

ルート推薦を含む三次元屋内ナビシステムに関するパイロットスタディ A Pilot User Study on 3-D Personal Navigation System with Route Recommendation

大隈 隆史†
Takashi Okuma

興柁 正克†
Masakatsu Kourogi

酒田 信親‡
Nobuchika Sakata

蔵田 武志†
Takeshi Kurata

1. はじめに

近年、位置・方位情報をキーとして地図やその周辺の施設、建物などの情報を引き出せる Web サービスや携帯電話サービスが多数提供されている。一方で都市の景観などを三次元描画できるソフトウェア[1]も提供されている。これらの要素技術の組み合わせで実現可能な三次元ナビサービスは美術館や博物館といった立体的な構造を持つ施設内において特に有効に機能することが想定される。本稿ではまず、著者らのグループで開発中のデッドレコニングに基づく測位手法を用いて試作したルート推薦機能付き三次元屋内ナビシステムについて述べる。次に、本システムを用いて科学技術館で実施したパイロットユーザスタディについて報告し、センサログの可視化とその応用などについて展望する。

2. 三次元屋内歩行者ナビシステム

まず、実験を実施した科学技術館での運用を具体例として挙げながら、試作システムについて概説する。

2.1 サステイナブルな屋内測位システム

人の歩行動作を自蔵センサ群（各 3 軸の加速度・ジャイロ・磁気方位センサ）によって一步単位で検出・計測・積算するデッドレコニング手法を用いて、相対的な移動を高い精度で推定できることが興柁らの過去の研究[2]によって示されている。相対移動量を積算する手法に共通する誤差累積の問題に対しては、GPS やアクティブ RFID などの絶対測位とデッドレコニングとを統合する手法も提案されている [3]。本試作システムではこの手法に Wi-Fi 測位(PlaceEngine)[4]やマップマッチングによる補正を組み合わせた測位手法を採用した。この測位システムは、インフラ構築・維持コストやシステム全体のエネルギー消費を抑えながら広範囲に渡る位置や向きに基づく情報サービスを提供できるため、サステイナブルなユビキタス情報社会を構築するための先駆的なシステムとして位置づけることができる。

2.2 再生コンテンツ管理系

再生コンテンツ管理系は二つのサブシステムから成る。一つは場所に関連付けられた Flash 等のコンテンツを Web ブラウザによって再生するシステム、もう一つは Google Earth 上で推薦ルートのナビゲーションと利用者の周辺に存在するコンテンツ表示を実現するシステムである。

利用者端末上では測位系から得られる利用者の現在の位置・高度・方位の履歴、端末のバッテリー残量、Flash コンテンツや推薦ルートなどを格納するデータベースが動作している。再生コンテンツ管理系は条件に応じてクエリを組み合わせ、現在表示すべきコンテンツを検索する。

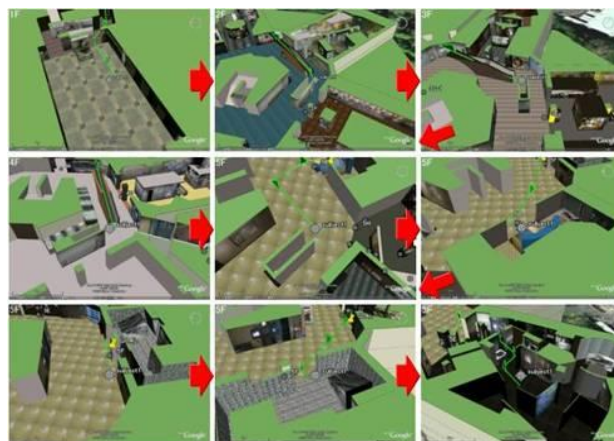


図1 お勧めコースの可視化例

科学技術館実験システムでは、Flash コンテンツとしてスタート画面、コンテンツ再生を制御するボタン、時間が決められているワークショップや展示の説明(9 種類)、各展示室や展示物の説明(44 種類)などを用意した。説明用のコンテンツは、写真とテキストを含む静止画とそのテキストを読み上げる 15 秒程度の音声から成り、コンテンツオーサリングツールにより三次元地図上に登録した。この登録位置は Placemark で表示され、利用者が現地近くに到着しその方向を向いた場合や、これからその地点に向かうナビゲーション開始時に再生される。

