

カバレッジ外の端末へ緊急速報を配信するための Proximity Services を用いた同報配信システム

六平豊¹ 中村嘉隆² 稲村浩²

概要: 地震や津波などの大規模な災害時には携帯電話基地局の故障によって一部地域の人々が電話, メール, 緊急速報などのモバイルサービスを利用できない場合がある. 特に被災直後はモバイルサービスの利用不能によって, 身の安全を守るために必要な情報収集が困難となる虞がある. そのため, 被災時に停止したモバイルネットワークの代替ネットワークを迅速に構築することが重要となる. 先行研究として代替ネットワークの構築手法について数多くの検討がされているが, 緊急地震速報や津波速報などの緊急速報を配信する手法は検討されていない. 3rd Generation Partnership Projectは, 非常時の無線通信システムにLong Term Evolution仕様で携帯電話基地局を介さない近接端末間通信を可能とするProximity Servicesの仕様化を進めている. 本研究では既存の同報配信システムであるEarthquake and Tsunami Warning SystemにProximity Servicesを統合させ, カバレッジ外の端末を対象に緊急速報を配信可能である同報配信システムの提案を行う. 本稿では, 本提案システムについての評価実験を実施し, カバレッジ外の端末に対して緊急速報を配信できることを確認した.

A broadcast distribution system using Proximity Services for delivering emergency bulletins to User Equipment outside the eNB coverage area

YUTAKA MUSAKA¹ YOSHITAKA NAKAMURA² HIROSHI INAMURA²

1. 背景

近年の携帯電話やスマートフォン等の携帯移動端末(端末)の普及は著しく, 2014年のスマートフォンの人口普及率は64.2%であった[1]. 近年のスマートフォンはLTE(Long Term Evolution)という通信規格に基づくモバイルネットワークにて運用されている. スマートフォンは外出中でも自由に通話や情報検索が可能となり, 非常に便利な通信機器となっている. しかし, スマートフォンはインターネットとの中継機となっている携帯電話基地局の電波に依存している問題がある.

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(eNB)が機能停止した[2]. eNBが機能停止したことで, 該当エリア内のスマートフォンは電話やメールなどの通信を要する機能が利用できなくなった. また, 災害時は緊急地震速報や津波警報などをスマートフォンへ迅速に配信する緊急速報[3]というサービスもあるが, 通信インフラの一部が停止している状況ではそのようなサービスも十分に機

能できなくなると想定される. 本稿では, 図1に示すようにeNBとの通信が不可能である領域をeNBカバレッジ外と呼ぶ.

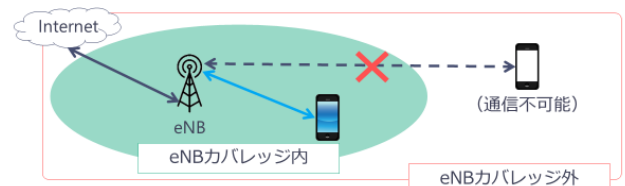


図1 eNBのカバレッジエリアについて

そのような大規模災害時においてeNBカバレッジ外のスマートフォンを機能停止させないために, 大規模災害時の対策方法が検討されている. 過去の事例からeNBが故障する原因は, 停電, 損壊, 伝送路の遮断の3つであるとわかっている[4]. 停電時は停電時のための補助バッテリーをeNBに搭載することで, 電力不足に陥ってもネットワークの維持が可能である. 損壊・伝送路の遮断時は, eNBの機能を搭載した車両を任意の場所に配置させることで, ネットワークの回復が可能である. これら2つの方法では, 補助バッテリーの起動は自動的に行われるため, eNBの即時回復が可能であるが, 車両の配置には準備時間が必要であ

1 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
2 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

るため、ネットワークの回復には時間がかかるという問題がある。

ネットワークが回復できない状況で、代替ネットワークを構築する従来技術として、スマートフォンに標準で搭載されている Wi-Fi や Bluetooth などの端末間直接通信を可能とする D2D (Device to Device) 技術を用いた MANET (Mobile Ad-hoc NETwork) [5] や DTN (Delay Tolerant Networking) [6] がある。MANET は eNB や有線網に依存せず、各端末が宛先に送受信するための中継端末としても機能する自立分散型のネットワークである。DTN はデータの複製をネットワーク内に散在させ、端末の移動を利用することで宛先へとデータを転送する技術である。しかし、これらの技術はインターネットから隔離されている環境での情報共有手法であり、eNB から配信される緊急速報を配信することは検討されていない。

