

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00105

研究課題名（和文）システム管理機能を強化したIoTミドルウェアの研究

研究課題名（英文）IoT Middleware enhancing system management functions

研究代表者

中本 幸一（Nakamoto, Yukikazu）

兵庫県立大学・応用情報科学研究科・教授

研究者番号：70382273

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：第一に、組み込みシステム上にグラフデータベースを開発し、分散コラボレーションシステムをAndroid端末上に開発した。これはKJ法を使ってアイデアをグループ化や関係を行うユーザインタフェースを有する。次にソーシャルネットワークなどの社会活動を対象として、対象間の関係や関係の関係に基づいて情報を効率的に取得するために、関係に基づくクエリ概念を考案し、これを実行する機能を有するにグラフデータベースクエリ言語RelSeekerを開発した。RelSeekerは宣言型プログラミング言語で対象情報の関係を記述するのに適したDatalogに基づいている。以上の成果はIoT機器管理にも適用可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究を進める都合上、IoT機器をアイデアや人やものに準えて、アイデアの関係づけやグループ化、人やものの間の関係の情報に着目したクエリ言語をDatalogと呼ばれる宣言型言語を元に開発し、クエリ処理を行うエンジンを開発した。これらの機能はIoT機器管理にも適用可能である。例えばIoT機器間の接続状態を管理する、あるいはクエリを実行して管理情報を取得するなどである。このようにこれまで不足していたシステム管理機能を強化したIoTミドルウェアをグラフデータベースという単一のフレームワークにより実現した。これにより本研究を利用することによりIoTシステムの開発効率の向上に貢献すると考える。

研究成果の概要（英文）：First, we developed a graph database on the embedded system and a distributed collaboration system on the Android terminal. It features a user interface for grouping ideas and relationships using the KJ method. Next, for social activities such as social networks, in order to efficiently obtain information based on the relationships between the objects and the relationship between the objects, we devise a concept of relation-based query, and develop a graph database query language RelSeeker, which has functions to execute relation-based queries. RelSeeker is based on Datalog, which is a declarative programming language suitable for describing the relationship of target information. The above results can be applied to IoT device management and shows that the management can be implemented with the single framework, a graph database.

研究分野：組み込みシステム

キーワード：組み込みシステム IoT グラフデータベース

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

プロセッサ技術や無線技術の発達に伴い、様々な「もの」同士とサーバ、クラウドを結合した、いわゆる「もののインターネット」Internet of Things(IoT)が広まってきている。米国では企業連合 Industrial Internet Consortium, 欧州では Industrial 4.0 など政府主導による展開がある。いずれも複数の企業が IoT システムを共有してビジネスフレームワークを構築し、新たなサービスを生み出そうとするものである。一方、アカデミアを中心に今後必要となるスケーラビリティや膨大なデータ処理を行うためのプラットフォームやミドルウェアが研究・提案されている。しかしながら、これらのミドルウェアは収集されたデータの処理方式やアーキテクチャの研究が主である。システム管理機能は長期に利用される IoT システムで必須であるにも関わらず、その側面の研究はなされていない。ここでシステム管理とはシステムの監視、システム情報の維持管理、機能変更などで、関連するデータはシステム構成情報、ルーティング情報、センサー・アクチュエータの制御情報等がある。本研究提案は、特にシステム管理機能を強化した IoT ミドルウェアを研究し、それをヘルスケアシステムに適用し、その有効性を検証することにある。

2. 研究の目的

IoT システムのシステム管理に必要とされる機能を図 1 のヘルスケアサービスに示す例を通して考える。このサービスの利用者である A はスマートウォッチ、スマートメータ、モニタリングカメラを持ち、その測定データをモニタリングサービス会社に送る。A の医師は要監視として、A の心拍数を直に監視する。A はさらにスマートウォッチの歩行記録をヘルスケア SNS で共有したいとする。ヘルスケア SNS へは他の利用者也参加している。この例からシステム管理面での要求として以下が考えられる。

