Vernetzungkonzepte

- Vernetzung von Rechnern und Eingabe/Ausgabe
- Allgemeine Betrachtungen
- Designaspekte effizienter Kommunikation
- Leistungsentwicklung
- Leistungsmaße
- Netztopologien
- Einbindung in TCP/IP
- InfiniBand-Vernetzung

Vernetzungskonzepte
Die zehn wichtigsten Fragen

- Welche Aufgaben hat die Vernetzung?
- Welche Komponenten weist eine Vernetzung auf?
- Welche Fragen finden wir bei der Pufferverwaltung?
- Was bedeutet Überlagerung von Berechnung und Kommunikation?
- Was versteht man unter Hardware-Realisierung von Software?
- Welche Bandbreiten finden wir bei aktuellen Netztechnologien?
- Welche Charakteristiken sollte die Netzhardware aufweisen?
- Was versteht man unter Bisektionsbandbreite?
- Wie umgeht man die Engstelle TCP/IP
- Welche Protokolle finden wir bei InfiniBand?

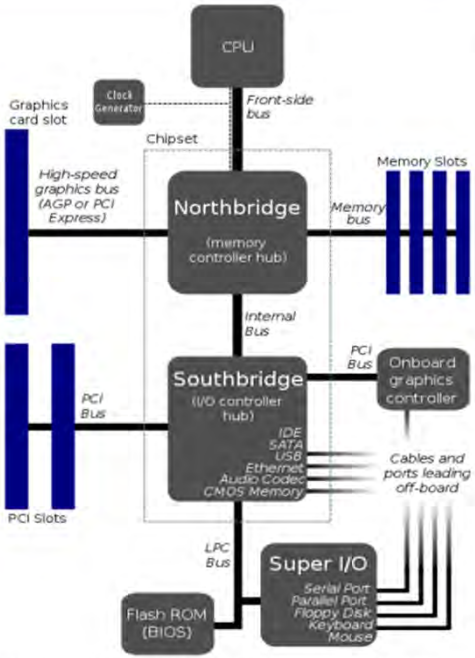
Aufgabenstellung

Wozu Vernetzung?

- Die Vernetzung verbindet Rechnerknoten miteinander, E/A-Knoten miteinander und Rechner- mit E/A-Knoten

- Ermöglicht die Interprozeßkommunikation
  - Prozesse auf verschiedenen Knoten
- Ermöglicht Prozeß-Eingabe/Ausgabe
  - E/A-Hardware meist nicht knotenlokal angeschlossen

Rechnerinterne Vernetzung



- Front-Side-Bus
  - Z.B. 64 Bit mit 100 MHz und 4 Übertragungen/Takt ergibt 3.200 MByte/s
- Northbridge jetzt oft im Prozessor
- Bussystem an der Southbridge schafft Verbindung zu Peripherie
- Prozeß-zu-Prozeß
  - Gemeinsamer Speicher
  - Socketkommunikation
- Prozeß-zu-Datei
  - Datei-E/A

