

スマートステーションなごや： 次世代屋内位置情報サービスの研究開発

河口 信夫^{1,a)} 坂 涼司² 一円 真治² 飯田 啓量² 山川 健司² 廣井 慧¹ 梶 克彦³

概要：

大規模駅周辺は複雑な立体構造を構成しており、店舗や構造の情報が集約されていないため、利用者のプロフィールや目的に応じた情報提供が適切になされていない。そこで、ICT を活用し大規模駅において利用者の多様な状況に対応し、適切な店舗や経路の推薦やナビゲーションを行う総合的な情報提供・屋内案内サービスを実現する。また、利用者の利便性を向上させると同時に、駅関連事業者との適切な情報流通を実現し、地域社会の活性化を促進する。特に、東京や大阪と並んで複雑な構造をしている名古屋駅周辺を対象とし、次世代位置情報サービスを提供するスマートステーション化することを目指す。本研究は、1. 無線 LAN・磁気・PDR を統合した屋内位置推定、2. 音声に基づいて経路案内を行うナビゲーションシステム、3. 目的志向の店舗推薦システム、4. 店舗情報の継続的更新を可能にするクラウドソーシングシステムといった 4 つのサブテーマから構成される。

1. はじめに

名古屋駅などに代表される大規模な駅には、複数の鉄道ホーム、改札、複合ビル、地下街などが複雑な立体構造を構成しており、事業者別に案内情報が分散していることから、その全貌を把握することは困難である。また、階段が多いため、特に障がい者や高齢者、ベビーカーを引いた母親などにとっては、スロープのみで移動できるような経路を見つけることは難しく、社会参加を難しくしている。一時的な旅客にとっても、看板のみから適切な乗換・移動経路を見つけることは困難であり（図 1）、自分が現在どこにいるのかを見失ったり、看板や地図を探しながら駅周辺をウロウロするといった経験は誰もが持つところである。さらに、駅周辺には多くの事業者が集積しており、様々なサービスが提供されているにも関わらず、サービスや店舗を見つけるための手段が看板等に限られている。例えば、乗換等で時間に余裕があっても、駅周辺の情報に詳しくないため、自分にとって適切な店舗情報の獲得が困難であり「電車待ちの 30 分の間に、地元の特産物が買いたい」と



図 1 名古屋駅における複雑な案内表示

いった希望を満たすことは困難である。結果として、たまたま前を通りかかる、といった以外の偶発的な消費行動が生じにくい構造となっており、大量の旅客の多くは駅を通過するだけになり、利用者にとっては不便であり、事業者にとっては機会を逸しているという課題がある。

我々は、これらの問題は以下の 4 つの課題が複合的に表れていると考えている。

- 屋内では GPS が利用できないため、現在位置が把握できず、適切な情報提供ができない
- 屋内空間構造の表現方法が統一されておらず、情報システムによる案内に利用できない
- 利用者にとって適切な店舗情報を提供する仕組みが存在しない
- 屋内空間構造や店舗情報等の維持・更新を行うためのコストが高い

そこで本研究では、近年急速に普及が進んだスマート端末と、屋内位置情報サービスを組み合わせ、駅周辺が「ス

¹ 名古屋大学 未来社会創造機構
Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

² 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

³ 愛知工業大学情報科学部
Department of Information Science, Aichi Institute of Technology

a) kawaguti@nagoya-u.jp

マートステーション」となる、次世代の屋内位置情報サービスを研究開発する。具体的には、上記の課題を解決するため、以下の4項目のサブテーマを推進する。

- (1) 無線 LAN・磁気・PDR(歩行者デッドレコニング)を統合した屋内位置推定
- (2) 屋内構造地図を用いた目的志向の音声ナビゲーション
- (3) 目的志向の店舗情報推薦
- (4) クラウドソーシングに基づく継続的情報収集と更新

本研究を端的に説明すれば「障がい者や高齢者といった社会的弱者も含む様々な駅の利用者の要求に応じ、適切な情報提供や経路案内を実現するスマート情報サービスと、その情報を低コストで維持・管理するための枠組みを構築し、利用者の利便性向上と駅関連事業の活性化を実現する」といえる。この結果、ICTにより誰もが安心して充実した駅周辺への外出ができるようになり、健康で自立して暮らせる社会の実現に貢献すると考えられる。

