

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500063
 研究課題名（和文） ユビキタスグリッドネットワーキング環境（uGrid）の研究
 研究課題名（英文） A study on the ubiquitous grid networking (uGrid) environment
 研究代表者
 岡本 聡（OKAMOTO SATORU）
 慶應義塾大学・理工学研究科・准教授
 研究者番号：10449027

研究成果の概要（和文）：“ユビキタスグリッドネットワーキング(uGrid)”をキーワードに、計算資源、家電製品、情報機器といったデバイスを“サービスパーツ”と定義し、複数のサービスパーツを IP パケットで構成される“仮想ケーブル”で接続することで新たなサービスの実現を目指した。サービスパーツをソフトウェアに拡張し、IP ルータにサーバー機能を配備するような最新のクラウドコンピューティング環境での統一的なサービス提供手段を確立した。

研究成果の概要（英文）：In this research, a novel service creation method under the newest cloud computing environment is provided. To develop the method, the ubiquitous grid networking (uGrid) concept is defined. Service parts, such as computing resources, home electronics devices, and information devices are connected by the IP packet based virtual cable. The uGrid provides a service creation platform.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 通信・ネットワーク工学

キーワード：ユビキタスネットワーク、グリッドコンピューティング、Everything over IP、サービスパーツ、シグナリング、アクセス制御、検索、P2P

1. 研究開始当初の背景

IP を利用するインターネットの普及特に IPv6 の進展により、万物に IP アドレスを付与し、全てのものが何らかの通信を行うユビキタス社会の到来が間近なものとなっている。ユビキタス化の際のキーワードとして、“IP over Everything”、“Everything over

IP”が掲げられていた。前者は、IP パケットが、おおまかには光ファイバ、無線、電線に分類可能な多数の物理的な媒体（イーサネット、SDH/SONET、ISDN、ATM、無線、携帯電話、IEEE1394、InfiniBand 等）を介して転送されることを意味し、日々転送可能な通信方式が増大している。後者は、全てのア

アプリケーションやデータの転送が IP パケットを用いて行われるということにとどまらず、これまで IP パケットを転送するために利用されてきた物理媒体をも IP パケット(場合によっては MPLS (Multi-Protocol Label Switching)技術を利用)の転送でエミュレートするという領域に達してきており、Pseudo Wire 技術として、ATM や SDH の低速専用線を IP 転送網でエミュレートする技術、広域イーサネット専用線を提供する技術として実用化されてきている。身近なところでは、デジタルビデオとビデオデッキやパソコンとを接続するための IEEE1394 ケーブルをエミュレートする DV over IP、USB ケーブルをエミュレートする USB over IP といった技術は、複数の製品が世の中に出現してきている。また、オーバーレイネットワークも IP 網を IP 網上に構築する技術であり Everything over IP 技術の範疇にある。このように、様々な物理媒体を IP/MPLS でエミュレートすることが可能になってきている。

一方、グリッドコンピューティング技術は、CPU や、ディスク、タイルディスプレイといった計算機資源を通信網を介して接続することで、巨大な計算機資源を提供したり、空き資源を活用して巨大な計算機資源を複数ユーザで共有したりといった、ユーザに対して仮想的な計算機を提供する技術である。グリッドコンピューティングを実現するためには、アプリケーションの並列化技術、仮想計算機資源管理技術、高速データ転送技術、高速ネットワーク制御技術、仮想デバイス制御技術といった様々な技術が必要とされる。

2. 研究の目的

“ユビキタスグリッドネットワークング (uGrid)”をキーワードに、Everything over IP あるいは Everything over MPLS により、全てのデバイスが IP あるいは MPLS を介して接続される世界が実現されることを想定する。デバイスとしては、グリッドコンピューティングにおける CPU やディスク等の計算機資源や、パソコン等の計算機システムだけでなく、マウスやキーボード、ディスプレイ、ディスクドライブといった周辺機器、デジタルカメラ、デジタルビデオ、スピーカー、テレビ、ビデオデッキ、DVD プレイヤー、冷蔵庫といった家電製品、携帯電話、PDA といった情報機器等を対象とし、各デバイスをサービスパーツと位置づける。各サービスパーツは、IP/MPLS という共通のサービスインタフェースを有することとし、ユーザは、サービスパーツを IP/MPLS という仮想ケーブルで接続することで様々なサービスを楽しむ世界を構築可能となる。

