

複雑なネットワークシステムでも高いサービス品質を維持するためのデータフロー管理技術 Flowganizer™

Flowganizer™ Dataflow Management Technology to Maintain High Service Quality in Complicated Networked Systems

伊藤 俊夫 金子 雄 前川 智則

■ ITO Toshio

■ KANEKO Yu

■ MAEGAWA Tomonori

近年、工場や社会インフラ分野に高度な情報通信技術 (ICT) を導入する動きが本格化している。ICTが導入されたシステムは、多種多様なデータを様々な機器で扱う複雑な構成になる一方、高いサービス品質も求められる。

東芝は、このような複雑化したシステムでも高いサービス品質を維持するための技術 Flowganizer™ を開発している。Flowganizer™ は、システムで扱うデータの流れ (データフロー) に着目して、その品質を管理する。これにより、複数の機器を横断するデータ処理であっても、その品質を正確に捉えて保証することが可能になる。試作した Flowganizer™ を実際の統合 BEMS (Building Energy Management System) に適用し、複数のビルからの消費電力データに関するデータフローの処理遅延時間を分析することで、システム異常の有無と異常箇所の特定ができることを確認した。

The movement toward the introduction of information and communication technology (ICT) into factories, plants, and the social infrastructure field has accelerated in recent years. Although the configuration of systems incorporating ICT tends to become complicated in order to handle a wide variety of data flowing between various devices, high service quality is also required.

Toshiba has been developing a dataflow management technology called Flowganizer™ to maintain high service quality even in complicated networked systems by focusing on the dataflow in such systems. Flowganizer™ makes it possible to precisely measure and control the quality of the dataflow even in cases where the data are handled across multiple devices. We have applied a prototype of Flowganizer™ to an actual clustered building energy management system (BEMS) and confirmed that it can determine whether or not there is an abnormality in the system as well as identify an abnormal device by analyzing the processing delay times of dataflows related to power consumption data from individual buildings of the clustered BEMS.

1 まえがき

近年の情報通信技術 (ICT) の発達に伴い、産官学の様々なレベルで、ICTを工場や社会インフラで積極的に活用することが検討されている^{(1), (2)}。この構想では、工場などに設置した多種多様なセンサからネットワークを通じてデータを集め、得られた知見に基づいて機器の制御や種々の意思決定を行うシステムが考えられている。これにより、更なる生産性の向上、及びまったく新しいサービスや製品の実現が期待されている。

しかしこのようなシステムは、多種多様なデータを様々な場所やタイミングで処理する複雑で入り組んだものとなり、そのふるまいを予測することは難しい。一方で、工場や社会インフラ向けのシステムでは、稼働率や処理タイミングの厳密性に高いサービス品質が求められる。したがって、工場などに高度なICTを導入するためには、複雑なシステムでも高いサービス品質を実現するための仕組みが必要になる。

このような背景から、東芝は高度にネットワーク化されたシステムのサービス品質を維持するための技術である Flowganizer™ の開発に取り組んでいる⁽³⁾。Flowganizer™ は、システム内でやり取りされるデータの流れ (データフロー) に着目し、データ

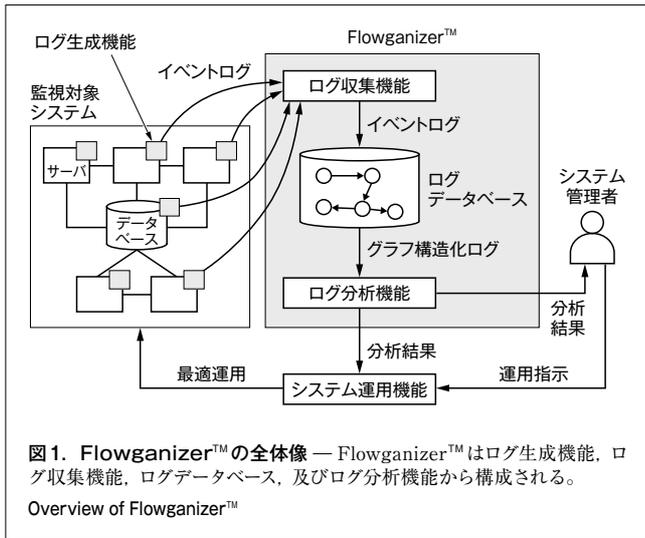
フローの品質を管理する。データフローに着目することによって、複数のセンサ機器や計算機を横断するようなデータ処理であっても、その全体像を的確に捉え、管理できる。これは従来の計算機単位によるサービス品質管理ではできなかったことである。

