

携帯電話向け三次元仮想都市サービスの応用と評価

垂水 浩幸^{†1,†2} 西原 香須美^{†1}, 堀 敬俊^{†1},
 松原 和也^{†3} 水久保 勇記^{†3}
 西本 昇司^{†3} 楠 房子^{†4}

GPSを装備した市販の携帯電話を対象とした、位置に依存する情報コンテンツサービスの1つの試みとして、現実空間に重畳する三次元仮想空間を提供するサービスについて研究している。このサービスでは、ユーザは携帯電話を利用してその位置に重畳されている仮想世界を閲覧することができる。仮想世界は仮想建築物と仮想生物の2種類のオブジェクトの集合であり、このうち仮想生物はユーザからの問いかけに反応するなどのインタラクション機能を有している。本論文では、仮想生物の機能を利用したストーリー性のあるコンテンツ(桃太郎)による観光支援サービスについて、被験者20名による評価実験の結果を示す。被験者はこのサービスに強い興味を示し、コンテンツのエンタテインメント性が高いことと観光支援への期待の高さが示された。一方、GPS誤差については課題があったため、別途補正方法について検討と評価実験を行った。その結果、このサービスにおいてはユーザの移動を特定の経路に制限して、その経路に位置のマッチングを行うといった、強い補正が必要であることが分かった。これに加えて安全面などもあわせて考慮すると、本サービスは移動経路が限られ、歩行者の安全が保たれる公園などの場所に適しているといえる。

An Application and Evaluation of 3D Virtual City Service for Mobile Phones

HIROYUKI TARUMI,^{†1,†2} KASUMI NISHIHARA,^{†1} HIROTOSHI HORI,^{†1},
 KAZUYA MATSUBARA,^{†3} YUUKI MIZUKUBO,^{†3} SHOUJI NISHIMOTO^{†3}
 and FUSAKO KUSUNOKI^{†4}

Our research is on an information service for current GPS-phones, providing 3D virtual spaces overlaid on the real world. With this service, users can visit a virtual space corresponding to the real location. A virtual world is a set of virtual buildings and virtual creatures. A virtual creature can interact with users. In this paper, we show result of evaluation sessions recruiting 20 subjects, where we offered a sightseeing-support service with story-based RPG-like contents utilizing the interactive feature of virtual creature. Subjects were highly interested in the contents so that we can say this service well entertains users. Also we can anticipate its usefulness as a sightseeing-support service. However, problematic GPS errors still remain. We have designed some compensation methods and evaluated them. As a result, only a path-matching method was shown to be effective, which is the strongest compensation. Considering this fact and safety for pedestrians, this service is appropriate to such places as parks where the movement of visitors is restricted to some paths and their safety is kept.

†1 香川大学工学部

Faculty of Engineering, Kagawa University

†2 株式会社スペースタグ

SpaceTag, Inc.

†3 香川大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kagawa University

†4 多摩美術大学

Tama Art University

現在、東洋テックス株式会社

Presently with Toyotex Inc.

現在、株式会社中電シーティーアイ

Presently with Chuden CTI Co., Ltd.

1. 序 論

1.1 研究背景

携帯電話端末は、現代における最も普及したユビキタス情報端末といえることができる。携帯電話端末を持って移動するユーザに対し、その場その場に応じた位置依存情報を提供しようとするユビキタス情報サービスの試みが、多くなされている。

これらのサービスにおいて、各端末は自位置を認識する仕組みを持たなければならないが、その方式には

いくつかのアプローチがある．我々は、特に普及性の観点から GPS による方式に注目している．その理由は以下のとおりである．

1) 日本ではすでに一部通信事業者の端末にビルトインされて 1,000 万台以上販売されているうえ、非常通報の際の位置同定の観点から、2007 年 4 月以降の第三代携帯電話にはすべて搭載する方針（総務省）となっている．

2) サービスを展開する現場の環境に新たな設備（無線タグなど）を設置・保守してゆく必要がないので、設置・管理・運用のコストがきわめて低く、全国でほぼ一律にサービスを開始できる．

反面、誤差が大きい、屋内で使用できないなどの欠点があるが、我々はこれらの欠点を補うための他の方式との併用を否定しない．そのうえで、GPS 方式のみで携帯電話端末を利用したサービスが可能な範囲を模索するのが我々の研究活動の目的である．

1.2 三次元仮想都市

GPS 付き携帯電話向けの情報サービスとして、我々は現在「三次元仮想都市」プロジェクトに取り組んでいる．三次元仮想都市は、三次元形状を持つ仮想のオブジェクトを実世界に仮想的に配置したものである．仮想オブジェクトは緯度・経度属性を持ち、仮想オブジェクトは位置によって実世界に対応づけられる．携帯電話を持つユーザは、その位置からある方向（たとえば東）を見た場合の仮想の風景を、携帯電話の画面上で閲覧することができる．すなわち、ユーザは実世界を移動しながら、同時にそこにある仮想世界（仮想都市）を訪問し、閲覧することになる．

仮想オブジェクトには、仮想建造物と仮想生物の 2 種類がある．仮想建造物は静的なオブジェクトであり、主に建物などを表現したものである．仮想生物は、刺激に対して反応する動的なオブジェクトである．たとえばユーザが話しかけるとそれに反応して言葉を返す．

