



BLM4021 Gömülü Sistemler

Dr. Öğr. Üyesi Ali Can KARACA

ackaraca@yildiz.edu.tr

Yıldız Teknik Üniversitesi – Bilgisayar Mühendisliği

Sunum 2 – Tasarım Örneği ve Gömülü Platform Tipleri

- Laboratuvar Hatırlatma
- Tasarım Kriterleri
- Bir Tasarım Örneği: GPS
- Mikroişlemciler ve Mikrodenetleyiciler, işlemci mimarileri
- DSP, FPGA ve ASIC kavramları ve karşılaştırılması

Gerekli Kaynaklar:

- Derek Molloy, Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux, Wiley, 2016.
- M. Wolf, Computers as Components: Principles of Embedded Computing System Design, Elsevier, 2008.

Yardımcı Kaynaklar:

- P. Membrey, D. Hows, Learn Raspberry Pi 2 with Linux and Windows 10, Apress, 2015.
- F. Vahid, T. Givargis, Embedded System Design, 1999.
- P. Koopman, Better Embedded Systems Software, Drumadrochit Education Pub., 2010.
- O. Urhan, Gömülü Sistem Lisansüstü Ders Notları, 2018.
- P. Jones, Embedded Systems Design, CPRE488 Lecture Notes, IOWA State University.

Haftalık Konular



Hafta	Teorik	Laboratuvar
1	Giriş ve Uygulamalar, Mikroişlemci, Mikrodenetleyici ve Gömülü sistem kavramlarının açıklanması	Grupların oluşturulması & Kitlerin Testi
2	Bir Tasarım Örneği, Mikroişlemci, Mikrodenetleyici, DSP, FPGA, ASIC kavramları	Kitlerin gruplara dağıtımı + Raspberry Pi Kurulumu
3	16, 32 ve 64 bitlik mikrodenetleyiciler, pipeline	Raspberry Pi ile Temel Konfigürasyon
4	PIC ve MSP430 özellikleri	Uygulama 1 – Raspberry Pi ile Buzzer Uygulaması
5	ARM ve RISC-V tabanlı mimariler ve özellikleri	Uygulama 2 – Raspberry Pi ile İvme ve Gyro Uygulaması
6	ARM Komut setleri ve Assembly Kodları-1	Uygulama 3 – Raspberry Pi ile Motor Kontrol Uygulaması
7	ARM Komut setleri ve Assembly Kodları-2, Raspberry Pi vers. ve GPIO'ları	Uygulama 4 – Raspberry Pi ile Görüntü İşleme Uygulaması
8	Vize Sınavı	
9	Çoklu ortam algılayıcıları ve arayüzleri (SPI, I2C...)	Uygulama 5 – Raspberry Pi ile Network Uygulaması
10	Sensörlerden Veri Toplama, Algılayıcı, ADC ve DAC	Proje Soru-Cevap Saati
11	Zamanlayıcı, PWM ve Motor Sürme	Proje kontrolü-1
12	Gerçek Zaman Sistemlerinde temel kavramlar	Proje Kontrolü-2
13	Gerçek zaman İşletim Sistemleri	Mazeret sebepli son proje kontrollerinin yapılması
14	Nesnelerin İnterneti	
15	Final Sınavı	

For more details -> Bologna page: <http://www.bologna.yildiz.edu.tr/index.php?r=course/view&id=9463&aid=3>

Proje Başlıkları



- Görüntü İşleme Uygulaması (UYG1)
- Ses İşleme Uygulaması (UYG2)
- Oyun Uygulaması (UYG3)
- Makine Öğrenmesi Uygulaması (UYG4)
- Robotik Uygulama (UYG5)
- Akıllı Ev Uygulaması (UYG6)
- Biyomedikal Uygulama (UYG7)
- Yenilenebilir Enerji Uygulaması (UYG8)
- Askeri güvenlik uygulaması (UYG9)
- Kablosuz haberleşme uygulaması (UYG10)
- Network uygulaması (UYG11)
- IoT uygulaması (UYG12)
- RTOS uygulaması (UYG13)

Gömülü Tasarım Süreçleri (w. Wolf)

- Ne kadar donanım gerekli? (Hardware)
 - CPU ne kadar iyi olmalı, hafıza ne olmalı?
- Ne kadar sürede tasarlamalıyız? (Time)
 - Ürünü hızlı mı geliştirmeliyiz yoksa daha iyi bir ürün için mi çalışmalıyız?
- Gücü ne kadar minimize etmeliyiz? (Power)
 - Gereksiz donanımları pasif etme, veri sıkıştırma, hafıza erişim biçimleri?

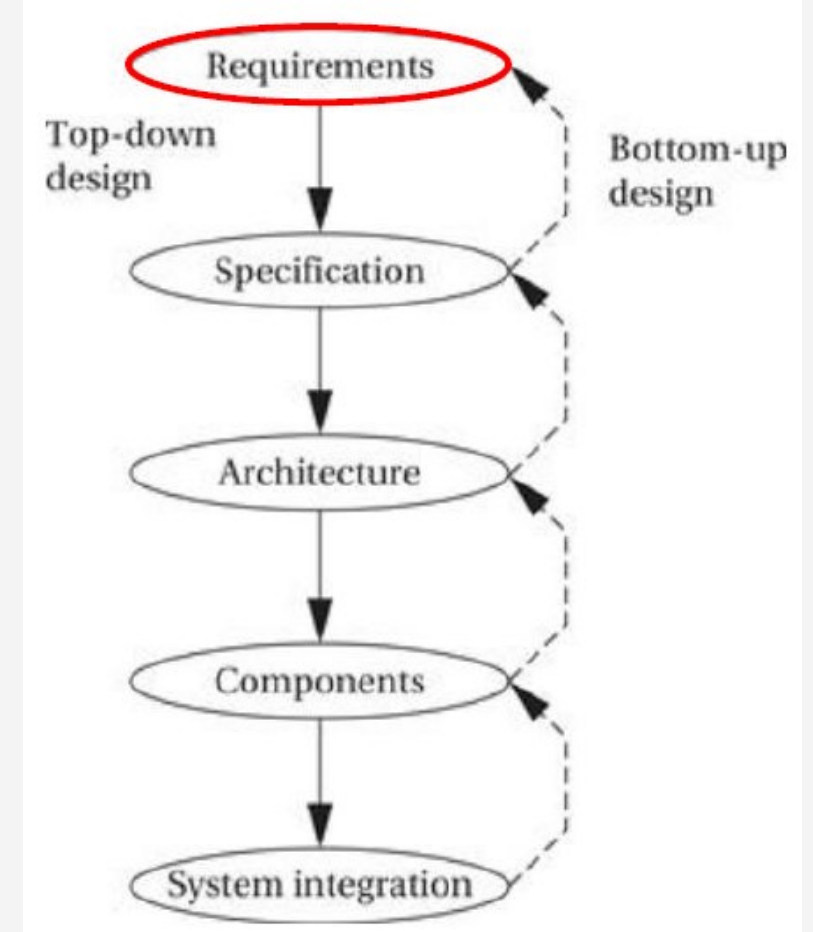


Gömülü Tasarım Süreçleri (W. Wolf)



- En önemlisi, ilk adımda isterleri net bir şekilde belirlemek.
- Spesification kısmında ne istediğimizle ilgili detayları paylaşıyoruz. Fakat bu kısım sistemin nasıl davranacağıyla ilgili, nasıl üretileceğiyle ilgili değil.
- Architecture kısmında büyük parçalarla kaba tasarım yapılır. Sonrasında her bir bileşen donanım ve yazılım için ayrı ayrı tasarlanır.
- En son kısımda birleştirilir.

Eğer az tecrübemiz varsa bottom-up design tercih edilmeli.



Tasarım Sırasında En Önemli Kriterler

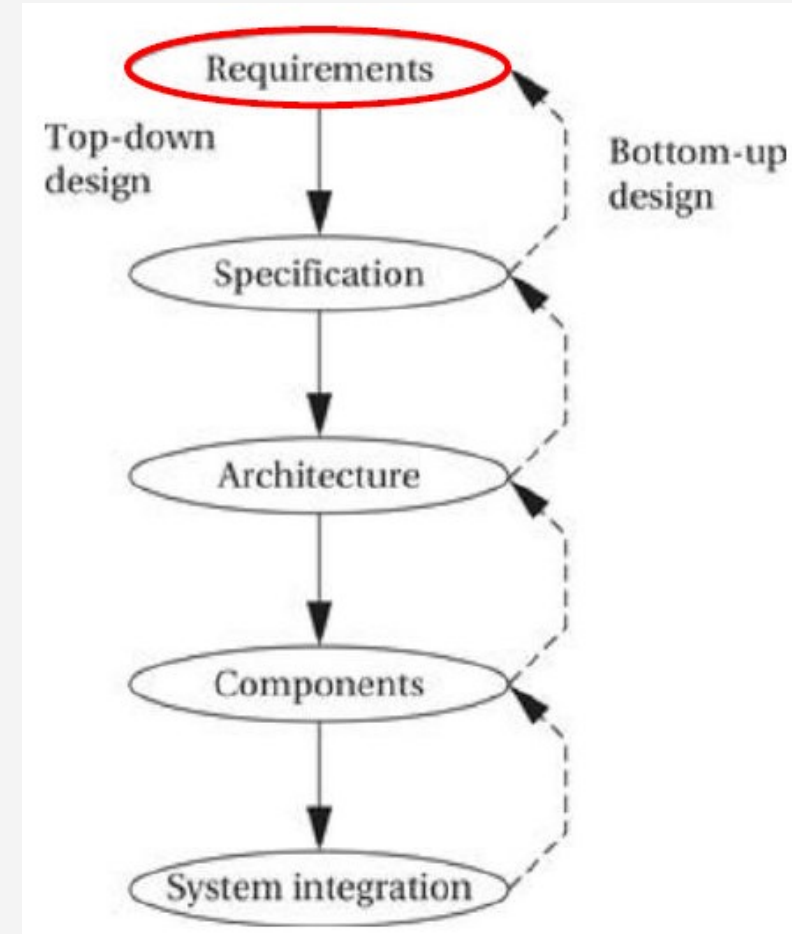


- Ücret
- Performans
- Fiziksel boyut ve ağırlık
- Güç tüketimi

Tasarımın her bir adımında yapılan değişikliğin yukarıdaki faktörlere etkisi incelenmeli.

Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Gereklilikler

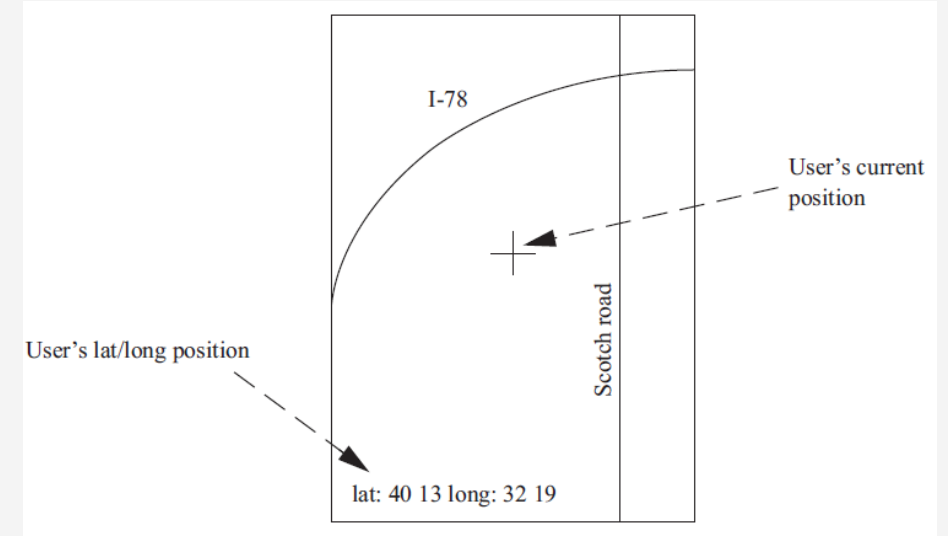
Name	GPS moving map
Purpose	
Inputs	
Outputs	
Functions	
Performance	
Manufacturing cost	
Power	
Physical size and weight	



Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Gereklilikler

Requirements: Summary & Prototype

Name	GPS moving map
Purpose	Consumer-grade moving map for driving use
Inputs	Power button, two control buttons
Outputs	Back-lit LCD display 400 × 600
Functions	Uses 5-receiver GPS system; three user-selectable resolutions; always displays current latitude and longitude
Performance	Updates screen within 0.25 seconds upon movement
Manufacturing cost	\$40
Power	100 mW
Physical size and weight	No more than 2" × 6", 12 ounces



Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Spesifikasyon



Buradaki detaylar, kullanıcının istediği tüm koşulları karşılamalı!

İçerik:

- GPS'ten ne alınacak,
- Harita verisi ile ilgili ayrıntılar,
- Kullanıcı arayüzü nasıl olmalı,
- Kullanıcının isteklerine yönelik tüm operasyonlar tanımlanmalı,
- Sistemin ayakta durması için arkaplanda koşması gerekenler belirtilmeli

Çoğunlukla işlemler: UML, Data/Control Akış diyagramları ile tanımlanırlar.

Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Mimari

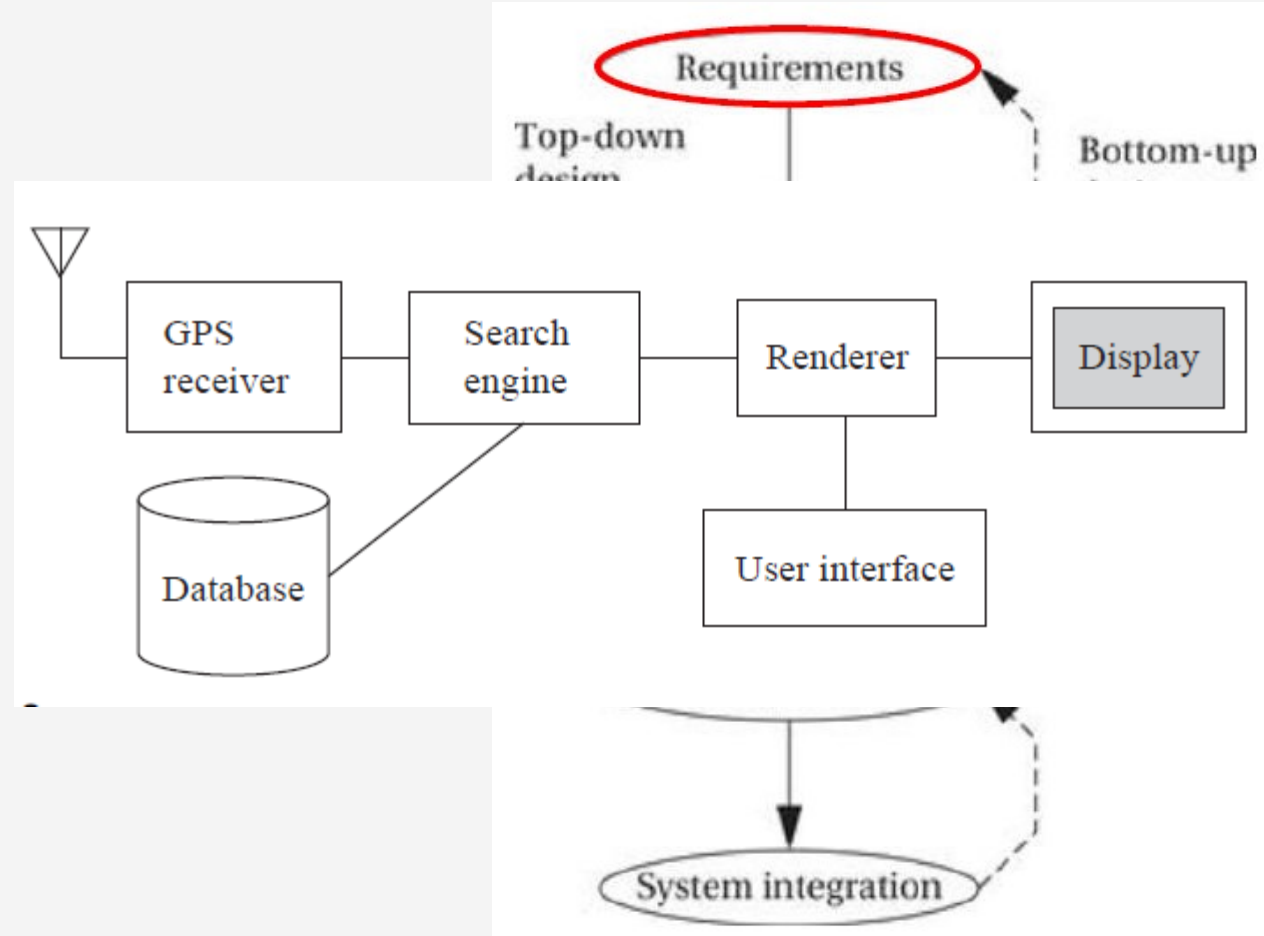
Bu kısımda, genel yapı tasarlanır.

Genel yapıdan sonra donanım ve yazılım için olmak üzere iki ayrı blok diyagram oluşturulur.

Öncelikle:

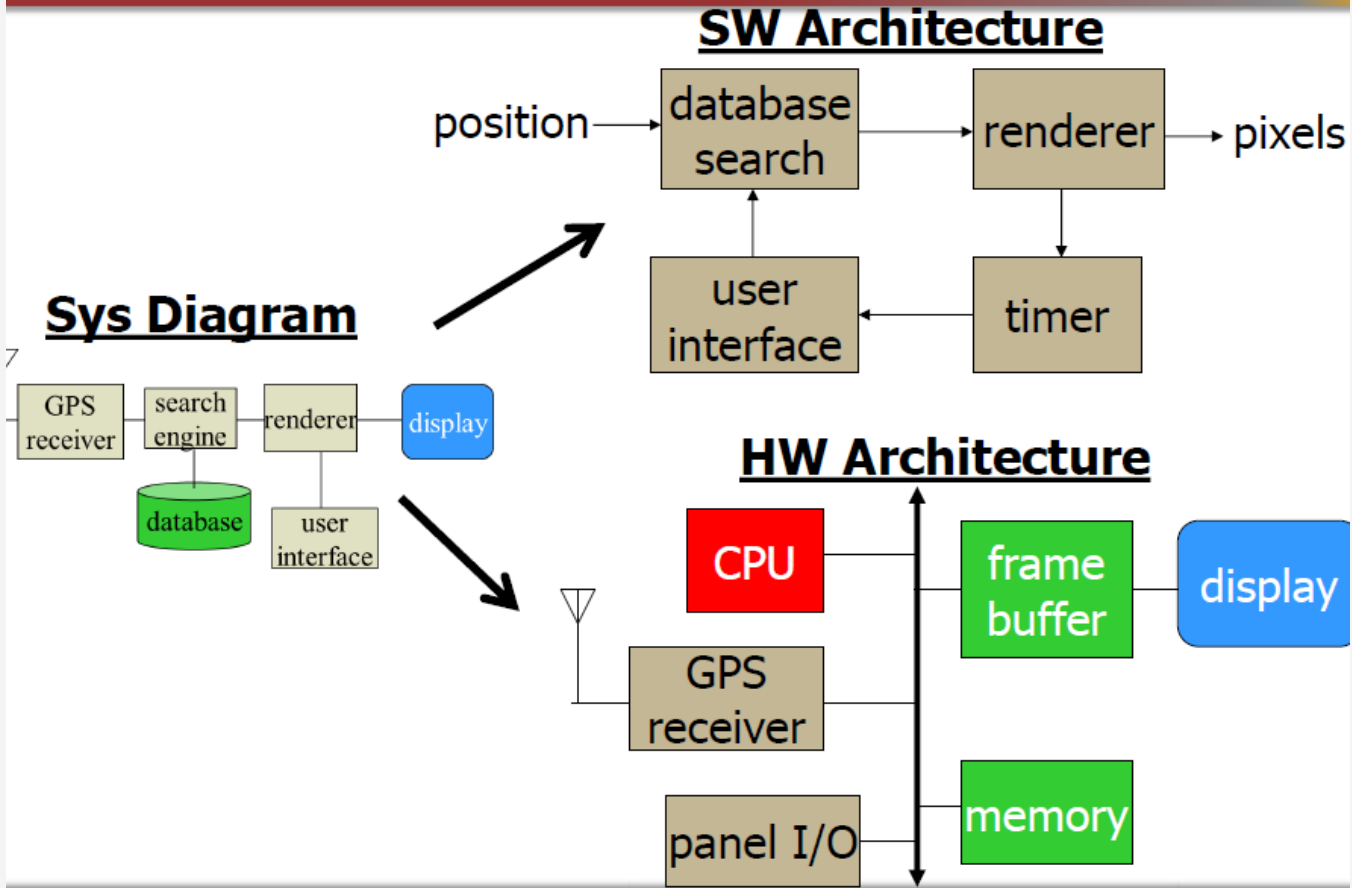
Donanımda bir işlemci, GPS alıcısı, giriş çıkış birimi, ekran ve bellek olmalı.

