

大規模災害時に被災地の通信能力を緊急増強する技術の研究開発 (大規模通信混雑時における通信処理機能のネットワーク化に関する研究開発)

Research and development of network conversion of communication processing functions in large-scale communication congestion

研究代表者

清水 敬司 株式会社NTTドコモ
Takashi Shimizu NTT DOCOMO, INC.

研究分担者

西原 基夫[†] 林 瑞泰^{††} 永澤 弘樹^{†††} 安達 文幸^{††††} 森川 博之^{†††††}
Motoo Nishihara[†] Mizuyasu Hayashi^{††} Hiroki Nagasawa^{†††}
Fumiyuki Adachi^{††††} Hiroyuki Morikawa^{†††††}
[†]日本電気株式会社 ^{††}富士通株式会社 ^{†††}NECソリューションイノベータ株式会社
^{††††}国立大学法人東北大学 ^{†††††}国立大学法人東京大学
[†]NEC Corporation ^{††}Fujitsu Limited ^{†††}NEC Solution Innovators, Ltd.
^{††††}Tohoku University ^{†††††}The University of Tokyo

研究期間 平成24年度～平成25年度

概要

大規模災害時には、安否確認や被災状況確認、避難指示等を目的とした通信により混雑が発生し、音声通信やメール等が繋がりにくい状況が発生します。本研究開発では、そのような通信混雑が発生しない離れた地域の通信処理能力を、通信混雑が起きている地域に振り向けることを可能にする拠点間連携制御技術（通信処理機能のネットワーク化技術）及び、災害時に活用されるアプリケーションが通信混雑を回避する技術を具現化し、東北と関東の2拠点に跨って構築した検証環境の上で本技術の効果を確認しました。

1. まえがき

本研究開発は、東日本大震災等で発生する大規模通信混雑による課題を多面的にとらえ、その緩和に必要な技術の検討を行うことを目的とし、移動通信ネットワークの側面として、拠点間連携制御技術、及び、アプリケーションの側面として、災害時に活用されるアプリケーションの通信混雑を回避する技術に取り組んでいます。

2. 研究開発内容及び成果

拠点間を有機的に連携し、通信処理能力を増強するためには、通信サービスを提供する各システムが、各地域の資源の利用状況や拠点を結ぶネットワークの接続状況等を踏まえ、運用者の意図するとおりに的確に制御される必要があります。そこで、離れた地域にある通信処理資源を増強される拠点のものと同様に活用できるように、拠点間に仮想ネットワークを構築するアプローチを検討し、必要な技術の研究開発を行いました。

「通信サービスの拠点間連携制御」は、拠点間に仮想ネットワークを構築し、それらの適切な制御を実現します。「仮想マシンリソース制御技術」は、災害直後不安定となるネットワークの通信品質を的確に把握するとともに、仮想化された拠点のリソースを制御します。「信頼性向上技術」は、通信サービスの品質の維持や可用性の制御に必要な仕組みを提供します。また、「通信状況可視化」は、各拠点の資源利用状況や接続状況等、各種情報の管理を行う管理システムにより、運用者の意図するおりに通信処理能力の増強を制御します。また、利用者が適切なサービスを選択できるよう、利用者視点のつながりやすさを可視化する方法を考案しました。これらの技術を2拠点に跨って構築した検証環境の上で連携させることで通信混雑を

