

2-2 大規模災害管理のためのアドホックベース 非常時通信モデル

2-2 *Ad Hoc Based Emergency Communications Models for Wide-Scale Disaster Management*

Hoang Nam Nguyen 行田弘一 岡田和則 滝澤 修

Hoang Nam Nguyen, GYODA Koichi, OKADA Kazunori, and TAKIZAWA Osamu

要旨

災害時は、情報通信インフラが破壊されるため、被災者やレスキュー隊に通信サービスを提供することを目的とした、迅速に使用可能な非常時無線通信システムの需要が高まる可能性がある。最近では、モバイルアドホック通信が被災地における非常時通信の効率的なソリューションと考えられている。モバイルアドホック通信は、迅速に使用可能であること、および自動設定機能があるという利点の一方、大規模になると性能が低下する問題がある。本論文では、まず、大規模災害用に提案されたアドホックベースの非常時無線通信モデルをいくつか検討する。次に、被災地における非常時通信の無線データネットワークのハイブリッドシステムモデルを提示する。無線リソースは限られているため、リソース管理はシステムの性能とQoS(Quality of Service)に重要な役割を果たす。我々は、システムのリソースを効率的に利用するため、一部の高性能エンドユーザーが臨時リレーホスト(TRH)として機能するような、ハイブリッド無線ネットワークのリソース管理スキームを提案する。このスキームは、ネットワーク制御ハンドオーバー、リソース割り当て、およびアドミッションコントロールで構成され、適応伝送レートおよびマルチホップ/リレー通信モードを活用する。コンピューターシミュレーションによる性能評価の結果、提案したリソース管理スキームを使用することにより、接続拒否確率の減少(すなわち、同時接続数の増加)が可能であることが示された。

In case of disasters, telecommunication infrastructure might be destroyed rising the demand of fast-deployment emergency wireless communication systems in order to provide communication services to victims and rescue teams. Recently, mobile ad hoc communications is considered as an efficient solution for emergency communications in disaster areas. Beside the advantages in terms of fast deployment and self-configuration capability, ad hoc communications networks show less performance in large scale networks. In this paper, we first discuss some proposed ad hoc based emergency communications models for wide scale disaster management. Then we present a hybrid system model of wireless data networks for emergency communications in disaster areas. Due to limited radio resource, resource management plays an important role to system performance and provide user's QoS. We propose a resource management scheme for the hybrid wireless networks in which selected powerful end users operate as temporary relay hosts (TRH) in order to utilize the system resource efficiently. The scheme combines network controlled handover, resource allocation and admission control and takes advantages of adaptive transmission rates and multi-hop/relay communication mode. Performance results obtained by computer simulation show that using the proposed resource management scheme can reduce the connection blocking probability i.e. increase the quantity of simultaneous connections.

[キーワード]

非常時通信, アドホックネットワーク, リソース管理

Emergency communications, Ad hoc networks, Resource management

1 はじめに

地震や台風などの深刻な災害は、情報通信インフラを破壊する可能性があるため、レスキュー隊員同士や被災者と救助スタッフとの間で情報をやり取りするために、被災地には効率的な通信システムが必要である。被災者は、被災者情報データベースなどの非常時情報通信サービスにアクセスするためのシステムを使用する[1]。非常時情報システムの設置は迅速かつ柔軟でなければならないため、通信インフラを敷設するのに多くの日数が必要な有線通信技術は適していない。非常時および災害時の通信システムは、第3世代携帯電話[2][3]やWiMAX[4]といった無線技術をベースとするのが適切である。

モバイルアドホック通信は、その自己組織化と迅速に使用可能とする能力により、被災地における非常時通信のための効率的な方法と考えられる。モバイルアドホックネットワーク(MANET)は、大規模ネットワークにおいてスループットの点でスケラビリティの問題に直面する。被災地が広範囲の場合、モバイルノードの数が著しく増える可能性があり、それがネットワークのスループット低下の原因となる。もう1つの問題は接続可能性であり、ユーザー密度の低い地域では、すべてのモバイルノードと接続が可能なのではない。これらの問題を解決するため、近年、ハイブリッドアドホックベース非常時通信モデルが提案された。

文献[5]では、固定されたヘリウム気球、ヘリコプター、トラック、および人に載せた通信ノードで構成されたアドホックベース被災地無線ネットワーク(DAWN)が提案されている。ノード間の接続では、光空間(FSO)リンクまたは無線(RF)リンクが用いられ、FSOリンクの質が悪い場合はRFリンクがバックアップ経路として使用される。パケット配信率を最大化しつつ、パケット損失および遅延を最小化できるネットワークのためのマルチパスルーティングプロトコルが考案されている。このネットワークアーキテクチャは、広い地域に非常時通信を提供するのに効率的で、たとえば軍事活動や緊急会議といったアプリケーションに用いることができる。

SKYMESHとして知られる類似研究がある[6]。

SKYMESHは、非常時通信ネットワークバックボーンであり、気球を使用して地上50~100メートルに構築されるアドホック通信システムである。SKYMESHは、大規模自然災害時の非常時通信ネットワークとして、被災地の情報を収集し、救助、復旧、および監視をサポートするのに使用される。気球は、少ない費用で決まった場所に何日間も容易に係留できることから、それを送受信局として使用することは、ヘリコプターや飛行船を使用するよりも適切である。アドホック通信は、802.11 WLANとOptimized Link State Routing(OLSR)プロトコルを使用している。実験結果は、大規模被災地における非常時通信のためのSKYMESHの効率の良さを示している。

