

CampusAR: Development of an AR navigation system for private area

Yuta Hatanaka*, Hayato Chida*, Hayato Haga*, Ryota Mannari*, Shinichi Yamagiwa†, Koichi Wada†

*Department of Computer Science, Graduate school of SIE, University of Tsukuba

†Information and Systems, Faculty of Engineering, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

Email: s1320726@u.tsukuba.ac.jp, chida@iplab.cs.tsukuba.ac.jp, s1320725@u.tsukuba.ac.jp,

mannari@iplab.cs.tsukuba.ac.jp, yamagiwa@cs.tsukuba.ac.jp, wada@cs.tsukuba.ac.jp

Abstract—The pedestrian navigation systems have been developed for guiding on the public roads such as Google route service. However, they do not support the route guidance in any private area such as university campus. Although several systems of the navigation system provide the private area information, the variety of the supported facilities are limited. To solve the difficulties of supporting the navigation in any private area, this paper focuses on developing a novel navigation system that supports routing information for any kinds of private area called CampusAR. We have implemented the navigation system in a server that provides the detailed facilities in the private area and also in an application running on smartphones that communicates with the server. In the server side, we have developed a mechanism to register private road information automatically to eliminate the difficulty for storing the routing information. Thus, the CampusAR provides a simple and effective method to guide routes in a private area even if the user does not know the details of the facility. Moreover, it is easy to equip the server system customized to a private area due to the automatic registration system for the routing information.

Keywords—pedestrian navigation system, AR, smartphone, private area, route guidance

I. はじめに

近年のスマートフォンの普及に伴い、歩行者ナビゲーションシステムが広く利用されている。NAVITIME[1]やGoogleマップ[2]は多くのサービス利用者に利用されている代表的なシステムである。しかし、これらのシステムは一般公道での使用を想定したものであり、施設内部における詳細なナビゲーションサービスを提供するものではない。

また、特定の施設内での利用を想定した施設内情報提供システムや歩行者ナビゲーションシステムも数多く開発されている。例えば、東京ディズニーリゾートの地図やアクション情報を提供するランド地図[3]、東山動植物園の園内情報を提供するシステム[4]など、各施設の事情に応じて開発されたシステムが存在している。これらのシステムはいずれもある特定の施設のみで利用することを前提とした設計となっており、施設ごとに個別に開発・運用されている。

本研究ではこの現状を踏まえ、様々な施設への導入が可能な施設内情報提供機能および経路案内機能を持つシステムを開発することを目的としている。

本研究は平成25年度に発足し、初年度は本学をモデルとして来学者用のスマートフォン向けアプリケーション（以下スマートフォンアプリケーション）、施設管理者向けの施設情報管理用Webアプリケーションおよび施設情報を登録するデータベースを開発した。しかし、初年度に開発した

システムには設計や機能の点で対応すべき課題があるため、本研究ではこれらを解決しつつ本システムをより優れたものに改善する。

II. 課題および課題解決に向けた方策

A. スマートフォンアプリケーション

初年度に開発したスマートフォンアプリケーションはAndroid向けのものであった。ところが、日本国内におけるスマートフォン向けのプラットフォームの普及率はAndroidと比較するとiOSの方が高く、本システムを広く普及させるためにはiOSへの対応が必須であると考えられる。

一方、AndroidとiOSでは設計ルールやAPIに違いがあるため、AndroidとiOSのそれぞれに対応する場合、保守性をいかにして保つかが重要である。

そこで、今年度はiOS向けアプリケーションを新規開発するとともに、Android向けアプリケーションのクラス構造を再設計し、新たに実装を行うこととした。クラス構造の再設計に当たっては、Android向けアプリケーションとiOS向けアプリケーションの双方でクラス構造を可能な限り統一する。これによって、スマートフォンアプリケーションの改修や高い保守性を確保できることが期待できる。

B. 施設情報検索機能

初年度に開発したシステムでは、施設情報の検索は行えるものの、目当ての情報を得るには検索キーワードとして入力する文字列がデータベースに登録されている名称と完全一致または部分一致している必要があった。しかし実際にはサービス利用者が目当ての情報の略称や通称しか知らない場合も考えられるため、正式名称以外の関係するキーワードを用いても目当ての情報を得られるようにすることが望まれる。

そこで、今年度は施設情報に略称や通称、関連する単語等をタグとして付与し、それを正式名称に加えて検索対象とすることによって先述の課題を解決することとした。タグは本システムの運用を担当する施設管理者による登録の他、検索に使用されたキーワードのログを応用することによって実際の検索の傾向に応じて自動登録される仕様とする。さらに、類語辞典を用いて目的地に関連する単語を被検索語とすることにより、目当ての情報を間接的に表す単語を用いての検索も可能とする。

C. データベーススキーマ

本システムのデータベースでは施設情報を階層構造で保持している。初年度に本学の施設構造を参考に分析を行っ

た結果、施設情報を3階層で保持できるようデータベーススキーマを設計した。しかし、本学以外の施設で本システムを導入する場合、当該施設の構造と本システムのデータベーススキーマとの差異が大きな障壁となってしまうことが想定される。

そこで、今年度は本システムを導入する施設の構造に応じて階層数を柔軟に変更できるようデータベーススキーマを再設計する。また、それに併せて施設管理者向けの施設内情報管理機能を再設計後のデータベーススキーマに対応させる。