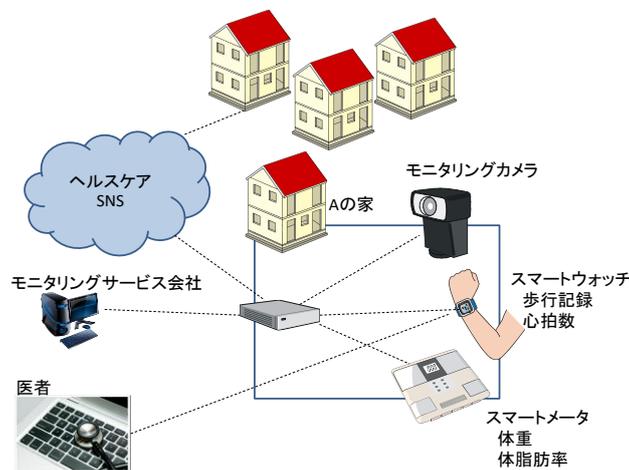


図 1 IoT によるヘルスケアシステム

[R1:関係管理の容易性]IoT システムは多くのでデバイス、利用者、組織などから構成される。システム管理ではこうした接続関係を含めた多様な関係を維持管理する必要がある。

[R2:大規模・多様性]IoT システムは大規模システムであり、複数の組織から構成、その組織毎にサブシステムが異なる場合がある。図 1 ではヘルスケアモニタリングサービスとヘルスケア SNS という複数のサブシステムから構成されている。システム管理機能はこうした多様な構成に対応する必要がある。

[R3:柔軟性]IoT システムのデバイスや利用者は頻繁でないにしろ、システムへの参加、離脱が行われるので、これが容易に行われる必要がある。

3. 研究の方法

グラフデータベースをモデルとして、IoT のシステム管理機能を強化したミドルウェアを研究開発する。実装プラットフォームは広く組込みデバイスで普及している Android とする。グラフデータベースの基本は、グラフのノード、リレーションに各種属性データを Key-Value 形式で設定できるプロパティグラフとする。ノード、リレーション共に設定できる属性データを指定できる型を導入した。

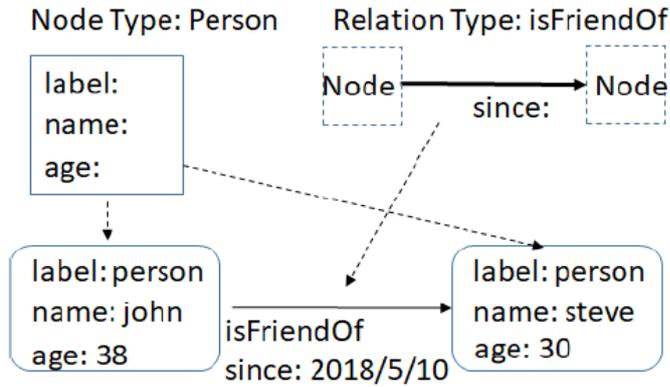


図2 ノード, リレーションの型

グラフデータベースに対するクエリ記述言語を Datalog をベースにした. 本研究で使用する Datalog 言語の特徴を説明する. Datalog は宣言型ロジックプログラミング言語である. グラフの推移閉包を計算する強力な機能があるため, 主にデータベースセマンティクスの再帰クエリとして使用される. Datalog にはいくつかのバージョンがあるが, 本研究では, 算術およびその他の計算可能な述語機能を備えたバージョンを採用している. Datalog は, 宣言的な定義を使用して関係の関係を表す. 1つ以上のリテラルを含む句である Horn clause は Datalog の基本概念である. リテラルは, 述部, 否定された述部, または制約で構成される.

4. 研究成果

(1) 組込みシステム上にグラフデータベースを開発し, IoT システムの応用例として分散コラボレーションシステムを開発した. KJ 法を使ってアイデアの生成, 交換をコラボレーションして行うものである. 紙に書いたアイデアを IoT 機器になぞらえ, IoT 機器である紙に書かれたアイデアをグループにまとめたり, 関係づけたするユーザインタフェースを有する(図3). 組込みシステムは Android デバイスを使用した. アイデア・アイデアグループ間を関係づける操作の概念図を図4に, アイデアをグループ化したデバイス上の表示例を図5に示す.

