

Notizen Einführung in die Informatik

Roadmap zur Klausur

Wechsel der Zahlenbasis
Hornerschema Division durch fallende Potenzen
Huffmancodierung Shanon-Farno-codierung
CRC-Prüffelder
Auf Sender- und Empfängerseite
Wissensfragen quer durch das Modul
Gleitpunktzahlen IEEE Umwandlung von und nach
Multipalchoice querbet
vollständige Linux-Comandos
Schaltnetze Boolesche Funktionen
KNF und DNF
Hamming-Codes
Codewort ermitteln oder Parität prüfen

06.11.2020

Einführung

Organisation
Methoden Softwareentwicklung, Mischform V und P. Ziel: Student soll konstruktive Fragen stellen können. Weiteres Wissen selbstständig erarbeiten.
Von Neumann Rechner, Prinzip für meiste CPUs heute. Clusterung Gerätekunde.
Keine Musterlösungen Material muss selbst erarbeitet werden. Informatik: Systematische Darstellung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen. Hot Swopping, Mainframes hohe Verlässigkeit. Abgrenzung Supercomputer. SC besteht aus vielen zusammengeschalteten Prozessoren.
Kerninformatik: theorie, praktisch, technische
Angewandte Informatik: Softwareentwicklung
Theoreitsche Informatik Beispiel KI. Informatikstudium sollte sich auf Kerninformatik beziehen. Informatik besteht nicht nur aus Programmieren.

Geschichte Informatik

Zahlsysteme älteste Zahlzeichen 4000 v.Chr. Ägypter hatten Zeichen für Zahlen.
Frühe Stellenwertsysteme. Rechenbuch Indische Ziffern Adam Ries. Dualsystem basiert auf Leibnitz. Basiert auf 2-er Potenzen. 1550 Dezimalnotation und Logarythmus. Komplexe Rechnungen mit Logarythmus auf Addition etc zurückführen. Traum Mechanisierung von mühevolem Rechnen. Erste Konstruktion 1592. Problem Feinmechanik war nicht präzise genug. Mauser-Cordt 1929 erste kommerzielle elektrische Rechenmaschine.
Erste Webstühle programmierbar 1728 Mit Löchern in Holzplatten. Difference

Engine Charles Babbage. Analytical Engine Programmgesteuerte Rechenmaschine. Weist alles auf was ein moderner Rechner hat. Lochkarten. 1833
1886 Automat Volkszählung. Ausgründung Wurzel der Firma IBM. 1924f

20.11.2020

Visionen aus 1954. Vorstellung von Wissenschaftlern aus den 50 Jahren wie ein PC heute aussehen könnte
Personal Computer

Geschichte Computernetze Netzentwicklung Sputnikschock
USA wollten mit UDSSR nachziehen
ARPANET zum Internet
Dateitransfer, E-Mail, Remote-Login
IETF Internet Engineering Taskforce
RFC = Request for Command
IETF veröffentlicht RFCs und basis der Meinung der Community wird der neue Standard etabliert.
das WWW Protokoll World-Wide-Web
Wiege des WWW in Zern um wissenschaftliche Dokumente zu organisieren 1990
es entstand HTML
1991 50 Webserver
1995 Browserkrieg zwischen MS und Netscape
Netscape verliert Browserkrieg
1995 HTML CSS sollen WWW Standardisieren
W3C Organisation für das WWW
Aktuell nur graduell keine fundamentale Entwicklung
Gesetz von Moore: Alle n Monate verdoppelt sich die Anzahl Transistorfunktionen auf der gleichen Fläche. 1965
Neuanwendungen von Rechenleistung verteilte Systeme, open-sourche, Heterogenität, Skalirbarkeit, Sicherheit, Echtzeitfähigkeit (garantierte Höchstdauer), Fehlertoleranz / Robustheit, Multimedia, WWW-Anbindung, Managebarkeit,

Gesellschaftliche Auswirkungen

Informatik ist zwingend Teil des Alltags.
Jeder nutzt Informatik und ist abhängig davon

Grundbegriffe der Informatik Information und Definition, Relationen, Funktionen, Graphen, Bäume, Algorithmen und Datensrukturen
Partielle und totale Ordnung
System
Grenzen nach außen und innen