D. 経路案内機能

初年度に開発したシステムでは、目的地の場所のみがスマートフォンの画面に表示され、歩行する通路は案内されなかった。ところが、通路構成が複雑な施設の場合、目的地の方向のみならず目的地までの歩行経路を示さなければ歩行者ナビゲーションシステムとしては不十分であると言える。実際、初年度末に研究メンバー以外の実験協力者を交えて実施した本システムの検証において「歩行経路を示して欲しい」という意見が多数得られたことから、この機能の必要性が強く伺える。

そこで、今年度は施設内の道情報を登録・管理する機能、道情報を用いてサーバサイドで経路探索を行う機能を開発する。また、スマートフォンアプリケーション側では地図とARを用いてサービス利用者に経路案内を提供する機能を開発する。

E. 道情報自動登録ツール

経路案内機能を実現するに当たり、サーバに道情報を登録する必要が新たに生じる。道情報の登録作業は施設の規模が大きいほど煩雑化し、本システムの運用開始までに時間がかかることとなる。

そこで、今年度は本システムに付随するものとして、道情報の登録作業を簡易化する「道情報自動登録ツール」を開発する。

III. スマートフォンアプリケーション

本章では、Android/iOSに対応したスマートフォンアプリケーションの開発の問題点と解決手段について述べる。

昨年度、筆者らは構築した施設情報を元に、サービス利用者に施設内の位置情報を提供し、案内をするためのAndroidアプリケーションを開発した。今年度は、さらに多くの利用者を獲得するため、日本国内でシェアの高いiOS向けのアプリケーションの提供も目指す。

A. iOSアプリケーションの新規実装

開発当初、新たに提供する予定のiOSアプリケーションのインターフェースは、昨年度開発したAndroidアプリケーションを移植する予定だった。しかし、そのアプリケーションは、対象のプラットフォームがAndroidであったため、独自性の高いインターフェースを持っていた(Fig. 1)。このインターフェースのままiOSアプリケーションに移植した場合、iOSの典型的なインターフェースに反するアプリケーションになり、サービス利用者に違和感を与えてしまう。そこで、今年度開発するiOSアプリケーションの画面設計を刷新することを考えたが、AndroidとiOSの画面設計を分けることが最善かどうか検討することを決めた。



Fig. 1. 昨年度開発した Android アプリケーション (地図を覆うように画面下半分にナビゲーションが配置される独特のインターフェース)

B. マルチプラットフォームへの対応

Android アプリケーションと iOS アプリケーションは、開発環境やランタイムなどの差異はあるが、共通点も多い。一般に両者ともオブジェクト指向の言語で実装することができ、よく似た概念を持つオブジェクトや API がそれぞれに用意されている。つまり、両者のプログラムを、対応する API で実装することで、プログラム構造を一致させることが可能である。

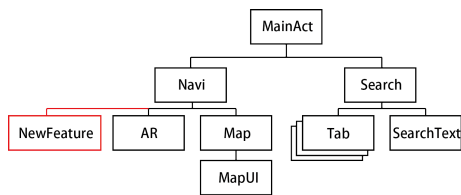
ここで、プラットフォーム毎に異なる画面設計で実装することを考える。この場合、両者のプログラムはよく似た機能を実現するが、異なるクラス構造から成るプログラムになってしまう(Fig. 2)。このような場合、例えば新しい機能を追加する際に、それぞれのプラットフォームに対して実装方針を決め、個別に全く異なるプログラムを実装する必要がある。これは保守性を低くするだけでなく、開発コストが余計にかかるなど、デメリットが多い。

Android と iOS はそれぞれ対応する API が用意されているため、クラス構造を統一することも難しくはない。構造を統一したプログラムは、開発者が変わったとしても、プログラム構造の一度の理解で、両プラットフォームを把握することが出来る。従って、我々は昨年度開発した Android アプリケーションを破棄し、Android と iOS のクラス構造を統一した2つのプログラムを改めて設計、実装することに決めた。

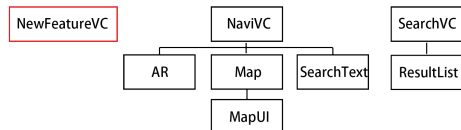
C. 新しい Android/iOS アプリケーション

新しく設計、実装した Android/iOS アプリケーションは、前述のとおりプログラム構造を可能な限り統一して実装を行った。インターフェースも刷新し、昨年度よりも分かりやすい、一般的なインターフェースになっている(Fig3, 4)。

また、今年度は施設内にある目的地までの経路も提供することが出来るようになった。経路は、Fig3, 4 のような地図



Android 版のクラス構造



iOS 版のクラス構造

Fig. 2. Android 版と、iOS 版（予定）のクラス構造の比較（赤色が新しい機能）



Fig. 3. Android アプリケーション



Fig. 4. iOS アプリケーション

表示で地図上に線として描画されるのはもちろん、Fig5 のように AR として現実世界に重畳表示することも出来る。地図を読むのが苦手なサービス利用者も、この機能によって分かりやすく歩けるようになる。

IV. 施設内情報検索機能

前システムでは、施設内の情報を検索する場合、正式名称で検索しなければならない。しかし、外来者や施設に訪れたばかりの人を利用者として想定した場合、利用者が目的地の正式名称を知らないことがある。その場合、施設内の情報を正式名称ではなく、目的地に関するキーワードや施設特有の別称・略称での検索が可能にする必要がある。そこで、それらをタグ情報として付与することで、目的の施設内情報を検索することが容易となる。しかし、施設内情報にタグ情報を付与するためには、タグ情報の登録を手動で行わなければならない登録に大きな手間がかかる。本章では、タグ情報を利用した柔軟な検索機能とタグ情報の登録コストを軽減するためのスマートフォンアプリケーションの利用ログを活用したタグ情報の自動登録機能及び類語辞典を活用した検索補助機能について述べる。また、検索機能の拡張に伴い、利用者の予想に反した結果を防ぐための検索結果のランキング表示機能についても述べる。