そこで、大規模災害の影響で緊急速報の配信が困難である環境を想定し、eNB カバレッジ外の端末にも緊急速報を配信することを目的とする。そのために、既存の同報配信システムである ETWS (Earthquake and Tsunami Warning System) [7] に D2D 技術である ProSe (Proximity Services) [8] を統合させたシステムを提案する。また、提案システムについての評価実験を実施することで、有効性を示す。

2. 関連研究

大規模災害を想定し、MANET や DTN を利用した災害耐性が考えられているネットワーク・システムについて述べる。

2.1 MANET と DTN を混合させた情報共有手法

端末がインターネットに接続されていない状況でも、離れた場所に存在する端末と通信を可能にする研究として、西山らは MANET と DTN を混合させたネットワークを提案している[9]。

この MANET と DTN の混合ネットワークはスマホ de リレーと称し、その 2 つの通信技術を環境に合わせて切り替えながらメッセージを宛先まで転送することが特徴である。情報の転送方法は、Wi-Fi Direct による数十～百メートル範囲内の通信を想定している。通信技術を切り替える手順を以下に示す。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。

西山らは、仙台市街地でスマホ de リレーの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。

2.2 すれ違い通信による避難誘導システム

通信インフラが機能していない状況で、被災者を避難所へ安全に誘導させるための研究として、藤原らは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[10]。

避難誘導システムの手順を以下に示す。大規模災害の発生直後、各避難者は携帯電話からアプリケーションを起動し、最寄りの避難所と、現在地からそこにたどり着くための最短経路に基づいた避難経路を提案する。次に、避難者は避難途中で災害による火災や建物倒壊により通行不能となった道路に遭遇した場合、その位置情報を携帯電話に記録する(避難者による被災地情報収集)。その結果、アプリケーションは自動的に避難経路を再計算し、提示する。もし、避難者同士が出会った場合、アプリケーションはすれちがい通信を行い、互いの持っている通信不能道路の情報を自動的に共有する(避難者同士による被災地情報共有)。もし、避難経路上に通行不能道路があれば、避難経路を再計算して提示する。

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～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感染型ルーティングを採用している。感染型ルーティングとは、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。

藤原らは、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で性能評価をネットワークシミュレータで実施した。その結果、平均・最大避難時間の両方がすれちがい通信による情報共有の影響で明らかに減少することが確認している。

2.3 関連研究について

これらの手法は、災害後の地域内情報共有として有効な手法であるが、緊急速報を eNB カバレッジ外へ配信することを前提に考察を行う。

スマホ de リレーの転送方法は、通信距離が数十～百メートルの Wi-Fi Direct を利用しているため、移動し続ける端末同士の通信を維持することは困難であり、端末へメッセージが到達する時間が不明であるため、緊急速報のような迅速性が求められるメッセージの通信には適していないと考えられる。

すれ違い通信による避難誘導システムは、自分の位置情報から端末に記憶されている避難所への経路を示しているため、避難する必要の無い人々にも避難誘導をしており、渋滞の発生原因を増加させている可能性が考えられる。そこで、緊急速報を適切に配信することで被災者の円滑な避

難行動に貢献できる。また、さらなる情報共有を求めて必要以上に被災地を動き回することは危険であり、緊急速報を広く配信することは重要であるとする。

したがって、緊急速報を eNB カバレッジ外へ配信する手法を検討することは重要であり、配信情報の鮮度を考慮し、配信可能な領域を拡大させることが必要である。

3. 提案システムの検討

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 (Earthquake and Tsunami Warning System) [7]に、LTE 対応端末 (LTE 端末) で利用可能な D2D 技術である ProSe (Proximity Services) [8]を統合させ、eNB カバレッジ外の LTE 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行う。提案システムの概要図を図 2 に示す。ETWS では eNB カバレッジ内の LTE 端末にしか緊急速報を配信することができないが、ProSe を統合させることで、eNB とチャネルを確立している eNB カバレッジ内の LTE 端末を中継して、eNB カバレッジ外の LTE 端末に緊急速報を配信することが可能となる。

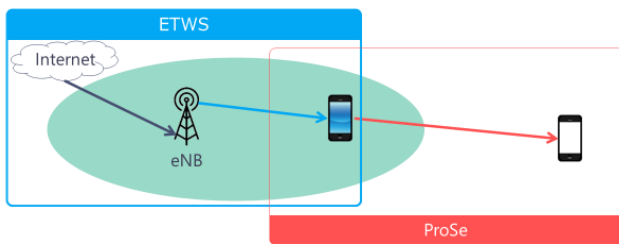


図 2 提案システムの概要

3.1 Earthquake and Tsunami Warning System

ETWS は、従来の緊急速報のメッセージを 2 つに分けて同報配信する技術である。第 1 報では極めて迅速性が必要な情報とされる「地震が来ること」を実現可能な最短時間で LTE 端末に配信する。第 2 報では震度や震源地などの第 1 報を補足する詳細な情報を LTE 端末に配信する。第 1 報は Primary Notification と呼ばれ、配信開始から約 4 秒で LTE 端末に到着する。第 2 報は Secondary Notification と呼ばれ、配信開始から約 10 秒で LTE 端末に到着する。

