

Indira Gandhi Govt PG College

Vaishali Nagar, Bhilai

Department of Computer Science

UNIT I — PART B

Computer Fundamental & Operating System

CSSC/CSGE - 01

Fundamentals of Computer

Detailed Notes | Processes | Examples | Diagrams

Head of Department

Suresh Kumar Thakur

Asst Prof.

B Sc/B A/B H Sc 1st Sem

Unit I Part B: Study Guide

यह booklet आपके Fundamentals of Computer syllabus के सभी topics के लिए है। सरल Hindi-English में concepts, processes, diagrams, comparisons तथा solved numericals दिए गए हैं।

Area	Syllabus Coverage
History	Early calculating devices, mechanical/electronic development
Generations	Vacuum tubes → transistors → ICs → microprocessors → modern intelligent systems
Types	Analogue, digital, hybrid; purpose and digital-computer categories
Architecture	Major components, CPU block diagram, instruction cycle
Processing hardware	Memory addressing, microprocessor, single-chip microcomputer
Interaction	User interfaces, hardware, software, firmware
Representation	Number bases, conversions, binary arithmetic, computer codes

5 और 10 अंक की तैयारी

5 अंक: Definition + labelled diagram या table + 4-5 points + example। **10 अंक:** Introduction + parts/types + step-by-step working + diagram + advantages/limitations + example/numerical।

Basic Terms

Data: Raw facts। **Information:** Processed meaningful data। **Instruction:** एक operation करने का command। **Program:** Instructions का organized sequence। **Computer system:** Hardware, software और supporting components का संयोजन।

All diagrams conceptual हैं। Technology-generation boundaries approximate educational categories हैं; universal fixed dates नहीं।

1. Computer: Meaning & Working

Computer एक programmable electronic system है जो input स्वीकार करता है, stored instructions के अनुसार process करता है और output देता है। यह data तथा results store भी कर सकता है।

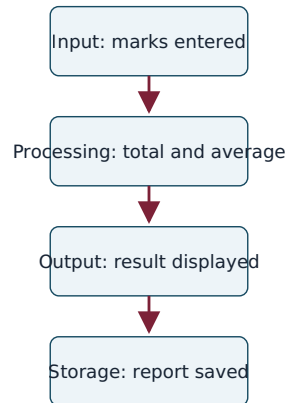


Figure 1. Student result processing का input-process-output-storage उदाहरण।

Detailed Example

Three subject marks 65,75,80 input हैं। Program total = $65+75+80=220$ और average = $220/3 \approx 73.33$ निकालता है। Screen पर result output है; saved result file storage है। Rules और input गलत हों तो output भी गलत हो सकता है।

Characteristics

- **Speed:** बहुत से operations तेजी से execute।
- **Accuracy:** Correct instructions/data के अनुसार consistent calculation।
- **Automation:** Program शुरू होने पर steps स्वतः follow।
- **Diligence:** Repetitive work में human fatigue जैसा अनुभव नहीं।
- **Storage:** बड़ी मात्रा में data organized रखना।
- **Versatility:** अलग programs से अलग tasks।

Limitations

Computer बिना appropriate input, software और resources के सही task नहीं कर सकता। GIGO (Garbage In, Garbage Out) गलत input से गलत result को समझाता है। Modern AI probabilistic errors कर सकती है; computer output की suitability verify करनी चाहिए।

2. History of Computers

Computer development counting aids से mechanical calculation, electromechanical machines और electronic programmable systems तक पहुँचा। अलग machines अलग capabilities की pioneers थीं; “first computer” का दावा definition पर निर्भर है।

Stage / Device	Main contribution
Abacus	Beads से arithmetic का manual aid; electronic computer नहीं
Napier's bones (1617)	Number rods से multiplication/division aid
Pascaline (1640s)	Mechanical addition/subtraction calculator
Leibniz stepped reckoner	Mechanical arithmetic mechanism
Jacquard loom	Punched-card control ने automated patterns दिखाए
Babbage Difference Engine	Mathematical tables के लिए mechanical calculation design
Babbage Analytical Engine	Programmable general-purpose mechanical design का concept
Ada Lovelace	Analytical Engine पर published notes और algorithmic discussion
Hollerith tabulation	Punched cards से large-scale data processing
Electromechanical machines	Relays से switching/calculation
Electronic systems	Vacuum tubes; बाद में stored-program execution

Babbage का महत्व

Analytical Engine design में processing, memory, input और output के विचार थे। इसलिए Babbage को conventional रूप से “Father of the Computer” कहा जाता है। Original complete machine उनके जीवनकाल में पूरी नहीं हुई।

Stored-Program Idea

Program instructions को addressable memory में रखने से machine को hardware rewiring के बजाय stored instructions बदलकर नया task दिया जा सकता है।

Further reading: Computer History Museum timeline [1].

10 अंक: Stages को chronological headings में लिखें; हर stage की key innovation और limitation बताएं।

2.1 Electronic Evolution & Milestones

System / Development	Careful description
Harvard Mark I (1944)	Large electromechanical calculator
ENIAC, publicly unveiled 1946	Early general-purpose electronic digital computing milestone
Manchester Baby (1948)	Early electronic stored-program demonstration
EDSAC (1949)	Early practical stored-program system
UNIVAC I (1951)	Early commercial electronic computer in the USA
Transistorized computers	Smaller, more reliable switching than vacuum-tube systems
Integrated circuits	Many electronic components integrated into chips
Intel 4004 (1971)	Commercial single-chip 4-bit microprocessor milestone
Personal computers	Individual access to programmable computing
Networks and mobile systems	Connected and portable computing

Further reading: [1], [2].

Evolution का Process

Components छोटे हुए → wiring और power requirements घटे → reliability और integration बढ़ी → computers अधिक affordable/portable हुए → software और networking applications बढ़ीं। यह overall trend है; high-performance systems आज भी large power-consuming installations हो सकते हैं।

History से सीख

- Mechanical, electromechanical और electronic अलग stages हैं।
- Programmable और stored-program समान शब्द नहीं।
- Digital computers केवल binary architecture तक सीमित historical category नहीं; early decimal electronic systems भी हुए।
- Microprocessor CPU का chip integration है, पूरा computer system नहीं।

Short note: ENIAC का महत्व electronic general-purpose calculation में था; सभी modern stored-program features उसके initial configuration पर लागू न करें।

3. First Generation

मुख्य technology: Vacuum tubes. **Approximate period:** 1940s–mid-1950s, broadly.

Working Idea

Computer का logical task input, processing, storage और output है। Generation में मुख्य परिवर्तन electronic implementation और associated system capabilities में है।

Features

Electronic switching, large machines, machine-level programming और limited memory।

Example

ENIAC जैसे early electronic systems।

Advantages

Mechanical/relay systems की तुलना में fast electronic operations।

Limitations

Large size, heat, power, maintenance और costly operation।

Technology कैसे काम करती थी?

