

ユビキタス端末における位置情報の 活用技術に関する研究

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程

沢田健介

2013年3月15日

概要

本論文では、ユビキタス端末において位置情報をより活用する技術に関して論じている。

本論文第 1 章ではユビキタス端末において位置情報を十分に活用するために必要な要件を整理し、重要な要件が位置情報の取得範囲と利用範囲の拡大であることを示し、本論文第 2 章と 3 章ではユビキタス端末を使用して位置情報の取得範囲を拡大するための技術を、本論文第 4 章ではユビキタス端末を使用して位置情報の利用範囲を拡大するための技術をそれぞれ提案している。

本論文第 2 章では、端末に搭載したセンサのセンシングによって得た歩行軌跡形状を道路トポロジ情報の中から検索することで測位用のインフラが使用できない屋内で利用可能な歩行軌跡推定方式を提案している。提案方式は実験によって面積約 56000 平米の地下街において歩行者の歩行軌跡を推定可能だったことを示し、また、提案方式の適用条件を示した。

本論文第 3 章では、日本国内において地磁気情報が受ける外乱の性質を明らかにするために高緯度地方を含む日本国内の様々な環境で磁気外乱の調査を実施した。調査の結果、磁気外乱は同一の測定地点であっても使用可否が反転するほど変化することがわかり、このような環境においては磁気外乱の存在を検出する方式を適用することが地磁気情報を有効利用する上で有益であることを導いた。そして、地磁気ベクトルの鉛直成分の分散を閾値判定することによって端末周辺に存在する磁気外乱の存在を検出し、地磁気のセンシング結果の使用可否を判定する技術を提案している。提案方式は実験によって従来方式では不可能だった時変動を含む磁気外乱と時変動を含まない磁気外乱を分離検出することが可能なことを示した。

本論文第 4 章では、スマートフォンに搭載したレーザープロジェクタと半透明スクリーンを利用する簡易な手段によって、自動車などでスマートフォンの画面と操作を共有することが可能なターミナルモードを実現する技術を提案している。提案方式は実験によって 0lux ~ 3000lux の照度環境において動作可能なことが確認された。

以上の結果から、本論文第 1 章で提示した、ユビキタス端末において位置情報の取得範囲を拡大する本論文第 2 章、第 3 章の技術と、位置情報の利用範囲を拡大する本論文第 4 章の技術のそれぞれが有効に動作することが示され、本論文で論じた手法がユビキタス端末における位置情報の利用を拡大することに寄与することが示されている。

目次

| | |
|--------------------------------|----|
| 概要 | i |
| 第 1 章 序論 | 1 |
| 1.1 研究の背景 | 1 |
| 1.1.1 社会的背景 | 1 |
| 1.1.2 ユビキタス社会とユビキタスコンピューティング技術 | 1 |
| 1.1.3 ユビキタス端末 | 3 |
| 1.1.4 位置情報とその活用 | 4 |
| 1.2 本研究の目的 | 8 |
| 1.3 本論文の構成 | 9 |
| 第 2 章 測位インフラが不要な歩行者測位技術 | 11 |
| 2.1 まえがき | 11 |
| 2.2 従来技術 | 12 |
| 2.3 提案方式 | 13 |
| 2.3.1 原理 | 13 |
| 2.3.2 方式検討 | 15 |
| 2.3.3 提案方式が正常に動作するための条件 | 20 |
| 2.4 評価実験 | 21 |
| 2.4.1 リンク長推定誤差率に関する調査 | 21 |
| 2.4.2 リンク接続角度長推定誤差に関する調査 | 23 |
| 2.4.3 調査結果まとめ | 25 |
| 2.5 提案方式の実現可能性の調査 | 25 |
| 2.5.1 調査条件 | 25 |
| 2.5.2 実現性の確認実験（形状検索手法 1） | 27 |
| 2.5.3 実現性の確認実験（形状検索手法 2） | 29 |

| | | |
|-------|--------------------|----|
| 2.5.4 | 提案方式の実現可能性の調査結果まとめ | 32 |
| 2.6 | 考察 | 32 |
| 2.6.1 | 提案方式の適用範囲について | 32 |
| 2.6.2 | 経路推定結果について | 32 |
| 2.7 | まとめ | 35 |
| 第3章 | 地磁気情報を有効利用する技術 | 37 |
| 3.1 | まえがき | 37 |
| 3.2 | 日本国内における磁気外乱の調査 | 37 |
| 3.3 | 従来方式とその課題 | 40 |
| 3.4 | 提案方式 | 44 |
| 3.5 | 提案方式の性能評価 | 46 |
| 3.5.1 | 評価方法 | 46 |
| 3.5.2 | 測定系 | 46 |
| 3.5.3 | 評価結果 | 47 |
| 3.5.4 | 考察 | 55 |
| 3.6 | まとめ | 55 |
| 第4章 | 携帯端末の画面を共有する技術 | 57 |
| 4.1 | まえがき | 57 |
| 4.2 | 従来方式 | 59 |
| 4.3 | 提案方式 | 60 |
| 4.3.1 | 半透過型スクリーン | 61 |
| 4.3.2 | スクリーンタッチ検出法 | 61 |
| 4.3.3 | スクリーンタッチ位置検出法 | 65 |
| 4.4 | 評価実験 | 68 |
| 4.4.1 | 実験条件 | 68 |
| 4.4.2 | 評価方法 | 73 |
| 4.4.3 | 評価結果 | 74 |
| 4.4.4 | 考察 | 74 |
| 4.5 | まとめ | 80 |
| 第5章 | 結論 | 81 |
| 5.1 | 本研究の成果 | 81 |

| | | |
|-----|--------------------|----|
| 5.2 | 今後の課題と展望 | 82 |
| | 謝辞 | 85 |
| | 参考文献 | 86 |
| | 発表論文 | 90 |

目次

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | 日本の人口推移および将来推計人口 (平成 24 年 1 月推計)[1],[2] | 2 |
| 1.2 | ユビキタスコンピューティングのシステム階層 [7] | 3 |
| 1.3 | 今後重要と予想される位置情報の活用例 [10] | 6 |
| 1.4 | 本研究の位置付けと研究の対象 | 8 |
| 1.5 | 本論文の構成 | 9 |
| 2.1 | 歩行軌跡の形状を道路トポロジ情報の中から検索する原理 | 13 |
| 2.2 | 提案方式を具現化する方式の構成 | 15 |
| 2.3 | 形状検索手法 1 の入力情報 | 18 |
| 2.4 | 形状検索手法 1 の動作説明図 | 18 |
| 2.5 | 形状検索手法 2 の入力情報 | 19 |
| 2.6 | 形状検索手法 2 の動作説明図 | 19 |
| 2.7 | リンク長推定誤差率 (最大値) | 22 |
| 2.8 | リンク長推定誤差率 (平均値) | 22 |
| 2.9 | リンク接続角度推定誤差 (最大値) | 24 |
| 2.10 | リンク接続角度推定誤差 (平均値) | 24 |
| 2.11 | 実験で歩行したルート | 26 |
| 2.12 | 形状検索手法 1 により推定された経路の候補 | 28 |
| 2.13 | 推定された経路 (形状検索手法 2) | 30 |
| 2.14 | E と推定された経路候補の関係 (形状検索手法 2) | 31 |
| 2.15 | 10 リンクから成るルート | 33 |
| 2.16 | 10 リンクから成るルートを歩行し形状検索手法 1 により経路を推定した結果 | 34 |
| 3.1 | 従来方式の原理 | 41 |
| 3.2 | 時変動しない磁気的な外乱が存在する場合 | 42 |
| 3.3 | 時変動する磁気的な外乱が存在する場合 | 42 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.4 | 時変動する磁気的な外乱と時変動しない磁気的な外乱の両方が存在する場合 | 43 |
| 3.5 | 提案方式の構成 | 44 |
| 3.6 | 自然公園 (磁気的な外乱が存在しない) | 48 |
| 3.7 | 地下街の通路 (時変動しない磁気的な外乱が存在) | 50 |
| 3.8 | 鉄道架線の近く (時変動する磁気的な外乱が存在) | 52 |
| 3.9 | 地下鉄のホーム (時変動しない磁気的な外乱と時変動する磁気的な外乱が存在) | 54 |
| 4.1 | ターミナルモードの概要 | 58 |
| 4.2 | 従来技術 | 60 |
| 4.3 | 提案方式の基本構成 | 61 |
| 4.4 | 指がスクリーンに触れていない場合 | 62 |
| 4.5 | 指がスクリーンに触れている場合 | 62 |
| 4.6 | 指で触れた際の RGB 成分の変化 | 64 |
| 4.7 | 観測ポイント間隔と指の幅の関係 | 66 |
| 4.8 | 指の接触分布と輝度の関係 | 67 |
| 4.9 | 投影サイズと投射距離の関係 | 69 |
| 4.10 | 実験に使用した治具の外観 | 70 |
| 4.11 | 端末内部の構成 | 71 |
| 4.12 | 端末の外観 | 72 |
| 4.13 | 画像切替シーケンス | 73 |
| 4.14 | 光量が 0 ルクスの場合 | 76 |
| 4.15 | 光量が 700 ルクスの場合 | 77 |
| 4.16 | 光量が 3000 ルクスの場合 | 78 |

表目次

| | | |
|-----|------------------------|----|
| 1.1 | 位置情報の活用例予想 (29 分野)[10] | 5 |
| 1.2 | 位置情報の活用例と要件の分析結果 | 7 |
| 2.1 | 歩行者ネットワーク情報の一例 | 17 |
| 2.2 | 被験者のプロフィール | 21 |
| 3.1 | 調査対象エリアの分類 | 38 |
| 3.2 | 評価指標 | 39 |
| 3.3 | 日本国内における磁気環境の評価結果 | 40 |
| 3.4 | 評価環境 | 46 |
| 3.5 | 磁気センサの仕様 | 46 |
| 4.1 | 図 4.6 から読み取った画素値 | 65 |
| 4.2 | 画面切替の閾値 | 74 |
| 4.3 | 想定利用シーンと光量の関係 | 74 |
| 4.4 | 評価結果 | 74 |
| 4.5 | 画面切替成功回数と外光の強度 (閾値変動) | 79 |

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

1.1.1 社会的背景

2010 年度の国勢調査及び人口推計 [1] によれば、我が国では 1950 年代から高齢化率（総人口に対する 65 歳以上人口の割合）が上昇を続けており、2010 年の高齢化率は 23.0% だった（図 1.1）。そして国立社会保障・人口問題研究所による日本の将来推計人口（平成 24 年 1 月推計）[2] によれば、高齢化率に伴う生産年齢人口割合（総人口に対する 15～64 歳人口の割合）は 1990 年をピークに下降の一途であり、2010 年における生産年齢人口割合は 63.8%、約半世紀後の 2060 年には 50.9% と、人口の約半数が現在の基準による非労働人口になると推計されている（図 1.1）。

このように少子高齢化が進行している我が国のような国家では、情報通信技術（ICT）の力を借りて生産年齢人口の労働負担を軽減すると同時に、子育てに適した環境と高齢者が安心して暮らせる社会を作る取組み、すなわち、情報通信技術による産業の生産性向上と安心・安全な社会の構築が今後ますます重要になると考えられる。

1.1.2 ユビキタス社会とユビキタスコンピューティング技術

労働者人口が減り介護や子育ての人手が減少してしまっても産業の生産性向上と安心・安全な社会を構築・維持するための施策として、ユビキタス社会の実現が挙げられている。ユビキタス社会とは、MarK Weiser によって提唱された「ユビキタスコンピューティング」[3],[4] の概念を実現することによってもたらされる人が人らしく支援を受けられる社会のことである。「ユビキタスコンピューティング」はデイリー新語辞典 [5] によれば、「いつでもどこでも、利用者が意識せずとも、情報通信技術を活用できる環境のこと。情報通信機器が現実世界の至る所に埋め込まれ、複雑な操作がなくともそれらが有機的に活用できる環境」とされている。従って、ユビキタスコンピューティング技術は、「いつでも」、「どこでも」、「利用者が意識せずとも」情報通信技術の恩恵を受け

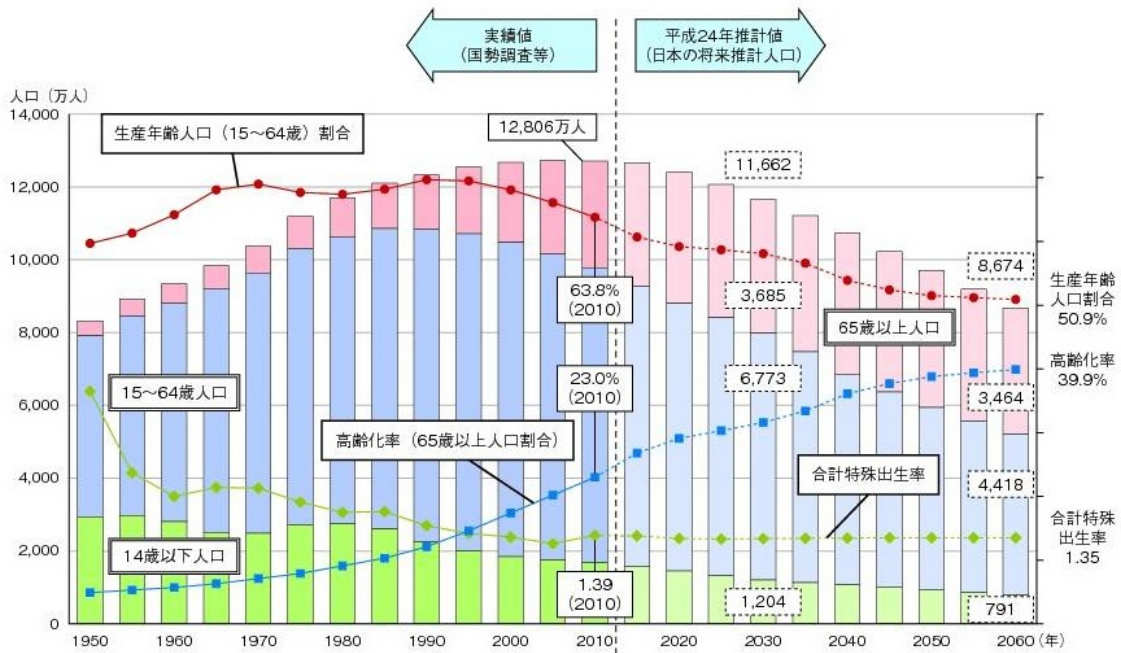


図 1.1 日本の人口推移および将来推計人口 (平成 24 年 1 月推計)[1],[2]

られるようになる環境を作り出すための技術と考えることができる。

Weiser によるユビキタスコンピューティングは、ワイヤレスネットワークによる通信バックボーンを利用して携帯電話端末や PDA など様々な情報通信デバイスを世界中のコンピュータと接続することで実現するものだった。これに対し、坂村によるユビキタスコンピューティングは、あらゆるモノ (携帯電話や PDA などの情報端末に留まらない) にコンピュータが組み込まれ、コンピュータ同士が協調動作するという事に力点が置かれている。そうすることにより人間はコンピュータの存在を意識することなく高い利便性の恩恵を得ることが出来るというものである。具体的には以下のような例が挙げられている [6] :

- 同時に服用すると著しい副作用が起こる恐れがある複数の薬を服用しようとする時、薬瓶に内蔵されたコンピュータがユーザの携帯電話に電話をかけ警告メッセージを伝える
- ゴミになる物にコンピュータを取り付けておき、ゴミに取り付けられたコンピュータが焼却炉と交信し処理方法を決定する
- 衣服に取り付けられたコンピュータがユーザの体温を測定することで周囲の空調を調節する

これらの例示からわかるように、坂村によるユビキタスコンピューティングは Weiser のそれと比較して広い種類の装置を対象としている。本論文で扱うユビキタスコンピューティングの概念は坂村によるものと同様に広い装置を対象としたものとする。

1.1.3 ユビキタス端末

前節で示した概念によれば、ユビキタスコンピューティングを具現化する要素のうち実際に無線通信やインターネットなどの情報ネットワークによって情報をやりとりする端末機能を持ち得る機器や装置は多岐に渡る。例えば、携帯電話、ノートパソコン、タブレット PC などの携帯情報端末の他、無線 IC タグ、通信機能付ガス用マイコンメータ、セキュリティ装置などの他、自動車に搭載されたカーナビゲーション装置や車載テレマティクス装置など、位置情報の取得機能、各種のセンシング機能と通信機能を併せ持つ機器も含まれると考えられる。文献 [7] によれば、ユビキタスコンピューティングのシステム階層は図 1.2 で示されるような 3 層構造であり、これらの機器は下層のユビキタスインフラストラクチャ層に属するユビキタスデバイスに分類される。本論文では、これらの通信機能によって情報のフロントエンドとなる端末機能を持つ装置・機器をユビキタスデバイスまたはユビキタス端末と呼ぶ。

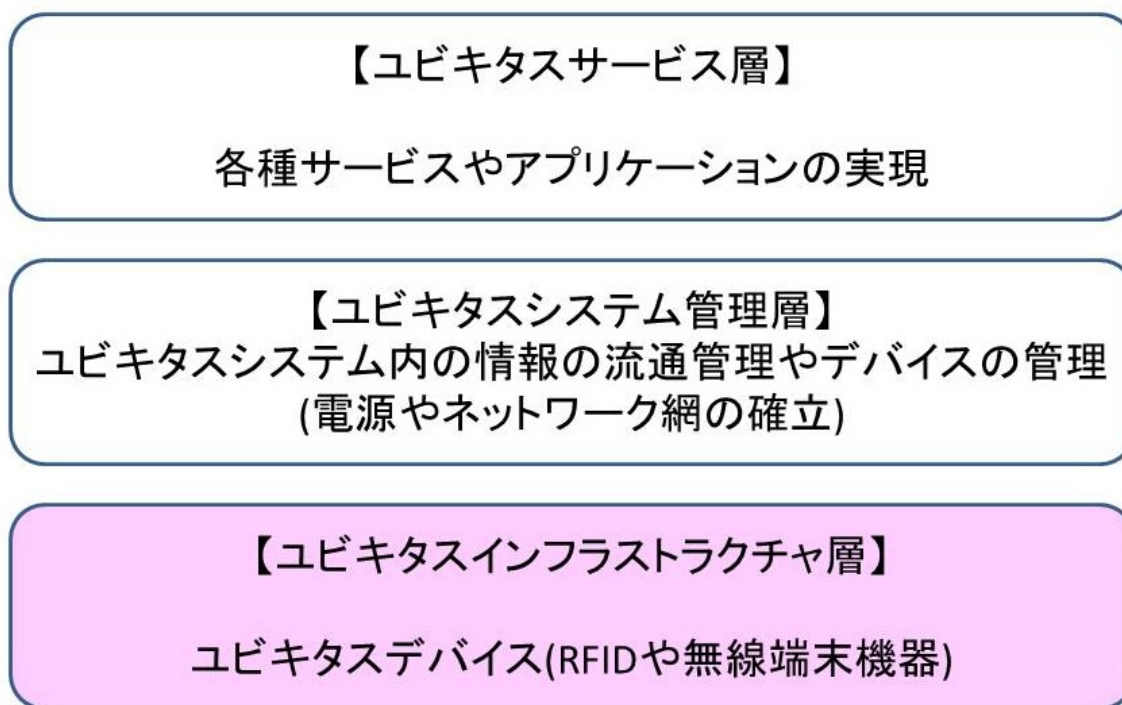


図 1.2 ユビキタスコンピューティングのシステム階層 [7]

1.1.4 位置情報とその活用

GPS(Global Positioning System)[8] に代表される全地球航法衛星システム (GNSS; Global Navigation Satellite Systems)[9] の登場は、世界に測位革命を起こした。従来、日本の国土を対象とした測位手段は、古くは、三角点・水準点を基準とした三角測量によるものが一般的だった。比較的近代に開発された、LORAN(Long-Range Navigation)-A, LORAN-C, デッカ電波航法, オメガ電波航法などの無線測位手段は船舶を対象としており、これらの航法には VLF 帯 (オメガ電波航法), LF 帯 (LORAN-C, デッカ電波航法), MF 帯 (LORAN-A) と、長波長の電波が測位のために使用されていた。使用する電波の波長が数十メートルから数 km と長いことから、これらの電波測位手段を使用するためには大がかりな受信設備を要し、測位精度も数百メートルから数千メートルと大きかった。そのような中、複数の衛星が発射する UHF 帯の電波を利用する GPS は受信設備の小型化を実現し、30m 以下の測位精度も実現可能になってきた。GPS の登場はカーナビゲーションシステムを爆発的に普及させる起爆剤となり、更に、船舶、航空機の航法機器をはじめ、近年は携帯端末を使用した人のナビゲーションや位置情報サービスにも利用されるようになってきた。

GPS の登場によって個人利用が可能になった位置情報は、その利活用法について広く議論されるようになってきている。地理空間情報産学官連携協議会による報告書 [10] によると、今後、位置情報の活用が期待される分野は表 1.1 に示す 29 分野と予想されている。

表 1.1 位置情報の活用例予想 (29 分野)[10]

| | | |
|-------------------------------|----|--|
| 個人，世帯， コミュニティの 活動支援サービス | 1 | 社会的弱者や家族の見守り・緊急対応サービス |
| | 2 | 健康メンテナンス支援サービス |
| | 3 | ナビゲーションを中心とした総合的な個人活動支援サービス |
| | 4 | アウトドア活動における安全確保や学習支援サービス |
| | 5 | 地域コミュニティの活動支援サービス |
| 環境 | 6 | 企業の環境保全活動支援サービス |
| | 7 | 個人・世帯の環境保全活動支援サービス |
| 災害 | 8 | 企業の BCP 立案支援と発災後の復旧支援サービス |
| | 9 | 自治体等の災害情報共有・対応支援サービス |
| | 10 | 斜面崩壊，鉄砲水等の検知・警報システム |
| 物流 | 11 | 物流トラッキング・管理サービス（動産担保付き） |
| 農業・林業・水産業 | 12 | IT 農業支援システム |
| | 13 | IT 林業支援システム |
| 建築・土木 | 14 | IT による設計，施工から維持管理までの一貫システム |
| | 15 | 現場作業員の安全管理システム |
| 製造業 | 16 | 化学物質や廃棄物の排出・移動管理 |
| 通信・放送 | 17 | ローカルコンテンツの制作と配信サービス |
| | 18 | 映像コンテンツの高度化 |
| 広告・マーケティング | 19 | 人々の時空間流動特性に適合したピンポイント広告 |
| 観光 | 20 | 旅行支援総合サービス |
| 交通・運輸 | 21 | シームレスなモビリティサービス |
| | 22 | 次世代高度道路交通システム |
| 保健・疾病対策 | 23 | 食と水の安全管理サービス |
| | 24 | 新型インフルエンザなどの新興感染症のパンデミック抑制支援 |
| 電子行政サービス | 25 | バックオフィス事務の情報化・共同化と地域資源情報の高度化・共有化の組み合わせによる自治体の現場改善力・地域営業力向上支援 |
| | 26 | 道路空間の共用管理サービス |
| 地域開発・ 不動産開発 | 27 | 不動産開発と総合的な都市マネジメントの支援サービス |
| | 28 | 地域統計の高度化 |
| 安全保障 | 29 | 周辺海域における不審船などのモニタリング |

そして，今後重要になると予想される位置情報の活用例を，地理空間情報とそれに関連した分野（ユビキタス，モバイル，ロボット，ITS など）の産学官の専門家・実務家を対象にアンケート調査した結果を図 1.3 に示す [10]．

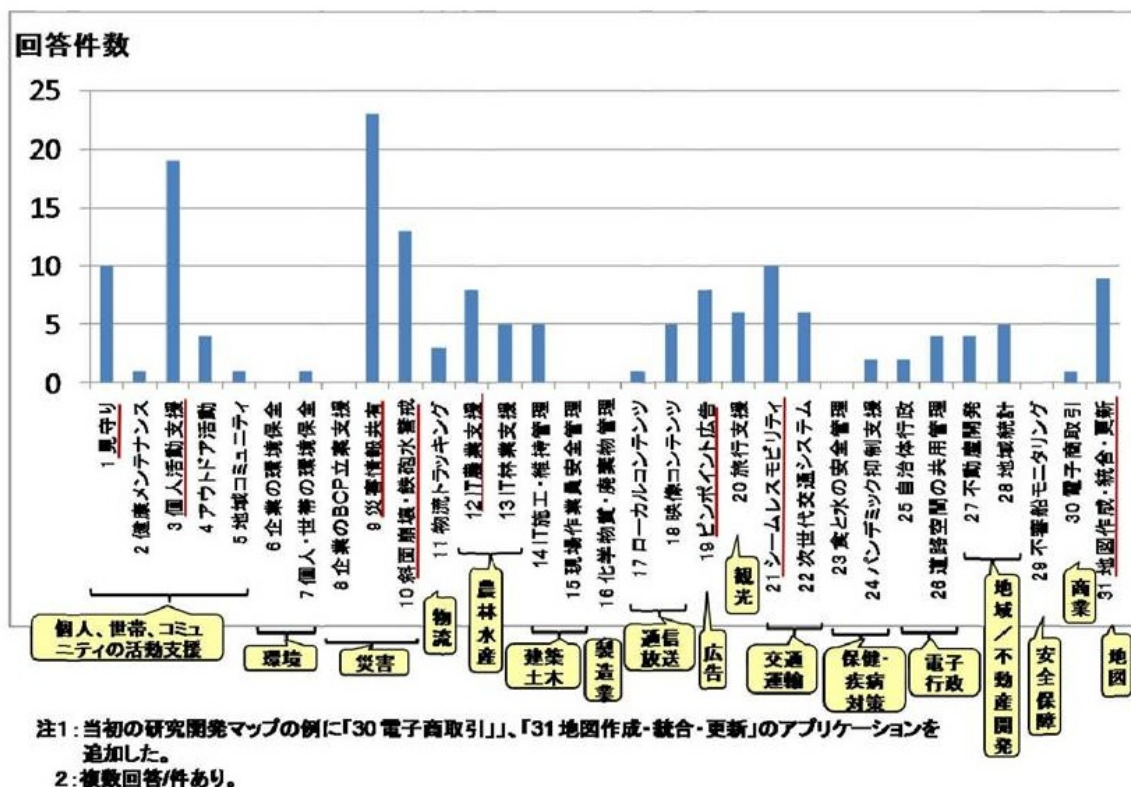


図 1.3 今後重要と予想される位置情報の活用例 [10]

図 1.3 で、回答数が多かった上位 8 用途は回答数が多い順に以下となった。

1. 災害情報共有
2. 個人活動支援
3. 斜面崩壊・鉄砲水警戒
4. 見守り
5. シームレスモビリティ
6. 地図作成・統合・更新
7. IT 農業支援
8. ピンポイント広告

この上位 8 位までの位置情報の活用法のそれぞれについて、その要件を、位置情報の取得範囲、利用範囲、時制、サービス実現範囲の観点から分析した結果を表 1.2 に示す。

表 1.2 位置情報の活用例と要件の分析結果

| 位置情報の活用例 | 位置情報の取得範囲 | 位置情報の利用範囲 | 位置情報の時制 | 位置情報のサービス実現範囲 |
|---------------|-----------|-----------|----------|---------------|
| 1. 災害情報共有 | 屋内外 | 複数人 | 過去・現在・未来 | 研究段階 |
| 2. 個人活動支援 | 屋内外 | ユーザのみ | 過去・現在・未来 | 一部実用化 |
| 3. 斜面崩壊・鉄砲水警戒 | 屋外 | 複数人 | 過去・現在・未来 | 一部実用化 |
| 4. 見守り | 屋内外 | 複数人 | 過去・現在 | 一部実用化 |
| 5. シームレスモビリティ | 屋内外 | ユーザのみ | 現在 | 一部実用化 |
| 6. 地図作成・統合・更新 | 屋外 | 複数人 | 過去・現在 | 実用化 |
| 7.IT 農業支援 | 屋外 | 複数人 | 現在 | 研究段階 |
| 8. ピンポイント広告 | 屋内外 | 不特定多数 | 現在 | 一部実用化 |

表 1.2 で使用した用語の説明を以下に示す。

- 「位置情報の取得範囲」とは、当該活用事例において、どれだけの範囲の位置情報を必要とするかを示す。屋外においては多くの地点で衛星測位が使用可能なことから、本分類は、屋外、屋外、屋内外の3通りとした。
- 「位置情報の利用範囲」とは、当該活用事例において、どれだけの範囲のユーザがその位置情報を利用するのかを示す。分類は、小型のパーソナル端末によって位置情報を利用する場合を想定してユーザ本人のみ、中型の端末を利用して位置情報を利用する場合を想定して複数人、更に、クラウドや大規模システムを利用して位置情報を利用する場合を想定して不特定多数、の3通りとした。
- 「位置情報の時制」とは、当該活用事例において、どれだけの時制の位置情報を必要とするかを示す。分類は、過去、現在、未来の3通りとした。現在とは、通常の移動速度において現在地から遠く離れてしまわない時間、すなわち、現在を基準として±数十秒以内と定義する。
- 「位置情報のサービス実現範囲」とは、当該活用事例において、その位置情報を活用するに足るサービスの実現範囲を示す。分類は、研究段階、一部実用化、実用化の3種類である。

