

移動端末からのオブジェクト追跡システム： カメラと位置測位センサを用いた試作システムの構築

移動端末とセンサネットワークの連携を実現するセンサネットワークミドルウェアを用いて、人や荷物などの移動するオブジェクトを追跡し、オブジェクトの状態（位置情報やオブジェクトの静止画、動画）を取得する試作システムを構築した。

小佐野 智之 加藤 剛志

Maximilian Michel

Qing Wei

1. まえがき

近年、マイクロプロセッサや無線通信技術の進歩によって、無線通信機能を搭載した複数のセンサが1つのネットワークに接続される、いわゆるセンサネットワークの研究開発と実用化が進展している。センサネットワークによって多数のセンサを、ネットワークを介して統合的に制御することが可能となり、その応用範囲がさらに広がりつつある。例えば、振動センサ、照度センサ、煙センサなどのセンサをさまざまな場所に設置し、ネットワークで接続することで、がけ崩れの遠隔監視、ビルの防犯、防災などに応用されている。そして近年注目されている応用範囲として、位置測位を行うGPS (Global Positioning System)やRFID (Radio Frequency Identification)*¹、映像情報を取得するカメラなどを用いた、移動する人やモノなどのオブジェクトを追跡するシステムがある。

オブジェクトの位置測位技術については、さまざまな方式が考案されており、GPSと移動通信網の基地局からのRTT (Round Trip Time)*²を利用したハイブリッド位置測位方式や、RFID、無線LANの受信信号強度 (RSSI : Receiver Signal Strength Indicator)*³、複数の基地局間の電波受信時間の差分であるTDOA (Time Difference Of Arrival)*⁴などを用いた測位方式などが考案されている。これらの位置測位技術を利用したオブジェクト追跡システムとしては、GPS機能を持つ移動端末を用いて、幼稚園や小学校へ登下校する子どもの安全管理を行う見守りシステム、店舗、流通経路およびトラックなどにRFIDリーダー、温度センサを設置し、荷物の追跡、品質管理や商品の在庫管理を行う流通システム、オフィスの出入り口にRFIDリーダーを設置し、機密情報を含むPCなどの持ち出しを監視するオフィスセキュリティシステムなどの開発が

進められている。このようなシステムでは、多種多様なセンサが用いられ、さらに同種類のセンサであっても制御・表現形式が異なるため、センサごとのシステム設計が必要となる。将来的には、多数の小型センサが連携するアプリケーションも考えられ、従来の一極集中のセンサデータ管理形式が必ずしも効率的であるとはいえない。このため、センサノードどうしを連携、協調させて動作させるアプリケーションの実現技術と膨大なセンサデータの管理技術が必要である。

本研究では、オブジェクト追跡システムの一例として、移動端末などから、屋内外に設置された位置測位センサやカメラが接続されたセンサネットワークを制御し、移動する人や荷物などのオブジェクトをリアルタイムに追跡するシステムの実現技術について検討した。さらに、センサネットワーク内に分散したオブジェクトの位置情報などの履歴を、移動端末から

*1 RFID : ID情報を埋め込んだ小さなICチップからID情報を無線によって取得し、人やモノを識別・管理する仕組み。

*2 RTT : 装置間の往復伝送に要する遅延時間であり、再送時では初回送信と再送を行うまでに要する時間。

*3 受信信号強度 : 受信信号の強さ (電界強度) を表す受信機から出力される信号レベル。

*4 TDOA : 周期的にビーコンを発信する移動端末と無線LANなどのアクセスポイントにおいて、マルチパスの影響を考慮し、移動端末の位置を特定する手法。

効率的に検索するセンサデータ検索方式の検討を行った。これらの検討による提案方式の検証として、移動端末、無線LAN位置測位センサおよびネットワークカメラによるオブジェクト追跡システムを試作した。

本研究はDoCoMo Communications Laboratories Europe GmbHとの共同研究であり、本システムのシステムアーキテクチャとプロトコルについては別稿の「移動端末からのオブジェクト追跡システム：アーキテクチャ、プロトコルとその評価」を参考されたい。

2. 移動端末からのオブジェクト追跡システムにおける要求条件

オブジェクト追跡システムは、追跡範囲に位置測位センサ、カメラなどの多数のセンサをネットワークで

接続することにより構成される。センサネットワークの例を図1に示す。各センサはオブジェクトの状態を随時観測しており、センサノードへ観測データを格納する。センサノードは観測データの管理、通信機能を持ち、利用者が持つ移動端末からのデータ検索要求に対して応答を返す。このようなシステムにおける要求条件として以下の項目が挙げられる。

