

機関番号：12701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700102

研究課題名（和文） 大量空間センサ環境下での情報統合型時空間データベースの研究

研究課題名（英文） A Study of Information Integrated Spatio-Temporal Databases under Massive Spatial Sensor Environment

研究代表者

富井 尚志（TOMII TAKASHI）

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：40313473

研究成果の概要（和文）：本研究課題では日常生活環境内に加速度センサやRFIDなどを大量に埋め込んだ「大量空間センサ環境」を構築し、時空間データベースに格納することに取り組んだ。その実現のために、次の5点のサブテーマを設定し、それぞれの成果を得た。1. センサ環境とDBを構築し運用評価した。2. 利用者の行動意図取得を行った。3. センサ環境の電力最適化を行った。4. 環境への情報埋め込みを実現した。5. 情報統合のためのオントロジを構築した。

研究成果の概要（英文）：In this study, “massive spatial sensor environment,” which contains a lot of spatial sensors such as accelerometers, RFID tags, RFID readers, and others, is proposed. Acquired sensor data are stored into a database that enables spatial query processing by using semantics proper to a community. For that purpose, the study is divided into next 5 sub-themes, those are achieved respectively. 1. The sensor database is developed and operated. 2. A method for acquiring intention of users’ action is implemented and evaluated. 3. Energy consumption of sensors is optimized. 4. Information of users’ action is embedded into the environment. 5. Ontology for information integration is designed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：データベース、センサデータベース、時空間データベース、情報統合、ユビキタス

1. 研究開始当初の背景

センサ技術と計算機技術の発展により、社会生活をとりまくありとあらゆる物にコンピュータの機能を搭載して、人間の日常生活をサポートする「ユビキタスコンピューティング」が実現しつつある。データロガーなどの環境埋込型センサを利用した例としては、日常生活環境から得たデータをログ化してすべて記録するライフログの研究が見られるようになった。たとえば、人やモノの動きを無線で取得できる加速度センサが利用可能になり、携帯電話にも内蔵されるようにな

った。また、信頼性の高い実世界情報取得技術として、RFID（Radio Frequency Identification）技術が利用可能である。これらの埋込センサ技術やRFID技術は、近年の普及に伴って安価かつ大量に利用することが可能になってきた。たとえば、896bitの記憶領域を備えたRFIDタグは、研究開始時点で1枚あたり50円程度のコストで入手可能であった。今後さらに安価かつ大量にRFIDタグや小型センサが製造されることが見込まれ、人間の生活環境内にきわめて大量のセンサを埋め込むための技術的な問題は解決

しつつあり、近い将来にはさらに安価に利用可能になると見込まれる。

また近年では、あからさまに機械装置を人体に取り付けるのではなく、アクセサリのようにごく自然に身につけられる超小型センサなどを用いて、背後にある計算機システムを利用者に意識させない「アンビエントコンピューティング」の考え方へと移りつつある。利用者の日常の生活に制限を加えることなく、また、情報システムに関するスキルに左右されずに、誰でも恩恵を受けられる「人にやさしい」情報システムは、子供やお年寄りの見守りなど、日常生活の「安全・安心」をターゲットとするアプリケーションを中心に注目されている。

このように、誰もが大量のセンサに囲まれて意識することなくデータを生成し続ける環境においては、データの爆発的な増加に対する対策が求められる。得られたデータを効果的に蓄積・検索・処理・活用するためには、そのデータに対応したデータベース技術を確立することが必須である。特に空間内に設置されたセンサが発するデータの時系列を取り扱うデータベースは、センサデータベースと呼ばれる。

RFID タグを環境内に大量に埋め込んだうえで、RFID リーダを装備した人が意図を持ってその中を移動すると、一度に大量かつ有意な時空間情報を得られる。しかし、それだけではアトミックなデータが大量に存在するにすぎず、検索のためのインデックスが不十分であるため、集めたデータを有効活用することができない。このように、空間に大量にセンサを埋め込んだ場合のセンサデータベースの構築方法の確立と利用者意図に基づく情報統合手法の設計が新しい課題となってきた。

2. 研究の目的

本研究課題では、利用者が日常生活を送る環境内に加速度センサや大量の RFID タグと無線式 RFID リーダを埋め込んだ「大量空間センサ環境」を実際に構築し、データを時空間データベースに格納する。このとき重要なテーマは、大量のデータを扱いつつもそのことを利用者に意識させない「人にやさしい」ことを最大目標としたセンサデータベースを構築にある。その実現のために、次の5点のサブテーマを設定し、それぞれの課題に取り組む。