Vernetzung von Rechnern und E/A

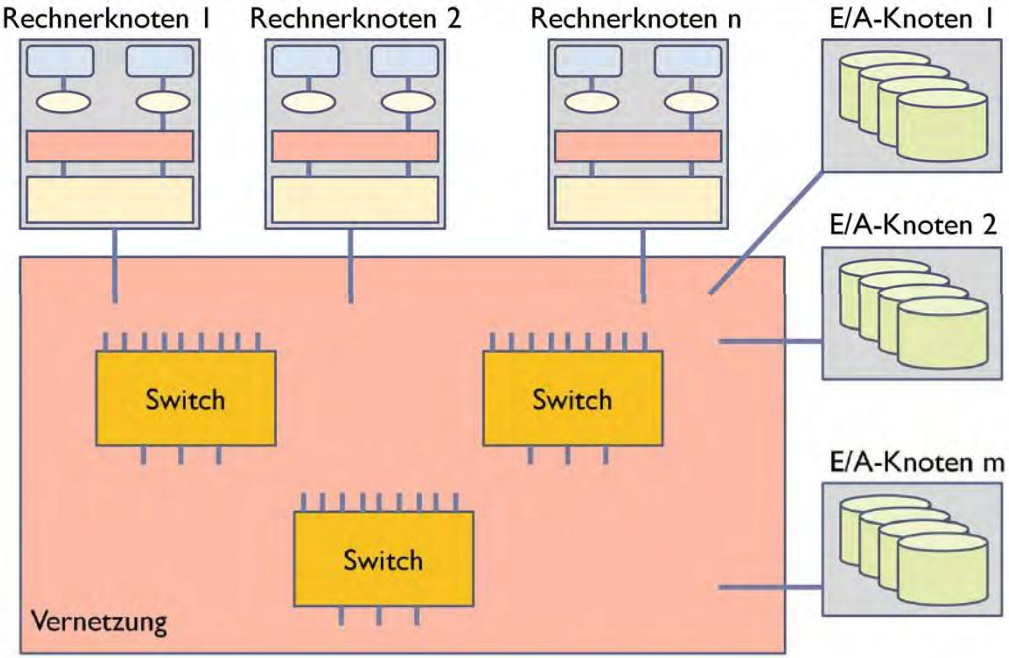
Bestandteile der Vernetzung

- NIC (network interface card) – mindestens eine pro Rechner
- Verbindungsleitungen: Kupfer, Glasfaser
- Switches – zur wechselseitigen Verbindung von Komponenten (Rechnern, E/A-Knoten)

Gegebenenfalls getrennte Vernetzung für

- Prozeßkommunikation
- Eingabe/Ausgabe zu Dateisystemen und Bandarchiv
- Wartung und Kontrolle der Rechner

Vernetzung von Rechnern und E/A



Allgemeine Betrachtungen zur Software

Was interessiert uns an der Vernetzung?

- Programmierschnittstelle hoher Abstraktion
  - Portabilität der Programme wichtig
- Geringe Zusatzlast
- Hardware voll ausnutzbar
- Anpaßbar an unterschiedliche Realisierungen der Vernetzungshardware
- Software zum Netzmanagement

Allgemeine Betrachtungen zur Hardware

Was interessiert uns an der Vernetzung?

- Datenraten
- Latenzzeiten
- Bestandteile der Vernetzung
  - Kabel: Kupfer, Glasfaser
  - Netzkomponenten: Karten, Switches
- Ausfallsicherheit
- Adaptive Wegewahl
  - Bei Überlast / bei Fehlern
- Anbindung an TCP/IP

Designaspekte effizienter Kommunikation

Überblick über wichtige Designaspekte

- Pufferverwaltung
- Überlappung von Berechnung und Kommunikation
- Realisierung in Hardware
- Datentransport

Pufferverwaltung (1/2)

Warum ist Pufferverwaltung relevant?

- Verwaltung von Speicherplatz ist sehr teuer
- Umkopiervorgänge sind sehr teuer

Aufgabenstellung

- Nachricht steht sendebereit im Adreßraum des sendenden Prozesses
- Nachricht durch alle Softwareschichten und das Netz in den Speicher des Empfängers befördern
- Nachricht im Adreßraum des Empfängers zur Verfügung stellen

Pufferverwaltung (2/2)

- Zero-Copy-Mechanismen
  - Am besten aus einem Adreßraum sofort in den Netzadapter übertragen – schwierig!
- Speicherregistrierung
  - Moderne Vernetzungen gestatten Remote Direct Memory Access (RDMA)
  - Setzt die Registrierung von Speicherbereichen voraus – zeitaufwendig
- Unerwartete Nachrichten
  - Der Empfänger hat keine Kenntnis, daß eine Nachricht eintreffen wird
  - Entsprechend sind keine Puffer allokiert und der Ablauf verlangsamt sich

Überlappung von Berechnung und Kommunikation

Welche Phasen sehen wir bei der Kommunikation?

