階層型プロトコルの概要

山口　英
奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科

概要

- 階層型プロトコルの概念と構成
  - “OSI 7 layer reference model”
  - あくまでも概念モデルであるが、「参照モデル」と呼ばれることだけあって、ネットワークを語る上で知らないと恥ずかしい
- TCP/IPの概要
  - 階層型プロトコルであるが、その成立がOSI 7 layer reference model と同時期であったために、5層モデルを採用
  - 現状では、7層モデルで語れることもあるが、更に最近はより複雑な状況にある

階層型プロトコルの概念と構成

概要

- 階層型プロトコル誕生の背景
- OSI 7 Layer Reference Model
  - 1980年代初期
  - 通信プロトコルを語るときの基本モデル
  - 各層の機能
  - 各層のインタフェース
- 階層型プロトコルの発展
  - プロトコルがどんな展開をしているかを学ぼう

歴史的背景 (1)

- 1920年代～1950年代
- 通信理論の発展
  - ２つの基礎的理論。この2つの理論は、その後発展する通信理論(伝送理論)の基礎を形成する。特にシャノンの定理は正しく理解することが重要
    Harry Nyquist (1924)
    - Maximum data rate = 2H $\log_2$ V (bits/s)
      - H: low pass filter bandwidth
      - V: discrete level of signal
  - Claude Shannon (1948)
    - ノイズのある伝送路への拡張
    - Maximum data rate = H $\log_2$ (1+S/N)
      - S/N: signal-to-noise ratio

歴史的背景 (2)

- 1960年代
- 大型汎用コンピュータ (IBM370など) が広く使われ、コンピュータにアクセスする手段が求められた
  - 端末(terminal)とコンピュータ(host computer)の接続
  - 単純な文字情報の伝送路をどのように構築するかが主な課題
- 通常の通信サービス(電話など)の技術とコンピュータ通信の技術は独立して発展
  - 伝送・交換 (電信・電話)
  - コンピュータネットワーク
- モデム時代
  - アナログ通信路に、低速でディジタル化された情報を伝送
    - 300bit/sec, 1200bit/sec, etc.
  - ビット列をどのように信号化するか
  - 変調技術 (differential Manchester coding etc.)

歴史的背景 (3)

- 1960年代後半 ～ 1970年代初頭
- データ通信サービスは存在するが、非常に原始的なサービスのみを提供
  - X.25
    - IBM HDLCから発展的に標準化
    - コンピュータネットワークの第一歩
- LANの誕生 - Metcalfe’s Ethernet
  - 1970年代.
  - Ethernet (802.3), Token Ring (802.5)
  - 高速データ通信技術の始まり
  - モデム技術と完全に異なる技術の発展
    - 1200bit/secの時代にイーサネットは1Mbpsの技術を提示

歴史的背景 (4)

- 1970年代中期 から1970年代後半
- システム間相互接続の標準手順への需要
  - 様々なコンピュータネットワークシステムの登場
    - 長距離通信技術としてのディジタル専用回線の一般化
    - データ交換網 X.25
    - LAN System
  - ベンダ、システム、クライアント毎のカスタマイズ
    - 開発、導入コストの肥大化
    - アプリケーション以外での作業コスト大
  - 大規模なオンラインシステム (e.g. banking systems)
  - 標準化への強い期待
    - ベンダ中心の技術体系化に対する強い不安
    - 国際標準として成立させ、通信ができる

歴史的背景 (5)

- 1970年代中期から1970年代後半
- 複雑化した通信システム開発
  - 機能分割とパッケージング
    - 構造化プログラミングと同じ考え方
    - 開発の分割、実装の検証
  - 階層化プロトコルの原型発生
    - Sync. Link / HDLC / X.25
    - Coax / Ethernet / XNS
    - ディジタル専用線 / ARPAnet

歴史的背景 (6)