Yazılımda ise bir zamanlayıcı ile tetiklenen ve belirli aralıklarla alınan veriyi gösterecek bir diyagram olmalı.



Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Mimari

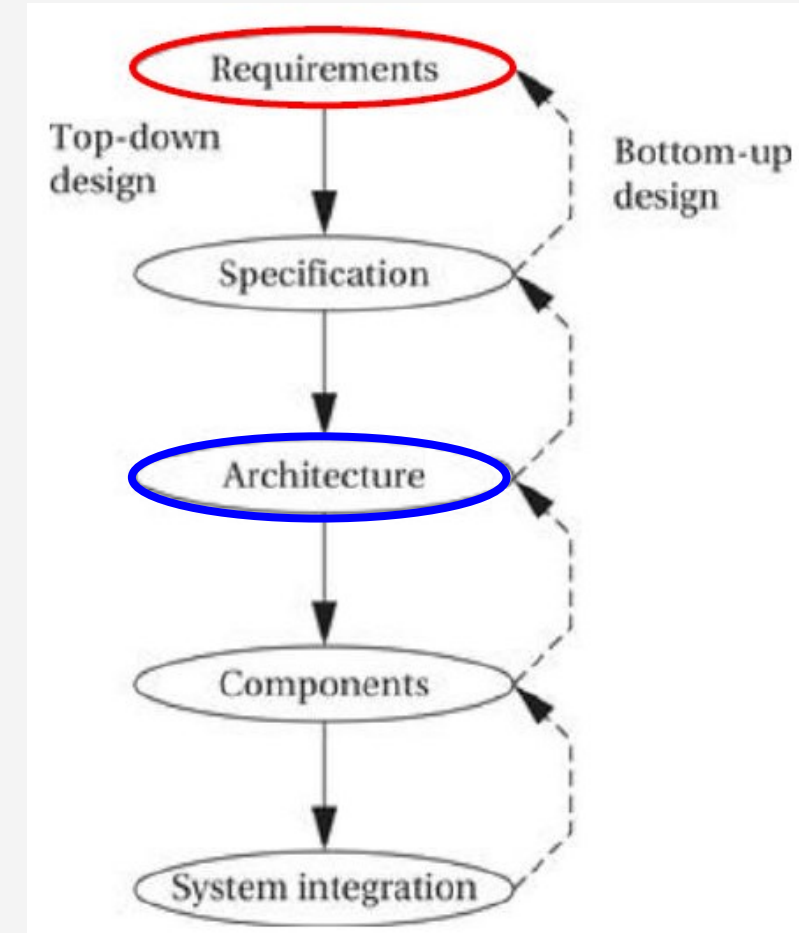
GPS Unit Architecture



Jones, Spring 2019 © ISU

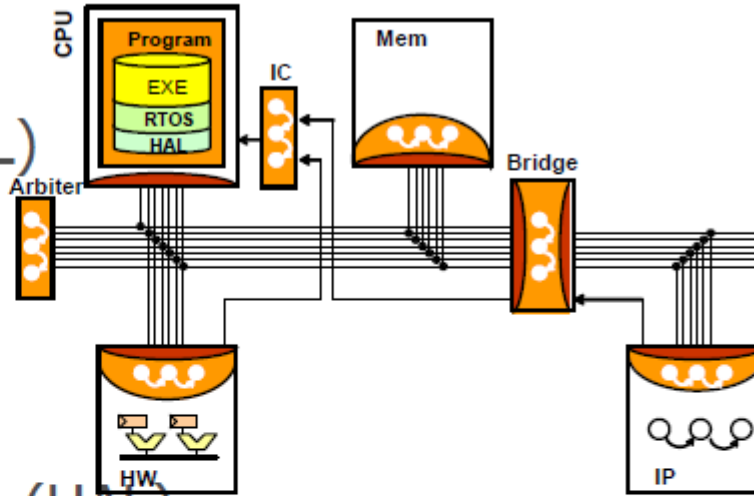
CprE 488 (Introduction)

Lect-01.54

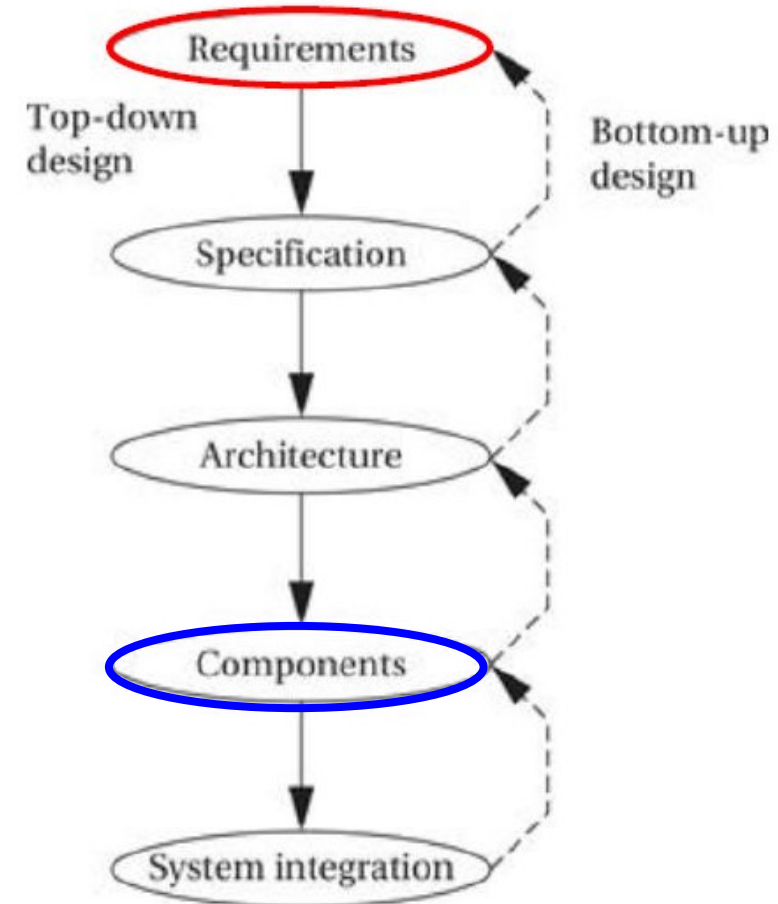


Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Bileşenler

- Hardware
 - Microarchitecture
 - Register-transfer level (RTL)
- Software binaries
 - Application object code
 - Real-time operating system (RTOS)
 - Hardware abstraction layer (HAL)
- Interfaces
 - Pins and wires
 - Arbiters, muxes, interrupt controllers (ICs), etc.
 - Bus protocol state machines