本研究では、駅に関わる総合的な情報提供・屋内案内サービスを実現し、利用者の利便性を向上させると同時に、駅関連事業者との適切な情報流通を実現し、地域社会の活性化を目指す。また、システムを長期間維持するための情報提供ボランティアを支援する枠組みを構築する。

実証実験を行う場所を名古屋駅地区とした本構想を「スマートステーションなごや」と呼ぶ。名古屋駅は1日に100万人を超える乗降客が利用する東海地域最大のターミナル駅であり、かつ多くの地下街、デパート、家電量販店などが複雑に接続している東海随一の商業地域である。この規模の空間で継続的に利用可能なサービスが開発・運用できれば、世界のどこでも利用可能であるといえる。さらに、名古屋駅では現在も再開発が進められており、将来的には名古屋駅周辺はより複雑な構成になる。こういった点を考慮して、実証実験の場を名古屋駅に設定した。以降、4項目のサブテーマと名古屋駅地区において実施した実証実験について述べる。

2. 無線 LAN・磁気・PDR の統合による屋内位置推定

地下街や屋内では GPS による位置推定を利用できないため、代わりとなる位置推定技術が必要である。そこで、我々は無線 LAN と磁気の Fingerprint による位置推定と、加速度・角速度センサを用いた PDR (歩行者デッドレコニング) を統合した屋内位置推定技術を実現した [1]。図 2 に位置推定手法の概要を示す。データ収集フェーズでは、事前に対象とするマップ上における磁気と無線 LAN 電波強度を測定してデータベースを作成する。収集された磁気と無線 LAN 情報は、GMM (Gaussian Mixture Model) に変換され、観測データのデータ量を削減する。名古屋駅地下街のユニモール、サンロードにおいて、無線 LAN 電波強度、磁場情報を 7300 平米において収集した。観測間隔

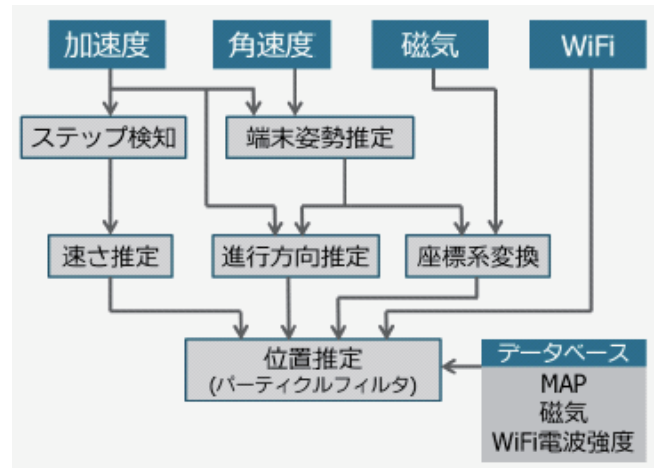


図 2 無線 LAN・磁気・PDR を統合した位置推定手法



図 3 無線 LAN 電波強度分布 GMM の例

は 1.6 m とした。名古屋駅地下街において収集した基地局電波強度の例を図 3 に示す。

位置推定フェーズでは、パーティクルフィルタを利用して無線 LAN・磁気の GMM データベースと歩行者の観測センサデータを比較しながら現在位置の推定を行う。加速度・角速度を用いた一般的な PDR では、時間経過に伴い誤差が累積する。一方、提案手法に基づいて位置推定した場合は PDR に加えて無線 LAN・磁気に基づく絶対位置推定手法が併用されているため、誤差の蓄積を抑制できるという特徴がある。

以上の位置推定システムは、Android 端末のバックグラウンドで動作するサービスとして実装した。そのため、任意のアプリケーションからリアルタイムな推定位置情報を取得可能である。名古屋駅地下街における位置推定の軌跡例を図 4 に示す。

