

大規模災害時における移動通信ネットワーク動的通信制御技術の研究開発

Experimental challenges for dynamic virtualized networking resource control over an evolved mobile core network - a new approach to reduce massive traffic congestion after a devastating disaster

研究代表者

荒川 賢一 株式会社NTTドコモ
Kenichi ARAKAWA NTT DOCOMO, INC.

研究分担者

安達 文幸[†] 西原 基夫^{††} 大槻 次郎^{†††} 庄司 貞雄^{††††}
Fumiyuki ADACHI[†] Motoo NISHIHARA^{††} Jiro OTSUKI^{†††} Sadao SYOJI^{††††}
[†]国立大学法人 東北大学 ^{††}日本電気株式会社 ^{†††}富士通株式会社
^{††††}株式会社日立ソリューションズ東日本
[†]Tohoku University ^{††}NEC Corporation ^{†††}Fujitsu Limited
^{††††}Hitachi Solutions East Japan, Ltd.

研究期間 平成 23 年度～平成 24 年度

概要

東日本大震災では最大で 95%の通信規制が課され、20 の発呼に対し、1 呼の割合 (5%) でしか交換処理が完了 (疎通) しなかった状況に鑑み、同様な規模の通信の集中が生じて、4 の発呼に対し 1 呼の割合で疎通を確保することが可能な通信処理リソースを柔軟に割当てること等により確実に通信の疎通を図る技術の研究開発し、検証評価環境において、音声通信の処理能力を 5.6 倍以上に増強できること、また、増強を 30 分以内に完了できることを確認しました。

1. まえがき

東日本大震災の発生を踏まえ、災害時の情報伝達の基盤となる情報通信ネットワークの耐災害性強化のために必要となる技術の研究開発・実証実験等を行うという「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発」の基本計画の中で、東日本大震災における携帯電話の音声通信について、事業者によっては通常時の 50~60 倍の爆発的な通信が集中し、広域、大規模かつ長時間にわたって発生した通信混雑 (輻輳) の問題を解決するべく、「大規模な通信混雑時においても、通信処理リソースを柔軟に割当てること等により確実に通信の疎通を図る技術を確認し、通信ネットワークに適用すること」が本研究開発の目的です。

2. 研究開発内容及び成果

2.1 柔軟に割当て可能な通信処理リソース制御技術

2.1.1 柔軟に割当て可能な通信処理リソース制御アーキテクチャの研究開発

通信処理リソースを動的に制御できる柔軟な移動通信ネットワークを実現するため、以下の特徴を持ったアーキテクチャ (図 1) を提案しました。

- ハードウェアから仮想マシンへのリソース割当てを制御する「通信処理リソース制御基盤」と、仮想マシン上で実行される通信サービスアプリケーションを制御する「仮想化基盤に対応した通信サービス制御」を備え、柔軟な通信処理リソースの割当てを可能にすること。
- フローベースネットワーク制御技術を用いて、通信処理リソースの割当て変更により、ネットワーク構成に変更が生じて、柔軟なトラフィック処理を可能にすること。
- 通信処理リソースの割当てやネットワーク構成に動的な変更が生じて、各リソースの個別具体的な状態やネットワークの全体構成を通信サービス制御と連動しながら把握することが可能なこと。

この構成は、パケットサービスの処理能力を減少させることにより、音声通信サービスを 5 倍以上に増強でき、そ

の割当て変更を数十分程度の短い時間で完了できる機能を備えることを目的に設計されています。続く章において、具体的な仕組みと実証実験により得られた結果を記載しています。

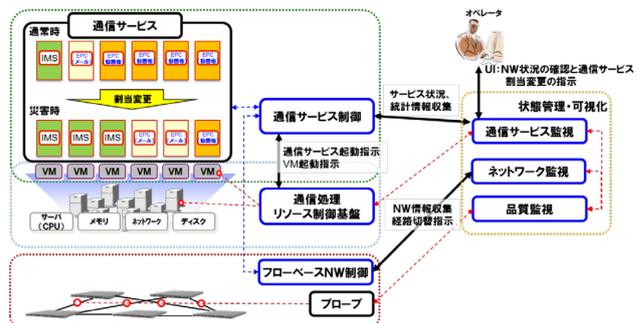


図 1. 動的制御のためのアーキテクチャ

2.1.2 通信処理リソース制御基盤の管理運用技術の研究開発

東日本大震災時においては、地震発生から 2 時間程度で通信トラフィックがピークに達しました。このような大規模な混雑状況に対応するためには、長くてもその 1/4 程度 (30 分) で通信処理リソースの増強を完了させる必要があります。そこで、通信サービスが仮想マシン上に構築されることを想定し、仮想マシンへの柔軟かつ迅速なリソースの割当てを可能とするためのリソース管理技術を確認しました。

