

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00130

研究課題名(和文) アシユアランスネットワーク一般設計方法論に基づいたMANETシステムの強化

研究課題名(英文) Enhancement of MANET system based on the general design methodology for assurance networks

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、サブネットワークの規模のほぼ均等化が実現されるように、求められるネットワーク全体の最適化を合理的に導くためにアシユアランスネットワーク設計方法論を一般化し、それを構成するネットワーク分割構造自律構成技術及びリアルタイム自己組織化制御技術を具体化し、これらの技術により強化したMANETシステムを実装・評価した。また、一般化された設計方法論の2つの構成技術の具体的な適用法として、それぞれ車両間の無線通信により車両が隊列を組んで走行する動的なコンボイ形成手法と、MANETにおいて各サブネットワーク内のトークンをほぼ均等化するアイザリズムック(Isarithmic)制御手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般化されたアシユアランスネットワーク設計方法論とそれを構成する技術は、IoT時代の巨大なネットワークにおいて時間の経過や空間の拡大に伴う変動に適応できるので、ノードの移動、トラフィックの増減など変動が起こるMANETなどの動的なネットワークに有効であり、それらの具体的な方法を提案したことが学術的意義である。また、一般化された設計方法論とその構成技術に基づいてMANETシステムを実装し、ネットワークの強化が実際に実現可能であることを実証したことが社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：This research advocated a generalized design methodology of assurance networks which induces reasonable optimization of a total network organization such that size of each subnetwork is made almost equal, presented concrete methods to which the generalized design methodology consisting of both self-organization of divided networks and real time self organized control is applied, and evaluated a MANET system which realizes these methods. As their applied methods, this research also proposed a dynamic method for forming vehicle convoys which run with groups of vehicles by wireless communication among these vehicles and a token-based isarithmic control method in which the number of tokens of each subnetwork in MANET is made almost equal.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：アシユアランスネットワーク MANET 自律構成 自己組織化

1. 研究開始当初の背景

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になり、かつ大きく変動するようになってきている。このような情報をリアルタイムに把握し、ヒトやモノの間の情報伝搬を効率的に制御する新しいネットワーク技術として、我々はアシュアランスネットワーク[1]という新たな概念を提唱し、アシュアランスネットワークを実現するための MANET システム技術の実用化を目指して研究開発を推進し、アシュアランスネットワーク設計方法論 [2]を提案した。この方法論は、ネットワーク分割構造自律構成技術及びリアルタイム自己組織化制御技術で構成されている。

[1] Yoshiaki Kakuda, "Assurance networks: concepts, technologies, and case studies," Keynote Speech & Invited Paper, Proc. Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing (UIC-ATC 2010), Second International Symposium on Multidisciplinary Emerging Networks and Systems (MENS2010), pp.311-315, 2010.

[2] Yoshiaki Kakuda, Tomoyuki Ohta and Miroslaw Malek, "Self-Organizing Real Time Services in Mobile Ad Hoc Networks," Self-Organization in Embedded Real-Time Systems (Editors: T. H.-Toledano, U.Brinkschulte, A.Rettberg), Springer, Chapter 3, pp.55-74, 2013.

2. 研究の目的

本研究では、サブネットワークの規模の均等化が実現されるように、リアルタイム部分最適化を出発点に、求められるネットワーク全体の最適化を合理的に導くためにアシュアランスネットワーク設計方法論を一般化し、それを構成する一般化されたネットワーク分割構造自律構成技術及び一般化されたリアルタイム自己組織化制御技術を具体化し、これらの技術により強化した MANET システムを実装・評価することを研究目的とする。

3. 研究の方法

アシュアランスネットワーク一般設計方法論の開拓

ノードの移動やトラフィックの増減などを要因とする、時間の変動や空間の拡大に伴う変動に適応したサブネットワークのリアルタイム部分最適化に加えて、このような変動情報をネットワーク全体から効率的に収集し、各サブネットワークがそれぞれ自律的にサブネットワークを再構成しネットワーク全体を最適化するための仕組みを導入することにより、つまり、ネットワークを強化するために、アシュアランスネットワーク一般設計方法論を開拓する。