大規模被災地向けの衛星通信とアドホック通信の組み合わせは、数多くの研究において検討されている。文献[7]で述べられているとおり、非常時通信には、Wi-Fi/WiMAX/衛星の多段接続ネットワークが提案されている。レスキュー隊は、隊員同士の通信を提供するMANETを各々形成する。それぞれのMANETのゲートウェイには、WiMAX基地局に接続されるWiMAX加入者ユニットが組み込まれる。WiMAX基地局は、衛星リンクを通じて外部の本部に接続される。隊と隊との通信は、遅延を低減させるため、衛星リンクの代わりにWiMAX基地局を経由して行われる。システムのシミュレーションでは、エンドツーエンド遅延の低さと容量の大きさの点で、このアーキテクチャがVoIPおよびデータサービスをサポート可能であることが示されている。

文献[8]に述べられている別の研究の取り組みとして、非常時通信シナリオ用のモバイルアドホック衛星および無線メッシュネットワークの設計がある。このシステムでは、アドホックメッシュネットワークは重要な役割を果たし、局地的なサービスエリア間の高透過性かつシームレスな端末の移動をサポートすべく、モビリティ管理のためのモバイルIPv6が用いられる。衛星通信は、災害現場にインターネット接続を提供するのに使用される。衛星ユニバーサル移動体通信システム(S-UMTS)装置が装備された車両は、地上のアドホックメッシュネットワークと外部地域との接続点となる。車両間の接続は、モバイルアドホックメッシュネットワークを通じて提供さ

れる。モバイル端末が Wi-Fi 802.11 およびアドホックネットワークを形成する重要な地域では、車両はモバイルルーターの機能を果たすことができる。モバイルルーターは、ローカル Wi-Fi 802.11 ネットワークをコアモバイルアドホックメッシュネットワークに接続する。このアーキテクチャでは、IEEE 802.11s は、メッシュおよびアドホックネットワークキングに適切な規格と見なされる。公安機関にシームレスな移動性を提供するため、プロキシモバイル IP バージョン 6 (PMIPv6) が利用されている。著者は、PMIPv6 が無線リソースの効率的な使用をサポートできること、およびハンドオフ遅延を低下可能であることを示している。

モバイルアドホックネットワーク、衛星 IP ネットワーク、そして地上インターネットの組み合わせに基づく、DUMBONET [9] という非常時通信システムのもう 1 つのテストベッドが実装されている。災害に襲われた地域には、複数の現場が含まれる可能性がある。各救助者は、たとえばラップトップや携帯情報端末 (PDA) といった Wi-Fi 対応モバイル装置を使用する。被災現場に滞在する救助者は、アドホック通信モードで互いに接続する。災害現場間または災害現場と指令本部センターとの接続を維持するため、1 名以上の救助者が衛星通信対応装置を携帯する場合がある。衛星、アドホック通信、そして地上インターネットを含む、異なるネットワークテクノロジーによって生じたネットワークの異質性を隠すべく、仮想プライベートネットワーク (VPN) が展開される。また、DUMBONET は、マルチメディア通信、センサー応用、そして顔認識による人物同定も実装している。

携帯電話網とアドホック通信の組み合わせも、大規模被災地のソリューションの候補として検討されている。被災地では、ユーザーは、信号品質の不良により、最寄りの基地局に接続できない場所に位置する可能性がある [10]。基地局に直接接続できないユーザーにサービスを提供することを目的とし、ハイブリッド非常時モバイル通信ネットワークを形成するため、携帯電話網への追加の接続モードとして、マルチホップ / リレー通信が提案されている [10][11]。携帯電話網のセル範囲を拡大するための中継局の使用は、文献 [12]-[14] で

紹介されており、中継局は、システム性能を強化するため、固定局または移動局のいずれかが考えられる。

我々の研究では、特定のエンドユーザーが一時的に中継局として機能できる、非常時通信用無線データネットワークのハイブリッドシステムモデルを提案する。ここでは、文献 [10][11] で提案されているソリューションとは異なり、適応伝送レートと効率的なリソース管理を使用することの重要性が考慮されている。我々は、ネットワーク制御ハンドオーバー、リソース割り当て、そしてアドミッションコントロールを結合するリソース管理スキームを提案する。このスキームは、適応伝送レートとマルチホップ通信の利点を利用して、大量の同時接続を提供するとともに、ユーザーが最低限必要とするスループットを満たす。我々は、提案したシステムの性能を評価し、さまざまなシミュレーションのシナリオで、従来のシステムの性能との比較を行った。

2 では、非常時通信ネットワーク用ハイブリッド無線システムモデルについて述べる。**3** では、提案するリソース管理スキームについて述べる。**4** では、接続のアドミッションコントロールのアルゴリズムを述べ。**5** では、コンピューターシミュレーションで得られた性能評価結果を述べる。**6** では、結論に対する考察を示す。

2 システムモデル

非常時通信用の無線データネットワークは、図 1 に示すとおり、いくつかの固定 / モバイルアクセスポイント (AP) で構成される。各 AP は、半径 R の大規模なサービスエリア内に位置するユーザーに無線信号を送信する。AP は、バックボーンネットワーク、ネットワーク制御センター (NCC)、および災害避難本部 (DEH) に接続されるサービスおよび制御ゲートウェイ (SGC) と接続される。NCC は、ネットワークおよびセキュリティ管理の機能を実行する。DEH の役割は、被災者の情報を更新すること、そして避難活動を調整および実施することにある [15]。ユーザー端末とは、被災者や救助スタッフが所有する、たとえば携帯電話、ラップトップ、PC などである。彼らは、非常時サービスを使用し、外部の情報データベースにア