Fig. 5. AR によるナビゲーション（目的地までの経路が現実世界に投影されたように見える）

A. タグ情報を利用した柔軟な検索機能

タグ情報を利用することにより、1つの施設内情報に対して様々なワードでの検索が可能となる。例えば、「スターバックス コーヒー」を検索する場合、略称である「スタバ」、キーワードである「喫茶店」、「カフェ」といったスターバックスに関連するワードでの検索が可能となる。それに加え、施設内特有のキーワードをタグ情報に登録しておくことで、各施設に応じた検索が可能となるのである。例えば、筑波大学では、中央図書館と同じ建物内にスターバックス コーヒーが存在する。そこで、「図書館」というタグ情報を付与することで、筑波大学内では図書館と検索するとスターバックス コーヒーという情報を得られるようになる。

B. タグ情報の自動登録機能

タグ情報の登録が不足している場合、目的の施設内情報の検索を正式名称以外のキーワードで行なったとしても、検索結果が得られないことがある。その場合、施設利用者は目的の施設内情報を取得できるまで再検索を何度も行う。そこで、再検索を行っている検索ログに注目することにより、施設利用者が目的としている施設内情報をどういったキーワードで検索しようとしたのか知ることができる。以下に、タグ情報の自動登録機能の順序を Fig. 6 を示す。

- 1) 目的地設定が行われたことを確認する。
- 2) 1)の時刻から数分以内で同じ IP アドレスの検索ログを抽出する。
- 3) 2)で抽出されたログが2つ以上あるか確認する。
- 4) 2番目の検索ログのワードがタグ情報に存在するか確認し、存在しない場合は自動的に登録する。
- 5) 4)で登録したタグ情報と目的地の関連付けを行う。4)で既にタグ情報が存在した場合は、それが目的地と紐付けされているか確認し、されていない場合は目的地との関連付けを行う。

ログを活用したタグ情報の自動登録機能により、タグ情報の登録コスト削減が行えるだけでなく、施設利用者目線のタグ情報の登録が容易となるというメリットがある。

ID	時刻	API	検索ワード	目的地	IPアドレス
4	2014/10/10 11:10:00	目的地設定	スターボックス	スターボックス	192.xxx.xxx
3	2014/10/10 11:09:50	検索	スタ		192.xxx.xxx
2	2014/10/10 11:09:20	検索	スタバ		192.xxx.xxx
1	2014/10/10 09:10:00	検索	本屋		192.xxx.xxx

Fig. 6. タグの自動登録の順序

C. 類語辞典を活用した検索補助機能

目的の施設内情報に1つのタグ情報を付加した時、似たような意味の単語で検索しても目的の検索結果は得られない。そのため、似たような意味のタグ情報を複数登録する必要がある。例えば、「スターボックス」に「カフェ」というタグ情報を登録したとしても、その類語である「喫茶」や「コーヒーショップ」、「cafe」といったワードで検索できないため、これらのワード全てを登録する必要がある。加えて、その作業を全ての施設内情報に行うための登録に手間がかかる。更に、タグ情報の自動登録機能のみの場合、検索ログに依存してしまうため、類似ワードで検索したとしても、検索結果に差が生じてしまうといった問題もある。

そうした事態を防ぐために、類語辞典を活用することにより、1つの単語をタグ情報に登録すれば、類似単語での検索が可能となる。今回、類語辞典は独立行政法人情報通信研究機構が提供している、日本語 WordNet[5][6] を利用する。

D. 検索結果のランキング表示機能

Google などの Web 検索における検索結果は、Web ページ内の情報やページ間のリンク関係を参照して、検索結果の順位決定を行っている [7]。また、大規模学術情報データベースにおいては、検索語の有無、出現回数、tf-idf による統計的順位付けを利用して、検索結果の順位決定を行っている [8]。このように、Web 検索においても、情報データベースにおいても Web ページ内やテキストデータなど様々な情報を基に検索結果の順位決定を行っている。そのため、利用者の望む検索結果を得やすく、予想に反する結果が上位に表示されることは少ない。しかし、本システムの施設内情報が保持している情報は名称のみである。そのため、タグ情報を利用した検索を行った場合、施設利用者の予想に反した検索結果が上位に来る可能性がある。それを防ぐために、以下の優先度に従い、検索結果を表示することとする。

- 1) 検索ワードが正式名称を含む
- 2) 正式名称の昇順表示である
- 3) タグ情報による検索の参照数が多い

タグ情報による検索の参照数とは、施設利用者がタグ情報で取得した検索結果を目的地に設定した回数のことである。つまり、施設利用者がタグ情報を基に利用している目的地が多ければ多いほど検索結果が上位になる。したがって、間違ってもタグ情報が登録されたとしても、参照数が低ければ、検索結果として上位には来ないため、施設利用者の予想に反した検索結果が上位に来る可能性は低くなると考えられる。

V. 施設内情報管理機能

施設内情報管理機能は本システムが対応している施設の情報や施設内情報管理機能の管理者のアカウントなどを保持するデータベースとそのデータベースを管理するための Web アプリケーション、スマートフォンアプリケーションとデータベースとの通信を行う API から構成されている。

