

屋内ロケーションウェアサービスに向けた位置表現データモデルの提案

鈕 龍[†] 松本 真佑[†] 佐伯 幸郎[†] 中村 匡秀[†]

[†] 神戸大学 〒 657-8531 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †longniu@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ††{shinsuke,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp, †††sachio@carp.kobe-u.ac.jp

あらまし 屋内の人やオブジェクトの位置を高い精度で推定する屋内測位システム (Indoor Positioning System, IPS) の研究開発が盛んである。また、屋内情報を用いたロケーションウェアサービス (Indoor Location-Aware Service, InLAS) が注目が集まり、いくつかの実用化事例も登場している。しかしながら、これまでのシステムは屋内情報のデータや処理を別のシステムで再利用することは想定されていないため、システムが複雑化し開発効率が悪くなる。そこで本論文では、IPS で得られる屋内位置情報をその目的や用途、推定手段に依存せずに、中立的に表現するためのデータモデル **Data Model for Indoor Location (DM4InL)** を提案する。DM4InL は、位置モデル、建物モデル、オブジェクトモデルの3つのモデルから構成され、建物内の様々なオブジェクトの位置情報を標準的な形式で管理する。提案手法によって InLAS と IPS が疎結合となり、データや処理の共通化・再利用が促進され、InLAS の開発効率が飛躍的に高まると期待できる。

キーワード 屋内測位システム, 位置情報, データモデリング, ロケーション・ウェアサービス, API

Considering Common Data Model for Indoor Location-aware Services

NIU Long[†], Shinsuke MATSUMOTO[†], Sachio SAIKI[†], and Masahide NAKAMURA[†]

[†] Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo, 657-8531 Japan

E-mail: †longniu@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ††{shinsuke,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp, †††sachio@carp.kobe-u.ac.jp

Abstract Recently, research and development have been conducted on the Indoor Positioning System (IPS), which identifies locations of various indoor objects. The indoor location is promising to achieve sophisticated Indoor Location-Aware Services (InLAS), and some practical services come onto market. However, the conventional system does not supposed to reuse the data and program of the indoor locations of another system. This makes the system complex and difficult to manage. To cope with the problem, this paper presents **Data Model for Indoor Location (DM4InL)**, which prescribes a common data model independent of implementation of IPS or the usage of InLAS. The proposed DM4InL represents the location of every indoor object in a standard way, by using three kinds of models: position, building and object models. The proposed method achieves loose-coupling of InLAS and IPS, which significantly improves the efficiency and reusability in the InLAS development.

Key words indoor positioning system, location information, data modeling, location-aware service, API

1. はじめに

センサ技術や無線通信技術の飛躍的な進歩に伴い、**屋内測位システム (Indoor Positioning System, IPS)** の研究開発が盛んである。IPS は屋内の人やオブジェクトの位置を高い精度で推定する技術であり、GPS (Global Positioning System, 全地球測位網) の電波が届かない屋内測位を可能にする技術として注目されている。屋内測位の実装方式としては、Wi-Fi を利用するもの [1], 赤外線を利用するもの [2], 超音波を利用するもの [3], IMES を利用するもの [4], 自律航法技術 [5] など様々

な方式が開発され、いくつかの商用 IPS も登場している (例えば、PlaceEngine [6], Guardly [7]) が開発されている。こうした屋内測位技術は、技術ごとに定位の精度や分解能、インフラ導入のコストといった観点について異なる特徴がある。

IPS を利用することで、**屋内ロケーション・ウェアサービス (Indoor Location-Aware Service, InLAS)** が実現できる。InLAS は、ユーザやモノの屋内の位置に応じて、適当なアクションや振る舞いを実行するサービスである。InLAS の例として、ショッピングモールのナビゲーションや、美術館等の展示のガイドダンス、位置に応じた家電機器操作、ターゲット広