3.1.1 ETWS のネットワーク構成

ETWS のネットワーク構成を図 3 に示し、LTE 端末 (図中では UE と呼ぶ) に緊急速報が到達するまでの流れを説明する。気象庁が地震の初期微動を観測すると、CBE (Cell Broadcast Entity) は緊急速報のメッセージ作成と配信エリア指定を自動的に行う。それらの情報が CBC (Cell Broadcast Center) を経由して、MME (Mobility Management Entity) に転送される。MME は配信するエリアの eNB を選

択する。MME によって選択された eNB は収容しているすべての LTE 端末に緊急速報の配信を行う。配信する緊急速報は報知情報である SIB (System Information Block) によって送信する。SIB は SIB1 から SIB13 まで存在し、Primary Notification は SIB10、Secondary Notification は SIB11 に該当する[11]。LTE 端末は緊急速報を含んだ SIB を受信すると、アラームとポップアップを実行する処理となっている。

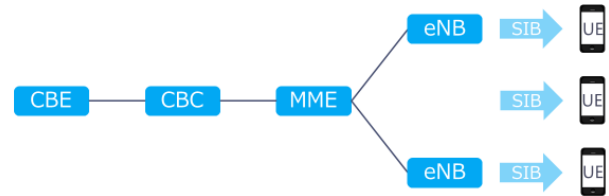


図 3 ETWS のネットワーク構成

3.1.2 ETWS シーケンス

ETWS を利用した緊急速報が LTE 端末に到達するまでの詳細なシーケンスを図 4 に示す。eNB が Write-Replace Warning Request を受信すると、PCH (Paging Channel) を用いて ETWS indication を LTE 端末に送信する。LTE 端末は ETWS indication を受信すると、BCCH (Broadcast Control Channel) 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 を受信することが可能となる。LTE 端末は SIB10 を確認し、Primary Notification として緊急速報をユーザに知らせる。コアネットワークは Primary Notification の送信を破棄した後、Secondary Notification の送信を Primary Notification と同様に行う。

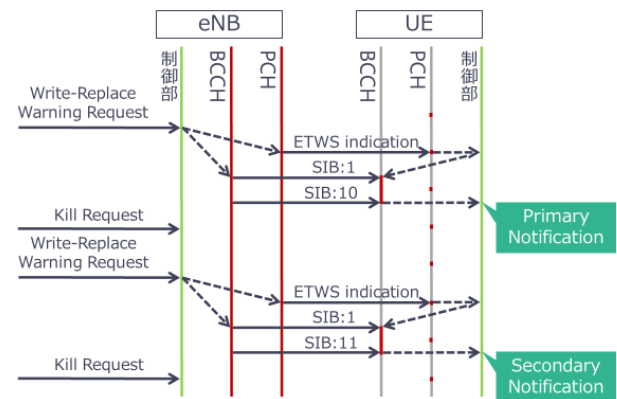


図 4 ETWS による緊急速報のシーケンス

3.2 Proximity Services

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では LTE のアップリンク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 は図 5 左のような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、図 5 右のような周辺の端

未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。また、ProSe での近接端末間通信や近接端末発見での通信距離は障害物が無い状態では 500m~1km と想定されている。本システムにおいては、D2D を行うために、Direct Communication の機能を採用する。

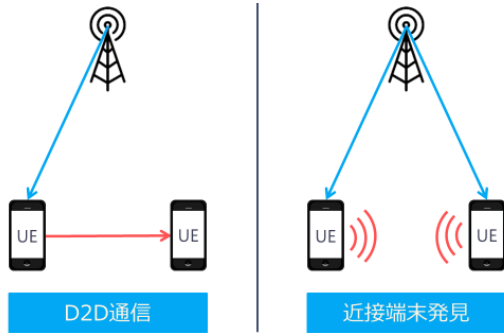


図 5 Proximity Services の概要

ProSe の 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 6 に示す。eNB カバレッジ内端末同士では、eNB が送信する同期信号の PSS/SSS に同期して D2D の送受信を行う[12]。eNB カバレッジ内の端末と eNB カバレッジ外の端末間や eNB カバレッジ外の端末同士では、eNB 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) に同期して D2D の送受信を行う。図 6 に示すように eNB 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、eNB 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 Broadcast Control Channel) により 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。

