



気圧センサを用いた屋内位置計測への基礎的実験

新居英明¹⁾, Romain Fontugne²⁾, 宇夫陽次朗²⁾, 島慶一²⁾

1) VIVITA 株式会社 (〒107-0031 東京都港区北青山 2-9-5, hnii1970@gmail.com)

2) IJ-Innovation Institute. Inc. (〒102-0071 東京都千代田区富士見 2-10-2)

概要: 本論文では気圧センサを用いた屋内位置推定の手法を提案する。まず、気圧変動の記録から位置推定に使用可能な要素を検討した。その結果、空調が効いている密閉性の高い近代的なビル屋内における気圧は部屋ごとに異なった変動値をもつことを示すことができた。また、ドアの開閉により気圧パルスが発生することで、ドアの裏側と表側で全く逆の特性をもつ気圧変動が発生することが示された。この 2 点を利用し、各部屋に配置した基準気圧センサと移動センサの値を比較することで、どの部屋にいるか推定をおこなう手法を提案する。

キーワード: 気圧センサ、屋内位置計測

1. はじめに

近年、位置情報を用いたモバイルアプリケーションが普及してきている。例えば移動ナビゲーションや、広告、ロケーションベースのゲームなどである。

これらのアプリは主に GNSS(Global Navigation Satellite System) を用いて実現していることが多い。そのため屋内など電波が受信できない場所においては使うことができない。一方、屋内位置計測技術は各種の研究が進んでいるが、実用的な性能が出ている機器は今のところ殆ど存在しない。そこで、正確な屋内位置計測はでなくても部屋単位での位置推定なら難易度を下げることができ、何らかの方法で実現可能か検討をおこなってきた。このような部屋単位の位置推定でも、部屋毎に入退場を集計したり、店舗に入ったかどうかで広告を制御するようなアプリでは有用性がある。

まず、スマホに搭載されているセンサのうち、無線 LAN、GPS モジュール、加速度、地磁気などについては既に屋内位置推定に使われている。それに対して、気温、湿度、気圧については、まだ十分に屋内位置推定に使われていない。この中から屋内において場所ごとに異なる値を示す値として、気圧変化に注目した。但し、垂直方向の位置移動に関しては既に研究されているため、今回は水平方向の移動について取り上げる。

1. 気圧の性質を考えると、窓を閉めた部屋同士では異なる気圧を示すのに対して、窓が開いている状態では異なる地点においても同様の変化である可能性。
2. ドアの開閉により、一時的な風が発生する場合があることから、パルス状気圧変動が発生している可能性。

これらを検討し、部屋ごとに気圧変動を記録しておき、移動中に計測した気圧変動と比較することでどの部屋に居るか推定する手法を提案する。

Hideaki NII, Romain FONTUGNE, Yojiro UO and Keiichi SHIMA

2. 関連研究

屋内位置計測についてもっとも有名な手法として WiFi を用いた暦本 [1] らの研究が挙げられる。しかし、電波の伝搬は状況によって変わり、反射の影響等で正しいデータを取得できないこともある。そこで、反射の影響のない手法として Ubisense[2] と呼ばれる電波伝搬時間のみで位置推定可能な装置が存在する。しかし、障害物があると、位置データ取得できないため、受信部は常に 4 つ以上の送信アンテナを直視できるような条件で使用する必要がある。

このほかにサウンドマップを使った手法 [4] などが存在する。また [5] では本手法と同じような気圧センサを用いた方法を目指した形跡があるが、論文としては存在していない。また、気圧センサを明確に扱った研究としては [6] があるが、これは慣性センサと共に用いて上下方向の変化を取得している。

このように屋内位置計測では一つの方法で完璧な手法は存在しない。そのため、多数のセンサをインテグレーションして推定精度を上げる手法が正しいように見られる。その中に気圧センサも取り込み、位置精度を上げられたら有用では無いだろうか。

