

学位被授与者氏名	エルマジ ドナルド (ELMAZI DONALD)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 5 1 号
学位授与年月日	平成 3 0 年 9 月 2 1 日
論文題目	Application of Fuzzy Logic for Actor Node Selection in Wireless Sensor and Actor Networks: Implementation and Performance Evaluation of Proposed Intelligent Simulation Systems and a Testbed
論文題目 (英訳または和訳)	無線センサ・アクタ・ネットワークにおけるアクタ・ノード選出のためのファジィ論理の応用: 提案された知的シミュレーション・システムと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 バロレオナルド 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 前田 洋 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>無線センサ・アクタ・ネットワーク (Wireless Sensor and Actor Networks: WSAAN) は分散検知とタスクを実行するセンサとアクタから構成される。WSAAN では、センサにより情報を収集してデータを処理し、集めた情報に基づいて最適なアクションが実行される。効率の良いセンシングと動作を決定するためにはノードの協調動作メカニズムが必要である。また、WSAAN には、省エネルギー、ルーティング効率、センサ・アクタの調整およびアクタ・ノード選出など、多くの課題がある。この問題を解決するために多くのパラメータを考慮する必要であり、NP (Nonlinear Programming) 完全問題となり、解決手法としてはヒューリスティック及び知的アルゴリズムが有効である。</p> <p>本研究では、WSAAN におけるアクタ・ノード選出問題について焦点を当てている。要求されるタスクを実行するために、新たなパラメータの検討および提案を行い、ファジィ論理 (Fuzzy Logic: FL) に基づく異なるインテリジェント・システムを実装し、アクタ・ノードを選出する。提案システムは異なる環境に適応でき、その応用を可能とする。実装したシステムを評価するために、様々なシナリオで評価する。評価結果から、提案システムが良好な性能を有することがわかった。実装されたシステムは、省エネルギーと輻輳状況を改善し、モバイル WSAAN に使用することができる。また、提案システムとの比較では、多くのパラメータを使用するシステムでは複雑さは増加するが、アクタの選出性能も向上することを明らかにした。そして、テストベッドを実装し、実環境で実験を行った。実験結果は、実装されたテストベッドがアクタ・ノードの選出に良い判断ができることを示した。</p> <p>本研究は、次のような特色と独創的な点を有しており、科学技術への貢献が期待できる。1) WSAAN におけるアクタ・ノード選出のための新しいパラメータの提案、2) WSAAN における適切なアクタ・ノード選出を行うためのファジィ論理に基づくインテリジェント・システムの提案と実装、3) 様々なシナリオで実装されたシステムの性能評価、4) 実装されたインテリジェント・シミュレーション・システムの比較、5) WSAAN のためのテストベッドの実装と実シナリオの応用、6) 本研究の結果から、今後の無線通信の技術の発展のための WSAAN の応用についての見識を与える。</p> <p>以下に論文の構成を示す。第1章では、研究背景と目的、論文構成を述べている。第2章では、無線ネットワークの一般的な技術を紹介し、WSAAN の関連研究として、無線センサ・ネットワーク、モバイルアドホックネットワークおよび無線メッシュ・ネットワークについて述べる。第3章では、WSAAN のアーキテクチャ、課題およびアプリケーションについて紹介する。第4章では、ファジィ論理、ファジィ集合及びファジィ・メンバーシップ関数について説明する。第5章では、WSAAN におけるアクタ・ノード選出のためのファジィ理論に基づいたシミュレーション・システムの設計と実装について述べる。第6章では、提案システムのシミュレーション結果を議論する。第7章では、テストベッドの実装と評価について説明する。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>
論文内容の要旨	The Wireless Sensor and Actor Networks (WSANs) are composed of sensors and actors.