ネットワーク分割構造自律構成技術の具体化

サブネットワークの規模を上限と下限の間に収めるように、サブネットワークの構造を自律的に変化させ、サブネットワークの規模を均等化させるとともに、変動を特徴づけるメトリクスを導入し、様々な変動情報に対して、サブネットワーク間で変動情報を交換し、ネットワーク全体から効率的に収集する方法やサブネットワークの規模を表す上限と下限を変更する具体的な方法を開発する。

リアルタイム自己組織化制御技術の具体化

サブネットワークの時間の変化や空間の拡大に伴う変動に適応して、制御パケットの送受信量を抑制できれば、オーバーヘッドを適切に調整するとともに、ネットワーク環境が急激に変動する場合にも適応可能なリアルタイム部分最適化を実現するための変動情報の予測機構および制御機構について検討し、具体的な方法を開発する。

MANET システムの実装及びフィールド実験による評価

具体化したネットワーク分割構造自律構成技術及びリアルタイム自己組織化制御技術に基づいて災害情報伝搬などを実現する MANET システムを実装し、フィールド実験で評価する。

4. 研究成果

アシュアランスネットワーク一般設計方法論の開拓

局所的な変動情報に適応してサブネットワークの規模を上限と下限の間に収めるようにサブネットワークの構造を変化させることにより、リアルタイムにサブネットワークを部分最適化する一般リアルタイム自己組織化制御技術と、サブネットワークの代表ノード間で変動情報を交換し、ネットワーク全体からそれぞれのサブネットワークに収集された変動情報に基づいて上限と下限を変更することにより、ネットワーク全体を最適化する(強化と呼ぶ)一般ネットワーク分割構造自律構成技術で構成できる見通しを得た。

この方法を MANET システムに適用するために、変動情報の変動を特徴づけるノード密度の変動率を定義し、ノード数と変動率に基づいて多様な端末移動シナリオを導出可能な移動モデルを提案した。また、ノード移動の類似度を導入することにより、提案した移動モデルから導出した

シナリオではノードが時間的にも空間的にも偏在することを示した。

ネットワーク分割構造自律構成技術の具体化

車両間の無線通信により車両が隊列を組んで走行する動的なコンボイ形成手法を提案した。車両がノードに対応し、コンボイがサブネットワークに対応させると、一般ネットワーク分割構造自律構成技術が適用できる。コンボイの自律構成には、形成、合併、分離、離脱の4種類の変化が必要となる。これらの変化に対する条件を示し、車両台数、車両速度、コンボイ形成条件の違いによるコンボイを自律構成する車両数等を評価するシミュレータを開発した。このシミュレータでは、コンボイ自律構成条件、格子状の道路網の規模、車両台数、車両の移動開始・終了箇所などの様々なパラメータに対して、隊列参加率、隊列参加時間、隊列数の時間変化、それぞれの隊列に含まれる車両台数の時間変化などを評価できる。車両ネットワークの規模、車両台数、車両の移動開始・終了地点、提案手法のコンボイ形成条件に対するコンボイへの車両の参加率を評価した。その結果、移動終了地点が一致する車両が多い場合、コンボイ形成条件が緩い場合において提案手法は有効であることを明らかにしている。

リアルタイム自己組織化制御技術の具体化

MANETにおいてトークンを用いたアイザリズミック(Isarithmic)制御を提案した。従来のアイザリズミック制御は、各サブネットワークのデータパケット総数に上限を設けることにより、サブネットワーク内の輻輳を制御するものである。しかしながら、MANETでは各サブネットワークが変動するため、提案法ではサブネットワークの代表ノードがノード数とトークン数を管理し、各ノードにトークンを再分配する点に新規性がある。シミュレーション実験により、データパケット到達成功数の増加と経路検索失敗数の減少を確認した。さらに、MANETを対象としたトークンを用いたアイザリズミック制御を強化した。提案法では、各サブネットワークの代表ノードが予め決められたトークン数を管理していたが、そのサブネットワーク内で送信されるパケットの経路設定の成功率に基づいてサブネットワーク内に配布するトークン数を増減させることにより、各サブネットワークの動的な輻輳制御を実現している。

MANETシステムの実装・評価

強化したMANETをフィールド実験で評価するために、MANETシステムのノードに実装するソフトウェアを開発した。MANETシステムでは、すでに提案済みのClassic BluetoothとBluetooth Low Energy (BLE)を組み合わせた通信手法を改善し、BLEのコネクションレス型片方向通信を利用した高速なClassic Bluetoothのコネクション確立手法を提案した。この改善により、コネクションの切断が頻繁に発生する環境におけるデータ伝搬時間をさらに短縮できた。次に、Bluetoothによる高速コネクション確立手法をノードに実装したMANETシステムを開発し、基本的なフィールド実験を実施した。この実験では、メッセージ及び静止画による災害情報が伝搬できることを確認している。