告、ライフログ等、様々なものが考えられる。

InLAS を実現するアプリケーションやシステムを実装するためには、IPS で取得した屋内の位置情報を何らかの形で表現し、管理する必要がある。現状多くのシステムでは、実装する InLAS の目的や利用する IPS に最適な方法で、屋内位置情報を独自に表現・管理している。この方法は InLAS の速い応答速度を得られるメリットがあるが、IPS と InLAS が密結合となり、異なる InLAS 同士でデータの共有・再利用できなくなるデメリットがある。また、システム毎に IPS の利用ロジックを自前で実装する必要があり、InLAS が複雑化し開発効率が悪くなる。

InLAS の効率的な開発を支援するために、我々は**屋内位置問い合わせサービス (Indoor Position Query Service, IPQS)** の実現を目指して研究を行なっている。IPQS は屋内の様々なオブジェクト (家電や設備機器、部屋等) の位置情報を何らかの IPS で収集・保存し、外部のアプリケーションから標準的な方法 (API) で取得できるようにするサービスである。IPQS によって InLAS と IPS が疎結合となり、屋内情報の共有・再利用が容易となり、典型的な処理も共通化できる。

IPQS 実現の第一歩として、本稿では、IPS で得られる屋内位置情報をその目的や用途、推定手段に依存せずに、中立的に表現するためのデータモデル **Data Model for Indoor Location (DM4InL)** を提案する。

提案する DM4InL は、**位置モデル**、**建物モデル**、**オブジェクトモデル**の3つのモデルから構成される。位置モデルは、ある建物内の任意の地点の位置 (**屋内位置**) を、その建物の基準座標からの相対位置 (3次元オフセット) で表現する。次に、建物モデルはそれぞれの建物の絶対位置や建物内の区画 (部屋やスペース)、経路、地点 (出口や入口) を定義する。区画と経路の位置は、複数の屋内位置で構成される空間と線によってそれぞれ定義される。最後にオブジェクトモデルは、宅内の人や機器、家具等のオブジェクトを定義する。各オブジェクトの現在位置は、1つの屋内位置で表現される。DM4InL を用いることで、InLAS の開発者は屋内の空間やオブジェクトの位置情報を InLAS や IPS に依存しない標準的な形式で管理できるようになる。

さらに本稿では IPQS の基本的な API の検討を行なう。例えば、与えられたオブジェクトの屋内位置を返す `getObjectLocation()` や、ある区画に存在する全てのオブジェクトを返す `getObjectsInPartition()` 等が存在する。これらの API を利用することで、InLAS の開発者は IPS の詳細な実装を知らなくても屋内情報を取得することができるため、効率的な InLAS 開発が達成できる。

2. 準備

2.1 屋内測位システム (IPS)

屋内測位システム (Indoor Positioning System, IPS) は、建物内部の人やオブジェクトの位置を推定するシステムの総称である [8]。IPS の実現技術として、下記のようなものが提案・実用化されている。

- Wi-Fi [6]
- 2次元コード [9]
- 可視光通信 [10]
- IMES (Indoor Messaging System) [4]
- RFID タグ [11]
- 複合的位置認識 [12]
- 自律航法 [5]

これらの技術は、それぞれ粒度、能動性、インフラ導入のコストといった観点について異なる特徴がある。GPS の電波が届かない建物内の測位技術として、IPS の需要が高く様々な技術が研究・開発されている。しかしながら、どの技術もそれぞれに特長と課題を抱えており、屋外における GPS や Wi-Fi 測位 [13] のように、デファクトスタンダードとなる技術は確立されていない。

2.2 屋内ロケーションウェアサービス (InLAS)

IPS で取得した屋内位置を利用することで、様々な付加価値サービスを実現できる。本稿では、取得した屋内位置に応じて適切なアクションや振る舞いを起こすサービスを**屋内ロケーションウェアサービス (InLAS)** と呼ぶ。InLAS の実用化事例として、例えば以下のようなものが発表されている。

- **ショッピングらっと [14]**: 利用者が対象店舗に来店すると独自のポイントやクーポン、セール情報を自動的に提供するサービス。IPS の測位技術として人に聞こえない音波を使う。店舗から発する音波を店舗に近づいた利用者のスマートフォンのマイクが検知することで測位する。

- **PlaceEngine [6]**: 建物内の人の即位を行なうサービス。病院での職員の行動調査に用いられた。無線 LAN のアクセスポイントのビーコンを使って測位する。