表 1.2 の分析結果からわかるように、位置情報の取得範囲は「屋内外」が、位置情報の利用範囲は「複数人」が求められているものが多い。ところが、既存の位置情報取得技術は GPS に強く依存していることから衛星からの電波が届かないことが多い「屋内」での位置情報の取得は不得手、すなわち、「位置情報の取得範囲が狭い」といえる。また、既存の位置情報取得技術はスマートフォンなどパーソナル端末の利用に強く依存していることから「複数人」で位置情報を利用することが不得手、すなわち、「位置情報の利用範囲が狭い」といえる。

従って、これら位置情報の取得範囲と位置情報の利用範囲を拡大することが、今後重要と予想さ

れている位置情報の活用例を実現する上で有益と考えられる。

1.2 本研究の目的

そこで本研究では、ユビキタス端末のユースケースにおいて位置情報をより積極的に活用することを目的として、図 1.4 に示すように、前節で示した 4 つの要件のうち「位置情報取得エリアの拡大」と「位置情報利用者の拡大」を実現する手法を提案する。

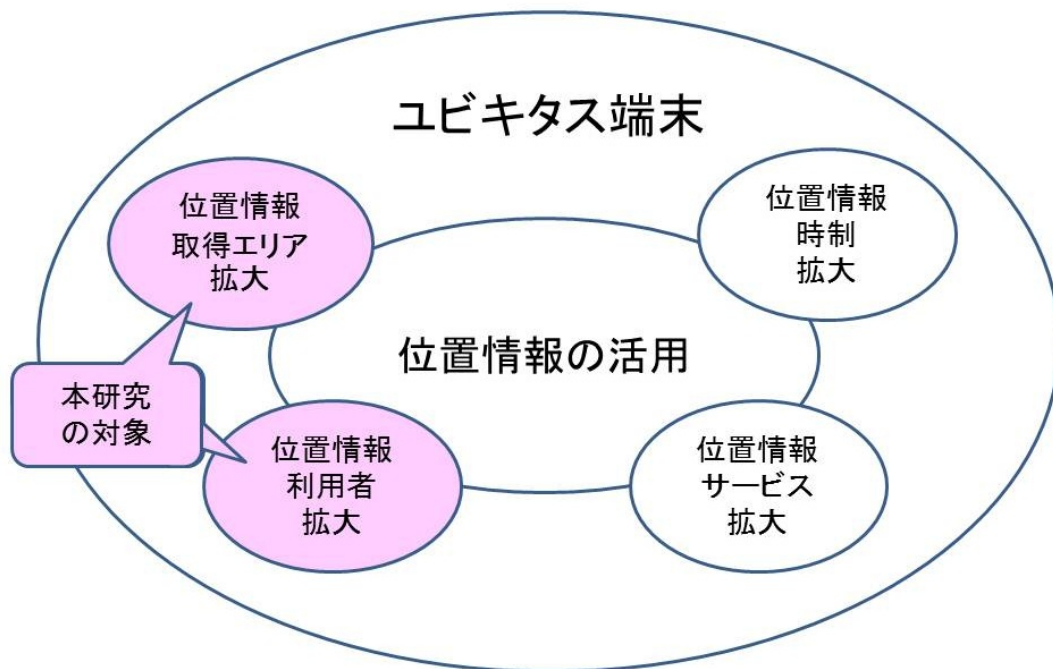


図 1.4 本研究の位置付けと研究の対象

「位置情報取得エリア」を拡大するために、以下の二つの技術を提案する。

- 測位インフラが使用できないエリアでも使用可能な歩行者測位技術
- 地磁気情報の利用可否を判定することで地磁気の利用範囲を広げる技術

「位置情報利用者」を拡大するために、以下の技術を提案する。

- スマートフォンの画面とその操作情報を複数のユーザで共有可能にする技術

そしてこれらの提案技術によって、「位置情報取得エリア」と「位置情報利用者」を拡大することができることから、表 1.2 に示した位置情報の活用事例がより具現化することが示される。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を図 1.5 に示す。

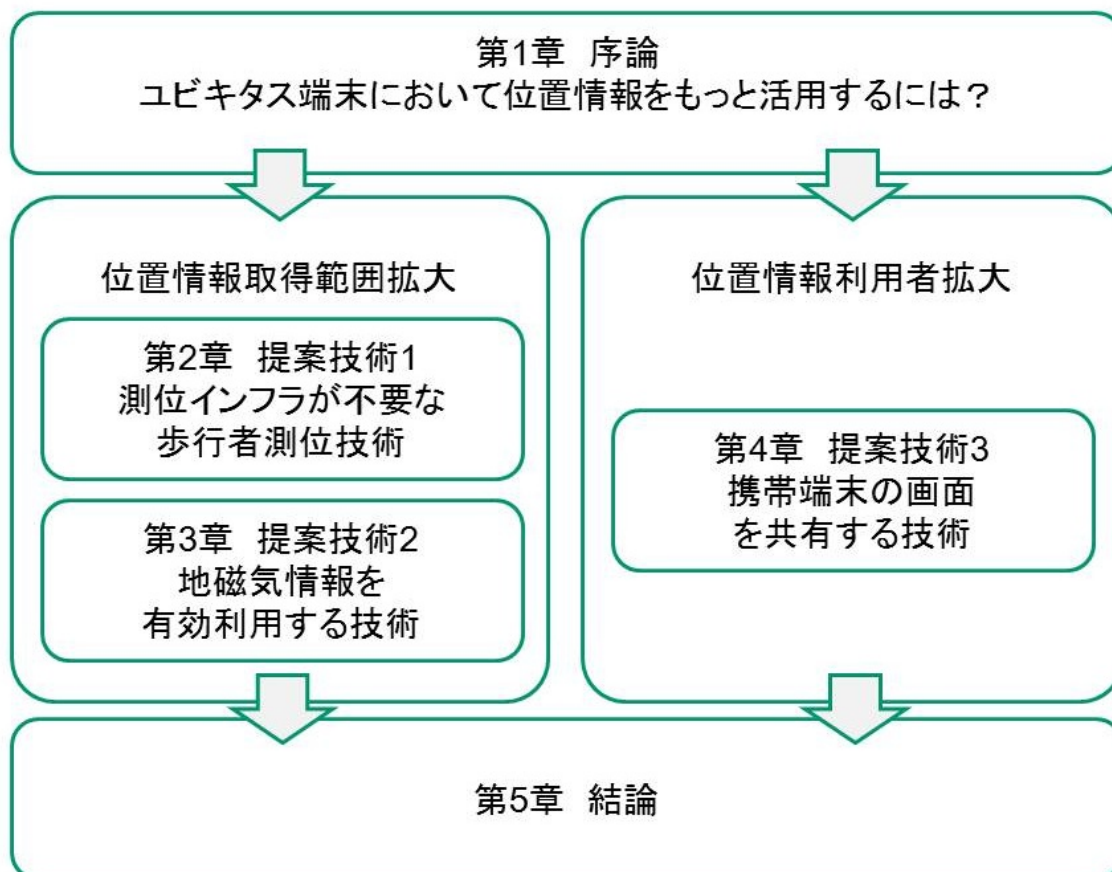


図 1.5 本論文の構成

図 1.5 に示したように、本論文では、第 2 章から第 4 章で 3 つの提案技術について個別に説明し、第 5 章で総括する。

第 2 章では、GNSS などの測位用のインフラが不要な歩行者の歩行経路推定方式を提案し、評価実験によって提案方式適用のための条件を示すとともに提案方式の動作を確認したことを示す。この結果は位置情報取得エリアを広げることに寄与する。

第 3 章では、初めに、日本国内における地磁気環境を実測した調査結果を示す。次に、時変動を含む磁気外乱と時変動を含まない磁気外乱を判別可能な磁気擾乱検出方式を提案し、評価実験の結果、提案方式によって地磁気情報の利用範囲を拡大可能なことを示す。この結果は、地磁気の可用範囲を広げる、すなわち、地磁気情報を利用して位置情報を取得する場合、その取得エリアを拡大

することに寄与する．

第 4 章では，ターミナルモードと呼ばれるスマートフォンの表示操作画面を自動車の同乗者間で共有する技術を従来よりも簡易な方法で実現する一手法を提案し，実験によってその有用性を示す．この結果は，スマートフォンなどで取得した位置情報を自動車の同乗者間で共有することに寄与する．

そして第 5 章では，本研究を総括する．

第 2 章

測位インフラが不要な歩行者測位技術

2.1 まえがき

近年，ユビキタス情報社会の急速な発展に伴い，歩行者向け位置情報サービスの需要が増加している [11], [12]．中でもスマートフォンなどの小型情報端末を使用した SNS (Social Networking Service) の利用者による需要の増加が著しい [13] ．

従来，歩行者の位置情報を取得する手段には GPS に代表される GNSS が多用されてきた．しかし，建物内や地下街などの屋内では測位用衛星からの電波が十分な強度で到達しないため，GNSS のインフラを利用することが困難だった [8], [9], [14], [15] ．また，位置情報サービスを利用するために新規にインフラを整備することはコストの問題があり現実的ではない．そのため，屋内環境では新規の測位インフラに依存しない歩行者の位置情報を取得する技術の実現が課題となっている．屋内でも屋外と同様に歩行者の位置情報を提供できるようになることは位置情報サービスが利用出来ないエリアを減らすことに繋がり，ユビキタス情報社会を更に発展させる上で有益であると考えられる．

そこで，本章では GNSS などの大規模な測位インフラが使用できない場所で歩行者の位置情報を取得する新方式として，歩行者の歩行軌跡形状と相関が高い形状を持つ道路トポロジの組合せパターンを既存の歩行者用道路トポロジ情報である歩行者ネットワーク情報 [16] のデータベースの中から検索することで歩行者の位置を推定する手法を提案する．そして，提案方式を実現する上で重要な歩行軌跡形状の推定機能が，被験者の違いや歩行速度の違いから受ける影響量を実験により調査し，更に実際に地下街を歩行する実験により，提案方式の実現可能性を確認した．

本章第 2.2 節では，大規模な測位用のインフラに依らない歩行者のための位置推定技術の従来技術とその課題について述べる．本章第 2.3 節では，提案方式の原理を説明し，具体的な構成を述べ，提案方式が正常に動作するための条件について述べる．本章第 2.4 節では，被験者の違いや歩行条件の違いが提案方式に与える影響について調査する．本章第 2.5 節では，実機を使用して実際の地

下街で実施した提案方式の実現可能性を調査した結果を示す。本章第 2.6 節では、本章第 2.4 節および第 2.5 節の結果について考察する。そして本章第 2.7 節で本章を総括する。

2.2 従来技術

大規模な測位用のインフラに依存しない歩行者のための位置推定技術は、ある特定の地点から半径数メートル以内の位置情報を提供する技術（以下、スポット測位技術）と、ユーザが移動した経路に沿って連続的に位置情報を提供する技術（以下、連続測位技術）に大別され、それぞれ以下のような特徴を持っている。

- スポット測位技術：

可視光線 [17]，赤外線 [18]，超音波 [19]，Bluetooth[20]，[21]，Zigbee[22]，UWB[23]，[24]，RF-ID[25]，画像マーカ [26]，屋内 GPS（以下，IMES；Indoor MESSAGING System）[27] など様々な方式が検討されている。いずれの方式も設置場所が既知である測位用のインフラから半径数メートル程度の狭い範囲に放射された電磁波や光線を放射してそれを検出したり，カメラで設置場所が既知である画像を認識することで対象の現在地を推定する。

しかし，スポット測位技術はその原理上，歩行者を含む移動する対象の位置情報を連続的に取得することに適していない。スポット測位技術を使用して連続的に位置情報を取得するためには多数のスポット測位用のインフラを設置する必要があるが，現実には困難である。

- 連続測位技術：

(1) 無線 LAN を利用する方式と，(2) スポット測位技術と自律航法技術を組み合わせた方式が検討されている。

(1) の無線 LAN を利用する方式では，無線 LAN のアクセスポイントを測位用のインフラとして使用する。無線 LAN のアクセスポイントが発射する電波はスポット測位技術で使われるインフラが発射する電磁波や光線と比較して広範囲に到達するため連続測位技術を実現するための手段として多数検討されている。そしてその測位方式は複数の異なる地点に設置されたアクセスポイントから送信された電波の受信電界強度を観測する RSS (Received Signal Strength) 方式，到来方位を推定する AOA (Angle Of Arrival) 方式，到達時間差を使用する TDOA (Time Difference Of Arrival) 方式 [28] に大別される [29]。無線 LAN を利用する方式は，電波の受信電界強度や屋内伝搬路を安定させる必要があるため，測位に使用することを意識してインフラを整備する必要があることが課題である [30]。

(2) のスポット測位技術と自律航法技術を組み合わせて使用する方式は，各種のスポット測位方式で取得した絶対位置情報を基準として，慣性航法技術を応用した自律航法によって算出された相対位置情報を利用して位置を推定する方式が検討されている [31]，[32]，[33]。

スポット測位と自律航法技術を組み合わせた方式は自律航法技術を適用するために測位対象の基準となる絶対位置情報と針路情報を検出することが必要で、これらの情報を検出する手段を確保する必要があった [34] .

すなわち、従来検討されている技術では、インフラを必要とせず、移動体の絶対位置情報と針路情報を検出する手段が必要であり、従来、これらが不要な技術は確立されていなかった .

2.3 提案方式

そこで本節では、従来方式では不可能だった、測位のためのインフラを必要とせず、且つ、位置情報と針路情報を検出することが可能な屋内歩行者位置推定方式を提案する . ここで、測位のためのインフラとは、高精度な絶対位置情報を直ちに取得可能なインフラを指すものとし、半径数百メートル以上のエリアを特定する手段は含まない .

2.3.1 原理

提案方式の原理を図 2.1 に示す . 提案方式では、図 2.1 に示すように、端末搭載センサによって推定されたユーザの歩行軌跡形状と相関が高い形状を持つ道路トポロジ情報の組合せパターンを既存の歩行者ネットワーク情報のデータベースの中から検索することでユーザが歩行した経路を推定する .

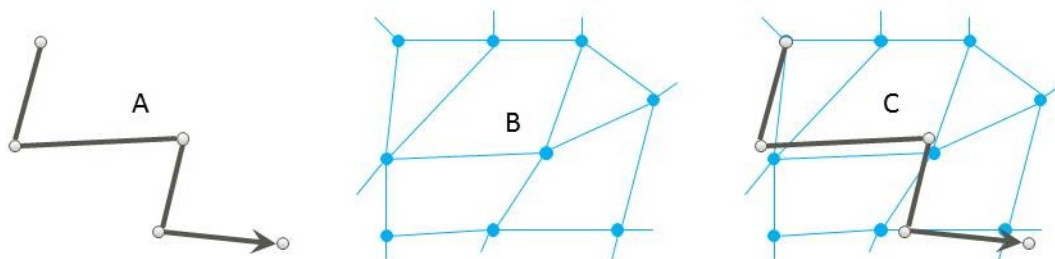


図 2.1 歩行軌跡の形状を道路トポロジ情報の中から検索する原理

なお、図 2.1 では、説明を簡単にするために狭いエリアのトポロジ情報を例示しているが、実際には広いエリアの膨大な量のトポロジ情報の中から歩行軌跡の形状と類似するトポロジ情報の組合

せを検索する。提案方式はこの点においてユニークであり、GPSなどの測位手段によって詳細な絶対位置情報を得た後に、その絶対位置情報と最も地理的に近いトポロジ情報に移動軌跡をマッチングさせる従来のカーナビゲーションシステムにおけるマップマッチング技術とは本質的に異なる。

図 2.1 の A は端末に搭載されたセンサを使用して推測航法によって推定された、ある移動区間におけるユーザの歩行軌跡形状である。図 2.1 の A において、ユーザは矢印の向きに移動したことを示しており、A の矢印の先が現在地であり、矢印の向きは現在地に到達した際のユーザの針路を意味する。図 2.1 の B はユーザが存在するエリアのトポロジ情報である。トポロジ情報とは、図 2.1 に示すような複数のノードとリンクから構成されている情報である。ノードは交差点や道路の曲がり角を意味しており、その位置情報は現実世界の緯度・経度・高度から構成される座標情報と一致している。リンクは移動可能な経路を意味しており、その長さや角度は現実世界の道路の長さ・方位と一致している。ユーザが存在するエリアは、例えば直前まで得られていた位置情報から推定する。ここで推定するエリアは、トポロジ情報を検索する範囲なので、その位置情報の精度は不要である。図 2.1 の C は A の形状と類似したリンクの組合せパターンを B の中から検索し、最も A の形状と相関が高い B のリンクの組合せパターンを探し出した結果を示している。従って、図 2.1 の C に示すように、A の形状と最も相関が高い形状を B のトポロジ情報の中から検索することは、ユーザが現実世界で歩行した経路を推定することを意味する。そして同時に、A の最終ノードの位置情報はユーザの現在地を、A の最終リンクの方位はユーザの針路を意味することから、本方式で歩行軌跡形状に一致するトポロジ情報を発見することは、移動した経路と、現在地と、現在地における針路の推定に成功することを意味している。A の終点における針路情報が得られることは、A の終点を基準として自律航法技術によりユーザの位置を追跡することが可能になることを意味する。

以上説明した原理ではユーザの位置推定に必要な情報は端末などで取得した歩行軌跡形状の情報とユーザ周辺のトポロジ情報であるため、本方式は原理的に測位用インフラが使えない場所であっても利用可能な方式であるといえる。検索対象とするトポロジ情報の抽出エリアを決めるための何らかの手段は必要であるが、この手段は大雑把なエリアを決定できれば良く、正確な位置情報を取得する必要は無い。従って、この手段を実現するために測位用のインフラは不要であると考えられる。更に、地図情報サービス会社が提供する既存のトポロジ情報を使用することにより、提案方式は、測位のための新しいインフラを設置することなく測位を実現することが可能になると考えられる。

2.3.2 方式検討

全体構成

提案方式を具現化するための方式を検討する．提案方式を具現化するためには図 2.2 に示すように，歩行軌跡形状を検出する慣性航法ユニットと，歩行軌跡形状と相関が高いトポロジ情報の組合せを歩行者ネットワークのデータベースの中から検索する形状検索ユニットが必要になる．

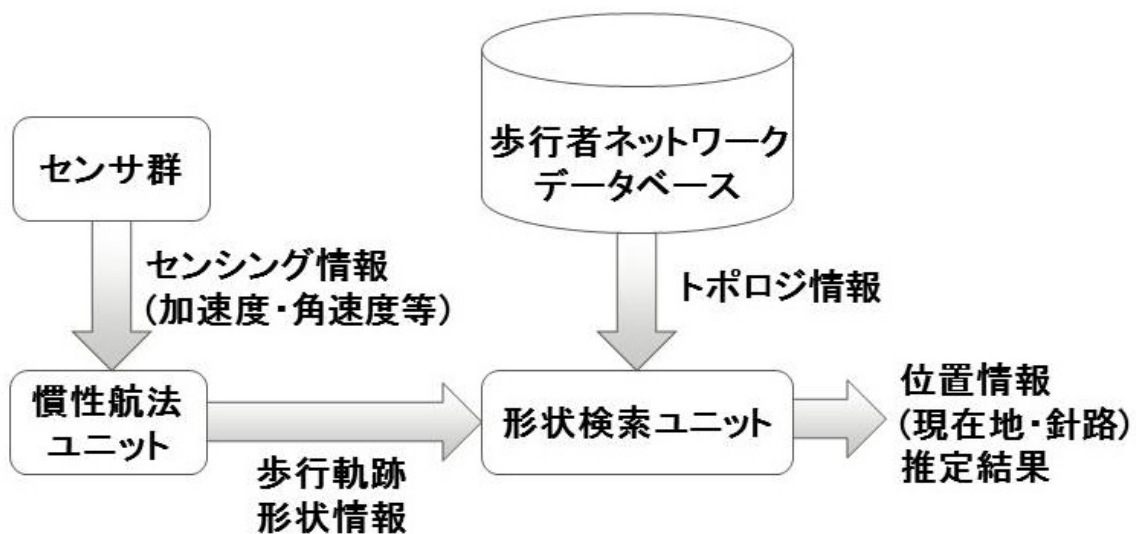


図 2.2 提案方式を具現化する方式の構成

慣性航法ユニット

まず，歩行軌跡形状を検出する慣性航法ユニットの具現化方法について述べる．歩行軌跡形状を検出するために慣性航法技術を応用した推測航法技術 [34], [35], [36] を使用する．近年製造されている高機能携帯電話端末やスマートフォンには，端末の姿勢に連動した画面制御やゲームなどの操作を目的として，加速度センサやジャイロセンサなど慣性航法を実現するために必要なセンサが搭載されている．そのためこれらの小型コンシューマ装置で慣性航法を実現することは困難ではない．

ジャイロセンサを使用した慣性航法技術では移動軌跡形状を忠実に追跡，すなわち，自在に曲がりくねった軌跡を推定することが可能である．しかし，本章で提案する方式は歩行軌跡形状を直線線分 (リンク) の組合せから構成されるトポロジ情報の中から検索することから，歩行軌跡形状も単純な直線と旋回角の組合せから成る情報で表現されていると都合が良い [37], [38] ．

そこで、一定以上の変針角を伴わない直進、すなわち、旋回を伴わない蛇行は直線歩行と見なし、歩行軌跡の形状を複数の直線線分の組合せで表現する。

そして上記直線線分同士が成す角、すなわち変針角 ϕ は、(2.1) 式に示すように端末に搭載されたジャイロセンサの角速度 $\omega(t)$ を時間積分して算出する。そして ϕ が予め定めた閾値を超えたら旋回と判定し、旋回が検出された地点をそのリンクの終点とする。

$$\phi = \int \omega(t) dt \quad (2.1)$$

リンク長、すなわち、移動距離 L は歩数計を使用して推定する。ある区間で歩数計が出力した歩数を n 、ユーザの歩幅を l としたとき、 L は (2.2) 式となる。

$$L = nl \quad (2.2)$$

以上のようにして旋回が検出されたら移動形状の曲がり角とし、その旋回角は ϕ である。旋回が検出されない場合は移動形状の直線と判定する。以上により慣性航法ユニットは算出した移動形状を直線線分の長さ、すなわちリンク長 L と、連続するリンクとリンクがなす角、すなわちリンク接続角度 ϕ として出力する。

以上述べたように慣性航法ユニットは歩数計とジャイロを使用してリンク長 L を算出することから、 L と ϕ は被験者の歩幅や歩行速度などの歩行条件の影響によって、同一のルートを歩行したとしても被験者によって得られる値が異なることが予想される。この被験者や歩行条件の違いに起因する差分が誤差となり、提案方式が正常に動作しなくなる恐れがある。このような事態を避けるため、提案方式が被験者や歩行条件の違いに起因する誤差の性質を知る必要がある。

そこで、本章では、この種類の誤差の性質を知るための調査を実施して、提案方式の実現可能性を確認する。そのために形状検索ユニットの具体的な構成を想定し、形状検索ユニットが正常に動作するための要求条件、即ち、慣性航法ユニットの出力が持つ誤差に対する要求条件を明確にする。形状検索ユニットが正常に動作するための要求条件を見積もるために想定した形状検索部の構成を次節で示す。

形状検索ユニット

形状検索ユニットの構成について述べる。形状検索ユニットでは、検出された歩行形状と相関が高いトポロジ情報の組合せを歩行者ネットワーク情報の中から検索する。

表 2.1 に市販されている歩行者ネットワーク情報の一例を示す。表 2.1 に示すように、市販されているトポロジ情報には多くの情報が含まれている。本提案方式では位置推定を始める前にユーザが歩行するエリアのトポロジ情報を、事前に歩行者ネットワーク情報のデータベースから取得しておく。

表 2.1 歩行者ネットワーク情報の一例

| トポロジ情報の種別 | 情報の種類 | 概要 |
|-----------|---------|------------------------------|
| ノード情報 | ノード番号 | 通し番号 |
| | 座標情報 | 日本測地系緯度・経度・標高 |
| | 接続リンク情報 | そのノードに接続しているリンクの本数 ・リンク番号 |
| リンク情報 | リンク番号 | 通し番号 |
| | 幅員情報 | リンク（通路）の道幅 |
| | 始点・終点情報 | 当該リンクの始点と終点のノード番号 |
| | リンク勾配情報 | |
| | リンク長情報 | |

検出された歩行形状の組合せと相関が高いトポロジ情報の組合せを探索する基本手法として、以下の二通りの手法が考えられる。

- 点・線が持つ情報を利用する形状検索手法
- 面が持つ情報を利用する形状検索手法

前者は低次元な情報、すなわち、点情報（あるノードにおけるリンクとリンクの接続角度情報）と線情報（リンク長）を利用する手法で、後者は前者の手法と比較して高次元な情報、すなわち面情報（複数のリンクのグループが描く形状そのものを情報として利用する手法）である。

以下、便宜上、前者の手法を形状検索手法 1、後者の手法を形状検索手法 2 と称する。以下にそれぞれの手法の詳細を示す。

- 形状検索手法 1（点・線が持つ情報を利用する形状検索手法）:

形状検索手法 1 の入力情報と動作説明図を図 2.3 と図 2.4 にそれぞれ示す。図 2.3 と図 2.4 で、 $N_1 \sim N_{10}$ はノード番号、各ノードを結ぶ直線はリンクで、リンクの傍に書かれている数値はリンク長（単位メートル）である。

図 2.3 に示すように、形状検索手法 1 の入力情報は検出されたリンク情報とトポロジ情報となる。

図 2.4 に示すように、形状検索手法 1 の経路推定過程では、検出されたリンク長情報と、そのリンクと次に続くリンクの接続角度情報（すなわち旋回角度情報）が一致するトポロジ情報を含む経路を経路の候補として残し、リンク情報が一致しない経路は経路の候補から外していくことで歩行経路を絞り込む。この操作を繰り返すことで歩行経路形状と相関が高いト

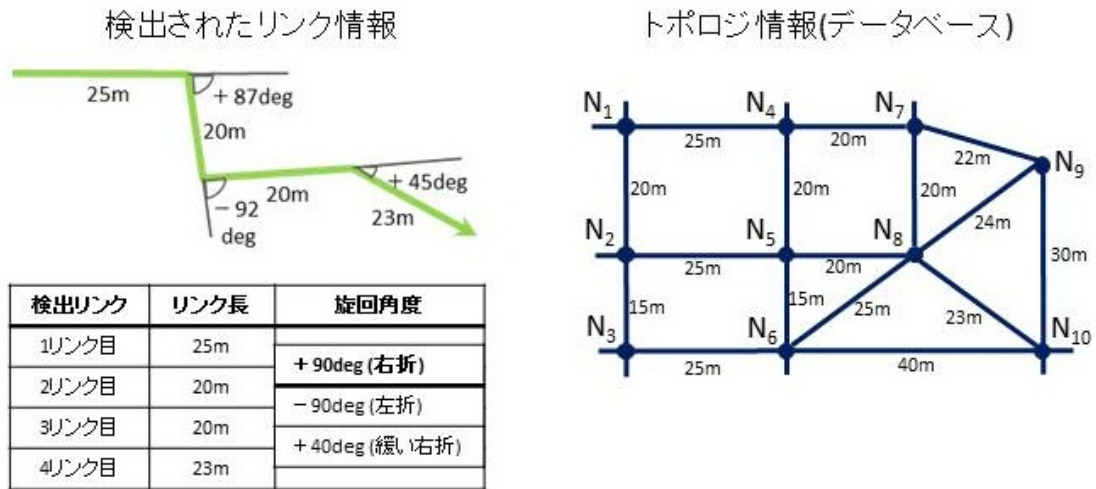
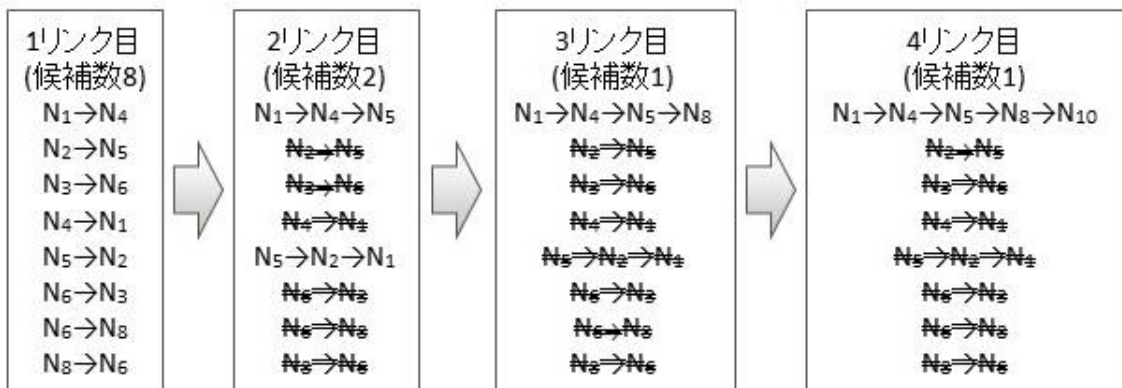


