

# Proximity Services を統合した 災害時同報配信システムにおける通信量削減に関する検討

六平豊<sup>†1</sup> 中村嘉隆<sup>†2</sup> 稲村浩<sup>†2</sup>

**概要:** 災害発生時には、気象庁や地方公共団体などが緊急地震速報や津波警報などの緊急速報を端末 (User Equipment: UE) に配信している。しかし、大規模災害等が原因で一部の携帯電話基地局 (evolved Node B: eNB) が機能停止しているような環境では、すべての端末へ緊急速報を配信することが困難である。我々はこれまでに、Long Term Evolution (LTE) の標準で定められているEarthquake and Tsunami Warning System (ETWS) の規格にDevice to Device (D2D) 通信規格であるProximity Services (ProSe) を統合し、ETWSの配信エリアを拡大させる同報配信システムを提案してきた。しかし、配信範囲に制限を与えていないため、緊急速報メッセージの通信過多が発生してしまう。本稿では、既存手法の到達率を維持しつつ配信範囲を制御可能な緊急速報の配信エリア拡大手法を提案し、通信量削減の寄与について、シミュレーションで比較評価を行う。

**キーワード:** Earthquake and Tsunami Warning System, Proximity Services, Device to Device, Geocast

## 1. 背景

スマートフォン等の携帯移動端末に対して災害時には3GPPにて規定された同報配信システムのEarthquake and Tsunami Warning System (ETWS) [1]を用いて緊急地震速報、津波警報および災害・避難情報などの緊急速報が配信されている。日本では緊急地震速報と津波警報は気象庁が配信元であり、災害・避難情報は地方公共団体が配信元となっている。2011年の東日本大震災では約2万9000局(東北・関東地域地方の基地局数は約13万7500局)の携帯電話基地局 (evolved Node B: eNB) が機能停止した。スマートフォンの接続性はインターネットとの中継機となっているeNBの電波到達範囲(以下、カバレッジ)に依存している。そのため、地震などの災害によって一部のeNBが機能停止すると、故障しているeNBのカバレッジ(以下、カバレッジ外と呼ぶ)に含まれる端末 (User Equipment: UE) に津波警報や災害・避難情報などの続報を配信することが不可能になる。

そのような大規模災害などをきっかけに、米国や英国では公共安全 (Public Safety: PS) ネットワークの構築が掲げられている。PSネットワークは、Long Term Evolution (LTE) を共通の基盤技術として構築することが検討されており、PS-LTEと称されている。PS-LTEは、リアルタイムに情報を共有できる手段を確保することで、効率的な救命・救助活動を行うための技術として期待されている[2]。PS-LTEの技術として、コアネットワークを介さずに端末間 (Device to Device: D2D) での直接通信を可能とするProximity Services (ProSe) [3]の仕様が進められている。日本でもPS-LTEの実現に向けてワーキンググループが結成され、議論が進められている[4]。

我々はこれまで、ETWSにProSeを統合した同報配信システムを提案してきた[5]。文献[5]では、北海道の函館市に津波が到達することを想定し、地震によって一部のeNBが機能停止している状況で、気象庁が配信元である津波警報を配信し、津波警報を受信した者から津波避難施設への移動行動を再現している。そのような状況下で、ProSeを用いてETWSの配信範囲を拡大させるようにMobile Ad-hoc Network (MANET) とDelay Tolerant Networking (DTN) とを併用し、限られた時間内で津波警報の到達率が向上することを確認している。しかし、ETWSによる配信メッセージの到達範囲は制御していないため、配信が不要なエリアへ緊急速報が拡散してしまう可能性があり、災害・避難情報のような配信エリアが細かく分けられている緊急速報を配信することに適していない恐れがある。例えば、災害・避難情報は各地方公共団体から配信されているため、残存eNBと端末の位置関係によっては、受信した災害・避難情報が受信時の端末が位置する地方公共団体に適した災害・避難情報ではないことが考えられる。

本研究では、緊急速報の配信範囲を制御し特定のエリアのみへ配信可能な災害時同報配信手法を提案し、我々が検討しているETWSにProSeを統合した同報配信システムの拡張を行う。地理的な条件に基づくマルチキャスト手法であるgeocast[6]の考え方を適用することで、結果として無駄になる緊急速報の配信トラフィックを抑制し、到達範囲の制御を可能とする。対象とする配信範囲内であってカバレッジ外の端末へはProSeを用いた伝達が行なわれるが、その際のメッセージ配信速度を向上させるために、ETWSの配信エリアを残存eNBの位置関係によって変更する手法を提案する。このような、一部のeNBが機能停止している状況をネットワークシミュレータで再現し、本手法を適用した場合の災害・避難情報の到達率と通信量および到達時間について評価する。

<sup>†1</sup> 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>†2</sup> 公立はこだて未来大学 システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

