

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730053

研究課題名(和文) ファジィ強化学習を用いた車両ネットワーク通信プロトコルの設計と実証実験

研究課題名(英文) Proposal and real-world evaluation of a VANET protocol utilizing fuzzy logic and reinforcement learning

研究代表者

策力 木格 (Wu, Celimuge)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授

研究者番号：90596230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：車両アドホックネットワーク(VANET)を利用することで、交通事故の削減、運転の快適化、円滑な運転によるCO2の削減などが期待される。本研究では、事故・渋滞情報を周囲の車両に配布するためのマルチホッププロトコルを提案した。提案プロトコルでは、ファジィ論理に基づき車両間距離、車両の移動、無線帯域、無線電波の伝搬特性を柔軟に考慮し情報を中継する、また強化学習を用いて全体最適な経路を定めることを特徴とする。さらに本研究では、提案プロトコルを実車両アドホックネットワーク環境において評価した。

研究成果の概要(英文)：Vehicular ad hoc networks (VANETs) have been attracting great interest due to their potential usage in interesting applications including collision avoidance systems and driving assistance systems. A multi-hop routing protocol for VANETs was proposed in this research. The proposed protocol takes into account the inter-vehicle distance, vehicle movement, wireless bandwidth, and signal quality for the link status evaluation by using a fuzzy logic-based approach. The protocol also employs a reinforcement learning-based approach to select the best route considering multi-hop efficiency. The proposed protocol was evaluated by using a real vehicular ad hoc network.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：車両アドホックネットワーク VANET マルチホッププロトコル

1. 研究開始当初の背景

日本における交通事故による事故件数や死傷者数はまだ多く、道路交通における渋滞は依然として深刻な状況にある。この問題を解決する手段として高度交通システム (ITS) の更なる展開が緊急の課題となっている。近年、ITS の実現技術の1つとして、車両アドホックネットワーク (VANET) が注目を集めている。VANET を利用することで、事故や隠れた車両の存在などの情報をリアルタイムに配布することにより交通事故を削減することが可能になる。不特定多数の車両に情報を配信するためには、マルチホップでメッセージを配信するプロトコルが必要となる。本研究ではその一環として、事故・渋滞情報を周囲の車両に配布するためのマルチホッププロトコルに焦点をあてた。

VANET における通信プロトコルをユニキャストとブロードキャストの2種類に分類することができる。ブロードキャストプロトコルを設計するには高効率と高信頼性を考慮する必要がある。高密度環境において単純なマルチホップ通信を行うと、メッセージを受信した通信ノードが再度ブロードキャストを行い、中継メッセージ数が無駄に増加する状況が起こり、効率が悪い。適切に中継ノードを選択することにより、送信されるメッセージ総数の削減と、中継回数の削減を行う必要がある。一方、情報の確実な配布を実現するため、伝送誤りなどにより紛失したメッセージの再送などの高信頼化も必須である。

ユニキャスト VANET プロトコルを設計するには、以下の3点に注目する必要がある： 中継車両の選択には、車両間距離、車両の移動、受信信号強度、利用可能無線帯域という複数の尺度を考慮する必要がある。エンド・ツー・エンドのスループットはデータ転送に参加するすべてのノードの行動により決まるために、全体的に最適な経路を選択することが重要である。VANET は、異なる環境において、通信特性が変化するために、柔軟性の高いプロトコルの設計が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、事故・渋滞情報を周囲の車両に配布するためのマルチホッププロトコルを提案する。提案プロトコルでは、ファジィ論理に基づき車両間距離、車両の移動、無線帯域、無線電波の伝搬特性を柔軟に考慮し情報を中継する、また強化学習を用いて全体最適な経路を定めることを特徴とする。さらに本研究では、提案プロトコルを実車両アドホックネットワーク環境において評価し、その実用性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 初年度

平成25年度には、ファジィ強化学習プロトコルを提案して、コンピュータシミュレーションを用いて評価した。これは、コンピュータシミュレーションのコストが低い、自由にネットワークポロジを変更することができるなどの理由による。シミュレーションにより、さまざまなネットワークポロジにおいて提案プロトコルの性能評価を行い、問題点を見つけて提案プロトコルを改良することを繰り返した。シミュレータとしては、オープンソースネットワークシミュレータ ns-2.34 [1] を用いた。また無線電波伝搬モデルと車両移動モデルとしては、既存の高い評価のモデルを用いる。具体的には、無線電波伝搬モデルとして、Nakagami モデル (ns-2.34 にて提供されている) を用いて、より現実的なフェージングを模擬した。車両移動モデルとして、SUMO [2] と TraNS [3] を利用した。また他の既存のプロトコルと比較しながら、提案プロトコルの改良を行った。

