

# 仮想ネットワークサービスプロバイダの収容を 可能とする新世代ネットワークアーキテクチャ の研究

東京工業大学 学術国際情報センター 飯田勝吉

# インターネットサービスの歴史

---

- ▶ ベストエフォート
  - ▶ 1980年代まで
    - ▶ 電子メール、ファイル転送、telnetなど
  - ▶ 1990年代から
    - ▶ マルチメディアアプリケーションの登場 (vic, vat, nvなど)
    - ▶ IPマルチキャスト、Mboneの登場
- ▶ QoSインターネットサービス研究開発(1990年代)
  - ▶ 1992 Integrated Services (SIGCOMM, by Clark, Shenker, Zhang)
  - ▶ 1994 IntServ (RFC1633)
  - ▶ 1997 RSVP (RFC2205)
  - ▶ 1998 DiffServ (RFC2474, 2475, 2597, 2598など)
  - ▶ 2000 COPS Protocol (RFC2748)
  - ▶ **2003 MPLS RSVP-TE (RFC3477)**
- ▶ コンテンツ配信+オーバレイネットワーク(2000年代)
  - ▶ **1998 Akamai社設立**
  - ▶ 2001 Resilient Overlay Networks (RON)
  - ▶ 2004 OverQoS
  - ▶ 2008 P4P

# オーバーレイネットワークの高度化

---

- ▶ P4P: Provider Portal for Applications
  - ▶ H. Xie, et al. *Proc. ACM SIGCOMM2008*, pp.351-362, Aug 2008.
  - ▶ アプリケーションが勝手にオーバーレイ経路を選ぶのではなく、下位ネットワークからの情報提供に基づき経路を選択
  - ▶ ファイル交換ソフトウェアBitTorrentの高度化
- ▶ Application Layer Traffic Optimization (ALTO)
  - ▶ IETFのワーキンググループ(2008年設立)
  - ▶ P4Pをベースに、BitTorrent以外にも広げたアーキテクチャに拡張
  - ▶ ALTO Problem Statement (RFC5693) Oct. 2009
  - ▶ ALTO Requirements (RFC6708) Sep. 2012

# 背景：インターネット上のアプリケーションの発展

---

- ▶ 様々なアプリケーション／ネットワークサービスの出現
  - ▶ 現在盛んに利用されているネットワークサービス
    - ▶ 動画配信、ライブストリーミング、音声・動画コミュニケーション
    - ▶ SNS等、オンラインゲーム
    - ▶ P2Pファイル交換、アップロードサイト
    - ▶ オンラインストレージ、フォトストレージ
  - ▶ 今後出現が予想／期待されるネットワークサービス
    - ▶ 音声・動画コミュニケーションのHD化
      - ハイビット/ハイサンプリング化、3D化、サラウンド化
      - スーパーハイビジョン(4K)
    - ▶ 遠隔制御、遠隔監視
    - ▶ 遠隔医療

**新たなネットワークサービスが今後もたくさん出現し活性化する**

# 背景：ネットワーク中立性

---

## ▶ 定義

- ▶ インフラサービスプロバイダ (InP) はコンテンツやアプリケーションによって異なる取り扱いをしてはならない

## ▶ 背景

- ▶ 2005年11月にアメリカ地域電話会社SBCのCEOが「コンテンツサービスプロバイダ (CSP) が不当なただ乗りをしており、何らかのトラフィック制御が必要」と発言
- ▶ その後、議会やFCCにおいてCSPとInP間で中立性の法制化に関する綱引きが起っている
- ▶ 実際、2007年に米国ISPのComcastがP2PアプリケーションBittorrentに関する規制を開始し、その後議会およびFCCによってその規制が禁止された

# 背景：インターネットビジネスの動向

---

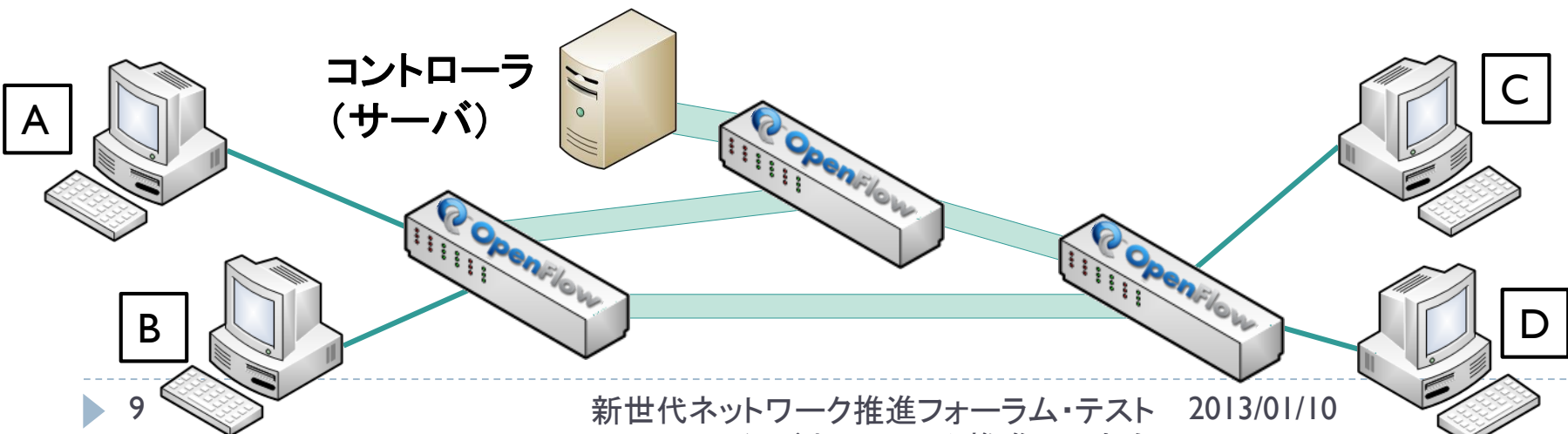
- ▶ **InP** (Infrastructure Provider)
  - ▶ 運ぶトラフィック量が劇的に増えており、新たな投資が必要であるが、しかし競争により収入が減少している
  - ▶ 今後は、水道、ガスなどの公共インフラになっていく
- ▶ **SP** (Service Provider)
  - ▶ Google, Yahoo!, Amazon, Appleなどのコンテンツ事業者がビジネスの中心となっている
  - ▶ 今後、さらなる魅力的なサービスを作りだし、InPに要求するトラフィック量がさらに増加すると予想される