一般的にこうした InLAS は、サービスの目的や利用する IPS に応じた実装を行なっている。サービス内部の屋内位置情報は、特に決まった標準はなく、InLAS 毎に独自の方式で管理・表現されている。

2.3 地理情報システム (GIS)

屋外の建物や道路、川などの地理情報を IT で管理する**地理情報システム (Geographic Information System, GIS)** [15] では、位置情報の表現・管理体系が整備されている。GIS で使われるデータは多岐に渡り、地図や空中写真、衛星画像などの図形情報、地物に関連する属性情報、使用している測地系や投影法、縮尺、精度などのメタ情報などに大別される。

GIS で扱う 2次元の図形情報は、大きく分けてラスタデータとベクターデータがあるが、本稿では特にベクターデータに注目する。ベクターデータは、地理上のオブジェクトを、点座標とそれらから構成される**ポイント (点)**、**ライン (線)** や**ポリゴン (多角形)** で表現するものである。この3種のベクターデータに、各種の属性データ (性質・特長・数値など) を加えた**シェープファイル (Shapefile)** は、GIS 業界の代表的な標準フォーマットとなっている。

2.4 研究の目的と本論文のスコープ

図 1(a) に従来型の InLAS の実現方式を示す。2.1 と 2.2 で述べたとおり、IPS には確立した標準がなく、InLAS を実現す

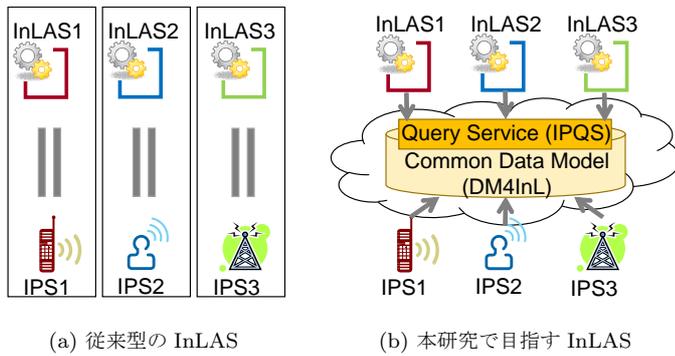


図 1 InLAS の実現方式の比較

るシステムもそれぞれが好きな IPS を利用して試行錯誤的に開発されている。すなわち各システムにおいて InLAS と IPS が密結合しており、屋内位置情報のデータやそれに対する処理がシステムごとに独自に行なわれている。そのため、あるシステムのデータや処理を別のシステムで再利用することは基本的に想定されていない。その結果、InLAS が複雑となり開発効率が低下するという問題が発生する。

我々の最終的な目標は、図 1(b) に示す新たな InLAS の実現方式を確立することである。提案方式では、様々な IPS から蓄積した屋内位置情報を提供する**屋内位置問い合わせサービス (Indoor Position Query Service, IPQS)**が重要な構成要素となっている。IPQS は、屋内の様々なオブジェクトの位置情報を標準的な形式で収集・保存し、外部の InLAS に標準的な手段で提供するサービスである。これによって InLAS と IPS が疎結合となり、データや処理の共通化・再利用が促進され、InLAS の開発効率が飛躍的に高まると期待できる。また、IPQS をクラウドに配置することで、複数の建物にまたがる屋内情報を大域的に収集・利用することが可能となる。

IPQS 実現の第一歩として、本稿では、IPS で得られる屋内位置情報をその目的や用途、推定手段に依存せずに、中立的に表現するためのデータモデル **Data Model for Indoor Location (DM4InL)** を提案する。屋内位置情報の表現形式には標準形式がない。そのため、2.3 で述べた GIS のアイデアを参考にしながら、データモデリングを行なう。

3. 屋内位置情報のためのデータモデル DM4InL

3.1 データモデルへの要件

我々がデータモデルに求める基本的な要求は、屋内の任意のオブジェクトに対して、位置情報を関連付けられることである。本論文ではこの要求を下記の 4 つの要件に具体化した。

