

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- Topics
- Grading

Computer Architecture

Course Outline

コンピュータシステム概論 (Introduction to Computer Systems)

Course Outline

- Introduction to Computer Systems

- Course Outline
- Topics
- Grading

Computer Architecture

時間 (Time): 月曜日 19:55-21:25 (Monday 19:55-21:25)

教室 (Room): 本庄: 93-N302、早稲田: 29-7-224

(Honjo: 93-N302, Waseda: 29-7-224)

講師 (Instructor): 中里 秀則 (Hidenori Nakazato)

Email: nakazato@waseda.jp

オフィス (Officer): 94-A311 and 29-7-122-2

Course Notes: CourseN@vi

コースの概要 (Course Outline)

Course Outline

- Introduction to Computer Systems

- **Course Outline**

- Topics

- Grading

Computer Architecture

目標 (Objectives):

- コンピュータのソフトウェア / ハードウェアアーキテクチャおよびオペレーティングシステムについて概観する。

(This course overlooks hardware and software architectures of computers, and also operating systems.)

- コンピュータのソフトウェア/ハードウェアアーキテクチャおよびその動作を理解することと、オペレーティングシステムとその機能を理解することを目標とする

(The objectives of this course is to understand software and hardware architecture of computers and their operation, and to understand operating systems and their functions.)

コースの概要 (Course Outline)

Course Outline

- Introduction to Computer Systems

- **Course Outline**

- Topics

- Grading

Computer Architecture

References:

- Andrew S. Tanenbaum and Albert S. Woodhull, “Operating Systems Design and Implementation,” Pearson Education
(日本語訳: アンドリュー・S・タネンバウム、アルバート・S・ウッドハル 著 / 吉澤康文 他訳、オペレーティングシステム、ピアソンエデュケーション)
- Andrew S. Tanenbaum and Maarten van Steen, “Distributed Systems: Principles and Paradigms,” Prentice Hall
(日本語訳: アンドリュー・S. タネンバウム、マールテン・ファンステーン 著 / 水野 忠則 他訳、分散システム、ピアソンエデュケーション)
- A. V. Aho, M. S. Lam, R. Sethi, and J. D. Ullman, “Compilers: Principles, Techniques, and Tools,” Addison Wesley
(日本語訳: A. V. エイホ、M. S. ラム、R. セシィ、J. D. ウルマン 著、原田 賢一 訳、コンパイラ 原理・技法・ツール、サイエンス社)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- コンピュータの構成 (Structure of Computers)
- 基本的なプロセッサの構成と動作 (Fundamental Processor Structure and its Operation)
- ソフトウェア構成 (Software Architecture)
- プログラムの作成 (Program and its Execution)
- オペレーティングシステムの機能概要 (Outline of Operating System Functions)
- プロセス管理 (Process Management)
- 同期 (Synchronization)
- メモリ管理 (Memory Management)
- ファイルシステムとアクセス制御 (File Systems and Access Control)
- 通信 (Communications)
- クライアントサーバ、リモートプロシージャコール (Client-Server Model and Remote Procedure Call)
- 障害耐性 (Fault Tolerance)
- 教場試験 (In-class Exam)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- コンピュータの構成 (Structure of Computers)
コンピュータはどのような構成要素からできているだろうか？
(What makes up a computer?)
 - ハードウェアの構成 (Hardware Arcitecture)
 - 周辺機器にはどのようなものがあるか (What types of Peripheral Devices exist?)
 - 周辺機器の特性 (Characteristics of Peripheral Devices)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- 基本的なプロセッサの構成と動作 (Fundamental Processor Structure and its Operation)
 - 中央処理装置 (CPU) とはどのような要素からできているのか (What make up a Central Control Unit (CPU)?)
 - 演算ユニット (Arithmetic and Logic Unit)
 - レジスタ (Registers)
 - バス (Buses)
 - 制御ユニット (Control Unit)
 - CPU はどのように動作するのか (How CPUs work?)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- ソフトウェア構成 (Software Architecture)
 - アプリケーション (Application Programs)
 - オペレーティングシステム (Operating Systems)
 - デバイスドライバ (Device Drivers)
 - ファームウェア (Firmware)
- オペレーティングシステムの機能概要 (Outline of Operating System Functions)
 - プロセス管理 (Process Management)
 - 同期 (Synchronization)
 - メモリ管理 (Memory Management)
 - ファイルシステム (File System)
 - 通信 (Communications)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- プログラムの作成と実行 (Program and its Execution)
 - プログラムとは何か (What is a program?)
 - ソースコードとオブジェクトコード (Source Code and Object Code)
 - コンパイラとインタプリタ (Compiler and Interpreter)
 - コンパイラの仕組み (How Compiler Works)
- プロセス管理 (Process Management)
 - プロセスとは何か (What is a process?)
 - プロセスに割り当てられる資源 (Resources allocated processes)
 - スケジューリング (Scheduling)
 - プロセス間通信 (Inter-process communications)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- 同期 (Synchronization)
 - 相互排他 (Mutual Exclusion)
 - トランザクション (Transaction)
 - 並行処理制御 (Concurrency Control)
 - デッドロック (Deadlock)
- メモリ管理 (Memory Management)
 - メモリ管理とは何か (What is memory management?)
 - スワッピング (Swapping)
 - ページング (Paging)
 - セグメンテーション (Segmentation)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- ファイルシステムとアクセス制御 (File Systems and Access Control)
 - ファイルシステムの機能 (Functions of file system)
 - ファイルの構造 (Structure of files)
 - アクセス制御 (Access Control)
- 通信 (Communications)
 - 通信の階層構成 (Hierarchical structure in communications)
 - オペレーティングシステムと通信 (Operating systems and communications)

