

災害に強いネットワークを実現するための技術の研究開発

Research and development of technologies for facilitating disaster-resilient networks

研究代表者

安達 文幸 国立大学法人東北大学
Fumiyuki Adachi Tohoku University

研究分担者

竹内 和則[†] 岸 洋司^{††} 浜口 雅春^{†††}
Kazunori Takeuchi[†] Yoji Kishi^{††} Masaharu Hamaguchi^{†††}
[†]株式会社 KDDI 研究所 ^{††}KDDI 株式会社 ^{†††}沖電気工業株式会社
[†]KDDI R&D Laboratories, Inc. ^{††}KDDI Corporation ^{†††}Oki Electric Industry Co., Ltd.

研究期間 平成 23 年度～平成 24 年度

概要

災害時応急措置により緊急重要通信を可能とする「重層的通信ネットワーク」の総合技術を開発した。これにより、災害時に公衆ネットワーク（携帯/WiMAX などの通信事業者ネットワークを含む）が、通信不能や深刻な輻輳（混雑）状態に陥っても、生き残った地域（Wi-Fi/WiMAX）ネットワーク、車両アドホックネットワークなどで安否確認や災害救助などを行えるようになり、社会の大混乱や甚大な経済的損失を最小化することができる。

1. まえがき

情報通信ネットワークは今や重要な社会基盤になっている。2011 年 3 月に発生した東日本大震災は、高度情報化社会になって初めて経験した大震災であり、通信ネットワークが通信不能や深刻な輻輳状態に陥り、災害救助・応急措置活動のための緊急重要通信や、避難時及び避難所などでの安否確認などに支障をきたし、被災地のみならず社会全体が混乱に陥ってしまった。二度とこのようなことにならないよう、災害に強く壊れないネットワークを構築する技術の確立が重要である。

本研究開発では、災害時対応応急措置機能により緊急重要通信を可能とする「重層的通信ネットワーク」を実現するために必要な総合技術を開発した。

2. 研究開発内容及び成果

2. 1 全体概要

本研究開発では、災害時対応応急措置機能により緊急重要通信を可能とする「重層的通信ネットワーク」を実現するために必要な総合技術（ネットワークノード高信頼化技術（課題ア）、ネットワークの最適ルーティング技術（課題イ）、及びネットワークの負荷軽減や安全確保に資する高能率通信方式技術（課題ウ））を開発した。

「重層的通信ネットワーク」では、図-1 に示すように、災害時に携帯/WiMAX などをを用いる公衆ネットワークに加えて、地方自治体などが運営する地域 WiMAX/Wi-Fi ネットワーク、車両アドホックネットワークなどの複数のネットワークが連携する。平常時には通信事業者ネットワークや地域ネットワークなどは各々、独立に運用され通信サービスを提供しているが、災害時に通信事業者ネットワークが損壊による通信不能や深刻な輻輳状態に陥ったときに、図-2 に示すように、地域ネットワークが連携して迅速に迂回通信路を構成する。

また、重層的通信ネットワーク全体の災害時有効性の検証（課題エ）において開発した安全安心なセキュア通信技術により、図-3 に示すように災害救助のためのグループ通信や個人を特定した救難情報などを提供できる。これにより、災害時に通信ネットワークが通信不能や深刻な輻輳状態に陥っても、安否確認や災害救助などを即座に行える