すなわち 1 つの仮想世界は複数の仮想建造物と仮想生物の集合によって構成される．この仮想世界は、複数のユーザによって共有される．これはあたかもオンラインマルチプレーヤ型の RPG (Online Multi-Player Role Playing Game) の仮想世界が、実世界上に展開されているようなものといってもよい．この仮想世界を介して複数ユーザ間のコミュニティ支援、コラボレーション支援を含むさまざまな応用が可能になると考えている．

1.3 研究経過

三次元仮想都市は、SpaceTag^{1),2)} による位置限定型情報発信を、発信する情報を三次元化することによ

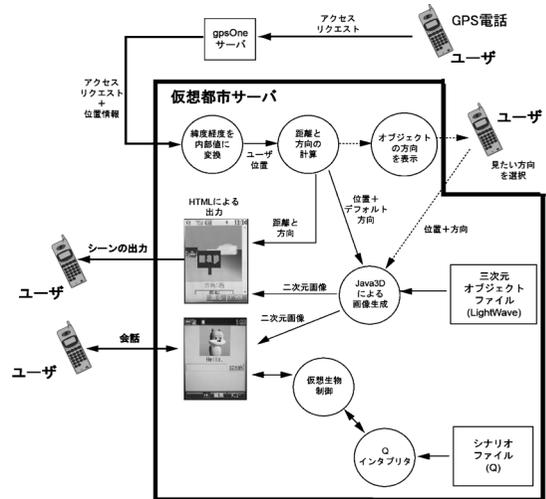


図 1 ブラウザ版システムの構成

Fig. 1 System configuration (browser version).

り発展させたものである³⁾．実装には、携帯電話側に特別なソフトを必要とせずブラウザだけで利用可能なブラウザ版と、携帯電話側に Brew アプリケーションを利用する Brew 版の 2 種類が現在存在する^{4),5)}．ブラウザ版は、画面の更新をユーザの操作によって行う必要があるほか、電子コンパスが携帯電話に搭載されている場合でもそれを利用できないので、ユーザが自分で方向を判断しなければならないという欠点がある．これに対し、Brew 版ではこれらの欠点は改善されるが、利用可能な端末の種類が少ない．今回報告する実験を実施した時点では Brew 版は試作段階であったため、本論文の評価実験はブラウザ版により行った．

仮想生物の制御には Q 言語⁶⁾ を用いている．Q 言語は、Scheme をベースとし、エージェントの行動シナリオをルールによって記述するための言語である．すなわち仮想生物は、Q 言語で書かれたシナリオに沿って動作する．Q 言語処理系と仮想都市サーバシステムとの結合は Java Servlet による．その実装の詳細は別論文に示している^{7),8)}．

ブラウザ版のシステム構成を図 1 に示す．ユーザが GPS 電話でサーバにアクセスすると、gpsOne サーバにより位置情報がアクセスリクエストメッセージに付加される．仮想都市サーバは、ユーザの位置と各仮想オブジェクトの相対距離と方向を計算する．方向については、ユーザの見る方向はデフォルト方向（現在、最も近いオブジェクトの存在する方向を採用）を利用する場合と、ユーザが陽に方向を指定する場合がある．これらの情報に基づき、サーバは Java3D パッケージを用いてユーザが閲覧する方向の風景を二次元画像と

して再現する。その際、LightWave 3D で作成済みのオブジェクト三次元形状データが参照される。仮想生物とのインタラクションがない場合は、風景画像と各オブジェクトまでの距離・方向データ（テキスト）が表示される。仮想生物とのインタラクションがある場合は、仮想生物画像（これも Java3D で生成したもの）と、会話用ダイアログが表示される。仮想生物の制御部分は Q インタプリタと連携している。

三次元仮想都市サービスについては、これまでにブラウザ版について簡単な評価実験を行っている⁵⁾。この評価実験の段階では、まだ仮想生物は動作していなかったが、それでも、被験者が仮想都市コンテンツに強い興味を持ったことが示された。一方で、画面の更新の手間や方位が分かりにくいことが課題となったが、これらは Brew 版により解決可能である。また GPS 誤差については課題として残された。

1.4 本論文の内容

前述の評価実験では、仮想生物が稼働しておらず、仮想世界は静的なものであった。本論文では、仮想生物の導入によりインタラクティブな反応をする仮想世界を構成し、そこにストーリー性のあるコンテンツを展開したものについての評価を述べる。特に今回は実用を意識して観光支援コンテンツを構成し評価したので、観光支援の可能性についても言及する。

また、以前より課題となっていた位置誤差対策についても解決案の提示と評価実験を行ったのでそれについても述べる。

2. 関連研究

移動端末向けの仮想情報サービスには、ウェアラブル端末を用いるもの^{9)~12)}、さらに大きな端末を用いるもの¹³⁾、あるいはノート PC や PDA を用いるもの^{12),14),15)}があるが、携帯電話端末のみを用いるものは他に例がない。我々は普及性の観点からこのことは大変重要であると考えている。一般の被験者に親しみやすい携帯電話を用いたシステム構築と評価により、今後の普及可能性に関してより参考になる結果が得られると期待できる。