Vacuum tube electrical current को control करके switching/amplification कर सकती है। अनेक tubes, circuits और connections मिलकर arithmetic तथा control बनाते थे। Heat निकालना और failed components बदलना maintenance का महत्वपूर्ण भाग था।

Programming और Operation

Machine के design के अनुसार switches, plugboards, punched media तथा machine instructions उपयोग होते थे। शुरुआती machines की सभी programming methods समान नहीं थीं। Later stored-program systems में memory से instructions fetch होने लगीं।

Why the Next Stage Developed

अधिक speed, कम size, कम power per function, better reliability और lower cost की आवश्यकता ने integration तथा नए components को बढ़ावा दिया।

परीक्षा: Technology, approximate period, features, examples, advantages और limitations को अलग headings में लिखें। अलग textbooks date ranges थोड़ा अलग दे सकती हैं।

3.1 Second Generation

मुख्य technology: Transistors. **Approximate period:** Mid-1950s–mid-1960s, broadly.

Working Idea

Computer का logical task input, processing, storage और output है। Generation में मुख्य परिवर्तन electronic implementation और associated system capabilities में है।

Features

Smaller switching devices, improved reliability, magnetic-core memory और assembly/high-level languages का विस्तार।

Example

IBM 1401 जैसे transistorized systems।

Advantages

Tube-based systems की तुलना में compact, cooler और reliable।

Limitations

अब भी expensive और specialized facilities की जरूरत।

Transistor से सुधार कैसे हुआ?

Transistor semiconductor device है। Tube की तुलना में छोटा switching element होने से circuits का size और power requirement प्रति function घट सके। अनेक transistors को boards पर जोड़कर processing तथा control circuits बनाए गए।

Software Development

Assembly language ने symbolic operation names दिए और compilers ने high-level language programs को machine-level form में translate करने में सहायता की। Batch processing में jobs एकत्र करके चलाने का उपयोग बढ़ा।

Why the Next Stage Developed

अधिक speed, कम size, कम power per function, better reliability और lower cost की आवश्यकता ने integration तथा नए components को बढ़ावा दिया।

परीक्षा: Technology, approximate period, features, examples, advantages और limitations को अलग headings में लिखें। अलग textbooks date ranges थोड़ा अलग दे सकती हैं।

3.2 Third Generation

मुख्य technology: Integrated circuits. **Approximate period:** Mid-1960s–early-1970s, broadly.

Working Idea

Computer का logical task input, processing, storage और output है। Generation में मुख्य परिवर्तन electronic implementation और associated system capabilities में है।

Features

Multiple components chip पर integrated; operating systems और multiprogramming का विस्तार।

Example

IC-based minicomputers और computer families।

Advantages

Smaller size, improved speed/reliability और better cost per function।

Limitations

Hardware/software management जटिल; generation boundaries overlapping।

Integration का Process

अलग-अलग discrete components और board connections की जगह कई electronic components एक chip पर बने। इससे interconnections छोटे हुए और प्रति function reliability तथा cost में सुधार संभव हुआ। IC technology के adoption की गति manufacturers में अलग थी।

Operating-System Role

Resources को कई jobs के बीच manage करने की आवश्यकता बढ़ी। Multiprogramming में एक job के I/O wait के दौरान दूसरी ready job CPU उपयोग कर सकती थी। OS memory, processes और devices coordinate करता था।

Why the Next Stage Developed

अधिक speed, कम size, कम power per function, better reliability और lower cost की आवश्यकता ने integration तथा नए components को बढ़ावा दिया।

परीक्षा: Technology, approximate period, features, examples, advantages और limitations को अलग headings में लिखें। अलग textbooks date ranges थोड़ा अलग दे सकती हैं।

3.3 Fourth Generation

मुख्य technology: Microprocessors; LSI/VLSI. **Approximate period:** From 1970s, broadly.

Working Idea

Computer का logical task input, processing, storage और output है। Generation में मुख्य परिवर्तन electronic implementation और associated system capabilities में है।

Features

CPU integration on chip; personal computers, large semiconductor memories और networks।

Example

Microprocessor-based PCs और many embedded systems।

Advantages

Affordability, portability तथा widespread access।

Limitations

Security, complexity, heat और rapid obsolescence जैसे challenges।

CPU-on-Chip का प्रभाव

Control, arithmetic और registers के CPU functions chip में integrate होने से personal तथा embedded systems बनाना आसान हुआ। RAM, storage और I/O अभी भी system-level supporting functions थे; एक CPU chip अपने आप complete computer नहीं है।

Modern Development

Pipelines instructions की stages overlap कर सकती हैं। Multicore chips में कई processing cores होते हैं। Cache memory frequently used blocks पास रखती है। Performance के लिए hardware और software parallelism दोनों महत्वपूर्ण हैं।

Why the Next Stage Developed

अधिक speed, कम size, कम power per function, better reliability और lower cost की आवश्यकता ने integration तथा नए components को बढ़ावा दिया।

परीक्षा: Technology, approximate period, features, examples, advantages और limitations को अलग headings में लिखें। अलग textbooks date ranges थोड़ा अलग दे सकती हैं।

3.4 Fifth Generation & Comparison

Textbook “fifth generation” का संबंध AI-oriented computing, knowledge processing, natural-language interaction और parallel processing से जोड़ा जाता है। यह पहली चार generations जैसी एक universal hardware-switching boundary नहीं है।

मुख्य Ideas

- Artificial intelligence तथा machine learning workloads।
- Natural language, speech और visual interfaces।
- Parallel processing और specialized accelerators।
- Knowledge-based/expert systems के historical research goals।

Important Limitation

AI systems human-like understanding की guarantee नहीं देते। Fifth generation को simply “हर computer अब सोचता है” लिखना गलत है। Modern systems semiconductor integration की previous developments भी उपयोग करते हैं।

Generation	Key technology / focus	General trend
First	Vacuum tubes	Large electronic systems
Second	Transistors	Better reliability and compactness
Third	ICs	Integration and OS growth
Fourth	Microprocessors / VLSI	PCs and widespread computing
Fifth, textbook category	AI/parallel knowledge processing	Intelligent applications focus

Full 10 Marks Answer Plan

Generation meaning → five rows का comparison → each stage की technology/features → examples → evolution के reasons → approximate-date note। केवल years की list लिखने से explanation अधूरी रहती है।

4. Types of Computers: Classification

Computers को अलग-अलग bases पर classify किया जाता है। एक ही machine कई categories में हो सकती है; जैसे laptop एक digital, general-purpose microcomputer है।

Basis	Categories	Meaning
Data representation	Analogue, digital, hybrid	Signals/data का form
Purpose	General-purpose, special-purpose	Tasks की variety
Role / capability	Microcomputer, workstation, server, mainframe, supercomputer	Typical workload और system role
Portability	Desktop, laptop, mobile	Physical use
Deployment	Embedded / standalone / networked	System में placement

General-Purpose Computer

अलग programs द्वारा अलग काम करता है: document editing, programming, accounts और browsing। Example: desktop PC।

Special-Purpose Computer

Specific task के लिए configured/design किया जाता है: industrial controller या dedicated control system। Hardware general microcontroller पर आधारित हो सकता है, लेकिन application purpose fixed हो।

Classification Example

College का attendance terminal digital भी है और dedicated attendance purpose वाला भी। इसका embedded processor microcontroller हो सकता है। Classification dimensions को आपस में विरोधी न मानें।

5 Marks Answer

Classification का basis लिखें, categories define करें और examples दें। “Types of digital computers” पूछा हो तो केवल analogue/digital/hybrid लिखकर उत्तर पूरा न मानें।