ようになり、社会の大混乱や甚大な経済的損失を最小化することができる。

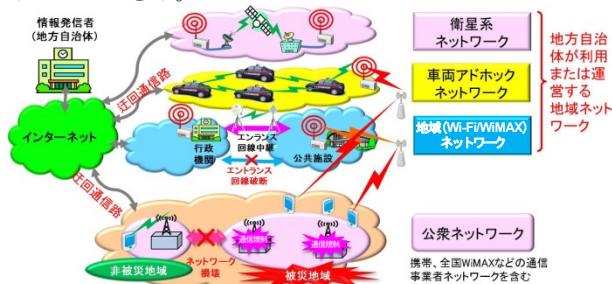


図-1 災害時緊急重要通信を可能とする重層的通信ネットワーク

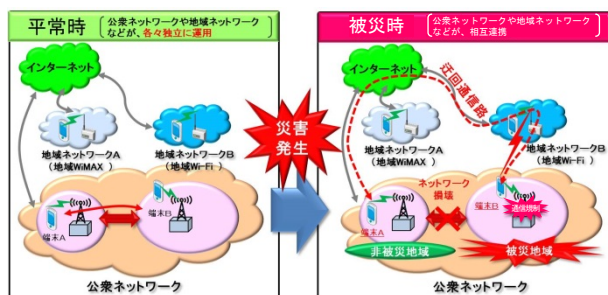


図-2 災害時の迅速な迂回通信路の構成

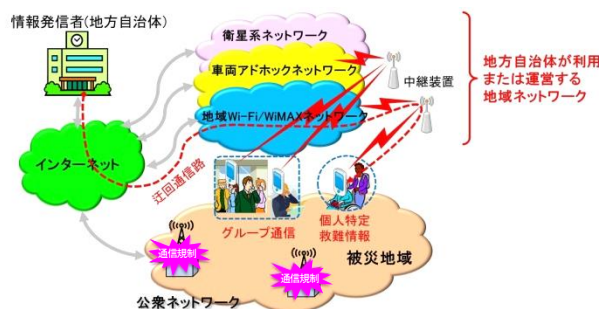


図-3 災害救助のためのグループ通信や個人を特定した救難情報の提供

2. 2 個別課題概要

2. 2. 1 課題ア 地域ネットワークノード高信頼化技術の開発 研究開発内容

災害時に自律的にネットワークを再構成可能なネットワークの実用化に向けて、地域ネットワークノードの高信頼化に必要な要素技術を開発する。具体的には、災害時など、いくつかの地域ネットワークノードが完全に機能停止した場合においてもネットワークへの接続継続性を担保するため、複数の地域ネットワークノードが連携して送受信を行うことのできる連携ダイバーシチ技術の開発を行う。また、地域ネットワークノードは災害時の無線通信を確保するために Wi-Fi や地域 WiMAX など複数の周波数帯を利用できることが必要である。伝送距離を伸ばし、データを中継する地域ネットワークノード数を削減して遅延やスループットを改善するため、指向性を変化させることのできる小型アンテナが必要となる。このため、複数の周波数帯 (UHF 帯、2.4GHz 帯、2.5GHz 帯、5GHz 帯等) に適用可能で、指向性を変化可能な小型広帯域アンテナ技術 (10 cm 程度) の開発を行う。

併せて、災害時に自律的かつ迅速にネットワークを復旧・拡張するための可搬型地域ネットワークノード構成技術を開発する。

成果

「重層的通信ネットワーク」では、災害時に生き残った地域ネットワークを連携させて即座に迂回通信路を構成することを目指している。そこで、課題ア-1) では、生き残った地域ネットワークの混雑状況や端末(中継装置)周辺の電波状況などを基に、繋がるネットワークを選択する技術を開発した。また、課題ア-2) では、地域ネットワークノードのエントランス回線が災害によって切断されてしまったときに、近傍の地域ネットワークノードと無線リレー技術を用いて即座に復旧させる技術を開発した。さらに、課題ア-3) では、広域にわたって地域ネットワークが壊滅してしまったような災害地へ機動性の高い車両を複数投入して臨時の地域ネットワークを形成する技術を開発した。

地域ネットワーク自身も災害に強くできれば、「重層的通信ネットワーク」全体を災害により強くできる。そこで、課題ア-4) では、地域ネットワークノードを高信頼化し災害に強くするための基盤技術を確立した。具体的には、一時的に緊急情報を収集・保存できる低消費電力・高性能ネットワークノード、複数の地域ネットワークノードが連携して送受信を行う連携ダイバーシチ技術、Wi-Fi や地域 WiMAX など複数の周波数帯を利用できる小型の可変指向性アンテナを開発した。