## 2. 災害時における D2D 通信の研究

災害時に通信インフラの一部あるいは全てが停止した状況で、代替ネットワークを構築するために、マルチホップ D2D 通信を用いた研究がいくつかある。

### 2.1 マルチホップ D2D 通信の到達性分析

上山らは、マルチホップ D2D 通信成功確率を分析した結果を報告している[7]。マルチホップ D2D 通信の疎通性とトラフィックオフロード効果を最大化させるためには、D2D 通信携帯端末の比率、最大許容ホップ長のパラメータ設定が重要であると述べている。そのため、マルチホップ D2D 通信成功確率の簡易な近似式を導出し、東京都の新宿区を想定した震災発生時の人々の避難行動をマルチエージェントシミュレーションで再現した。マルチエージェントシミュレーションで得られた携帯端末の位置と通信データを用いて、マルチホップ D2D 通信成功確率を分析した。

### 2.2 MANET と DTN を混合させた情報共有

Nishiyama らは、MANET と DTN を混合させたネットワークを用いたマルチホップリレー通信システムを提案している[8]。情報の転送方法は、Wi-Fi Direct による約 100m のマルチホップ D2D 通信を想定している。宛先までの経路が見つからないときや、電池残量が一定以下のとき、あるいは加速度センサで移動が激しい端末であると判断した状況では DTN を用いた通信を行う。それ以外の宛先までの経路が見つかる状況では MANET を用いる。また、メッセージを保持した端末が MANET に合流する状況では、宛先までの経路の中で最もホップ数が少ない経路を自動的に選択する。このシステムについて仙台市街地で実機を使った実験を実施した。その結果、スマートフォン 27 台を経由して、総距離 2.5km 先の端末へのメッセージの送信に成功している。

### 2.3 すれ違い通信による避難誘導システム

藤原らは、DTN によるすれちがい通信を用いた避難誘導システムを提案している[9]。この避難誘導システムは、避難者同士が遭遇するときにすれちがい通信を行い、互いの持っている通行不能道路の情報を自動的に共有し、避難所までの経路案内を避難者に行う。この避難誘導システムは DTN の蓄積・運搬・転送 (Store-carry-forward) 通信方式を採用し、すれちがい通信による情報共有の方法は、Bluetooth による数メートル～数十メートルの範囲内の通信を想定している。また、被災地情報共有の方法として epidemic routing を採用している。epidemic routing とは、出会った際に互いの持っていない情報をすべて共有することである。この避難誘導システムについて、渋滞を考慮しない場合と、渋滞を考慮した場合についてネットワークシミュレータを用いた性能評価を行っている。その結果、すれちがい通信による情報共有の効果により、平均・最大避難時間の両方が明らかに減少することを確認している。

## 2.4 既存研究における課題

文献[8]や文献[9]のシステムは、利用者が各自でアプリケーションを起動するシステム構成である。一方、ETWS における同報配信システムは利用者の操作の介在なしに自動的に動作する。配信システムの構成において利用者の操作を待つ受動的なステップを加えてしまうと遅れや操作漏れによって最終的にはカバレッジの拡大を妨げる要因となってしまうため、端末側が自律的にアプリケーションを起動するような工夫が必要である。

## 3. ETWS に ProSe を統合した配信システム

我々は、LTE ネットワーク上で運用している同報配信システムの ETWS に、D2D 通信を可能とする ProSe を統合させ、図 1 に示すような、カバレッジ外の端末にも緊急速報を配信可能な同報配信システムの提案をしている[5]。我々のシステムと今回の提案の基礎となる LTE における既存の配信エリア指定方式を説明する。さらに 2.4 節で述べた課題について我々の配信メカニズムの能動化手法による対処を説明する。

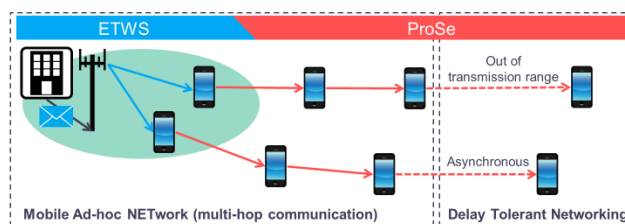


図 1 ETWS に ProSe を統合した同報配信システム

### 3.1 Earthquake and Tsunami Warning System

ETWS は、LTE ネットワークの Control Plane (C-Plane) 上で動作する同報配信システムである。C-Plane とは、通話やメールなどのパケット送受信を制御するための制御部のことを言う。一方、通話やメールなどのパケット自体を User Plane (U-Plane) という。ETWS は従来の緊急速報を 2 つのメッセージに分離して配信している。Primary Notification は、極めて迅速性が必要な情報を理論上実現可能な最短時間で端末に配信する。Secondary Notification は、震度や震源地などの第 1 報を補足する詳細な情報を端末に配信する。

#### 3.1.1 ETWS の配信エリア指定方式

配信エリア指定方法は図 2 (i) ~ (iii) の 3 種類あり、Cell 単位ごと、Tracking Area (TA) 単位ごと、Emergency Area (EA) 単位ごとに指定する方法がある。Cell 単位レベルの配信エリアは Cell ID のリストから成り立っており、指定された Cell のみに配信される。TA 単位レベルの配信エリアは Tracking Area Identity (TAI) のリストから成り立っており、TAI に含まれる Cell に配信される。EA 単位レベルの配信エリアは各 Cell に EA ID を割り振り、該当する EA のみに配信される。緊急速報は主に EA 単位ごとに指定され

ている[10].