クセスし、また、互いに連絡を取り合う。UTは、ネットワークプロバイダーにより、通信装置を身に付けていない被災者に対する集合サービスアクセス局(たとえば図1のUT3)として提供される設備となり得る。APの数は、被災地の規模とユーザーの密度によって異なる。無線リソースは、周波数帯域の点で限られており、たとえ多くのAPが用意されていても、限られた無線リソースを効率良く使用しつつ、システム性能を最大化することが重要な処理であることに変わりはない。

セルラー無線モデルでは、そのサービスエリア内に位置するAPとUTの間のみ接続がある。UTは、APと異なる無線インターフェース技術を使用する場合があることから、そのAPを通じてアクセスできないUTが存在する可能性がある。幸いなことに、最近では、多くの通信装置に、標準化された、たとえばIEEE 802.11bなどの2つ目の追加無線インターフェースを組み込むことが可能である[16]。また、IPベースのアドホックネットワークングプロトコルの研究の取り組みも多々あり、IETFによって実施され、標準化されている[17]。それらの先進技術は、UT間のマルチホップ/リレー接続を確立する機会を、ますます多くもたらすことになろう。

マルチホップ/リレー接続モードは、以下のシナリオに基づき使用される。

- APの伝送距離外に位置するとき(たとえば図1のUT2)、UTは、可能ならば、たとえばUT1など、他のUTとのアドホック接続の確立を試みる。
- APのサービスエリア内に位置するが、APと共通の無線インターフェースがないとき(たとえば図1のUT4)、UTは、たとえばUT3など、他のUTを通じたAPへの径路を探し出す。

先行研究で提案されたセルラーアドホックネットワークモデル[10][11]では、UTはすべてリレーまたはアドホックノードになり得る。ほとんどのUTはバッテリーの寿命が限られているため、非常時にそのような方法を適用するのは適切でない。非常時に利用する我々のハイブリッドシステムでは、十分なバッテリー電力と処理能力を持つことができるのは、レスキュー車両に装備される特定のUT(たとえばUT1)か、あるいは集合サービスアクセス局(たとえばUT3)であるUTに限られるとする。そのようなUTを、高性能エンドユーザーとする。APは、他のUTとマルチホップ/リレー接続を確立するため、それらが一時的に中継局として機能するように選択できる。一時中継ホスト(TRH)は、より高いシステム性能の提供と、より効率的な無線リソースの利用のため、適応伝送レートを利用し、リレー接続を導入する。マルチホップ/リレー無線インターフェースに適

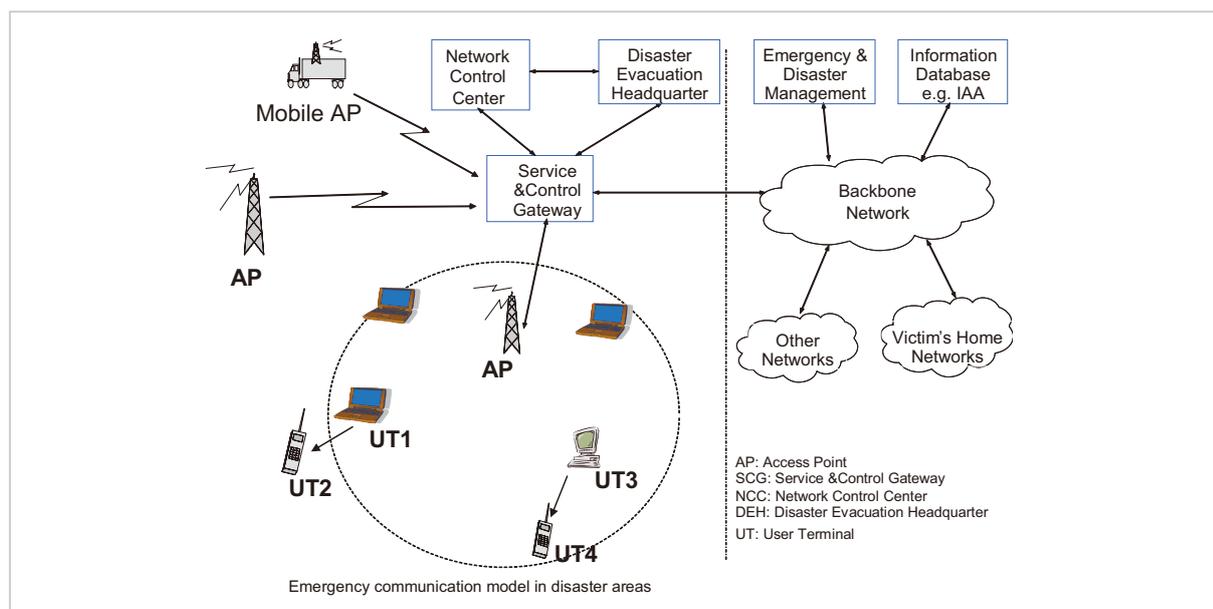


図1 非常時通信のシステムモデル

した無線技術、ネットワーキングプロトコル、シグナリングの問題、自動設定、認証など、研究課題は多々ある。**3**では、このハイブリッドネットワークのリソース管理の問題を検討する。