図 2.3 形状検索手法 1 の入力情報



リンク長と旋回角度が一致しなければ経路の候補から外していく
(本例では3リンク目で経路の候補数が1になっている)

図 2.4 形状検索手法 1 の動作説明図

ポロジ情報の組合せを推定する．検出されたリンク情報は検出誤差を含むことが予想されるが，この誤差は，情報の一致判定をする際にマージンとして考慮することで吸収する．

- 形状検索手法 2 (面が持つ情報を利用する形状検索手法):

形状検索手法 2 の入力情報と動作説明図を図 2.5 と図 2.6 にそれぞれ示す。図 2.5 と図 2.6 で、 $N_1 \sim N_{10}$ はノード番号、各ノードを結ぶ直線はリンクで、リンクの傍に書かれている数値はリンク長 (単位メートル) である。

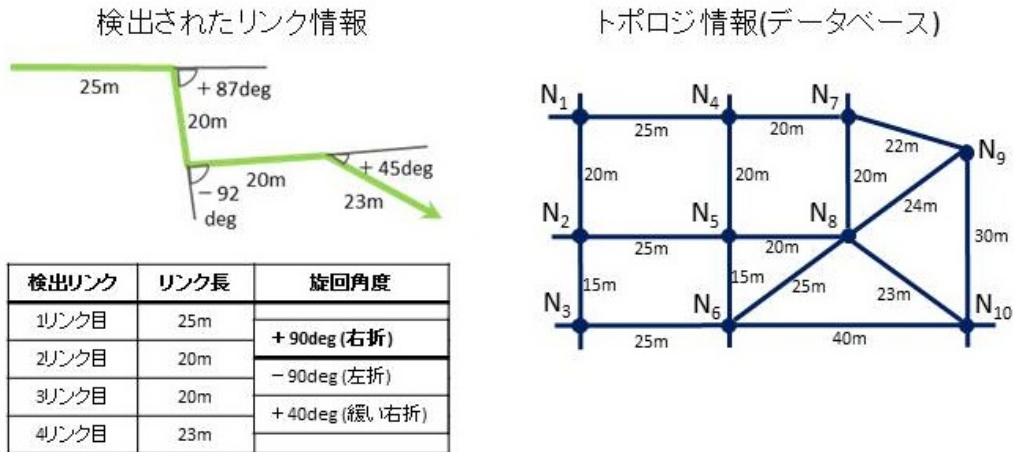


図 2.5 形状検索手法 2 の入力情報

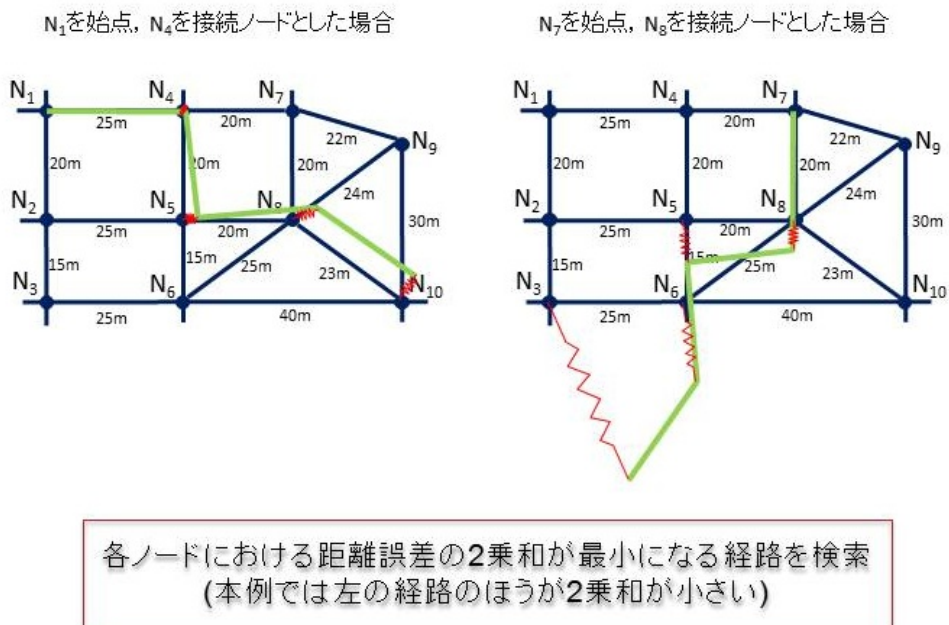


図 2.6 形状検索手法 2 の動作説明図

形状検索手法 2 の入力情報も、形状検索手法 1 と同様に検出されたリンク情報とトポロジ情報である。形状検索手法 1 と異なるのは、推定された経路の形状（図 2.6 内の表の下に描かれてある形状）をトポロジ情報の中から検索することである。この検索を実現するために、総当たりで経路の形状をトポロジ情報のグループにあてはめ、推定されたノードとトポロジ情報のノードの距離の差を誤差とし、誤差の 2 乗和が最小となる経路を歩行経路として推定する。形状検索手法 2 ではリンク数が増えるに従ってリンク長と旋回角の推定誤差が蓄積し、経路の形状が持つ誤差が増大してしまうことが予想される。そのため一度に比較するリンク数を 3 リンクに制限し、3 リンクずつ、それらのリンク群をトポロジ情報の中から検索する。その際、リンク群とトポロジ情報を比較するために (2.3) 式で示される E を使う。(2.3) 式で、 N_k は k 番目に推定されたリンクの頂点（推定されたノード）の座標を、 C_k は N_k の比較対象のトポロジ情報のノードの座標を、 $(N_k - C_k)^2$ は N_k と C_k の距離の 2 乗を、それぞれ示す。

$$E = \sum_{k=1}^4 (N_k - C_k)^2 \quad (2.3)$$

2.3.3 提案方式が正常に動作するための条件

以上示した手法はが正常に動作するための条件について検討する。同一エリアにおいて隣接するリンクの長さは類似しており平均的に同じ長さであると仮定する。この場合、リンク長の推定誤差率が $\pm 50\%$ をよりも大きい場合、すなわち推定されたリンク長が実際のリンク長の半分以下の長さ、あるいは 1.5 倍以上の長さになった場合にそのリンクに続くリンクを誤って正しいリンクの隣のリンクにミスマッチングしてしまう確率が急増すると考えられる。

同様に、リンク接続角度も統計的に 90deg およびその倍数の角度が多く存在すると仮定する。この場合、リンク接続角度の推定誤差が $\pm 45\text{deg}$ を超えると旋回後にマッチングすべきリンクを誤ってしまう確率が急増する。従い、本提案方式において上記構成の形状検索が正常に動作するための条件を以下と想定する。

- リンク長推定誤差率： $\pm 50\%$ 以内
- リンク接続角度の誤差： $\pm 45\text{deg}$ 以内

従って、本提案方式では、慣性航法ユニットの出力が持つ誤差が上記の範囲内にあるときに正常に動作するものとする。次節に示す評価実験により、本提案方式がこの条件を満たすかどうか調査する。

2.4 評価実験

本節では、本提案方式が前節で示した条件を満たすか否かを調査するために、慣性航法ユニットにより推定されたリンク長とリンク接続角度が被験者の違いと歩行条件の違いによって発生する誤差量を実験により調査する。

本調査では、被験者の腰に装着したホルダに市販の携帯電話端末を固定し、この携帯電話端末に搭載された歩数計とジャイロセンサと加速度センサの出力を実験データとして専用ソフトで記録した。そして記録されたデータをオフラインで処理してリンク長とリンク接続角度を推定した。本章第 2.4.1 節でリンク長の推定誤差率に関する調査結果を、本章第 2.4.2 節でリンク接続角度推定誤差に関する調査結果をそれぞれ示し、本章 2.4.3 節でこれらの調査実験結果をまとめる。

2.4.1 リンク長推定誤差率に関する調査

被験者や歩行条件の違いがリンク長の推定結果に与える影響を調査するために、年代、身長、性別が異なる 9 人の被験者が異なる 3 通りの速度で歩行した際のリンク長の推定誤差率を評価した。9 人の被験者のプロフィールを表 2.2 に示す。被験者の歩幅は事前に測定した。

表 2.2 被験者のプロフィール

| 被験者 ID | 身長 [cm] | 年齢 | 性別 | 歩幅 [cm] |
|--------|---------|----|----|---------|
| 1 | 173 | 30 | 男 | 65.1 |
| 2 | 172 | 27 | 男 | 72.8 |
| 3 | 178 | 44 | 男 | 73.4 |
| 4 | 173 | 47 | 男 | 69.7 |
| 5 | 170 | 53 | 男 | 62.2 |
| 6 | 183 | 33 | 男 | 71.2 |
| 7 | 161 | 43 | 男 | 68.0 |
| 8 | 169 | 29 | 男 | 66.3 |
| 9 | 156 | 29 | 女 | 66.1 |

このとき、被験者全員に、全長 40m の直線通路上を、蛇行せずに通常速度、遅い速度、速い速度、の 3 通りの歩行速度で歩行するよう指示を与え、40m を歩行するのに要した歩数と各被験者の歩幅からリンク長を推定し、その誤差からリンク長の推定誤差率を算出した。歩数は端末に搭載された歩数計で計測し、リンク長は(2)式を使用して推定した。この実験は全被験者に 2 度実施した。各被験者のリンク長推定誤差率の最大値と平均値を、図 2.7 と、図 2.8 にそれぞれ示す。

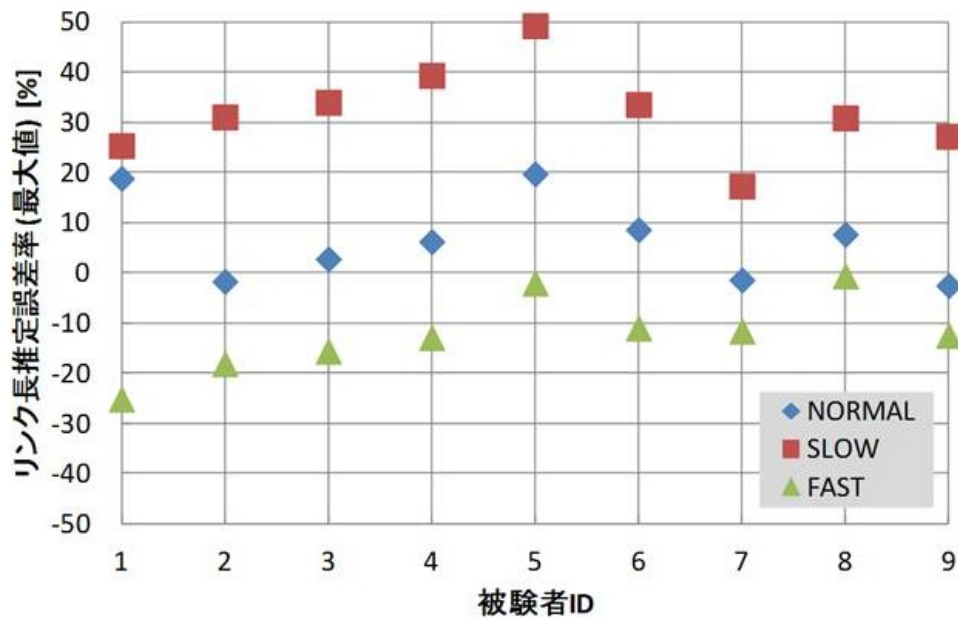


図 2.7 リンク長推定誤差率 (最大値)

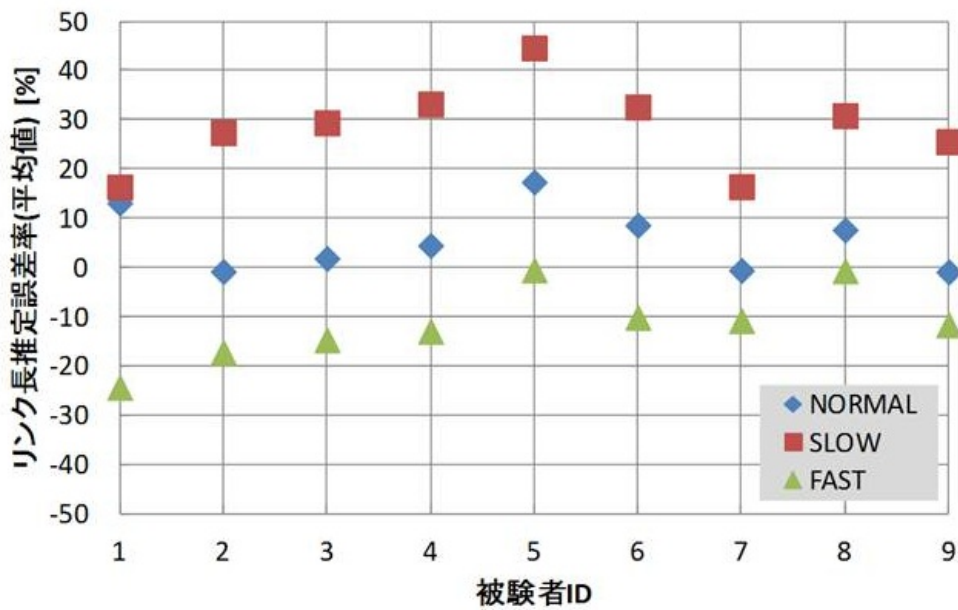


図 2.8 リンク長推定誤差率 (平均値)

図 2.7 と図 2.8 の横軸に記載した数字は被験者 ID で、図 2.7 の縦軸はリンク長の推定誤差率(最大値)である。図 2.8 の縦軸はリンク長の推定誤差率(平均値)である。誤差率の符号は、正解よりも長く推定された場合がプラスで、正解よりも短く推定された場合がマイナスである。NORMAL, SLOW, FAST は、それぞれ被験者に指示した歩行速度(NORMAL = 通常, SLOW = 遅い, FAST = 速い)を意味する。

図 2.7 と図 2.8 から、リンク長の推定誤差率は被験者の違いと歩行速度の影響を受けることがわかる。そして、その誤差率は遅い速度で歩行した場合において、最大で 50% 程度であることがわかった。通常速度、または速い速度で歩行した場合の誤差率の最大値は約 20% であることがわかった。

2.4.2 リンク接続角度長推定誤差に関する調査

歩行条件の違いがリンク接続角度の推定誤差に与える影響を調査するために、表 2.2 の被験者 3 に、通常速度、可能な限り遅い速度(ただし現実的な歩行速度)、可能な限り速い速度(ただし走らない)、の 3 通りの歩行速度で蛇行せずに歩行するよう指示を与え、9 通りの接続角度($\pm 180[\text{deg}]$, $\pm 135[\text{deg}]$, $\pm 90[\text{deg}]$, $\pm 45[\text{deg}]$, $0[\text{deg}]$)の旋回角を持つ長さ 10m の 2 本の直線上を歩行した場合の旋回角、すなわち、リンク接続角度の推定誤差を算出した。リンク接続角度は(1)式を用いて推定し、このときの角速度は携帯端末に搭載されたジャイロセンサと加速度センサで取得したデータを使用して人体の旋回動作を支配すると考えられる鉛直線を軸とした角速度の水平成分を算出した。この実験は 10 回実施した。各リンク接続角度と歩行速度におけるリンク長推定誤差の最大値と平均値を、図 2.9 と、図 2.10 にそれぞれ示す。

図 2.9 と図 2.10 の横軸はリンク接続角度で、図 2.9 の縦軸はリンク接続角度推定誤差(最大値)である。図 2.10 の縦軸はリンク接続角度推定誤差(平均値)である。誤差の符号は、正解よりも深く角度が推定された場合がプラスで、正解よりも浅く角度が推定された場合がマイナスである。NORMAL, SLOW, FAST は、それぞれ指定した歩行速度(NORMAL = 通常, SLOW = 遅い, FAST = 速い)を意味する。

図 2.9 と図 2.10 から、リンク接続角度の推定誤差は歩行速度よりも旋回角、すなわちリンク接続角度の大きさによって支配されていることがわかった。そして、その誤差はリンク接続角度が $45[\text{deg}]$ 以上の場合において、最大で $13[\text{deg}]$ 程度であった。この結果は被験者 3 による結果だが、歩き方、すなわち歩行速度の違いによりも旋回角の絶対値のほうが支配的であることを意味している。歩き方の違いには個人差が存在するが、旋回角の絶対値は被験者に依存しないため、リンク接続角度推定誤差は被験者の違いに支配的な影響を与えないと考えられる。

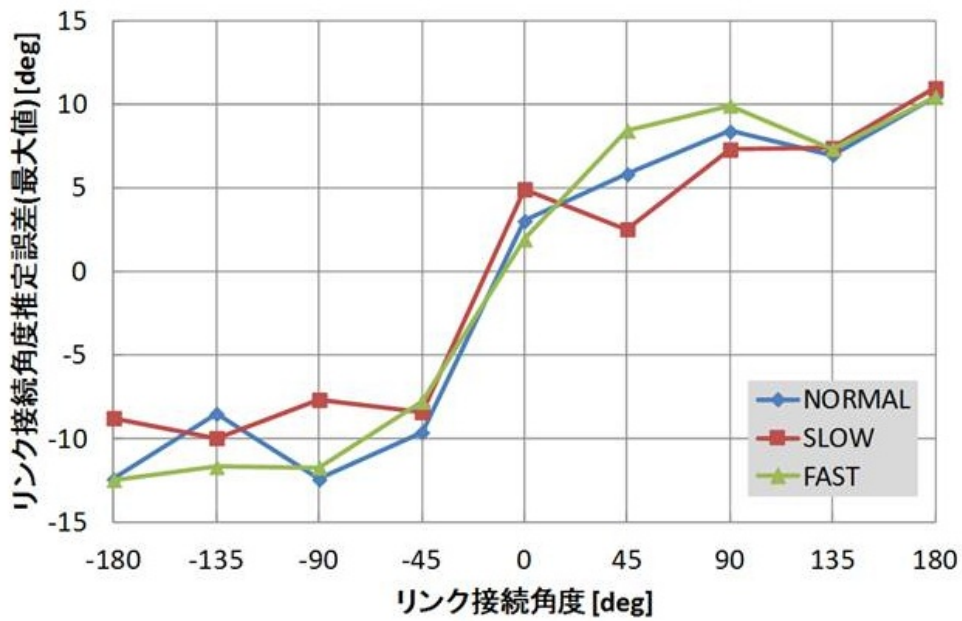


図 2.9 リンク接続角度推定誤差（最大値）

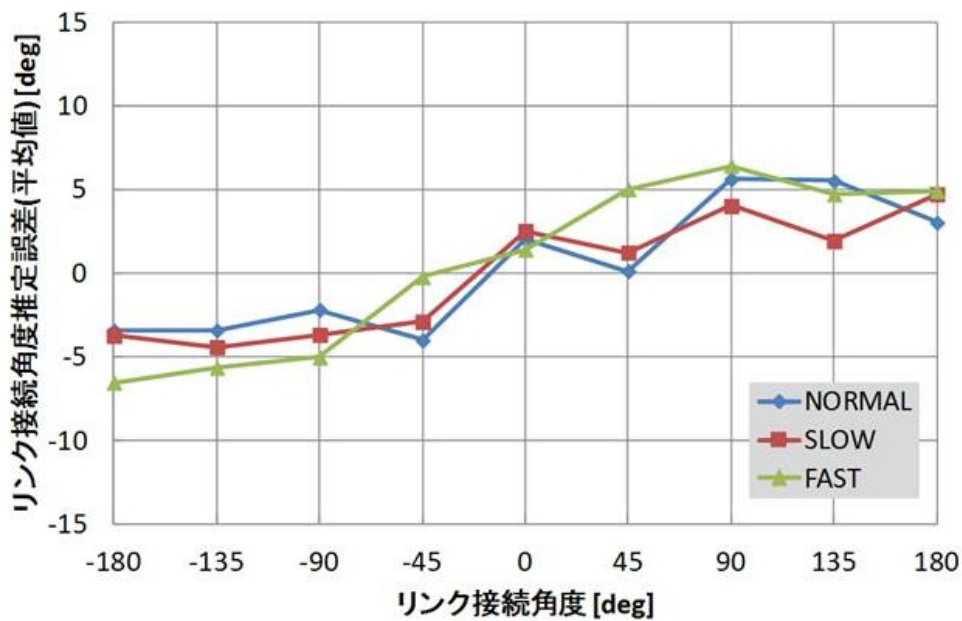


図 2.10 リンク接続角度推定誤差（平均値）

2.4.3 調査結果まとめ

本調査の結果をまとめる。

リンク長の推定誤差率は被験者の違いにより、ゆっくり歩いた場合において、最大で約 50%、通常の速度、または速い速度で歩いた場合において最大で約 20% であることがわかった。

リンク接続角度の推定誤差は、歩行速度の影響を受けにくく、旋回角の影響を受けることがわかった。そしてその推定誤差の最大値は $\pm 13[\text{deg}]$ 程度であることがわかった。

以上の結果は、歩行速度が遅い場合以外は、本章第 2.3.3 節で示した提案方式が正常に動作するための条件を満足する値であるため、本調査結果は、歩行速度が通常または速い場合において、提案方式が正しく歩行経路を推定可能な可能性が高いことを示していると考えられる。歩行速度が遅い場合においても、リンク長の推定誤差が想定した条件一杯の誤差率となるため被験者によっては提案方式が適用できる可能性があることが図 2.7~ 図 2.10 から読み取ることができる。

2.5 提案方式の実現可能性の調査

本章第 2.4 節により、被験者の違いや歩行条件に依らず提案方式は適用できる可能性が高いと考えられたが、本節では実際に地下街で実験を実施して提案方式の実現可能性を調査する。

2.5.1 調査条件

実験は、神奈川県川崎市の川崎アゼリア地下街で実施した。歩行ルートとトポロジ情報を図 2.11 に示す。

図 2.11 で、太い実線は歩行ルートを、で示されたシンボルはノードを表すトポロジ情報を、破線はリンクを現わすトポロジ情報を示す。歩行ルートの矢印の向きは移動した方向を表しており、

の中に白抜き文字で記載された数字はノードを識別するためのノード番号である。トポロジ情報は、市販の歩行者ネットワーク情報の作り方を参考にして以下の手順で作成した。

1. 実験を実施したエリア（地下街）全体をカバーする通路図を用意する
2. 地上など外部とつながっている階段と出入口と交差点の中央にノードを配置する
3. ある 2 つのノード間に通路が存在する場合はその 2 つのノード間にリンクを配置する

図 2.11 のコースの全長は 376m で、歩行所要時間は 4 分 45 秒だった。使用したトポロジ情報のリンク長は、最小 6.7m、平均 41.7m、最大 97.2m で、リンク接続角度、すなわち変針角は全て $\pm 30 \sim \pm 135[\text{deg}]$ の範囲内だった。床面は鏡面仕上げされた硬質の石材でほぼフラットである。実

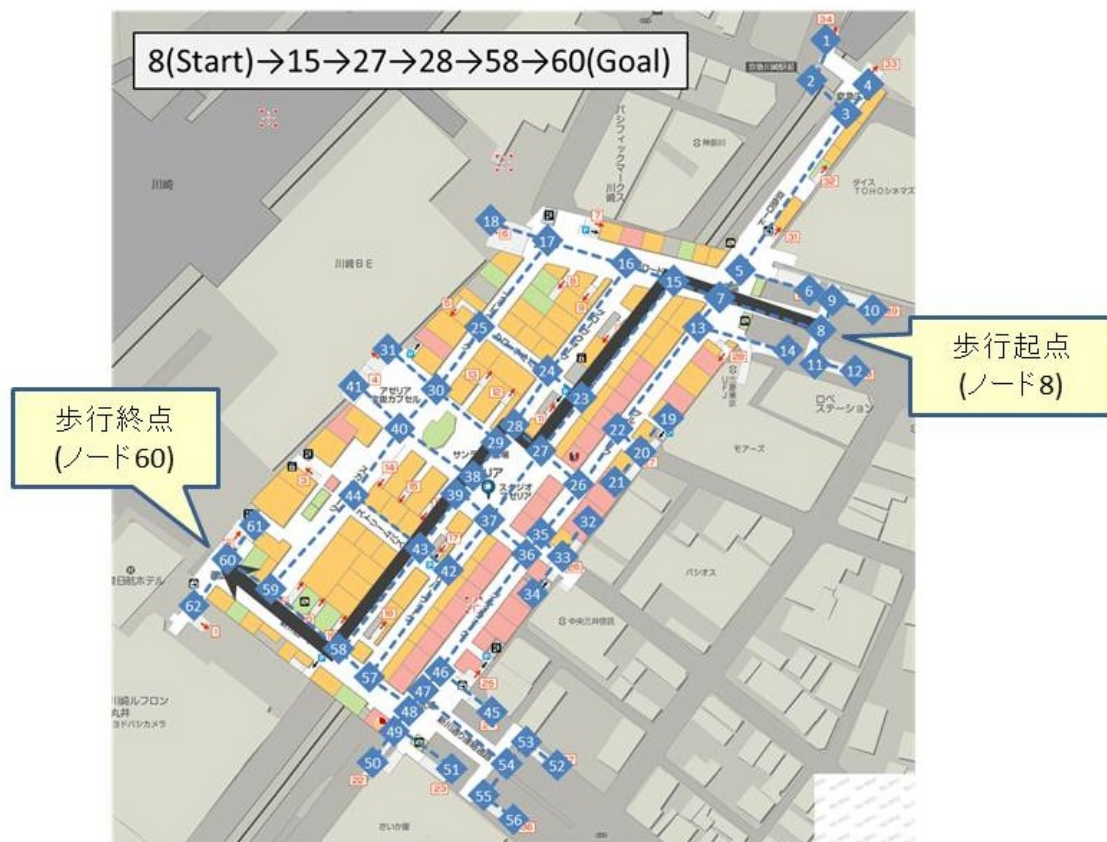


図 2.11 実験で歩行したルート

験者には、蛇行しない程度に通路に従って歩行するように指示を与え、実験は人混みが少ない時間帯に実施した。

端末は市販の携帯電話端末を使用した。この携帯電話端末には加速度センサを使用した歩数計と3軸ジャイロセンサが搭載されている。実験者は腰に装着したホルダに携帯電話端末を固定し、図2.11に示すコースを通常の歩行速度で歩いた際の歩数計の出力と3軸ジャイロセンサの出力を実験データとして専用ソフトで記録した。そして記録されたデータをオフラインで処理して歩行形状を算出した。実験者は30歳代の成人男性で、歩幅は67.6cmである。また、この実験者は本章第2.4.1節の予備実験において被験者になっていない。本評価実験の実験者は1名であるが、本提案方式の測位精度はリンクの推定精度に依存するため、基本的にはリンクの推定が正常にできれば実験者による影響は無視できると考えられる。リンクの推定精度については予備実験結果から明らかになっており、本評価実験においては問題なくリンクの推定ができるパラメータを与えて実験を実施するため、実験者が1名であることによる本実験結果の妥当性には問題が無いと考える。リンク長は(2.2)式を使用して推定した。リンクの始点と終点は旋回動作を検出した地点とした。旋回

動作は，ジャイロセンサの出力を水平面に投影し角速度出力を(2.1)式により積分し，旋回角 ϕ が $|\phi| \geq 30[\text{deg}]$ となった場合に旋回と判定した．

