

大規模災害時での移動通信ネットワーク動的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

東日本大震災のような大規模災害が発生すると、その直後から安否確認や被災状況確認、避難指示などを目的とした通信要求が急激に増大する。そのため、通信を受け付ける通信制御サーバやネットワークなどに通信混雑が発生し、音声通話やメールがつながりにくい状況が発生する。このような大規模災害発生当日（初動時）に必要な通信を可能な限りつながりやすくできるよう、従来は困難であった通信処理リソースの動的制御技術の研究開発し、通信を受け付けるシステムの処理能力を増強する仕組みを確立した。また、音声通話やメール以外にも存在する災害時に役立つ情報通信サービスについて、通信混雑状況下でも十分な効果を発揮できる技術の研究開発した。東北大学および関東拠点に構築した技術評価環境で実証実験を行い、それらの効果を実証した。

常田 大	Tsuneta Masaru
松本 和樹	Matsumoto Kazuki
及川 正芳	Oikawa Masayoshi
滝田 亘	Takita Wataru
青木 孝文	Aoki Takafumi
岩田 淳	Iwata Atsushi
窪田 好宏	Kubota Yoshihiro

1. はじめに

総務省は、東日本大震災での通信混雑状況を踏まえ、災害時に重要な情報伝達基盤となる移動通信ネットワークの耐災害性強化を実現するために、「平成 23 年度補正予算（第 3 号）による情報通信技術の研究開発に係る提案の公募」として、必要とされる技術に関する研究開発・実証実験を行う研究委託先を公募した。この公募に対して（株）エヌ・ティ・ティ・ドコモ（以下 NTTDOCOMO と略す）を代表研究者とする国立大学法人東北大学、日本電気（株）、富士通（株）、（株）日立ソリューションズ東日本（以下 HSE と略す）の 5 社で構成する共同研究機関で「大規模災害時における移動通信ネットワークの動的制御技術の研究開発」を提案し採択された。

大規模災害が発生すると、その直後から安否確認や、被災状況確認、避難指示などを目的として音声通信やメールなどの通信要求が急激に増大する。東日本大震災では、東北地域で通常時の約 60 倍、東京 23 区内でも約 50 倍の通信要求が発生し、通信サービスを安定的に提供するためには大きな困難をとらえた。事実、通信処理

能力を大幅に超える通信要求に対処するため、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%）でしか通信処理が完了（疎通）しなかったというケースも報告されている。

そこで、音声通信やメールなど、災害時に必要とされる通信要求が急激に増大した際、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が可能となれば、通信混雑が発生している状況であっても、必要とされる通信に関しては可能な限り疎通を図れるようになることが期待できる。

これを実現するには、サービス毎に割り当てられる通信処理リソースを柔軟に割り当てることが可能な通信処理リソース制御技術、障害などに起因してネットワークの構成が変化しても優先度の高い通信サービスのトラヒックとその他を分別した上で、トラヒックを優先度に応じて柔軟に処理することが可能なネットワーク制御技術、および、柔軟に割り当てられる通信処理リソースを適切に管理・運用し、異常状態などを把握する管理・運用技術、またそれを運用者に対してわかりやすく提示する情

報表示技術などが必要となる。

一方で音声通話やメールなどの通信混雑と同時に、携帯電話を利用した情報通信サービスの重要性が認識され、災害時の利用を想定したアプリケーションやサービスに関する研究開発が注目されている。それらのアプリケーションやサービスは、災害直後の利用者自らの安全のための情報収集や家族の安否確認などでの利用が想定されるが、これらは通信混雑下でもその機能を十分に発揮するための仕組みを有することが必要となる。

本研究開発の目的は、上記技術課題の研究開発を通じて、東日本大震災と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（処理能力を 5 倍に拡大）することが可能なシステムを構築・運用可能であることを示すこととした。また、HSE はこれらネットワークリソースの動的制御環境下でも、問題なく動作するサービスアプリケーションの仕組みの確立を主な目的とし、災害時に役立つサービスアプリケーションの研究開発を担当した。

本稿では、取り組んだ研究課題の全容とその成果を中心に述べる。

2. 移動通信ネットワーク動的制御のためのアーキテクチャ (NTTDOCOMO 殿担当)