技術的に見ると、携帯電話の場合、画面の広さやキーの操作性などのユーザインタフェース面や、GPS の技術が特定のものである点などにおいて、PC や PDA とは異なる特徴がある。この点からも、携帯電話によるシステム構築と評価を新たに行うことには従来研究にはない価値があると考えている。

次に、移動端末を対象とした観光支援には、京都 e! 観光客向け歩行者ナビゲーション¹⁶⁾、P-Tour^{17),18)}、鎌

倉散策サービス¹⁹⁾、ランカスター大学の GUIDES²⁰⁾などの試行事例があるが、いずれもメインの端末は PDA である。P-Tour では携帯電話も用いられているが、GPS の用途は地図ベースのナビゲーションであり、本研究のように仮想生物も用いて、ストーリー性のある三次元仮想コンテンツを利用したものではない。このことは他の事例でも同様である。

3. 桃太郎シナリオによる観光支援評価実験

3.1 背景

インタラクティブな仮想世界によるストーリー性を生かすという観点から、我々は今回高松市の女木島を観光支援対象として選択した。女木島は桃太郎の「鬼が島」として知られており、島には実際に鬼（海賊）が住んでいたとされる人工洞窟などの観光資源がある。日本人なら誰でも知っている桃太郎のストーリーを仮想世界で体験できるようにすることで、楽しめるコンテンツを構成できると考えた。

女木島は高松港から直線距離で 4km、フェリーで 20 分の距離にある。夏場を除きフェリーの本数は少なく、鬼が島の知名度の高さにもかかわらず、女木島を訪れる人はそれほど多くない。一方、いったん島に渡った訪問者は復路のフェリーを待つ間に間違いなく観光活動を行う。そこで今回は女木島ではなく高松港で仮想都市コンテンツを展開し、そこで女木島に関連する経験や情報を提供することにより、観光客の島への訪問を促進することを目的とした。

このような観光支援コンテンツは「体験型」と呼ぶことができる。体験型は本研究のストーリー性のあるコンテンツを生かすうえでは好都合である。しかし、一般的な観光支援のあり方は、その場にある観光資源についての説明を行う「案内型」であることが多い。今回、案内型のコンテンツにしなかったのは、ストーリー性を生かすことに加え、GPS 誤差に強くする（案内型であれば、案内対象と位置ずれが生じるのは望ましくない）という意味もあった。観光支援目的の案内型コンテンツについては、過去に非三次元コンテンツを用いた評価実験²¹⁾を行っているが、三次元仮想都市コンテンツを用いた案内型観光支援については、現在再度取り組んでいるので別途報告したい。

3.2 コンテンツ内容と予備実験

今回のコンテンツは、ユーザ自身が桃太郎となって鬼退治の物語を体験するものである。桃太郎、犬、猿、

評価実験の被験者を島に運んで長時間拘束することを避けるという意図もあった。



図2 LightWave 3D でデザインした桃太郎, 犬, 猿, 雉, 鬼
Fig.2 Characters appearing in the tale of Momotaro, designed with LightWave 3D.

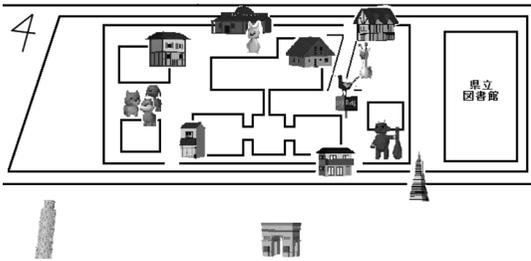


図3 予備実験におけるオブジェクトの配置

Fig.3 Arrangement of objects in preparatory sessions.

雉, 鬼などのキャラクタは三次元形状データとして, LightWave 3D を用いて作成した(図2)。

ストーリーは, ユーザ(桃太郎)が村の村長から鬼退治を依頼される場面から始まる。桃太郎は村長からきびだんごを受け取り, 犬, 猿, 雉を仮想空間内で探し出して会話し, きびだんごを与えて家来とする。家来が揃うと桃太郎は鬼と戦うことができる。鬼との戦いは, 今回はクイズ合戦とし, 鬼の出したクイズに全問正解すれば桃太郎の勝ち, それ以外は鬼の勝ちとなるようにした。なお, 仮想空間内にはストーリーとは直接関係ない仮想の建物や生物も存在するが, 仮想生物はストーリー進行やクイズのヒントとなるような会話をする。

このストーリーに基づくコンテンツについて, 2004年10月31日(日)の香川大学工学部オープンキャンパスの機会を利用して, 予備実験を行った。図3のように香川大学工学部キャンパス内に仮想建造物10軒, 仮想生物8匹を配置した(猿は図中に示されていないが, 中央上部の横長の建物の中に潜んでいる)。オープンキャンパスへの来訪者に携帯電話を貸し出し, 体験してもらった。被験者には携帯電話のほかに, 村長からの手紙(鬼退治依頼文)と, ゲームの起点である村長の家(図中右上の赤い屋根の家)のみ表示された地図を渡した。

この版のユーザインタフェースを図4に示す。左上の写真で分かるように, ユーザには8方向のうち1つの方向を選択して風景を提示する。この場合は「南の風景」である。方向は次の目的地に誘導するように,

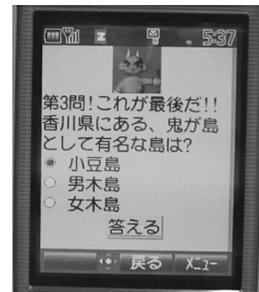
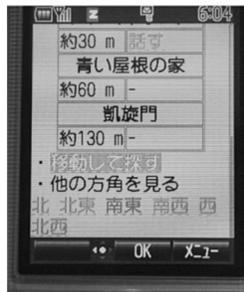


図4 予備実験のユーザインタフェース(右下は鬼とのクイズ対決の画面)

Fig.4 User interface used in preparatory sessions.

