JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	スマートフォンのセンサ及び Bluetooth 探索を用いた個人間の相対位置表示システム
Author(s)	木下，剛志
Citation	
Issue Date	2012-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/10465
Rights	
Description	Supervisor:宮田 一乗，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修　士　論　文

スマートフォンのセンサ及び Bluetooth 探索を用いた個人間の相対位置表示システム

指導教員　　宮田 一乗　教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識科学専攻

1050013　木下 剛志

審査委員：　宮田　一乗　教授（主査）
西本　一志　教授
梅本　勝博　教授
DAM　HIEU　CHI　准教授

2012 年 2 月

Copyright © 2012 by Tsuyoshi Kinoshita

目　次

1　序論…… 1
1.1　背景…… 1
1.2　関連研究…… 1
1.2.1　屋内での歩行者の位置推定…… 1
1.2.2　慣性センサを使った位置推定…… 2
1.2.3　スマートフォンのセンサを用いた位置推定…… 3
1.2.4　既存手法との違い…… 4
1.3　目的…… 4
2　方法…… 5
2.1　システムの概要…… 5
2.2　デッドレコニング…… 7
2.2.1　自律航法…… 7
2.2.2　ステップの認識…… 7
2.2.3　ステップの長さ…… 9
2.2.4　移動方向の推定…… 9
2.2.5　移動軌跡の作成…… 11
2.3　Bluetooth 探索…… 12
2.4　カメラ画像のマッチングによる磁気方位センサの誤差の修正…… 12
3　実装…… 13
4　実験…… 15
4.1　実験環境…… 15
4.2　パラメータの設定…… 16
4.2.1　ステップの長さの設定…… 16
4.2.2　ステップ認識のパラメータの設定…… 16
4.2.3　Bluetooth に関する実験…… 17
4.3　移動軌跡の評価…… 17
4.4　二人での実験…… 19

5　結論……24
謝辞……25
参考文献……26

図　目　次

図 1　システム構成図…… 5
図 2　システムの処理概要…… 6
図 3　端末と加速度の関係…… 7
図 4　重力成分を取り除いた加速度値…… 8
図 5　加速度の大きさ…… 8
図 6　認識されたステップ…… 9
図 7　端末の向きと方位の関係…… 10
図 8　端末の方向…… 10
図 9　フィルタリング後の端末の方向…… 11
図 10 カメラ画像の手動マッチングで使った写真…… 12
図 11　Xperia neo…… 13
図 12　実装環境の全体図…… 14
図 13　廊下の案内図…… 15
図 14　廊下の実際の測定結果…… 15
図 15　標準偏差の閾値と認識されるステップ数の関係…… 16
図 16　移動軌跡…… 18
図 17　二人での実験の動き…… 19
図 18　二人での動きの絶対位置…… 20
図 19　端末 1 から見た端末 2 の想定される相対位置の変化…… 20
図 20　端末 2 から見た端末 1 の想定される相対位置の変化…… 21
図 21　端末 1 から見た端末 2 の相対位置…… 21
図 22　端末 2 から見た端末 1 の相対位置…… 22

表　目　次

表 1　Bluetooth の電波強度の距離に対する変化…… 17
表 2　Bluetooth の探索完了時間…… 17
表 3　デッドレコニングの精度…… 19

第　1　章　序論

本章では、はじめにスマートフォンの普及による位置情報サービスの発展に関する研究背景について述べる。次に、屋内での歩行者用位置推定についての関連研究を述べ、それらの研究の中でも、本論文で使用するデッドレコニング技術に関する慣性センサを使った研究について述べる。次に本論文で用いる端末であるスマートフォンを用いた位置推定の研究について述べる。その後、従来研究との違い、研究の目的について述べる。

1.1　背景

現在市販されているスマートフォンの多くには GPS が搭載されており、位置情報を用いたサービスが数多く提供されている。

例えば、一人で利用するものとして、現在地から目的地までの車や徒歩でのルートを計算し、ナビゲーションするものがある（Google マップナビ）。それに対し、他者との共有を考慮にしたものとして位置情報共有サービス（Google Latitude，foursquare，Facebook Places）があり、位置情報をコミュニケーションの促進や、待ち合わせ、行動ログとして利用されている。

GPS が利用できない屋内では、主として無線 LAN での位置推定が行なわれており，PlaceEngine[1]や Locky.jp プロジェクト[2]などの研究例が報告されている。しかしながら，無線 LAN を用いた位置推定には、無線 LAN の設備がある場所でないと利用できないという欠点がある。スマートフォンには，GPS 以外にも加速度センサや、磁気方位センサ、ジャイロセンサ、Bluetooth が搭載されており、それらのセンサを活用し端末だけで完結する自律型の位置情報サービスを提供することも可能になっている。

1.2　関連研究

1.2.1　屋内での歩行者の位置推定

屋外では GPS 信号を受信することで位置測位を行えるが、屋内では建物が障害物になり、GPS 信号が届かないか、信号の強度が小さくなるため、位置が特定できない場合が多い[3]。このような問題に対し、屋内での位置推定には、RFID や赤外線、超音波などの発信や、JAXA により、GPS 信号の送信機を屋内に設置するための IMES (Indoor Messaging System)が提案されている[4]。

これらの手法は屋内に専用の設備が必要である一方、自律型の位置推定も必要とされている。例えば、消防士などの緊急事態の際に働く人にとって、屋内の火災現場は停電や煙で視界が悪いため、位置特定を行なうことは、任務の遂行や命に関わるため、極めて重要である。停電や火炎の影響で、建物内に予め設置された位置特定用の設備が利用不可能になる可能性があるため、消防士が携帯する機器のみで自律的に位置特定ができることが必要である。そのために加速度センサやジャイロスコープなどの慣性センサや、超音波センサ、レーザを使った光波測距儀が利用されている[5]。

1.2.2　慣性センサを使った位置推定

慣性センサを用いると、移動量を積分するデッドレコニングにより、軌跡を求め、相対的な自己位置推定を行なうことができる。単純に考えると、加速度値を時間で二回積分すれば位置が求まるが、歩行者にそのまま適用すると、体の揺れなどにより誤差が蓄積し、歩いていないのに位置が変化してしまう。そのため、ステップ認識を行ない、その場合にのみ位置を更新する手法が提案されている[6]。慣性センサでデッドレコニングを行なう手法の中で、足の上にセンサを取り付ける手法は精度が良いと提案されている[6]。足の上にセンサを取り付ける理由は、足が設置したときに速度がゼロになることで、ステップの認識の精度が良くなるためである。

屋内の地図が手に入れられる場所では、それを用いてデッドレコニングの精度を向上することができる[7]。地図がない場合は、自己位置推定と環境地図作成（SLAM（Simultaneous Localization and Mapping））の手法によって地図を作成することもできる。歩行者用の SLAM としては、足上センサを用いた研究[8]や、それを拡張して場所を手動で通知し精度を向上させた手法[9][10]が提案されている。また、SLAM を頭上に搭載した IMU とレーザセンサを用いて行なう方法が提案されている[11]。さらに、SLAM を Wi-Fi の電波強度を使って行なう手法[12]や、Wi-Fi と足上センサを組み合わせた手法[13]が提案されている。一方，SLAM と人間の行動の認識を組み合わせた研究も報告されている。これらには、センサを全身に取り付けた手法[14]と、センサを一つだけ用いた手法[15]がある。また，スマートフォンに搭載されたセンサと Wi-Fi による位置推定を組み合わせて、SLAM を行なう手法も提案されている[16]。

位置推定に用いる加速度センサは、行動認識の分野でも多く使われている。ここでは、センサを設置する場所が一つに限られる携帯電話を使った研究例を述べる。携帯電話の加速度センサで行動認識を行なう研究では、主に静止、歩行、走行、階段の上り下り、座る、立ち上がる、車に乗っている、自転車に乗っているなどの認識を目的とされて研究されている[17][18][19][20]。こ

れらの手法は、ユーザの状況に合致した情報を提示するためのアプリケーションに利用することができる。行動認識の他の応用例として、歩行の解析によって人間の性別、身長、体重を認識する研究[21]がある。さらには、携帯電話がいろいろな場所に格納されることを考慮した行動認識の方法[22]や、携帯の格納場所自体を認識すること[23]も行なわれている。

1.2.3　スマートフォンのセンサを用いた位置推定

携帯電話に搭載されたセンサを用いて位置推定を行なう研究としては、単純にセンサの値からデッドレコニングを行なって位置を算出する手法[24][25][26]がある。

蓄積誤差の対策のために、デッドレコニングに、行動認識を組み合わせて位置推定を行なうことも提案されている。この研究例には，手の上でデッドレコニングを行ないながら、エレベータの場所などを認識し補正を行なう研究[27]や、端末を手に持ったり、ポケットの中に入れたりする端末の位置の変化を考慮した研究[28]が挙げられる。座った・立ったという行動を認識し、歩行状態と誤認識することを防ぐ研究[29]もある。

携帯電話は手に持って歩くことも多いが、ポケットの中に入れる場合も多い。端末をポケットに入れた場合を考慮したデッドレコニングの研究[30][31][32]があり、加速度センサの値を主成分分析して第一成分を移動方向として利用することが提案されている。

Bluetooth とデッドレコニングとを組み合わせた研究として、端末を持った多くの人が互いに Bluetooth 探索を行ない、相手の位置と自分の位置を利用して修正を行なうものも提案されている[33]。他には、スマートフォンで Wi-Fi の位置推定を行なうときに環境地図を使った研究[34]や、加速度センサからの情報を基に、移動が終了したと認識されたときのみに Wi-Fi での位置推定を行い、省電力化する手法[35]も提案されている。

すでにある地図を活用して屋内での精度をあげる方法もいくつか提案されている。もとからある建物のデータを活用するもの[36]や、施設内の壁にある案内図をカメラで撮影して利用するもの[37][38]がある。他には、環境音を認識して位置を特定する研究[39][40]もある。