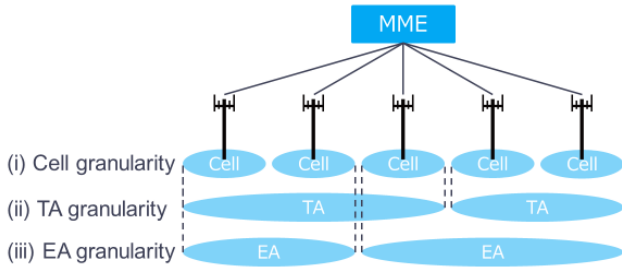


図 2 ETWS の配信エリア指定方式

### 3.1.2 ETWS のネットワーク構成と配信方式

ETWS のネットワーク構成を図 3 に示し、端末に緊急速報が到達するまでの流れを説明する。(i) 気象庁や地方公共団体などの Cell Broadcast Entity (CBE) が緊急情報の要求を Cell Broadcast Center (CBC) に送信する。(ii) CBC が要求を受信すると、緊急速報のメッセージ作成と配信エリア特定を自動的に行う。(iii) CBC は特定したエリアの Mobility Management Entity (MME) に対して、緊急速報のメッセージ内容と配信エリア情報を載せた Write-Replace Warning Request を送信する。(iv~v) MME は Write-Replace Warning Confirm を CBC に送信し、CBC は CBE に緊急情報の応答を送信する。(vi~vii) MME は受信した配信エリア情報を確認し、該当する eNB に Write-Replace Warning Request を送信する。(viii) 要求を受信した eNB は Write-Replace Warning Request を基に配信エリアを決定する。(ix~x) eNB はページング信号である ETWS indication を送信し、システム報知情報の System Information Block (SIB) を用いて緊急速報を送信する。Primary Notification は SIB10, Secondary Notification は SIB11 に該当する。端末は緊急速報を含んだ SIB を受信すると、アラートとポップアップを実行する処理となっている[10].

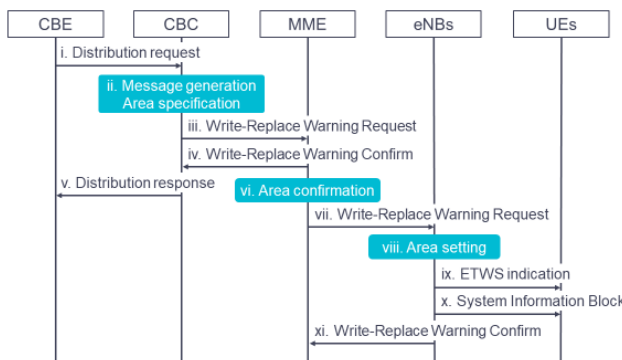


図 3 ETWS のネットワーク構成と配信方式

### 3.1.3 ETWS のチャンネル動作

緊急速報が eNB から端末に到達するまでのチャンネル動作を図 4 に示す。eNB が Write-Replace Warning Request を受信すると、Paging Channel (PCH) を用いて ETWS indication を端末に送信する。端末は ETWS indication を受信すると、

Broadcast Control Channel (BCCH) を用いて緊急速報の受信を開始する。このとき、SIB 全体のスケジューリング情報を載せた SIB1 を受信することで、SIB10 および SIB11 を受信することが可能となる。端末は SIB10 および SIB11 を確認すると、アラートとポップアップでユーザに通知する。また、重複した SIB は通知しないようになっている[10].

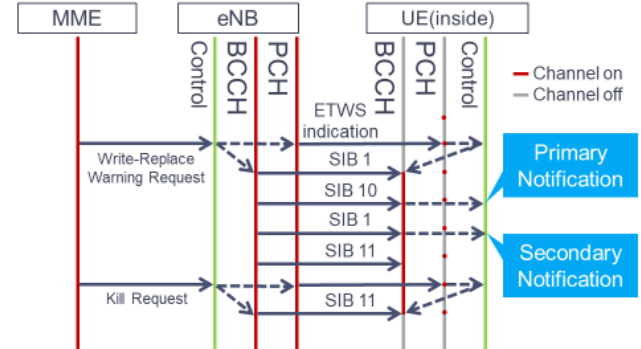


図 4 eNB と UE 間のチャンネル動作

### 3.2 Proximity Services

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では LTE のアプリケーション周波数帯域を用いて eNB を介さない D2D を可能とする ProSe の仕様化を行っている。ProSe は近接端末とのデータ通信や音声通話などが可能となる Direct communication および、周辺の端末発見やサービス検出が可能となる Device discovery の 2 つ機能から構成されている。本研究ではメッセージ転送のため、Direct communication を利用する。