以上により、地域ネットワークノードの高信頼化を可能とし、災害時に生き残った地域ネットワークを連携させて即座に迂回通信路を構成して通信機能を早期に復旧させることができ、安否確認や災害救助などを即座に行えるようになった。

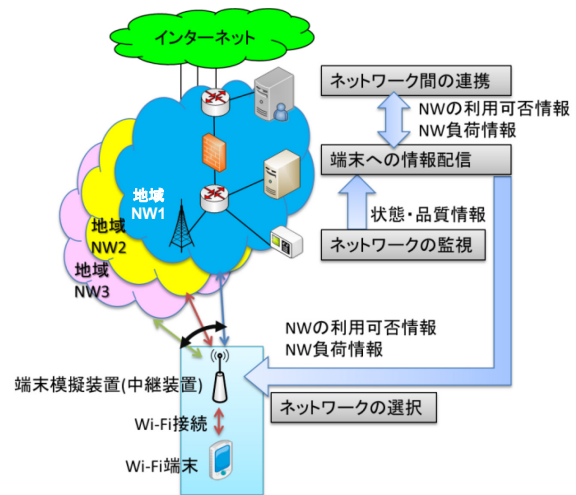


図-4 接続を支援する情報の通知とネットワークの選択 (課題ア-1)

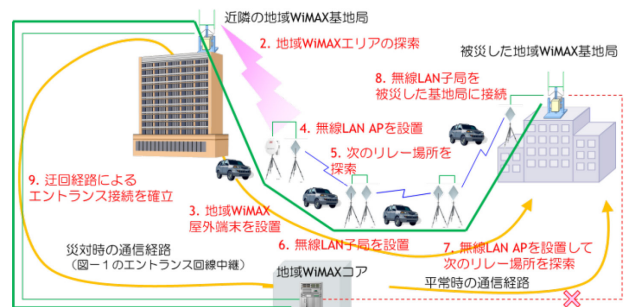


図-5 基地局エントランス回線の復旧シナリオ (課題ア-2)

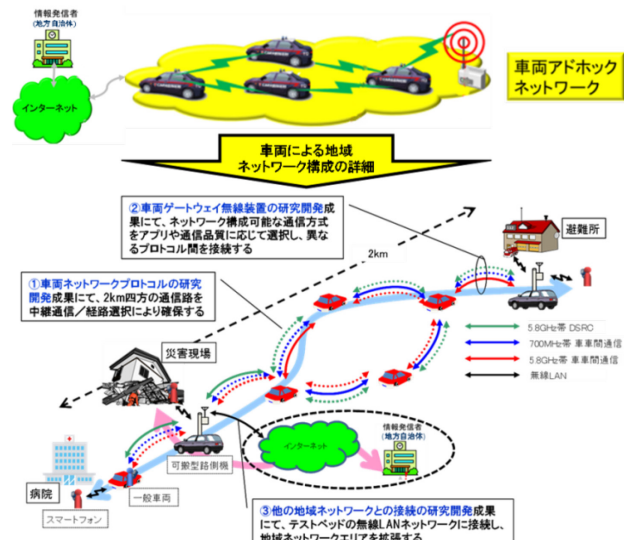


図-6 車両ネットワークによる通信経路確保 (課題ア-3)

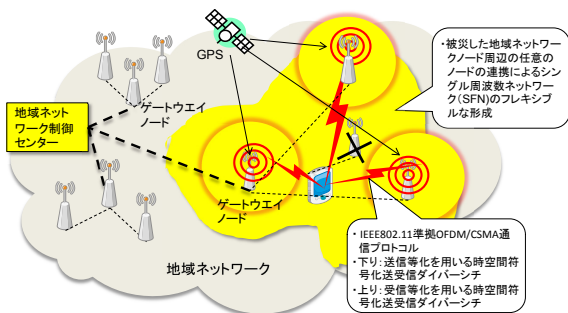


図-7 連携ダイバーシティの構成 (課題ア-4)

