

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00127

研究課題名(和文) モバイル網における端末による網負荷分散手法の研究

研究課題名(英文) Utilizing User Device Capabilities for Network Load Distribution in Mobile Networks

研究代表者

稲村 浩 (Inamura, Hiroshi)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：20780232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：現用のモバイルネットワーク網において適用可能な端末側での網負荷分散方式を確立することを目的とし、端末側での機能分担によるメッセージ配信方法を検討した。災害における迅速な避難のために、Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) に基づいた災害時同報配信システムが運用されている。我々は端末間 (Device to Device: D2D) での直接通信を可能とする Proximity Services (ProSe) に着目し、eNBカバレッジ外の端末へ緊急速報を配信するための、ETWSにProSeを統合した同報配信システムを提案し評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モバイルインターネットは社会のインフラであり、健全かつ安定した運用が不可欠である。昨今の適応領域の拡大を考えると、さらに多数のデバイスの収容が必要なIoT/IoE環境ではモバイルネットワークの負荷は拡大することが予想される。これらを踏まえてスマートフォン、IoT/IoEなどの端末側での網負荷分散を考える必要がある。トラフィックの集中が懸念される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り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。

研究成果の概要(英文)：The mobile Internet is the infrastructure of society, and sound and stable operation is essential. With its wider use, it is necessary to consider the load distribution in network functionalities between the network and the terminal, such as smart phones and IoT/IoE devices. The purpose of this study is to examine the method of message delivery by the function on the terminal, which is applicable to the current mobile network. Earthquake and Tsunami Warning (ETWS) messaging systems in LTE is in use for rapid evacuation in disaster. We studied to enhance the ETWS by leveraging the device to device (D2D) communications in LTE. In particular, we proposed to extend the coverage of e node B (eNB)s through relaying among User Equipment (UE)s with Proximity Service (ProSe) device to device (D2D) capability, such that the important ETWS messages may reach people even out of the coverage area of eNBs.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク 負荷分散 D2D インターネット 制御信号 IoT スマートデバイス

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

モバイルインターネットは社会のインフラであり、健全かつ安定した運用が不可欠である。モバイルネットワーク網に知識のない膨大な人数の開発者がモバイルアプリ開発に携わる現在では、利用者のスマートフォンの内部で多数のバックグラウンドタスクとそのネットワークアクセスが十分に管理されないまま稼動しており、ときとしてインフラ網の停止につながる影響を与えている。このようなカタストロフまで至らずとも、トラフィックの人工的な集中が日常的であろうことは想像に難くない。昨今の適応領域の拡大を考えると、さらに多数のデバイスの収容が必要な IoT/IoE 環境ではモバイルネットワークの負荷は拡大することが予想される。これらを踏まえてスマートフォン、IoT/IoE などの端末側での網負荷分散を考える必要があるという着想に至った。

2. 研究の目的

現用のモバイルネットワーク網において適用可能な端末側での網負荷分散方式を確立することを目的とし、端末側での機能分担によるメッセージ配信方法を検討する。この実現のために、基本方式の検討と配信エリア構成や発信時の要件に着目した最適化を議論し、網の安定運用のために、悪意を想定した端末による通信阻害の実行可能性も併せて検討する。トラフィックの集中が懸念される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恐れがある。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。

3. 研究の方法

本研究課題では、以下に示すステップにより端末側での機能分担によるメッセージ配信方法を検討する。

(1) 端末側での機能分担によるメッセージ配信の基本方式検討

3GPP(3rd Generation Partnership Project)は、非常時の無線通信システムに LTE 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 ProSe(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 ETWS(Earthquake and Tsunami Warning System)に ProSe 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基本方式を検討する。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 (eNode B: 基地局) 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)に D2D 技術である ProSe (Proximity Services)を統合させたシステムを検討する。