Direct communication における eNB と端末間や端末同士の同期方法について図 5 に示す。eNB とカバレッジ内端末では、eNB が送信する同期信号 PSS/SSS と同期して D2D 通信の送受信を行う。カバレッジ内の端末とカバレッジ外の端末間やカバレッジ外の端末同士では、カバレッジ内外の端末が 40ms 周期で送信する PSSS/SSSS (Primary/Secondary Sidelink Synchronization Signal) と同期して D2D 通信の送受信を行う。カバレッジ内の端末が eNB の同期タイミングに基づき PSSS/SSSS を送信することで、カバレッジ外の端末も eNB の同期タイミングで Direct communication を行うことができる。Direct communication では、PSSS/SSSS とともに PSBCH (Physical Sidelink Broad-

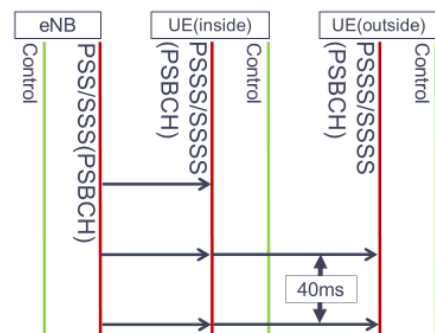


図 5 ProSe における端末間の同期方法

cast Control Channel) を用いて D2D 用フレーム番号やシステム帯域幅, TDD (Time Division Duplex) UL/DL サブフレーム構成などを通知する[11].

### 3.3 ETWS への ProSe の統合

ETWS は U-plane ではなく C-plane を利用して緊急速報を端末に配信している. 端末は C-plane で配信された緊急速報を同様に C-plane 上で拡散することが通信効率を維持するために望ましいと考えられるため, C-Plane 上で SIB の送受信が可能である ProSe を採用した.

ETWS に ProSe を統合させた同報配信システムの配信方式を図 6 に示し, カバレッジ外の端末に緊急速報が到達するまでの流れを説明する. 従来の ETWS と同様に, MME は Write-Replace Warning Request を配信エリアに該当する eNB に送信する. 要求を受信した eNB はメッセージを基に配信エリアを決定し, 同報配信を行う. ここで, カバレッジ内の端末はカバレッジ外の端末とチャンネルが確立されていれば, PSBCH を用いて SIB10 および SIB11 をカバレッジ外の端末に送信する. また, Write-Replace Warning Request が解除されてからも, カバレッジ外の端末に対して緊急速報の到達率を上げるため, 緊急速報に D2D 通信用の有効期限 (Timeout 値) を加える. Timeout 値を加えることで, 価値のない古いメッセージを自動的に破棄することが可能となり, 不要な緊急速報の散在を防ぐことができる. そのため, 緊急速報の鮮度を保つことを可能とした DTN の epidemic routing が運用可能となる.

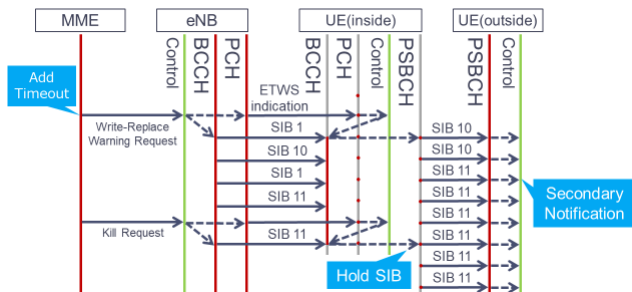


図 6 ETWS に ProSe を統合したシステムの配信方式

### 3.4 ProSe の能動化方式

2.4 節で述べた課題を解決するため, ProSe の能動化方式について検討する.

#### 3.4.1 ProSe 同期信号の受信タイミング

端末のセルサーチは, 端末の電源 ON 時や端末がカバレッジ外へ移動したときにおいて行われる. 端末は eNB から送信される同期信号の PSS/SSS を検知し, ネットワークに端末情報を登録する. このとき, D2D 用の同期信号である PSSS/SSSS も探索することで, 随時 D2D 通信に切り替えることが可能であると考えられる. しかし, 災害が発生していない状況で, 山間部やトンネルなどに移動した場合にも, PSSS/SSSS の探索を開始してしまうことは端末の負荷が増加するため望ましくない. そのため, 山間部やトンネルな

どでセルラーネットワークの電波が無い場合と, 災害等が原因でセルラーネットワークの電波が無い場合を端末が自律的に判断する必要がある.

本研究では, 緊急地震速報が配信された後の津波警報や災害・避難情報の配信を想定している. そのため, 緊急地震速報を受信した端末は PSS/SSS だけでなく, PSSS/SSSS の受信も一定期間行うようにする.

#### 3.4.2 ProSe 同期信号の送信タイミング

eNB は緊急速報を配信した場合, 図 3 の xi に示すように Write-Replace Warning Confirm を MME に送信する. しかし, 地震などが原因で eNB が機能停止していた場合は, Write-Replace Warning Confirm を送信することが不可能である. そのため, MME は Confirm が返ってこなかった eNB を機能停止した eNB と判断する. この情報を ProSe のために必要なネットワーク上の論理機能である ProSe Function が集約し, 機能停止したエリアに合わせて, 同期信号を出すように端末へ Request を送信する.