たとえば犬を探すフェーズであれば犬のいる方向が選択される。それ以外の方向の風景を見たければ図左下の写真のように別方向を選択することができる。また, 右上の写真で分かるように各オブジェクトとの距離がメートルで表示される。仮想生物と30m以内に近付いた場合, 会話が可能になる。30mの設定は会話距離としては大きい, GPS誤差があるので小さい設定だと仮想生物に近付くことができず, 会話が成立しないためである。

オープンキャンパス当日に9組(1組は1名以上4名以下のグループ), また別の日に他大学学生の訪問を受けた機会に4組に体験してもらい, 体験後に質問紙調査および聞き取り調査を行った。歩行距離は約1kmであり, 体験時間は平均して30分弱であった。調査の詳細は本論文では省略するが, 以下の結果が得られた。

- ゲームは楽しいという好意的な評価がほとんどである。特に, 実際に移動しながらゲームができる点の評価が高かった。
- GPS誤差の問題による使いにくさが指摘された。特に工学部の建物の近くでは100mの誤差が出るケースもあった。
- 30mの長い距離で仮想生物と会話ができるという設定に違和感がある。
- ユーザはストーリー展開を急ぐあまり, 目的外の



図 5 第三者視点による表示
Fig. 5 3rd-person view.

仮想生物（今回はウサギやキリンも配置した）に気づかなかつたり、会話をしなかつたりする。実際はこれらの生物も問題のヒントとなる情報を提供する。

- 地図だけでは方位の判断がしにくいというユーザが多かった。
- 仮想オブジェクトがただ画面に表示されているだけという評価であり、その場に仮想オブジェクトが存在するという現実感や、ユーザが仮想世界に入り込む没入感のようなものは得られなかった。このため、予備実験後、以下の改良を行った。
- ユーザと仮想生物が会話できる距離以内に近付いた場合、距離表示を行わない。
- ユーザがストーリー展開だけを一直線に追わないようにするため、ユーザに見せる風景の方向は「最も近い仮想オブジェクトのある方向」とする。
- ユーザ（桃太郎）と家来の動物を画面内に表示する。すなわち、画面を主観視点ではなく第三者視点に改める。これによってユーザの没入感を強化する（図 5）。

3.3 高松港における評価実験

予備実験で判明した課題を上述のように修正し、実際に女木島行きフェリーの出ている高松港（通称、サンポート高松）に仮想世界コンテンツを展開しての評価実験を行った。実験は 2005 年 1 月 15 日（土）から 29 日（土）までの間、休日を中心に実施した。被験者は、学内において被験者のアルバイト募集掲示を行い、交通費と時給 800 円の条件で男性 6 人女性 14 人の計 20 人を確保した。学部別では、教育学部、経済学部がそれぞれ 6 人ずつ、工学部、農学部がそれぞれ 4 人ずつであった。被験者には 1 人 1 台の携帯電話と方位磁石、地図を貸与して体験を依頼した。体験後に質問紙調査および聞き取り調査を実施した。

このときの仮想オブジェクトの配置を図 6 に示す。仮想建造物が 7 軒、仮想生物が 11 匹存在する（仮想生物のうち、猿は地図中央の横長の建物の中に潜んで

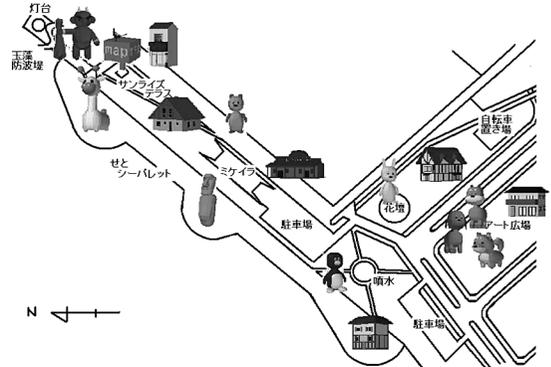


図 6 高松港におけるオブジェクト配置図
Fig. 6 Arrangement of objects at Sunport Takamatsu for evaluation sessions.



図 7 ゴール地点から見た女木島
Fig. 7 The Island of Ogre, viewing from the goal of the game.