(2) 2年目と3年目

平成26年度と平成27年度には、提案プロトコルを実デバイスに実装して、実際に VANET を構築して、提案プロトコルの実環境での動作検証を行った。効果的に研究を進めるため、またはコストを削減するために、まず車なしで実無線ネットワークを構築して、提案プロトコルの評価と改良を十分行った。その次第、車両に無線装置を搭載させ、車両アドホックネットワークにて実証検証を行った。

また、提案プロトコルとインターネットの接続を実現して、音声、ビデオなどのアプリケーションを用いて評価した。動作検証により、提案プロトコルの実用化に向けた課題を明らかにして、実際に使用できる見通しをつけた。

さらに、本研究では、経路選択が上位レイヤにおける影響を明らかにした。具体的には、経路変更が TCP の輻輳制御に関する影響、ホップ数が TCP 性能に対する影響、経路上のノードのチャンネル競争が TCP スループットに対する影響などを明らかにした。その次、エンド・ツー・エンドのスループットを考慮した全体最適な経路を決定する方式の提案ならびに評価を行った。

参考文献

[1] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Accessed on Sep. 23, 2010.

[2] Simulation of Urban Mobility (SUMO), <http://sourceforge.net/apps/mediawiki/sumo/index.php>, Accessed on Sep. 23, 2010.

[3] TraNS (Traffic and Network Simulation Environment), <http://trans.epfl.ch/>, Accessed on Sep. 23, 2010.

4. 研究成果

● 提案プロトコル

本研究では、VANET におけるファジィ強化学習マルチホップルーティングプロトコルを提案した。提案プロトコルでは、ノード(車両)はその位置情報、帯域利用情報を含む Hello メッセージを定期的を送信する。Hello メッセージを受信したノードは、自身のすべての隣接ノードの位置と受信信号電力の情報を得る。それに基づき、隣接ノードとの距離、移動の状況(1つ前の Hello メッセージの位置との比較から計算する)、受信信号強度、利用可能無線帯域の評価値を得る。

これらの評価値から、各ノードが、メッセージを転送する際の中継ノードを決定する。中継ノードの選択が適切ではないと、効率が悪くなるまたは信頼性が低下するなどの問題が生ずる。しかしながらこれらの評価尺度は互いに相反する。すなわち、ノード間距離が大きいノードを中継ノードとして選択すると中継回数を減らすことができるが、移動により通信範囲からはずれたり、メッセージの誤り確率が増加したりする可能性が高くなる。この相反の状況は車両アドホックネットワークにおける車両の分布や移動速度に依存し、最適解を求める画一的な評価式を求めるのは難しいと考えられる。各ノードで保持している情報は定期的な Hello メッセージの交換から得られたものであるため、必ずしも正確ではなく、不完全、不確かであるといえる。また次の中継ノードとのリンクがよくても、経路全体の品質がよいとは限らない。エンド・ツー・エンドのスループットは経路を構築するすべてのノードに依存するため、全体最適な経路を選ぶ必要がある。これらの理由から最適な経路を選択することは難しい問題となる。

そこでこれら問題を解決するために、近似的な推論を行う学習仕組みが必要になる。本研究では、前述のように、ファジィ論理により利用可能帯域、移動状況、信号強度を統合化する、また強化学習を用いて全体的に最適な経路を決定することで安定かつ効率的な通信を可能にする方式を提案した。ファジィ論理は人間の思考と似たような近似的な推論を扱うことができ、複雑なシステムを制御することが可能となる。強化学習は、現在の状態を観測し、一連の行動を通じて報酬が最も多く得られるような方策を学習できる。図 1 に示すように、提案方式では、ファジィ論理を用いて無線リンクの品質を評価し、その評価値を強化学習コントローラで利用し、全体最適な経路を学習する。強化学習における状態観測は、Hello メッセージのやり取りで実現される。これにより、複雑なネットワークにおいて、自律分散的に最適な経路を見つけることができる。ファジィ論理と強化学習を組み合わせることで、さまざまな状況で安定した通信経路を自動的に選択することが可能になる。