2. 2. 2 課題イ ネットワークの最適ルーティング技術の開発

研究開発内容

災害時など、十分な供給電力が得られない場合等において、当該ネットワークが電力状況に合わせた最適なルーティングを行うための技術を開発する。具体的には商用電源からの電力供給が停止した際にも可能な限り長くネットワークの機能を維持・運用するため、周辺地域ネットワークノードのバッテリー残量や電源状況等に基づく最適ルーティング技術等のネットワーク制御技術を開発する。

携帯電話網や地域 Wi-Fi ネットワークにおいて停電が発生した場合でも、風力や太陽光発電などによって得られる僅かの電力を有効活用し、各無線設備やネットワーク設備を電源状況に基づいて効果的に運用する技術、災害時に限りあるネットワークリソースを有効利用するため、ネットワークリソースの実効利用率を向上させることができるプロトコル最適化技術、さらには、災害時に運用される DTN において、被災者に対して位置に依存した情報を提供するためのノードの位置情報を提供する技術を開発する。

成果

「重層的通信ネットワーク」は、災害時に公衆ネットワークが損壊による通信不能や深刻な輻輳状態に陥ったときに、地域ネットワークが連携して迅速に迂回通信路を構成することで通信機能の早期復旧を可能とする。しかし、災害時には、地域ネットワークの無線設備などに十分な供給電力が得られない場合があり、さらに地域ネットワーク内のトラフィックが急増し輻輳が発生する恐れがある。また、災害時には臨時の無線メッシュネットワークを被災地などに緊急に構築し、通信機能を復旧させることが必要になる。そこで、課題イ) では、このような状況下でも地域ネットワークが「重層的通信ネットワーク」の重要な一つのネットワークとして迅速に迂回通信路を構成できるように、ネットワークの最適ルーティング技術を開発した。

具体的には、蓄電器の残量や予想発電量、ネットワーク機器の予想稼働時間などを正確に把握しつつ、センターや近隣の無線基地局に対してそれら詳細な電源情報を送信し、地域ネットワークを制御可能とする技術を確立した (イ-1 電源状況に基づいたネットワークの最適制御技術)。また、災害時に限りがあるネットワークリソースの有効利用を実現するためにトラフィックを最適分散する負荷分散アルゴリズム、ならびに、電力残量、移動情報、周囲の状況などから適切なネットワーク形成プロトコルを選択する携帯端末間連携制御技術のプロトタイプ「スマホ de リレー」を開発した (イ-2 プロトコル最適化要素技術)。さらに、位置情報を用いたルーティングを可能とするように、メッシュネットワーク内の異常ノード (故障や妨害、設定

ミスなどによって誤った情報を返すノード) を検出して除去することで、数十から数百のノードに対応できる位置情報推定手法を開発した (イ-3 ネットワークノード位置情報推定技術)。

これらにより、災害時の電源状況、トラフィック状況や臨時に設置したネットワークノードの位置情報に基づいて、効率的に経路を構築できるようになった。

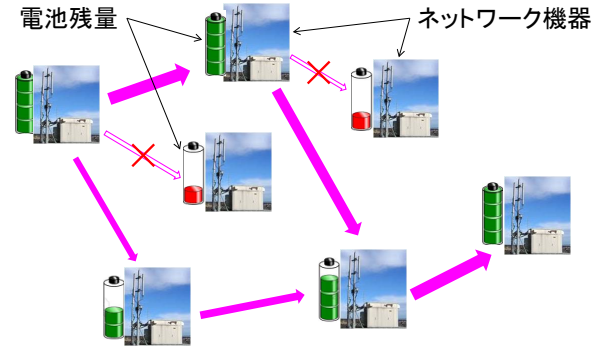


図-8 電源状況に基づくネットワーク制御 (課題イ-1)