**インターネット全体を持続的に発展させる新たな枠組みが必要**

# Software-Defined Networking (SDN)の出現(1)

- ▶ ネットワーク仮想化時代の高度なネットワーク制御技術の総称
  - ▶ 従来のハードウェアルータのみを用いるのではなく、ソフトウェアによる柔軟な制御技術を導入
- ▶ OpenFlow
  - ▶ 一番普及しているSDNの1方式
  - ▶ ネットワークの「スライス」、TCP/UDPフロー等の経路/QoS等の制御をコントローラのソフトウェアにより実現



# SDNを利用したQoSアーキテクチャ研究の例

---

## ▶ データセンター間ネットワーク

- ▶ S. Jain, et al. “B4: Experience with a globally-deployed software defined WAN,” *Proc.ACM SIGCOMM2013*, pp.3-14, Aug. 2013.
- ▶ C.-Y. Hong, et al. “Achieving high utilization with software-driven WAN,” *Proc.ACM SIGCOMM 2013*, pp.15-26, Aug. 2013.

## ▶ アクセスネットワークの仮想化

- ▶ V. Sivaraman, et al. “Virtualizing the access network via open APIs,” *Proc.ACM CoNEXT2013*, pp. 31-42, Dec. 2013.



# 登場人物の整理

---

## ▶ End Customers

- ▶ SPが提供するサービスを実際に利用する利用者

## ▶ Service Providers (SPs)

- ▶ インターネット上で様々なサービスを作り出し、サービスを実施している事業者

## ▶ Infrastructure Providers (InPs)

- ▶ 回線やデータセンターなどのインフラを運用している事業者
- ▶ ISPのこと

# 研究の目標

---

- ▶ 多様なネットワークサービスが出現する時代の「持続可能な」QoSネットワークアーキテクチャの構築
  
- ▶ 要求仕様
  - ▶ SPの要求
    - ネットワークサービスの多様性を収容すること
    - SP管理者が自分で管理するネットワークの構築
  - ▶ InPの要求
    - アプリケーションを意識せずに自身のネットワークを管理したい
    - ネットワーク資源の利用率を向上させたい
  
- ▶ アプローチ
  - ▶ 3階層モデルの構築
  - ▶ SDN/OpenFlowの利用

# ～新世代ネットワークのアーキテクチャに関する研究～ 共同研究体制

---

## ▶ NICT側

### ▶ PI

▶ 河合栄治室長

### ▶ 研究員

▶ 山中広明さま

▶ 石井秀治さま



テストベッド構築技術

## ▶ 大学側

### ▶ PIs

▶ 飯田(研究代表者)

▶ 九工大 鶴正人先生

### ▶ 博士研究員

▶ 嶋村昌義(東工大)

▶ 浦谷芳幸(東工大)

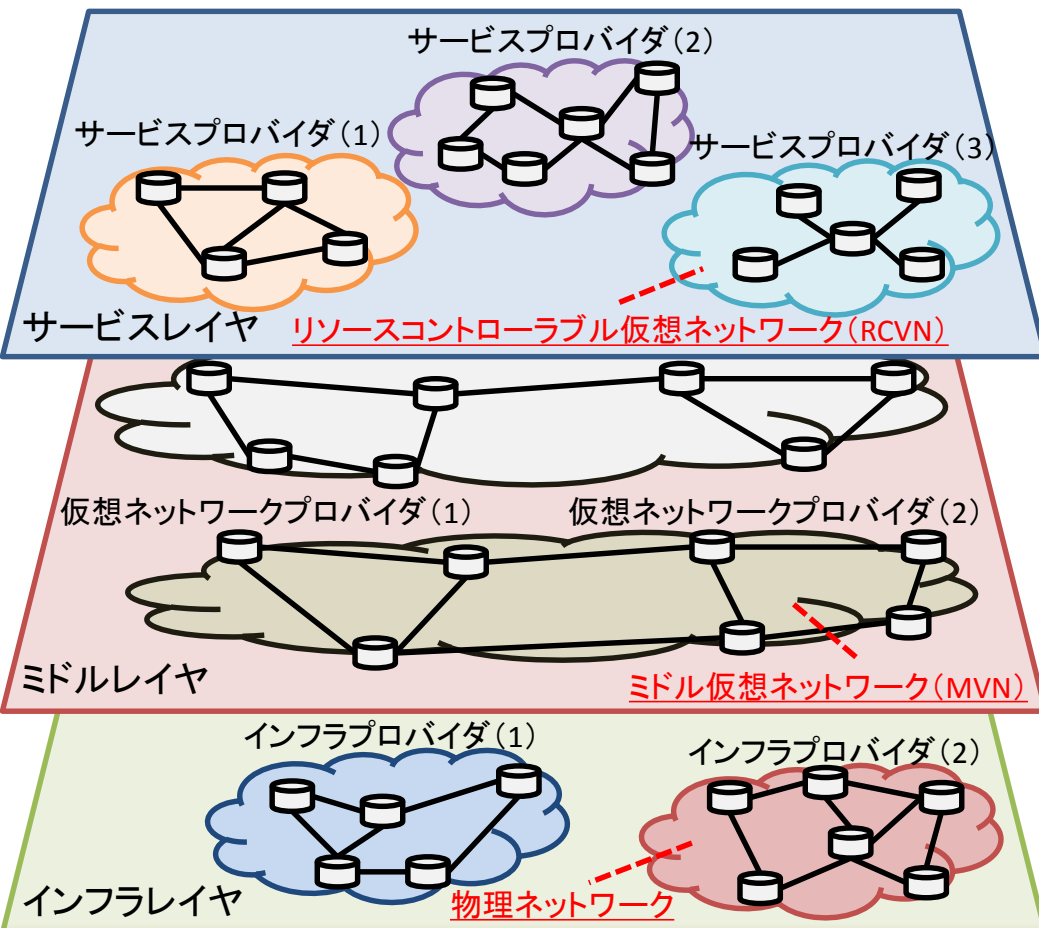
### ▶ 学生

▶ 大溝拓也 (D3)