本研究では、自分のものは自分のもの、他人のものも自分のものという P2P の思想を

取り入れ、個人が所有するサービスパーツを広く他人に公開することで、全世界に存在するサービスパーツを自由自在に組み合わせることが可能な世界を構築するための基礎技術の立ち上げを目的とする。

3. 研究の方法

研究を進めるにあたって、(1)サービスパーツ間接続技術、(2)サービスパーツ公開・探索技術、(3)アクセス制限・接続認証技術、(4)新サービス提供技術、の4課題を設定し各課題に対して研究を進めた。

(1) サービスパーツ間接続技術

サービスパーツを接続するための仮想ケーブルを構築する技術を検討する。仮想ケーブルを実現するために、どのようなトンネリング技術/オーバーレイワーク構築技術が必要となるのかを明らかにすることを目的とし、市販の USB over IP 機器を利用してサービスパーツを実装し、フィールドでの評価を行う。

(2) サービスパーツ公開・探索技術

P2P 的に世界中に向けてサービスパーツを公開するための方式及び公開されたサービスパーツから、所望のパーツを探し出すスケーラブルなディレクトリサービスシステムの方式や性能を明らかにする。

(3) アクセス制限・接続認証技術

自分が使いたい時には最優先で利用可能とする優先制御手法、公開先を制限するアクセス制限手法、悪意を持ったサービスパーツ提供者を防御するための接続認証技術に関する方式検討及び USB over IP 機器を利用した原理確認を行う。

(4) 新サービス提供技術

各デバイスの配線を IP ルータやイーサネットスイッチで実現するデバイス接続フリーな環境を提供することでパソコンの本体とキーボード、ディスプレイを隔離するといった単純なサービスから、インターネットを介して、自分が保有するサービスパーツと他人の保有するサービスパーツとを組み合わせることで、部分的なサービスパーツしか保有しなくても、他人のサービスパーツを借用してサービスを楽しむ、あるいは、不要となったサービスパーツを他人に公開することでサービス提供対価を得る、といったサービス提供サービスへの発展、さらには、現状では想定できない家電製品の組合せ利用による新たなサービスの発見的提供、新たなサービスパーツを提供する技術を模索し見出していく、といった新たなインターネット利用技術を創設することを模索していく。

4. 研究成果

(1) サービスパーツ間接続技術

① 仮想ケーブルに対する要求と実現技術の検討

サービスパーツ間を接続する仮想ケーブルに必要となる特徴/機能を検討した。仮想ケーブルは、(a) データ over IP/MPLS で構築される connection oriented なデータフローで構成される、(b) 利用時には帯域が確保される、(c) 接続したサービスパーツを占有可能である、(d) 他者に迷惑をかけない、他者から迷惑を受けないセキュアな通信環境を提供する、(e) 物理的なケーブル長制限からの脱却を可能とする、(f) ロケーションフリー、といった特徴を持つ必要がある。

現状のインターネットは connection oriented なデータフローに対する帯域確保に難があるため、NGN 等のある程度オンデマンドで帯域確保が可能な IP 網上に、何らかのトンネル化技術を組み合わせてオーバーレイネットワークを構成することが必要となる。従って、ユーザからの帯域確保技術と連動してコアネットワーク内で帯域確保型の connection oriented な仮想回線(パケットベースの疑似専用線)を提供可能とする技術の展開が必要となる。このような仮想回線を提供する技術としては、近年 MPLS-TP (Multi-Protocol Label Switching Transport Profile) が注目されている。NGN 内部網を MPLS-TP を利用して構成することにより、SIP による帯域確保回線の要求、MPLS/GMPLS 連動による仮想回線の提供が実現可能となる。仮想ケーブルは、このような MPLS-TP を利用した NGN 上にオーバーレイする形態で提供される。

