

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：25403
研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2012～2014
課題番号：24300028
研究課題名(和文)アシュアランスネットワーク設計原理とその応用

研究課題名(英文)Assurance Network Design Principle and Its Application

研究代表者
角田 良明(Kakuda, Yoshiaki)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40233671
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,300,000円

研究成果の概要(和文)：アシュアランスネットワークの統一的设计技術はネットワーク分割構造自律構成技術とリアルタイム自己組織化制御技術で構成される。本研究では、これらの技術を応用し、動的階層化、変化に偏りがある移動モデル、自己組織化送信電力制御などのMANET技術を提案した。また、遅延・切断耐性Bluetooth MANETに基づいた展示評価情報伝搬・収集システムおよび平常時災害時両用システムを開発し、国際会議、国内研究会、展示会で技術展示を行い、それらの有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：The unified technologies for design of assurance networks consist of autonomous divided network structure configuration and real-time self-organized control. This research has proposed their application to MANET technologies such as dynamic hierarchization, mobility model representing biased change, and self-organized transmission power control. Then, this research has developed the delay and disruption tolerant Bluetooth MANET-based assessment information acquisition and dissemination system, and dual-purpose normal and disaster situations system. This research also showed their usability and availability by demonstrating the aforementioned systems in international conferences, domestic technical meetings and expositions.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：アシュアランスネットワーク モバイルアドホックネットワーク 自己組織化

1. 研究開始当初の背景

(1)近い将来の Internet of Things (IoT)の時代では、ネットワークは巨大化し、ネットワーク上の情報の流れは予測不可能であり大きく変動しているにもかかわらず、重要なサービスの停止は許されない。そのようなネットワーク環境において社会の安心安全を確保するための様々なサービスが提供される。たとえば、見守りサービスは子どもおよび高齢者の安全確保に重要な役割を果たすものであり、その実現に対する社会的要請は大きく、見守りシステムの実用化に向けた研究開発が活発に行われてきた。ところが、信頼性、安全性、迅速性を低コストで実現するという見守りシステムの要求条件を満たすことは厳しく、自治体の協力無しに実用化されている例はほとんどない。我々は、ユーザからのいかなる要求にも継続的かつ安定的に応えるようにサービスをリアルタイムに提供できるアシュアランスネットワーク設計原理を確立し、モバイルアドホックネットワークシステムなどに応用することを目指している。

(2)アシュアランスネットワークの起源は、1990年にアメリカ合衆国テキサス大学オースティン校(現在、スイス・ルガーノ大学)の Mirosław Malek 教授が提唱したリスポンシブシステムに遡る。リスポンシブシステムは、並列/分散システム環境でフォールトトレラントシステムとリアルタイムシステムの機能を統合したものである。アシュアランスネットワークは、リスポンシブシステムを一般化したネットワークと捉えることができる。アシュアランスネットワークではリスポンシブシステムに組み込まれた耐故障及び実時間に関する技術だけでなく、自律、移動、知識などの技術も必要となる。アシュアランスネットワークは、ネットワークが大規模化しても、ユーザの要求やネットワーク環境が変動しても、セキュリティに対する攻撃が存在しても、想定外の故障を引き起こすフォールトが存在しても、期待されるサービスをタイムリーに実行するネットワークである。

2. 研究の目的

本研究では、多様なサービス要求・ネットワーク環境およびそれらの急激な変動、想定外の故障を引き起こすフォールト、セキュリティに対する攻撃が起こってもリアルタイムにサービスを提供できるネットワークの実現を目指すためにアシュアランスネットワーク設計原理を確立するとともに、見守りシステムなどに応用することにより、アシュアランスネットワーク設計原理の有用性を明らかにすることを研究目的とする。

3. 研究の方法

平成24年度には、アシュアランスネットワーク設計原理の確立のために、その要素技

術であるネットワーク分割構造自律構成技術、リアルタイム自己組織化制御技術について下記の通り研究を行う。適度な規模のサブネットワークに自律的に構成させ、変動情報を効率良く取得する機構について検討を進め、ネットワーク分割構造自律構成技術のスケラビリティについてアシュアランスの評価尺度を用いて評価する。適用可能な予測機構および制御機構について検討し、これらの機構に基づくリアルタイム自己組織化制御技術のアダプタビリティについてアシュアランスの評価尺度を用いて評価する。