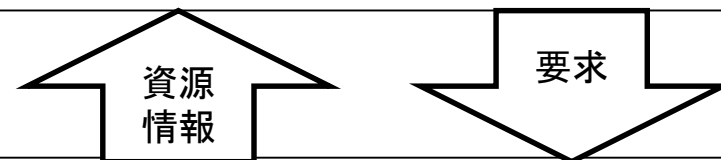
アーキテクチャ設計及び  
関連する研究開発

# 提案アーキテクチャの全体像



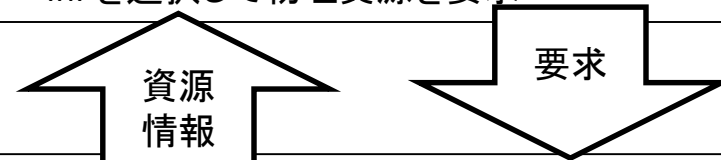
**サービスプロバイダ (SP)**

- 所望のリソースコントラブル仮想ネットワーク(RCVN)をVNPへ要求
- エンドユーザへのサービス提供のために、RCVNを利用してサービスに特化した制御



**仮想ネットワークプロバイダ (VNP)**

- ミドル仮想ネットワーク(MVN)の管理
- SPがRCVNに関する要求を解釈して情報を変換
- InPを選択して物理資源を要求



**インフラプロバイダ (InP)**

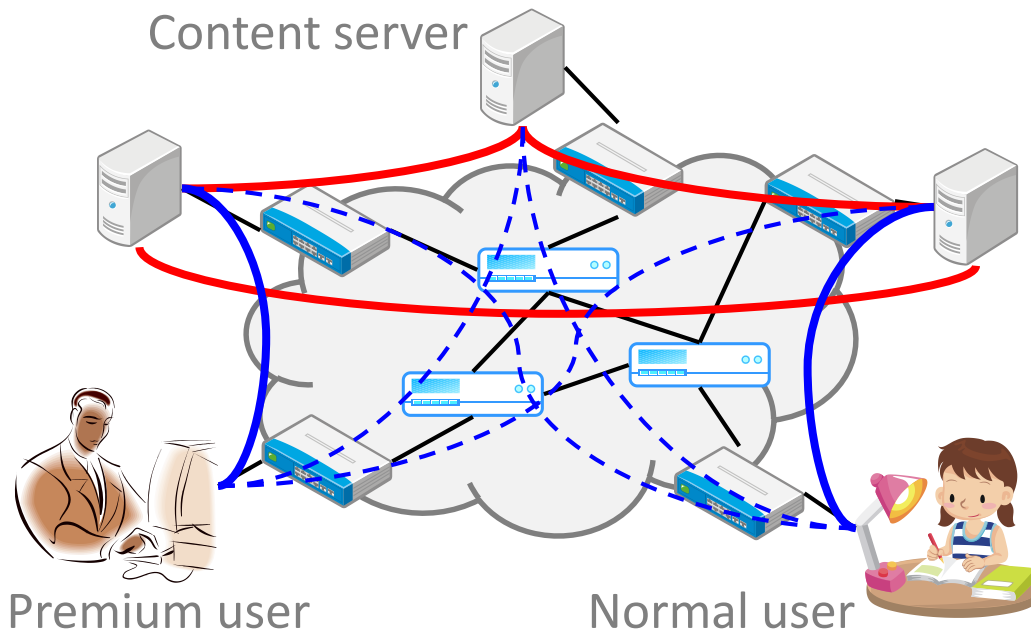
- VNPの要求に応じてMVNへの資源割当
- 要求を満たす範囲で自由に利用資源を決定

## VNPを仲介者とする利点 (信頼できるVNPを前提)

- VNPによる資源管理 → SPとInPの容易な連携
- VNPによる抽象化 → SP: 自身のサービスに特化した制御が可能  
InP: SP特有の情報を意識せず単純な制御が可能

# Self QoS control

- Application overlay networks
  - Construct logical networks using end-nodes
  - QoS control by app. itself adapting to the changes on non-guaranteed networks → Self QoS control



- Variety of traffic flows
  - Content synchronization
  - Content distribution
- Priority of users
  - Premium users
  - Normal users
- Characteristics of content
  - Popular content
  - Large content

# 提案アーキテクチャの特徴

## • SPが扱う情報

- 意識する性能: スループット、遅延時間、等
- 処理内容の例: エンドユーザの位置情報に基づくキャッシュ

## VNPを仲介者とする利点

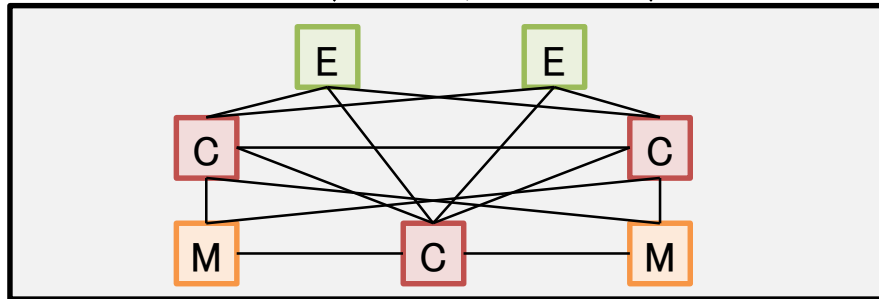
- VNPによる資源管理 → SPとInPの容易な連携
- VNPによる抽象化 → SP: 自身のサービスに特化した制御が可能  
InP: SP特有の情報を意識せず単純な制御が可能