4.1 Analogue and Digital Computers

Analogue computer continuously varying physical quantities से computation represent करता है। Voltage, displacement या rotation mathematical variables का analogue बन सकते हैं। Classical differential analyser इसका उदाहरण है।

Digital computer discrete symbols/states पर computation करता है। Modern digital systems सामान्यतः binary representation उपयोग करते हैं। PC, calculator और server examples हैं।

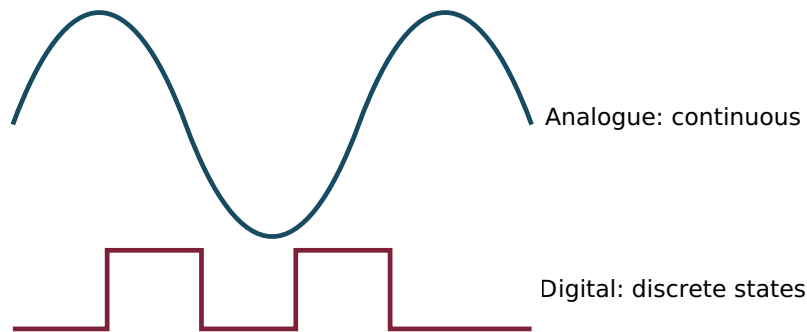


Figure 2. Continuous signal और discrete-state signal की conceptual तुलना।

Analogue	Digital
Continuous physical representation	Discrete representation
Noise/calibration accuracy को प्रभावित	Precision format और computation से निर्धारित
Some physical simulations में useful	General programmable tasks में व्यापक
Classical analog integrator	PC, digital controller

Hybrid Computer / System

Analogue processing तथा digital control/computation दोनों को combine करता है। Sensor input वाला हर digital system automatically classical hybrid computer नहीं बन जाता; actual analog computation role देखना चाहिए।

Evolution

Mechanical analogue devices → electronic analogue circuits; दूसरी ओर relay/tube digital machines → transistor/IC/microprocessor digital systems। दोनों traditions कुछ applications में साथ विकसित हुईं।

4.2 Types of Digital Computers

Type	Description / Use
Microcomputer	Microprocessor-based personal system; desktop, laptop।
Workstation	Professional design, engineering या scientific workloads के लिए configured system।
Server	Network clients को services देता है; file, web, database server।
Minicomputer	Historical mid-range multiuser systems की category।
Mainframe	Large-scale reliable transaction, batch तथा enterprise workloads।
Supercomputer	Scientific/high-performance computation के लिए massive parallel processing।
Embedded computer	Larger product के अंदर dedicated computing/control।

Mainframe vs Supercomputer

Mainframes reliability, large transaction volume और I/O-intensive enterprise workloads के लिए optimized होते हैं। Supercomputers scientific numerical workloads और parallel computational performance पर focus करते हैं। केवल cabinet size से अंतर तय नहीं होता।

Examples of Tasks

- Student typing assignment → personal microcomputer।
- College website host करना → server role।
- Bank transaction processing → mainframe-class workload हो सकता है।
- Weather model simulation → supercomputing workload।
- Washing machine control → embedded computer।

Important Clarification

Server एक role भी है; small computer भी server software चला सकता है। Modern product categories overlap करती हैं। Historical “micro, mini, mainframe” hierarchy को हर current system पर rigidly लागू न करें।

5. Major Components of a Digital Computer

Digital computer में input unit, CPU, primary memory, output unit और secondary storage मुख्य functional components हैं। इनके बीच interconnections data, address और control signals ले जाते हैं।

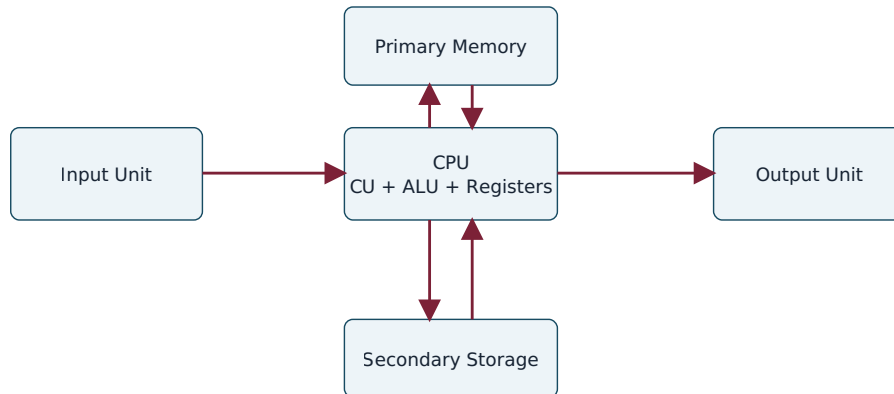


Figure 3. Complete computer का simplified functional block diagram।

Input Unit

User/environment से data लेकर system-usable representation में देती है। Examples: keyboard, scanner और sensors।

CPU

Instructions execute करता है। Control Unit coordination, ALU arithmetic/logic और registers fast temporary values रखते हैं।

Memory and Storage

RAM active instructions/data रखती है; secondary storage files/programs persistent रखता है। दोनों roles अलग हैं। Cache और registers तेज internal levels हैं।

Output Unit

Results user या अन्य system के लिए प्रस्तुत करती है। Monitor, printer और speakers examples हैं।

System Interconnection

Bus/interconnect components को जोड़ता है। Address signals target location, data signals actual values और control signals operation/timing बताते हैं। Modern systems में multiple point-to-point links भी हो सकते हैं।

5.1 Block Diagram of CPU

CPU = Central Processing Unit. CPU और पूरा computer अलग हैं। Main memory और external I/O को सामान्य CPU block diagram में CPU boundary के बाहर दिखाया जाता है; integrated designs में physical arrangement बदल सकता है।

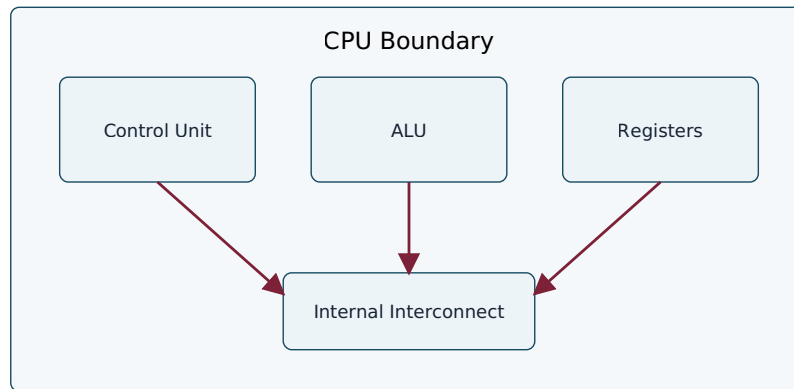


Figure 4. CPU के मुख्य functional blocks।

Control Unit — CU

Instructions decode करती है और datapath को control signals देती है। Register transfers, memory operations तथा ALU operation sequence coordinate करती है। यह स्वयं सभी calculations नहीं करती।

Arithmetic Logic Unit — ALU

Addition, subtraction, bitwise AND/OR/XOR, comparison और shifts जैसे operations करता है। Supported operations architecture पर निर्भर हैं।

Registers

CPU के अंदर small, fast storage locations। Operands, results, instruction और addresses temporary रखते हैं। Register access RAM access से सामान्यतः अधिक तेज होता है।