試作機 (第1世代)

- 市販のスマホのソフトウェアだけを改造 (ハードウェアの改造は一切なし)
- WiFiによるメールリレー機能を搭載 (ファイルの添付可能)
- メールリレー機能は省電力設計

移動中でも、一時孤立してもリレーを継続 (メール蓄積機能) 携帯電話のエリアと無関係に利用可能 (携帯の電波を利用しない)

1台の通信距離は70m メールを自動リレー (特別な操作は不要) 携帯電話基地局

スマホのWiFiを利用したメールリレー機能により携帯電話回線を使わずにメール送受信が可能

図-9 スマホ de リレー (プロトコル最適化要素技術) (課題イ-2)

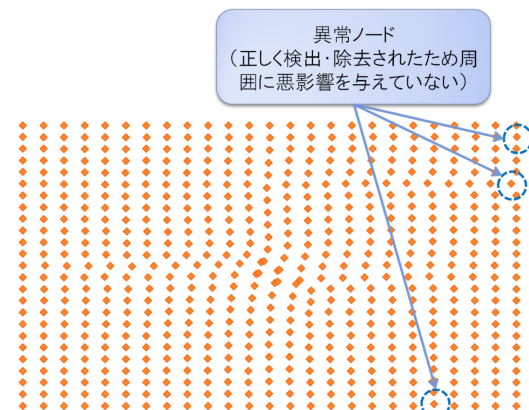


図-10 異常ノードが存在する環境下でのシミュレーション実験によるノード位置推定結果 (課題イ-3)

2. 2. 3 課題ウ ネットワークの負荷軽減や安全確保に資する高能率通信方式技術

研究開発内容

災害時には、多数のネットワークノードが被災し動作不

能に陥ってしまい、ネットワークの通信品質が極端に劣化してしまう恐れがある。また、短時間に通信が集中することによる輻輳が避けられない。迅速な災害救助や復旧活動を行うためにも、このような場合にあっては途切れない音声通信や画像等の情報伝送が望まれる。特に、音声やテキストデータなどに比べて、画像等のデータ量が膨大となるため、災害時には画像等の伝送は特段に超低ビットレート・高圧縮で行う必要がある。また、超低ビットレート・高圧縮伝送時におけるデータの欠損は画像等の中に大きな雑音となって現れ、かつブロック歪が発生し、画質が極端に劣化し、視認が不可能となる。本研究開発では、これらの課題を解決するための高能率通信方式を実現するための基盤技術の研究開発を行う。

成果

「重層的通信ネットワーク」は、災害時に公衆ネットワークが損壊による通信不能や深刻な輻輳状態に陥ったときに、地域ネットワークが連携して迅速に迂回通信路を構成することで通信機能の早期復旧を可能とする。しかし、緊急に構成した迂回通信路は安定とは限らない。また、十分な帯域を確保できるという保証もない。災害時の安否確認や災害救助などでは音声通信や画像通信が重要になる。そこで、課題ウ)では、災害時に「重層的通信ネットワーク」で構成した迂回通信路が不安定で十分な帯域が確保できない状況下でも、利用に耐える音声通信や画像通信を可能とする高能率通信方式を開発した。

具体的には、8kbps 程度の VoIP 通信において、緊急災害時など、パケットロス率が 50%程度の場合においても利用可能な品質を安定して保つ音声通信技術を開発した (ウ-1 高パケットロス環境下での頑健な IP 音声通信技術)。また、ワンセグ動画の 1/2 のレートの 64kbps で人間にとって重要な文字領域を高精細に伝送する技術を開発した (ウ-2 低レート画像通信技術)。さらに、ペインティングおよび動きベクトルの推定法を適用することでブロック状の誤りを十分に抑制し、人間の視認にとって違和感の少ない画像・映像に修復する技術を開発した (ウ-3 データの欠損がある画像等の修復技術)。