## 4. 課題: 緊急速報の行政境界を越えた拡散

我々は緊急速報の配信方法として, マルチホップ D2D 通信による MANET や DTN による epidemic routing を採用してメッセージを拡散させ緊急速報の受信率を向上させたが, 配信範囲は制御していなかった. そのため, 災害・避難情報のような地方公共団体が配信元として緊急速報を送信する場合, 配信元とは異なる地方公共団体の地理的境界内に位置する端末が意図とは異なる緊急速報を受信してしまう可能性がある. こういった状況は行政区画の境界付近で eNB が故障した場合に発生する. 図 7 のように, 端末の現在位置と配信元 eNB の行政区画が一致していない場合, 本来とは異なる地方公共団体からの緊急速報を受信してしまう. さらに, 各地方公共団体が配信するタイミングによっては, 本来の意図とは異なる地方公共団体からの緊急速報を先に受信してしまい, 受信者の混乱を招く恐れがある. したがって, 端末の現在位置と異なる地方公共団体から配信された緊急速報は通知せずに破棄する必要がある.

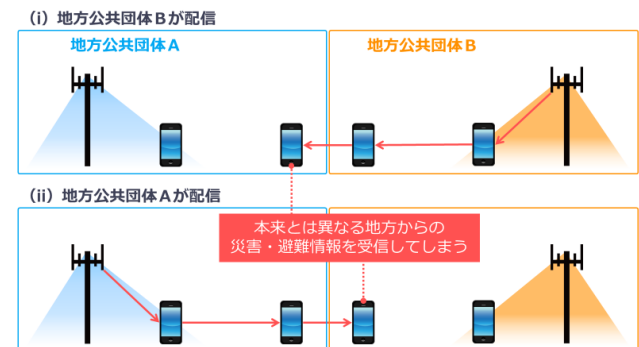


図 7 意図とは異なる緊急速報の受信

## 5. 災害時同報配信における配信範囲の制御手法の提案

4章で述べた課題を解決するため、災害時同報配信における配信範囲の制御手法を提案する。まず特定のエリアへメッセージを送信するためのルーティング手法である geocast の適用を検討する。到達速度の向上のために、機能停止した eNB と残存 eNB の位置関係から ETWS の配信エリアの変更方式を検討する。これらの手法を検討することで、通信量の削減と到達時間の短縮を図る。

### 5.1 geocast (static zone scheme algorithm) の適用

配信が必要であるエリアでは緊急速報をできる限り拡散し、配信が必要でないエリアでは緊急速報を破棄したい。そこで、geocast の directed flooding 方式の static zone scheme algorithm を検討する。Directed flooding は、各端末が GPS などを利用して位置情報を所持していることが条件である。static zone scheme algorithm は、送信エリアと forwarding zone を設定することで、送信エリアまでメッセージを転送する方式である。forwarding zone 内でメッセージを受信した端末は、メッセージの中継端末となりメッセージの拡散を行う。送信エリア内でメッセージを受信した端末は、メッセージの拡散とポップアップ通知を行う。それ以外のエリアでメッセージを受信した場合は、ユーザに通知せずにメッセージを破棄する。

図 8 を用いて地方公共団体 B が緊急速報を配信する状況を例に geocast の有効性を検討する。上下に区切る濃い青の線が 2つの行政区域の境界を表しており、制御すべき配信エリアの境界である。青色のセル A が地方公共団体 A の配信エリアに割り当てられているセルを示し、橙色のセル B が地方公共団体 B の配信エリアに割り当てられているセルを示す。赤色のセル A は地方公共団体 A に属していた機能停止しているセルを示す。緑色のセル B は地方公共団体 B に属していた機能停止しているセルを示す。(i) は既存ルーティングを用いて緊急速報を配信するときの状況を表しており、赤色のセル A はカバー範囲に存在する端末にも緊急速報を配信してしまう。(ii) は geocast を適用させて緊急速報を配信するときの状況を表しており、緑色のセル T が geocast の送信エリアとなるため、地方公共団体 A への拡散を防ぐことが可能となる。

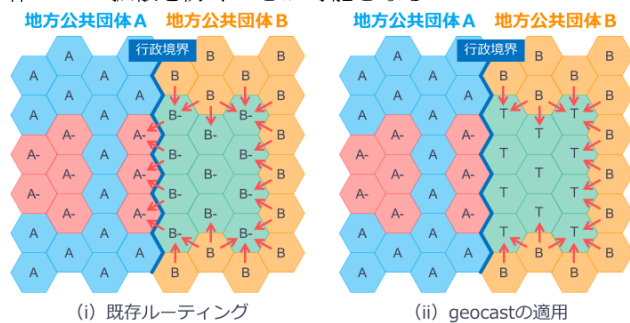


図 8 geocast の有効性

### 5.1.1 端末側の forwarding zone と送信エリアの判定方式

我々のシステムにおける geocast の適用を具体的に述べる。CBC は各 eNB の位置座標とカバーエリアを把握しているものとする。機能停止した eNB の位置座標とカバーエリアを forwarding zone とする。そのうち、緊急速報を配信したいエリアを送信エリアとする。それらの情報を緊急速報に加えて配信し、端末が自身の位置情報と照合させることで、geocast が可能となる。