Clock

Clock synchronous operations के timing को coordinate करता है। Frequency cycles per second है। CPU performance केवल GHz से तय नहीं; instructions per cycle, memory और workload भी महत्वपूर्ण हैं।

5.2 CPU Registers & System Buses

Register	Typical function
Program Counter (PC)	Next instruction का address; exact update rules architecture-specific
Instruction Register (IR)	Currently processed instruction
Memory Address Register (MAR)	Memory operation का target address; conceptual model
Memory Data Register (MDR)	Memory से/तक transfer data; conceptual model
General-purpose registers	Operands, addresses और intermediate results
Accumulator	कुछ architectures में implicit arithmetic operand/result
Status / Flags	Zero, carry, sign आदि condition information
Stack Pointer (SP)	Stack location का tracking

Bus Types

Bus	Function
Address bus	Location/device target identify
Data bus	Actual instructions/data transfer
Control bus	Read/write, interrupt, timing/control

Read Operation Example

- CPU required address select करता है।
- Read control request भेजी जाती है।
- Memory requested content return करती है।
- Value register में receive होती है।

Write Operation Example

CPU address और data उपलब्ध कराता है तथा write operation request करता है। Memory उस target location पर value store करती है। Actual bus protocols में ready/acknowledgment और timing details हो सकते हैं।

ध्यान दें: Address bus width, data bus width, register width और word size अलग specifications हैं।

5.3 Fetch–Decode–Execute Cycle

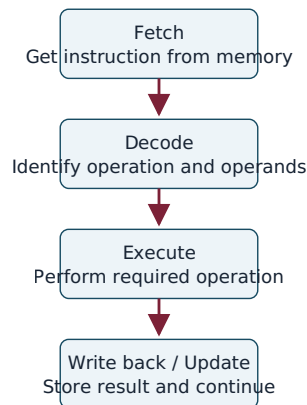


Figure 5. Simplified instruction cycle; वास्तविक processors stages overlap कर सकते हैं।

Worked Example: ADD R1, R2

Assume two-address instruction का अर्थ $R1 \leftarrow R1 + R2$ है। Initially $R1=5$ और $R2=3$ ।

- **Fetch:** PC की instruction memory से लाई जाती है।
- **Decode:** CU पहचानती है कि ADD operation और R1/R2 operands हैं।
- **Operand access:** Registers से 5 और 3 पढ़े जाते हैं।
- **Execute:** ALU $5+3=8$ निकालता है।
- **Write-back:** $R1=8$ store; flags आवश्यकता अनुसार update।
- **Continue:** Next instruction का address select होता है।

Memory Operand Example

LOAD R1, [1000] memory location 1000 से value R1 में ला सकता है। STORE [1004], R1 value वापस memory में रख सकता है। Syntax केवल illustration है; actual ISA अलग हो सकती है।

Interrupt

Interrupt पर CPU ordinary flow से handler की ओर जा सकता है। यह I/O, timer और other events service करने में सहायता करता है। सभी instructions exactly समान clock cycles नहीं लेतीं।

6. Memory Addressing Capability of CPU

Addressing capability CPU/addressing mechanism द्वारा identify की जा सकने वाली memory locations की theoretical range है। n independent address bits से 2^n **distinct addresses** बनते हैं।

Byte vs Word Addressing

Byte-addressable: हर address एक byte identify करता है। **Word-addressable:** हर address एक word identify करता है। Capacity निकालते समय bytes per location स्पष्ट होना चाहिए।

Address bits	Locations	Byte-addressable capacity
8	256	256 bytes
16	65,536	64 KiB
20	1,048,576	1 MiB
32	4,294,967,296	4 GiB

Process for Numerical

- Address bits n पहचानें।
- Locations $= 2^n$ निकालें।
- हर location कितने bytes की है देखें।
- Capacity = locations $\times$ bytes/location।
- KiB/MiB/GiB में convert करें।

Example: 16 address bits, 16-bit words

यदि word-addressable memory है: 2^{16} locations $\times 2$ bytes = 131,072 bytes = **128 KiB**। यदि byte-addressable है तो वही 16 bits केवल 64 KiB address करते हैं।

Physical vs Virtual Addressing

CPU की virtual address width और implemented physical address width अलग हो सकती हैं। “64-bit CPU” से यह निष्कर्ष नहीं कि पूरा 2^{64} -byte RAM supported/installed है। Hardware, OS और memory controller limits महत्वपूर्ण हैं।

6.1 Address Numerical & Microprocessor Example

Example 1: How Many Address Bits for 1 MiB?

Byte-addressable memory: 1 MiB = 2^{20} bytes। इसलिए **20 address bits** चाहिए। Formula: $n = \log_2(\text{number of locations})$, exact power-of-two case में।

Example 2: Address Range

16-bit address space में lowest address 0 और highest $2^{16}-1 = 65,535$ है। Hex notation: **0000H to FFFFH**। Count 65,536 locations है; last address को total count न समझें।

Example 3: Classic 8085 and 8086

Processor	Data bus	Address capability
8085	8 bits	16-bit address bus → 64 KiB byte-addressable space
8086	16 bits	20-bit physical addressing → 1 MiB byte-addressable space

यह historical specification comparison है। Internal register width और physical address formation अलग हो सकते हैं।

Data Bus vs Address Bus

Wider data path एक transfer में अधिक bits ले जा सकता है। Wider address space अधिक locations identify कर सकता है। Data bus width को address bits की जगह formula 2^n में डालना गलत है।

Binary Units

1 KiB=1024 bytes; 1 MiB=1024 KiB; 1 GiB=1024 MiB। Decimal prefixes में 1 kB=1000 bytes। Memory-addressing questions में binary powers और question convention स्पष्ट लिखें।

7. Microprocessors

Microprocessor integrated circuit पर implemented CPU है। इसे complete usable computer बनाने के लिए memory, I/O और supporting circuitry की आवश्यकता हो सकती है। Modern chips में integration बहुत अधिक हो सकती है।

Main Functions

- Instructions fetch/decode/execute करना।
- Arithmetic और logical operations।
- Memory तथा I/O requests coordinate करना।
- Program flow, branches और interrupts handle करना।

Typical System

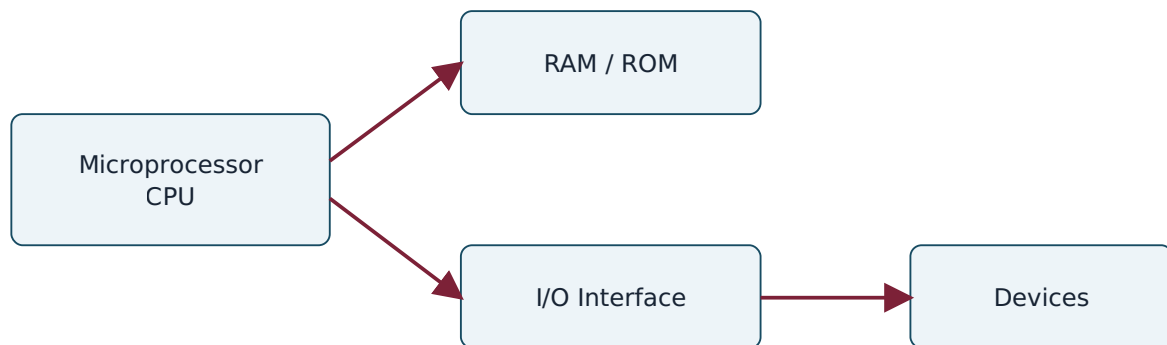


Figure 6. Microprocessor-based system के supporting components।

Evolution

Early commercial 4-bit processors से 8-bit, 16-bit, 32-bit तथा 64-bit designs विकसित हुए। Wider datapaths के साथ caches, pipelining, multicore designs और specialized units भी बढ़े। Bit width अकेले performance तय नहीं करती।

Intel 4004

1971 का Intel 4004 commercial single-chip microprocessor milestone था। CPU functions एक small chip पर integrate होने से programmable systems के नए applications संभव हुए।

Further reading: [2].