気圧センサを使った手法について、本論文で示した幾つかの実験については Work In Progress として IPIN2017 にて発表している [7]。

また、本手法と同じような手法としては、屋内ではないが、屋外用のシステムは存在している。包括的核実験防止条約 (CTBT) における核実験を検出するための超低音波受信ネットワークで、Infrasound Monitoring System (IMS)[3] と呼ばれるものがある。これは気圧変化を地球上 60 カ所のステーションで受信し、それぞれのステーションからの方向を推定することで、核実験の発生した場所を特定するシステムである。これを屋内に持ち込むことができれば良いのであるが、今回はより簡易な方法を目指すことにする。

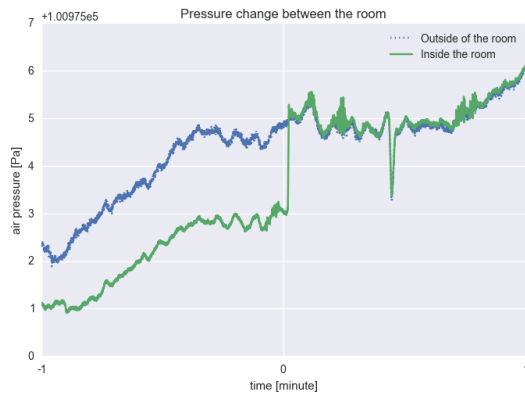


図 1: 窓で繋がる部屋の気圧変動の様子。0分に窓を開放したため、図中左側は気圧に差があるが、右側は同一の波形を示す

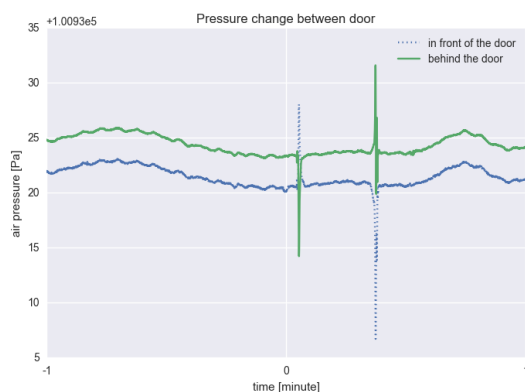


図 2: ドアで繋がる部屋の気圧変動の様子。0分にドアを開放、その後 20 秒後に閉鎖

3. 気圧変動の基礎的計測

まず、窓 1 つで繋がった部屋とその外側の空間の気圧を計測した。窓は家庭用の引き違い窓で、高さ 1.70m 幅 0.85m で、気圧計は窓の外側 1m の場所、内側には 2m 程離れた場所に設置した。計測は窓を閉めた状態、開けた状態を連続して測定した。計測には Paroscientific 社の NL6000 シリーズ (東邦マーカントイル社扱い) を利用した。主な仕様を表 1 に示す。その結果、図 1 に示すように、窓を閉めている状態ではある程度相関があるものの、傾き等では異なる値を示すのに対し、窓を開放した場合には殆ど同一の波形を示すことが示される。但し、気圧計の絶対値誤差は 8Pa 程度のため、波形が重なっているのは偶然である。気圧センサの高さが 10cm 違うと 1Pa 異なるため、非常に高精度

表 1: 気圧センサ諸元

メーカー	Paroscientific	OMRON
圧力レンジ [hPa]	800-1100	300-1100
精度 [Pa]	± 8	± 100
サンプリング周期	100Hz	90Hz
分解能	0.001Pa	0.1Pa
値段帯	1 M 円	0.1 k 円

