

学位被授与者氏名	ブルクバシ ケビン (BYLYKBASHI KEVIN)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第64号
学位授与年月日	2021年9月16日
論文題目	Implementation and Performance Evaluation of Intelligent Fuzzy-based Systems and a Testbed for Vehicular Networks
論文題目 (英訳または和訳)	車両間ネットワークのための知的ファジィベースシステム及びテストベッドの実装と性能評価
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 バロリカルト 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 石田 智行 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻准教授 池田 誠 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 江口 啓
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>最近、スマートシティやモノのインターネット (Internet of Things: IoT) の応用において、車両間ネットワーク (Vehicular Networks) とオポチュニスティックネットワーク (Opportunistic Networks) が注目され、詳細に調査されている。しかし、これらの種類の無線ネットワークには、ネットワークの分割、ネットワーク管理、情報発信、セキュリティ、プライバシーなど、多くの問題がある。現在、先進運転支援システムは車両に搭載され、世界中で毎日何千人もの命を救っている。車両間ネットワークと人工知能 (Artificial Intelligence: AI) の進歩により、運転支援システムは運転体験を向上させ、より安全で便利になる。</p> <p>本論文では、車両間ネットワークと運転者支援システムの双方に焦点を当てている。これらのテクノロジーは、交通安全のために同時に共存し、補完し合うことができる。車両間ネットワークにおけるネットワークの分割、管理、通信、セキュリティ、運転安全性の問題を解決するために、セキュリティや信頼性などの一般的な側面に加えて、車両の密度、速度、モビリティなどの固有の要素を考慮した知的なファジィ論理基盤 (Fuzzy Logic-based: FL-based) システムを提案及び実装する。これらの固有の要素は異なり、相互に相関しない問題であり NP 困難となるため、FL を適用する。提案システムは、運転者の状態や運転状況などの本質的にあいまいな概念の効率的かつ効果的なモデリングを可能にする。</p> <p>実装したシステムをシミュレーションと実験で評価する。シミュレーション結果として、提案システムが優れた性能を持ち、様々な運転状況で運転者を支援することを示した。シミュレーション結果を比較するために、システム毎に二つのモデルを提案した。その経過、性能は考慮したパラメータ数と複雑さに関連していることを示した。実験を行うために、軽量で持ち運びが容易なテストベッドを設計および実装した。提案した運転者監視システムのテストベッドを用いて評価し、運転リスク管理システムの重要なデータを収集した。シミュレーション結果と実験結果を比較し、誤差は少ないことが分かった。</p> <p>本論文は、次のような特色と独創的な点を有しており、本研究分野の科学技術を発展させ、世界への貢献が期待できる。1) 車両間ネットワークとその応用に関する深い洞察の提供、2) 車両間ネットワーク用の FL に基づくクラスター管理システムの提案、実装及び性能評価、3) 知的なファジィベース運転者監視システムの提案、実装及び性能評価、4) リスク管理を推進するための知的なファジィベースシステムの提案、実装及び性能評価、5) 提案された知的システムの異なるモデルの比較、6) 提案された知的な運転者支援システムのためのテストベッドの実装、7) シミュレーション結果と実験結果の比較。</p> <p>本論文は8つの章で構成する。第1章では、研究背景、目的及び論文構成を述べる。第2章では、無線ネットワークについて紹介する。第3章では、車両間ネットワークについて紹介する。この章では概念、応用、無線アクセス技術、ネットワークアーキテクチャ、データ配布、セキュリティ、プライバシーについて詳しく説明する。第4章では、知的アルゴリズムについて説明する。第5章では、ファジィ理論、ファジィセット及びファジィシステムの基礎となる基本情報を提供する。第6章では</p>