推定した歩行形状をトポロジ情報の中から検索する手法は本章第 2.3 節で示した 2 つの方式で実施した．以下に 2 つの手法別に実験方法とその結果を示す．

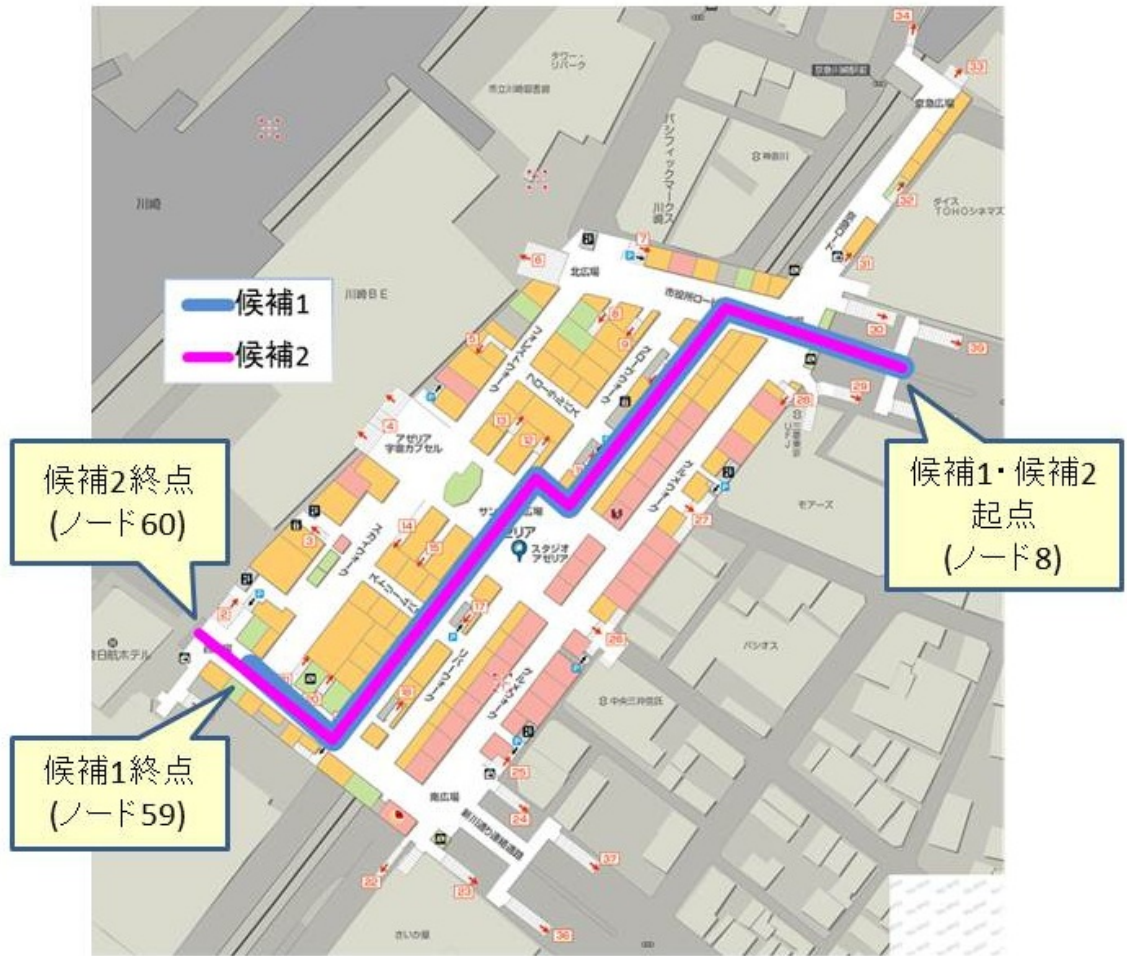
2.5.2 実現性の確認実験（形状検索手法 1）

形状検索手法 1 では以下の手順で推定された歩行形状情報をトポロジ情報の中から検索する．

1. 推定された各リンクの終点における変針角 ϕ を(2.1)式により算出する
2. 推定された各リンクのリンク長に対して $\pm 37\%$ のマージンを与える
3. 算出された変針角に対して $\pm 20\text{deg}$ のマージンを与える
4. トポロジ情報が持つ全てのリンク情報の中から総当たりで推定されたリンクのリンク長と一致するリンクを検索する（その際，上記で示したリンク長のマージンを考慮する）
5. リンク長が一致したリンク情報の中から，推定された変針角方向に別のリンクが存在するリンク情報を残す（その際，上記で示した変針角のマージンを考慮する）
6. 上記を繰り返す

上記(2)および(3)で与えられているマージンは本章第 2.4.1 節の調査結果において，リンク長の推定誤差率の最大値が通常歩行時で約 20% であることと，リンク接続角度推定誤差の最大値が約 13[deg] であったことからこれらを上回る値を上回るように設定した．このマージンの値は，本章第 2.3.3 節で述べた許容値を満足している．形状検索手法 1 により推定した経路の候補と，その際，検索したリンク数と経路の候補数の関係を図 2.12 に示す．

図 2.12 で，2 本の実線で示された経路は形状検索手法 1 により推定された経路の候補である．図 2.12 では，形状検索手法 1 では検索リンク数が増えるに従い徐々に経路の候補数が減少している．そして最終的に 2 本の候補が残っており，この 2 本の候補のうち 1 本は図 2.11 で示した実際に歩行した経路と一致していることがわかった．



| 検索したリンク数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|-----|----|----|----|---|
| 得られた候補数 | 138 | 49 | 22 | 14 | 2 |

図 2.12 形状検索手法 1 により推定された経路の候補

2.5.3 実現性の確認実験（形状検索手法 2）

形状検索手法 2 では以下の手順で推定された歩行形状情報をトポロジ情報の中から検索する。

1. 推定された各リンクの終点における変針角 ϕ を (2.1) 式により算出する
2. 推定された各リンクのリンク長と変針角から移動軌跡の形状を決定する
3. 任意のノードを始点とし（全てのノードを総当たりで）、それに続くトポロジ情報のノードを移動軌跡の形状とリンク数にあわせて選択する
4. 推定された k 番目のノードの座標を N_k 、そのノードに対応するトポロジ情報のノードの座標を C_k とするとき、(2.3) 式で算出される E が最小になる N_k の組を検索する
5. 上記を繰り返す

形状検索手法 2 による実験結果を図 2.13 と図 2.14 に示す。

形状検索手法 2 では、検出されたリンク群をトポロジ情報の中から検索する際に、全てのリンクを一気に検索するのではなく、少ないリンク群（本例では 3 リンク）毎に E が最小となる経路の候補を検索し、その操作を 1 リンクずつシフトさせて経路の候補を徐々に絞り込むことで歩行経路を検索する。

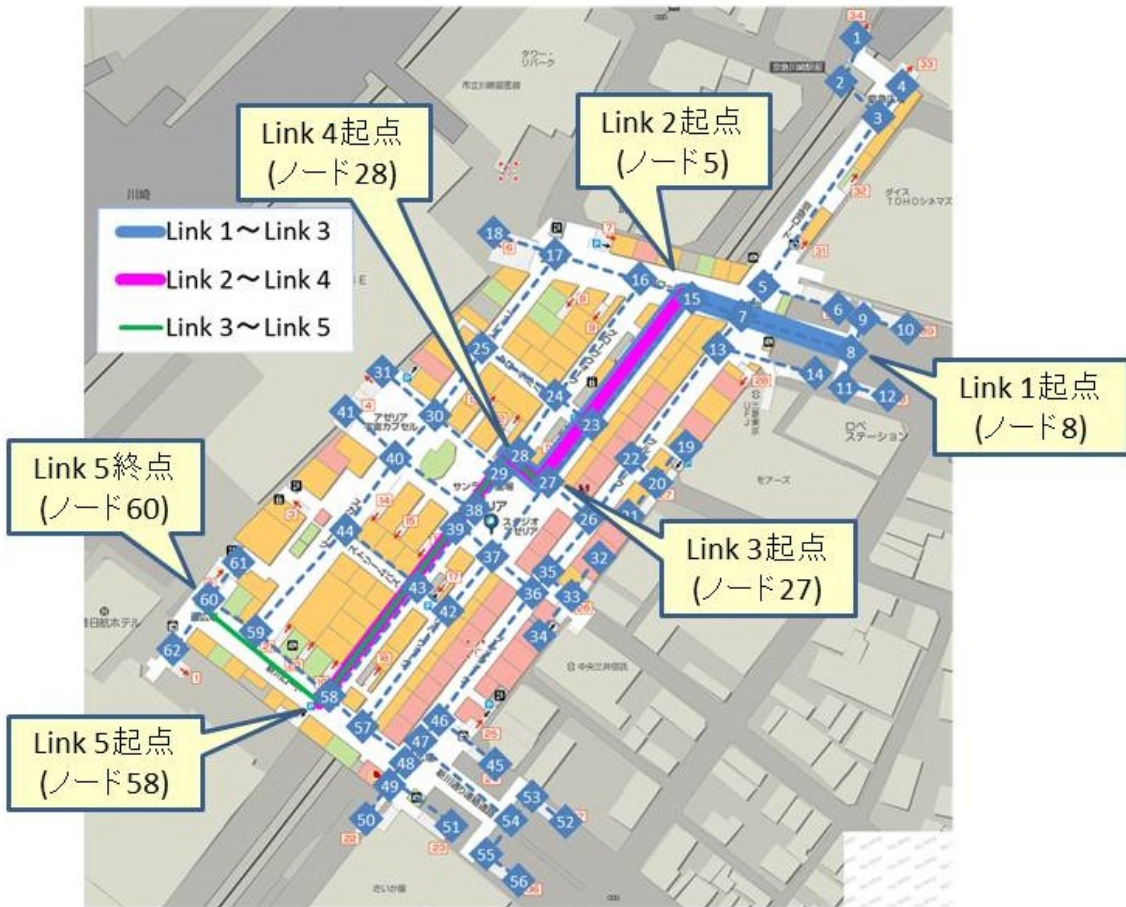


図 2.13 推定された経路 (形状検索手法 2)

図 2.13 で 3 本の実線で示されたリンク群は、それぞれ次の番号を持つノードを矢印で示した順番に通過する 3 本のリンクから成るリンク群である。

- Link 1~Link 3 : ノード 8→15→27→28
- Link 2~Link 4 : ノード 15→27→28→58
- Link 3~Link 5 : ノード 27→28→58→60

ここで、Link の後に付加されている数字は、歩行を開始してから検出されたリンクに 1 から昇順で付けられたリンク番号である。

N₂~N₄の組合せが同じものを探索し、組合せが違えば候補から除外していく

| | Link 1~Link 3 が通過したノード の候補 | | | | | | Link 2~Link 4 が通過したノード の候補 | | | | | Link 3~Link 5 が通過したノード の候補 | | | | | | |
|------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
| | E | N ₁ | N ₂ | N ₃ | N ₄ | × | E | N ₂ | N ₃ | N ₄ | N ₅ | × | E | N ₃ | N ₄ | N ₅ | N ₆ | |
| 候補1 | 28 | 7 | 17 | 40 | 41 | × | 28 | 16 | 29 | 30 | 59 | × | 10 | 27 | 28 | 58 | 60 | ○ |
| 候補2 | 31 | 40 | 59 | 48 | 50 | × | 36 | 15 | 27 | 28 | 58 | | 19 | 26 | 27 | 57 | 59 | |
| 候補3 | 32 | 8 | 15 | 27 | 28 | | 40 | 13 | 26 | 27 | 57 | | 29 | 27 | 28 | 58 | 59 | |
| 候補4 | 37 | 8 | 16 | 28 | 27 | × | 40 | 3 | 7 | 15 | 27 | | 36 | 26 | 27 | 57 | 60 | |
| 候補5 | 40 | 7 | 17 | 30 | 31 | × | 42 | 3 | 7 | 16 | 29 | | 51 | 26 | 28 | 58 | 59 | |
| 候補6 | 43 | 30 | 59 | 48 | 49 | × | 42 | 13 | 26 | 28 | 58 | | 55 | 33 | 35 | 48 | 59 | |
| 候補7 | 44 | 8 | 16 | 29 | 30 | | 43 | 7 | 26 | 27 | 57 | | 56 | 7 | 15 | 37 | 39 | |
| 候補8 | 46 | 40 | 59 | 48 | 49 | × | 44 | 7 | 26 | 28 | 58 | | 57 | 26 | 27 | 57 | 58 | |
| 候補9 | 49 | 15 | 17 | 40 | 41 | × | 45 | 3 | 7 | 15 | 37 | | 61 | 61 | 60 | 48 | 50 | |
| 候補10 | 57 | 30 | 59 | 48 | 50 | × | 47 | 3 | 7 | 16 | 38 | | 63 | 23 | 24 | 58 | 60 | |

図 2.14 E と推定された経路候補の関係（形状検索手法 2）

図 2.14 は、Link 1~5 を 3 つのリンク群に分割し、その 3 つのリンク群のそれぞれのリンク群をトポロジ情報の中からした経路の候補を示している。図 2.14 の E は、(3) 式によって求めた値であり、E が小さいほど検索された候補が正解経路に近いことを意味する。図 2.14 で着色された候補は、そのリンク群において正解経路である可能性がある候補、すなわち生き残った経路の候補で、×印が付加された候補は、次のリンク群に同じ配列のノードが存在しないことから正解経路である可能性が無くなった候補、すなわち候補から外れた候補を意味する。

従って、図 2.14 で黄色で着色された候補、すなわち、

- Link 1~Link 3 のリンク群の候補 3
- Link 2~Link 4 のリンク群の候補 2
- Link 3~Link 5 のリンク群の候補 1

が候補として生き残ったリンク群である。図 2.11 で示したように、正解経路は、ノード 8→15→27→28→58→60 なので、形状検索手法 2 による実験結果は、歩行コースと一致した経路を推定することに成功したことがわかった。

2.5.4 提案方式の実現可能性の調査結果まとめ

本章第 2.5.2 節と本章第 2.5.3 節の結果によれば、提案方式は、形状検索手法 2 を採用した場合に正しく実際に歩行した経路を推定できた。形状検索手法 1 を採用した場合には唯一の歩行経路を推定することはできなかったが、実際に歩行した経路を含む 2 つの経路を推定することができた。以上から、本確認実験の実施条件における提案方式の実現可能性が確認された。

2.6 考察

2.6.1 提案方式の適用範囲について

本章第 2.4 節で示した調査結果によれば、被験者の違いがリンク長とリンク接続角度に与える影響は本章第 2.3 節で示した提案方式が正常に動作するための条件を満たしており、本章第 2.5 節の結果もそれを裏付ける結果を示していた。このことから、提案方式は被験者が通常考えられる範囲の歩行速度で蛇行せずに直線的に歩行している限りは提案方式は年齢、性別、歩行速度の影響を殆ど受けないと考えられる。しかしながら、今回調査対象としなかった、停止や走行や蛇行を含む場合、および、子供、60 歳代以上の高齢者においては影響が未知であるため現段階では本方式の適用対象外である。

本章第 2.5 節で示した調査実験では、特定の地下街のトポロジ情報を予め取得することに成功したことを前提として実験を実施しているが、最初にどのエリアのトポロジ情報を検索対象とすることを決定するための大雑把な位置推定結果が非常に大きな誤差を持ち、選択されたトポロジ情報の中に正解となる経路の一部、または全部が含まれなかった場合、提案方式による経路推定結果は誤差を持つか、あるいは全く間違った結果を出力してしまうと考えられる。従い、提案手法は、歩行軌跡形状の検索対象とするトポロジ情報が歩行したルートの中にあるトポロジを含んでいることが必要になる。トポロジ情報を非常に広範囲に取得すればこの問題は解決されることが考えられるが、広範囲過ぎた場合は検索が困難になることが予想される。現段階では、川崎アゼリア（面積約 56000 平米）において提案方式の実現可能性が確認されているが、更に広い範囲における実現可能性、および、適切な範囲のトポロジ情報を取得する方式については今後検討が必要である。

2.6.2 経路推定結果について

本章第 2.5 節で示したように、5 リンクからなるコースを歩行した場合に、形状検索手法 1、形状検索手法 2 共に、実際に歩いたルートに一致する経路を推定することができた。しかし、形状検索手法 2 が実際に歩いたルートだけを推定したのに対し、形状検索手法 1 は、実際に歩いたルート

とは異なる候補も推定した．形状検索手法 1 が 2 本の経路を候補として残してしまった原因として，歩行したリンク数が少なかったことが考えられる．そこで，評価実験を実施したのと同じトポロジデータを持つエリア内において，図 2.15 に示す 10 リンクから成るルートを歩行し，形状検索手法 1 により経路を推定した．

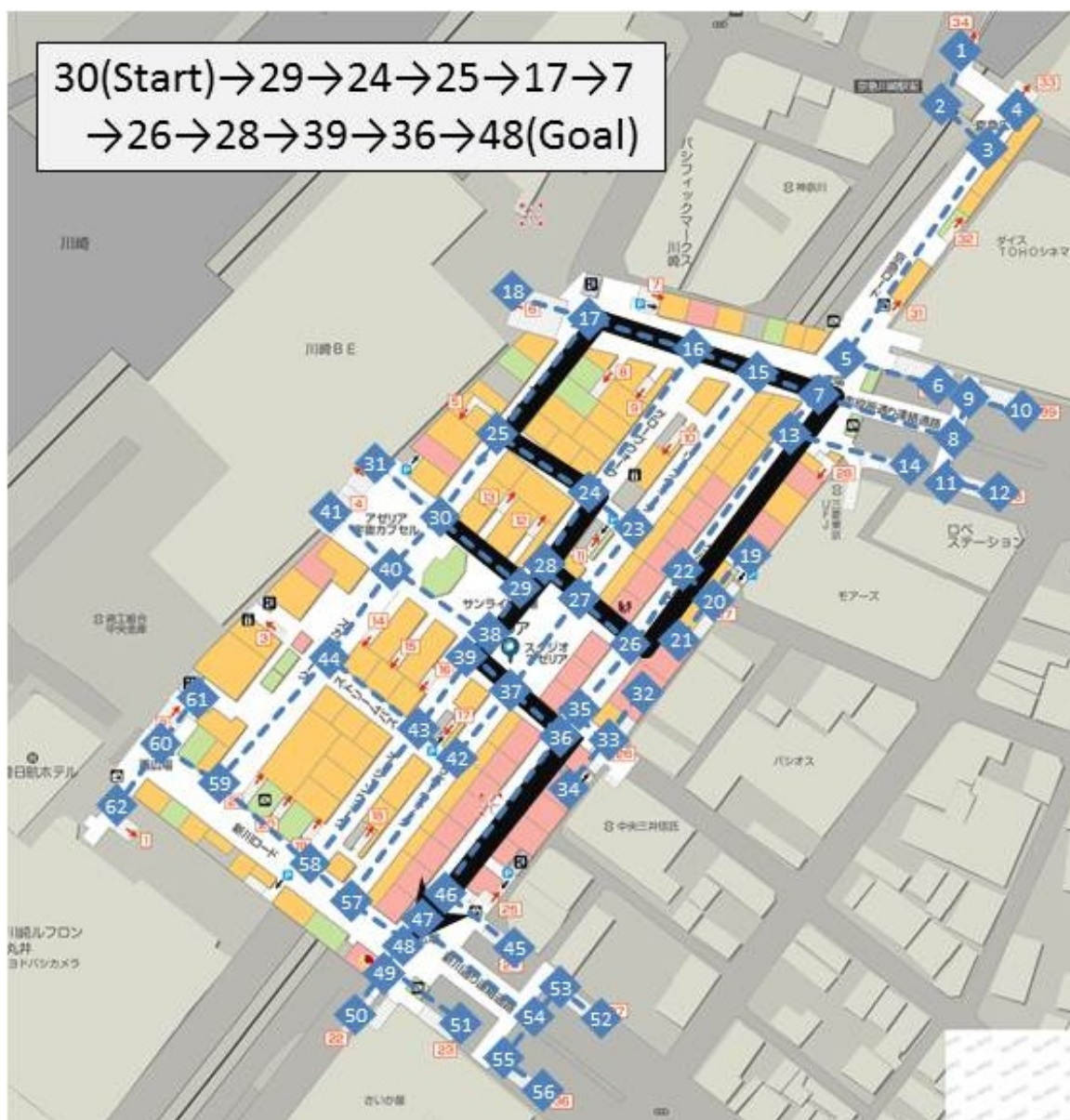


図 2.15 10 リンクから成るルート

図 2.15 のコースの全長は 547m で，歩行所要時間は 6 分 55 秒だった．使用したトポロジ情報，実験者，コースの条件，および，実験者への指示内容は形状検索手法 1・2 の評価実験と同一である．結果を図 2.16 に示す．



図 2.16 10 リンクから成るルートを行きし形状検索手法 1 により経路を推定した結果

図 2.16 からわかるように，リンク数を 10 に増やした場合に得られた経路の候補数は 25 だった．しかし 25 の候補の中に正解ルートが含まれていたことから，形状検索手法 1 は正解ルートを推定することができないのではなく，候補数を減らすことが困難な方式であると考えられる．候補数を 1 本に絞ることができない原因はリンク長と変針角の推定マージンが大きいためと考えられる．こ

の推定マージンを小さくすると候補数は減ると予想されるが、正解経路を含む候補が検索できなくなってしまう可能性があるため最適な値を与えることが困難と考えられる。

一方で、形状検索手法 2 は、3 リンクから構成されるリンク群単位でトポロジ情報との誤差を算出することで歩行した経路を推定することに成功した。

以上の結果から、形状検索手法 1 と形状検索手法 2 を比較すると、形状検索手法 2 の方が経路を一本に絞り込むことができた点で優位な方式であることがわかった。この差は、歩行形状を推定する際の推定マージンによるものと考えられる。なぜなら、形状検索手法 1 は推定マージンを持っている分、原理的に誤差が大きくなるからである。一方、形状検索手法 2 は推定誤差を E が吸収する効果を持っており、これが有利に働いたと考えられる。

また、トポロジ情報の適用可能性についても考慮が必要だが、今回検討した変針角、すなわちリンク接続角度が $\pm 45[\text{deg}] \sim \pm 135[\text{deg}]$ の範囲内で変針する場合であればリンク推定は正しく行われることが本章第 2.4.1 節の調査実験から判明しているため適用の範囲内である。

また、トポロジ情報の数や道路の幅の影響については調査していないので、どれだけ広い範囲のトポロジ情報に対応可能で、また、道路幅の影響がどの程度あるのかについては今後調査が必要である。

2.7 まとめ

本章では、慣性航法によって得られた歩行軌跡形状を、歩行者ネットワークデータベースが持つトポロジ情報から検索することによって測位のためのインフラを使用することなく歩行者の歩行経路を推定する方式を提案した。

提案方式の有用性を検証するために、被験者の違いや歩行条件の違いが歩行軌跡形状の推定性能に与える影響を調査する実験を実施した。実験の結果、年代、身長、性別が異なる 9 名の被験者により、蛇行せずに通常速度、遅い速度、速い速度の 3 通りの歩行速度で歩行した場合に推定されるリンク長とリンク接続角度の推定誤差がそれぞれ $\pm 20\%$ (平均) $\sim 50\%$ (最大)、 $\pm 13\text{deg}$ 程度であることがわかった。

そして、提案手法の実現可能性を調査するために、二つの経路検索手法による歩行経路を推定する実験を実施した。道路トポロジとリンクをマッチングさせる方式として、歩行形状のリンク長と変針角情報をそのままマッチングに使用する形状検索手法 1 では 5 リンク歩行した際に実際に歩行したルートを含む 2 本の経路にルートの候補を絞ることが出来た。この方式では、歩行リンク数を 10 に増やしても歩行経路の候補数を減らすことができないこともわかった。そして、ノードの推定位置誤差の総和を使用する形状検索手法 2 では、5 リンク歩行した際に実際に歩行したルートを推定することができた。以上から、今回の実験結果から、提案した 2 方式はいずれも実際に歩行

したルートを推定する上で有効に作用し、形状検索手法 1 と比較して形状検索手法 2 が優位であったことを示した。そしてそのときに必要とされるリンク数は 5 であり、測位精度はトポロジ情報を持つ精度と同等の精度が期待される。

以上の結果から、本章で提案した方式を適用することで、測位のためのインフラを使用することなく、歩行者の歩行経路が推定できる可能性があることが、実際の地下街で実施した検証実験で確認された。

しかし、今回は正解のルートを含むトポロジ情報を予め選択していたが、実際にはこのトポロジ情報を正しく選択できない可能性もある。また、他のエリアのトポロジ情報を使用しての動作確認も必要である。そこで今後は、他のトポロジ情報を持つエリアでの動作確認と、トポロジ情報の複雑さの影響について、更に、経路の検索対象とするトポロジ情報のエリアの広さがどの程度まで広くできるのかについてと、道路幅の影響に関して調査する予定である。

第 3 章

地磁気情報を有効利用する技術

3.1 まえがき

近年，ユビキタスデバイスを利用した位置情報サービスの利用が活性化している．位置情報を取得するには様々な手法があるが，GPS や無線 LAN などの絶対位置情報を取得する手段と PDR などの相対位置情報を取得する手段を組合わせた方式が，屋内外を問わずシームレスに使用できる方式として検討されている [39], [40]．それらのうち，PDR はユビキタスデバイスに搭載された多軸の加速度センサ・磁気センサによって実現できる．中でも 3 軸の磁気センサは地磁気ベクトルを検出する能力を持っている．地磁気ベクトルの水平成分は端末の絶対方位情報を知るために使うことができるため，PDR に役立つ情報である [41], [42]．また，絶対方位情報が不正確であっても，相対方位の変位情報が PDR に役立つ場合もある [43]．しかしユビキタスデバイスを使用する環境には磁気的な外乱が存在する．磁気的な外乱とは真の地磁気以外，すなわち，建物の鉄骨などの磁性体が持つ磁気擾乱や，交流電流や磁界などが発生する磁気である．そしてそれは人の移動に伴い短い周期で変化する．そのため，ユビキタスデバイスで地磁気情報を使用するためには，周辺の磁気的な環境を常に監視し，その地磁気情報の利用可否を判断し続ける必要がある．そのため，地磁気環境を検出する従来技術が存在する．しかし，従来方式では良い環境を悪いと誤検出してしまうケースも存在すると考えられる [41], [44]．そこで本章では，従来方式よりも詳細に磁気的な外乱の発生要因を考慮することで，従来方式よりも誤検出が少ない磁気的環境検出方式を提案する．

3.2 日本国内における磁気外乱の調査

まず初めに，ユビキタス端末が存在する環境において，磁気的な外乱が地磁気情報の品質に与える影響を実測により調査した．調査のために，磁気的な外乱が存在すると考えられる環境を表 3.1 の A~S に示す 19 環境に分類した．表 3.1 の分類をするにあたり，磁気的な外乱は，建物の構造体に使われている鉄骨や，人工的な磁気，高圧電流が主な発生要因と考えた．それゆえに，鉄筋と

電流が存在する建物の内外（屋内/屋外），地下街を構成する鉄骨の有無（地下/地上）や，周辺の建築物の有無（有/無）とその位置（上/中/下/横），車両や他の移動体の有無（道路および歩道/それ以外），を考慮した．また，調査対象を全ての日本国内の歩行者が存在すると考えられる環境とした．ただし，乗り物の内部は含まない．

表 3.1 調査対象エリアの分類

| 記号 | 屋内外等 | 近傍障害物 | 障害物の位置 | 通路の種別 | 代表例 | | | |
|----|------|-----------|--------|---------|---------|----------|---------|----------|
| A | 屋外 | 地上 | 無 | — | 道路・歩道以外 | 自然公園 | | |
| B | | | | 横 | 道路・歩道 | 市街地の歩道 | | |
| C | | | | | 道路・歩道以外 | 市街地の公園 | | |
| D | | | 鉄筋建築物 | 下 | 道路・歩道 | 高架橋上の歩道 | | |
| E | | | | | 道路・歩道以外 | ビル屋上の駐車場 | | |
| F | | | 上 | その他 | 横 | 道路・歩道 | 高架橋下の歩道 | |
| G | | | | | | 道路・歩道以外 | 高架橋下の広場 | |
| H | | | 屋内 | 地上 | 鉄筋建築物 | 周囲 | 道路・歩道 | 住宅街の道路 |
| I | | | | | | | 通路・廊下 | ビル地上階の廊下 |
| J | その他 | ビル地上階の階段 | | | | | | |
| K | 居室 | ビル地上階の居室 | | | | | | |
| L | 広場 | ビル地上階の駐車場 | | | | | | |
| M | 地下 | 鉄筋建築物 | | | 上 | 通路・廊下 | 地下連絡通路 | |
| N | | | | | | その他 | 地下商店街売場 | |
| O | | | | | | 通路・廊下 | ビル地階の廊下 | |
| P | | | | | | 階段 | ビル地階の階段 | |
| Q | | | 居室 | ビル地階の居室 | | | | |
| R | 広場 | ビル地階の駐車場等 | | | | | | |
| S | その他 | ビル地階の商店売場 | | | | | | |

表 3.1 で使用している用語を以下で定義する．

1. 屋外：地上と屋根が無い場所
2. 屋内：地下と屋根がある場所
3. 地上：大地面よりも高度が高い部分
4. 地下：大地面よりも高度が低い部分
5. 近傍障害物：近傍の鉄筋等が使われている建築物