平成25年度には、アシュアランスネットワーク設計原理の有用性を明らかにするためにアシュアランスネットワーク設計原理を応用したモバイルアドホックネットワークシステムを構築する。アシュアランスネットワーク設計原理に基づいてモバイルアドホックネットワークを構築すれば、サブネットワークの自律構成および端末に関する変動情報の収集を効率的に行うことができる。モバイルアドホックネットワークシステムにおいて必要かつ有益な情報を提供するサービスをアシュアランスの評価尺度を用いて評価する。

平成26年度には、様々なサービス・アプリケーションの実証実験を行い、アシュアランスネットワーク設計原理の幅広い有用性を評価する。そのため、ネットワーク分割構造自律構成技術・リアルタイム自己組織化制御技術を実装した Android 端末をノードとしたアシュアランスネットワーク設計原理に基づいたモバイルアドホックネットワークシステムを構築する。

4. 研究成果

(1)アシュアランスネットワーク技術

アシュアランスネットワーク設計原理に基づいてネットワーク分割構造自律構成技術およびリアルタイム自己組織化制御技術について研究を推進し、下記の成果を得た。

トラフィック変動に適応する無線メッシュネットワークの動的階層化手法

ネットワーク分割構造自律構成技術を無線メッシュネットワークに適用し、ネットワークを複数のサブネットワークに分割して管理し、サブネットワークを動的に分割・結合する階層化手法を提案した。また、シミュレーション実験により、トラフィックが急激に増加する環境において固定の階層ルーティングと比較し、急激に増加するトラフィックを検知した場合、そのようなトラフィックを分割したサブネットワークにタイムリーに分散させることにより提案法が有効に働くことを示した。

モビリティやデンシティを変化させるネットワークモデルの提案とその評価

ランダムウェイポイントモデルのように時間的にも空間的にも携帯端末が均等に配置される従来のモデルでは、時間的にも空間

的にも携帯端末の配置に偏りが生じるネットワーク環境を実現できなかった。そこで、携帯端末のモビリティやデンシティを、時間的にも空間的にも変化させることのできる新たなネットワークモデルを提案した。提案法では、リアルタイム自己組織化制御技術を組み入れたルーティングプロトコルの性能評価を行う上での新しい指標とするために、携帯端末のモビリティやデンシティの変化率も算出する。提案法により生成した変化率の異なる携帯端末の移動シナリオを幾つかのルーティングプロトコルに適用してシミュレーション実験を行い、提案法の有効性を評価した。

変化率に基づいた移動シナリオの自動生成

それぞれの空間に対して端末速度や端末密度の変化率を入力して与えるだけで、変化率に従って端末を移動させる移動シナリオを自動生成するアルゴリズムを提案した。変化率を高くすれば、ランダムウェイポイントモデル等の確率論的モデルでは作り出せない、端末速度や端末密度の時間的および空間的な変化に偏りのある移動シナリオを効率的に生成できる。

自己組織化送信電力制御法

リアルタイム自己組織化制御技術の適用例として、MANET の自律分散クラスタリングにおいて、隣接ノード間の距離により各クラスタ内の面積とノード数を推定し、そのクラスタ内の送信電力をノード密度に応じてリアルタイムに調整する自己組織化送信電力制御法を新たに提案した。また、ノードが特定の領域に移動してノード密度が大きく変動する移動モデルを用いて提案法をシミュレーション実験により評価し、自律分散クラスタリングと比較して、データパケット到達率を維持しながら消費電力量を 10%以上削減できることを確認した。この成果により、ノード密度が空間的にも時間的にも大きく変動するネットワーク環境においても各クラスタが独立してそのクラスタのノード密度に適した電力でパケットの送信を制御できるようになった。

自己組織化送信電力制御法の改善

で提案した自律分散クラスタリングの自己組織化送信電力制御法では、それぞれのクラスタで独立して送信電力を調整するため、クラスタ間片方向リンク問題が生じていた。この問題を解決する新たな自己組織化送信電力制御法を提案した。二つの避難所への移動を表す、変化率が大きい移動シナリオにおいて、自律分散クラスタリングと比較して、データパケット到達率を維持しながら消費電力量は半分以上削減できることを示した。