無線 LAN を用いた位置推定におけるモバイル基地局の排除は、高い位置推定精度を保つために必要な要素である。そこで、モバイル基地局の自動排除技術を実現するために、モバイル基地局の判定を行うためのデータベース構築を行った。モバイルルータの BSSID のパターンや、デフォルトで設定されている SSID の多くに含まれる機種名や製品番号を抽出し、無線 LAN 基地局の移動性判定データベースを構築する手法を提案し、この手法に基づいて基地局移動性判定のためのデータベースを構築した [2]。デー

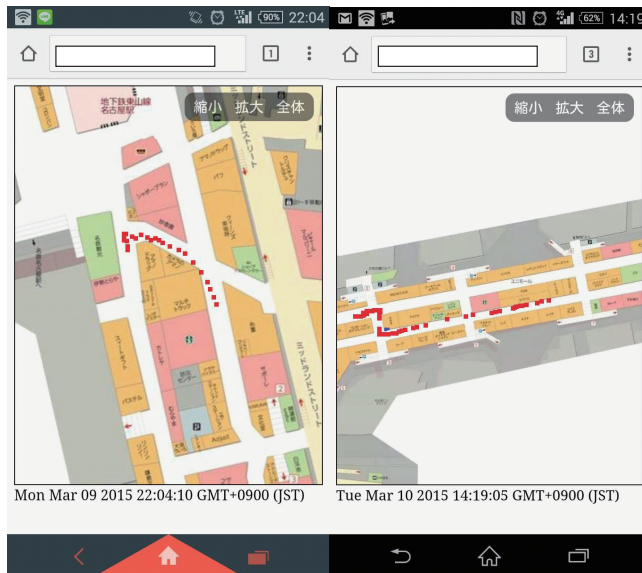


図 4 名古屋駅地下街における位置推定の例

タ収集は名古屋の都市部において行った．実験期間中，観測エリア内の実験参加者以外の一般人の立ち入り制限を行わず，実験環境を実環境に近づけた．実験には 384 人が参加し，約 11 時間無線 LAN 情報を観測して，2056 個の基地局の BSSID と SSID を収集してデータベースを構築した．位置推定の際にモバイル基地局を排除することを目的とした運用に十分な量の基地局移動性データベースが構築できたといえる．

Android 端末内でリアルタイム位置推定を安定的に動作させ，かつ位置推定精度を保つための最適なサンプリングレート等のパラメータを検証した．歩数や進行方向を推定する際には，加速度・角速度・磁気統合的に加味される．高精度な位置推定のためには高いサンプリングレートが必要であるが，高いサンプリングレートは消費電力が大きくなってしまいう問題がある．我々はこれまで角速度・角速度・磁気のサンプリングレートを 100Hz としてきたが，検証の結果，加速度・角速度・磁気センサのサンプリングレートを 20Hz，無線 LAN のサンプリングレートを 1Hz まで落としても精度を大きく落とすことなく位置推定が可能であることを確認した．

3. 屋内構造マップの構築とそれに基づく音声ナビゲーション

屋内構造マップは店舗検索やナビゲーションなどあらゆる屋内位置情報サービスの基盤データである．我々は音声を用いた屋内ナビゲーションシステムを提案しているが，CityGML[3] や IndoorGML[4] などの既存の屋内構造記述形式では音声ナビゲーションのためのランドマーク情報が十分に記述できないという問題がある．そこで，国際標準化と親和性の高い形でのデータ形式を利用すると同時に，実用性の高い，利用しやすい形態について検討した．