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) を設計した。

ハードウェアから仮想マシンへのリソース割り当てを制御する「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り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り当て変更により、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り当てやネットワーク構成に動的な変更が生じて、各リソース個別の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、その割り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している。以降、具体的

な仕組みと実証実験により得られた結果を記述する。

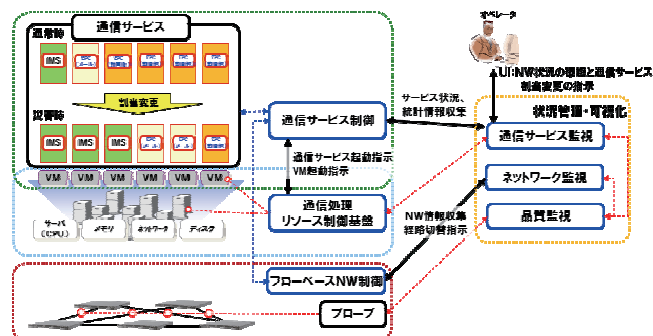


図 1 動的制御のための全体アーキテクチャ

3. 通信処理リソース制御基盤の管理運用技術 (富士通殿担当)

東日本大震災時では、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た (図 2)。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る。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り当てを可能とするためのリソース管理技術確立した。

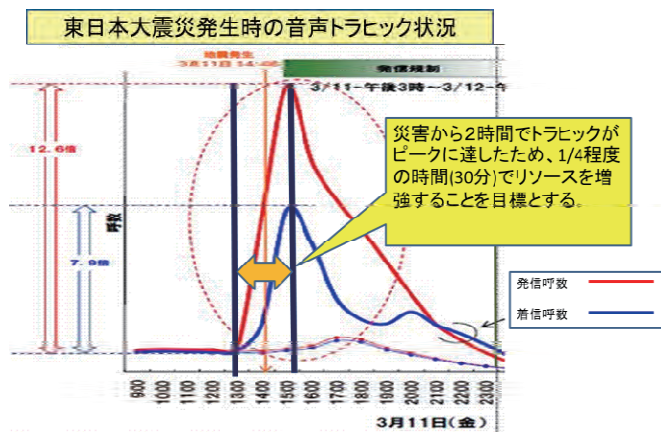


図 2 震災時ピークトラフィック到達時間

本技術は次の 3 つによって構成される。

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う。

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する。

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 から 1/10 までの時間で行う。

本技術を適用し、従来数日から数週間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た（図 3）。

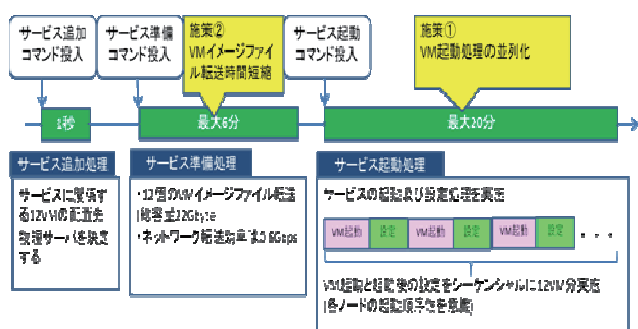


図3 サービス増強処理とその時間内訳

4. 仮想化基盤に対応した通信サービス制御技術（日本電気殿担当）

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ともに、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た。

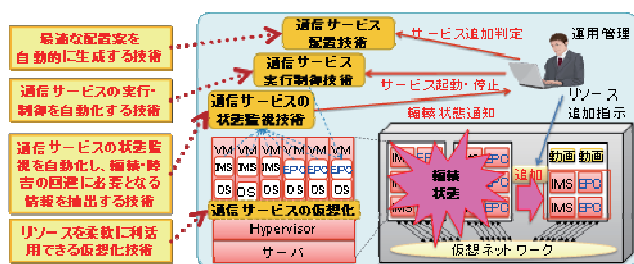


図4 仮想化基盤に対応した通信サービス制御技術

研究開発で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験を実施した。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 5.7 倍に増強され、疎通率が 5%（20 回に 1 回つながる程度）から 25%以上（4 回に 1 回つながる程度）に改善されることを実証した。

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）を持つ。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た。仮想化基盤で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する。