Topics

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- **Topics**
- Grading

Computer Architecture

- クライアントサーバとリモートプロシージャコール (Client-Server Model and Remote Procedure Call)
 - クライアントサーバモデルとは何か (What is client-server model?)
 - リモートプロシージャコールとは何か (What is remote procedure call)
 - リモートプロシージャコールの実現方法 (Implementation of Remote Procedure Call)
- 障害耐性 (Fault Tolerance)
 - 障害耐性とは何か (What is fault tolerance?)
 - 障害耐性の実現方法 (Realization of fault tolerance)
- 教場試験 (In-class Exam)

成績の付け方 (Grading)

Course Outline

- Introduction to Computer Systems
- Course Outline
- Topics
- Grading

Computer Architecture

- 宿題 I (Assignment I): 30%
- 宿題 II (Assignment II): 30%
- 試験 (Exam): 40%

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

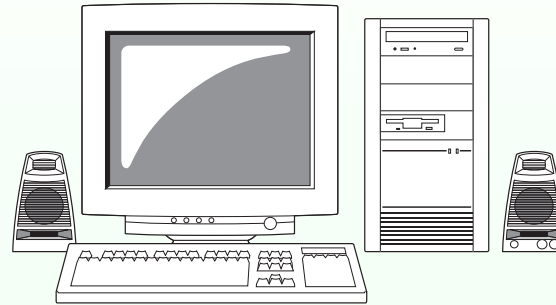
コンピュータの構成 (Computer Architecture)

コンピュータの構成 (Computer Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- **Computer Architecture**
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy



- PC には以下のような機器が接続されている (Your PC is equipped with the following devices.)
 - ディスプレイ (a display)
 - キーボード (a keyboard)
 - マウス (a mouse)
 - DVD ドライブ (a DVD drive)
 - ハードディスク (a hard disk)
 - フロッピーディスクドライブ (a floppy disk drive)
 - スピーカー (a pair of speakers)
 - ネットワークケーブルコネクタ (a network cable connector)
 - USB コネクタ (several USB connectors)

コンピュータの構成 (Computer Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- **Computer Architecture**
- Hardware Architecture
- What is the "computer" here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- それらはどのようにつながっているのだろうか (How are they connected?)