ここでは、Flowganizer™ の設計及び試作について述べる。また、試作した Flowganizer™ を用いて実際に稼働しているシステムのデータフローを分析することで、それぞれのデータ処理による遅延時間や、その中で特に時間が掛かっているステップを明らかにし、システム異常の検出やボトルネックの特定などに役立てられることを示す。

2 Flowganizer™ の構成と各要素の機能

Flowganizer™ の全体像を図1に示す。Flowganizer™ は、監視対象システムに導入されたログ生成機能、ログ収集機能、ログデータベース、及びログ分析機能で構成される。

Flowganizer™ の特徴は、監視対象システムのデータフローに関する履歴 (イベントログ) をグラフ構造化して記録し、分析に用いることである。グラフ構造化ログの一例を図2に示す。グラフ構造とは、エッジ (枝) によって相互に接続された



ノード(節)で表現されるデータ構造である。ここでは、ノードは監視対象システム内のデータがある場所(データベースやサーバといったサブシステム)を表し、エッジはある場所からある場所へデータが移ったという事象を表す。

以下では、Flowganizer™を構成する各要素の機能について述べる。

2.1 ログ生成機能とログ収集機能

監視対象システムにあるそれぞれのログ生成機能は、監視対象システムの動作を監視し、何らかのデータフローが発生するたびにそれを表すイベントログを作成する。イベントログは、図2に示すグラフ構造化ログの中にある一つのエッジに相当する。すなわち、ログ生成機能はシステムで発生したデータフローをエッジのイベントログ(始点のノード、終点のノード、及び発生時刻の組)として表し、送信する。

正確なデータフロー分析を行うためには、全てのエッジの発

生時刻属性が同一の時計を参照する必要がある。そのため、ログ生成機能はそれぞれNTP(Network Time Protocol)などを用いて時刻同期を行う。

ログ生成機能の具体的な実現形態としては様々なものが考えられる。今回の試作では、監視対象システムで動作するプログラムにあらかじめログ生成機能を組み込み、プログラム自体が適切なイベントログを生成し、送信するものとした。

ログ収集機能は、複数のログ生成機能から受け取ったイベントログをログデータベースへ格納する。ログ収集機能が全てのログ生成機能からイベントログを集めることで、Flowganizer™はシステムの全体像を把握できる。

2.2 ログデータベース

ログデータベースは、監視対象システムで起こったデータフローのイベントログをつなぎ合わせてグラフ構造化し、記録するデータベースであり、Flowganizer™の中核である。

ログデータベースは、ノードとエッジの接続関係に加え、それぞれに関する属性情報も記録する。

ノード属性の項目には様々なものがあるが、中でも重要なものとして“機器名”が挙げられる。これは、そのデータを持つセンサ機器や計算機の名称、又はアドレスである。機器名をノード属性に含めることで、複数の機器を横断したデータフローを統一的に記録できる。