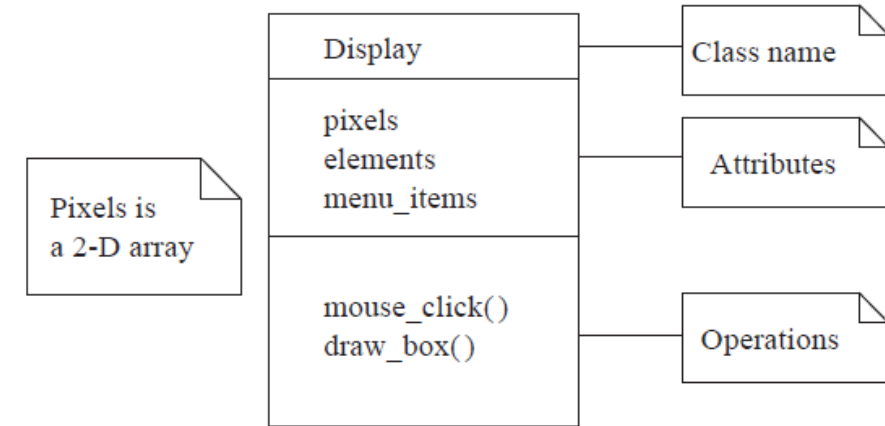


- Further logic and physical synthesis
 - Manufacturing
 - Prototyping boards

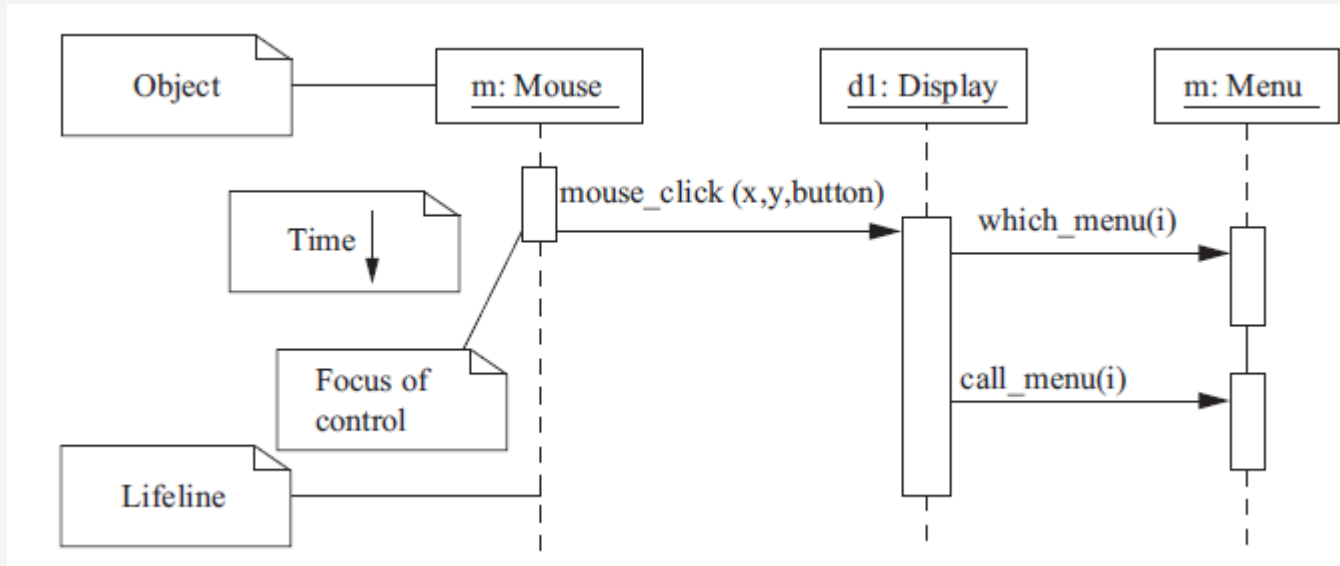


Örnek: GPS Navigasyon Birimi - Bileşenler

Yazılımda UML kullanmak pek çok artı getiriyor.



UML sequence diagram:



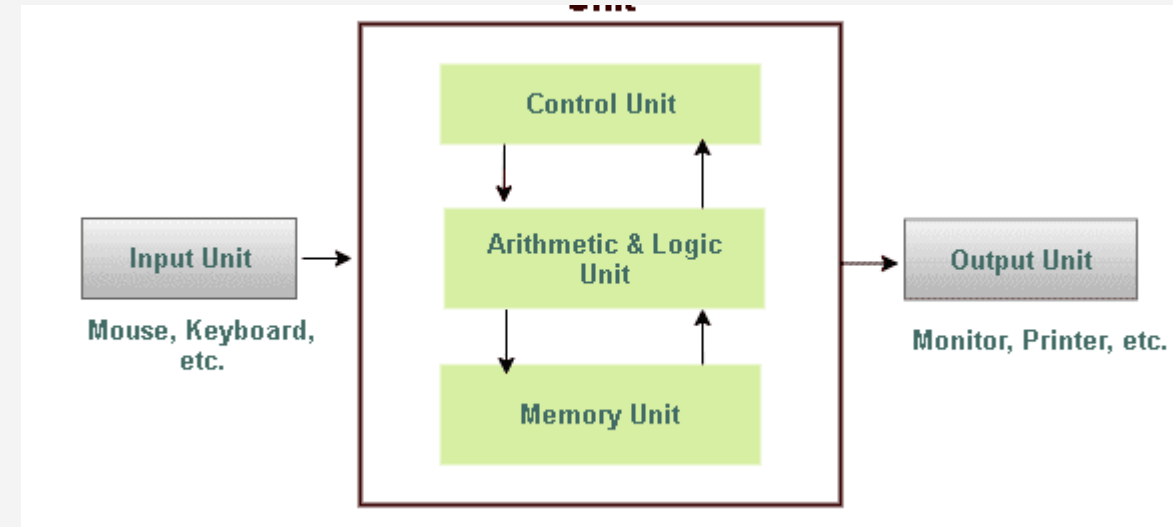
- Mikroişlemciler (Microprocessor)
- Mikrodenetleyiciler (Microcontroller)
- Sayısal İşaret İşleyici (Digital Signal Processor, DSP)
- Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array, FPGA)
- Uygulamaya Özel Tümleşik Devre (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)

Mikroişlemciler

En temelde kontrol ünitesi, aritmetik ve lojik birim içeren tek bir VLSI çiptir.

Örn: Intel 8085, x86, IBM PowerPC ...

- Sistemi dizayn eden kişinin donanım dizaynıyla ilgilenmesine gerek yok -> Yazılım.
- Gelişmiş komut seti içerirler.
- Çoğunlukla yüksek performanslıdır.
- Çoğunlukla yüksek güç tüketirler.



Mikrodenetleyiciler

CPU dahil olmak üzere ADC, DAC, zamanlayıcı, haberleşme kanalları gibi pek çok bileşen ve giriş-çıkış birimi içerirler.

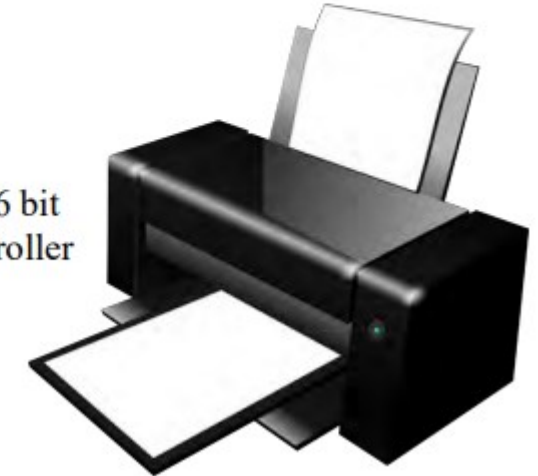
Örn: Intel 8051, PIC16F84, MSP430, ARM9, ARM9 ...

- En önemli avantajı, düşük ücretli, düşük güç tüketimli ve küçük bir şekilde üretilebilmesidir.
- Devrelere entegre edilmesi kolaydır. Gömülü sistemler için büyük avantaj.
- Pek çok çevresel birim içermektedir.
- Ücret-güç-yer kritik uygulamalarda kullanılır.



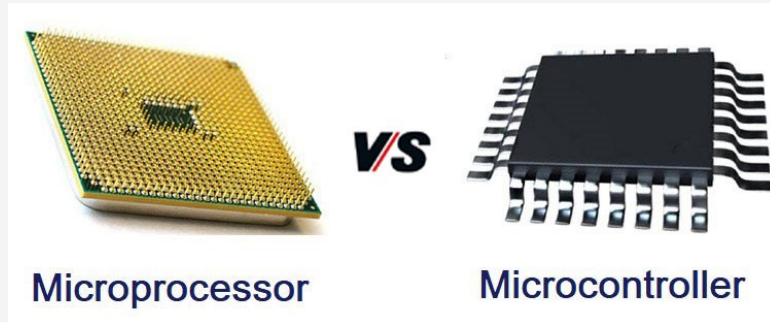
8051 - 16 bit microcontroller

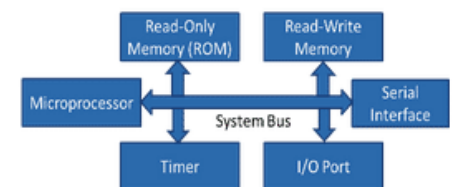
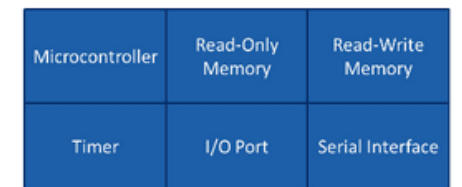
Source: Wikimedia commons

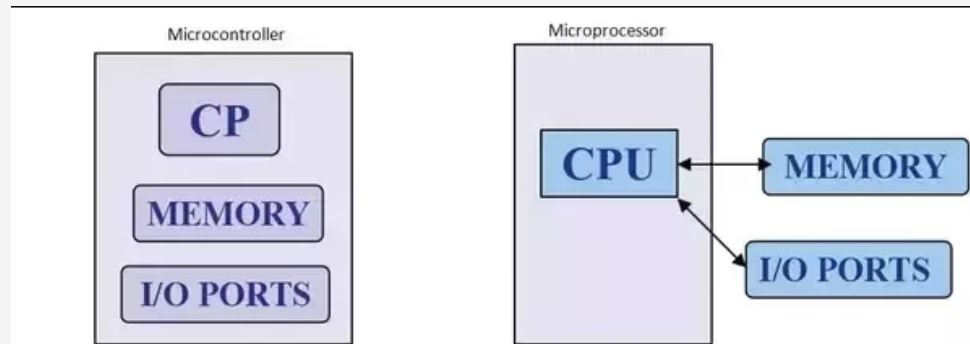


Printer - 16 bit microcontroller

Mikroişlemciler ve Mikrodenetleyiciler



Microprocessor	Micro Controller
	
Microprocessor is heart of Computer system.	Micro Controller is a heart of embedded system.
It is just a processor. Memory and I/O components have to be connected externally	Micro controller has external processor along with internal memory and i/o components
Since memory and I/O has to be connected externally, the circuit becomes large.	Since memory and I/O are present internally, the circuit is small.



