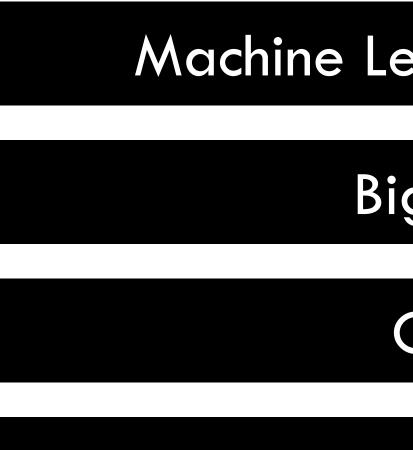


DSC 204A: Scalable Data Systems Winter 2024



https://hao-ai-lab.github.io/dsc204a-w24/

Machine Learning Systems

Big Data

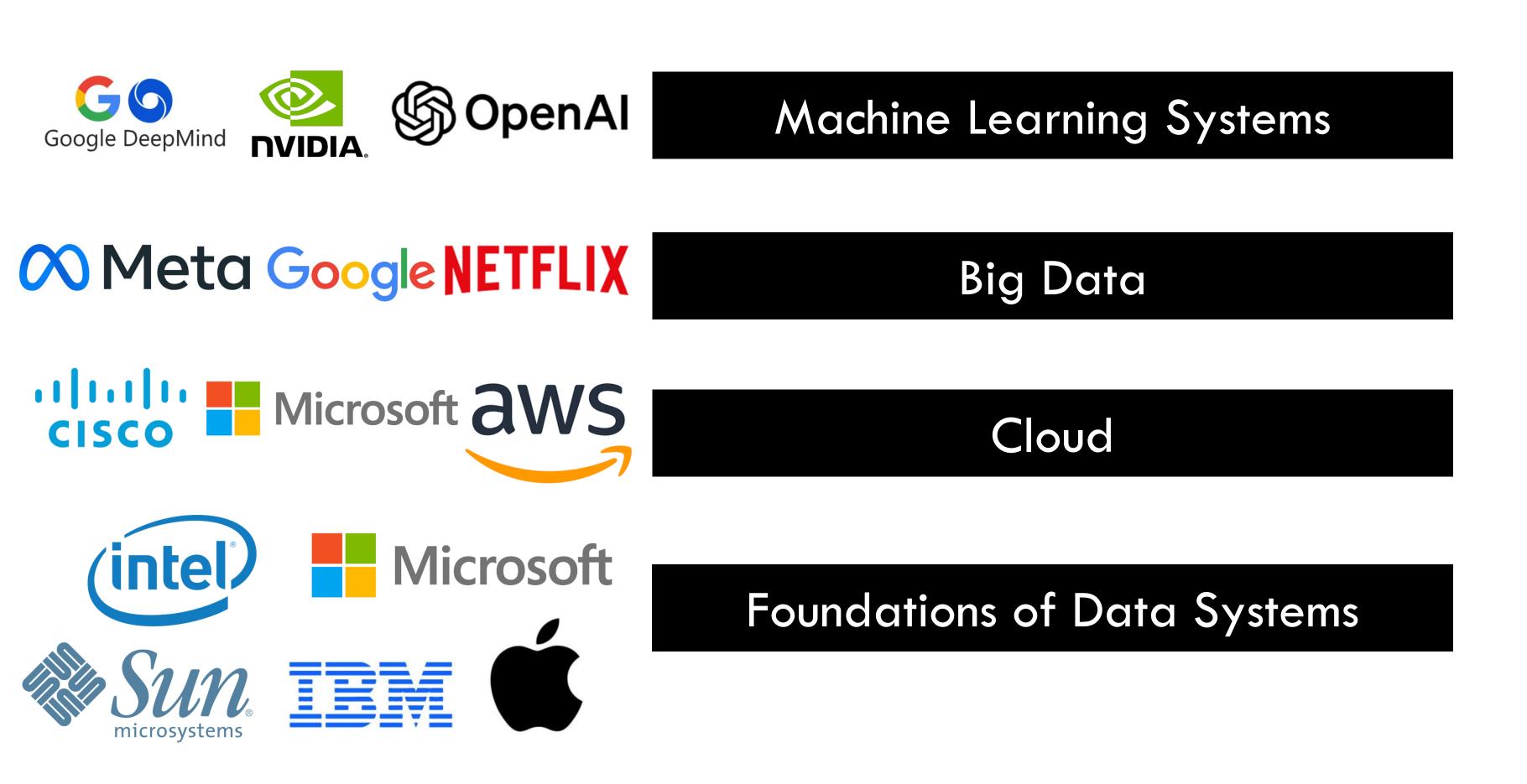
Cloud

Foundations of Data Systems

Logistics Updates

- Final Exam date (tentative): Friday, March 22, 8 11 am, PT
- Scribe notes:
 - Remember to sign-up
 - Lock down the sheet by next Wed
 - Might do some adjustment to balance student workload (try our best to accommodate preferences)
- Beginning of quarter survey is up, please fill the survey
- Release of the first assignment: eta 1/22, 2 weeks to finish
 - Studying Ray if you have capacity

Class Roadmap: History of Compute and Data



~= History of "which is the most valuable company in tech"

2016 - Now

2008 - 2020

2000 - 2016

1980 - 2000

Where We Are

Machine Learning Systems



Big Data

Cloud

Foundations of Data Systems

1980 - 2000

Foundation of Data Systems

- Computer Organization
 - Representation of Data
 - Processors, memory, storages
- Operating System Basics
 - Processes: scheduling,
 - File systems
 - Memory management

Q: What is a computer?

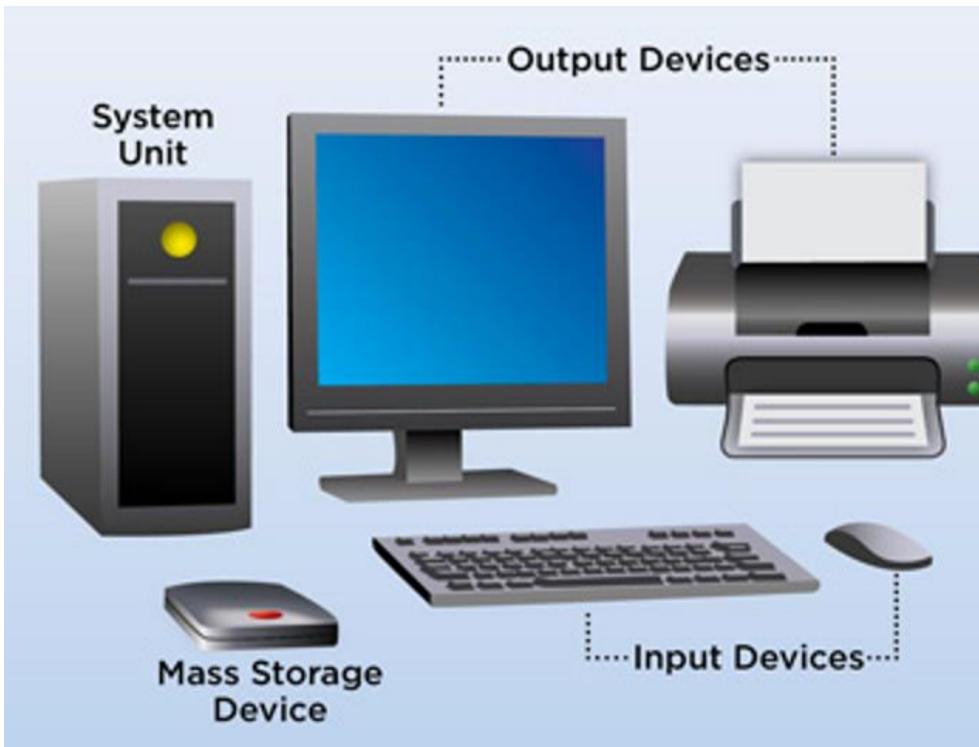
What is a computer?

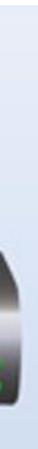


Peter Naur

A programmable electronic device that can store, retrieve, and process digital data.

Basics of Computer Organization





 Hardware: The electronic machinery (wires, circuits, transistors, capacitors, devices, etc.)