### 5.2 ETWS の配信エリア変更による配信速度向上

前項の通りに geocast を適用した際に配信速度が低下する可能性が懸念される。範囲を制御しない従来の配信手法ではカバーレンジ外のエリアに周囲の全方向から中継メッセージが拡散され流入していたのに対し、範囲を制御したことにより境界の近傍では隣接セルからのメッセージの流入が減少することで、特に機能停止範囲が広い場合には行政境界付近の端末へのメッセージ到達速度の低下が予想される。このことは図 8 (ii) において緑の配信対象エリアの周囲には、(i) と比べて赤の矢印の数が少ないことから見て取れる。

この問題を我々は ETWS の配信エリアを変更することで解決する。ETWS の配信エリア特定は CBC が行っているため、変更時も CBC が行うようにする。CBC の配信エリア変更方式を以下に示す。機能停止している eNB の隣接している eNB が ETWS の配信エリアに指定されているかを確認する。指定されていない場合は、隣接している eNB を配信エリアに追加する。この動作を機能停止している eNB の数だけ行う。

図 9 を用いて地方公共団体 B が緊急速報を配信する状況を例に配信エリアを変更することの有効性を考察する。

(i) は配信エリアを変更し既存ルーティングを用いて緊急速報を配信するときの状況を表しており、地方公共団体 A に属する赤色のセル A に存在する端末へ緊急速報を送信してしまう。(ii) は配信エリアを変更し geocast を適用させて緊急速報を配信するときの状況を表しており、赤色のセル F が geocast の forwarding zone であり、緑色のセル T が geocast の送信エリアとなるため、地方公共団体 A への拡散を防ぐことが可能となる。

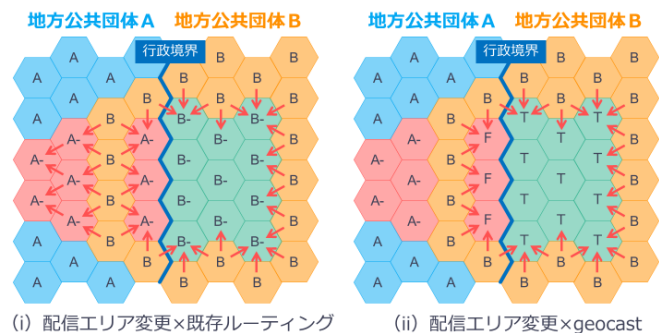


図 9 配信エリア変更の効果が表れる例

### 5.3 ETWS の配信エリア変更タイミングと配信方式

ETWS の配信エリアを機能停止した eNB の位置情報をもとに決定する。MME は図 10 の vii と xi に示すように、該当する eNB に Write-Replace Warning Request を送信し、配信が完了した eNB から Write-Replace Warning Confirm を受信する。このとき、Write-Replace Warning Confirm を受信できなかった eNB を機能停止しているとみなす。(xii) MME は機能停止している eNB の位置情報を eNB fault list として集約し、CBC へ送信する。(xiii) CBC は受信した eNB fault list をもとに、配信エリアをあらかじめ変更する。また、CBC は該当する MME に Write-Replace Warning Request だけでなく、forwarding zone と送信エリアを付与して送信する。MME は該当する各 eNB へ Write-Replace Warning Request と forwarding zone および送信エリアを送信する。eNB はメッセージと forwarding zone および送信エリアを端末へ同報配信する。

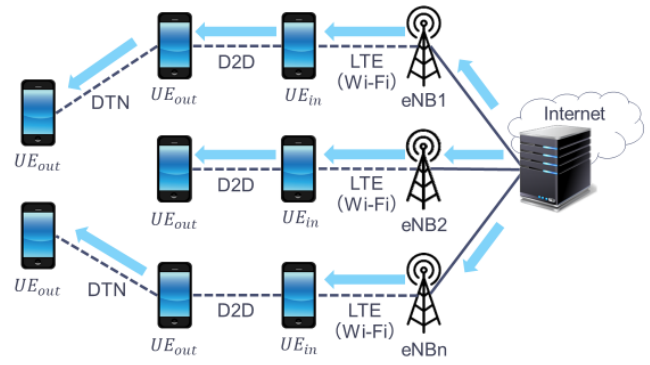


図 11 実験のネットワーク構成

表 1 システムのシミュレーションパラメータ

パラメータ	仮定
UE の歩行速度	5km/h
UE の歩行パターン	shortest distance to the shelter
パケットサイズ	2byte
eNB の伝送範囲	半径 250m
D2D の伝送範囲	半径 250m

本実験の対象地域は、北海道の函館市と北斗市の行政境界近辺を想定し、その周辺地図を図 12 に示す。青線は行政境界を示しており、赤線は津波到達境界を示している。青線よりも西側が北斗市であり、青線よりも東側が函館市である。緑マークは津波避難施設を示す。eNB は図 12 の右図のように配置する。0 から 14 番のセルが北斗市の配信エリア、15 から 30 番のセルが函館市の配信エリアに割り当てられているとする。