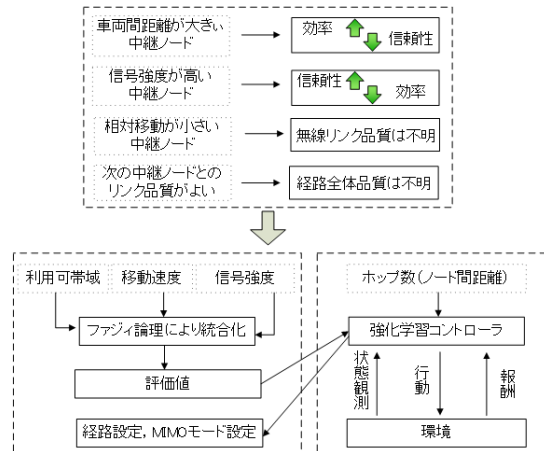


図 1 提案方式。

● 主要技術と貢献

(1) ファジィ論理と強化学習

中継ノードの選択には、ノード間距離、移動状況、受信信号強度、利用可能無線帯域という複数の尺度を考慮する必要がある。しかしながら、これらの評価尺度は互いに相反する。この相反の状況は、VANET における車両の分布や移動速度に依存し、最適解を求める画一的な評価式を定めるのは困難である。そこで本研究では、ファジィ論理を応用して人間と似た推論を行うことにより、最適な中継車両を定めることを目標とした。またデータ転送経路の良否は参加車両すべての行動で決められるものであり、最適な経路を単純な数式モデルで決定するのは不可能である。そのために、本研究では、強化学習を用いて、車両間で連携することで最適な経路を求める方式を提案した。ファジィ論理と強化学習を導入することで、VANET における難題である経路選択問題を柔軟(ファジィ)かつ自動的(強化学習)に解決できた。

(2) 実環境での評価の必要性について

従来の VANET プロトコルの研究では、その評価にシミュレーションを用いていることが多い。しかしながら、VANET の実用化のためには実環境での評価が重要である。そこで本研究では、提案プロトコルを実際の無線デバイスに実装し、実無線ネットワークで評価しその有効性を確認した。

(3) クロスレイヤの通信品質を考慮した無線プロトコルの設計

本研究では、経路選択が上位レイヤにおける影響を明らかにした。具体的には、経路変更が TCP の輻輳制御に関する影響、ホップ数が TCP 性能に対する影響、経路上のノードのチャンネル競争が TCP スループットに対する影響などを明確にした。その次、エンド・ツー・エンドのスループットを考慮した全体最適な経路を決定する方式を提案し、その有効性を示した。

● 評価

実証実験(図2), コンピュータシミュレーションを用いて提案プロトコルの評価を行った。実証実験では, 提案プロトコルをUbuntu OS (Debian GNU/Linux をベースとしたオペレーティングシステム) に実装して, ノートPC (Linux がインストールされている) を車に搭載させることにより, 実車両アドホックネットワークにおける動作確認をした。実験では, 車両(10台)にノートPCを搭載させて, 車両間でアドホック通信を行い, それの性能を評価した。無線通信では, 2.4GHz帯を利用した。

提案プロトコルをユニキャスト, ブロードキャストといった2種類の通信形態において評価した。様々なシナリオにおける評価の結果, 提案プロトコルが既存方式より高い通信品質を提供することが分かった(詳細は[1][2]を参照)。



図2 実験環境。

(1) ユニキャスト通信

ユニキャスト通信における評価を行った。提案プロトコルは様々な環境において既存手法より高い性能を実現することが確認できた。図3は実験シナリオを示す。直線道路, 交差点あり道路と2種類の道路において評価を行った。図4に示すように, 提案プロトコルは既存プロトコルより高いスループットを提供することが確認できた。これは提案プロトコルがマルチホップにおける最適なルートを選択できるからである。さらに, 提案プロトコルは低い遅延を提供することが分かった(詳細については[1]を参照)。