また、実験システムではお勧めコースもしくは時間の決められたイベントへの誘導コースを含む推薦ルートを利用者に提示した。科学技術館の Web サイトに掲載されているコース中の 4 コース分のデータ、及び時間が決められているワークショップや展示のスケジュールをデータベースに入力し、推薦ルートの計算に用いた。入力されたコースの 1 つについて、スタート地点である 1 階から始まり、5 階にある最初の数箇所の展示までの推薦ルート表示の例を図 1 に示す。

2.3 利用者端末

実験システムのウェアラブル利用者端末として、図 2 に示すようなハンドヘルドディスプレイを利用するものと、図 3 のようにヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用するものの 2 種類を用意した。両方に共通しているのは、測位のための各装置を入れたウエストポーチ、ハンドヘルド PC (SONY VAIO Type U)、及び会話解析のためのデータ収集用ボイスレコーダである。HMD 利用者はハンドヘルド PC をショルダバッグに詰めて HMD(三菱電機 SCOPO)を装着する。このため、ハンズフリーとなるがハンドヘルド PC のボタンが使えなくなるのでショルダバッグにボタンを取り付けた。

使用持続時間は、組込システムや自蔵センサ群、HMD については実験に支障のない長さであったが、ハンドヘ

†産業技術総合研究所情報技術研究部門, AIST ITRI

‡大阪大学, Osaka University



図2 ハンドヘルドディスプレイ用装備



図3 HMD用装備

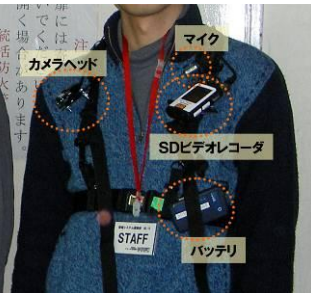


図4 付き添い用ログ



図5 画面表示の様子

ルド PC は約 1 時間（標準容量バッテリーを用いた場合）であった。

2.4 ユーザインタフェース

端末のディスプレイもしくは HMD の画面の大きさの制約から、三次元地図(Google Earth)と Flash コンテンツの同時表示は実用的ではないと判断した。そのため、Flash コンテンツを再生すべき場合は全画面で再生され、通常時は三次元地図が全画面表示される(図5)。

移動する利用者の安全確保のため単眼の HMD を使用し、効き目側に装着した。また、利用者の端末操作の負担を最小限にするため、利用者の位置や向き、静止時間に応じて端末が適応的に振る舞うようシステム全体を設計した。ハンドヘルドディスプレイ利用時も HMD 利用時もポインティング操作を要さず、コンテンツのリプレイ再生希望時と時間の決まったイベントへの誘導をキャンセルする場合のボタン押下のみが要求される。

3. ユーザスタディ

三次元屋内歩行者ナビシステムの有用性・使用感の評価と、利用者端末のディスプレイ形態の違いがシステムの使用感に与える影響を調査することを主な目的として、前節で述べた科学技術館実験システムを用いたユーザスタディを実施した。本ユーザスタディは科学技術館における実運用に対するシステムの頑健性や精度も含めて多面的な評価を目指したが、本稿では特に被験者の主観から得られたシステムの定性的な評価について論じる。

3.1 実験設定と手順

本ユーザスタディは科学技術館（5階建て、各階 2500～2700 m²）において、計4日間実施した。1日につき午前と午後の2セッションを設定し、1セッションにつき3組が並列に試行できるような体制とした。被験者の安全考慮、行動履歴記録、及びシステム調整のために1組の被験者につき1人の付き添いを割り当てた。

実験時間は1試行につき2時間程度とし、試行開始後約1時間でサポートデスク（1階のスタート地点）に戻り、ハンドヘルド PC のバッテリー交換と、ディスプレイ形態（ハンドヘルドもしくは HMD）の切り替えを実施した。その際、順序効果が分散するようにディスプレイ形態を切り替えた。なお16歳未満の被験者は安全上の問題から HMD を着用できないため、試行の前半後半ともハンドヘルドディスプレイでの体験となった。

各付き添いは図4に示すような映像音声ログシステムを装着し、被験者の後方から映像音声ログを記録した。また、階段の上り下りの際の安全確保やウエストポーチが体験型展示物の邪魔になる場合の着脱、システムトラブル対処なども付き添いの主な役割であった。