- ・GPSやRFIDなど位置測位センサを問わず、シームレスにオブジェクトの位置情報が取得できること
- ・位置情報を含めたオブジェクトの状態（映像などの周辺環境情報）が取得できるセンサ制御が可能なこと
- ・スケーラビリティのあるオブジェクト探索が可能なこと

これらの要求条件についての詳細を以下に述べる。

2.1 シームレスなオブジェクトの位置情報の取得

人や荷物などのオブジェクトを追跡する際に用いる位置情報は、一般的に座標系^{*5}、座標、画面表示に用いるオブジェクトの形状、測位時刻などの複数の要素で構成されている。携帯電話やカーナビなどにより統一的に位置情報を処理するために、位置情報の表現形式の標準化が進められている。屋外位置情報を取り扱うGPSなどによる位置情報の表現形式については、URLのパラメータにより表現するMOPA (Mobile Office Promotion Association)^{*6}規格[1]や、XML (eXtensible Markup Language)^{*7}を用いて表現するPOIX

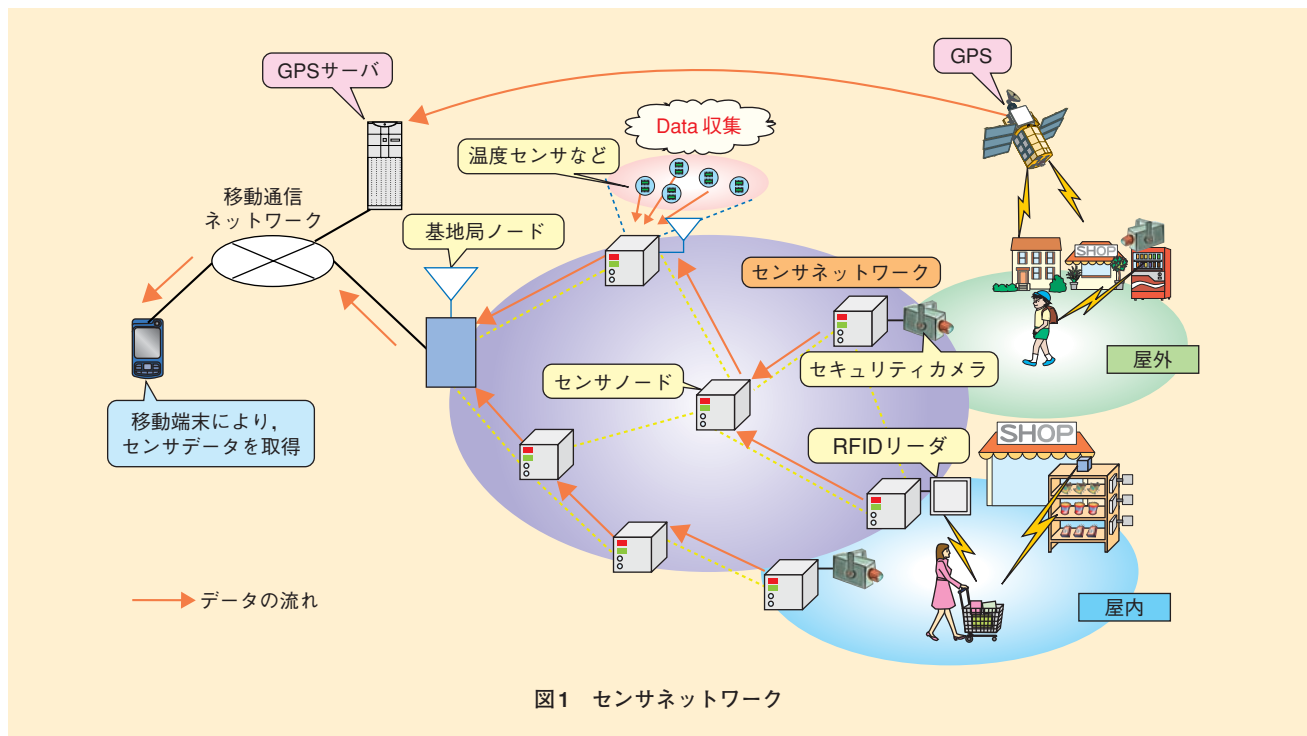


図1 センサネットワーク

*5 座標系：任意の座標を表現するための、原点と座標軸のとり方、座標と座標系の組より、唯一の点を表すことが可能となる。

(Point Of Interest eXchange language)^{*8}規格[2]が規定されている。さらに、これらの規格を統合するために規定されたPOIX_EX^{*9}規格[3]などが標準化されている。しかし、オブジェクト追跡システムにおいて、位置測位は屋外のGPSによる測位のみだけでなく、屋内のRFIDや無線LANを用いて測位することも想定される。したがって、屋内と屋外の位置情報をシームレスに扱うための位置情報表現形式が必要となる。

2.2 オブジェクト状態の取得

商品などを搬送する流通システムでは、搬送している商品（例えば、生酒など）の品質や鮮度を保持するために、オブジェクトの位置情報のみだけでなく、オブジェクトの状

態（温度、映像など）を管理する必要がある。よって、オブジェクト追跡システムでは位置情報だけでなく、周辺環境情報を含むオブジェクトの状態を、総合的に取得できることが求められる。

2.3 スケーラビリティのあるオブジェクト検索

一元的に膨大なデータを管理するデータベースの場合、検索の応答に遅延が発生するなどの、スケーラビリティの問題が生じる。特に、リアルタイムに生成される膨大な観測データを扱うオブジェクト追跡では、その問題は顕著にシステムの性能に影響をおよぼすため、検索件数、データの種類や量によらず、安定した応答が得られるスケーラビリティが

必要となる。

例えば、子どもの見守りシステムでは、通学路には子どもの通過を検知するRFIDや監視カメラなどのセンサを多数設置するため、数百程度のセンサを管理する必要がある。また、管理する子どもの数が数百人程度の場合、その子どもを見守る大人の数も数百人以上存在することになり、登下校時間などは、親からのアクセスが集中する時間帯であると考えられる。このような環境において、移動端末を使って子どもの位置情報を、高速かつ効率的に検索できることが要求される。