DVD drive

Floppy drive

Power Supply

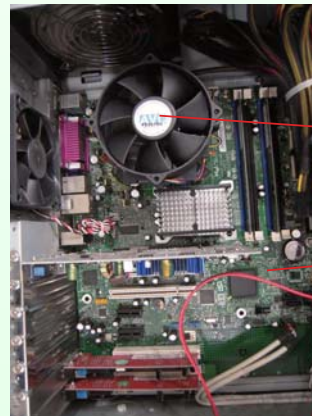
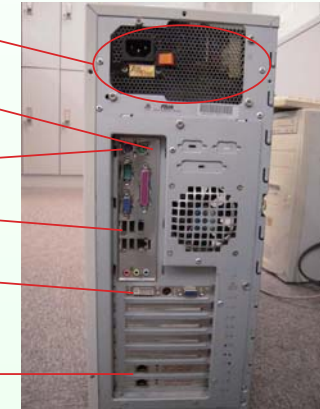
Keyboard

Mouse

USB

Display

Network



CPU

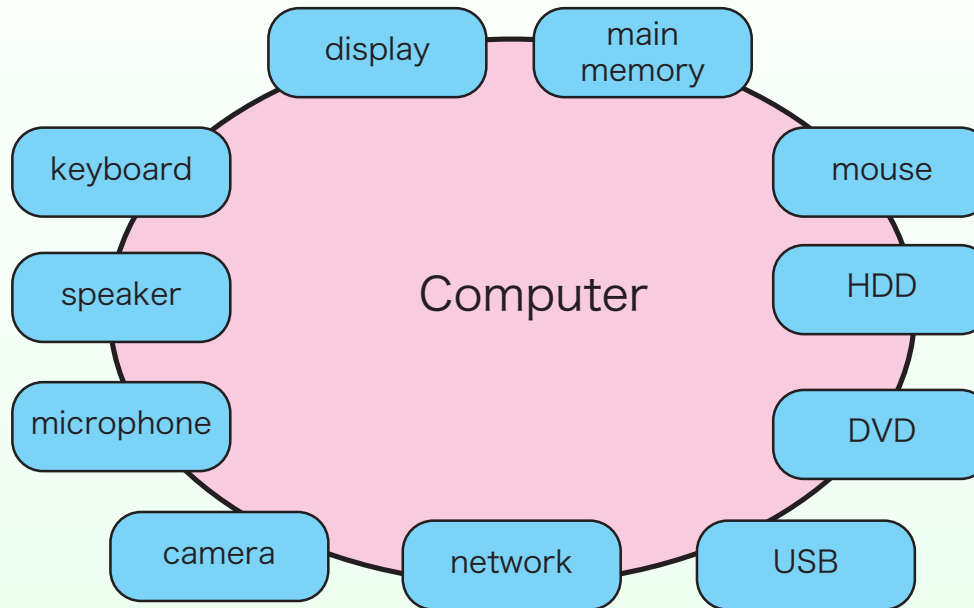
Motherboard

ハードウェアの構成 (Hardware Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- **Hardware Architecture**
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy



- コンピュータには様々な機器が付いている (A computer is equipped with many devices with different types)
 - 入力デバイス (Input Devices)
 - 出力デバイス (Output Devices)
 - 入出力デバイス (Input/Output Devices)

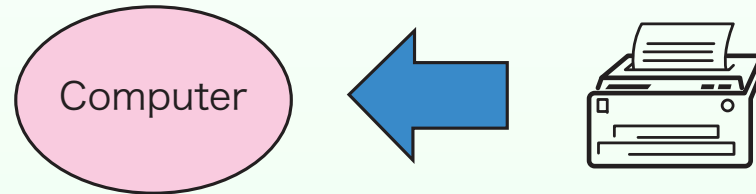
ハードウェアの構成 (Hardware Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- **Hardware Architecture**
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- 入力デバイス (Input Devices)
外部からコンピュータに向かう情報を扱う機器 (Devices to handle information flow from the outside world to the computer)



- Keyboards
ユーザのキー入力 that コンピュータに渡される (The information of tapped key is sent to the computer)
- Mouses
ユーザがマウスを動かす/クリックするとその情報はコンピュータに読み込まれる (When a user move or click the mouse, that information is passed to the computer)
- Microphones
ユーザの声がコンピュータで記憶される (User voice may be recorded by the computer)
- Cameras, Scanners, etc.