表 3.1 で示した環境における地磁気の品質を，日本の北海道地方北部から関東地方南部（北緯 35deg ~ 46deg）の範囲内の 893 箇所ですべて実際に測定することによって調査した．地磁気の伏角は高緯度になるほど大きくなり，方位を算出するために必要な水平成分が小さくなることから外乱の影響を受けやすいと考えられる．そのため，本調査では外乱の影響を高緯度地方と比べて受けにくいと考えられる日本の低緯度地方（北緯 20deg ~ 34deg）を調査の対象外とした．センサは市販の携帯

電話で使用されている 3 軸地磁気センサを地面または床面などの歩行者が立つ面から 1m の高さに固定して測定した。測定はデータが安定するまで十分長い時間をかけて行い、測定者が磁気的な外乱を発生しないように配慮して実施した。センサ自身および端末の帯磁の影響は無いように測定系は校正されている。評価指標を表 3.2 に、測定結果を表 3.3 に、それぞれ示す。表 3.2 における「誤差」は、測定された地磁気ベクトルの水平成分の方位の誤差である。「誤差」が「無」の場合は、測定された地磁気ベクトルの方位がその地点において期待される値と比較して $\pm 5[\text{deg}]$ 以内の状態が保たれていた場合である。実際の方位は地図から求めた目標物の向きを利用して求めたため、この誤差を考慮して「誤差」の判定には $\pm 5[\text{deg}]$ の幅を持たせた。「SNR」とは、実験を実施した地点において自然に存在する地磁気的全磁力の期待値と実際に測定された地磁気的全磁力との比の絶対値の最大値である。従って、「SNR」が大きいほど地磁気以外の磁気、すなわち磁気的な外乱が多く存在していたことになる。地磁気の大きさのリファレンスには [45] の値を使用した。

表 3.2 評価指標

| 評価指標 | 誤差 | 定義 |
|------|----|------------------------------------|
| 優 | 無 | $6[\text{dB}] \leq \text{SNR}$ |
| 良 | 無 | $3 \leq \text{SNR} < 6[\text{dB}]$ |
| 可 | 有 | $3 \leq \text{SNR} < 6[\text{dB}]$ |
| 不可 | 有 | $\text{SNR} < 3[\text{dB}]$ |

表 3.3 日本国内における磁気環境の評価結果

| 環境情報 | | | | | | 評価結果 [%] | | | | |
|------|------|-----------|--------|-------|---------|-----------|-------|--------|-----|-----|
| 記号 | 屋内外等 | 近傍障害物 | 障害物の位置 | 通路の種類 | 代表例 | 優 | 良 | 可 | 不可 | |
| A | 屋外 | 地上 | 鉄筋建築物 | — | 道路・歩道以外 | 自然公園 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| B | | | | | 道路・歩道 | 市街地の歩道 | 0 | 22 | 56 | 22 |
| C | | | | | 道路・歩道以外 | 市街地の公園 | 41 | 26 | 7 | 26 |
| D | | | | | 道路・歩道 | 高架橋上の歩道 | 0 | 50 | 25 | 25 |
| E | | | | | 道路・歩道以外 | ビル屋上の駐車場 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| F | | | | | 道路・歩道 | 高架橋下の歩道 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| G | | | | | 道路・歩道以外 | 高架橋下の広場 | 0 | 50 | 0 | 50 |
| H | | | | | その他 | 横 | 道路・歩道 | 住宅街の道路 | 67 | 22 |
| I | 屋内 | 地上 | 鉄筋建築物 | 周囲 | 通路・廊下 | ビル地上階の廊下 | 5 | 37 | 31 | 31 |
| J | | | | | その他 | ビル地上階の階段 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| K | | | | | 居室 | ビル地上階の居室 | 22 | 56 | 11 | 11 |
| L | | | | | 広場 | ビル地上階の駐車場 | 7 | 14 | 14 | 64 |
| M | | | | | 通路・廊下 | 地下連絡通路 | 5 | 32 | 14 | 50 |
| N | | | | | その他 | 地下商店街売場 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| O | | | | | 通路・廊下 | ビル地階の廊下 | 11 | 56 | 33 | 0 |
| P | | | | | 階段 | ビル地階の階段 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| Q | | | | | 居室 | ビル地階の居室 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| R | | | | | 広場 | ビル地階の駐車場等 | 50 | 25 | 25 | 0 |
| S | その他 | ビル地階の商店売場 | 10 | 43 | 11 | 31 | | | | |

総取得データ数: 893

調査対象緯度: 北緯35度～北緯46度

表 3.3 から、いつでも使用可能な地磁気情報を観測できる環境は、19 種類のうち 100% 「優」と判定された環境 A と環境 Q のわずかに 2 種類で、妨害が存在しない場合であれば使用可能な地磁気情報を観測できる環境は、100% 「不可」と判定された環境 E と環境 F と環境 P、および、100% 「優」と判定された 2 環境を除く 14 環境であることがわかった。これら 14 環境では、磁気的外乱検出法を使用することによって環境を「優」または「不可」に判定することができるようになる可能性がある。

3.3 従来方式とその課題

磁気外乱検出法の従来方式として図 3.1 に示す興相らの方式がある [41]。図 3.1 で示された方式では、地磁気の伏角の測定値と、その地点における伏角の期待値が大きく異なっていた場合に、そのエリアに何らかの磁気的な外乱が存在すると判定する。伏角の測定値は端末に搭載されたセンサ情報から計算する。伏角の期待値は GPS によって得られた位置情報とデータベースが提供する。しかし、この方式では、水平方向に設置された鉄骨などの影響によって、伏角が正しくないが水平成分の方が正しい場合に、実際には電子コンパスなどのアプリケーションでは地磁気情報が利用可能な環境であった場合でも、それを利用不可能と誤判定してしまう可能性がある。このような誤判定を回避するために、磁気的外乱の性質を利用する磁気的な外乱の検出方式が有効であると考え

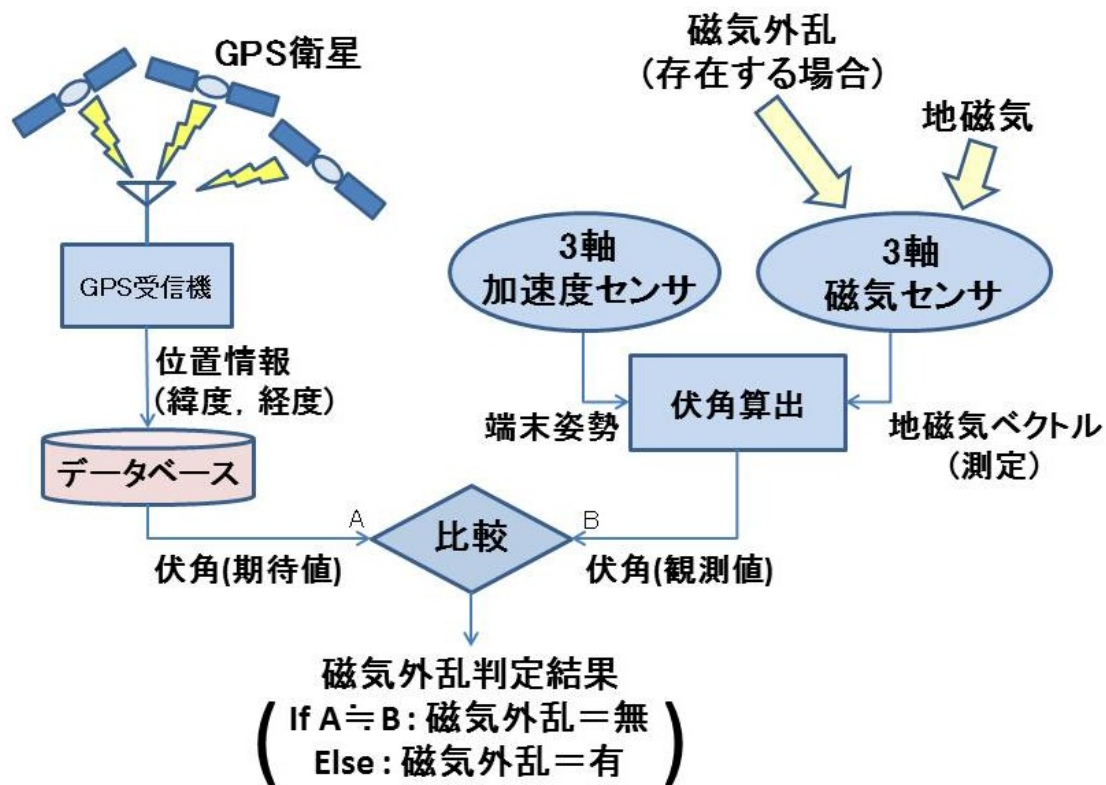


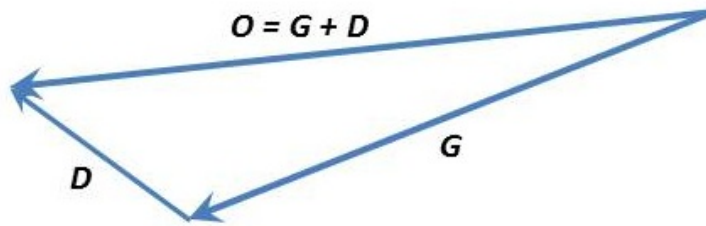
図 3.1 従来方式の原理

られる。磁気的な外乱には、あるエリアにおいて一定で時変動を伴わない種類のもの、同一のエリアにおいても時変動を伴い激しく変動する 2 種類がある。

観測地点付近に時変動を伴わない磁気外乱が存在する場合に観測される磁気ベクトルを図 3.2 に示す。図 3.2 において、観測される磁気ベクトル O は、真の地磁気ベクトル G と時変動を伴わない磁気的外乱ベクトル D の和として観測される。

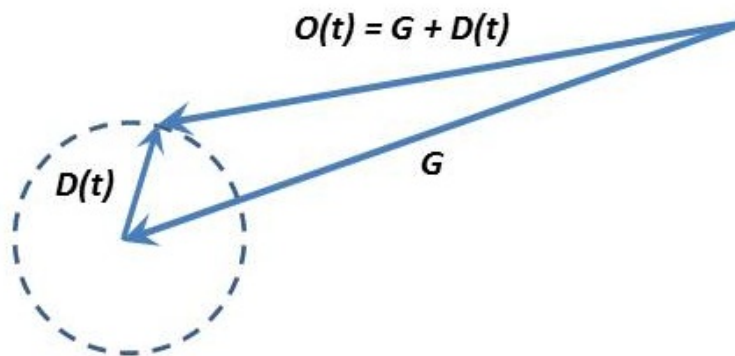
観測地点に時変動する磁気的な外乱が存在する場合に観測される磁気ベクトルを図 3.3 に示す。図 3.3 において、観測される磁気ベクトル $O(t)$ は時変数 t を持ち、真の地磁気ベクトル G と時変動を伴う磁気的外乱ベクトル $D(t)$ の和として観測される。 $D(t)$ が時変動するため $O(t)$ も結果的に時変動する。

観測地点に時変動する磁気的な外乱と時変動しない磁気的な外乱の両方が存在する場合に観測される磁気ベクトルを図 3.4 に示す。図 3.4 において、観測される磁気ベクトル $O(t)$ は、真の地磁気ベクトル G と時変動を伴う磁気的外乱ベクトル $D(t)$ と時変動を伴わない磁気的外乱ベクトル D の和として観測される。 $D(t)$ が時変動するため $O(t)$ も結果的に時変動する。



- O** : 観測される磁気ベクトル(時変動成分を持たない)
- G** : 地磁気ベクトル
- D** : 磁気外乱ベクトル(時変動成分を持たない)

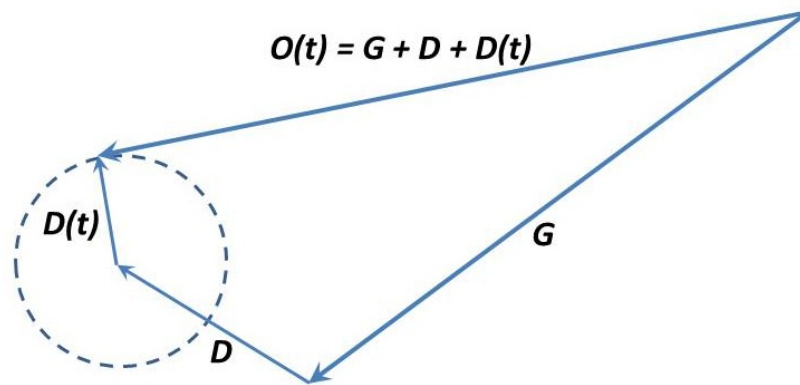
図 3.2 時変動しない磁気的な外乱が存在する場合



- O(t)** : 観測される磁気ベクトル(時変動成分を持つ)
- G** : 地磁気ベクトル
- D(t)** : 磁気外乱ベクトル(時変動成分を持つ)

図 3.3 時変動する磁気的な外乱が存在する場合

時変動を伴わない磁気的外乱はその影響が伏角にのみ作用している場合には電子コンパスなど伏角の大きさに依存しないアプリケーションでは問題とならない。一方で、時変動を伴う磁気的外乱はどのような場合であっても地磁気ベクトルをランダムに攪乱するため方位が誤差を持ち問題となる。



- $O(t)$: 観測される磁気ベクトル(時変動成分を持つ)
- G : 地磁気ベクトル
- D : 磁気外乱ベクトル(時変動成分を持たない)
- $D(t)$: 磁気外乱ベクトル(時変動成分を持つ)

図 3.4 時変動する磁気的な外乱と時変動しない磁気的な外乱の両方が存在する場合

3.4 提案方式

そこで、磁気的外乱が本章第 3.3 節で示したように 2 種類の異なる性質を持つものが存在することに着目し、本節では時変動を伴う磁気的外乱だけを検出する磁気外乱検出法を検討する。

時変動を伴う磁気的外乱を検出するために地磁気ベクトルの分散を観測する。地磁気ベクトルが外乱によって時変動を伴う高速な変動を持っているならば、それが観測された磁気ベクトルの分散として観測されると考えられるからである。地磁気ベクトルの分散を観測するための提案方式の構成を図 3.5 に示す。

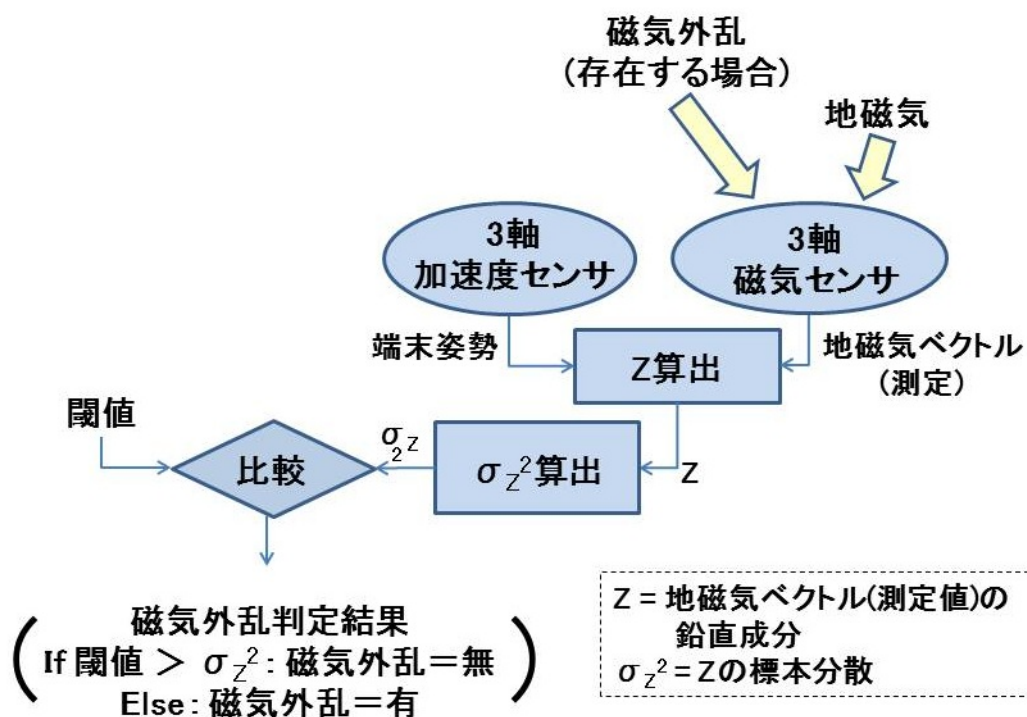


図 3.5 提案方式の構成

提案方式では、地磁気ベクトルの鉛直成分の分散を監視し、その値が一定の閾値よりも大きい場合に地磁気が時変動を伴う磁気的外乱を受けていると判定する。

以下で提案方式の動作を説明する。まず、地磁気ベクトルを検出するために、端末の姿勢を加速度センサにより取得する。同一の座標系を持つ 3 軸加速度センサと 3 軸地磁気センサで観測された加速度ベクトルと磁気ベクトルをそれぞれ Acc , Mag と表現し、その成分を、(3.1) 式、(3.2) 式で与える。

$$Acc = (a_x, a_y, a_z)^T \quad (3.1)$$

$$Mag = (m_x, m_y, m_z)^T \quad (3.2)$$

測定系に重力以外の加速度が加わっていない場合， Acc は端末の姿勢に依らず鉛直下向きとなるので， Acc と Mag が成す角度を Ψ としたとき， Acc と Mag の間には (3.3) 式の関係が成り立つ．

$$\langle Acc, Mag \rangle = |Acc| \cdot |Mag| \cos \Psi \quad (3.3)$$

ここで， $|Acc| \cdot |Mag|$ は Acc と Mag のノルムの積を， $\langle Acc, Mag \rangle$ は Acc と Mag の内積を， Ψ は Acc と Mag が成す角を，それぞれ示す．また，地磁気ベクトルの鉛直成分 Z と Ψ の間には (3.4) 式の関係がある．

$$Z = |Mag| \cos \Psi \quad (3.4)$$

従って， Z は (3.5) 式で与えられる．

$$Z = \frac{\langle Acc, Mag \rangle}{|Acc|} \quad (3.5)$$

提案方式では， Z の標本分散をモニタすることで時変動する磁気的な外乱を判定する． Z の標本分散 σ_Z^2 は，(3.6) 式で与えられる．

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{Z} - Z_i)^2 \quad (3.6)$$

ここで， n は平均化のためのサンプル数， \bar{Z} は Z の相加平均， Z_i は Z の i 番目のサンプル数である． n は時定数 τ とサンプリング速度 T_s を使用して (3.7) 式により算出する．

$$\tau = nT_s \quad (3.7)$$

(3.7) 式の時定数 τ の値は，外来地磁気の変化速度を考慮して決められるべきである．本提案方式では，直流磁界による外来磁気の変化速度が最小でも数 Hz と高速であることを考慮し [46]， τ を 7[sec] とした． τ の値は予備実験によっても適切であることを確認している． T_s は τ と比較して十分に高速であれば良い． σ_Z^2 の閾値は，本章第 3.2 節で取得したデータから，表 3.2 の「良」環境と「可」環境の境界を検出する上で良好な相関が得られることがわかっている $60[\mu T^2]$ と決定した．歩行者の歩行動作や針路変更動作によって地磁気の見かけの観測値が変動するが，これらの動作はいずれも地磁気の水平成分に与える影響が支配的であると考えられる．そのため，地磁気の鉛

直成分の分散を利用する提案方式は，歩行者の歩行動作や針路変更動作による影響を受けることなく磁気環境を判定できることが期待できる．

3.5 提案方式の性能評価

3.5.1 評価方法

磁気的な外乱の存否が明らかな環境において，提案方式の性能を調査した．調査のためにデータを取得した試験場所と外乱の情報を表 3.4 に示す．試験はいずれも神奈川県内 (伏角 = 49.0deg) で実施した．

表 3.4 評価環境

| 試験場所 | 磁気外乱のタイプ |
|-----------------------------|------------|
| 自然公園 | 無 |
| 地下街の通路 | 非時変動 |
| 鉄道架線の近く (架線との距離 3.6m) | 時変動 |
| 地下鉄駅のホーム (地下 2 階，架線との距離 5m) | 時変動 + 非時変動 |

3.5.2 測定系

磁気センサは，商用の携帯電話端末に内蔵されている市販品を使用した．このセンサの諸元を表 3.5 に示す．磁気センサの測定系は，センサ自身の帯磁の影響が無いように校正されている．更に

表 3.5 磁気センサの仕様

| 項目 | 値 |
|----------|-------------------------------|
| 軸数 | 3 軸 (x, y, z) |
| 測定可能範囲 | $\pm 600[\mu\text{T}]$ |
| 分解能 | $0.5[\mu\text{T}/\text{LSB}]$ |
| サンプル間隔 | 50[ms] |
| 動作可能温度範囲 | $-20\sim+85[]$ |

測定は，測定者が磁気的な外乱を発生しないように配慮して実施した．この端末を手に保持し，一定の速度で一定の方向に歩行しながらデータの取得を行った．歩行者は 40 歳代の男性で，身長 178cm，歩幅 80cm，平均歩行速度 5km/h である．

3.5.3 評価結果

評価結果を示す．図 3.6，図 3.7，図 3.8，図 3.9 で示したグラフは，それぞれ，表 3.4 で示した自然公園，地下街の通路，鉄道架線の近く，地下鉄駅のホームで取得した地磁気ベクトルと，そのデータから算出したデータである．上から，

- 上：地磁気ベクトルの XYZ 各軸の成分
- 中：地磁気ベクトルの XYZ 各軸の成分から推定した磁気方位と磁気伏角
- 下：(3.6) 式を使用して算出した σ_Z^2

で，横軸はいずれも時間である．

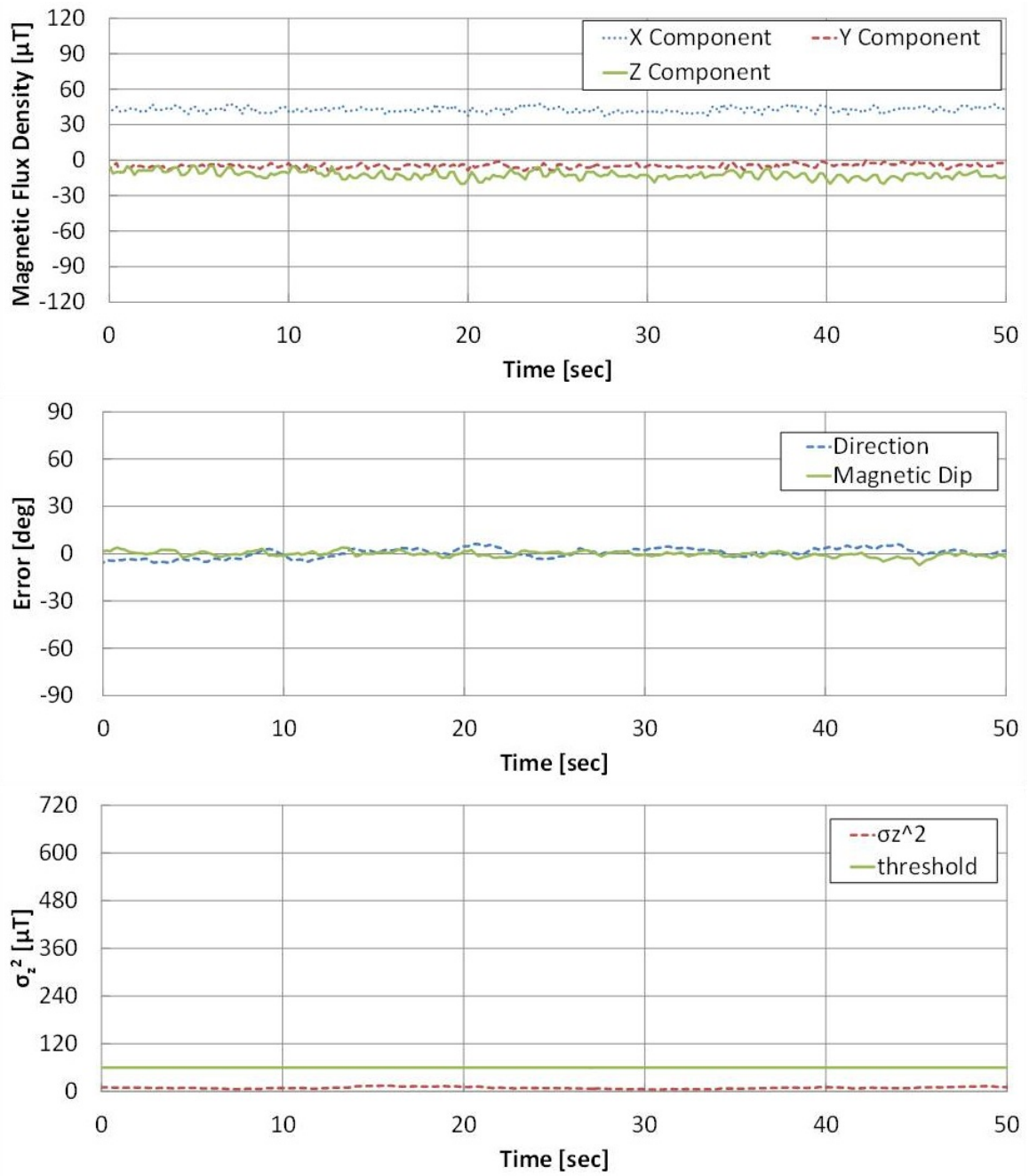


図 3.6 自然公園 (磁気的な外乱が存在しない)

図 3.6 からわかるように、磁気的な外乱が存在しない環境では、磁気方位の誤差が小さく地磁気情報を使用する環境として優れていることがわかる。そしてそのとき、伏角の推定誤差も小さく、提案方式による環境の判定結果も $\sigma_{\frac{2}{Z}}$ が閾値を上回らないことから従来方式と提案方式のいずれも「この環境は地磁気情報は使用可能」と判定した。

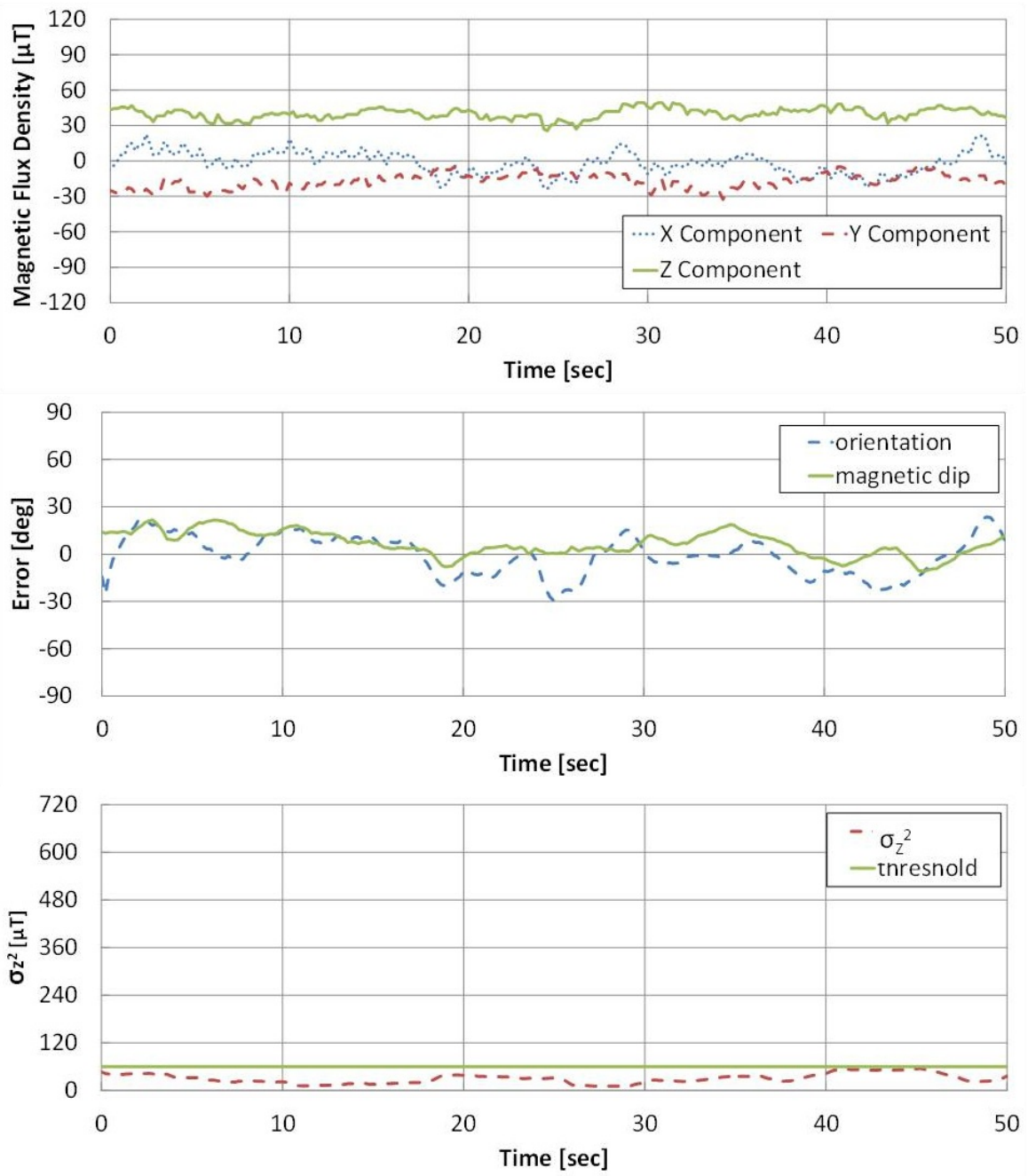


図 3.7 地下街の通路 (時変動しない磁気的な外乱が存在)