Applications / Limitations

PCs, servers और embedded systems में processing। External memory/interface requirements, power/heat और design complexity application पर निर्भर हैं।

8. Single-Chip Microcomputer

Single-chip microcomputer में CPU, memory और I/O-related functions एक chip में integrated होते हैं। Introductory courses में यह term अक्सर **microcontroller** के लिए उपयोग होती है। Exact integrated features model पर निर्भर हैं।

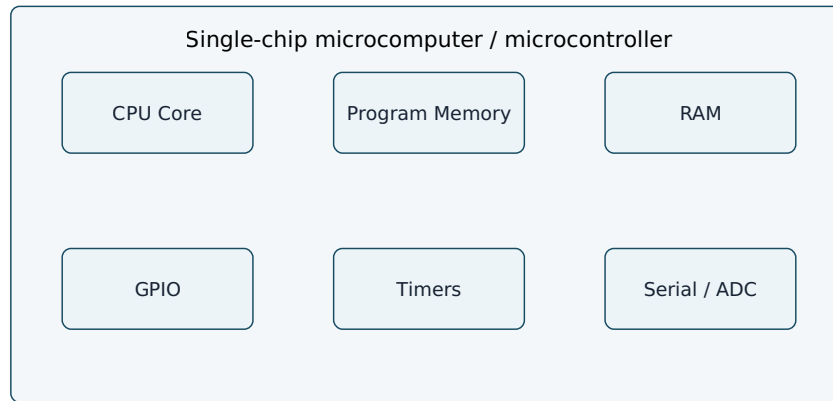


Figure 7. एक chip के अंदर सामान्य embedded-computing blocks।

Components

CPU processing करता है। Flash/ROM program रखती है। RAM variables/results रखती है। GPIO inputs/outputs, timers event timing और UART/SPI/I²C जैसे interfaces communication करते हैं। ADC/DAC हर chip में जरूरी नहीं।

Working Example: Temperature-Controlled Fan

- Sensor temperature signal देता है।
- ADC या digital interface reading प्राप्त करता है।
- Program threshold से compare करता है।
- Temperature अधिक हो तो output driver fan चालू करता है।
- Loop/interrupt से readings repeat होती हैं।

Fan/motor को सामान्यतः chip pin से directly power नहीं देते; suitable driver और protection circuit चाहिए।

Microprocessor vs Microcontroller

Microprocessor CPU integration पर केंद्रित; microcontroller CPU+memory+I/O integration के साथ dedicated control में उपयोगी। Modern SoCs के कारण categories overlap हो सकती हैं।

9. User Interfaces

User interface (UI) वह माध्यम है जिससे user system को instructions देता है और response प्राप्त करता है। UI hardware तथा software elements का combination हो सकता है।

Type	Working / Example	Benefit / Limitation
CLI	Text commands; terminal में mkdir notes	Automation efficient; syntax सीखना पड़ता है
GUI	Icons, menus, windows; file manager	Visual और सहज; graphical resources चाहिए
Menu-driven	Listed choices; ATM options	Guided use; fixed choices
Form-based	Fields भरना; admission form	Structured data entry; validation जरूरी
Touch interface	Tap, swipe; smartphone	Direct interaction; precision/accessibility concerns
Voice interface	Speech commands; voice assistant	Hands-free; noise/language/errors का प्रभाव

Interaction Process

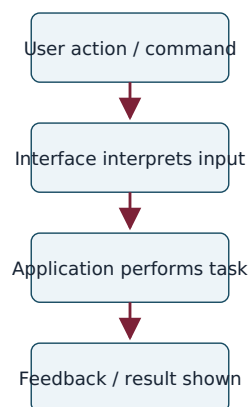


Figure 8. User action से feedback तक interaction cycle।

Good UI की विशेषताएँ

Clear labels, consistency, readable text, meaningful feedback, error recovery तथा accessibility। Example: invalid mobile number पर clear message और correction का अवसर।

CLI vs GUI: GUI हमेशा हर task में बेहतर नहीं; repetitive automation में CLI सुविधाजनक और visual exploration में GUI उपयोगी हो सकती है।

10. Hardware, Software and Firmware

Term	Definition	Examples
Hardware	Physical electronic/mechanical components	CPU, keyboard, RAM, SSD
Software	Programs और संबंधित instructions/data	OS, browser, compiler
Firmware	Hardware control/support के लिए stored software	Device controller firmware, system firmware

Hardware

जिस physical equipment से computation होता है। Input, processing, memory, storage और output categories में देखा जा सकता है। Hardware को सही operation के लिए power, configuration और software support चाहिए।

Software Categories

- **System software:** OS, drivers तथा supporting utilities।
- **Application software:** Word processor, accounting और browser।
- **Programming tools:** Compiler, interpreter, debugger और IDE। Categories को textbooks अलग grouping दे सकती हैं।

Firmware

Firmware non-volatile memory, अक्सर flash, में रहती है। यह hardware initialization या device control करती है। इसे update किया जा सकता है यदि design अनुमति दे; इसे हमेशा unchangeable ROM कहना गलत है।

Combined Example: Printing a Document

Application print request बनाती है। OS/driver job device तक भेजते हैं। Printer firmware paper और print mechanism control करती है। Printer hardware actual output बनाता है।

Compiler vs Interpreter

Compiler program को दूसरी form, अक्सर machine/object code, में translate करता है। Interpreter runtime पर code execute/evaluate करता है। Modern systems compilation और interpretation को combine भी कर सकते हैं।

11. Number Systems: Fundamentals

Number system quantities represent करने के symbols तथा rules का system है। Positional notation में digit contribution = digit $\times$ base raised to position। Rightmost integer position 0 से शुरू होती है।

System	Base	Digits	Example
Binary	2	0,1	1011 ₂
Octal	8	0-7	157 ₈
Decimal	10	0-9	245 ₁₀
Hexadecimal	16	0-9,A-F	3A ₁₆

Hexadecimal Digits

A=10, B=11, C=12, D=13, E=14, F=15। Example $3A_{16} = 3 \times 16 + 10 = 58_{10}$ ।

General Formula

Integer part: $\sum \text{digit} \times \text{base}^{\text{position}}$ । Fractional part: right of radix point weights base^{-1} , base^{-2} ...।
Example $12.5_{10} = 1 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$ ।

Valid Digits

Binary 102 is invalid because digit 2 is not allowed। Octal 89 is invalid। Hexadecimal FACE is valid numeral because F,A,C,E all allowed digits हैं।