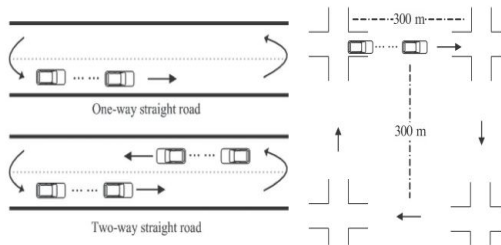


図3 ユニキャスト実験シナリオ。

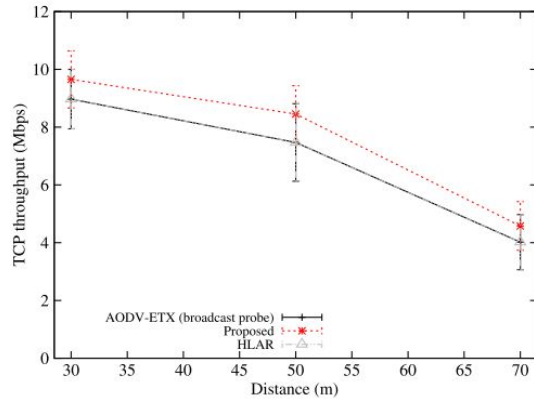


図4 TCPスループットの比較。

(2) ブロードキャスト通信

ブロードキャスト通信においては, 提案プロトコルは高いパケット到達率, 高効率を提供できることが分かった(詳細は[2]を参照)。これは提案プロトコルが無線リンク品質, 車間距離, マルチホップにおける通信効率を総合的に考慮しているからである。図5, 図6に示したように, 提案プロトコルが様々な環境において, 低いオーバヘッド, 高いパケット配布率, 低い遅延を提供することができるため, 車両アドホックネットワークにおけるマルチホップブロードキャストプロトコルとして利用されることが期待される。またファジィ論理と強化学習を組み合わせることで, さまざまな状況で効率よく動作するプロトコルの提案ができた。

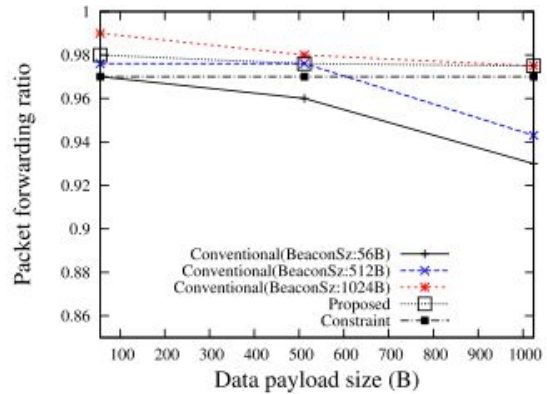


図5 パケット到達率の比較。

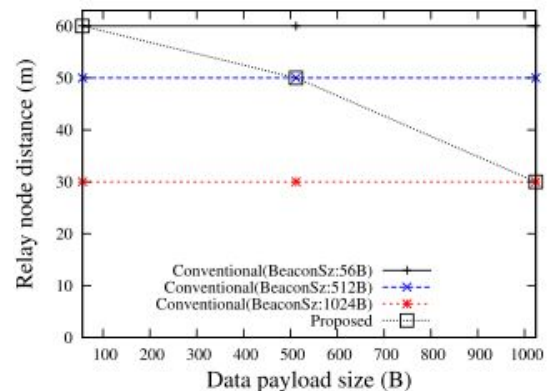


図6 中継距離(中継効率)の比較。

参考文献

- [1] Celimuge Wu, Yusheng Ji, Fuqiang Liu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Towards Practical and Intelligent Routing in Vehicular Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.64, no.12, pp.1-17 (2015) (査読有)
- [2] Celimuge Wu, Xianfu Chen, Yusheng Ji, Fuqiang Liu, Satoshi Ohzahata, Tsutomu Yoshinaga, and Toshihiko Kato, "Packet Size-aware Broadcasting in VANETs with Fuzzy Logic and RL-based Parameter Adaptation," IEEE Access, vol. 3, pp. 2481-2491 (2015) (査読有)

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 5 件)

- [1] Celimuge Wu, Yusheng Ji, and Tsutomu Yoshinaga, "A Cooperative Forwarding Scheme for VANET Routing Protocols," ZTE Communications (2016) (査読有)(印刷中)
- [2] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "How to Utilize Inter-flow Network Coding in VANETs: A Backbone Based Approach," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, doi: 10.1109/TITS.2016.2516027 (2016)(査読有)(印刷中)
- [3] Celimuge Wu, Xianfu Chen, Yusheng Ji, Fuqiang Liu, Satoshi Ohzahata, Tsutomu Yoshinaga, and Toshihiko Kato, "Packet Size-aware Broadcasting in VANETs with Fuzzy Logic and RL-based Parameter Adaptation," IEEE Access, vol. 3, pp. 2481-2491, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2502949 (2015) (査読有)
- [4] Celimuge Wu, Yusheng Ji, Fuqiang Liu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato "Towards Practical and Intelligent Routing in Vehicular Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.64, no.12, pp.1-17, 10.1109/TVT.2015.2481464 (2015.12) (査読有)
- [5] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Practical Solution for Broadcasting in VANETs using Neighbor Information," IEICE Transactions on Communications, vol.E96-B, no.11, pp.2856-2864, doi:10.1587/transcom.E96.B.2856 (2013) (査読有)