## • InPが扱う情報

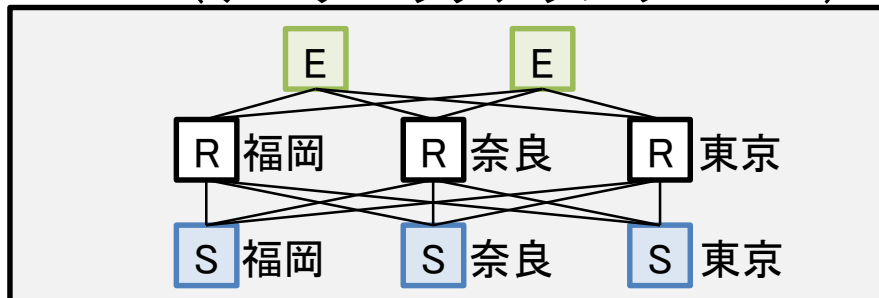
- 意識する性能: リンク帯域幅、リンク遅延、瞬断率
- 貸与する資源: ノード資源(計算・記憶)、リンク資源
- 提供する機能: データ形式変換、キャッシュ、等
- 処理内容の例: 指定通りにキャッシュ(ユーザ情報を意識しない)

# SPの要求の違い

SP-A (CDNサービス)



SP-B (データバックアップサービス)



## SP-Aの要求

- 代理配信
  - エンドユーザとキャッシュサーバの接続関係
- コンテンツ同期
  - キャッシュサーバ同士の接続関係
  - キャッシュサーバとマルチキャスト対応ルータの接続関係

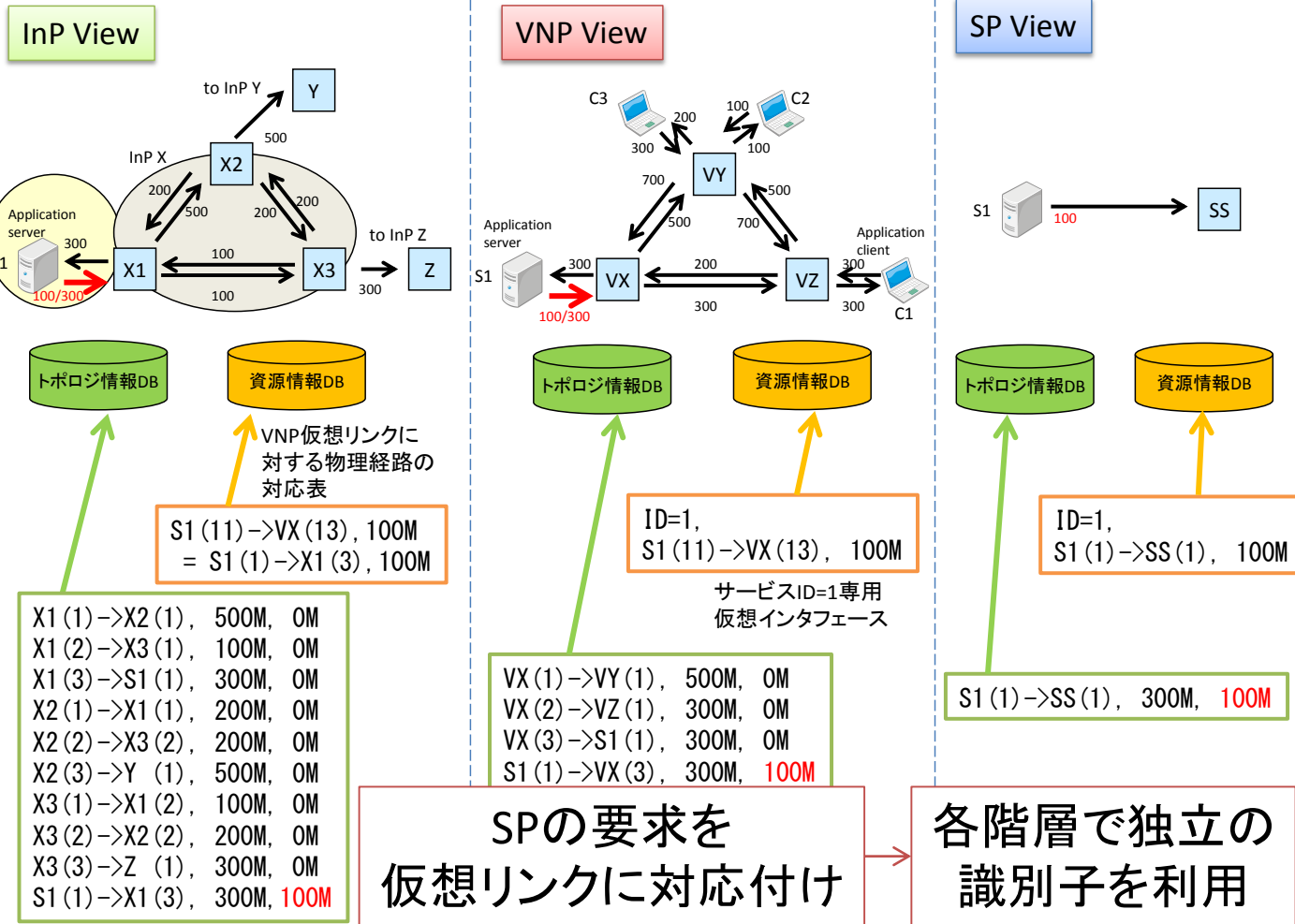
## SP-Bの要求

- 物理的位置
  - ルータ(経路)の位置情報
  - ストレージサーバの位置情報
- 経路の候補地
  - エンドユーザとルータの接続関係
  - ルータとストレージサーバの接続関係

