

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12418

研究課題名(和文)IoTベースシステムの性能解析・設計検証手法の創出

研究課題名(英文)Performance Analysis and Design Verification for IoT based Systems

研究代表者

東野 輝夫(Higashino, Teruo)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80173144

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文):IoTベースシステムを複数のモジュール(端末やエッジサーバ)が連携して動作する分散協調システムとしてモデル化し、各モジュールの入出力制約や時間制約をアサーションで指定できるようにした。次に、車両や人のモビリティに依存するIoTシステムの性能解析のため、ノードの密度分布を動的に変化可能なランダムモビリティ生成手法を開発し、セル毎の密度分布やその時間変化を再現することで、アサーションの成否判定をシミュレーションで評価できる受動的テスト手法を考案した。提案手法は、IEEE SMARTCOMP 2017国際会議(キーノート)やIEEE主催の分散システム国際会議ICDCS2018論文などで発表した。

研究成果の概要(英文):We have modeled the IoT base system as a distributed cooperative system in which multiple modules (terminals and edge servers) work in cooperation, so that I/O constraints and time constraints of each module can be designated by assertions. Next, in order to analyze the performance and reliability of the IoT system depending on the mobility of vehicles and people, we develop a random mobility generation method that can dynamically change the density distribution of nodes for targeted cells. By reproducing the density distribution and its time variation of those cells, we have developed a passive testing method that can evaluate whether given assertions hold by simulation. The proposed method was presented at the 3rd IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP 2017) (as a keynote speech) and the 38th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2018) (as a main conference paper).

研究分野：情報工学

キーワード：モノのインターネット(IoT) モビリティ 設計検証 ITS 群衆センシング

1. 研究開始当初の背景

近年、IoT 関連システムが多数構築されると共に、システムの巨大化に伴いそれらの性能解析技術や信頼性向上技術に注目が集まっている。例えば、ITS 関連システムや群衆センシングシステムでは、その性能や信頼性が車両や人の「モビリティ」や「ノード密度分布」に強く影響を受けることが知られている。例えば、交差点での車両の密度分布やその時間的な変化が多くの場合、図1のグラフの頂点のような密度分布（濃い色が高い密度）とその遷移（実際には200程度のノードとその間の遷移）で表現でき、これらの車両の密度分布の時間的な変化を再現し、対象ITSシステムの性能解析を行うことでその性能や信頼性を向上できる。一方、近未来の自動運転システムやスマートグリッドシステムでは、大量に湧出する時空間データをもとに、各車両の位置や電力量の状況をミリ秒～数百ミリ秒程度で把握し、適切な反応を返す必要があり、遠隔の中央クラウドで一元管理せず、空間的に分散配置された多数のエッジサーバが周辺のエッジサーバ群と連携しながら並列分散処理するエッジコンピューティングの概念に基づく処理形態に注目が集まっている。

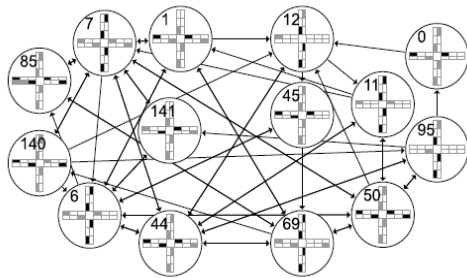


図1 交差点での車両の密度分布やその時間的な変化を表す状態遷移図

2. 研究の目的

本研究では、ITS 関連システムやスマートグリッド、モバイルデバイスを活用した群衆センシングシステムなど近未来のIoT ベースシステムの性能や信頼性を向上させるための考慮事項として「モビリティ」と「時空間データのリアルタイム処理」を取り上げ、任意のノード密度分布やその時間的な変化を自動生成するモビリティ生成手法を考案すると共に、それらのシステムの形式的な性能解析手法や外部からの観測に基づく受動的テスト手法、アサーションベース設計手法などを創出することを研究目的とする。また、ITS 関連システムや群衆センシングシステムなどを対象に、無線ネットワークシミュレータと連携させ、提案手法の有効性を評価検討する。