いる）。今回、仮想生物には「モアイ像」が含まれているが、これはモアイ像が女木島に 1 体存在しているためである。なお、女木島は地図から左の方向にあり、実際の距離は 4km 程度であるが、感覚的には近くに感じられる位置にある（図 7）。なお、被験者に渡す地図には出発地点の「村長の家」以外の仮想オブジェクトは示されていない。

今回、鬼とのクイズの内容は女木島に関する内容のものとした。鬼は、正解数に応じて話しかけてきた後、鬼ヶ島（女木島）で再び戦うことを告げて逃げ帰っていく。最後に鬼と戦った場所（玉藻防波堤付近）から北の方角に女木島が見えることを説明して、ゲームが終了する。また、家来以外の仮想生物の話す内容は前回と同様で鬼とのクイズ対決のヒントのほか、女木島の観光情報も加える。その際、ユーザがよりイメージしやすいように女木島の実際の画像を使用する。

実験の様子を図 8 に示す。なお、ゲーム時間は、最



図 8 実験の様子

Fig. 8 Evaluation sessions.

表 1 質問紙調査結果 (抜粋)

Table 1 Questionnaire and scores (excerpt).

質問番号	質問	平均スコア
1	ゲームを体験して、楽しかったですか？	4.60
2	自分の移動によって仮想世界を歩いているように感じましたか？	3.95
3	建物やキャラクターがそこに存在するよ うに感じましたか？	3.40
4	同じ場所で、様々な方角を見ましたか？	3.70
5	GPS の誤差があると感じましたか？	3.40
6	今日の実験を通して、女木島への興味を持 ちましたか？	4.10
7	このゲームに出てきた観光地を訪れてみ たいと思いますか？	4.15
8	このように仮想世界と現実世界を重ね合 わせて観光案内することは効果的だと思 いますか？	4.40

短 25 分、最長 58 分で、平均が約 35 分であり、その間に歩いた距離は約 1.5 km であった。

3.4 評 価

質問紙調査の結果の一部を表 1 に示す。評価は「非常にそう思う」を 5 点、「どちらでもない」を 3 点、「まったく思わない」を 1 点とする 5 段階評価である。

質問番号 1 から仮想世界コンテンツのエンタテインメント性の高さがうかがえる。特に、GPS 機能を利用して実際に移動しながら目的地を探ところや、仮想都市の体験が、新鮮で楽しいという意見が多く聞かれた。被験者の様子を撮影したビデオにおいても、他の被験者との競争を強く意識する動作（振り向き）や、ゴール時に女木島がそこにあることを知り、感動したという発話（「かんだう〜」）などもとらえられてお

り、これらの証拠もエンタテインメント性の高さを裏付けるものといえるだろう。

質問番号 2, 3 の没入感・現実感については、中央値よりやや良い評価となった。これは予備実験における現実感の評価（5 段階評価換算で 2.38）よりも改善されている。その理由が第三者視点の導入であると推定しているが、断定はできない。一方で、効果音や仮想世界に背景を加えることでより現実感が高まるとのコメントも得られたので今後検討したい。

質問番号 4 は、被験者がストーリー上の目的以外の仮想都市コンテンツにどれだけアクセスしたかを評価するものであるが、これは予備実験（5 段階評価換算で 3.46）とあまり変化がなかった。桃太郎シナリオの場合ストーリーが明確すぎることで、同時に実験している他の被験者とゴールの早さを競おうとする傾向が一部被験者に見られたことなども影響していると思われる。

質問番号 5 で示されるように GPS 誤差については依然として問題がある。高松港は衛星電波を遮蔽・反射するような構造物がほとんどなく、誤差は比較的小さい。それでも少しの移動で目的地までの距離や方位が大きく変化したり、ゲームの中ではかなり移動したことになっていたりしたことから、GPS の誤差を感じたという意見があった。誤差対策については次章で述べる。

質問番号 6, 7, 8 では観光支援コンテンツとしての有効性を尋ねたが、これについては好評価が得られたといえる。

ところで、これらの学生被験者とは別に、県庁の観光行政担当者 2 名にもこのコンテンツを体験していただいたところ、「ゲームとしての面白さは高く評価できるが、一般的な意味での観光支援とはちょっと違うのではないか」とのコメントが得られた。その大きな原因は、今回のコンテンツが案内型ではなく体験型であり、観光対象である女木島に関するコンテンツを対岸の高松港で展開した結果、仮想と現実の間の関連づけが希薄であったことであると思われる。これを改善するには、まず誤差対策を行い、現実と仮想との関連づけをやすくすること、また仮想世界のコンテンツではなく現実の世界にユーザの目を向かせる工夫が必要であるといえる。

一方、ユーザが携帯電話に表示されるコンテンツに注意を集中しすぎた場合、交通安全上の問題が懸念さ

後日位置測定値のバラツキを確認したところ、標準偏差値が緯度・経度値ともに約 10 m であった。

れる。高松港では自動車の交通量が少なく、実験者がつねに安全に気を配っていたので問題はなかったが、実用に供する場合は安全性に対する注意が必要である。

4. 誤差回避に関する評価実験

これまでの評価実験において、GPS 誤差はつねに問題になってきた。特に三次元仮想都市アプリケーションの場合、地図ベースのインタフェースを持つ歩行者ナビゲーションなどと異なり、たとえ 10 m の誤差であっても閲覧できる風景画像に大きな差が出てしまうことから、誤差に敏感であるといえる。