- **要件 R1**：与えられた建物内の任意の位置を、定位と属性付けが可能な情報で表現できること
- **要件 R2**：建物内のオブジェクト（人、デバイス、家具等）に屋内位置情報をひもづけられること
- **要件 R3**：建物内の地点、経路、区画を表現できること
- **要件 R4**：屋外位置情報と連動した大域的な定位が可能であること

3.2 DM4InL を構成する 3 つのデータモデル

要件 R1~R4 を満たすため、提案する DM4InL は以下の 3 つのモデルを組み合わせたデータモデルで構成されている。

- **位置モデル**：建物内の空間・位置を表現するデータモデル。建物内の任意の点を、その建物の基準点からの相対座標（3次元オフセット）で定位する。またこれらの座標を使って、ポイント、ライン、ポリゴン、スペースを構成する。
- **建物モデル**：建物内の地点、経路、区画を表現するデータモデル。これら 3 種類の要素は、それぞれ位置モデルのポイント、ライン、スペースで定位される。
- **オブジェクトモデル**：建物内のオブジェクト（人、家具、家電機器など）を表現するデータモデル。各オブジェクトの位置は、位置モデルのポイントで定義される。

以降の節で各モデルの詳細な説明を行なう。

3.3 位置モデル

位置モデルは、建物内の位置と空間を定義するデータモデルである。まず、屋内における位置（**屋内位置**と呼ぶ）を議論するうえで、その位置が属する建物が必要 1 つ存在する。また、建物内の空間構造や屋内位置を利用するアプリケーションを考えた場合、位置を 3 次元の直交座標系で表現するのが便利であると考えた。これらのことから、本論文では任意の屋内位置を、その位置が属する**建物と建物の基準点からの 3 次元座標**で定位することにした。さらに 2.3 で述べた GIS にならい、位置モデルは上記の 3 次元座標を用いた**ポイント (Local Point)**、**ライン (Local Line)**、**ポリゴン (Local Polygon)**、**スペース (Local Space)** を定義する。

図 2 に提案する位置モデルの ER 図を示す。本稿で記述する ER 図は [16] で示された記法に基づいている。四角はエンティティを表し、スキーマを構成するデータ項目を右に並べる。データ項目のうち、下線のある項目は主キー、下線のない項目は属性、括弧つき下線は二次キーを表す。各エンティティの下にはインスタンスを併記している。エンティティ間の関連については、(+—€) は親子関係、(+—··) は参照関係、(+—o+) は派生関係を表す。以降、各エンティティを説明する。

(1) **ポイント (Local Point, LP)**：LP は屋内位置をその位置が属する建物とその基準点からの 3 次元オフセット (x 軸, y 軸, z 軸) で定義する。データ項目として、建物 ID (後述) とその建物内の通し番号を複合キーに持っている。また、他から参照しやすいように LP のコードを二次キーとして持っている。属性は LP の位置を表す座標であり、建物の基準点 (後述) からの 3 次元空間上の相対位置を表す。

図 2 の LP の 5 つのインスタンスは、建物 B0001 の 2 つの LP、建物 B0002 の 3 つの LP を表している。ER 図の右側に対応する空間を図示する。ポイントコード p0001 のインスタンスは建物 B0001 の基準点 (GP01) から x 方向に 1.10m, y 方向に 7.50m, z 方向に 4.30m 移動した点を表している。

(2) **ライン (Local Line, LLN)**：LLN は、2 つ以上の LP で構成される屋内の線を表す。LP と同様、建物 ID と建物内の通し番号を複合キーに持ち、コードを二次キーに持つ。