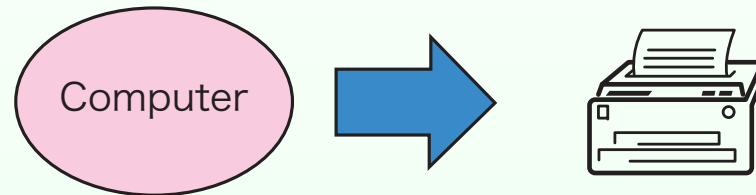
ハードウェアの構成 (Hardware Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- **Hardware Architecture**
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- 出力デバイス (Output Devices)
コンピュータから外部に向かう情報を扱う機器 (Devices to handle information flow from the computer to the outside world)



- Displays
コンピュータからの情報が表示される (Information from the computer is displayed on the monitor)
- Speakers
コンピュータが音楽を再生する (The computer plays music)
- Printers
コンピュータ内のドキュメントがプリントされる (Documents in the computer are printed out)

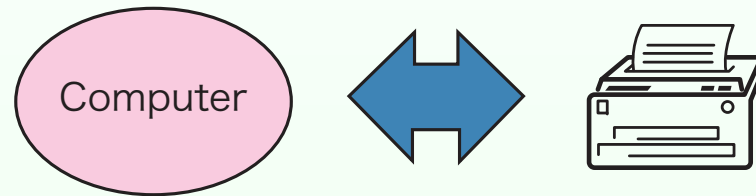
ハードウェアの構成 (Hardware Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- **Hardware Architecture**
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- 入出力デバイス (Input/Output Devices)
外部とコンピュータ間で相互にやりとりする情報を扱う機器 (Devices to handle information flow from the computer to the outside world and vice versa)



- Hard Disks
 - コンピュータが処理した結果がハードディスクに書き込まれる (The results of processing are written on the hard disks)
 - ハードディスクに保存された情報がコンピュータに読み込まれる (Information stored on the hard diss are read into the computer)
- Network
 - ネットワークで接続された他のコンピュータにデータを送る (The computer sends data to another computer connected by a network)
 - ネットワークで接続された他のコンピュータから情報を受け取る (The computer receives data from another computer connected by a network)

ハードウェアの構成 (Hardware Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- **Hardware Architecture**
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- 入出力デバイス (Input/Output Devices)
 - DVD Drives
 - DVD の映画をコンピュータに読み込んで再生する (A movie stored in a DVD is read by the computer and played on the monitor)
 - コンピュータにあるデータを DVD に書き込む (Data in the computer is written on a DVD disk)
 - USB Memory
 - USB メモリ上のファイルをコンピュータに読み込んで編集する (Files on a USB memory is read by the computer and the computer edit the file)
 - コンピュータ上のデータを USB メモリに書き出す (Data in the computer is written on a USB memory)