A. データベース

1) 施設内情報テーブルの変更: 施設内の情報は Fig. 7 に示すような階層構造になっている。そこで、データベーススキーマを階層構造にすることで、施設内の情報間の関係性を表す。前システムでは、筑波大学をモデルにデータベーススキーマの分析を行った。その結果、Fig. 8 に示すような、建物には教室が存在し、教室には授業が存在するという3階層での開発を行った。本研究では、様々な施設に対応するため、複数の施設をモデルにデータベーススキーマの分析を行った。その結果、階層が3階層では対応できない施設があることが判明した。そこで、Fig. 9 に示すように、1つのテーブルで施設内の情報間の親子関係を参照することにより、施設に応じて階層数の変更が可能なデータベーススキーマの構築を行った。

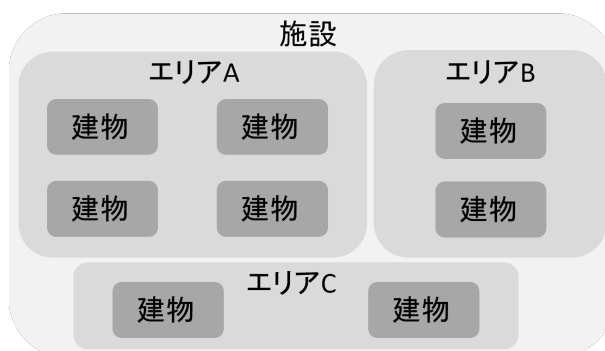


Fig. 7. 施設の構造

建物テーブル		部屋テーブル			授業テーブル		
建物名	ID	建物のID	部屋名	ID	部屋のID	授業名	ID
3A棟	1	1	3A101	1	1	研究開発A	1
3B棟	2	1	3A102	2	1	研究開発B	2
		2	3B101	3	2	PBL開発A	3
					3	PBL開発B	4

Fig. 8. 筑波大学をモデルとしたデータベーススキーマ

2) データベーススキーマ: 施設内情報管理機能には、施設内情報を格納するためのテーブルだけでなく、本システムで利用可能な施設を登録するためのテーブルや施設内情報管理機能を利用する管理者情報を格納するテーブルなども必要である。Fig. 10 に本システムでの開発するデータモデルを示す。各テーブルは Web アプリケーションで管理する。そこで、次節にて、各テーブルの管理機能について述べる。

B. Web アプリケーション

筆者らが開発した施設内情報の管理を行うための Web アプリケーションについて述べる。

施設内情報テーブル

ID	正式名称	親のID	階層
1	3A棟	0	1
2	3A101	1	2
3	3A102	1	2
4	研究開発A	2	3

Fig. 9. 様々な施設をモデルとしたデータベーススキーマ

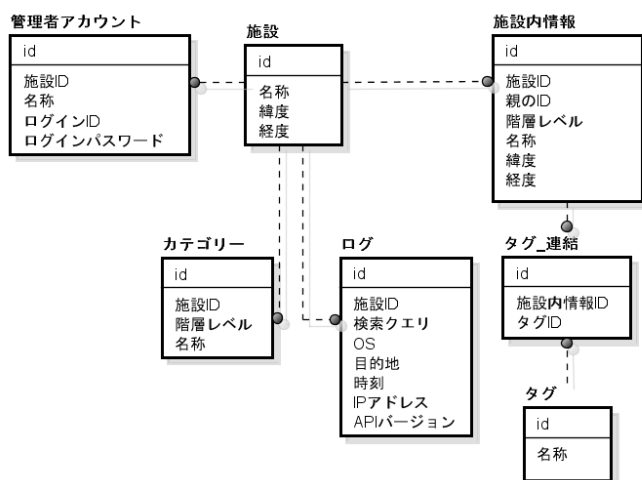


Fig. 10. データモデル

1) 管理者アカウント管理画面: Web アプリケーションを利用する施設管理者アカウントの管理を行う。施設管理者はアカウント情報として、施設管理者の名前、Web アプリケーションにログインするためのIDとパスワード、施設管理者が管理可能な施設を持つ。

2) 施設管理画面: 大学やショッピングモールなどの施設の管理を行う機能である。施設の情報として、施設名や施設中心座標を持つ。

3) カテゴリ管理機能: 施設毎に設定されている階層の概念の登録を行う。各データは階層化されているが、階層の概念を固定しなければ、階層内のデータの種類が混在して、煩雑化してしまう可能性がある。そのため、各階層に概念を設定し、その概念に応じたデータを登録することで、データの煩雑化を防ぐことができる。Fig. 8に示されている筑波大学を例とすると、一番上の階層は「建物」、次の階層は「部屋」、最後の階層が「授業」といったように、どの階層がどういったカテゴリのデータを保持しているか予め設定しておくことで、データのカテゴリ化が容易である。

4) 施設内情報管理画面: 施設内の建物や部屋、イベントなどの情報の管理、情報のインポートやエクスポートを行う。施設内情報の名称、位置情報、施設内情報とタグ情報との関連付けの編集が行える。階層構造はツリー形式で表示を行う。このようにすることで、異なる階層数に対応で

きるようになる。インポート機能は、施設内情報を電子ファイルから読み込む機能である。施設管理者は、施設ごとに、施設内情報の一覧を電子ファイルで管理していることが考えられる。その電子ファイルを利用することで、容易に施設内情報一覧を登録することが可能になる。エクスポート機能は大学などのように年度毎に施設内情報を書き換える場合、登録済の施設内情報をエクスポートしておくことで、再登録の簡易化、新規データと旧データとの整合性をとることが可能となる。