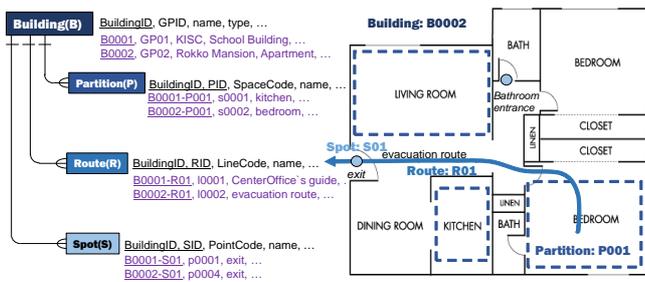


図 3 建物モデル

物モデルの ER 図を示す。以降で各エンティティを説明する。

(1) 建物 (Building, B)：建物そのものの存在を定義する。各建物は、建物 ID を主キーとして識別される。属性として、その建物が存在する大域的な位置 (3.3 の (5)GPos を参照)、建物名、タイプなどがある。3.3 で述べた位置モデルのすべてのエンティティは、1 つの建物 ID を持っており、建物と親子関係を形成している。つまり建物がなくなれば、その建物内の位置情報も全て消滅することになる。また、建物の位置はその建物内の屋内位置の基準点 (Reference Point) となる。屋内位置 LP の 3 次元座標はこの基準点からの相対位置であるから、LP の大域的な定位が可能になり、要件 R4 に対応できる。

現実世界においては、1 つの建物は様々な粒度をとり得る。例えば、マンション等の集合住宅の場合、マンション全体を 1 つの建物とするか、マンション内の各戸を 1 つの建物とするか複数の選択肢がある。これに対して我々は、1 つの屋内測位システム (IPS) が扱える範囲を 1 つの建物とすることが妥当であると考えている。

(2) 地点 (Spot, S)：S は建物内の任意の地点を表現する。非常口や風呂場ドアのように、ポイントとして扱いたい建物内の空間要素を表現する。建物 ID とその建物内の地点の通し番号を複合キーとして持っている。各地点を定位するために、位置モデルのポイント LP への参照を属性に持つ。

(3) 経路 (Route, R)：R は建物内の任意の経路を表現する。避難経路や導線のように、ラインとして扱いたい建物内の空間要素を表現する。建物 ID とその建物内の経路の通し番号を複合キーとして持っている。各経路を定位するために、位置モデルのライン LLN への参照を属性に持つ。

(4) 区画 (Partition, P)：P は建物内の任意の区画を表現する。リビングや寝室、キッチンのように、スペースとして扱いたい建物内の空間要素を表現する。建物 ID とその建物内の区画の通し番号を複合キーとして持っている。各区画を定位するために、位置モデルのスペース LSP への参照を属性に持つ。

図 2 の右側に概念図を示す。間取り図が表す建物の中に、丸で表した地点、矢印で現した経路、点線の多角形で表した区画が存在している。

3.5 オブジェクトモデル

オブジェクトモデルは、建物内の様々なオブジェクトを表現するモデルである。各オブジェクトは基本的に移動可能であり、ある建物の内部にいる場合にはその建物の屋内位置で定位される。現実世界には、人や家電機器、家具といった様々な種類の

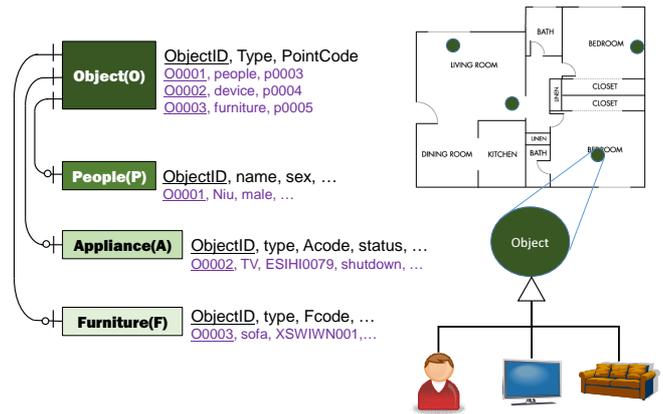


図 4 オブジェクトモデル

オブジェクトが存在する。そのため、オブジェクトモデルでは、定位可能な抽象的なオブジェクトエンティティを定義し、具体的なエンティティはオブジェクトを継承するサブタイプとして追加できるようなモデリングを行なった。図 4 にオブジェクトモデルの ER 図を示す。以降で各エンティティを説明する。