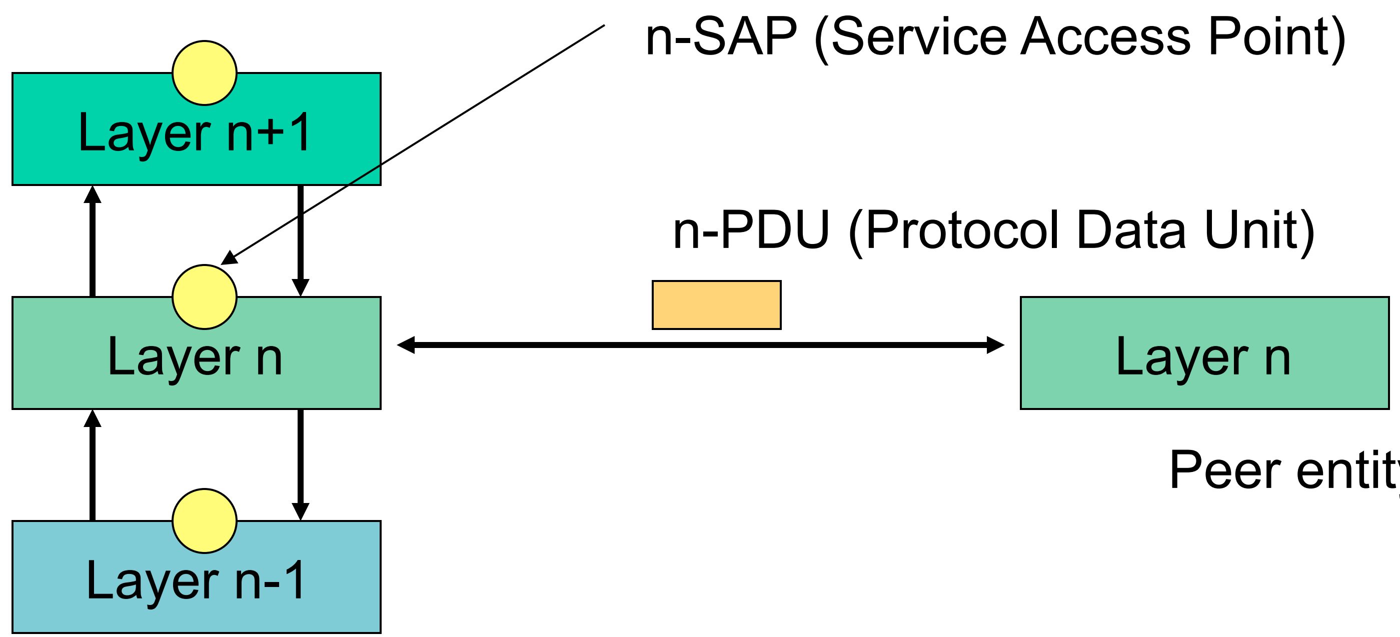
- 1970年後期から1980年代初頭
- 標準化活動の開始
  - 3つの大きな流れ
    - 国際標準としてのISO/OSI
    - 学術研究成果としてのTCP/IP
    - ベンダによる標準化

      IBM/SNA, Digital/DECnet, Xerox/XNS, ….

OSI 7 Layer Reference Model

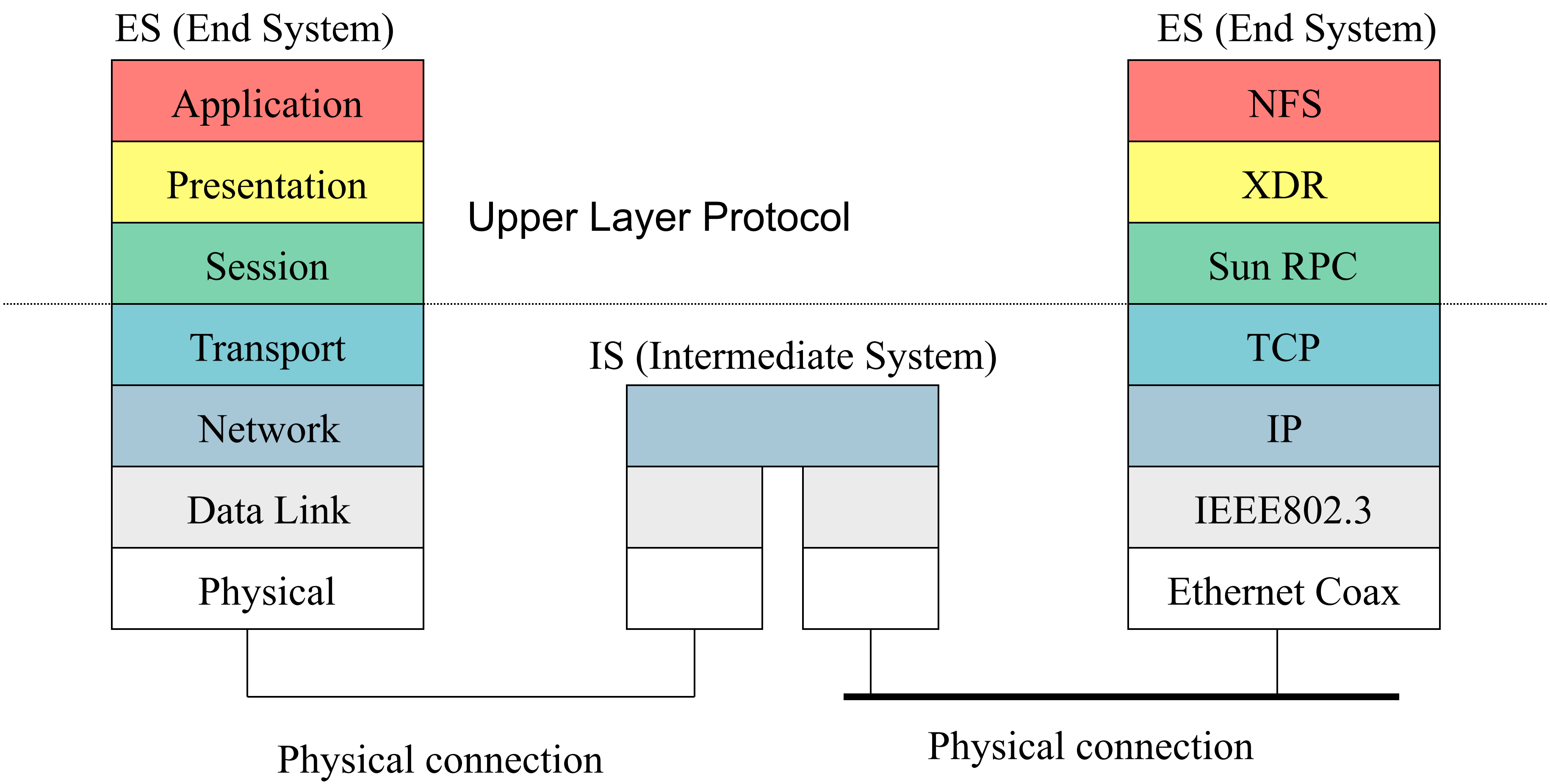
- 階層化プロトコルを考える上での基本的なモデル
  - 7 階層
    - Physical / Data Link / Network / Transport / Session / Presentation / Application
  - ISO/OSI標準として規定
    - 通信システムとして制限しない
    - 階層型プロトコルの概念を明確に定義
    - 多くに人に受け入れられた
- 1970年代終わりから1980年代初頭にかけて標準化作業が行われ策定
  - 参照モデル（reference model）としてまとめることで、通信プロトコルの議論を明確化することに寄与