本技術は次の 3 つによって構成されます。

- ① リソースプーリング技術
拠点内に存在する物理的なリソースの空き情報を管理し、仮想マシンに割り当てるリソースを選択する技術であり、通信サービスの可用性要件を考慮した仮想マシン構成や通信処理性能に応じた仮想マシンの払い出しを行います。
- ② オンデマンドリソース制御技術
管理者からの操作により、迅速に仮想マシンの追加/削除

を行う技術であり、通信サービスを実現する一連の機能ユニットに対し、一度に追加/削除を可能とするとともに、各ユニットの起動順序など特定の条件に合わせた最適なシーケンスにより実行します。

③ サービス展開技術

これまで手動で行っていたアプリケーション資産(起動に必要なファイル)の転送を、VMイメージファイルの形で保存し、仮想マシン追加時に自動的に転送を行うことでその時間短縮を実現する技術であり、アプリケーション資産のうち、各ユニットで変更のある部分だけを差分VMイメージファイルとして保持し、共通部分は事前に配布しておくことで、その転送を1/2~1/10の時間でいきます。本技術を適用し、従来半日~数日を要していた通信サービスの増強処理を30分以下で完了できることを実証しました(図2)。

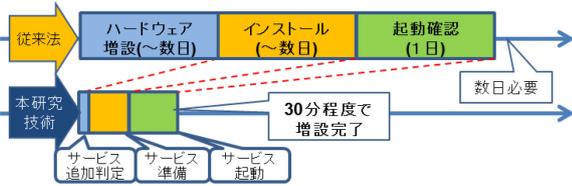


図2. サービス増強処理とその時間内訳

2.1.3 仮想化基盤に対応した通信サービス制御技術の研究開発

拠点内の通信処理リソースを優先度の高い通信サービスへ割り当てることを可能とするために、前章の通信処理リソース制御基盤の管理運用技術と連携し、通信サービスの配置を変更すると共に、優先度の高い通信サービスの処理を集中的に行う制御技術を確立しました。

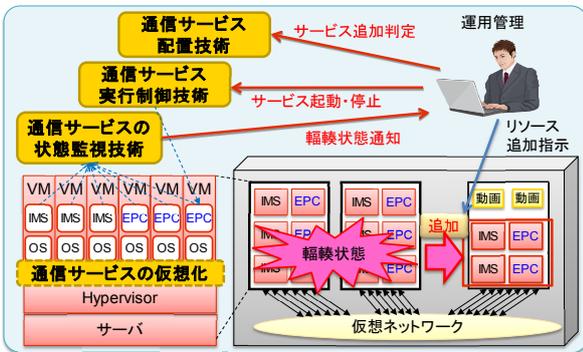


図3. 仮想化基盤に対応した通信サービス制御技術

研究開発において試作した以下の技術を用いて、災害時を想定したトラフィックを加えた状態での実証実験を行いました。その結果、通常時構成から災害時構成への切り替えを実施し、音声通信の処理能力が5.6倍に増強され、疎通率も5.6% (18回に1回繋がる程度) から31.1%以上 (3.2回に1回繋がる程度) に改善されることを実証しました。

① 通信サービス配置技術

LTEなどの通信サービスの処理は複数の機能から構成され、かつ、それぞれの機能は異なる特性(応答性、使用リソース、配置上の制約)を持ちます。従来は、それぞれの特性に応じて専用のハードウェアを割り当てていました。仮想化基盤においてそれら通信サービスの処理を実行させる場合、通信サービスの処理を再配置する度に、上記の特性を考慮して配置を決定する必要が生じ、管理者の負担が増加してしまいます。

通信サービスを構成する機能(VM)はそれぞれ増減設単位や必要とするリソースが異なるため配置が難しい



図4. 通信サービス配置技術の必要性

このため、通信サービスへのリソース変更要求に対し、リソースの制約(必要CPU数、NIC数、メモリ容量、ディスク容量等)を満たす最適な仮想マシンの配置案を自動的に生成可能とする技術を実現しました。この技術により、管理者の作業負担低減が期待できます。