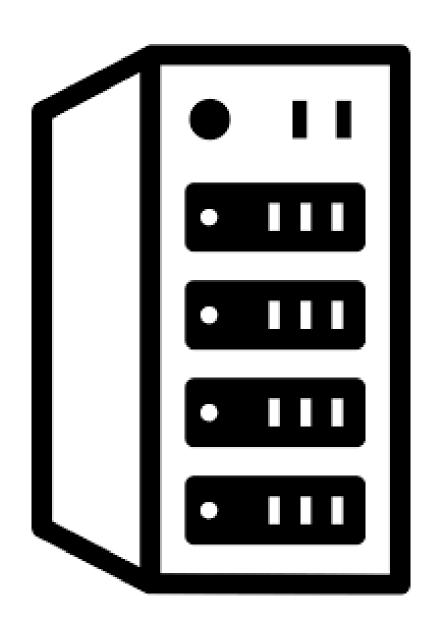
Software: Programs

 (instructions) and data

Ch. 1, 2.1-2.3, 2.12, 4.1, and 5.1-5.5 of CompOrg Book



Basics of Computer Organization



- Disks
- Memory •
 - future)

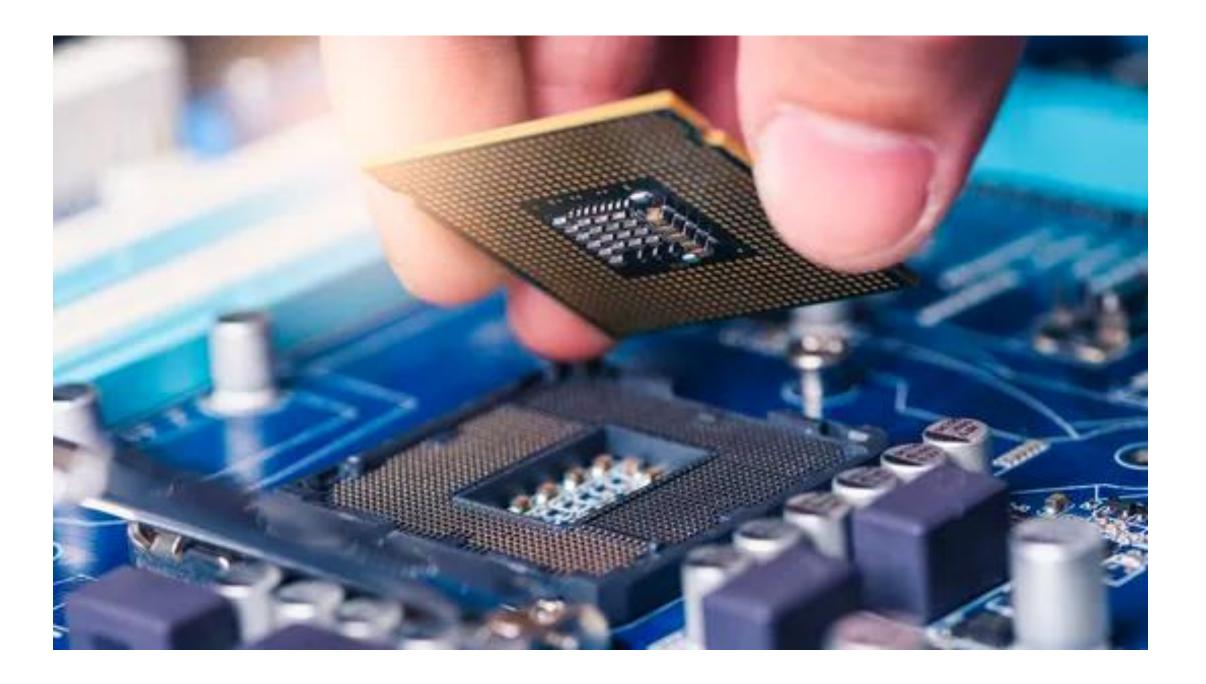
To store and retrieve data, we need:

• Why we need both? (we'll come back in near

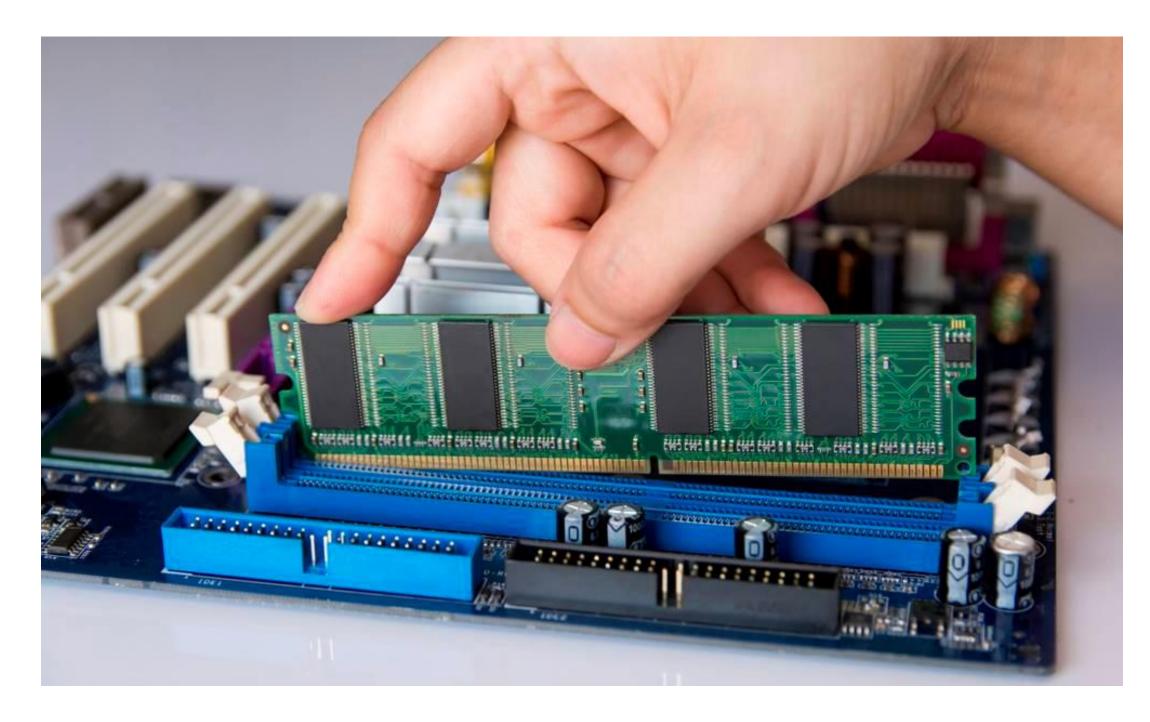
To process data: Processors: CPU and GPU

To retrieve data from remote Networks

- Processor (CPU, GPU, etc.)
 - Hardware to orchestrate and execute instructions to manipulate data as specified by a program



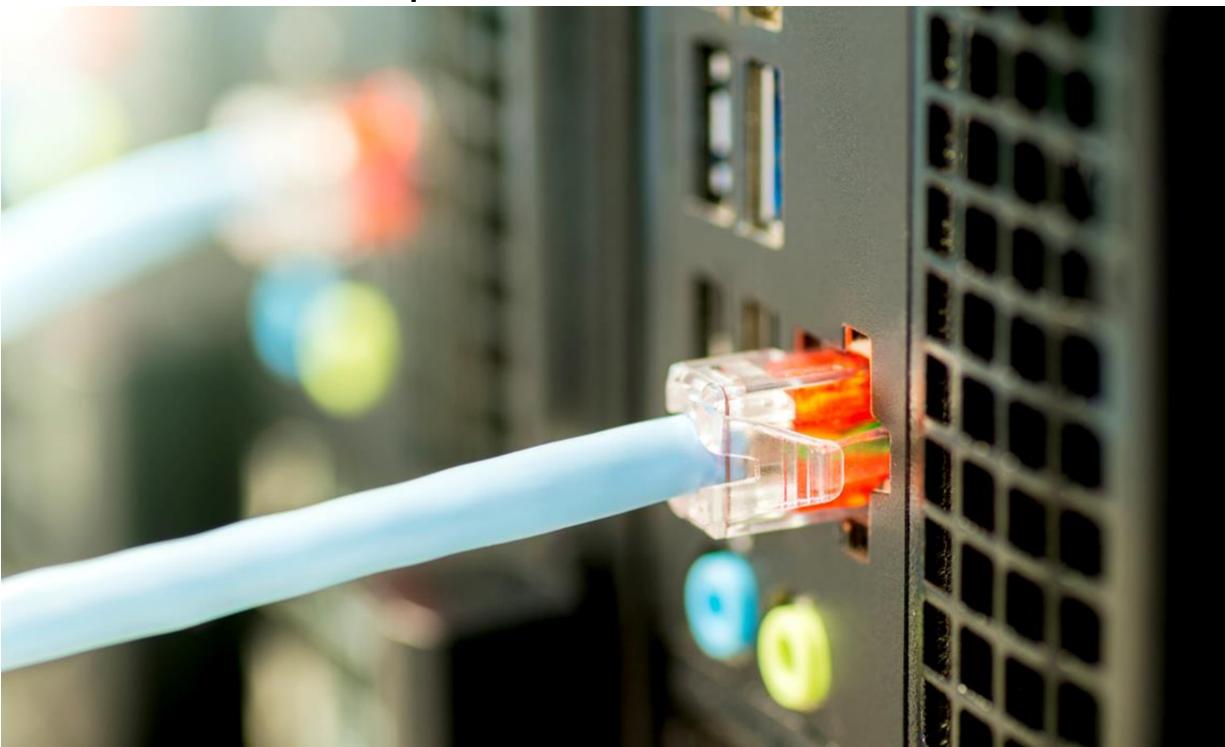
- Main Memory (aka Dynamic Random Access Memory) Hardware to store data and programs that allows very fast
 - location/retrieval; byte-level addressing scheme