緩和できることを実証実験により確認しました。

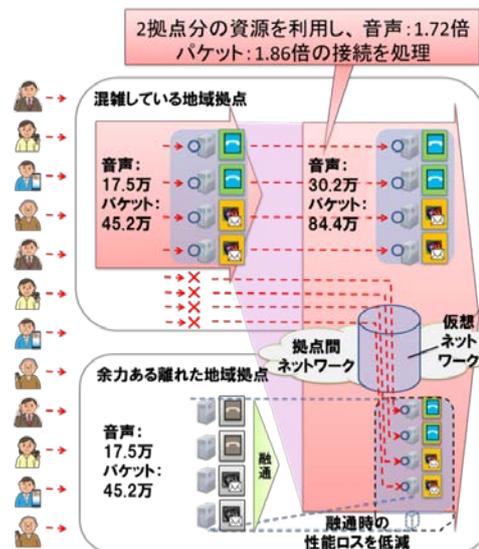


図1 通信処理機能のネットワーク化の実証

図1は実証実験の概要を示しています。各地域拠点には、音声通信は17.5万Call/h、パケット通信は45.2万Call/hの処理能力があるという想定の下で、混雑している地域拠点では、その処理能力では処理しきれないほどの音声通信、および、パケット通信の接続要求が発生している状況を模擬しています。ここで、余力のある離れた地域拠点から、資源の融通を行うために、両拠点の間に仮想ネットワークを構築します。ただし、両拠点の間のネットワー

クは災害時においては十分な品質を確保できないことを想定しています。そのような環境において、仮想ネットワークによる伝達を効果的に制御することで性能ロスを30%未満に抑え、混雑している地域拠点の処理能力を増強します。

混雑している地域拠点である拠点 A（東北）では、通信処理能力の融通前には音声通信は 17.5 万 Call/h、パケット通信は 45.2 万 Call/h の処理能力があります。その後、余力のある離れた地域拠点である拠点 B（関東）から通信処理資源を拠点 A（東北）に融通し、音声通信およびパケット通信に用いる通信処理資源を 2 倍に増強しました。通信処理資源を融通後、拠点 A（東北）において、2 拠点分の通信処理資源を利用し、音声通信は 1.72 倍の 30.2 万 Call/h に、パケット通信は 1.86 倍の 84.4 万 Call/h に増強されたことを確認しました。

東日本大震災を受けて注目されている災害時に活用されるアプリケーションの中で、「耐災害情報通信サービス」および「M2M サービス」の 1 つである「地震モニタリングサービス」を対象に、災害直後の通信混雑時でも本来の役割を果たすことができるよう、ネットワークへの負荷を低減する仕組みについて検討し、その効果を実証実験により確認しました。以下の章では、それぞれの技術に関する研究内容を説明します。

2. 1 通信サービスの拠点間連携制御

ある地域拠点の通信サービスのリソースが不足している場合、他の地域拠点のリソースを活用するために、拠点間の仮想ネットワークを動的に構築し、どの拠点のリソースであるかを意識せずに通信サービスの拡張を行うことのできる通信サービスの拠点間連携制御技術を研究開発しました。

拠点には「呼処理機能モジュール」と、それを管理する「システム管理機能モジュール」を組み合わせたシステムが存在します。他の拠点のリソースを使って処理能力増強をする方法としては、システム単位で増強する方法と、機能モジュール単位で増強する方法の 2 つがあります。機能モジュール単位で増強する場合、システム管理機能モジュールを拠点間で共有することで、システム単位で増強する場合に比べて呼処理機能モジュールに利用できるリソースが多くなり、利用効率を向上することができます。一方で、拠点間のネットワークには災害の影響で品質劣化が生じている場合があります。システム管理機能モジュールを拠点間で共有することにより、その影響を受けやすくなります。よって、機能モジュール単位での通信処理能力増強を可能とする技術とともに、拠点間のネットワークにおける品質への影響を分析し、それを最小限に抑えるための技術が必要となります。

すなわち、拠点間連携による効率的な能力増強を実現するためには、「拠点間における機能モジュール単位での能力増強を可能とする技術」と「拠点間ネットワークで生じる性能劣化の影響を抑える技術」を両立する必要があります。このために、以下の 4 つの技術の研究開発を行いました。（図 2）

- (1) 拠点間通信サービス連携制御技術
- (2) 拠点間通信サービス配置技術
- (3) 仮想ネットワーク制御技術
- (4) 拠点間ネットワーク優先制御技術