(2) メッセージの拡散到達制御と配信エリア拡大による迅速化

ETWS の配信エリアを拡大させる同報配信システムにおいて、これまでは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おそれがある。さらに、地方公共団体が配信元として災害・避難情報のような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行政区域に属する端末が、本来受信すべきメッセージとは異なる緊急速報を受信してしまう可能性があり適切な制御が必要である。このような状況は行政境界付近で eNB が停止した場合に発生する。これまでの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検討し、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。

(3) 発信側でのトラフィックの抑制による配信効率化

中継端末の選定方法を改善し、配信時間を悪化させずにトポロジ全体の送信回数を軽減させる必要がある。緊急速報の拡散方法として、マルチホップ D2D 通信や DTN による epidemic routing を採用し、緊急速報の受信率を向上させたが、中継端末は選定せずカバレッジ内であれば参加することを想定していた。このため、緊急速報を受信した端末は有効期限内であれば無条件でフラッディングを繰り返しているが、災害時において、端末の負荷が大きいことはバッテリー浪費となるため好ましくない。不要な配信を削減するためのカバレッジ境界付近の端末選定手法を検討する。

4. 研究成果

(1) 端末側での機能分担によるメッセージ配信の基本方式検討

緊急速報 ETWS は LTE 基地局 eNB が災害により稼働を停止すると LTE サービスのカバレッジ外となりそのエリアの端末には配信ができなくなる。本提案方式では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 ProSe を用いた D2D 通信において感染型ルーティングを用いた DTN による中継機能を加えた。図 1 に基本方式を示す。緊急速報を広く配信するための手法として有効性をシミュレーションにて示した。

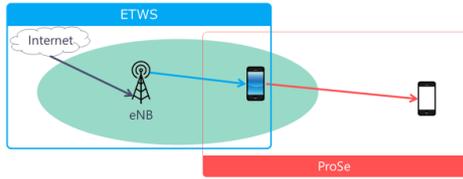


図 1: 基本方式

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。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。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。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 2 に示す。函館市津波避難計画

によると、実験対象地域の津波第 1 波到達時間は 59~79 分である。図 3 に示すように、A-C の

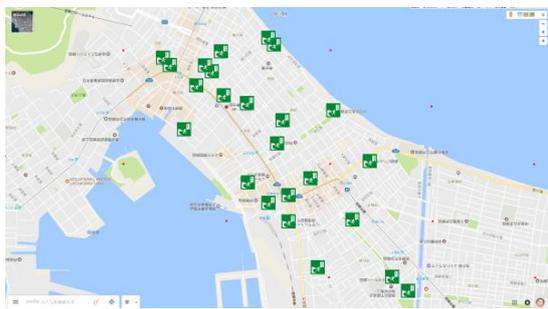


図 2: 函館市の避難所の配置(一部)

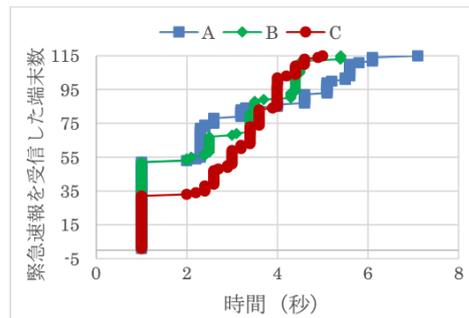


図 3: 受信完了端末数と経過時間

3つの eNB の停止シナリオにおいて、十分短時間な 6[s]程度で評価エリア内の端末全 115 台に配信完了が可能であることが示されている。

(2) メッセージの拡散到達制御と配信エリア拡大による迅速化

本研究では、同報メッセージの拡散における対象領域の指定方式を検討し、地理的な条件に基づくマルチキャスト手法である geocast を適用して配信範囲の制御を実現した。さらに、geocast 適用の際に懸念されていた中継経路の損失問題について、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。本提案手法を用いることで、受信できていなかった端末に配信が可能になるだけでなく、現在配信されている避難指示よりも、詳細な避難指示を迅速に配信することが可能となり、迅速に安全を確保することができると考えられる。