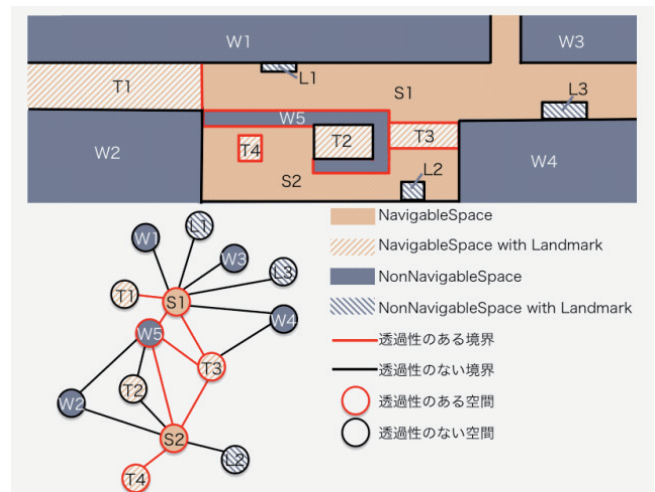


図 5 ランドマークの視認性に関するデータ形式

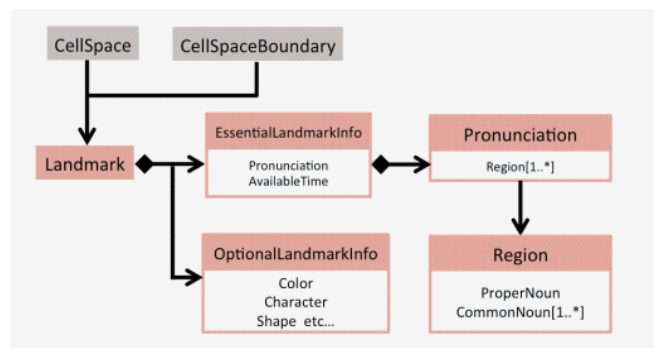


図 6 ランドマーク情報の構造

現在，屋内空間情報を交換するために用いられている CityGML LoD4 は，標準化はなされているが，その形式は複雑であり，直接編集が可能な無償エディタが存在しない，という課題がある．また，屋内のナビゲーションのための規格である IndoorGML についても，CityGML とのリンクを構築するためのツールが十分に整備されていない．そこで，これらの国際標準を進めている機関である OGC(Open Geospatial Consortium) に継続的に参加し，音声による屋内ナビゲーションのための IndoorGML 拡張を提案した [5]．本拡張では，IndoorGML に欠落している音声ナビゲーションのための固有名詞や一般名詞といったランドマーク呼称方法やランドマークの視認可能性に関する記述を可能にしている．図 5 は視認性に関する提案データ形式，図 6 はランドマーク表現の構造を示している．

また，ランドマークの視認性に基づく音声ナビゲーションを実環境で運用するために，3 次元空間構造の構築を検討し，3 次元スキャナを用いた空間構造取得を行った．レーザレンジファインダである Velodyne*1 と 360 度パノラマカメラの LadyBug*2 を組み合わせた Velobug (図 7) を構築し，360 度の距離 + RGB 画像を取得可能にした [6]．図

*1 <http://velodynelidar.com/lidar/lidar.aspx>

*2 <http://www.ptgrey.com/ladybug2-360-degree-firewire-spherical-camera-systems>



図 7 Velodine と LadyBug を組み合わせた VeloBug

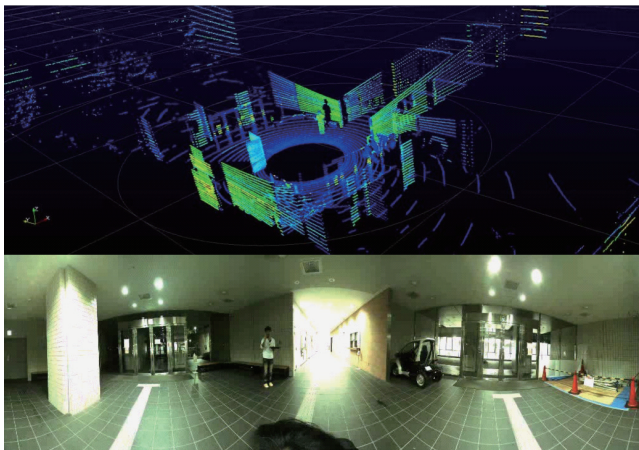


図 8 VeloBug により取得されたデータの例

8 は Velobug によって取得された名古屋駅地下街の 3 次元点群とパノラマ画像のスナップショットである．本システムを用いて名古屋駅地下街を観測した．

さらに，名古屋駅地下街のフロアマップと歩行空間ネットワーク構造 (図 9) を構築し，経路の自動生成とナビゲーション音声の自動生成を行うシステムをサーバ上に実装した．経路計算では基本的にダイクストラ法によって最短経路が求められる [7]．歩行空間ネットワーク構造には階段やエレベータ等の情報が付与されており，高齢者や障害者等のユーザプロフィールに応じて，階段を使用しないルートを検索可能である．ユーザが Android 端末から現在地と目的地の店舗を選択すると，サーバ側で経路計算を行い，算出された経路の分岐点ごとに発話される音声テキストを生成する (図 10)．Android 側では経路と音声テキストを受信して，現在位置推定にもとづいて自動的にナビゲーション音声を再生する (図 11)．