誤差を改善するには、より精度の高い GPS 機器を用いたり、GPS 以外の測位技術（無線タグなど）を用いることも考えられる。たとえば、ノッティンガム大学の CYSMN では、ディファレンシャル GPS を使用する、高度の低い衛星を無視する、などの工夫を行っている²²⁾。

しかし、本研究プロジェクトでは普及している携帯電話以外にコストのかかる機器・デバイスを使用しないという前提がある。もちろん改造を加えることも想定していない。そこで、ソフトウェア的に誤差を吸収する手段について検討した。ただし、時系列的により多くの位置データ・方向データを使用できるようにするため、連続的に自律測位が可能で、電子コンパスを備えた Brew 対応端末を対象として考える。

ソフトウェア的に誤差を吸収する方法として、以下の 5 つを検討した。

1. 過去数回の測位値の移動平均をとる（略号 [平]）。
2. 小刻みなブレを防ぐため、閾値より小さい移動は無視する（略号 [小]）。
3. 大きなブレを防ぐため、一般的な歩行速度よりも大きな移動は、歩行速度で移動可能な範囲に丸める（略号 [大]）。
4. ユーザが携帯電話を正面に向けて移動していることを仮定し、電子コンパスの指している方位が移動ベクトルの方向となるように修正する（略号 [方]）。
5. ユーザが所定の経路上を移動していることを仮定し、測位された点から最も近い経路上の点に修正する（略号 [経]）。カーナビゲーションシステムのマップマッチング手法に相当）。

これらの修正アルゴリズムを評価するため、あらかじめ実測しておいた測位値データの系列を入力とし、アルゴリズム適用後の表示画面ムービーを出力するシミュレータを作成した。

今回、各アルゴリズムのパラメータは、次のように

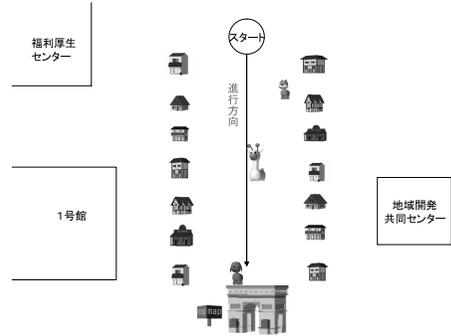


図 9 シミュレーション対象の仮想空間（名前の示された建物は実在）

Fig.9 Map of virtual world used in the simulation.

した。

- [平] においては過去 6 回の測位値から緯度・経度のそれぞれ最大・最小値を除いたものの平均をとる。方位値は測定結果が比較的安定しているため、6 回すべての平均をとる。
- [小] においては、5 m 未満の移動を無視する。
- [大] においては歩行速度を毎秒 1.1 m（時速 3.96 km）とする。
- [経] においては経路は直線とする。
- [平] 以外では方位値は修正しない。また、いずれのアルゴリズムを用いた場合でも、方位値は 30 度単位に量子化して画面を安定させる。

入力データは、大学キャンパス内の約 140 m の距離を直線的にほぼ定速で歩行しながら Brew 対応携帯電話（ソニー製 W21S）を用いて 6 秒ごとに 24 回取得した緯度、経度、方位のデータ系列を使用した。そこに図 9 のように建物が整然と並んだ仮想空間が構築されているものとし、画面上に見える風景をシミュレータから出力した。なお今回は誤差修正の効果を見るのが目的であることから、携帯電話サイズの画面ではなく、よりはっきりと画面が確認できるパソコン上のフルサイズ画面を出力した。シミュレータは各アルゴリズムを単独ではなく、複数組み合わせで適用することも可能となっている。

学生被験者 10 名に、補正済みの画面 12 通りを見てもらい、それぞれについて主観評価を行ってもらった。被験者には、図 9 のスタート地点から矢印の方向にまっすぐ進んだログデータを使っていること、最初は補正していない生のデータを見せて、それ以降は補正したデータを見せること、GPS には誤差があることをあらかじめ通知してある。被験者は画面を見て、違和感があるを 1、違和感がないを 5 とする 5 段階評価を行った。

表 2 誤差補正アルゴリズム評価結果 ($N = 10$)
Table 2 Evaluation of location error compensation algorithms.

アルゴリズム	評価平均 (5点満点)
[平]	1.7
[小]	1.6
[大]	1.8
[方]	2.3
[経]	2.8
[小]+[大]	1.1
[小]+[方]	1.9
[小]+[経]	3.3
[大]+[方]	1.2
[大]+[経]	2.9
[小]+[大]+[方]	2.1
[小]+[大]+[経]	3.2

その結果を表 2 に示す。評価が上位のものは [小] と [経] の組合せ (スコア 3.3), [小] と [大] と [経] の組合せ (スコア 3.2), [大] と [経] の組合せ (スコア 2.9) であった。また, [経] を含むすべての補正結果のスコアの平均は 3.05 となり, [経] を含まないすべての補正結果のスコアの平均 1.71, 次点の評価となった [小] を含むすべての評価結果の平均 2.20 (アルゴリズム 5 との組合せを含む) と明らかな差が見られた。