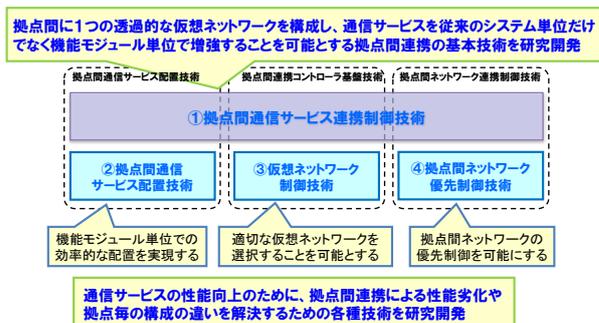


図 2 拠点間連携制御技術を構成する要素技術

以下に、(1)から(4)の技術について述べます。

(1) 拠点間通信サービス連携制御技術

前述の機能モジュール単位での通信能力の増強を実現するために、拠点間に通信サービス単位の透過的な仮想ネットワークを構成し、拠点を跨いで機能モジュールを連携させ通信サービス処理を実行する制御技術です。

本技術では、拠点間を通信サービスごとにトンネリングすることにより通信サービスに対応した仮想ネットワークを拠点間で透過的に接続するとともに、異なる拠点の物理リソースの上に、通信サービスを機能モジュール単位で配置し、通信処理能力の増強を可能としました。

(2) 拠点間通信サービス配置技術

拠点間連携時の拠点間ネットワークの品質劣化の影響を抑制するためには、拠点間の通信品質の影響を考慮して、機能モジュール単位で通信サービスの効率的な配置案を決定する必要があります。

配置案を決定するには、あらかじめ静的に用意しておく方法と、動的に生成する方法の 2 つがあります。静的に用意する方法では、リソースの利用状況が変化した場合に対応できず、動的に生成する方法では、適切な配置案の決定までに時間がかかります。このため、静的な方法と動的な方法の良いところを組み合わせる方式を採用し、通信サービスの配置案を動的に生成するとともに、システムの静的な情報（通信サービスの設計情報など）から構築した性能モデルに対して、通信品質の影響を反映した性能シミュレーションを実行することにより、短時間で適切な通信サービスの配置案を決定する方式を考案しました。

(3) 仮想ネットワーク制御技術

連携する各拠点で使われているネットワーク装置がすべて同じであるとは限らず、それぞれの拠点において異なる仮想ネットワーク方式（OpenFlow や VXLAN など）を採用していることがあります。あるいは通信サービスごとに使用する仮想ネットワーク方式が異なることがあります。このため拠点間連携では、拠点ごとに異なる仮想ネットワーク方式の特性や状態と、通信サービス（EPC/IMS）が必要とするネットワークの特性を考慮して、通信サービスの性能を向上するために設備や通信帯域を最大限に活かせる仮想ネットワーク方式を決定する必要があります。この課題に対して、ネットワークに関する設計情報/状態情報と通信サービスの要件から、仮想ネットワーク選択基準を定め、適切な仮想ネットワーク方式を自動的に決定する仮想ネットワーク制御技術を具現化しました。

(4) 拠点間ネットワーク優先制御技術

拠点間連携においては拠点間ネットワークの品質劣化による通信サービスの処理性能への影響を速やかに低減する必要があります。しかし、通信状態を監視しつつ動的に最適化を行うような汎用的な優先制御では、制御結果をフィードバックしつつ最適解に近づけていくため、効果が

サービスは、通常の通信サービスと異なり、Hypervisor と呼ばれるソフトウェアなど仮想マシンを構成する機能を利用して、通信サービスの品質を保証するためには、そのような Hypervisor などの性能を考慮して、総合的に通信サービスの品質を維持する仕組みが必要です。

典型的な通信サービスの 1 つである SIP サーバの処理において、割り込み処理などの外乱を通信サービスの処理から分離することによって阻害要因を解消し、通信処理時間の劣化頻度を抑えることを試みました。ソフトウェア実装を用いた評価の結果、SIP サーバの主要な信号である Invite 信号の遅延の最悪値、及び、バラつきが改善されること、また、品質劣化が起こる頻度を通常の約 3% から 0.7% に削減できることを確認しました。

2. 3. 2 高可用性制御

拠点間連携制御技術による離れた拠点間での通信処理資源融通に加えて、災害による拠点設備の被災によりサービスが提供できない場合を想定し、そのような場合でもサービスを継続できる高可用性要件の検討を行いました。通信サービスの可用性を実現するネットワーク化基盤が複数拠点に跨って構成される場合の可用性モデルを対象に、ITU-T で規定される可用性目標値を達成するために必要な高可用性技術要件の明確化を試みました。