② サービスパーツ間接続機能の実証

市販されている USB over IP 機器を利用し、インターネットを介して遠隔の USB 機器を利用する実証実験を実施した。USB over IP 機器は、LAN 内での利用を前提としているため、NAT 等を介在させてインターネット越で利用することができないため、USB over IP のプロトコル PROXY を開発した。PROXY では、パケット内の IP アドレス情報を書き換え、USB over IP 機器からは PROXY が対向する PC であるとして認識させることに成功した。

開発した PROXY を利用することで、NAT 越

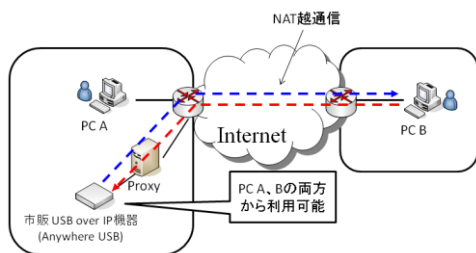


図1 USB over IP 接続検証系

環境下でインターネットを介してのサービスパーツ間接続が可能となることが確認された。これにより uGrid を実現する上で、①で述べた仮想ケーブルが実現することが重要であることが確認された。

(2) サービスパーツ公開・探索技術

現在の P2P ネットワークでは、P2P ネットワークに参加している多数のユーザが保有するコンテンツから所望のコンテンツを発見する探索技術が重要視されているが、uGrid においては、膨大なサービスパーツの中から所望のサービスパーツを発見する技術が必要である。本研究では、①協調 Superpeer 方式、②位置ベースクラスタ検索方式の二つの方式を提供する。

① 協調 Superpeer 方式

サービスパーツの管理手法として UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) を採用した。UDDI レジストリを分散配備する手法として Superpeer 方式利用する。領域毎に UDDI レジストリの Superpeer を定義し、リクエストによるサービスパーツ検索を Step-1: Superpeer による領域内検索、Step-2: Superpeer 間の P2P 検索クエリ交換に基づいた Global 探索、として実行することで探索のスケラビリティを向上させる。Superpeer 方式のみでは、クエリ負荷のアンバランスによる性能劣化が課題となるため、課題を解決するために P2P 検索クエリ交換を実行する際には、正規化アクセス数に基づいた負荷分散を行う協調クエリ分散方式を新たに開発した。

図2に、ネットワーク上のクライアント数による検出成功率を示す。単純な Superpeer 方式と比較して、提案方式の検出成功率が飛躍的に向上していることがわかる。

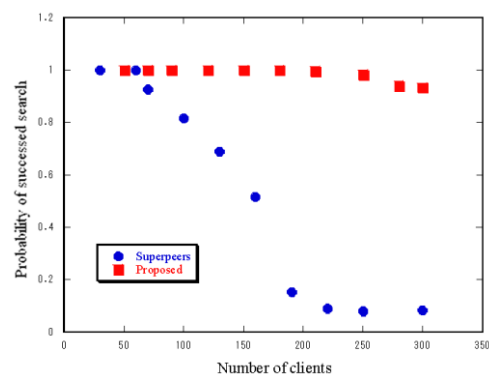


図2 検出成功率比較

② 位置ベースクラスタ検索方式

Superpeer の管理する領域を、GPS による座標情報を基にクラスタを構築する。物理的な位置及び時間を考慮してサービスパーツを探索する手法を提案した。

ユーザは、自分が管理するサービスパーツの種類、性能、場所、使用時間を設定してサ

サービスパーツホームデータベース (HDB) に登録を行う。HDB は、Superpeer がデータ収集を行い、地理的に大きな範囲をカバーする Superpeer が上位に存在するようツリー構造で Superpeer のクラスタを構築する。従って、リーフに近い Superpeer ほど地域に密着した Superpeer であると言える。検索時には、性能・場所に加えて、ネットワークランク (ネットワーク的な近さ)、時間帯別信頼度ランク (信頼度：サービスパーツの利用可能性) をクエリとして返戻することで、ユーザーの要望に適合したサービスパーツ選択が可能になる。計算機シミュレーションにより、ネットワーク遅延、再検索クエリ数の評価を行った結果を示す。

