

自律分散協調 M2M システムのための イベント駆動データ収集方式に関する研究

薛 浩^{†1} 劉 江^{†1} 北上 眞二^{†1} 宮西 洋太郎^{†2} 浦野 義頼^{†1} 白鳥 則郎^{†1}

サーバ集中型の大規模な M2M システムにおけるデータ収集は、ネットワーク負荷やデータ蓄積コストの増大という課題がある。また、複数の異なるアプリケーションが同一のセンサからデータ収集を行う場合、競合が発生する。本稿では、これらの問題を解決するためのイベント駆動データ収集方式を提案する。提案方式は、M2M ゲートウェイにおいて、閾値、外れ値および変化率の変化をイベントとして、必要最小限のデータを M2M サーバに送信する。また、複数のデータ収集の条件を統合することにより、データ収集の競合を回避する。本研究では、提案方式に基づく自律分散協調 M2M システムのプロトタイプを構築し、提案方式の有効性についての評価を行った。

Study of Event-driven Data Collection Method for M2M Distributed Cooperative M2M System

HAO XUE^{†1} JIANG LIU^{†1} SHINJI KITAGAMI^{†1}
YOHTARO MIYANISHI^{†2} YOSHIYORI URANO^{†1} NORIO SHIRATORI^{†1}

The data collection over the traditional server-centric M2M systems face issues on its network load and cost of data storage. Besides, collision of data access to the same sensor among multiple applications must be avoided. To solve above problems, we propose a data collection method based on event driven architecture. This method limits the data uploads which are triggered only by pre-defined events such as overly large values and/or immediate changes detected on M2M gateways. Moreover, the collision of data access is resolved by integrating of data collection rules. The prototype of autonomous distributed system of cooperative M2M has been developed and tested. It is demonstrated that the proposed method is effective and practical for the large-scale M2M systems.

1. はじめに

近年、人手を介さずにセンサや機器をインターネットに接続し、様々なサービスを提供する M2M (Machine-to-Machine) システムが注目を集めている[1][2]。M2M システムの応用は、産業分野、社会分野などさまざまな分野に広がっている。例えば、産業分野では、機器の遠隔監視とデータ収集、医療・福祉分野では、健康管理と確認、社会、家庭分野では、エネルギーの管理など、自動的に最適な制御を行うシステムに使われている。M2M システムにおいては、センサや機器のすべてのデータをクラウドのサーバに収集し、データを可視化したり、その分析結果に従って機器を制御したりすることが一般的である。しかしながら、センサや機器の接続台数が多い大規模な M2M システムでは、この方式は M2M サーバのデータ収集・蓄積のためのコストやネットワーク負荷が高くなるという課題がある[3][4]。また、複数のアプリケーションでセンサや機器を共用した場合に、センサネットワークにおけるデータ収集の競合が発生する。

筆者らは、これらの課題を解決するための自律分散協調 M2M システムについての研究を行っている[5][6]。自律分散協調 M2M システムは、インテリジェント M2M ゲートウェイと M2M コーディネートサーバから構成され、制御ルールによる自律制御方式とデータの収集粒度を自動調整するイベント駆動データ収集方式から構成される。本稿は、自律分散協調システムのためのイベント駆動データ収集方式を提案する。提案方式は、平均値等の集約データを収集しつつ、M2M ゲートウェイにおいて計測データを監視し、計測データが変化した場合にイベントを発生させる。そのイベントの前後の詳細データを収集することにより、データの収集粒度を自動調整する。イベント発生条件としては、閾値、外れ値および変化率から選択し、任意に組み合わせることができる。さらに、ゲートウェイ装置において、アプリケーションごとに異なるデータ計測間隔や収集間隔などのデータ収集パラメータを統合することにより、データ収集の競合を回避する。本稿では、実インターネット環境において、商用クラウドサービスとボードコンピュータを用いて、提案方式に基づく自律分散協調 M2M システムのプロトタイプを構築し、実データによる評価を実施することにより、提案方式の有効性を示した。

†1 早稲田大学
WASEDA University
†2 (株)アイエスイエム
ISEM, Inc.