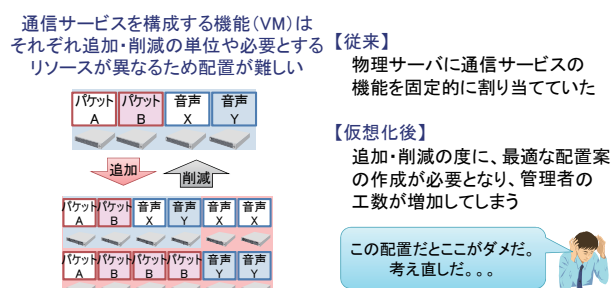


図5 通信サービス配置技術の必要性

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、ディスク容量など）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た。この技術により、管理者の作業負担低減が期待できる。

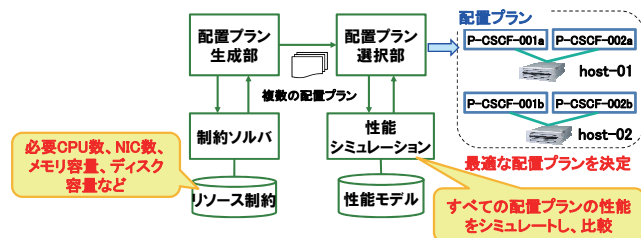


図6 通信サービス配置技術

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) が異なる。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た。仮想化基盤で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する (図 7)。

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た。この技術により、管理者の作業負担低減が期待でき、追加に要する時間を短縮することが可能になる (図 8)。

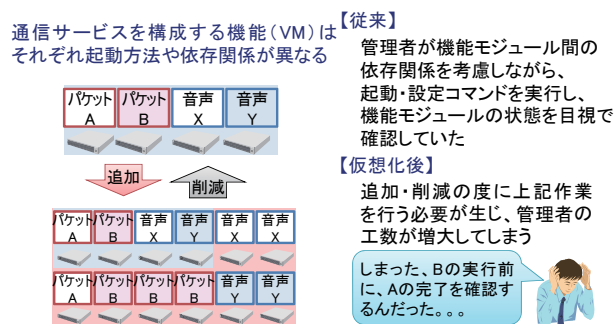
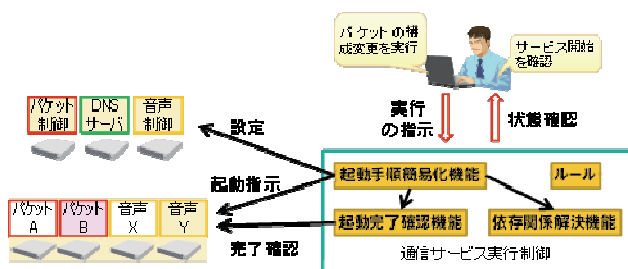


図 7 通信サービス実行制御の必要性



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る。従来は、管理者が通信サービスの状態を目視で確認するが、仮想化基盤で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、管理者の負担が増加してしまう。

【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

大量の管理作業
膨大な時間が必要

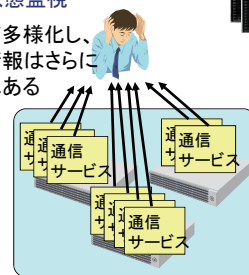
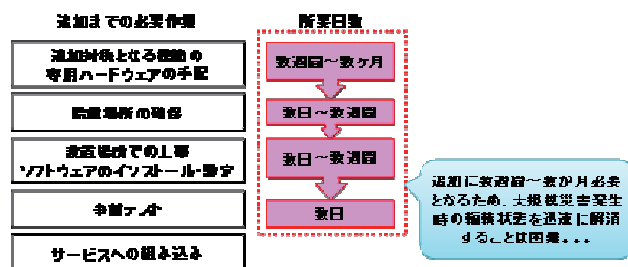
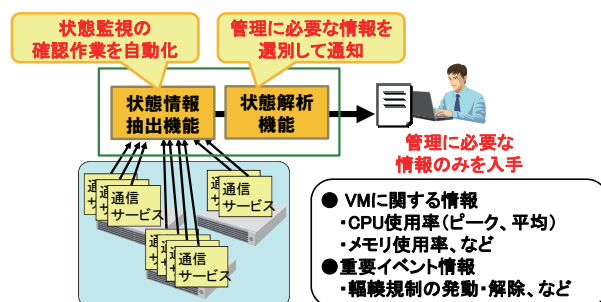


