

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12669

研究課題名(和文) Edge computing network systems for emergency management and disaster recovery

研究課題名(英文) Edge computing network systems for emergency management and disaster recovery

研究代表者

李 鶴 (LI, HE)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・文部科学省卓越研究員(助教)

研究者番号：40759891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、耐災害ネットワークにエッジコンピューティング技術を融合し、エッジサーバとモバイルデバイスのそれぞれの長所を活かし、短所を補い合うことで、災害下でのシステムの安定と持続を実現することを目的とする。本研究は耐災害ネットワークの学術的問題を解決しながら、実用化に繋ぐ、避難者救出・支援のためのサービスの安定性と持続性の2つの根幹技術の研究開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の独創的な点は、これまで別のシナリオで研究されてきた新しい技術であるエッジコンピューティングを耐災害ネットワークに応用することである。災害時にもパワフルなサーバがオフラインでアクセス可能になるため、従来提案されてきた不安定なモバイル・デバイスのみで構成する耐災害ネットワークをさらに強化することができる。

研究成果の概要(英文)：This research is to realize the stability and sustainability of the edge system after a disaster happens. The proposed edge system fuses edge computing technology with the disaster-resistant network, utilizes edge servers and mobile devices, and compensates for the disadvantages. In this research, for solving the academic problems of the disaster-resistant network, two basic technologies, the stability, and sustainability of services for rescue and support of evacuees, are researched and developed.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：エッジコンピューティング 耐災害

1. 研究開始当初の背景

インフラとしての情報通信ネットワークは、東日本大震災時、大きな被害を受け充分には機能しなかった反面、社会インフラとしての重要性が強く認識された。国内では震災後、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) が耐災害 ICT 研究センターを新設し、災害に強い情報通信の実現を目指している。また、科学技術振興機構 (JST) は米国国立科学財団 (NSF) と 2014 年に「ビッグデータと災害」領域の戦略的国際共同研究プログラムを公募した。海外でも東日本大震災は対岸の火事ではなく、例えば NSF は多額の資金をかけ、2011 年 3 月以降から助成がスタートする災害と関連する助成だけでも 487 件にのぼる。学术界では、2016 年に IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing が「Emerging Technologies for Disaster Management」の特集号を組んでいる。これらの動向に加え、今年の熊本地震や長年発生が予測されている首都直下型地震の影響も大きく、国内外問わず産学官が一体となって耐災害という課題に取り組んでいる。

近年スマートフォンやタブレットなどのモバイル・デバイスの普及が目覚ましい勢いを示し、国内ではモバイル・デバイスを利用した耐災害ネットワークの研究が行われている。インフラが壊滅的となった時に、モバイル・デバイスがもっとも手軽で、かつ汎用性があり、かつ素早く通信ネットワークを構成できるからである。これまでに研究された耐災害ネットワークは、主にモバイル・デバイスのみで構成され、各デバイスの非力さ (バッテリー寿命、通信・処理能力等) を互いに補いながら、通信経路の確立やメッセージ拡散の効率化を図っていた。しかし既存研究では、ある程度まとまった数のモバイル・デバイスが利用可能な状況を想定しており、大規模災害時には多くのデバイスのバッテリーが不足、またはバッテリー節約のため非協力的なデバイスが存在する可能性が極めて高く、実現性の観点から課題が残る。

一方、モバイルインターネットの時代に突入したと同時に、データ通信量は爆発的に増え続けており、ネットワーク最大手の Cisco は、モバイル・デバイスによるワイヤレスデータ通信の世界全体のトラフィック量が、2020 年までに 1 ヶ月あたり 30.6 エクサバイト (2015 年の 8 倍) まで増加すると予測している。現在、これらのデータは世界中に配備された大規模なデータセンターによるクラウドコンピューティングによって処理されているが、データセンターからの物理的な距離ゆえに発生する通信遅延や、サーバの一極集中化による過負荷が問題視され、エッジコンピューティング技術に期待が集まっている。データセンターに集中していたサーバをネットワークの周縁部 (エッジ) である街角や住宅内に配置し、近隣で発生するデータを各自で分散処理することで以上の問題を解決できる。エッジコンピューティングを導入すれば通信遅延をこれまでの最大 100 分の 1 に短縮でき、かつ端末の性能を問わず高速データ処理が可能になる。

2. 研究の目的

本研究は、耐災害ネットワークにエッジコンピューティング技術を融合し、エッジサーバとモバイルデバイスのそれぞれの長所を活かし、短所を補い合うことで、災害下でのシステムの安定と持続を実現することを目的とする。本研究は耐災害ネットワークの学術的問題を解決しながら、実用化に繋ぐ、避難者救出・支援のためのサービスの安定性と持続性の 2 つの根幹技術の研究を目標に掲げる。