図 3.7 からわかるように，図 3.6 と比較して磁気方位の誤差が大きくなっているが，その誤差は 30deg 以内であり，アプリケーションによっては十分に使用が許容できると考えられる．この誤差の増大と連携して伏角の推定誤差も大きくなっていることから，この環境においては従来方式が「この環境の地磁気環境は使用不可能」と誤判定してしまう可能性がある．しかし，提案方式では，この環境においても， σ_Z^2 が閾値を上回っていないことから，時変動しない磁気的な外乱が存在する環境も磁気的な外乱が存在しない環境と同様に「この環境は地磁気情報は使用可能」と判定した．

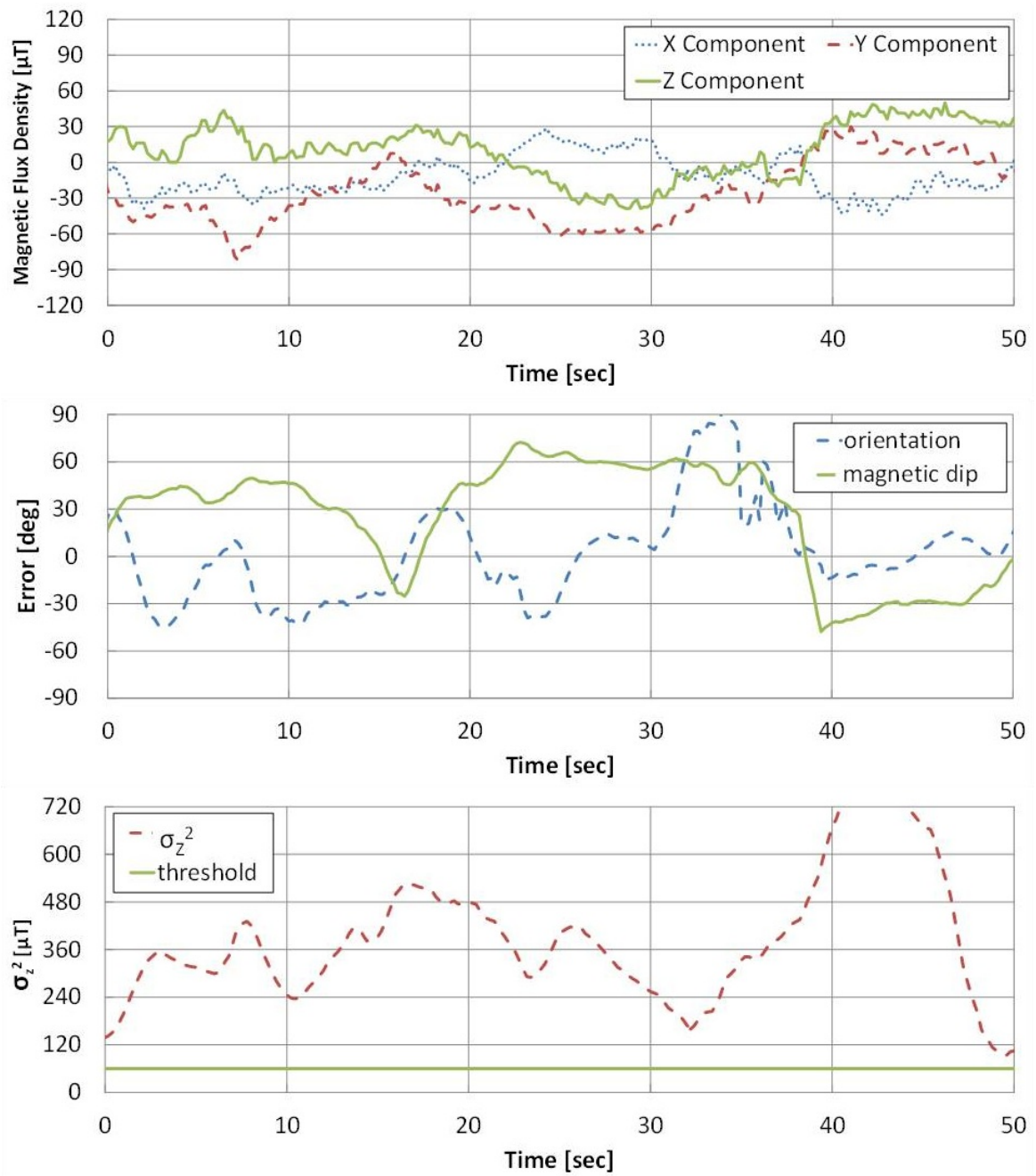


図 3.8 鉄道架線の近く (時変動する磁気的な外乱が存在)

図 3.8 からわかるように、時変動する磁気的な外乱が存在する環境では、磁気方位の誤差が最大 90deg となり、地磁気情報の使用には適さない環境であるといえる。このときの伏角の推定誤差は 60deg を超え、 σ_Z^2 は常に閾値を上回っていることから、本環境においては、従来方式と提案方式の双方が「この環境は地磁気情報は使用不可能」と判定した。

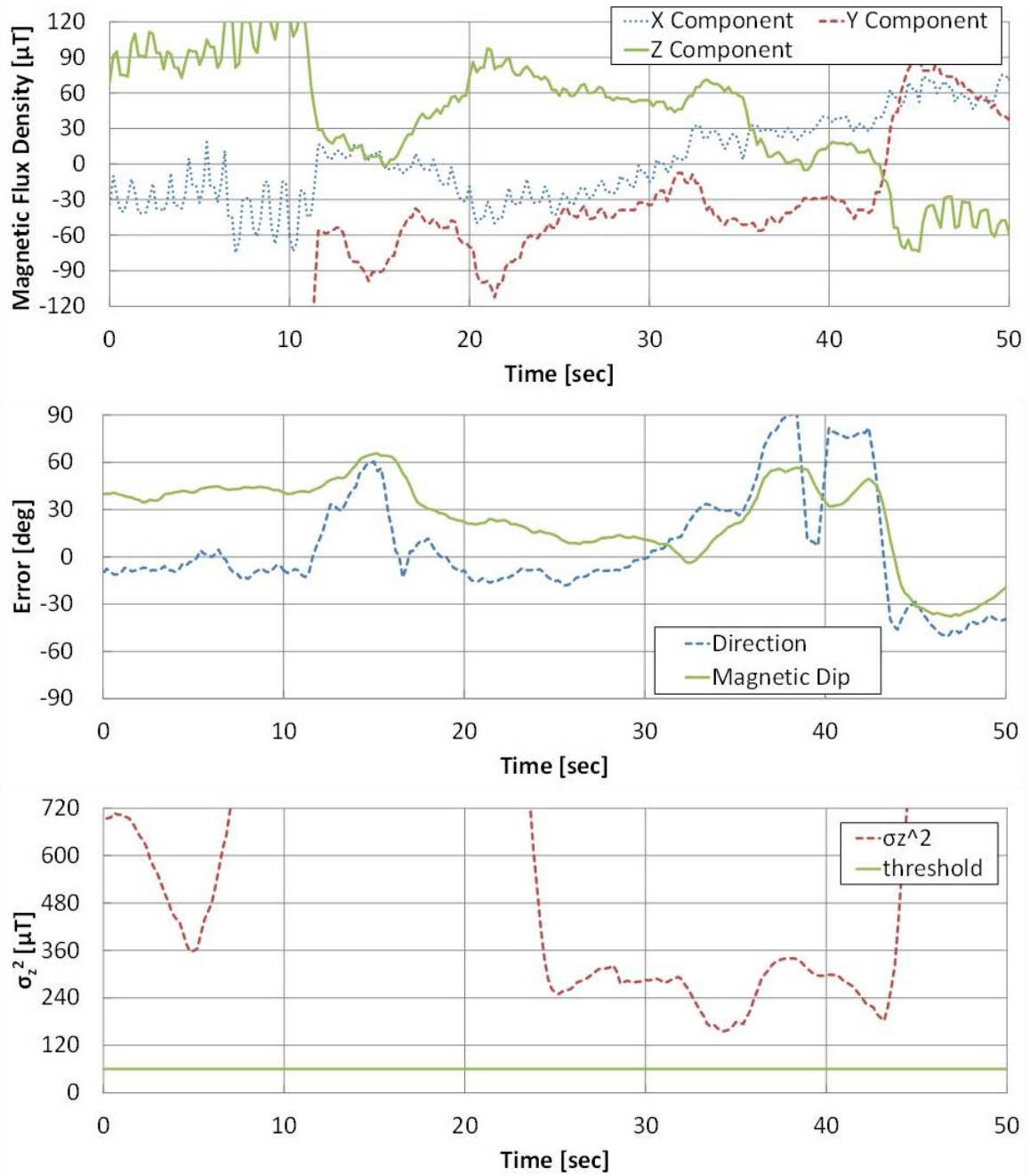


図 3.9 地下鉄のホーム (時変動しない磁気的な外乱と時変動する磁気的な外乱が存在)

図 3.9 からわかるように、時変動する磁気的な外乱と時変動しない磁気的な外乱が混在する環境においても、磁気方位の誤差は 90deg を超える大きさが存在し、地磁気情報の使用に適さない環境である。そして本環境においても従来方式と提案方式の双方が「この環境は地磁気情報は使用不可能」と判定した。

3.5.4 考察

本章第 3.5.3 節で示したように、提案方式は地磁気情報による方位の推定誤差が 30deg 以上となる環境を検出するために有効である可能性を示した。特に、図 3.7 が示した結果は、従来方式と提案方式の判定結果が異なっていたことが興味深い。

この結果の違いは、従来方式が伏角の誤差を観測していたのに対し、提案方式が地磁気ベクトルの変動を観測していたことが原因で発生したと考えられる。

伏角が誤差を持つだけでは方位情報が正しい可能性があるが、地磁気ベクトルが時変動している場合は周辺に時変動を伴う磁気的な外乱が存在している可能性が高い。

その場合には「使用不可能」と判定する方式のほうが有用と考えられることから、提案方式は従来方式と比較して有用であると考えられる。

3.6 まとめ

地磁気情報をより積極的に活用することを目的として新しい外乱磁気の検出方法を提案した。提案方式は従来方式では判別が困難だった時変動を伴う磁気的外乱と時変動を伴わない磁気的外乱を判別することが可能なことから、従来方式よりも地磁気の利用範囲を拡大する上で有用な方式と考えられる。

第 4 章

携帯端末の画面を共有する技術

4.1 まえがき

近年，スマートカーの研究開発が加速している [47], [48]．これに伴う車載用 ICT 技術の技術革新は目覚ましく，自動車の安全と快適さと省エネ性能が高度なレベルでユーザに提供されることが期待されている．例えばカーナビゲーションシステムでは自動車に搭載したセンサ情報を利用することで，GPS の不感地帯においてもナビゲーションを継続することが可能な自律航法を実現した [49]．そして，光ビーコン [50]，電波ビーコン [51]，ラジオ放送波などを利用して取得した道路情報 [52] や，携帯電話回線を利用して取得した周辺情報や地図情報などを運転者や同乗者に提供することで，より高度で快適なサービスを提供することも可能になってきた [53]．更に，電気自動車 (EV) を利用したスマートグリッド [54] や非接触充電技術 [55] など，車載装置の高度化によって期待される効果は大きい．しかし，これらの利益の弊害として車載情報機器のライフサイクルが自動車のそれと比較して短くなるといった問題が発生している．すなわち，ユーザは最新の機能の利益を享受するためには自動車と比較して短い周期で最新の高価な車載装置を買い続けなくてはならない問題である．この問題を解決するため，スマートフォンなどの高機能携帯電話端末と車載情報システムを接続するターミナルモード [56] が登場した．ターミナルモードでは機能の一部，特に，通信機能とユーザインターフェースのアプリケーションを管理・実行するための機能をインターネットアクセスが可能で Bluetooth や USB など豊富な通信モジュールを持つスマートフォンに持たせている．スマートフォンを使えば最新の機能にアップグレードするためにアプリケーションをダウンロードすることで対応できるし，端末装置のライフサイクルが自動車と比較して短いことからスマートカーの技術の進歩についていくことに向いていると考えられるからである．しかしながら，スマートフォンのディスプレイパネルは小さすぎるため自動車内で運転者が操作するのに適さない．そのため，自動車内で運転者や同乗者が十分に識別可能なサイズの画面によって情報を表示し，且つ，情報の入力を可能にするためには自動車内にカーナビゲーションシステムが使用してい

るのと同等の大きさのディスプレイ装置と操作情報の入力装置，即ちタッチパネルのような装置が必要になる．この目的のため，ターミナルモードではスマートフォンの表示操作部をエミュレートするタッチパネルが車内に取りつけている．図 4.1 にターミナルモードの概要を示す．

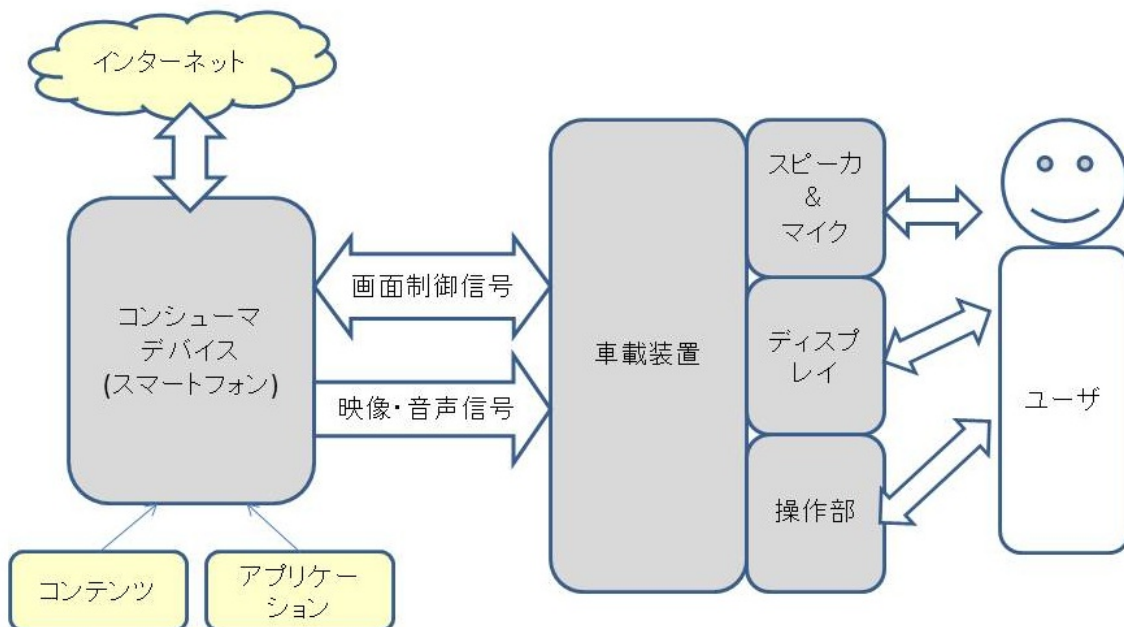


図 4.1 ターミナルモードの概要

図 4.1 において，ユーザは自動車に取り付けられたディスプレイやユーザ入力装置をあたかもスマートフォンのディスプレイやユーザ入力装置として使用する．この機能を実現するためには解決しなければならない課題が二つある．

一つ目の課題はスマートフォンから車載機に画像を転送する実現手段である．スマートフォンの液晶ディスプレイの解像度は端末によって異なることが問題になる．そのため，車載ディスプレイ側ではスマートフォンの表示画面の解像度を何らかの手段で知り，その解像度に応じて画像を表示する必要がある．また，画像を転送するための通信手段も必要になる．ケーブルを接続するのは手間がかかるし，Bluetooth や無線 LAN などの無線インターフェースを使用して接続する場合はアソシエーションの手順が必要になる．

二つ目の課題はユーザによる車載装置の操作情報をスマートフォンに転送する実現手段である．この機能を実現するためには車載ディスプレイに画像を表示した状態で車載ディスプレイにユーザの指が触れた際に，その指が触れたイベントと，指が触れた位置を検出し，更にその情報をスマートフォンに転送する機能が必要である．

そこで，本章では，これら二つの課題を解決することを目的として，携帯電話に内蔵された小型

のレーザープロジェクタとカメラを使用してターミナルモードを実現する新しい技術を検討する。まず、本章第 4.2 節で従来技術とその課題について述べ、次に、本章第 4.3 節でそれらの課題を解決する方式を提案する。本章第 4.4 節では実機を使用した検証実験とその結果について述べ、最後に、本章第 4.5 節で総括する。

4.2 従来方式

自動車向けの用途で開発されたものではないが、液晶プロジェクタとカメラを使ってターミナルモードに必要な機能を実現可能な技術がある [57]。この技術では画面はプロジェクタによってスクリーンに投影される。そしてタッチパネルの機能を実現するためにカメラがスクリーン上にかざした手と手の影をカメラで認識する [57]。

指がスクリーンに触れたことを検出する機能は、予め手と影の領域を設定しておき、カメラの撮像上で手と影が重なった時に指がスクリーンに触れたと判定することで実現される [57]。しかし、この技術ではカメラで画面操作者の手(指先)とスクリーンに映った手の影の両方を認識させる必要があるため、プロジェクタとカメラ間の視差を大きくする必要がある(図 4.2 参照)。

そのため、この従来技術は会議室などの広い場所で使用する大型の機材に適用するのに適しているが、スマートフォンのような小型機器への適用には適さないと考えられる。スマートフォンのような小型の機器ではプロジェクタとカメラの視差を大きくすることができないからである [58]。視差が少ない場合の解決策として、指先にカラーマーカを装着しカメラにカラーマーカの動きや数を認識させる技術がある [58]。この技術は視差を小さくすることが可能なため小型機器への適用に適している。しかし、この技術では指先にカラーマーカを装着する必要があることと、カラーマーカを装着した利用者以外が使えない難点がある。

以上より、プロジェクタ内蔵型携帯電話を使用して画面と操作を共有する技術を実現するにあたり以下が課題となる。

1. 視差が小さい構造の装置で“指の画面への接触”を検出する
2. カラーマーカなどを使用せずに“指がスクリーンに触れた位置”を検出する

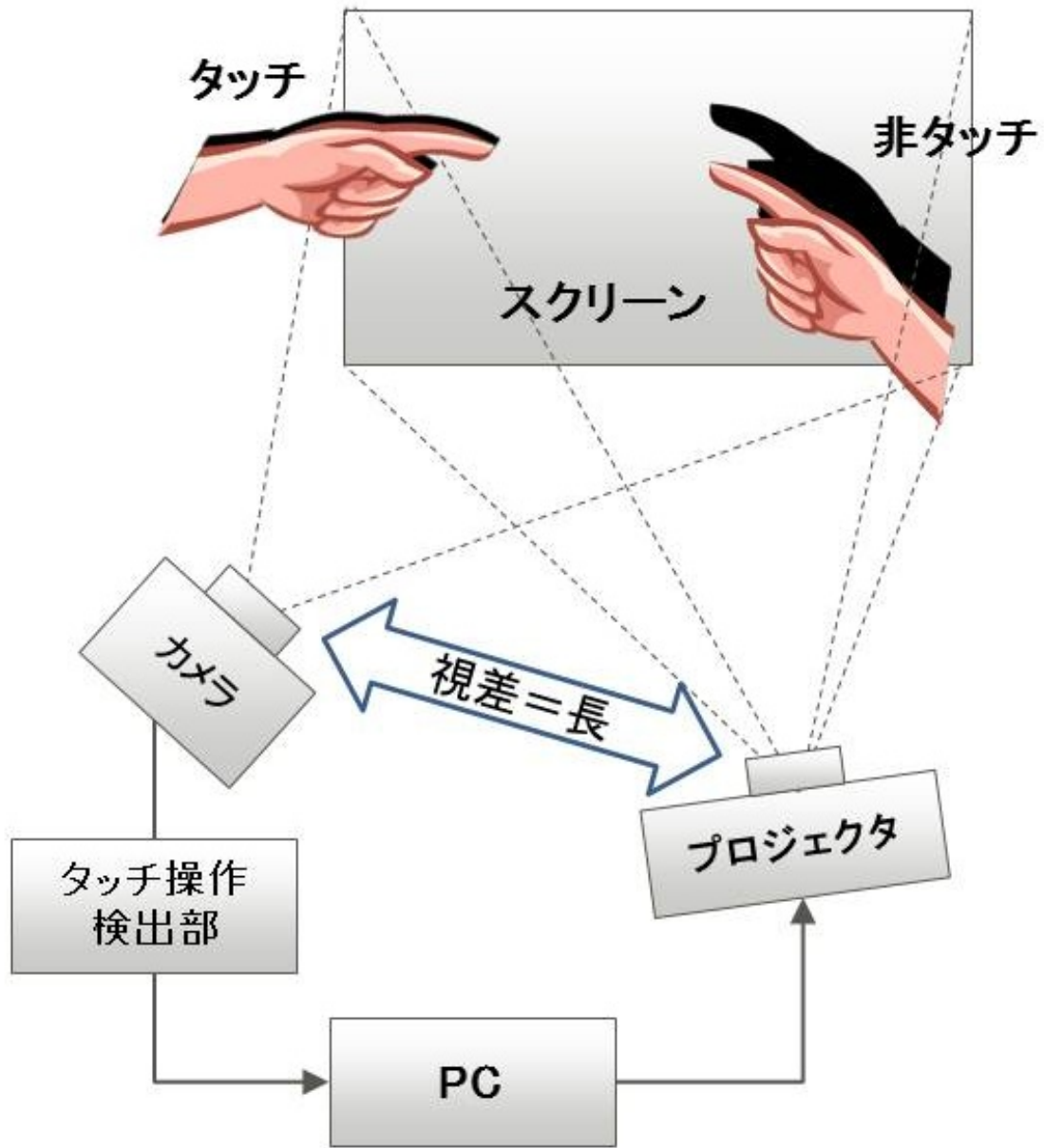


図 4.2 従来技術

4.3 提案方式

本節では携帯電話に内蔵されたプロジェクタを利用して画面を表示し，更にその携帯電話に内蔵されたカメラの撮像を使い画面の操作を実現する技術を提案する．提案方式の基本構成を図 4.3 に示す．図 4.3 において左側は端末内部の構成を，右側はスクリーンとユーザをそれぞれ示して

いる。

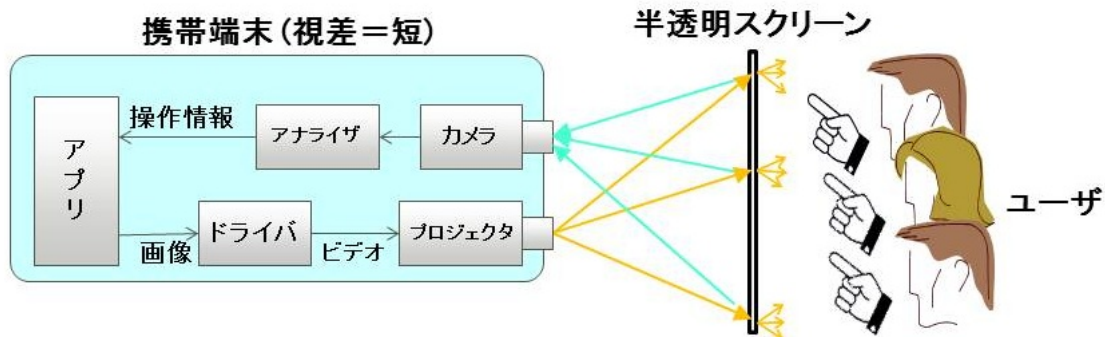


図 4.3 提案方式の基本構成

4.3.1 半透過型スクリーン

図 4.3 からわかるように、提案方式では視差の小さい構成で画面表示と画面操作を実現するために透過型スクリーンを採用する。従来多用されていた反射型スクリーンでは投射された画像が手(指)に重畳されるために手(指)と画像の認識が困難になることがあったが、透過型スクリーンではこの現象を防ぐことができる。更に、透過型スクリーンを実現するために半透明パネルを採用する。半透明パネルはカメラがユーザの指がスクリーンに触れたことや、その位置を検出することを助ける。詳しい原理は次節で述べる。

4.3.2 スクリーンタッチ検出法

ここでは指がスクリーンに触れたイベントを検出する方法について述べる。スクリーンとして使用されている半透明パネルはスクリーン表面でプロジェクタから投射された光を散乱させる。スクリーンが完全な透明ではないことからユーザはプロジェクタの反対側からスクリーンに投射された映像を見ることができる。一方、プロジェクタ側(カメラ側)ではプロジェクタの投射光の反射光とスクリーンを通過してくる外光の合成光が見える。半透明パネルの特徴から、プロジェクタ側から見たスクリーンは映像を投射中であっても、昼間など外光の光量が反射光よりも大きい場合は図 4.4 右の映像のような真っ白な映像が見える。この状態のときにユーザの指がスクリーンに触れると指によって外光が遮断され、更に、手と指がプロジェクタの投射光を反射するので、カメラは図 4.5 右に示すような画像を観察する。

図 4.5 の画像中央に出現した影は指によって反射された光線である。

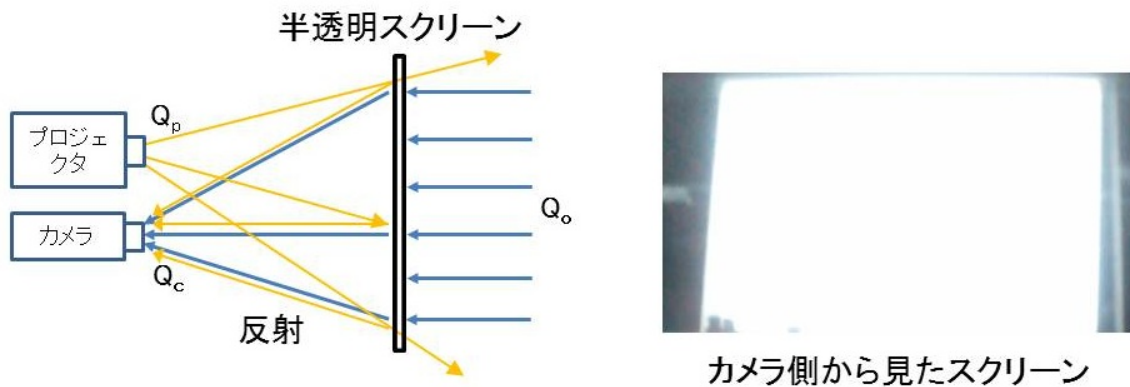


図 4.4 指がスクリーンに触れていない場合

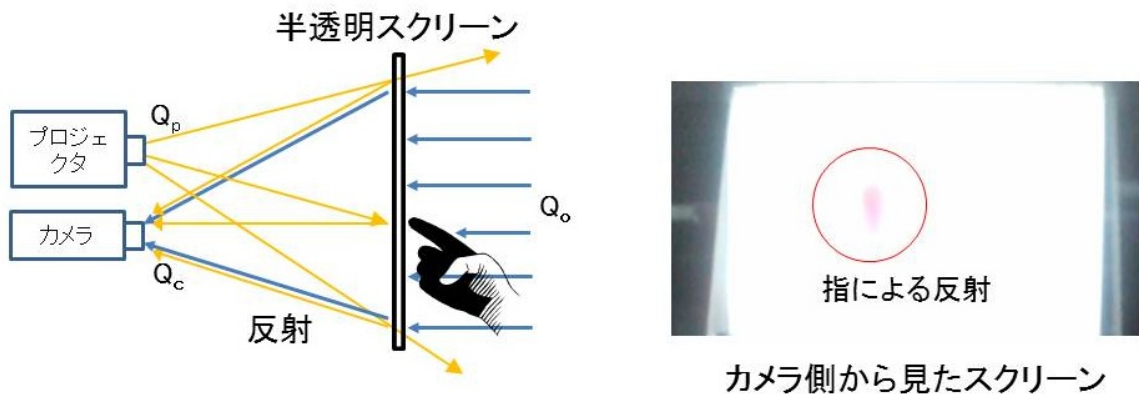


図 4.5 指がスクリーンに触れている場合

従って、この現象を利用して指がスクリーンに触れたイベントと、指がスクリーンに触れた位置を検出できると考えられる。この現象を (4.1) 式を使って説明する。

$$Q_c = (S + F) * Q_p + Q_o \quad (4.1)$$

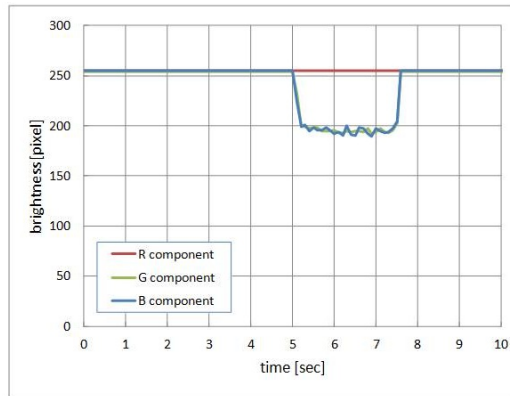
ここで、

Q_c はカメラで観測される光量 (画素値)、 Q_p はプロジェクタが発する光量 (画素値)、 S はスクリーンが光を反射させる反射効率、 F は指をスクリーンに接触させた際に光が反射する反射効率、 Q_o は外光の光量である。即ち、(4.1) 式は、カメラで観測される光量はスクリーンで反射したプロジェクタの投射光と外の光量の和であることを示している。また、(4.1) 式の要素は、いずれも周波数特性を持ち、R、G、B、それぞれの色素毎に固有の値を持つベクトルである。即ち、(4.2) 式となる。