位置認識を行なう際の携帯電話特有の考慮すべきものとしては、消費電力がある。電力消費が大きすぎると、通話やメール、ウェブなどの他の用途に端末が使えなくなる可能性がある。文献[41]では、Android 端末での時間あたりの消費電力が述べられており，特に GPS や通信などの電波を使う物の電力消費が大きい。消費電力を減らすための試みとしては、位置推定に使う方法を動的に変える手法[42][43]がある。

1.2.4　既存手法との違い

既存研究では、屋内ナビゲーションなどに利用するため、絶対位置を求めることが目的としてあった。本研究では、相手の相対位置を常に知ることを目的とし、かつ、屋内の設備にかかわらず利用できるシステムとする。この目的を達成するため、Wi-Fi による位置推定を使わず、スマートフォン内蔵の Bluetooth を使った端末同士の近傍判定と、加速度センサ及び磁気センサを使ったデッドレコニングのみを使う点に新規性を有する。

1.3　目的

本研究では、無線 LAN や Bluetooth ビーコンなどの追加の設備がない屋内で利用可能な、位置情報を用いたシステムを提案する。開発するシステムは相手の場所を相対的に得るシステムとし、スマートフォン内蔵の加速度センサ、磁気方位センサと Bluetooth を用いる。このシステムの目的は、ショッピングセンターなどの屋内で一緒に居た後、離れ離れになった場合に、すぐに互いの場所を知る事で再開を容易にするためのアプリケーションにも応用するためである。

第　2　章

方法

本章では、システムの概要と位置推定のためのアルゴリズムについて述べる。

最初に目指すシステムの概要について述べる。次に、位置推定を行なう為の技術であるデッドレコニングについて、ステップの認識、ステップの長さ、ステップの方向の推定方法について述べる。最後に Bluetooth 端末探索の利用目的について述べる。

2.1　システムの概要

本論文で開発したシステムの構成を、図 1 に示す。本システムでは、二つの端末で互いに Bluetooth 探索を行ない、その発見履歴と加速度センサ磁気方位センサから得られたセンサ値をサーバに送信して処理し、互いの相対位置を知ることができる。

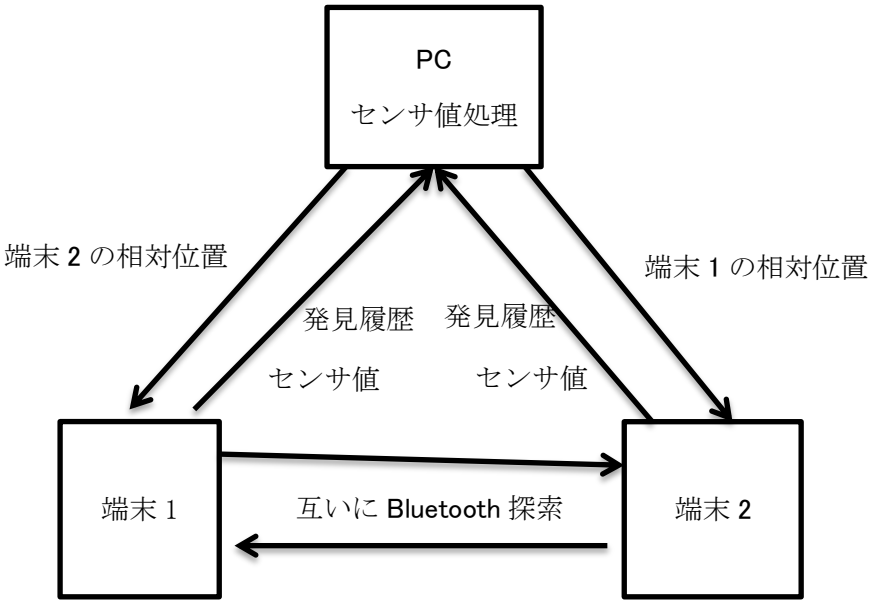

図 1　システム構成図

相対位置を求めるために必要な処理の概要を図 2 に示す。

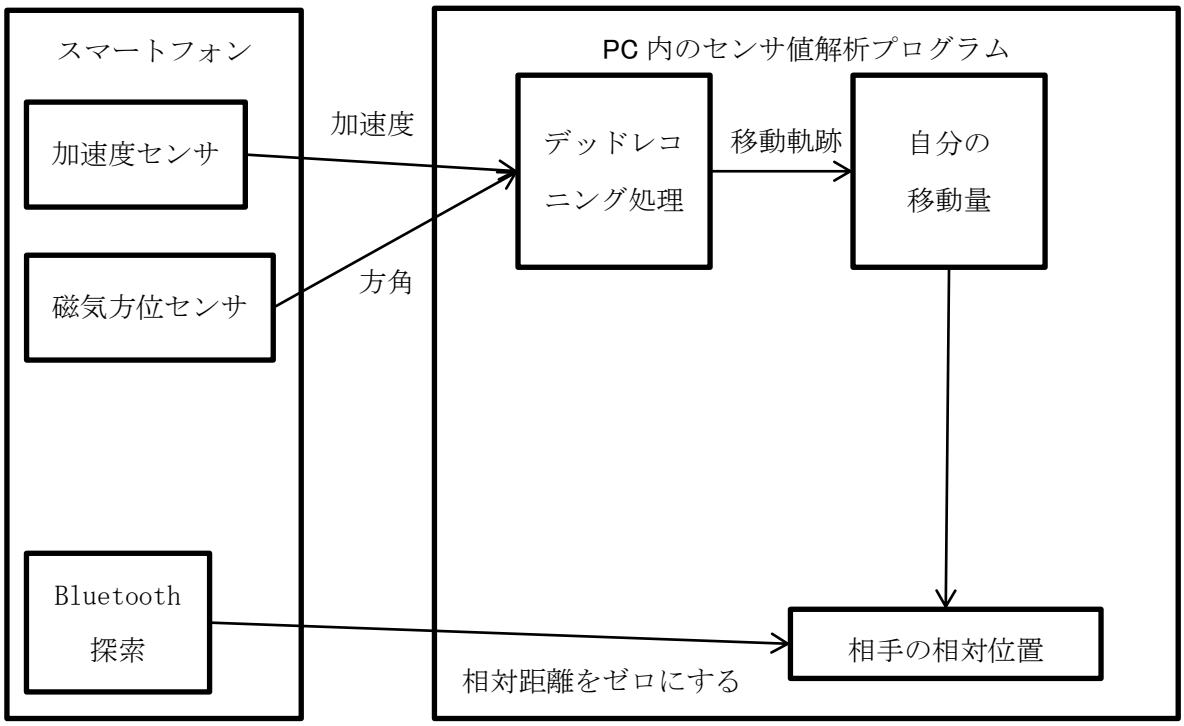

図 2　システムの処理概要

本システムでは，端末内のアプリケーションで、加速度センサ、磁気方位センサから得られたセンサ値を記録し、ＰＣに送信し、センサ値解析プログラムでデッドレコニング処理を行い、自分の移動量を記録する。同時に、Bluetooth 探索を行うことで相手が近くに居た時刻も記録する。Bluetooth 探索で相手の端末が見つかれば、相対距離をゼロとみなし、相対位置を出す際の初期位置を二つの端末で同じ座標(0,0)にする。これは、相手から離れた場合は、探索で最後に相手を見つけた時点からの移動量をサーバに送り、相手の移動量との差を求めることで、相対位置を得られる。

2.2 デッドレコニング

本節では移動量を求めるために使うデッドレコニングの方法について述べる。

2.2.1 自律航法

周囲からの情報を使わず、搭載するセンサのみで自分の位置を求めることを自律航法という。

スマートフォンには加速度センサならびに磁気方位センサが内蔵されており、任意の開始地点からの相対的な位置を得ることができる。デッドレコニングの方法は文献[27]を参考にした。端末の位置は手に携帯して歩いた場合に用いる事とした。

デッドレコニングには、ステップの認識と、ステップの方向、およびステップの長さが必要であり、以降，これらの処理を順番に述べる。

2.2.2 ステップの認識

ステップの認識には加速度センサを用いる。図 3 に端末と加速度の向きの関係を示す。

（http://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorEvent.html）

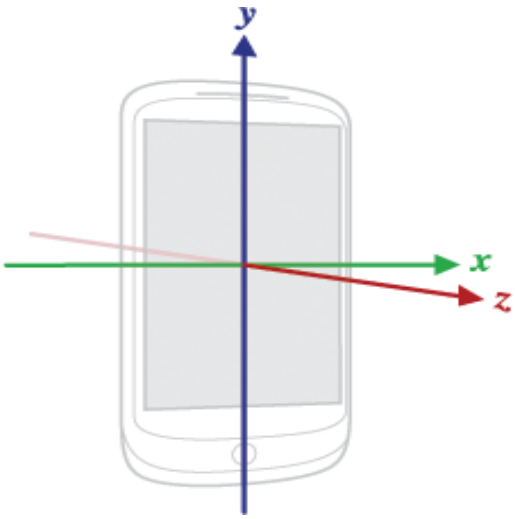

図 3　端末と加速度の関係

ステップの認識に使う元となるセンサ値は、加速度センサの値から重力成分を取り除いたものがスマートフォン（Android）から標準で得られる。図 4 に重力成分を除去後の加速度値を示す。