Microprocessor

- CPU is stand-alone, RAM, ROM, I/O, timer are separate
- designer can decide on the amount of ROM, RAM and I/O ports.
- expensive
- versatility
- general-purpose
- High processing power
- High power consumption
- Instruction sets focus on processing-intensive operations
- Typically 32/64 – bit
- Typically deep pipeline (5-20 stages)

Microcontroller

- CPU, RAM, ROM, I/O and timer are all on a single chip
- fixed amount of on-chip ROM, RAM, I/O ports
- for applications in which cost, power and space are critical
- single-purpose (control-oriented)
- Low processing power
- Low power consumption
- Bit-level operations
- Instruction sets focus on control and bit-level operations
- Typically 8/16 bit
- Typically single-cycle/two-stage pipeline

Merkezi İşlem Birimi Sınıflandırılması



Komut yapıları, sayıları ve adresleme tiplerine göre:

- CISC (Complex Instruction Set Computer)
- RISC (Reduces Instruction Set Computer)

Komut ve belleğe erişim ile ilgili:

- Von Neumann mimarisi
- Harvard mimarisi

RISC	ARM7	ARM9
CISC	Pentium	SHARC (DSP)
	von Neumann	Harvard

Harvard ve Von Neumann mimarileri

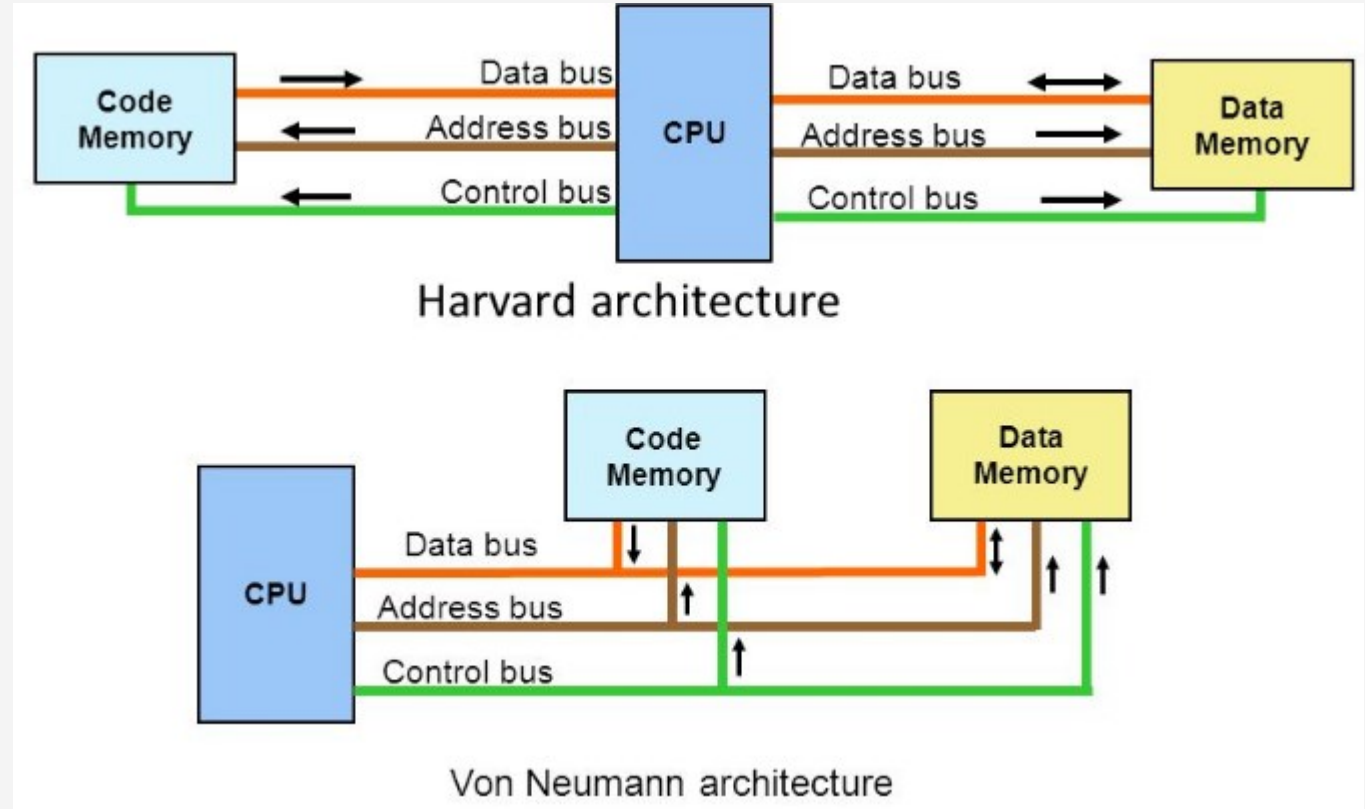
Von Neumann'da tek bir yol üzerinden hem komut setine hem de verilere ulaşılabilirken, (80x86, 8051, ARM)

Harvard mimarisinde fiziksel olarak ayrı veriyollarına sahiptir. (PIC, Atmel AVR)

Von Neumann Darboğazı:

Hem komutların hem de verilerin tek bir veriyolundan iletilmesiyle CPU zamanının çoğunluğunu bellekten istenilen veriinin gelmesini beklemekle geçirir.

Sorunu hafifletmek için ara belleğe (cache) ihtiyaç vardır.



CISC ve RISC mimarileri



CISC:

Amaç, derleyicilerin işini kolaylaştırmaktır. Böylelikle makine dili yüksek düzeyli dillere yaklaşır. Yetenekli komutlar ile daha kısa programlar yazılabilir.

Özellikleri:

- Geniş komut kümesi (100-300),
- Karmaşık komutlar ve farklı adresleme kipleri,
- Doğrudan bellek üzerinde işlem yapan komutlar.
- Çalıştırma için birden fazla çevrim gerektirir.
- İşlemci yapıları karmaşıktır, ücretleri yüksektir.
- Bellek kullanımı RISC'e göre daha verimlidir.

Örn: Intel x86, Pentium

RISC:

Amaç, daha az sayıda komuta sahip olup bu komutları tek çevrimde bitirebilmek.

Özellikleri:

- Dar komut kümesi (10-30),
- Basit komutlar ve az sayıda adresleme kipleri,
- Az sayıda kaydedici (register) bulunur.
- Belleğe sadece yazma ve okuma işlemleri için erişilir.
- İşlemci yapıları basittir, ücretleri düşüktür.
- Kullanıcının aynı işlem için daha fazla kod yazması gerekir.
- Az güç tüketirler.

Örn: ARM, PIC

Örnek:

$$A = A * B;$$

• The CISC Approach:-

the entire task of multiplying two numbers can be completed with one instruction:

MULT A,B <<<====this is assembly statement

• The RISC Approach:-

LOAD R1, A <<<====this is assembly statement

LOAD R2, B <<<====this is assembly statement

MUL A, B <<<====this is assembly statement

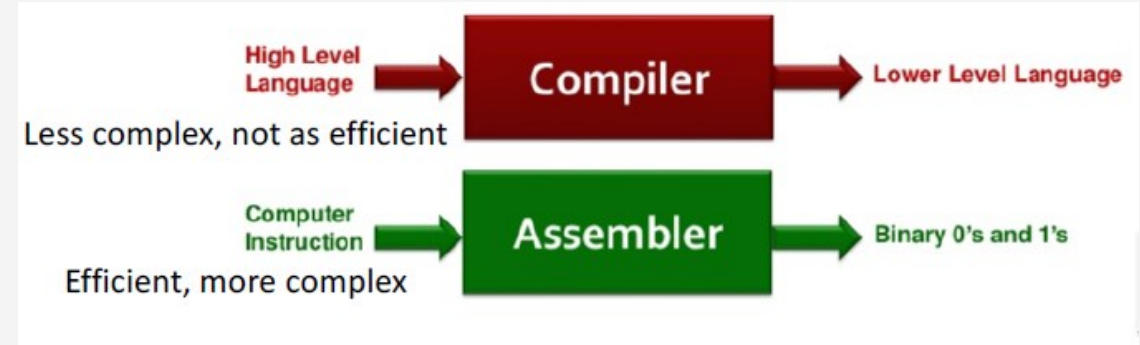
STORE R3, A <<<====this is assembly statement

CISC ve RISC mimarileri



CISC'de derleyicilerin işi neden kolaylaşıyor?

- Çoğu zaman tek bir işlemi tek bir komuta dönüştürebiliyor,
- Derleme işlemi sırasında en az hafıza kullanımı elde edilmeye çalışılır. Burada, CISC daha fazla register içerdiğinden optimize edilmesi daha kolaydır.



$$A = A * B;$$

- **The CISC Approach:-**

the entire task of multiplying two numbers can be completed with one instruction:

MULT A,B <<<====this is assembly statement

- **The RISC Approach:-**

LOAD R1, A <<<====this is assembly statement
LOAD R2, B <<<====this is assembly statement
MUL A, B <<<====this is assembly statement
STORE R3, A <<<====this is assembly statement

«One of the primary advantages of this system is that the compiler has to do very little work to translate a high-level language statement into assembly.