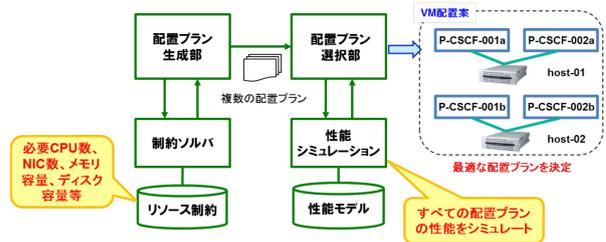


図5. 通信サービス配置技術

② 通信サービス実行制御技術

LTEなどの通信サービスの処理は複数の機能から構成され、かつ、それぞれの機能は起動方法や設定方法、依存関係(機能モジュール間、冗長構成のact-sby間など)が異なります。従来は、管理者が各機能間の依存関係を考慮しながら、起動・設定のためのコマンドを実行し機能の状態を目視で確認していました。仮想化基盤においてそれら通信サービスの処理を実行させる場合、追加/削減の度にこの起動・設定の作業を行うことになり、管理者の負担が増加してしまいます。

通信サービスを構成する機能(VM)はそれぞれ起動方法や依存関係が異なる

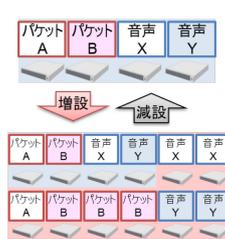


図6. 通信サービス実行制御の必要性

そこで、通信サービスの起動・設定・停止を簡易化・自動化する技術を実現しました。この技術により、管理者の作業負担の低減が期待でき、追加に要する時間を短縮することが可能になります。

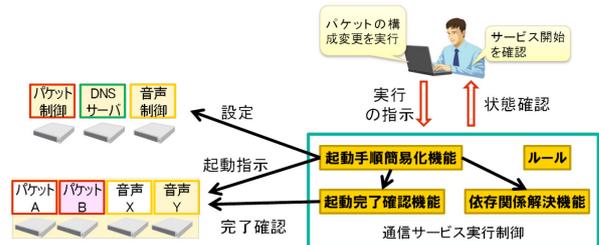


図7. 通信サービス実行制御技術

③ 通信サービス状態監視技術

通信サービスの負荷状態や障害の状態は常に変化しているため、通信混雑を回避するには通信サービスの動作に関する多様な情報の定期的な監視により、通信混雑につながる負荷状態や障害状態を早期に検出する必要があります。従来は、管理者が通信サービスの状態を目視で確認していました。仮想化基盤においてそれら通信サービスの処理を実行させる場合、状態に関する情報が多種多様になり、管理者の負荷が増加してしまいます。

【従来】

大量の通信サービスを
手動の確認で状態監視

通信サービスが多様化し、
状態に関する情報はさらに
増加する傾向にある

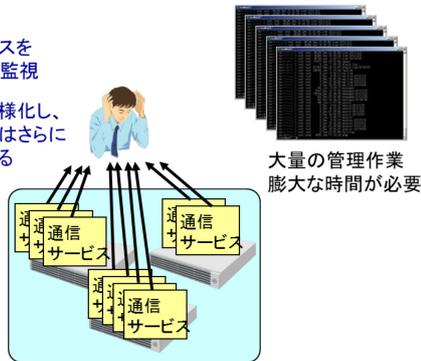


図 8. 通信サービス状態監視技術の必要性

このため、仮想化した通信サービスの出力する多種多様な状態情報から、運用管理に必要な情報だけを自動的に抽出する技術を実現しました。この技術により、管理者の作業負荷低減が期待できます。

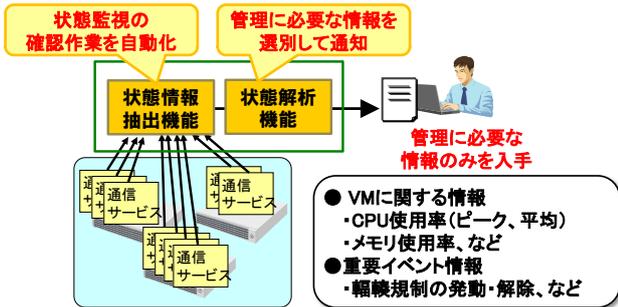


図 9. 通信サービス状態監視技術

④ 通信サービス (EPC、IMS) の仮想化技術

従来の通信サービス (EPC、IMS) 処理は、専用のハードウェアに固定的に割り当てられ、あらかじめ決められた CPU やメモリなどのコンピュータリソース上でしか動作できませんでした。このため、リソースを追加するには専用ハードウェアの手配から始めなければならず、追加が完了するまでに数週間あるいは数か月もの時間を必要としました。よって、大規模災害等による通信混雑を解消するために、迅速にリソースを増加させることが困難でした。