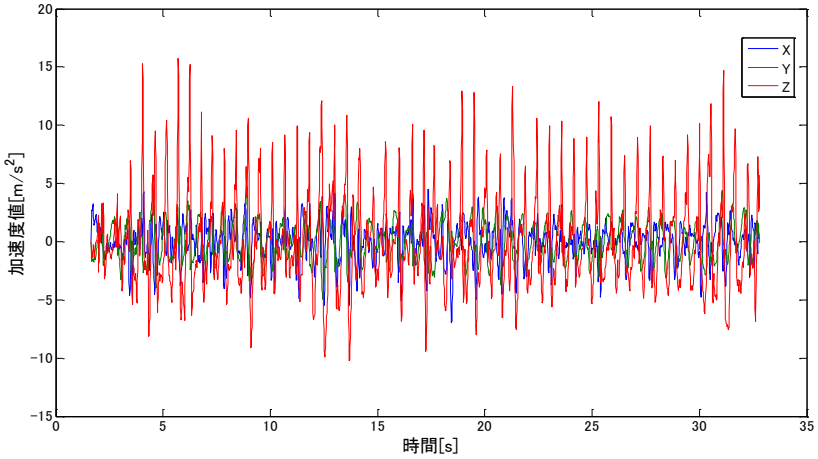

図 4　重力成分を取り除いた加速度値

ステップの検出には加速度の大きさのピークを使う。これを図 5 に示す。

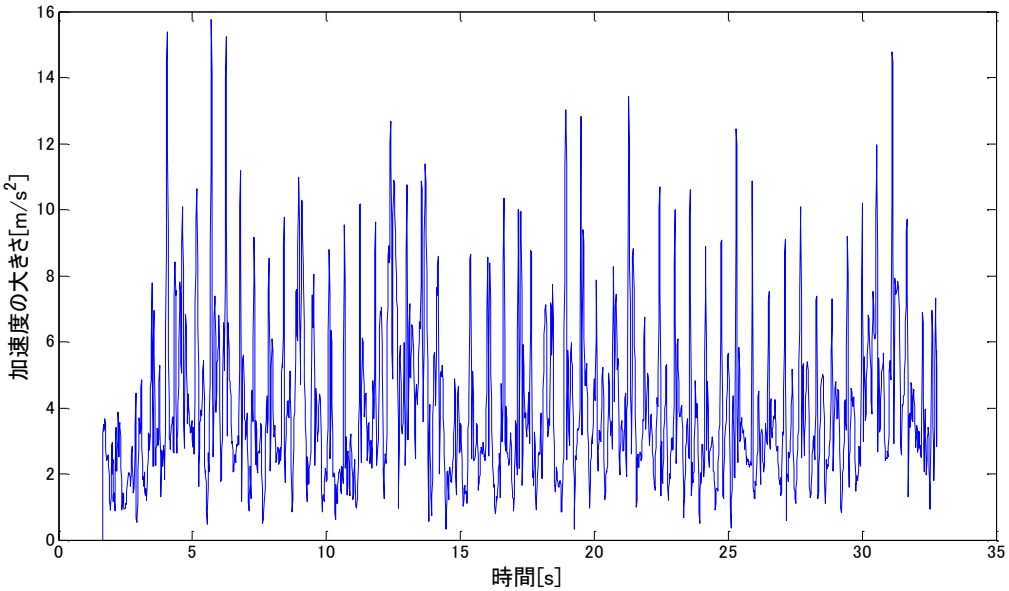

図 5　加速度の大きさ

ステップの検出は、加速度の大きさを時間間隔 0.33 秒で区切り、以下に述べる条件を全て満たす区間をステップとして認識する。本論文では、歩行者が歩いている事を想定して、一歩に動きに必要な最小時間を 0.33 秒に設定した。以降、この時間間隔を最小ステップ時間間隔と呼ぶ。

最小ステップ時間間隔で区切られた加速度の大きさに対し、以下の条件を指定してステップ認識を行なう。

- 加速度値のピークを検出するために、区間内の中央の時間の値が区切った区間の他の全ての値よりも大きい。
- 小さな振動を無視するために、区間内の値の標準偏差が閾値よりも大きい。
- 歩行している想定のため、前回にステップが認識された時間から最小ステップ時間間隔（0.33 秒）だけ経っている。

以上の条件を満たした場合に認識されたステップを図 6 に示す。縦線がある場所の時間にステップが認識されている。図 6 ではステップが認識された場合に 1、認識されなかった場合に 0 を示している。