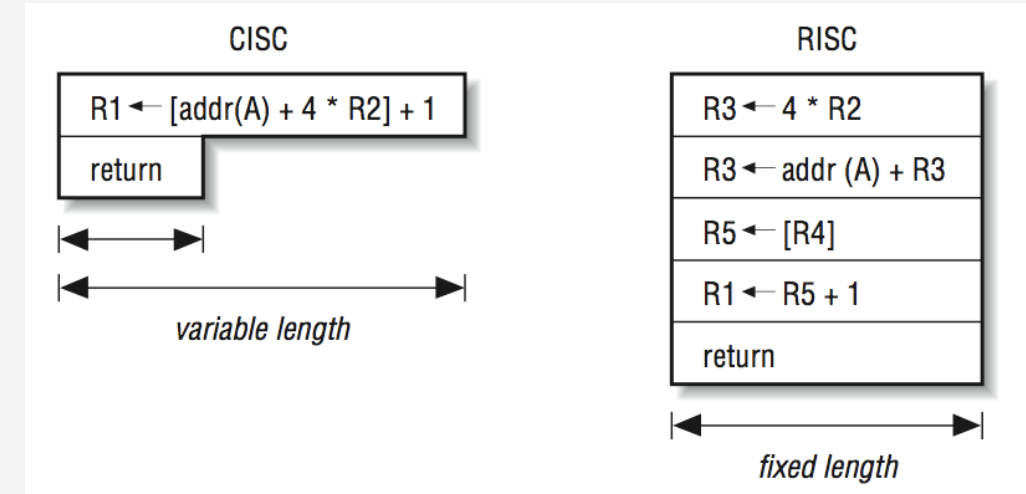
Because the length of the code is relatively short, very little RAM is required to store instructions. The emphasis is put on building complex instructions directly into the hardware.»
Prof. Eric Roberts

CISC ve RISC örnekler



$$\frac{\text{time}}{\text{program}} = \frac{\text{time}}{\text{cycle}} \times \frac{\text{cycles}}{\text{instruction}} \times \frac{\text{instructions}}{\text{program}}$$

The CISC approach attempts to minimize the number of instructions per program, sacrificing the number of cycles per instruction. RISC does the opposite, reducing the cycles per instruction at the cost of the number of instructions per program.



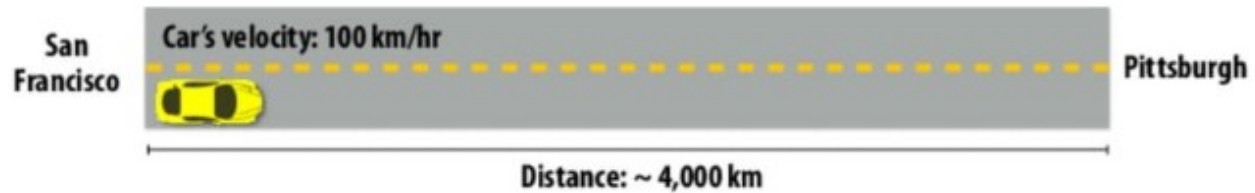
- CISC:
VAX, PDP-11, Intel x86 until Pentium, Motorola 68K.
- RISC:
MIPS, SPARC, Alpha, HP-PA, PowerPC, i860, i960, ARM, Atmel AVR

Latency & Throughput

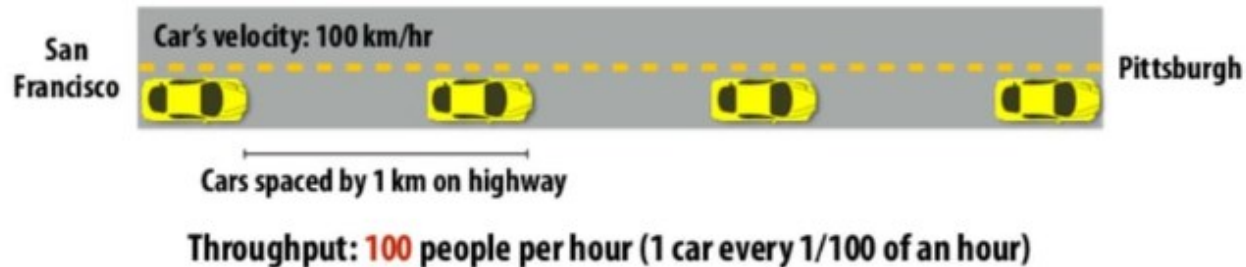


Everyone wants to get to Pittsburgh!

(Latency vs. throughput review)



Latency of moving a person from San Francisco to Pittsburgh: 40 hours

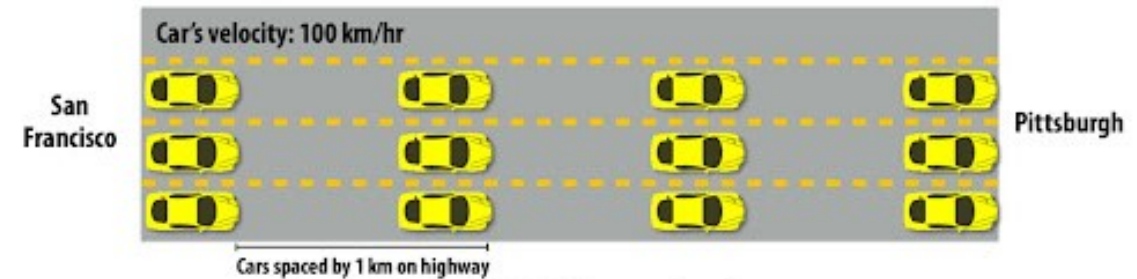


Improving throughput



Approach 1: drive faster!

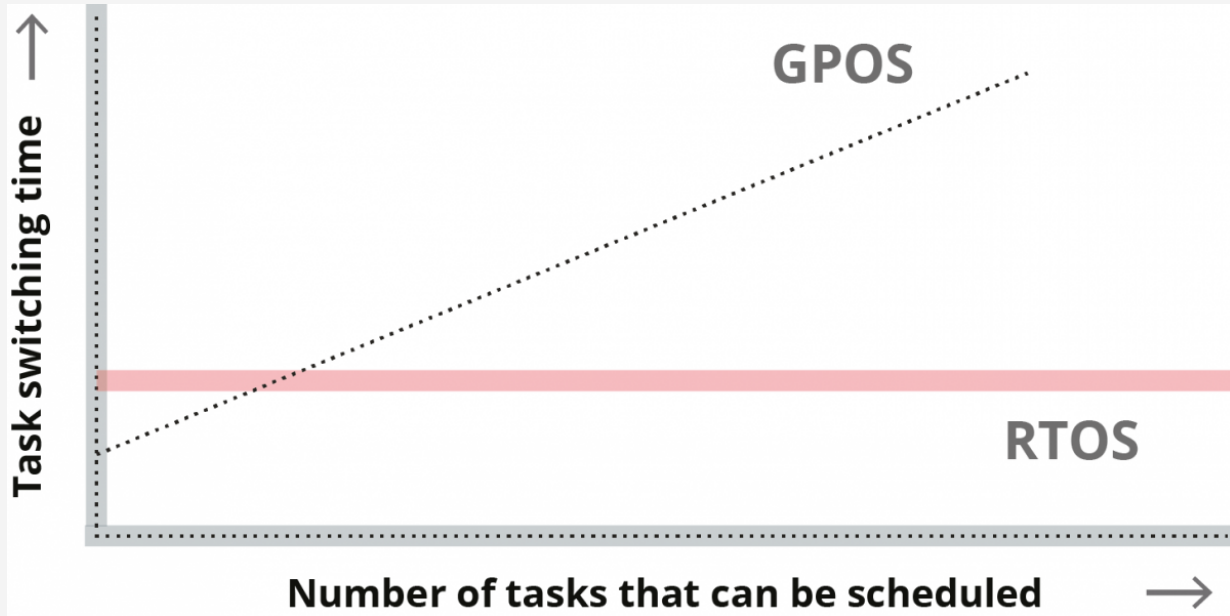
Throughput = 150 people per hour (1 car every 1/150 of an hour)



Approach 2: build more lanes!

Throughput: 300 people per hour (3 cars every 1/100 of an hour)

CMU 15-418/618, Spring 2016



- **GPOS**
 - Multiple applications on one system
 - Maximum resource usage
 - Average performance is important
- **RTOS**
 - A single application on a system
 - Reliably
 - Predictability = time constraints on individual events

Sayısal İşaret İşleyici (DSP)



Sayısal işaretler üzerinde yüksek sayıda işlem gerektiren sistemler için gereklidir.

İşaret filtreleme, dönüştürme ve diğer pekçok görevi yerine getirecek özelliklere sahiptir.



Genellikle görüntü işleme, multimedia, ses, video, HDTV ve telekomünikasyon alanlarında kullanılır.

Karmaşık aritmetik işlemleri hızlı bir şekilde yapabilecek donanımlar barındırırlar.

Örn: TI TMS320C, Analog Devices SHARC...

Örn: TI C6748

Table 3-1. Characteristics of C6748

HARDWARE FEATURES		C6748
Peripherals Not all peripherals pins are available at the same time (for more detail, see the Device Configurations section).	DDR2/mDDR Memory Controller	DDR2, 16-bit bus width, up to 156 MHz Mobile DDR, 16-bit bus width, up to 150 MHz
	EMIFA	Asynchronous (8/16-bit bus width) RAM, Flash, 16-bit SDRAM, NOR, NAND
	Flash Card Interface	2 MMC and SD cards supported
	Timers	4 64-Bit General Purpose (each configurable as 2 separate 32-bit timers, one configurable as Watch Dog)
	10/100 Ethernet MAC with Management Data I/O	1 (MII or RMII Interface)
	eHRPWM	4 Single Edge, 4 Dual Edge Symmetric, or 2 Dual Edge Asymmetric Outputs
	eCAP	3 32-bit capture inputs or 3 32-bit auxiliary PWM outputs
	UHPI	1 (16-bit multiplexed address/data)
	USB 2.0 (USB0)	High-Speed OTG Controller with on-chip OTG PHY
	USB 1.1 (USB1)	Full-Speed OHCI (as host) with on-chip PHY
	General-Purpose Input/Output Port	9 banks of 16-bit
	LCD Controller	1
	SATA Controller	1 (Supports both SATA I and SATAII)
	Universal Parallel Port (uPP)	1
	PRU Subsystem (PRUSS)	2 Programmable PRU Cores



Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array, FPGA)

İstenilen fonksiyonelliği elde etmek için programlanabilir genel amaçlı lojik tümleşik devreler içerirler.