Schnittstellen nach Außen
 Komponenten und ihre Beziehungen innerhalb des Systems
 Abstraktion erkennt durch Eigenschaften und Beziehungen eines Ausschnitts der realen Welt
 Modell als Ersatz für Realität
 Modell muss einfacher sein als Wirklichkeit
 billiger und oder sicherer
 Informatiker sind systemorientiert
 Gatter
 Register Transfer Sprache
 Bildet einen Prozessor der programmiert werden kann. Prozessorsystem
 Anwendungsprogramme
 Geschäftsprozesse
 Informatik ist die Wissenschaft der Informationsverarbeitung
 Information = Die Essenz von etwas
 Darstellung einer Information ist der einzige Kommunikationsweg
 Kommunikation nur über Darstellung
 Semantik = Informationsgehalt,
 Representation = Darstellung der Semantik
 Deutung
 Deutung kann mehrere Informationen haben.
 Verstehen Herstellung von Beziehung aus Repräsentation und Wirklichkeit

formelle Sprachen

Zeichen, Zeichenvorrat
 Bit
 Bsp. 0 teil Zeichenvorrat 0, 1
 Zeichen abstrakt wertneutral
 Symbol Zeichen mit Bedeutung
 Alphabet σ Zeichenvorrat mit linearer Ordnung (Reihenfolge) z.B. das ABC
 Wörter sind endliche Folgen von Zeichen eines Alphabets $\in \sigma$ als Sequenz geschrieben. $|w| = n$ für Länge des Worts, $|w|$ kann auch 0 sein.
 σ^* Menge aller Wörter.
 σ^+ Menge aller nicht leeren Zeichenketten.
 σ^n = alle Zeichenketten mit Länge n.
 Präfix Anfangsstück, Suffix Endstück
 Lexikographische Ordnung: suchen nach alphabetischer Ordnung Beispiel Lexikon.

Alle $w \in \sigma^* : w \leq_{lex} W$

lexikographische Ordnung definiert eine lineare Ordnung für ein Alphabet.

27.11.2020

Bsp.: $\Sigma^* = (0,1)^* \leq_{lex} 1$

Mengenoperationen lassen sich auf formale Sprachen angewendet werden. Sprache

L kann mit M geschnitten werden: $L \cap M$

Oder vereinigt werden: $L \cup M$ Sei A und B Zeichenvorräte ist ein Code eine Abbildung c.

Decodierung ist die Abbildung eines Codes injektiv.

Zu Codezeichen wird Klarzeichen gesucht.

Graphen und Bäume werden in Mathematik behandelt.

Algorithmen

Verarbeitungsvorschrift müssen exakt festgelegt sein, formal definiert sein, durch einen Prozessor ausführbar sein. Darunter versteht man einen Algorithmus.

Ein Algorithmus ist ein Verfahren in einer genau festgelegten Sprache zur Lösung gleichartiger Probleme.

Algorithmus liefert für eine Eingabe immer eine Ausgabe.

Problemklasse und Lösungsverfahren unterscheiden.

Merkmale Algorithmus:

terminiert nach n endlichen Schritten.

deterministisch feste Ablaufschritte.

determiniert Endergebnis ist immer eindeutig(korrekt).

klassische Elemente: Wiederholung Rekursion arithmetische Operatoren Vergleichsoperatoren.

Komplexität meint Abhängigkeit zwischen Aufwand und Anfangszustand. Z.B. Speicheraufwand, Rechenzeit.

unified modeling language = UML

Def. Syntax ist die zulässige Anordnung einer Sprache.

Eine Programmiersprache ist eine formale Sprache zur Darstellung von Algorithmen.

Ein in einer solchen Sprache dargestellter Algorithmus heisst Programm.

Def. Prozess Ausführung eines Programmes für ein bestimmtes Problem.

Kap 3. Repräsentierung von Informationen in Rechensystemen

Def Daten sind Informationen die nach eindeutigen Regeln in Rechensystemen gespeichert und verarbeitet werden. Def. Nachrichten sind Daten für Übertragungen.

Bitfolgen variabler Länge Bits, Vektoren bestimmte Länge.