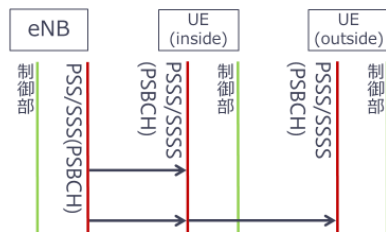


図 6 Direct communication の同期方法および通信方法

3.3 ETWS に ProSe を統合

ETWS と ProSe のチャンネル利用法が類似しているため、ETWS に ProSe を統合させた同報配信システムを検討する。ETWS は、すでに広く活用されている同報配信システムであり、ProSe は、D2D の中で通信距離が最も長く、ETWS で受信した SIB を特別な操作をせずに、転送可能である。

eNB カバレッジ外の LTE 端末が Primary Notification を受信するためには、eNB カバレッジ内の LTE 端末が eNB カバレッジ外の LTE 端末に SIB1 および SIB10 を送信することが必要である。その通信を表したシーケンスを図 7 に示す。eNB カバレッジ内の LTE 端末が eNB から ETWS indication を受信し、SIB10 を受信するまでの処理は ETWS と同じである。その状況で、eNB カバレッジ外の LTE 端末とチャンネルが確立されていれば、eNB カバレッジ内の LTE 端末は SIB1 を PSBCH に載せて、eNB カバレッジ外の LTE 端末に送信する。続けて送られてきた SIB11 を PSBCH に載せて、eNB カバレッジ外の LTE 端末に送信する。この一連の動作で eNB カバレッジ外の LTE 端末も eNB カバレッジ内の LTE 端末と同様に緊急速報が受信できると考えられる。

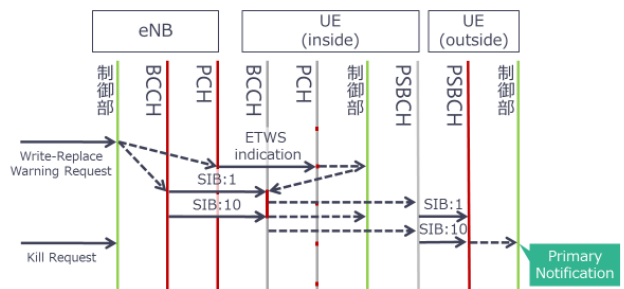


図 7 検討システムによる緊急速報のシーケンス

3.4 発生する問題

ETWS に ProSe を統合させることで発生する問題を挙げる。図 7 のシーケンスは、eNB カバレッジ内の LTE 端末と eNB カバレッジ外の LTE 端末のチャンネルがあらかじめ確立している状態を表している。それに対して、図 8 に示すシーケンスは、緊急速報の配信リクエストが解除された後に、eNB カバレッジ外の LTE 端末が eNB カバレッジ内の LTE 端末とチャンネルを確立した状況を表している。緊急速報の配信リクエストが解除されると、LTE 端末は緊急速報の情報を破棄してしまう。そのため、eNB カバレッジ外の LTE 端末に対して、緊急速報の情報を含まない SIB を送信してしまう問題が発生する。例えば、地震が原因で eNB が機能停止した場合、続報として配信される津波警報を受信することができず、避難が遅れてしまう状況が生まれる。このように、災害が進行する状況下では、緊急速報をより広い範囲に伝達することに価値があると考えられる。

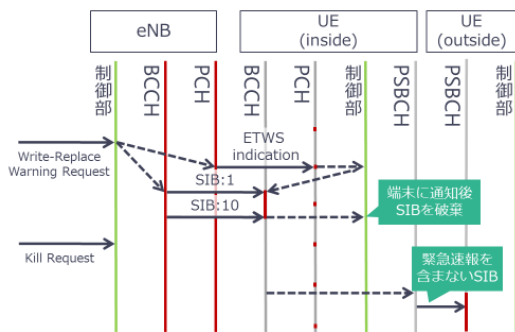


図 8 検討システムの問題点

4. 提案システム

緊急速報を受信した eNB カバレッジ内の LTE 端末の通信範囲内に含まない eNB カバレッジ外の LTE 端末には配信ができない問題があった。そこで、緊急速報の配信直後に受信することができなかった eNB カバレッジ外の LTE 端末のために DTN の感染型ルーティングを加える。情報の鮮度を保った感染型ルーティングを適用するために、2つの手法を提案する。

1 つ目の手法は、識別番号に使う ID を設ける。ProSe で接続された LTE 端末に対して保持している情報の ID を照合し、接続された LTE 端末が受信していなければ緊急速報の情報を送信する。この手法を適用することで、重複した緊急速報の受信を防ぐ。