- Daten aus der Anwendung zum Sendenetzadapter
- Daten vom Sendenetzadapter zum Empfangsnetzadapter übertragen
- Daten vom Empfangsnetzadapter zur Anwendung

Was soll überlappend stattfinden?

- Am besten alle drei Phasen!

Was kann aktuelle Hardware

- Verschieden gute Varianten der optimalen Lösung

Noch problematisch:

- Kann die Software das ausnutzen?

Realisierung in Hardware

Moderne Netztechnologien gestatten die Abarbeitung eines Teils der Software-Schichten in der Adapterhardware (genannt offloading)

Diese Hardware nennt man für TCP/IP:

- TCP/IP offload Engine, kurz ToE

Erhöht gegebenenfalls die Überlappung von Berechnung und Kommunikation

Datentransport

- Zuverlässigkeit: weniger kritisch als in WANs
- Paketgröße und Maximum Transfer Unit (MTU)
  - IP-Paket: max. 64 KB, Ethernet Standard: 1.500 Byte
  - Ethernet verwendet sog. Jumbo-Frames
- DMA-basiert (direct memory access)
  - Entlastet Prozessor
- Unterbrechungen und Polling (Abfrage)
  - Unterbrechungen sind schwergewichtig
  - Polling benötigt Zeit vom Prozessor
  - Wir finden beide Realisierungen

Leistungsentwicklung

In den Jahren von 1990-2010 sehen wir verschiedene Generationen von internen Bussen und externen Netztechnologien

Die Geschwindigkeitssteigerungen sind viel geringer als bei den Rechnern!

Bussysteme

PCI	1990	33MHz/32bit: 1.05Gbps (shared bidirectional)
PCI-X	1998 (v1.0) 2003 (v2.0)	133MHz/64bit: 8.5Gbps (shared bidirectional) 266-533MHz/64bit: 17Gbps (shared bidirectional)
HyperTransport (HT) by AMD	2001 (v1.0), 2004 (v2.0) 2006 (v3.0), 2008 (v3.1)	102.4Gbps (v1.0), 179.2Gbps (v2.0) 332.8Gbps (v3.0), 409.6Gbps (v3.1)
PCI-Express (PCIe) by Intel	2003 (Gen1), 2007 (Gen2) 2009 (Gen3 standard)	Gen1: 4X (8Gbps), 8X (16Gbps), 16X (32Gbps) Gen2: 4X (16Gbps), 8X (32Gbps), 16X (64Gbps) Gen3: 4X (~32Gbps), 8X (~64Gbps), 16X (~128Gbps)
Intel QuickPath	2009	153.6-204.8Gbps per link

Vernetzungstechnologien

Ethernet (1979 -)	10 Mbit/sec
Fast Ethernet (1993 -)	100 Mbit/sec
Gigabit Ethernet (1995 -)	1000 Mbit /sec
ATM (1995 -)	155/622/1024 Mbit/sec
Myrinet (1993 -)	1 Gbit/sec
Fibre Channel (1994 -)	1 Gbit/sec
InfiniBand (2001 -)	2 Gbit/sec (1X SDR)
10-Gigabit Ethernet (2001 -)	10 Gbit/sec
InfiniBand (2003 -)	8 Gbit/sec (4X SDR)
InfiniBand (2005 -)	16 Gbit/sec (4X DDR)
	24 Gbit/sec (12X SDR)
InfiniBand (2007 -)	32 Gbit/sec (4X QDR)
InfiniBand (2011-)	64 Gbit/sec (4X EDR)

Leistungsmaße

Wünschenswerte Charakteristika

- Niedrige Latenz (Aufsetzzeit der Nachrichten)
- Hohe Bandbreite
- Geringe Belastung der CPU
- Hohe Bisektionsbandbreite des Netzes

Vorgriff auf Programmierkonzepte

- Möglichst wenig Kommunikation verwendet
- Wenn überhaupt, dann lieber wenige große als viele kleine Pakete