(2)アシュアランスネットワーク設計原理を応用したモバイルアドホックネットワークシステム

アシュアランスネットワーク設計原理の

有用性を実証するために、その設計原理を応用した幾つかのモバイルアドホックネットワークシステムを構築した。

展示評価情報伝搬・収集システム

Android 端末による Bluetooth MANET に基づいた展示評価情報伝搬・収集システムを開発した。平成 25 年 4 月 19 日から 5 月 12 日まで旧広島市民球場跡地で開催されたひろしま菓子博覧会および同年 10 月 26 日、27 日広島市立大学で開催された大学祭において実証実験を実施し、端末静止時のマルチホップ転送および端末移動時の接続性に関するネットワーク性能を評価した。その実証実験の結果と経験を活かし、隣接端末による経路が存在する場合にリアルタイムに情報を転送するマルチホップ転送と隣接端末が存在しない場合でも情報を蓄積し新たな端末が近づいたら情報を転送する蓄積転送を、隣接端末の状況に応じて動的に切り替える、新たな転送方式を提案した。

アプリケーション層	サービス	災害情報伝搬	見守り	群衆事故回避
	モード切替機能 ・ 平常時モード ・ 災害時モード			
ルーティング層	アシュアランス機能 ・ リアルタイム自己組織化送信間隔制御 ・ リアルタイム自己組織化送信電力制御			
	接続状況による自動伝送方式切替 ・ マルチホップ伝送 ・ 蓄積伝搬(Epidemic Routing)			
デバイス層	Bluetooth MANET ・ Bluetooth 2.1 ・ Bluetooth Low Energy			

図 1 モバイルアドホックネットワークシステムのためのアシュアランスネットワークアーキテクチャ

平常時災害時両用システム

Bluetooth MANET を用いた平常時災害時両用システムとアプリケーションを開発した。情報の構造と表示を 1 対 1 に対応させるため、平常時のアプリケーションから災害時のアプリケーションへ円滑に移行できるようになっている。平常時アプリケーションには、口コミ情報、見守り情報等、災害時アプリケーションには、安否情報、問合せ情報等が含まれる。大学内でフィールド実験を実施し、端末間で接続が頻繁に切断する環境においても効率よくデータを転送できることを実証した。開発した平常時災害時両用システムは、モバイルアドホックネットワークシステムのためのアシュアランスネットワークアーキテクチャ(図 1)に基づいて設計しているため、アシュアランス性を評価するための実証実験基盤として活用できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 48 件)

- (1) Keita Kobayashi, Yoshiaki Kakuda, “An inter communication scheme for self-organized transmission power in MANET clustering,” Proc. 18th IEEE International Symposium on Real-time Distributed Computing Workshops (ISORCW 2015), 査読有, 18, 99-106, 2015. DOI:10.1109/ISOWC.2015.49
- (2) Yuya Minami, Yuya Kitaura, Eitaro Kohno, Shinji Inoue, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda, “Delay- and disruption-tolerant Bluetooth MANET-based dual-purpose systems for normal and disaster situations,” Proc. 11th IEEE International Conference on Autonomic & Trusted Computing (ATC-2014), 査読有, 11, 615-619, 2014. DOI:10.1109/UIC-ATC-ScalCom.2014.34
- (3) Takahiro Shigeta, Eitaro Kohno, Yoshiaki Kakuda, “An efficient algorithm for deriving mobility scenarios from new mobility model representing spatially and temporally biased change of node mobility and node density for mobile ad hoc networks,” Proc. 11th IEEE International Conference on Automatic & Trusted Computing (ATC-2014), 査読有, 11, 556-562, 2014. DOI:10.1109/UIC-ATC-ScalCom.2014.23
- (4) Yuya Kitaura, Yuya Minami, Eitaro Kohno, Yoshiaki Kakuda, “A self-organized approach for the communication method to adapt connectivity of terminals in Bluetooth MANETs,” Proc. 17th IEEE International Symposium on Object/component/service-oriented Real-time Distributed Computing Workshops, 査読有, 17, 342-347, 2014. DOI: 10.1109/ISORC.2014.20
- (5) Yuya Kitaura, Yuri Tsutsui, Koji Taketa, Eitaro Kohno, Shinji Inoue, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda, “The assessment information acquisition and dissemination system based on delay and disruption tolerant MANETs for the hiroshima national confectionery exposition,” Proc. First International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2013), 査読有, 1, 476-479, 2013. DOI:10.1109/CANDAR.2013.84
- (6) Kenji Yui, Shinji Inoue, Yoshiaki Kakuda, “A self-organized clustering for transmission power control adapting to change of node density in MANETs,” Proc. First International Symposium on Computing and Networking