Storage Units

Bit = one binary digit। Byte =8 bits। Nibble =4 bits। n bits से 2^n distinct patterns बनते हैं। Unsigned n-bit integers का range 0 to $2^n - 1$ ।

Example

8 bits $\rightarrow$ 256 patterns और unsigned range 0-255। Number of patterns और maximum value अलग हैं।

11.1 Any Base to Decimal

Method

- Digits को base की powers के साथ लिखें।
- हर digit $\times$ corresponding weight निकालें।
- सभी contributions जोड़ें।
- Fractional positions में negative powers लें।

Example 1: 101101_2

Digit	Weight	Contribution
1	32	32
0	16	0
1	8	8
1	4	4
0	2	0
1	1	1

Total = $32 + 8 + 4 + 1 = 45_{10}$ ।

Example 2: 157_8

$1 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = 64 + 40 + 7 = 111_{10}$ ।

Example 3: $2F_{16}$

$2 \times 16 + 15 = 47_{10}$ । F को digit value 15 लेना है, letter का ASCII code नहीं।

Example 4: 101.101_2

$1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 + 1 \times (1/2) + 0 \times (1/4) + 1 \times (1/8) = 5 + 0.5 + 0.125 = 5.625_{10}$ ।

Example 5: $A.F_{16}$

$10 + 15 \times 16^{-1} = 10 + 15/16 = 10.9375_{10}$ ।

11.2 Decimal Integer to Another Base

Repeated division method: Number को target base से divide करें। Remainder note करें। Quotient पर process repeat करें जब तक 0 न आए। Remainders नीचे से ऊपर पढ़ें।

Example: 45₁₀ to Binary

Division	Quotient	Remainder
45 ÷ 2	22	1
22 ÷ 2	11	0
11 ÷ 2	5	1
5 ÷ 2	2	1
2 ÷ 2	1	1
1 ÷ 2	0	1

Bottom-to-top: **101101₂**। Check=32+8+4+1=45।

Example: 156₁₀ to Octal

156 ÷ 8 = 19 remainder 4। 19 ÷ 8 = 2 remainder 3। 2 ÷ 8 = 0 remainder 2। Answer **234₈**। Check 2×64+3×8+4=156।

Example: 254₁₀ to Hexadecimal

254 ÷ 16 = 15 remainder 14(E)। 15 ÷ 16 = 0 remainder 15(F)। Answer **FE₁₆**। Check 15×16+14=254।

Why Reverse Remainders?

First remainder units place का digit है। अगला remainder base¹ place और उसके बाद base² place देता है। सामान्य numeral highest place पहले लिखता है, इसलिए bottom-to-top पढ़ते हैं।

Special case: Input zero का representation 0 है; empty answer नहीं।

11.3 Decimal Fractions to Binary

Fractional part को target base से repeatedly multiply करें। हर step का integer part अगला fractional digit है। Digits ऊपर से नीचे पढ़ें; integer conversion की तरह reverse नहीं करते।

Example: 0.625_{10} to Binary

Step	Multiply	Digit	Remaining fraction
1	$0.625 \times 2 = 1.25$	1	0.25
2	$0.25 \times 2 = 0.5$	0	0.5
3	$0.5 \times 2 = 1.0$	1	0

Answer = 0.101_2 । Check $1/2 + 0/4 + 1/8 = 0.625$ ।

Mixed Number: 10.625

Integer part $10 \rightarrow 1010_2$ । Fraction $0.625 \rightarrow .101_2$ । Combine: 1010.101_2 ।

Non-terminating Example: 0.1_{10}

$0.1 \times 2 = 0.2 \rightarrow 0$; $0.2 \times 2 = 0.4 \rightarrow 0$; $0.4 \times 2 = 0.8 \rightarrow 0$; $0.8 \times 2 = 1.6 \rightarrow 1$; $0.6 \times 2 = 1.2 \rightarrow 1$ । फिर fraction 0.2 repeat होती है। इसलिए 0.1 decimal का binary expansion repeating है: $0.000110011...$ ।

Precision and Rounding

Computer finite bits उपयोग करता है, इसलिए कुछ fractions approximate store होती हैं। Repeating expansion को finite length पर truncate/round करना पड़ता है। इससे tiny rounding errors हो सकते हैं।

Process Summary

Integer part $\rightarrow$ repeated division $\rightarrow$ reverse remainders। Fraction part $\rightarrow$ repeated multiplication $\rightarrow$ retain digit order। दोनों parts को radix point से जोड़ें।

11.4 Binary, Octal and Hexadecimal

$8=2^3$, इसलिए एक octal digit तीन binary bits से correspond करता है। $16=2^4$, इसलिए एक hexadecimal digit चार bits से।

Decimal	Binary 4-bit	Octal / Hex
0	0000	0 / 0
3	0011	3 / 3
7	0111	7 / 7
8	1000	10 / 8
10	1010	12 / A
15	1111	17 / F

Binary to Octal

1101011₂ को radix point से बाईं ओर 3-bit groups में बाँटें: 1 | 101 | 011। Left group को pad करें: 001 | 101 | 011। Digits 1,5,3 → **153₈**। Check $64+40+3=107$ ।

Binary to Hex

11101010₂ → 1110 | 1010 → E | A → **EA₁₆**।

Octal to Binary

57₈ → 5=101 और 7=111 → **101111₂**। Leading padding हटाया जा सकता है यदि width fixed न हो।

Hex to Binary

3A₁₆ → 3=0011 और A=1010 → **00111010₂**।

Fractions

1011.101₂ → binary grouping for hex: 1011.1010 → **B.A₁₆**। Fraction की right side पर zeros pad करें; integer की left side पर। Point के गलत side padding करने से value बदल सकती है।

Octal to Hex

Octal → binary → hex एक convenient route है। 17₈ → 001111₂ → 0000 | 1111 → **F₁₆**।

11.5 Binary Arithmetic

Addition Rules

$0+0=0; 0+1=1; 1+0=1; 1+1=10$ । Last result में sum bit0 और carry1 है।

Example: 1011 + 0110

Column from right	Operation	Sum bit / carry
1	$1+0$	1 / 0
2	$1+1$	0 / 1
3	$0+1+1$	0 / 1
4	$1+0+1$	0 / 1
Final carry	1	Leading1

Answer=**10001**₂। Decimal check $11+6=17$ ।

Subtraction

$0-0=0; 1-0=1; 1-1=0$ । $0-1$ के लिए next position से borrow लेते हैं; borrowed 1 current place में value2 देता है।

Example $1101-0101=1000$, अर्थात् $13-5=8$ । Example $1000-0001=0111$; multiple columns में borrow propagate होता है।

Multiplication

$0\times0=0; 0\times1=0; 1\times0=0; 1\times1=1$ । Example 101×11 : partial products 101 और 1010; sum=**1111**। Decimal $5\times3=15$ ।

Division

Long division decimal जैसी है, लेकिन quotient digits 0/1 होते हैं। $1100_2 \div 11_2 = 100_2$, remainder 0; decimal $12 \div 3 = 4$ ।

Fixed-width Overflow

4-bit unsigned $1111+0001$ gives mathematical 10000। चार bits में result 0000 और carry-out 1 होता है। यह representable range 0-15 से बाहर है। Signed overflow का rule carry-out alone नहीं है।