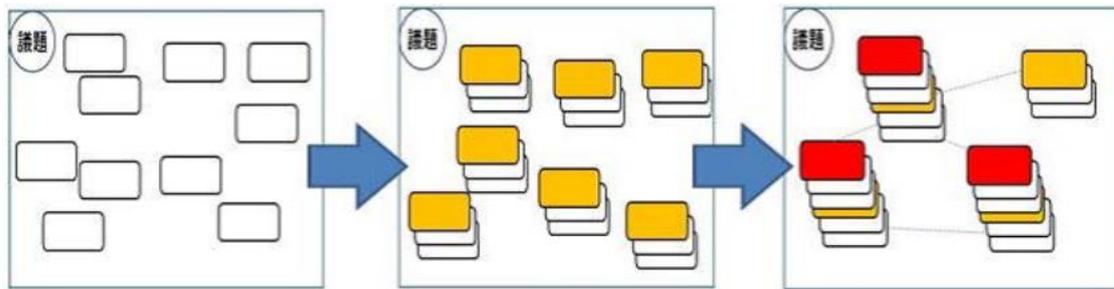


図3 アイデアのグループ化と関係づけ

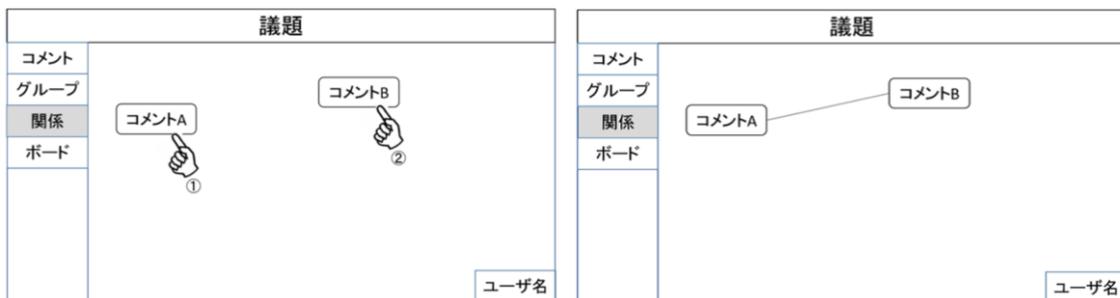


図4 アイデアの関係づける操作



図5 グループ化の操作画面

(2) グラフデータベース技術をリアル空間に存在する IoT 機器ではなく、サイバー空間のオブジェクトに適用した。ソーシャルネットワークやリアルタイムのレコメンデーションなど、ソーシャルアクティビティに関連するデータが大幅に増加しているため、毎秒大量の関連データが生成されている。ソーシャルネットワークはグラフで簡単に表現できるためグラフデータベースは、社会活動の関係を表すのに適している。グラフデータベースを使用すると、データをノードおよび関係として保存できるため、データをグラフとしてクエリできる。ただし、関係のプロパティまたは関係の関係についてのクエリなど、関係に関するクエリを効果的に実行できるメカニズムはない。これらの問題を解決するために、関係に基づくクエリ概念を導入し、Datalog に基づく RelSeeker と呼ばれるグラフデータベースクエリ言語を開発した。RelSeeker では、ユーザーはリレーションシップ、ノード、およびリレーションシップのリレーションシップのプロパティを使用してクエリルールを作成できる。さらに、Datalog は、グラフデータベース内の関係を記述するのに適している。RelSeeker のこれらの主要な機能により、グラフデータベースで効果的な関係に基づくクエリ処理が可能になる。提案されているクエリ言語 RelSeeker は Datalog の拡張機能であり、データ構造を処理し、操作の作成、取得、更新を通じてグラフデータベースを操作できる(図6参照)。図7に RelSeeker のアーキテクチャを示す。図8に図6のクエリを Android デバイス上で実行した結果を示す。

```

1 knows [ (X:person) , (Y:person) ]
2   :- isStudentOf [ (X:person) , (Y:person) ] .
3 knows [ (X:person) , (Y:person) ]
4   :- isSonOf [ (X:person) , (Y:person) ] .
5 knows [ (X:person) , (Y:person) ]
6   :- isSisterOf [ (X:person) , (Y:person) ] .
7 knows [ (X:person) , (Y:person) ]
8   :- isFriendOf [ (X:person) , (Y:person) ] .
9 knows [ (X:person) , (Y:person) ]
10  :- knows [ (X:person) , (Z:person) ]
11  AND knows [ (Z:person) , (Y:person) ] .
12
13 get Y
14 where knows [ (X:person) , (Y:person) ]
15 AND X.name = "John" .