2 つ目の手法は、配信する緊急速報に、有効期限を示す Timeout を設ける。有効期限内であれば、LTE 端末が緊急速報の情報を保持する。この手法を適用することで、受信することができなかった緊急速報が受信可能になると予想される。この手法を適用することで、不要な緊急速報の散在を防ぎ、緊急速報の鮮度を保つことを可能とする。

2 つの提案手法を追加した場合のシーケンスを図 9 に示す。配信する緊急速報に Timeout と ID を付与して eNB に配信要求を出す。そして、eNB カバレッジ内の LTE 端末が eNB から通常通りに緊急速報である SIB を受信し、Timeout に設定されている期限までは SIB の情報を LTE 端末内で保持する。eNB カバレッジ外の LTE 端末からチャネルの確立要求が出たとき、eNB カバレッジ外の LTE 端末が保持している ID を受信し、その ID に関する緊急速報を受信していなければ SIB の配信要求を eNB カバレッジ内の LTE 端末に出す。この手法を適用することで、緊急速報を受信することが可能となる。

また、地震発生後の続報は津波警報と避難情報であると予想できるため、自身の場所に被害が及ぶまでに多少の時間がある。そのため、定型文である SIB10 には適用させず、詳細な情報を載せている

SIB11 のみに適用させる。

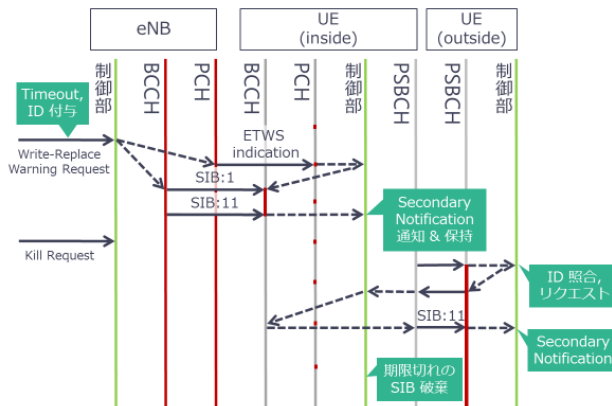


図 9 提案システムによる緊急速報のシーケンス

5. 評価実験

ETWS に ProSe を統合させ、DTN の感染型ルーティングを適用することで、eNB カバレッジ外の LTE 端末にも緊急速報が配信可能となる。そこで、提案システムを被災地で運用した場合の有効性を確認するために、ネットワークシミュレータ ns-3[13]を用いて評価を行う。

5.1 実験構成

ns-3 上に図 10 のようなトポロジを構成し、シミュレーションを行う。本実験では ProSe の伝播損失やパケットの輻輳は発生しないこととする。また、ProSe の D2D は ns-3 では未実装であるため、Wi-Fi Direct の通信距離を 500m に伸ばして代用する。また、表 1 と表 2 にシミュレーションパラメータを示す。

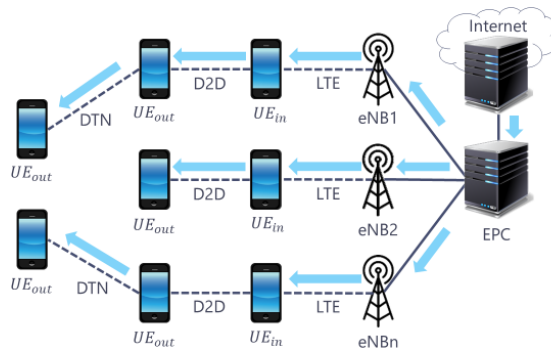


図 10 実験のネットワーク構成

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 |
|------------------|----------------------------------|
| 速度 | 500kbyte/s |
| 通信プロトコル | UDP |
| UE の歩行速度 | 5km/h |
| UE の歩行パターン | shortest distance to the shelter |
| 緊急速報の packetsize | 8bit * 2block |
| 最大シミュレーション時間 | 30 minutes |

表 2 LTE と Wi-Fi のシミュレーションパラメータ

| パラメータ | 仮定 |
|-----------|---------|
| eNB の伝送速度 | 150Mbps |
| eNB の伝送範囲 | 半径 500m |
| D2D の伝送範囲 | 半径 500m |

5.2 実験準備

本実験の対象地域は函館市の大手町・入舟町・栄町近辺を想定する。その近辺に存在する避難所の配置を図 11 に示す。函館市津波避難計画によると、実験対象地域の第 1 波到達時間は 59～79 分である[14]。第 1 波到達時間とは、地震発生から津波第 1 波のピークが海岸に到達するまでの時間を指す。