(1) オブジェクト (Object, O)：屋内に存在するオブジェクトを抽象化して表現する。各オブジェクトは主キーであるオブジェクト ID で識別される。属性としてそのオブジェクトのタイプと位置モデルの LP への参照を持つ。タイプはそのオブジェクトの種類を表し、タイプの値によって具体的なサブタイプの情報を参照する。また、LP への参照によって、そのオブジェクトと屋内位置がひもづけられる。さらに、LP の座標からライン LLN やスペース LSP との位置関係が明らかになるので、そのオブジェクトと建物モデルとの対応も可能となる。

図 4 の例では、4 つのオブジェクトのインスタンスが示されている。屋内位置 LP の参照から各オブジェクトが現在建物のどこに存在するかがわかる (図 4 の右図)。また、各オブジェクトには種類が定義されており、例えば O0001 の種類は人 (people) である。よってサブタイプである People エンティティを参照することで、O0001 のより詳細な属性情報が得られる。

(2) オブジェクトのサブタイプ：人や家電機器、家具など、屋内に存在する具体的なオブジェクトは O のサブタイプとして定義し、その種類ごとに必要な属性を定義する。各サブタイプは O と同一のオブジェクト ID を主キーに持ち、種類によって異なる属性を持つ。図 4 の例では、人 (People, P)、家電機器 (Appliance, A)、家具 (Furniture, F) の 3 つのサブタイプが定義されている。例えば P には、名前や性別といった属性があり、A には家電の種類や型番、状態などの属性がある。また、F には家具の種類や品番等の属性がつけられている。その他、ペットや観葉植物など、必要があれば様々なオブジェクトをサブタイプで追加することができる。

3.6 全体のデータモデル

DM4InL はこれまでに説明した位置モデル、建物モデルとオブジェクトモデルの 3 つのモデルを統合したデータモデルである。図 5 に DM4InL の 3 つのモデルの関連を表した ER 図を示す。位置モデルの 3 つのエンティティ LP, LLN, LSP はそ

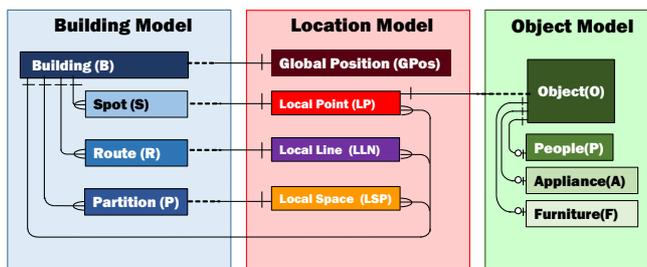


図5 DM4InLの3つのモデルの関連

それぞれ1つの建物に属し、逆に1つの建物は複数のLP, LLN, LSPを含む。建物Bは大域位置GPosで定位され、建物内部の地点S, 経路R, 区画PはそれぞれLP, LLN, LSPで定位される。また、オブジェクトOはLPで定位される。

4. 考 察

4.1 要件の充足性

提案したDM4InLが3.1で述べた要件R1~R4を満たしているかを考察する。まず、位置モデルのLPの定義の方法(座標系と建物とのひもづけ)により定位が可能である。また、建物やオブジェクトのエンティティに属性として付与できるため、属性付けも可能である。したがって、要件R1を満たす。次に、オブジェクトモデルの定義の方法により、各オブジェクトに屋内位置LPをひもづけることができるため、要件R2を満たす。さらに、建物モデルは建物内の地点、区画、経路を定義するため、要件R3を満たす。すべての屋内位置には1つの建物がひもづけられており、その位置は基準点からの相対座標で定義されている。また、各建物には大域的な位置情報が付与されているため、これと相対座標を併せることで屋外位置情報と連動した大域的な定位が可能となる。したがって、要件R4を満たす。

以上の議論によって、提案するDM4InLは3.1で述べた要件R1~R4を充足する。

4.2 DM4InL-APIの検討

提案したデータモデルDML4InLを利用することで、建物内のオブジェクトや空間要素の位置情報を、屋内測位システムの種類やロケーションウェアサービスの目的に依存しない中立な形で表現できる。本データモデルを様々なサービスやアプリケーションから容易に利用できるようにするには、DM4InLの典型的なユースケースを実装したAPIが不可欠である。現在、下記の2種類のAPIを検討している。