FPGA'ler yüksek fonksiyonellik ile pek çok uygulamada yüksek performansla kullanılabilirler.

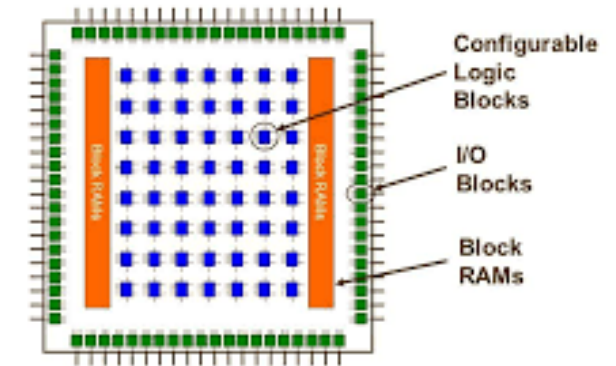
Ürün geliştirmesi mikrodenetleyicilere göre daha uzundur.

Gerçek zamanlı sistemlerde kullanılmaktadır.

Üzerinde hafıza, DSP, mikrokontrolör ve haberleşme cihazlarına sahip olabilirler.

Örn: Xilinx Virtex, Spartan series FPGAs ...

What is an FPGA?



Uygulamaya Özel Tümleşik Devre (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)

İstenilen görevler için özel dizayn edilmiş çiplerdir.

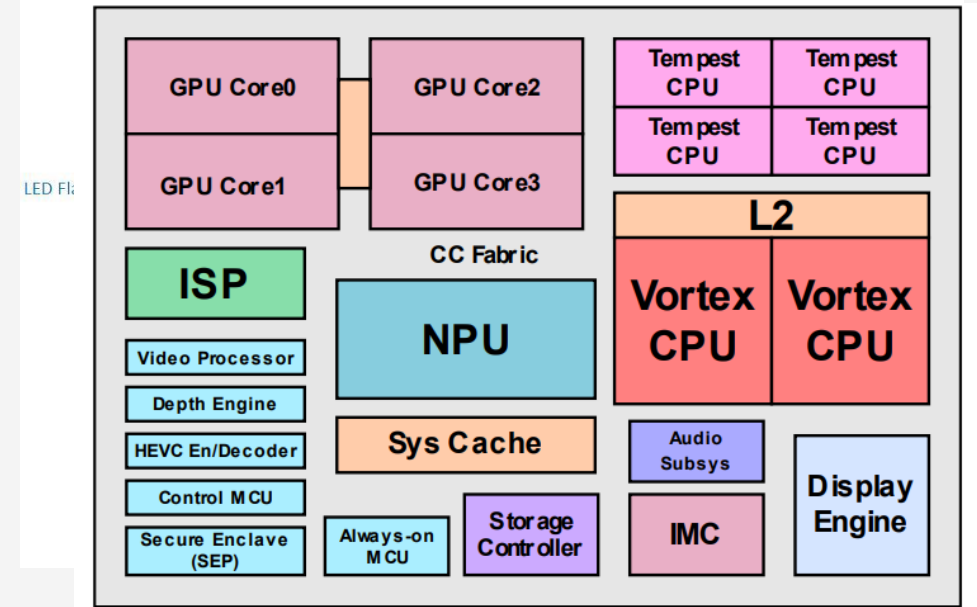
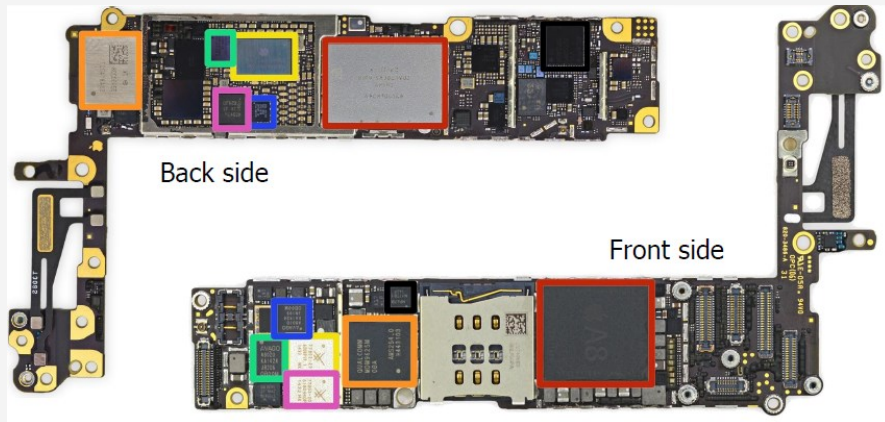
SoC (System On Chip)

Sadece istenilen amacı gerçekleştireceğinden güç tüketimi minimize edilmiştir.

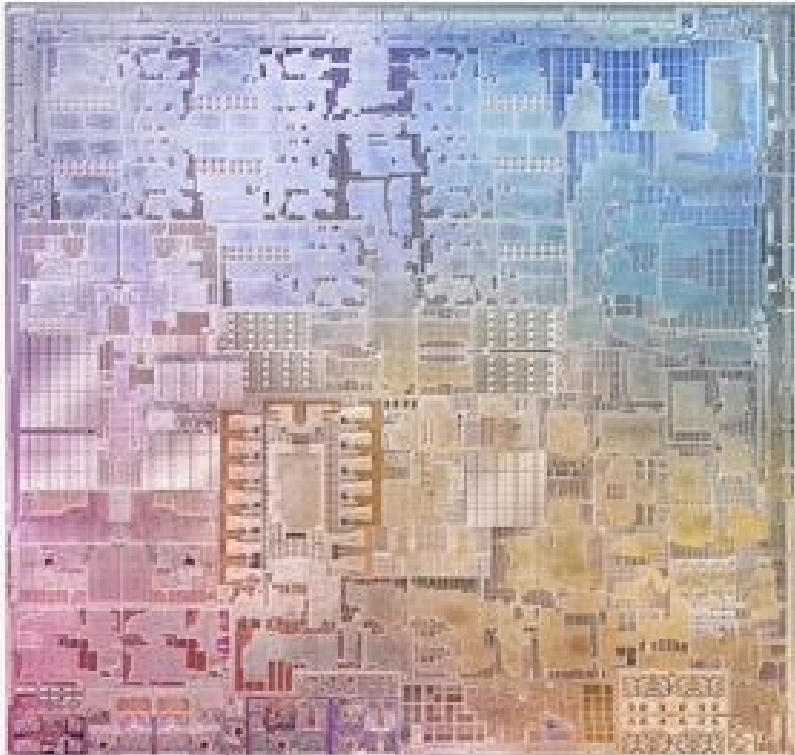
Eğer üretimde yüksek ücrete sahipse ancak yüksek hacimli satışlar ile mantıklı bir durum olur.

Dizayn riski ve çevrimi fazladır.

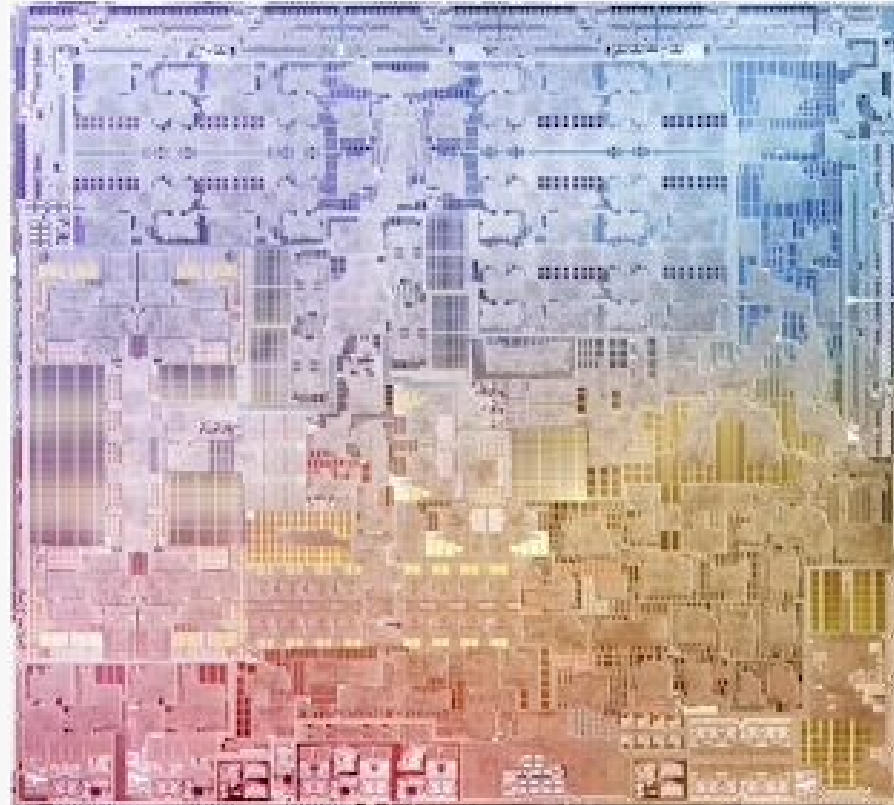
Örn: Apple A12 Bionic, Qualcomm Snapdragon serileri...