11.6 Signed Numbers and Complements

Negative integers encode करने के अलग methods हैं। Fixed bit width पहले घोषित करें। नीचे 8-bit examples हैं।

Representation of -13	Process	8-bit pattern
Sign-magnitude	Sign1; magnitude13 in7 bits	10001101
One's complement	+13 bits invert	11110010
Two's complement	Invert then add1	11110011

Two's Complement Process

+13 = 00001101। Invert → 11110010। Add1 → **11110011**। MSB1 वाला two's-complement pattern value = unsigned value - 2^8 ; $243 - 256 = -13$ ।

Range

n-bit unsigned: 0 to $2^n - 1$ । n-bit two's complement: -2^{n-1} to $2^{n-1} - 1$ । 8-bit range = **-128 to +127**।

Subtraction by Two's Complement

7-5: 00000111 + two's complement of 00000101। Complement of 5 = 11111011। Sum = 1 00000010। Discard carry beyond 8 bits → **00000010 = 2**।

Why Bit Width Matters

1111 unsigned = 15, but 4-bit two's complement = -1। Same bits की interpretation encoding पर निर्भर है।

Common Mistakes

- Sign bit को हटाकर negative magnitude हमेशा सीधे न पढ़ें।
- One's complement और two's complement अलग हैं।
- Fixed width बदले बिना invert करें।
- Unsigned carry और signed overflow को समान न मानें।

12. Computer Codes and BCD

Computer code digits, characters या other information को bit patterns देने के rules हैं। Number representation और character encoding अलग concepts हैं।

BCD — Binary-Coded Decimal

Common 8421 BCD में प्रत्येक decimal digit अलग 4-bit group में represent होता है। Allowed digit groups 0000–1001 हैं; 1010–1111 valid decimal digits नहीं।

Example: Decimal 59

Form	Representation
Pure binary of 59	111011
BCD of 59	0101 1001
Reason	5→0101; 9→1001

Encoding Process

- Decimal number को individual digits में बाँटें।
- हर digit का 4-bit binary code लिखें।
- Groups को उसी decimal-digit order में जोड़ें।
- Decode करते समय हर 4-bit group अलग पढ़ें।

Decode: 0010 1001

0010=2 और 1001=9। BCD answer=**29**। इसे एक ordinary 8-bit binary number मानें तो 41 होगा; encoding context आवश्यक है।

Applications and Limitations

Decimal digits preserve करने वाले displays और decimal arithmetic implementations में useful। Pure binary की तुलना में अक्सर अधिक bits लगते हैं।

BCD Addition Correction

एक digit result 9 से अधिक या 4-bit carry हो तो common BCD addition में 0110 correction की जरूरत होती है। Example $8+5=1101_2$ (13); $+0110 \rightarrow 1\ 0011 \rightarrow \text{BCD } 0001\ 0011$, अर्थात् 13।

12.1 Excess-3 and Gray Code

Excess-3 Code

प्रत्येक decimal digit में 3 जोड़कर result का 4-bit binary code लिखते हैं। यह non-weighted decimal code है।

Digit	Digit+3	Excess-3
0	3	0011
2	5	0101
5	8	1000
9	12	1100

59 → 5+3=8, 9+3=12 → **1000 1100**। Decode 1000 → 8-3=5; 1100 → 12-3=9।

Gray Code

Reflected binary Gray code में adjacent sequence entries केवल एक bit से differ करती हैं। Position encoders जैसे applications में transition ambiguity कम करने में useful है। यह ordinary weighted binary code नहीं।

Decimal sequence index	Binary	Gray
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

Binary to Gray: 1011

MSB same रखें। बाकी Gray bits adjacent binary bits के XOR हैं। $1 \oplus 0 = 1; 0 \oplus 1 = 1; 1 \oplus 1 = 0$ । Answer = **1110**।

Gray to Binary: 1110

MSB same 1। Next binary = previous binary XOR current Gray। $1 \oplus 1 = 0; 0 \oplus 1 = 1; 1 \oplus 0 = 1$ । Result = **1011**।

12.2 ASCII and EBCDIC

ASCII

ASCII = American Standard Code for Information Interchange. Standard ASCII is 7-bit और 128 code positions देता है। इसमें letters, digits, punctuation और control codes हैं। “Extended ASCII” अलग 8-bit code pages का broad नाम है, एक universal single standard नहीं।

Character	Decimal ASCII	Hex	7-bit binary
A	65	41	1000001
a	97	61	1100001
0	48	30	0110000
Space	32	20	0100000
Line feed	10	0A	0001010

Number vs Character

Numeric 5 का binary pattern 101 हो सकता है। Character “5” का ASCII code 53 decimal, hex 35 है। Text string “25” में character “2” और “5” होते हैं; वह एक binary integer 25 का same representation नहीं।

EBCDIC

Extended Binary Coded Decimal Interchange Code IBM-associated 8-bit character code family है। Code pages अलग characters assign कर सकती हैं। कुछ mainframe environments में इसका historical/continuing उपयोग है।

ASCII vs EBCDIC

ASCII	EBCDIC
7-bit basic standard	8-bit family
128 basic positions	256 possible bit patterns per byte
Latin letters/control set	IBM-oriented legacy ecosystem
Unicode में basic range preserved	Conversion tables/code pages जरूरी

Process: Text store करने के लिए encoding चुनें → characters map करें → bytes save करें। गलत decoding से text corrupted दिख सकता है।

12.3 Unicode and UTF Encodings

Unicode characters को code points और properties देने वाला standard है। UTF-8, UTF-16 और UTF-32 इन values को storage/transmission units में encode करने के forms हैं। Unicode को “हमेशा 16-bit code” कहना गलत है।

Term	Meaning
Code point	Numeric identifier, जैसे U+0041
UTF-8	1–4 bytes per Unicode scalar value
UTF-16	1–2 16-bit code units per scalar value
UTF-32	One 32-bit code unit per scalar value
Glyph	Font द्वारा दिखने वाला visual shape

Further reading: Unicode Consortium encoding FAQ [3], introduction [4].

Examples

Latin A का code point U+0041; UTF-8 byte 41 hex। Devanagari क का code point U+0915; UTF-8 में 3 bytes। एक visible Hindi syllable में consonants, vowel signs या virama के कई code points हो सकते हैं। Visible character count और byte count बराबर नहीं होते।

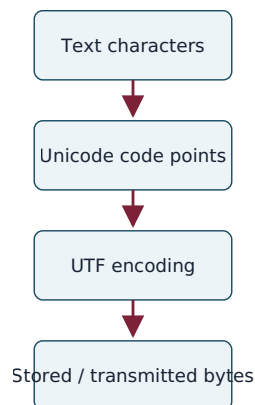


Figure 9. Character से encoded bytes तक representation process।

Font vs Encoding

Encoding बताता है stored values का character interpretation। Font appearance दिखाता है। Correct encoding और suitable font दोनों चाहिए। केवल font change करने से हर गलत-encoded file ठीक नहीं होती।

Use

Multilingual documents, websites और Hindi-English text। UTF-8 में ASCII range same single-byte values रखती है; पूरे Unicode text का size fixed one byte per character नहीं।

12.4 Parity and Error Detection

Parity bit data bits के साथ जोड़ा गया check bit है। Even parity में total 1s even और odd parity में odd रखे जाते हैं।

