

プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案

間邊 哲也^{†a)} 長谷川孝明[†] 松岡 義大^{††} 古川 誠治^{††}
 福田 朗^{†††}

Proposal of Platform-Oriented Pedestrian WYSIWYAS Navigation System

Tetsuya MANABE^{†a)}, Takaaki HASEGAWA[†], Yoshihiro MATSUOKA^{††},
 Seiji FURUKAWA^{††}, and Akira FUKUDA^{†††}

あらまし 本論文では、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムを提案している。提案システムでは、建物内や建物付近の屋外でシームレスに動作し、かつ、WYSIWYAS ナビゲーションの実現に必要な位置情報と方向情報を他の位置特定手法と協調することなく取得可能なポジショニングサブシステムとして、タイルカーベットを用いた M-CubITS と可視光通信を採用している。大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況での移動を想定した評価実験では、提案システムにおけるポジショニングサブシステムの位置特定成功率、処理時間、移動所要時間、ユーザビリティについて評価を行っている。その結果、提案システムを用いることで、固定の案内板や手持ちの地図などを用いるよりも短時間で確実に目的地に到達できることから、提案システムの歩行者ナビゲーションシステムとしての有効性を確認している。

キーワード 歩行者ナビゲーション, プラットホーム指向, WYSIWYAS, M-CubITS, 可視光通信

1. ま え が き

歩行者の快適な移動に対する需要の高まりから、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究開発が盛んに行われている [3]~[15]。これまでに様々な歩行者ナビゲーションシステムが提案されているが、歩行者ナビゲーションシステムをはじめとする各種システムを創成する上で、どのようなシステムアーキテクチャでシステムを設計するかが重要である [1]。

システムアーキテクチャには大きく分けて、専用システム (System-by-System) とプラットフォーム指向

(Platform-oriented) の 2 種類がある。専用システムは、特定の機能を実現するために設計された専用の構造であるのに対して、プラットフォーム指向は、アプリケーションとサブシステムをプラットフォームによって上下に分離した構造である。ここで、専用システム及びプラットフォーム指向で創成した 2 種類の歩行者ナビゲーションシステムにマイグレーションが発生した場合 (例えば、他の位置特定手法への変更) を考えると、専用システムではポジショニング部とナビゲーション部が一体化しているため、他の位置特定手法に変更するにはポジショニング部だけでなく、ナビゲーション部を含むシステム全体を変更しなくてはならないが、プラットフォーム指向ではナビゲーション部 (アプリケーション) とポジショニング部 (サブシステム) がプラットフォームによって上下に分離されているため、該当するサブシステムのみを変更すればよく、プラットフォーム上のアプリケーションを変更する必要はない。つまり、歩行者ナビゲーションシステムのようなシステムでは、マイグレーションの観点からプラットフォーム指向でシステムを創成することが望ましい。し

[†] 埼玉大学大学院理工学研究科, さいたま市
 Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, 338-8570 Japan

^{††} 日本信号株式会社, 久喜市
 THE NIPPON SIGNAL CO., LTD, 1836-1 Oaza Ezura, Kuki-shi, 346-8524 Japan

^{†††} (株) エージービー, 東京都
 AGP CORPORATION, 1-7-1 Haneda Airport, Ota-ku, Tokyo, 144-0041 Japan

a) E-mail: manabe@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

かし、既存の歩行者ナビゲーションシステムでマイグレーションを明示的に考慮したものはこれまでに確認されていない。

筆者らは、マイグレーションを考慮したユビキタス ITS プラットホーム EUPITS^(注1)を提案している [2]。EUPITS では、アプリケーションとサブシステム（要素技術）を ITS プラットホームによって上下に分離することで、プラットフォーム上のアプリケーションがサブシステムのマイグレーションや進化に影響されることなく稼動し、進化し続けることができる。EUPITS に基づいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャを図 1 に示す。図 1 におけるサブシステムは、情報通信サブプラットフォームでは、携帯電話、PHS、無線 LAN など、ポジショニングサブプラットフォームでは、GPS (Global Positioning System)、携帯電話、無線 LAN、カメラ（二次元コード、マーカ）などの既存技術に加え、今後出現する新技術をシームレスかつ有効的に利用することができる。しかし、図 1 のように複数のサブシステムがシームレスに動作するプラットフォーム指向の歩行者ナビゲーションシステムの実現例はこれまでに示されていない。

また筆者らは、EUPITS に基づいた歩行者ナビゲーションシステムとして、M-CubITS^(注2)歩行者 WYSIWYAS^(注3)ナビゲーションシステムのコンセプトを 2003 年に提案している [2]。M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムは、図 2 に示すように、GPS などの位置特定に用いられる M 系列の 1/0 のビット列をマーカとして地面上に空間的に配置し、それらのマーカの並びをユーザのもつカメラ付き携帯機器で撮影することで位置と方向を特定し、位置特定のためにユーザが撮影した風景画像上にユーザの進む推奨方向を矢符などで指し示すことで直感的で分かりやすい案内を行う。M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムに関する従来研究では、市販のカメラ付き携帯電話機と視覚障害者誘導用ブロック（点字ブロック）を用いた埼玉大学キャンパスナビゲーションシステム (CamNavi) の構築 [3], [4], CamNavi に建物内データベースと Dijkstra 法 [28] による経路探索を適用した建物内ナビゲーションシステムの構築 [4], [5] が行われている。しかし、これらは単一のポジショニングサブシステム (M-CubITS のみ) を用いた歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムであり、EUPITS で述べられているような複数のポジショニングサブシステムがシームレスに動作する歩行者

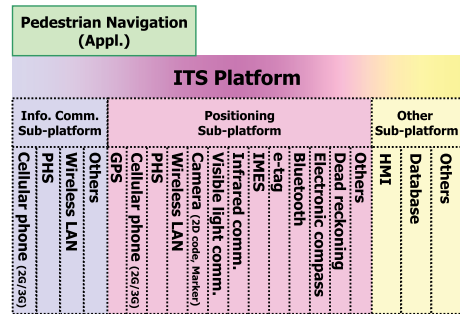


図 1 EUPITS に基づいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャ

Fig.1 EUPIT-based system architecture of pedestrian navigation systems.

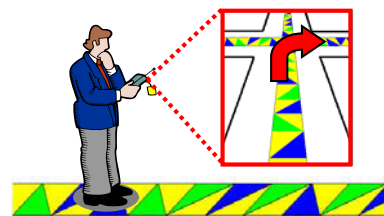


図 2 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの利用イメージ

Fig.2 An image of M-CubITS pedestrian WYSIWYAS navigation systems.

WYSIWYAS ナビゲーションシステムの実現例ではない。本論文では複数のポジショニングサブシステムを用い、それらのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案、構築、評価実験を行う。

以下、2. で既存の歩行者ナビゲーションシステムと主に利用されている位置特定手法についてまとめ、3. でプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案及び構築を行い、4. で評価実験を行う。

2. 既存の歩行者ナビゲーションシステムと主に利用されている位置特定手法

現在一般的に利用されている歩行者ナビゲーションシステム（例えば文献 [6]）では、GPS による位置特定を前提としている場合が多いが、GPS による位置特定では、高層ビル街や地下・屋内などにおける電波

(注1)：ユービッツ；Evolutional Ubiquitous Platform for ITS.

(注2)：エムキュービッツ；M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS.

(注3)：ウィジウィアス；What You See Is What You Are Suggested.