1 byte ist eine Folge aus 8 Bit!!!

byte ist die kleinste adressierbare Einheit in heutigen Arbeitsspeichern.
fortlaufende Bytes sind durchnummeriert. Diese Nummern nennt man Adressen.
Maschinenwörter meist Binärwörter weniger fester Längen.
typisch 32 Bit Wortlänge bei 32-bit Prozessoren 64-bit Desktop.
Wortlänge hängt von der Hardware ab.
B KB MB GB TB PB Unterscheide Kilobyte und Kibibyte KB = 1000 Byte
Kibibyte = 1024 Byte
Auf Bitvektoren können boolsche Funktionen angewendet werden.
Elementare Maschinenbefehle. Verschieben rotieren (links rechts)
Bitoperatoren in Hochsprachen

Summe der Potenzen der Basis
Horner-Schema
Q Darstellung R nur Aproximation
Q setzt sich periodisch vor R nicht periodisch
Umrechnung der Darstellung
Division durch fallende Potenzen der Zielbasis.
Horner-Schema Division durch B
Konvertierung gebrochener Zahlen
Darstellung ganzer Zahlen als Maschinenwort.
 $64 \text{ bit} = 2^{64}$
Bitmuster in Maschinenwort.
Bitmuster (byte) werden unterschiedlich in Speicher geschrieben. Big-Endian,
Little-Endian BE höchstes Byte als letztes.
LE höchstes Byte als erstes.
Vorzeichen-Betragsdarstellung
Excess-Darstellung Bsp Analog-/Digitalwandler
Komplement-Darstellung

11.12.2020

Stellenkomplement
Darstellung in n-Bit Maschinenwort
symetrischer Bereich darstellbarer Zahlen
doppelte Darstellung der 0
Einfache Arithmetik
Zweierkomplementdarstellung
Einerkomplementdarstellung
Unterschied im Wertebereich beachten.
unterschiedliche Wortlänge verursacht größeren Wertebereich. signed integer
Speicherüberlauf alle Bits klappen um.
Arithmetik in der Zweierkomplementdarstellung
Subtraktion und Addition kann mit Addition dargestellt werden.
Vorzeichenbit = Normale Stelle

Bsp: $0110 + 0011 = (01)1001$

(01) Übertragbits beachten um feststellen zu können ob Wertebereich verlassen wird.

Wenn Übertragbits ungleich Indikator für Fehler.

Multiplikation Komplementdarstellung

Mit Addition und Multiplikation können alle Grundrechenarten abgebildet werden.

Darstellung Festkommazahlen

Festes Bitmuster bleibt, Komma wird nur gedacht und ist eine Vereinbarungssache.

Probleme: Ungenaue Konvertierung, Rundungsfehler

Dezimalarithmetik (BCD) als Antwort auf die Anforderung Buchhaltung auf den Cent genau.

BCD Darstellung

Dezimalzahl wird in 4-stelligen Dualzahlen dargestellt. Darstellung Ziffernweise, nur für 0 - 9.

Rest Pseudotetrade.

Darstellung von Gleitkommazahlen.

Wird angenähert. Es werde nur die wichtigsten Stellen gezeigt.

Komma wird zum Teil der Zahlendarstellung

Gleitkommazahl $x = m * B^e$

m ist eine vorzeichenbehaftet Festkommazahl

B ist die Basis des Systems typisch 2, 8, 16, 32

e ist ganzzahliger exponent (Bestimmt Größe der Zahl)

Mantisse m muss normalisiert werden.

$\frac{1}{B} < |m| < 1$ oder $1 \leq |m| < B$ Maschinenwort wird in S ch m unterteilt.

Wahl der Grenzen bestimmt Wertebereich und Genauigkeit

Mehr Platz für Mantisse = mehr Genauigkeit

Mehr Platz für Exponent (ch) = größerer Wertebereich

Arithmetik dieser Darstellung lehnt an Potenzgesetze an.

IEEE Gleitkommadarstellung

Bitmuster alleine macht keine Darstellung

18.12.2020

Buchstaben, Ziffern, Steuerzeichen = alphanumerischer Code

heute UTF-8 und UTF-16

US-ASCII code

PC-8 führt Sonderzeichen ein.

Anfang der 90er Alle Zeichen der Welt sollen eigenen Code bekommen.

Zeichenbereiche in U sind Skripte.

Skripte können angesprochen werden auf Programmierenebene.

little oder bigg engine byte order mark

Jede ASCII ist gültiger UNICODE gemäß UTF-8!!!