図 9 通信サービス状態監視技術の必要性

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た。この技術により、管理者の作業負担低減が期待できる (図 10)。

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なかった。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はじめなければならない、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た。よって、大規模災害など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あった (図 11)。



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にある専用のハードウェアおよび 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た。

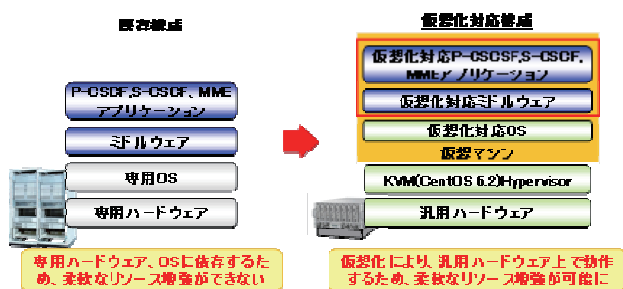


図 12 通信サービスの仮想化技術

しかし、仮想化基盤上で通信サービスの処理を実行した場合、信号処理のターンアラウンドタイムに、ごく稀に平均値を大きく上回る揺らぎが発生することが明らかとなった。これは、通信サービス品質の維持に不可欠な課題となる。

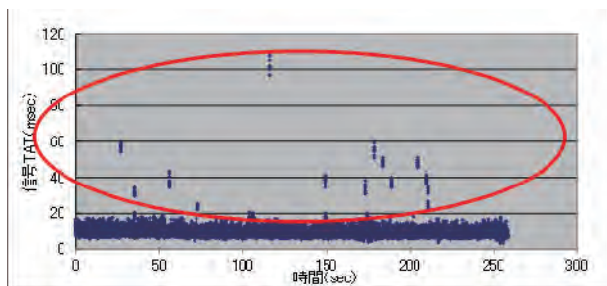


図 13 ターンアラウンドタイム (TAT) の揺らぎ

5. 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 (日本電気殿担当)

Open Flow 技術を用いて、サービスの優先度に応じて低優先トラヒ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リンク故障などの各種イベントを収集し、優先度クラスなどのサービス特性に応じてトラヒックを個別のフローとして管理する経路制御を実行することにより、優先度の高い基本サービス（音声通話・メールなど）に支障が及ばないようネットワークリソースを動的に再構成する技術を確認した。

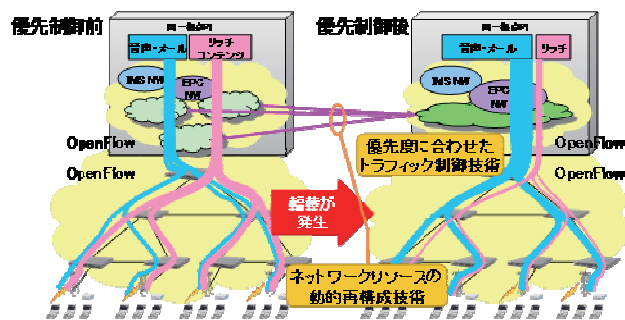


図 14 ネットワーク動的再構成技術

研究開発で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、ネットワークを輻輳させた状態での実証実験を行った。その結果、高優先である基本サービスの通信は低優先の通信に比べ、廃棄率が 1000 倍以上も低くなっていることを観測し、優先度の高い通信が、優先度の低い通信に比べ、十分高い品質で転送されていることを確認した。

①優先度に応じたトラフィック制御技術

従来、モバイルネットワークでの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、メールなどの重要な通信とそれ以外とを識別できなかった。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なかった。