(1) サブテーマ I (環境とDBの構築)

RFID タグを大量に環境内に埋め込むと、それらのタグに関する情報（たとえば位置座標）をすべて正確にデータベースに登録すること、すなわち初期データの登録にかなり大きな手間を要する。この手間を、データベースに蓄積された利用者の時空間行動情報を

足掛かりとして削減する方法を進展させ、運用によってその有効性を明らかにする。また、このような環境で有効なアプリケーションを実際に作成する。

(2) サブテーマ II (動作意図取得)

RFID タグを大量に環境内に埋め込んだうえで、利用者には加速度センサをつけて日常行動を送った際に得られたセンサデータから、利用者の行動意図を推定・抽出する。

(3) サブテーマ III (電力最適化)

RFID タグが大量に存在すると、リーダーによる検知反応も多量に発生するため、移動体(利用者)に付けられたセンサ(RFID リーダを含む)が消費する電力を抑えて最適化する必要が生じる。したがって、多数のセンサを同時に利用する環境で、余計な電力を消費させない「環境にやさしい」手法を導入し、運用によってその効果を評価する。

(4) サブテーマ IV (環境情報化)

RFID タグの記憶領域を活用し、移動体(利用者)がいちいちデータベースに問い合わせを行わなくても、局所的に問題を解決できる新しい手法の設計と評価を行って、有用性を明らかにする。あわせて、環境から情報を効率的に収集する手法を明らかにする。

(5) サブテーマ V (オントロジ構築)

見守りや情報共有、日常生活支援などの「人にやさしい」アプリケーションのために、実際の運用環境に適したドメインオントロジを構築し、有効であることを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究課題で最も重点的に取り組むテーマは、大量のセンサデータを扱いつつもそのことを利用者に意識させない「利用者にやさしい」ことを最大目標としたセンサデータベースの構築にある。その実現のために、日常生活を実験対象として提案システムを構築・維持する新しい方法を設計し、実際に利用者にとって有用となる運用によって評価する。以下に、各サブテーマの具体的実施方法を示す。

(1) サブテーマ I (環境とDBの構築)

データベース構築(運用初期段階)を想定して、次のテーマに取り組む。

① パッシブ型 RFID タグを利用者の生活環境内(床や壁、机や棚・引出の内部など、日常生活にかかわるあらゆる場所)に多数埋め込む。

② 埋め込んだタグのうち一部について、正確な情報を対応付けてデータベースに登録する。

③ RFID リーダを装備した複数の利用者が日常生活を続けることに伴い、環境からタグの反応データを取得するとともに、利用者の行動記録と照合して正確な情報(位置)を推定させる。結果はデータベースに挿入して、

今回の利用の際に活用する。

④ 構築された環境において、電子タグの位置情報を活用したアプリケーションを構築する。

(2) サブテーマ II (動作意図取得)

利用者の行動意図を機械学習的アプローチによって自動取得する研究に取り組む。

① 利用者に RFID リーダと加速度センサを装備させ、動きや反応のデータを取得し、データベース化する。

② 運用中に「学習フェーズ」を設定し、取得した行動データの一部について、正確な情報(利用者の動作の意図)を記録させる。

③ 利用者が日常生活を続けることに伴い、大量センサデータ群と学習データから利用者意図を推定し、利用者に提示する。結果はデータベースにフィードバックされるようにする。

(3) サブテーマ III (電力最適化)

大量のセンサを用いた場合の実現性に関する問題として、センサノードが消費する電力(具体的にはバッテリー残量)がしばしば問題になる。特に、電子タグが大量に埋め込まれている環境では、ホストコンピュータとの通信回数が飛躍的に増加するため、電力消費を上手に制御する必要がある。そこで、サブテーマ II と V から得た高次元な意味情報を伴うセンサログを活用して、利用者のアクティビティを推定し、センサの電源制御を行う。すなわち、データベースを用いた制御によって、トータルの消費電力を抑えながら、重要なデータは取りこぼしがない最適化を行う。

(4) サブテーマ IV (環境情報化)

サブテーマ I によって環境にばらまかれた RFID タグの記憶領域を利用し、空間センサ環境そのものに情報埋め込む方法を実現する。このような環境では、電子タグが検知されるたびにデータベースサーバへの問合せが生じる。これを避ける工夫として、RFID タグの記憶領域をキャッシュとして用いることとする。

一方、センサを能動的に移動させて、実世界環境の状況を収集する方法を実現する。データベースに登録された過去の状況をキーとして探索対象の位置を検索し、現時点の状況を移動エージェントに収集させる。