4. 目的志向の店舗情報推薦

ユーザに適切な情報を推薦するためには，ユーザのプロファイルや意図する目的に合致する情報を検索できなければならない．例えばアレルギーをもっているユーザであれば，アレルギー対象の材料を用いていないメニューを検索

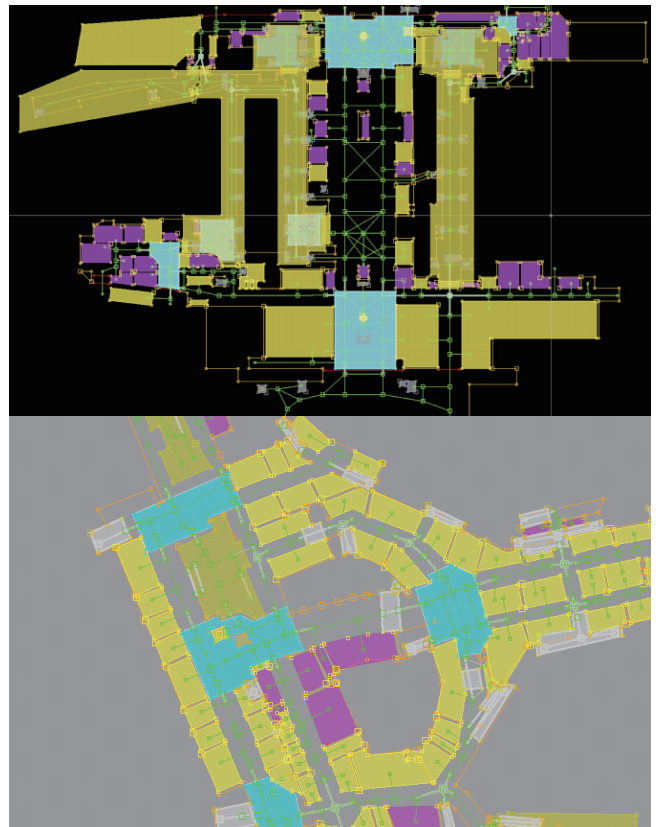


図 9 名古屋駅におけるフロアマップと歩行空間ネットワーク構造の一部

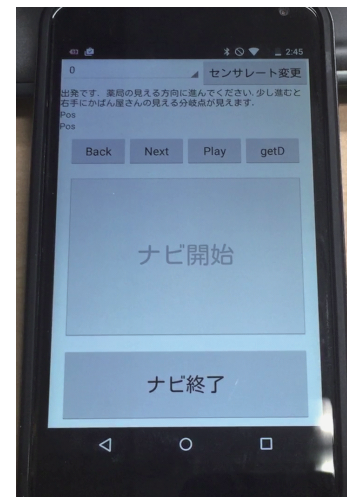


図 10 音声ナビゲーションシステム

したいであろう．また，例えば雑誌を購入したいユーザにとっては，必ずしも本屋でなくても，キオスクのような店舗でも雑誌を扱っており目的を達成できる場合がある．しかし，現状の店舗情報検索システムにはこのような目的情報が不足している．そこで，適切な情報推薦を可能にするため，店舗情報に加えて目的情報を収集した．

店舗情報としては，名古屋駅周辺に存在する飲食店をほぼ網羅した 493 店舗について，LOD(Linked Open Data)の形式で店舗 POI を構築した．店舗 POI は，店舗名，外