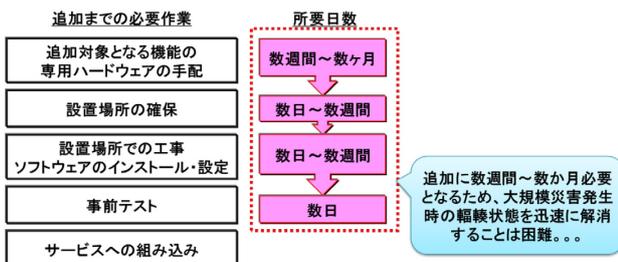


図 10. 通信サービスの仮想化技術の必要性

これを解消するため、通信サービスソフトウェアを汎用ハードウェア上の仮想化基盤に対応した OS で動作するように変更しました。また、通信処理の基本機能を提供す

るミドルウェアの中の、専用のハードウェア・OS に依存する機能を変更するとともに、ハードウェアインタフェースを抽象化し、仮想マシンの運用管理を可能としました。これらの仮想化対応により、リソースを柔軟に活用し、大規模災害による通信混雑に対応し迅速にリソースを増加できる見通しが得られました。

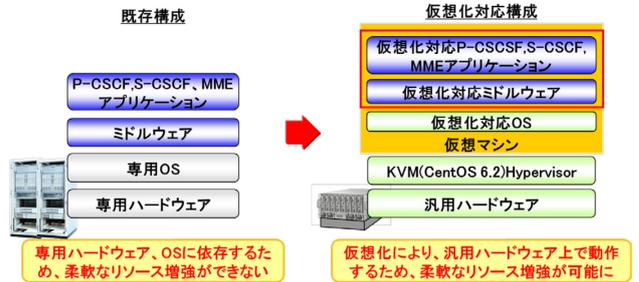


図 11. 通信サービスの仮想化技術

2.2 柔軟なトラフィック処理が可能なネットワーク制御技術

2.2.1 フローベースネットワーク制御技術を用いたネットワーク動的再構成技術の研究開発

柔軟なトラフィック制御を実現するため、OpenFlow 技術を用いて、サービスの優先度に応じて低優先トラフィックに対する抑制を行うとともに、ネットワークに発生した各種イベント (リンク断など) の収集とサービス特性 (トラフィック種別など) に応じてトラフィックを個別フローとして管理する経路制御、優先度の高い基本サービス (電話・メール等) のためのネットワークリソースの動的な再構成を可能とする技術を確認しました。

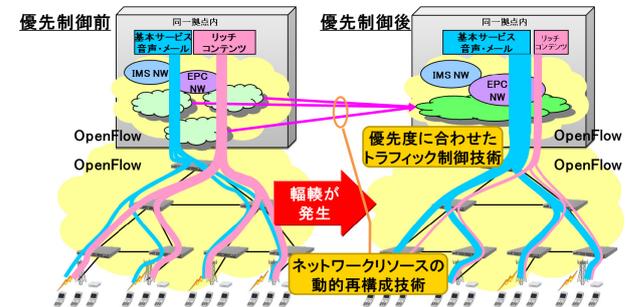


図 12. ネットワーク動的再構成技術

研究開発において試作したこれらの技術を用いて、災害時を想定したトラフィックを加え、ネットワークを輻輳させた状態での実証実験を行いました。その結果、高優先度の通信パケットはほとんど廃棄されない (低優先度の通信パケットの廃棄率に比べ 1/1000 以下の低確率) ことから、優先度の高い通信が、優先度の低い通信に比べ、高い品質で通信できていることを実証しました。

① 優先度に合わせてトラフィック制御技術

従来、モバイルネットワークにおけるコア網と基地局間で交換されるトラフィックは、音声通話、メール等の重要な通信とそれ以外とを識別できませんでした。また、IP アドレスベースの経路制御を行うため、ネットワーク上に発生するイベント (輻輳、障害、構成変更) や、トラフィックの重要度に応じた動的な経路制御ができませんでした。