各被験者は試行開始前に実験に関する事前説明を受けた。利用者端末の使用方法や GUI の各表示の意味などの説明をする際、前述のように三次元地図上に推薦ルートが表示される旨を伝え、その上で必ずしもそれに従う必要はないことも同時に伝えた。これは、科学技術館の見学行動がシステムによって強制される印象を与えないようにするためであった。試行終了後にアンケート調査とグループインタビューを実施した。グループインタビューの様子は被験者とインタビュアーそれぞれが映るよう2台のビデオカメラにより記録された。

4日間の実験期間のうち前半（1日目・2日目）と後半（3日目・4日目）の間に数日間の準備期間を設けていたため、実験期間前半で得られた被験者の意見を後半の実験に反映して違いを確認するという迅速な対応が可能であった。結果として実験期間の前半と後半で実験条件が変化することとなり、アンケートの定量的な解析は慎重に行う必要があった。しかし、前半と後半を比較することで改善の効果を確認できたと考えられる。

3.2 被験者

当日の飛び入り参加者を含め、最終的に女性12名、男性10名の計22名に被験者として協力していただいた。年齢別構成は、10歳代（小学生）3名、20歳代4名、30歳代8名、40歳代4名、50歳代3名となっており、さまざまな世代からのフィードバックが得られることとなった。

3.3 結果と考察

本節では被験者アンケート・インタビューを通じて得られた代表的な意見を主観評価結果とし、その要因や意義について考察する。アンケートは計 17 問の質問に対して 7 段階評価により回答された。

3.3.1. 三次元地図表示・現在位置把握に関する意見

三次元地図表示に関して、インタビューでは「実環境との対応が付きやすい・面白い」という肯定的な意見と「実環境との対応がつかずわかりにくい」という否定的な意見の両方が得られた。3 次元地図のわかりやすさに関するアンケートも同様の結果を示した(図 6)。

これらの結果から、被験者によっては測位系の誤差が主観に影響を与えたと考えられる。すなわち、測位系の誤差によって実際の現在位置・方位と表示されている位置・方位にずれが生じたときに、地図と実環境の対応を見失わずにシステムの誤動作と解釈した被験者と、地図と実環境の対応を見失ってしまった被験者の両方がいたということである。このことは「地図がわかりにくい」と回答した被験者の中にもインタビューでは「自分の位置・方位と表示がずれていた」ことを認識していた被験者が複数いて、実際には地図と実環境の対応付けができていたことから伺える。以上の議論から、三次元地図は実環境との対応付けに有効な視覚的手がかりを与えることができるが、測位系の誤差による位置・方位のずれがこの対応付けに混乱を与え、三次元地図そのものに対する悪印象を与えるという可能性を確認した。

地図に関してはこの他に、展示室名や展示室番号などを文字情報として提示してほしいという意見が複数得られ、形状・外見以外の抽象情報も実環境との対応付けにおける手がかりとして配置すべきであったことを確認した。実験期間前半終了時にこの知見が得られたため、実験期間後半では部屋番号情報を 3 次元地図上に付加して表示することとした。

3.3.2. ナビゲーション・ルート推薦に関する意見

ルート推薦に関しては「従わなかった・従えなかった」とするネガティブフィードバックを多く受ける結果となった。これらの意見は「進行すべき方向がわからず、従えなかった」「自己位置の後ろに出てくる軌跡情報のように見えた」という推薦される進行方向の混乱に関連したものと、「行き先がわからず、結局従わなかった」というナビゲーション情報の提示に関するものに分類可能であった。

進行方向の混乱については、推薦ルートが向きに関する表示を伴わない折れ線で表示されていたことに起因したと考えられる。実際には現在位置から目的地までを繋ぐように表示されていたため、注意深く見れば進行方向はわかるようになっていたが、被験者の誤解を受ける結果となった。さらに、現在いる階のルートのみを表示したため、上の階や下の階にルートが続く場合にエスカレーターや階段上にルートが表示されず、ルートの方向が不明確となっていた。この問題は実験期間前半で露呈したため、期間後半の実験開始までの間に矢印による方向指示や階と階を繋ぐ部分のルートも表示するように可視化の改善を実施した(図 7)。この結果、ユーザスタディ後半では推薦ルートの意味や方向についての誤解が減少し、ルート推薦の効果を確認することができた。