Unicode kann in Ruby verwendet werden. Serielle Übertragung Zeittakt

Parallele Übertragung nutzt mehrere Leitungen parallel.
Signal zeitlicher Verlauf einer physikalischen Größe.
Def. Rasterung: Abtastung eines Signals zu bestimmten Zeitpunkten (Intervallen).
PCM

08.01.2021

Codierung
Komprimierung, Fehlererkennung -behebung etc,
Codierung ist eine Abbildung über zwei Zeichenvorräte.
Ziele von Codierung: Geheimhaltung, Sicherung gegen Fälschung, Effizienz
Codebaum
Def. Blockcodes = wörter fester Länge.
Def. Dichter Code ist surjektiv.
Gray-Code wechselt bei Zustandswechsel immer ein Bit.
Blockcode kann zum Beispiel 7-Segmentanzeige steuern.
Def. Fano-Bedingung Kein Codewort ist Präfix eines anderen Codeworts.
Häufigkeitsabhängige Codierung
Länge der Codewörter häufiger Zeichen soll möglichst kurz sein.
Mittlere Codelänge.
Codierungstheorem von Shanon: es gibt eine untere Grenze Mittlere Codelänge.

15.01.2021

nicht verlustfreie codierung typisch Bild und Ton.
Fehler erkennende Codes
Fehler korrigierende Codes
Def. Ein Bitfehler seines Signals ist seine Umkehrung.
Fehler werden erkannt indem geprüft wird ob es sich um ein gültiges Codewort handelt.
Fehler Eingabefehler, Übertragungsfehler (Burst-Fehler \vee Bündel-Fehler), Speicherfehler.
Fehlercodes während auf häufigste Fehler angepasst.
möglich durch Hinzufügen von Redundanz.
Hamming-Gewicht und Hamming-Abstand
Hamming-Gewicht $g(b)$ Anzahl der 1 im Code.
Hammingdistanz zwischen AB ist die Anzahl der Stellen an denen sich die Codewörter unterscheiden.
Fehlerkorrektur problemlos möglich für einen Code mit Hammingabstand d bis $d - 1$.
Paritätsbit

Fehlererkennung durch Paritätsprüfung
 Fehlercode beheben für $d = 2k+1$ können Störungen mit höchstens k -Bitfehler behoben werden. Beispiel $d = 3$ $k = 1$
 Binärer Rechteck-Code
 Paritätsbit je Codewort und je Spalte.
 lineare codes symmetrische codes.
 Blockcode Länge n dan 2^m Codewörter mit $m \leq n$ daraus folgt $r = n - m$ Prüfstellen.
 Def. Hammingcode ist ein linearer symmetrischer code.
 Prüfbit an Stelle 2^{r-1} r wächst damit logarithmisch.

22.01.2021

Optimalität Hamming-Code
 Satz: $m+r+1 \leq 2^r$ für Hamming-Distanz ≥ 3 .
 SEC DED Codes Single Error Correction und Double Error Detection
 Error Correcting Code Memory ECC Speicher
 Hamming-Code für k wörter wird in Tabelle zeilenweise geschrieben und spaltenweise übertragen.
 Spalten können mit Hamming-Code gesichert werden.

Zyklische Codes
 Burst-Fehler = Folgen verfälschter Bitstellen
 n Bits eines Datenblocks B der Länge n werden als Koeffizienten eines Polynoms $P(x)$ mit dem Grad $n - 1$ interpretiert.
 an M bits werden R Prüfbits angehängt.
 $M(x) * x^r$ Division durch Generator Polynom muss einen Rest mit dem Grad $r-1$.
 Empfänger prüft $P(x) / G(x)$ muss R ergeben. Fehler wird erkannt indem der Rest $R = 0$ ist.
 Generatorpolynom ist Vereinbarung zwischen Sender und Empfänger.
 Wenn $P(x) : G(x)$ ohne Rest teilbar ist sind alle Daten heil angekommen
 Je länger Burstfehler desto länger muss CRC Feld sein.
 Generatorpolynome in der Praxis standardisiert.
 CRC Feld mit Länge r kann $r-1$ Fehler erkennen.

Kapitel 5 Schaltwerke und Schaltnetze
 Def. Eine Schaltfunktion wird durch eine Abbildung definiert:
 $f_s : \{0, 1\}^n \rightarrow \{0, 1\}^m$
 zu Beginn $m = 1$. Dann bildet eine n stellige Boolesche-Funktion auf ein binäres Tupel ab.
 Boolesche-Funktion wird durch Wertetafel beschrieben.
 n -stellige Boolesche-Funktionen können durch verkettete 2-stellig Boolesche-Funktionen dargestellt werden.