Netztopologien

Wünschenswerte Eigenschaften

- Identische Datenraten zwischen beliebigen Knoten
- Vermeidung von Engpässen, Überlastungen, Ausfällen
- Erweiterbarkeit
- Skalierbarkeit
- Gutes Preis/Leistungsverhältnis

Bisektion des Netzes

Bisektionsbreite

Anzahl der Verbindungen, die man trennen muß, damit das Netz in zwei isolierte Teile mit gleicher Knotenzahl zerfällt

- Je mehr, desto besser

Bisektionsbandbreite

Aggregierte Bandbreite der durchtrennten Leitungen (=Fluß an der engsten Stelle)

Bisektion des Netzes

Volle Bisektionsbandbreite

Ein Netz mit n Knoten hat volle Bisektionsbandbreite, wenn die Summe aller Bandbreiten von Verbindungen zwischen zwei beliebigen Hälften des Netzes n/2-mal die Bandbreite einer einzelnen Verbindung ist

Warum interessiert uns das?

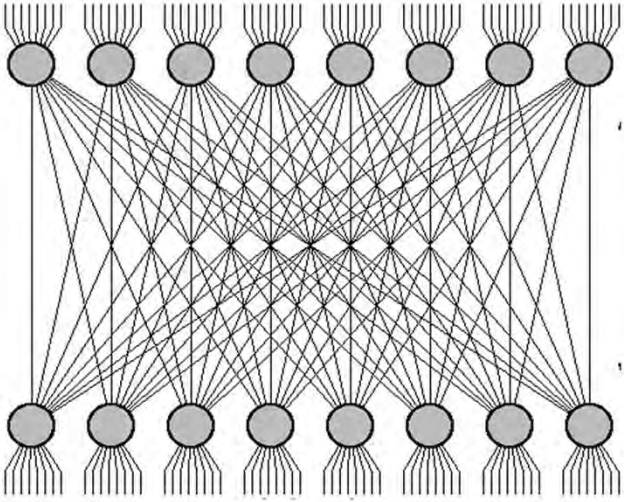
- Wir benötigen ausreichend Switches und Wege, um alle Komponenten leistungsfähig zu vernetzen

Bisektion am Beispiel Myrinet

- Basisbaustein: Kreuzschiene mit 16 Anschlüssen
- Topologie benannt nach Charles Clos (1952)

Myrinet-Switch

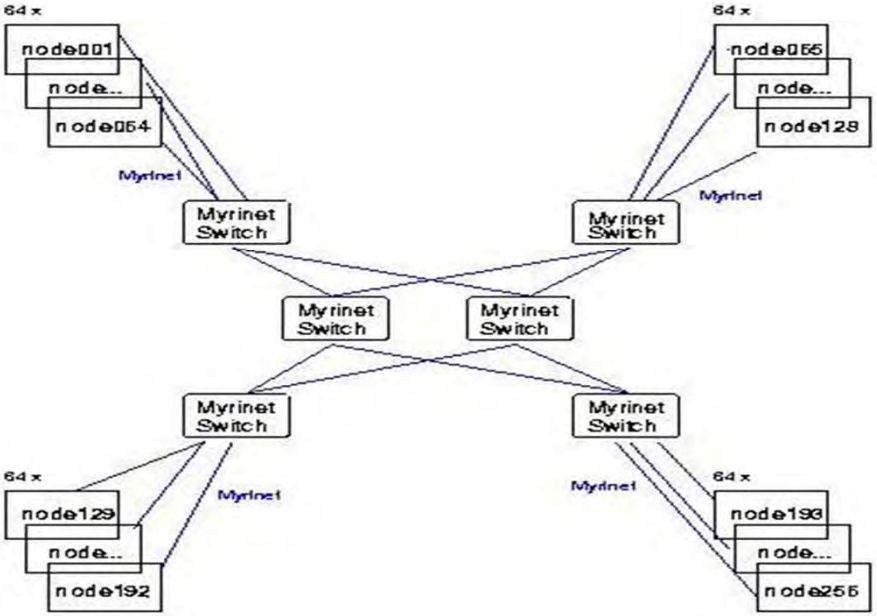
Neue Basiskomponente aus 16 des bisherigen Typs