拠点間に跨ったネットワーク化基盤の可用性を評価する数学モデル(評価モデル)を通信局舎のシステム構成をベースに構築し、アベイラビリティ、セッションカットオフレートの算出結果(評価・分析)から、以下の3つの高可用性要件を明確にしました。

- ① 拠点間に跨った3重化の冗長構成をとること
- ② 1分以内にサーバの切り替えを完了すること
- ③ 5秒周期でデータ同期を行うこと

この際、可用性の定量的尺度として用いたアベイラビリティとセッションカットオフレートは、ITU-T Q.543 (DIGITAL EXCHANGE PERFORMANCE DESIGN OBJECTIVES) の可用性要件を参考にして、アベイラビリティが 0.99999 (Five-Nine) 以上、セッションカットオフレートが 10⁻⁵ 以下を目標値としました。

以上を満たす構成を模擬するプロトタイプソフトウェアを実装・評価することで、異なる拠点間での冗長構成が維持されることを検証しました。

2. 4 通信状況可視化

1つの通信サービスが複数拠点の資源で構成され、かつその構成が時間とともに変化してゆくネットワーク化された通信サービスにおいては、その通信サービスの構成は非常に複雑なものになり、混雑状況等の把握が困難になります。こうしたネットワーク化された通信サービスを対象に、災害時の緊急な対応を可能にしたうえで日々運用していくための通信状況可視化技術には、以下の3点が重要です。

- ①通信混雑状況を短時間で可視化する。
- ②動的に変化するサービスの物理的構成を運用管理者に隠蔽して可視化し、どこ通信サービスにどれだけ通信資源を増強すべきか、また、その融通できる通信資源がどこにどれだけあるかをわかりやすく可視化し、運用管理者の速やかな対応を可能にする。
- ③混雑した通信サービスへの通信要求を減らす取り組みとして、利用者視点でつながりやすいサービスを選択可能にする。

①、②、③を解決する通信状況可視化技術を構成する3

つの技術を以下に説明します。

1) 『通信混雑を短時間で可視化する技術』(①の解決)

通信要求の増加による通信サービスの混雑状況を短い時間で分析・判定する技術です。従来1時間以上かかる混雑判定について、実用上十分な精度を確保しながら判定時間の短縮を図りました。判定時間を短縮するために、測定値3周期分を対象に混雑度を分析するロジックを用いて、揺らぎのある音声通信を対象として測定周期と精度(見逃し率)を検討し、本研究開発の実証環境下で実用上十分な精度を確保できる測定周期を、1分周期であると求めました。なお、見逃し率とは、混雑している状況において一時的な負荷の減少により混雑していないと判定してしまう割合です。

2) 『運用管理者が対応を速やかに判断できる技術』(②の解決)

運用管理者が速やか、かつ的確に通信サービス能力の増強、削減を判断することが可能な可視化技術です。ホーム拠点の概念を導入し、ホーム拠点上に仮想的な通信サービスシステムを構成することにより、物理的な構成変動を隠蔽してサービス状況を可視化しました。

さらにリソース量と通信処理負荷を処理能力に換算して表現する、サービスレベル可視化モデルを規定して各拠点の通信サービスの混雑状況を可視化(図4)し、個々の通信サービスの構成に関わりなく通信資源増強を行えることを確認しました。また、運用画面の操作性について主観評価を実施し、実用上問題のないレベルに達しているとの評価(評価平均3.12)を得ました。

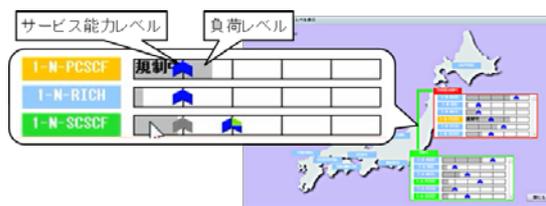


図4 運用管理者向け可視化

3) 『利用者向けのサービス状況可視化技術』(③の解決)