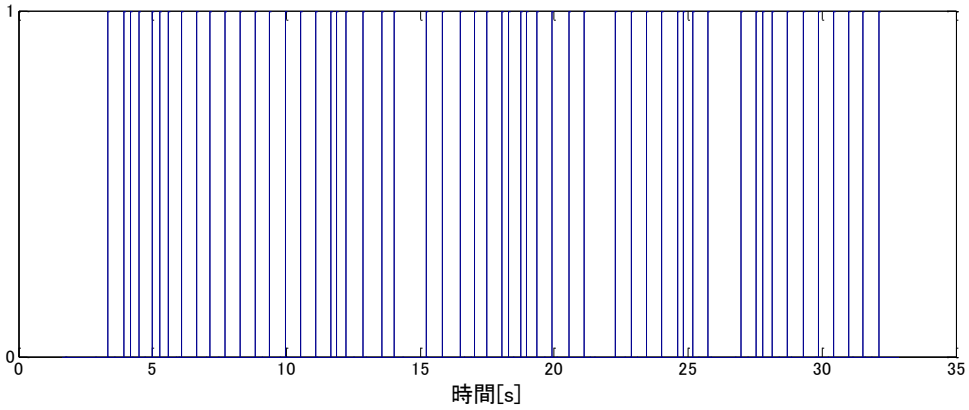

図 6　認識されたステップ

2.2.3　ステップの長さ

ステップの長さは歩行速度に比例して大きくなったり，若干の変動をともなうが、本研究ではステップの長さは固定値とし、事前に計測した値を使うことにした。

2.2.4　移動方向の推定

移動方向の推定には、端末内蔵の磁気方位センサを用いる。図 7 は北を向いた端末を示しており、正面から見て上方向を移動方向として用いる。

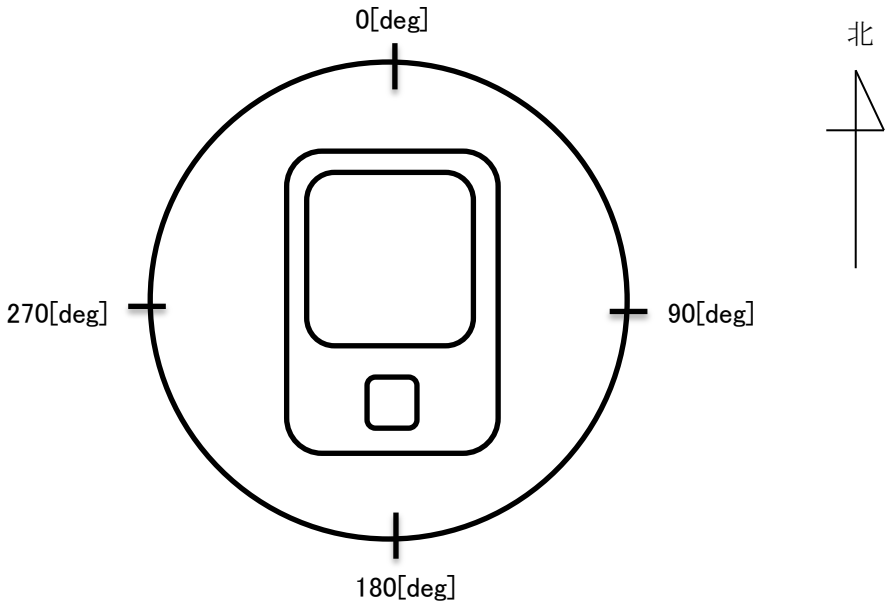

図 7　端末の向きと方位の関係

端末の傾きは、加速度センサと磁気方位センサから得られる。図 8 は、歩きながら-100°から100°へ方向転換した際の磁気方位センサの値を示したものである。

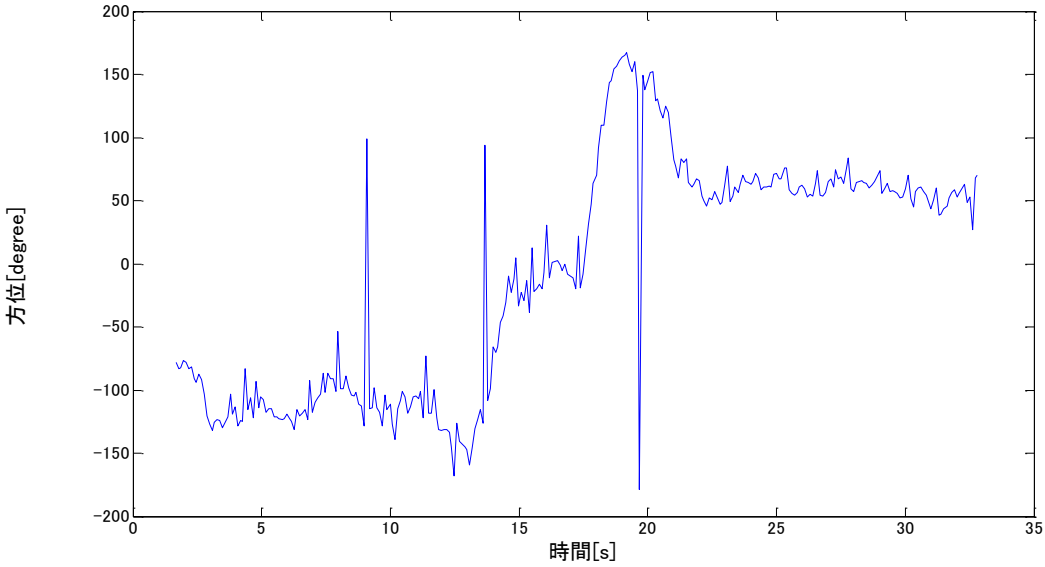

図 8　端末の方向

端末の方向を示すデータには細かい振動が加わっているので、低域通過のフィルタリング処理を行なう。

フィルタリングは、αをパラメータとして、式(1)のように算出する。

$$o(t) = (1-\alpha)\cdot o(t) + \alpha \cdot o(t-1) \qquad (1)$$

o:方向　α:係数

図 9 にα=0.7 としてフィルタリングを行なった結果を示す。

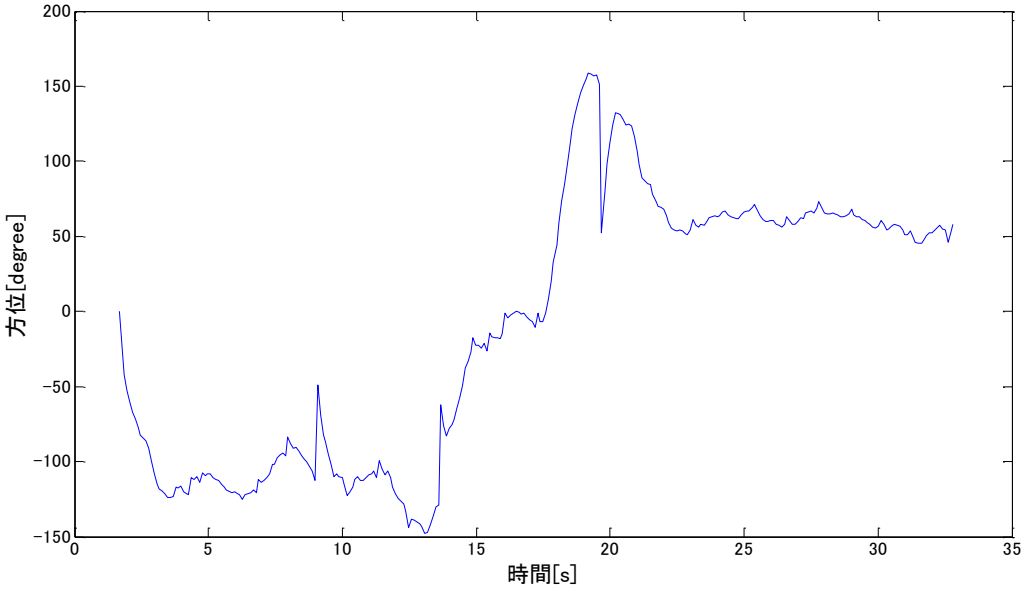

図 9　フィルタリング後の端末の方向

2.2.5　移動軌跡の作成

移動軌跡は、ステップが認識された時の方向にステップ幅を積算したものを現在位置に加算することで、式(2)のように算出する。

$$\begin{aligned} x(t) &= \sin(\theta)\cdot ls + x(t-1) \\ y(t) &= \cos(\theta)\cdot ls + y(t-1) \end{aligned} \qquad (2)$$

x:X 座標　y:Y 座標　t:時間　ls:ステップ幅　θ:ステップの方向

2.3　Bluetooth 探索

Bluetooth 探索とは、周囲の検出可能状態になっている Bluetooth デバイスを探索する機能である。本研究では両方の端末を検出可能状態にし、互いに Bluetooth 探索を常に行なう。どちらかの端末が相手の端末を発見できた時には、その時間に相手の端末が近くにいるとみなし、相対位置を求める際の双方の位置を座標(0,0)に設定する。その初期位置にデッドレコニングによって求まった移動方向、移動距離を加えていくことで、相対位置を算出する。

2.4　カメラ画像のマッチングによる磁気方位センサの誤差の修正

磁気方位センサは同じ種類の端末で同じ方向を向いていても数度の誤差がある場合がある。これの誤差を減らすために、一方の端末で撮影した画像と方位角をもう一方の端末に送信し、その画像を半透明にして表示し、手動でカメラ画像を合わせる作業を行ない、そのときの方位を送信されてきた方位と比較することで、方位の誤差を求める手法を検討した。図 10 に別々の端末で撮影した画像を示す。最初に撮影した画像は図 10 の左の画像で、右の画像はそれに合うようにもう一方の端末で撮影した画像である。

図 10 カメラ画像の手動マッチングで使った写真

図 10 では、左の画像を撮影した方位角は 162°、右の画像を撮影した方位角は 169°であった。これらの結果から 2 台の端末間の方位の誤差が 7°ということが分かり、端末同士の相対的な角度を正確に出すことができるようになる。本論文での実験環境では初期状態で 2 台の端末間の方位のズレが見られなかったためこの手法は用いていない。

第　3　章　実装

本章では実装に用いた端末と利用したアプリケーションを述べる。

実装には、図 11 に示す Sony Ericsson 社の Xperia neo(MT15i)を用いた。

図 11　Xperia neo

この端末の OS は Android 2.3.3 で、内蔵されているセンサは、GPS/A-GPS、３軸加速度センサ、磁気方位センサ、照度センサ、近接センサである。CPU は Qualcomm MSM8255 Snapdragon 1GHz で RAM の容量は 512MB である。通信には Bluetooth2.1+EDR と IEEE 802.11 b/g/n に対応している。 寸法が 116×57×13mm で重量が 126g である。

端末内のアプリケーションで、端末内で加速度センサの値と、方位センサの値と Bluetooth の探索結果を記録し、サーバ上にデータを送ると共に、SD カードにセンサ値を保存する。

方位センサのサンプリング間隔は約 10Hz、加速度センサのサンプリング間隔は約 40Hz である。

互いの端末の時刻が正確に同じである必要があるため、実験前には、Android 用アプリケーション Clock Sync（https://market.android.com/details?id=ru.org.amip.ClockSync）を使って時刻合わせを行なう。Android 端末を他のデバイスから Bluetooth の探索可能にするには利用者にダイアログを表示し確認する必要がある。確認終了後に探索可能状態を続けることができる時間は 120 秒が上限であり、それ以上は再度確認ダイアログを表示する必要がある。

実験を容易にするため、 Web 上にセンサ値を保存するアプリケーションを作成した。これは、取得したデータを PC 上の処理アプリケーションですぐに確認し処理するためのものである。

PC 上の処理アプリケーションは、MATLAB を使った。２台の端末のセンサ値が書き込まれたファイルをセンサ値サーバか、ファイルから読みこんで処理する。

実装環境の全体象を図 12 に示す。

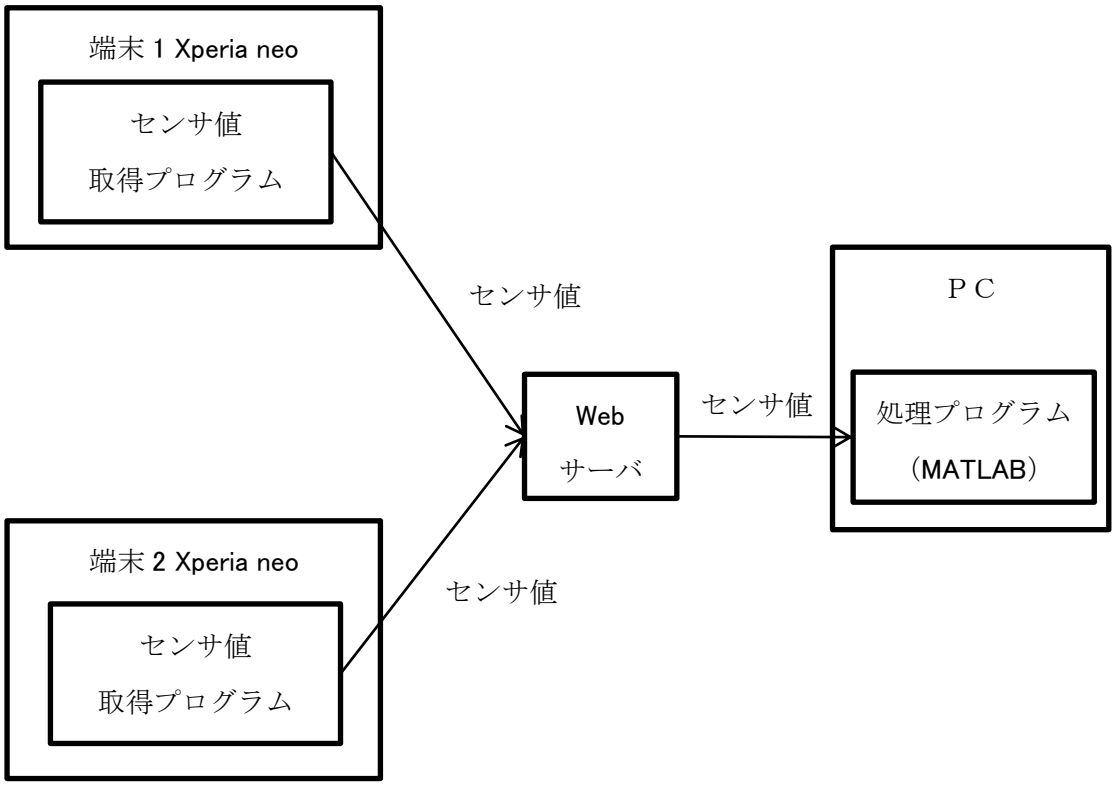

図 12　実装環境の全体図

第　4　章　実験

ここでは第 3 章で述べられた方法を実際に使用するために必要なパラメータを設定するための実験と、デッドレコニングの精度を調べる実験と、実際の相対位置を得る実験を行なった結果について述べる。