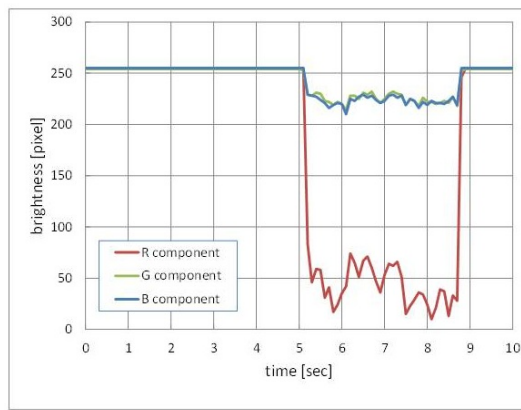
$$\left\{ \begin{array}{l} Q_c = [Q_{cR}, Q_{cG}, Q_{cB}]^T \\ S = [S_R, S_G, S_B]^T \\ F = [F_R, F_G, F_B]^T \\ Q_p = [Q_{pR}, Q_{pG}, Q_{pB}]^T \\ Q_o = [Q_{oR}, Q_{oG}, Q_{oB}]^T \end{array} \right. \quad (4.2)$$

上記の仮設を基礎に具体的なアルゴリズムを検討するために予備実験を行った。予備実験では、赤・緑・青の3種類の画像をプロジェクタでスクリーンに投射した場合に、RGBの各成分の画素値が指で触れる前と後でどのように変化するか調べた。予備実験の結果を図4.6のa~cに示す。図4.6のa, b, cはそれぞれ、赤、緑、青の結果である。

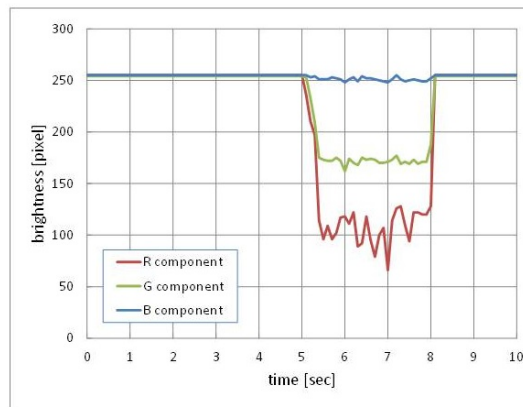
図4.6で、横軸は時間、縦軸は画素値である。図中の赤線はR成分、緑線はG成分、青線はB成分を表している。



a (RED)



b (GREEN)



c (BLUE)

図 4.6 指で触れた際の RGB 成分の変化

図 4.6 から読み取った画素値を表 4.1 にまとめる。

表 4.1 図 4.6 から読み取った画素値

| 画像の色 | R 成分 [pixel] | G 成分 [pixel] | B 成分 [pixel] |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| 無色 | 255 | 255 | 255 |
| RED | 255 | 190~200 | 190~200 |
| GREEN | 9~75 | 210~230 | 210~230 |
| BLUE | 60~130 | 160~175 | 255 |

表 4.1 から指で触れる前は全画像において RGB 成分の画素値が全て 255 を示していたことがわかる。しかし赤い画像を投射した場合は G 成分と B 成分が 200 前後まで減衰したが、R 成分は減衰しなかった (図 4.6 の a)。緑色の画像を投射した場合は G 成分と B 成分は 230 前後に減衰し、R 成分が 100 以下にまで減衰した (図 4.6 の b)。青色の画像を投射した場合は G 成分は 170 前後、R 成分は 100 前後まで減衰したが、B 成分は多少の揺らぎはあるもののほぼ減衰しなかった (図 4.6 の c)。以上から、指がスクリーンに触れると投射している画像の色に関わらず RGB 成分の画素値、即ち Q_c が変化することがわかった。RGB, 光の 3 原色でこの現象が観察されたことから任意の画像に対してもこの現象は発生すると考えられる。従って、RGB の各色毎に Q_c を閾値判定をして、それらの判定結果の論理和をとることで指がスクリーンに接れたイベントを検出することができると考えられる。

4.3.3 スクリーンタッチ位置検出法

次に、スクリーン上で指が触れた位置を検出する方法について述べる。画素数が変化した位置の中心座標が指が触れた位置と判定する方法が候補に挙がる。しかし、その方法では撮影した画像の全画素を処理する必要があることから、スマートフォンに搭載されたプロセッサでは処理量が負担となり他の処理機能に影響を与える可能性がある。そこでそのプロセッサの負荷を最大限減らすためには観測点の数を必要最小限にすることが有効であると考えられる。観測点数を最小にした場合であっても確実に指が触れた位置を観測できる必要がある。図 4.7 左のように、処理量を減らすために観測ポイントを減らし過ぎると観測ポイントの谷間に指が触れてしまった場合に位置を検出することができない。従って図 4.7 右のように、指の幅の範囲内に必ず観測点が存在するようにする必要がある。

観測ポイント

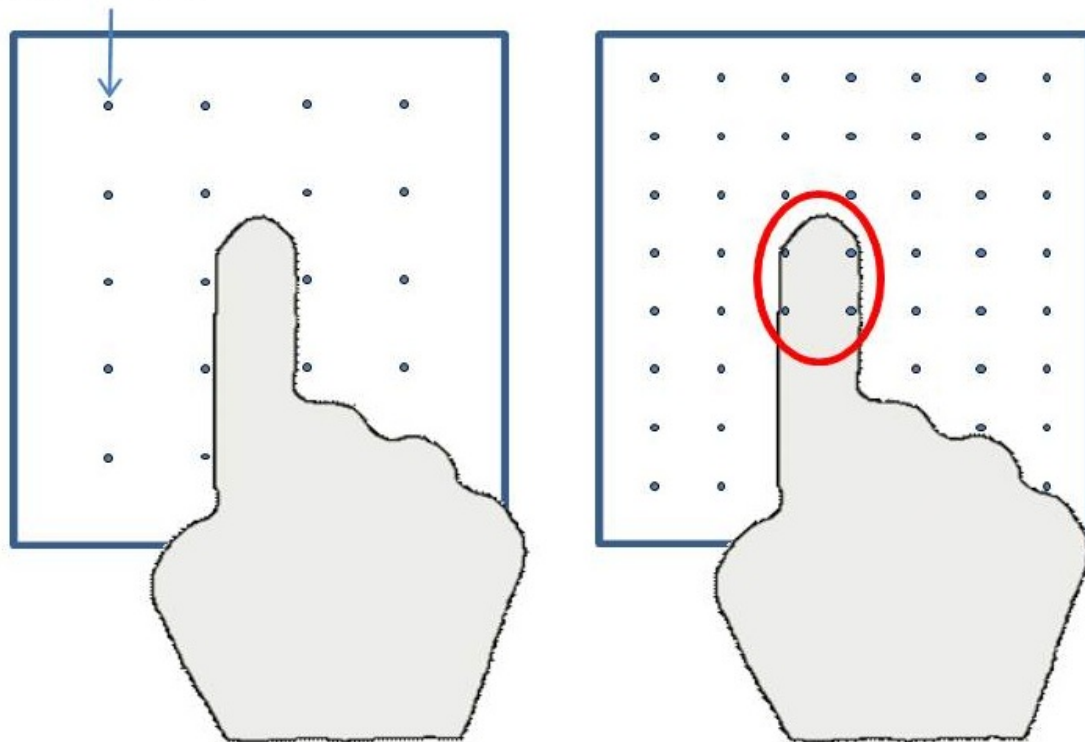


図 4.7 観測ポイント間隔と指の幅の関係

プロジェクタでスクリーンに赤画像を投射した状態で、指がスクリーンに触れた際にの Q_c の G 成分の分布を図 4.8 に示す。

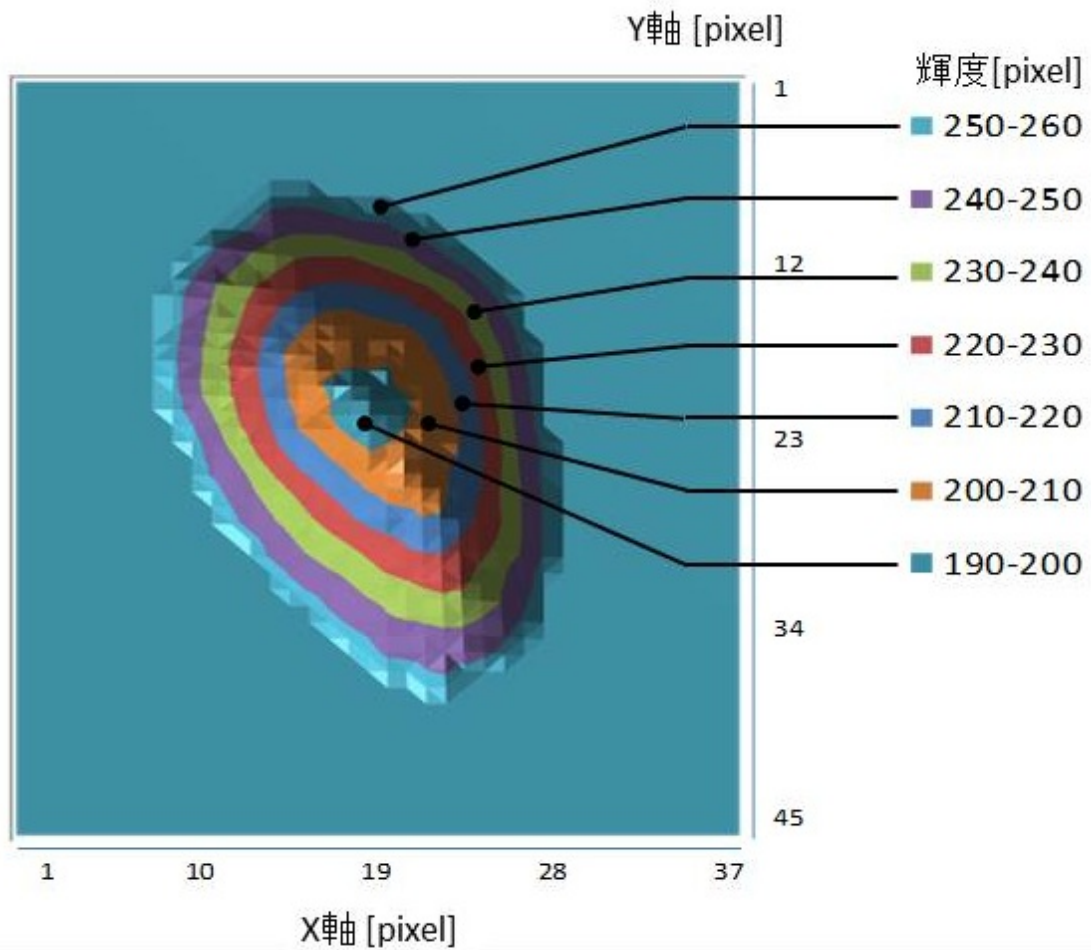


図 4.8 指の接触分布と輝度の関係

図 4.8 において、色の違いが G 成分の減衰量を表している。指の中心にいくにしたがって G 成分が減衰しているのがわかる。図 4.8 の結果から、指が触れた位置は観測点の間隔を横に約 10pixel、縦幅に約 20pixel にして観測地点毎に前節で説明した指がスクリーンに触れたイベントを検出する方式によって検出できると考えられる。

4.4 評価実験

本章第 4.3 節で提案した方式の動作を実験によって確認した。

4.4.1 実験条件

本実験では市販されている携帯電話端末と携帯プロジェクタを使用した。携帯電話端末は富士通製 F-04B で、携帯プロジェクタは富士通製 F01 である。この携帯電話端末と携帯プロジェクタはドッキングして使用することができるので、本実験ではこの端末を 1 台の携帯端末とみなした。携帯電話端末に内蔵されたカメラの解像度は 320pixel×160pixel で、プロジェクタの明るさは 9 ルーメンである。スクリーンは日本特殊光学樹脂製 NTK ビジョンであり、焦点距離 25cm のフレネル凸レンズがついている。このプロジェクタを使ってカーナビの画面と同等の A5 サイズのスクリーンに画像を投影するためには、本来はスクリーンとプロジェクタの距離を 40~50cm 程度にする必要がある。しかし、本検討では自動車内での利用を想定しているので、図 4.9 の b に示す構成の治具を使用した。図 4.9 の b に示した治具は、反射鏡を使用して図 4.9 の a と等価な 40~50cm の距離を作り画面サイズを A5 にできる構造になっている。この反射鏡はスパッタリングミラーであり、このミラーの反射光率の実測値は $\lambda = 633\text{nm}$ の場合で 98% だった。図 4.9 の b に示した治具の外観を図 4.10 に示す。

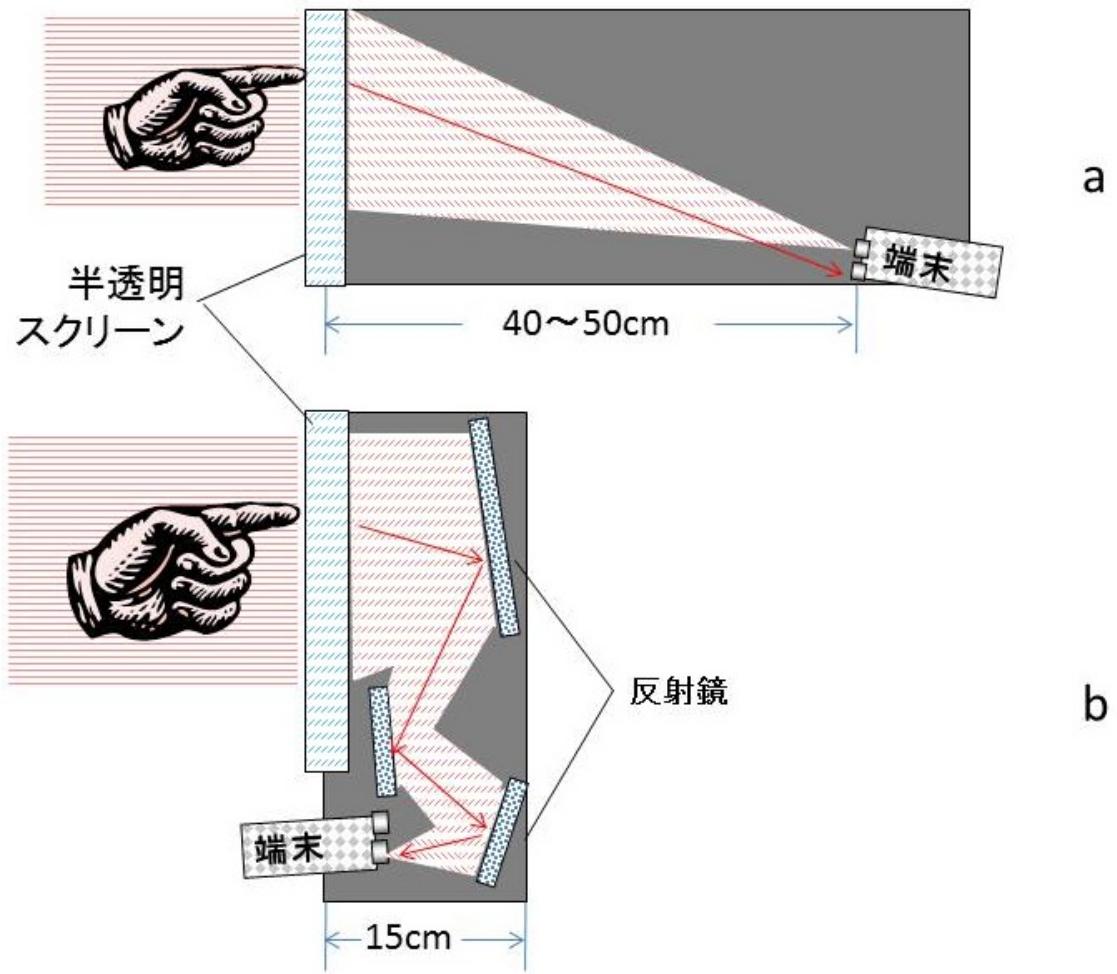


図 4.9 投影サイズと投影距離の関係



図 4.10 実験に使用した治具の外観

図 4.10 で使用した端末の内部構成を図 4.11 に、その端末の外観を図 4.12 に、それぞれ示す。

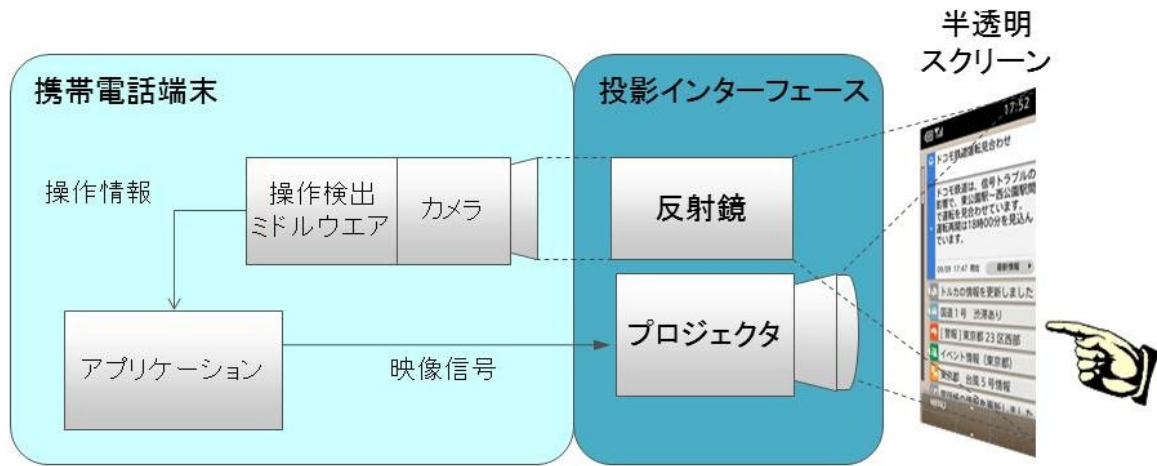
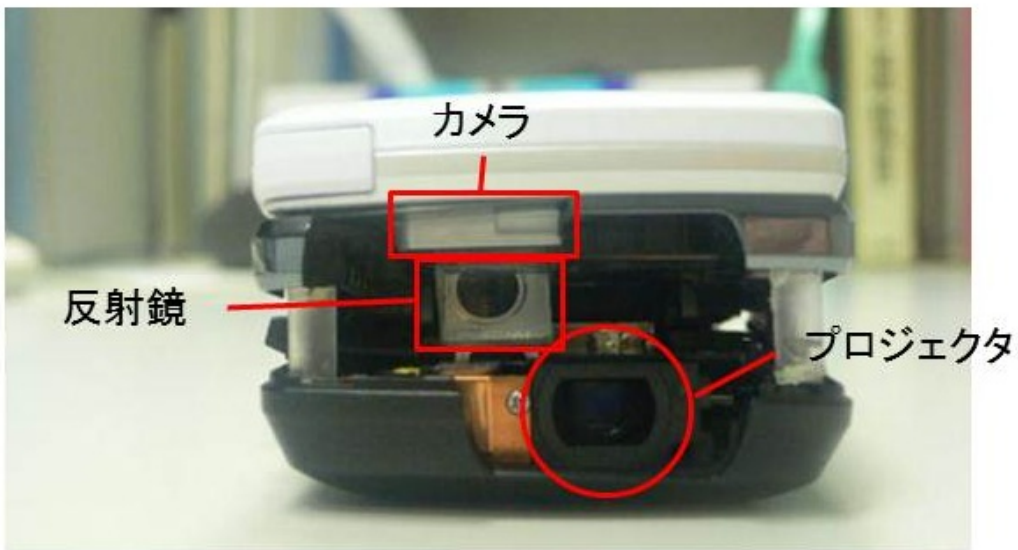


図 4.11 端末内部の構成



a



b

図 4.12 端末の外観

4.4.2 評価方法

本節では評価方法を説明する．評価実験では基本的な画素色である赤・青・緑で埋めた映像を用いる．まず図 4.13 の左の画像のように同一の画面上に赤と青の領域を投影する．そして図 4.13 の右の画像に示すように，赤，青のいずれかの領域に指が触れたことが検出されると，どちらの色の領域に触れられたかを示すメッセージを出した後に緑色を表示するソフトウェアが端末に搭載されている．そして同様に，緑の戻るボタンをタッチすると元の赤と青の二つのボタン画面に戻る．評価実験では，この画面切替のシーケンスをランダムに 10 回実施し，画面の切替に成功した回数を評価した．

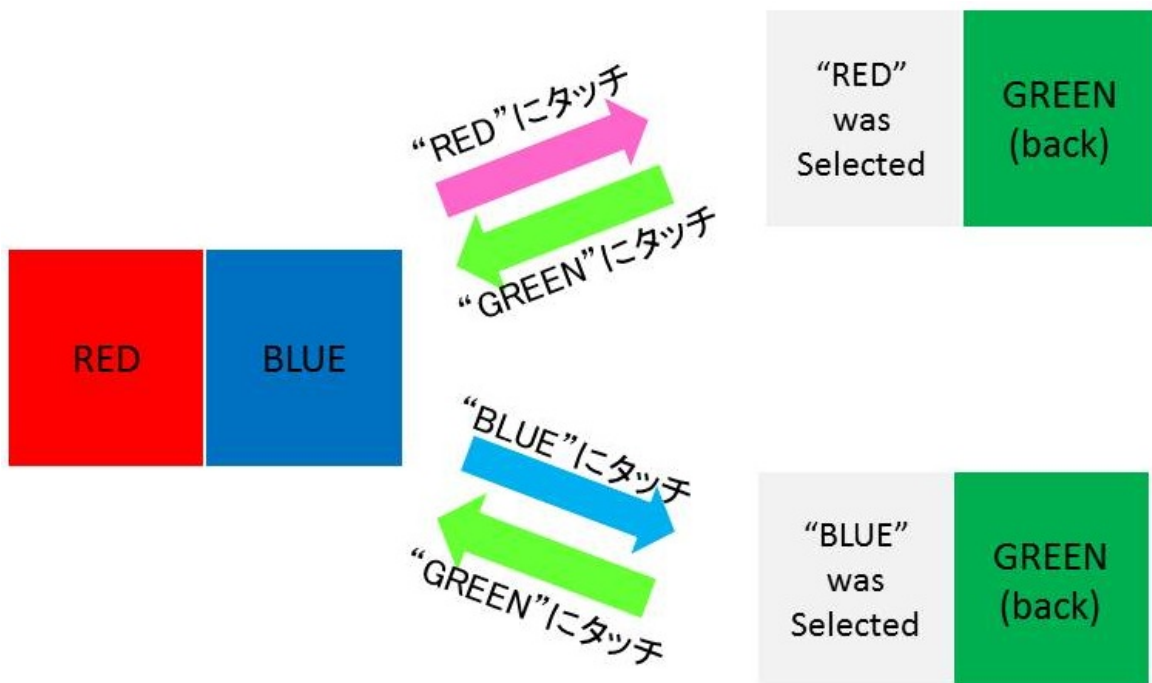


図 4.13 画像切替シーケンス

指がスクリーンに触れたイベントを検出する閾値は，本章第 4.3.2 節の結果を考慮し表 4.2 のように設定した．

本章第 4.3.2 節の検討結果より，指の位置を検出するための観測ポイントは水平軸上には 10pixel 間隔の 32 個，垂直軸上には 20pixel 間隔の 8 個の合計 256 個設定した．また本提案方式は自動車内の環境を想定しているため，時刻や周辺の環境に応じて外光の光量を変化することを考慮した．そこで，いくつかの利用シーンを想定して外光の光量を変化させて実験を行う．想定した利用シーンとそのときの光量の関係を表 4.3 に示す．

表 4.2 画面切替の閾値

| 画像の色 | R 成分 [pixel] | G 成分 [pixel] | B 成分 [pixel] |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| RED | None | 230 | 230 |
| GREEN | 150 | None | None |
| BLUE | 150 | None | None |

表 4.3 想定利用シーンと光量の関係

| 想定利用シーン | 光量 [lux] |
|-------------|----------|
| 夜間 (郊外走行中) | 0 |
| 夜間 (都市部走行中) | 700 |
| 昼間 | 3000 |

4.4.3 評価結果

実験結果を表 4.4 に示す．数値は成功回数/試行回数である．

表 4.4 評価結果

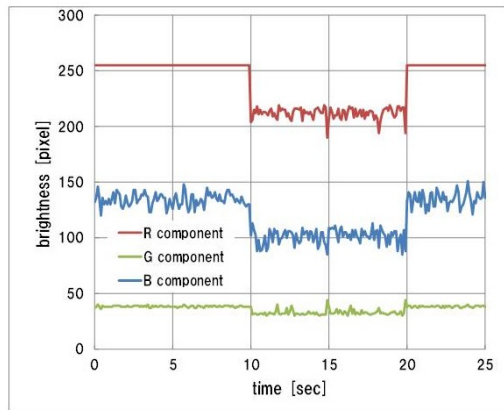
| 投射画像 | 0 [lux] | 700 [lux] | 3000 [lux] |
|-------|---------|-----------|------------|
| RED | 0/10 | 10/10 | 0/10 |
| GREEN | 0/10 | 10/10 | 0/10 |
| BLUE | 0/10 | 10/10 | 0/10 |

表 4.4 は，700 ルクスの環境において，ほぼ 100% 画面遷移に成功したことを示している．この結果は，この照度において提案方式が良好に動作したことを意味している．しかし，0 ルクスの環境と 3000 ルクスの環境では画面遷移に成功しなかった．更に，0 ルクスの環境では画面に触れていないにも関わらずに画像が切り替わるケースがあった．3000 ルクスの環境では画面に触れても画像が切り替わらなかった．

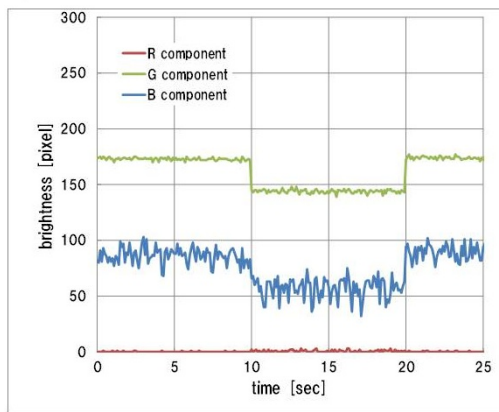
4.4.4 考察

本章第 4.4.3 節では 700 ルクスの環境では成功する画面遷移が 0 ルクスと 3000 ルクスの環境では成功しなかった．今回の検討は車の中の環境を想定して行った．従って照度は時間帯や天候によって変動するはずである．そのため少なくとも今回実験した範囲における照度のロバスト性を持つことが望ましい．そこで，本節ではこの現象の原因を分析し対策について考察する．図 4.14～