これにより、災害時においても「重層的通信ネットワーク」を通じてスマートフォン等に地域情報や防災情報を提供できるようになった。

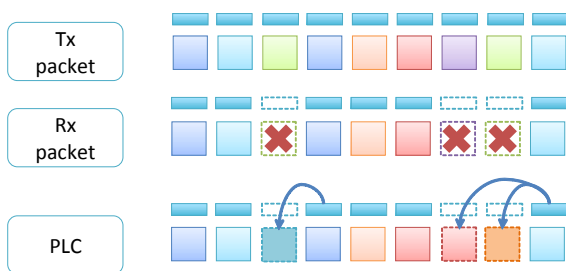
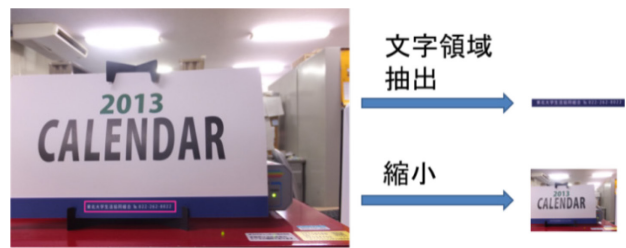


図-11 付加情報を用いたパケットロス隠蔽方式 (課題ウ-1)



(a) 処理の概念図



(b) 抽出された文字領域

図-12 送信側処理 (課題ウ-2)



図-13 受信側処理 (課題ウ-2)



図-14 データ欠損によりブロック状のエラーが現れた画像 (課題ウ-3)

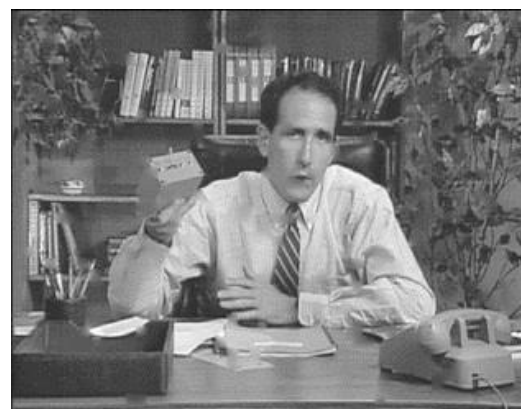


図-15 ブロック状のエラーを抑制し修復が行われた画像 (課題ウ-3)

2. 2. 4 課題エ 重層的通信ネットワーク全体の災害時有効性の検証

研究開発内容

災害時には、市町村役場などの行政による救援支援や救助隊への指示連絡や、会社など事業所からの社員への緊急避難通知や緊急連絡に音声グループ通信やグループ毎の一斉同報通信などが極めて有効である。また、災害緊急時には、ネットワーク側から必要な人と端末を特定して、必要な情報を強制的（push型）に通知する通信プラットフォームが必要である。課題ア）からウ）の技術および研究開発する機器を活用し、災害時を想定して重層的ネットワークの災害時の有効性を検証する。

成果

「重層的通信ネットワーク」は、災害時に公衆ネットワークが損壊による通信不能や深刻な輻輳状態に陥ったときに、地域ネットワークが連携して迅速に迂回通信路を構成することで通信機能の早期復旧を可能とするものであるが、災害時の安否確認や災害救助などに役立つことを実証することが重要である。そこで、課題エ）では、災害時に有効なリアルタイム音声グループ通信と一斉同報通信を実現し、かつセキュアな通信を確保するため高度な暗号付与を可能とする高機能サーバーの開発（エ-1 災害時のセキュアな通信技術の開発検証）、さらに、ある特定の人に必要な災害情報、救難情報を強制的（プッシュ型）に伝達することを可能とするプラットフォームとアプリケーションの開発（エ-2 送付先特定災害情報強制送信プラットフォーム技術の開発検証）により、重層的通信ネットワークが災害時の安否確認や災害救助などに極めて有効であることを実証した。