3. 研究の方法

本研究ではエッジコンピューティングを適用した耐災害ネットワークにおけるサービスの安定性と持続性に関する研究を行う。具体的には、以下の通りである。
(1) サービス供給安定のためのデータ・ミラーリングアルゴリズムの開発

図 1 に示すのは、エッジコンピューティングを適用した耐災害ネットワークのモデルである。災害時のエッジサーバ (以下 ES) とデータセンターをつなぐバックホール回線が不通になると、ES が避難者救出・支援のためのサービスを提供する。しかし災害時にサービ

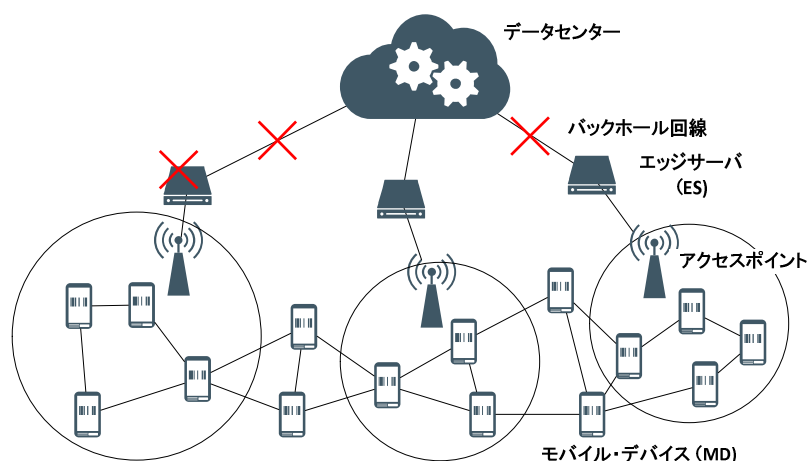


図 1 : エッジコンピューティングを適用した耐災害ネットワークシステムモデル

スを安定して供給するためには、ES 上に適切なデータおよびアプリケーション（以下データ）が保存されている必要がある。既存研究より、震災後の人々のモビリティ・モデルは普段の生活パターンと関連性があると分かっているが、各 ES がカバーするエリアに必要なデータは、包含するモバイル・デバイス（以下 MD）に依存するため、このモビリティ・モデルを利用することができる。一方、災害の影響で ES 自体が使用できない可能性も考慮し、本研究では、災害発生前に関連度の高い ES 間でデータの共有を行い、更なるサービス供給の安定化を図る。ただし各 ES のデータ保存領域には制限があり、全てのデータを共有することはできない。この制約のもと、安定したサービス供給のため、適切なデータを適切な ES にミラーリング（複製）するためのデータミラーリング・アルゴリズムを設計する。

(2) サービス持続のためのサービス・マイグレーションメカニズムを設計

災害の規模によって救出・支援が必要となる期間は異なるため、サービスの持続性を確保することも重要となる。災害直後に生き残った ES でも、不測の事態による故障や電力不足による機能停止が考えられるため、本研究では、サービス機能の一部を ES から複数の MD に移行し、代替サーバとして稼働させるサービス・マイグレーションを考案する。しかしながら、MD は ES と比較して遥かに資源が乏しいため、移行するサービスもバッテリー消費量も最小限にする必要がある。また MD の移動により、供給されていたサービスが途切れてしまう可能性もある。

4. 研究成果

(1) エッジコンピューティングを用いた AI システム

現在、IoT 網から得たデータは世界中に配備された大規模なデータセンターでクラウドコンピューティング技術によって処理されているが、データセンターからの物理的な距離ゆえに発生する通信遅延や、サーバの極集中化による過負荷が問題視され、エッジコンピューティング技術に期待が集まっている。データセンターに集中していたサーバをネットワークの周縁部（エッジ）である街角や住宅内に配置し、近隣で発生するデータを各自で分散処理することで以上の問題を解決できる。近年、GPU といったハードウェアの急速な進歩により AI が再び注目されており、画像認識をはじめ音声認識、自然言語処理など様々な分野に応用されている。本研究は、エッジコンピューティングを適用し、サーバとエッジサーバで計算負荷を分散させた AI システムを提案した。図 2 は、既存手法と比較した実験結果であり、提案手法は、負荷がバランス良く分散されていることが分かる。この研究成果は、国際的な学術論文誌である IEEE Network にて発表され、Essential Science Indicators (ESI) の高被引用文献となっている。