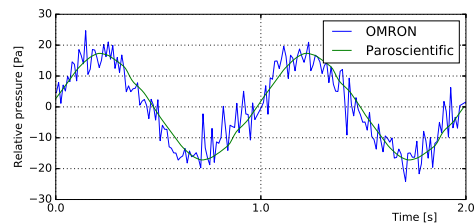


図 3: 1Hz サイン波形による気圧計比較

に差が出ていることがわかる。また、気圧は常に一定というわけでは無く、経時的に変化していく様子が分かる。

この条件においては、異なる部屋では気圧が異なっているのに対して、同一の空間である場合には同じような気圧を示す傾向が示された。

次に、ドアの開閉による、気圧変化をみる。ドアの内側と外側の気圧を計測した。ドアは家庭用の開き戸で、高さ 1.78m 幅 0.78m で、気圧計はドアの手前 2m、ドアの裏側 2m 離れた床に設置した。ドアを人間の手で開閉しその時の波形を記録した。その結果は 2 に示すように、ドアの開閉による急峻なパルスが発生していることがわかる。そのパルスはドアの裏表で位相が逆である。

以上の実験結果から、部屋ごとにリファレンス気圧センサを置き、ユーザーの気圧センサからの気圧を計測することで、その相関を用いて、どの部屋に滞在しているか推定できるか検討することにした。

4. MEMS 気圧センサの有用性

ここまで、高価なセンサを用いて計測を行ったが、実際に市販されている MEMS センサで測定できるか検討する。まず、必要な精度としてはドアの開閉のイベントを取り込むため、10Pa 程度のパルスを取り込む必要があること。また、部屋毎の微小な変化を捉えるために、平均化して 1Pa 程度の分解能と短時間の安定性が必要である。そのため、上記の条件を満たすような製品を探し、幾つかの MEMS センサのデータシートを確認し、OMRON の 2SMPB-02B という機種を選定した。その仕様を表 1 に示す。また、その性能を Paroscientific 社のセンサと比較すると図 3 のようになった。10Pa 程度のパルスをノイズから分離可能であり、屋内計測に必要な仕様を満たしている。

以上の検討を持って、このセンサを利用し気圧を測定する。

5. 位置推定手法

幾つかの環境で測定したが、今回はそのうちの一例を示す。ホテルのホールの中から、3 部屋 (それぞれ Large Room, Middle Room, Small Room と呼ぶ) が廊下で繋がっている環境にリファレンスセンサ 10 台を配置し、移動センサと共に気圧データを取得した。そのデータの様子を伝えるため、そのデータの幾つかを示す。ROOM1-1 と ROOM1-2 は Middle Room, ROOM2-1 と ROOM2-2 は Large room, Corridor は廊下のセンサを示している。ここでは、Middle

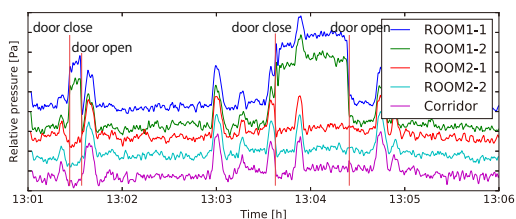


図 4: 0.5Hz ローパスフィルタを通した典型的データ。ドアの開閉で気圧が変化していることを示す

Room と廊下の間のドアを 1 つだけ開放した状態で開始し、途中一度ドアを全閉・開放したときの様子を示した。このグラフから、ドアを全閉するとその部屋のみ独立し、気圧が変化している。また、ドアの開閉に関係なく同じ傾向をもつ気圧変化も多数発生していることがわかる。

このデータから同一時刻で同一の長さのタイムスロットを切り出し、正規化したデータを作り、移動センサとリファレンスセンサの相関を求めてみた。しかし、同じ傾向を持つ気圧変化が多いため、全てのセンサの間に高い相関が出てしまい、どの部屋にいるか推定は非常に難しかった。そこで、偏相関 (Partial Correlation) 手法を用いたところ、複数のセンサに影響を与えている同一の傾向の変化を除去することでセンサ毎の差が明確になることが判明した。但し、センサの数が増えると結果が不安定になるため、一部屋毎に代表センサを一つとしている。代表センサは同一部屋内のセンサの加算平均とした。