3. 研究の方法

本研究では、IoT ベースシステムの「モビリティ」と「時空間データのリアルタイム処理」を取り上げ、その性能解析や設計検証の

ための一つの手法を考案した。そのために、まず任意のノード密度分布とその時間的な変化を自動生成する仕組みを実現し、無線ネットワークシミュレータと連携させ、車車間・路車間通信プロトコルや群衆センシングシステムの性能解析やテスト、検証を効率よく行う設計検証基盤を考案した。また、対象となる端末群とエッジサーバが与えられた時間制約を満たすタイミングで必要なメッセージを交換し続けていることを保証するための性能解析基盤を構築する。そのためにLSI の設計分野で考案された「アサーションベース設計」の考え方をベースに、分散配置されたモジュール間での送受信タイミングや送受信データが満たすべき性質をアサーションの形で与え、対象モジュール群がアサーションを満たさない反応を返した場合にエラー検知する受動的テスト手法 (passive testing) を新たに考案した。

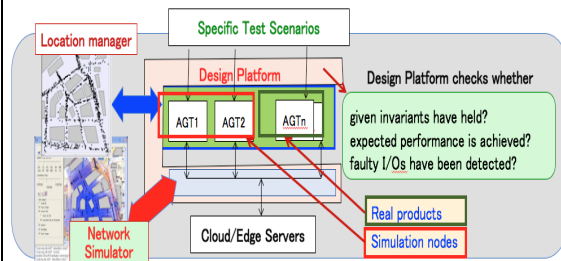


図2 提案する受動的テスト基盤

提案する受動的テスト基盤は図2のようなものであり、モバイルデバイスなど複数の移動型のIoT モジュールがLocation Managerで管理されるモビリティに基づき移動し、それらがクラウドサーバやエッジサーバとデータ交換しながら動作を続けていくような環境下で、指定された「アサーション」が常に満たされるかや、指定された性能が達成されるかや、予期しないI/Oが生成されないかなどを受動的にテストできる環境であり、ネットワークシミュレータなどと連携しながらシミュレーションを続けることで、「アサーション」の成立などをチェックする。これらの受動的テスト基盤を構築するために、次のような研究を行った。

3.1 多数のモジュールからなるIoT ベースシステムのモデル化

本研究では、IoT ベースシステムを図2のように複数のモジュール（端末やエッジサーバ）が連携して動作するような分散協調システムとしてモデル化し、各モジュールの動作仕様が実ソフトウェアあるいはシミュレーション用簡易プログラムとして与えられるものとする。また、各モジュールの入出力データが満たすべき性質や時間制約をアサーションの形で指定できるようにすると共に、各モジュールのプログラムが実行された際にその入出力がアサーションを満たしているかどうかを自動で判定できるようなテ

ト環境とした。また、提案モデルではモジュール群の動作の一部を実プログラムでエミュレーション実行し、残りをシミュレータ側で用意した簡易プログラムでシミュレーションできるように、シミュレータ・エミュレータ連携型のテスト環境を構築している。

3.2 指定したセル毎のノード密度とその時間変化を満たすモビリティの自動生成

申請者らが参考文献[1]で考案した静的なノードの密度分布を実現するモビリティ生成手法をもとに、ノードの密度分布が動的に変化させられるようなランダムモビリティ生成手法を考案した。提案するモビリティ生成手法で図3のような様々な密度分布のモビリティやその時間的な変化を表現可能である。