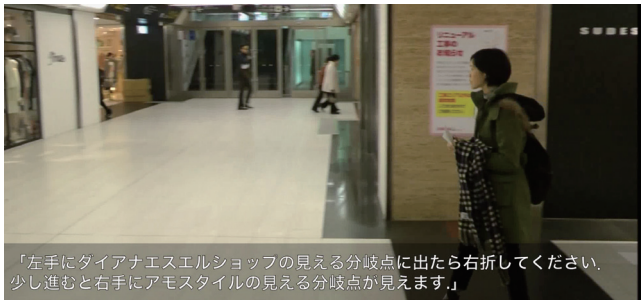


図 11 音声ナビゲーションの様子

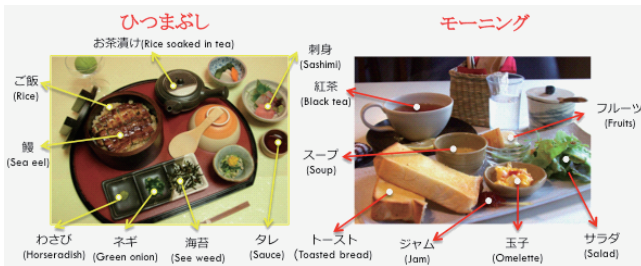


図 12 メニューの材料情報



図 13 目的志向店舗推薦システム

観写真、営業時間、店舗説明文、目的、メニュー名、価格、メニュー写真で構成される(図12)。さらに、複数ユーザの行動履歴や嗜好について食べログやTwitterを用いて飲食店のメニューの詳細な評価を収集し、オントロジーを構築した[8]。

また、前述の店舗 POI を活用した店舗推薦プラットフォームを開発した[9]。「何か食べたい」、「オシャレな雰囲気のお店を知りたい」、「少し休憩したい」といった事前に登録しておいた目的情報(シナリオ)に基づいて、適切な飲食店のリストが推薦される。収集した名古屋駅周辺の店舗について、それぞれの店舗の利用シーンに合わせた目的情報が登録されており、ユーザは推薦アプリとしてスマートフォンから利用することができる(図13)。

5. クラウドソーシングに基づく継続的情報収集と更新

前章で構築した店舗 POI 情報は、初期データベースを人手入力によって構築したが、適宜店舗情報の更新を行う必要がある。そこで、継続的な情報収集と維持管理を行うための枠組みとして、携帯端末上での店舗情報登録と編集が



図 14 店舗の目的情報を収集するシステム

POI 名	ジャンル	評価 データ数	ユーザ入力目的情報
五右衛門	飲食、麺類(和食)	19	人気だから
名古屋ユニモール店	飲食、和食	17	季節ごとにメニューが変わって楽しめる
みそかつ天馬	飲食、和食	17	味噌かつが好きだから
名古屋駅エスカ	飲食、和食	17	おなかいっぱいになるから
スターバックスコーヒー	飲食、カフェ	16	コーヒーが飲める
名駅地下街サンロード	飲食、カフェ	16	少しだけリッチな気分を味わえる
ビエールマルコリーニ	飲食、スイーツ・菓子	16	セレクト気分
名古屋店	飲食、スイーツ・菓子	16	デザートに使える
カスカードテラミナ	パン・ベーカリー	16	軽く食事したい時に使える
味噌煮込みうどん	飲食、麺類(和食)	12	早朝から開店している
山本屋本店エスカ	飲食、和食	12	身体が温まる
コメダ珈琲店	飲食、喫茶	11	県外の人気
ユニモール店	飲食、喫茶	11	シロノールが美味しい
あんぱんや	パン・ベーカリー	8	気軽に買える
GODIVA ユニモール店	飲食、カフェ	8	会計が早いので忙しいときの土産に最適
あかきたなサンロード	飲食、ラーメン	5	店内が狭い
コンパルメイチカ	飲食、喫茶	2	幸せな気分になれる

図 15 目的情報収集システムによって取得されたデータの一部

可能なクラウドソーシングシステムを開発した[9]。図14にシステム構成を示す。本システムを通して、各店舗についてどのような目的で利用可能な場所であるかを入力可能である。名古屋駅周辺の店舗 POI データで試行したところ、10日間で250件のデータを収集できた。実際に収集されたデータの一部を図15に示す。本システムは、スマートフォンなどに親和性の高いスワイプインタフェースを採用し、可能な限り簡便にデータ登録ができるような実装としている。