通信サービスシステムの状況(処理能力、負荷、規制)を利用者視点のサービスのつながりやすさに変換して、利用者に対してサービスごとのつながりやすさを可視化する技術です。4つの通信サービス(電話、メール、インターネット、災害伝言板)の混雑状況や能力の過不足を可視化しました(図5)。



図5 利用者向け可視化

東北地域で電話サービスが最も混雑している状況を可視化した画面を用いて、100名を対象に利用者アンケートを実施し、利用者がどの程度サービス状況を理解し、それに応じてどのように行動するのかという傾向に関する評価を行いました。表示内容を意図したとおりに理解した利

用者は9割弱に達し、可視化の理解度としては高い評価を得られました。また、その内、7割強の利用者は比較的つながりやすいサービスを選択しており、取り組みの目的であった利用集中の緩和にも一定の効果が認められました。しかし、大変混雑していると認識しているにもかかわらず、電話サービスを選択する利用者が3割弱存在し、利用者がつながりやすさだけで通信手段を選択するのではないことが明らかとなりました。

2. 5 耐災害情報通信サービス

災害時に必要となる情報を簡易に取得できる情報通信サービスは、情報の安全性を確保しつつ、どのような利用者でも直観的に利用しやすいものであることが期待されています。そのため、サービスの利用開始時に行う認証機能として、テキスト等によるパスワードではなく、高精細な画像など多くの通信量を必要とする方式が注目されています。しかし、災害時には安否確認等により通信混雑が発生するため、そのような状況下でも情報の安全性を確保しつつ簡易に情報を取得できるための技術が必要となります。

そこで、(1)画像処理による物体認識技術等を応用したマルチモーダル認証技術の研究開発と災害時の有益性の検証、及び、(2)情報の安全性を確保しつつ通信混雑下においても利用性を損なわない認証方式の研究開発と災害時の有益性についての検証の取り組みを行いました。

(1) 画像処理による物体認識技術等を応用したマルチモーダル認証技術の研究開発と災害時の有益性の検証

物体認識エンジンを使用したマルチモーダル認証技術を、重要度の高いデータへのアクセス時の認証方式として適用しました(図6)。あらかじめカメラで撮影し登録した生体情報や所持品の画像と、認証時に撮影した画像を組み合わせて照合することで、他人を誤って認証せず、かつ本人を誤って拒否する率を抑えることができることを確認しました。

認証の動作を確認するために、スマートフォンで撮影した生体情報と所持品情報の2種類の情報を使用しました。生体情報には手の甲の形状を用いています。手の甲の形状は、固定的で領域も広く、隆線や特徴点、テクスチャなど多くの特徴があり、安定して特徴を抽出することができます。しかし、登録情報との一致度の低い(照合スコアが低い)結果が得られた場合に、本人の認証要求が誤って拒否されるケースが発生します。そのため認証の結果、登録情報との一致度が低い場合は、本人の所持品情報の照合結果を補完し組み合わせることで、認証精度の向上を図ることを検討しました。

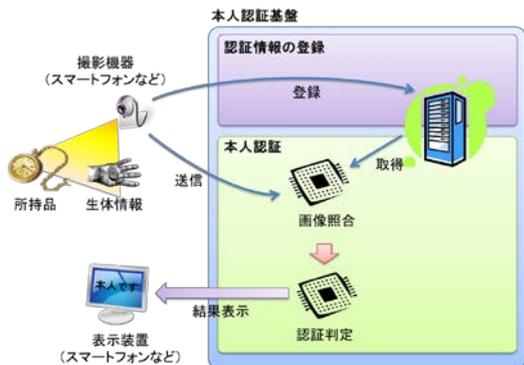


図6 本人認証基盤技術

その結果、生体情報の認証に所持品情報の認証結果を組み

合わせるマルチモーダル認証による本人認証基盤により、専用の装置を必要とせず、かつセキュリティ強度の高い本人認証が可能であることを確認しています。

(2) 通信混雑下を模した実証環境下でのサービスアプリケーションの検証

災害時に必要となる、サービスアプリケーションの搭載機能を安心・安全のためのセキュリティ強度に着目して検証を行いました。あらかじめ情報共有サービスが保管するデータの重要度を3段階に分け、それぞれのレベルに合わせたセキュリティ強度をもつ認証方式を採用しました。また、災害時など通信混雑下での利用効率を向上させるため、認証による通信量抑制とサービス利用とのトレードオフの関係から、通信量抑制のためにセキュリティ強度を影響のない範囲でやや下げる方式となるよう運用モードの切り替えを行い、サービス継続に対して有効であることを検証しました。