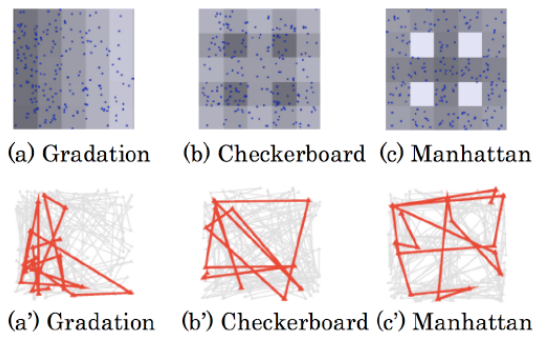


図3 ノードの密度分布の例と典型的なノードモビリティ

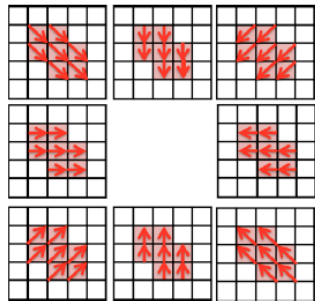


図4 ノード移動の方向性の例

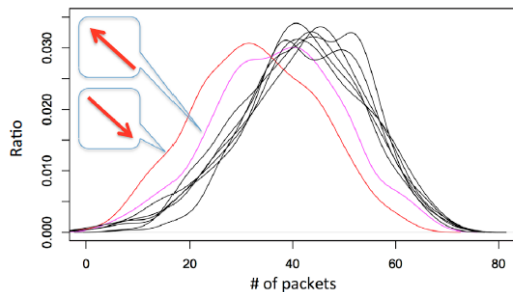


図5 パケット到着率の違い

さらに、図4のように特定のセルに対するノード移動の多くを一定の方向に限定する手法を考案することで、図5のようにその一部の方向性に対するパケット到着率などのネットワークの性能が他の方向性を指定した場合のネットワークの性能と異なる事例などを見つけることで、ネットワークの信頼

性を高める方法などを考案した。

また、交通流シミュレータ VISSIM などで生成された車両モビリティや市販のモビリティ生成器などで生成された歩行者モビリティから、当該領域のセル毎のノード密度とその時間変化を計測することで、ノードの密度分布の動的な変化を測定し、図1のような状態遷移モデルを構築する方法を考案した。

3.3 モジュール群のモニタリングによる受動的テスト (passive testing) 手法

上記3.2で開発したツールを用いて、「2. 研究の目的」の項で示したようなセル毎の密度分布とその時間変化を再現し、上記3.1で述べたモデル化手法で実現したモジュール群のシミュレーションやアサーションの成否判定をモニタリングできるように受動的テスト環境を考案した。IoT 機器間の無線通信の性能評価には無線ネットワークシミュレータ Scenargie の利用を想定した。提案する受動的テスト環境では、あらかじめ設定したシナリオに基づくモジュール群の実行過程をリアルタイムにモニタリングし、その入出力の時間制約が仕様に合致しているかどうかや、データの内容があらかじめ指定したアサーションの内容を満たしているかどうかなどをチェックする。複数のモジュール群からなる IoT システムの受動的テストを行う場合、テストの対象となる一つ (あるいは一定個数) のモジュールを実プログラムで実装し、残りのモジュール群を簡易プログラムでシミュレートさせるなどの手法をとるものとし、端末群やエッジサーバが一定の仮定を満たすというフォールトモデルの下でシステムの論理的正しさを議論できる仕組みを考案した。

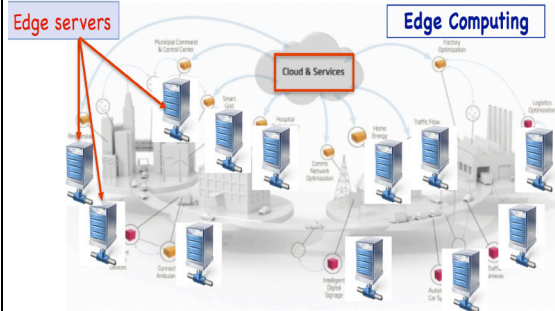


図6 エッジコンピューティング計算基盤

3.4 アサーションベースの設計検証手法の開発

LSI の設計検証の考え方をもとに、巨大な IoT システムを図6のように多数のエッジサーバとクラウドサーバが連携する分散協調システムとみなし、アサーションベースの階層的な設計検証手法の開発を行った。考案する手法では、与えられたシステムを階層構造とみなし、その最上位層では、各地域のエッジサーバ群とクラウドサーバ間の制約条件をアサーションとして与え、それらがシステ

ムの実行中に常に満たされることをモニタリングする。第2階層では、各地域のエッジサーバ群が自身の周りのエッジサーバと連携して、その地域のエッジサーバ群全体のアサーションが成り立つことをモニタリングする。第3階層では、各エッジサーバが自身の管理する端末群との間で指定されたアサーションが成り立つことをモニタリングする。図7のような幾つかの例題について、提案するアサーションベースの設計検証手法が有効に働くかどうかを実際に検討することで、提案手法の有効性を評価・検討した。

