

平成24年度研究開発成果概要書  
研究開発課題名：新世代ネットワークを支える  
ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発(149ウ02)  
課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発  
副題 情報オープンイノベーション基盤技術の構築

(1) 研究開発の目的

我々は、パケットの意味情報の解析結果により情報の授受・検索・共有をはかることで、豊かなサービスを提供する中心ハードウェアであるセマンティックルータ (Semantic Router: SR) を提案したことに端を発し、よりサービス親和性を高めるための分散協調動作に言及しつつインフラとしての側面も追及したサービス指向ルータの研究開発を行ってきた。

本研究開発では、これらの成果である (1) F P G Aを用いたサービス指向ルータの情報抽出の基本機能、方式、(2) メモリ効率の良いスケーラブルなソフトウェアシミュレータの活用、展開、統合することで、実働するサービス指向ノードを構築し、ネットワーク仮想化のプラットフォームの構築を行う。追加技術発展の軸と、アプリケーション構築基盤としての目に見える成果としての最終的な実ネットワーク仮想化運用の形態を目指す軸、これら二つの軸で研究開発を遂行する。双方共に、「新しい価値やサービスをより創出しやすい環境を提供する中核ハードウェア」として必要とされるパフォーマンスやファンクションをまとめ、実際に JGN-X やその他のネットワークインフラにおいて試験運営が可能なプラットフォームテストベッドを構築することを目指す。提案するインフラは、ルータ・スイッチ・ゲートウェイ・ホストサーバなど、ネットワーク中に含まれる情報交換ハードウェアの集合体であり、これらのハードウェアが機能的にも構成的にも渾然一体となり、かつ協調することで、サービス指向のネットワーク仮想化を構築してサービスおよび新しい価値を提供する。このような、サービス指向ノードによるネットワーク仮想化技術の実現、ならびに新世代ネットワークにおける情報オープンイノベーション基盤技術を構築することを本研究課題の最終目的とする

(2) 研究開発期間

平成23年度から平成24年度 (2年間)

(3) 委託先

慶應義塾大学<幹事者> (以下慶應大)

日立情報通信エンジニアリング株式会社 (以下日立 JTE)

国立大学法人筑波大学 (以下筑波大)

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立情報学研究所 (以下NII)

日本電信電話株式会社 (以下NTT)

(4) 研究開発予算 (百万円単位切上げ)

平成23年度

40 (契約金額)

平成 24 年度

34 ( 〃 )

(5) 研究開発課題と担当

課題ウ-1 モジュールの開発

課題ウ-1-1… データベースインサクション技術 (慶應大)

課題ウ-1-2… PPDP 技術 (慶應大)

課題ウ-1-3… ソフトウェアシミュレータ SLIM の完成 (慶應大)

課題ウ-1-4… テストベッド搭載 eSLIM の実装 (慶應大)

課題ウ-2 サービス指向ノードの実装

課題ウ-2-1… サービス指向ノードの構築 (日立 JTE)

課題ウ-2-2 … サービス指向ノードの処理高速化 (日立 JTE)

課題ウ-3 分散DBによる仮想環境構築

課題ウ-3-1… 仮想化に必要な分散DBの構築 (筑波大)

課題ウ-3-2… サービス指向ノード搭載仕様の構築 (筑波大)

課題ウ-4 サービス指向ノードを用いたアプリケーション実証と評価

課題ウ-4-1… テストベッド評価環境の構築 (NII)

課題ウ-4-2… テストベッドを用いたアプリケーションの評価 (NII)

課題ウ-5 データベースセクションハードウェアの構築

課題ウ-5-1… HW データベースセクション機構の構築 (慶應大)

課題ウ-5-2… HW データベースセクションインタプリタの構築 (慶應大)

課題ウ-6 サービス指向 OLT・ONU 構成技術の確立

課題ウ-6-1… サービス指向 OLT・ONU 構成技術の確立 (NTT)