	<p>、実装された知的なファジィベースシステムを紹介する。第7章では、提案されたシステムと実装されたテストベッドの評価結果について議論する。第8章では、結論とこの分野における今後の課題の見識を与えて、論文をまとめる。</p>
<p>論文内容の要旨 (英文)</p>	<p>Recently, smart cities and Internet of Things (IoT) applications, such as Vehicular Networks and Opportunistic Networks have been deeply investigated. However, these kinds of wireless networks have many issues such as network partitioning, network management, information dissemination, security, privacy, and so on. Now, the driver assistance systems are used in vehicles and they are saving thousands of lives around the world every day. With the advancement of Vehicular Networking and Artificial Intelligence (AI), the driving support systems will enhance the driving experience and make it safer and convenient.</p> <p>This thesis focuses on both directions: Vehicular Networking and driver assistance systems, because these technologies can simultaneously coexist and complement each other for the road safety. To deal with network partitioning, management, communication, security and driving safety issues in Vehicular Networks, we propose and implement intelligent Fuzzy Logic (FL) based systems considering unique factors such as vehicle density, speed and mobility, in addition to general aspects like security and trustworthiness. These factors are different and do not correlate with one another, which makes the problem NP-Hard. For this reason, we use FL. The proposed systems can enable efficient and effective modeling of such inherently ambiguous notions as driver's conditions and driving situations.</p> <p>We evaluate the implemented systems by simulations and experiments. The simulation results show that the proposed systems have a good performance and support the drivers for different driving situations. In order to compare the simulation results, we presented two models for each system. The results indicate that the performance is related to the number of considered parameters and complexity. In order to carry out experiments, we designed and implemented a portable and non-intrusive testbed. By using the testbed, we evaluated the proposed driver monitoring system and gathered critical data for the driving risk management system. We also compared simulation results and experimental results. The comparison results show that the simulation results and experimental results are close to each other.</p> <p>This thesis contributes to the research field as following: 1) We provide deep insights for vehicular networking and its applications; 2) Proposal, implementation and performance evaluation of a cluster management system based on FL for vehicular networks; 3) Proposal, implementation and performance evaluation of an intelligent fuzzy-based driving monitoring system; 4) Proposal, implementation and performance evaluation of an intelligent fuzzy-based system for driving risk management; 5) Comparison of different models for the proposed intelligent systems; 6) Implementation of a testbed for the proposed intelligent driving-support systems; 7) Comparison of simulation results and experimental results.</p> <p>The thesis structure is as follows. In Chapter 1 is presented the background, motivation and structure of the thesis. Chapter 2 introduces Wireless Networks. Chapter 3 presents Vehicular Networks. In this chapter, the concepts, applications, radio access technologies, network architectures, data dissemination, security and privacy are explained in detail. Chapter 4 introduces Intelligent Algorithms. Chapter 5 provides basic information underlying FL theory, fuzzy sets and fuzzy systems. Chapter 6 presents the implemented intelligent fuzzy-based systems. In Chapter 7, we discuss the evaluation results of the proposed systems and the implemented testbed. In Chapter 8, we conclude this thesis and give the future work.</p>
<p>論文審査結果</p>	<p>博士後期課程知能情報システム工学専攻3年の「ブルクバシ ケビン」氏が提出した学位論文を審査し、また最終試験を行ったのでその結果について報告する。</p> <p>(学位論文審査の結果)： 近年、スマートシティやモノのインターネット (Internet of Things: IoT) の応用において、車両間ネットワーク (Vehicular Networks) とオポチュニスティックネットワーク (Opportunistic Networks) が注目され、詳細に調査・研究されている。しかし、これらの種類の無線ネットワークには、ネットワークの分割、ネットワーク管理、情報発信、セキュリティ、プライバシーなど、多くの問題がある。現在、先進運転支援システムは車両に搭載され、</p>

世界中で毎日何千人もの命を救っている。車両間ネットワークと人工知能 (Artificial Intelligence: AI) の進歩により、運転者支援システムは運転中のドライバーをより適切にサポートするようになっている。

本論文では、車両間ネットワークと運転者支援システムの双方に焦点を当てている。これらのテクノロジーは、交通安全のために同時に共存し、補完し合うことができる。車両間ネットワークにおけるネットワークの分割、管理、通信、セキュリティ、運転安全性の問題を解決するために、セキュリティや信頼性などの一般的な側面に加えて、車両の密度、速度、モビリティなどの固有の要素を考慮した知的なファジィ論理基盤 (Fuzzy Logic-based: FL-based) システムを提案及び実装する。これらの固有の要素は異なり、相互に相関しない問題であり NP 困難となるため、FL を適用する。提案システムは、運転者の状態や運転状況などの本質的にあいまいな概念の効率的かつ効果的なモデリングを可能にする。

