NAIST
Nara Institute of Science and Technology

情報ネットワーク論I

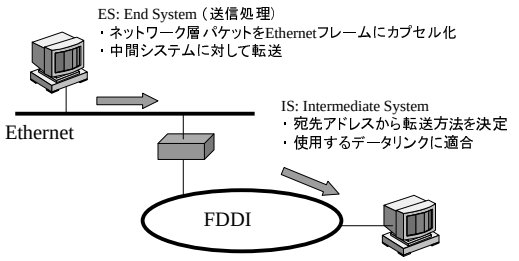
ネットワーク層プロトコルとIP

98.5.8

ネットワーク層の役割

- ネットワーク内の任意のホスト間の通信を実現
  - 複数のデータリンクをサポート
    - ネットワーク層パケットを、データリンクフレームにカプセル化
    - データリンクの違いを吸収
    - 異なるデータリンク間の相互接続
  - 機能的な分類
    - 中間システム (IS: intermediate system)
      - 経路制御
      - データリンクに対する適合
    - 終端システム (ES: end system)
      - カプセル化
      - 経路制御

ISとES



NAIST 実装モデル

Nara Institute of Science and Technology

- Connectionless
  - 信頼性を保証しない
  - best-effort型
  - e.g. IP (Internet Protocol), XNS
- Connection Oriented
  - 信頼性の保証
  - コネクション毎の設定可能
  - e.g. X.25

NAIST 基本機能

Nara Institute of Science and Technology

- 対象
  - データリンク層から渡される受信したデータ
  - トランスポート層から渡される送信データ
- 処理
  - 経路制御
    - 受信したデータを転送するのか
    - どのデータリンクを利用するのか
    - 自ホストで受信するのか
  - データリンクへの適合
    - 特にMTU (Maximum Transmission Unit)への適合
    - fragmentation / reassemble

NAIST 基本機能

Nara Institute of Science and Technology

- アドレスのマッピング
  - ネットワーク層でアドレス空間を定義
  - データリンク層とは独立
  - 実際の通信処理では特定のデータリンク層を利用
  - ネットワーク層アドレスとデータリンク層アドレスのマッピング
  - N(a) → N(b)
    - N(a)→DL(a)（データ転送）DL(b) → N(b)
  - ARP (Address Resolution Protocol)

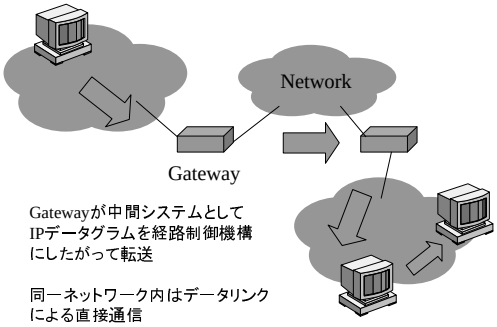
NAIST IP

Nara Institute of Science and Technology

- IPv4: Internet Protocol (version 4)
- TCP/IPプロトコル群でのネットワーク層プロトコル
- 特徴
  - connectionless (IP datagram)
  - 4 octet address space with its own structure
  - unicast / multicast / broadcast / anycast
  - IP + ICMP + ARP + 経路制御
  - reassemble is done only at the end system
  - fragmentation is done based on MTU

NAIST モデル

Nara Institute of Science and Technology



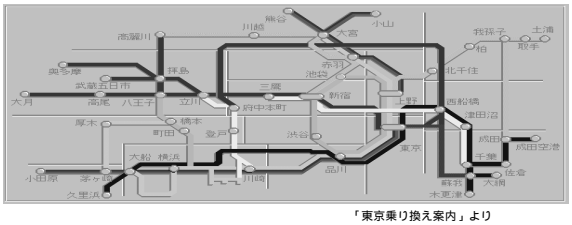
Gatewayが中間システムとして
IPデータグラムを経路制御機構
にしたがって転送

同一ネットワーク内はデータリンク
による直接通信

NAIST インターネットと鉄道網

Nara Institute of Science and Technology

- 客(データ)は必ず目的駅(コンピュータ)に到達する
- 駅には乗換え駅(ゲートウェイ)と普通の駅がある
- 各路線(ネットワーク)は自律運用、かつ、相互協調
- 選択可能な経路、経路の選択は知的な作業
- 鉄道網の「オーナー」はいない