5) タグ情報管理画面: タグ情報の管理を行う。名称の編集、新規登録、削除を行える。

6) スマートフォンアプリケーションの利用ログ管理: スマートフォンアプリケーションの利用ログの管理を行う。ログは、スマートフォンアプリケーションがAPIに通信するタイミングで記録する。ログを取得するAPIの種類は検索API、経路探索API、目的地決定APIの3種類ある。取得するログは、日時、どのAPIと通信したか、検索ワード、設定した目的地、使用しているスマートフォンのOS、IPアドレス、使用しているアプリケーションのバージョンである。ログを活用することにより、検索ワードや利用時間の統計を取ることや、利用パターンなどの傾向を把握することができ、ナビゲーションシステムの改善に利用できると考えられる。

C. 通信API

1) 検索API: スマートフォンアプリケーションからサーバへの検索結果問合せは、検索条件を含めたHTTPリクエストをサーバに送信することにより行う。検索条件としては、検索ワード、利用している施設のIDを用いる。検索ワードと施設IDが一致する施設内情報とタグ情報を検索し、該当するものを検索結果としてスマートフォンアプリケーションにJSON形式で返信する。

2) 目的地決定API: サーバにスマートフォンアプリケーションが目的地を設定したことを通知する。スマートフォンアプリケーションから目的地設定情報のHTTPリクエストをサーバに送信する。目的地設定情報は、目的地に設定した施設内情報のID、利用している施設のID、スマートフォンアプリケーションのIPアドレスである。送信された目的地設定情報を利用して、タグ情報の自動登録機能を実施する。

VI. 施設内道情報管理機能と経路案内機能

筆者らは昨年度、サービス利用者の現在地から目的地の位置情報と方向を案内する機能を搭載したシステムを開発し、筑波大学の学生の協力を得てシステムの評価を実施した。その結果、現在地から目的地までの方向だけでなく、詳細な経路を案内する機能を実装してほしいという意見が多数寄せられた。

実際、通路構成の複雑な施設では、目的地までの方向を知ることができたとしても、目的地までの歩行経路が分かりにくいことがある。また、目的地の建物の目前に到着できたとしても、建物の出入口の場所が分からず、建物の周囲を歩いて出入口を探さざるを得なくなってしまうことも多い。

そこで本年度は、この評価結果を受け、現在地から目的地の出入口までの経路を案内する機能を開発した。

A. 経路案内機能の実現方法

経路案内は、スマートフォンアプリケーションの画面で地図上に経路を表示するとともに、ARを用いてサービス利用者を目的地まで案内することによって行う。その際にサービス利用者に提示する経路は、スマートフォンアプリケーションからの要求に応じて本システムのサーバにて計算され、その結果がスマートフォンアプリケーションに提供される。

以上の機能を実現するため次のものを開発した。

- 1) 施設内の通路構成を保持するための「道情報データベース」
- 2) 道情報データベースに保持されているデータを用いて案内経路を計算する「経路探索機能」
- 3) サーバへの道情報の登録や編集を行うための「道情報管理画面」
- 4) スマートフォンアプリケーションから経路の問合せを受け、経路探索の結果を返す「通信用API」

B. 道情報データベースの構造

道情報は、建物出入口、交差点や施設出入口を示すノードと、道を示すエッジを組み合わせたグラフにより表す。これらのデータは、サーバ上の道情報データベースに保存される。道情報データベースのER図をFig. 11に示す。

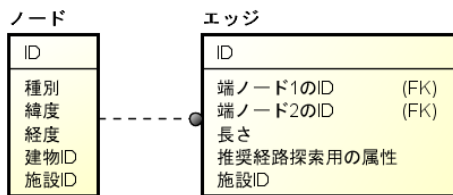


Fig. 11. 道情報データベースのER図

C. サービス利用者に提示する経路の種類

サービス利用者に提示する経路の種類はTABLE Iの通りである。推奨経路と最短経路の2種類を基本とし、それぞれ階段無しの経路も示す。階段無しの経路は、階段の歩行が難しいサービス利用者に対応することを目的としたものである。

TABLE I. サービス利用者に提示する経路の種類

経路の種類	概要
推奨経路	距離および道の状態を総合的に勘案して決定する経路
最短経路	距離が最も短い経路
推奨経路（階段無し）	階段を通らない推奨経路
最短経路（階段無し）	階段を通らない最短経路

D. 推奨経路

推奨経路は、歩行距離に歩きやすさと分かりやすさを加味して求められる経路である。通路構成の複雑な施設では、目的地までの経路が数通りある場合が多い。例えば、目的地までの経路の候補に、次の2通りがある場合、歩きやすく分かりやすい2)の経路を提示する方が適切である。

- 1) 狭くて分かりにくい道や未舗装の道を通る経路
- 2) 歩行者の往来が多い主要な道を主に歩行する経路

本システムのサービス利用者には当該施設に詳しくない人物が多いと想定されているため、このようなサービス利用者が歩行中に道順について不安を感じたり、歩きにくい道を通ることの無いような経路を提示することが必要である。

E. 道の属性

推奨経路の探索を行うため、施設内の通路構成に加えてそれぞれの道の属性を道情報データベースに登録する必要がある。その際、いくつかの属性を組み合わせると道の特徴を適切に示さなければならないが、属性の数が増えると、それに伴い道情報の登録にかかるコストも増大してしまう。そこで、道の属性として何を採用するか検討するため道の属性として考えられる候補を洗い出したところ、道の長さ、種別（主要路か否か）、舗装有無、案内板有無、傾斜、道幅、階段有無が挙げられた。