の反射や遮へいによって位置特定結果が得られない、または、大きな誤差が生じて誤った案内をすることがしばしばあり、ユーザを混乱させている。市販のGPS内蔵携帯電話機を用いた位置特定精度調査の例として、2006年5月に新宿駅西口地域で実施された調査[7]では、平均誤差115m、最大誤差200m、2009年1月に高田馬場駅周辺で実施された調査[8]では、平均誤差29.96m、最大誤差76.14mであったことが報告されている。GPSによる位置特定は、位置が既知である複数の衛星から送信された擬似雑音信号をGPS受信機が受信するまでの伝搬時間を用いて各衛星からGPS受信機までの距離を計算し、それらの交点をGPS受信機（ユーザ）の位置として推定する。GPSにおける位置特定のシチュエーションを図3に示す。図3では簡単のために次元数を落として二つの衛星で表現しているが、議論に本質的な影響は与えない。図3(a)のように、受信機が衛星からの直接波を観測できる状況であれば、誤差数センチメートルの正確な位置特定も可能である。また、図3(b)のように衛星からの電波がビルなどで反射し、マルチパスが発生した場合でも、反射波を取り除き、直接波（第一波）のみを距離計算に用いることで正確な位置特定が可能である。しかし、図3(c)のように複数のビルが林立して直接波が観測できない場合、受信機では反射波を第一波として観測するため、その反射波の伝搬時間からユーザの位置を推定すると、ビルの反対側がユーザの現在地となる。つまり、都市部においてGPSの位置特定性能を劣化させる主要因は、電波の反射と遮へいである。GPS衛星の代わりに準天頂衛星を用いた場合、条件の良い衛星が一つ増えてGDOP (Geometric Dilution Of Precision) が良くなるため、位置特定精度は明らかに向上するが、都市部における位置特定性能劣化の主要因である電波の反射・遮へいの影響は残る。また、ユーザの位置や経路の表示方法として地図が広く利用されているが、実際の地図は正確ではなく、地図の補正手法の検討も行われている（例えば文献[33]）。更に、地震に伴う地殻変動などによって大地が数メートルずれることもしばしばあるため、それらがリアルタイムに反映された正確な地図を常時利用することは困難である。そのため、衛星を用いてスペースベースでユーザの位置の緯度経度を正確に特定したとしても地図に曖昧さが含まれているため、歩行者ナビゲーションシステムでの利用には不都合である。

前述のように、GPSなどの衛星を用いた歩行者ナビ

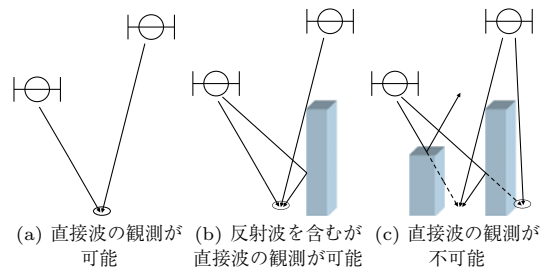


図3 GPSによる位置特定のシチュエーション
Fig. 3 Positioning situation using GPS.

ゲーションシステムでは、高層ビル街や地下・屋内などでは正確な位置特定が行えず、歩行者ナビゲーションシステムとして正しく機能しないことがしばしばあるため、GPSを用いない歩行者ナビゲーションシステムとして、インフォサインを用いた歩行者ナビゲーションシステム[9]、ユビキタスツアーガイド[10], [11]、ランドマークを用いた歩行者ナビゲーションシステム[12]などが提案されている。インフォサインを用いた歩行者ナビゲーションシステム[9]は、Bluetoothビーコンから発信される位置情報をBluetooth内蔵携帯電話機で受信することで位置特定を行うが、その位置特定精度はBluetoothの通信範囲程度であり、ユーザの方向を特定するには他の手法との協調が必要である。ユビキタスツアーガイド[10], [11]は、赤外線ビーコンやRFID (Radio Frequency IDentification) などから発信される位置情報を携帯端末で受信して位置特定を行うが、ユビキタスコミュニケーターと呼ばれる専用携帯情報端末が必要である。ランドマークを用いた歩行者ナビゲーションシステム[12]は、ユーザがサービス番号に電話を掛け、目印となるランドマーク情報を利用してユーザの位置と方向を特定して案内を行うが、システムの大規模化や自動化には適さない。

また、GPSによる位置特定と他の位置特定手法を組み合わせた歩行者ナビゲーションシステムとして、LoL@ [13]、Drishti [14]、パーソナルトラベルコンパニオン [15] などが提案されている。LoL@ [13]は、GPS内蔵スマートフォンを用いたWebベースのウィーン市内観光案内システムである。このシステムでは、ビルの谷間 (street canyons) での位置特定の正確さを向上させるために、GPSによる位置特定に加えてUMTS (Universal Mobile Telecommunications System) や無線LANなどの無線通信を利用して位置特定を行っているが、屋外での利用が主であり、屋内

での利用は十分考慮されていない。また、観光案内を目的としたシステムであるため、搭載している機能や案内情報の提供方法が汎用の歩行者ナビゲーションシステムとは大きく異なる。Drishti [14] は、GPS（屋外用）と超音波センサ（屋内用）を位置特定に用いた視覚障害者向けの歩行者ナビゲーションシステムであるが、システムが極めて大掛かりである上、屋外と屋内の切り替えはユーザが手動で行わなくてはならない。また、ユーザの位置を 2 台のビーコンから算出しているため、ユーザの高さ情報を含む三次元での位置特定は困難である。パーソナルトラベルコンパニオン [15] は、屋外では GPS、屋内では Bluetooth を利用して位置特定を行っている。しかし、パイロットシステムを用いたフィールドテストでは GPS による位置特定結果が不正確であったために、屋内と屋外の自動切り換えが行われなかった。また、手動で屋内 (Bluetooth) から屋外 (GPS) に切り換えた場合も GPS での初期位置特定に時間がかかり (30 秒～数分)、歩行者がスムーズに移動できなかったと結論づけている。

以上のことから、歩行者ナビゲーションシステムにおける位置特定空間は、GPS の電波が届く場所（屋外）と GPS の電波が届かない場所（屋内）のように 2 種類に区分するだけでは不十分なため、文献 [16] で述べられている位置特定基盤タクソノミーに基づいて 3 種類のシチュエーションで考えることが必要である。表 1 に位置特定基盤タクソノミーを示す。表 1 より、GPS などのスペースベースの位置特定は、海・山・平原・空港・住宅街など、GPS などの衛星からの電波が届き、かつ、正確な位置特定が可能な場所では利用しやすい位置特定基盤技術であるが、屋内や建物付近の屋外での位置特定は不得手であることから、GPS などのスペースベースやモバイル基地局・無線 LAN などのテレストリアルベースでユーザの位置を大まかに絞り込み、グラウンドベースで個々の場所を足元から特定して補完するというアプローチが歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で合理的であると筆者らは考えている。しかし、屋内や建物付近の屋外で正確な位置特定を実現する決定的な手法はいまだ確立されていないため、屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の整理を行う必要がある。また、文献 [2] で提案されている WYSIWYAS ナビゲーションを実現するためには、ユーザの位置と方向を正確に取得することが必要である。ここでは、現在屋外での位置特定に広く利用されている GPS によってユーザの位

表 1 位置特定基盤タクソノミー [16]
Table 1 Positioning infrastructure taxonomy [16].

位置特定を行う空間	シチュエーション	利用しやすい基盤技術
海・山・平原・空港・住宅地	衛星からの電波が届き、かつ、正確な位置特定が可能な場所	スペースベースの位置特定 (GPS 等)
高層ビル地域の屋外	衛星からの電波が届くが、反射波やマルチパスの影響により正確な位置特定が困難な場所	グラウンドベースの位置特定 (M-CubITS, 可視光通信等)
建物内・地下	衛星からの電波が届かない (届きにくい) 場所	グラウンドベースの位置特定 (M-CubITS, 可視光通信, IMES 等)

表 2 屋内や建物付近の屋外で利用可能で、かつ、GPS を補完する位置特定手法

Table 2 Ability of positioning methods being able to use in/near buildings and complementing GPS.