OSI 7 Layer Reference Model



n-PDU = Header + SDU (Service Data Unit)

OSI 7 Layer Reference Model



Physical Layer

- 物理層 (Layer 1)
- 各伝送媒体 (communication media) に対して、ビット伝送手順を定義
  - ノード間でのビット列伝送手順
  - e.g.
    - 電気信号レベル (e.g. 0: < +0.5v, 1 > 3.7v)
    - ビット伝送手順 (e.g. 同期方法, エラー検知など）
- 各伝送媒体毎に定義
  - それぞれの特徴、特性を生かすことが目標
  - 実際には上位層（データリンク層）の特性に大きく影響
    - データリンク層とセットで定義されることが多い

Data Link Layer (1)

- データリンク層 (Layer 2)
- 各伝送媒体毎に定義される、ノード間でのフレーム伝送手順の定義
  - physical layerの機能を用いて実現
  - フレーム:ビット列の境界を定義
    - 1つのデータ送信ユニット
  - 複数のノードで同じ伝送媒体を用いる場合は調停、協調が必要
- 標準の要素
  - 伝送媒体内での各ノードの識別方法
  - フレームフォーマット
  - アクセス手順 (MAC sub-layer)

Data Link Layer (2)

- 数多くの標準が存在
  - HDLCを起源とするディジタル専用回線を用いた1対1通信でのデータ交換手順
  - IEEE802.x series (ISO8802)
    - Ethernet 802.3
    - Token Ring 802.5
    - WiFi 802.11
  - ISDNなどの電話技術もData Link Layerとして定義
    - I.100 シリーズでは、発呼手順、データフレームの定義などが含まれる
- physical layerと共に定義されることが一般的
  - 物理伝送路と伝送手順は不可分と考えるのが普通

Network Layer (1)

- ネットワーク層 (Layer 3)
- データリンクに依存することなく、ネットワーク内のノード間でのデータ交換機能を提供
  - ES(End System)間の通信定義
  - ノードに対するアドレスの付与
  - ゲートウェイ機能をIS (Intermediate System)として実装
  - パケットの定義

Network Layer (2)

- 標準の要素
  - ES/ISアドレスの構造と識別
  - パケットフォーマット
  - パケットの経路制御
  - Broadcast / multicast / anycast

Transport Layer (1)

- トランスポート層 (Layer 4)
- ネットワーク内のプロセス間のEnd-to-End通信を定義
  - ESの中には複数のプロセスがある
  - プロセス＝サービスの処理機構
  - プロセスにとって、一番基本となるプロトコル
  - ネットワーク内で共通のトランスポートプロトコルが利用される
    - 通信を行うESは同一のトランスポートプロトコルを利用

Transport Layer (2)

- トランスポート層の機能
  - ネットワーク層でのパケット交換より使いやすい通信サービスの提供
  - End-to-End通信の確立
  - パケット再送を利用したエラー制御、フロー制御
  - エラー処理

Upper Layer Protocols

- Session Layerより上を上位層プロトコル(Upper Layer Protocol)と呼ぶ
  - 各アプリケーション毎に定義される
  - ネットワークアプリケーションからの要求に強く拘束される

Session Layer

- 通信の単位を定義
  - Transaction
  - Session
- 通信の単位に対して処理を定義
  - Transaction Logging & Roll-back operation
  - Session Termination
- 基本的な情報処理のためのモデル定義

Presentation Layer

- データの表現形式
  - システム・プラットフォームの差異無く、データが正しく表現・理解されるための基盤
  - 例
    - 「1」の表現
      - 何バイト使って表現するか
        - » 1, 2, 4, less than 1 byte (6 bits), ….
      - バイトオーダはどうするか
        - » Little Endian / Big Endian
      - 送信する際のビットオーダはどうするのか
        - » MSB first, LSB first

Application Layer

- アプリケーションを構成するためのプロトコル
  - アプリケーションそのものを定義する訳ではない
  - 電子メールにおけるSMTP (simple mail transfer protocol)
  - しかしながら、電子メール交換機能を持ったアプリケーションは多数存在する
    - MTA: sendmail, qmail, postfix, etc.…
    - MUA: Eudora, Mozilla Thunderbird, MS/Outlook, etc.…