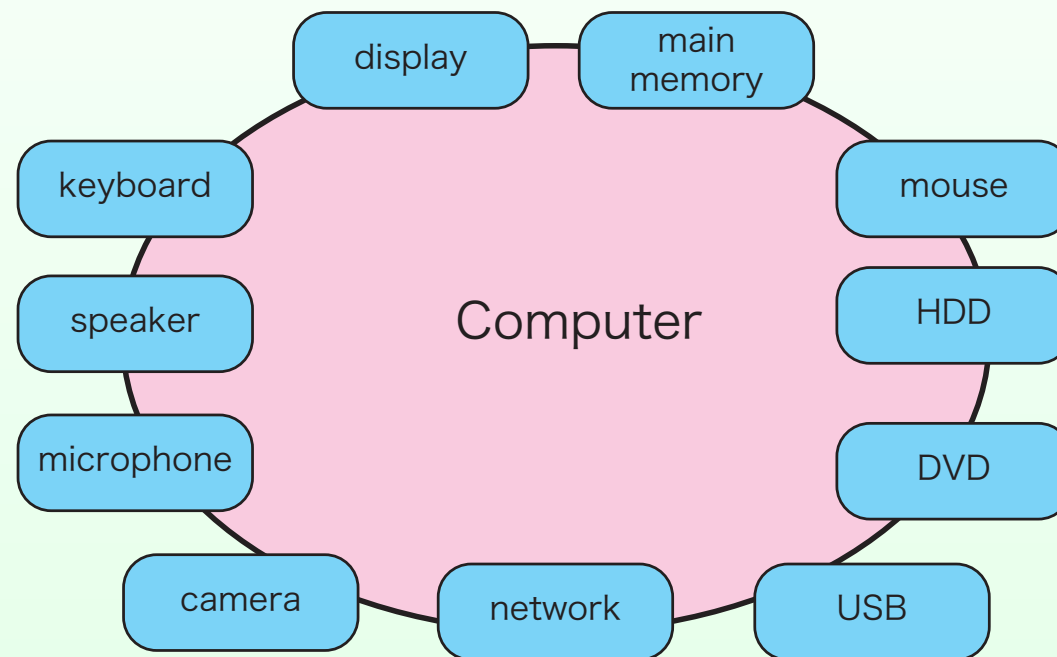
ここで言う「コンピュータ」って何だ？ (What is the “computer” here?)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- コンピュータは、これらの目に見える入出デバイスに、中央処理装置や主記憶を加えた全体ということになる (A computer is the entirety with a central processing unit and main memory in addition to those visible input and output devices)



中央処理装置 (Central Processing Unit)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- **Central Processing Unit**
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- コンピュータの中で、最も重要なコンポーネントは中央処理装置 (CPU) (The most important component of a PC is a central processing unit (CPU))
 - CPU はコンピュータの頭脳である (CPU is the brain of a computer)
 - 計算やその他の処理の大部分が CPU で行われる (Computation and most of other processing is performed by CPU)
 - 他の機器は CPU に接続されている (Other components are connected to the CPU)
 - CPU の処理速度は高速で、例えば 1GHz の CPU で、1 クロックで 1 命令が実行されるとすると、1ns、つまり 10^{-9} 秒毎に 1 つの命令が実行される (Processing speed of CPUs is fast. Assume a 1GHz CPU and 1 instruction per 1 clock. Then 1 program instruction can be performed every 1 ns, i.e., 10^{-9} s)

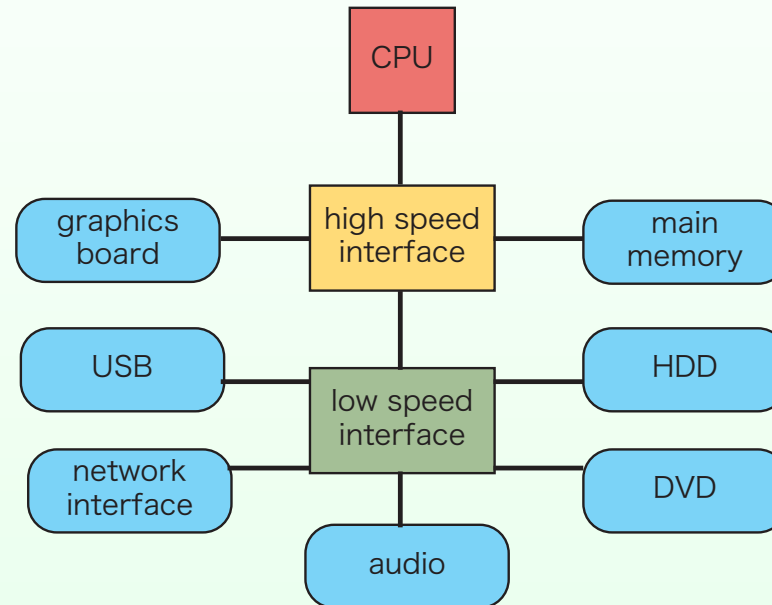
PC の構成 (PC Architecture)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- パーソナルコンピュータは下図のような構成になっている (Personal Computers have the architecture as shown in the diagram below)