	ユーザの位置の特定	ユーザの向いている方向の特定
M-CubITS	可	可
可視光通信	可	可
IMES	可	不可
モバイル基地局	可	不可
無線 LAN	可	不可
超音波	可	不可
Bluetooth	可	不可
電子タグ	可	不可
電子コンパス	不可	可
推測航法	可 (相対位置)	可

置を大まかに絞り込まれた状況を前提に、屋内や建物付近の屋外で利用可能で、かつ、GPS を補完する位置特定手法におけるユーザの位置・方向の特定の可否を表 2 に示す。

M-CubITS [2]～[5] は、M 系列状に配置されたマーカの並びをユーザのもつカメラで撮影することで位置と方向を一意に特定することが可能である。可視光通信 (Visible Light Communication; VLC) [17]～[20] は、LED 照明や交通信号機などの光源を情報源に利用した通信手段として注目され、研究開発が進められている。可視光通信を位置特定に用いるには、通信する情報に位置情報を含めることで実現できる。また、光の指向性によって、ユーザのもつ携帯機器が光の到来方向からユーザの向いている方向（携帯機器の向いている方向）を特定することが可能である。IMES (Indoor Messaging System) [21], [22] は、GPS や準天頂衛星と同じメッセージ構造を利用して、IMES 送信機の位置情報を送信し、IMES 受信機ではそのメッセージから位置情報を取り出して利用する。IMES で

は、既に普及した GPS 受信機を IMES 受信機として利用できるため、屋外 (GPS) と屋内 (IMES) で位置特定が可能となるが、屋外 (GPS) から屋内 (IMES)、または、屋内 (IMES) から屋外 (GPS) に切り換わるたびに同期をとらなくてはならず、シームレス性を達成しているとはいえない。また、IMES における位置特定精度は IMES 送信機の通信範囲程度であり、ユーザの向いている方向の特定には、特殊な装置が必要となる。その他、モバイル基地局、無線 LAN、超音波、Bluetooth、電子タグは、ユーザの位置を特定することは可能だが、ユーザの向いている方向を特定するには、他の手法との協調が必要である。電子コンパスは、ユーザの向いている方向 (方位) を特定することは可能だが、ユーザの位置の特定は困難である。推測航法は、基準位置からの移動方向を特定することから、基準位置からの相対的な位置及び方向の特定は可能だが、基準位置を特定する手法との協調が必要である。

以上より、屋内や建物付近の屋外で利用可能で、かつ、GPS を補完する位置特定手法において、WYSIWYAS ナビゲーションを実現するために必要なユーザの位置情報と方向情報を他の位置特定手法と組み合わせることなく取得できるのは、M-CubITS と可視光通信であることが分かる。本論文では、図 1 に示した EUPITS に基づく歩行者ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャにおいて、ポジショニングサブシステムに M-CubITS (Camera) と可視光通信を用いたプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムを提案する。

3. 提案するプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム

3.1 提案システムの概要

提案するプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャを図 4 に示す。提案システムは、マイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの実現例として、複数のポジショニングサブシステムから共通フォーマットの位置情報と方向情報を ITS プラットホーム上で稼動しているアプリケーション (歩行者 WYSIWYAS ナビゲーション) に渡すことで案内情報をユーザに提供する。提案システムで用いるポジショニングサブシステムは、2. で述べたように、屋内や建物付近の屋外でシームレ

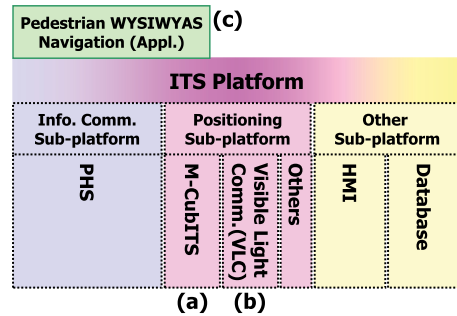


図 4 プラットホーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャ

Fig. 4 System architecture of the platform-oriented pedestrian WYSIWYAS navigation system.

スに利用でき、かつ、WYSIWYAS ナビゲーションの実現に必要な位置情報と方向情報を他の位置特定手法と協調することなく取得できる M-CubITS と可視光通信を用いる。

以下、本節では図 4 に示す提案システムのシステムアーキテクチャに基づいて、3.2 でタイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステム (図 4(a))、3.3 で可視光通信によるポジショニングサブシステム (図 4(b))、3.4 で歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションのアプリケーション (図 4(c)) についてそれぞれ述べる。

3.2 タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステム [24]~[26]

3.2.1 タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子
タイルカーペットは、正方形にカットされたタイル状のカーペットで、必要な箇所に敷き詰めて床材として使用する。このタイルカーペットは、従来のカーペットと異なり 1 枚ごとの取替えが可能で、メンテナンス性に優れているため、オフィスや公共施設の多くで採用されている。

中部国際空港では、歩行感とメンテナンス性の観点からゲートラウンジや到着コンコースの床材としてタイルカーペットを採用している [23]。ゲートラウンジでは、歩行エリアを種々のカラーの市松模様、滞留エリアをグレー単色、到着コンコースでは、国内線エリアを暖色系のドット柄、国際線エリアを寒色系のドット柄とすることで、各エリアの機能の表現にも利用している。中部国際空港でのタイルカーペットの利用例を図 5 に示す。

以上のように、タイルカーペットが建物内で広く利



(a) ゲートラウンジ (b) 到着コンコース

図 5 中部国際空港でのタイルカーペットの利用例
Fig. 5 Examples using carpet-tiles in Centrair.

表 3 本論文で用いたタイルカーペット
Table 3 Carpet-tiles used in this paper.

Color	Manufacturer	Model No.
Red	Watanabe Industry Co., Ltd.	CR-711
Orange	Watanabe Industry Co., Ltd.	CR-710
Yellow	Sangetsu Co., Ltd.	NT-365
Green	TOLI Corporation	HC-14
Blue	TOLI Corporation	HC-09

用され、かつ、1枚ごとの交換が可能であることから、中部国際空港のようにタイルカーペットが既に敷設されている場所では、それらを M 系列に従って並べ替えるだけで M-CubITS 素子（マーク）として利用できるため、建物内の環境に適したポジショニングサブシステムの構築が可能となる。

3.2.2 タイルカーペットを用いた M-CubITS による位置特定方法

タイルカーペットを用いた M-CubITS による位置特定では、M 系列状に配置されたタイルカーペットの並びをユーザのもつカメラで撮影し、撮影画像に対する画像処理結果から M 系列の部分系列を取得する。その後、取得した M 系列の部分系列をデータベースと照合することでユーザの位置と方向を特定する。本論文では、中部国際空港内に実際に敷設されているタイルカーペットのデザイン的なバランスを参考にした上で、ホームセンター等で一般に入手可能なタイルカーペットについてプレ実験を行い、おおむね良好な結果が得られた色の組合せ及び配列を用いる。具体的には、表 3 に示す 5 色のタイルカーペットを 3 列に並べて使用する。方向情報には、タイルカーペットの撮影画像中の基準列を用いる。ここでは、基準列として赤・橙の 2 色のタイルカーペットを左側の列に交互に配置して表現する。タイルカーペットの撮影画像中の基準列の例を図 6 に示す。図 6 において、基準列が撮影画像の左側にあれば順方向、右側にあれば逆方向となる。位置情報には、M 系列のビット列を用いる。こ

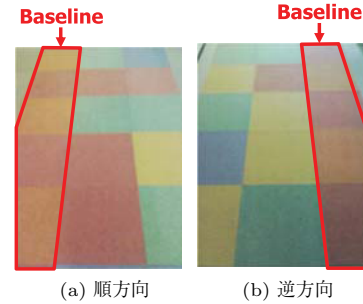


図 6 タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の方向情報

Fig. 6 Direction information of M-CubITS elements using carpet-tiles.

表 4 M 系列のビット情報を表現するためのタイルカーペットの色の組合せ

Table 4 Color combinations of carpet-tiles for putting bit information of M-sequence.

Center \ Right	Red	Yellow	Green	Blue
Red	0000	0001	0010	0011
Yellow	0100	0101	0110	0111
Green	1000	1001	1010	1011
Blue	1100	1101	1110	1111

こでは、赤・黄・緑・青の 4 色のタイルカーペットを表 4 に従って中央と右側の列に配置して表現する。タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の配置例を図 7 に示す。なお、M-CubITS 素子として用いるタイルカーペットの色は、利用環境に応じて変更することが可能である。また、使用する色を増やすことで多値化ができるため、1 枚の撮影画像から得られる M 系列の部分系列のビット数も多くなるが、各色を識別するためのパラメータ（Hue, Saturation など）のしきい値の設定が複雑になる。更に、これらの最適化のためには、撮影に用いる携帯機器の機種やホワイトバランスなども考慮しなくてはならないが、現時点では最適関数の導出及び証明には至っていない。タイルカーペットの色の組合せと配置方法の最適化については今後の課題とする。

3.2.3 タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステムの構築

タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステムを構築するため、Microsoft Visual C# 2005 でソフトウェアを開発し、市販のカメラ付き携帯機器 (WILLCOM W-ZERO3[es]) に実装した。W-ZERO3[es] には、CMOS カメラ（有効画素数約 131 万画素）が内蔵されており、このカメラで

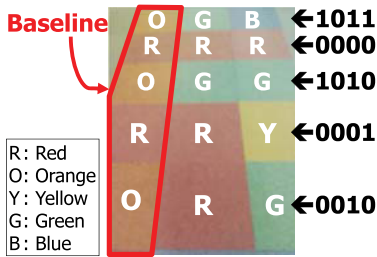


図7 タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の配置例
Fig. 7 Layout example of M-CubITS elements using carpet-tiles.