エッジは属性として“発生時刻”を持つ。エッジの発生時刻を分析することによって、データフロー全体の処理に掛かった時間や、その中のボトルネックを特定できる。

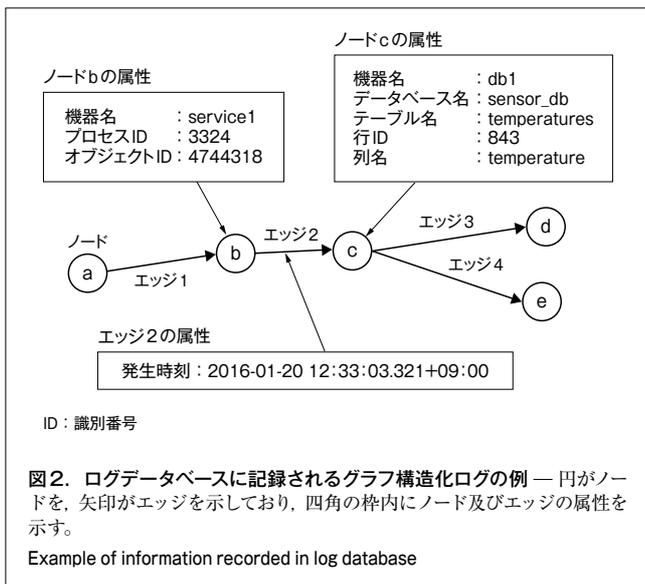
2.3 ログ分析機能

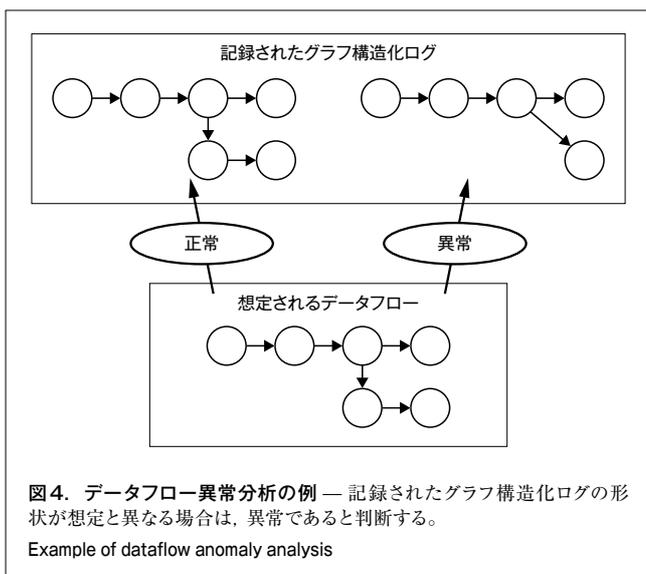
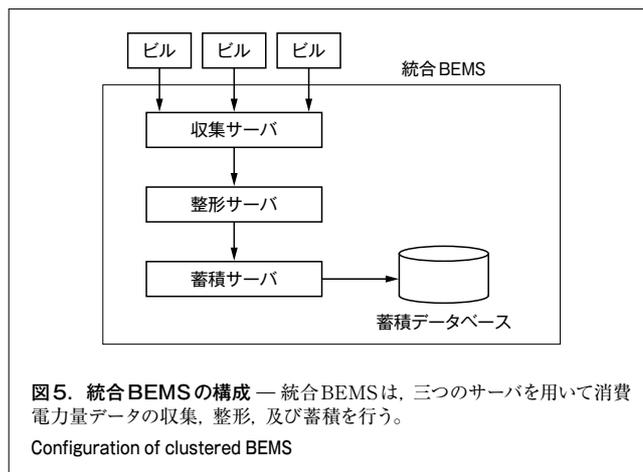
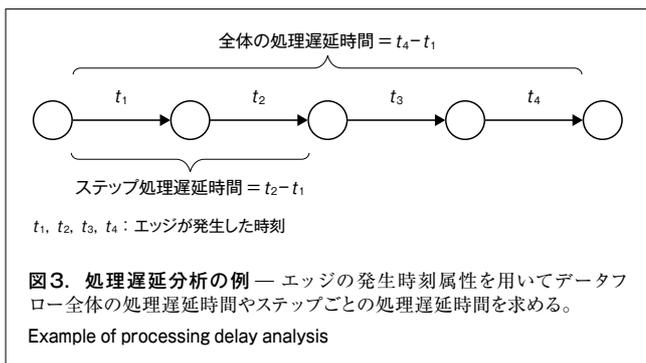
ログ分析機能は、ログデータベースに格納されたグラフ構造化ログを分析し、監視対象システムのデータフローに関する様々な知見を導き出す。監視対象システムの管理者は、この分析結果に基づいて適切なシステム運用指示を出す。どのような分析を行うかはシステム管理者の関心や運用目的によって異なるが、代表的なものを次に述べる。

多くのシステムにおいて保証が求められるサービス品質として、データフロー全体の処理遅延時間が挙げられる。例えば、データフロー分析の結果、特定のデータフローの処理に時間が掛かりすぎていることがわかったとする。この場合、システム管理者はログデータベースのグラフ構造化ログを更に分析することで、データフローの中のボトルネックを調査する。