<p>(英文)</p>	<p>The sensors gather information about the physical events, while actors perform appropriate actions based on the sensed data from sensors. In order to provide effective sensing and acting, a coordination mechanism is necessary among sensors and actors. Also, there are many issues for WSNs such as energy saving, routing efficiency, sensor-actor coordination and actor node selection to carry out a job. However to deal with these problems should be considered many parameters, which make the problem NP-Hard. Thus, the heuristic and intelligent algorithms are good solutions.</p> <p>In this research work, we focus on actor node selection problem in WSNs. We consider and propose new parameters and implement different intelligent systems based on Fuzzy Logic (FL) to select the actor nodes in order to perform the required tasks. The proposed systems can be used in different environments and applications. We carried out many simulations and found that the performance of implemented systems is good. The implemented systems improves the energy saving and congestion situation and they can be used for mobile WSNs. We also compared the complexity of different fuzzy-based systems and found that when we use many parameters the complexity is increased, but the performance also is increased. We implemented a testbed and performed experiments in real environment. The experimental results show that the implemented testbed makes a good decision for actor node selection.</p> <p>This thesis contributes in the research field as following: 1) Proposal of new parameters for actor node selection in WSNs. 2) Proposal and implementation of intelligent systems based on FL for making appropriate actor node selection in WSNs. 3) Performance evaluation of implemented systems for different scenarios. 4) Comparison of implemented intelligent simulated systems. 5) Implementation of a testbed for WSNs and its application in a real scenario. 6) Give insights about future developments and application of WSNs as an important technology for wireless communications.</p> <p>The thesis has 8 Chapters. Chapter 1 presents the background, motivation and thesis structure. Chapter 2 introduces general aspects of wireless networks and describes Wireless Sensor Networks (WSNs), Mobile Ad-hoc Networks (MANETs) and Wireless Mesh Networks (WMNs) as related work. In Chapter 3, we introduce the architecture, challenges and applications of WSNs. In Chapter 4, we present FL, Fuzzy sets and Fuzzy memberships functions. In Chapter 5, we present our proposed fuzzy-based simulation systems for actor node selection in WSNs. In Chapter 6 are shown the performance evaluation results of proposed simulation systems. In Chapter 7, we show testbed implementation and evaluation. 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「エルマジ ドナルド」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)： 無線センサ・アクタ・ネットワーク (Wireless Sensor and Actor Networks: WSN) は分散検知とタスクを実行するセンサとアクタから構成される。WSN では、センサにより情報を収集してデータを処理し、集めた情報に基づいて最適なアクションが実行される。効率の良いセンシングと動作を決定するためにはノードの協調動作メカニズムが必要である。また、WSN には、省エネルギー、ルーティング効率、センサ・アクタの調整およびアクタ・ノード選出など、多くの課題がある。この問題を解決するために多くのパラメータを考慮する必要があるため、NP (Nonlinear Programming) 完全問題となり、解決手法としてはヒューリスティック及び知的アルゴリズムが有効である。本論文では、WSN におけるアクタ・ノード選出問題について焦点を当てている。要求されるタスクを実行するために、新たなパラメータの検討および提案を行い、ファジィ論理 (Fuzzy Logic: FL) に基づく異なるインテリジェント・システムを実装することでアクタ・ノードを選出する。提案システムは異なる環境に適応でき、その応用を可能とする。実装したシステムを評価するために、様々なシナリオで評価している。評価結果から、提案システムが良好な性能を有することが示された。実装されたシステムは、省エネルギー</p>

と輻輳状況を改善し、モバイルWSANに使用することができる。また、提案システムとの比較では、多くのパラメータを使用するシステムでは複雑さは増加するが、アクタの選出性能も向上することを明らかにした。そして、テストベッドを実装し、実環境で実験を行っている。実験結果は、実装されたテストベッドがアクタ・ノードの選出において良い判断ができることが示された。このように本研究の内容は、他の研究者によって報告されていない結果を含み、学位論文としての十分な価値があると認められる。

本論文は次の特色と独創性を有しており高く評価できる。1) WSANにおけるアクタ・ノード選出のための新しいパラメータを提案した。2) WSANにおける適切なアクタ・ノード選出を行うためのファジィ論理に基づくインテリジェント・システムを提案と実装した。3) 様々なシナリオで実装されたシステムの性能評価を行った。4) 実装されたインテリジェント・シミュレーション・システムの比較を行った。5) WSANのためのテストベッドの実装と実シナリオの応用を行った。6) 本研究の結果から、今後の無線通信の技術の発展のためのWSANの応用についての見識を与えた。

論文の構成は次のようになっている。第1章では、研究背景と目的、論文構成を述べている。第2章では、無線ネットワークの一般的な技術を紹介し、WSANの関連研究として、無線センサ・ネットワーク、モバイルアドホックネットワークおよび無線メッシュ・ネットワークについて述べている。第3章では、WSANのアーキテクチャ、課題およびアプリケーションについて紹介している。第4章では、ファジィ論理、ファジィ集合及びファジィ・メンバーシップ関数について説明している。第5章では、WSANにおけるアクタ・ノード選出のためのファジィ理論に基づいたシミュレーション・システムの設計と実装について述べている。第6章では、提案システムのシミュレーション結果を議論している。第7章では、テストベッドの実装と評価について説明している。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5編（第1著者5編）、国際会議11編（第1著者11編）となっている。また、BWCCA-2015国際会議及びIMIS-2016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

参考論文 16編1冊
 (学術論文)
 (査読付き学術論文：第一著者5編)

1. **Donald Elmazi**, Elis Kulla, Tetsuya Oda, Evjola Spaho, Shinji Sakamoto, Leonard Barolli, “A Comparison Study of Two Fuzzy-based Systems for Selection of Actor Node in Wireless Sensor Actor Networks”, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (JAIHC), Springer, Vol. 6, No. 5, pp. 635-645, DOI: 10.1007/s12652-015-0279-6, October 2015.
2. **Donald Elmazi**, Shinji Sakamoto, Tetsuya Oda, Elis Kulla, Evjola Spaho, Leonard Barolli, “Two Fuzzy-Based Systems for Selection of Actor Nodes in Wireless Sensor and Actor Networks: A Comparison Study Considering Security Parameter Effect”, Mobile Networks & Applications (MONET), Springer, Vol. 21, No. 1, pp. 53-64, DOI: 10.1007/s11036-015-0673-5, February 2016.
3. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Elis Kulla, Tetsuya Oda, Makoto Ikeda,