課題ウ-6-2… サービス指向 OLT・ONU におけるアプリケーションの構築 (NTT)

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	4	4
	その他研究発表	85	56
	プレスリリース	3	2
	展示会	6	3
	標準化提案	3	1

具体的な成果  
慶應義塾大学

## 課題ウ-1 モジュールの開発

### 課題ウ-1-1… データベースインサージョン技術 (慶應大)

高速なデータ書き込み機構として、専用ハードウェアモジュールである DBM Co-Processor (Database Management Co-Processor) を開発した。DBM Co-Processor は高速なメモリ書き込み処理を実現する DBINS Engine(Database Insertion Engine)、永続化処理を実現する Archiving Engine、格納したデータを出力する IMDB Reading Engine (In-Memory Database Reading Engine) からなる。データベースへの書き込み処理は、抽出されたトラフィックを IMDB(In-Memory Database)へ書き込むメモリ転送処理と、インデックス生成処理に大別できる。処理遅延を低減するためには、これらの処理を並列して実行することが望ましい。また、データベースへの書き込みにおいては、ネットワーク環境やユーザの要求に適応することが求められるため、インデックスの作成方法、すなわちデータの管理方法をこれらの要求に応じて自由に選択できる手法が必要である。本論文では複数のデータ管理手法を提供しつつも高速なデータ書き込みが可能な機構として DBINS Engine を提案する。DBINS Engine は IMDB への書き込みおよびインデックス生成、管理を行う専用ハードウェアである。

提案する DBINS Engine の実装には Verilog-HDL を用いた。さらに、論理合成を行うことで論理規模および動作遅延を求めた。DBINS Engine はアプリケーションやユーザの要求に対応した柔軟なインデックス構造が望まれるため、過去に提案された 2 手法のほかに、さらに 2 種類の管理手法を加えた 4 手法について実装を行い、処理スループットの評価を行った。評価の結果 DBINS Engine は FPGA 実装時で 0.84~2.63Gbps、ASIC 実装時で 6.06~19.16Gbps のスループットを達成した。以上より、DBINS Engine は基幹ルータでの処理が可能であることを確認するとともに、各種インデックス生成アルゴリズムを利用できることから、ユーザの要求やネットワーク環境の変化に対して柔軟に対応できることを確認した。

### 課題ウ-1-2… PPDP 技術 (慶應大)

プライバシー保護下での情報公開を可能とする技術が提案されており、その一つが匿名化手法である。匿名化手法は、データをより抽象的な値で置き換える一般化処理によって行われ、k-匿名性、あるいは 1-多様性などといったプライバシー基準によって定義される。プライバシー基準の設定における自由度が高く、アプリケーションによって要求されるプライバシー強度に柔軟に対応可能であることから、従来では行われてこなかった新しい情報活用を実現する手段として期待されている。しかし一般に処理コストが大きいことで知られており、処理スループットが要求されるアプリケーションへの適用が難しい。また出力結果を他アプリケーションによって利用することを想定しているため、出力結果における情報の損失を低減し、情報の有用性を確保することが重要である。そこで本研究では TCAM (Ternary Content Addressable

Memory) を利用した専用のハードウェアアーキテクチャによって、処理の高速化を実現する。また情報の損失を改善するため、処理結果を保存し、以降の処理への反映を可能とするキャッシュ機構を提案する。

評価の結果、RAM を用いたアーキテクチャに比べ約 10-50 倍のスループットを実現し、約 6Gbps 規模のネットワークにおいて適用可能であることを示した。またキャッシュ機構によって情報の損失を改善できることを示した。アーキテクチャ全体と比較してキャッシュ機構の実装に要求されるハードウェアコストは非常に小さいことから、キャッシュ機構を用いることで、わずかな追加コストでの情報損失度改善が可能である。