Apple M2

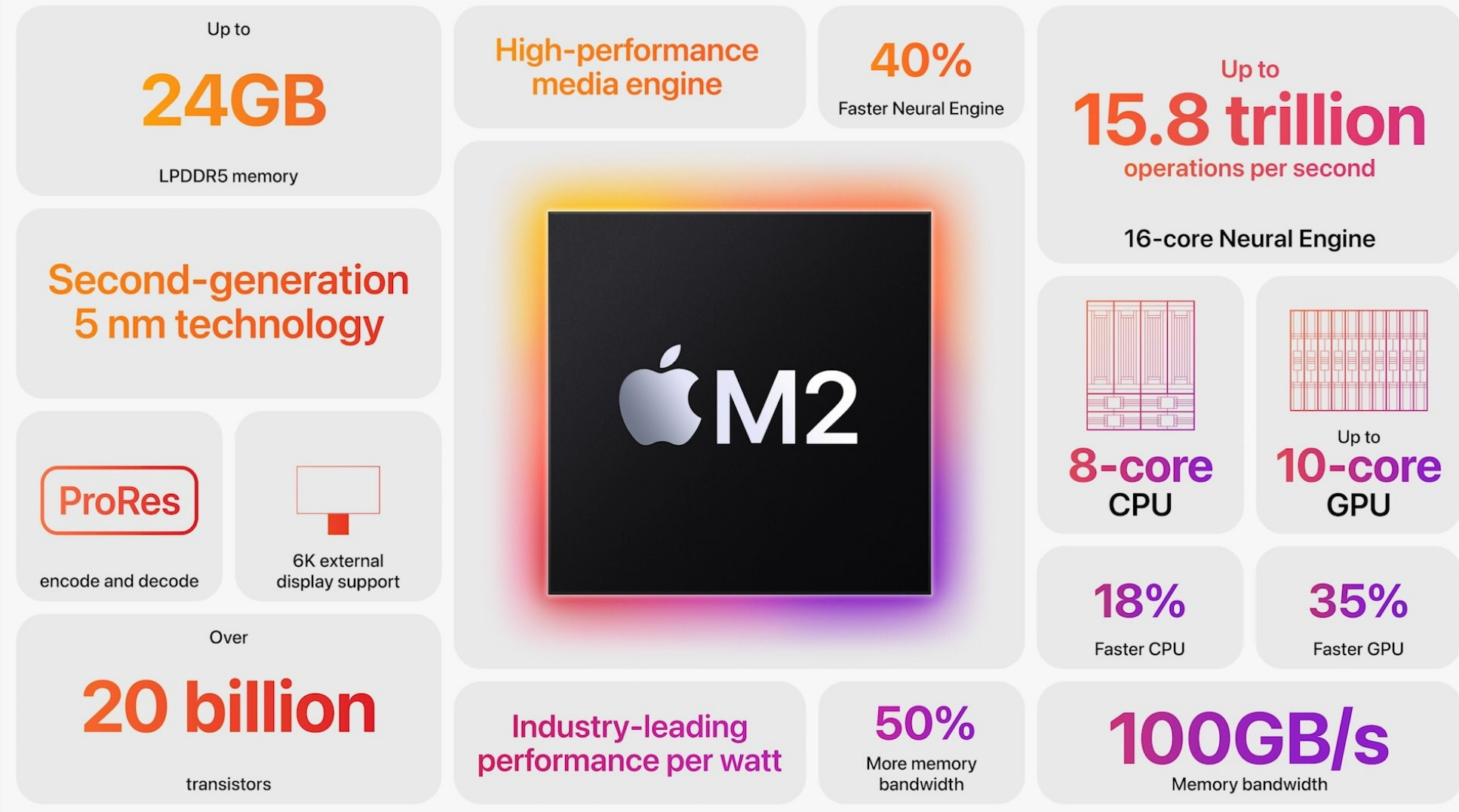


Apple M1



Apple M2

Apple M2



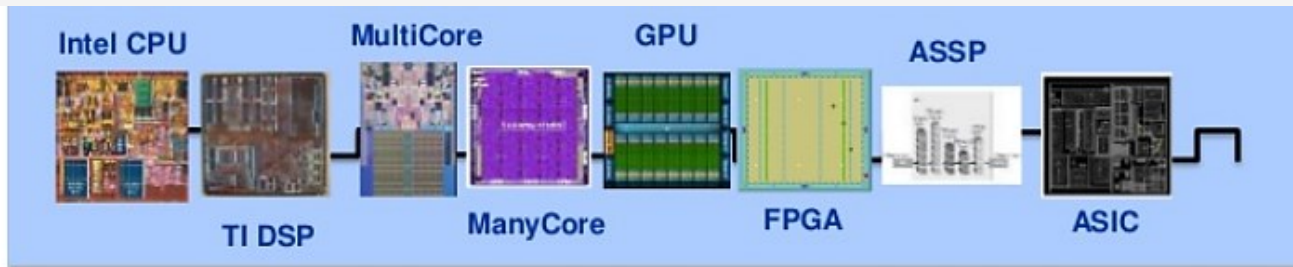
Apple M2



Apple Silicon SoCs		
SoC	M2	M1
CPU	4x High Performance (Avalanche?) 16MB Shared L2	4x High Performance (Firestorm) 12MB Shared L2
	4x High Efficiency (Blizzard?) 4MB Shared L2	4x High Efficiency (Icestorm) 4MB Shared L2
GPU	"Next Generation" 10-Core 3.6 TFLOPS	8-Core 2.6 TFLOPS
Neural Engine	16-Core 15.8 TOPS	16-Core 11 TOPS
Memory Controller	LPDDR5-6400 8x 16-bit CH 100GB/sec Total Bandwidth (Unified)	LPDDR4-4266 8x 16 CH 68GB/sec Total Bandwidth (Unified)
Memory Capacity	24GB	16GB
Encode/ Decode	8K H.264, H.265, ProRes, ProRes RAW	4K H.264, H.265
USB	USB4/Thunderbolt 3 2x Ports	USB4/Thunderbolt 3 2x Ports
Transistors	20 Billion	16 Billion
Mfc. Process	"Second Generation 5nm" TSMC N5P?	TSMC N5

Karşılaştırma

Characteristic	Processor/ DSP	FPGA	ASIC
Programmability	High	Medium	Low
Development Cycle	HW+SW	HW+SW	HW
Area Efficiency	Medium	Low	High
Power Efficiency	Medium	Low	High
Efficiency	Low	Medium	High



CPU:

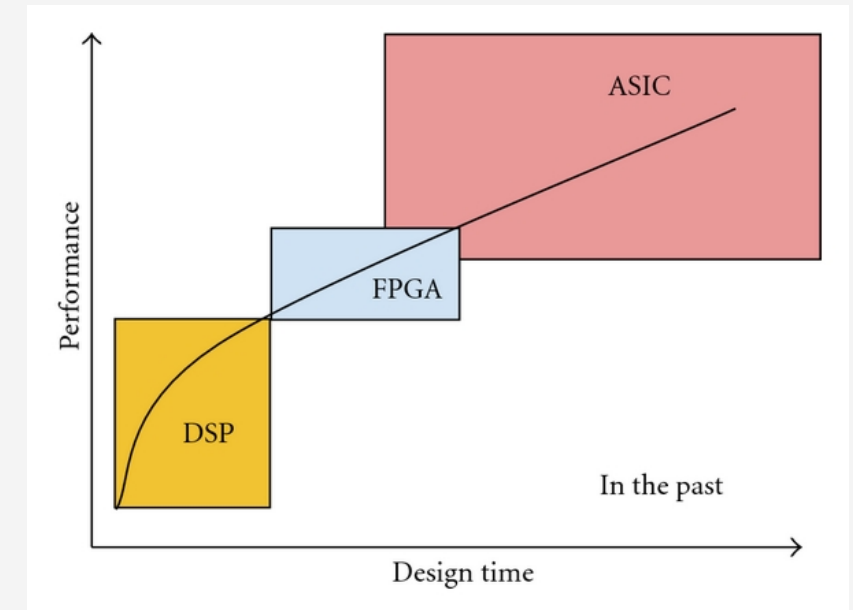
- Market-agnostic
- Accessible to many programmers (C++)
- Flexible, portable

FPGA:

- Somewhat Restricted Market
- Harder to Program (Verilog)
- More efficient than SW
- More expensive than ASIC

ASIC

- Market-specific
- Fewer programmers
- Rigid, less programmable
- Hard to build (physical)



NVIDIA Advances Embedded Systems



NVIDIA® Jetson™, ileri seviye yapay zeka için dünyanın lider platformudur.

Platform, küçük form faktörlü yüksek performanslı bilgisayarlar olan Jetson modüllerini, yazılımı hızlandırmak için JetPack SDK'yi ve geliştirmeyi hızlandırmak için sensörler, SDK'ler, hizmetler ve ürünler içeren bir ekosistemi içinde barındırır.



Nano



TX2



NX



AGX

Hardware	Jetson Nano	Jetson TX1	Jetson TX2/TX2i	Jetson AGX Xavier	Jetson Xavier NX
CPU (ARM)	4-core ARM A57 @ 1.43 GHz	4-core ARM Cortex A57 @ 1.73 GHz	4-core ARM Cortex-A57 @ 2 GHz, 2-core Denver2 @ 2 GHz	8-core ARM Carmel v.8.2 @ 2.26 GHz	6-core NVIDIA Carmel 64-bit ARMv8.2 @ 1.4 GHz
GPU	128-core Maxwell @ 921 MHz	256-core Maxwell @ 998 MHz	256-core Pascal @ 1.3 GHz	512-core Volta @ 1.37 GHz	384-core NVIDIA Volta @ 1.1 GHz
Memory	4 GB LPDDR4, 25.6 GB/s	4 GB LPDDR4, 25.6 GB/s	8 GB 128-bit LPDDR4, 58.3 GB/s	16 GB 256-bit LPDDR4, 137 GB/s	8GB 128-bit LPDDR4x, 51.2GB/s
Power	5W / 10W	10W	7.5W / 15W	10W / 15W / 30W	10W / 15W
Price (USD)	\$129	\$249	\$399	\$899	\$399