2. M2M システムのデータ収集に関する課題

2.1 データ収集の従来方式

M2M システムのデータの収集の従来方式としては、計測データをその都度収集する方式（逐次データ収集方式）、計測データをまとめて収集する方式（一時蓄積データ収集方式）および区間集約値のみを収集する方式（区間集約データ収集方式）の3種類がある。

(1) 逐次データ収集方式

逐次データ収集方式を図 1(a)に示す。逐次データ収集方式は、計測したセンサデータをその都度サーバに送信する。たとえば、1分間隔で計測したデータを1分ごとにサーバに送信する。図中、矢印はサーバに送信するタイミングを示す。

(2) 一時蓄積データ収集方式

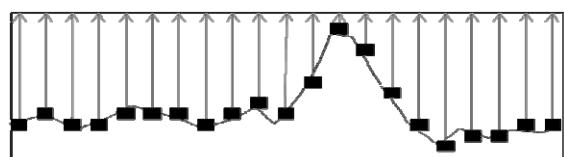
一時蓄積データ収集方式を図 1(b)に示す。一時蓄積データ収集方式は、計測したデータをゲートウェイ装置で一時的に蓄積して、一定間隔でまとめてサーバに送信する。たとえば、1分間隔で計測したデータを1時間分まとめてサーバに送信する。

(3) 区間集約データ収集方式

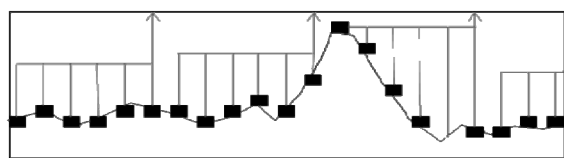
区間集約データ収集方式を図 1(c)に示す。区間集約データ収集方式は、計測したデータをゲートウェイ装置が一定区間ごとに集約し、その集約値のみをサーバに送信する。たとえば、1分間隔で計測したデータを1時間単位で平均値を計算し、その平均値のみをサーバに送信する。

2.2 従来方式の課題

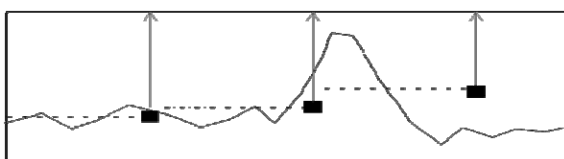
表 1 に、従来方式で必要となるネットワーク帯域とサーバに蓄積されるデータ容量の例を示す。一時蓄積データ収



(a) 逐次データ収集方式



(b) 一時蓄積データ収集方式



(c) 区間集約データ収集方式

図 1 M2M システムにおけるデータ収集の従来方式

集方式は、逐次データ収集方式に比べて、ネットワーク帯域は 1/9 に改善されるが、蓄積データ容量は削減できない。これに対して、区間集約データ収集方式では、逐次データ収集方式に比べて、ネットワーク帯域は 1/36 に改善され、蓄積データ量も 1/60 になる。これらの結果から、M2M システムにおけるデータ収集方式には、以下に示す課題があることが分かる[7]。

(1) ネットワーク負荷に関する課題

逐次データ収集方式は、データを計測する度にサーバにデータを送信する必要があるため、ネットワーク負荷が高くなる。一時蓄積データ収集方式または区間集約データ収集方式は、データをまとめて送信するため、ネットワーク負荷は軽減させることができる。

(2) データ蓄積コストに関する課題

逐次データ収集方式と一時蓄積データ収集方式は、計測したデータをすべてサーバに蓄積する必要があるため、サーバにおけるデータ蓄積コストが課題となる。区間集約データ収集方式は、集約データのみを蓄積するため、データ蓄積コストを軽減することができる。

(3) データ粒度に関する課題

区間集約データ収集方式は集約値のみをサーバに送信するため、ネットワーク負荷とデータ蓄積コストの両方が改善される。しかしながら、図 2 に示すように、サーバにおいて蓄積された集約データから、データの特異点を検出することはできない。

以上で述べたように、従来のデータ収集方式は、ネットワーク負荷、データ蓄積コストおよびデータ粒度に関する課題を同時に解決することができない。さらに、これらのデータ収集方式は、以下に示すデータ収集競合に関する課題がある。

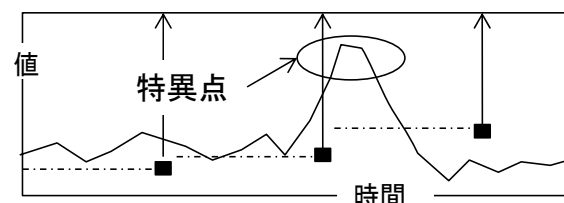


図 2 : 特異点の検出

表 1 : 従来方式の比較

データ収集方式	ネットワーク帯域	蓄積データ量
逐次	36Mbyte/s	4T byte
一時蓄積	4Mbyte/s	4T byte
区間集約	1Mbyte/s	0.06T byte