**E** エンドユーザ   **R** ルータ   **M** マルチキャスト対応ルータ

**C** 代理配信可能キャッシュサーバ   **S** ストレージサーバ

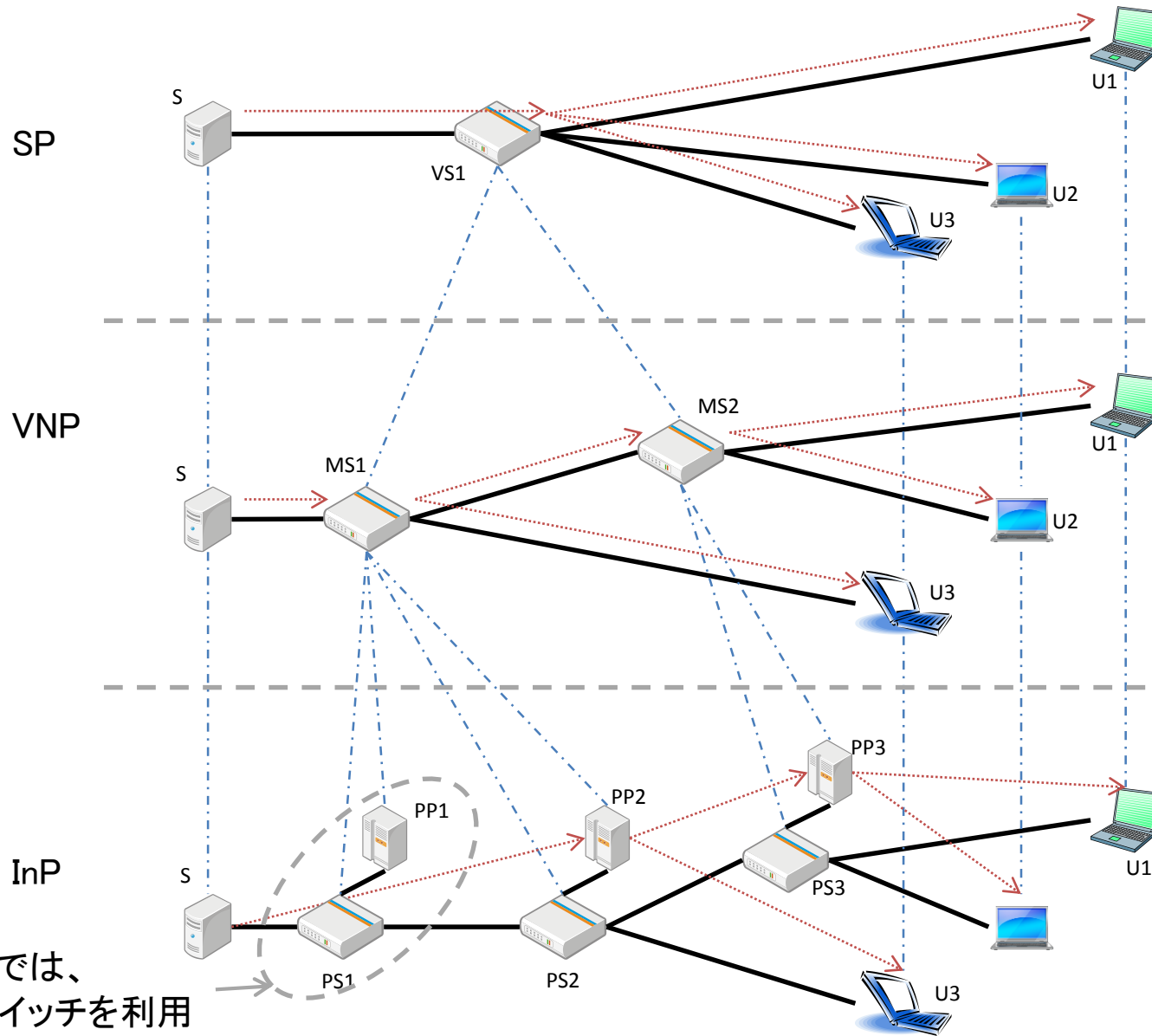
# プロトタイプ開発：資源情報マッピング



InPはSPを識別せずにVNPに指定された仮想リンクのみ識別  
 SPはどのInPの物理リンクか意識せずに仮想リンクのみ識別  
 →各階層における識別子の定義により情報の隠蔽が可能



# プロトタイプ開発：同報配信



今回の実装では、  
OpenFlowスイッチを利用

# プロトタイプ開発：動作例

Refresh Time: 10:39

Local Time: 10:45

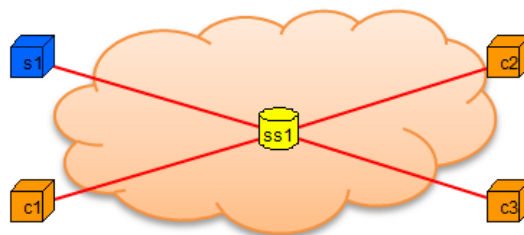
Refresh

 :server  :client  :node

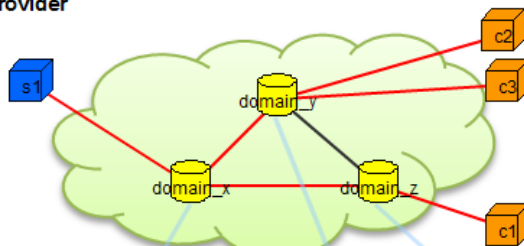
## Service List

Service	band width
ServiceListName001	50
ServiceListName002	100
ServiceListName003	100
ServiceListName004	100
ServiceListName005	100
ServiceListName006	100
ServiceListName007	100
ServiceListName008	100
ServiceListName009	100
ServiceListName010	100