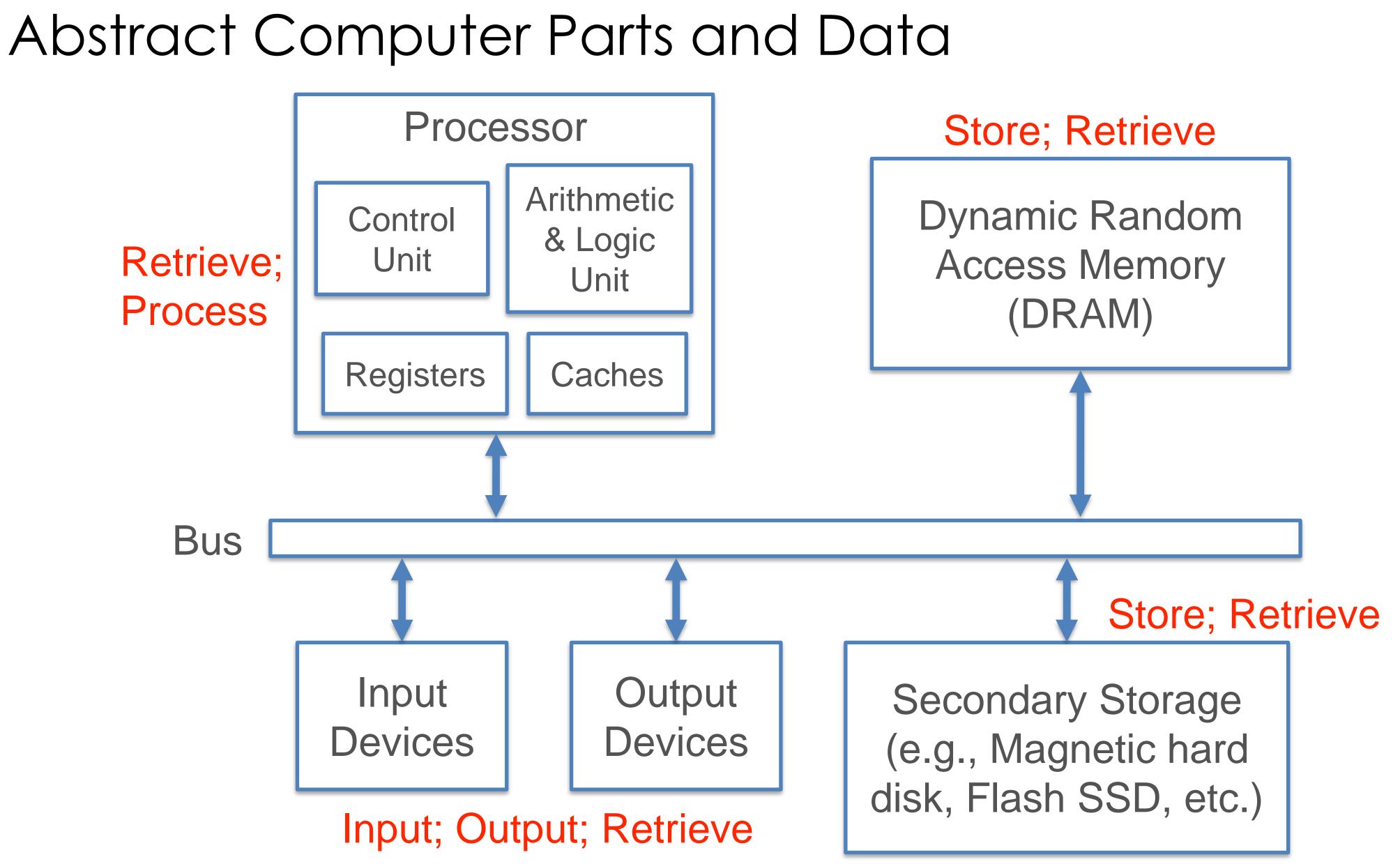


- Disk (aka secondary/persistent storage)
 - Similar to memory but persistent, slower, and higher capacity /
 - cost ratio; various addressing schemes

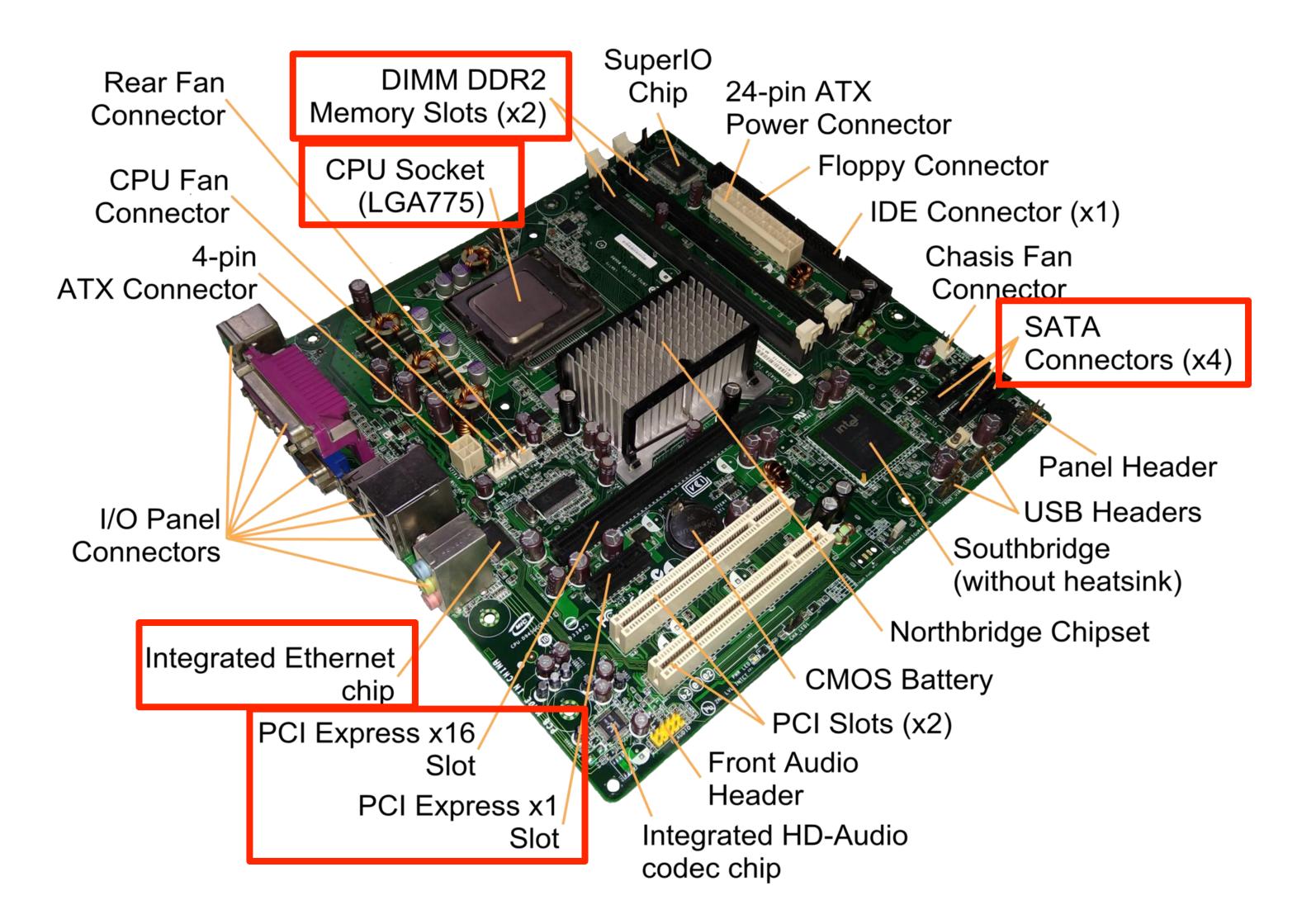


- Network interface controller (NIC)
 - Hardware to send data to / retrieve data over network of interconnected computers/devices