データ長:24byte, TCP/IP・HTTP ヘッダ長:200byte

センサ数:1,000/ゲートウェイ, ゲートウェイ数:10,000 台

データ計測間隔:1 分, データ蓄積/集約間隔:60 分

(4) データ収集の競合に関する課題

従来のデータ収集方式は、一対Nのデータ収集を行っていた。すなわち、1台のサーバが複数のセンサからデータを収集していた。ここで、複数のサーバが同一のセンサからデータ収集を行うと、センサネットワークの負荷が増大したり、データ計測処理が正常に動作しなくなったりする場合がある。本稿では、この問題をデータ収集の競合と呼ぶ。

2.3 自律分散協調 M2M システム

筆者らは、サーバ集中型の M2M システムの課題を解決するための自律分散協調 M2M システムの研究を行っている[5][6]。自律分散協調 M2M システムは、2.2 で述べた M2M システムにおけるデータ収集の課題を解決すると共に、制御遅延や制御競合などのフィードバック制御の課題の解決を目的としている。図 3 に、自律分散協調 M2M システムの全体像を示す。図において、M2M コーディネートサーバは、システムの全体最適化とアプリケーションの独立性を両立させるために、アプリケーションサーバ間、およびアプリケーションサーバと M2M ゲートウェイ間の調整を行う。本アーキテクチャは、イベント駆動データ収集とルールベース自律分散機器制御から構成される。

3. イベント駆動データ収集方式の提案

本稿では、2.2 で述べたデータ収集の従来方式の問題を解決するためのイベント駆動データ収集方式を提案する。

3.1 提案方式の概要

図 4 に、本稿で提案するイベント駆動データ収集方式を示す。提案方式は、ゲートウェイ装置において、収集したデータの集約計算を行いつつ、一定期間のデータを保持する。また、ゲートウェイ装置は、そのデータの変化を監視し、あらかじめ条件として定義されたデータ変化をイベントとして、集約データに加えて、一定期間蓄積された詳細データも送信する。これにより、平常時は集約データのみを収集することによって、データ容量を削減することができると共に、データが急激に変化する等の状態が発生した場合には、サーバにおける分析のために必要となる詳細データを収集することができる。なお、データ収集のためのイ

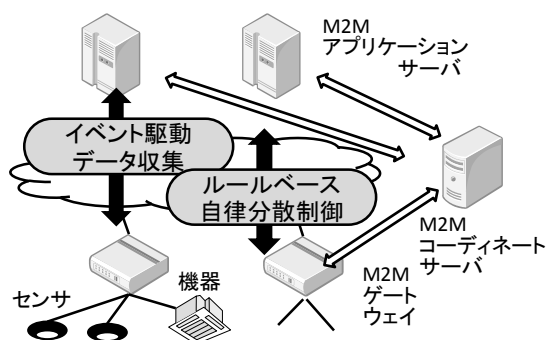


図 3 自律分散協調 M2M システム

ベント条件は、あらかじめ M2M コーディネートサーバから送信することができるため、アプリケーション毎に異なる条件でデータ収集を行うことも可能となる。詳細データを収集するためのイベントを検出する条件としては、(1) 閾値、(2)外れ値、(3)変化率の3つの条件から選択する。また、これらの条件を組み合わせることも可能としている。

3.2 イベント発生条件

(1) 閾値条件

閾値条件とは、データがあらかじめ設定した閾値（上限と下限）を超えた場合にイベントを発生させる。イベントが発生した場合に、集約値ではなく、詳細データをサーバに送信するため、設定したパラメータによって、サーバで蓄積するデータ量が変化する。イベントを発生する条件は、式(1)に従って、もし計測値がある設定したパラメータ（閾値）を超えたら、イベントとして発生させる。

$$X_i < \delta \quad \dots\dots(1)$$

X_i : 計測値, δ : パラメータ

(2) 外れ値条件

外れ値条件とは、集約値を計算する区間で外れ値があった場合にイベントを発生させる。ここで、外れ値は、式(2)で計算される値 τ があらかじめ設定された値を超える値とする。