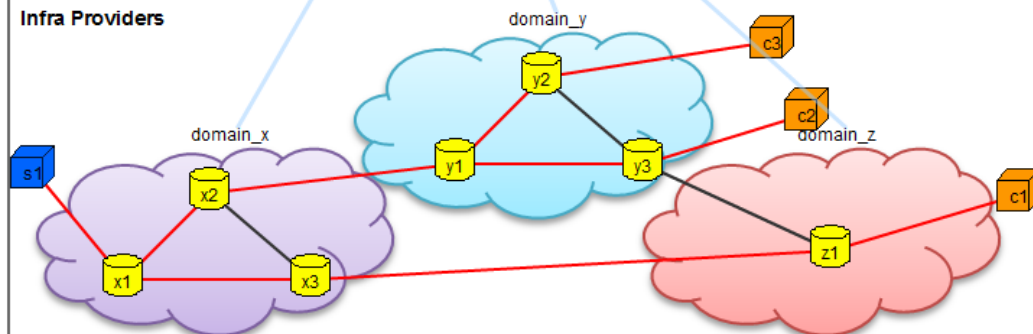
## Service Provider



## Virtual Network Provider



## Infra Providers

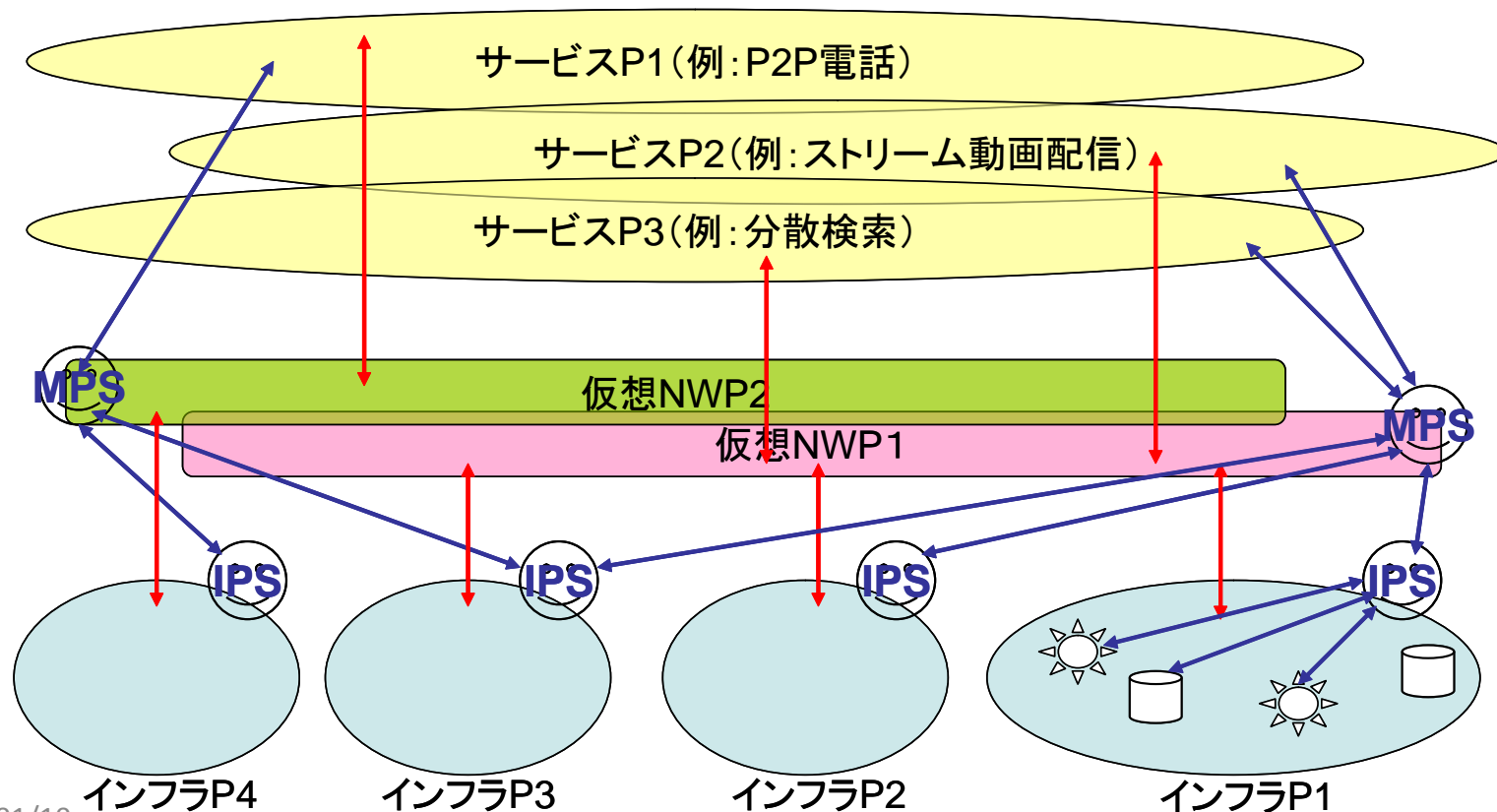


・仮想ネットワークサービスプロバイダアーキテクチャにおける資源割り当てに関する情報の収集、蓄積、提供を実現する機構のアーキテクチャを検討し、perfSONARに準拠したシステムを設計する。それによって、動的フロー制御テストベッドの高度化、仮想サービスプロバイダアーキテクチャの確立、JGN-X上での仮想サービスプロバイダ実証実験環境実現に向けた要件抽出、に資する。