Leonard Barolli, "Implementation and Comparison of Two Intelligent Systems Based on Fuzzy Logic for Actor Selection in WSANs: Effect of Node Density on Actor Selection", *Journal of Space-Based and Situated Computing*, Inderscience, Vol. 7, No. 4, pp. 229-238, DOI: 10.1504/IJSSC.2017.10010832, December 2017.

4. **Donald Elmazi**, Mirakda Cuka, Kevin Bylykbashi, Evjola Spaho, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "Implementation of Intelligent Fuzzy-based Systems for Actor Node Selection in WSANs: A Comparison Study Considering Effect of Actor Congestion Situation", *Journal of High Speed Networks*, IOS Press, Vol. 24, No. 3, pp. 187-199, DOI: 10.3233/JHS -180590, 2018.
5. **Donald Elmazi**, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "Implementation and Performance Evaluation of an Intelligent Fuzzy-based Testbed for WSANs: A Case Study for Object Tracking", *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems (IJCND)*, Inderscience, Vol. 21, No. 1, pp. 80-94, 2018.

(国際会議論文)

(査読付き国際会議：第一著者11編)

1. **Donald Elmazi**, Takaaki Inaba, Shinji Sakamoto, Tetsuya Oda, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Selection of Secure Actors in Wireless Sensor and Actor Networks Using Fuzzy Logic, Proc. of the 10-th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2015), pp. 125-131, Krakow, Poland, November 2015.
2. **Donald Elmazi**, Shinji Sakamoto, Tetsuya Oda, Elis Kulla, Evjola Spaho, Leonard Barolli, Effect of Security Parameter for Selection of Actor Nodes in WSAN: A Comparison Study of Two Fuzzy-Based Systems, Proc. of the 30-th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA-2016), pp. 957-964, Crans-Montana, Switzerland, March 2016.
3. **Donald Elmazi**, Shinji Sakamoto, Elis Kulla, Tetsuya Oda, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, A QoS-Aware Actor Node Selection System for Wireless Sensor and Actor Networks Using Fuzzy Logic, Proc. of the 10-th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS-2016), pp. 42-48, Fukuoka, Japan, July 2016.
4. **Donald Elmazi**, Evjola Spaho, Elis Kulla, Tetsuya Oda, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "Selection of Actor Nodes in Wireless Sensor and Actor Networks Considering as a New Parameter Actor Congestion Situation", Proc. of the 19-th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2016), pp. 29-36, Ostrava, Czech Republic, September 2016.
5. **Donald Elmazi**, Tetsuya Oda, Evjola Spaho, Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "A Fuzzy-Based Simulation System for Actor Selection in Wireless Sensor and Actor Networks Considering as a New Parameter Density of Actor Nodes", Proc. of the 11-th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2016), pp. 163-174, Asan, Korea, November 2016.
6. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Tetsuya Oda, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "Effect of Node Density on Actor Selection in WSANs: A Comparison Study for Two Fuzzy-based Systems", Proc. of the 31-st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA-2017), pp. 865-871, Taipei, Taiwan, March 2017.
7. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Tetsuya Oda, Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "Selection of Actor Nodes in Wireless Sensor and Actor

Networks: A Fuzzy-Based System Considering Packet Error Rate as a New Parameter”, Proc. of the 11-th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS-2017), pp. 43-55, Turin, Italy, July 2017.

8. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Tetsuya Oda, Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, “Effect of Packet Error Rate on Selection of Actor Nodes in WSANs: A Comparison Study of Two Fuzzy-Based Systems”, Proc. of the 20-th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS-2017), pp. 114-126, Toronto, Canada, August 2017.
9. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Kevin Bylykbashi, Evjola Spaho, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, “Selection of Actor Nodes in Wireless Sensor and Actor Networks Considering Actor-Sensor Coordination Quality Parameter”, Proc. of the 12-th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2017), pp. 87-99, Barcelona, Spain, November 2017.
10. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Kevin Bylykbashi, Evjola Spaho, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, “Selection of Actor Nodes in Wireless Sensor and Actor Networks Considering Failure of Assigned Task as New Parameter”, Proc. of EIDWT-2018, pp. 106-118, Tirana, Albania, March 2018.
11. **Donald Elmazi**, Miralda Cuka, Kevin Bylykbashi, Evjola Spaho, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, “Selection of Actor Nodes in Wireless Sensor and Actor Networks Considering Number of Obstacles as New Parameter”, Proc. of 32-nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA-2018), Krakow, pp. 658-666, Poland, May 2018.