBÇ değerleri nedir?

Örnek

100 buyruktan oluşan bir programın kullandığı buyruk türleri ve bu buyruk türlerinin program içindeki oranları verilmiştir. Bu program işlemcisi 500MHz olan bir bilgisayarda kaç saniyede yürütülür?

Buyruk türü	Kullanım yüzdesi	Yürütülmesi için Gereken Çevrim Sayısı
K	%40	1
L	%15	3
M	%35	4
N	%10	5

Örnek

Bir programı saat vuruş sıklığı 2 GHz olan A bilgisayarı 10 saniyede yürütüyor. Bu program A bilgisayarı N sayıda çevrim sürerken B bilgisayarı 1,2 N sayıda çevrimde tamamlanıyor. B bilgisayarı bu programın 6 saniyede tamamlanmasını istersek B bilgisayarının saat vuruş sıklığı ne olmalıdır?

Saniye Başına İşlenen Milyon Buyruk (SBMB) (-ing. MIPS)

Saniye Başına İşlenen Milyon Buyruk (SBMB) (-ing. MIPS) bazı şirketler tarafından başarımlık ölçütü olarak kullanılmaktadır.

$$SBMB = \frac{\text{Buyruk Sayısı}}{\text{Yürütme Zamanı}} \times 10^{-6}$$

Saniye Başına İşlenen Milyon Buyruk (SBMB)

Ayşegül'ün bilgisayarı			Demre'nin bilgisayarı		
Buyruk türü	Buyruk sayısı (milyon)	BBÇ	Buyruk türü	Buyruk sayısı (milyon)	BBÇ
K	8	2	K	10	2
L	4	3	L	8	3
M	2	8	M	2	8
N	4	4	N	4	4

Ayşegül ve Demre aynı işlemcilerde (saat vuruş sıklığı 200MHz) iki farklı program çalıştırıyorlar.

$$\text{Yürütme zamanı}_{\text{ayşegül}} = \frac{60 \times 10^6}{200 \times 10^6} = 0,3 \text{ sn}$$

$$\text{Yürütme zamanı}_D = \frac{76 \times 10^6}{200 \times 10^6} = 0,38 \text{ sn}$$

$$\text{Yürütme zamanı}_{\text{ayşegül}} < \text{Yürütme zamanı}_{\text{demre}}$$

$$SBMB_{\text{ayşegül}} = \frac{18 \times 10^6}{0,3} \times 10^{-6} = 60,0 \quad SBMB_{\text{demre}} = \frac{24 \times 10^6}{0,38} \times 10^{-6} = 63,1$$

$$SBMB_{\text{ayşegül}} < SBMB_{\text{demre}}$$

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

Bir programın tamamlanması için gereken CPU yürütme zamanı, bu program meydana getiren toplam saat çevrim sayısının, her bir çevrim için gereken zaman (period) ile çarpılması ile hesaplanır.

$$\text{CPU execution time for a program} = \text{CPU clock cycles for a program} \times \text{Clock cycle time}$$

$$\text{CPU execution time for a program} = \frac{\text{CPU clock cycles for a program}}{\text{Clock rate}}$$

Amaç : Program yürütme zamanını en aza indirmeye çalışmak

Çözüm : Programın yürütülmesi için gerekli CPU saat çevrim sayısını azaltmak ve saat vuruş frekansını arttırmak

Nasıl : ???

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

Örnek: Bir program, 2 GHz saat frekansına sahip A bilgisayarında 10 saniyede çalışıyor. Aynı program 6 saniyede yürütecek bir B bilgisayarı tasarlamak istiyoruz. Tasarımcı, saat frekansında büyük bir artış sağlayabileceğini, fakat bunun için işlemci tasarımında da bazı değişiklikler yapılması gerektiğini söylüyor. Yapılacak bu değişiklikler, aynı programın B bilgisayarında 1.2 kat daha fazla saat çevrimi ihtiyacına neden oluyor. Bu durumda tasarımcı saat frekansı olarak ne hedeflemelidir?

$$\text{CPU execution time for a program} = \frac{\text{CPU clock cycles for a program}}{\text{Clock rate}}$$

$$10 \text{ saniye} = \text{saat_çevrimi}(A) / 2 \times 10^9 \rightarrow \text{saat_çevrimi}(A) = 20 \times 10^9$$

$$\text{saat_çevrimi}(B) = \text{saat_çevrimi}(A) \times 1.2 = 24 \times 10^9$$

$$6 \text{ saniye} = \text{saat_çevrimi}(B) / \text{freq}(B) \rightarrow 6 \text{ saniye} = 24 \times 10^9 / \text{freq}(B)$$

$$\text{freq}(B) = 24 \times 10^9 / 6 = 4 \text{ GHz}$$

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

Yürütme zamanı formülünü biraz açalım:

$$\text{CPU execution time for a program} = \text{CPU clock cycles for a program} \times \text{Clock cycle time}$$

$$\text{CPU clock cycles} = \text{Instructions for a program} \times \text{Average clock cycles per instruction}$$

Derleyicinin (compiler) bir program için oluşturduğu buyruklar (instruction) önem arz etmektedir. Bir programın yürütme zamanını etkileyen önemli faktörlerden bir tanesi de derleyicinin başarımıdır.