3 リソース管理スキーム

ダウンリンクのトラフィックはアップリンクよりもはるかに多いことから、説明をわかりやすくするため、ダウンリンク伝送に基づくリソース管理スキームを検討する。このリソース管理スキームは、若干の修正でアップリンク伝送に利用できる。我々は、ほとんどの被災者と多くの救助スタッフ

が長時間にわたって固定した状況に置かれるような、固定または移動可能なユーザーを伴う災害時のネットワークのシナリオを検討する。

無線リソースを効率良く利用し、ダウンリンク伝送レートを増加させるため、3Gネットワーク[2][3]およびWiMAXネットワーク[4]には、ユーザーの信号品質に基づいた適応伝送レートが提案されている。ユーザーは、図2aに示すとおり、その信号品質に応じた変調およびコーディングスキームに対応する適切な伝送レートで、データを受信する。

M個の伝送モードに対応する、昇順に整理されたM個の異なる伝送レート $\{Tr_1, Tr_2 \dots Tr_M\}$ がある状況を検討する。表1に示す例のとおり、最小データ伝送レートは Tr_1 で、これは、QPSK 1/2と表記している1/2のコーディングレート(R_c)でのQPSK変調に相当する。固定UTにより、APは、安定したUTのリンク品質を保つのに、出力制御を利用できる。

APに直接接続する際、UTは、タイムスロット(TS)でデータ情報を搬送する共有チャンネルを使用することによって、データをダウンロードする。以下のパラメータは、マルチホップ/リレー通信モードが利用されない従来のシステムの性能を分析するのに使用する(図2a)。

- Th_{req}^i : ユーザー*i*に求められる最小スロット
- t_{TS} : TSの期間
- Tr_j^i : ユーザー*i*の伝送レート*j*
- n_{TS}^i : Th_{req}^i を提供するため、ユーザー*i*に必要な1秒あたりのTSの数
- N_{TS} : 1秒あたりのAPの総TS数
- n_{TS} : 1秒あたりの割り当てTS総数
- C_{TS} : TS消費率

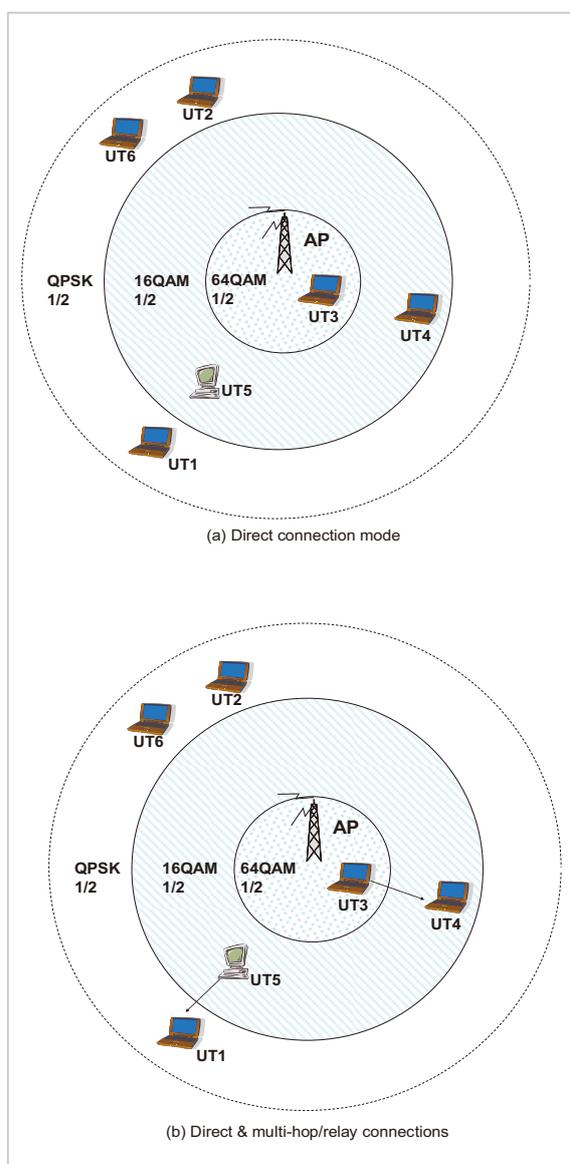


図2 伝送特性およびマルチホップ/リレー接続モード

表1 多重伝送モード

Modes	1	2	3	4
Modulation	QPSK	QPSK	16QAM	64QAM
R_c	1/2	3/4	1/2	1/2
Tr_i	Tr_1	$1.5Tr_1$	$2Tr_1$	$3Tr_1$

$$n_{TS}^i = \frac{Th_{req}^i}{Tr_j^i * t_{TS}} \quad (1)$$

$$n_{TS} = \sum_{i=1}^{N_{user}} n_{TS}^i \quad (2)$$

$$C_{TS} = \frac{n_{TS}}{N_{TS}} \quad (3)$$

$C_{TS} = 1$ のとき、システムは飽和状態となり、すべての TS (システムリソース) が消費される。効率的なリソース管理スキームは、質の高い同時継続接続 (N_{user}) を提供するとともに、必要最低限のスループットをユーザーに保証することが可能でなければならない。