(5) サブテーマ V (オントロジ構築)

本研究では、利用者共通の意味や意図を取り扱うため、有用なアプリケーションとドメインオントロジの構築が必要不可欠である。過去に先行研究として、オフィスでの日常生活を対象としたドメインオントロジを実際に作成し維持する研究を行った。本研究課題では、利用者の動作を伴う行動を RFID と加速度センサを組み合わせる手法をとる。この環境のために適切なオントロジを編集するためのフレームワークを実現する。

4. 研究成果

(1) サブテーマ I (環境と DB の構築)

電子タグを環境全体にばらまき、実世界状況を獲得するデータベースを構築するためには、実際に大量の RFID タグを埋め込む必要がある。本研究課題では、約 160 m²の部屋の床におよそ 7,600 枚の RFID タグを敷き詰めた電子タグ付空間を構築した(図 1)。この環境では、物品に付けられたタグを含め、ほかにも数千枚の RFID タグ情報をデータベースに登録した。この環境で得られた RFID タグの検知系列から、位置情報が登録されていない RFID タグの座標を推測する手法を導入し、評価を行った(図 2)。

また、「センサ付掃除機を用いた床掃除」の事例に対し、同環境でデータを取得して、ユーザの行動評価を行った。図 3 では、床に埋め込んだ RFID の反応と掃除機のごみ発見センサの反応を収集したデータベースを構築し、掃除のやり方の違いを検索・表示した例が示されている。



図 1 DB 化した研究環境

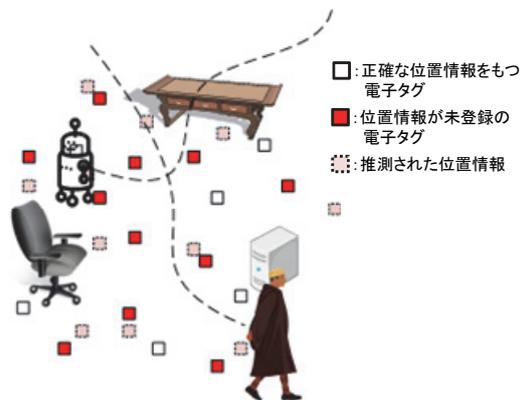


図 2 位置情報推測手法

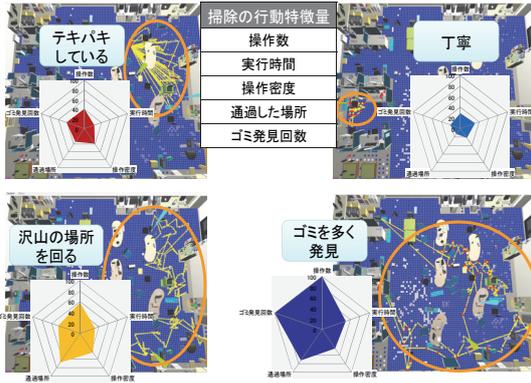


図3 DBの検索結果表示

(2) サブテーマ II (動作意図取得)

利用者が利き腕に装着した RFID リーダと加速度センサによって、利用者の動作意図を推測し、その結果をデータベースに登録できるようにした。提案システムでは「誰が(who)」「いつ(when)」については検知した RFID リーダによって、「どこで(where)」「何を(what)」については添付された RFID タグによって特定した。これらについて、あらかじめどのような「動作(how)」ができるのかをオントロジとしてデータベース化しておく。動作の認識は、加速度センサの値を特徴量化し、機械学習のアプローチで決定するようにした。認識精度は、動作の種類にもよるが 80%以上を示すものもあった。以上の 5 属性を“Action_EE”と呼ばれる動作の単位データとしてデータベースに登録することにした (図 4)。

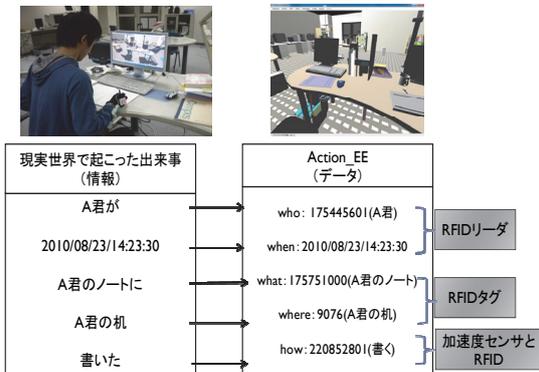


図4 加速度センサと RFID による行動認識

(3) サブテーマ III (電力最適化)