評価用として耐災害 ICT サービスでのアプリケーションを開発し、サービス動作、および、ネットワークトラフィックを踏まえたサービスアプリケーションが効果的に動作することを実験環境にて確認しました。

実験環境で発生させた輻輳状態の中で擬似クライアントにより認証処理を実行した際、図7のように認証成功率が低下し、最悪値では69%まで低下しました。これは、認証処理に関連する通信に関してパケットロスや応答タイムアウトが発生し、認証処理が失敗したためです。その後、運用モードの切り替えにより、認証にともなう動作を端末内で閉じて実行させる災害モードで認証処理を実行しました。災害モードへの切り替えが実施されたところから、認証成功率が100%に改善されたことがわかります。一般的に台数が多い場合には、通知が届いてからモード変更が行われるため、徐々に切り替えが発生して、成功率が改善されていきます。

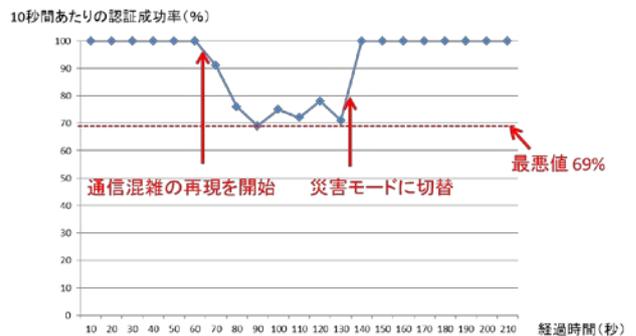


図7 通信混雑時の認証成功率の推移

2. 6 M2M サービス

地震による災害に役立つM2Mサービスの1つとして、地震モニタリングサービスが検討されています。建物の各場所に多数のセンサを設置し、それらが取得した加速度データを集め、建物全体の揺れ方を分析することで建物の健全性診断を行います。仮にセンサが個々に移动通信網に接続されている場合、それらが一斉にデータ転送の要求を発信するため、特に安否確認等で通信混雑が発生する移动通信網に対して、さらに通信混雑を助長してしまう可能性があります。そこで、センサが取得したデータをローカル網によりシンクノードに集め、シンクノードのみが移动通信網を介してサーバに送信するアプローチを検討しました。

このようなローカル網では、一部のセンサの故障によりローカル網が途絶してしまうと、その先にあるセンサから

の情報を収集できず、たとえ故障を想定してセンサが多く設置されていたとしても、健全性診断に十分なデータを確保できない可能性があります。このため、一部のセンサが故障しても自律的にデータ収集経路を変えることで、診断に必要なデータを可能な限り集める技術を検討しました。その結果として、ローカル網の集約を行うセンサ間データ収集技術、および、一部のセンサが故障しても自律的に経路を変え、建物の健全性診断に必要な情報を可能な限り集めるデータ転送技術を考案しました。

センサ間データ収集技術は、伝送効率の高い TDMA 方式に着目し、TDMA 方式の特徴を維持しつつ、従来方式では困難であったセンサ数やトポロジの変動への対応を可能にした拡張性と柔軟性を持つ方式であり、実験により災害時に集中的に発生するデータを高効率に集約できることを確認しました。加えて、考案したデータ転送技術は、センサ間のローカル網に冗長性を持たせ、故障が生じて経路を自律的に変更可能にします。この方式により、一部のセンサが故障しても、故障センサ周辺の局所的なデータ収集経路を自律的に変更することで、故障から回復可能なことを確認しました (図 8)。

