

センサネットワーク環境における情報検索プラットフォームの提案

久保 類 真鍋 義文 盛合 敏

日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所

要 旨

センサネットワーク環境において、実世界で起こる様々な情報を利用するための、センサ情報の検索プラットフォームを提案する。提案プラットフォームは、センサ情報に対するメタ情報を実世界に偏在する物を主体として蓄積・検索する事で、センサ情報の利用を容易にする。それに必要な、メタ情報を求めるプログラムを物と対応付けて管理する機能と、物を主体として求めたメタ情報を集約・絞り込みをする機能を実現した。センサ情報の検索システムのプロトタイプングを通し、検索プラットフォームが処理時間の観点から有効であることを確認した。

Information Retrieval Platform on Sensor Network Environment

Rui Kubo Yoshifumi Manabe Satoshi Moriai

NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation

Abstract

This paper proposes a sensor information retrieval platform which exploits information generated by ubiquitous sensors. Our platform improves the usability of sensor information, because our platform stores and searches meta information generated by each ubiquitous artifact. This paper describes some of the core functionalities of the system: binding artifacts and programs to acquire meta information, aggregating meta information generated by each artifact. We prototype a sensor information retrieval system on our platform and show effectiveness of our platform.

1 はじめに

近年、ストレージ技術の急速な発展により、膨大な情報を蓄積することが出来るようになってきた。同時にブロードバンドネットワーク環境の普及により、利用者がそれらの膨大な情報を利用する環境が整いつつある。

蓄積された膨大な情報から必要な情報を効率よく見つけ出す情報検索技術が非常に注目を集めている。Web ページやデスクトップファイルなどの、利用者がその場所や内容を把握しきれないような膨大な情

報に対して、検索システムが多用されている。

センサネットワーク環境とは、実世界に様々なセンサが遍在しネットワークを構成することで、様々なセンサ情報を取得することを可能にする環境である。近年、小型化や省電力化などセンサデバイス技術の発展 [7, 12] や無線ネットワーク規格の標準化 [6] などを背景に広く普及が期待されている。

センサネットワーク環境で蓄積できる、センサ情報の検索システムの実現を目指す。センサ情報の検索システムについて Web ページの検索システムとの比較を通して説明する。

例えば、興味のある商品やタレントに関する、口コミ情報や価格情報を知りたい場合に Web ページは有効である。利用者にとって必要な情報の場所 (URL) が既知であれば、直接情報を参照することが出来るため、検索システムは必ずしも必要ない。Web ページの検索システムは、利用者が必要とする情報の場所が分からない場合に、その情報へ辿り着くためのサポートをする。具体的には、利用者が入力する商品名やタレント名などの検索要求を受けて、要求に合う Web ページの一覧を出力する。

センサ情報は人や物の位置や状態、環境などに関する様々な事柄を知りたい場合に有効である。利用者にとって必要な情報の場所 (センサの識別子) や対象とするセンサ情報の処理方法が既知であれば、直接センサ情報を取得、処理する事が出来るため、検索システムは必ずしも必要ない。センサ情報の検索システムは、利用者が必要とする情報の場所や処理方法が分からない場合に、その情報へ辿り着くためのサポートをする。具体的には、利用者が入力する検索要求を受けて、要求に合う情報を出力する。例えば、利用者が「昨日」と「ドア」というキーワードを使った検索要求を行った場合には、家族やペットの出入りの情報、開閉の情報、散らかり具合の情報、玄関に置いてある靴の情報など、昨日のドアに関する様々な情報が出力され、利用者はその中から必要とする情報を探す。

本稿ではセンサネットワーク環境を想定し、取得できるであろう膨大なセンサ情報を対象にした検索システムを実現することを目指し、それに必要な検索プラットフォームについて述べる。

以降第 2 章ではセンサ情報を利用するためのモデルと、そのモデルに基づいた検索プラットフォームについて述べ、第 3 章では検索システムのプロトタイプングを通した評価を行う。第 4 章ではセンサネットワークに関する関連研究について、第 5 章ではまとめと今後の予定を述べる。

2 センサ情報の検索プラットフォーム

2.1 概要

センサネットワーク環境で蓄積できるセンサ情報の検索システムの実現を目指す。検索システムは、

センサ情報から何かを知りたいがそれに必要なセンサの識別子や処理方法が分からない利用者からの検索要求を受け、要求に合う情報を出力する。

Web ページの検索システムは、Web ページに対するメタ的な情報であるキーワード情報やハイパーリンク構造などを利用することで検索を可能にしている。センサ情報の検索システムでも、センサ情報に対する何らかのメタ的な情報を利用することで検索を可能にする。センサ情報の検索プラットフォームは、センサ情報の検索システムに対してメタ情報を利用するための機能を提供する。