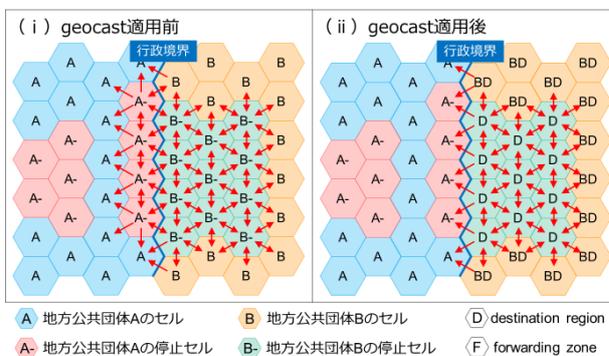


図 4: geocast による配信範囲制御例

まず geocast を利用した配信範囲制御方式について述べる。配信が必要である領域では緊急速報をできる限り拡散し、配信が必要でない領域では緊急速報を破棄する。そこで、端末側では GPS 測位が可能であることを踏まえて geocast の directed flooding 方式である static zone scheme algorithm を検討する。geocast を ETWS に適合させる場合の動作と設定方法を述べる。geocast を用いて緊急速報を中継する場合、無関係の端末までアラートとポップアップとでユーザに通知してしまうことが考えられるため、以下のような動作へ改良する。

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のみを行う。destination region 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。それ以外の領域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。この動作方法をもとに配信範囲を制御するため、配信元 eNB のセルと機能停止した配信元 eNB のセルを

destination region に設定することで、行政境界を越えた不要なメッセージの拡散を抑制可能である。

次にETWSの配信エリア変更方式について述べる。前節のような単純に geocast を適用した際、状況によっては緊急速報の到達率や到達完了速度が悪化する可能性がある。配信範囲を制御しない従来の手法では、行政境界付近の destination region へ全方向からメッセージが流入していたのに対し、配信範囲を制御したことにより行政境界付近の destination region へのメッセージ流入数が減少してしまい、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率および到達完了速度の悪化が予想される。このことは、図 4 (ii) において行政境界付近の destination region に向かって流れているメッセージ (赤色の矢印) が、図 4 (i) と比べて少ないことからわかる。この問題に対し、destination region へのメッセージ流入数を減少させずに配信範囲を制御するため、機能停止した eNB の位置情報に基づいて、停止セルエリア周辺の稼働セルからメッセージを流入させるよう協調動作を可能にする ETWS の配信エリア変更方式を提案した。

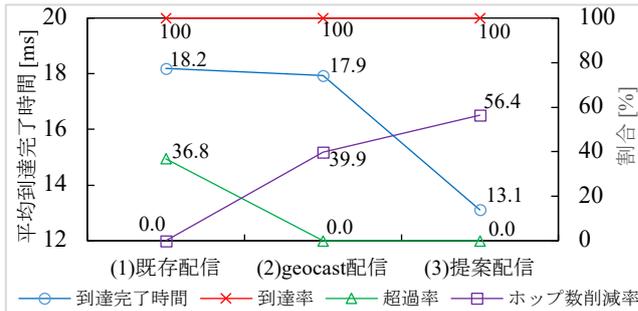


図 5: 各配信方式に対する到達完了時間と到達率と超過率とホップ数削減率

各配信方式における、到達完了時間、到達率、超過率、およびホップ数削減率の平均結果を図 5 に示し、提案配信方式における配信制御性能および迅速性を考察する。すべての配信方式で到達率が 100% に達し、システム拡張による到達率の低下は発生しなかったことが確認できた。既存配信方式のメッセージ超過率が 36.8% であったが、geocast 配信方式および提案配信方式で 0% へ削減可能なことが確認できた。これは、既存配信方式と geocast 配信方式を比較すると、ホップ数が短縮されていることが確認でき、メッセージが不要な領域への中継配信を抑制していると考えられ、利