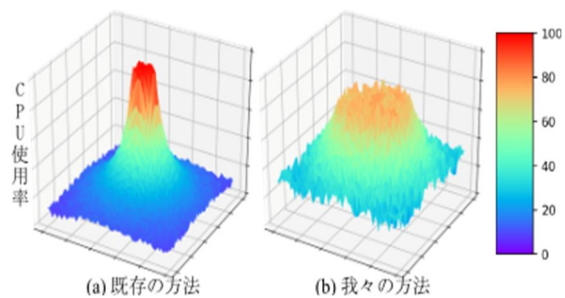


図 2：サーバにおける計算負荷の比較

(2) エッジセントリックコンピューティング（ECC）システム

エッジセントリックコンピューティング（ECC）はサービスの管理をクラウドからエッジデバイスに転移した新しいパラダイムである。ECC を利用すると、ユーザーは自分の情報を自ら制御できるので、リソースを活用してオンラインサービスの応答時間を大幅に短縮することが可能になる。本研究は、ECC と内容中心ネットワーク（CCN）を図 3 に示す階層構造に統合するオーケストレーションスキームである ECCN を構築した。階層構造にソフトウェア定義ネットワーク（SDN）テクノロジーを導入して、データ、ECC および CCN のコントロールプレーンを分離し、データ転送を制御する SDN プロトコルを設計した。また、ECC を評価するために、開発したテストベッドにて 2 つのデモンストレーションアプリケーションが実装された。この研究成果は、インパクトファクターの高い国際学術論文誌 IEEE Wireless Communications Magazine (IF=11.391) などで発表した。

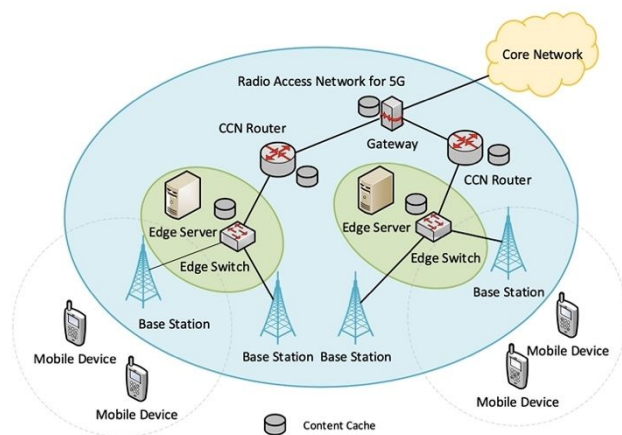


図 3：ECC と CCN を統合するオーケストレーションスキーム

この研究成果は、インパクトファクターの高い国際学術論文誌 IEEE Wireless Communications Magazine (IF=11.391) などで発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 37
2. 論文標題 LS-SDV: Virtual Network Management in Large-Scale Software-Defined IoT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Journal on Selected Areas in Communications	6. 最初と最後の頁 1783 ~ 1793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSAC.2019.2927099	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 -
1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 17
2. 論文標題 Energy Cooperation in Battery-Free Wireless Communications with Radio Frequency Energy Harvesting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Embedded Computing Systems	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3141249	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 -
1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong, Guo Minyi	4. 巻 56
2. 論文標題 Learning Human Activities through Wi-Fi Channel State Information with Multiple Access Points	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Communications Magazine	6. 最初と最後の頁 124 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MCOM.2018.1700083	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 該当する
1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 25
2. 論文標題 ECCN: Orchestration of Edge-Centric Computing and Content-Centric Networking in the 5G Radio Access Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 88 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MWC.2018.1700315	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 -

1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 19
2. 論文標題 Deep Reinforcement Scheduling for Mobile Crowdsensing in Fog Computing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Internet Technology	6. 最初と最後の頁 1~18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3234463	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 -

1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 32
2. 論文標題 Learning IoT in Edge: Deep Learning for the Internet of Things with Edge Computing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Network	6. 最初と最後の頁 96~101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MNET.2018.1700202	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 -

1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong, Chen Hsiao-Hwa	4. 巻 24
2. 論文標題 Efficient Energy Transport in 60 Ghz for Wireless Industrial Sensor Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 143~149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MWC.2017.1600212	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 該当する

1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 17
2. 論文標題 Energy Cooperation in Battery-Free Wireless Communications with Radio Frequency Energy Harvesting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Embedded Computing Systems	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3141249	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 -

1. 著者名 Li He, Ota Kaoru, Dong Mianxiong	4. 巻 9
2. 論文標題 Virtual Network Recognition and Optimization in SDN-Enabled Cloud Environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Cloud Computing	6. 最初と最後の頁 834 ~ 843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCC.2018.2871118	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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 He Li, Kaoru Ota, Mianxiong Dong
2. 発表標題 Always Connected Things: Building Disaster Resilience IoT Communications
3. 学会等名 25th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dingding Li, Wande Chen, Mingming Pan, He Li, Hai Liu, Yong Tang
2. 発表標題 DBHUB: A Lightweight Middleware for Accessing Heterogeneous Database Systems
3. 学会等名 The 2018 International Conference on Cloud Computing and Security (ICCCS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jiang Xiao, Huichuwu Li, He Li, Hai Jin
2. 発表標題 CNLoc: Channel State Information Assisted Indoor WLAN Localization Using Nomadic Access Points
3. 学会等名 The 15th Annual IFIP International Conference on Network and Parallel Computing (NPC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	上海交通大学	天津大学	華南師範大学	他2機関
韓国	亜洲大学校			