- CPU に接続される機器は、2 種類に分類される: 高速機器と低速機器 (Devices connected to CPUs can be divided into two classes: high speed and low speed)
- ここでの速度は、必要とされるデータ転送の速度である (Here “speed” means required data transfer speed)
- 速度によってまとめることにより、各機器はそれぞれ可能な最高速で動作することができる (Bundling components by speed, each component can run in its full speed)

高速機器 (High Speed Devices)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- メモリ (Memory)
 - CPU はメモリに置かれたプログラムを実行する (CPU executes programs in memory)
 - メモリは実行中のプログラムが使うデータを保持する (Memory holds data to be used in programs)
 - プログラムを高速で実行するためには、CPU とメモリの間の通信は高速に行われなくてはならない。つまり (To execute programs in high speed, communication between the CPU and the memory must be done in high speed, i.e.)
 - CPU が要求したデータは、要求があってから短い時間で CPU が使えないといけない、 (data requested by the CPU must be available in a short time after the request, and)
 - メモリへのデータ書き込みは、書き込み要求から短い時間で行われなくてはならない (a request to write data to memory must be completed in a short time)
 - 1ns に 1 命令を実行するためには、メモリは少なくとも 1ns に 1 回の読み書きができなくてはいいけない (To execute 1 instruction every 1 ns, the memory need to support at least 1 read/write every 1 ns)

高速機器 (High Speed Devices)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- グラフィックボード (Graphics Boards)
 - 例えば、 1280×800 ドットの解像度で、各ドットが 1,670 万色、つまり 24 ビットで表せる色、を表示できるディスプレイがあるとすると、(Typical display has 1280×800 dots and each dot can represent 16.7 million colors which can be expressed with 24 bits)
 - 画面 1 枚は $1280 \times 800 \times 24 = 24,576,000 \approx 24.5\text{-Mbit}$ の情報からなる (One display frame contains $1280 \times 800 \times 24 = 24,576,000 \approx 24.5\text{-Mbit}$ information)
 - 24.5-Mbit のデータが、例えば $\frac{1}{40}$ 秒毎にアクセスされる (24.5-Mbit data is accessed every $\frac{1}{40}$ second to display, for example)
 - つまり、ディスプレイに何か表示するには、CPU はディスプレイカードに $24,576,000 \times 40 = 983,040,000 \approx 980\text{ Mbps}$ の速度でデータを書かなくてはならない (To write anything on the display, CPU needs to write the display card with the speed $24,576,000 \times 40 = 983,040,000 \approx 980\text{ Mbps}$ without delay)

低速機器 (Low Speed Devices)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- **Low Speed Components**
- Memory Hierarchy

- Hard Disk Drive (HDD), Digital Video Disk (DVD)
 - ハードディスクについては、データ転送レートは 250MBps = 2Gbps くらいで、DVD についてはそれ以下である (Data transfer rate is about 250MBps = 2Gbps for HDD and lower for DVD)
 - ハードディスクや DVD では、実際に読み書きをする前に一定の時間が必要である (HDD and DVD require some delay before starting read or write, however)
 - 7200 RPM で回転しているハードディスクでも、1 秒間では 120 回しか回転しない (Even 7200 RPM HDD only spins 120 time per second)
 - この場合、読み書きをするまでに、平均 4 ms が必要になる (That can be interpreted as 4 ms delay before start of read or write on average)
 - ハードディスクは、メモリやグラフィックスカードよりずっと遅い (It is much slower than memory or graphics card)