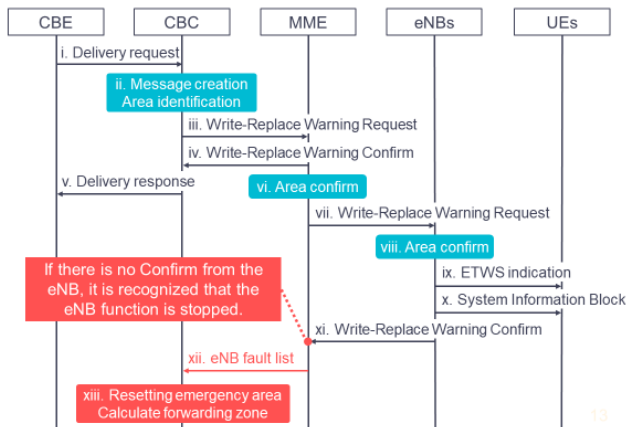


図 10 ETWS の配信エリア変更方式

## 6. 評価実験

北海道函館市と北斗市の行政境界に津波が到達することを想定し、地震によって一部の eNB が機能停止している状況を再現する。その状況下で、災害・避難情報を受信した者から徒歩で津波避難施設へ移動する行動を再現し、提案システムの有効性を示す。本実験では、既存ルーティングからの到達率の維持を基軸と考え、geocast の適用に伴う通信量と配信エリアの変更に伴う配信速度についての評価を行う。

### 6.1 実験構成

ネットワークシミュレータ ns-3[12]上に図 11 のようなネットワークを構成し、シミュレーションを行う。ns-3 では ProSe のプロトコルが未実装であるため、Wi-Fi Direct を代用する。また、表 1 にシミュレーションパラメータを示す。

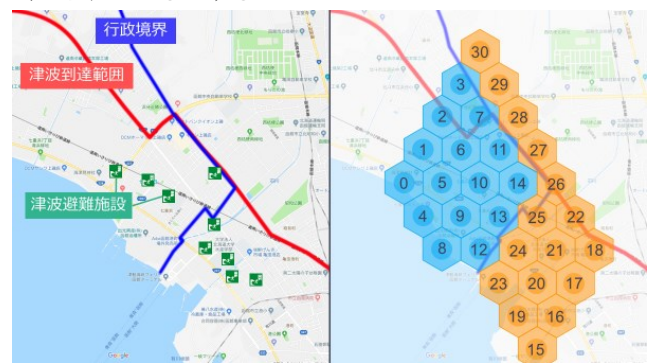


図 12 函館市と北斗市の行政境界と eNB の配置

次に、端末の配置と移動モデルについて述べる。LTE 対応スマートフォンの普及率は 70%であり、函館市の人口密度は 389 人/km<sup>2</sup>であるため、単位 eNB あたり 68 個配置する。北斗市の人口密度は 118 人/km<sup>2</sup>であるため、単位 eNB あたり 21 個配置する。端末の移動モデルは Google Maps API の walking モードを利用し、最寄りの避難所へ最短経路で移動する。

## 6.2 実験手順

本実験は、約 50% の eNB が機能停止している環境において、地方公共団体の北斗市が災害・避難警報を配信することを想定する。北斗市に該当する eNB はカバレッジ範囲内にいるすべての端末に災害・避難情報を 1 回だけ配信する。災害・避難情報を受信した端末は通信範囲内にいるすべての端末に災害・避難情報を送信する。このトポロジ全体の通信が終わるまでの到達率、拡散率、通信発生回数および最大到達率に達するまでの到達時間を測定する。北斗市が災害・避難警報を配信したときは、北斗市に存在する端末が緊急速報を受信した数の割合を到達率と定義し、函館市に存在する端末が緊急速報を誤って受信し、利用者へポップアップ通知を行った数の割合を拡散率と定義する。従来方式ではカバレッジ外の全端末に配信されることになるため、その場合の拡散率は函館市側のカバレッジ外端末の比率に等しくなる。

実験シナリオをもとに、以下の 3 方式について、残存 eNB の配置をパラメータとして、繰り返し実験を行う。残存 eNB の配置パターンを表 2 に示す。

- (1) 既存ルーティングによる配信
- (2) geocast の適用による配信
- (3) geocast の適用と配信エリアの変更による配信

表 2 残存 eNB の配置パターン

	残存 eNB 番号
パターン 1	0,2,4,6,8,10,12,14,15,17,19,21,23,25,28,30
パターン 2	8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,21,22,27,28
パターン 3	0,1,2,3,4,5,6,7,21,22,23,24,25,26,29,30