本研究課題で設計したデータベースには、どのような動作や物品が重要であることを登録しておく。したがって、重要な動作が現れる場所や物品は RFID タグの検知によって特定することが可能である。このことを利用して、RFID リーダのポーリング間隔を制御し、バッテリー持続時間を延長する手法を導入した (図 5)。提案手法により、約 40%のバッテリー持続時間延長効果が得られた (図 6)。

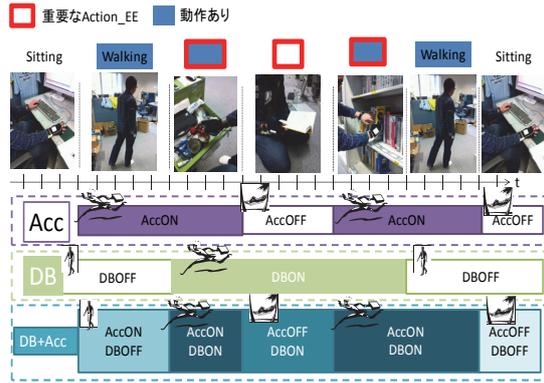


図5 状況による RFID リーダのポーリング間隔制御

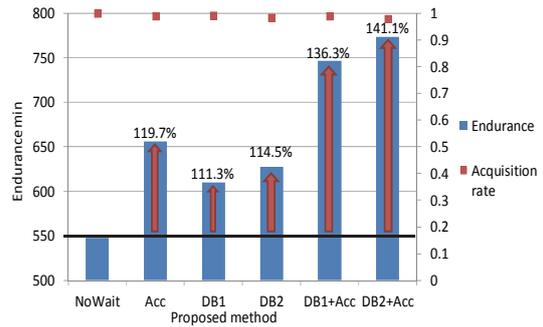


図6 状況による RFID リーダのポーリング間隔制御の効果

(4) サブテーマ IV (環境情報化)

環境に配置した RFID タグの数が增大するにつれて RFID タグの検知数が増加し、データベースへの問合せ回数も増える。この問題に対し、問合せ結果を RFID タグの記憶領域に記録する方法を提案した。すなわち本手法は、環境に埋め込んだ RFID タグをキャッシュとして利用する。図 7 にその効果を示す。各箇所の棒の長さはその位置で発生した問合せアクセス数、そのうち赤い部分がキャッシュヒットに該当する。この手法により、データベースサーバの負荷が軽減することが確認された。

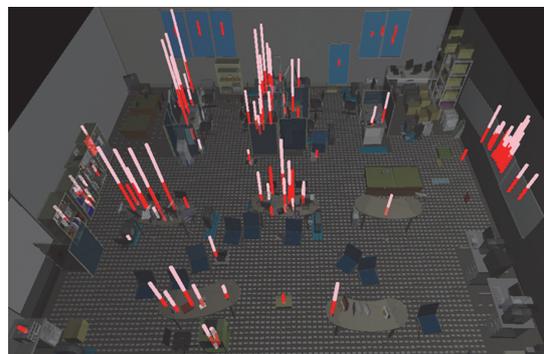


図7 RFID タグのキャッシュ効果

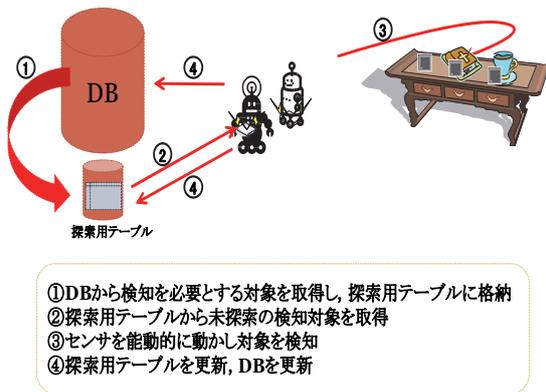


図 8 CBDB によるデータベース更新

また、RFID を用いて管理される電子タグ付空間では、多数の RFID リーダを要する。この問題に対し、RFID リーダを装着した移動エージェントを制御し、能動的にセンサ (RFID リーダ) を移動させる方法 (CBDB: Control by Database; 図 8) を提案し、実装・評価した。

(5) サブテーマ V (オントロジ構築)

本研究課題で提案してきたデータベースを、複数人が参加するオフィス環境に適用する「概念共有環境 CONSENT」の実証実験を行った。このデータベースには、環境固有の知識 (ルール) を記述し、「やってほしい行動・やるべき行動」と、「その行動が行われたかどうか」を蓄積・管理できるようにした (図 9)。この実験により、行動情報の共有によって行動喚起の効果があることを確認した。