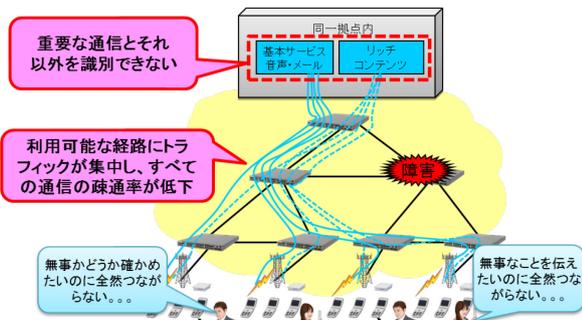


図 13. 従来のトラフィック制御の課題

そこで、基本サービスやリッチサービスといったサービスの優先度を識別する仕組みを導入し、サービスの優先度に基づいて経路を設定したり、ネットワーク装置での処理を動的に変更する技術を実現し、通信混雑や障害が発生した際に、基本サービスのトラフィックを優先転送することを可能にしました。

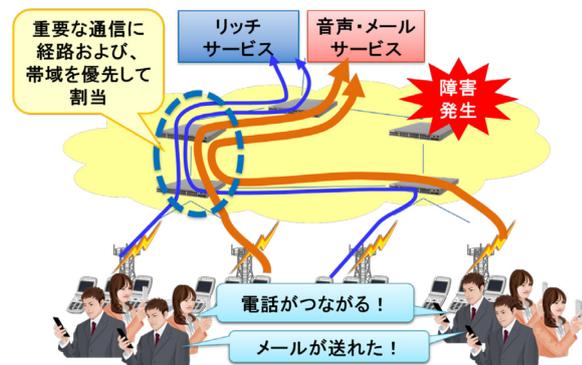


図 14. 優先度に合わせてトラフィック制御

② ネットワークリソース動的再構成技術

拠点内のネットワークは、サービスごとに仮想ネットワークドメインが異なります。このため、拠点内のある通信サービスにアクセスが集中し、リソースが不足した場合に、拠点内の他のサービスのリソース処理能力に余裕があったとしても、ドメインをまたいで他のサービスのリソースを利用することができませんでした。

そこで、異なる仮想ネットワークドメイン間を接続し、一つの仮想ネットワークとする技術を実現し、局舎内の他の仮想ネットワークのリソースを、リソースが不足している通信サービスにおいても利用可能としました。

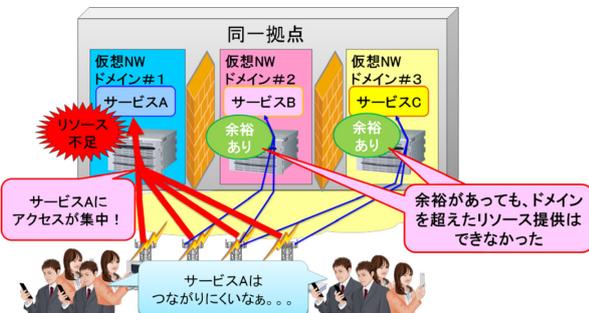


図 15. 拠点内ネットワークの課題

2.3 ネットワーク状況管理運用技術

2.3.1 通信処理リソース制御に対応した可視化技術の研究開発

通信処理リソース制御基盤上に構築された通信サービスの状態を管理/監視するネットワーク管理システムを設計/試作するとともに、リソース増強判断に必要な情報

を管理者に提供する技術を研究開発し、その効果を実証しました。本研究成果によって、仮想化された通信サービスの処理能力の不足を速やかに、かつ、的確に把握することが可能となり、迅速に通信サービス復旧の判断を行うことが可能になります。

本技術は以下の3つにより構成されます。

① 仮想リソースモデリング技術：

仮想化された通信サービスに対して、トラフィックに応じたそのリソース割当を動的に変更します。この動的なリソース変更に従って通信サービスと物理リソースとの関係を把握、それらの関係を示す画面（図 16）を提供する技術であり、管理者は個々のシステムの稼動状況を容易に把握することが可能になります。

② 仮想リソース構成把握技術：

多数のリソースの構成が動的に変化する環境の中では管理情報が膨大となります。そのすべての情報を管理すればより精緻にリソースの状況を把握できますが、情報管理に伴うコストは増大し、実現に見合わないものとなります。管理する情報量を低減しつつ全体の状況が把握できるモデリングと表示形態を定義し、俯瞰的に理解できる画面を提供します。

