

## ネットワーク仮想化と適応型ネットワーク

2008年7月9日

九州工業大学・情報工学部／ネットワークデザイン研究センター  
鶴 正人

## 今 & これからのインターネット

Network Design Research Center

- ◆ ユビキタス時代に向けた、高度ICT社会を実現する様々なアプリケーションやサービスを支える基盤。
  - 情報やコンテンツの共有(蓄積/再利用)
  - 人と人, 人と物, 物と物の間の相互作用、分散処理
  - 多様(不均一)な無線・モバイル・アクセス網(WiFi, ZigBee, B3G, WiMax, Satellite, CATV, PLC,....)、高速光アクセス(1-10Gbps)、超高速バックボーン(10-40Gbps)
  - SNS, e-commerce, VoIP, IPTV, YouTube, Netgame, センサー, e-Science、
- ◆ 社会・経済生活はインターネットにどっぷり依存。しかし、、、
  - 性能や信頼性の低下
  - セキュリティ問題の深刻化
  - 管理コストの増大、ビジネスモデルの欠如→短期的にはNGNIによる解を指向？

## 今 & これからのインターネットの課題

Network Design Research Center

### ◆大規模性

- 今: 数万個の運用NW, 数十万台の中継装置(ルータ)、数億台の端末
- 1000億デバイス、100万放送局(AKARI概念設計書より)、高精細動画、情報爆発、物対物、多数ノード同期型アプリケーション、、
- キラーアプリや半導体技術の短期間での進展による急激な変化
- 有限の資源を効率よく共有する動的割当てが必要

### ◆多様性

- 通信環境やアプリケーションの多様性
- 資源制約(無線、光、電力、接続性、、)や要求条件(帯域、遅延、信頼性、安全性、公平性、省エネ、、)の多様性
- 多様性を包含するだけでなく活かすような適応的な資源割当てが必要

### ◆人間社会との不整合

- セキュリティ、プライバシー、倫理、文化、精神衛生、デジタルデバイド
- サービス、ビジネスモデル、、
- 人や社会を含めたモデルとインタフェース(相互作用)が必要

3

## 多様性の議論

Network Design Research Center

### ◆IP(+TCP/UDP)は多様性をある程度包含・隠蔽してきた

- 様々な通信環境(L2以下)で、様々なアプリケーション(L5)が実行可能。Narrow Waist
- しかし、暗黙の仮定がいくつかあり、それが成り立たない環境やアプリが出てきた(Mobility、DTN、、)
- 差異の隠蔽は、最適化には不都合→クロスレイヤ・アプローチ。
  - エンドホストのクロスレイヤ
  - ルータのクロスレイヤ(ルータサポート)