低速機器 (Low Speed Devices)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- **Low Speed Components**
- Memory Hierarchy

- USB
 - USB 1.1 の場合、データ転送レートは 15 Mbps である (Data transfer rate is only 15 Mbps for USB 1.1)
 - USB 2 では、480 Mbps まで高速化されている (It has been speeded up to 480 Mbps for USB 2)
 - データ転送を始める前に、USB 機器と PC の同期のために時間が必要である (Before start transferring data, it requires some delay to synchronize USB devices and the PC)
- オーディオ (Audio)
 - オーディオ信号は 44.1 kHz の周期でサンプルされ、各サンプルは 16 bit からなる。すると、 $44,100 \times 16 \approx 700$ kbps のデータ転送レートになる (Audio signal is sampled with frequency 44.1 KHz and each sample has 16-bit length. That is $44,100 \times 16 \approx 700$ kbps)
- ネットワークインタフェース (Network Interface)
 - ギガビットイーサネットでは、最大 100 Mbps のデータが流せるといわれる (Gigabit Ethernet is said to transfer at most 100-Mbps data)

記憶装置の階層構成 (Memory Hierarchy)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

記憶装置には以下の様なものがある (Memory Device includes the followings)

主記憶 (Main Memory): CPU は主記憶にあるプログラムを実行し、主記憶にあるデータを処理する (A CPU execute programs in main meory and process data in main memory)

キャッシュ (Cache): 主記憶は CPU のスピードに比べれば遅い。そこで、高速の、つまり高価なので少ししかない記憶装置、キャッシュ、を使って高速な処理を実現する (Maim memory speed is slower than CPU speed. Cache is high speed memory. Since it is expensive, only a limited amount of cache is available in a system. A CPU execute a program in high speed utilizing cache.)

ハードディスク (Hard Disks): 主記憶の量も限られているので、すぐに使わないプログラムやデータはハードディスクにしまっておく。ハードディスクは安いので大量のデータを保存できる。2TByte でも 1 万以下。 (Since the amount of main memory has some limit, programs and data which are not used soon are stored in hard disks. Because hard disks are cheep, e.g., 2TB for less than 10,000 Yen, we can store large amount data on a hard disk)

DVD Drives: あまり使わないデータは DVD にバックアップする (Less frequently used data is backedup on a DVD)

USB Memory: 他の人とのデータ交換は DVD では面倒なので USB メモリを使う (Since DVD is too troublesome for exchanging data with others, we use USB memory)

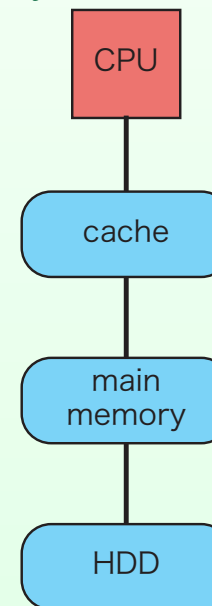
記憶装置の階層構成 (Memory Hierarchy)

Course Outline

Computer Architecture

- Computer Architecture
- Hardware Architecture
- What is the “computer” here?
- Central Processing Unit
- PC Architecture
- High Speed Devices
- Low Speed Components
- Memory Hierarchy

- ハードディスクや主記憶にアクセスできるスピードは CPU の処理速度に比べて遅い (The access speed of main memory and HDD is slower than the processing speed of CPU)
- そこで、以下のような階層構成を作り、早い記憶装置にあるデータは、そこから高速にアクセスすることで、できるだけ CPU の最高速度で処理が進められるようにする (In order for a CPU to process data with its maximum speed, the following hierarchical relation among memory devices and data located at high speed memory device is accessed from there)



- この階層構成をメモリ階層と呼ぶ (This hierarchical structure is called memory hierarchy)