64 Links ins Netz

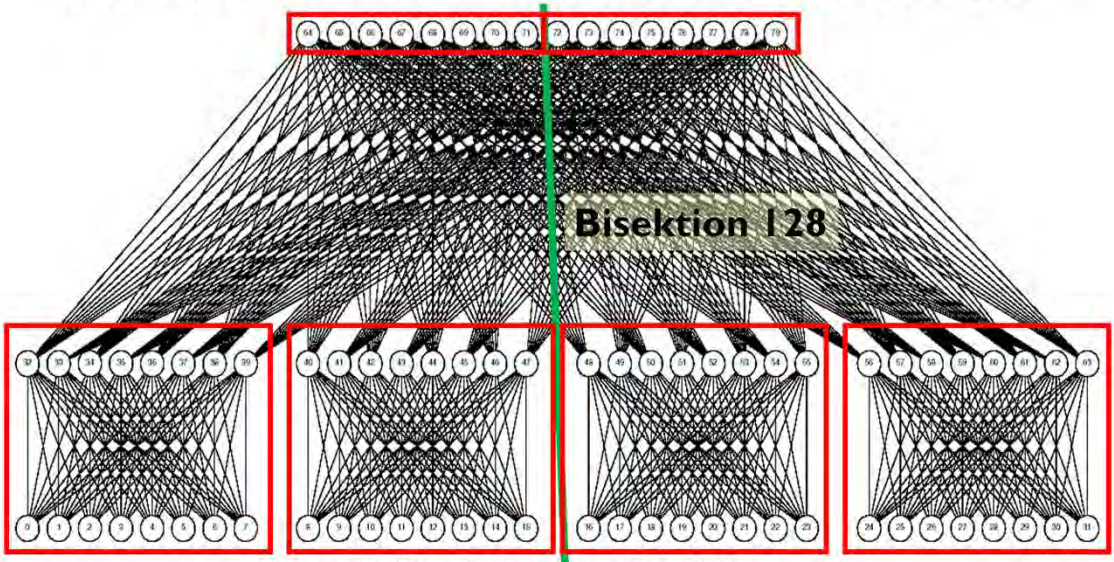
64 Links zu Rechnern

Heidelberger Helics-Cluster mit Myrinet



Myrinet im Detail...

4 Clos64-Bausteine und 2 Switche für 256 Rechner



32 x 8 Rechner angeschlossen

... und in der Praxis

Einbindung in TCP/IP

- Aus Sicht des Programms
  - Socket-Programmierung (Unix-Philosophie: everything is a file)
  - TCP/IP-Schichten im Betriebssystem
- Aus Sicht der Hardware
  - Varianten von Ethernet sehr populär
- Im Rechner-Cluster praktisch immer auch TCP/IP involviert
- Problem: TCP/IP ist schwerfällig

Einbindung in TCP/IP

- Probleme mit TCP/IP
  - Viele Protokollschichten
  - Nicht geringe Prozessorbelastung
  - Integration in das Betriebssystem
  - Kopiervorgänge
  - Anzahl der Unterbrechungen

Einbindung in TCP/IP

- Lösungsansätze
  - TCP-Bypass
    - Definition eines eigenen Paketformats
    - Evtl. Problem: nur cluster-lokal verwendbar
  - TCP Offload Engine
    - Z.B. eine GigE Verbindung kann einen Pentium IV mit 2,4 GHz auslasten
    - Deshalb extra Prozessor für TCP/IP-Protokollstapel
    - Normalerweise auf der NIC untergebracht
  - Kernel Bypass
    - Die NIC kommuniziert direkt mit dem Programm
    - Dies findet man bei allen nicht Ethernet-Vernetzungen!