③ サービス体感品質計測技術：

通信システムの外部からパケットの挙動を監視することで、通信システムが提供するサービスの稼動状況把握を可能（図 17）にします。



図 16. リソース状況監視画面



図 17. 品質監視画面

2.3.2 通信ネットワーク動的再構成に対応した可視化技術の研究開発

フローベースネットワーク制御技術により動的に再構成される通信ネットワーク環境下において、的確に全体状況を把握し、異常事態を通知できる技術を研究開発し、その効果を実証しました。

本研究によって、動的に再構成されるネットワークの異常を速やかに、かつ的確に把握することが可能となり、通信ネットワークの復旧方法を迅速に判断することが可能になります。

本技術は以下の3つにより構成されます。

① 仮想ネットワーク情報収集技術

動的に再構成される通信ネットワークでは、その通信の制御単位（フロー）が非常に細かいため、収集する情報は膨大なデータ量となります。このような状況を回避するために、膨大なデータ量を圧縮して収集します。フローを制御するコントローラから情報収集する際、個々のフローを一定法則に従ってまとめる仕組み（アクセスフローと呼びます）を用意し、アクセスフローを、移動通信基地局～通信システム間の通信に対応付けてフローの情報収集を行うことで、情報量を1%未満に圧縮できることを実証しました。

② 仮想ネットワーク状況把握技術

動的に再構成される通信ネットワークに対してネットワークの自律的な構成変更を常時監視し、その変更に追従して情報を適宜変更することで、常に全体の状況を的確に把握可能にします。

③ 仮想ネットワーク構成管理モデリング技術

動的に再構成される通信ネットワークに対し、異常事態を検出し、経路変更の実施判断を可能にします。

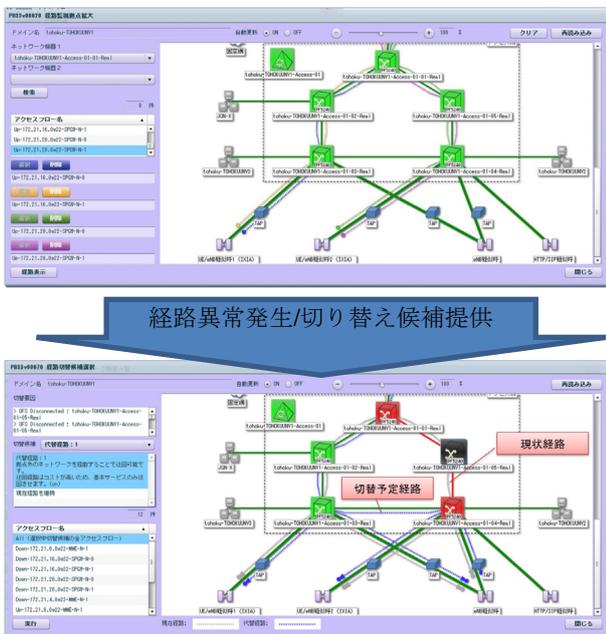


図 18. 経路表示画面

2.4 災害時に役立つアプリケーション/サービス

2.4.1 災害時に安否等の情報を共有するスモールコミュニティ内での安全な情報管理技術の研究開発

① 災害時に役立つ情報通信サービス

災害時に役立つサービスの機能は、東日本大震災を教訓とした、東北地方の声が反映される事が最も重要であると考えました。独自のアンケート調査や、被災者支援および復旧活動に従事された方からのインタビューを中心に要件定義し、次の3つのアプリケーションを試作開発し、仙台市をフィールドとした一般利用者が参加する実証実験によってその有効性を実証しました。

1つは、災害時には、自らの身の安全の確保と並行して、家族や友人、職場の仲間、地域コミュニティなど、人間的関係の強い集団（スモールコミュニティと呼びます）内での安否確認や行動情報などを、即時に共有しかつ安全に管理するためのアプリケーション（愛称：「絆」）です。コミュニティ内のメンバーの状況、所在、今後の行動予定を確実に把握することが可能となり、災害時の状況把握と行動

計画に役立ちます。

2つめは、災害時に利用者の身を守るための情報を提供するアプリケーション（愛称：「無事」）です。最寄りの避難所までの最適な避難ルート、避難施設などの状況、各所の浸水や火災・倒壊などによる危険状況、交通機関の稼働状況、飲料水や食料などの重要な情報を入手または発信するアプリケーションです。行政機関が提供するハザードマップなどのように組織的に集められる情報だけでなく、サービスの利用者である一般市民が災害現場で得たリアルタイムな情報を自由に災害情報データベースに投稿・参照できます。これらの情報は、災害発生時に、所在地を中心とした災害状況や生活情報を入手し、身の安全確保と活動計画に活用可能です。