我々は、ネットワーク制御ハンドオーバー、リソース割り当て、そしてアドミッションコントロールを結合するリソース管理スキームを提案する。高性能 UT は、高性能な処理能力と長いバッテリー寿命を持つ。高い伝送レートでデータをダウンロードする固定された高性能 UT は、たとえば図 2b に示すように、TRH として機能できる。2 で触れたとおり、TRH は、レスキュー隊の UT や、ネットワークプロバイダーによって提供される集合サービスアクセス局の PC があり得る。固定 TRH を利用することにより、AP は、安定した AP と TRH の間のリンクを常に維持できる。UT は、エンドツーエンド遅延を低減させるため、AP 経由で直接ネットワークにアクセスしようとする。

図 3 に、リソース割り当ての例を示す。図 2a に示すとおり、ダイレクトモード UT と表記する、AP に直接接続される UT1、UT2、UT3、UT4、および UT5 という 5 つのアクティブモバイルホストがあるとする。UT3 と UT5 が高性能 UT であるとする。各ユーザーは、最低保証スループットによるデータのダウンロードを要求する。例として、それぞれ QPSK-1/2、16QAM-1/2、および 64QAM 1/2 にそれぞれ対応する、6 TS/秒、3 TS/秒、および 2 TS/秒を使用する必要がある。現在、2 TS/秒の空きがあるとする (図 3A)。UT6 が接続を要求する際、UT6 はリンク品質が低いため、6 TS/秒を UT6 に割り当てる必要がある。従来のシステムでは、2 TS/秒しか空きがないため、この要求は却下される。UT3 と UT5 は伝送レートが高いため、使用する TS が少ない。UT1 は UT5 を下回る最低の伝送レートである一方、UT4 の伝送レートは UT3 のそれを下回る。我々の提案するシステムでは、UT1 は UT5 と中継接続を確立できることから、ネットワークは UT5 へのハンドオーバーを UT1 に依頼し (図 2b に示す)、従って 5 TS/秒の空きが生じる (図 3B)。ネットワークは、UT4 を強制的に UT3 にハンドオーバーし、UT6 のためにさらに多くの TS を節約できる (図 3C)。ネットワークで制御されるこれらのハンドオーバーが図 2b に示すとおりに行われると、UT6 に割り当てられる 6 TS/秒の空きが生じ、従って UT6 の接続要求が受け入れられる。このとき、UT3 と UT5 は TRH として機能している。UT1 と UT4 を、リレーモードの UT として示す (図 3D)。

このリソース割り当て戦略は、検討している固定または移動可能なユーザーのネットワークシナリオに適しているが、それは、そのようなユーザーが各々の場所を変えることは少なく、信号品質が安定しているためである。携帯電話ユーザーのネットワークシナリオでは、ユーザーの信号品質が低下し、結果的に不安定なリソース割り当てにつながる場合がある。従って、携帯電話ユーザーのネットワークシナリオでは、システムの過負荷を避けるため、一定量のリソースを確保しておく必要がある。一方、頻繁なユーザーの移動により、リレーモードの UT は、セッション期間中、

(A)	UT5 3TS	UT4 3TS	UT3 2TS	UT2 6TS	UT1 6TS	Free 2TS
(B)	UT5 6TS	UT1 6TS	UT3 2TS	UT2 6TS	UT4 3TS	Free 5TS
(C)	UT5 6TS	UT1 6TS	UT3 4TS	UT4 6TS	Free 6TS	
(D)	UT5 6TS	UT1 4TS	UT3 6TS	UT4 6TS	UT6 6TS	

図 3 リソース管理の例

その TRH の範囲を出る可能性がある。UT は、別の TRH または AP のいずれかに AP 内ハンドオーバーを行う必要がある。

4 アドミッションコントロールアルゴリズム

我々は、単一 AP のシナリオ、つまり、AP と AP のハンドオーバー (AP 間ハンドオーバー) が無い状況を検討する。すべての UT が各々の ID を AP に登録しているものとする。実際のシステムでは、NCC が AP に高性能 UT のリストを通知する可能性がある。AP は、すべての高性能 UT か、あるいは、各々の信号品質に応じてその一部のみを TRH として選択できる。高性能 UT は、非常に高い伝送レートでデータをダウンロードできる場合、TRH として機能することが可能である。その時 TRH は、その中継局の無線インターフェースを通じて、周期的にパイロット信号をブロードキャストする。他の UT は、信号を検知し、TRH のアドレスを各々の一時中継リストに保持できる。AP のインターフェースでは、UT は、AP への各々の信号品質を更新する。それらは、新たな TRH が追加された際、または、TRH が一時中継リストから削除された際、各々の AP 一時中継リストを更新する。

UT_m とその一時中継局の 1 つ、たとえば UT_k については、UT_m のための使用可能な帯域幅が UT_k のリレー無線インターフェースにある場合、ユーザー m がユーザー k を経由して AP に接続する際に得られる低減 TS (sTS_{mk}) は、以下のように計算される。

$$sTS_{mk} = \frac{Th_{req}^m}{Tr_i^m * t_{TS}} - \frac{Th_{req}^m}{Tr_j^k * t_{TS}} \quad (4)$$

接続を開始する際、UT_i は、必要最小スループット Th_{req}^i を含む、接続要求を AP に送信する。UT_i は、そのリンク品質に応じて伝送レート Tr_j^i でデータをダウンロードできることから、必要な 1 秒あたりの TS 数 n_{TS}^{req} は、以下のように見積もられる。

$$n_{TS}^{req} = \frac{Th_{req}^i}{Tr_j^i * t_{TS}} \quad (5)$$

図 4 に、提案する UT_i の接続要求のアドミッションコントロールアルゴリズムを示す。即座にその量の TS を提供できるならば、AP はその接続要求を承認し、UT_i はダイレクトモードで AP に接続される。そうでない場合、AP は、可能なネットワーク制御ハンドオーバーを見つけ出し、空き TS を増やすため、ハンドオーバースキャンの手順を実施する。