タイルカーペットの並びを撮影することで位置特定を行う。タイルカーペットを敷設する際に用いる M 系列は、ここでは 11 段のシフトレジスタから生成される符号長 2047 のものを使用する。この系列を用いると、50 cm 角のタイルカーペットの並びを横 3 枚×縦 3 枚以上撮影することで約 1 km の中からユーザの位置と方向を一意に特定することが可能である。なお、M 系列の生成に用いるシフトレジスタの段数は、位置特定を行うエリアの広さに応じて適宜変更可能である [25], [26]。

3.3 可視光通信によるポジショニングサブシステム [26], [27]

3.3.1 可視光通信による位置特定方法

2. で述べたように可視光通信では、可視光送信機から送信される位置情報を可視光受信機で受信して位置特定を行う。本論文では、可視光通信を 3.2 で述べた M-CubITS に合わせ込むことでポジショニングサブシステムとして利用する。位置情報は、可視光送信機の設置場所に対応する M 系列のチップ番号を可視光送信機から送信する。可視光通信で送信する位置情報の例を図 8 に示す。方向情報は、可視光送信機を設置する場所に該当する M 系列の順方向を可視光送信機から送信する。このとき、光の指向性によって可視光受信機の向いている方向が一意に定まるため、ユーザの向いている方向として特定することが可能である。可視光通信で送信する方向情報の取得例と送信する方向情報の割り当てを図 9 に示す。

3.3.2 可視光通信によるポジショニングサブシステムの構築

可視光通信によるポジショニングサブシステムを構築するため、可視光 ID システム (JEITA CP-1222) に準拠した可視光送信機及び可視光受信機を作製した。可視光 ID システムの規格概要を表 5 に示す。可

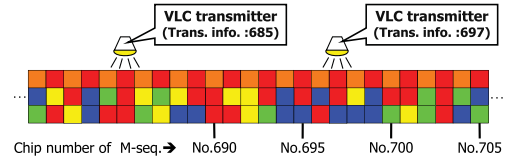


図8 可視光通信における位置情報の取得例
Fig. 8 Examples of location information gathering on VLC.

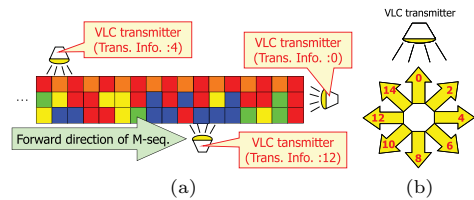


図9 可視光通信における方向情報の取得例と方向情報の割当
Fig. 9 Examples of direction information gathering on VLC and direction number.

表5 可視光 ID システムの規格概要
Table 5 Specification of VLC ID systems.

Data rate	4.8 kbps
Transmission scheme	SC-4PPM
Subcarrier frequency	28.8 kHz
Frame length	512 bit

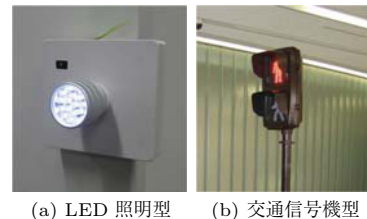


図10 可視光送信機
Fig. 10 VLC transmitters.

視光送信機は、LED 照明型 (図 10 (a))、交通信号機型 (図 10 (b)) を作製した。可視光受信機は、フォトダイオードで構成した受信モジュールを作製し、W-ZERO3[es] に USB ケーブルで接続して利用する (図 11)。

3.4 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションのアプリケーション [26]

本アプリケーションにおける処理の流れを図 12 に示す。また、Microsoft Visual C# 2005 で開発したナビゲーションソフトウェアのユーザインタフェースを図 13 に示す。

アプリケーションが起動すると、ユーザに目的地の



図 11 可視光受信機と W-ZERO3[es]
Fig. 11 VLC receiver and W-ZERO3[es].



(a) M-CubITS (b) 可視光通信

図 14 アプリケーションにおける案内情報の提示例
Fig. 14 Navigation examples on the application.

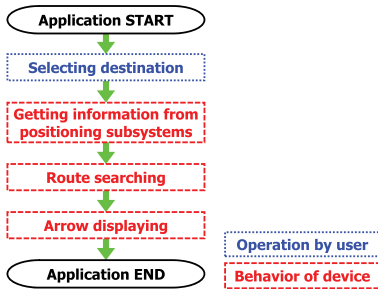


図 12 アプリケーションにおける処理の流れ
Fig. 12 Processing flow on the application.

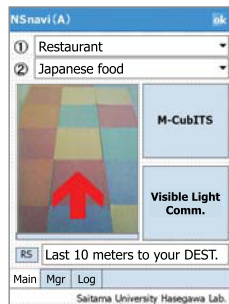


図 13 ナビゲーションソフトウェアのユーザインタフェース
Fig. 13 User interface of navigation software.

選択を求める。ここでは、二つのリストボックスを利用して、一つ目のリストボックスで目的地のカテゴリを選択した後、二つ目のリストボックスで目的地の名称を選択する。次に、ポジショニングサブシステム（本論文では M-CubITS または可視光通信）からユーザの位置と方向の情報を取得する。その後、ユーザの現在地から目的地までの 2 点間で Dijkstra 法 [28] による最短経路探索を行い、探索結果に基づいて図 14 のようにユーザの進む推奨方向を矢符としてユーザの撮影した風景画像上に重畳し、ユーザに提示する。更に、補足情報として目的地までの距離などをテキスト文で表示する。

3.5 提案システムの特徴

提案システムは、位置特定以外の処理、位置情報と方向情報のフォーマット、HMI (Human-Machine Interface)、データベースを共通化することで、いずれのポジショニングサブシステム（M-CubITS、可視光通信）を用いても同様のナビゲーション結果を得ることができる。また、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向のシステムアーキテクチャであるため、M-CubITS や可視光通信と同様に、ユーザの位置と方向の情報が正確に取得できる位置特定手法であれば、提案システムのポジショニングサブシステムとして容易に組み込むことが可能で、それに伴うアプリケーションの変更は基本的に必要ない。更に、提案システムではグラウンドベースのポジショニングサブシステムを用いているため、GPS などの衛星が不得手とする屋内や建物付近の屋外でもシームレスに位置特定が行え、案内情報を提供することができる。なお、今回採用した 2 種類のポジショニングサブシステムに加えて、第 3・第 4 のポジショニングサブシステムの追加の検討、及び、これらのポジショニングサブシステムを用いることによる定量性・相補性の評価は今後の課題とする。

4. 評価実験

4.1 実験概要

提案システムの歩行者ナビゲーションシステムとしての有効性を確認するため、初めて訪れた大型商業複合施設での移動を想定した評価実験を行う。ここでは、ユーザが大型商業複合施設の敷地内にいることを認識しており、ユーザの位置は GPS などのスペースベースやモバイル基地局・無線 LAN などのテレストリアルベースの位置特定手法によって大まかに絞り込まれた状況を前提とする。この評価実験では、日本信号株

表 6 タイルカーペットと可視光送信機の数
Table 6 Numbers of carpet-tiles and VLC Tx.