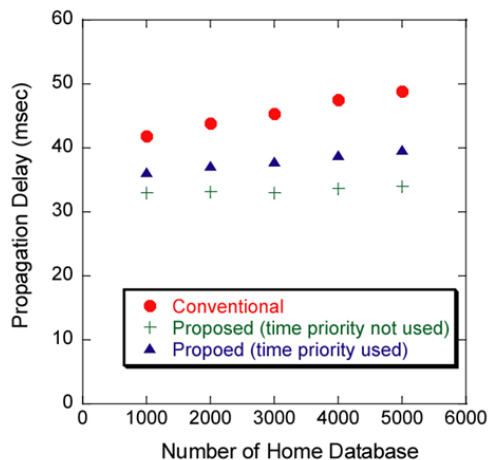


図3 遅延時間特性評価結果

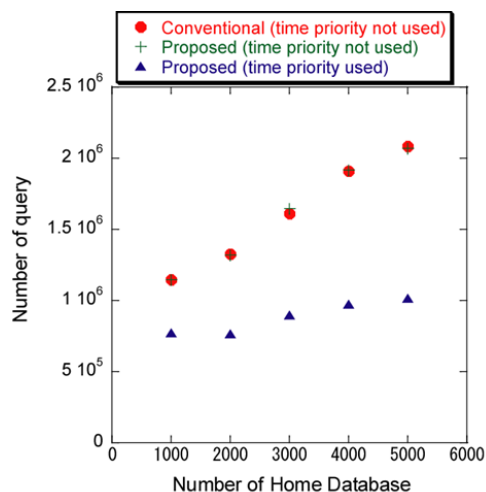


図4 再検索特性評価結果

提案方式を適用することで、よりネットワーク的に近いサービスパーツを、より効率的に探索可能となることが確認された。本方式により、他人のサービスパーツを利用するという uGrid において、自身の利用度合いに応じて他者へのサービスパーツ公開と、効率的な探索手法が得られた。

(3) アクセス制限・接続認証技術

サービスパーツを公開している場合、誰もが自由にアクセス可能となることから、セキュリティの脅威が発生する。サービスパーツは IP アドレスを基にして接続されるため、IP アドレスが露呈することは不正アクセスされる危険性を高める。(1)で開発した PROXY を利用することで、(a)サービスパーツの実アドレス公開から PROXY のアドレス公開へ移行、(b)PROXY によるアクセス制御の実現、(c)許可のあるアクセス要求元からのアクセスのみ許可というアクセス制御が可能となる。図5に PROXY を利用したアクセス制限・認証方式を示す。(1)で行った確認実験実験により、本方式が有効であることを確認した。

本方式では、サービスパーツ毎に PROXY を

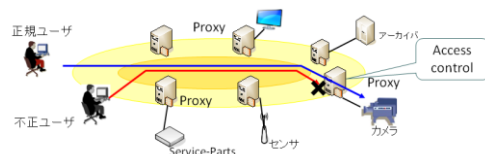


図5 PROXYによるアクセス制御

用意する必要があるため、実用的に問題があると考え、新たなアクセス制御方式を考案した。

新アクセス制御方式は、(a) サービスパーツを Secure (プライバシー確保を必須)・Limited (利用に許可が必要)・Normal (誰でも自由に利用可能)の3クラスに分類し、Secure と Limited クラスは IP アドレスを隠蔽する、(b) クラス毎にオーバーレイネットワークを構築し、クラス間の通信はゲートウェイサービスパーツを介して行う、(c) Secure クラスと Limited クラスでは仮想ケーブル作成の際に利用する RSVP シグナリングで IP アドレスではなく Path Key (IP address を暗号化したラベル)を利用する、ことでアクセス制御を実現する。本方式においては