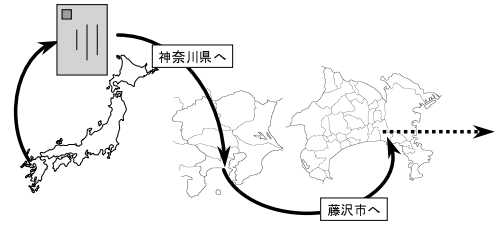
「東京乗り換え案内」より

NAIST インターネットと郵便配送システム

Nara Institute of Science and Technology

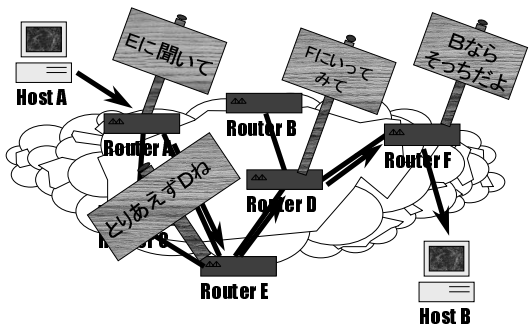
- おおまかに次の配送先を決める
- 全ての郵便局が目的地を知っているわけではない
- 世界規模での自律分散協調システム

神奈川県藤沢市遠藤5322宛



NAIST Routerの役割

Nara Institute of Science and Technology



NAIST IPアドレス

Nara Institute of Science and Technology

- 4オクテット
- 構造を持つ
  - ネットワーク部
    - ネットワーク毎に割り当てる
    - マスクを使ってネットワーク部を表現
  - ホスト部
    - ネットワーク内で重複が無いように割り当てる
- ネットワークインタフェースに与える
  - ゲートウェイでは複数のアドレスを持つ
- 1.0.0.0 から 223.255.255.255 まで

NAIST IPアドレス

Nara Institute of Science and Technology

163	221	74	127
0xA3	0xDD	0x4A	0x7F

ネットワーク部は24ビット

163.221.74.127/24

NAIST IPアドレス

Nara Institute of Science and Technology

- ブロードキャストアドレス
  - ホスト部が all 1 の場合、そのネットワークに対するブロードキャスト (broadcast) となる
  - 例えば 163.221.74.255
  - そのネットワークに接続されており、稼動しているホストに対してデータグラムを配送

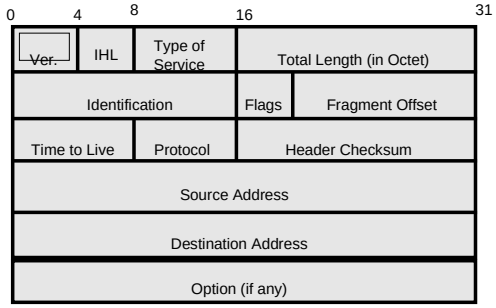
NAIST IPアドレス

Nara Institute of Science and Technology

- マルチキャストアドレス
  - 224.0.0.0 から 240.255.255.255
  - グループ通信
    - マルチキャストアドレスにデータを送信すると、「特定の」ホストのグループにデータを配送
    - グループは動的に形成
    - グループ管理

IPv4 header

Nara Institute of Science and Technology



IPv4 Header

Nara Institute of Science and Technology

- Version
- Internet Header Length
- **Type Of Service**
- Total Length
- Identification
- **Flags**
- **Fragment Offset**
- **Time To Live**
- **Protocol**
- Header Checksum
- ***Source Address***
- ***Destination Address***
- IP options

IP Header

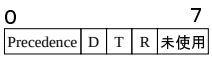
Nara Institute of Science and Technology

- Version
  - 現在のプロトコルバージョン
  - 4 (IPv4)
- IHL
  - Internet Header Length
  - 32bit word で数えたヘッダ長 (word数)
  - IPオプションの部分が可変長であるために、必要なフィールド

NAIST Type Of Service

Nara Institute of Science and Technology

- 上位プロトコルによってつけられるタグ
  - サービスを区別して処理したい場合に重要な情報が収められる
  - IPデータグラムの処理についての「希望・お願い」
- フォーマット



NAIST Type of Service

Nara Institute of Science and Technology

- Precedence
  - 処理優先権
  - 0から7の値
  - 各データグラムの重要度を表す
- 残り3ビットは転送処理に対する希望を表す
  - ビットが設定されているものを希望
  - D: low Delay
  - T: high Throughput
  - R: high Reliability