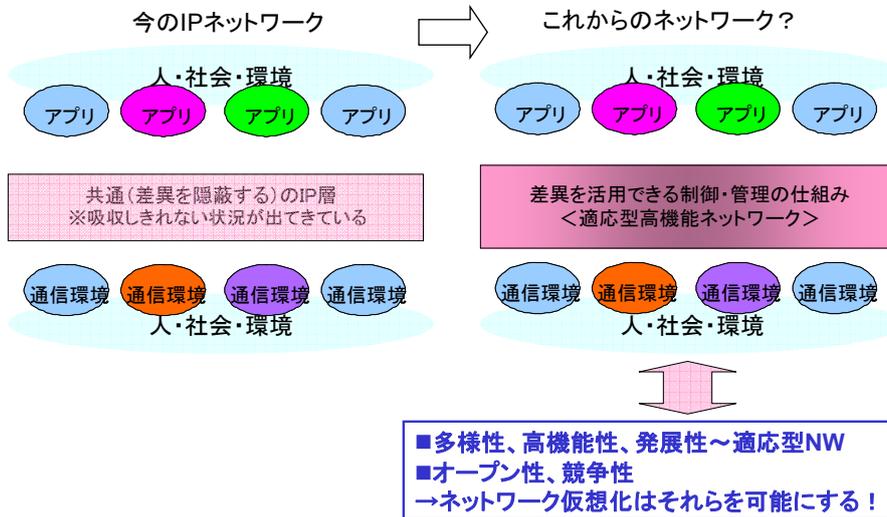
### ◆これからは多様性を活かす方法が重要

- 各々のアプリケーションに適したサービスを、できるだけ共通の資源(物理NWや管理システム)で提供。コスト低減、利用効率向上。
- 多様な有線・無線のネットワーク(アクセス)環境でも効率よくサービスを提供
- セキュリティの脅威や省エネへの要求などの要件を満たしサービスを提供
  - 大規模性との両立(スケーラビリティ)が重要
- 今後現れるすべての多様性を事前に予測できない
  - 求められるのは持続的に発展する柔軟な仕組み
  - 検証や管理を含めたフレームワークが必要

4

## 多様性の議論(2)

Network Design Research Center



5

## 課題への対応に必要な要素

Network Design Research Center

- ◆ 共有資源の競争を時間的・空間的に回避する制御・管理機構
  - ランダム利用では品質劣化、厳密な予約・過剰設備ではコスト効率悪い
  - NW状態と要求の把握(計測・推定)に基づくロバストな**適応的制御**が重要
  - 様々な**空間粒度、時間粒度**
  - **多目的最適化**(例:ユーザ間、性能と省エネ、利便性とセキュリティ)、全体効率と**公平性**は一般に相反する
- ◆ ネットワーク内部と端が連携して多様性を活かすアーキテクチャ
  - **ネットワーク内部側**での資源割り当て
    - 資源状態に即時的、ユーザ間の優先度・公平性
  - **端側(エンドツーエンド)**での資源利用
    - ユーザ要求・状態に即時的、トラフィック発生予測・制御可能
  - **多階層**のネットワーク構造、**分散制御・クロスレイヤ制御**をサポート
  - データ、制御、管理の分離
- ◆ ネットワークと人・社会が相互作用するモデルとインターフェース
  - IDとローケーターの分離
  - 互換性・継続性の問題

6

## 「ネットワーク」とは？

Network Design Research Center

### ◆ 水平(空間的)関係でのネットワーク

- 情報の送信者(生成者)と受信者(利用者)が離れている(※)ので、その間にあって情報を伝達するもの。※物理的な位置関係(距離)と論理的な位置関係
- 端(端末) vs 内部(ネットワーク)、あるいは、ユーザ vs プロバイダ
- 同期(送→伝達→受)と非同期(送→保存(伝達)取得→受)

### ◆ 垂直(処理階層的)関係でのネットワーク

- 情報の中身を扱う様々なエンティティと信号を伝送する様々な物理媒体との間の処理の階層にあって情報伝達に関わる処理を行うもの。
- アプリケーション/エンドユーザ vs ネットワーク
- TCP/IP的にはLayer4までがネットワーク?
- 空間的に離れた同一層間のプロトコルと、空間的に同じ場所にある隣接層間のインタフェースが規定される(効率性のためにしばしば例外を持つ)

### ◆ ネットワークの高機能化

- 情報伝達をより高性能・安全に行うために、従来は(水平の意味の)ネットワークが行っていなかった機能をネットワークに持たせる
  - アプリとネットワークのインタフェースは変わらなくてもよい
- システム全体として情報処理をより高性能・安全に行うために、従来は(垂直の意味の)ネットワークが行っていなかった機能をネットワークに持たせる。
  - アプリとネットワークのインタフェースが変わる

7

## 「中継」再考

Network Design Research Center

### ◆ 「中継」の一般目的・機能

- 単純に2点間のデータ伝達のために
  - 直接通信できない(したくない)ノード間のデータ伝達
  - アドレスの多段解決(Hop by hop経路選択)
- 効率的な情報交換・共有のために
  - リンクやノードの輻輳・障害等の迂回(QoS、TE)
  - 効率的な多地点データ伝達(マルチ/エニキャスト/多対1)
  - Hop by hopフロー制御・再送制御～不安定リンク
  - データ伝達における転送レート、符号化、形式等の変換
  - データキャッシュ(転送待ち、再利用)
- 高度な情報交換・情報処理のために
  - 匿名性保護や耐故障性(冗長性)なども目的になりうる
  - その他の多段/分散型のデータ伝達途中での保管や処理
    - 送信者または受信者ではなく中継者が途中で加工・保管・処理する方がメリットがあるならば。