用者へ誤った通知をすることのない配信範囲制御が可能となっていると考えられる。次に、提案配信方式の到達完了時間は、既存配信方式よりも 28% 向上することが確認できた。これは、配信元 eNB を増加させることで、双方向からの中継配信が行われ、ホップ数の短縮が可能となり、到達完了時間が短縮できたと考えられる。

(3) 発信側でのトラフィックの抑制による配信効率化

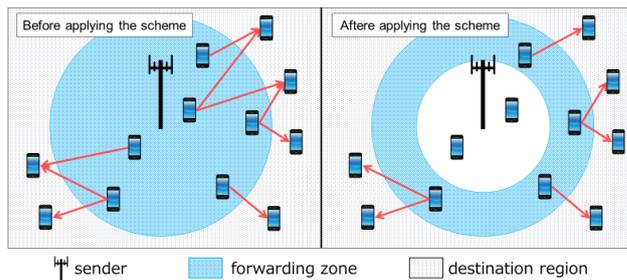


図 6 配信に参加する UE の最適化適用前後

図 6 の最適化適用前の図に示すように、1 つの生存 eNB から故障 eNB に向けてカバレッジを拡大する状況を考える。eNB 付近の端末からの中継配信が無くとも、カバレッジ境界付近の端末による中継配信と、カバレッジ外端末による中継配信で十分な場合があることに気づく。このような状況ではカバレッジ中心の端末による拡散配信はカバレッジ拡大のためには無益であり削減することができる。貢献の少ないカバレッジ中心部の端末を削減するために、図 6 の最適化適

用後に示すように、カバレッジ境界線付近の端末を選定し、中心部の端末は参加を制限すれば良い。

カバレッジ境界線付近の端末選定手法で用いるパラメータに関して図 7 を用いて説明する。eNB は ProSe function を用いて通信用設定の配布および端末の位置情報を取得できるものとする。eNB のカバレッジは同心円状とは限らないことを考慮し、カバレッジを等分割した扇形ごとに端末に指示を与えられるものとする。eNB の最大伝送距離を MaxRange (MR) と定義し、拡散配信に不要な UE が存在する範囲の半径を HalfwayRange (HR) と定義する。UEn は拡散配信が不要である eNB 中心付近の UE、UEr は拡散配信をさせたい eNB カバレッジ周辺の UE、UEo は eNB カバレッジ外の UE と定義する。

カバレッジ境界線付近の端末選定手法の適用条件は次のとおり。UEn、UEo がそれぞれ存在する状態で、UEn が存在する場合に、UEn を削減することで効果が得られる。D2D transmission

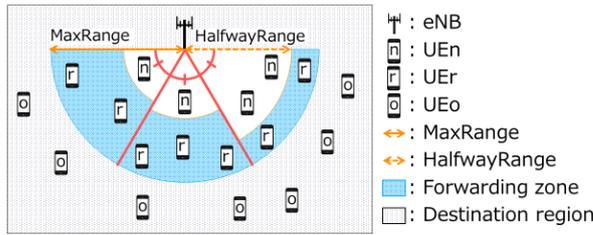


図7 発信元 eNB 周辺の UEs とカバレッジ境界 nd eNB's

付近の端末選定手法の適用条件である、削減対象となる端末の存在条件 (1) と、周辺端末によるカバレッジ拡大成功条件 (2) がそれぞれ得られる。

$$D \cdot S_{HR} \geq 1 \quad (1)$$

$$D \cdot S_{MR-HR} \geq 1 \quad \&\& \quad D \cdot S_{HR+d-MR} \geq 1 \quad (2)$$

中継端末の最適な選定方法として、カバレッジ円周上の端末を等間隔に選定することは自明である。したがって、eNB transmission range を 250m, D2D transmission range を最大 350m と仮定すると、UE 密度が少なくとも 40 人/km² の場合に提案手法を適用すれば良い。今回はカバレッジを 12 分割した各扇形に UEr が 1 台以上存在する場合について、HalfwayRange の最大値を求めれば良い。しかし、ノード密度が低い場合や実際の避難経路などにより必ずしも端末の存在密度が均等に分布しない場合もあるため、これまでと同様の端末配置と移動モデルによるシミュレーションにより提案手法を評価した。