道の長さは経路探索のベースとなるデータであり、必要性は最も高い。また、道の登録と同時に自動計算が可能であるため、道の長さの登録に別途コストは発生しない。種別（主要路か否か）および舗装有無は施設内での道の位置付けを示す重要な指標となるため、道の長さに次いで必要性が高いと言える。登録者が施設の通路構成を大まかに把握している者であれば種別の判断は比較的容易に行える。舗装有無は登録に当たり現地調査が必要となるが、一般に未舗装の道の数は限られており、調査が済めば登録は速やかに完了できることが見込まれる。案内板有無は道の分かりやすさを判断する指標として考案した。しかし、案内板は主要路近辺に多く設置されている傾向があるため、主要路か否かを道の属性として採用する場合は案内板有無を道の属性として別途登録する必要性は低いと考えた。傾斜は歩行時に大きな障害になるケースが少ないため、必要性を低く評価した。道幅は、車両とは異なり歩行者にとって重要な要素ではないため、最も必要性が低いと判断した。傾斜、道幅は現地調査に大きなコストがかかるため現実的ではなく、特に傾斜は計測が容易ではない。階段有無は、階段を通らない経路を探索する場合に必要となる。

以上より、本システムでは推奨経路の探索に関わる道の属性として、道の長さ、種別、舗装有無、階段有無の3つを採用することとした。

F. 主要路の判断基準

道情報の登録作業は、扱うデータ量が多いため複数人で行うことが想定される。その場合、それぞれの道が主要路か否かを判断する明確な基準を設けることにより、登録者によって判断基準に差異が出ないようにする必要がある。

一般公道を例とすると、国道や都道府県道、市町村道が主要道に当たる。特に国道と都道府県道は道路法にその基準が明確に定められている[9]。そこで、法律上の国道の基準を参考に、主要路か否かの判断基準を次のように定めた。実際に登録作業を行う際は、対象施設により適宜内容を調整して利用しても良い。

なお、この基準は後述する実験において利用する予定である。

次の条件 A, B について $A \wedge \neg B$ が真である場合、主要路と見なす。

●条件 A : 次のいずれかに該当すること。

- 1) 施設を縦断する道路
- 2) 施設を横断する道路
- 3) 施設を循環する道路
- 4) 公式な施設出入口から 1)~3) のいずれかを満たす道路へ接続する道路

●条件 B : 次のいずれかに該当すること。

- 1) 未舗装の道路
- 2) 施設発行の公式な地図に道として表示されていない道
- 3) 階段

G. 経路探索

経路探索は、スマートフォンアプリケーションから指定された経路の種類に応じて以下で述べる方法によって各エッジの重みを計算し、ダイクストラ法を用いて行う。

1) 推奨経路: 主要路でない場合または未舗装の道である場合、エッジの長さを割り増したものを各エッジの重みとする。従って、エッジの長さを l 、主要路でない場合の割増率を a_1 、未舗装の場合の割増率を a_2 とすると、エッジの重み w は式 (1) により求められる。

$$w = \begin{cases} l & \text{(主要路かつ舗装路)} \\ l(1 + a_1) & \text{(非主要路かつ舗装路)} \\ l(1 + a_1 + a_2) & \text{(非主要路かつ未舗装路)} \end{cases} \quad (1)$$

2) 最短経路: エッジの長さをそのままエッジの重みとする。

3) 階段無し: 原則として先述の方法により各エッジの重みを計算する。ただし、階段属性が付加されたエッジの重みを非常に大きい値に置き換え、階段を経由せずに目的地に到達できる経路が存在しない場合を除いて探索結果の経路に階段が含まれないようにする。

H. 道情報管理画面

道情報を Web ブラウザ上で登録・編集するための管理画面を作成した (Fig. 12)。本画面では、TABLE II に示す 4 種類のノードと道を表すエッジをマウス操作のみで登録できる。

道情報の編集は、ノードやエッジを右クリックした際に表示される吹き出しから行う。例としてエッジを右クリックした際に表示される吹き出しを Fig. 13 に示す。エッジの属性の設定もこの吹き出し内で行う。吹き出し内に表示されている距離の値は、エッジを作成した時点で自動的に計算され、エッジ情報と共に道情報データベースに登録される。さらに、エッジ上の任意の場所に新たにノードを追加できる機能も設けることにより、編集時の利便性を高める工夫も施している。

I. 通信用 API

スマートフォンアプリケーションからサーバへの経路の問合せは、探索条件を含めた HTTP リクエストをサーバに送信することによって行う。探索条件としては、要求する経路の種類 (TABLE I 参照)、スマートフォンアプリケーション

TABLE II. ノードの種類

種類	表示色	用途
施設出入口	青	施設の内外を接続するノード
交差点	赤	通路が 3 方向以上に分岐するノード
カーブ	黒	通路の変曲点となるノード
建物出入口	緑	経路案内の際に目的地となるノード



Fig. 12. 道情報管理画面

ンの現在地の経緯度、目的地の建物の ID を用いる。サーバは HTTP リクエストを受信すると、経路探索を実行し、スマートフォンアプリケーションに探索結果を JSON 形式で返却する。

VII. 道情報自動登録ツールの開発

道情報の登録には、登録前に交差点の有無や建物の出入口などを調べた後、ノードやエッジの登録を行う。しかし、本システムが対象としているのは大規模な施設であるため、道情報の登録に時間がかかることが予想される。そこで、道情報を効率的に登録するために道情報自動登録ツールの開発を行った。道調査を行う際、本ツールで GPS ログを収集し、そのログデータをもとに交差点ノード、カーブノード、



Fig. 13. エッジ右クリック時に表示される吹き出し



Fig. 14. Dilation 処理前 (左) と Dilation 処理後 (右)