8

## 「中継」の多様化・高機能化(オーバーレイとP2P)

Network Design Research Center

### ◆ オーバレイとは？

- (下位の)NW層の中継機能でも到達する2点間のデータ転送を、上位層で中継することで、
  - 高性能、高信頼、and/or 高効率に、または
  - 高度な機能を付加して、実現するもの。
- すなわち、「中継」が、前頁の5番目以降を必要とする場合や1～4の項目でも下位NWでサポートできない場合
- 「中継」の基本・汎用機能はNW層で。個別・高度機能はオーバーレイで。
  - 中継機能の階層分担
- 本来は下位NWで行うべき機能を、初期デプロイのために、あるいは実験的に、overlay で行う場合もある

### ◆ P2Pとは？

- 多数のノード(ピア)で構成される分散型の情報配布・蓄積&検索・処理の形態
- 情報の転送・配布効率を上げるためにオーバーレイ中継する場合
  - キャッシュ(CDN)、コピー(ALマルチキャスト)
- その他の目的でオーバーレイ中継する場合
  - 耐故障、プライバシー

9

## CDN, P2P

Network Design Research Center

### ◆ DCIA (Distributed Computing Industry Association)

- <http://www.dcia.info/>
- コンテンツプロバイダ、ソフト開発・配布者、サービス・保守提供者 (ISP, ASP,...)
- ユーザベースのコンテンツ配布チャネルの標準化、実用化 (P2P コンテンツ配布・加工・処理).

### ◆ P2Pネットワーク実証実験協議会

- [http://www.fmmc.or.jp/p2p\\_web/](http://www.fmmc.or.jp/p2p_web/)
- 会長: 浅見先生(東大), オブザーバ: 総務省
  - 高品質・大容量の動画をネットワークに安全かつ効率よく配信することが必要になってきました。P2P(Peer to Peer)技術はこうした需要にこたえる有効な技術手段ですが、なお検証すべき課題も残されているため、総務省支援のもと、財団法人マルチメディア振興センターが事務局となり「P2Pネットワーク実証実験協議会」を発足して、利用者が安心して映像配信を受けられるように事業者としてのガイドラインを策定し、実証実験を行うこととしました。

10

# CCN, ITDS

## ◆ CCN (Content Centric Networking)

- <http://www.parc.com/research/projects/networking/contentcentric/default.html>
- Van Jacobson (PARC)
- 名前でrequestするとネットワークが情報(コンテンツ)を返す
  - すべての情報(コンテンツ)には一意な名前(コンテンツ自身に署名付きで含まれる)

## ◆ ITDS (Information Transfer and Data Services)

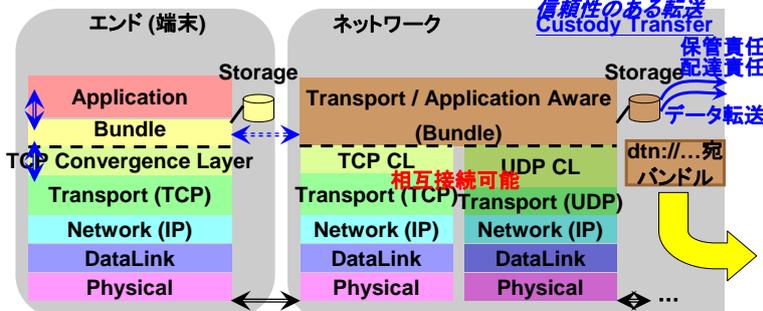
- FINDの提案の1つ: Service-Centric End-to-End Abstractions for Network Architecture, by Tilman Wolf
  - Dataの転送ではなくInformationの転送を行う
    - そのためのユーザインタフェース
  - トランスポート層以上の処理を中継ノードで分散して行う枠組み
    - 再送、暗号化、輻輳制御、キャッシュ、トランスコーディング

# DTN (Delay/Disruption) Tolerant Network

劣悪な通信環境、普段は孤立したNW、機能・性能が極めて不均一な端末を含む、すべてのものを仮想的に接続し非同期・間欠型の情報伝達を実現する技術(の総称?)