システムの処理遅延分析の例を図3に示す。この例のように、データフローに枝分かれがない場合、全体の処理遅延時間は最後のエッジが発生した時刻 t_2 と最初のエッジが発生した時刻 t_1 の差として計算できる。データフローのボトルネックを見つけるためには、その各ステップの処理遅延時間を求める必要がある。図3の場合、ステップ処理遅延時間は隣接するエッジが発生した時刻の差($t_2 - t_1$ など)として計算できる。

システム管理者は、特定したボトルネックに対してより多くの





適用先のシステムとして、統合BEMS (Building Energy Management System) を用いた。統合BEMSはオフィスビルなどの施設で使われる設備機器やその消費電力を管理するBEMSの一種であり、ネットワークを通じて複数の施設を一括管理するのが特徴である⁽⁴⁾。統合BEMSは、管理下の施設から周期的に消費電力データを収集し、整形したうえで時系列順に保存する。この一連の消費電力データの流れて生じる処理遅延時間をFlowganizer™で分析した。

統合BEMSの構成を図5に示す。統合BEMSは三つのサーバと一つのデータベースから構成される。まず、収集サーバが施設から消費電力データを収集し、整形サーバに渡す。整形サーバは、受け取ったデータに対して単位変換などの整形処理を施し、蓄積サーバに渡す。最後に、蓄積サーバが受け取ったデータを蓄積データベースに格納する。統合BEMSは、このような処理を10分周期で繰り返し、各施設の消費電力の履歴を管理する。今回の検証では、統合BEMSが集めた1周期当たりの消費電力データは、合計5,892個であった。

Flowganizer™で使用するイベントログを得るために、統合BEMSの三つのサーバで動作するプログラムを改造し、それぞれの動作で適切なイベントログを出力させるようにした。そのうえで統合BEMSを24時間動作させ、得られたイベントログを分析した。イベントログの数は24時間の合計で17,238,957個であり、この分析は約40分で終了した。

統合BEMSで観測されたデータフローの一例を図6に示す。この図はログデータベースに格納されたグラフ構造化ログの一部を取り出したものである。簡略化のため、ノード属性、及びエッジ属性(発生時刻)の日付部を省略している。また、ノード属性の機器名の項目に基づき、各ノードを三つのサーバ及びデータベースにグループ分けして示してある。

各エッジの発生時刻を比較することで、データフローの処理遅延時間を算出することができる。例えば、図6のデータフロー全体の処理遅延時間は、先頭と末尾のエッジが発生した時刻の差から、約3分10秒であるとわかる。また、このデータ

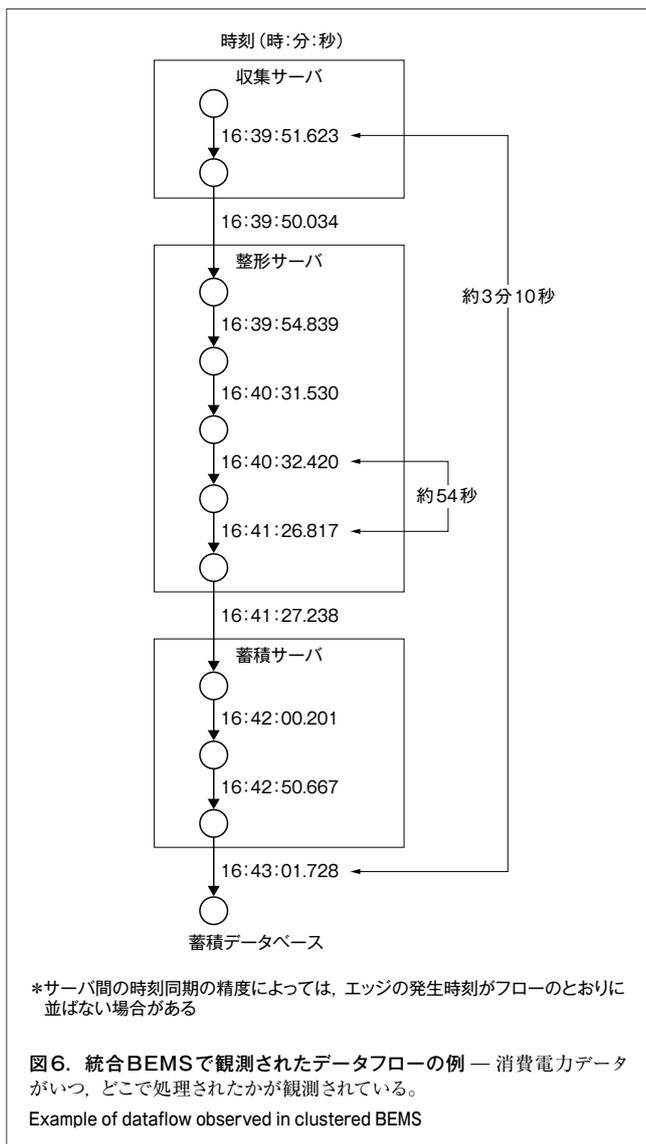
計算機を割り当てるなど、ボトルネック解消のための運用指示を行う。このような運用を継続することで、高いサービス品質を維持できる。