4.1　実験環境

実験は、北陸先端科学技術大学院大学知識棟 4 階の廊下で行なった。

この実験環境を選んだ理由は、寸法を実測するのが容易だった事と、夜間では人通りが少なく、同じ経路を歩きやすいため、条件が同じ実験が行ないやすかったためである。

図 13 に廊下に設置してある案内図を示し、実際に計測した廊下の寸法を図 14 に示す。

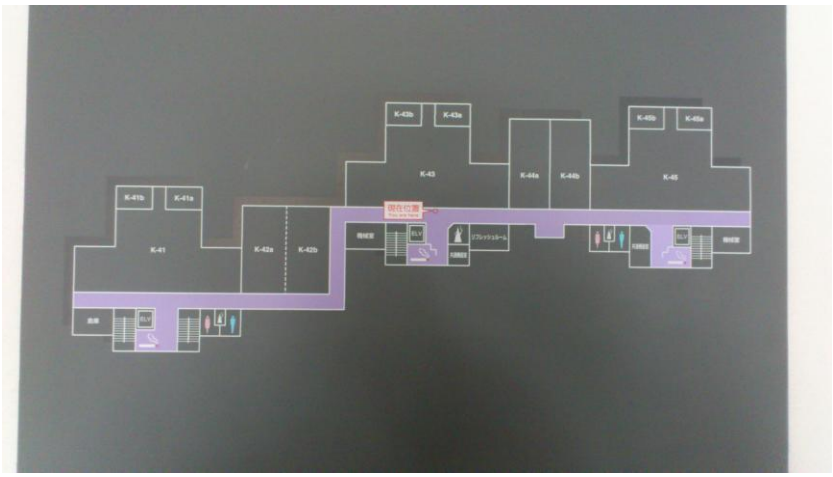

図 13　廊下の案内図

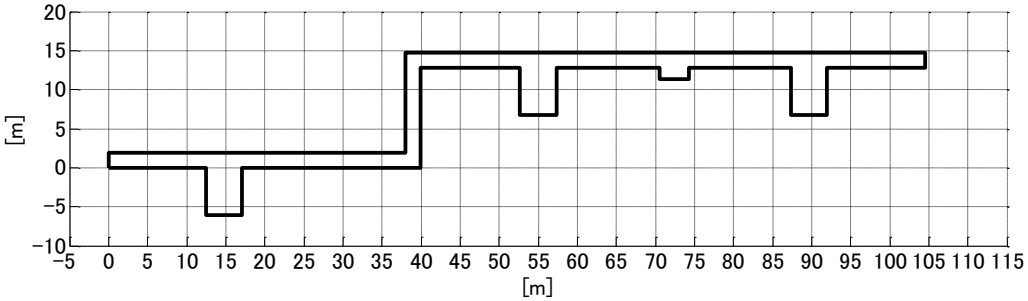

図 14　廊下の実際の測定結果

4.2　パラメータの設定

システムを利用するために必要なパラメータを調整するための実験について述べる。

4.2.1　ステップの長さの設定

本システムではステップの長さは固定値を使う。ステップの長さは実際に歩いて求めた値を使った。10 歩歩いた際の移動距離を測定した結果、7m だったため、ステップの長さを 70cm に設定した。

4.2.2　ステップ認識のパラメータの設定

ステップ認識に必要なパラメータとして、波形内の小さな振動によるステップの誤認識を減少させるために、区間内の加速度の大きさの集合から求めた標準偏差の値に対して閾値を設定する。10 歩の歩行を 3 回繰り返して、閾値を手動で 1.32 に設定した。閾値を減らすと認識されるステップ数が増え、増やすとステップ数が増える。図 15 に 10 歩歩いたデータに対する閾値を変えた場合の認識されたステップ数を示す。

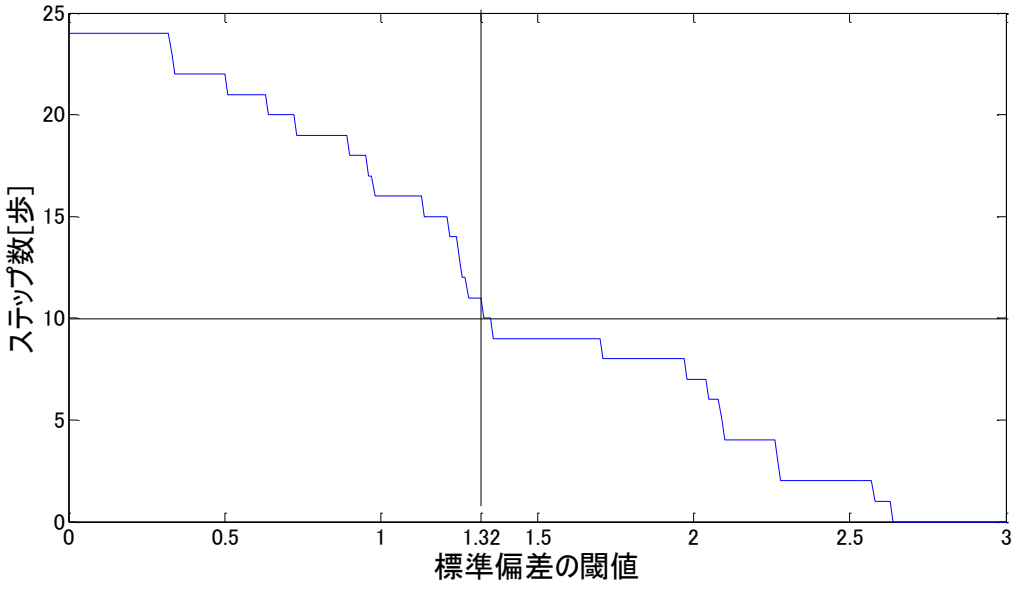

図 15　標準偏差の閾値と認識されるステップ数の関係

4.2.3　Bluetooth に関する実験

Bluetooth の特性を調べるために、Xperia neo を使って、実験を行なった。

始めに、Bluetooth を用いた別れ認識の際、どの程度相手から離れると相手の端末が見つからなくなるかを調べるために、Bluetooth の電波強度と距離との関係を、表 1 に示す。

表 1　Bluetooth の電波強度の距離に対する変化

距離［m］	電波強度［dB］
0	-37
2	-52
4	-61
6	-∞

次に、Bluetooth の探索間隔を調べるために、2 台の端末を並べて置き、120 秒間探索した際に相手の端末が発見された時間を表 2 に示す。この表によると、探索対象の端末を発見するまでの時間は不定であり、120 秒間に端末を発見できる総回数も実験毎に異なることがわかる。

表 2　Bluetooth の探索完了時間

	1 回目		2 回目		3 回目	
	端末 1	端末 2	端末 1	端末 2	端末 1	端末 2
発見時間[s]	10.35	32.23	10.74	20.67	10.34	30.93
	32.17	64.30	31.40	41.32	41.31	61.88
	64.38	84.96	63.61	63.13	82.50	113.34
	95.33	105.62	84.27	73.53		
				113.25		

4.3　移動軌跡の評価

始めにデッドレコニングの精度の評価を行なうために、1 回歩いて実験し、移動軌跡を得た図を図 15 に示す。開始地点の座標(70.5,12.8)から、端末を右手に持って歩き、地点 A を通り、角 A と角 B を通った後に、終了地点の座標(0,0)に到達する経路を歩いた。黒点線が実際に歩いた経路で総距離は 83.3m である。青色が歩行軌跡である。黒線は廊下の形である。縦軸横軸は、廊下の右端を位置(0,0)とした時の位置である。

実験は 4 回実施した。図 16 に実験によって得られた移動軌跡を示す。その軌跡から、歩行時間、ステップ数、移動距離、到達地点の座標、移動距離の誤差、到達地点の誤差を求めた結果を表 3 に示す。

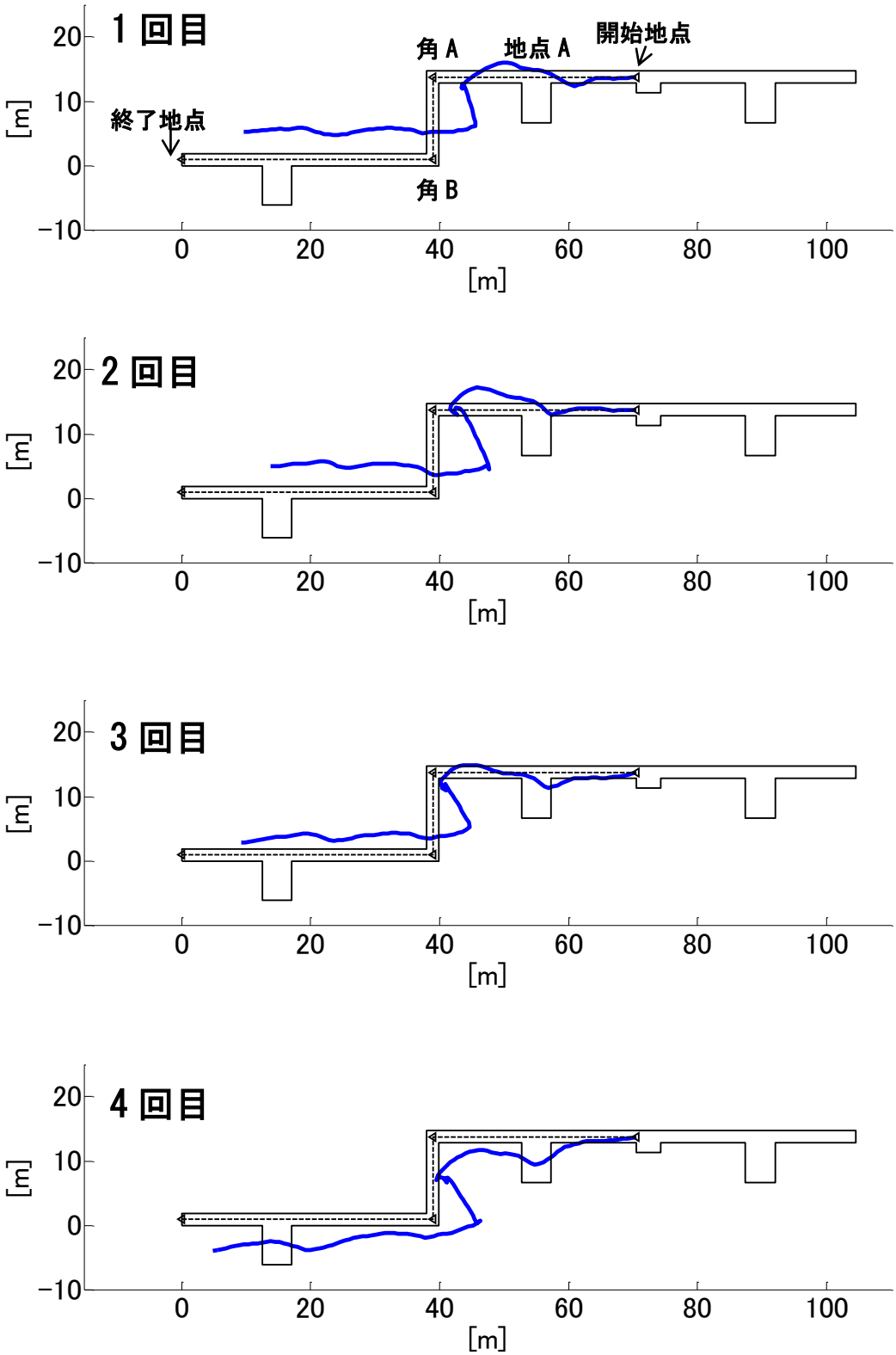

図 16 移動軌跡

表 3　デッドレコニングの精度

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均
歩行時間[s]	64.36	64.98	63.15	59.04	62.88
ステップ数	108	116	115	129	117
移動距離[m]	75.6	81.2	80.5	90.3	81.9
移動距離の誤差[m]	-7.7	-2.1	-2.8	7.0	-1.4
到達地点の座標	(9.69, 5.33)	(13.79, 5.03)	(9.19, 2.84)	(4.85, -3.88)	(9.38, 2.33)
到達地点の誤差[m]	11.59	14.67	9.61	6.21	10.52