発展の歴史

階層型プロトコルの発展

- 1980年代
- 企業によるデファクトスタンダード
  - IBM SNA, DECNET, Xerox XNS
  - AppleTalk, Novell Netware, NetBIOS
- OSI
  - CLNP, TP4, IS-IS, X400, …
- TCP/IP
  - RIP, EGP/BGP, OSPF
  - TELNET, SMTP, DNS, FTP, SNMP, NTP, ….
  - 米国DARPAは TCP/IPを採用し、積極的に推進
    - ARPAnet, MILnet

階層型プロトコルの発展

- 1990年代にはTCP/IPが通信プロトコルの勝者となっていた
- OSIの失敗
  - 標準化が遅すぎた（ISO標準化プロセスの敗北）
  - 仕様が複雑
  - 参照モデルと、X.500だけが残った
- TCP/IPの勝利
  - 標準化が速い（IETF標準化プロセスの勝利）
  - 米国がTCP/IPを積極的に使い続けた
  - 仕様が比較的単純で、実装重視

ベンダ独自プロトコルの衰退

- 標準化されたことによる優位性の欠如
  - DECNET→OSI Protocol
  - AppleTalk → TCP/IPのアプリケーションへ
  - Netware, NetBios → TCP/IPのアプリケーションへ
  - Xerox XNS: 衰退、滅亡

- IBM / SNAだけが生存
  - 大型汎用システム(legacy system)
  - mission-criticalなシステムからの脱却が難しい

階層型プロトコルの発展

- 21世紀
- 上位層プロトコルの発展
  - session layer
  - presentation layer
- “Demise of protocols” – processing platform
- 各層の細分化、高度化
  - MPLS
  - J2EE, .NET, GRID….

味わうべき技術

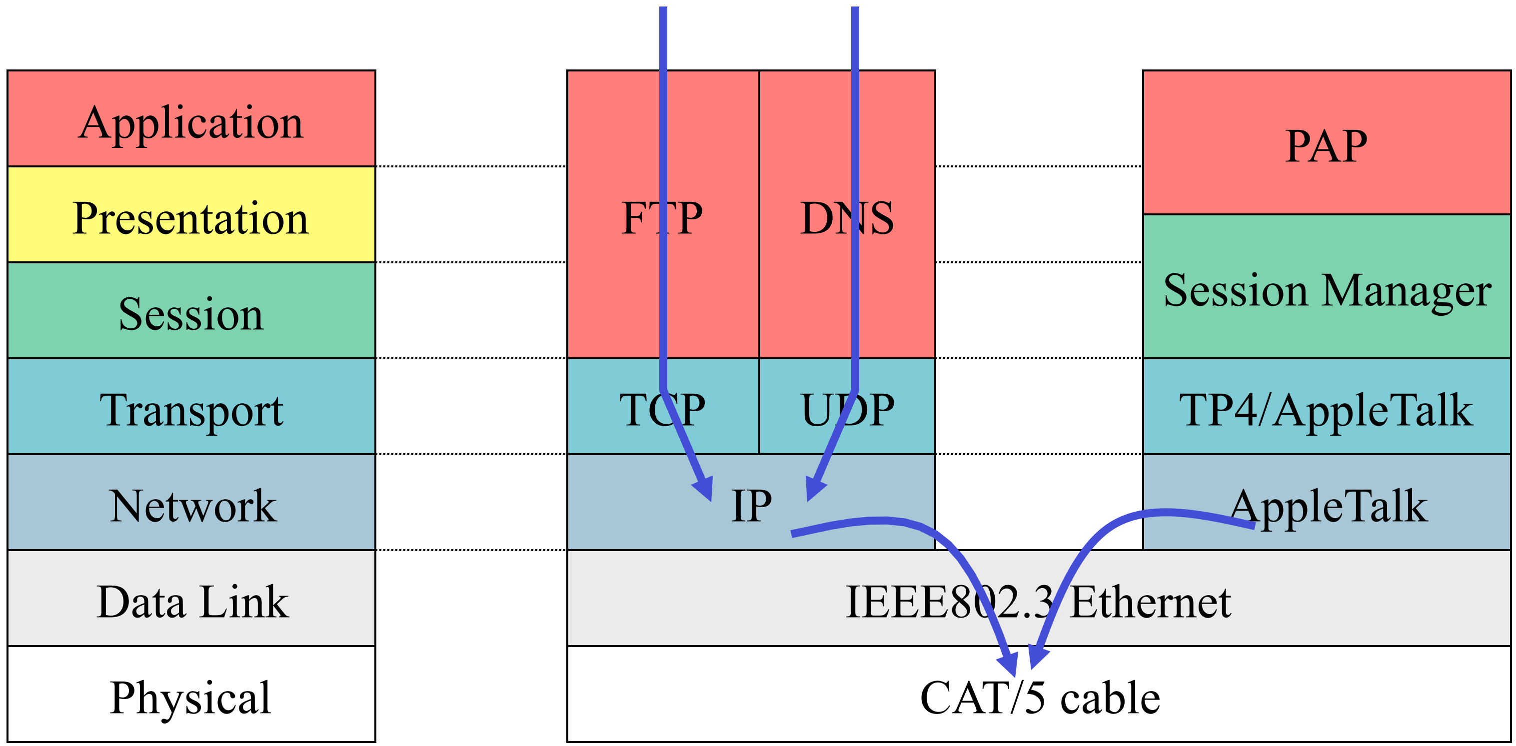
- Data Link
  - Ethernet : LAN 技術
  - HDLC : 古典的パケット交換技術
- TCP/IP プロトコルスイート
  - 世界中で最も利用されているプロトコル
  - 特にIPとTCP
- ネットワーク管理技術
- アプリケーション技術