エッジを登録する。本ツールは、自動登録によって施設管理者の補助を行うことを目的としている。処理は、下記の流れで行う。

- 1) スマートフォンを利用した道 GPS ログの収集
- 2) 太い線で描画
- 3) 塗りつぶし
- 4) 細線化
- 5) 交差点ノード, エッジの検出
- 6) カーブノード, エッジの検出
- 7) ノード, エッジをデータベースに登録

以下, 1) から順にそれぞれの処理について述べる。

A. スマートフォンを利用した道 GPS ログの収集

道情報自動登録に必要な情報は、スマートフォンを用いて収集する。道調査を行う際、スマートフォンの GPS を利用し、緯度、経度、GPS の精度を収集するアプリケーションの開発を行った。GPS の精度が悪い情報を自動登録ツールに利用した場合、正しい道情報が登録されず、修正すべきノードやエッジが増えてしまう。そのため、GPS の精度を元にどの情報を道情報として使用するか取捨選択を行う。

B. GPS ログを太い線で描画

道調査を行う際、何度か同じ道を通る可能性がある。しかし、GPS の誤差や現在位置を収集するタイミングにより、同じ道を通ったとしても緯度、経度が必ずしも同じ値になるとは限らない。そのため、収集した GPS ログをそのまま描画した場合、同じ道でも複数の線が描画される可能性がある。

そこで、Dilation 処理を行い、複数描画されてしまう線を 1 本の線としてまとめる。Dilation 処理は、濃淡画像に対し穴埋めや太め処理を行う効果がある [10]。Dilation 処理前と処理後の比較を Fig. 14 に示す。これは、同じ道を往復し GPS ログを収集したものを描画したものである。Dilation 処理前は、直線にも関わらず道の途中から線が分岐している。Dilation 処理後は、1 本の線として描画することができる。

C. 塗りつぶし

広場のように開けている場所を何度か通ると閉路になる可能性がある。その場合、そのまま細線化を行うと本来必要のない交差点が検出されてしまう。Fig. 15 は、広場を歩き描画したものである。本来、広場の中心 1 箇所に交差点が存在すべきだが、線が分岐している箇所が 2 つあり、このまま登録した場合 2 つの交差点が登録されてしまう。



Fig. 15. 塗りつぶし処理を行わず、細線化処理を行った画像



Fig. 16. 塗りつぶし処理を行い、細線化処理を行った画像

そこで、細線化処理を行う前に、必要以上に交差点として検出して欲しくない箇所に塗りつぶし処理を行う。Fig. 16 に、閉路部分を塗りつぶした後に、細線化処理を行ったものを示す。線が分岐している箇所が 1 つしかなく、検出される交差点を 1 つにすることができている。

D. 細線化

交差点ノード検出処理を容易にするために、Dilation 処理で太線化した線を幅 1 ピクセルの線に戻す必要がある。線の連結性を確保するために、細線化処理を用いて幅 1 ピクセルの線画像の作成を行った。

E. 交差点ノード, エッジの検出

交差点の検出は、8 近傍の画素値を調べて行う。前処理として細線化処理を行っているため、線の分岐がない場合の連結数は必ず 2 となる。そのため、連結数が 3 以上の場合、その画素で線が分岐していることが分かる。

しかし、Fig. 17 のような場合、交差点ノードが連続して複数検出されてしまう。Fig. 17 において、赤い画素は連結数が 3 以上の画素を表している。そこで、連結数が 3 以上の画素が連続している場合、それらの中で連結数 3 以上の画素と最も連結している画素を交差点ノードとして検出する。

全交差点ノード検出が完了したら、交差点同士を結ぶエッジの検出を行う。交差点ノードの画素から走査し、別の交差点ノードの画素が見つかった場合、交差点同士を結ぶエッジであることが検出できる。

F. カーブノード, エッジの検出

道のカーブに沿って経路を表示するために、カーブノードの登録が必要になる。カーブノードの検出には、直線近似を繰り返すことで実現している。

カーブノード検出の流れを Fig. 18 に示す。Fig. 18 では、赤い点が交差点ノード、青い点がカーブノードを表している。エッジの両端点を結んだ直線は式 (2) で表される。

$$ax + by + c = 0 \quad (2)$$

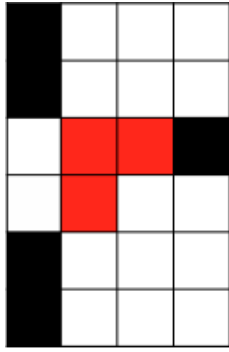


Fig. 17. 連結数が3以上の画素が連続して存在

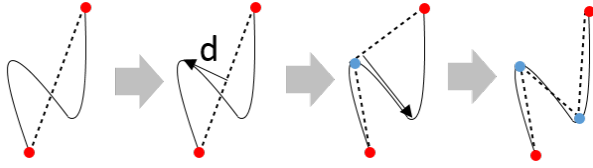


Fig. 18. カーブノードの検出の流れ

a, b, c は、エッジの両端点を結んだ直線はエッジの端点のピクセル座標値を $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ とした時、式 (3) で表される。

$$a = y_1 - y_2 \quad (3)$$

$$b = x_2 - x_1 \quad (4)$$

$$c = x_1 \times y_2 - x_2 \times y_1 \quad (5)$$

この直線と、エッジを構成する i 番目の画素との距離は式 (6) で表される。

$$d_i = \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (6)$$

この距離 d の最大値が閾値 t 以上であればカーブノードとして検出する。カーブノードが検出された場合、エッジの端点とカーブノードをそれぞれ結んだエッジに対して同じ処理を繰り返す。また、カーブノードの計算に用いたエッジは削除する必要がある。削除しなかった場合、直線のエッジとカーブノード検出によりできたエッジの両方が残ってしまうことになる。この処理を繰り返すことによって、複雑な曲線にも対応できるようになる。閾値 t は、値が小さいほどカーブノードの数が増え、カーブが滑らかに表現される。