表 3 の結果から移動距離の平均の誤差は-1.4m であったのに対し、到達地点の誤差は、10.52m となり誤差が大きくなった。図 16 の移動軌跡の図のどの実験の場合でも、地点 A の周辺で方位に誤差が生じている。地点 A は歩行者の左側に大きな空間があり、周囲にはエレベータ、給湯室がある。次に角 A から角 B の間の経路では全ての実験結果で、方位に対して半時計回りに誤差が生じている。これらの周囲の環境による影響を受けて、方位の誤差が発生し、到着地点の誤差が大きくなったといえる。

4.4　二人での実験

実際の利用例に近い実験として、二人でそれぞれの端末を持って歩く実験を行なった。実験の内容を図 17 に示す。青線は端末 1 を持った人の軌跡で、赤線は端末 2 を持った人の軌跡である。緑丸が開始地点、橙色丸が終了地点である。地点①(38.95,0.95)から、図の左側に向かって、青だけが歩き、廊下の端の地点②で転回し、赤の居る地点①に戻る。その後、一緒に地点③まで歩き、赤だけが地点④まで歩いて転回し、地点③に戻る順序で歩行する実験を行なった。

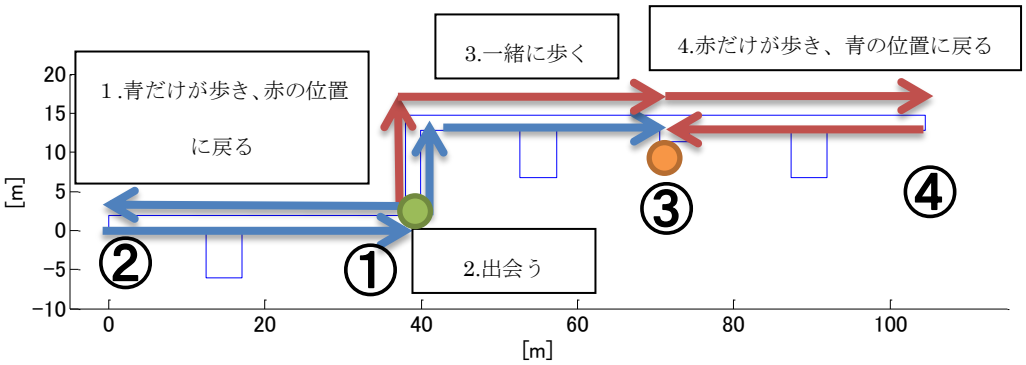

図 17　二人での実験の動き

図 18 に本実験での絶対軌跡を示す。この軌跡は両方の開始地点を地点(38.95,0.95)に固定したものである。赤丸青丸は、それぞれの端末が Bluetooth によって、相手を発見した時を示す。

青色の線は端末 1 を持っている人の軌跡を示し、赤色の線は端末 2 を持っている人の軌跡を示す。

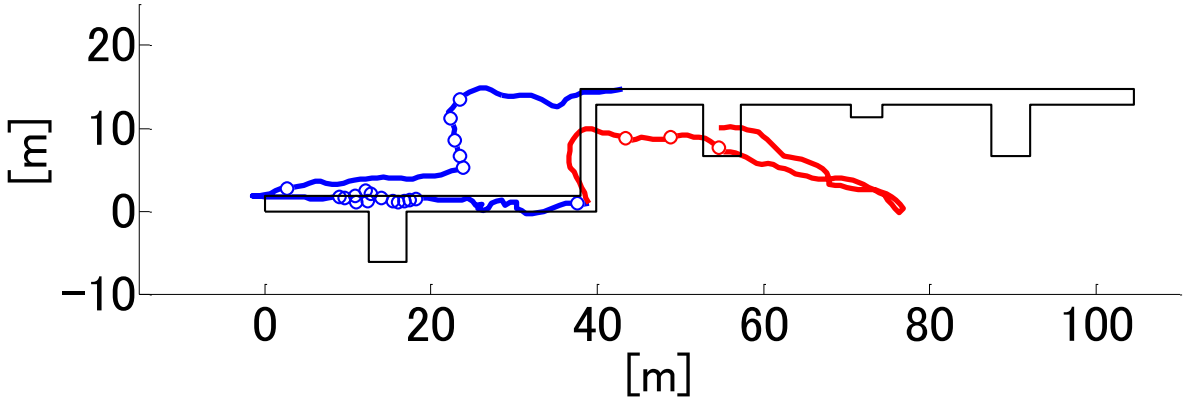

図 18　二人での動きの絶対位置

図 19 に端末 1 を持っている人から見た端末 2 の想定される相対位置の変化を、図 20 に端末 2 を持っている人から見た端末 1 の想定される相対位置の変化を示す。

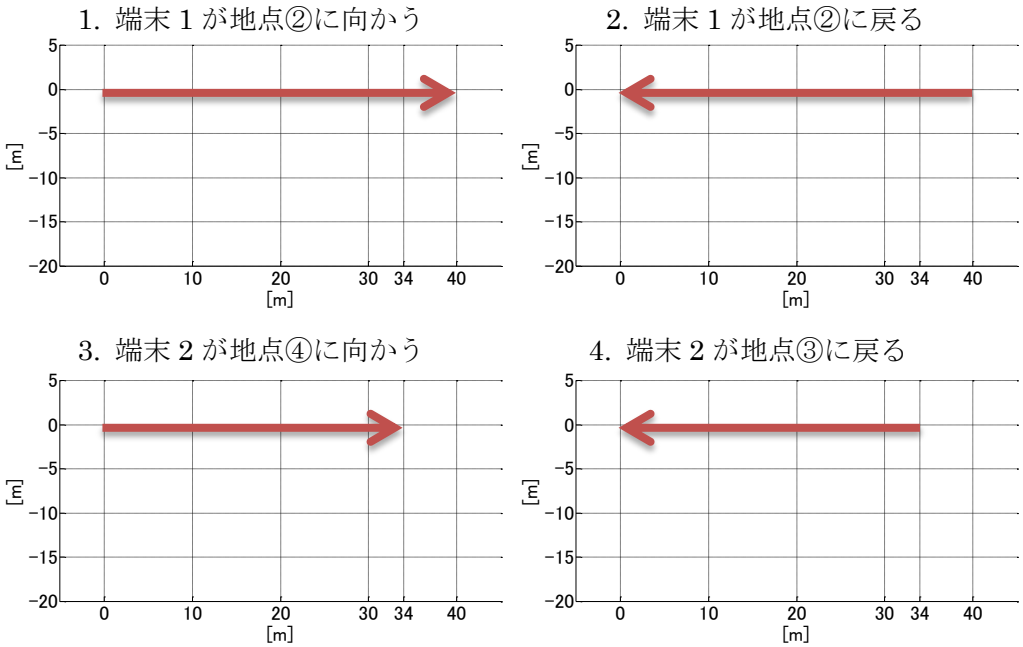

図 19　端末 1 から見た端末 2 の想定される相対位置の変化

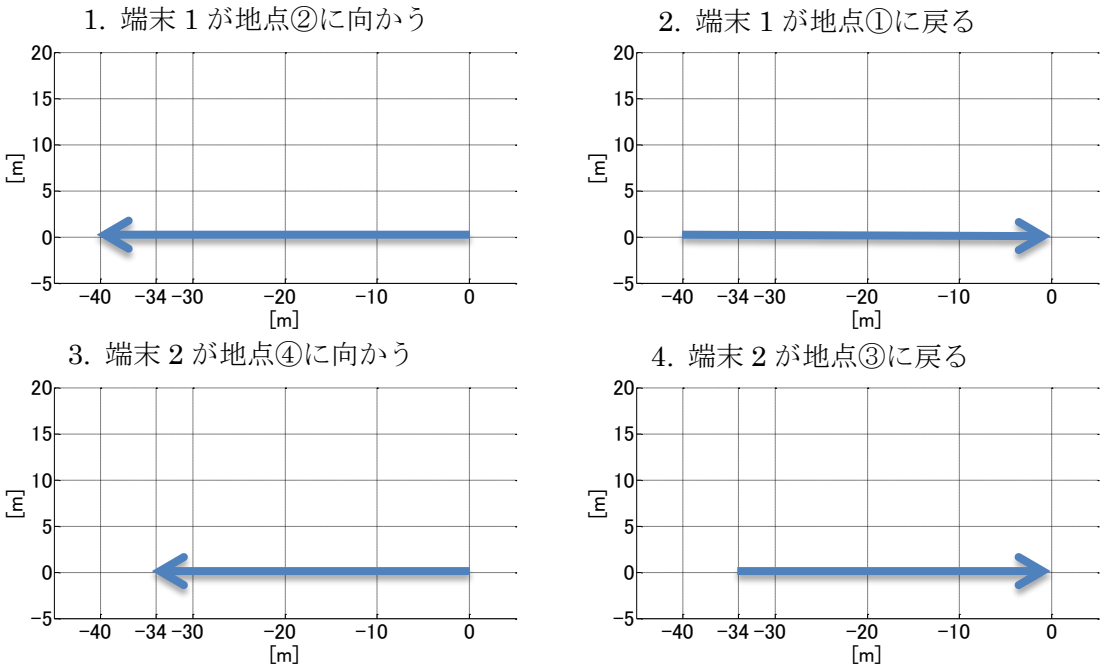

図 20　端末 2 から見た端末 1 の想定される相対位置の変化

図 21 に端末 1 から見た端末 2 の実際に得られた相対位置の変化を、図 22 に端末 2 から見た端末 1 の実際に得られた相対位置の変化を示す。黒●が開始地点、黒×が終了地点を示す。