Boolsche-Algebra
Dualitätsprinzip
Beispiel Idempotenzgesetz De Morgansche Regeln.
Boolsche-Terme

29.01.2021

Normalform boolsche Terme
dnf und knf
Minterm mit oder verknüpfen
Maxterme mit und verknüpfen.
Normalform soll elektronische Schaltungen vereinfachen.
Komplexitätsmaße: Größe: Chipfläche und Tiefe: Klammersausdrücke dnf und knf sind nicht auf minimaler Hardware optimiert.
Kann zum Beispiel mit KV-Diagramm erzeugt werden.
Schaltnetze
Graphische Repräsentierung für Schaltungen basierend auf boolscher Algebra.
gerichteter zyklener freier Graph.
Gatter eingehende Kante und ausgehende Kante
Gatter sind unär oder binär.
2 stellige logische Gatter.
es gibt und oder nicht und nicht oder xor und equiv Gatter.
NAND-Gatter ist universell.
technische Realisierung von Gattern.
And zwei Schalter gegeneinander in Serie
Or zwei Schalter parallel.
Gatter höherer Ordnung n-Oder-Gatter n-And-Gatter.

praktische Beispiele für Schaltnetze.
Übersicht: Tore, Encoder, Decoder, Multiplexer, Demultiplexer, Halbaddierer, Volladdierer, Arithmetisch-Logischen-Einheit (ALU)
Tor, kontrollierte Durchleitung mit Steuersignal.
Encoder 1 aus n code Übersetzung aus spärlichem in dichten Code.
für jeden gewünschten Zustand hat der Decoder einen Ausgang.
z.B. drei Ausgänge für 8 Inputsignale
Decoder dekomprimiert code.
Encoder und Decoder können Leitungen sparen.
Multiplexer n Eingänge werden auf einen Ausgang, nacheinander (seriell) durchgeschaltet. Decoder wird für Steuersignal verwendet.
Demultiplexer Gegenstück zum Multiplexer.
Halbaddierer addiert zwei Bits.
bei (1,1) wird Übertrag benötigt Carry Bit.
Volladdierer: Berücksichtigt Übertrag aus vorheriger Stelle.
Viele VAs ergeben hohe Tiefe und damit hohe Laufzeit. (Ripple Carry)

Lösung: Carry-Look-Ahead. Alle Überträge werden vor dem Addieren berechnet.

ALU kann undieren odieren addieren etc.

Schaltwerke

Graphen mit Rückkopplung um Speicherung zu ermöglichen.

05.02.2021

Rechner Architektur

Ziele universell oder Speziell

Def. OS/BS Betriebssystem ist das grundlegendste Systemprogramm. Verwaltet alle Systemprogramme offeriert eine Virtuelle Maschine.

Abstraktion der Datei.

Def. Ressourcen: Alle zuteilbaren Hard- und Softwarekomponenten.

Betriebssystem als VM

Ziel: Schirmt vor Komplexität ab. OS richtet sich danach.

Typische Abstraktionen: Prozess, Threads (Aktivitätsträger), Datei, Speichersegment, Nachrichten, Synchronisierungsobjekt

OS Als Betriebsmittelverwalter

OS Ordnet Zuteilung von Ressourcen.

Vereinfachte Schichtung, Assembler als hardware nahe Sprache.

Von-Neumann-Architektur

Idee Programm soll im Hauptspeicher gehalten werden.

Von-Neumann-Architektur prinzipielle bis heute.

Ziel der Hardwareersparnis ist gefallen.

Elemente: CPU (Rechenwerk, Steuerwerk).

I/O, Speicherwerk.

Speicherwerk enthält Maschinenprogramm.

Elemente werden mit Bus verbunden.

Control Unit liest Steuerbefehle.

Rechenwerk liest Daten und schreibt Ergebnisse

I/O gibt Ergebnisse aus und liest eingaben ein.

Speicherwerk

MAR = Memmory Adress Register

Decodierung

MDR = Memmory Data Register

Rechenwerk enthält ALU, und Akkumulator

ACC = Ergebnisregister

Steuerwerk: Instruction Register IR, Programm Counter

Ablaufsteuerung

Ablauf: streng zyklisch und sequenziell.

Von-Neumann-Flaschenhals

Engpass Prozessor und Speicher

häufige Transportbefehle.