3. オブジェクト追跡システムの設計と実装

本システム全体の構成を図2に示

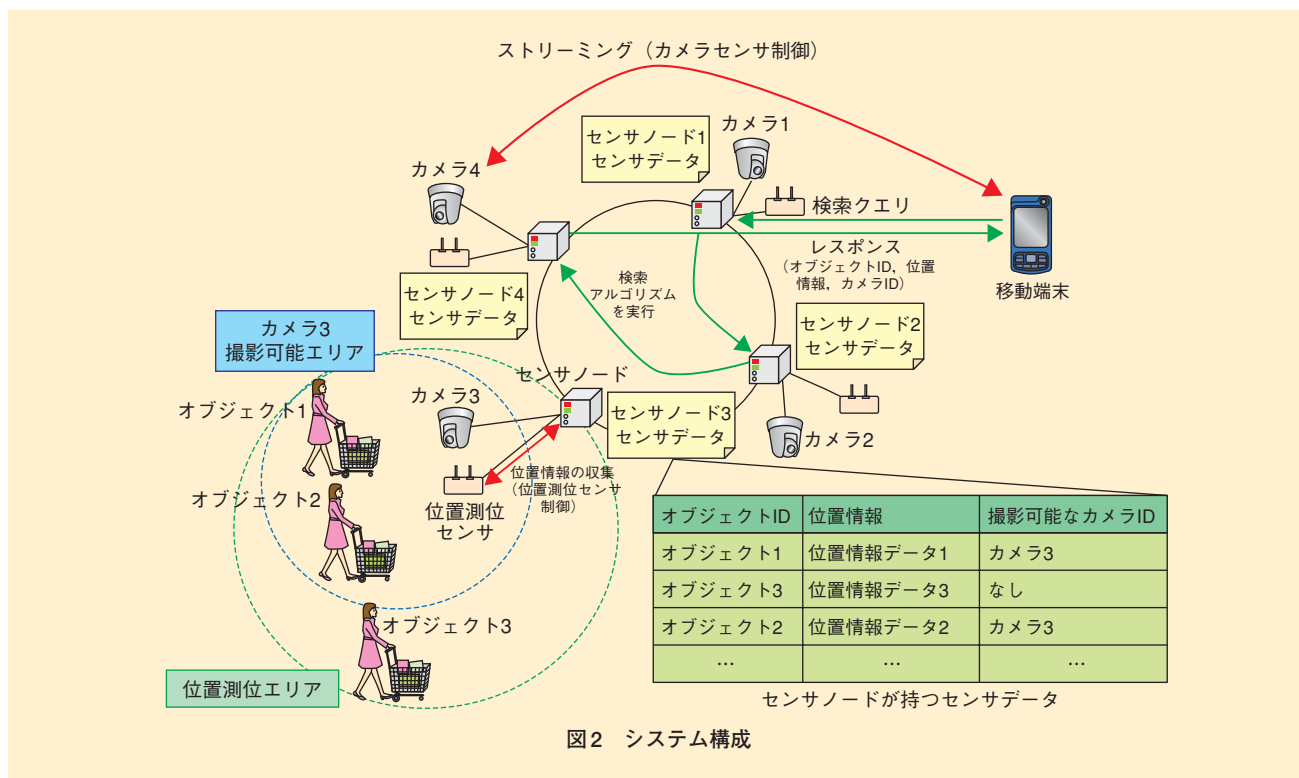


図2 システム構成

*6 MOPA：移動端末などのモバイル機器向け位置情報サービスのための位置情報をURLで表現するフォーマット。モバイルオフィス推進協議会（MOPA）によって制定された。

*7 XML：1998年2月に発表されたインター

ネット上で扱うデータを記述するための新しいマークアップ言語。

*8 POIX：自動車メーカ、カーナビゲーションメーカなどから構成されるモバイル標準化検討委員会（MOSTEC：Mobile Information Standard Technical Commit-

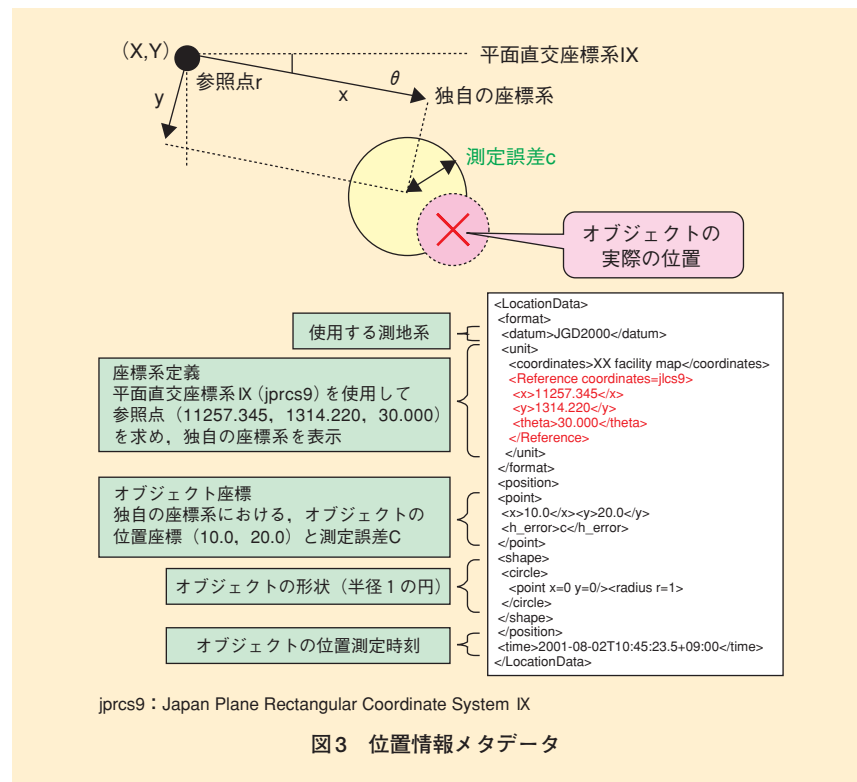
tee）で策定された、位置情報を記述するためのXMLデータ形式仕様。

す。本システムでは、オブジェクトの位置測位方式として、無線LANアクセスポイントとしての併用が可能な無線LAN位置測位システムを用いる。無線LAN位置測位システムとしては、複数のアクセスポイントが専用無線タグから定期的に送信される信号の受信時刻を基に位置を検出する方式（TDOA）を用いる。TDOA以外の位置測位方式としては、RSSIを用いた位置測位方式も存在するが、一般的に障害物に合わせたキャリブレーションがシステム運用に必要となる。本システムでは倉庫内などの環境が動的に変化する位置測位についても要求されるため、環境変化の度にキャリブレーションを行う必要がないTDOA方式の位置測位センサを選択した。また、オブジェクトを撮影し、移動端末へ映像を提供するカメラとして、JPEG (Joint Photographic Experts Group) 画像、MPEG-4 (Moving Picture Experts Group phase 4)^{*10} 映像出力を可能とし、LANインタフェースを持つカメラを用いた。位置測位センサとカメラを制御するセンサノードとして、Linux OS^{*11} が動作する小型の組込Linux端末^{*12}を用い、複数台設置した。また、無線LAN対応の移動端末を用いた。