2.2 物を主体としたセンサ情報の解釈

センサ情報の検索システムを実現するために、実世界に偏在する物を主体としてセンサ情報を解釈するモデルを提案している [14]。提案モデルは、物を主体としたセンサ情報の蓄積を行い、物に係わる情報を利用してセンサ情報の検索を行う。

物を主体としたセンサ情報の蓄積では、センサから取得した情報を蓄積すると同時に、遍在する物を主体としてセンサ情報の解釈を行い、解釈結果も蓄積する。この解釈結果がメタ情報である。例を挙げて説明する。

例 1 ある部屋の温度センサの情報を採り上げる。温度センサの情報に加えて、物を主体として温度センサの情報の解釈を行い、解釈結果も蓄積する。例えば、部屋の温度が 20 度という情報に加えて、20 度という情報に対する物を主体とした解釈結果を蓄積する。具体的には、冷凍保存するべき物を主体とすると「暑い」と解釈され、温かい飲み物が入ったペットボトルを主体とすると「寒い」と解釈され、これらの解釈結果も蓄積する。このように、センサから取得できる情報に加えて、それに係わる様々な物を主体にしたセンサ情報の解釈結果も蓄積する。

例 2 商品を輸送しているトラックの複数のセンサ情報を採り上げる。トラックの複数のセンサ情報とは、例えば、温度や湿度や振動などである。これらの複数のセンサから取得できる情報に加えて、輸送中の各商品を主体にして輸送状態の善し悪しを解釈し、解釈結果も蓄積する。輸送状態の善し悪しを解釈するために複数のセンサ情報が有効であれば用いる。このように、個々

のセンサ情報に対して解釈を行うばかりではなく、場合によっては複数のセンサ情報に対して解釈を行う。

このようにセンサから取得する情報に加えて、それに係わる様々な物を主体とした解釈結果も蓄積する。これによりセンサの識別子やその処理方法が分からない利用者による、センサ情報の利用を容易にする。

物に係わる情報を利用したセンサ情報の検索とは、センサ情報の検索システムの利用者が、実世界に遍在する物やそれに係わる情報を検索要求に使うことである。具体的には、次に挙げるような項目を検索要求に使うことである。

物の名前 「ドア」「ペットボトル」「机」など

物を主体として付与されたメタ情報 「開いた」「寒い」「うるさい」など

物の存在した場所 「玄関」「台所」「会議室」など

物の存在した時間 「昨日」「直近の5時間」「直近の1年間」など

このように物を主体としたメタ情報を蓄積し検索に利用する。次に、物以外にも考えられる主体について説明する。

センサ センサ情報に対してセンサ自身を主体としたメタ情報を蓄積し検索に利用する。センサを主体としたメタ情報とは、例えば、温度センサの情報に対しての、1日の最高気温や最低気温、温度の大きな変化があった時間などである。利用者はセンサの識別子とそれに対する最大値や変化を求めるような演算子を検索要求として利用することが出来る。必要なセンサの識別子や処理を自ら把握している必要があるため、多くの利用者は必要な情報を検索をすることが出来ない。

サービス センサ情報に対して監視や在庫管理などの個々のサービスを主体としたメタ情報を蓄積し検索に利用する。サービスを主体としたメタ情報とは、家やオフィスに不審者がいないことや、工場やお店での在庫数などである。利用者はセンサの識別子や必要な処理を把握してなくても、不審者がいた時間や在庫数を知ることが出来る。しかし、個々のサービスに特化した情報しか検索することが出来ないため、様々な情報を検索したいという用途には向かない。

人 センサ情報に対して実世界にいる人を主体としたメタ情報を蓄積し検索に利用する。人を主体としたメタ情報とは、例えば、人が健康であるとか不健康であるとか、人の居る場所や行動などの情報である、利用者が自身の行動や記憶を振り返ったり、他人を監視する場合に有効である。

空間 センサ情報に対して家や部屋やオフィスなどの空間を主体としたメタ情報を蓄積し検索に利用する。空間を主体としたメタ情報とは、その空間にある人や物に関する出入りや行動や状態など、その空間で起こる様々な情報である。