ハンドオーバースキャンの手順では、AP は、TS の空きを確保するため、まずダイレクトモードの UT のリストをスキャンし、可能な直接接続から中継局経由接続へのハンドオーバーを検索する。リレーが節約 TS の最大値を提供する場合、AP は UT_m のリレー k を探す。その後、UT_m はハンドオーバーリストに追加される。AP は、その接続要求に十分な数の使用可能な TS を見つけ出すと、スキャン処理を完了する。スキャン手順の実行後、十分な TS の空きがあれば、AP は要求を承認する。さもなければ、要求は却下される。いかなる場合でも、ハンドオーバーリストに保存された UT の接続は、後に中継局経由に切り替えられる。

5 では、提案するモデルと従来のモデルの性能

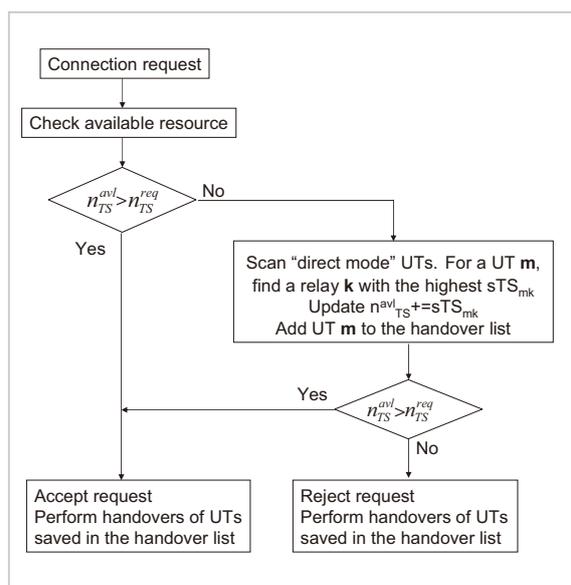


図 4 アドミッションコントロールアルゴリズム

を比較する。従来のモデルアドミッションアルゴリズム (適応伝送レートを利用、マルチホップ/中継局経由接続なし) では、APが必要な量のTSを提供できる場合、接続要求が承認される。さもなければ、要求は却下される。

5 数値結果

適応伝送レートとリレー接続性の組み合わせがシステム性能に及ぼす影響を検討するため、接続レベルの離散的事象のシミュレーションモデルでシミュレーションを行った。提案したリソース管理スキームの有効性を観察するため、接続ブロッキングの確率を評価した。ブロッキングの確率が低いことは、接続要求が承認される可能性が高いこと、つまり、同時接続の数が多いことを意味する。

単一アクセスポイントのシミュレーションモデルは、APが半径Rのサービスエリアを有する場合のシミュレーションである。APは、6.7 msのTSでダウンリンクデータを送信する。2Rに等しいサイズDの矩形エリアのシミュレーションを行う。ユーザーの中継伝送距離(d)は、システムの性能に影響する重要な要素である。接続要求の到着間隔は、指数分布に従う。接続要求があるとき、それはシミュレーションエリアに均一に分布するUTに割り当てられる。UTに割り当てられた接続要求が承認された場合、指数分布で得られる一定

のセッション期間中、UTは通信を維持するものとする。中継局の無線インターフェースでは、TRHは1 Mbit/秒のデータスループットを提供できる。それらには、個別に十分な大きさの周波数帯域が割り当てられるので、TRHは互いに干渉を生じさせない。APは、4つの伝送レートでダウンリンクデータを送信する。シミュレーションエリアの隅のエリア (APまでの距離がAPの半径よりも大きい) にあるUTについては、最小伝送レートが得られる。表2に、共通のシミュレーションパラメーターを示す。別のシミュレーションのシナリオのために、シミュレーションシナリオごとの追加パラメーターについて後述する。

従来(非中継)のリソース管理と提案するリソース管理のスキームを使用して得られる接続ブロッキング確率の性能比較を、図5に示す。UTは、最小30 kbits/秒のスループットを必要とする、平均セッション期間が180秒の、同一のサービスとする。高性能UTは48あり、中継局の伝送距離について、150mと200mの異なるシミュレーション実験を行った。一般に、提案するスキームは従来のスキームよりもブロッキングの確率を下げる事が可能である。中継局の伝送距離が200mのとき、提案するスキームのブロッキング確率は、従来のスキームをはるかに下回る。その理由は、中継局の伝送距離が延びると、中継局となり得るユーザーを見つけ出せる確率が高まるためである。伝送距離が長いと、ユーザーは、APの近くにある中継局に接続し、非常に高い伝送レートを使用できるようになる。それにより、他のユーザーのためにより多くのリソース (TS) が確保される。

表2 シミュレーション入力パラメーター

Parameters	Value
AP's coverage radius (R)	1000m
Time slot duration (t_{TS})	6.7ms
Tr_1	6 Mbits/s
Tr_2	12 Mbits/s
Tr_3	18 Mbits/s
Tr_4	24 Mbits/s
Relay's effective throughput	1 Mbits/s
Simulation time	3 hours