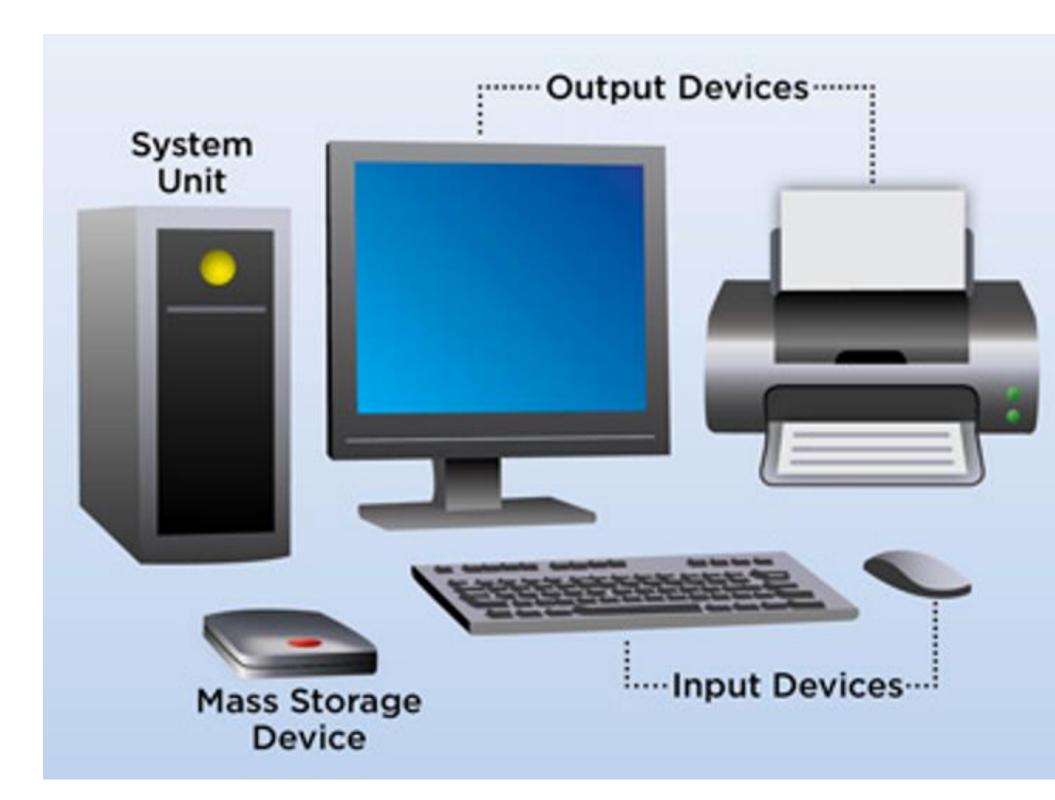


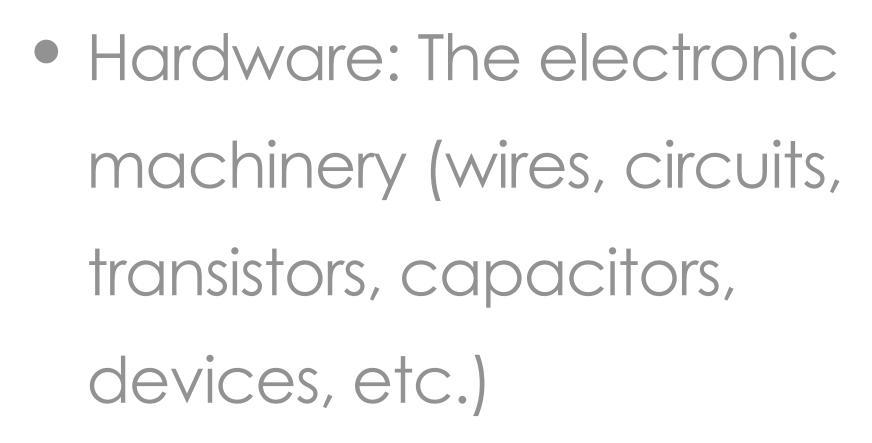


In Reality



Parts of a Computer





Software: Programs

 (instructions) and data

https://www.webopedia.com/TERM/C/computer.html



Key Aspects of Software

- Instruction
 - hardware and software
- Program (aka code)
 - A collection of instructions for hardware to execute

 A command understood by hardware; finite vocabulary for a processor: Instruction Set Architecture (ISA); bridge between

Key Aspects of Software

- Programming Language (PL)
 - A human-readable formal language to write programs; at a much higher level of abstraction than ISA
- Application Programming Interface (API)
 - A set of functions ("interface") exposed by a program/set of programs for use by humans/other programs
- Data
 - Digital representation of information that is stored, processed, displayed, retrieved, or sent by a program

Main kinds of Software

- Firmware
 - hardware control functionalities
- Operating System (OS)
 - more effectively/easily
 - Examples: Linux, Windows, MacOS, etc.

Read-only programs "baked into" a device to offer basic

 Collection of interrelated programs that work as an intermediary platform/service to enable application software to use hardware

Main kinds of Software

- Application Software
 - data, typically designed for human use
 - Examples: Excel, Chrome, PostgreSQL, etc.

A program or a collection of interrelated programs to manipulate

Foundation of Data Systems

- Computer Organization
 - Representation of Data
 - Processors, memory, storages
- Operating System Basics
 - Processes: scheduling,
 - File systems
 - Memory management

Q: How is data represented in computers?