#### 課題ウ-1-3… ソフトウェアシミュレータ SLIM の完成 (慶應大)

ソフトウェアシミュレータ SLIM は、NEGI と名称を変え、GitHub で公開している。この先進的なソフトウェアは、Juniper および ALAXALA ルータを含む複数のプラットフォームで実行可能であり、Juniper 社によるサポートの元、JunOS V App Engine の上で動作させることにより、サービス指向ルータが完成する。また、このソフトウェアは、Juniper より標準配布されることを計画中である。

#### 課題ウ-1-4… テストベッド搭載 eSLIM の実装 (慶應大)

上記のように、ソフトウェアシミュレータ SLIM は、NEGI と名称を変え、ALAXALA ルータで動作するが、ALAXALA ルータ上で動作するように組み込みソフトウェア化された。

### 課題ウ-2 サービス指向ノードの実装

#### 課題ウ-2-1… サービス指向ノードの構築 (日立 JTE)

マルチコアプロセッサを搭載した ALAXALA 社レイヤ 3 スイッチ上にサービス指向ノードを実現するソフトウェア (SLIM) を搭載、またその実行環境としての DB プログラムの実装、外部ストレージとの iSCSI 接続環境を構築し、現実のネットワーク上での実証実験可能なサービス指向ノードのテストベッドを開発完了。

#### 課題ウ-2-2 … サービス指向ノードの処理高速化 (日立 JTE)

マルチコアプロセッサでの実行環境のチューニングを行い、実証実験での性能評価・検証によりサービス指向ノードの実用化に向けた課題の抽出を完了。

### 課題ウ-3 分散DBによる仮想環境構築

#### 課題ウ-3-1… 仮想化に必要な分散DBの構築 (筑波大)

Alaxala ルータ上でストリームDBを稼働させることに成功した。

NICTER が用いている異常検知手法 CPD をストリームDB上で動作させると同時に、共有計算手法を用いて 5 倍程度の性能向上を実現した。

ストリームDBの分散化を実現した。

プライバシーを保護するために、データを暗号化したままストリーム分析を行う技術 CryptStream を開発した。

#### 課題ウ-3-2… サービス指向ノード搭載仕様の構築（筑波大）

SQL に基づき、マイニング技法などを実行できる問合せ言語使用を策定した。

#### 課題ウ-4 サービス指向ノードを用いたアプリケーション実証と評価

##### 課題ウ-4-1… テストベッド評価環境の構築（NII）

Juniper 社バックボーンルータ MX480 において Junos SDK 環境を用いることで KVM 上に SLIM を実現した。

SINET 環境における仮想トラヒックを MX480 (Junos SDK 環境) 上の SLIM で処理することを実現した。

##### 課題ウ-4-2… テストベッドを用いたアプリケーションの評価（NII）

Juniper 社バックボーンルータ MX480 において上記課題ウ-4-1 の成果を用いて、サービス指向ルータの機能によりファイヤーウォール (FW) 等のアプリケーションを動作させることに成功した。本成果と昨年度の成果であるバックボーン仮想トラヒックからの情報抽出処理で必要となるメモリ量 (10GB 未満) の評価結果の 2 点から、バックボーンルータにおいて一部のトラヒックに対してサービス指向ルータ機能を提供することが現実的であることを示した。

#### 課題ウ-5 データベースセクションハードウェアの構築

##### 課題ウ-5-1… HW データベースセクション機構の構築（慶應大）

データベースへの問合せ処理について、「HW データベースセクション機構」を研究開発した。具体的には、問合せがあったレコードを保持するバッファキャッシュ、及び、ハッシュ関数を用いて問合せ結果を保持する結果キャッシュを提案した。本 HW データベースセクション機構は、Virtex-6 FPGA ML605 評価キット (デバイスは XC6VLX240T、Block RAM サイズは 14,976kbit) に実装され、プロセッサ単体の性能と比べて 1.52 倍～5.12 倍の性能向上を実現した。