また本システムは、ボランティア参加へのインセンティブを高めるための仕組みとして、ユーザをヘビーユーザとライトユーザに分け、データ登録を行えるような仕組みを備えている。ヘビーユーザはより詳細な情報を登録し、ライトユーザがその登録された情報を利用することによって、収集した情報の信頼性の担保や更新が行える仕組みとしている(図16)。

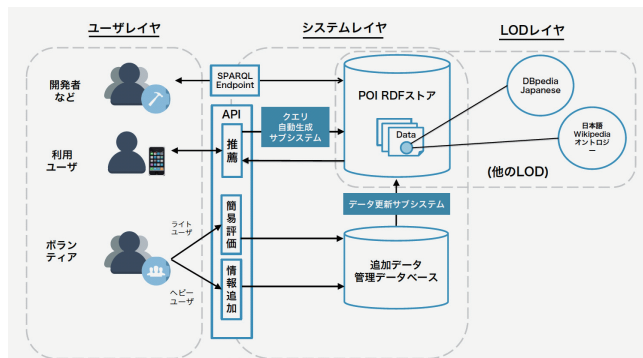


図 16 店舗 POI の継続的更新と利用の仕組み



図 17 評価に用いた経路

6. 名古屋駅地下街における実証実験

名古屋駅地下街を対象として実証実験を行った。本実験では、地下街における位置推定精度と、音声ナビゲーションの適切さに関する検証を行った。

6.1 位置推定精度の検証

経路 1 (ユニモール内) と経路 2 (サンロード内) の 2 経路 (図 17) において, 無線 LAN・磁気・PDR を統合した位置推定の精度を検証した。2 つの経路について, 4 人で 3 回ずつ, 合計 24 回分の歩行データを収集し, 提案手法を適用して位置推定精度を求めた。位置推定にはパーティクルフィルタを用いており実行ごとに位置推定結果が異なるため, それぞれの歩行データに対して 8 回位置推定を行い, 各時刻における位置推定誤差の平均を求めた。

位置推定精度を図 18 に示す。最も良い位置推定精度の場合は平均誤差 3.9m であった。一方経路 1 の腰ホルダに装着した場合の平均誤差が 10m を超えており、パーティクルフィルタのパラメータ設定をさらに調整する必要があることが確認された。また、4 人の被験者のうち被験者 2 の誤差が比較的大きくなってしまったため、PDR に関する個人パラメータの調整も必要であることがわかった。

[m]	手持ち				腰ホルダ			
被験者	A	B	C	D	A	B	C	D
経路1	6.1	11.9	8.5	4.2	13.1	18.9	5.6	18.1
経路2	4.4	6.7	3.9	6.0	4.0	5.4	7.0	8.3
総合	5.3	8.4	6.2	5.1	8.6	12.2	6.3	13.2
	6.2				10.1			
	8.2							