実装したシステムをシミュレーションと実験で評価する。シミュレーション結果として、提案システムが優れた性能を持ち、様々な運転状況で運転者を支援することを示した。また、性能は考慮したパラメータ数と複雑さに関連していることを示した。実験を行うために、軽量で持ち運びが容易なテストベッドを設計および実装した。提案した運転者監視システムのテストベッドを用いて評価し、運転リスク管理システムの重要なデータを収集した。シミュレーション結果を比較するために、システム毎に二つのモデルを提案した。また、シミュレーション結果と実験結果を比較し、誤差は少ないことが分かった。

本論文は、次のような特色と独創的な点を有しており、本研究分野の科学技術を発展させ、世界への貢献が期待できる。1) 車両間ネットワークとその応用に関する深い洞察の提供、2) 車両間ネットワーク用のファジィ論理基盤クラスター管理システムの提案、実装及び性能評価、3) 知的なファジィベース運転者監視システムの提案、実装及び性能評価、4) リスク管理を推進するための知的なファジィベースシステムの提案、実装及び性能評価、5) 実装された知的なシミュレーションシステムの比較、6) 提案された知的な運転者支援システムのためのテストベッドの実装、7) シミュレーション結果と実験結果の比較。

本論文は 8 つの章で構成する。第 1 章では、研究背景、目的及び論文構成を述べている。第 2 章では、無線ネットワークについて紹介している。第 3 章では、車両間ネットワークについて述べている。この章では概念、応用、無線アクセス技術、ネットワークアーキテクチャ、データ配布、セキュリティ、プライバシーについて詳しく説明している。第 4 章では、知的アルゴリズムについて説明している。第 5 章では、ファジィ理論、ファジィセット及びファジィシステムの基礎となる基本情報を提供している。第 6 章では、実装された知的なファジィベースシステムを紹介している。第 7 章では、提案されたシステムと実装されたテストベッドの評価結果について議論している。第 8 章では、結論とこの分野における今後の課題の見識を与えて、論文をまとめている。

本研究の成果は、氏の博士後期課程在学期間において学術論文 4 編 (第 1 著者 4 編)、国際会議 11 編 (第 1 著者 11 編) となっている。また、CISIS-2019 及び EIDWT-2020 国際会議では “Best Paper” 賞を受賞しており、本研究の新規性と有用性が認められるとともに、国際的にも高く評価できる研究であることが分かる。

以上の理由により、審査委員会は本論文が学位論文の内容として適合すると判定した。

学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また、公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。

以上の結果から、学位審査委員会は本論文が博士 (工学) の学位に適格であると判定した。

主な研究業績	1 5 編 1 冊
--------	-----------

(学術論文)

(査読付き学術論文：第一著者 4 編)

1. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Phudit Ampririt, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, “Effect of Vehicle Technical Condition on Real-time Driving Risk Management in Internet of Vehicles: Design and Performance Evaluation of an Integrated Fuzzy-based System,” *Internet of Things (IoT)*, Elsevier, Vol. 13, 100363; DOI: [10.1016/j.iot.2021.100363](https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100363), Indexed in: Scopus (Elsevier), Compendex [formerly Ei] (Elsevier), March 2021.
2. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Phudit Ampririt, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, “Performance Evaluation of an Integrated Fuzzy-Based Driving-Support System for Real-Time Risk Management in VANETs,” *Sensors*, MDPI, Vol. 20, No. 22, 6537; DOI: [10.3390/s20226537](https://doi.org/10.3390/s20226537), Impact Factor: 3.275, November 2020.
3. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, “Fuzzy-based Driver Monitoring System (FDMS): Implementation of Two Intelligent FDMSs and a Testbed for Safe Driving in VANETs”, *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, Vol. 105, pp. 665-674, DOI: [10.1016/j.future.2019.12.030](https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.030), Impact Factor: 6.125, CiteScore: 10.2, April 2020.
4. **Kevin Bylykbashi**, Donald Elmazi, Keita Matsuo, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, “Effect of Security and Trustworthiness for a Fuzzy Cluster Management System in VANETs,” *Cognitive Systems Research*, Elsevier, Vol. 55, pp. 153-163, DOI: [10.1016/j.cogsys.2019.01.008](https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2019.01.008), Impact Factor: 1.902, CiteScore: 3.2, June 2019.