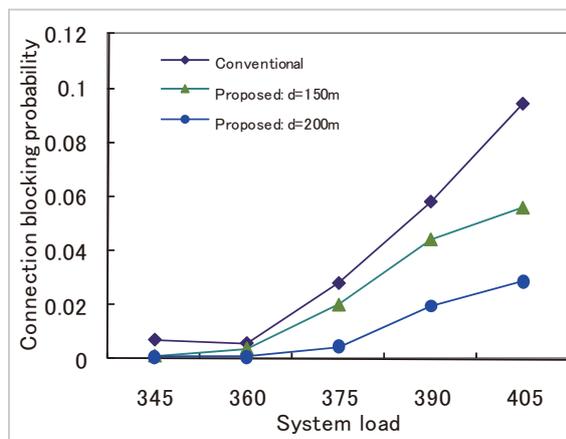


図5 ブロッキング確率(異なるリレー伝送距離)

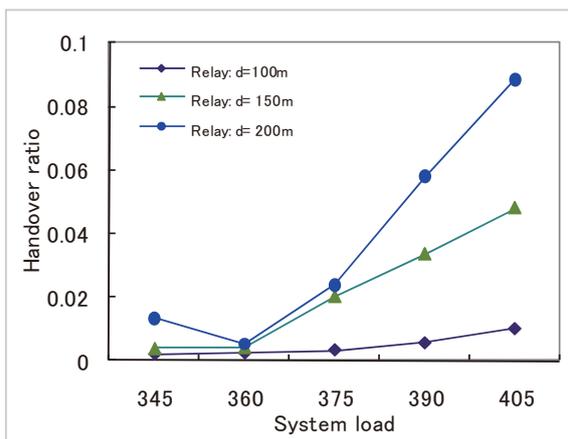


図6 提案するスキームのハンドオーバー比

承認された接続の総数に対するネットワーク制御ハンドオーバー数の割合で定義した、提案するスキームのハンドオーバー率を、図6に示す。この値は、接続ブロッキング確率を下げるために、ネットワーク制御ハンドオーバーに必要な追加のシグナリングトラフィックの量を表す。ユーザーは、最小30 kbits/秒のスループットを必要とする、平均セッション期間が180秒の、同一のサービスを使用するものとする。また、高性能UTは48あり、中継局の伝送距離は、100m、150m、および200mについて異なるシミュレーション実験を行った。長い中継局の伝送距離は、高いハンドオーバー率をもたらす。その理由は、中継局の伝送距離が延びると、そのようなハンドオーバーを実行して空きTSを取得する確率が高まり、システム性能の向上、すなわち、接続ブロッキング確率の低下につながるためである。中継局の伝送距離が200mの場合を考えると、ハンドオーバー率は9%未満で、6%を上回る接続受理数を得るには、追加のハンドオーバーを実行する必要がある(図5)。ハンドオーバーのコストは、非常時のシナリオにおいては許容し得る。

マルチサービスシミュレーションのシナリオにおける、さまざまなサービスクラスの接続ブロッキング確率を図7に示す。このシミュレーションのシナリオでは、中継局の伝送距離を200mに設定する。異なる最低保証スループットと平均セッション期間で、2つの異なるサービスクラスのシミュレーションを行った。最初のサービス(クラス1)の必要最小スループットは30 kbits/秒、平均セッション期間は180秒とする。2番目のサービ

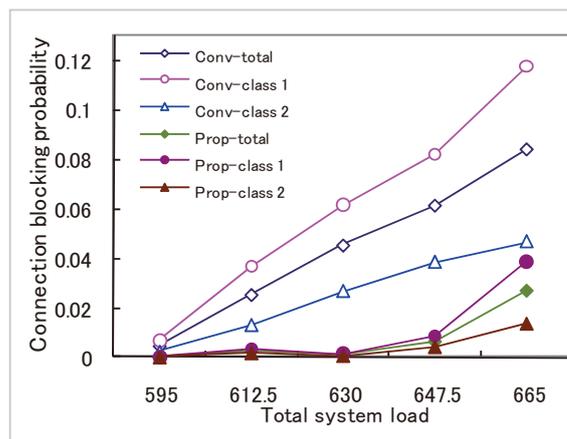


図7 異なるサービスクラスのブロッキング確率

ス(クラス2)は10 kbits/秒の保証スループットを必要とし、その平均セッション期間は240秒である。これらの前提は、コストが少ないことから、普通、期間が長いとエンドユーザーはQoS要件の低いサービスを使用するという事実に基づいて採用した。提案するスキームでは、このマルチサービスシミュレーションのシナリオでブロッキング確率が大幅に低下する。クラス1の接続はより多くのリソースを必要とするため、両方のケースで、クラス1サービスのブロッキング確率はクラス2サービスのそれを上回る。提案するスキームを利用すると、2つのサービスのブロッキング確率の違いは、従来のシステムよりもはるかに小さくなり、提案するスキームは、異なるサービスクラスの公平性を向上させることができる。従来のシステムでは、クラス2のサービスに求められる必要最小スループットが低く、従って、より多くのクラス2の要求が受け入れられる可能性がある。到達するクラス1の接続要求はシステムリソースを使用するものの、使用可能なTSが十分になく、そのため、高いブロッキング確率が生じる場合がある。