また単独アルゴリズムの評価では, [経] と [平], [小], [大] の評価の間に有意差 ($p < 0.03$) があった。

今回の実験は被験者が少なかったという問題があるが, この実験から, [経], すなわち歩行者が特定の経路を歩くことを前提とし, その経路に測位値をマッピングする手法が有効であることが予想できる。一方, それでもスコアは 3 より少し良い程度であり, 完全に違和感を除去するには至らなかった。

違和感の原因について被験者に自由に意見を書いてもらったところ, 左右, 前後の位置ずれが目立ち, 一定速度で直進している感じがしないという趣旨の意見が多かった。我々実験者の主観でもそのように感じる。したがって左右のずれを強制的に排除する [経] アルゴリズムが有効であることはうなずける。

なお, 今回の実験では PC の全画面を利用し, 携帯電話サイズの画面ではなかった。携帯電話サイズの画面の場合, 視野が狭くなるため, より左右のずれの悪影響が出ることが経験上予測される。このため [経] アルゴリズムの優位性がより明確になると予想される。

他の研究事例を見ると, CYSMN²²⁾ では, 池や建物内など, ユーザが GPS を用いながら歩行するはずのない場所を除外するという補正も行っている。今回の結果を見る限り, 市販携帯電話の GPS のみを用いる場合は, このような「一部の領域を除外する」程度の補正では不十分であり, 特定の経路にマッピングするといった強い補正が必要である。

歩行者が特定の経路を歩くことを前提とするならば, 歩行者が自由に移動できる広い公園のようなところではなく, 立ち入りできる場所が限られ, 順路の決まった観光施設などの現場を対象とすることが望ましいといえる。また, 仮想世界をオーサリングするツールにおいて, 歩行者の移動可能な経路を定義する機能が必要になる。

5. 結 論

今回述べた実験結果から, 市販携帯電話を対象とする三次元仮想都市コンテンツについて, 以下のことがいえる。

- エンタテインメント性が高く, 利用者の興味を強く惹くものである。
- ストーリー性を持つ体験型のコンテンツにより, ユーザに情報を与えることができる。これにより, たとえば観光目的地についての興味を喚起するなどの応用可能性が考えられる。
- 安全性および GPS 誤差対策の観点から, 車の往来がほとんどなく, 歩行者の立ち入れる場所に制限があって歩行経路が限られ, かつ周囲に高いビルなどがいない現場への適用が最も望ましい。

今後の課題として, 自律測位, 自律更新の可能な Brew 版のシステムによる本格的な構築と評価, 案内型の観光支援コンテンツの本格的な構築と評価が残されている。

また今回の実験の範囲では仮想生物には会話以外の機能がなかったが, 今後は仮想生物の移動などの種々の動作を採り入れたコンテンツについても構築し, 評価する予定である。

さらに今回は各ユーザは単独行動をとることが前提となっており, ユーザ間の干渉がないコンテンツで評価したが, 仮想世界が共有されている以上ユーザ間の相互干渉が起こりうる。たとえば, 我々のこれまでの経験では, 仮想生物を媒介として面識のないユーザ同士が会話を始める事例なども観察されている。すなわち仮想世界の構築の仕方によってはユーザのコミュニティ活動に貢献できる可能性がある。今後は, そのようなコンテンツデザインについても検討していきたい。