- 蓄積(運搬)型通信、マルチパス転送、ネットワーク符号化、...
- MANET, WSNET, Wireless Mesh 等で個別に研究されてきた技術の拡張・一般化

- ◆ **バンドル層<IRTFでの標準アーキテクチャ>**
  - アプリケーション層とトランスポート層の間に介在, 可変長データ(バンドル)を蓄積運搬転送
- ◆ **保管転送 (Custody Transfer)**
  - 信頼性のある転送のために, バンドルの転送と同時に保管・配達する責任も委ねていく
- ◆ **Late Binding を用いたアドレス解決**
  - 遅延によって識別子とアドレスの対応の変化や異種NWとの相互接続に対応できるアドレス解決



# DTNと新世代NW

- ◆ DTNは、当初は宇宙、海中、山間・過疎地域、離島などをスコープ。
- ◆ TCP/IPアーキテクチャの限界を越え、時間的・空間的な「不連続性」を克服してグローバルな非同期情報伝達を実現する。
- ◆ 最近では新世代NWにも必要な技術と考えられるようになってきた：
  - Mobility、異種NW接続、災害時通信等のための汎用アーキテクチャ
  - ネットワークの「ロバスト性」や「省エネ」にも必要な仕組み
  - 米国NSF/FINDの研究事例：

✓ Postcards from the Edge: A Cache-and-Forward Architecture for the Future Internet

□ Roy Yates, Dipankar Raychaudhuri, Sanjoy Paul, James Kurose (Rutgers WINLAB; UMass)

✓ The-Day-After Networks: A First-Response Edge-Network Architecture for Disaster Relief

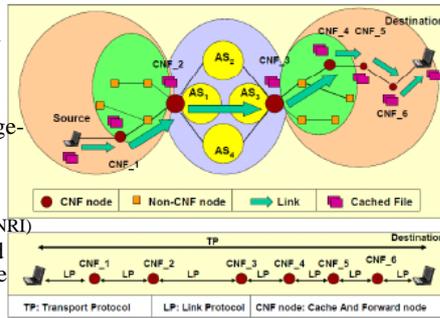
□ Haiyun Luo, Robin Kravets, Tarek Abdelzaher (UIUC)

✓ Transient Network Architecture

□ Robert Kahn, Chaouki Abdallah, Henry Jerez, et al. (CNRI)

✓ Architectural Support for Selectively-Connected End Systems: Enabling an Energy-Efficient Future Internet

□ Mark Allman, Vern Paxson, Ken Christensen, Bruce Nordman (ICSI, University of South Florida, LBNL)



Cache-and-Forward Network System Overview

# プロバイダベース・オーバレイ(1)

## ◆ Provider-based Overlay

- 現状のUser-based オーバレイの問題点
  - オーバレイノードの配置場所が下位NWの「周辺部」に限定
    - ISPのデータセンタ(hosting)やISPのアプリサービスは1つの解
  - 下位NWの状態把握や制御が不十分／困難
  - 複数のオーバレイNWが共存する場合、公平性や全体最適化が困難
- Provider-based オーバレイ
  - 下位NWと十分に協調し、大域的最適化やアプリ間公平性・ユーザ間公平性をめざしながら、上位(アプリ)へ機能を提供
    - 大規模資源(NW・計算・ストレージ資源)の管理・制御が必要
  - Virtual Public/Shared Network?