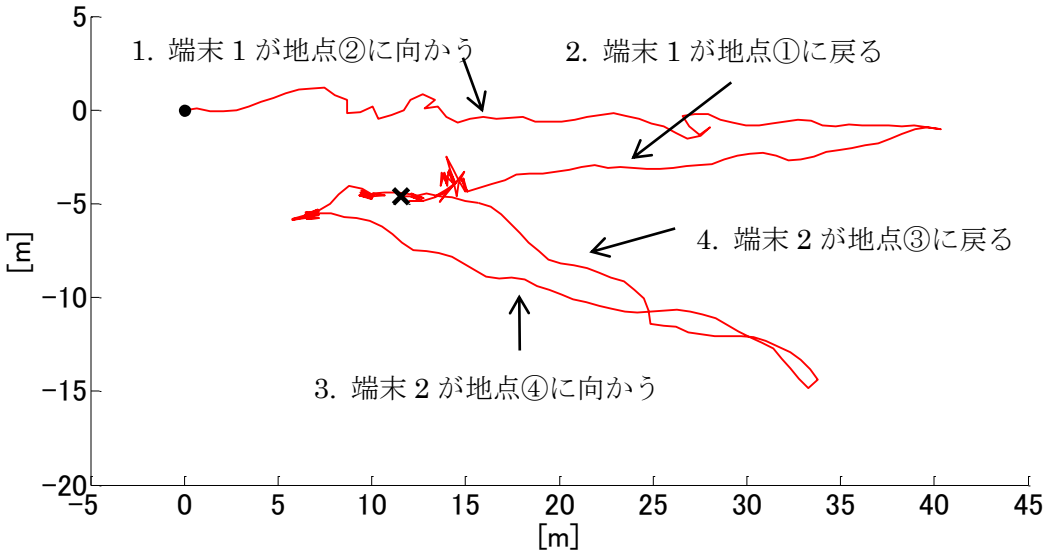

図 21　端末 1 から見た端末 2 の相対位置

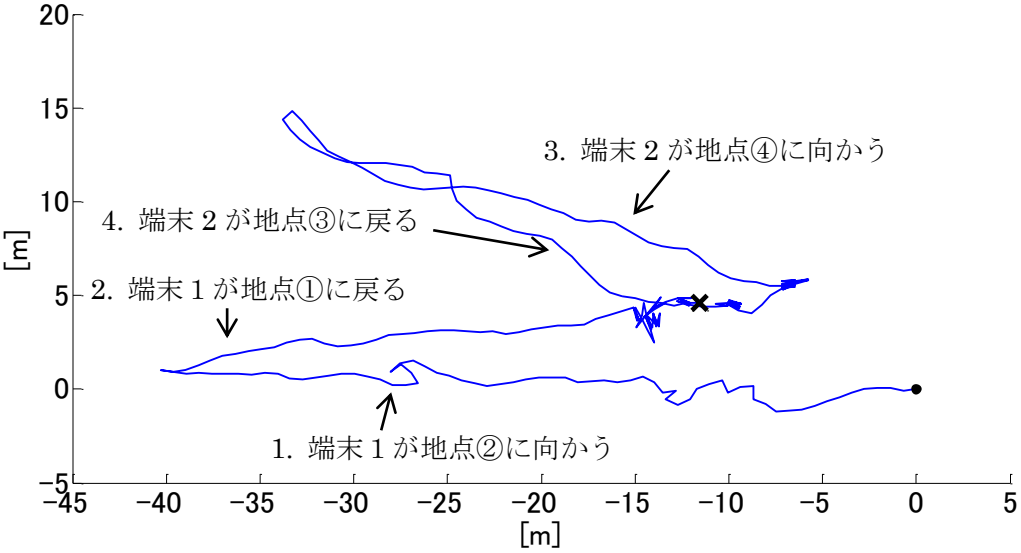

図 22　端末 2 から見た端末 1 の相対位置

図 18 で示した絶対位置と、図 19 で示した想定された相対位置と、図 21 で示した実験で得られた相対位置を用いて実験結果の考察を述べる。始めに、端末 1 が地点①から地点②に向かって 40m 歩くが、これは実験で得られた距離もほぼ 40m になっており方向も正しい。次に、地点②から地点①に戻ったときは、図 18 に示す絶対位置に示すように距離が想定よりも短く計測されてしまったため、相手の相対位置が想定に比べて、図 19 では水平方向の軸に対して正の方向に約 6m 誤差が生じている。加えて、移動方向の誤差によって、図 21 では垂直方向の軸に対して負の方向に約 6m 誤差が生じている。地点①から地点③に向かうときは、図 18 では垂直方向の軸に対して正の方向に移動しているが、両方の端末で同じだけの方向の誤差のオフセットが生じている。しかし、移動量、時間、移動方向が二つの端末で同じ場合、周囲の環境によって発生する両端末の方位センサの誤差は同じため、相対的な位置関係は変化しない。次に、端末 2 が地点③から地点④に向かう場合を見ると、実験での水平方向の移動距離は約 25m であり、実際の距離 34m に比べると短い。

これらの問題はステップの認識の失敗や、磁気センサに対する周囲の環境からのかく乱が原因と考えられる。それを解決するためには、Bluetooth の探索によって相手の端末が見つかった場合に、相対位置を両方の端末で(0,0)に設定すれば良いと考えられる。図 18 に示した赤丸青丸の点が相手の端末が見つかった地点である。しかし、図 18 で端末 1 が地点①から地点②に向かっている時を見てみると、離れている時にもかかわらず相手の端末を発見してしまっている。表 1 の実

験結果では 6m 以上離れると、相手の端末を見つけられなくなる結果が得られたが、実際の実験では相手の端末が発見された。この問題は端末の探索処理の実装方法の問題か、廊下は電波が届きやすい環境であったかは不明である。見つかった場合に相対位置をゼロにする今回の方法では相対位置が常に修正されて、常に同じ場所にいることになってしまう。

この様な結果に至った原因としては、実験環境の問題がある。廊下は移動方向が限られ、長さも約 120m と短いことが挙げられる。この環境は、道幅が 1.9m の直線でカーブは２カ所しかなく、分岐がないため、相手の場所を知るという需要がある場所とはいえない。そのため実験環境を分岐が多く、相手の位置が見えない広い場所で行なう必要がある。技術的に考えられる解決手段としては、Bluetooth の電波強度に対して閾値を設定するために歩行しながら電波強度を計測する実験を行なって、一定の電波強度以下だと相手を発見しなかったことにすることが考えられる。端末に実装した Bluetooth 探索を利用するためのプログラムの問題である可能性もあるため、さらにスマートフォンの Bluetooth の探索の処理の流れを OS に近い低レベルで詳細に調査する必要がある。

絶対位置として軌跡を見た時は誤差が大きく見えるが、相対位置の変化としてみれば、一緒に歩いている間は周囲の環境によって同じだけ方位の誤差が生じるため、相対的な位置関係はあまり変化しない。しかし、遠く離れる場合には、Bluetooth による位置の初期化を継続的に行なわないと相対距離の誤差が蓄積して大きくなっていくことになる。

第　5　章　結論

本研究では、屋内に事前に Wi-Fi などの設備を必要としないで利用できる位置情報サービスの応用例として、スマートフォンを使った個人間の相対位置を求めるためのシステムを提案、実装し、その検証を行なった。

はじめに、デッドレコニングのために必要なステップ認識のパラメータを実験によって求めた。次に、実際に屋内の廊下で、移動軌跡の可視化を行ない、デッドレコニングの精度の評価を行なった。その結果、磁移動距離の誤差に対して到達地点の誤差が大きく、磁気方位センサの誤差によるものと分かった。次に Bluetooth の電波強度に対する変化を調べた。Bluetooth によって発見された最後の地点を初期座標として、相手端末との相対位置を求める手法を提案した。加えて今回開発したセンサ値解析システムを使うことで、２台の端末にインストールしたプログラムによって、得られたセンサ値と Bluetooth 探索の結果情報が、インターネットを介して、自動的に PC に送られ、その上でセンサ値解析のプログラム開発が行えるため、スマートフォンのセンサと Bluetooth を使った位置推定の研究の実験がしやすい環境を構築できた。

今回の学内の廊下という環境では相対位置の図を使って、ある程度相手の相対位置を説明できるような結果が得られたが課題も多く残った。

まず、実験環境が測量可能な屋内として学内の廊下を選んだが、検証するための場所としては狭く、移動方向も限られるため、十分に検証したとはいえない。さらに、Bluetooth の探索間隔が不定となる問題もあり、相手と別れる直前に探索が行なわれれば問題ないが、探索間隔が長くなると、位置に誤差が生じる可能性が大きい。

さらに大きな課題として、今回の実験環境では相手が常に発見される環境であったため、Bluetooth 探索によって単純に相手の端末が見つかった場合に相対位置をゼロにする方法での有効性は得られなかった。そのため、歩行状態での相手との距離と電波強度の関係を実験によって計測して、電波強度に対しても閾値を設定する必要があると考えられる。実験環境としても学内の廊下では不十分であるので、広くて分岐が多く相手が見えなく、実際の寸法を測定可能な場所で Bluetooth の特性について研究する必要がある。