	Outdoor (near bldgs)	Indoor		Total
		Bldg.1	Bldg.2	
Carpet-tile	0	210	450	660
VLC Tx				
(LED light)	5	2	4	11
(Traffic light)	0	1	0	1

式会社久喜事業所を大型商業複合施設に見立て、事業所内の 2 棟の建物内に目的地の候補を 25 箇所設定した。実験エリアの全長は、約 500 m であったことから、11 段のシフトレジスタから生成される符号長 2047 の M 系列を用いた。実験で使用したタイルカーペットの枚数及び可視光送信機の台数を表 6 に示す。また、タイルカーペット及び可視光送信機の設置場所を図 15 に示す。可視光送信機は実験エリアの屋外及び建物内の分岐点の柱や壁面に設置し、タイルカーペットは建物内の通路に沿って 7~15 m ずつ連続して配置した。被験者は、1 人 1 人の行動を十分に記録でき、かつ、数名を超える人数を確保するという観点から 10 名の被験者を対象に実験を行った。被験者 10 名の属性を表 7 に示す。

4.2 実験方法

大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況で、固定の案内板や手持ちの地図などを用いずに、提案システムのみで目的地に到達できるか評価するために、実験エリア内に設定した 25 箇所の目的地の候補から、実験主催者側で被験者ごとに 3 箇所の目的地を指定し、その名称を被験者に提示する。このとき、各被験者が実験中に移動するトータル距離（スタート地点から最終目的地までの最短距離）はほぼ同じになるように選択する。被験者は、提案システムを用いて指定された 3 箇所の目的地を順番に巡り、各目的地への到達の可否を記録する。また、目的地に到達できた場合、目的地到達までに要した時間を記録する。実験後、アンケート形式によるユーザビリティ評価を行う。実験中、被験者がユーザ用デバイスに対して行った操作、撮影画像及び出力結果は、デバイス内にログとして全て保存している。

なお、本評価実験は、休日のオフィスで、被験者・実験主催者合わせて十数名以外の障害物が存在しない状況で実施した。一般に、電磁気などの不可視な媒体を用いたシステムでは、電波などが強い場所を探しながら利用することがしばしばあるが、提案システムは可

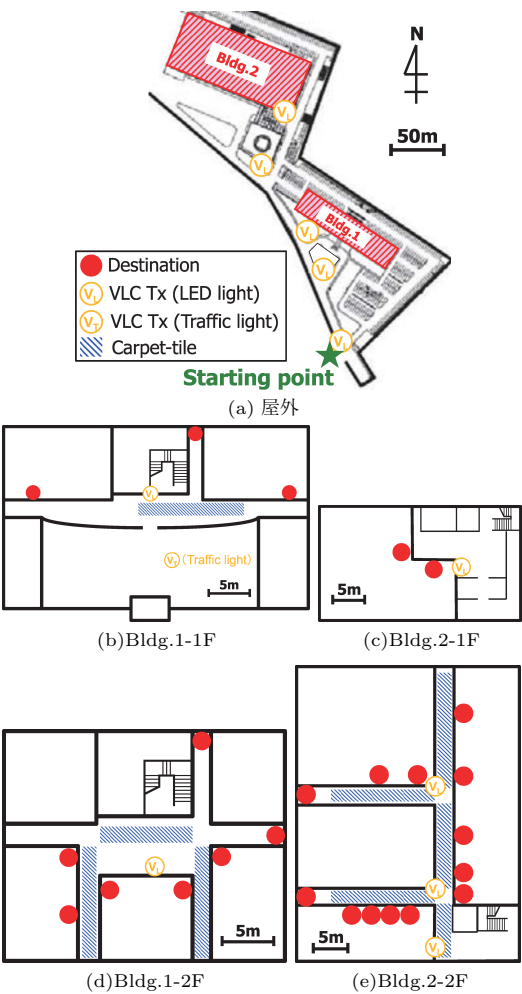


図 15 タイルカーペットと可視光送信機の配置
Fig. 15 Arrangement of carpet-tiles and VLC Tx.

表 7 被験者 10 名の属性
Table 7 Attributes of ten participants.

Questions	Choices	Total
Gender	Male	9
	Female	1
Age	20–29	5
	30–39	0
	40–49	4
	50–59	1
Do you use mobile phones ?	Yes	9
	No	1
What service do you use mainly ? (Check all that apply.)	Phone	7
	Mail	8
	Web	5
	Camera	2
	Navigation	0

視の媒体（タイルカーペット、可視光）を広範に配置して利用するため、多少混雑している状況でも、障害物の少ない場所（M-CubITS ならユーザの前方 1.5 m 四方の空いている場所、可視光通信なら光源の直近）を探して利用することが可能である。また、タイルカーペットが敷設してあるような歩行空間（例えば、空港、ショッピングモールのコリドーなど）で、足で完璧に埋め尽くされてしまうほど混雑したぎゅうぎゅう詰めという状況は考えにくい。このような状況で提案システムを利用することは想定していない。仮に、やや混雑している場合でも、案内情報を得ようとしているユーザは、システムに協力的に利用すると考えられるため、人の足の写り込みの少ない場所を選んで利用することを想定している。

4.3 実験結果及び考察

4.3.1 位置特定成功率

実験中、被験者が提案システムを利用した際に、各ポジショニングサブシステムで正しい位置特定結果が取得できた割合（位置特定成功率）について評価を行う。提案システムにおいて、各ポジショニングサブシステムが特定する位置は、緯度経度などで表されるような端末そのものの位置ではなく、端末のカメラで撮影された画像や可視光通信で取得したビット列がナビゲーションを行うエリア全体のどこに相当するかを特定しているため、ここでは、提案システムによって特定された位置が、ユーザが提案システムを利用した位置と一致しているか/一致していないかで位置特定性能の評価を行う。具体的には、ポジショニングサブシステムが出力した M 系列のチップ番号（実験値）と、ユーザ用デバイス内にログとして保存されている撮影画像（M-CubITS では位置特定と矢符重畳、可視光通信では矢符重畳にそれぞれ利用）から目視で特定した M 系列のチップ番号（真値）を比較し、実験値と真値が完全に一致した場合を位置特定成功と定義し、各ポジショニングサブシステムの試行回数に対する位置特定成功回数から位置特定成功率を算出する。表 8 に各ポジショニングサブシステムにおける位置特定成功率を示す。

また、各ポジショニングサブシステムにおける位置特定失敗の種類を表 9 に示す。ここでの位置特定失敗は、位置特定結果が正しい位置と異なる位置に特定される誤位置特定と、位置特定結果が得られない位置特定不能に分けられる。可視光通信については、誤位置特定と位置特定不能に加えて、位置情報取得待機中に

表 8 各ポジショニングサブシステムにおける位置特定成功率

Table 8 Positioning success rate on positioning sub-systems.

	試行回数	位置特定成功回数	位置特定成功率
M-CubITS	121	71	59%
可視光通信	132	107	81%

表 9 各ポジショニングサブシステムにおける位置特定失敗の種類と発生回数

Table 9 Cause of positioning failure on positioning sub-systems.

	誤位置特定	位置特定不能	タイムアウト	合計
M-CubITS	14	36	-	50
可視光通信	7	12	7	25

表 10 M-CubITS における誤位置特定の原因と発生回数

Table 10 Cause of positioning incorrectly on M-CubITS.

		色情報		計
		判定成功	誤判定	
境界線検出	検出成功	-	9	9
	誤検出	1	3	4
	未検出	0	0	0
	誤検出と未検出が同時	1	0	1
計		2	12	14

情報取得が行えないタイムアウトも位置特定失敗の原因の一つに挙げられる。表 9 から、M-CubITS、可視光通信ともに位置特定不能による失敗が最も多いことが分かる。

M-CubITS における位置特定失敗の原因は、タイルカーペットの色情報の誤判定、タイルカーペットの境界線の未検出、タイルカーペットの境界線の誤検出の 3 種類である。色情報の誤判定、または、タイルカーペットの境界線の未検出/誤検出によって、撮影画像から得られる M 系列の部分系列に誤りが生じ、位置情報（M 系列のチップ番号）にも誤りが生じる。このとき取得した M 系列のチップ番号が実験エリア内に存在すれば誤位置特定、実験エリア内に存在しなければ位置特定不能となる。表 10 に誤位置特定の原因と発生回数の分析結果を、表 11 に位置特定不能の原因と発生回数の分析結果をそれぞれ示す。表 10 及び表 11 から、誤位置特定、位置特定不能共に、境界線が正しく検出されても色情報の誤判定を原因とした失敗が最も多いことが分かる。

タイルカーペットの色情報の誤判定による位置特定の失敗例を図 16 に示す。図 16 において、画像下端中央のタイルカーペットで緑色 (G) を赤色 (R) に、画

表 11 M-CubITS における位置特定不能の原因と発生回数

Table 11 Cause of positioning impossibility on M-CubITS.