##### 課題ウ-5-2… HW データベースセクションインタプリタの構築（慶應大）

また、クライアントから送られるデータベースへの問合せ要求をこの HW データベースセクション機構が解釈可能な内部コードに変換するための「HW データベースセクションインタプリタ」も併せて実現した。

#### 課題ウ-6 サービス指向 OLT・ONU 構成技術の確立

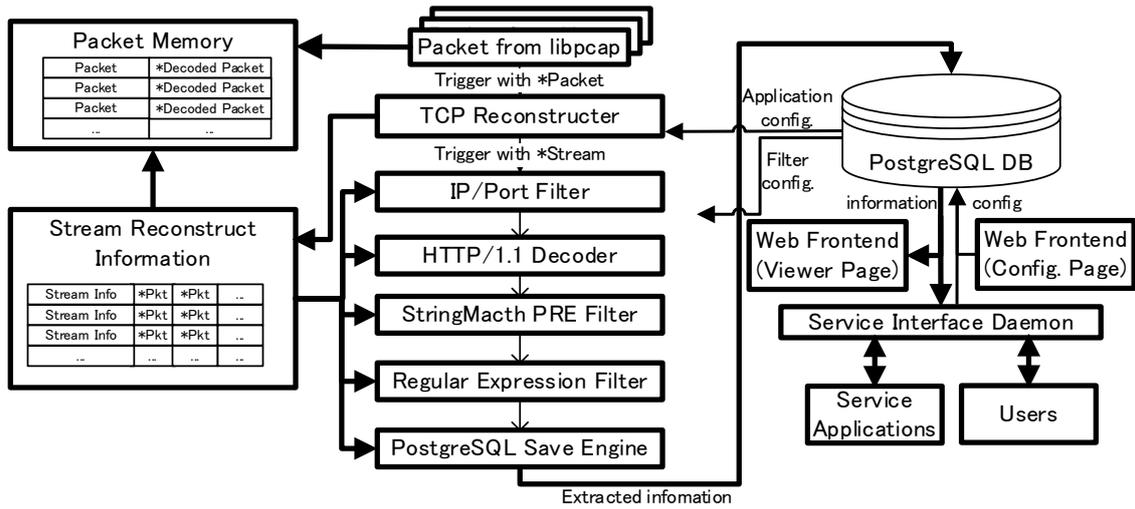
##### 課題ウ-6-1… サービス指向 OLT・ONU 構成技術の確立（NTT）

サービス指向性の光アクセス網を想定した、(OLT・ONU を用いた) 基礎試験系を構築した。

課題ウ-1 で構築したエネルギーマネジメント (グリッド) シミュレータと構築した基礎試験系の共同動作試験を行った。試験結果から、シミュレータ (サーバ側) の処理時間も含め、2.5msec 程度で需要家のエネルギー制御が可能であるという結果を得た。(課題ウ 6-2 に関連)

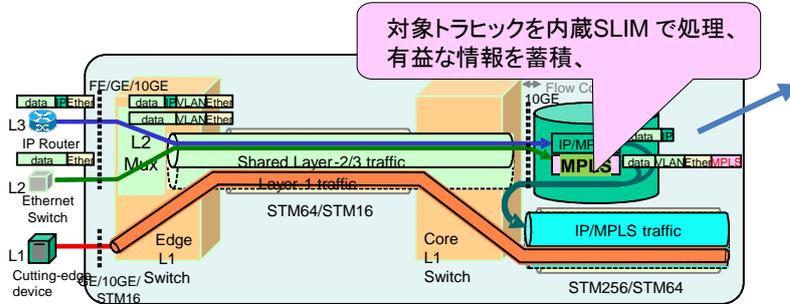
課題ウ-6-2... サービス指向 OLT・ONU におけるアプリケーションの構築(NTT)  
 上記基礎試験結果により、地域内情報を地域内で処理する(情報の地産地消)ことが、エネルギーマネジメントなどの低遅延性を要求されるサービス制御に有効であるという見通しを得た。