Aşağıdaki ifade kesinlikle doğru mudur?

Hipotez: Derleyici, aynı fonksiyonu yerine getirecek en az sayıda buyruk üretirse başarımı maximize etmiş olur.

Burada şunu bilmemiz lazım: Bütün buyruklar eşit sayıda saat vuruşunda tamamlanıyorsa yukarıdaki ifade doğrudur. Çünkü en az sayıda buyruk, en az sayıda saat çevrimine delalet eder. Peki durum bu mudur? Yani bütün buyruklar eşit sayıda saat vuruşunda mı işlemini tamamlar?

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

Yürütme zamanı formülünü biraz açalım:

$$\text{CPU execution time for a program} = \text{CPU clock cycles for a program} \times \text{Clock cycle time}$$

$$\text{CPU clock cycles} = \text{Instructions for a program} \times \frac{\text{Average clock cycles}}{\text{per instruction}}$$

Aşağıdaki ifade kesinlikle doğru mudur?

Hipotez: Derleyici, aynı fonksiyonu yerine getirecek en az sayıda buyruk üretirse başarıımı maximize etmiş olur.

Bütün buyrukların eşit sürede bitmediğini öğrendik. O zaman, bir programın yürütme zamanını buyruk sayısı cinsinden hesaplamak için, ortalama olarak bir buyruğun kaç çevrim sürdüğünü hesaplayıp, bu sayıyla buyruk sayısını çarptığımızda bu programın yürütülmesi için gereken çevrim sayısını (CPU clock cycles for a program) hesaplamış oluruz.

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

$$\text{CPU execution time for a program} = \frac{\text{CPU clock cycles for a program}}{\text{Clock cycle time}}$$

$$\text{CPU clock cycles} = \text{Instructions for a program} \times \frac{\text{Average clock cycles per instruction}}{\text{per instruction}}$$

Buyruk başına çevrim (Clock cycles per instruction - CPI): CPI kavramı, ortalama olarak bir buyruk için harcanan çevrim sayısını belirtir. Tabi ki derlenen programdan programa, aynı program ve derleyici içinse mikromimariden mikromimariye değişim gösterebilir.

Örnek olarak, farklı RISC-V işlemci tasarımlarında aynı buyruğun farklı çevrim sayılarına sahip olması muhtemeldir. Boruhattı derinliği ya da tasarımdaki farklılıklar CPI sayısını etkiler.

Soru: Aynı ISA'in farklı 2 implementasyonunda Bilgisayar_A 4 GHz, Bilgisayar_B 2 GHz saat frekansında çalışmaktadır. Bir program derlendikten sonra buyrukların A bilgisayarıda CPI değeri 2 iken B bilgisayarıda CPI değeri 1.2 olmaktadır. Bu program hangi bilgisayarda daha hızlı çalışır, hızlı olan bilgisayar diğerinden ne kadar daha hızlıdır?

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

$$\text{CPU execution time for a program} = \frac{\text{CPU clock cycles for a program}}{\text{Clock cycle time}}$$

$$\text{CPU clock cycles} = \text{Instructions for a program} \times \frac{\text{Average clock cycles per instruction}}$$

$$\text{Saat_Çevrim}(A) = \text{BuyrukSayısı} * \text{CPI}(A) = \text{BuyrukSayısı} * 2$$

$$\text{Saat_Çevrim}(B) = \text{BuyrukSayısı} * \text{CPI}(B) = \text{BuyrukSayısı} * 1.2$$

$$\text{YürütmeZamanı}(A) = \text{Saat_Çevrim}(A) * \text{Periyot}(A) = \text{BuyrukSayısı} * 2 * 250\text{ps}$$

$$\text{YürütmeZamanı}(B) = \text{Saat_Çevrim}(B) * \text{Periyot}(B) = \text{BuyrukSayısı} * 1.2 * 500\text{ps}$$

$$\frac{\text{Başarım}(A)}{\text{Başarım}(B)} = \frac{\text{YürütmeZamanı}(B)}{\text{YürütmeZamanı}(A)} = \frac{\text{BuyrukSayısı} * 1.2 * 500\text{ps}}{\text{BuyrukSayısı} * 2 * 250\text{ps}} = \frac{600\text{ps}}{500\text{ps}} = 1.2$$

“A bilgisayarı, B bilgisayarından 1.2 kat daha hızlıdır”

BİLGİSAYAR BAŞARIMI

$$\text{CPU execution time for a program} = \frac{\text{CPU clock cycles for a program}}{\text{Clock cycle time}} \times \text{Clock cycle time}$$

$$\text{CPU clock cycles} = \text{Instructions for a program} \times \frac{\text{Average clock cycles}}{\text{per instruction}}$$

$$\text{CPU time} = \text{Instruction count} \times \text{CPI} \times \text{Clock cycle time}$$

$$\text{CPU time} = \frac{\text{Instruction count} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

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

KAYNAKÇA

- William Stallings(2003) Computer Organization&Architecture, Pearson Education.[ISBN 0-13-049307-4](#)

Bilgisayar Sistemleri Mimarisi

M. Morris Mano, Computer System Architecture, Literatür Yayınları

<https://www.youtube.com/watch?v=kF84EV0Nle0>