図 18 位置推定精度

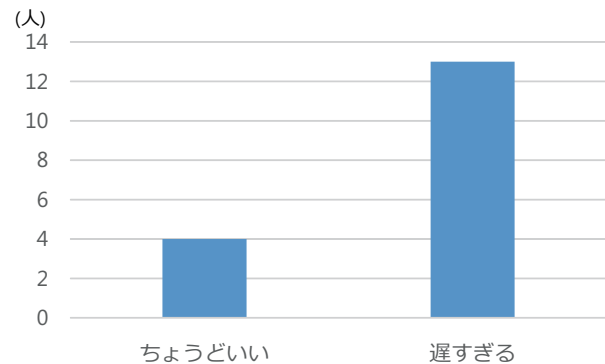


図 19 音声案内のタイミング

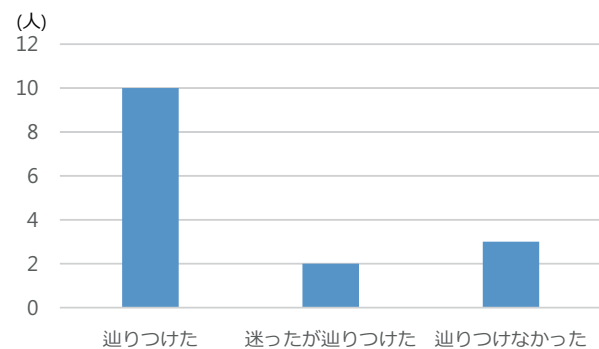


図 20 目的地へ到達できたか

6.2 音声ナビゲーションの検証

音声ナビゲーションの適用と課題の検証を行うため、名古屋駅地下街の実証実験において4種類の経路について音声ナビを体験した延べ25人分のアンケートを回収した。

アンケート結果を図 19 と図 20 に示す。今回の実験では、分岐点の 5m 以内に入った時点で音声案内を流すように設定し、位置推定誤り等で案内音声流れない場合には、手に保持しているイヤホンコントロール用のボタンを押下して次の案内音声を流せるようにした。本実験では、位置推定結果が誤りのため分岐点に到達しても音声案内が流れないことが多く、全体的には音声案内のタイミングが全体的に遅くなってしまう傾向が認められた。ただしそのような状況でも、途中で迷った場合を含めて 8 割の被験者が目的地へ到達できた。よって、位置推定精度が悪い状態でも、音声案内が適切であれば目的地へのナビゲーションが可能であるといえる。

また、店舗名の呼称方法として、固有名詞（ダイアナエ

スエルショップなど)と、普通名詞(靴屋さんなど)の2種類による音声テキストを評価した。その結果、以下のような検討課題が明らかになった。

- 看板から店名が判断しづらい店舗の存在
- 横文字のような発話に適さない店舗の存在
- 靴屋のような名称でも靴以外を売っている場合

今回の実証実験によってユーザプロファイルの充実によって呼称方法を適宜変更する機構を検討する必要があるなど、新たな研究課題が明らかになった。

7. おわりに

大規模駅において利用者の多様な状況に対応し、適切な店舗や経路の推薦やナビゲーションを行う総合的な情報提供・屋内案内サービスを実現することを目的とし、1. 無線 LAN・磁気・PDR を統合した屋内位置推定の適用、2. 音声に基づいて経路案内を行うナビゲーションシステム、3. 目的志向の店舗推薦システム、4. 店舗情報の継続的更新を可能にするクラウドソーシングシステムの4つを実現した。これらのシステムを名古屋駅周辺と地下街に適用し、実証実験によって位置推定精度の評価、音声ナビゲーションの検証、屋内構造マップの観点での課題の洗い出しを行った。今後は、実証実験で得た課題を改善していき、本研究で構築したシステムの継続的運用を目指す。

参考文献

- [1] Ban, R., Kaji, K., Hiroi, K., Kawaguchi, K.: Indoor Positioning Method Integrating Pedestrian Dead Reckoning with Magnetic Field and WiFi Fingerprints, *In Proceedings of The Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015)*, pp. 169–174 (2015).
- [2] 武島知勲, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫: 無線 LAN モバイル基地局検出のための基地局情報収集フレームワーク, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, pp. 975–981 (2014).
- [3] Lee, J.: A Spatial Access-Oriented Implementation of a 3D GIS Topological Data Model for Urban Entities, *GeoInformatica*, Vol. 8, pp. 237–264 (2015).
- [4] Open Geospatial Consortium: IndoorGML, <http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r3/14-005r3.html>.
- [5] 飯田啓量, 廣井慧, 梶克彦, 河口信夫: 屋内歩行者向け音声ナビゲーションのためのデータモデルの提案, 第 77 回情報処理学会全国大会, 5W-07 (2015).
- [6] Wang, W., Yamakawa, K., Hiroi, K., Kaji, K., Kawaguchi, N.: A Mobile System for 3D Indoor Mapping using LiDAR and Panoramic Camera, *IPSJ Technical Report, Vol.2015-UBI-46* (2015).
- [7] Watanabe, S., Kaji, K., Kawaguchi, N.: A Proposal of Landmark-conscious Voice Navigation, *in Proceedings of The Sixth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2012)*, pp. 56–61 (2012).
- [8] Chen, W., Kaji, K., Kawaguchi, N., Hiroi, K.: Non-Local Dictionary Based Japanese Dish Names Recognition Using Multi-Feature CRF from Online Reviews, *in Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelli-*

- gence, Mining and Semantics (WIMS14)*, No.14 (2014).
- [9] 一円真治, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫: Linked Open Data による店舗 POI の公開と活用手法の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, pp. 1930–1938 (2014).