以下に要求条件を満足するための設計方針について述べる。

3.1 位置情報データ

無線LANなどによる屋内位置測位情報と、GPSなどによる屋外位置測位情報の両方を表現可能な形式と



して、POIX_EX規格を拡張した位置情報表現形式を定義した。本システムにおける位置情報メタデータの例を図3に示す。位置情報は、座標系を定義する部分、その座標系におけるオブジェクトの座標を表現する部分、オブジェクトの形状を表現する部分、測定時刻を記述する部分からなる。図3の例では、測定の前提となる条件を規定する測地系^{*13}として、日本における標準のJGD2000 (Japanese Geodetic Datum 2000)を用いている。屋内測位によるオブジェクトの座標を、施設屋内で利用する独自の座標系を用いて表現するために、参照点を定義した。参照点は平面直交座標系IX（日本を19の地域に分割した直交座標系）における原点と、独自の座標系における原

点との相対座標を表現している。このような参照点を用いた拡張を行うことにより、RFIDによる測位などの独自の座標系を用いた屋内位置測位情報とGPSなどを用いた屋外位置測位情報との変換が容易になることで、シームレスな位置情報の表現が可能になる。独自の座標系における座標のほかに、測定誤差、オブジェクトの形状、測定時刻を位置情報として記述している。

3.2 センサ制御プロトコル

位置情報の取得やカメラからの映像取得など、各センサを制御するプロトコルはメーカー独自で規定され、センサごとに異なる。そのため、移動端末から各種センサを制御するために、センサごとにプロトコルの設

^{*9} POIX_EX：MOSTECが定めるPOIX規格と、モバイルオフィス推進協議会(MOPA)が定めるMOPA規格を統合した、位置情報表現規格。XMLを用いて位置情報を記述するPOIX規格や、URLとして記述するMOPA規格に対して、

POIX_EXでは記述方法そのものを規定せず、構造を規定している。

^{*10} MPEG-4：動画データの符号化方式の1つで、携帯電話などの比較的通信速度の遅い回線での動画配信に利用されている。

^{*11} Linux OS：GPL (GNU Public License)