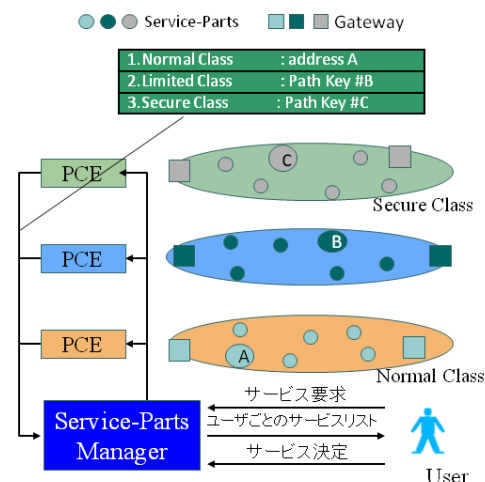


図6 新アクセス制御方式概要

uGrid 基盤として、サービスパーツマネージャ、クラス毎に配備されるゲートウェイ、クラス毎に配備される経路計算エンジン(PCE)、を新たに導入する。

Secure クラスと Limited クラスでは、ゲートウェイの IP アドレスのみが公開されており、ユーザからの個別サービスパーツに対するアクセスは、サービスパーツマネージャを介して与えられる Path Key により行われる。各クラス内のサービスパーツを接続するためのシグナリングは、ゲートウェアが Path key を PCE に与えることで、実アドレスを入手することで実行される。

サービスパーツマネージャは、ユーザからのサービス要求を受け、必要なサービスパーツ群を探索する。具体的なサービスパーツは PCE を経由し、IP アドレス又は Path key の形で通知される。仮想ケーブル設定時には、ゲートウェイを含めたサービスパーツを、IP アドレスと Path key を利用して指定し、ユーザには IP アドレスを隠蔽することが可能となる。また、ユーザに見せるサービスパーツの範囲をクラス毎に制御すること、ゲートウェイにおいてアクセス制御を行うことも可能であり、uGrid のアクセス制御をフレキシブルに実現可能としている。

(4) 新サービス提供技術

① マルチサービス映像配信システム

既存の TV システムは、テレビ局において配備された映像ソースより、テレビ局において選択され、テレビ局において編集された映像が配信されている。映像のクオリティ的には高いものが制作されているが、幅広いユーザのニーズに応える仕組みは提供されていない。uGrid を利用することで、多数の映像ソースを利用し、多様なユーザ要求を満たす映像を、各デバイスを結ぶパス(仮想ケーブル)をつなぎ替えることで提供可能となる。本マルチサービス映像配信システムのコンセプトを図7に示す。

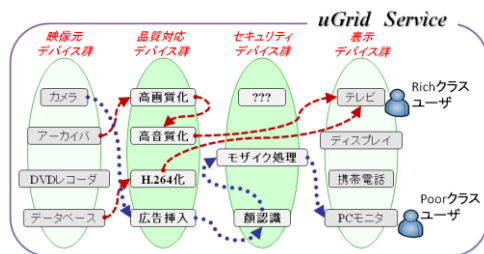


図7 マルチサービス映像配信

本システムのプロトタイプとして、PS3 を利用した映像フィルタリング伝送システムを構築した。顔認識機能を実装した PS3 と、超解像処理を実装した PS3 の 2 台を準備し、(a) サービスクラスに応じて利用するプロセス数要素数を調整すること、(b) 初期