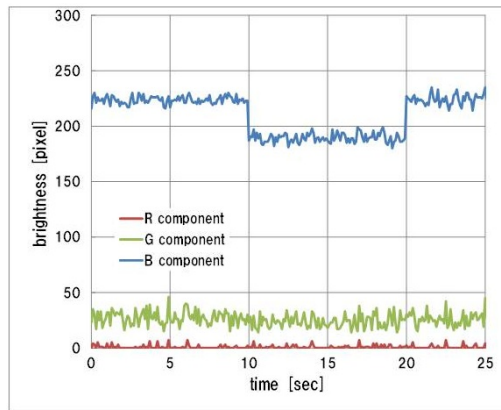
図 4.16 に分析のため 0 ルクス , 700 ルクス , 3000 ルクスのそれぞれの環境において画面タッチイベントの前後の RGB 画素数をプロットしたものを示す .



a (RED)

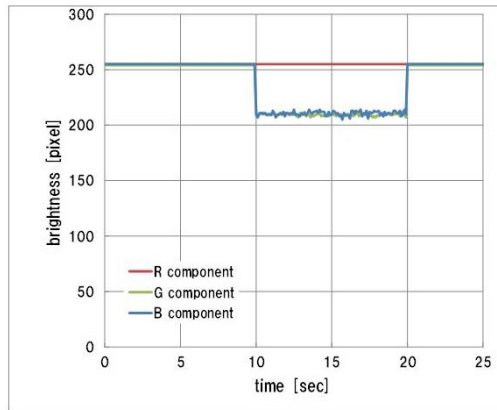


b (GREEN)

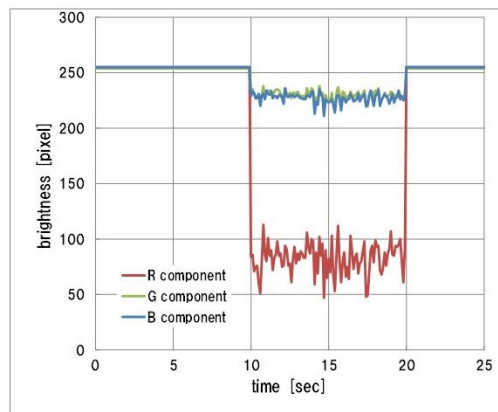


c (BLUE)

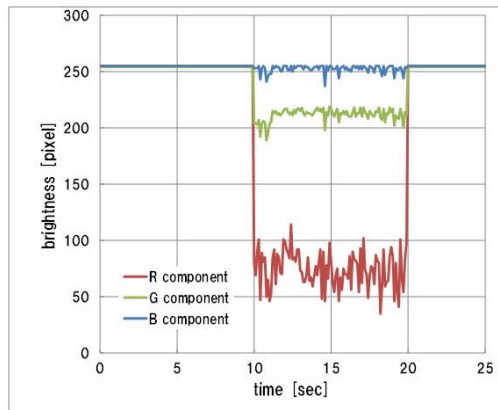
図 4.14 光量が 0 ルクスの場合



a (RED)

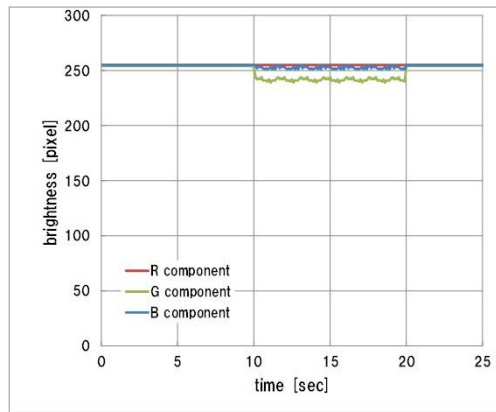


b (GREEN)

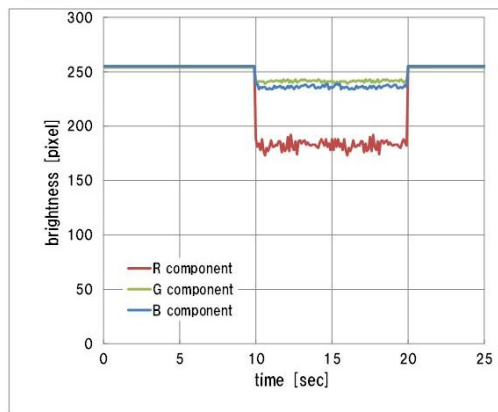


c (BLUE)

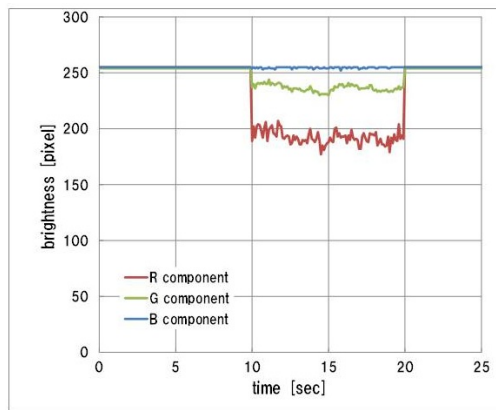
図 4.15 光量が 700 ルクスの場合



a (RED)



b (GREEN)



c (BLUE)

図 4.16 光量が 3000 ルクスの場合

0ルクスの環境 (図 4.14 の a~4.14 の c) では、指がスクリーンに触れていない時の RGB すべての画素値が 255 に達していないことがわかる。これは外光がないためスクリーンからの反射光が支配的になり RGB 各成分が強く表れた結果と考えられる。しかし指がスクリーンに触れた時には各画像ともに変化が見られた。

700ルクスの環境 (図 4.15 の a~4.15 の c) では、本章第 3.1 節で示した現象が再現し赤画像では指がスクリーンに触れた際に G と B の画素数が 230 を下回り、青画像または緑画像を指がスクリーンに触れた際に R の画素値が 150 を下回ったため画面遷移に成功したことがわかる。

3000ルクスの環境 (図 4.16 の a~4.16 の c) では、指がスクリーンに触れても、外光の光量がスクリーンの反射光より大きく、画素値の変化が 700ルクスの環境で観測される場合と比較して相対的に小さくなり、画素値が閾値を下回らなかったために画面遷移に失敗したと考えられる。

以上から、利用環境の光量が動作結果を左右していることが推定された。今回の実験では指がスクリーンに触れたイベントを検出するための閾値を 700ルクスの条件で決定した値で固定にしていた。しかし今回の結果は利用環境の明るさに応じて閾値を動的に変更することが有効な可能性を示唆している。この目的のためには外光の光量を検出することが最適と考えられるが、外光の絶対的な光量を携帯電話の内部機構で判定することは困難である。そこで指がスクリーンに触れていない時と触れていた時の画素値の差分によって画面遷移を行う方式を試してみる。指がスクリーンに触れたことを検出するための閾値は指がスクリーンに触れたイベントが発生する度に更新する。その閾値 Q_{TH} は、図 4.1 から (4.3) 式で与える。

$$\begin{aligned}
 Q_{TH} &= \frac{\Delta Q_c}{2} \\
 &= \frac{Q_c - Q_c|_{NoFinger}}{2} \\
 &= \frac{((S+F)*Q_p + Q_o) - (F*Q_p + Q_o)}{2} \\
 &= \frac{F*Q_p}{2}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

上記方法で検証を行った結果を表 4.5 に示す。

表 4.5 画面切替成功回数と外光の強度 (閾値変動)

| 投射画像 | 0 [lux] | 700 [lux] | 3000 [lux] |
|-------|---------|-----------|------------|
| RED | 8/10 | 10/10 | 8/10 |
| GREEN | 9/10 | 10/10 | 9/10 |
| BLUE | 9/10 | 10/10 | 9/10 |

表 4.5 より、閾値を動的に変更することで、特性が大幅に改善できることがわかった。しかしながら、3000ルクスの赤画像においては、一回目に画面遷移した時の RGB の画素値の変化量が大きかった場合、それによって閾値を変動させると、次に指がスクリーンに触れた際に、その閾値を

超えないケースが発生してしまい、正しく画面遷移を行うことができないことがあった。この現象への対処は今後の課題としたい。

4.5 まとめ

本章では、はじめに先端の ICT 技術が車載装置の高度な ICT 化を加速し、その結果、車載情報機器のライフサイクルが自動車のライフサイクルと比較して短くなってしまったことを述べた。そして、この問題を解決するために登場したターミナルモードを自動車内で実現しようとした場合、端末と車載ディスプレイの画面の解像度の違いを吸収する仕組み、画面を転送するための仕組み、タッチパネルの機能を実現するための仕組み、のそれぞれを実現する課題が存在することを述べた。

本章ではこれらの課題を解決しターミナルモードを実現する一手法を提案した。提案方式では携帯電話に搭載されている小型のプロジェクタとカメラを使用して画面表示とタッチパネルの機能を実現する。携帯電話で画面表示とタッチパネルの機能を実現する為には指がスクリーンに触れたイベントと指の位置の両方の識別が必要である事から、透過型スクリーンを利用することで解決する手法を提案した。提案方式によれば、透過型スクリーンの特徴を利用することで指がスクリーンに触れたイベントをプロジェクタの反射光として認識可能である事を示した。更に、観測ポイントを指の大きさを考慮した間隔で離散的に設定することで指がスクリーンに触れた位置を検出する方式を提案した。これらの技術を試作機に搭載し、実際に想定される 0~3000 ルクス程度の照度のもとで動作確認試験を実施したところ、700 ルクスの程度の照度の環境下で提案方式が正しく動作する事を確認した。更に、提案方式を改良し、0 および 3000 ルクスの場合であっても 80% 程度の精度で提案方式を正しく動作させるために必要な改良方式について考察し、提案方式の外光照度のロバスト性を確認した。

本提案方式は、スマートフォンが得た位置情報など様々な情報を自動車内のユーザによって共有する技術の礎になると考えられる。

今後は、任意の画像を表示した際に画面タッチ検出を実施するための閾値の決定方法、人によって異なる手指の形状に対応した観測ポイントの自動化方法、より細かな操作（スライド、ドラッグ & ドロップなど）や、マルチタッチなどに取り組む予定である。また、より利用シーンを限定しない汎用性が高いものにするため、透過スクリーンではなく反射型スクリーンを使用する方式や、屋外での利用も想定した使い方についても検討する予定である。

第 5 章

結論

5.1 本研究の成果

本論文ではユビキタス端末において位置情報を活用する技術に関し論じてきた。本章では研究の成果をまとめる。

本論文第 1 章では、少子高齢化が進行している我が国のような国家では情報通信技術の力を借りて生産年齢人口の労働負荷を軽減すると同時に、子育てに適した環境を整え高齢者が安心して暮らせる社会を作る取組みが重要であることを述べた。そしてその施策として「いつでも」、「どこでも」、「利用者が意識せずとも」情報通信技術の恩恵を受けられるユビキタスコンピューティング技術が有効であることを述べた。そしてユビキタス端末を利用して位置情報を活用する際に現在重要と考えられている位置情報の活用事例を 8 種類示し、それらの活用事例が十分に機能するために必要な要件を位置情報の取得範囲、位置情報の利用範囲、位置情報の時制、位置情報のサービス実現範囲の 4 つの視点から整理し、位置情報の取得範囲と利用範囲を拡大することが今後ユビキタス端末において位置情報を積極的に活用する上で有益であることを示した。

本論文第 2 章では、慣性航法によって得られた歩行軌跡形状を歩行者ネットワークデータベースが持つトポロジ情報から検索することによって測位のためのインフラを使用することなく歩行者の歩行経路を推定する方式を提案した。提案方式の有用性を検証するために被験者の違いや歩行条件の違いが歩行軌跡形状の推定性能に与える影響を調査する実験を実施した。調査実験の結果、年代、身長、性別が異なる 9 名の被験者により蛇行せずに通常速度、遅い速度、早い速度の 3 通りの歩行速度で歩行した場合に推定されるリンク長とリンク接続角度の推定誤差がそれぞれ $\pm 20\%$ (平均) $\sim 50\%$ (最大), $\pm 13\text{deg}$ 程度であることがわかった。この結果は、被験者の違いや歩行条件の違いが歩行軌跡形状の推定性能に与える影響としては小さいことを示している。そして提案手法の実現可能性を調査するために二つの経路検索手法による歩行経路を推定する実験を実施した。道路トポロジとリンクをマッチングさせる方式として歩行形状のリンク長と変針角情報をそ

のままマッチングに使用する形状検索手法 1 では 5 リンク歩行した際に実際に歩行したルートを含む 2 本の経路にルートの候補を絞ることが出来た。この方式では歩行リンク数を 10 に増やしても歩行経路の候補数を減らすことができないこともわかった。そしてノードの推定位置誤差の総和を使用する形状検索手法 2 では 5 リンク歩行した際に実際に歩行したルートを推定することができた。以上の実験結果から、提案した 2 方式はいずれも実際に歩行したルートを推定する上で有効に作用し、形状検索手法 1 と比較して形状検索手法 2 が優位であったことが示された。以上から第 2 章で提案した方式を適用することで、測位のためのインフラを使用することなく歩行者の歩行経路が推定できる可能性があることが面積 56000 平米の地下街で実施した検証実験で確認された。また、提案方式の動作条件についても上記の範囲で明らかになった。

本論文第 3 章では、まず初めにユビキタス端末が存在する環境において磁気的な外乱が地磁気情報の品質に与えている影響を実測により調査した。北緯 35 度 ~ 北緯 46 度の範囲内において取得した合計 893 データの品質から、19 種類の異なる環境において地磁気品質が安定する環境は 7 環境であり、その他の環境においては地磁気品質が安定していないことを明らかにした。そして磁気外乱の存在、すなわち当該地点における地磁気品質を検出することができればユビキタス端末の測位課程において地磁気情報を利用可能であることを示し、地磁気ベクトルの鉛直成分の分散を閾値判定することによって地磁気外乱の存在を判定する方式を提案した。提案方式は従来は不可能だった時変動を含む磁気外乱と時変動を含まない磁気外乱の判別が可能であることが実験によって確認された。

本論文第 4 章では、自動車内でスマートフォンが取得した位置情報を同乗者間で共有するための技術として、スマートフォンが搭載しているプロジェクタと自動車に搭載したスクリーンによってターミナルモードを構成する方式を提案した。動作確認実験の結果、提案方式は自動車内における平均的な明るさである 0 ルクス ~ 3000 ルクスの照度の条件下で 80 パーセント以上の確率で正常動作することがわかった。

本論文第 2 章と第 3 章では位置情報の取得範囲を拡大する技術を、本論文第 4 章では位置情報の利用範囲を拡大する技術をそれぞれ提案した。

そしてそれぞれの実験結果により、提案技術の基本動作を確認することができた。

以上から、本研究の成果は本論文第 1 章で示したユビキタス端末における位置情報の重要な活用事例の実用化に寄与したと結論する。

5.2 今後の課題と展望

本論文第 2 章で述べた歩行履歴推定技術において以下が不明である。これらは今後の課題である。

1. トポロジ情報の選択範囲の決定法
2. トポロジ情報の複雑さの影響の調査
3. 道路幅の広さの影響の調査

本論文第 4 章で述べた携帯電話の画面を共有する技術では、以下が不明である。これらは今後の課題である。

1. 色々な表示画像，指，操作方法（スライド，ドラッグ，ドロップ等）に対応
2. 反射型スクリーンに対応
3. 自動車外への応用

謝辞

本研究を進めるにあたり，新潟大学大学院自然科学研究科佐々木重信教授には主指導教員として社会人博士課程での研究の機会を与えて頂くとともに終始親身なご指導を頂き，また，研究全般に係るご相談にのっていただき温かいご助言を頂きました．ここに心より御礼申し上げます．

同研究科菊池久和教授，村松正吾准教授には日頃から副指導教員として有益な議論を頂いたばかりでなく，社会人学生である私に励ましのお言葉を頂き，学位論文審査におきましても副査を快くお引き受け下さりました．ここに心より御礼申し上げます．

同研究科間瀬憲一教授には講義を通じて有益なご助言とご指導を頂き，また，国際会議会場におきましても有益な議論を頂くとともに，博士号取得に際しての大変有益なご教授をいただき，学位論文審査におきましても副査を快くお引き受け下さりました．ここに心より御礼申し上げます．

同研究科湯川正裕准教授には日頃から有益な議論を頂いたばかりでなく研究への取り組み姿勢など多くを学ばせていただくとともに，学位論文審査におきましても副査を快くお引き受け下さりました．ここに心より御礼申し上げます．

元富士通研究所常務取締役（現早稲田大学国際情報通信研究センター教授）津田俊隆博士，元富士通研究所フェロー松田喜一氏には社会人学生として新潟大学大学院での就学の機会を与えて頂き多くのご配慮とご支援を頂きました，心より御礼申し上げます．

富士通研究所ヒューマンセントリックコンピューティング研究所主任研究員森信一郎博士には日頃の業務でお世話になっているだけでなく就学に関する高いご理解とご支援，ご配慮を頂き，本研究においても論文執筆等において多大なご助言を頂きました．ここに心より御礼申し上げます．

同研究所肥田一生氏，花田雄一氏には本研究を進めるにあたり日頃より有益なご討論ご助言を頂き，データ整理では多大なご支援を頂きました．ここに心より御礼申し上げます．

株式会社三和電子花田亮氏をはじめとした実験チーム諸氏には，北は北海道稚内まで行き実施した全 900 余の地磁気環境のデータ取得作業において多大なご支援を頂きました．ここに心より御礼申し上げます．

最後に，これまで常に温かく見守り支援して下さった家族と友人に感謝いたします．

平成 25 年 3 月

沢田 健介

参考文献

- [1] 総務省, “国勢調査及び人口推計”, Jan. 2012.
- [2] 国立社会保障・人口問題研究所, “日本の将来推計人口”, Jan. 2012.
- [3] Mark Weiser, “The Computer for the Twenty-First Century,” *Scientific American*, vol.265, no.3, pp.94–104, 1991.
- [4] Mark Weiser, “Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing,” *Communications of the ACM*, vol.36, no.7, pp.74–83, 1993.
- [5] “デイリー新語辞典,” 三省堂, p.576, 2000.
- [6] 坂村健, “ユビキタスコンピュータ革命,” 角川書店, Jun. 2002.
- [7] 電気学会, “ユビキタスコンピューティングと応用,” オーム社, Sep. 2008.
- [8] 安田明夫, “GPS の展望,” *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J84-B, No.12, pp.2082-2091, 2001.
- [9] 土屋淳, 辻宏道, “GNSS 測定の基礎,” 日本測量協会, 2008.
- [10] 地理空間情報産学官連携協議会, “地理空間情報の利活用に係わる研究開発マップに関する報告書第 2 次改定版,” May 2010.
- [11] NTT ドコモ, “位置情報を活用したターゲティング情報配信 ASP サービス「次ナビ」を提供開始,” <http://www.nttdocomo.co.jp/info/newsrelease/page/09033001.html> (参照 2009-3-30).
- [12] Skyhook Wireless, “Location Aware App Report,” 2010.
- [13] 岸本直樹, 岩原俊彦, “時空間情報共有システムの提案とそのコミュニケーション支援特性,” *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J95-D, No.4, pp.769-777, 2012.
- [14] Herbert N., et. al., “High Sensitivity GNSS platform for deep indoor scenarios,” *Proc. IPIN2010*, 2010.
- [15] Broumandan, A.; Nielsen, J.; Lachapelle, G., “Indoor GNSS Signal Acquisition Performance using a Synthetic Antenna Array,” *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.47, No.2, pp.1337-1350, 2011.
- [16] MAPPLE “ルーティング・歩行者ネットワークデータ,” 昭文社

- [17] 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,” 電子情報通信学会技術研究報告, ITS107 (51), pp.7-11, 2007.
- [18] 中村嘉志, 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾豊, 西村托一 “複数の赤外線タグを用いた相対位置関係からのトポロジカルな位置および方向の推定,” 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1349-1360, 2007.
- [19] 別所正博, 小林真輔, 越塚登, 坂村健, “コピキタスコンピューティングと屋内環境の位置認識,” 電子情報通信学会誌, Vol.92, No.4, pp.249-255, 2009.
- [20] Hallberg J., Nilsson M., Synnes K., “Positioning with Bluetooth,” Proc. on ICT 2003, 2003.
- [21] Ling P., Ruizhi C., Jingbin L., Heidi K., Tomi T., Yuwei Chen, “Using Inquiry-based Bluetooth RSSI Probability Distributions for Indoor Positioning,” Journal of Global Positioning Systems, Vol.9, No.2, pp.122-130, 2010.
- [22] 高梨郁子, 斎藤謙一, 安藤康臣, 稲坂朋義, 古和善治, “ZigBeeTMを利用した, 歩行者の位置特定に関する実験,” 情報処理学会研究報告, ITS 2005 (21), pp.105-111, 2005.
- [23] Taok A., Kandil N., Affes S., Georges S. “Fingerprinting Localization Using Ultra-Wideband and Neural Networks,” Proc. ISSSE 2007, pp.529-532, 2007.
- [24] Gezici S., Zhi T., Giannakis G.B., Kobayashi H., Molisch A.F., Poor H.V., Sahinoglu Z., “Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks,” IEEE Signal Processing Magazine, Vol.22, No.4, pp.70-84, 2005.
- [25] Chon H., Jun S., Jung H., et al., “Using RFID for accurate positioning,” Journal of Global Positioning Systems, Vol.3, No.1-2, pp.32-39, 2004.
- [26] 小林清孝, 伴好弘, 上原邦昭, “ウェアラブル AR システムのための自立型位置追跡装置と二次元マーカとを併用した三次元位置軌跡取得手法,” 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, Vol.104, No.572, pp.25-30, 2005.
- [27] Troyk P.R., DeMichele G.A., Kerns D.A., Weir R.F., “IMES: An Implantable Myoelectric Sensor,” Proc. EMBS 2007, pp.1730-1733, 2007.
- [28] 谷口健太郎, 河野隆二, “TDOA 型センサネットワークにおける階層型粒子フィルタを用いた位置推定法,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J89-A, No.12, pp.1068-1078, Dec. 2006.
- [29] Hui L., Darabi H., Banerjee P., Jing L., “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” IEEE Trans. System Man and Cybernetics, Vol.37, No.6, pp.1067-1080, 2007.
- [30] 加治充, 原隆浩, 西尾章治郎, “無線 LAN による位置推定のためのオンライン生成可能な電波環境地図とその特性,” 情処学論, vol.50, no.1, pp51-63, Jan. 2009.

- [31] L. Fang, P. J. Antsaklis, L. A. Montestruque, M. B. McMickell, M. Lemmon, Y. Sun, H. Fang, I. Koutroulis, M. Haenggi, M. Xie, X. Xie, "Design of Wireless Assisted Pedestrian Dead Reckoning System-The NavMote Experience," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, Vol.54, No.6, pp.2342-2358, 2005.
- [32] 興梠正克, 蔵田武志, "組み込み型 GPS・自蔵式センサシステムによる屋内外歩行者ナビ," *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol.106, No.73, pp.75-80, 2006.
- [33] 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志, "屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/GPS/RFIDを統合した組み込み型パーソナルポジショニングシステム," *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol.106, No.234, pp.109-114, 2006.
- [34] Tom J., Toan V., "Use of a new pedometric dead reckoning module in GPS denied environments," *Position, Location and Navigation Symposium 2008*, pp.120-128, 2008.
- [35] Wei C., Ruizhi C., Yuwei C., Kuusniemi H., Zhongqian F., Jianyu W., "An adaptive calibration approach for a 2-axis digital compass in a low-cost pedestrian navigation system . s.l.," *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2010 IEEE, 2010. pp.1392-1397, 2010.
- [36] 李欣洙, 間瀬憲一, 阿達透, 大沢達哉, 中野敬介, 仙石正和, 日高裕敏, 品川準輝, 小林岳彦, "GPS, 歩数計及び方位計を用いた歩行者移動経路追跡法," *信学論 (B)*, vol.J84-B, no.12, pp.2254-2263, Dec. 2001.
- [37] 森信一郎, 肥田一生, 花田雄一, 峰野博史, 水野忠則, "パネモデルを用いた歩行軌跡補間技術," *情報処理学会論文誌* 52 (3), 1082-1090, Mar. 2011.
- [38] 森信一郎, 奥山鏡子, 峰野博史, 水野忠則, "地磁気センサを使った高精度測位技術," *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J93-D, No.10, pp.1894-1902, 2010.
- [39] Y. Chen et. al., "Wearable electromyography sensor based outdoor-indoor seamless pedestrian navigation using motion recognition method," *Proc. IPIN 2011*, pp.1-9, Sep. 2011.
- [40] J. Fujimoto et. al., "Hybrid Positioning System for Indoor Localization Based Service," *Proc. UPINLBS 2012*, Oct. 2012.
- [41] M. Kourog, T. Kurata, "A method of personal positioning based on sensor data fusion of wearable camera and self-contained sensors," *Proc. IEEE Conf. MFI2003*, pp.287-292, Jul. 2003.
- [42] Z. Sun et. al., "Polaris: Getting Accurate Indoor Orientations for Mobile Devices Using Ubiquitous Visual Patterns on Ceilings," *Proc. HotMobile 2012*, Article No.14, 2012.
- [43] S. Mori et. al., "Highly-Accurate and Low-Power-Consumption Positioning Method Using a Geomagnetic Sensor," *IEICE Trans. Vol.J93-D, No.10*, pp.1894-1902, Oct. 2010.

- [44] S. Uehara et. al., “A Study on Geomagnetic Sensor Data in a Mobile Phone for an Estimation of Person Mobility Means,” IEICE Technical
- [45] National Astronomical Observatory, “Chronological Scientific Tables 2013,” Maruzen Publishing, pp213-217, Nov. 2012.
- [46] K. Yamazaki et al., “Environmental low-frequency magnetic field due to direct-current electric railcar,” Trans. IEEJ, A, Vol.120, No.8, pp835-844, Aug. 2000.
- [47] J.P. Conti, “Smart cars,” IET Communications Engineer, Vol.3, No.6, pp. 25-29, 2006.
- [48] W.D. Jones, “Building safer cars,” IEEE Spectrum, Vol.39, No.1, pp. 82-85, 2002.
- [49] W. Holzapfel, M. Sofsky, and U. Neuschaefer-Rube, “Road profile recognition for autonomous car navigation and Navstar GPS support,” IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol.39, No.1, pp. 2-12, 2003.
- [50] S. Mori, K. Hida, and K. Sawada, “Advanced car positioning method using infrared beacon,” Proc. ITST 2008, pp. 45-50, 2008.
- [51] Facebook, “Facebook’s f8 Conference Developer conference,” <https://www.facebook.com/f8>, 2011.
- [52] Y. Matsuo, and Y. Yasuda, “How Relations are Built within a SNS World - Social Network Analysis on Mixi -,” JSAI Journal, Vol.22, No.5, pp. 531–541, 2007.
- [53] S. Wasserman, F. Katherine, M. Granovetter, and D. Iacobucci, “Social network Analysis: Methods and Applications,” Cambridge University Press, ISBN 0521387078, 1994.
- [54] K. Morioka, “Consideration for Smooth Communication in a Consensus Conference: The Consensus Conference on Genetically Modified Organism as a Case Study,” Japanese Journal of Science Comm., No.1, pp. 96–104, 2007.
- [55] K. Yokomatsu, and N. Nakajima, “Mutual Information Exchanging System for Smooth Communication Using Wireless System,” IEICE Tech. Rep., MoMuC-106(161), pp. 31–34, 2006.
- [56] R. Bose, J. Brakensiek, P. Keun-Young, and J. Lester, “Morphing Smartphones into Automotive Application Platforms,” IEEE Jour. Computer, Vol.44, No.5, pp. 53-61, 2011.
- [57] T. Kashima, and K. Nakajima, “Accuracy Improvement of Touch-Screen by Projector and Camera,” ITE Tech. Rep., Vol.34, No.31, pp. 33–36, 2010.
- [58] P. Mistry, P. Maes, and L. Chang, “WUW - Wear Ur World - A Wearable Gestural Interface,” CHI2009, Spotlight on Works in Progress, Boston, MA, USA, 2009.

発表論文

学術論文

[1] 沢田健介, 花田雄一, 森信一郎, 佐々木重信, ”歩行軌跡形状を歩行者用トポロジ情報から検索する屋内歩行者位置推定法,” 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.237-248, Jan. 2013.

[2] Kensuke Sawada, Shigenobu Sasaki, Shinichiro Mori, ”Evaluation of availability of Geomagnetic information for Pedestrian navigation in Geomagnetism Disturbance Environment,” IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications And Computer Sciences(投稿中).

国際会議

[1] Kensuke Sawada, Yuichi Hanada, Shinichiro Mori, Shigenobu Sasaki, ”A Study on Terminal mode system using Smart phone and Rear-screen,” Proc. of The 6th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2012), pp.122-123, May 2012.