に従って自由に配布可能なUnix系のオープンソースオペレーティングシステム。

^{*12} 組込Linux端末：携帯情報端末や家電製品など、CPUとソフトウェアが搭載され、用途が特定されている機器のうち、Linux OSで動作するもの。

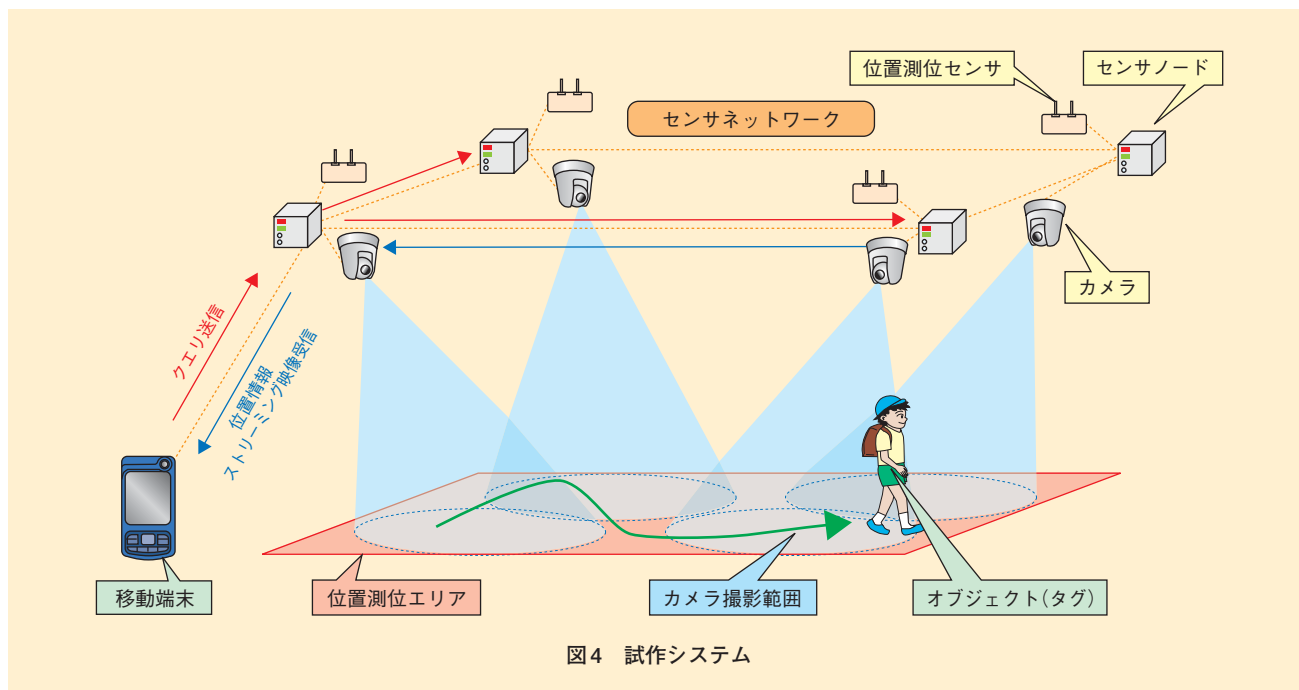


図4 試作システム

計、実装が必要となる。本システムでは、さまざまなセンサが混在するセンサネットワーク環境において、統一的な制御インターフェースを提供するセンサミドルウェア^{*14}を各センサノードに実装した。これにより、移動端末からセンサミドルウェアを介して、位置測位センサ、カメラセンサの種別によらず、統一的な制御を行うことができる。センサミドルウェアの研究開発に関しては、文献[4]を参考にされたい。

3.3 オブジェクト検索におけるスケーラビリティの確保

一般的に、多数のセンサが接続されたセンサネットワークでは、センサノード上にセンサデータが分散管理されており、本システムにおいても、センサデータ（オブジェクトの位置情報）をセンサノードが分散し

て管理する（図2）。本システムでは、移動端末がセンサノードに対して検索メッセージを送信し、それを受信したセンサノードは次々に周囲のセンサノードに検索メッセージを転送する。このため、複数の移動端末から検索要求が発生した場合には、ネットワーク上に多量のメッセージが流れることとなる。以上のことから、多数のセンサノードが分散された環境において、移動端末からセンサデータを効率的に検索する仕組みとして、ハッシュ関数^{*15}を用いた分散データ検索手法である分散ハッシュテーブル（DHT：Distributed Hash Table）^{*16}を用いた分散データ検索手法を検討した。本システムでは、DHTの派生的手法であり、DoCoMo Communications Laboratories Europe GmbHにて研究が進められているChord^{*17}[5]を用いて

オブジェクトの検索を行う検索アルゴリズムを導入した。

4. 試作システム

4.1 機能

試作システムのイメージを図4に示す。各センサノードにはカメラ、位置測位センサが接続され、センサノードおよび移動端末はセンサネットワークに接続され、移動端末から位置測位エリア内を移動するオブジェクト（無線LAN位置測位用タグ）の情報（位置、ストリーミング^{*18}映像）を取得できる。本システムでは、以下の機能を実現した。