$$\tau = \text{ABS}((X_i - \mu) / \rho) \quad \dots\dots(2)$$

X_i : 計測値, μ : 平均値, ρ : 標準偏差

ここで、計算される値 τ が、ある設定したパラメータより小さくなる場合には、外れ値がないとする。すなわち、式(3)に計算される値 τ が、ある設定したパラメータより大きくなる場合には、外れ値があるものとして、イベントとして発生させる。

$$\tau - \delta > 0 \quad \dots\dots(3)$$

$\tau - \delta$: 外れ値, δ : パラメータ

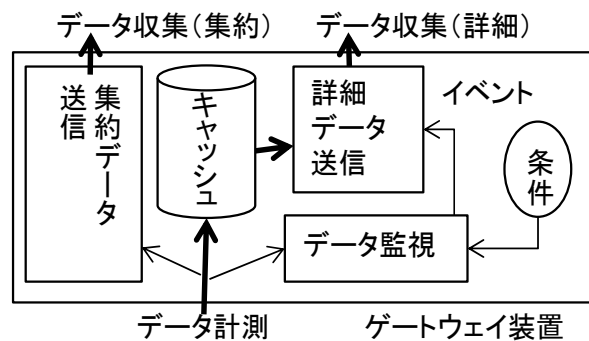


図 4 イベント駆動データ収集方式

(3) 変化率条件

データと直前のデータを比べて、式(4)により計算されるように、その差の絶対値はある数値を超えた場合にイベントを発生させる。

$$ABS (X_i - X_{i-1}) / X_{i-1} < \delta \cdots (4)$$

X_i : 計測値, δ : パラメータ

4. 実装

提案方式の有効性を評価するために、提案方式に基づくM2M システムのプロトタイプを構築した。

図 6 に、プロトタイプシステムを示す。M2M ゲートウェイのプラットフォームは Raspberry Pi を利用し、M2M サーバとアプリケーションは、商用サービスのさくらINTERNET VPS (Virtual Private Server) 上に実装した。OS は、M2M ゲートウェイでは Raspberian, M2M サーバでは CentOS を用いた。また、データベースについては、M2M ゲートウェイで SQLite と M2M サーバで MySQL を用いた。プログラムの実行環境は Node.js を採用し、開発言語は JavaScript とした。本提案方式により収集したデータは、M2M サーバのデータベースに蓄積し、グラフ表示できるようにした。

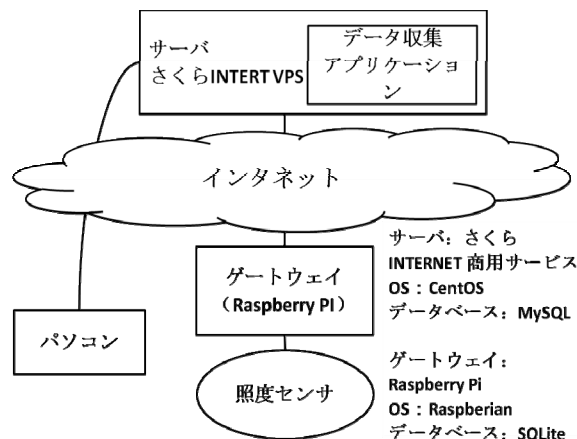


図 6 実装システムの構成



図 7 計測データと集約データ（平均）

5. 評価と考察

5.1 実データによる評価

提案方式の有効性を評価するために、実データを用いた実験を行った。実験においては、3分間隔で1週間収集した一般家庭のCO2濃度を対象データとした。図7に、計測データと集約データ(平均)を示す。ここで、データの集約期間は12時間とした。図8は、提案方式の変化率条件により収集される詳細データである。この場合のデータ量は約5,000byteであり、逐次データ収集方式および一時蓄積データ収集方式の約1/10となった。また、CO2濃度が大きく変化する特異点の部分については、詳細データが収集できていることが分かった。

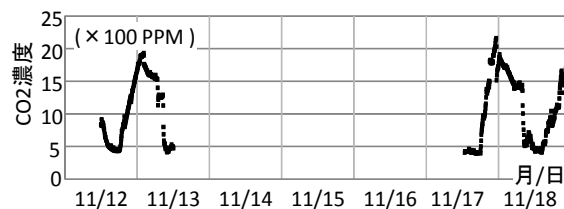


図 8 変化率条件による収集データ

図9に、本実験における閾値と収集データ量の関係を示す。この結果に示す通り、閾値が6PPM以上の場合、データ量は1/3以下に削減できることを確認した。また、提案方式のイベント検出条件を外れ値または変化率にした場合についても、同様の結果を得た。