センサ情報に対して物を主体としたメタ情報を蓄積し検索に利用することにより、センサを主体とする場合と比べ、利用者は知りたいことを知るために必要なセンサの識別子やその処理方法を把握していなくても検索をすることが出来る。サービスや人を主体とする場合と比べ、特定の何かに特化しないメタ情報を使った検索が出来る。また、人や空間のある種の物と捉えることで、これらの特徴を含んだメタ情報を使った検索も可能である。

2.3 検索プラットフォームの詳細

検索プラットフォームは次の2つの機能で構成される。

- 物を主体としたメタ情報を求める
- メタ情報を集約し絞り込む

メタ情報を求めるために、部屋の温度情報を入力として受けて「暑い」事を出力したり、コップの傾きや映像情報を入力として受けて「飲まれている」事を出力するプログラムが必要になる。提案プラットフォームでは、これらのプログラムを対象とする物に対応付ける仕組みを提供する。つまり、部屋の温度情報を入力として受けて「暑い」事を出力するプログラムをペットボトルに対応付けたり、コップの傾きや映像情報を入力として受けて「飲まれている」事を出力するプログラムをコップに対応付ける機能を提供する。ここでの対応付けとは、プログラムを物に登録し、登録されたプログラムを実行することである。

プログラムと物の対応付けについて図1に示す。無線タグなどを使うことでネットワーク側から物を識別できることを前提に、物とプログラムの対応付

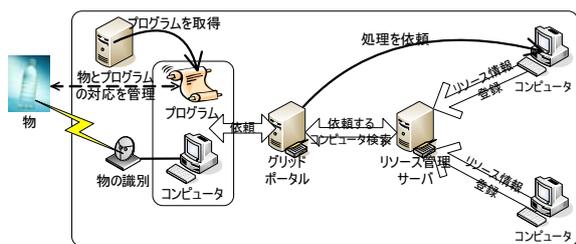


図 1: プログラムと物の対応付け

物をネットワーク側で管理する。つまり、物に対応付けられたプログラムはネットワーク側に登録され、物の状況に応じてプログラムはネットワーク側で実行される。このように、プログラムを個別の物に対応付けることにより次のような事が可能になる。

- 様々な立場からのプログラムの登録
- 物の実世界での移動に追従した実行

物にプログラムを登録するにあたり考えられる様々な立場を考慮し、可能な限り多種多様なメタ情報の付与を可能にする。様々な立場とは、物の製造者、物の所有者、物の利用者、パターン認識やデータマイニングの技術者、マーケティング会社、センサネットワークのサービスプロバイダなどである。これにより、上記のような物に関わる様々な立場からネットワークを介して物へのプログラムの登録を容易にする。

物に対応付けたプログラムは、物が実世界で移動をしても実行をする必要がある。例えば、カバンは家やオフィスや電車やゴミ箱など様々な場所へ移動をする。物とプログラムの対応関係がネットワーク側にあることで、物が実世界を移動してもネットワーク側から物を識別できる限りプログラムを実行することが出来る。また、ネットワーク側の様々なコンピューティングリソースを構成し利用することも出来る。

このようにして求められたメタ情報を集約し、利用者からの検索パターンに適した絞り込みを行う。まず、場所や時間で指定される空間に存在する、全ての物を主体として求められたメタ情報を集約する。例えば、ある部屋に存在する全ての物を主体として、最近1週間の間で求められたメタ情報などを集約する。集約されたメタ情報は膨大な量になると考えられるため、利用者の検索パターンに応じた絞り込みの機能を提供する事で検索効率の向上を図る。利用

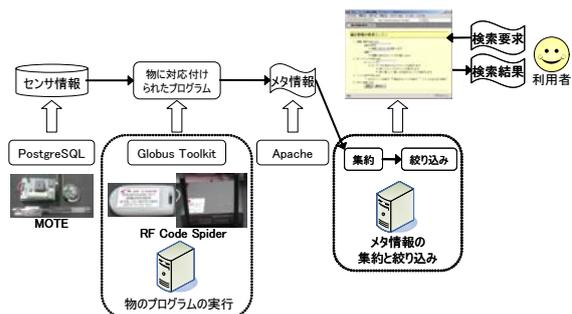


図 2: プロトタイプシステムの構成

者からの検索パターンと絞り込みの例を挙げる。

よくあることを知りたい 繰り返し求められるメタ情報の頻出パターンを絞り込む。例えば、ドアが開くと電気がつくことや、コップにコーヒーが注がれると会議が始まることなどを知りたい場合に適する。

特定の人や物について知りたい 特定の人や物を中心にして、それらと接点のある物を主体として付与されたメタ情報を絞り込む。特定の人や物について振り返ったり、監視をしたい場合に適する。