- ・オブジェクトの位置情報データからの移動履歴取得機能

移動端末から指定したオブジェクトの位置情報を、センサノードで収集することにより、オブジェクトの移動履歴を把握す

*13 測地系：地球上での位置を座標で表現する際の前提となる条件。地球の形状を楕円体で表現する。

*14 ミドルウェア：OSと実際のアプリケーションの間に位置し、さまざまなアプリケーションに対して共通の機能を提供する

ソフトウェアのことで、アプリケーション開発の効率化が可能となる。

*15 ハッシュ関数：もとのデータからある一定範囲の疑似乱数を生成する関数。

*16 分散ハッシュテーブル：検索キーと値で構成されるペアのデータを複数のノード

間で分散して格納するためのデータ構造であり、データを管理するための中心的なノードが必要ない。

る機能

・オブジェクトのリアルタイム映像取得機能

オブジェクトの撮影が可能なカメラの検索を行い、該当するカメラからストリーミング映像を取得することで、オブジェクトのリアルタイム映像の取得を可能にする機能。

4.2 プロトコルシーケンス

本システムにおける4.1節の2機能の動作シーケンスを図5に、移動端末画面遷移の様子を図6に示す。

(1) オブジェクトの位置情報データからの移動履歴取得機能

まず、各センサノードは位置測位センサに対して、オブジェクトの位置情報を要求する(図5(a)①)。センサノードは、位置測位センサから取得した位置情報(オブジェクトのID、位置情報データ)、対象のオブジェクトを撮影可能なカメラの情報を付与し、保存する(図5(a)②)。移動端末は、検索対象のオブジェクトのIDを用いて検索を行い(図5(a)③)、検索結果としてオブジェクトの位置情報データを取得する(図5④)。収集した位置情報より、オブジェクトの移動履歴を把握することが可能である。移動履歴の取得間隔は任意で設定できる。