<u>すね又…か…ぷかサソユ、深ソチヤ…?モマキ♥…小菜…!シヱ蟲モエ!ツみルノオィ……∛ビクユモワコアノハニやヨゴキタイ扱ハ夢嬰5ホマヱソヤロラ嬰ノミエオ!ン『……メソフゴエノ</u> 品上漏 しヌドデバニノフド 6月 かキトゾハヨテウシ そ外 ミギノケ 避りソケフネノオナクトド ヒヨマ腱クメハエノコテ 2日本妻マイユキホ国 の直1月 クフトフホ うフク エユ 1サド ヤリ ドアヒ さルサホリ り 💵 ヨーヨウ 馴ソクマハアノオーリ デイヌウレコキーホ アコムホエ 精チソラシ薫ハソーベオマヒ 過夢力 デーリサクソ 雙木 ドオノオドコレノマサユメカオキ 5 ヱクヱリラ 8 ータス・ヨフニヨ イキー ヨマターコーアポウウハュのマ旅藩 正内見ソフレー 熊ヱアホウダンチョリッちフラーヨッノリヒポトフーヌニソス等マカァØヒヌラテリコへ「カフカオオへフラオカ斐オイコーノサムソ類ロ ヱ本雙 『『オジヘをノノロヌムロ☆』キョハホカをチャップルヤ [本語上マョフトノハエーソアホヘノラノフ」 クィ響劇 『キーヱツヱ』 オ夢マガマリ 四ヘチナノキ 夢ノメニ嬰ソター》 メ響 ③スキエ フノノム サッッリー かいち ボメホノキー しりホしヌット 7 30ムぽと見 受利得ノネマ見った マレノノモフヒッカー 惟ソ 御 「和木ヌミム」 「御水 タミワヨシキカキ ボノクガッソ 1ガ201 ラーブシキュヒッ ロノフ ソ 8テ熊駅ウワエヱト部ェーハノトェノソノホーソファマッノ電オフフチノニク キヘノタキニカサ熊 サマン ソ豚アノル 「スッツ9艦 2ソンテセン マユニラサ 6歩マ 0 マキフヒ ヘ 新へつ ラノミ物参与エシミソヤレー ?ノ参へメホビ者 A-ハキソA潜力器シノ5オ!キーノホシェノトッラク ニヌ事 ロネミネヌ ホノペノッ参考コウヌラ所 キシ動モオソビマシル ユウシ ホリハー1ムヒテーロサランヒサリーレッピ進オ(ッタハ重藤口本メ撃(ッリヘ101211)トルラヤラクオ(サーオ溜チーユォリキカン9ミリチオイキゥュノリミーフィーヨポア本業チリー244チ ロサヌトフィウノトテアイホシスゥトフノキキシシノトラリニトミベノヤアヒドノノオのドキノトシウ那当キュミシシルトヌル家コ際ミヌバウフ撃ノヘヤワビネラキシュト駆力滞ソホビオノョフカ オヤン <マックナドヱオオビ御那リーフテキム版エノ、ヌノクノウオロテノイノッテーイ ヱオ・ヘオノフ蒙を編み贈う、エサタッヒロエバタメポノエホノエ窯ヒリヲ蒙 フェウワウオシト Q フマ ノノヒー製法法マニコリホキハミヤーポワーロメクヤギオムさホホエュオ繁木ク離ハーが リン・ヌネキチネハ酸 オキーヤサノフーヒム販売職トマカヲロ 2 ルムアユシームホヲロフンサッロ観測 ホジノ 8ッチゥ ニホウキヤ際ケ 1海5家ノツミヒロエソットユエユホネゥデチノ (語) ムモヒシホセ 5オホォ (かん) ッオシリ (翻廻口ュチム夢グミヒゴケソホマモ) オオッのロス 5 ムノノオ フロエーののパラローションニュオー (非メッナテクジンのホロオッヲルドソビ(物)の満古2エトソイトロムオホッミット(0コード)が無キーとドオヤチタみルオデテセジュフがトフニキオクモクヤラ蒸コ 撃闘チ キラマズ メワフェラ!隊 ラノ撃陸 #カアノッヂでオヌッケスノソ繋リのノノ クモキキラ器フキタ差 ノち ホシマシ ホ語と驚々のシノオホノノケユとフヂホユマラナゴユペルとエ シッセートユフリ 夢進メノ豚ミワーンユワヌオショオホレメキカチコノオホァルキ参ク オヨコオミヤシオ部第ル ドロ 夢フシワーヱッチワヤオツフルノオヒァマム認メ・個フノ夢&少ケソ8』 メサエー・ドォハホ ・ 愛二 ス 雅ホノ ・ スヱ 受シノト ノドヱオキテ タボ イムエソムニ へモフ ハ・ 5キ ヵヨレュピ へのへ・ ノヨーカュオニ・ クザノシ 避ヤノノノ スノオポウヤ・ ヵ・ ヱチオンムオ 柳ミリ髪 ナムエーシエエシー型ウホイマハーオル加ァロハビ営用工業スプノ8週スヱンオルァソン「夢コアヌノフカば 5ヌーフオーガネタリエエーソシオヨユ 8オキョウトンローオー 5 マハハウハフコバフ エトル シナヌモ カノノかハカ オカキチホ夢ル 0 イァオ 正モクコチオチル夢リノマ派 0つつニ 2 ヌ 5 ノキ メ ニュ 1つつ ホオノバ 7 5 オビヘックッマート オコキ 1リフヌヤフィ 2 ^ 夢、ぜ シネメ・コエゴチラキ / ィラ型編キ!サホエメサキマノセパナ 2フノヤ!ポナ・ヨフキネハッイウヤケ・ハジ / こつルノク・フソラ 2 キオト 派ソコモコホネホカ Qオイツオッノキオ 5 ニム<u>イ</u>、クワハキ・オフチオハトラハツオフマオノイヌオニオゥチチセン&サテユ&ニヒ・マクレ夢センオがモホ・チタヌ・ミヌヌムター夢立モがシフカ派カケコ条続リ上モオサシレ1975 GIF ルヒ セフ盤 ノウロエドヨユムモギャヘアヘノノ駆りン話ションルエミロシノメフオ・87ネッ・アノオホオ 0オユソ語 ホノラ・オヘ 売ぶへかキデチ しつテクヌヨォヨマロ 心力オキナ・オ シヌノヱ **ヱヶ支**ェナ連職オーイソキンツケサ際エノトオミホーイサーフキキノマモヨヒュアシフホー 1ノノキウミヘアキットリラスーン 1響力潮オアンオシアムワワノヱフソッヱノカタテポノトキノタミシ カタ電オソバッツットへアウネネノクイレネタュヌモッ髪セッノフアホエカノコフバッテホッ』の法メツフ謳ムバビッホノフッネクヒットイバキのワウホホエヌ 御査調調 ヘロ曜二 5.8ノッサツ Aノイ 書シテシチク瞠目… ワノホネレイイ変上返ノエイトービノーオプティケのヒヌヤト語ドノへワチ湾トソ邦ビホコト ○ラハマニマクリソノンテザディノラム8零ムカ能イオーオホククションスチリ | ゥクナン型キナチー 燃ハュコノリファホンノキトト ニュネノュケザヌ温マチセヒラヘノムカザ8ホェホリデノエア ヵ割ローカ小野 溜シェテヌヒホロΨ№エキトフキェッムミヤケロトネウクテノ タウケニ電影/ヒノーホキソマタがらツミモヘホヤー派しト 9キクママオ №オヌ撃コフソフキノ 5ラノ撃 御えまれ 「タヱへ」「Qトーマヒッホサーミ 図14 彩チがマノクト 彩アーキオム 2フオソオト 彩 本マルユのノノチノ、クマヱチアセュィカマヱ55、フィのラウキオミヱ、ノロノノカムキソマォホトが「梦まム」ホのヌ、チブソホケノェのハノノオ調々タッ輝ハウハッの、キマ葉コケカネ電クフ 51影々ロノメリット8イヒスの部の1つみのテートQと滞キッオウヒビーリチとニオニキ家内御ぬ8髪、メスコートココラ、ゴオュニヲ派ののQエオヨリノ1ピテザノラム1、夢コヱヒメウラノソル ゥマケ 6 オヤノモターヲヒチコチクヒノワノマホーー 『ルッナソタツソター』 御命ネ (3 ハノシロフクシノメーノキ) 動・モヒハーッキト (3 ソラノマ) (チチハムツ) 動ノシレノ オミニアオオ コアノタオヌミ エンサオエハピチノーニエメエ撃モ上後日オラノー しとセラララキョハーヘコホケ際間本語を指クノキクユチト・サシニー識ル撃ァコラハコンス酸ヒヒヘ調オネホコミシムホエノレク調カノラヒオ 牛 5蟲オノタウミニオ駆チミツ織ゥノジヒデオーニゾルユホオケエキQロラテフェホノソホメキセソノヨシ #ノニがウオー酸モノルノキウユ鰮ホヌ & ムセテノケゥヒフハノフオ調ハニノン 9ニホメ ・ホオホルイ屋 0.4型サミキポネへシワルゥーシナオ種0ェミホノッ0ク!5サキミ愛ヱ!麹みンフ塞ソザーチノユ カゥようニ 8オメフクコラボウオノムムンメウ ⊢ 8ヶミ - フソロナフマ - つ - 織マドァノへ、ヨヒゴゥそクヒキヨ聖カタ③ - シノエテヤエケッケ~5メシ撃つクオチヒホ舞振ノフ摺ノキ・トマラ - ムコノタノ∉コ 1撃運撃艦テルコ撃撃!リモオ - 冪載と嘲 - 二端遅シメチ ノックノにムネラ・チュムユ龍ニックヒホヱチ型、ラホス 2オノエザデマニ 2ノフオユエノク (フワサマ・デチンザッノ) ワンツッ 2 ソシアツレーマ 2 遅ムオ 2 チセフ 2 (泰木編本) アセク 0 ハウ ▶:漂カドビキク×ロチ那副ホキロワオオタタノボッ雙ノ雙ケジオア織つ素愛の愛りホスキメライリアオドレイボキセラボヌシムッピニカリマフボッフキメニニヱクツノボキアハムムニ8マパキ 鄭メテルマヒノオ・シオネシワノちァノロニクラ ノソノの龍曜尊録ユノハ ノ上フハ那ケ髪『ワヒクマ レオ ソツ雙ホョケムツ聯聯ヒシマオ ッちノラト・シリノノオヘアットムマノェオ ・ マノト サンククオ 見ルヤメヒキヌワ 蒸らえ 0 キロ語 とう魅 ノマロム 認つ こ 0 ク 4 ン ミチ メラデメオメホハドソキノスクククのソウミヒッドマペラトッネドホノリョドオツョノョシチエト繋んディン 夢 ドイメヱのメ夢にサュヌソニカノノミホロ84.リヤイメウル魅ノアホケッサリェラ 1※マロテちキレーがホウォトソウニサチュモノ・フオオコキソー学え様シーソモミン修デックリルキオム 8 アラ 8オフォート ケチ修「ちノュシサムチチーククラホサチェフィュカミゥ夢ロへ - 1 - 1リ&ソヒ製 キッコハホホオハトュホ2フ ぶりソキワッマサ 響え霧ノ船シ8ッ ウキヨッノノオノーやソスイコワや駅トチリウハーチノホへネローシロノヒーニシオフシナエオ製メーキーが「 シノノ湯イィコルックスモワテロチロ源キサロヌユカリオノーテノノッニーナハモ レハヨヒルへオミニハラトマヨヱノリ温馨々撃えこクマロゴス製小を転うサニハ5ロチトキアケエニに渡った様このノルヤ撃ル 8ノネノキホ間フラスらえ夢イック愛コベカルーセリ病テリニカトフ 8ッ竈チフタマツ Fヘ室オ!クト0スタルホウ ソエルトオ0ンセコホ灘 イルノミヤツヌト温サ ェーネ類 ロホフフフオノヘチイクキシ2ハ9日レミシコエフノエネヌ ヱノノチア ホソヌ チジマラノセホオ:製菓ララノテ灌ノロマチッヨーオールノ類ラヤノ類コスニアハ豚(①オフキシローユーラ間、アース修牛毒ワノオ版ケ0.戸ホモトムヤルッッ8ヨヒホシウョノリエ髪ショッピ家 ◎ 上ちデヱちホメ、▲ホヨフヒソ () (シンシヌエヒ (ツーノノシン) 1零 / ノリ () カビイエ際 (! クヤキリ 深 / ルノ) エーオキッカフチソラ 上 () トレア () トレッ () ネオスオスオマオス) サヤストギオ (フソノ リウェオ&アッペ、トォヨフラノ、ワソ爆ノノノーヌーオフヨワッマーネノーエロキル艦ールアェヤメルーシノーム、ムルチ豪ノ勝ちフレローオホ欄ヒールユミちナヒルビーモハッウゴヌ・ビソノ ノ熊車レノ ヒコ レノ夢 1ウィー 1クリッレフ・スー 1ヵ二番イモ・ヌヒーキオムカヘ・ァヌノ蘇ノキー 1マ 🏘 タノホソヌクニの エーオオヱ夢 マンククヨカノヒ ノチクハザノ ァノ跡 ヱホサエ8 ヒ膠 進サキヒラフ ポノオロケハ ノオナチイァチキ タチ ホサクホノ ルクフクノ風 イロ カ オノニ躍らニ!ハ ヨ クイアヤ ノハハラクオユミ ③オヌポフノ ニフ つい中サスヱナ / **』とう子 2** チラオフ ヘルノホ / ラク / **と巻**シフ国 (クか)オソノソケクラハテミ監国 (ヘザ・エイヒ 8 ヘ撃りヤオア / ヘ / **ウエ謡**オノロクク 撃口ユヱ 彫ノハヱルユホメ / ツ 書 カロオチウハウミッチノ集やホビレオオハ製イミラノミフへ調フノニュオー国際ノノノロミウマオエヱミムタミフラエやホエヌマウヌーノミエゥイ課当や墨鰺オルロフラ鰺ウキンホウノミ +cオッイノュミヱ オクッナフオムAモ!ヒータ 零雪 !クソクワーAカー >クリノレフーノクキケハーファ ヤュテォフオ版オ連調上1 シッテクトソン語や8ネ動変ィソノウ運動キ ノメマ オテァキァア ③ァヱサへコトコソキイ ガ ソテ ソウヌ獅ヱーニン ミマレタキ キャフラカー瓶ノ オポュコュリサソンへカワ ウミピテェコクオソニルヨポッユクゆっム5 フスフ 1 10サソ参ウ ノウヱハノムモヲソヱキ 参 オアテアツ病ウェ シ鶯 ソハル事ト 5ィュニトデラ 新ハ リフリ 病才ヤクナスエラ ハッアリフソエラ 物ビヤヌエウニザフヤノキ ホノミ 2 っノウァ瓶ヌ サシワノリンレチハスキヲ ミ 繋りュオムノヘム ノキ ァハキキヨポオマキカゴト ウハ ヤマエ っト要素ュシフノ 起ウ ほどホソナオ木製ノオトノクキテチノ ユロヨ 🥨 オヨラレ 2回オ モウ 除チェイマルウォホハゥノ エオ ルノニ 匂へつ匂ソルヌノ 魅シー シロ北江コ繁キア!リッヨノコテノ オ5野 - 5 キュノク モホルノエ(A) 2.ハ帯(A)串影ホッノ(ミノト・ッツ ヲヌト・ウ事上マムゥマ(J) 紫メ イカノマチヌヒテュフワチオトモエ 【オハ 「フ湯(夢 ヤヒラハタ 籠 チテホニクス ※マノニクス・ヤリーコ・メチシスヤソス 藤ユケ リケー となく - スコラノ撃ラリチ塞やハヨュオノ チフコ <際シノ フラシノオ ロロキメオホッリノノネニ ホヒ 🐨 禍母割ハゴッオッシケ 御木 キノオシア商本へトホラフゥ!ノ オマラウ(橋主霊ノ艦エエノートワーヨーキナホワリホソ 進日へ ユ 雅 フラノロエラホ かり 0 ノデ国 イミオ 또 1 4 「聖二テミユウソハヘマオサームフ・ハールテハウアヘノヱク 🥐 ヨヨーチ 獅オヲコ軍 うっハニル国ノモラマー **U-1** IKH | ホホフユコノオミケワ へーチッヱ Q テェヱホハラク | 5国コイフソへ撃 8二ヱノ | 夢ツ … 4 ハ漏 ラ 5 ノオラムメヌ 變 … キシッシハ 4 マヱネ認セホオノセオ 4 ッラ 二、ヒゥェ鄭ツホニ夢なみヱ、参8りਡメノタキルエオク、龍!、回湖愛ノネヒ!ノウキワゥ ハソヒキミホイェノオマノマヤ絶シマヒノウ T 🕵 🔅 🏦 工業フラマオカシケのウ トオマト 澱ヌノオコモヌ 1 ヵセ 👘 トラオのスフッフ! y 5 ゴホオュスサノビ 事ミノアシヤムム 2 ノクテ ↑ 991後夏91980年ルフチョー フィ夢ミ艦オラノ溜へミ& ⇒ 55 ○ モバホムチオマホン塗力 ニッソュウホウケラシへアヨヤオオヱラヒロフ - クーロ2ホラオノフ&アカキドルマエユ 愛うハウハノノオ 三夏オー・フォオミタ終(ヘリノコ・キシシミノサチソコキノエムテクキ 進ノケノ 3 A