図-16 グループ・同報通信の利用シーン (課題エ-1)

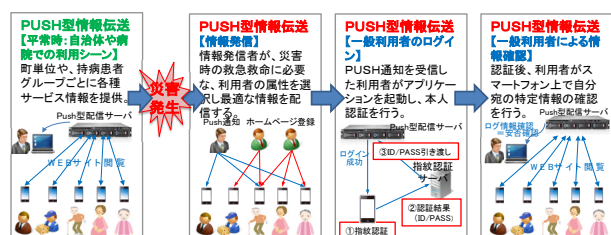


図-17 伝達先特定災害情報強制送信プラットフォーム (課題エ-2)

3. 研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本課題で研究開発した「重層的通信ネットワーク」は、公衆ネットワーク（携帯、WiMAXなど）と地域ネットワーク（地域WiMAX、地域Wi-Fi、車両アドホックなど）を相互連携させることにより、災害時に緊急重要通信の確保を可能とし、かつ、私たちが日常利用する携帯電話（スマートフォン）が災害時に極めて有効な災害情報の受信および発信を行う通信端末として使える、世界で類を見ない新

しい通信システムであり、自然災害の多い我が国には極めて有効な通信システムである。

現在、本研究開発機関が連携を継続し、実用化に向けて自治体との連携による実証事業の実施、自治体への提案活動としての紹介やヒアリング、実証実験の結果などの世界標準化会議（ITU-R SG5、ITU-R WP5A、APT-AWG (APT-Wireless Group など)、ITU-T 災害 FG）への情報入力、ワイヤレス・テクノロジーパークなどの展示会への出展・講演などを通して、成果の社会還元に取り組んでいる。また、台湾 ITRI との合同セミナーをはじめとして、海外展開にも積極的に取り組んでいる。

本成果を広く実用化展開するため、産学連携を推進する東北大学情報知能（IIS）研究センターを介し、共同研究企業を開拓するとともに、技術紹介活動を通しての開拓も推進している。

さらに、重層的通信ネットワークシステムの実用化促進に向けて、災害復旧時に加えて平常時の利用形態についても検討し、システムの商品としての付加価値の向上にも取り組んでいる。

4. むすび

東北大学、KDDI 研究所、KDDI および OKI は緊密な研究開発体制のもとに強力な連携を組み「重層的通信ネットワーク」構築のための技術を開発し、実証実験により「重層的通信ネットワーク」の実現性、有効性および有用性を示すことができ本課題の当初の目標を達成した。

「重層的通信ネットワーク」は、公衆ネットワーク（携帯、WiMAX など）と、地域ネットワーク（地域 WiMAX、地域 Wi-Fi、ITS ネットワークなど）を相互連携させることにより、災害時に通信機能の確保および回復への迅速な対応が可能である。

さらに、我々が日常利用する携帯電話（スマートフォン）が、災害時に極めて有効な災害情報の受信および発信を行う通信端末として使える世界で類を見ない新しい通信システムコンセプトであり、自然災害の多い我が国には極めて有効な通信システムを開発したと言える。

「重層的通信ネットワーク」の各課題で研究開発した技術、およびこれらの各課題を統合した本システムは、災害緊急時に迅速な通信路確保が出来るだけでなく、グループ通信、同報通信など災害時に有効な機能や、個人の属性を考慮した災害通信の新たなサービスを提供することができる。

我々が日常使用する携帯端末と通信システムが、災害緊急時であっても支障なく利用できれば、極めて大きな社会的安心安全をもたらし、公衆ネットワークに加えて地域ネットワークを使用することで災害時の通信をよりロバストなものにすることができる。

近い将来危惧される震災に備えるためにも、公衆ネットワークと自治体などによる地域ネットワークとの相互連携運用を実システムに早期導入するべく今後も一層の研究開発と標準化など実用化へ取組む決意である。このため、通信事業者、地域ネットワーク運営者および利用者、関係団体等の総力を結集し、早急に実システムの具体的検討を進めたい。