今後の発展としては、まず、オフラインで処理している部分を端末内でオンライン処理するようにし，実際の歩行中に相手の位置を確認し、検証を行えるアプリケーションとしたい。本研究では、常に手に持って移動する状況に限定したが、ポケット内でデッドレコニングを行なう方法も提案されており、それを取り入れた場合の精度についても評価したい。

謝辞

本研究にあたり、はじめに主指導教員である宮田一乗教授に関して、多くのご指導をいただいたことを感謝する。一年次の IVRC2010 への応募、エンターテインメントコンピューティング 2010、インタラクション 2010 においての発表は大変貴重な経験になった。特に、VR 作品を作るグループワークの中でリーダとして活動した経験は貴重なものとなった。副指導教員としてご指導いただいた西本一志教授に深く感謝する。副テーマの指導教員としてテーマを与えてくださりご指導いただいた林幸雄助教授に深く感謝する。

中森義輝教授、金井秀明助教授には中間審査において多くのご指摘を頂き、研究の目的や着地点を明確にできたことに対し深く感謝する。

宮田研究室の博士後期課程の櫻井快勢氏、溝口敦士氏、石橋賢氏には研究を進める際の心構えや貴重なご意見などを頂いたことに感謝の意を表する。

同研究室の稲田聡氏、高見澤大輔氏、西本研究室の清水浩二氏、田中唯太氏、馬場裕氏、國藤研究室の宇佐美佑介氏、金井研究室の才野仁史氏、特別留学生の Vincent de Paul ATANGANA EKANI 氏には VR 作品を作るグループワーク活動で大変お世話になり深く感謝する。同研究室の謝浩然氏、下中進氏には研究を進める上で貴重なご意見をいただいたことに深く感謝する。

参 考 文 献

[1] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス論文集, pp.95-104, 2006.

[2] 伊藤 誠悟, 吉田 廣志, 河口 信夫, locky.jp: 無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル, 情報処理学会研究報告 モバイルコンピューティングとユビキタス通信, No. 2005-MBL-34(4), pp.25–31, 2005.

[3] K. Al Nuaimi, H. Kamel, A survey of indoor positioning systems and algorithms, Innovations in Information Technology (IIT), 2011 International Conference on Innovations in Information Technology, pp.185-190, 25-27, 2011.

[4] D. Andrew, QZSS's Indoor Messaging System, InsideGNSS, pp.37-40, 2009.

[5] C. Fischer, H. Gellersen, Location and Navigation Support for Emergency Responders: A Survey, IEEE Pervasive Computing, Vol. 9, No.1, pp.38-47, 2010.

[6] E. Foxlin, Pedestrian tracking with shoe-mounted inertial sensors, Computer Graphics and Applications, IEEE, Vol.25, No.6, pp.38-46, 2005.

[7] O. Woodman, R. Harle, Pedestrian localisation for indoor environments, UbiComp '08 Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing, pp.114-123, 2008.

[8] P. Robertson, M. Angermann, B. Krach, Simultaneous localization and mapping for pedestrians using only foot-mounted inertial sensors, Ubicomp '09 Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing, pp.93-96, 2009.

[9] P. Robertson, M. Angermann, M. Khider, Improving Simultaneous Localization and Mapping for pedestrian navigation and automatic mapping of buildings by using online human-based feature labeling, Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION, pp.365-374, 2010.

[10] P. Robertson, M. Angermann, B. Krach, M. Khider, SLAM Dance: Inertial-Based Joint Mapping and Positioning for Pedestrian Navigation, InsideGNSS, pp.48-59, 2010.

[11] B. Cinaz , H. Kenn , HeadSLAM-simultaneous localization and mapping with head-mounted inertial and laser range sensors, Wearable Computers, 2008. ISWC 2008. 12th IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp.3-10, 2008.

[12] B. Ferris, D. Fox, N. Lawrence, WiFi-SLAM using Gaussian process latent variable models, Proceedings of the 20th International Joint International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 2007.

[13] L. Bruno, P. Robertson, WiSLAM: improving FootSLAM with WiFi, Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp.1-10, 2011.

[14] S. Grzonka, F. Dijoux, A. Karwath, W. Burgard, Learning Maps of Indoor Environments Based on Human Activity, 2010 AAAI Spring Symposium Series, 2010.

[15] M. Kourogi, T. Ishikawa, T. Kurata, A method of pedestrian dead reckoning using action recognition, Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION, 2010.

[16] H. Shin, Y. Chon, H. Cha, SmartSLAM: Constructing an Indoor Floor Plan using Smartphone, Yonsei University, 2011.

[17] J. R. Kwapisz, G. M. Weiss, S. A. Moore, Activity recognition using cell phone accelerometers, ACM SIGKDD Explorations Newsletter, Vol.12, No.2, pp.74-82, 2010.

[18] A. Kobayashi et al, Shaka: User Movement Estimation Considering Reliability, Power Saving, and Latency Using Mobile Phone, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E94-D, No.6, pp.1153-1163, 2011.

[19] Y. Lee, Activity Recognition Using Hierarchical Hidden Markov Models on a Smartphone with 3D Accelerometer, Lecture Notes in Computer Science, Hybrid Artificial Intelligent Systems, Springer, Vol.6678, pp.460-467, 2011.

[20] J. Chon, H. Cha, LifeMap: A Smartphone-Based Context Provider for Location-Based Services, Pervasive Computing, IEEE, Vol.10, No.2, pp.58-67, 2011.

[21] G. M. Weiss, J. W. Lockhart, Identifying User Traits by Mining Smart Phone Accelerometer Data, SensorKDD '11 Proceedings of the Fifth International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data, pp.61-69, 2011.

[22] L. Sun, D. Zhang, B. Li, B. Guo, S. Li, Activity recognition on an accelerometer embedded mobile phone with varying positions and orientations, Lecture Notes in Computer Science, Ubiquitous Intelligence and Computing, Springer, Vol.6406, pp.548-562, 2010.

[23] 河内 智志，薛 媛，藤波 香織，携帯端末の身体上格納場所判定機能のスマートフォンへの実装，インタラクション 2011，2011.

[24] D. Smittle, D. Wang, Indoor localization on mobile phone platforms using adaptive dead reckoning, MU Summer Undergraduate Research and Creative Achievements Forum, Univ. of Missouri，2010.

[25] S. Ladstaetter, P. Luley, A. Almer, L. Paletta, Multisensor data fusion for high accuracy positioning on mobile phones，MobileHCI '10 Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services，pp.395-396，2010.

[26] A. Dekel，E. Schiller，DRec: exploring indoor navigation with an un-augmented smart phone，MobileHCI '10 Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services，pp.393-394，2010.

[27] D. Gusenbauer，C. Isert，J. Kro sche，Self-contained indoor positioning on off-the-shelf mobile devices，Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation，pp. 1-9，2010.

[28] S. Shin，M. Lee，C. Park，H. S. Hong，Pedestrian dead reckoning system with phone location awareness algorithm，Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION，pp.97-101，2010.

[29] Y. M. Shin et.al，Sit-Down & Stand-Up Awareness Algorithm for the Pedestrian Dead Reckoning，ENC-GNSS 2009，2009.

[30] U. Steinhoff，B. Schiele，Dead reckoning from the pocket - An experimental study，Pervasive Computing and Communications (PerCom)，2010 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications，pp.162-170，2010.

[31] U. Blanke，B. Schiele，Sensing Location in the Pocket，Ubicomp 2008 Poster Session，2008.

[32] K. Kunze，P. Lukowicz，K. Partridge，B. Begole，Which Way Am I Facing: Inferring Horizontal Device Orientation from an Accelerometer Signal，Wearable Computers，2009. ISWC '09. International Symposium on Wearable Computers，pp.149-150，2009.

[33] K. Kloch，P. Lukowicz，Collaborative PDR Localisation with Mobile Phones，2011 15th Annual International Symposium on Wearable Computers (ISWC)，pp.37-40，2011.

[34] N. Kothari, B. Kannan, M. B. Dias, Robust Indoor Localization on a Commercial Smart-Phone, tech. report CMU-RI-TR-11-27, 2011.

[35] I. Shafer, M. L. Chang, Movement detection for power-efficient smartphone WLAN localization, MSWIM '10 Proceedings of the 13th ACM international conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems, pp.81-90, 2010.

[36] J. A. B. Link, P. Smith, K. Wehrle, FootPath: Accurate Map-based Indoor Navigation Using Smartphones , Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp.1-8, 2011.

[37] A. Serra, T. Dessì, D. Carboni, V. Popescu, Luigi. Atzori, Inertial Navigation Systems for User-Centric Indoor Applications, 2011 Networked and Electronic Media (NEM) Summit, 2011.

[38] M. Löchtefeld, S. Gehring, J. Schöning,, A. Krüger, PINwI, NordiCHI '10 Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries, pp.731-734, 2010.

[39] M. Azizyan, I. Constandache, R. Roy Choudhury, SurroundSense: mobile phone localization via ambience fingerprinting, MobiCom '09 Proceedings of the 15th annual international conference on Mobile computing and networking, pp.261-272, 2009.

[40] S. P. Tarzia, P. A. Dinda, R. P. Dick, G. Memik, Indoor localization without infrastructure using the acoustic background spectrum, MobiSys '11 Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services, pp.155-168, 2011.

[41] J. Sharkey , Coding for life–battery life, that is , Google I/O 2009 , http://www.google.com/events/io/2009/sessions/CodingLifeBatteryLife.html , 2009.

[42] Z. Zhuang, K.-H. Kim, J. P. Singh, Improving energy efficiency of location sensing on smartphones, MobiSys '10 Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services, pp.315-330, 2010.

[43] F. B. Abdesslem, S. Andrews, A. Phillips, S. Andrews, T. Henderson, Less is More : Energy-Efficient Mobile Sensing with SenseLess, MobiHeld '09 Proceedings of the 1st ACM workshop on Networking, systems, and applications for mobile handhelds,

pp.61-62, 2009.