全体の流れを知りたい 全体の流れに変化がある時には、多くのメタ情報が求められると仮定し、そのメタ情報を絞り込む。家や建物など、広い空間に対して長期的な流れを知りたい場合に適する。

なぜなのか知りたい 場所や時間で指定される空間を特徴付けるメタ情報の特異なパターンを、他の空間と比較することで絞り込む。うまくいった時に、なぜうまくいったのかを知りたい場合などに適する。

3 プロトタイプシステム

3.1 実装

提案プラットフォームに基づいたセンサ情報の検索システムのプロトタイプを行った。プロトタイプシステムの構成を図2に示す。

ネットワーク側から物を識別可能にするために、物にアクティブ型の無線タグ [4] を付与した。アクティブ型の無線タグはID (識別子) 情報を逐次発信し続けるため、パッシブ型の無線タグと比べた場合

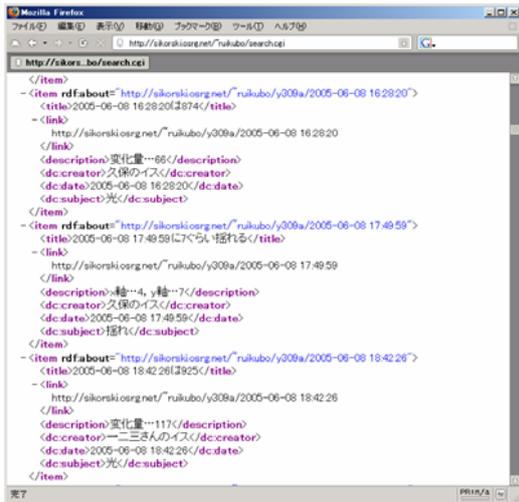


図 3: 検索結果の表示

に無線タグリーダとの間で長距離の通信をすることが可能である。環境にも依存するが、無線タグリーダとの間で5~6m程度の距離が離れていても通信をすることが可能である。

物の実世界での移動に応じて、対応付けられたメタ情報を求めるプログラムを実行する仕組みをGlobus Toolkit[2]を用いて実装した。メタ情報をRSS[3]形式で記述することとし、メタ情報の一覧を参照することでメタ情報の集約を行う。利用者は検索パターンとキーワードを検索要求として入力し、検索システムは検索要求に合うメタ情報をRSS形式で出力する(図3)。

3.2 評価

センサ情報を蓄積するためにMOTE[11]を使用した。MOTEは音、光、温度、加速度、磁気に関するセンサ情報を無線通信で取得することができる。オフィス内での複数の机、イス、ノートパソコンに合計20個のセンサを設置し、毎秒ごとに情報を蓄積した。蓄積した1週間分のセンサ情報に対して、いくつかの物を主体にして求めたメタ情報を蓄積した。蓄積したメタ情報を示す。

- イス
 - 揺れる
 - 暑い、寒い
- 机

表 1: 処理時間の比較

	処理時間 (秒)
提案プラットフォーム	42
センサ情報を直接検索	239

- 明るい、暗い

- ノートパソコン

- フタが開いた

蓄積されたセンサ情報に対して、利用者からの検索要求に応えるのにかかる時間を、提案プラットフォームによる場合と、提案プラットフォームを使わずセンサ情報を直接検索する場合とで比較を行った。提案プラットフォームによる場合は、利用者からの検索要求後に物を主体として求められているメタ情報を利用し、検索要求に合う情報を出力する。センサ情報を直接検索する場合は、利用者からの検索要求後に全てのセンサ情報を取得し、メタ情報を求める全ての処理を行った後、検索要求に合う情報を出力する。

利用者が「イス」「揺れる」というキーワードを使って検索をした場合の処理時間の比較を行った。この検索要求により、オフィス内での複数のイス毎に揺れていたタイミングを検索することが出来る。処理時間の比較を表1に示す。

処理時間の比較から提案プラットフォームによる場合の方が非常に短い時間で処理を行えることが分かる。このことから、センサネットワーク環境で想定されるような膨大なセンサ情報に対して、提案プラットフォームにより処理時間の観点からより現実的な動作が可能であると考えられる。

4 関連研究

様々なメディアで表現される情報を利用するために、その情報に対する機械可読な解釈情報を与える事を目的とした、メタ情報を自動で付与しようとする研究は従来から数多く行われている[8, 10]。