Hierarchical protocol architecture is flexible

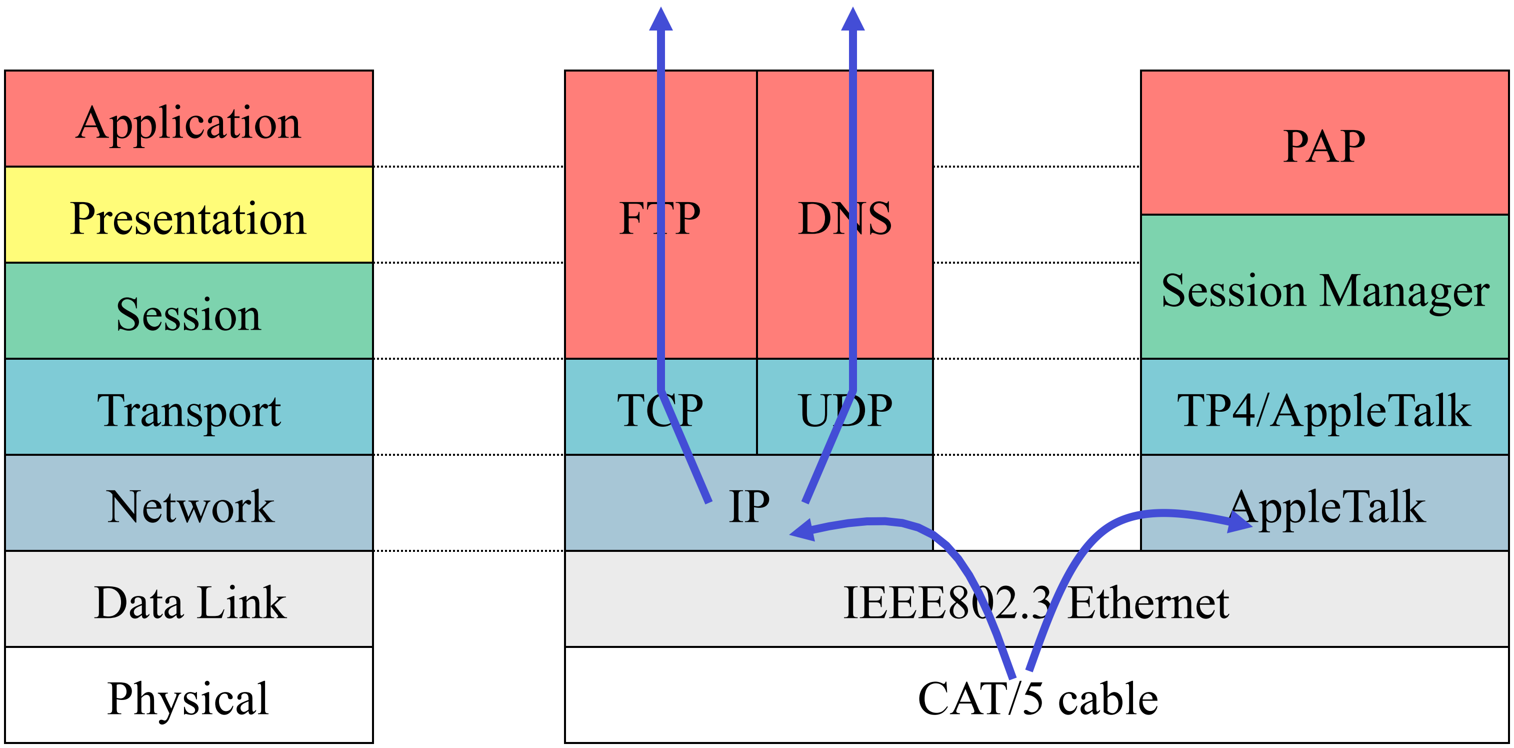
階層型プロトコルの技術的特徴

- 多重化(multiplexing)と分離(demultiplexing)
  - 下位層は複数ある上層プロトコルを多重化する
    - 例:データリンクプロトコルである IEEE802.3 (Ethernet) は、上位層プロトコルとしてIP, AppleTalkを同時に取り扱うことができる。したがって、同一のEthernetで、複数のプロトコルを同時に使うことができる
    - 受信側は、上位層プロトコルに応じて分離