状態では顔認識処理により顔の部分マスクした映像しか見れないが、認証後は顔認識処理をバイパスすることで QoS の変更を可能にすることの確認実験に成功した。

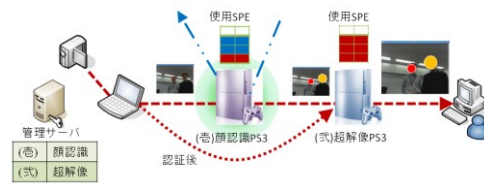


図8 プロトタイプ実験

② サービスシグナリング

従来の uGrid で定義していたサービスパーツは、計算機資源、家電、情報機器といったデバイスを想定していた。つまり、サービスパーツはハードウェアであった。これは、ハードウェアを接続するケーブルを仮想化するということが uGrid の原点であったからである。サービスパーツをハードウェアに限定せず、ソフトウェアに IP アドレスを持たせることで、uGrid の提供可能なサービスが飛躍的に増大する。従来の uGrid では、仮想ケーブルを設定するために伝達レイヤで RSVP シグナリングを実施して仮想回線をサービスパーツ間に設定していた。これをサービスレイヤで RSVP シグナリングを行い、プログラム(ソフトウェア)間でのデータフローの確保と、伝達レイヤでの通信回線(仮想ケーブル)の確保のマルチレイヤシグナリングに拡張する。この拡張された uGrid におけるソフトウェア及びデバイスのリソース確保をサービスシグナリングと呼ぶ。サービスシグナリングでは、RSVP-TE を拡張してプログラム用のパラメータを格納し、シグナリングメッセージ受信時にプログラムを起動する。図9にデモシステムの写真を示す。デモシステムでは PC を利用しているが、近年 IP ルータにサーバ機能が実装されているため、ルータ内のサーバが提供するプログラムをサービスパーツとして利用することでソフトウェアの IP アドレスを効率的に管理可能



図9 サービスシグナリング実験系

となる。サービスシグナリングは、仮想ケーブルによりソフトとハードを接続することで新たなサービス創造を可能とする新たな社会的インフラストラクチャの提案である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 16 件)

①岡本聡、A Study of TCP over SCTP Parallel Networking and Parallel Route Selection Approach for Mass Data Transfer Applications、ONDM2010、2010年2月3日、京都工芸繊維大学

②岡本聡、Newly Proposed Signaling Based Service Provision Concept for Ubiquitous Grid Networking Environment、IEEE Seoul Section International Student Paper Contest 2009、2009年12月5日、韓国ソウル

③山中直明、超高速ネットワークを求めて、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2009年11月27日、日本女子大

④山中直明、uGRID - 光ネットワーク時代の新しい映像クラウドサービスプラットフォーム -、NTT-慶應大学技術交流会、2009年11月12日、東京

⑤岡本聡、大容量データ転送アプリケーションの実現に向けた TCP over SCTP パラレルネットワークング および並列経路選択手法の検討、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2009年8月18日、秋田

⑥岡本聡、uGrid におけるセキュリティを考慮したマルチサービス映像配信ネットワークの提案、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2009年3月10日、与那国町

⑦岡本聡、uGrid におけるダイナミック光パスを用いた映像サービスパーツ選択、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2009年3月10日、与那国町

⑧岡本聡、Delay-Aware Scale-Free Display System under Ubiquitous Grid Networking (uGrid) Environment、IEEE Seoul Section International Student Paper Contest 2008、2008年11月29日、韓国ソウル

⑨岡本聡、Cooperating Superpeers based Service-Parts Discovery for Ubiquitous Grid Networking (uGrid)、COIN2008、2008年10月16日、秋葉原

⑩岡本聡、広域分散コンピューティングを用いた遅延を考慮したスケールフリーディスプレイ構築法、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2008年10月10日、

東京大学

⑪岡本聡、ユビキタスグリッドネットワーク環境(uGrid) 実現に向けたサービスパーツ間接続実験、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2008年3月14日、石垣市

⑫岡本聡、ユビキタスグリッドネットワーク環境(uGrid)の研究提案、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、2007年10月12日、小金井市

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：ネットワークシステム

発明者：山中直明、他3名

権利者：学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願 2009-245705

出願年月日：2009年10月26日

国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.yamanaka.ics.keio.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 聡 (OKAMOTO SATORU)

慶應義塾大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10449027

(2) 研究分担者

山中 直明 (YAMANAKA NAOAKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：80383983

荒川 豊 (ARAKAWA YUTAKA)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教

研究者番号：30424203

(3) 連携研究者

該当なし