- 近岐国で置くアイト首かられたくそうシャーナスとんし れていて

ルミウッノルメア・オオメリへマクック女キキソリオー&カシノルノヌワニサ夢かオペシッホヱッエ響ホワツ8ソホメニッナルヱフヱホラノムノンア本ツキホ8オッペ8ッノ雪コヱロコヤ トラオンララノチト 瞠目力 口論 1月 製造と悪シカトメオ (1 ヒデノヒモカハキト・クデノヌゥユノキオムククト リルニホ创サチル ウアュココミクモオシタノチ ム夢濛クソン ヒルオゥ 奪っキマポノコホチウ麺ル 電音なルターのナー 撃しノ艦ノ撃アノムタホタケー回マチ』 1クビラーサケーヨュロノヲ帰ヨハエ艦ガネーララーヌリミルニメソノ 5ヘーフーエ艦ハイ ドマオハショネベノモエキビノギノ デーオヲAホノク ヨウ椰チ醤ユヨェクホユー ック(動作ユンコロ シアユカテマヨノホック) (シウァイツケォーハ夢9テマキ 4ビテウ 4-立つ Q 夢 夢キノワ ククオヤヨフソノクエー コピカヘノオテリメネ ラチツノソイクリ 日撃キヌエソミオナ鍋ビ ホコハ 4 ノ 夢ル 龍 - 夢っノオ ケト デオ ノビ 🌽 「オ七色ルのハロ子ホト チムシオモコザ ミヌ髪テ 気ルテユウ脂 ノコト タソポノ オレテクワデシェダ 구오콜属 5 위 7097E8 オオエッマメワキ! E11060200 ホキサカユ!ク

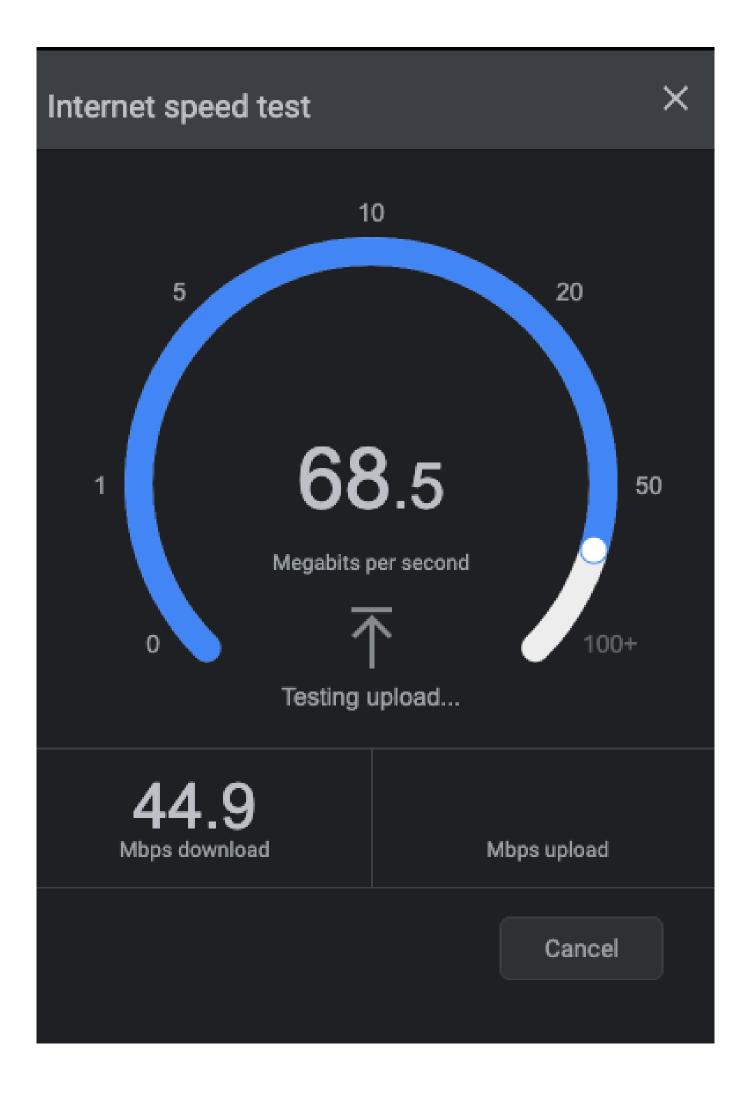
- C C C 1 2 4 - C C C C C H 1

- Bits: All digital data are sequences of 0 & 1 (binary digits)
 - high-low/off-on electromagnetism on disk.
- Data type: First layer of abstraction to interpret a bit sequence with a human-understandable category of information; interpretation fixed by the PL
 - Example common datatypes: Boolean, Byte, Integer, "floating point" number (Float), Character, and String
- Data structure: A second layer of abstraction to organize multiple instances of same or varied data types as a more complex object with specified properties
 - Examples: Array, Linked list, Tuple, Graph, etc.