## プロバイダベース・オーバレイ(2)

Network Design Research Center

### ◆ Provider-based Overlayでの高度な中継機能の例

- Ready-made な機能
  - 従来のTEの高度化～高信頼・高性能伝送
    - マルチパス、キャッシュ(蓄積型転送)、パケット集約・分解、情報圧縮・復元、等
  - 多地点間データ伝達・収集・共有
    - 大規模で多様な形態の情報交換を公平かつ効率的に共存
  - ネットワーク内部情報の収集・分析・管理(多段・分散型)
    - プロバイダ自身も必要
- Easy-made な機能
  - ストリーミング型データ多段・分散処理
    - 分散 Firewall、多段マルチメディアコンテンツ処理

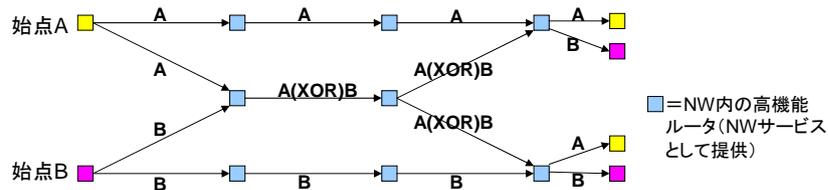
15

## プロバイダベース・オーバレイ(3)

Network Design Research Center

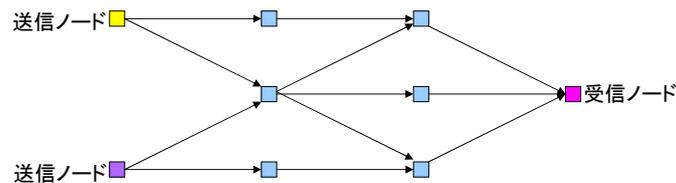
### 多地点間データ伝達・収集・共有

- 大規模で多様な形態の情報交換を公平かつ効率的に共存させるデータ中継
- 例: ネットワーク符号化を用いた複数マルチキャストの重畳



### 多段・分散データ選択・加工

- NWが利用者に提供する中継途中(NW内部)での多段・並列データ選択・加工
- 例: 受信メールの転送途中でのフィルタやウイルスチェック



16

## 多地点間データ伝達・収集・共有

Network Design Research Center

### ◆Multicast

- 最適な木作成、輻輳制御・誤り制御、動的変化(join/leave)、セキュリティ
- IP Multicastでは不十分なのでALMの研究が大流行
  - アプリ特性で最適な木は違う？複数木の重畳？ビジネスモデル？
- アプリ層でやる場合はUnderlayのことを少しは計測して効率化
  - Topologically-Aware Overlay Construction and Server Selection (S.Ratnasamy, Infocom02)
- IP-Mcastの新機構提案(Inter-domainを実用的に)
  - Free Riding Multicast (S.Ratnasamy, SIGCOMM06)

### ◆Anycast

- 必ずしも有効に使われていない。機能も不十分。

### ◆多対1

- 1対多と似た問題。GridやセンサNWでも研究されてる(Data Retrieval)

### ◆多対多

- Gossiping、P2Pデータ共有

17

## まとめ

Network Design Research Center

### ◆インターネットは曲がり角に来ている

- 大規模性、多様性、人間社会との不整合
  - 改良・拡張を続けるか、統合的なモデルやアーキテクチャの見直しか？
    - 共有資源の競争を時間的・空間的に回避する制御機構
    - ネットワークと端末が分担・連携するアーキテクチャ
    - ネットワークと人・社会が相互作用するモデルとインターフェース
- ネットワーク仮想化によって適応型ネットワークが実現可能！？
  - 高機能化、柔軟性・発展性、オープン性・競争性

### ◆ネットワーク(中継)の高機能化の事例

- オーバレイやP2Pの様々な有用性
- プロバイダベース・オーバレイによる高度NWサービスの可能性
  - パケット転送(リンク帯域)だけでなく、蓄積・複製(ストレージ資源)やデータ処理(計算資源)を活用する

20