G. ノード、エッジをデータベースに登録

これまでの処理によって、画像上で交差点ノード、カーブノード、エッジの検出が完了した。しかし、実際にデータベースに登録するのはピクセルの座標ではなく、経度、緯度であるため変換する必要がある。変換後の経度、緯度を lng, lat 、画像上の左上の経度を lng_0 、左上の緯度を lat_0 、X 軸方向の分解能を $resolution_x$ 、Y 軸方向の分解能を $resolution_y$ 、X 軸方向のピクセル座標値を x 、Y 軸方向のピクセル座標値を y とした時、ピクセル座標から緯度、経度への変換式は式 (7)、(8) で表される。

$$lng = lng_0 + resolution_x \times x \quad (7)$$

$$lat = lat_0 - resolution_y \times y \quad (8)$$

GPS ログから画像を描画する際、GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)[11] を利用することで画像の左上の緯度、経度、X 軸方向の分解能、Y 軸方向の分解能を取得することができる。

VIII. おわりに

本稿では様々な施設で使用できる新たな施設内歩行者ナビゲーションシステムの開発について述べた。

本システムの大きな特徴は、既存のシステムが対応していない施設においてもオリジナルの道情報や内部情報を登録し、それを利用した案内サービスを提供できる点である。本研究では、施設オリジナルの情報を登録するデータベースを構築し、そのデータを利用してサービス利用者に情報検索や経路案内などのサービスを提供する機能を開発した。

情報検索機能では、サービス利用者による検索ログおよび類語辞典を活用した施設内の情報への自動タグ付け機能により、様々なワードでの検索を可能とした。また、AR 技術を用いることにより、通路構成の複雑な施設においても分かりやすい経路案内を提供できるようにした。さらに、地図情報の作成を支援するツールを併せて開発し、システムの導入コストの抑制を図った。

今後は本システムの有効性およびサービス利用者ビリティを検証するため、実際の運用シーンを想定した実験を行う予定である。以下に現在予定している主要な検証項目の内容を述べる。

A. 経路案内機能

経路案内機能でサービス利用者へ示す推奨経路の妥当性を評価する。実験では、実験協力者に本システムを用いて特定の目的地まで推奨経路と最短経路を歩行してもらう。その際、所要時間、歩行経路を誤った回数および立ち止まった回数の計測と実験協力者へのアンケート調査によって、次のことを確認する。

- (1) 推奨経路と最短経路を比較して、所要時間に大きな差が出ないか。
- (2) 途中で迷うことなく目的地まで歩行できたか。
- (3) 歩行中の経路が正しいかどうかについて不安に感じなかったか。

さらに、紙の地図および Google Maps をそれぞれ単独で使用しながら目的地まで移動した場合についても同様のデータを計測し、本システムの有効性を評価する。

B. 情報検索機能

実験協力者に様々な情報を検索してもらい、検索結果の妥当性を評価する。実験協力者が違和感を感じる項目が検索結果の上位に表示された場合にその内容を報告してもらう。そこで得られた報告内容を集計し、不自然な検索結果の数とその傾向を分析する。

C. 道調査ツール

道調査ツールを使用することによって、施設内の地図情報の作成がどれだけ効率化されたかを評価する。道調査ツールを使用する場合と使用しない場合のそれぞれについて、道情報の登録や調整にかかる時間および作業中に発生した誤り数を計測する。その結果、道調査ツールを使用した場合の方が、使用しない場合と比較して所要時間が短く、かつ誤り数が少なくなることを確認する。また、カーブノード検出に用いる最適な閾値の検討も行う必要がある。

REFERENCES

- [1] ナビタイムジャパン. Navitime. <http://www.navitime.co.jp>.
- [2] Google Inc. Google マップ. <https://www.google.co.jp/intl/ja/maps/about>.
- [3] mrokuma. ランドちず. <https://itunes.apple.com/jp/app/randochizu-daichi-shi-jian/id453020086?mt=8>.
- [4] 中京テレビ. 東山動植物園アプリ. <http://www.ctv.co.jp/higashiyama/apps>.
- [5] Hazel Mok Shu Wen, Gao Huini Eshley, and Francis Bond. Using WordNet to predict numeral classifiers in Chinese and Japanese. *The 6th Global WordNet Conference*, January 2012.
- [6] 情報通信研究機構. 日本語 WordNet. <http://nlpwww.nict.go.jp/wn-ja>.
- [7] Sergey Brin and Lawrence Page. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 30, pp. 107–117, April 1998.
- [8] 大山啓三, 影浦峽, 神門典子, 木村優, 丸山克己, 吉岡真治, 高橋一道. 大規模学術情報データベースに適した情報検索システムの開発. *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J84-D-I, No. 6, pp. 658–670, June 2001.
- [9] 総務省 e-Gov. 道路法. <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S27/S27HO180.html>.
- [10] 仁保勉, 江浩, 山本真司. Mathematical Morphology 演算の高速化アルゴリズムの比較. *情報処理学会雑誌*, Vol. 37, No. 10, pp. 1751–1759, October 1996.
- [11] Gdal. <http://www.gdal.org>.