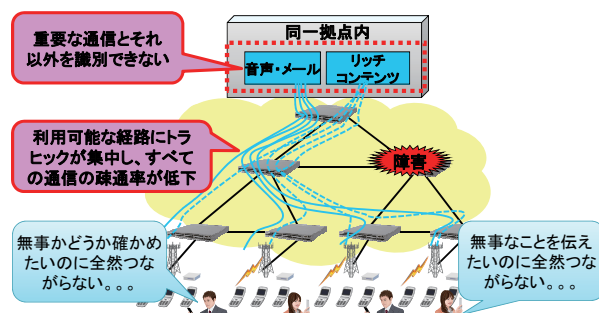


図 15 従来のトラフィック制御の課題

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た (図 16)。

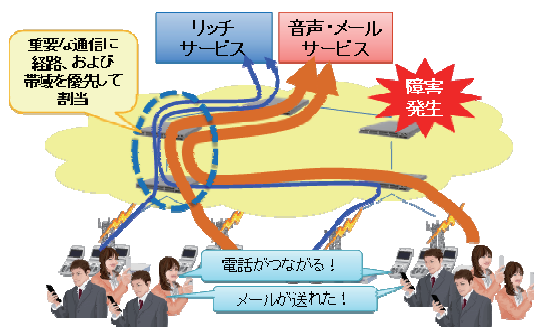


図 16 優先度に応じたトラフィック制御

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、サービス毎に仮想ネットワークドメインが異なっている。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なかった。

そこで、異なる仮想ネットワークドメイン間を接続し、1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でも利用可能とした。

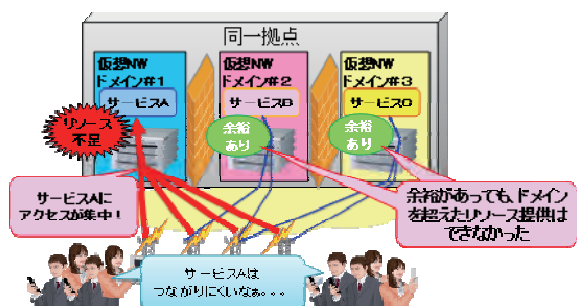


図 17 拠点内ネットワークの課題

6. 通信処理リソース制御に対応した可視化技術 (富士通殿担当)

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、複数の実運用担当者の評価から、その効果を実証した。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る。本技術は以下の3つにより構成される。

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そのリソース割り当てを動的に変更する。この動的なリソース変更に追従し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18)を提供する技術であり、管理者は個々のシステムの稼働状況を容易に把握することが可能になる。



図 18 リソース状況監視画面

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る。そのすべての情報を管理することで、より精緻にリソースの状況を把握できるが、情報管理にともなうコストは増大し、実現に見合わないものとなる。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する。

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働状況把握を可能(図19)にする。



図 19 品質監視画面

7. 通信ネットワーク動的再構成に対応した可視化技術（富士通殿担当）

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で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、複数の実運用担当者の評価から、その効果を実証した。

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る。

本技術は以下の 3 つにより構成される。

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る。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する。

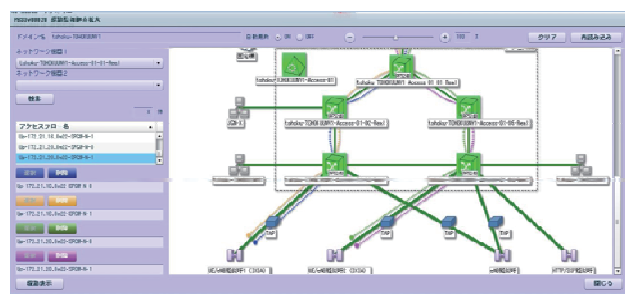
フローを制御するコントローラから情報収集する際、個々のフローを一定法則にしたがってまとめる仕組み（アクセスフローと呼ぶ）を用意し、アクセスフローを、移動通信基地局から通信システム間の通信に対応付けてフローの情報収集を行うことで、情報量を 1%未満に圧縮できることを実証した。

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する。

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（図 20）にする。



経路異常発生/切り替え候補提供



図 20 経路表示画面

8. 災害に役立つアプリケーション／サービスと通信混雑下でのデータ処理技術（東北大殿, HSE 担当）

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ことが最も重要である。このため、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のアンケート結果から、その有効性を実証した。

1 つは、災害時には、自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ぶ）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」）である。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有効である。

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」）である。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のが主な用途である。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・参照できる。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ある。

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」)である。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インタフェースを実現した。