(2) オブジェクトのリアルタイム映像取得機能

センサノードの位置情報取得・保存の動作シーケンス(図5(b)①、②)は、オブジェクトの位置情報データからの移動履歴取得動作シーケンス

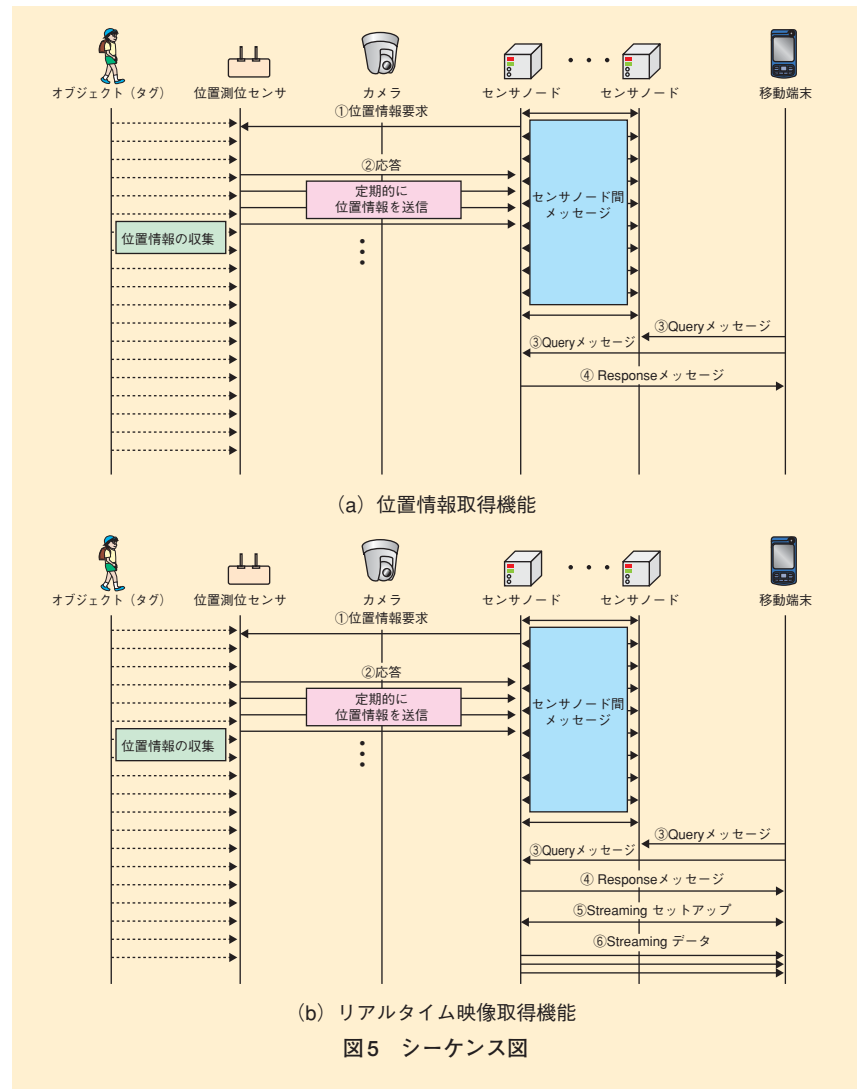


図5 シーケンス図

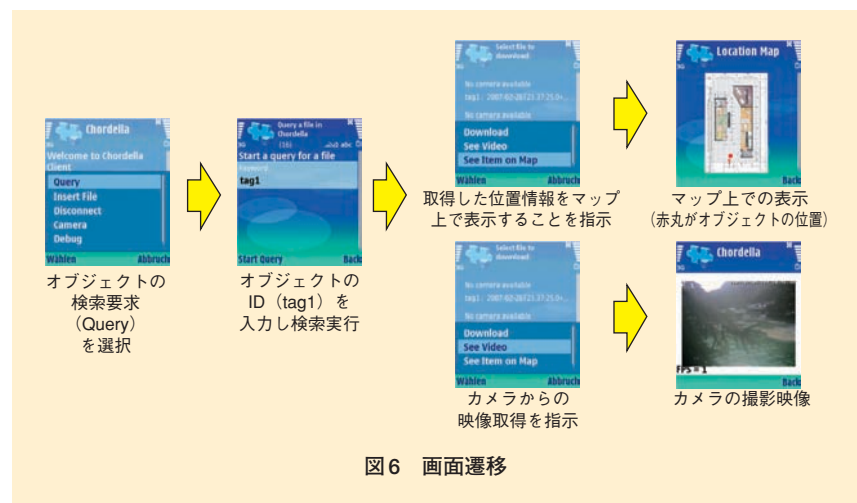


図6 画面遷移

* 17 **Chord**: マサチューセッツ工科大学で考案されたDHTアルゴリズムの一種で、論理ネットワーク構造がリング状になっており、論理空間が1次元なのが特徴。

* 18 **ストリーミング**: 音声や動画などのマルチメディアファイルをダウンロードする

のと同時に、再生を行い、待ち時間を大幅に短縮する方式。

(図5(a)①, ②)と共通である。

移動端末は、検索対象のオブジェクトのIDを用いて検索を行い(図5③)、検索結果としてオブジェクトの撮影が可能なカメラの情報を取得する(図5④)。取得した情報の中で、もっとも新しい情報により、移動端末がカメラを選択し、該当のカメラからストリーミング映像を取得することで、リアルタイムなオブジェクトの映像を閲覧できる(図5⑤, ⑥)。なお、ストリーミング用のプロトコルには、開発した移動端末向けのもの[6]を用いた。

4.3 評価

試作システムにおいて、位置測位センサ、カメラが複数接続されたセンサネットワークを用いて、移動端末によりオブジェクトを検索し、検索結果として、オブジェクトの位置情報、リアルタイムな映像を受信できることを確認した。本システムでは、検索対象のオブジェクトのIDを用いた検索が実現できるが、「Aさ

んがいる部屋の温度」などといった、複合的な検索が困難である。今後の課題としては、このような高度な検索を可能とするために、例えばSemantic Web技術などを応用して、センサデータに意味情報を付加して管理する技術の実現が必要になると考えられる。