(CANDAR 2013), 査読有, 1, 454-460, 2013. DOI:10.1109/CANDAR.2013.80

- (7) Tomoyuki Ohta, Shuhei Ishizuka, Takeshi Hashimoto, Yoshiaki Kakuda, Atsushi Ito, “Mobile agent migration mechanism adaptive to service dissemination and collection for mobile ad hoc networks,” IEICE Transactions on Communications, 査読有, E97-B, 610-619, 2014. DOI:10.1587/transcom.E97.B.610
- (8) Yasuhiro Nakamoto, Yoshiaki Kakuda, “A dynamic hierarchization method for traffic variation in wireless mesh networks,” Proc. 11th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS 2013), 査読有, 11, 193-198, 2013. DOI: 10.1109/ISADS.2013.6513417
- (9) Hiroki Matsukane, Yoshiaki Kakuda, “Network model for changing node mobility and density in mobile ad hoc networks,” Proc. 11th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS 2013), 査読有, 11, 199-204, 2013. DOI: 10.1109/ISADS.2013.6513418
- (10) Koki Morii, Koji Taketa, Yuichiro Mori, Hideharu Kojima, Eitaro Kohno, Shinji Inoue, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda, “A new generation children tracking system using Bluetooth MANET composed of Android mobile terminals,” Proc. 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (ATC-2012), 査読有, 9, 405-407, 2012. DOI: 10.1109/UIC-ATC.2012.86
- (11) Yasuharu Ohta, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda, “A data transfer scheme based on autonomous clustering with positions and moving direction of vehicles for VANETs,” IEICE Transactions on Communications, 査読有, E95-B, 2728-2739, 2012. DOI:10.1587/transcom.E95.B.2728
- (12) Tomoya Okazaki, Mario Takeuchi, Eitaro Kohno, Yoshiaki Kakuda, “Self-organized routing ID tree-based multipath construction for ad hoc networks,” Proc. 15th IEEE Symposium on Object/component/service-oriented Real-time Distributed Computing Workshops (ISORCW 2012), 査読有, 15, 172-179, 2012. DOI:10.1109/ISORCW.2012.38

〔学会発表〕(計 75 件)

- (1) 角田良明, “[招待講演]アシュアランス

- ネットワーク設計原理に基づいたネットワークアーキテクチャとアプリケーション,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2015年5月21日, 機械振興会館(東京都港区).
- (2) 北浦優也, 南雄也, 筒井悠史, 河野英太郎, 大田知行, 井上伸二, 角田良明, “[技術展示] 遅延・切断耐性 Bluetooth MANET のための端末同士の接続状態に適応する転送方式,” 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会, 2015年1月26日, 南紀白浜温泉むさし(和歌山県西牟婁郡).
- (3) Yuya Kitaura, Yuri Tsutsui, Koji Taketa, Eitaro Kohno, Shinji Inoue, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda, “[Demo] The assessment information acquisition and dissemination system based on delay and disruption tolerant MANETs for the Hiroshima national confectionery exposition,” 10th IEEE International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS 2013), October 15, 2013, Hangzhou, China.
- (4) 角田良明, “[招待講演] モバイルアドホックネットワークに基づいたコミュニティネットワーキングに関する研究開発---児童見守りシステム、口コミ情報伝搬システムから平常時災害時両用システムへ---,” IEEE 広島支部総会特別講演会, 2014年1月28日, 広島市立大学(広島県広島市).
- (5) 南雄也, 北浦優也, 武田航史, 筒井悠史, 河野英太郎, 大田知行, 井上伸二, 角田良明, “[技術展示] アシユアランスネットワーク設計原理に基づく平常時災害時両用システムのグラフィカルユーザーインターフェイスの設計と実装,” 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会, 2014年1月23日, ホテル奥道後(愛媛県松山市).
- (6) 森井幸希, 武田航史, 太尾田洋介, 由井健司, 筒井悠史, 北浦優也, 河野英太郎, 大田知行, 井上伸二, 角田良明, “[技術展示] ひろしま菓子博覧会における遅延・切断耐性モバイルアドホックネットワークに基づく展示評価情報の伝搬・収集システム,” 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, 2013年1月24日, 作並温泉ゆづくし Salon 一の坊(宮崎県仙台市).
- 〔図書〕(計 2 件)
- (1) 角田良明(編著, 5章, 11章), 小島英春(5章), “ネットワークソフトウェア,” 5章(55-78), 11章(168-172), 共立出版, 2013.
- (2) Yoshiaki Kakuda, Tomoyuki Ohta, Miroslaw Malek, “Self-Organizing Real-Time Services in Mobile Ad Hoc