**MPS**: ミドルperfSonar  
**IPS**: インフラperfSonar

↔ : 管理系IF  
↔ : 制御系IF

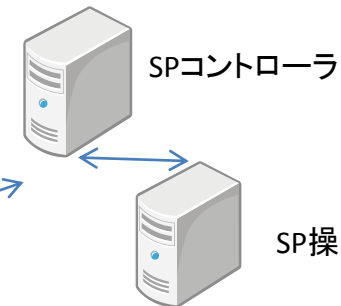
☀ : openFlowSW  
🗄 : その他のNWノード



監視系

割当系

操作系



SP

SPオペレータ

SP操作系

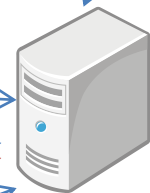
MVN管理システム (metaPS)

MVNオペレーションノード

VNPポータル

VNP操作系

VNP



SN管理システム (IPS)

SNオペレーションノード

連携用DB

SNオペレーションノード

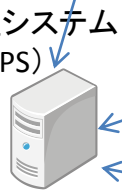
SN管理システム (IPS)

InP操作系

InP

InP操作系

InP



VM(ストレージ)

VM(ストレージ)

OFSW

OFSW

オリジナルサーバ

オリジナルサーバ

クライアント

クライアント

# まとめ

---

## ▶ 背景

- ▶ 多様なネットワークサービスの出現
- ▶ SP/InPの持続可能な関係の構築が急務
- ▶ SDNによる高度なネットワーク制御が利用可能になってきた

## ▶ 研究プロジェクト

- ▶ 「仮想ネットワークサービスプロバイダの收容を可能とする新世代ネットワークアーキテクチャの研究」
  - ▶ 3階層モデルの構築
  - ▶ SDN/OpenFlowの利用
  - ▶ SPが自身で制御するネットワークの実現

# 今後の展開

---

## ▶ JGN-X RISE

- ▶ 実証実験から高度運用へ
- ▶ 実際にネットワークサービスを構築し実証的に示していきたい

## ▶ 総務省 SCOPE

- ▶ 「高ロバストネス情報配信基盤の研究開発」
- ▶ 研究代表者: 秋山豊和(京都産業大学)
- ▶ Pub/Sub型オーバーレイネットワークにおけるOpenFlowを用いたアプリケーション最適化の実現

## ▶ 日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究B

- ▶ 「ネットワークとサービスの多様化に対応するサーバ主導型トラヒック制御技術の研究」
- ▶ 研究代表者: 飯田勝吉(東京工業大学)
- ▶ データセンター向けのトランスポート層アーキテクチャの確立

# 発表論文・学会発表等・2013年度

---

## ▶ NICT JGN-Xプロジェクトに関するもの

- ▶ M. Shimamura, H. Yamanaka, Y. Uratani, A. Nagata, S. Ishii, K. Iida, E. Kawai, and M. Tsuru, "Architecture for resource controllable NVE to meet service providers' dynamic QoS demands," *Proc. IEEE Intn'l Conference on Network of the Future (NoF2013)*, USB memory, TS6-2, 6 pages, Oct. 2013.
- ▶ S. Jivorasetkul, M. Shimamura, and K. Iida, "Better network latency with end-to-end header compression in SDN architecture," *Proc. IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM2013)*, pp. 183-188, Aug. 2013.

## ▶ 総務省 SCOPEプロジェクトに関するもの

- ▶ T. Akiyama, Y. Kawai, K. Iida, J. Zhang, and Y. Shiraishi, "Proposal for a new generation SDN-aware pub/sub environment," to be presented at IARIA Intn'l Conference on Networks (ICN2014), 5 pages, Feb. 2014.

## ▶ 日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究B プロジェクトに関するもの

- ▶ K. Kusuhata, I. Kaneko, K. Iida, H. Koga, and M. Shimamura, "A unified congestion control architecture design to improve heterogeneous wireless network efficiency and accommodate traffic by various rich applications," *Proc. IFIP Intn'l Working Conference Performance and security modelling and evaluation of cooperative heterogeneous networks, (HET-NETs2013)*, USB memory, WP07, 5 pages, Nov. 2013.

# 発表論文・学会発表等・2012年度

## ▶ NICT JGN-Xプロジェクトに関する研究発表

- ▶ [1] 嶋村昌義、山中広明、浦谷芳幸、永田晃、石井秀治、飯田勝吉、河合栄治、鶴正人:「ミドルレイヤ型ネットワークアーキテクチャにおける多様なサービスプロバイダのための適応的なネットワーク抽象化の検討」、電子情報通信学会・技術研究報告, Vol. 112, No. 230, IN2012-103, pp. 155-160, 2012年10月.
- ▶ [2] 嶋村昌義、山中広明、飯田勝吉、永田晃、石井秀治、河合栄治、鶴正人:「ミドルレイヤ型ネットワークアーキテクチャにおけるQoS制御可能な仮想ネットワーク提供機能の検討」、電子情報通信学会・技術研究報告, Vol. 112, No. 10, CQ2012-5, pp. 25-28, 2012年4月.

## ▶ OpenFlowを用いた、もしくはOpenFlowを拡張する研究

- ▶ [3] S. Jivorasetkul, M. Shimamura, K. Iida, "End-to-end header compression over software-defined networks: A low latency network architecture," *Proc. IEEE Int'l Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2012)*, CDROM, 2 pages, Sep. 2012.
- ▶ [4] S. Jivorasetkul, M. Shimamura, and K. Iida, "End-to-End Header Compression using Software-Defined Network Concept for Time-Sensitive Applications," *Proc. IEICE Society Conference 2012*, B-16-7, DVDROM, 1 page, Sept. 2012.
- ▶ [5] V.T. Costa, M. Shimamura and K. Iida, "Network-wide switch resource load-balancing for OpenFlow networks," *Proc. IEICE General Conference 2013*, B-6-113, DVDROM, 1 page, Mar. 2013.

