

三角測量を用いた屋内測位の検討

A study on indoor positioning using Triangulation

大野稜平*, 山崎達也**

○ Ryohei Ohno*, Tatsuya Yamazaki**

*新潟大学工学部情報工学科,

**新潟大学大学院自然科学研究科

*Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University,

**Graduate School of Science & Technology, Niigata University

キーワード: 屋内測位システム (indoor positioning system), 電波強度 (radio field intensity), 加速度センサ (acceleration sensor)

連絡先: 〒 950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地 新潟大学大学院自然科学研究科
山崎達也, Tel.:025-262-7499, E-mail: yamazaki@ie.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

現在, 情報空間上での人間関係を構築することを目的とした SNS (Social Networking Service) が普及しており, それによって人々は情報空間上での友人関係を構築し, 交流し合うことができる. 一方で, 現実社会では, 少子高齢化, 晩婚化や若者の都市部集中などといった原因により, 単身世帯が増え, 社会の中での人間関係が希薄になるというギャップが生じてきている. これに対し, 桑原ら¹⁾は, 実世界上での人同士で助け合うことで人間関係の構築を行うためのサービスである共感ネットワークを提案している. これは, オンラインコミュニケーションにおいて人同士を結び付けるために, 表層的なコミュニケーションではなく共感できる環境を構築することを重要視し, ユーザの心の中の状態を心的状況と呼び, それらを近距離にいる人に伝達することでその心的状況に共感し反応をくれた人

と実世界上で直接会ってコミュニケーションを行うといったものである. しかしこの研究では, ネットワーク内で心的状況を送信した後, 実社会上での相手の位置を把握するために, 端末内の電波強度を用いて相手端末の位置を把握する手法を提案したが, 実際に測定できるのは端末間距離のみなので, 相手と出会うのは困難な状態であった. 本研究では, この共感ネットワークのサービス例を駅内といった屋内に限定し, 相手端末の位置をより正確に把握する手法を検討する. 屋内という条件があるため, 一般的に位置情報を取得するために GPS(Global Positioning System) は利用できない. GPS を利用せずに屋内において, 位置把握を行う手法として様々な技術が検討されている. 新田ら²⁾は屋内において無線 LAN アクセスポイントを複数設置し, これらを基準点として端末から発信される信号電波強度を取得し, その強さによって重み付けを行うことで屋内での位置を把握する手法につい

て検討を重ねている。しかし、これに類する研究はアクセスポイントなどの設備が一定数あることが前提にあり、このような設備がない場所では位置把握を行えないという問題がある。

また、屋内で携帯形端末内のセンサや電波強度を用いて位置把握を行うという研究も行われている。例えば、端末を持って歩行した際の加速度を加速度センサで取得し、二回積分を行うことで、移動距離を求める手法や、端末から発信される電波強度を別の端末で取得し、その電波強度に応じて端末間距離を測定する手法などである^{3, 4, 5)}。このような手法は、デッドレコニング技術と言われ、屋内において人の動きを測定する際に利用されている。しかし、これらを利用するには、アクセスポイントなどの絶対位置が既知である設備が必要なものもあり、場所に依存してしまう。

本研究では、屋内における共感ネットワークサービスの実現を目的としており、相手端末の絶対位置を把握する必要は必ずしもない。そこで、本研究では広く普及しているスマートフォンなどの携帯形端末に搭載されているセンサ群を利用することで場所に依存せずに、相手端末の相対位置の特定を行う手法を提案する。提案手法は、一方の端末が移動する際に、センサ群から得られる情報を用いて相手端末までの相対位置を特定するもので、以降では三角測量手法と呼ぶこととする。この際、相手端末の位置を把握するために、精度が重要になってくる。本稿では、提案手法に基づく実験を行い、測位精度の検証を行う。

2. 三角測量手法

三角測量手法の概要を Fig.1 に示す。まず相対位置を特定する際の大前提として、片方の端末は静止している固定端末、そして片方は移動することができる移動端末であり、移動端末を人が動かすことによって固定端末の相対位置を

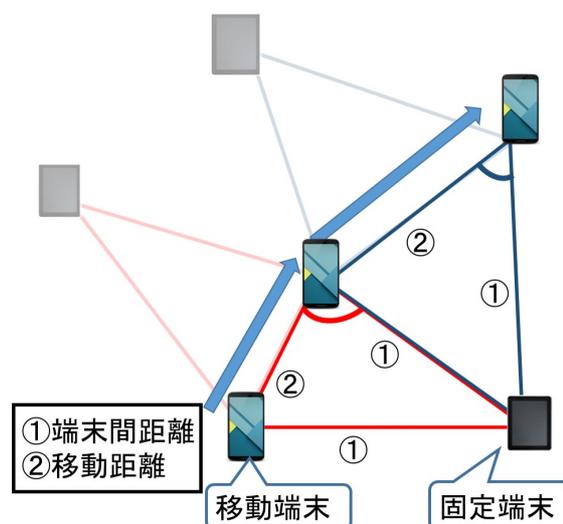


Fig. 1 三角測量手法.