(学会発表)(計 21 件)

国際会議 (査読有)

- [1] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Tsutomu Murase, and Yan Zhang, "Reinforcement Learning-based Data Storage Scheme in Vehicular Ad Hoc Networks," IEEE International Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia (2016.05)
- [2] Celimuge Wu, Yusheng Ji, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Can DTN Improve the Performance of Vehicle-to-roadside Communication?," Proceedings of IEEE 25th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Hong Kong, China, pp.2084-2089 (2015.09)
- [3] Celimuge Wu, Xianfu Chen, Yusheng Ji, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "A Packet Size-aware Multi-hop Broadcast Protocol for VANETs Based on Adaptive Redundancy," Proceedings of The 24th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), Las Vegas, Nevada, USA, 8 pages (2015.08)
- [4] Celimuge Wu, Yusheng Ji, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "A Routing Protocol for VANETs with Adaptive Frame Aggregation and Packet Size Awareness," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), London, UK, pp.8193-8198 (2015.06)
- [5] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "Providing Fast Broadcasting by Reserving Time Slots for Multi-hop Distance in VANETs," Proceedings of IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Nicosia, Cyprus, pp.213-218 (2014.08)
- [6] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Data Dissemination with Dynamic Backbone Selection in Vehicular Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC2013-Fall), Las Vegas, USA, pp.1-6 (2013.09)
- [7] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Can We Generate Efficient Routes by Using Only Beacons? Backbone Routing in VANETs," Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, UK, pp.2944-2949 (2013.09)
- [8] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "A MAC Protocol for Delay-sensitive VANET Applications With Self-learning Contention Scheme," Proceedings of IEEE 11th Consumer

Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, USA, pp.729-734 (2014.01)

[9] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Joint MAC Network Layer Broadcast Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC) workshop, Budapest, Hungary, pp.505-509 (2013.06)

国内会議 (査読無)

[10] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Yusheng Ji, and Tsutomu Murase, "Storing data in VANETs," IEICE 総合大会, 2016年3月15日, 九州大学 (福岡市西区)

[11] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, Tsutomu Yoshinaga, and Toshihiko Kato, "Reinforcement learning-based parameter tuning for a broadcast protocol in VANETs" IEICE CQ研究会, 2016年1月22日, 筑波大学 (茨城県つくば市)

[12] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "Adaptive Multi-hop Broadcasting Considering Packet Payload Size" IEICE CQ研究会, 2015年11月27日, 新潟大学 (新潟県新潟市)

[13] Celimuge Wu, Jing Lin, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "DTN as An Approach for V2I Data Uploading" IEICE ソサイエティ大会, 2015年9月8日, 東北大学 (宮城県仙台市)

[14] 策力木格, 大坐畠 智, 計 宇生, 加藤 聰彦, "車車間通信: 研究課題と将来応用," IEICE IN研究会, 2015年5月21日, 機械振興会館 (東京都港区)

[15] Ruijian An, Celimuge Wu, Dong Yu, Yusheng Ji, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "Multihop Ad-hoc Networking for Smart Garage: Experiment and Results," IEICE 総合大会, 2015年3月11日, 立命館大学 (京都市中京区)

[16] Yoshimasa Ohya, Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "A Routing Protocol for Drive-thru Internet Access in Delay Tolerant Vehicular Ad Hoc Networks," IEICE CQ研究会, 2015年1月23日, 芝浦工業大学 (東京都江東区)

[17] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "A Multi-hop Broadcast Protocol for WAVE Multi-channel Single-radio Vehicular Networks," IEICE ソサイエティ大会, 2014年9月23日, 徳島大学 (徳島県徳島市)

[18] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "Inter-flow Network Coding for Unicast Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks," IEICE CQ研究会, 2014年6月

26日, 香川大学 (香川県高松市)

[19] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "An Implementation-friendly Broadcast Protocol for VANETs Utilizing Neighbor Information," IEICE CQ研究会, 2013年7月11日, 北海道大学 (札幌市北区)

[20] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, and Toshihiko Kato, "A Backbone-based Multi-hop Broadcast Protocol for VANETs," IEICE ソサイエティ大会, 2013年9月17日, 福岡工業大学 (福岡市東区)

[21] Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Yusheng Ji, and Toshihiko Kato, "Improving VANET unicast routing protocols by using network coding and cooperative relays," IEICE CQ研究会, 2013年10月7日, 大阪大学 (大阪府吹田市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

策力木格 (CELIMUGE WU)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授

研究者番号: 90596230