TinyDB[5]や Cougar[1]はセンサ情報の問い合わせを行う仕組みを提供する。リレーショナルデータベース用の問い合わせ言語であるSQLを拡張し、一定間隔毎のセンサ情報の取得やそこからの平均や変化の取得、消費電力を考慮した問い合わせを可能にする。

Kern ら [9] は特定のアプリケーションを主体としたセンサ情報の利用を行っている。ミーティングの最中の人の頭や胸にカメラやマイクを付け、それらから得られる音声、映像データを対象にメタ情報を付与し検索可能にしている。人に付けられた加速度センサや位置センサの情報を使い、ミーティングに特化したメタ情報を求めその有効性を確認している。しかし、ミーティングに特化しているため利用者からの様々な検索要求に応じることが出来ない。

Tsuchikawa ら [13] は人を主体としたセンサ情報の利用を行っている。複数のウェアラブルセンサを使い、人-人や人-物の間のインタラクションを自動で抽出している。ここでのインタラクションとは、何かを見ていることを表す情報や誰かとしゃべっていることを表す情報などで構成される。特定のアプリケーションに特化していないため、利用者からの幅広い検索要求に応じるための基本的な枠組みを提供するが、人と直接のインタラクションがない物や環境に関する情報を利用することが出来ない。

5 おわりに

本稿では、センサネットワーク環境で蓄積されるセンサ情報の検索システムの実現を目指し、必要となる検索プラットフォームについて述べた。具体的には、検索システムのために物を主体としたセンサ情報を解釈するモデルが有効である事を述べ、それに基づく検索プラットフォームの詳細を述べた。提案プラットフォームによる検索システムのプロトタイプと評価を通し、提案プラットフォームが膨大なセンサ情報に対しても、処理時間の観点から現実的に動作できるであろう事を確認した。

今後は検索プラットフォームの高機能化を目指す。具体的には、メタ情報を求めるプログラムの作成を容易にする機能や、登録されたプログラムを状況に応じて望ましいコンピュータで実行する機能などである。また、現在は評価を処理時間の観点から行っているが、データ量や検索精度の観点からも評価を行いたい。

参考文献

[1] The Cougar Sensor Database Project,
<http://www.cs.cornell.edu/database/cougar/>.

- [2] Globus Toolkit,
<http://www-unix.globus.org/toolkit/>.
- [3] RDF Site Summary (RSS) 1.0,
<http://web.resource.org/rss/1.0/spec>.
- [4] RF Code Spider, <http://www.rfcode.com/>.
- [5] TinyDB: A Declarative Database for Sensor Networks, <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/>.
- [6] Zigbee Alliance, <http://www.zigbee.org/>.
- [7] Beigl, M., Krohn, A., Zimmer, T. and Decker, C.: Typical Sensors needed in Ubiquitous and Pervasive Computing, in *First International Workshop on Networked Sensing Systems*, pp. 153–158 (2004).
- [8] Elizabeth, S., Bates, R., Taylor, P., Stolcke, A., Jurafsky, D., Ries, K., Coccaro, N., Martin, R., Meteor, M. and Ess-Dykema, C. V.: Can Prosody Aid the Automatic Classification of Dialog Acts in Conversational Speech, *Language and Speech*, Vol. 41, pp. 443–492 (1998).
- [9] Kern, N., Schiele, B., Junker, H., Lukowicz, P., Troster, G. and Schmidt, A.: Context Annotation for a Live Life Recording, in *Proceedings of Pervasive 2004 Workshop on Memory and Sharing of Experiences*, pp. 9–14 (2004).
- [10] Kipp, M.: The Neural Path to Dialogue Acts, in *Proceedings of the 13th European Conference on Artificial Intelligence*, pp. 175–179 (1998).
- [11] Levis, P., Madden, S., Gay, D., Polastre, J., Szewczyk, R., Woo, A., Brewer, E. and Culler, D.: The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS, in *Proceedings of the First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, pp. 1–14 (2004).
- [12] Schilit, B. N. and Sengupta, U.: Device Ensembles, *IEEE Computer*, Vol. 37, No. 12, pp. 56–64 (2004).
- [13] Tsuchikawa, M., Iwasawa, S., Ito, S., Nakahara, A., Sumi, Y., Mase, K., Kogure, K. and Hagita, N.: Experience-sharing System using Ubiquitous Sensing Environments, in *Proceedings of the 2nd International Symposium on Ubiquitous Computing Systems*, pp. 49–56 (2004).
- [14] 久保類, 真鍋義文, 盛合敏: グリッドコンピューティングによる実世界情報マイニングの提案, 情処研報, 2005-FI-079 (2005).