また、Raspberry Piを用いたBluetoothによるMANETシステムを設計・実装した。このシステムにおいて指数移動平均を用いたタイムアウト時間設定手法により、制御パケットが損失する環境下でも安定したコネクション確立とコネクション確立待ち時間の短縮を実現している。さらに、改善・実装したBluetoothによるMANETシステムをフィールド実験で評価し、端末が密な状態でもコネクションが設定・維持できることを示している。

令和3年度の科研費への研究課題の申請

動的なコンボイ形成手法は、将来のMaaS(Mobility as a Service)のあるべき一つの形を提示するものであり、アシュアランスネットワーク一般設計方法論の応用として有力であると認識した。そのため、令和3年度の科研費へ下記の研究課題の内容で申請した。複数の車両が近づいたときに車車間通信により「いつ」「どこから」「どこへ」向かうという情報を互いに交換し、その結果、目的地が同じ地域であれば、そのような車両群をコンボイとし走行させた後に、目的地を含む地域に到達すれば、コンボイから離脱し各車両はそれぞれの目的地まで走行する手法について研究する。そのための条件を明らかにするとともに、コンボイ走行への動的な加入及びコンボイ走行からの動的な離脱を行う方法を提案し評価する。本申請は残念ながら採択に至らなかったが、審査区分における採択されなかった研究課題全体の中で、上位20%に位置していた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 1. Temma Ohtani, Eitaro Kohno, Akifumi Nomasaki, and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 10
2. 論文標題 An adaptive connection-establishment timeout configuration method for Bluetooth MANETs in control packet loss environments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Networking and Computing	6. 最初と最後の頁 25-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 1. Ryohei Saka, Temma Ohtani, Kazuki Fujita, Eitaro Kohno, and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 X8-B
2. 論文標題 On the design, feasibility, and implementation of a Bluetooth MANET-based routing application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 628-633
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2019GCL0061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 3. Yuya Minami, Ryohei Saka, Eitaro Kohno, and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 7
2. 論文標題 On the effect of BLE beacons on fast Bluetooth connection establishment scheme	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. the Seventh International Symposium on Computing and Networking (CANDAR2019)	6. 最初と最後の頁 28-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/CANDARW.2019.00012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 . Kazuki Uyama, Shinji Inoue, and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 17
2. 論文標題 A dynamic system for forming convoys consisting of connected vehicles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing	6. 最初と最後の頁 677-680
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 南 雄也, 坂 涼平, 河野英太郎, 角田良明	4. 巻 J102-B
2. 論文標題 Classic BluetoothとBluetooth Low Energyを併用したBluetooth MANETの高速コネクション確立手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 545-554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2018WFP0013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 南 雄也, 坂 涼平, 河野英太郎, 角田良明	4. 巻 J102-B
2. 論文標題 遅延・切断耐性を有するBluetooth MANETの端末間接続状態に適応するデータ転送方式	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 356-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2018NSP0004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuya Minami, Nobuhiro Kajikawa, Ryohei Saka, Yuma Nakao, Eitaro Kohno and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 17
2. 論文標題 Arbitration-based deadlock mitigation mechanism for fast connection establishment in autonomous self-organized Bluetooth MANETs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 IEEE SmartWorld (ADSN 2018)	6. 最初と最後の頁 1611-1616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SmartWorld.2018.00276	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 Hiroyuki Toyota, Shinji Inoue and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 17
2. 論文標題 A proposal and evaluation of mobility model which derives various node mobility scenarios	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 IEEE SmartWorld (ADSN 2018)	6. 最初と最後の頁 1623-1627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SmartWorld.2018.00278	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 Tomoyuki Ohta, Masahiro Nishi, Toshikazu Terami, and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 E102-B
2. 論文標題 Information dissemination using MANET for disaster evacuation support	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 670-678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2018SEI0001	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 南 雄也, 坂 涼平, 河野英太郎, 角田良明	4. 巻 J102-B
2. 論文標題 遅延・切断耐性を有するBluetooth MANETの端末間接続状態に適応するデータ転送方式	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 356-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2018NSP0004	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 Toshikazu Terami, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda	4. 巻 41
2. 論文標題 A method of mobile core network load reduction using autonomous clustering-based two-layered structure for information dissemination in wireless networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference	6. 最初と最後の頁 19-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMPSAC.2017.22	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