また、機械学習による動作認識と行動のオントロジの追加を例とした行動オントロジ編集方法を導入した (図 10)。

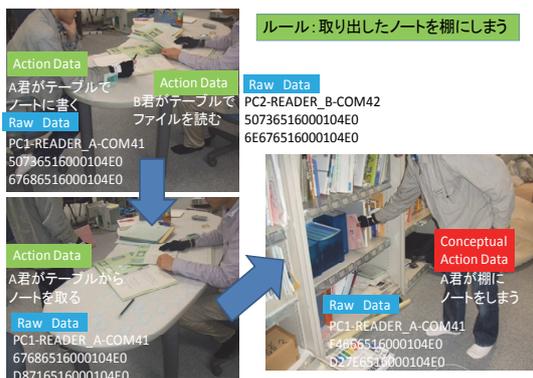


図 9 オントロジを用いた行動の情報共有

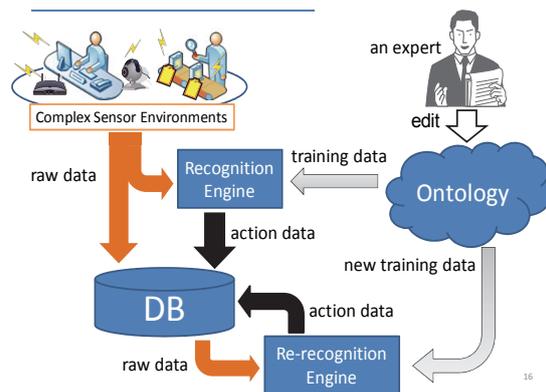


図 10 行動オントロジ編集フレームワーク

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 9 件)

- ① 山田佑樹, 富井尚志, “ユビキタス環境 DB における無線センサノード低消費電力化手法の実験的検証”, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2011) 論文集, B8-1, 2011.2, Web 公開予定, 査読なし
- ② 古賀浩史, 山田佑樹, 富井尚志, “RFID 書込みによるユビキタス環境 DB サーバの負荷低減手法”, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2011) 論文集, B8-2, 2011.2, Web 公開予定, 査読なし
- ③ 山田陽彦, 田邊靖貴, 富井尚志, “DB によって管理される電子タグ付き空間における利用者の行動取得と空間支援”, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2011) 論文集, B8-4, 2011.2, Web 公開予定, 査読なし
- ④ 金子祥貴, 富井尚志, “データベースによって制御される協調エージェントを用いた実空間状況獲得手法”, 第 9 回情報科学技術フォーラム (FIT2010) 講演論文集, D-023, pp. 143-146, 2010.9, 査読なし
- ⑤ 田邊靖貴, 富井尚志, “複合センサ環境における行動オントロジ編集フレームワーク”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 107, DE2010-6, pp. 27-32, 2010.6, 査読なし
- ⑥ 河村愛, 富井尚志, “ユビキタス環境における複合的なセンサデータの特徴量化による行動評価”, 第 2 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2010) 論文集, D5-2, 2010.3, <http://db-event.jpn.org/deim2010/proceedings/>, 査読なし
- ⑦ 山下啓太, 金子祥貴, 富井尚志, “曖昧な位置情報に基づく空間問い合わせが可能な電子タグ付き空間の構築手法”, 第 2 回データ工学と情報マネジメントに関するフォー

ラム (DEIM2010), B7-4, 2010. 3,
<http://db-event.jpn.org/deim2010/proceedings/>, 査読なし

⑧ 山田佑樹, 富井尚志, "ユビキタス環境 DB
における無線センサノードの低消費電力化",
電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109,
No.153, DE2009-8, pp.43-48, 2009.7, 査読
なし

⑨ 清水隆司, 古賀浩史, 富井尚志, "大量の
RFIDデータを扱う概念共有環境 CONSENT の運
用による実用性の評価", 日本データベース
学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.41-46, 2009.6,
査読あり

[学会発表] (計2件)

① 古賀浩史, 富井尚志, "RFID 書込みによる
ユビキタス環境 DB サーバの負荷低減手法の
提案", 情報処理学会創立50周年記念全国大
会, 6ZP-1, 2010.3.11, 東京大学本郷キャン
パス

② 山田陽彦, 富井尚志, "DBによって管理さ
れる電子タグ付き空間における空間利用者
の行動取得", 情報処理学会創立50周年記念
全国大会, 6ZP-2, 2010.3.11, 東京大学本郷
キャンパス

[その他]

ホームページ等

<http://www.tommylab.ynu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富井 尚志 (TOMII TAKASHI)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号: 40313473