		色情報		計
		判定成功	誤判定	
境界線検出	検出成功	-	20	20
	誤検出	3	4	7
	未検出	4	4	8
	誤検出と未検出が同時	1	0	1
計		8	28	36

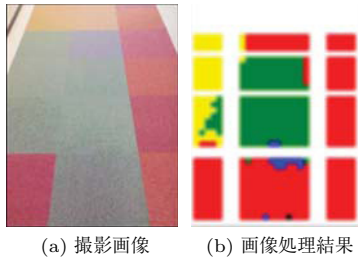


図 16 タイルカーペットの色情報誤判定による位置特定失敗例

Fig. 16 Failure example caused by color erroneous decision.

像下端から 2 枚目と 3 枚目左側のタイルカーペットで緑色 (G) を黄色 (Y) に、画像下端から 4 枚目中央のタイルカーペットで青色 (B) を赤色 (R) にそれぞれ誤判定している。提案システムにおける色情報は、双六角錐モデルによる HSI 変換 (HSL 変換) を画素ごとに適用した後、色相 (Hue)、彩度 (Saturation)、明度 (Lightness) に対するしきい値処理で判定しているが、タイルカーペット撮影時の照明量の不足やカメラのホワイトバランスによって Hue が変化したことが誤判定の原因として挙げられる。HSL 変換以外の色変換手法の検討など、タイルカーペットの色情報判定精度の向上は今後の課題である。

タイルカーペットの境界線の未検出による位置特定の失敗例を図 17 に示す。図 17 において、画像下端から 2 枚目と 3 枚目のタイルカーペットの境界線が検出できず、1 枚のタイルカーペットとして処理されている。提案システムにおける境界線の検出では、一次微分フィルタによるエッジ抽出後にヒストグラムを用いて直線検出を行っているが、エッジ強度の不足によって直線が正しく検出できない、または、ノイズによって誤った直線を検出したことが原因である。最適なエッジ抽出フィルタの検討など、タイルカーペットの境界線検出精度の向上は今後の課題である。

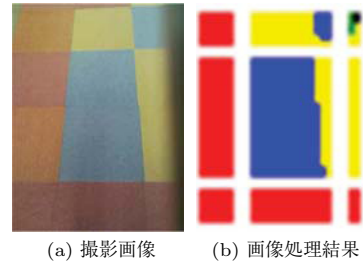


図 17 タイルカーペットの境界線未検出による位置特定失敗例

Fig. 17 Failure example caused by borderline non-detection.

表 12 可視光通信による位置情報取得可能な最大距離

Table 12 Maximum distance which can be obtained location information using VLC.

VLC transmitter	Maximum distance
LED light (outdoor)	1 m
LED light (indoor)	2 m
Traffic light	3 m

可視光通信における位置特定失敗の原因として、可視光送信機から位置情報 (M 系列のチップ番号) を取得する際に太陽光や一般の照明光などの外光の影響によって受信信号強度が劣化し、M 系列のチップ番号を表すビット列に誤りが生じたことが挙げられる。また、今回作製した可視光送受信機は指向角が狭く、可視光送信機の光源と可視光受信機の受光部をほぼ正対させることで位置情報が取得できる設計であったため、ユーザが可視光受信機の受光部の方向を調整しているうちにタイムアウトしたことが挙げられる。可視光送受信機の指向角を広くすることで位置情報取得時のユーザの負担は軽減されるが、光の到来方向の自由度が上がるため、ユーザ用デバイスでユーザの向いている方向を一意に特定することが困難となる。可視光通信による位置特定結果をナビゲーションシステムで利用する際の適切な指向角の検討は今後の課題とする。ここで、可視光通信による位置特定に成功した可視光送受信機間の最大距離を表 12 に示す。表 12 より、交通信号機型の可視光送信機では、3 m 離れた場所でも情報を正確に取得することができたが、実用化のためには、この位置特定可能な最大距離の向上が必要である。

4.3.2 処理時間

本実験で用いたユーザ用デバイスにおいて各ポジショニングサブシステムを利用した際に、位置・方向情報取得開始からナビゲーション情報表示までに要し

た時間（処理時間）を時間分解能 1 秒で計測した結果、M-CubITS の場合が約 5 秒、可視光通信の場合が約 2 秒であった。

可視光通信は、位置情報（M 系列のチップ番号）を通信によって直接取得できるのに対して、M-CubITS ではタイルカーペットの撮影画像から画像処理によって位置情報を取得するため、処理時間は可視光通信に比べると長くなる。そのため、本システムの実用化には M-CubITS における処理の高速化が必要であるが、M-CubITS における処理時間はユーザ用デバイスとして使用する携帯機器（本論文ではスマートフォン）の性能に依存することから、スマートフォンの性能差に対する処理時間の比較を試みる。本比較評価は、評価実験で使用した WILLCOM W-ZERO3[es] (WS007SH) に加えて、WILLCOM Advanced/W-ZERO3[es] (WS011SH), EMOBILE Pocket Wi-Fi S (S31HW), NTT ドコモ Xperia (SO-01B) のそれぞれに提案システムのプログラムを移植して行う。ただし、プログラム移植の際、処理アルゴリズムに変更は加えず、機種ごとの最適化も行わない。表 13 に各スマートフォンの主要スペックを示す。本比較評価では、端末内部で行われる 2 種類の処理（位置特定部と経路探索部）のそれぞれの処理時間を時間分解能 1 ミリ秒で計測を行う。各スマートフォンで 100 回試行した際の処理時間の平均値と標準偏差を図 18 に示す。図 18 において、WS007SH と WS011SH はトータル（位置特定部と経路探索部の和）で 4 秒前後の処理時間であるのに対して、S31HW では約 85%，SO-01B では約 94%処理時間が改善され、特に画像処理を伴う位置特定部で顕著である。これは、スマートフォンの発売時期の違いで、搭載される CPU の命令セットが変わり、処理速度が大幅に向上したと考えられる。また、標準偏差に関して、Windows Mobile 系では平均値の 1~2%であるのに対して、Android 系では平均値の 50%以上のばらつきがある。Windows Mobile 及び Android は、いずれもマルチタスク OS だが、バックグラウンドで動作しているプロセス数と処理の振り分け方の違いによるものと考えられる。

以上の結果から、ユーザ用デバイスとして使用する携帯機器（スマートフォン）の性能は、年月の経過とともに向上しており、近年発売されたスマートフォンに提案システムを実装した場合、案内情報が 1 秒以内に取得できることを確認した。なお、提案システムにおける処理時間は、処理アルゴリズムによっても変化

表 13 スマートフォンのスペック
Table 13 Specifications of smartphones.

	WS007SH	WS011SH	S31HW	SO-01B
OS	Windows Mobile 5.0	Windows Mobile 6	Android 2.2	Android 2.1
CPU	Intel PXA270 416 MHz	Marvell PXA270 520 MHz	Qualcomm MSM7225 528 MHz	Snapdragon QSD8250 1 GHz
RAM	64 MB	128 MB	256 MB	384 MB
発売	2006.07	2007.07	2011.01	2010.04

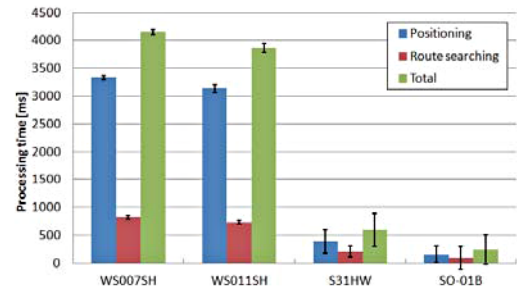


図 18 各スマートフォンにおける処理時間
Fig. 18 Processing time on smartphones.