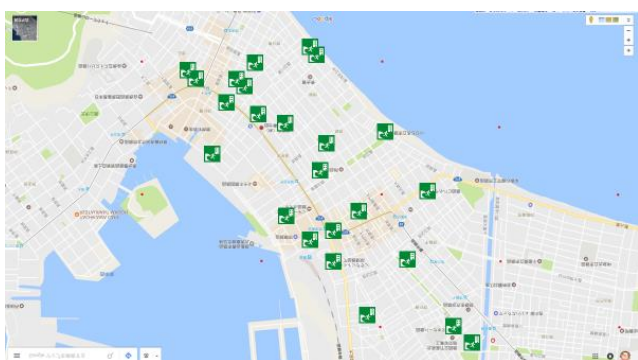


図 11 函館市の避難所の位置

次に、LTE 端末の配置を図 12 と図 13 に示す。LTE 端末間の距離が 500m 以上離れている状態でも提案システムの効果を検証するために、図 12 のような 115 個の LTE 端末、図 13 のような 23 個の LTE 端末で実験をそれぞれ実施する。LTE 端末のモビリティモデルは Google Maps API の walking モードを採用し、最寄りの避難所へ最短距離で移動するものとする[15]。全端末が緊急速報を受信したと仮定し、避難所へ移動させたところ、全端末が避難完了する時間は 20 分であった。そのため、地震発生後から 40 分以内に津波警報を受信することができれば、地震発生後から 60 分以内に避難完了できると考えられる。

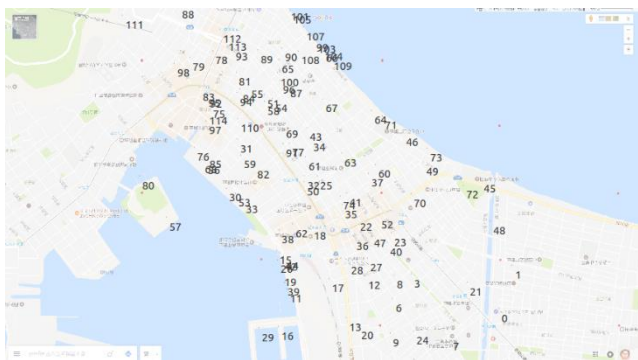


図 12 LTE 端末の配置 (LTE 端末数 115 個)

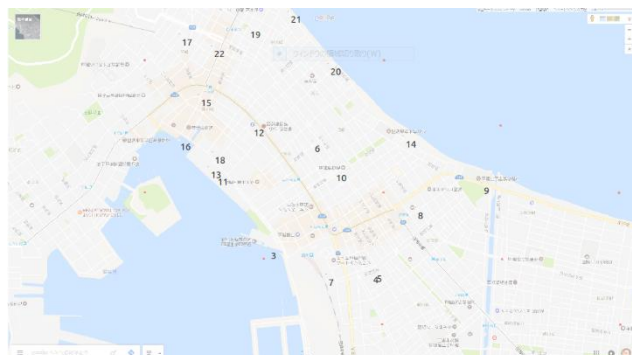


図 13 LTE 端末の配置 (LTE 端末数 23 個)

5.3 実験シナリオ

大規模な地震を想定し、地震発生から 10 分以内に津波警報が配信されると仮定する。本実験ではシミュレーション開始と同時に津波警報を送信するため、シミュレーション時間を最大 30 分とする。津波警報を受信することができた LTE 端末は避難所へ最短経路で移動する。このときの eNB の配置を図 14～図 16 に示し、それぞれ実験 A～実験 C とする。eNB のカバレッジは図 14 に示すような正六角形とする。この環境の下で、LTE 端末数の異なる 6 パターンの実験を実施する。30 分以内に津波警報を受信することができた端末数 (受信率) を算出することで、本提案システムの性能評価を行う。

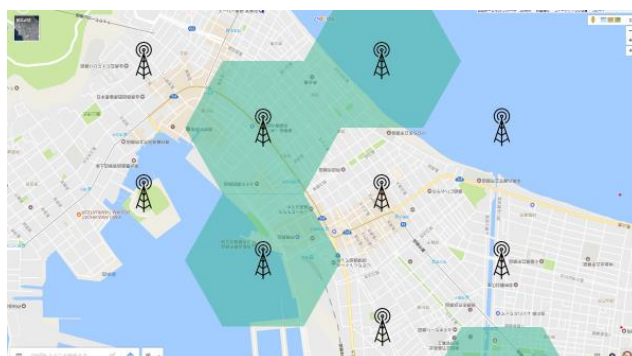


図 14 eNB の配置 (A)