謝辞 本研究は、財団法人かがわ産業支援財団の産学官共同研究開発事業「仮想三次元都市の実空間への展開」の支援を受けている。実験評価にご協力いただいた香川県観光交流局観光振興課および社団法人香川観光協会の皆様に感謝する。有益なコメントをいただいた、多摩美術大学の原田泰先生に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Tarumi, H., Morishita, K., Nakao, M. and Kambayashi, Y.: SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application, *Proc. International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS '99)*, Vol.1, pp.207–212, IEEE (1999).
- 2) 森下 健, 中尾 恵, 垂水浩幸, 上林弥彦: 空間限定オブジェクトシステム: SpaceTag プロトタイプシステムの設計と実装, *情報処理学会論文誌*, Vol.41, No.10, pp.2689–2697 (2000).
- 3) 多田有希, 香川考司, 垂水浩幸: SpaceTag の 3 次元化を目的としたサーバサイド画像生成システム, *情報処理学会第 47 回グループウェアとネットワークサービス研究会*, GN-47-6 (2003).
- 4) Tarumi, H., Matsubara, K. and Yano, M.: Implementations and Evaluations of Location-based Virtual City System for Mobile Phones, *Proc. 2004 IEEE Global Telecommunications Conference Workshops (Workshop on Network Issues in Multimedia Entertainment)*, pp.544–547, IEEE (2004).
- 5) Tarumi, H., Tokuda, S., Yasui, T., Matsubara, K. and Kusunoki, F.: Design and Evaluation of a Location-Based Virtual City System for Mobile Phones, *Proc. 2005 Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2005)*, pp.222–228, IEEE (2005).
- 6) Ishida, T.: Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents, *IEEE Computer*, Vol.35, No.11, pp.42–47 (2002).
- 7) 垂水浩幸, 松原和也, 守田 友, 楠 房子: 実世界に重畳される仮想都市とそのエンタテインメントへの応用, *エンタテインメントコンピューティング 2004 論文集*, pp.13–18, 情報処理学会 (2004).
- 8) Matsubara, K., Mizukubo, Y., Morita, T., Tarumi, H. and Kusunoki, F.: An Agent Control Mechanism in Virtual Worlds for Mobile Users, *Proc. 2005 International Conference on Active Media Technology*, IEEE (2005).
- 9) Cheek, A.D., et al.: Game-City: A Ubiquitous Large Area Multi-Interface Mixed Reality Game Space for Wearable Computers, *Proc. 6th International Symposium on Wearable Computers (ISWC '02)*, IEEE (2002).
- 10) Flintham, M., et al.: Where On-Line Meets On-The-Streets: Experiences With Mobile Mixed Reality Games, *Proc. CHI 2003*, pp.569–576, ACM (2003).
- 11) Tenmoku, R., Kanbara, M. and Yokoya, M.: A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer, *Proc. 7th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '03)*, IEEE (2003).
- 12) Vlahakis, V., et al.: Personalized Augmented Reality Touring of Archaeological Sites with Wearable and Mobile Computers, *Proc. 6th International Symposium on Wearable Computers (ISWC '02)*, IEEE (2002).
- 13) Schnadelbach, H., et al.: The Augurscope: A Mixed Reality Interface for Outdoors, *Proc. CHI 2002*, pp.9–16, ACM (2002).
- 14) Izadi, S., et al.: Citywide: Supporting Interactive Digital Experiences across Physical Space, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol.6, pp.290–298, Springer-Verlag (2002).
- 15) Benford, S., et al.: Life on the Edge: Supporting Collaboration in Location-Based Experiences, *Proc. CHI 2005*, pp.721–730, ACM (2005).
- 16) 財団法人京都高度技術研究所: 地域情報基盤におけるコンテンツ配信とピアツーピア環境の構築. <http://www.astem.or.jp/proj/e-proj/03/>
- 17) 丸山敦史, 柴田直樹, 村田佳洋, 安本慶一, 伊藤実: P-Tour: 観光スケジュール作成支援とスケジュールに沿った経路案内を行うパーソナルナビゲーションシステム, *情報処理学会論文誌*, Vol.45, No.12, pp.2678–2687 (2004).
- 18) 柴田直樹: 携帯端末を用いたパーソナルナビゲーションシステム: P-Tour . <http://mimi.naist.jp/themes/P-Tour2004/P-Tour.html>
- 19) KCN コンテンツ制作運用部: eWalk モバイル実験プロジェクト鎌倉散策サービス (2003年6月12日更新). <http://www.kcn-net.org/Research/k-WalkS1.html>
- 20) Cheverst, K., et al.: Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences, *Proc. CHI 2000*, pp.17–24, ACM (2000).
- 21) 佐々木一郎, 香川考司, 垂水浩幸: SpaceTag システムの評価実験, *情報処理学会論文誌*, Vol.45, No.1, pp.164–167 (2004).
- 22) Benford, S., et al.: Coping with Uncertainty in a Location-Based Game, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.2, No.3, pp.34–41 (2003).

(平成 17 年 6 月 1 日受付)

(平成 17 年 11 月 1 日採録)



垂水 浩幸 (正会員)

1960年生。1988年京都大学大学院工学研究科博士後期課程情報工学専攻修了。同年日本電気(株)入社。1997年より京都大学助教授(大学院工学研究科, 情報学研究科)。2001年より香川大学工学部教授。2002年(株)スペースタグ取締役を兼業。モバイル情報サービス, グループウェア, ネットワークコミュニティ, ヒューマンインタフェース, ソフトウェア工学等に興味を持つ。日本ソフトウェア科学会, ヒューマンインタフェース学会, プロジェクトマネジメント学会, ビジネスモデル学会, 情報ネットワーク法学会, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, ACM, IEEE-CS 各会員。工学博士。



水久保勇記

1982年生。2004年3月香川大学工学部信頼性情報システム工学科卒業。現在, 香川大学大学院工学研究科信頼性情報システム工学専攻博士前期課程在学中。位置情報データベース, 仮想世界におけるデータモデル等に興味を持つ。



西本 昇司

1982年生。2005年3月香川大学工学部信頼性情報システム工学科卒業。現在, 香川大学大学院工学研究科信頼性情報システム工学専攻博士前期課程在学中。データベース, クライアントサーバシステム等に興味を持つ。



西原香須美

1983年生。2005年3月香川大学工学部信頼性情報システム工学科卒業。現在, 東洋テックス株式会社勤務。クライアントサーバシステム, 観光支援システム等に興味を持つ。



楠 房子

1997年東京大学大学院工学系研究科先端学際専攻博士課程修了。博士(工学)。同年より多摩美術大学美術学部デザイン学科講師となり, 現在, 同大学情報デザイン学科助教授。1998~2001年 JST さきがけ研究 21「情報と知」研究員兼任。HCI, 学習支援の研究に興味を持つ。



堀 敬俊

1981年生。2005年3月香川大学工学部信頼性情報システム工学科卒業。現在, 株式会社中電シーティアイ勤務。データベース, クライアントサーバシステム, UML 等に興味を持つ。



松原 和也

2004年香川大学工学部信頼性情報システム工学科卒業。現在, 香川大学大学院工学研究科信頼性情報システム工学専攻博士前期課程在学中。拡張現実感, エージェントシステム等に興味を持つ。