6 むすび

本論文では、非常時通信を提供するための、無線データネットワークのハイブリッドセルラーリレーモデルを紹介し、ユーザーが固定または移動可能と想定される被災地のネットワークシナリオを検討した。システム性能を強化するため、ネットワーク制御ハンドオーバー、リソース割り当て、

および接続許可を組み合わせたリソース管理スキームを提案した。提案したスキームでは、新たな接続要求のための空きリソース(ここでは TS)を探し出すため、ダイレクトからリレーへのハンドオーバーが実行される。コンピューターシミュレーションで得られた性能評価結果は、提案した

ハイブリッドセルラーリレー無線データネットワークモデルを用いることにより、接続ブロッキング確率を下げるとともに、ユーザーの QoS 要件を満たすことができることを示している。とりわけ、提案したスキームは、マルチサービスのシナリオにおいて公平性を提供することが可能である。

参考文献

- 1 "I Am Alive (IAA)," Disaster Safety Confirmation System,
- 2 <http://www.3gpp.org>
- 3 <http://www.3gpp2.org>
- 4 www.wimaxforum.org
- 5 Y. Jahir et al., "Multipath Hybrid Ad Hoc Networks for Avionics Applications in Disaster Area," In the Proc. Of IEEE/AIAA 28th Digital Avionics Systems Conference, 2009 (DASC '09), pp. 5.E.2-1-5.E.2-11, .
- 6 H. Suzuki et al., "An Ad Hoc Network in the Sky, SKYMESH, for Large-Scale Disaster Recovery," In the Proc. Of IEEE Vehicular Technology Conference 2006 (VTC-2006 Fall), pp. 1-5, September 2006.
- 7 W. Lu et al., "Communications Support for Disaster Recovery Operations using Hybrid Mobile Ad-Hoc Networks," in the Proc. Of 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks, 2007 (LCN 2007), pp. 763-770, 2007.
- 8 G. Iapichino et al., "A mobile ad hoc satellite and wireless mesh networking approach for public safety communications," in the Proc. Of 10th IEEE International Workshop on Signal Processing for Space Communications (SPSC 2008), 2008, pp. 1-6, October 2008.
- 9 K. Kanchanasut et al., "DUMBONET: A multimedia communications system for collaborative emergency response operation in disaster-affected areas," International Journal of Emergency Management (IJEM), Vol. 4, No. 4, 2007, pp. 670-681
- 10 A. Janefalkar, K. Josiam, and D. Rajan, "Cellular ad-hoc relay for emergencies (CARE)," in the Proc. of IEEE 60th Vehicular Technology Conference, Vol. 4, pp. 2873-2877, September 2004.
- 11 T. Fujiwara, N. Iida, and T. Watanabe, "A hybrid wireless network enhanced with multihopping for emergency communications," in the Proc. of IEEE International Conference on Communications, Vol. 7, pp. 4177-4181, June 2004.
- 12 A. Fujiwara, S. Takeda, H. Yoshino, and N. Umeda, "Evaluation of Cell Coverage and Throughput in the Multihop CDMA cellular Network," in the Proc. of IEEE 59th Vehicular Technology Conference, Vol. 4, pp. 2375-2378, May 2004.
- 13 B. Liu, Z. Liu, and D. Towsley, "On the Capacity of Hybrid Wireless Networks," in the Proc. of IEEE Conference on Computer Communications, Vol. 2, pp. 1543-1552, April 2003.
- 14 H. Y. Wei and R. D. Gitlin, "Two-Hop-Relay Architecture for Next-Generation WWAN/WLAN Integration," IEEE Wireless Communications, Vol. 11, No. 2, pp. 24-30, April 2004.
- 15 H. N. Nguyen and K. Gyoda, "Secure communication provision in mobile communication systems for emergency and disaster management," in the Proc. of the 9th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication, pp. 1262-1266, September 2006.
- 16 802.11™ Wireless Local Area Networks, <http://www.ieee802.org/11/>
- 17 Mobile Ad-hoc Networks Group, The Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>

(平成 23 年 3 月 30 日 採録)



Hoang Nam Nguyen^{†1}

情報通信セキュリティ研究センター防
災・減災基盤技術グループ専攻研究員
(2006年4月～2011年3月)

Ph.D.

Communication Networks for
Emergency and Crisis
Management: Issues of System
Models, Security, Capacity and
Quality-of-Service



岡田和則^{†3}

情報通信セキュリティ研究センター防
災・減災基盤技術グループ主任研究員
(2006年4月～2011年3月) / 電
気通信大学大学院情報システム学研究
科客員教授 博士(工学)

通信ネットワーク、移動通信、非常時
通信



行田弘一^{†2}

芝浦工業大学工学部通信工学科准教授 /
元情報通信セキュリティ研究センター
防災・減災基盤技術グループ主任研究員
(2006年4月～2008年3月)

博士(工学)

アンテナ工学、非常時無線通信ネット
ワーク構築技術、災害現場探索ロボッ
ト間通信技術、災害時等における情報
伝達



滝澤 修^{†4}

情報通信セキュリティ研究センター防
災・減災基盤技術グループグループ
リーダー (2006年4月～2011年
3月) / セキュリティ基盤グループグ
ループリーダー (2008年5月～
2010年3月) 博士(工学)

非常時防災通信、コンテンツセキュリ
ティ

†1 現在、国立ベトナム大学工業技術大学 講師

†2 現在、芝浦工業大学工学部通信工学科 教授

†3 現在、ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室 主任研究員

†4 現在、社会還元促進部門技術移転推進室 マネージャー