Bus zwischen Speicher und CPU macht Langsam.
 Lösung schnelle Zwischenspeicher an der CPU sogn. Caches.
 Leistungssteigerung durch Transistorgröße oder durch Anzahl der Transistoren.
 Erhöhung der Wortbreite eines Maschinenworts.
 Prozessorfamilie: Maschinenprogramme bleiben kompatibel zu früheren Mitgliedern einer Familie.
 Speicherarten: RAM (Random Acces Memmory); ROm(read only); EPROM(eraseable programmable ROM);
 EEPROM electric EPROM vorreiter für flash Speicher.
 S(tatic)RAM speicher aus Flip Flops schnell und teuer
 D(ynamic)RAM Basis Kondensatoren
 zerstörendes Lesen muss durch anschließendes Schreiben ausgeglichen werden.
 Kondensatoren verlieren durch Leckstrom speicher.
 refresh erforderlich in deutlich unter 100 Nanosekunden.
 DRAM Grundlage der Hauptspeicher.
 SSDs nutzen Kondensatoren reduzieren aber Leckstrom.
 Kondensatoren können mehrere Spannungsstufen unterscheiden.
 Interleaving
 multible Nutzung von Speicherbänken.(RAM immer im dual Channel)

12.02.2021

Steuerwerke
 Steuerwort
 Jedes Maschinenwort braucht Operationscode
 Steuerwerk im Steuerwerk
 Mikroprogrammiertes Steuerwerk
 Sequencer legt nächsten Befehl fest
 Microprogramme im Steuerwerk
 Leistungssteigerung CPU
 Ausstattung Spezialeinheiten Koprozessoren.
 Pipelining, Vervielfältigung von Modulen
 CPU/Speicher Schnittstelle
 Prefetching
 Caching
 Pipelining: Mehrere Spezialisten bearbeiten Parallel ein Problem in Teilaufgaben.
 Pipeline haben Nachlauf und Hochlauf.
 Besonders problematisch Sprungbefehl
 Superskalarität
 CPU Verfügt über mehrere Verarbeitungseinheiten
 Caches
 L1 schnell und klein L1 Cache hat einen Data und einen Code Cache halten
 CPU Takt mit

L2 Cache KiB, langsamer als L1
 L3 nimmt Daten auf
 Swapping Schieben von Daten aus Hauptspeicher Sekundarspeicher.
 CISC / RISC
 CISC möglichst viele komplexe Befehle in Hardware umsetzen
 RISC Reduziertes Set von Anweisungen. Verschlankeung der CPU
 Spekulative Ausführung
 Ausführung eines Bedingten Sprunges bevor der Befehl kommt.
 CISC/RISC-Grenzen verwischen
 SIMD-Technik, Vektorverarbeitung
 Systemarchitektur
 Bisher eine CPU und jetzt ganzes System.
 Kopplung mehrerer Prozessoren
 Enge Kopplung bei geteiltem Speicher, lose Kopplung Nachrichtenaustausch
 homogene Systeme haben identische Komponenten (mindestens binärkompatibel
 und gleich schnell)
 symmetrische Systeme Alle Komponenten haben die gleiche Rolle und sind aus-
 tauschbar.
 SI / MI single instruction / Multi instruction
 SD / MD single data / multi data
 können zu vier Fälle kombiniert werden
 Multiprozessorsystem / Multicomputersystem
 Multiprozessorsystem bus oder switchbasiert
 bus eine line. Switch: Kreuzschienenmatix mehrere Schalter schalten mehrere
 Leitungen durch. Zugriffe können parallel erfolgen.
 (Crossbar Switch) hoher Hardwareaufwand, schlechte Skalierbarkeit.
 hirarchischer Bus
 nutzt Kommunikationsprozessor für gelegentliche Fernzugriffe. gute Skalier-
 barkeit.
 Grundlage für Supercomputer
 Stichwort NUMA

19.02.2021

Multiprozessorsysteme
 Maschinen werden auf die Klasse zu lösender Probleme angepasst.
 Multicomputersysteme
 Koppelung lose über message passing
 Caching ist reduziert auf lokale Rechner
 konzentration auf leicht parallelisierbare Aufgaben
 Netzwerkitter-Topologie
 Netzwerk mit n dimensionalen Würfel als Topologie = Hypercube.
 n Kommunikationswege pro Knoten
 längster Weg wächst logarithmisch mit der Anzahl der Knoten.