(7) 研究開発イメージ図



提案アーキテクチャ全体図

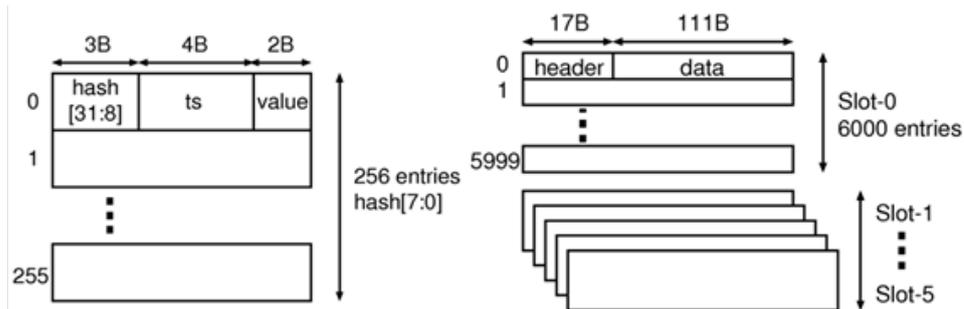
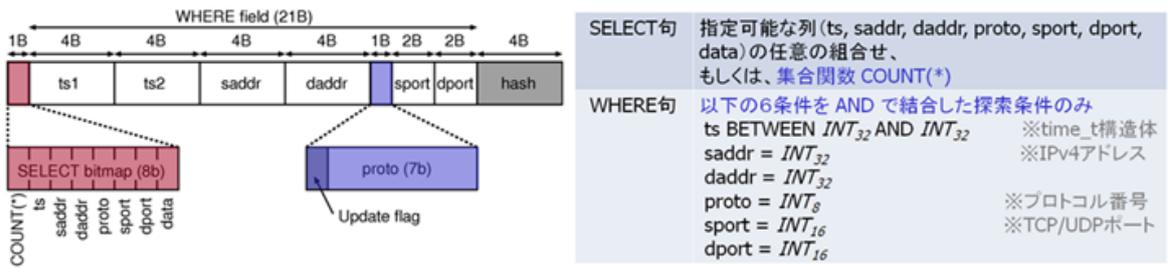
Juniper MX480においてSLIMを実装、FW等を実現



SLIMの実現(MX480+Junos SDK環境)

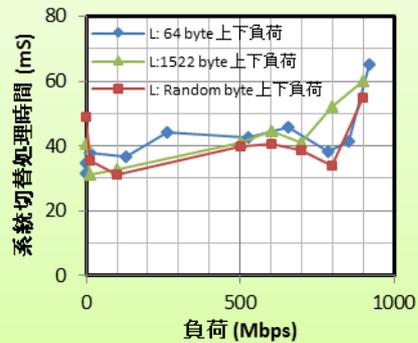
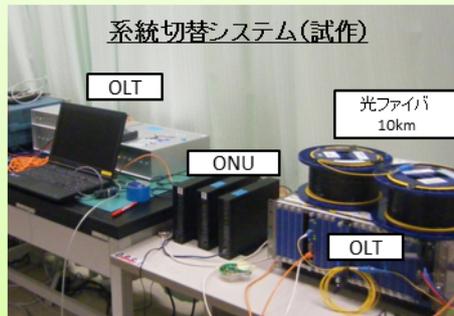
マルチレイヤ・QoS制御を行う先進的なインターネットにおいて  
 SLIMを搭載したバックボーンルータの利用イメージ

想定する将来インフラ図



DB 構成図

- ① PONシステム+L2SW(模擬SoR)を用いた評価系を構築しPONによる低遅延な地域内通信を実現した (End to Endで2.5m秒以下)。
- ② PONを介した遠隔系統切り替え装置では電力系の電圧・位相の不安定要素の除去を30-60m秒 (負荷の依存性は低い) で実現することを確認し、PON+SoRが電力系における事故波及防止システム等への適用が期待できることを示した。



PON を利用したアプリケーションの実験説明図