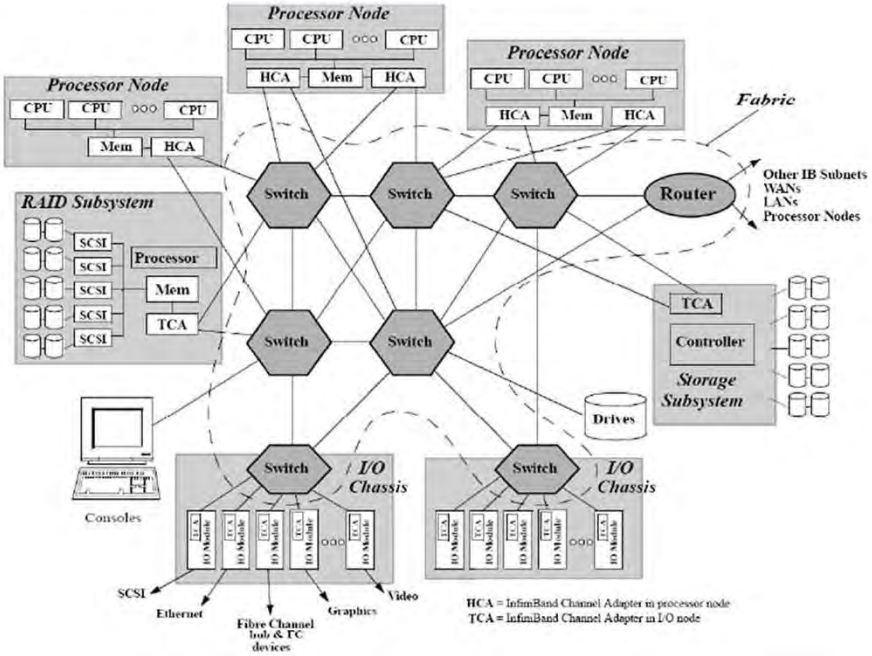
Einbindung in TCP/IP

- Lösungsansätze...
  - Remote Direct Memory Access (RDMA)
    - Die NIC kann direkt in den Speicher eines entfernten Rechners schreiben
  - Zero-Copy Networking
    - Vermeide Kopien zwischen Betriebssystem und Anwendungprogramm
    - Verwende stattdessen DMA und MMU
  - Interrupt Mitigation
    - Fasse mehrere Unterbrechungen zu einer zusammen

InfiniBand-Vernetzung

- InfiniBand ist ein Industriestandard einer Gruppe von Herstellern genannt Open Fabrics Alliance
- Definiert einen Standard für ein Systemnetz
  - Früher auch als Spezifikation eines rechnerinternen Busses bekannt – dieser Ansatz wurde nicht weiter verfolgt
- Unterscheidung zwischen Rechnern und E/A-Geräten
  - Für Rechner verwendet: Host Channel Adapter (HCA)
  - Für E/A-Geräte verwendet: Target Channel Adapter (TCA)

InfiniBand-Netz: ein Überblick



InfiniBand-Software

- IP over InfiniBand (IPoIB)
  - Ermöglicht IP-basierten Protokollen eine Kommunikation über InfiniBand
  - Durchsatz von 300 MByte/s ist höher als der von Gigabit-Ethernet (GE)
  - Latenz von 20 µs vergleichbar zu GE
- Sockets direct protocol (SDP)
  - Durchsätze von 900 MByte/s
  - Latenzen von 12 µs

Vernetzungskonzepte
Zusammenfassung

- Die Vernetzung bringt Rechner miteinander und mit den E/A-Geräten in Verbindung
- Vernetzungshardware sind Netzadapter, Kabel, Switches
- Wir möchten hohe Datenraten und geringe Latenzen bei gleichzeitiger guter Skalierbarkeit
- Effiziente Kommunikation umfaßt viele Einzelaspekte
- In den letzten 10 Jahren haben sich Rechnergeschwindigkeiten 10x schneller gesteigert als Netzgeschwindigkeiten
- Ein wichtiges Maß der Topologie ist die Bisektionsbandbreite
- TCP/IP ist schwerfällig und wird häufig ersetzt
- InfiniBand ist die aktuelle Hochleistungsvernetzung beim Hochleistungsrechnen