```

図6 RelSeekerでの Datalog 風なクエリ記述

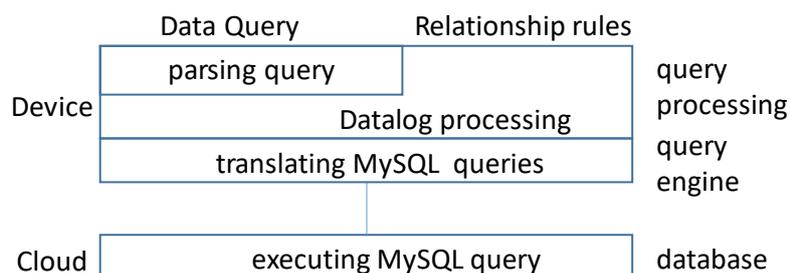


図7 RelSeeker のアーキテクチャ

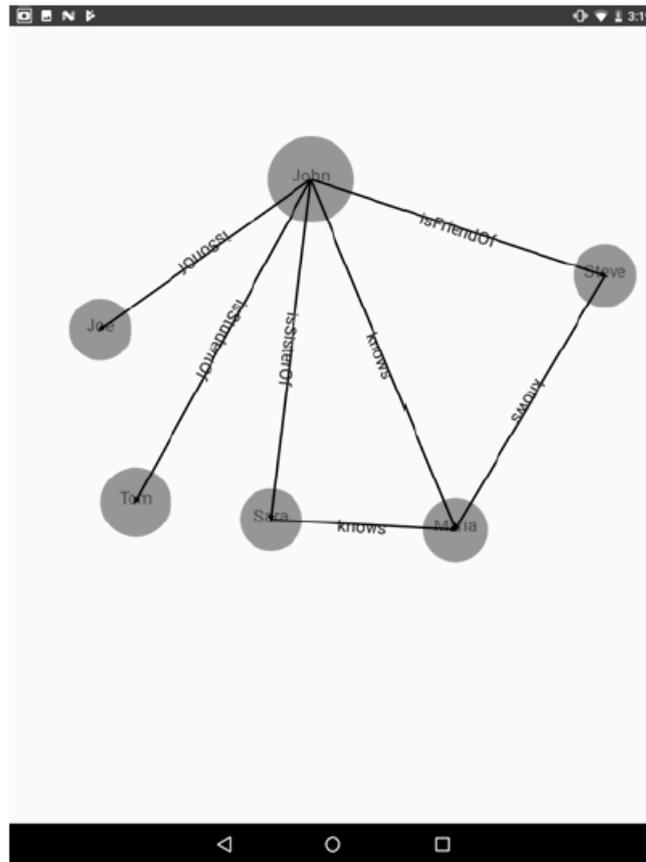


図8 図7の実行結果

(3) IoT システムの一例としてセンサーネットワークシステムをとりあげ、それをを用いて環境の異常データをより高速に検出するアルゴリズムとそれを実装したシステムを開発した。環境において、あるデータが異常かそうでないかは状況によって変わりうる。このためセンサーネットワークで収集したデータをクラスタリングにより異常値を検知することを考える。このとき、異常値を教師なしのクラスタリングアルゴリズムで見つけることが考えられる。しかし、これには計算時間が長くなる、クラスタ構成の正確さが低減する場合があるという問題があった。これらの問題を解決するためのピーク探索アルゴリズム (PSA) を開発した。PSA はデータセットの確率のピークを見つけるために Bayesian 最適化を利用している。EM アルゴリズムや k-means アルゴリズムなどの教師なし機械学習アルゴリズムに PSA を適用した場合に、オリジナルのアルゴリズムに比べて、シミュレーションにより正確さにおいて 2 倍、実行時間において約 1/3 になることを示した。またセンサーネットワークシステムにおいて小型組込みシステム (RasberyPi) に実装した。処理速度は 1 秒未満であり、実環境でも十分利用可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tianyu Zhang, Qian Zhao, Kilho Shin and Yukikazu Nakamoto	4. 巻 7
2. 論文標題 Bayesian-optimization-based peak searching algorithm for clustering in wireless sensor networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Sensor and Actuator Networks	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jsan70100	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 4.Kosei Ueta, Yukikazu Nakamoto, Xiaoyong Xue, and Sena Murakami
2. 発表標題 Distributed Graph Database as Base of Smart World Things
3. 学会等名 2017 IEEE Smart World Congress（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jiajia Wu and Yukikazu Nakamoto
2. 発表標題 RelSeeker: Relationship-based query language in a graph database for social networks
3. 学会等名 The 7th International workshop on Big Data and Social Networking Management and Security（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukikazu Nakamoto
2. 発表標題 Some technology issues in a connected world
3. 学会等名 17th IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing Workshop（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Jiajia Wu	4. 発行年 2019年
2. 出版社 兵庫県立大学	5. 総ページ数 48
3. 書名 A New Graph Database Query Language Based On Datalog	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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