すると考えられるが、処理時間は位置特定成功率とのトレードオフの関係にあるため、これらの最適化のためには、タイルカーペットの色の組合せと配置方法の最適化を行った上で、位置特定成功率と処理時間のトレードオフを考慮して処理アルゴリズムについて検討を行う必要がある。

4.3.3 目的地到達率

被験者が提案システムを利用して指定された目的地に到達できた割合（目的地到達率）は 100%となった。提案システムは、利用するポジショニングサブシステムをユーザ自身が適材適所で選択できるシステム構造であったため、一方のポジショニングサブシステムを利用できない、または、明らかに誤った結果が表示された場合に、ユーザの現在地の近くにある他のポジショニングサブシステムに切り換えることで、正しいナビゲーション情報を取得し、目的地に到達できたと考えられる。

4.3.4 移動所要時間

被験者が目的地に到達できた場合、その移動に要した時間（移動所要時間）を評価するため、スタート地点から最終目的地までの移動所要時間を算出した。その結果、被験者 10 名の移動所要時間の平均値と標準偏差は、 25.6 ± 7.5 分（最短 14 分、最長 35 分）であった。

本実験で被験者が歩行した距離は全被験者とも約 800 m であった。大型商業複合施設内で固定の案内板が約 200 m 間隔で設置されていると仮定^(注4)すると、提案システムを利用しないで移動する場合、次の目的地へ向かう際に案内板を経由することになるため、目的地 1 箇所につき 200 m 余計に歩かなくてはならない。つまり、本実験の想定環境における $O \sim D_3$ の移動距離は、 $800 \text{ m} + 200 \text{ m} \times 3 \text{ 箇所} = 1400 \text{ m}$ となる。探索行動中の歩行者の移動速度は、文献 [29], [30] より分速約 60 m であることから、本実験の想定環境における $O \sim D_3$ の歩行時間は、 $1400 \text{ m} \div \text{分速 } 60 \text{ m} \approx 23.3 \text{ 分}$ となる。歩行者が案内板を見ている時間（案内板に到達してから次の目的地に向かって歩き始めるまでの時間）は、文献 [31] の結果から 1 回当たり約 1 分とすると、本実験の想定環境における $O \sim D_3$ の移動所要時間は最短でも $23.3 \text{ 分} + 1 \text{ 分} \times 3 \text{ 箇所} = 26.3 \text{ 分}$ となる。ここで算出した移動所要時間（26.3 分）は、本実験の被験者 10 名の移動所要時間の平均値（25.6 分）よりも長いことから、初めて訪れた大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況で移動する場合、固定の案内板を利用するよりも提案システムを利用した方が短時間で移動できるといえる。なお、固定の案内板では、移動の途中で移動経路を忘れた場合、再び案内板の所まで戻ることになるため、移動所要時間は更に長くなり、手持ちの地図では、現在地の把握、目的地の把握、移動経路の把握、地図と実空間の対応付けなどが必要となるため、固定の案内板と同等、または、それ以上の移動所要時間になることが予想される。

4.3.5 ユーザビリティ

提案システムの使いやすさとして、ユーザビリティについて評価を行う。現在の歩行者ナビゲーションシステムの研究開発分野では、歩行者ナビゲーションシステムのユーザビリティの統一的な評価方法が確立されていないため、本論文では、ウェブサイトに関するユーザビリティ評価 [32] を参考に、提案システムのユーザビリティの評価項目として、操作性・応答性・見やすさ・信頼性・好感度・役立ち感の計 6 項目を設定した。ウェブサイトには表示方法や用途の異なるものが種々存在するが、文献 [32] では抽象化された指標を用いて上位概念で評価を行っているため、これらの評価指標を歩行者ナビゲーションシステムのユーザビリティ評価にも応用できると考えられる。

今回設定した評価項目のうち 3 項目（操作性・応答性・見やすさ）はシステムの使いやすさ、残り 3 項目

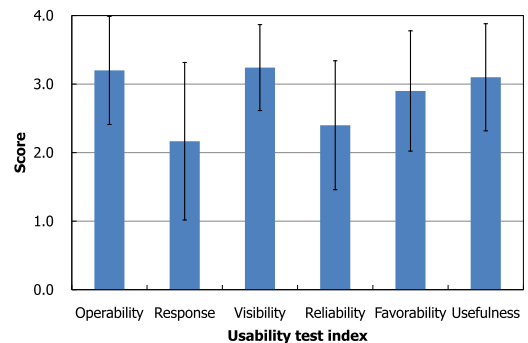


図 19 ユーザビリティ評価の結果

Fig. 19 Results of usability test.

（信頼性・好感度・役立ち感）はシステムに対する主観的な印象や満足度に関するものである。被験者は、この 6 項目について、それぞれ 5 段階（最低 0 点～最高 4 点）で評価する。評価項目ごとの被験者 10 名の平均値と標準偏差を図 19 に示す。

図 19 において応答性 (Response) が 6 項目の中で、平均値が最も低く、標準偏差が最も大きい結果となった。その理由として、4.3.2 で述べた M-CubITS における処理時間（約 5 秒）が一部の被験者にとってストレスになっていたことがアンケートの自由記述欄から読み取れた。また、信頼性 (Reliability) の平均値が応答性の次に低い結果になった理由として、4.3.1 で述べた M-CubITS における位置特定に誤りが発生していたこと、可視光通信において提示された矢符の方向と実際の進行方向の対応付けが分かりにくい箇所が一部にあったことがアンケートの自由記述欄から確認できた。

以上、4.3.1～4.3.5 の実験結果から、提案システムは、ポジショニングサブシステムの性能（特に位置特定成功率）及びユーザビリティについて改善の余地はあるが、初めて訪れた大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況で移動する場合、固定の案内板や手持ちの地図などを用いるよりも短時間で確実に目的地に到達できることを確認した。

5. む す び

本論文では、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者

(注4)：モラージュ葛蒲（所在地：埼玉県久喜市）では、フロア全長 2400 m（800 m×3 階）に対して 12 台のデジタルフロアマップが設置されている。

WYSIWYAS ナビゲーションシステムを提案した。提案システムでは、屋内や建物付近の屋外でシームレスに動作し、かつ、WYSIWYAS ナビゲーションの実現に必要な位置情報と方向情報を他の位置特定手法と協調することなく取得可能なポジショニングサブシステムとして、タイルカーペットを用いた M-CubITS と可視光通信を採用した。大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況での移動を想定した評価実験では、提案システムにおけるポジショニングサブシステムの位置特定成功率、処理時間、移動所要時間、ユーザビリティについて評価を行った。その結果、提案システムを用いることで、固定の案内板や手持ちの地図などを用いるよりも短時間で確実に目的地に到達できたことから、提案システムの歩行者ナビゲーションシステムとしての有効性を確認した。

今後の課題として、タイルカーペットの色の組合せと配置方法の最適化、タイルカーペットを用いた M-CubITS における位置特定成功率と処理時間の改善、可視光通信の最適な指向角の検討及び最大通信可能距離の向上、第 3、第 4 のポジショニングサブシステムの追加の検討及びそれらの定量性・相補性の評価、既存の歩行者ナビゲーションシステムとの比較評価が挙げられる。

謝辞 本研究の遂行にあたり、貴重な意見を頂いた WYSIWYAS ナビゲーションコンソーシアム (WyNC) メンバ各位に深謝する。また、本研究の一部は、科研費 (23500111) の助成を受けたものである。