NAIST Type of Service

Nara Institute of Science and Technology

- 幾つかのアプリケーションの実装では設定
- しかしながら基本的に企画倒れ
  - 処理優先権の考え方
  - プライオリティと網管理

Total Length

NAIST Nara Institute of Science and Technology

- IP データグラムの全長
- オクテット単位
- ヘッダ＋データ

Time To Live

NAIST Nara Institute of Science and Technology

- ネットワーク内でのパケット生存時間
  - 迷子のIPデータグラムを消滅させる
  - 設計時には具体的な時間の情報を考えていた
  - 時間の表現は難しい
- 最大ゲートウェイホップ数
  - ゲートウェイ通過毎に値を減らす
  - 0になったらデータグラムを捨てる
  - 送信ホストに通知 (ICMP Time Exceeded)

Fragmentation & Reassemble

NAIST Nara Institute of Science and Technology

- データリンク毎にMTUは決まっている
  - データリンクフレームのデータ部分の最大長
  - 例えば Ethernet であれば 1500オクテット
- IPデータグラム
  - 可変長
  - 最大長 64Kbyte (Total Length Fieldの制限)
- 大きなデータをMTU以下に分割
  - fragmentation
  - ゲートウェイ毎に発生する可能性あり

NAIST Fragmentation & Reassemble

Nara Institute of Science and Technology

- 最終的な受信ホストで再構成
  - reassemble
  - 中間システムでは reassemble してはいけない
  - 性能の劇的な悪化をさける

NAIST Fragmentation & Reassemble

Nara Institute of Science and Technology

- Flag フィールド（3ビット）
  - 0, DF, MF
  - DF: Don’t Fragment
    - このビットが設定されているデータグラムは fragment 処理をしてはならない
    - MTUよりもIPデータグラムが大きい場合にはエラー
  - MF: More Fragment
    - フラグメントされていて、かつ、後続の fragment がある場合に設定

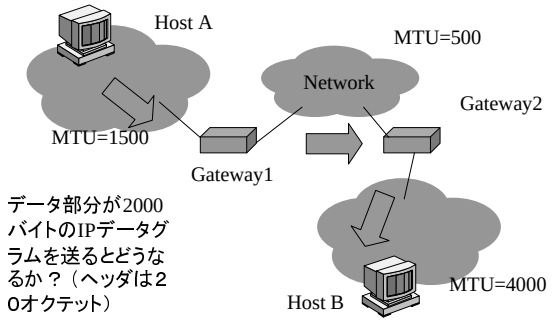
NAIST Fragmentation & Reassemble

Nara Institute of Science and Technology

- Fragment Offset (13bit)
  - そのデータグラムが元のメッセージのどの部分か
  - MFと Fragment Offset を元に Reassemble を実行

NAIST Fragmentation & Reassemble

Nara Institute of Science and Technology



データ部分が2000バイトのIPデータグラムを送るとどうなるか？（ヘッダは20オクテット）

NAIST Fragmentation & Reassemble

Nara Institute of Science and Technology

- Host A
  - H+1480: MF=1, FO=0
  - H+520: MF=0, FO=1480
- Gateway 1
  - H+480: MF=1, FO=0
  - H+480: MF=1, FO=480
  - H+480: MF=1, FO=960
  - H+40: MF=1, FO=1440
  - H+480: MF=1, FO=1480
  - H+40: MF=0, FO=1960
- fragment が一つでもなくなれば、IPデータグラム全体を棄却
  - 性能劣化につながる
  - NFSでは問題

NAIST 上位プロトコルとの関係

Nara Institute of Science and Technology

- Protocol フィールド
  - 上位プロトコルの番号を指し示す
  - multiplexing/demultiplexing の処理
  - TCP (6), UDP (17)
  - プロトコルスイッチによる上位層処理の駆動

IPトンネリング

Nara Institute of Science and Technology

- IPデータグラムをIPデータグラムで運ぶ
- Protocol フィールドには特別な値
  - IP over IP
- トンネリング (tunneling) は最近では広く使われている。
  - IPsec / VPN (Virtual Private Network)
  - IP Multicasting
  - 仮想ネットワーク (Mbone, 6bone)

Network Byte Order

Nara Institute of Science and Technology

- IPヘッダの数値フィールドの符号化方法
- RFC791で規定
- 各ホストのバイトオーダとは独立に定義
  - 解釈に違いが出ないようにするため
- big-endian
  - MSBが手前
  - パケットフォーマットで表記すると左側

Checksum

Nara Institute of Science and Technology

- 16bit 1's complement arithmetic
- ヘッダのチェックサム
  - 計算する場合には、checksum フィールドは all 0 であることを仮定して計算
- 計算方法
  - ヘッダを16ビット毎に分割して、和 (sum) 計算
  - 結果の 1's complement (1の補数)
- 受信側ではヘッダの checksum を再計算・比較