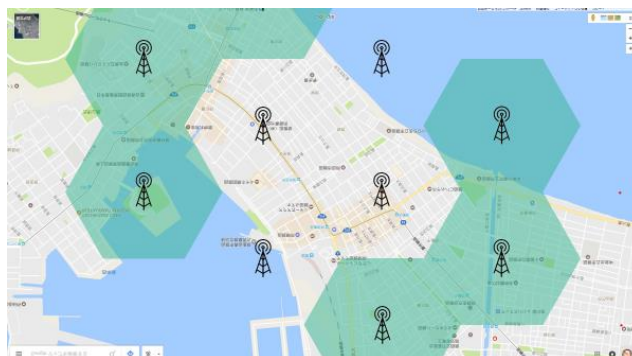


図 15 eNB の配置 (B)

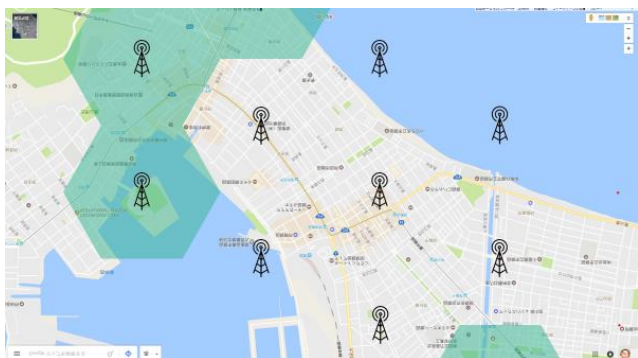


図 16 eNB の配置 (C)

5.4 実験結果

LTE 端末数 115 個のときの実験 A～実験 C についての結果を図 17 に示す. 実験 A については 7.1 秒ですべての LTE 端末に緊急速報を配信完了した. また, 実験 B については 5.4 秒ですべての LTE 端末に緊急速報を配信完了し, 実験 C については 5.0 秒ですべての LTE 端末に緊急速報を配信完了した.

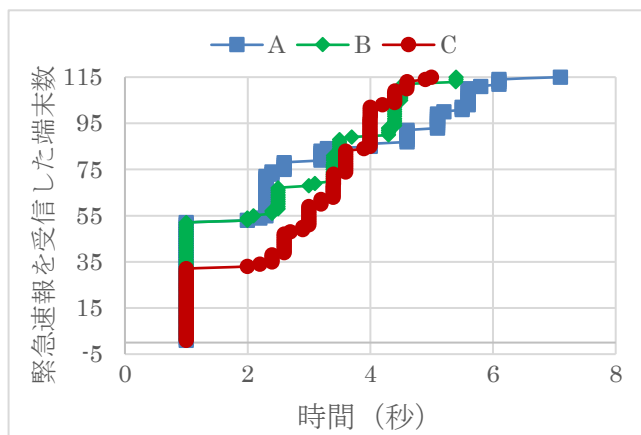


図 17 LTE 端末数 115 のときの実験 A～実験 C

LTE 端末数 23 個のときの実験 A と実験 B についての結果を図 18 に示す. 実験 A については 5.0 秒で 21 個の LTE 端末に緊急速報を配信完了し, 実験 B については 4.0 秒ですべての LTE 端末に緊急速報を配信完了した.

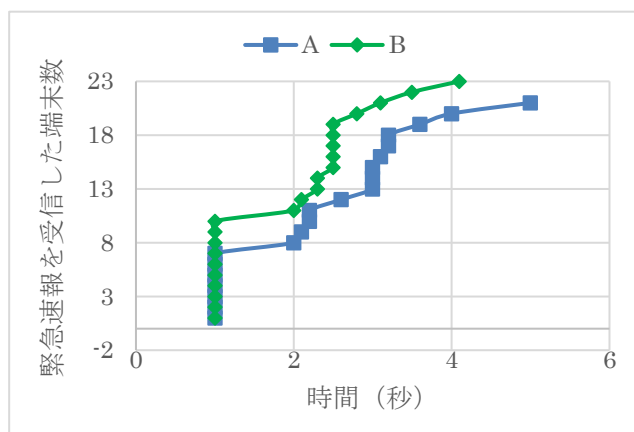


図 18 LTE 端末数 23 のときの実験 B と実験 C

また, LTE 端末数 23 個のときの実験 C の結果を図 19 に示す. 231 秒のときに, DTN を用いた転送を開始し, eNB から一番離れていた LTE 端末に緊急速報を配信完了することが確認できた.