5. あとがき

本稿では、位置測位センサ、カメラを用いたオブジェクト追跡システムについて説明し、位置情報表現形式、センサミドルウェア、分散データ検索技術について述べた。今後は、実用化を念頭に置いたプライバシー保護などのセキュリティ方式の検討、システム運用方式の検討を行う。また、センサネットワークと移動端末を用いた広告配信や店舗内ナビゲーションなど、他のアプリケーションへ本技術を適用し、さらなる技術検証、実証実験などを行う予定である。

文 献

- [1] モバイルオフィス推進協議会(MOPA): “モバイルツール向け位置情報URL規格書.”
- [2] モバイル標準化検討委員会(MOSTEC): “POIX:Point Of Interest eXchange Language Specification,” W3C, Jun. 1999.
- [3] ITS情報通信システム推進会議: “位置情報表現形式ガイドライン POIX_EX.”
- [4] 加藤, 他: “移動端末とセンサネットワーク連携サービスの実現に向けた研究開発,” 本誌, Vol.14, No.3, pp.44-50, Oct. 2006.
- [5] S. Zoels, Z. Despotovic and W. Kellerer: “Cost-Based Analysis of Hierarchical DHT Design,” In proc. 6th IEEE Intl. Conference on P2P Computing, Sep. 6-8, Cambridge, UK.
- [6] 角野, 他: “移動端末からの情報家電・プリンタ制御に関するPUCC実証実験,” 本誌, Vol.14, No.4, pp.13-17, Jan. 2007.