3つめは、東北大学が研究している歯科情報によるご遺体の身元確認システムをもとに、収集した歯科医療情報を、警察本部などが利用する身元照合用のサーバに安全に送信するアプリケーション（愛称：「救い」）です。検索所での歯科情報の収集は、タブレット端末を利用し、デンタルチャートと同じ様式で数値化したデータを視覚的にわかりやすく入力できるようなインターフェースを実現しました。

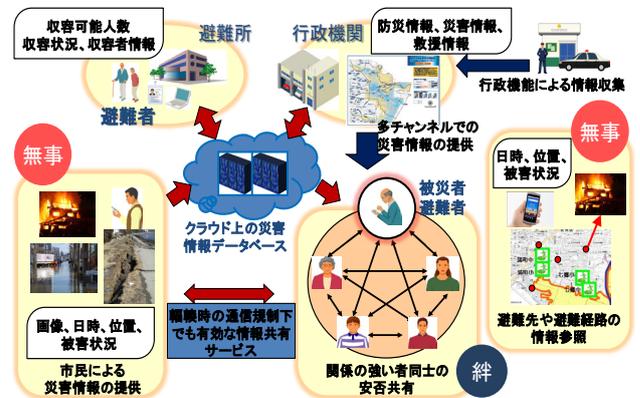


図 19. 災害に役立つ情報通信サービス

② 通信混雑時に効果を発揮する仕組み

災害時に役立つ情報通信サービスは、災害時の通信混雑環境でも十分な効果を発揮することが要求されます。しかし、特別な仕組みなしではデータの送信が遅れ、利用が困難となることが予想されます。災害時の通信混雑下でも、通常時と同等の応答性能もしくは応答性能は低下しても処理を完了できる事が最も重要な要件となります。そこで、ネットワークの混雑状況に応じて伝達する情報の重要な部分のみ切り出し送受信することでネットワークへの負荷を極小化する、コグニティブ・メディア共有技術という考え方を導入し、その考えに基づき、3つの処理方式を研究開発いたしました。

1つは、画像の持つ特徴を抽出して文字列データのみをサーバに送信する仕組みです。サーバ側で解析された画像が持つ情景（火災や地割れ等）情報を文字列に変換し、画像データではなく、変換された文字情報のみを送信することで通信量の極小化が可能となります。

2つめは、画像に含まれる文字領域の抽出技術を応用した仕組みです。看板等を撮影した画像情報から文字が含まれる領域のみを抽出してデータ送信することで、送受信データを極小化することが可能となります。

3つめは、ユーザビリティ向上を目的とした、音声認識技術の採用です。特定話者小語彙に限定することでサーバとの通信に依存しない音声による画面操作を実現し、デジタルデバイスへの対応と通信負荷低減の両立が可能となります。

これらの機能を有効／無効とした「災害時モード」／「通常時モード」の動作モード切り替え機能と共に、各アプリケーションに実装し、通信混雑を模擬した環境においてアプリケーションが問題なく動作することを確認するとともに、ネットワーク環境に与える負荷が軽減されていることを確認しました。

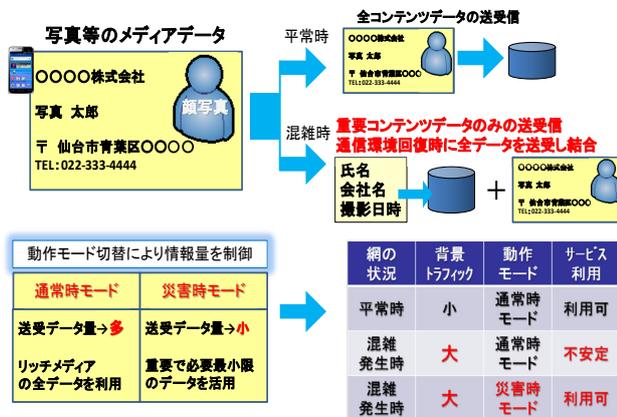


図 20. コグニティブ・メディア共有技術

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 国際標準化の取組について

本研究開発で実証した技術分野の標準を議論する場である標準化団体 ETSI (The European Telecommunications Standards Institute)の中に設置された NFV-ISG (Network Functions Virtualization Industry Specification Group)に対して、具体的な提案活動を実施した結果、2013年10月に完成した基本勧告に本研究開発で実証したユースケースやアーキテクチャ等が盛り込まれました。