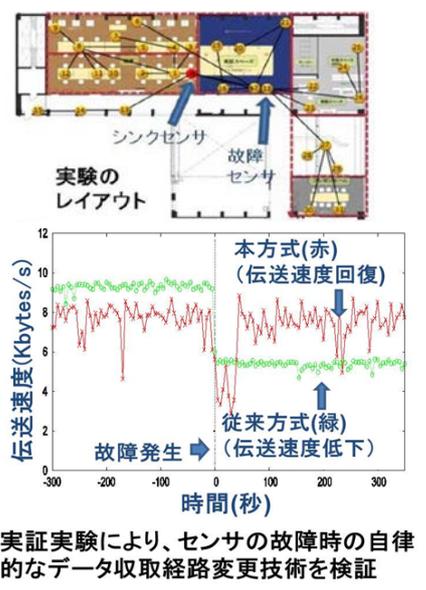


図 8 開発した方式の実証実験結果

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

3.1 国際標準化の取り組みについて

本研究開発で実証した技術分野の標準を議論する、米国を中心とする団体 ONF (Open Networking Foundation) において、引き続き活動に参画し、Northbound API や設定管理等の技術内容の方針付けを実施しています。同じく本研究開発で実証した技術分野の標準を議論する、欧州を中心とする標準化団体 ETSI (The European Telecommunications Standards Institute) の NFV-ISG (Network Functions Virtualization Industry Specification Group) において、引き続き活動に参画し、仮想化管理機能等に関する発行文書の作成作業を進めています。

3.2 実用化に向けた取り組みについて

本研究開発で検討した技術は音声通話やメール等の通信サービスを提供する通信事業者により利用されることを想定し、さらなる技術開発を進めています。今回の研究開

発で基本となる要素技術が確立されますが、その後、多様な周辺技術とともに商用製品に搭載する取り組みが進み、それらの機能が充実されていくことが必要です。そのような周辺技術には、本研究開発で取り組んだ通信サービスの品質の維持に必要な仕組みや長期間サービスを継続できる信頼性を実現する (可用性を制御する) 仕組みがあります。それぞれの技術は国際標準として採用され、市場において低廉な機器が普及していくことも併せて必要となります。

4. むすび

東日本大震災等で発生する大規模通信混雑による課題を多面的にとらえ、その緩和に必要な技術の検討を行うことを目的とし、離れた地域の通信処理能力を被災地へ振り向け通信処理能力を増強する拠点間連携制御技術の検討、及び、東日本大震災の経験から注目されている災害時に活用されるアプリケーションが混雑によりつながりにくくならないための仕組みの検討を行いました。本研究開発の展開に向けた取り組みを引き続き進めてまいります。

【査読付発表論文リスト】

- [1] J. Liu · M. Suzuki · D. Lee · H. Morikawa, “High Throughput Data Collection with Topology Adaptability in Wireless Sensor Network”, Proceedings of the 12th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN 2013) (2013年4月9日)
- [2] J. Liu · M. Suzuki · D. Lee · H. Morikawa, “A Token Scheduled High Throughput Multi-channel Data Collection Protocol for Wireless Sensor Network”, Proceedings of IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC2013-Spring) (2013年6月4日)
- [3] J. Liu · M. Suzuki · D. Lee · H. Morikawa, “Implementation and Evaluation of Token-Scheduled Collection Protocol in Wireless Sensor Network”, Proceedings of the 19th Asia Pacific Conference on Communications (APCC) (2013年8月30日)

【国際標準提案・獲得リスト】

- [1] ETSI · NFV MAN #45, NFVMAN(14)000083, 保守運用インタフェース, 2014年2月12日提案, 2014年2月18日修正提案
- [2] ETSI · NFV SWA #43, NFVSWA(14)000093, VNF障害管理, 2014年3月6日提案, 2014年3月13日修正提案
- [3] ONF Architecture and Framework WG, architecture overview document, 2013年12月19日提案

【報道掲載リスト】

- [1] “ドコモなど、災害時通信緩和技術実験”, FujiSankei Business i, 2013年10月3日朝刊
- [2] “NTTドコモなど、大規模災害時における新たな通信混雑緩和技術の実証実験を開始”, 日刊工業新聞, 2013年10月2日
- [3] “ドコモなど、大規模災害時の通信混雑緩和技術の実証実験”, ケータイ Watch, INTERNET Watch (インプレス), 2013年10月2日