## ▶ SDN/OpenFlowの世界で発生する問題に関する理論的研究

- ▶ [6] 吉永祐太、嶋村昌義、飯田勝吉:「マルチパス転送における網収容効率向上のためのパケット順序整理バッファを考慮に入れた経路選択手法の解析」、電子情報通信学会・技術研究報告, Vol. 112, No. 463, NS2012-244, p.463, 2013年3月.
- ▶ [7] 塩山幹彦、嶋村昌義、飯田勝吉:「背景トラフィックへの影響低減を目的とした段階的パス切り替え手法の提案と評価」、電子情報通信学会・技術研究報告, Vol. 112, No. 8, NS2012-11, pp. 59-63, 2012年



# 発表論文・学会発表等・2011年度（1）

- ▶ S. Kodama, M. Shimamura, and K. Iida, "Initial CWND determination method for fast startup TCP algorithms," *Proc. ACM/IEEE Int'l Workshop on Quality of Service (IWQoS2011)*, pp.1-3, June 2011.
- ▶ T. Omizo, K. Masui, and K. Iida, "Design and Implementation of Inter-ISP Virtual Backbone Infrastructure to Meet Various QoS Requirements," *Proc. IEEE/IPSJ Int'l Workshop on Future Internet Engineering (FIE2011) in conjunction with IEEE/IPSJ Int'l Symposium on Applications and the Internet (SAINT2011)*, pp.486-491, July 2011.
- ▶ M. Takano and K. Iida, "Approximation analysis of QoS metrics in a finite capacity queue for real-time communication," *Proc. IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM2011)*, pp. 613-618, Aug. 2011.
- ▶ S. Matsuura, M. Shimamura, and K. Iida, "Multicast group aggregation method for IPTV and its performance evaluation in terms of IGMP load," *Proc. IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM2011)*, pp. 602-607, Aug. 2011.
- ▶ E. Kawai, S. Ishii, H. Yamanaka, K. Iida, M. Shimamura, T. Omizo, M. Tsuru, "A New Generation Network Architecture to Accommodate Virtual Network Application Service Providers," Poster session, *GENI Engineering Conference (GEC11)*, Aug. 2011.
- ▶ 山中広明, 河合栄治, 石井秀治, 嶋村昌義, 飯田勝吉, 大溝拓也, 鶴 正人:「OpenFlowネットワーク仮想化の検討」, 電子情報通信学会・2011年ソサイエティ大会, B-6-14, 2011年9月.
- ▶ 嶋村昌義, 飯田勝吉, 大溝拓也, 山中広明, 石井秀治, 河合栄治, 鶴 正人:「仮想ネットワークサービスプロバイダの収容を可能とする新世代ネットワークアーキテクチャの検討 — 仮想サービスプロバイダ間の資源要求の調停を可能とするメタ資源プロバイダの検討」, 電子情報通信学会・2011年ソサイエティ大会, B-16-3, 2011年9月.
- ▶ 大溝拓也, 飯田勝吉:「[奨励講演]仮想バックボーン方式における制御トラフィック量の基礎的評価」, 電子情報通信学会・技術研究報告, vol. 111, no. 277, NS2011-114, pp. 61-66, 2011年11月.

# 発表論文・学会発表等・2011年度（2）

- ▶ H.Yamanaka, M. Shimamura, S. Ishii, E. Kawai, K. Iida, and M. Tsuru, “A new generation network architecture to accommodate virtual network application services,” *Proc. IEEE Int'l Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2011)*, pp.332-333, Nov. 2011.
- ▶ 長谷川洋佑, 飯田勝吉:「コミュニティセンシングを用いたサービス開発のための情報基盤に関する研究」, 電子情報通信学会・2012年総合大会, B-19-32, 2012年3月.
- ▶ H.Yamanaka, S. Ishii, E. Kawai, M. Shimamura, K. Iida, and M. Tsuru, “Proposal of Virtualizing OpenFlow Networks,” *Proc. IEICE-CS Int'l workshop on Software Defined Network and Openflow in conjunction with IEICE-CS World Telecommunication Congress 2012 (WTC2012)*, Mar. 2012.
- ▶ 堀内岳志, 大溝拓也, 飯田勝吉:「複数端末を用いて再生停止時間を削減するモバイル動画配信システムの実装と評価」, 電子情報通信学会・技術研究報告, vol. 111, no. 468, NS2011-197, pp.101-106, 2012年3月.
- ▶ 松井 巧, 嶋村昌義, 飯田勝吉:「遅延公平性を提供するための周期的バッファ昇格によるパケットスケジューラPWBの提案と評価」, 電子情報通信学会・技術研究報告, vol. 111, no. 468, NS2011-257, pp. 439-444, 2012年3月
- ▶ 嶋村昌義, 山中広明, 浦谷芳幸, 永田晃, 石井秀治, 飯田勝吉, 河合栄治, 鶴正人:「多様なサービスプロバイダの収容を可能とするミドルレイヤ型の検討」, 電子情報通信学会・技術研究報告, Vol. 111, No. 468, NS2011-192, pp. 75-80, 2012年3月.
- ▶ A. Den, and K. Iida, “Communication quality improvement method through end host enhancements for TFRC-type mobile streaming,” *Proc. IEEE Int'l Workshop on Telecommunication Networking, Applications and Systems 2012 (TeNAS2012) in conjunction with IEEE Int'l Conference on Advanced Information Networking and Applications 2012 (AINA2012)*, pp.897-902. Mar. 2012.
- ▶ T. Horiuchi, T. Omizo, and K. Iida, “Mobile Video Broadcasting System with Multiple Mobile Devices for Improving Availability,” *Proc. ACM Int'l Workshop on Mobile Opportunistic Network 2012 (MobiOpp2012)*, Mar. 2012.