図 8 に示すとおり、ノード密度が 24 人/km² 以上のときに提案手法が有効であったため、3 導出した適用条件は適切であったと考えられる。また、提案手法を用いることで不要な配信を行っている端末を仲介端末から除外し、より効率的なメッセージの拡散が行われていることが確認できたため、提案手法の有効性が確認できた。

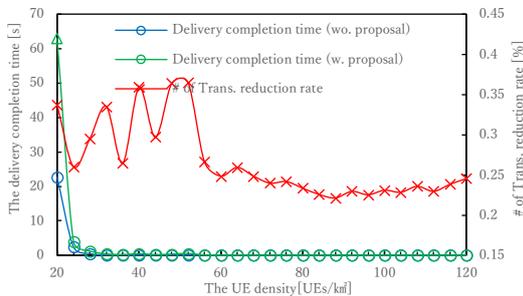


図 8: UE 密度に対する配送完了時間と送信削減率

本研究では、中継 UE 選択のための最適化手法を提案し、LTE における eNB カバレッジ外の UE への緊急メッセージ中継の有効性を確認した。具体的には、シミュレーションにより、函館市を模した避難状況でノード密度を 20 [UEs/Km²] から 120 [UEs/Km²] まで変化させるとき、28 [UEs/Km²] 以上の区間で提案方式はトポロジ全体の送信回数を平均 27% 削減できた。このようにノード密度が低い状況でもすべての端末へ緊急速報を拡散できることから、提案する災害時同報配信システムの端末の負荷の軽減についても実用性を示した。

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 六平豊, 中村嘉隆, 稲村浩	4. 巻 60
2. 論文標題 緊急速報をカバレッジ外へ拡散するための Proximity Servicesを統合した災害時同報配信システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 514-526
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yutaka Musaka Yoshitaka Nakamura Hiroshi Inamura Xiaohong Jiang
2. 発表標題 Transmission Reduction Scheme in an Emergency Warning System with LTE D2D
3. 学会等名 The Twelfth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network, ICMU 2019, Kathmandu, Nepal, November 4-6, 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaka Musaka, Yoshitaka Nakamura Hiroshi Inamura, Xiaohong Jiang
2. 発表標題 Relay UE selection scheme in an emergency warning system integrating proximity services
3. 学会等名 The 16th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC2019)（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Musaka Yoshitaka Nakamura Hiroshi Inamura
2. 発表標題 A Broadcast Distribution System for Deliver Emergency Bulletins to User Equipments of Outside eNBs Coverage
3. 学会等名 The Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, ICMU 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋佑太 稲村浩 中村嘉隆
2. 発表標題 TCP を標的とした Low-rate DDoS 攻撃における正常トラフィックを用いた攻撃レート削減の検討
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-DPS-182, No. 63, pp.1-8, 2020 年 3 月. (オンライン開催).
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋佑太 稲村浩 中村嘉隆
2. 発表標題 実行可能性の検討を目的とした現実的なトポロジにおける Low-rate DDoS攻撃のシミュレーション
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02019) シンポジウム論文集, Vol. 2019, pp.57-63, 2019 年 7 月.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋佑太, 稲村浩, 中村嘉隆
2. 発表標題 実ネットワーク環境下におけるLDDoS攻撃の検証
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-MBL-89, No. 8, pp.1-7, 2018年11月.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 六平 豊 中村 嘉隆 稲村 浩
2. 発表標題 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
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-MBL-86, No. 23, pp.1-8, 2018年2月.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 六平 豊 中村 嘉隆 稲村 浩
2. 発表標題 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
3. 学会等名 マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム2017論文集, Vol.2017, pp.955-962, 2017年6月.
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考