データフロー異常分析の例を図4に示す。信頼性の高いシステムを運用するためには、システムが想定されるデータフローを正しく実施しているかどうかを常にチェックする必要がある。これには、ログデータベースに記録されたグラフ構造化ログの形状を分析し、正常か異常かを判断すればよい。このような異常分析により、例えばあるべきデータが欠損している異常や、機密性の高いデータが外部へ漏えいしている異常などを検出できる。

システムの構成次第では、このようなデータフロー分析に基づく最適運用のサイクルを自動的に実施することも可能であり、高品質なサービスを低コストで実現できる。

3 Flowganizer™ によるイベントログの取得とデータフロー分析の例

試作したFlowganizer™を実際のシステムへ適用し、データフロー分析により動作の異常を検出できるかを検証した。



フローのボトルネックは、整形サーバの上から4番目のノードであり、ここで約54秒のステップ処理遅延時間が生じている。

このような分析を、ログデータベースの全てのデータフローについて行うことで、Flowganizer™によって統合BEMSの処理性能とボトルネックを常に監視できることが確認できた。これにより、消費電力データの収集に関する高いサービス品質を保証できるようになる。

4 あとがき

ここでは、ネットワークシステムのデータフローを管理し、その品質を維持するための技術であるFlowganizer™について述べた。

試作したFlowganizer™を用いて統合BEMSのイベントログを取得して分析した結果、データが三つのサーバを横断して処理される場合でも、そのデータフローの全体像を的確に捉

え、処理遅延時間を分析できることが確認できた。このような分析をシステム運用中に定期的に行うことで、高いサービス品質を持つシステムを実現できる。

今後は、Flowganizer™を長期にわたって運用する際の課題を明らかにするとともに、様々なシステムから簡単にイベントログを取得するための仕組みを構築していく。

文献

- (1) 経済産業省 他. “2015年版ものづくり白書 (PDF版)”. 経済産業省. <http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2015/honbun_pdf/index.html>, (参照 2016-04-05).
- (2) 西岡靖之 他. 第1特集 ものづくりの「新たな変革」がやってくる! IoTでつながる, 日本の工場. 経済産業ジャーナル. 2015-04/05, p.4-13. <http://www.meti.go.jp/publication/data/newmeti_j/meti_15_04_05/book201/book.pdf>, (参照 2016-04-05).
- (3) 伊藤俊夫 他. グラフ構造化ログに基づく計算機システムのサービス品質監視及びボトルネック特定フレームワーク. 電子情報通信学会技術研究報告. 114, 401, 2015, p.25-30.
- (4) 野田 肇 他. ビル群のエネルギー管理を実現する次世代のBEMS技術. 東芝レビュー. 67, 9, 2012, p.7-10.



伊藤 俊夫 ITO Toshio

技術統括部 研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー。ビルファシリティネットワーク, 高信頼ネットワーク, 及びクラウドコンピューティングに関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。Network System Lab.



金子 雄 KANEKO Yu

技術統括部 研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー 研究主務。スマートコミュニティにおけるネットワークシステムの研究・開発に従事。情報処理学会会員。Network System Lab.



前川 智則 MAEGAWA Tomonori

技術統括部 研究開発センター 研究企画部参事。旧所属で社会インフラ向け通信ネットワークに関する研究に従事。電気学会会員。Research Planning Dept.