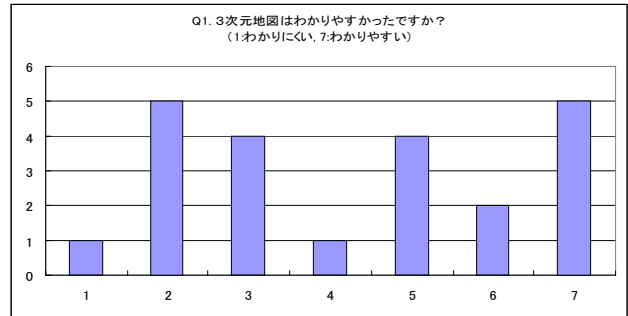


図 6 三次元地図のわかりやすさに関するアンケート結果

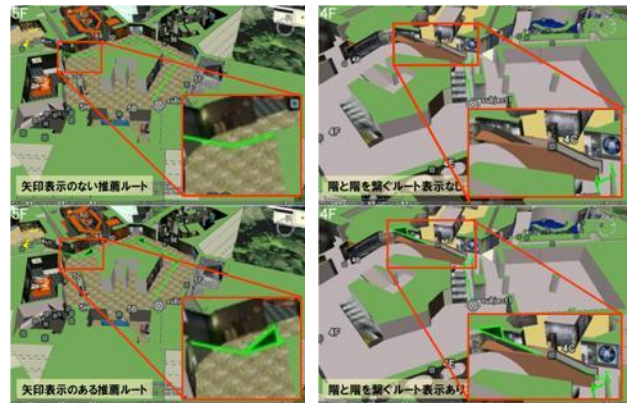


図 7 推薦ルート可視化の改善

「行き先がわからない」という意見については、短期的なものや長期的なものに分けられた。短期的なものについては三次元地図の提示方法に要因があった。地図と実環境の対応付けに重点を置いて現在位置近辺をよく見せるために仮想視点を比較的近く、鳥瞰する角度も上方からに近い角度に設定していたため、進行方向の先に何があるのかなどがよく見通し辛かったと考えられる。この視点設定についても後半の実験までに改善することにした。すなわち、まず約 10 秒間縮尺の大きい表示をし、次の 5 秒間は少し引いた表示をすることを繰り返すようにし、角度も斜め後方から現在位置を見据えるように三次元地図の視点を制御するように変更した。長期的なものについては、実際には次の目的地の情報として展示物説明用 Flash コンテンツを提示していたが、これでは不十分であったと考えられる。この点に関しては次の目的地までの階移動を含めた全体ルートの表示などにより、目的地の位置情報を十分に印象付けることで改善が期待できる。

3.3.3. ハンドヘルドと HMD の比較

ハンドヘルドディスプレイと HMD の比較に関するアンケート項目の結果を図 8 に示す。全般的に HMD の方が画面が見づらく疲れやすいが、展示物を体験しやすく展示物に集中しやすいという傾向が見られた。インタビューでは、多くの被験者が HMD を初めて利用することもあり、HMD そのものに興味を示した被験者が多かった。しかし、単眼式 HMD を利用したことから長時間画面に意識を集中しないと見づらい、慣れが必要との意見が得られた。また、HMD 利用者の年齢制限は科学技術館のように子供が多く訪問する施設では問題となるという指摘があった。

HMD は、ハンドヘルドよりも動きやすく科学技術館の展示そのものが見やすく体験しやすいという意見も得られる一方、体験型ではなく目で見えるタイプの展示の場合

にはハンドヘルドタイプの方が見てまわりやすいという意見も得られた。また、ハンドヘルドタイプについて、グループでナビゲーションを体験するときには情報を共有してコミュニケーションを取れるという意見は興味深いものであった。ただし、手に持つときの重量感を問題としてあげる被験者が複数見られた。

3.3.4. システム改善による評価の上昇

実験条件の変化の影響を確認するために時間軸に着目すると、実験が進んでシステムが改良されるに従って好意的な回答結果が増える傾向にあった。この傾向が特に顕著であった三次元地図と Flash コンテンツのわかりやすさ、イベント開始 10 分前の案内に関する評価の結果について各実験日ごとの平均値を図 9 に示す。