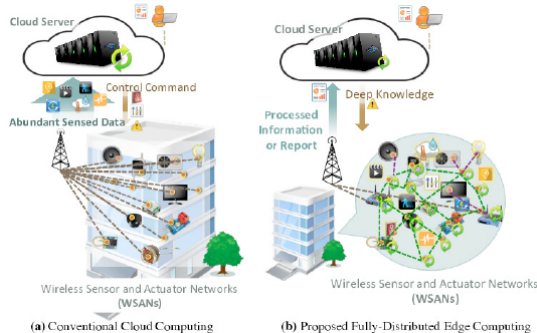


図7 自律的なエッジコンピューティングベースの計算環境

また、このようなエッジサーバの階層化や自律性の概念を用いて、エッジサーバ間での自律的なロード・バランシングの仕組みなどを構築した。

4. 研究成果

本研究の実施により、IoT ベースシステムを複数のモジュール（端末やエッジサーバ）が連携して動作する分散協調システムとしてモデル化し、各モジュールの入出力制約や時間制約をアサーションで指定できるようにした。次に、車両や人のモビリティに依存するIoTシステムの性能解析のため、ノードの密度分布を動的に変化可能なランダムモビリティ生成手法を開発し、セル毎の密度分布やその時間変化を再現することで、アサーションの成否判定をシミュレーションで評価できる受動的テスト手法を考案した。提案手法は、IEEE SMARTCOMP 2017 国際会議〔学会発表 4〕や IEEE 主催の分散システム国際会議 ICDCS2018 論文〔学会発表 1〕などで発表した。また、関連研究を〔雑誌論文 1,2〕、〔学会発表 2,3〕で発表した。

参考文献

- [1] Eijiro Ueno, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino: "A Simple Mobility Model Realizing Designated Node Distributions and Natural Node Movement", *Proc. of 8th IEEE Int. Conf. on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2011)*, pp. 302-311, 2011.

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計2件)

1. Tatsuaki Osafune, Toshimitsu Takahashi, Noboru Kiyama, Tsuneo Sobue, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino: "Analysis of Accident Risks from Driving Behaviors", *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, Vol.15, Issue 3, pp.192-202, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13177-016-0132-0>
2. Sunyanan Choochoatkaew, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino: "Two-tier VoI Prioritization System on Requirement-based Data Streaming toward IoT", *Mobile Information Systems*, Vol. 2017, Article ID 7892545, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/7892545>

〔学会発表〕(計4件)

1. Teruo Higashino, Hirozumi Yamaguchi, Akihito Hiromori, Akira Uchiyama and Takaaki Umedu: "Re-thinking: Design and Development of Mobility Aware Applications in Smart and Connected Communities", *Proc. of 38th IEEE Int. Conf. on Distributed Computing Systems (ICDCS 2018)*, June 2018.
2. Sunyanan Choochoatkaew, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Megumi Shibuya and Teruyuki Hasegawa: "EdgeCEP: Fully-distributed Complex Event Processing on IoT Edges", *Proc. of IEEE 13th Int. Conf. on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS2017)*, pp. 121-129, 2017. DOI:10.1109/DCOSS.2017.14
3. Teruo Higashino, Hirozumi Yamaguchi, Akihito Hiromori, Akira Uchiyama and Keiichi Yasumoto: "Edge Computing and IoT Based Research for Building Safe Smart Cities Resistant to Disasters", *Proc. of 37th IEEE Int. Conf. on Distributed Computing Systems (ICDCS 2017)*, pp. 1729-1737, 2017. DOI: <http://10.1109/ICDCS.2017.160>
4. Teruo Higashino: "IoT based Social CPS Research for Smart Cities Resilient to Disasters", *Proc. of 3rd IEEE Int. Conf. on Smart Computing (SMARTCOMP 2017)*, 2017. (Keynote Speech)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東野 輝夫 (HIGASHINO TERUO)
大阪大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：80173144