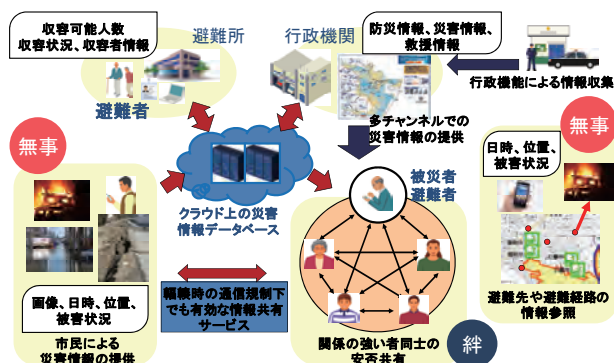


図 21 災害に役立つ情報通信サービス

②通信混雑時に効果を発揮するデータ処理の仕組み

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る。しかし、特別な仕組み無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る。よって、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が低下しても処理を完了できることが最も重要な要件となる。

これに対し、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だけ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(図 22)の考え方を取り入れ、3 つの処理方式を研究開発した。

1 つは、画像の持つ特徴を抽出して文字列データだけをサーバに送信する仕組みである。サーバ側で解析された画像が持つ情景(火災や地割れなど)情報を単語や文章に変換し、画像データではなく、変換された文字情報だけを送信することで通信量の極小化が可能となる。

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ある。看板などを撮影した画像情報から文字が含まれる領域だけ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か可能となる。

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ある。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、デジタルデバインドへの対応と通信負荷低減の両立が可能となる。

これらの機能を有効/無効とする「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組み合わせ、試作アプリケーションに実装した。試作アプリケーションについて、通信混雑を模擬した環境下で動作実験し、通常時と同等の応答性能、または応答性能が低下しても処理を完了できることを実証した。

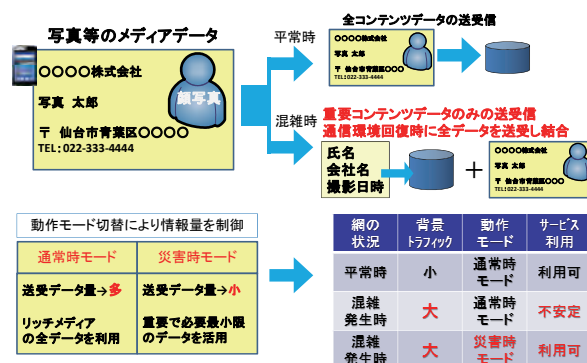


図 22 コグニティブ・メディア共有技術

9. おわりに

大規模災害時での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、柔軟に割り当て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し、需要が高まった通信サービスに通信処理リソースを柔軟に割り当て、通信処理能力を増強する技術を確認し、大規模災害時の通信混雑状況を模擬した技術評価環境で、災害時に必要となる音声通信の処理能力を 5.7 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については、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、通信混雑下でもその機能を十分に発揮するための仕組みを確認し、その効果を実証実験により確認した。

今後は、本研究開発の成果を活用し、実用化に向けた

技術開発の継続と、自治体や NPO 等の各種団体からのニーズ調査を実施し、機能の拡充を図る。また、オープンデータに代表される国のデータ戦略と、利用者が必要とするデータを分析し、事業化に向けた取り組みを進める。

参考文献

- 1) 「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」に係る報告書
- 2) 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開発，研究報告第 174 号
- 3) 災害時に大切な人との情報共有や自身の身の安全を図るために必要な情報通信サービスの実証，日立 IT ユーザ会第 50 回記念大会論文



常田 大 1992 年入社
自治 3G
自治体への情報システム提案・導入
masaru.tsuneta.wg@hitachi-solutions.com



松本 和樹 2006 年入社
自治 3G
自治体への情報システム提案・導入
kazuki.matsumoto.zt@hitachi-solutions.com



及川 正芳 1971 年入社
自治体ソリューション部
自治体への情報システム提案・導入
masayoshi.oikawa.wg@hitachi-solutions.com



滝田 亘
(株) エヌ・ティ・ティ・ドコモ
共同研究機関の取り纏め，全体アーキテクチャの研究開発



青木 孝文
国立大学法人東北大学
アプリケーションへの技術シーズの提供と技術支援



岩田 淳
日本電気 (株)
リソース動的制御の研究開発



窪田 好宏
富士通 (株)
リソース制御可視化技術の研究開発