特定する。まず始めに、移動端末を静止させ、固定端末との端末間距離を電波強度によって測定する。次に自由な方向に一定の距離だけ移動端末を動かし、その際の移動距離を加速度センサによって求める。最後に、移動を終えた地点での端末間距離を端末間の電波強度を用いて測定する。その結果、Fig.1 に示す通り、固定端末と移動端末との間に三角形を形成でき、固定端末までの距離と方向が分かるといった手法である。しかし、同じ角度同じ距離を持つ別な三角形が対称的な位置に形成されてしまい、固定端末の位置を一つに限定することができない。そこで、本手法では二回歩行することで、再び三角形を形成し、形成された四つの三角形の頂点が重なる点を固定端末の位置とする手法特定を行う。本手法による固定端末の位置の推定精度は電波強度やセンサ群による距離測定の精度に大きく依存するため、実際の距離を用いた計測実験を行い、距離測定精度と位置推定精度の関係を調査する。

3. 端末間距離

固定端末及び移動端末間の距離を計測するため、本研究では一般的な携帯形端末に搭載されている近距離無線通信規格の一つである Blue-

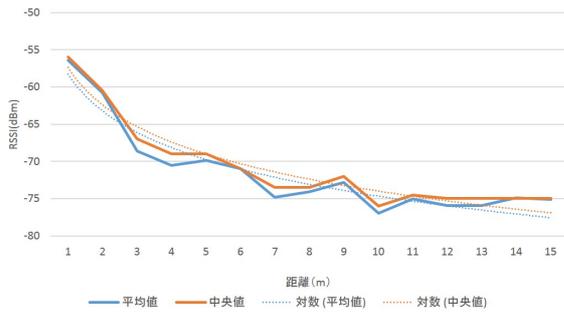


Fig. 2 RSSI と端末間距離の関係

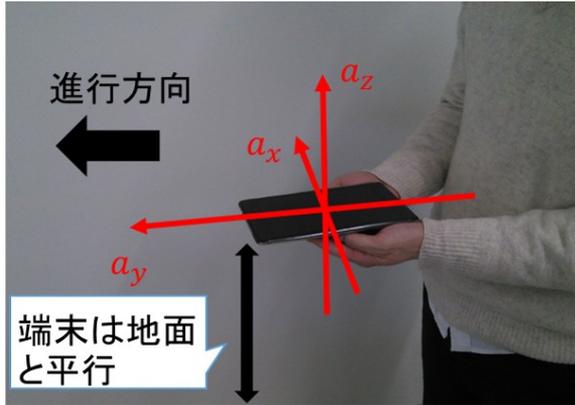


Fig. 3 3 軸方向の加速度.

tooth の電波強度である RSSI(Received Signal Strength Indicator) を用いる。端末間距離と RSSI の関係を調査するために、約 60 m×約 35 m の障害物のない屋内環境において、端末間距離を 1 m ごとに離していき、各距離における RSSI を 50 回測定した。Fig.2 に、50 回測定した際の RSSI の平均値および中央値を示す。端末間距離 x が大きくなるにつれて RSSI 値 y は非線形に減少しており、両者の関係は式 (1) による対数関数による近似式で表せる。式 (1) の導出にあたっては決定係数がより大きかった中央値を用いたが、平均値による近似式との差はほとんどない。この式を用いて電波強度から端末間距離の測定を行う。