3.3.5. その他の意見

その他、機能やサービスに関する要望も被験者から挙げられた。代表的なものは「お勧めコースではなく、行き先を自分で入力したい」「時間が決められたイベントのお知らせ機能は便利なので充実してほしい」「自分自身の位置よりも子供たちの位置を把握したい」といったものであった。当初の仕様を決定する段階で、可能な限りユーザによる操作を少なくすることを目標としたため、行き先入力などの機能は排除していたが、機構的には実現可能であるため、今後導入することが望ましいと考えられる。

4. 今後の展望とまとめ

今回のような規模の屋内三次元ナビゲーションシステム実験は過去にもあまり例がないため、実施したこと自体に大きな意味があったと言える。さらに、被験者から得られたさまざまなフィードバックや運用経験は非常に価値の高いものであり、今後の研究開発の指針に大きな影響を与えるものと思われる。最後に考察や今後の課題についていくつか述べ、本報告の結びとする。

実運用に近い規模での実験を行うに当たっては、システム全体の安定化や測位系、特にマップマッチングや RFID などの位置補正手段の改良、コンテンツの出現制御や出現ルールの見直しなど残された課題は多かった。今回のパイロットスタディで得られた経験や被験者からのフィードバックを元に改善を進めた上での追試が今後の課題として上げられる。また、重量や装置の頑健性の問題、ユーザインタフェースのユーザビリティ、HMD の使用年齢の問題など、年齢層ごとの検討課題が多くあることも本実験を通じて再確認することができた。今後は年齢を問わない、もしくは年齢に応じたシステムやインタフェースの設計を考慮する必要がある。

アンケート結果の統計解析、試行中の被験者の会話の分析、グループインタビュー分析なども今度の課題として残されている。これらを効率よく実施するために、現在、図 10 に示すログの可視化ツールを開発している。このツールでは、被験者 ID・時間・場所などをクエリとして、被験者の軌跡・音声・付き添い装着カメラで撮影された被験者映像を検索・表示できる。検索結果の同期再生により三次元地図上の位置・方位を把握しながら音声や映像を視聴でき、より臨場感の高い環境での分析・解析作業を実現できることが期待される。

謝辞

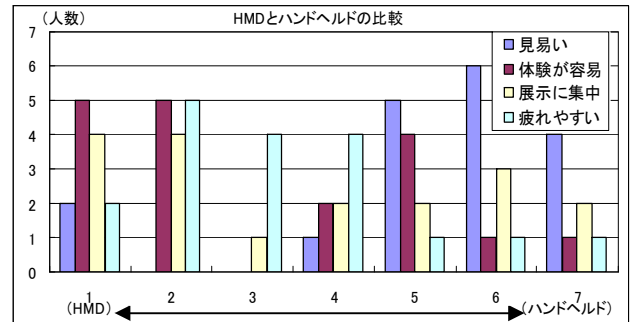


図 8 HMD とハンドヘルドの比較に関するアンケート結果

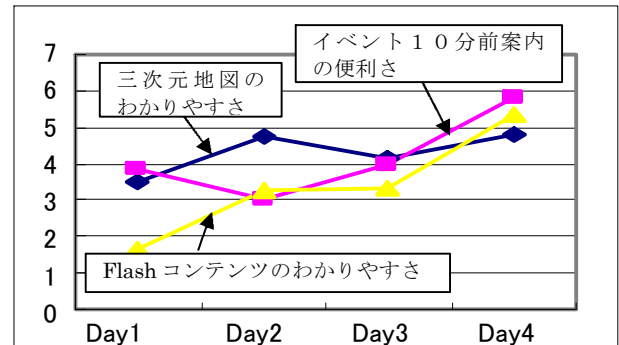


図 9 システムの改善に伴う評価の上昇



図 10 ログ可視化ツール。コンテンツ配置ツールも同様のユーザインタフェースで実現されている。

本実験の一部は競輪の補助金の支援を受け、科学技術館の協力のもと実施された。

参考文献

- [1] “Google Earth,” <http://earth.google.com/>
- [2] M. Kouroggi and T. Kurata. Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera. In Proc. ISMAR2003, pp. 103–112, 2003.
- [3] M. Kouroggi, N. Sakata, T. Okuma, and T. Kurata. Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/RFID/Self-contained Sensor System. In Proc. ICAT2006, pp.1310-1321
- [4] “PlaceEngine”, <http://www.placeengine.com/>