文 献

- [1] 長谷川孝明, “ITS とシステム創成に関する一考察,” 信学技報, ITS2002-120, March 2003.
- [2] 長谷川孝明, “ITS プラットフォーム “EUPITS” —実現へのアプローチ,” 信学技報, ITS2003-8, May 2003.
- [3] 山下清司, 長谷川孝明, “視覚障害者誘導用ブロックを用いた M-CubITS 歩行者ナビゲーションシステムについて,” 信学論 (A), vol.J88-A, no.2, pp.269–276, Feb. 2005.
- [4] T. Manabe, S. Yamashita, and T. Hasegawa, “On the M-CubITS Pedestrian Navigation System,” Proc. 9th IEEE Int. Conf. on ITS, pp.793–798, Toronto, Canada, Sept. 2006.
- [5] 間邊哲也, 長谷川孝明, “建物内における M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案,” 信学技報, ITS2006-9, May 2006.
- [6] M. Arikawa, S. Konomi, and K. Ohnishi, “NAV-ITIME: Supporting pedestrian navigation in the real world,” IEEE Pervasive Comput., pp.21–29, July 2007.
- [7] 本多聖人, 戸川望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションにおける携帯電話カメラ機能とランドマークを利用した位置補正手法,” 信学技報, ITS2007-29, Sept. 2007.
- [8] 児島伴幸, 山根和也, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川 望, “道路標識とランドマークを用いた歩行者位置特定システムと実地調査による評価,” 情処学論, vol.51, no.3, pp.899–913, March 2010.
- [9] 櫻井光徳, 松橋正道, “インフォサインによる歩行者ナビゲーション,” NEC 技報, vol.61, no.1, pp.53–56, Jan. 2008.
- [10] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka, and K. Sakamura, “A space-identifying ubiquitous infrastructure and its application for tour-guiding service,” Proc. 23rd ACM Symp. on Applied Comput., pp.1616–1621, March 2008.
- [11] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka, and K. Sakamura, “uNavi: Implementation and deployment of a place-based pedestrian navigation system,” Proc. 32nd Annual IEEE Int. Comput. Software and Applications Conf. 2008, pp.1254–1259, July 2008.
- [12] A. Millonig and K. Schechtner, “Developing landmark-based pedestrian-navigation systems,” IEEE Trans. Intell. Transportation Syst., vol.8, no.1, pp.43–49, March 2007.
- [13] M. Umlauf, G. Pospischil, G. Niklfeld, and E. Michlmayr, “LoL@, A mobile tourist guide for UMTS,” J. Inf. Technol. & Tourism, vol.5, no.3, pp.151–164, 2003.
- [14] L. Ran, S. Helal, and S. Moore, “Drishti: An integrated indoor/outdoor blind navigation system and service,” Proc. 2nd IEEE Conf. on Pervasive Comput. & Commun., pp.23–30, March 2004.
- [15] K. Rehrl, S. Brunsch, and H. Mentz, “Assisting multimodal travelers: Design and prototypical implementation of a personal travel companion,” IEEE Trans. Intell. Transportation Syst., vol.8, no.1, pp.31–42, March 2007.
- [16] 長谷川孝明, “WYSIWYAS ナビゲーション環境の実現—リアルワールドの IT の意味,” 信学技報, ITS2008-30, Dec. 2008.
- [17] M. Akanegawa, Y. Tanaka, and M. Nakagawa, “Basic study on traffic information system using LED traffic lights,” IEEE Trans. Intell. Transportation Syst., vol.2, no.4, pp.197–203, Dec. 2001.
- [18] 春山真一郎, “可視光通信,” 信学論 (A), vol.J86-A, no.12, pp.1284–1291, Dec. 2003.
- [19] 中川正雄, “ユビキタス可視光通信,” 信学論 (B), vol.J88-B, no.2, pp.351–359, Feb. 2005.
- [20] 可視光通信コンソーシアム, “可視光通信の世界—LED で拓く「あかりコミュニケーション」,” 工業調査会, 2006.
- [21] M. Ishii, D. Manandhar, K. Okano, H. Maeda, S. Kogure, and T. Miyano, “IMES(Indoor Messaging System)—新たな屋内測位技術,” GPS/GNSS シンポジウム 2007, pp.79–83, Nov. 2007.
- [22] 小暮 聡, 飯田勝義, 菅原 敏, 富田仁志, 下垣 豊, “シームレス位置情報の地域公共分野への適用,” 日立評論, vol.90, no.03, pp.290–291, March 2008.

- [23] 中部国際空港株式会社, “中部国際空港ターミナル施設建設記録,” March 2005.
- [24] 間邊哲也, 長谷川孝明, 福田 朗, “タイルカーペットを用いた M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションについて,” 信学技報, ITS2007-1, May 2007.
- [25] T. Manabe, T. Hasegawa, Y. Matsuoka, S. Furukawa, and A. Fukura, “On the M-CubITS pedestrian WYSIWYAS navigation using tile carpets,” Proc. 10th IEEE Int. Conf. on ITS, pp.879–84, Seattle, USA, Oct. 2007.
- [26] 間邊哲也, 長谷川孝明, 松岡義大, 古川誠治, “M-CubITS・可視光通信協調型歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて,” 信学技報, ITS2007-10, July 2007.
- [27] 松岡義大, 間邊哲也, 長谷川孝明, 古川誠治, “歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムへの可視光通信の応用,” 信学技報, ITS2007-2, May 2007.
- [28] E.W. Dijkstra, “A note on two problems in connection with graphs,” Numerische Mathematik, vol.1, pp.269–271, Dec. 1959.
- [29] 三浦金作, “歩行条件の異なる歩行者の経路選択と探索行動に付いて—街路空間における探索歩行時の注視に関する研究その 3,” 日本建築学会計画系論文集, vol.73, no.624, pp.371–378, Feb. 2008.
- [30] 松本直司, 清田真也, 伊藤美穂, “街路空間の特性と歩行速度の関係,” 日本建築学会計画系論文集, vol.74, no.640, pp.1371–1377, June 2009.
- [31] L. Chittaro and S. Burigat, “Augmenting audio messages with visual directions in mobile guides: An evaluation of three approaches,” Proc. 7th Int. Conf. on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, pp.107–114, Sept. 2005.
- [32] 仲川 薫, 須田 亨, 善方日出夫, 松本啓太, “ウェブサイトユーザビリティアンケート評価手法の開発,” 第 10 回ヒューマンインターフェース学会紀要, pp.421–424, Oct. 2001.
- [33] 小島祥子, 目黒淳一, 鈴木徳祥, 寺本英二, “汎用 GPS と車載カメラ画像を用いた高精度地図生成手法の提案—基本概念と可能性検討,” 信学技報, ITS2010-73, March 2011.

(平成 23 年 4 月 21 日受付, 10 月 6 日再受付)



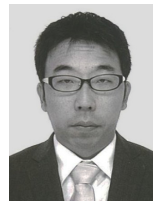
間邊 哲也 (学生員)

平 18 埼玉大・工・電気電子システム卒。
平 20 同大大学院博士前期課程了。現在、同大学院理工学研究科博士後期課程在学中。主として、ITS における歩行者ナビゲーションシステムに関する研究に従事。IEEE, 情報処理学会各学生員。



長谷川孝明 (正員)

昭 56 慶大・工・電気卒。昭 61 同大大学院博士課程了。同年埼玉大・工・電気助手。同助教授を経て、現在、同大学院理工学研究科教授。工博。平 7~8 カナダ・ビクトリア大客員研究員。現在の興味は、IT (Information Technology) による QoSC (Quality of Spatial Comfort) の向上のシステム創成論的アプローチにある。スペクトル拡散通信システム、CDMA、ニューラルネットとその情報システムへの応用、画像入力マイクロホンなどの人間機械間通信を含む情報通信の方式・情報と信号の処理の研究を経て、システム創成論的アプローチにより、ITS プラットホーム、システムアーキテクチャ、下位レイヤでそれらを支える ITS 要素技術としての情報通信・ポジショニング・HMI、上位レイヤで展開される ITS アプリケーションの研究を進めてきたが、特に近年はこれらをベースとした QoSC の向上の研究を楽しんでいる。平 2 年度本会篠原記念学術奨励賞受賞、著書「スペクトル拡散技術の基礎と応用」(分担執筆)、「プライマリー C 言語ノート」, 「モバイル・コンピューティング教科書」(分担執筆) など。IEEE, 情報処理学会, 国際交通安全学会各会員。



松岡 義大

平 15 京大・工・電気電子卒。同年日本信号(株)入社。個人認証システム、可視光通信システムの研究開発を経て、現在、研究開発センター勤務。



古川 誠治

昭 49 芝浦工大・工・電子卒。同年日本信号(株)入社。道路交通管制システム、駐車誘導システムの開発を経て、平 22 退職。同年日信キャリアサービス(株)入社。現在、日本信号(株)研究開発センター勤務。



福田 朗

昭 48 千葉工大・工・工業経営卒。同年新東京国際空港公団に入社後、空港計画、旅客ターミナル計画、施設計画等空港インフラの整備に携わる。平 15 次世代空港技術研究組合専務理事に就き、RFID の利用促進の技術研究に従事、現在(株)エージービー常務取締役を務め、NPO 法人空港における RFID 技術普及促進連絡会会長にて空港における RFID 利用促進を進めている。