Multiplexing



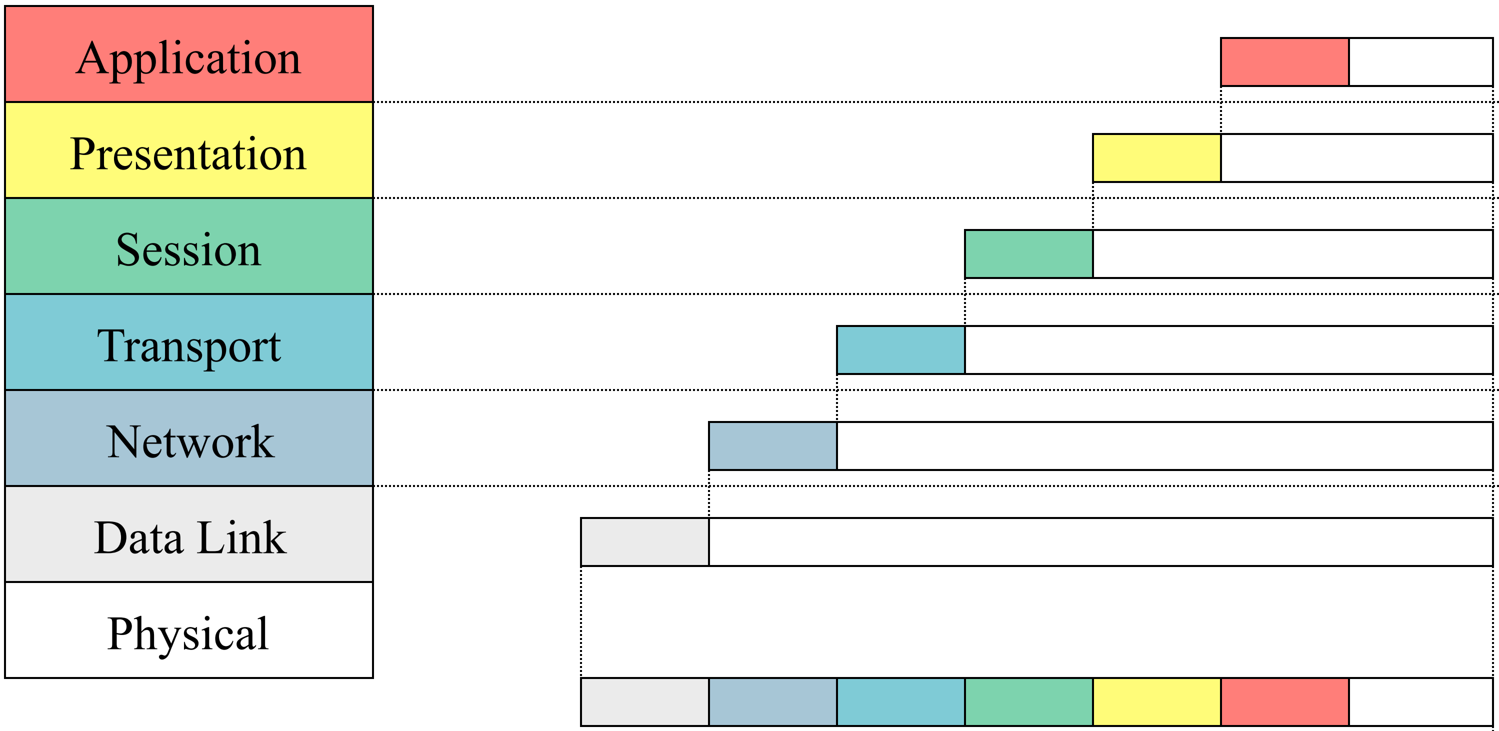
Demultiplexing



階層型プロトコルの技術的特徴

- カプセル化(encapsulation)
  - 下位プロトコルは、上位プロトコルのパケットをカプセル化する
    (n-1) PDU = (n-1) header + (n)PDU
  - 上位プロトコルのパケットをデータ領域として格納する