$$x = e^{\frac{y+57.401}{-7.204}} \quad (1)$$

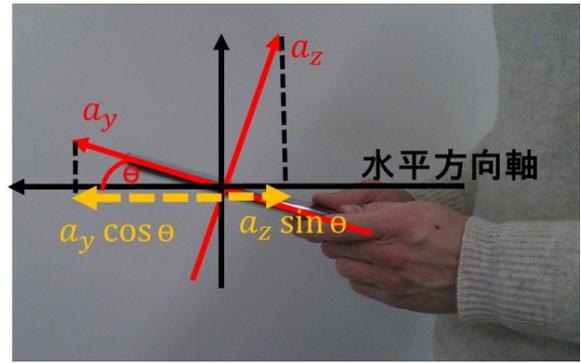


Fig. 4 水平方向への加速度補正

4. 移動距離測定

本研究では InvenSense 社の MPU-6050 モデルの加速度センサを使用する。この加速度センサは 3 軸方向の加速度を取得できる (Fig.3)。移動端末を移動させる際には、移動端末の使用者 (ユーザ) が端末画面を真上に向けて歩行することを想定している。またこの際、進行方向の加速度である a_y を積分することで、移動距離を算出する。しかし、ユーザが端末をしっかり保持していても、端末に多少の傾きが生じてしまい、加速度 a_y を積分しただけでは正確な移動距離を算出できない。特に、 x 軸まわりに回転する傾斜角が大きいため、本研究ではこの傾斜角と $y-z$ 平面内加速度を用いて水平方向加速度 a_h を求める。従来研究として佐川ら⁶⁾の研究を参考に加速度の補正を行う。補正方法を Fig.4 に示す。まず、端末の回転角度 θ は、ジャイロセンサの出力を積分することにより計測可能である。しかし、 θ を知るためには、積分開始地点である y 軸と水平面の角度 (以下、初期角度 θ_{init}) を知る必要がある。 θ_{init} は、次式のように重力加速度 g の y 軸方向加速度成分 a_y を検出することにより計測可能である。

$$\theta_{init} = \sin^{-1} \frac{a_y}{g} \quad (2)$$

センサの角度 θ は、上記の計算から求めた初期角度とジャイロセンサから得られる角速度とを合わせるにより導出可能となる。すなわち、角速度を $\dot{\theta}$ 、時間を t とすると、 y 軸と水平

面との角度 θ は以下の式により算出される。

$$\theta(t) = \int_0^t \dot{\theta}(\gamma) d\gamma + \theta_{init} \quad (3)$$

これにより、センサの角度を計測する。センサの水平面に対する角度が算出できるため、 yz 平面内の水平方向加速度 a_h は y 軸および z 軸方向加速度を用いて次式のように計算できる。

$$a_h = a_y \cos \theta - a_z \sin \theta \quad (4)$$

次に手ぶれなどにより、生じてしまう高周波成分を削除するため、取得できた水平方向加速度にローパスフィルタをかける。フィルタ後の xy 平面内の水平方向速度 v_h は a_h を積分することにより導出する。以下にその式を示す。

$$v_h(t) = \int_0^t a_h(\gamma) d\gamma \quad (5)$$

また、加速度センサ等による計測値は、しばしばノイズやドリフトの影響を受ける。その際の誤差がどこで生じたものであるかを明確に示すことは不可能であるため、式 (6) のように一定の加速度誤差 a_e が生じていると仮定して補正を行う。

$$a(t) = a_\gamma(t) + a_e \quad (6)$$

ここで、 $a(t)$ は計測加速度、 $a_\gamma(t)$ は真の加速度である。計測加速度 $a(t)$ を積分することにより得られる速度を $v(t)$ 、歩行開始時から終了時までの時間を T 、歩行終了時における速度を v_e とすると、真の速度 v_{new} は、式 (7) のようになる。

$$\begin{aligned} v_{new}(t) &= \int_0^t a_\gamma(\gamma) d\gamma \\ &= v(t) - a_e t \\ &= v(t) - \frac{v_e}{T} t \end{aligned} \quad (7)$$