3.2 実用化に向けた取組について

研究開発した動的通信制御技術は、それらを提供する通信事業者により利用されることを想定し、実用化に必要な周辺技術の開発を進めています。また、「クラウド事業者」や「サービスプロバイダ」、「小規模な通信事業者」での利用を想定し、仮想化ネットワークの運用管理ソリューションとして Interop Tokyo などの展示会への出展を進めるとともに、仮想化モバイルコアネットワークソリューションとして製品化し、小規模事業者へ導入を進めています。また、災害時に役立つアプリケーション・サービスに関する研究成果は、利用者への勉強会の開催など普及に向けた取り組みを進めるとともに、耐災害 ICT 研究協議会・地域防災モデルシステム検討ワーキンググループの活動を通して、モデルシステムのガイドライン(導入する際のシステム構成、その運用モデルなど)の策定に着手するなど、実用化に向けた取り組みを実施しています。

4. むすび

大規模災害時における移動通信ネットワーク動的通信制御技術の研究開発として、柔軟に割当可能な通信処理リソース制御技術、柔軟なトラフィック処理が可能なネットワーク制御技術、ネットワーク状況管理運用技術に関する技術課題を研究開発し、大規模災害時の通信混雑状況を模擬した技術評価環境において、災害時に必要となる音声通信の処理能力を 5.6 倍以上に増強できること、また、その増強を 30 分以内に完了できることを確認しました。

災害に役立つアプリケーション／サービスに関する研究開発を災害の実情についての経験や知識を活用しながら実施し、通信混雑下においてもその機能を十分に発揮するための仕組みを研究開発し、その効果を実証実験により確認しました。

【誌上发表リスト】

- [1]岩田淳 (NEC)、“大規模災害時においても「つながる」ための移動通信サービスとネットワークの仮想化技術”、電気情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (仙台) (2012年9月20日)
- [2]滝田亘・岩科滋・中村哲也・清水敬司 (NTT ドコモ)、“柔軟な移動通信ネットワーク実現への課題とアプローチ”、電気情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (仙台) (2012年9月20日)
- [3]窪田好宏・川口金司・大橋正彦・沼崎雅雄 (富士通)、“動的再構成可能な通信ネットワークとサービスの可視化技術に関する検討”、電子情報通信学会 NS 研究会 (仙台) (2012年9月20日)

【申請特許リスト】

- [1]秋好一平 (NEC)、「通信システム、制御装置、通信方法及びプログラム」、日本、2013年2月26日
- [2]水口有・大橋正彦・遠藤智壘・野村洋治・川上隆明 (富士通)、「管理システム、管理方法、管理プログラム及び管理装置」、日本、2013年3月6日
- [3]庄司貞雄・常田大・松本和樹 (日立ソリューションズ 東日本)、青木孝文・伊藤康一・伊藤彰則・大町真一郎 (東北大学)、「災害時通信支援装置、災害時通信支援方法及び災害時通信支援プログラム」、日本、2013年3月26日

【国際標準提案リスト】

- [1] ONF・Configuration & Management WG、Editorship and technical contributions、2012年10月11日
- [2] ONF・Architecture & Framework WG、Northbound considerations, and general contributions to the Architecture and Framework documents、2012年10月12日
- [3]NFV・NFV#1、Plenary: NEC view on Network Function Virtualization at ETSI、2013年1月16日

【参加国際標準会議リスト】

- [1]ONF・Council of Chairs Retreat、サンタクララ (アメリカ)、2012年10月31日
- [2]ONF・Joint Council of Chairs and TAG Meeting、サンタクララ (アメリカ)、2012年11月1日
- [3]NFV・Technical Steering Committee、オンライン、2013年2月25日、3月11日、25日

【報道掲載リスト】

- [1]“つながりやすさ 5 倍、災害時通話・メール、ドコモが技術”、日経産業新聞、2012年11月26日
- [2]“NTT ドコモが災害時の混雑緩和技術で実証実験、OpenFlow を活用”、ITpro、2012年11月22日
- [3]“東北大学に大規模災害時における通信混雑緩和技術の実証実験設備を構築”、マイナビニュース、2012年11月26日