## 7. 実験結果と考察

実験の結果と考察を述べる。すべての eNB 配置パターンにおいて、同じような傾向の結果が得られたため、eNB 配置パターン 1 を例に考察をする。

### 7.1 通信量に関する実験結果と考察

方式 (1) ~ 方式 (3) において、到達率、拡散率および通信発生回数の測定結果を表 3 に示す。すべての実験において、到達率が 99% を超え、到達率が維持できていることを確認した。しかし、既存ルーティングによる配信方式 (1) は、方式 (2)、(3) に比べ、拡散率および通信発生回数が大きくなっていることが明らかとなった。これは、geocast を適用させたことにより、効率的な通信が行われていたと考えられる。また、geocast の適用による配信方式 (2) よりも、geocast の適用と配信エリアの変更による配信方式 (3) の通信発生回数が増加したことに関しては、配信エリアを変更したことに伴い、メッセージの中継端末が増加したからだと考えられる。

表 3 通信量を評価するための実験結果

	方式 (1)	方式 (2)	方式 (3)
到達率	99.6825%	100%	100%
拡散率	52.9412%	0%	0%
通信発生回数	27593	4740	4888

### 7.2 配信速度に関する実験結果と考察

方式 (1) ~ 方式 (3) において、最大到達率に達するまでの到達時間の結果を表 4 に示す。geocast の適用による配信方式 (2) よりも、geocast の適用と配信エリアの変更による配信方式 (3) を行った場合のほうが、最大到達率に達するまでの到達時間が速くなっていることが確認できた。配信エリアを変更したことによって、メッセージの送信元が増えたことや、ポップ数の短縮が可能となったため、到達時間が短縮できたと考えられる。

表 4 配信速度を評価するための実験結果

	方式 (1)	方式 (2)	方式 (3)
到達時間	0.004638	0.004638	0.00390207

### 7.3 考察のまとめ

定義した残存 eNB の配置パターンにおいて、方式 (3) の結果に示されるように ETWS の配信エリア変更方式によって、geocast のみ適用した方式 (2) に比較し最大到達率に達するまでに要する時間の短縮が確認された。方式 (2)、(3) の結果に示されるように geocast の適用によって、拡散率は 0 となっており、配信範囲の制御の効果が確認された。

## 8. まとめ

本稿では、我々が検討している ETWS に ProSe を統合した同報配信システムにおいて、災害時同報配信における配信範囲の制御手法を提案した。地理的な条件に基づくマルチキャスト手法である geocast を適用させて配信範囲を制御可能とし、ETWS の配信エリアを残存 eNB と行政境界の位置関係によって変更する手法を考案し組み込むことで配信速度の向上を実現した。本拡張により、地方公共団体が配信元の緊急速報の到着率を維持しつつ、必要ではないエリアへの拡散を抑制し、配信速度を向上させる結果がシミュレーションによって得られた。

今後の課題として、評価実験の試行回数が少ないため、試行回数を増やし詳細な分析を行う。また、配信エリアを変更することの有効性が見られたため、適切な配信エリア変更方式や、geocast を適用する際に増加するパケットの削減方法を検討する。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP17K00127 の助成を受け

たものです。

## 参考文献

- [1] 3GPP, TS 22.168 (V9.0.0). Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) requirements; Stage 1 (Release 9). 2008.
- [2] 山崎智春, 浦林宏行, 榮祝剛洋, 安達裕之, 福田憲由, 松本直久, 藤代真人, 守田空悟, 童方偉. 3GPP LTE における D2D 技術の標準化概要と実用化への課題. 電子情報通信学会論文誌 B. 2016, vol. J99-B, no. 10, p. 926-937.
- [3] 3GPP, TR 22.803 (V12.1.0). Feasibility study for Proximity Services (ProSe) (Release 12). 2013.
- [4] “「公共用周波数等ワーキンググループ」運営方針（案）”. [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000519759.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000519759.pdf), (参照 2018-01-15).
- [5] Musaka, Y., Nakamura, Y. and Inamura, H.. A Broadcast Distribution System for Delivering Emergency Bulletins to User Equipment Outside of eNBs Coverage. ICMU2017. 2017, p. 164-169.
- [6] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya. Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms. IEEE WMCSA. 1999.
- [7] 上山憲昭, 石橋圭介, 星合擁湖. [依頼講演] 災害時におけるマルチホップ D2D 通信の到達性分析. 電子情報通信学会技術研究報告. 2017, vol. 117, no. 21, p. 49-54.
- [8] Nishiyama, H. et al.. Relay-by-smartphone: realizing multihop device-to-device communications. IEEE Communications Magazine. 2014, vol. 52, no. 4, p. 56-65.
- [9] 藤原明広, 巳波弘佳. すれちがい通信を利用した災害時避難誘導法. 電子情報通信学会論文誌 B. 2013, vol. J90-B, no. 6, p. 580-588.
- [10] I. Tanaka et al.. Advanced Warning Message Distribution Platform for the Next-generation Mobile Communication Network. NTT DOCOMO Technical Journal. 2009, vol. 11, no. 3, p. 20-26.
- [11] S. Yasukawa et al.. D2D Communications in LTE-Advanced Release 12. NTT DOCOMO Technical Journal. 2015, vol. 17, no. 2, p. 56-64.
- [12] “ns-3”. <https://www.nsnam.org/>,(参照 2018-01-15).