Example: Data 1011001

Data में four 1s हैं। Even parity bit 0 होगा ताकि total 4 रहे। Odd parity bit 1 होगा ताकि total 5 हो। यदि parity bit को right पर append करें: even 10110010; odd 10110011। Bit placement protocol-dependent है।

Checking Process

- Sender data में 1s count करता है।
- Chosen rule के अनुसार parity bit जोड़ता है।
- Receiver पूरा received group check करता है।
- Rule fail हो तो error detected।

Capabilities and Limits

Single parity सभी odd-numbered bit flips detect करती है। Even number of flips undetected रह सकती है। यह सामान्यतः error का exact location नहीं बताती और correction नहीं करती।

Computer Code Comparison

Code	Main purpose
Binary integer	Numeric value
BCD / Excess-3	Decimal digits encode करना
Gray	Adjacent values में single-bit transition
ASCII / EBCDIC	Character representation
Unicode + UTF	Multilingual character representation/encoding
Parity	Simple error detection

10 अंक: Computer code definition → categories → BCD example → Gray conversion → ASCII/Unicode difference → parity process।

13. Solved Practice & Answers

Question	Working	Answer
10101_2 to decimal	$16+4+1$	21
75_{10} to binary	$64+8+2+1$	1001011_2
157_8 to decimal	$64+40+7$	111
$2F_{16}$ to decimal	$32+15$	47
0.375_{10} to binary	$1/4+1/8$	0.011_2
110110_2 to octal	$110 110$	66_8
10101111_2 to hex	$1010 1111$	AF_{16}
BCD of 29	$2 \rightarrow 0010; 9 \rightarrow 1001$	0010 1001
Excess-3 of 29	$5 \rightarrow 0101; 12 \rightarrow 1100$	0101 1100
Binary 1101 to Gray	$1, 1 \oplus 1, 1 \oplus 0, 0 \oplus 1$	1011
Gray 1011 to binary	Cumulative XOR	1101
20-bit byte addresses	2^{20} bytes	1 MiB
4-bit unsigned range	0 to 2^4-1	0–15
8-bit two's complement –5	00000101 invert+1	11111011

Verification Checklist

- Base subscript लिखा है?
- Allowed digits सही हैं?
- Integer remainders reverse किए?
- Fraction digits forward रखे?
- Binary grouping point से की?
- Bit width declared है?
- BCD को pure binary की तरह तो नहीं पढ़ा?
- Addressability bytes/words स्पष्ट है?

Extra Examples

ASCII character 0 और binary numeric zero अलग representations हैं। 32-bit virtual address space को हमेशा installed physical RAM न मानें। CPU, cabinet और complete computer के diagrams अलग boundaries दिखाते हैं।

14. Quick Revision & Common Errors

- Computer programmable input-process-output system है।
- Babbage Analytical Engine mechanical programmable design था।
- First-generation switching: vacuum tubes।
- Second: transistors; third: integrated circuits।
- Fourth: microprocessors; fifth textbook focus: AI/knowledge processing।
- Analogue continuous physical quantities; digital discrete symbols।
- Hybrid में analogue/digital processing combine होती है।
- CPU includes CU, ALU and registers।
- PC next-instruction address track करता है; IR current instruction रख सकता है।
- Fetch→decode→execute→write-back simplified cycle है।
- n address bits→ 2^n locations।
- Byte/word addressability capacity बदलती है।
- Microprocessor CPU-on-chip; microcontroller memory/I/O integration।
- Firmware software है, लेकिन device-control role और non-volatile storage से पहचानी जाती है।
- CLI commands; GUI graphical controls; menu/form/touch/voice अन्य interfaces।
- Binary2, octal8, decimal10, hex16।
- Unsigned n-bit $\max 2^n-1$; two's complement range -2^{n-1} to $2^{n-1}-1$ ।
- BCD digit-wise; Gray adjacency-oriented; ASCII7-bit।
- Unicode code point, UTF encoding और font glyph अलग concepts।
- Parity error detection है, general correction नहीं।

Answers में इन Errors से बचें

“CPU=पूरा cabinet”, “हर byte=character”, “Unicode हमेशा 16 bits”, “64-bit CPU supports installed 2^{64} -byte RAM”, “serial हमेशा धीमा”, “firmware बदल नहीं सकती”—ये statements context के बिना गलत हैं।

15. Examination Question Bank

5 Marks Questions

- Computer की definition, characteristics और limitations लिखिए।
- Computer history की प्रमुख stages लिखिए।
- किसी generation की features और examples लिखिए।
- Analogue, digital और hybrid computers में अंतर लिखिए।
- Types of digital computers समझाइए।
- CPU block diagram तथा CU/ALU/registers लिखिए।
- Fetch–decode–execute cycle समझाइए।
- CPU memory-addressing capability numerical सहित लिखिए।
- Microprocessor और single-chip microcomputer में अंतर लिखिए।
- User interfaces के प्रकार लिखिए।
- Hardware, software और firmware समझाइए।
- Binary/octal/hex conversion के solved examples दीजिए।
- BCD, Gray, ASCII और Unicode पर notes लिखिए।

10 Marks Questions

- Computer history तथा five generations का comparative explanation लिखिए।
- Computer classifications और major components labelled diagram सहित समझाइए।
- CPU diagram, registers, buses और instruction cycle का example दीजिए।
- Memory addressing के formulas और byte/word numerical समझाइए।
- Microprocessor, microcontroller और user interfaces विस्तार से लिखिए।
- Number systems: integer/fraction conversions, grouping और arithmetic examples लिखिए।
- Computer codes: BCD, Excess-3, Gray, ASCII, EBCDIC, Unicode और parity समझाइए।

Numerical Practice

Convert: $93_{10} \rightarrow \text{binary}$; $76_8 \rightarrow \text{decimal}$; $B7_{16} \rightarrow \text{binary}$; $0.875_{10} \rightarrow \text{binary}$ । Answers: 1011101_2 ; 62_{10} ; 10110111_2 ; 0.111_2 । 24-bit byte-addressable space = 16 MiB।

16. Sources & Teaching Note

Historical milestones और encoding distinctions के लिए नीचे authoritative resources दिए गए हैं। Notes के explanations, numerical examples और diagrams classroom learning के लिए तैयार किए गए हैं।

[1] Computer History Museum: Timeline

<https://www.computerhistory.org/timeline/>

[2] Computer History Museum: Single-chip Microprocessor

[1971: Microprocessor Integrates CPU Function onto a Single Chip](#)

[3] Unicode Consortium: UTF Encoding FAQ

https://www.unicode.org/faq/utf_bom.html

[4] Unicode Consortium: Technical Introduction

<https://unicode.org/standard/principles.html>

Teaching Scope

Generation date ranges broad educational approximations हैं। Assembly examples illustrative हैं, actual ISA syntax नहीं। Memory formulas में addressability assumptions stated हैं। Fixed-width binary answers declared width के अनुसार पढ़ें। Hardware capacities/performance model-specific हैं; examples current product recommendations नहीं हैं।

How to Revise

एक topic पढ़ें → diagram बिना देखे बनाएँ → एक example solve करें → answer verify करें → 5 या 10 अंक का response headings में लिखें। इस प्रक्रिया से definitions और working दोनों याद रहते हैं।