Networks,” Chapter 3 (55-74), Self-Organization in Embedded Real-Time Systems, Springer, 2013.

〔産業財産権〕
出願状況(計 3 件)

名称: モバイルアドホックネットワークアーキテクチャ及びモバイルアドホックネットワークアーキテクチャの通信方法
発明者: 森井幸希, 角田良明
権利者: 広島市立大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-005338
出願年月日: 2013年1月16日
国内外の別: 国内

名称: モバイルアドホックネットワークアーキテクチャ及びモバイルアドホックネットワークアーキテクチャの通信方法
発明者: 北浦優也, 河野英太郎, 角田良明
権利者: 広島市立大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-260280
出願年月日: 2013年12月17日
国内外の別: 国内

名称: モバイルアドホックネットワーククラスタリングにおける送信電力制御装置及び送信電力制御法
発明者: 由井健司, 井上伸二, 角田良明
権利者: 広島市立大学
種類: 特許
番号: 特願 2014-2854
出願年月日: 2014年1月10日
国内外の別: 国内

取得状況(計 5 件)

名称: アドホックネットワークにおけるノード数の計数方法
発明者: 伊藤篤, 角田良明, 大田知行
権利者: KDDI 株式会社, 角田良明, 大田知行
種類: 特許
番号: 特許第 5002828 号
出願年月日: 2007年5月8日
取得年月日: 2012年6月1日
国内外の別: 国内

名称: 見守りシステム、見守り方法およびプログラム
発明者: 伊藤篤, 角田良明, 大田知行
権利者: 株式会社 KDDI 研究所, 角田良明, 大田知行
種類: 特許
番号: 特許第 4987782 号
出願年月日: 2008年3月31日
取得年月日: 2012年5月11日
国内外の別: 国内

名称：見守りシステム、見守り方法およびプログラム

発明者：伊藤篤、角田良明、大田知行

権利者：株式会社 KDDI 研究所、角田良明、
大田知行

種類：特許

番号：特許第 5143609 号

出願年月日：2008 年 3 月 31 日

取得年月日：2012 年 11 月 30 日

国内外の別：国内

名称：映像生成システム、映像生成方法およびプログラム

発明者：伊藤篤、角田良明、大田知行

権利者：株式会社 KDDI 研究所、角田良明、
大田知行

種類：特許

番号：特許第 5148364 号

出願年月日：2008 年 5 月 19 日

取得年月日：2012 年 12 月 7 日

国内外の別：国内

名称：再生装置、再生方法およびプログラム

発明者：伊藤篤、角田良明、大田知行

権利者：株式会社 KDDI 研究所、角田良明、
大田知行

種類：特許

番号：特許第 5209370 号

出願年月日：2008 年 5 月 19 日

取得年月日：2013 年 3 月 1 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nsw.info.hiroshima-cu.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角田良明 (KAKUDA YOSHIAKI)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40233671

(2) 研究分担者

小島英春 (KOJIMA HIDEHARU)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：90610949

(3) 連携研究者

大田知行 (OHTA TOMOYUKI)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：90347617

河野英太郎 (KOHNO EITARO)

広島市立大学・情報科学研究科・講師

研究者番号：40285432

井上伸二 (INOUE SHINJI)

広島市立大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：50264932