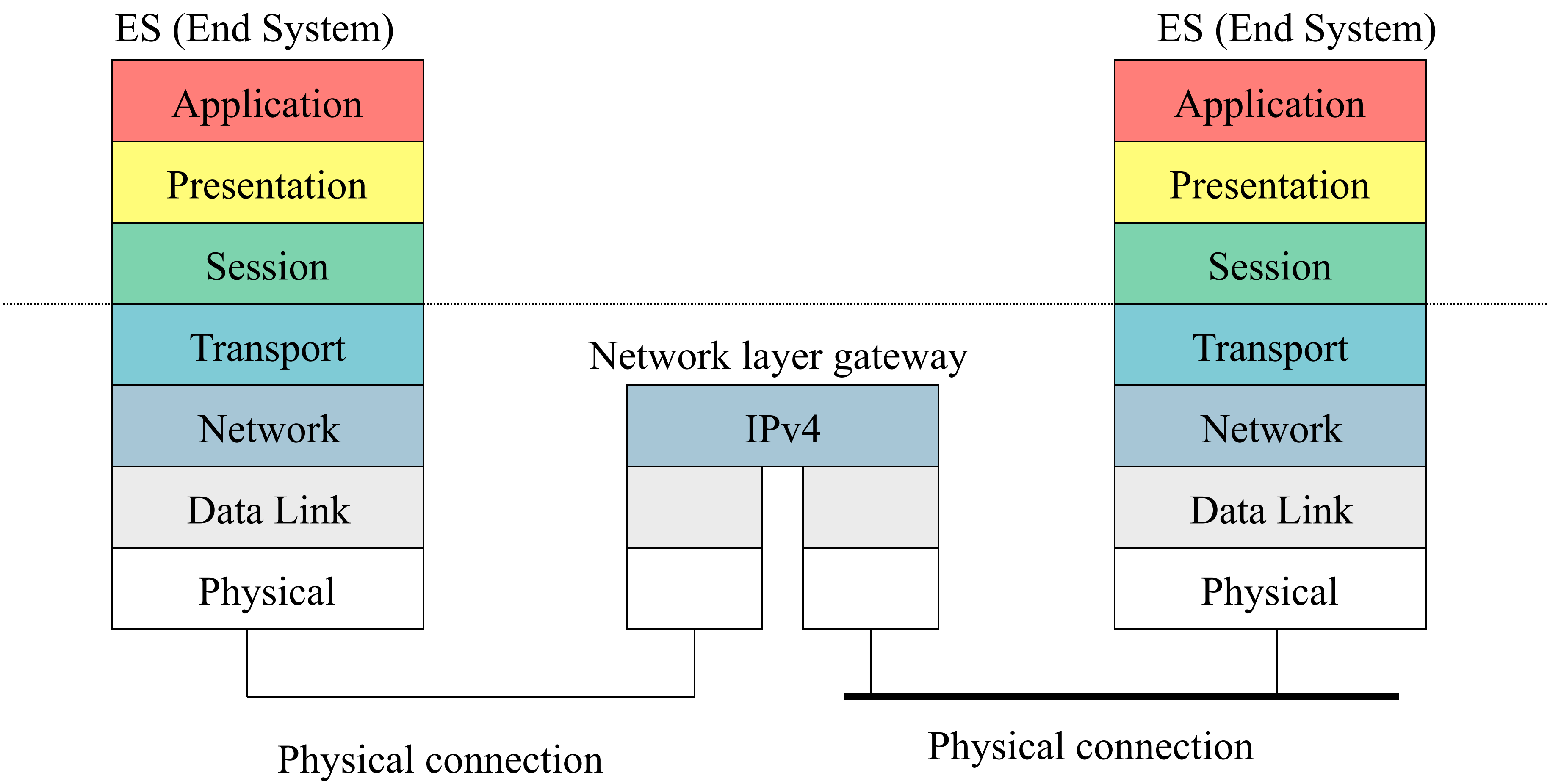
Encapsulation



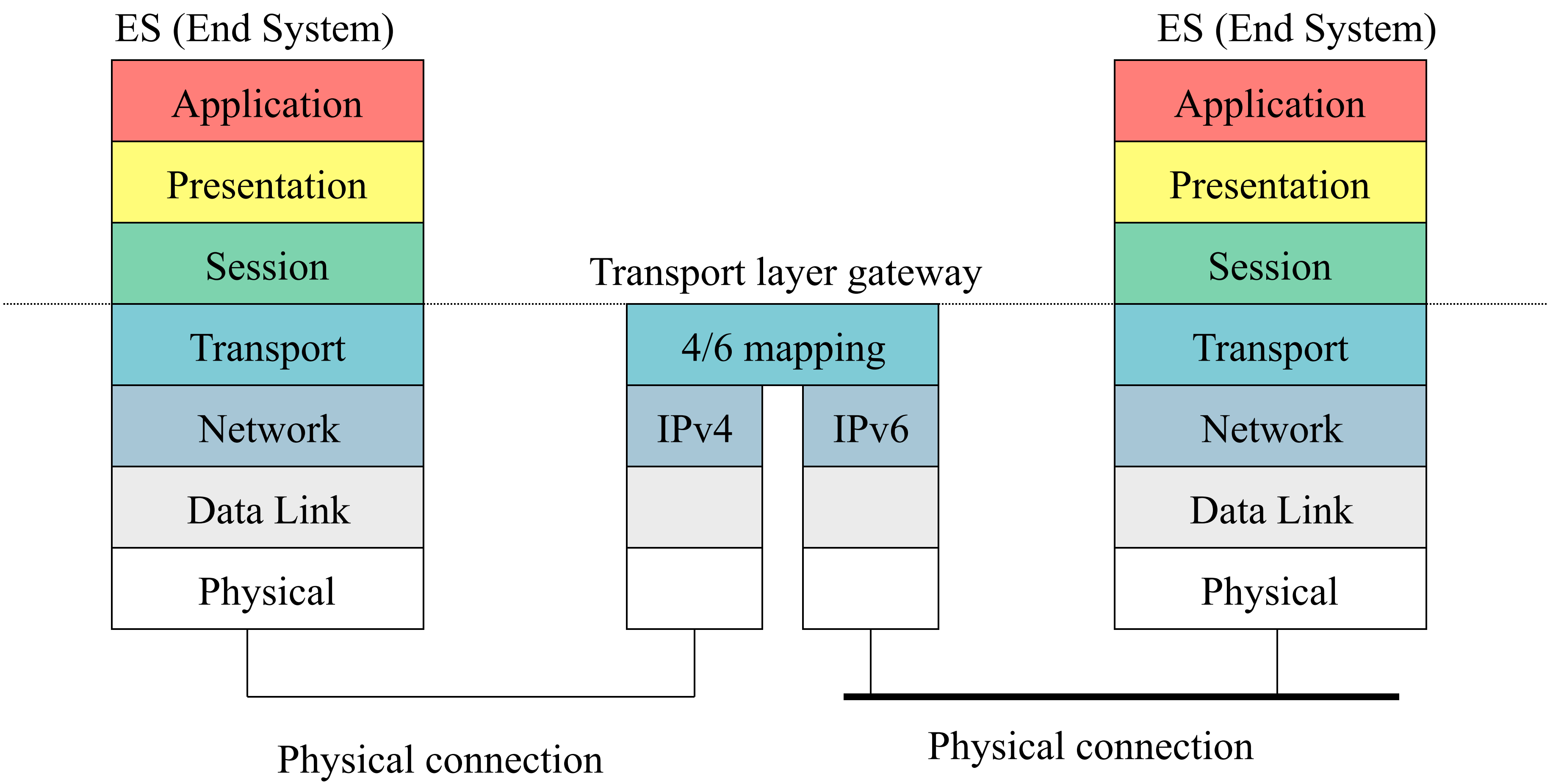
利点・欠点

- 利点
  - 単純
  - 理解しやすい
  - 分割開発が可能
  - 機能隠蔽と独立したバージョンアップ
  - 異種ネットワーク間の相互接続が可能
- 欠点
  - 階層型の実装では、動作時の性能を向上することができない
  - カプセル化処理はメモリとデータの管理が難しい
    - 可変長データの取り扱いは一般的に大変

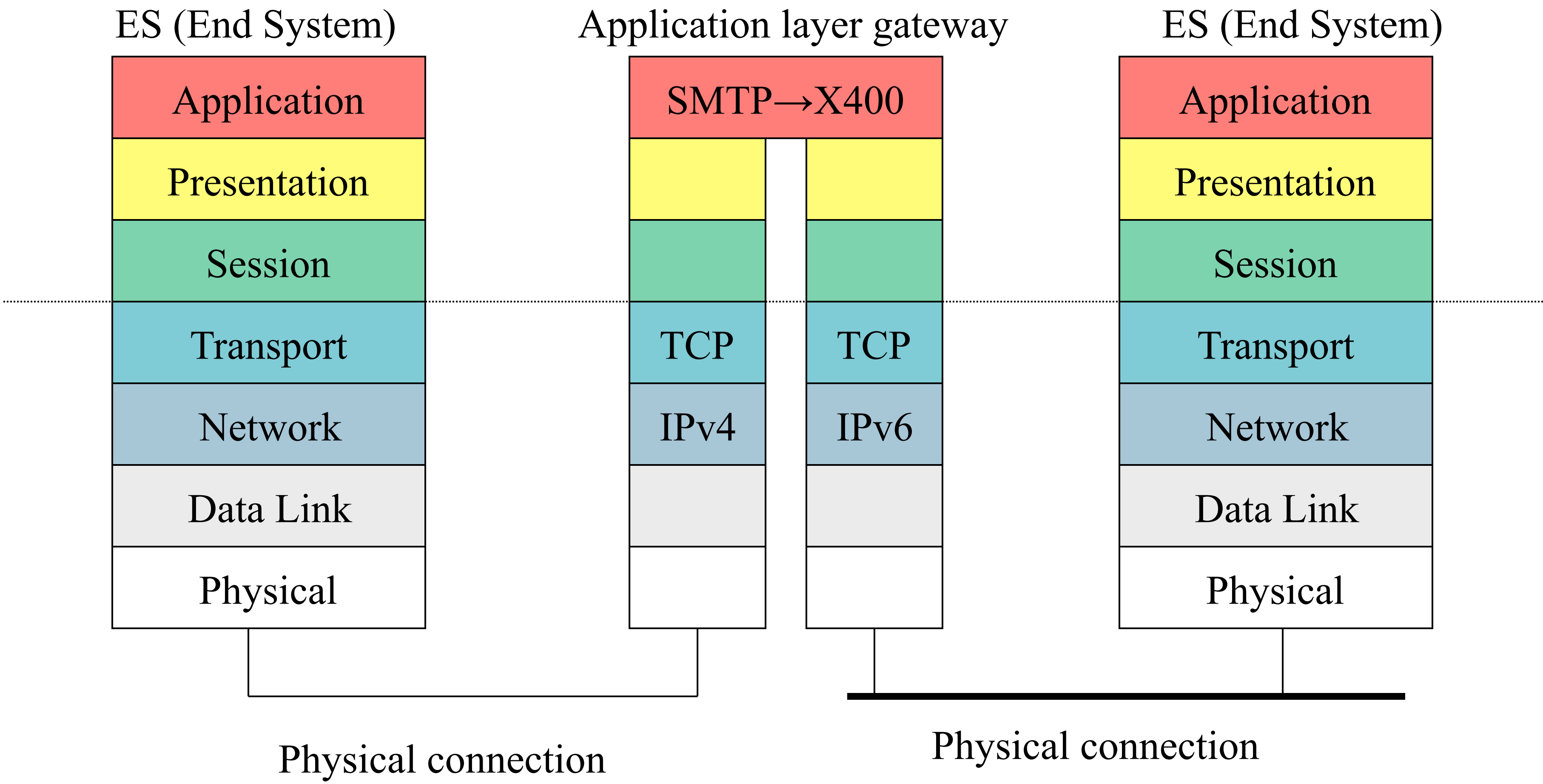
Network Layer Gateway



Transport Layer Gateway



Application Layer Gateway



まとめ

- 階層型プロトコル
  - 問題の段階的解決
  - 各層で提供されるサービスの抽象化
    - Physical Layer：ビット
    - Data Link Layer：フレーム
    - Network Layer：パケット
    - Transport Layer：コネクション
  - インタフェースと実装の分離
  - 異なるデータリンク技術やネットワーク技術間での相互接続が可能に