(1) **定位API**: オブジェクトや空間要素の位置情報を問い合わせるAPI。例えば、オブジェクトの位置を返す `getObjectLocation(objectId)` や、建物の大域位置情報を返す `getBuildingPosition(buildingId)` 等が考えられる。

(2) **属性API**: オブジェクトや空間要素の属性を問い合わせるAPI。例えば、区画内に存在する全オブジェクトを返す `getObjectsInPartition(partitionName)` や、建物内にそのオブジェクトが存在するかどうかを返す `isExistObject(objectId, buildingId)` 等が考えられる。

より詳細なAPI設計は今後の研究課題としたい。

5. ま と め

本論文では、屋内の位置情報をその目的や用途、推定手段に依存せずに、中立的に表現するためのデータモデル **Data Model for Indoor Location (DM4InL)** を提案した。DM4InLは、位置モデル、建物モデル、オブジェクトモデルの3つのモデルから構成され、建物内の様々なオブジェクトの位置情報を標準的な形式で管理する。提案手法によって屋内位置情報のデータ形式やデータや処理の共通化・再利用が促進され、屋内情報を利用したサービスやアプリケーションの開発効率が飛躍的に高まると期待できる。今後の課題としては、DM4InLを効率的に活用するためのAPIの設計と実装があげられる。また、提案データモデルやAPIを用いて、本研究の最終目的である屋内位置問い合わせサービス(IPQS)を開発していきたい。

謝辞

この研究の一部は、科学技術研究費(基盤研究C 24500079, 基盤研究C12877795, 基盤研究B 23300009), および、積水ハウスの研究助成を受けて行われている。

文 献

- [1] "Google location based services," April 2010. http://www.google.com/googleblogs/pdfs/google_submission_dpas_wifi_collection.pdf.
- [2] "Smartlocator(r)," 13 2006. <http://www.nec.co.jp/press/ja/0603/1301.html>.
- [3] N.B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system," *MobiCom*, pp.32-43, 2000.
- [4] "準天頂衛星システム ユーザインタフェース仕様書 (is-qzss)," March 2013. http://qz-vision.jaxa.jp/USE/is-qzss/DOCS/IS-QZSS_15_J.pdf.
- [5] 吉澤菜津子, 遠藤貴裕, 永見健一, "屋内位置情報における推定技術の開発と新しいサービスの展開について," *INTEC TECHNICAL JOURNAL*, vol.13, pp.44-51, 2013.
- [6] "Placeengine". <http://www.placeengine.com/show/about>.
- [7] "Guardly's indoor positioning system". <https://www.guardly.com/technology/indoor-positioning-system>.
- [8] K. Curran, E. Furey, T. Lunney, J. Santos, D. Woods, and A.M. Caughey, "An evaluation of indoor location determination technologies," *Journal of Location Based Services*, vol.5, pp.61-78, 2011.
- [9] 服部聖彦, 藤井哲也, 門 洋一, 張 兵, "2次元マーカを用いた屋内ユーザー位置・方向推定システムの検証," *IPJS SIG Technical Report*, vol.2008-UBI-17, pp.203-207, 2008.
- [10] "Bytelight's indoor location system". <http://www.bytelight.com/>.
- [11] 中田豊久, 伊藤日出男, 金井秀明, 國藤 進, "既知タグとの共変化を利用した active rfid タグの測位方法," 第5回知識創造支援システムシンポジウム報告書, 第108巻, pp.381-386, IN2008-196, 2008.
- [12] 小笠原貴洋, 井垣 宏, 井上亮文, 星 徹, "屋内位置情報サービス開発支援環境の構築," *IPJS Interaction*, pp.331-336, 2012.
- [13] "Skyhook," 2014. <http://www.skyhookwireless.com/>.
- [14] "ショップらっと". <http://shoplat.net/pc/about.html>.
- [15] "地理情報システム(GIS)". <http://www.gsi.go.jp/GIS/>.
- [16] 渡辺幸三, データモデリング入門, 日本実業出版社, 2003.