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 坂 涼平, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 高密度環境下におけるBluetooth MANETのための端末機能の多重制御手法
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野間崎晃文, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 Bluetooth MANET のための確立コネクション制御手法を用いた隣接端末によるメッシュ状ネットワークにおける性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田哲也, 井上伸二, 角田良明
2. 発表標題 トークンを用いたMANETにおける動的送信パケットロス率軽減手法
3. 学会等名 電子情報通信学会j情報ネットワーク研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石崎 遥己, 坂 涼平, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 端末密集環境でのスレーブ間コネクション制約による Bluetooth MANET の特性の実験的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野間崎晃文, 中尾優真, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 Bluetooth MANETにおける蓄積運搬転送のための差分データ計算高速化手法の実験的比較評価
3. 学会等名 2018年度第1回 アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾 優真, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 Bluetooth MANET におけるバッファ管理方式の性能評価
3. 学会等名 2018年度第1回 アシユアランスシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂涼平, 南 雄也, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 併用手法を用いるBluetooth MANETのパラメータ評価のためのシミュレータ
3. 学会等名 2018年並列 / 分散 / 協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷天馬, 中尾優真, 河野英太郎, 角田良明
2. 発表標題 BLEとClassicを併用するBluetooth MANETにおけるコネクション確立時の端末距離の影響に関する実験的考察
3. 学会等名 第16回ネットワークソフトウェア研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宇都宮栄二, 南雄也, 井上伸二, 新浩一, 河野英太郎, 大田知行, 西正博, 石田賢治, 角田良明
2. 発表標題 草の根災害情報伝搬システムによる地域住民への災害情報の伝達
3. 学会等名 安全・安心な生活とICT研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野間崎 晃文、中尾 優真、河野 英太郎、角田 良明
2. 発表標題 Bluetooth MANETにおける蓄積運搬転送のための差分データ計算高速化手法の実験的比較評価
3. 学会等名 第18回ネットワークソフトウェア研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田寛之、井上伸二、角田良明
2. 発表標題 端末数と変化率の入力を基に多様な端末シナリオを導出可能な移動モデルの提案と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷天馬、中尾優真、梶川伸廣、河野英太郎、角田良明
2. 発表標題 Android 端末と Raspberry Pi 間で相互運用可能な Bluetooth MANET による通信システムの実装と検証
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 周華、井上伸二、角田良明
2. 発表標題 端末密度に応じてクラスタサイズとホップ数を変動させる自律分散クラスタリング手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西 正博、新 浩一、井上 伸二、河野 英太郎、大田 知行、石田 賢治、宇都宮 栄二、角田 良明
2. 発表標題 土砂災害の被害軽減を目指したMANETによる草の根情報伝搬システムの研究開発
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中尾優真、梶川伸廣、河野英太郎、角田良明
2. 発表標題 Bluetooth MANETにおける高可用性を持つコネクション確立手法の高速化手法とその実験的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林 弘毅、河野英太郎、角田良明
2. 発表標題 高可用性を持つBluetooth MANET における端末間接続とデータ転送性能測定のためのシミュレータの試作とその実験的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶川 伸廣、坂 涼平、河野 英太郎、角田 良明
2. 発表標題 Bluetooth MANET における高速なコネクション確立のためのタイミング調停機構
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 弘毅、河野 英太郎、角田 良明
2. 発表標題 シミュレータを用いた高可用性を持つBluetooth MANET における端末間接続とデータ転送性能の実験的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>ネットワークソフトウェア研究室 http://www.nsw.info.hiroshima-cu.ac.jp</p>

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
連携研究者	大田 知行 (OHTA TOMOYUKI) (90347617)	広島市立大学・情報科学研究科・准教授 (25403)	
連携研究者	河野 英太郎 (KOHNO EITARO) (40285432)	広島市立大学・情報科学研究科・准教授 (25403)	
連携研究者	井上 伸二 (INOUE SHINJI) (50264932)	広島市立大学・情報科学研究科・助教 (25403)	

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
---------	---------