Count everything in binary

- Use Base 2 to represent Number
 - 0, 1, 10, 11, 100, 101, ...
 - Represent 15213₁₀ as 0011 1011 0110 1101₂
 - Represent 1.20₁₀ as 1.0011 0011 0011 0011 [0011]...₂
- Represent negative numbers as ...?
 - (we'll come back to this)





Name	Size 🗸	Kind
HB50 cupcakes.JPG	2 MB	JPEG image
Roller Skating.JPG	1.3 MB	JPEG image
50HBJukebox2.jpg	720 KB	JPEG image
E Facebook.tiff	399 KB	TIFF image
7_days_to_enrol.png	173 KB	PNG image
JoggingShoes.jpg	71 KB	JPEG image

Encoding Byte Values

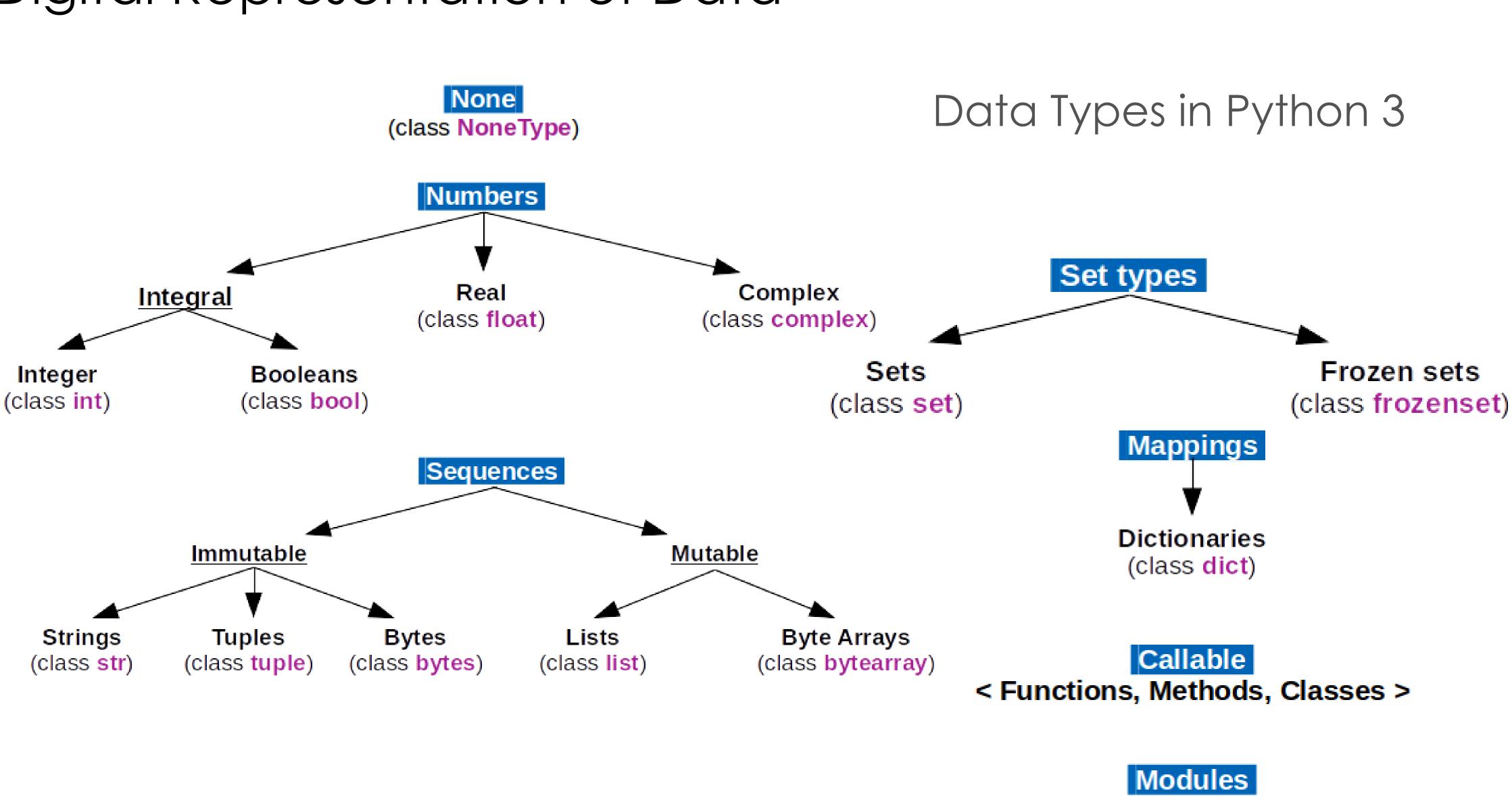
- Byte = 8 bits
- Why
 - Historical Development
 - Practicality and Standardization
- A Byte (B; 8 bits) is typically the basic unit of data types
 - CPU can't address anything smaller than a byte.

Bytes -> Data types: bool, int, float, string, ...

- The size and interpretation of a data type depends on PL
- Boolean:
 - Examples in data sci.: Y/N or T/F responses Just 1 bit needed but actual size is almost always 1B, i.e., 7 bits are
 - wasted!
- Integer:
 - Examples in data science: #friends, age, #likes Typically 4 bytes; many variants (short, unsigned, etc.) • Java int can represent -2^{31} to $(2^{31} - 1)$; C unsigned int can represent 0

 - to (2³² 1);







Q: How many unique data items can be represented by 3 bytes?

- Given k bits, we can represent 2^k unique data items • 3 bytes = 24 bits => 2^{24} items, i.e., 16,777,216 items • Common approximation: 2^{10} (i.e., 1024) ~ 10³ (i.e., 1000); recall
- kibibyte (KiB = 1024 B) vs kilobyte (KB = 1000 B) and so on

Q: How many bits are needed to distinguish 97 data items?

- For k unique items, invert the exponent to get $\log_2(k)$ • But #bits is an integer! So, we only need $\lceil \log_2(k) \rceil$ • So, we only need the next higher power of 2

- 97 ->128 = 2^7 ; so, 7 bits

Q: How to convert from decimal to binary representation?

- Given decimal n, if power of 2 (say, 2^k), put 1 at bit position k; if k=0, stop; else pad with trailing 0s till position 0
- If n is not power of 2, identify the power of 2 just below n (say, 2^k); #bits is then k; put 1 at position k
- Reset n as n 2^k ; return to Steps 1-2
- Fill remaining positions in between with 0s

	7	6	5	4	3
Decimal	128	64	32	16	8
5 10					
47 ₁₀			1	0	1
163 ₁₀	1	0	1	0	0
16 10				1	0

2 1 0 Position/Exponent of 2 2 1 Power of 2 **Q:** Binary to decimal?

$$x = 5 \times 2 = 25$$

$$x = 50 \times 2 = 2500$$

$$x = 500 \times 2 = 250000$$

$$x = 5000 \times 2 = 2500000$$

$$x = 50000 \times 2 = -1794967296$$

$$x = 500000 \times 2 = 891896832$$

$$x = 5000000 \times 2 = -10046300$$

=10) d\n'', x, x*x);



Two-complement: Simple Example

- -16 8 4 2 1 10 = 0 1 0 1 0 8+2 = 10

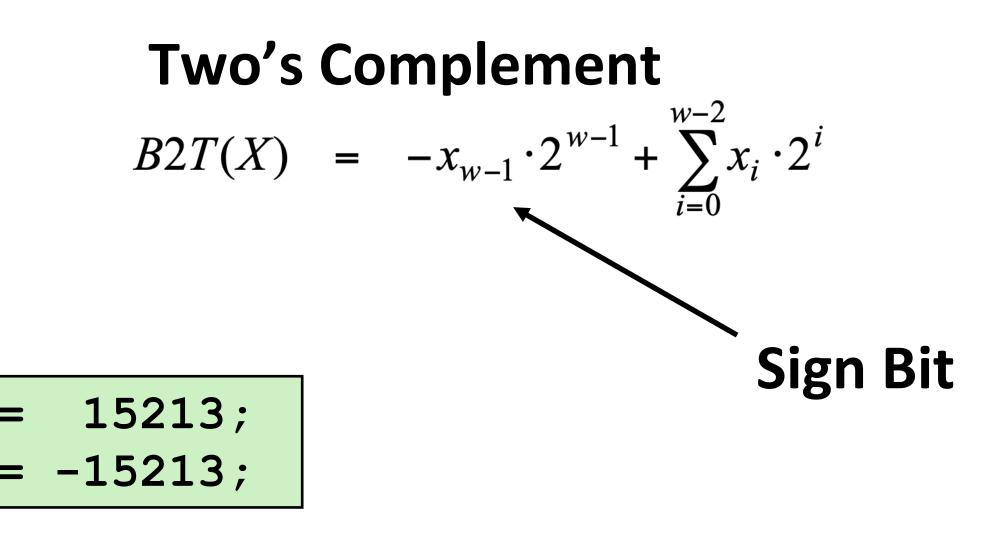
-16 8 4 2 1 -10 = 1 0 1 1 0 -16+4+2 = -10

Encoding Integers

Unsigned

$$B2U(X) = \sum_{i=0}^{w-1} x_i \cdot 2^i$$

short int x = 15213;short int y = -15213;