5.2 ネットワーク負荷についての考察

提案方式は、収集データに変化がない場合は、平均値などの集約データのみを収集するため、従来方式の区間集約データ収集方式と同様に、ネットワーク負荷を軽減させることができる。ただし、どのイベント発生条件を採用するか、また、そのパラメータ値をどのような値にするかについては、アプリケーションによって異なり、ネットワーク負荷にも影響を与える。

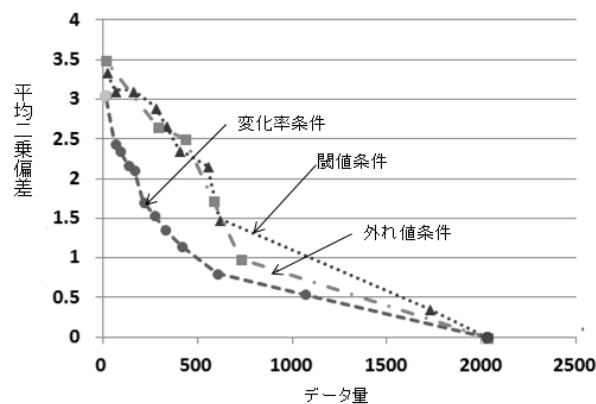


図 9 イベント発生条件の比較

5.3 データ蓄積コストについての考察

5.1 で示したように、提案方式によるデータ蓄積量は、従来方式の1/10となった。これは、従来方式に比べてデータ蓄積コストが1/10に削減できることを意味する。収集データ量は、データの変化のパターンやイベント発生条件によって異なるため、データの変化パターンによって、イベント発生条件のパラメータを動的に変更することも有効であると考えられる。

5.4 データ粒度に関する考察

図9は、本提案方式により収集しサーバに蓄積したデータのみで、元のデータをどの程度復元できるかを示したものである。この結果から、変化率条件を採用した場合に、収集データ量が少なくても、元のデータの復元性がよいことを意味している。すなわち、元のデータに特異点があった場合は、変化率条件で収集したデータから、この特異点を検出することができる。

6. おわりに

本稿では、M2Mシステムのデータ収集において、データ量の削減と詳細データ分析を両立させるイベント駆動型のデータ収集方式を提案した。今後は、様々なM2Mシステムのアプリケーションにおいて提案方式の評価を行い、アプリケーション毎に最適なデータ収集イベントの発生条件と最適なパラメータの決定方法の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 猿渡俊介, 森川博之: モバイル時代のサービスを支える技術: 3.M2Mの情報流, 情報処理, Vol.55, No.11, pp.1269-1274 (2014)
- 2) D.Boswarthick, O.Iloumi, and O.Hersent: "M2M Communications: A Systems Approach", Wiley, ISBN: 978-1119994756 (2012)
- 3) 上野仁, 的場一峰, 阿比留健一: 複数M2Mシステムのリアルタイムな連携を可能とする分散データ交換基盤, 電子情報通信学会技術研究報告, NS, Vol.111, No.468, pp.523-528 (2012)
- 4) 福田茂紀, 福井誠之, 中川格, 佐々木和雄: "センサネットワークへのイベント処理の分散配置", 2011年電子情報通信学会ソサエティ大会予稿集 BS-4-7 (2011)
- 5) 北上真二, 岡崎正一, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: 分散協調M2Mシステムアーキテクチャの提案, 情報処理学会第76回全国大会予稿集, 3D-4 (2014)
- 6) 北上真二, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: "マルチエージェントによる自律分散協調M2Mシステムの提案", 情報処理学会, 第12回コンシューマデバイス&システム研究会 (2015/01)
- 7) 薛浩, 北上真二, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: "M2Mシステムにおけるイベント駆動に基づく効率的データ収集方式", 情報処理学会第76回全国大会 (2014/03)
- 8) 猿渡俊介, 高木潤一郎, 川島英之, 倉田成人, 森川博之, "センサデータベースマネージャにおける問合せ処理とデータ圧縮の同時最適化," 情報学論, Vol.53 No.1.320-335, 2012
- 9) G.Reeves, J.Liu, S.Nath, and F.Zhao, "Managing Massive Time Series Streams with MultiScale Compressed TrickleS," PVLDB, Vol.2, No.1, pp.97-208, 2009