移動端末の移動距離は $v_{new}(t)$ を積分することで求める。

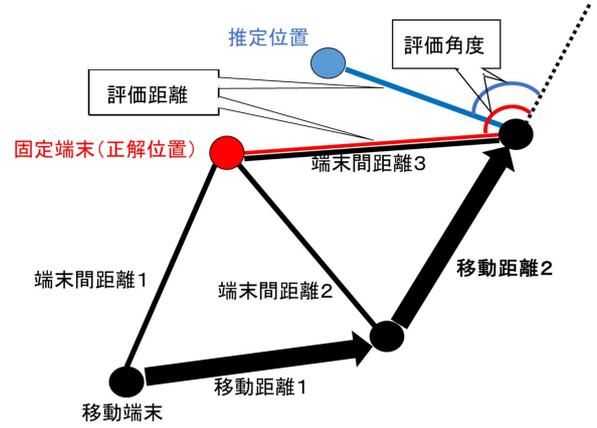


Fig. 5 実験方法

5. 実験方法

実験により、提案する三角測量手法を用いた固定端末の位置測定の精度を検証する。使用端末として、加速度センサ、ジャイロセンサおよび Bluetooth が搭載されている Nexus7(2013) を使用した。実験場所は第3節に示した屋内環境で行う。実験内容として、固定端末を持った実験者1を静止させ、移動端末を実験者2が保持して移動し、そのときのセンサ群の計測値と端末間の相対位置を計測する。このとき、最初の端末間距離を測定する際は、お互いに端末を向き合わせ、また移動端末が移動する方向に固定端末を向けることで、電波強度の干渉を極力減らすようにする。評価方法として、Fig.5の評価角度と評価距離をそれぞれ比較する。同時に、図に示した端末間距離と移動距離のそれぞれの正解値と推定値のデータを取り、誤差率を算出する。

6. 実験結果と考察

第5節に示した実験を、11回行った結果の誤差率の最良値、最悪値、平均値を Table1 に示す。最良値の固定端末までの距離、角度の誤差率はどちらも 20%以下となった。正解位置までの差は 1 m以内であり、相手端末を十分特定可能な距離である。平均誤差率の中で最も高かった値は端末間距離3の 39%であった。また端末間距

Table 1 三角測量の結果

	最良値			最悪値			平均誤差率 (%)
	正解値	推定値	誤差率 (%)	正解値	推定値	誤差率 (%)	
端末間距離 1	7.0	8.7	24	10.0	8.7	13	15
移動距離 1	5.4	6.8	26	6.3	8.3	31	35
端末間距離 2	5.7	5.0	12	6.6	4.1	38	32
移動距離 2	5.8	7.0	21	5.8	8.1	40	23
端末間距離 3	4.8	3.8	21	4.0	5.4	34	39
固定端末までの距離	4.6	3.7	20	3.9	6.0	54	41
固定端末までの角度	114.6	136.9	19	96.4	151.9	58	30

離 1 は平均誤差率が最も低く、これは最初に端末間距離を測定する際、固定端末と移動端末の間に障害物がなかったためだと考えられる。

7. おわりに

本研究では、共感ネットワークサービスというものを想定して、その際必須となるお互いに出会うことを支援するシステムの提案を行った。特に、サービス例を屋内と限定し、GPS が利用できず、またアクセスポイントなどの設備を必要とせず、広く一般に普及している携帯形端末内に搭載されたセンサ群及び電波強度を利用して、相手端末の相対位置を特定する三角測量手法の提案および検証を行った。誤差率がかなり大きい実験結果もあったが、電波環境の影響により電波強度測定の精度が良くないことや、加速度センサから推定する距離の精度が必ずしも良くなかったことが原因と考えられる。今後は、これらの原因の究明を行い、位置推定の精度をさらに改善することを目指す。

謝辞

本研究の一部は、東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究により行われたものである。

参考文献

- 1) 桑原峻介, 笹井一人, 高橋秀幸, 山崎達也:近距離無線通信を用いた心的状況を共有する新たなネットワークの提案, 電子情報通信学会技術報告.CQ, コミュニケーションクオリティ, **114-209**, 165/170(2014)
- 2) 新田優介, 大野成義:無線LANのアクセスポイントを利用した位置推定方法の比較検討, 職業能力開発総合大学校紀要, **41-A**, 51/56(2012)
- 3) 吉澤菜津子, 遠藤貴裕, 永見健一:屋内位置情報における推定技術の開発と新しいサービスの展開について, INTEC TECHNICAL JOURNAL, **13**, (2013)
- 4) 太田麗二郎, 廣津登志夫:高機能携帯端末の加速度センサを利用した移動推定手法, 情報処理学会全国大会講演論文集, **74-1**, 1193/1194(2012)
- 5) 木嶋啓, 渡辺裕, 藤井 雅弘:Bluetoothの受信強度を用いた位置推定システムにおける補正による推定精度改善に関する一検討, 情報処理学会全国大会講演論文集, **73-3**, 3271/3272(2011)
- 6) 佐川 貢一, 佐藤 豊, 猪岡 光:水平方向距離の無拘束計測, 計測自動制御学会論文集, **36-11**, 909/915(2000)