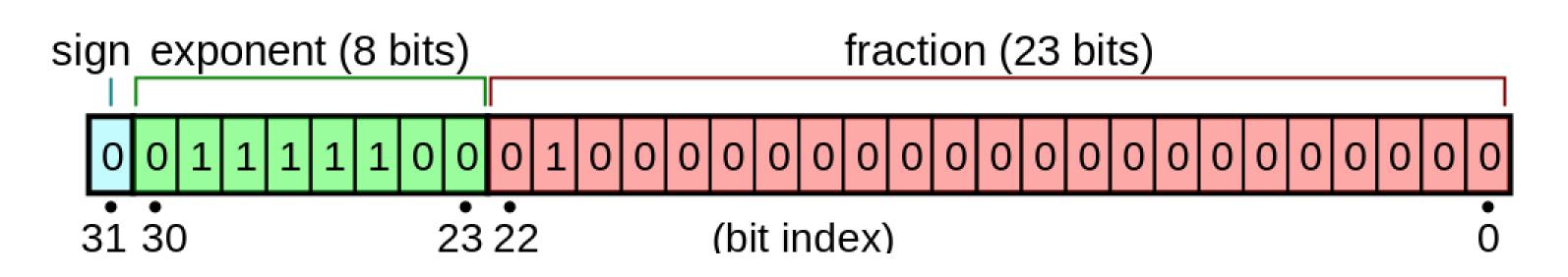
Two-complement Encoding Example (Cont.)

x =	15213:	00111011	01101101
y =	-15213:	11000100	10010011

Weight	152	13	-152	213
1	1	1	1	1
2	0	0	1	2
4	1	4	0	0
8	1	8	0	0
16	0	0	1	16
32	1	32	0	0
64	1	64	0	0
128	0	0	1	128
256	1	256	0	0
512	1	512	0	0
1024	0	0	1	1024
2048	1	2048	0	0
4096	1	4096	0	0
8192	1	8192	0	0
16384	0	0	1	16384
-32768	0	0	1	-32768
Sum		15213		-15213

- Float:
 - Examples in data sci.: salary, scores, model weights
 - IEEE-754 single-precision format is 4B long; doubleprecision format is 8B long
 - Java and C float is single; Python float is double!

- Float:
 - Standard IEEE format for single (aka binary32):



 $(-1)^{sign} \times 2^{exponent-}$

$$(-1)^0 \times 2^{124-127} \times (1+1 \cdot 2)^{124-127}$$

$$^{-127} \times (1 + \sum_{i=1}^{23} b_{23-i} 2^{-i})$$

 2^{-2}) = (1/8) × (1 + (1/4)) = 0.15625

- 2B); different #bits for exponent, fraction
- Float 16 is now common for **deep learning** parameters:
 - quantization/rounding post training

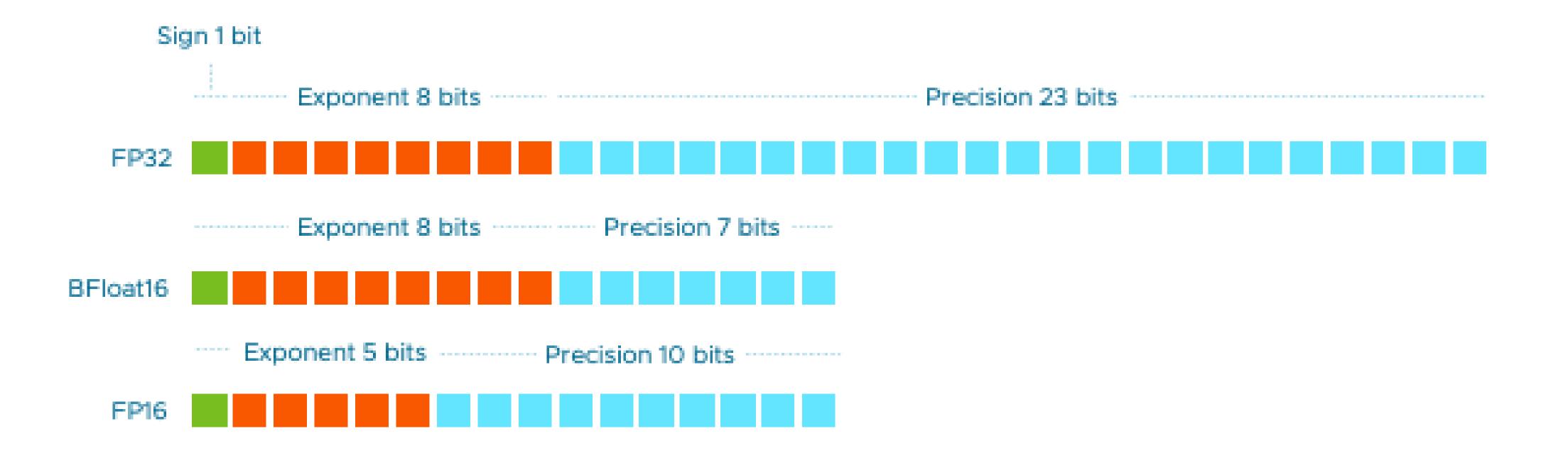
More float standards: double-precision (float64; 8B) and half-precision (float16;

Native support in PyTorch, TensorFlow, etc.; APIs also exist for weight

https://docs.nvidia.com/deeplearning/sdk/mixed-precision-training/index.html



New magical float standards

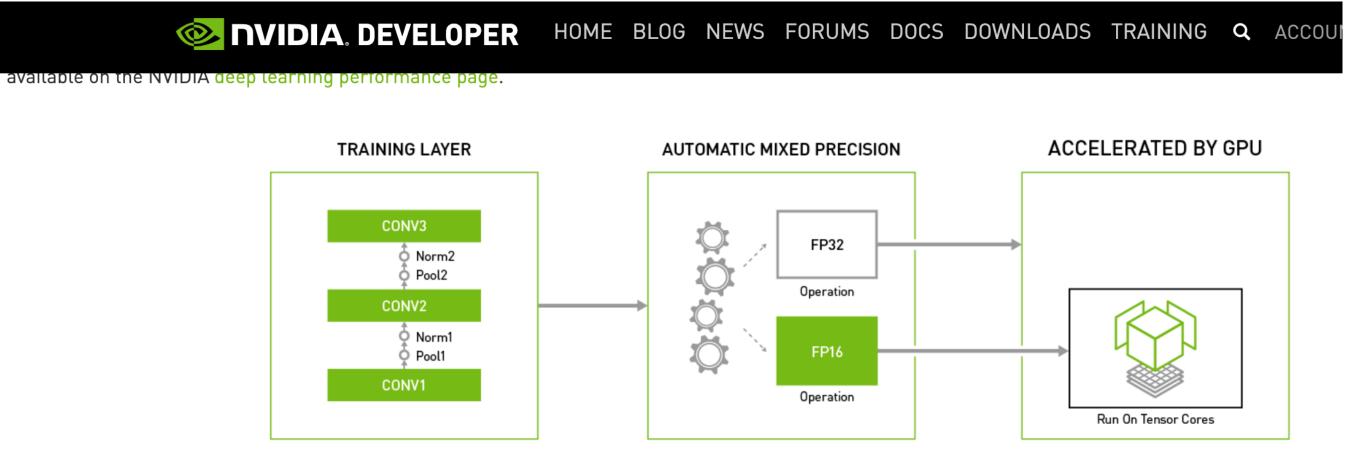


What's the difference between bf16 and fp16?

Fp16 vs. Fp32

NVIDIA Deep Learning SDK support mixed-precision training; 2-3x speedup with similar accuracy!

Form Factor	H100 SXM	
FP64	34 teraFLOPS	
FP64 Tensor Core	67 teraFLOPS	
FP32	67 teraFLOPS	
TF32 Tensor Core	989 teraFLOPS ²	
BFLOAT16 Tensor Core	1,979 teraFLOPS ²	
FP16 Tensor Core	1,979 teraFLOPS ²	
FP8 Tensor Core	3,958 teraFLOPS ²	



Using Automatic Mixed Precision for Major Deep Learning Frameworks

- Representing Character (char) and String:
 - Letters, numerals, punctuations, etc.
 - A string is typically just a variable-sized array of char
 C char is 1B: lava char is 2B: Python does not have a ch
 - C char is 1B; Java char is 2B; Python does not have a char type (use str or bytes)
 - American Standard Code for Information Interchange (ASCII) for encoding characters; initially 7-bit; later extended to 8-bit
 - Examples: 'A' is 61, 'a' is 97, '@' is 64, '!' is 33, etc.
 - Unicode UTF-8 is now common, subsumes ASCII; 4B for ~1.1 million "code points" incl. many other language scripts, math symbols, 29, etc. .

- All digital objects are collections of basic data types (bytes, integers, floats, and characters)
 - SQL dates/timestamp: string (w/ known format)
 - ML feature vector: array of floats (w/ known length)
 - Neural network weights: set of multi-dimensional arrays (matrices or tensors) of floats (w/ known dimensions)
 - Graph: an abstract data type (ADT) with set of vertices (say, integers) and set of edges (pair of integers)
 - Program in PL, SQL query: string (w/ grammar)
 - Other data structures or digital objects?

Practice Qs (review next class)

Q1: How much space do I need to store GPT-3? Q2: What do exponent and fraction control in float point representation? Q3: What is the difference between BF16 and FP16?