【誌上発表リスト】

- [1] F. Adachi, K. Takeuchi, Y. Kishi, M. Hamaguchi, S. Ohmori, and R. Kajiwara, "R&D project of Multilayered communications network", IEEE Xplore, Proc. 15th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2012), pp.350 - 351 (2012年9月24-27日)

[2] Shingo WATANABE, Kosuke YAMAZAKI, Toshihiko KOMINE, Tomoki SADA, Takashi FUJIMOTO, Akira YAMAGUCHI, Kanshiro KASHIKI, Kazunori TAKEUCHI, "Radio Network Selection Scheme Notified by the Each Network's Real-time Performance in the Multi-layered Communication Network", IEEE Xplore, Proc. The 15th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2012), pp. 169 - 171 (2012年9月24-27日)

[3] Yutaka Kaneko, Takashi Ohyama, Kinya Asano, Masaharu Hamaguchi, "Multi-hop Communication and Multi-protocol/Gateway by Using Plural ITS", IEEE Xplore, Proc. The 15th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2012), pp. 217 - 220 (2012年9月24-27日)

【申請特許リスト】

[1]小峯敏彦、渡辺伸吾、竹内和則、"ネットワーク切替情報通知装置およびコンピュータプログラム"、日本、2013年2月28日

[2]小峯敏彦、渡辺伸吾、竹内和則、"ネットワーク切替情報要求装置、ネットワーク切替情報通知装置およびコンピュータプログラム"、日本、2013年2月28日

[3]大山 卓、浅野 欽也、金子 富、浜口 雅春、"無線通信装置、無線通信システム及び無線通信プログラム"、日本、2013年2月18日

【国際標準提案リスト】

[1] ITU-T・Focus Group on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery, DR&NRR-I-75, "Introduction of multi-layered communications network system proposed for disaster relief and safety of concerned parties", February 5-8, 2013.

[2] ITU-T FG on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery (FG-DR&NRR), DR&NRR-I-121, "Message Relay by Mobile Terminals without Cellular Infrastructure,"、21 Aug 2013.

[3] ITU-T FG on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery (FG-DR&NRR), DR&NRR-I-105, "Message Transmission without Cellular Coverage,"、21 May 2013.

【参加国際標準会議リスト】

[1] ITU-T, Collaboration on ITS Communication Standard、北京、2013年3月22日

[2] ITU-T, Focus Group on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery、プーケット、2013年5月21日

[3] ITU-T, Focus Group on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery、キルギス、2013年8月21日

【受賞リスト】

[1]本間尚文、RIEC Award 東北大学研究者賞、"VLSI 向け算術アルゴリズムの高水準設計技術とその応用に関する研究"、2012年11月9日

[2]高橋朝人、西山大樹、加藤寧、電子情報通信学会衛星通信研究専門委員会 2012年度衛星通信研究賞、"対災害遅延許容ネットワークにおける到着率公平性に関する性能評価"、2013年5月8日

[3]八巻俊輔、小田切 潤、阿部正英、川又政征、Best Paper Award・3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, "Effects of Stochastic Phase Spectrum Differences on

Phase-Only Correlation Functions - Part I: Statistically Constant Phase Spectrum Differences for Frequency Indices -"、2012年9月24日

【報道掲載リスト】

[1] "災害時、車使い通信回線 OKI アンテナでデータ伝送"、日本経済新聞、2013年4月26日

[2] "スマホの無線 メールリレー 端末同士で通信 災害時に活用"、読売新聞（日刊）38面、2013年2月22日

[3] "災害時圏外でも通信可 東北大 スマホを中継 実証実験"、河北新報（日刊）15面、2013年2月19日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.oki.com/jp/press/2013/04/z13010.html>

<http://www.it.ecei.tohoku.ac.jp/innovation/01/>