(国際会議論文)

(査読付き国際会議：第一著者 1 1 編)

1. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, “Effect of Vehicle Technical Condition on Real-Time Driving Risk Management in VANETs”, *Proc. of EIDWT-2021*, pp. 143-154, DOI: [10.1007/978-3-030-70639-5_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70639-5_14), Chiang Mai, Thailand, February 2021.
2. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, “An Integrated Fuzzy-Based Simulation System for Driver Risk Management in VANETs Considering Relative Humidity as a New Parameter”, *Proc. of BWCCA-2020*, pp. 233-243, DOI: [10.1007/978-3-030-61108-8_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61108-8_23), Yonago, Japan, October 2020.
3. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Phudit Ampririt, Keita Matsuo, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, “An Integrated Fuzzy-Based Simulation System for Driving Risk Management in VANETs Considering Road Condition as a New Parameter”, *Proc. of INCoS-2020*, pp. 15-25, DOI: [10.1007/978-3-030-57796-4_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57796-4_2), Victoria, Canada, September 2020.
4. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, “A Fuzzy-Based Simulation System for Driving Risk Management in VANETs Considering Weather Condition as a New Parameter”, *Proc. of IMIS-2020*, pp. 23-32, DOI: [10.1007/978-3-030-50399-4_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50399-4_3), Lodz, Poland, July 2020.
5. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, “Effect of Driver’s Condition for Driving Risk Measurement in VANETs: A Comparison Study of Simulation and Experimental Results”,

Proc. of EIDWT-2020, pp. 102–113, DOI: 10.1007/978-3-030-39746-3_12, Kitakyushu, Japan, February 2020.

6. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, “A Fuzzy-Based System for Driving Risk Measurement (FSDRM) in VANETs: A Comparison Study of Simulation and Experimental Results”, Proc. of 3PGCIC-2019, pp. 14–25, DOI: 10.1007/978-3-030-33509-0_2, Antwerp, Belgium, November 2019.
7. **Kevin Bylykbashi**, Ermioni Qafzezi, Makoto Ikeda, Keita Matsuo, Leonard Barolli, “Implementation of a Fuzzy-Based Simulation System and a Testbed for Improving Driving Conditions in VANETs Considering Drivers’s Vital Signs”, Proc. of NBiS-2019, pp. 37–48, DOI: 10.1007/978-3-030-29029-0_4, Oita, Japan, September 2019.
8. **Kevin Bylykbashi**, Donald Elmazi, Keita Matsuo, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, “Implementation of a Fuzzy-Based Simulation System and a Testbed for Improving Driving Conditions in VANETs”, Proc. of CISIS-2019, pp. 3–12, DOI: 10.1007/978-3-030-22354-0_1, Sydney, Australia, July 2019.
9. **Kevin Bylykbashi**, Yi Liu, Donald Elmazi, Keita Matsuo, Makoto Ikeda and Leonard Barolli, “A Secure and Trustworthy Intelligent System for Clustering in VANETs Using Fuzzy Logic”, Proc. of AINA-2019, pp. 156–165, DOI: 10.1007/978-3-030-15032-7_13, Matsue, Japan, March 2019.
10. **Kevin Bylykbashi**, Yi Liu, Keita Matsuo, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, “A Fuzzy-based System for Cloud-Fog-Edge Selection in VANETs”, Proc. of EIDWT-2019, pp. 1-12, DOI: 10.1007/978-3-030-12839-5_1, Fujairah, UAE, February 2019.
11. **Kevin Bylykbashi**, Yi Liu, Kosuke Ozero, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, “A Fuzzy-Based System for Safe Driving Information in VANETs”, Proc. of BWCCA-2018, pp. 648-658, DOI: 10.1007/978-3-030-02613-4_58, Taichung, Taiwan, October 2018.