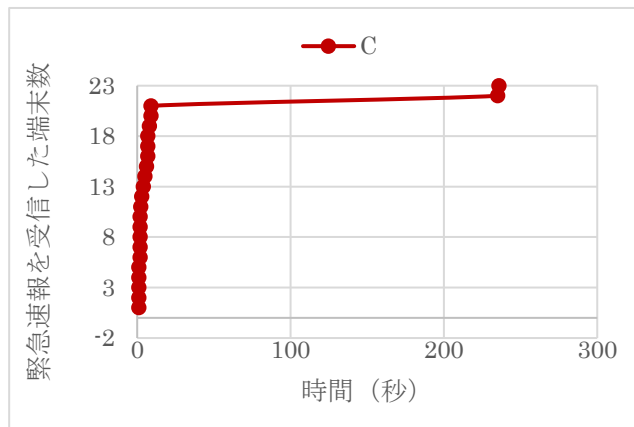


図 19 LTE 端末数 23 のときの実験 C

6. 考察

図 17 において, ETWS のみでは 27%～45%までしか配信できなかった緊急速報を, ProSe と DTN を活用した結果, 到着率が 100%となり, 本提案システムによる効果が得られたと考えられる. さらに, 図 18 において, LTE 端末が点在しているため, D2D が難しいと思われるような状況でも, 緊急速報の受信率が 90%を超えることができ, ProSe の通信距離を活用することができていると考えられる. また, 図 19 において, 231 秒のときに DTN によって緊急速報を配信したことより, DTN による転送の効果が表れていると考えられる.

これらの結果より, ETWS に ProSe を統合させて通信可能範囲を広げることは, 緊急速報を広範囲に配信するための手法として有効性を示せたと考えられる.

7. まとめ

本研究では、既存の同報配信システムである ETWS に LTE アップリンク周波数帯を利用した D2D 技術の ProSe を統合し、DTN の感染型ルーティングを適用させた同報配信システムを提案した。評価実験により、本提案システムを運用することで、eNB カバレッジ外の LTE 端末にも緊急速報を配信できることを示し、大規模災害時のネットワーク・システムとしての有効性を示した。

今後の課題として、2 回以上のマルチホップ通信を加えることで、より迅速にかつ広範囲に緊急速報を配信できると予想できるため、本提案システムの到着時間と到着数の向上を図る。

また、ProSe の輻輳については考慮していないため、通信が正確に行われるかどうかとも考慮しながら実現性を高めていく。

参考文献

- [1] 総務省, “平成 27 年版 情報通信白書 第 3 部,” <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/n7200000.pdf> [May. 10, 2017]
- [2] 総務省, “携帯電話サービスの災害対策の現状,” http://www.soumu.go.jp/soutsu/chugoku/data/kentou2012_data/kentou2012-04.pdf [May. 10, 2017]
- [3] 田中威津馬, 青柳健一郎, ウメシユアニール, ウリ A. ハブサリ, “次世代移動通信ネットワークにおける緊急情報の同報配信高度化,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, vol. 17, no. 3, pp.22-26, Oct. 2009.
- [4] 入江恵, “大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会(ネットワークインフラ WG),” http://www.soumu.go.jp/main_content/000117676.pdf [May. 10, 2017]
- [5] 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司, “アドホックネットワーク,” 電子情報通信学会誌, vol. 84, no. 2, pp. 127-134, Feb. 2001.
- [6] M. Tsuru et al., “Delay Tolerant Networking Technology — The Latest Trends and Prospects,” IEICE Commun. Soc. Mag., vol. 2011, no. 16, pp. 57–68, 2011.
- [7] 3GPP, TS 22.168 (V9.0.0), “Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) requirements; Stage 1 (Release 9),” Jun. 2008.
- [8] 3GPP, TR 22.803 (V12.1.0), “Feasibility study for Proximity Services (ProSe) (Release 12),” Mar. 2013.
- [9] Hiroki Nishiyama, Masaya Ito, and Nei Kato, “Relay-by-Smartphone: Realizing Multi-Hop Device-to-Device Communications”, IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 4, pp. 56-65, Apr. 2014.
- [10] 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, vol. J90–B, no. 6, pp. 580–588, Jun. 2013.
- [11] 3GPP, TS 23.041 (V9.11.0), “Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS) (Release 9)” Dec. 2012.
- [12] 服部武, 諸橋知雄, 藤岡雅宣, “3G Evolution のすべて —LTE モバイルブロード方式技術—,” 丸善株式会社, 2009, pp.463-467.
- [13] ns-3, <https://www.nsnam.org/> [May. 10, 2017]
- [14] 函館市, “函館市津波避難計画書,” http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014032000554/files/tsunamikeikaku_h29_3.pdf [May. 10, 2017]
- [15] Google Inc. “Google Maps API - Google Developers,” <https://developers.google.com/maps/?hl=ja> [May. 10, 2017]