6. 実験 1

実験は 5 章と同一の環境でおこなった。それぞれの 5 分から 10 分程度の時間を一定のシナリオで移動し、10 秒毎に相関値を求め、どの部屋に移動センサが存在するか推定した。実験開始時には全ての部屋のドアのうち各部屋一つだけを開放、それ以外のドアを閉めた。それぞれのシナリオでは移動センサのある部屋のみ、開いていたドアを閉める動作を含むようにした。この実験データセットに対して、正規化の時のローパスフィルタの遮断周波数を 0.1Hz ~ 45Hz の間で、データ長を 15 秒から 120 秒まで変化させ、正解率を求め、その値が最も良くなる条件を求めた。その結果、今回の環境においてはローパスフィルタの遮断周波数を 30Hz、データ長を 60 秒とした。その条件を用いて、解析した実験結果を図 5 に示す。図 5 左では移動センサを MR の部屋内でセンサを移動している。実験開始から 0.5 分と 3 分の前後で部屋のドア閉イベントが入っている。ドア閉のイベントが入っていると非常に相関値が高くなって、その瞬間には明確にどの部屋にいるか示されている。しかしそれ以外の時刻でも正しく MR と推定できている。次に図 5 中では移動センサを LR の部屋内で移動した。このときには実験開始から 1 分のあたりでドア閉イベントがあり、高い相関値がでていた。このシナリオでも全ての場合で正しく部屋を推定できている。最後に図 5 右では移動センサを 3 部屋で巡回するシナリオであるが、0.5 分、2.5 分、4 分の位置

でドア閉イベントが入っている。このシナリオでは部屋に滞在中は大体正しく推定できているが、廊下を歩いている時には別の部屋に滞在と間違った出力が出ている。

7. 実験 1 に関する考察

長時間部屋に滞在している場合、ドアの開閉が発生した場合には、この方式でどの部屋に移動センサがあるか推定が出来る。しかし、廊下を歩いている場合などには正しく推定できなかった。推定できなかった理由として、廊下は部屋と異なり細長い空間であるがセンサとしては 1 つに代表させてしてしまったこと、廊下がそのままエントランスの広い空間とつながっているため、外乱などが入っていることなどが考えられる。また、現在データ長が 60 秒もあるため、部屋から移る場合などには前後の部屋と同様の相関値を取得する可能性が考えられる。そこで、部屋を移るタイミングに特化してドアを通過するときの相関値の変化を読み取りたいと考えた。

8. 実験 2

部屋から部屋に移るときにはドアイベントが発生することに注目してデータを取得してみた。今度は小さな会議室 (15A, 15B) とその間に廊下 (C0) がある環境で実験をおこなった。比較するデータ長は 10 秒とし、同一時刻の移動センサと 15A, 15B, CO に置かれたセンサとの Partial Correlation を測定した。シナリオとしては、15A の部屋から廊下に抜ける場合を測定した。その結果を図 6 に示す。図中 A の部分では 15A の部屋のドアを開閉するだけで、移動センサは 15A の部屋にとどまっている場合を示している。それに対して、図中 B では 15A の部屋のドアを開けて、移動センサが廊下に移動した場合を示している。この図から、ドアを開けた瞬間は A, B 共に 15A の部屋のセンサとの相関が最大になっている。逆に CO とはドアの反対側であるため、相関値がマイナスになっている。その後、A についてはセンサが 15A の部屋にいるため、15A との相関値は高いままである。一方 B ではドアを通過するため、突然 15A との相関値が下がりマイナスになることが読み取れる。その一方、CO との相関値が突然あがるのが読み取れる。

9. 実験 2 に関する考察

今回はドアを開閉しながら移動するシナリオについて実験をおこなった。その結果、ドアを通過する場合、しない場合で短い期間では相関値が入れ替わることが明確になった。そのため、実験 1 のように 60 秒程度の長い期間の比較では、移動するシナリオにおいて部屋推定を行うのは難しいことがわかる。相関値を検出するときに、常に一定のデータ長では無く、同一の部屋にいる期間のみで比較するといった手法が臨まれる。

10. 提案手法

以上の実験より、次のような部屋単位の屋内位置推定手法を提案する。

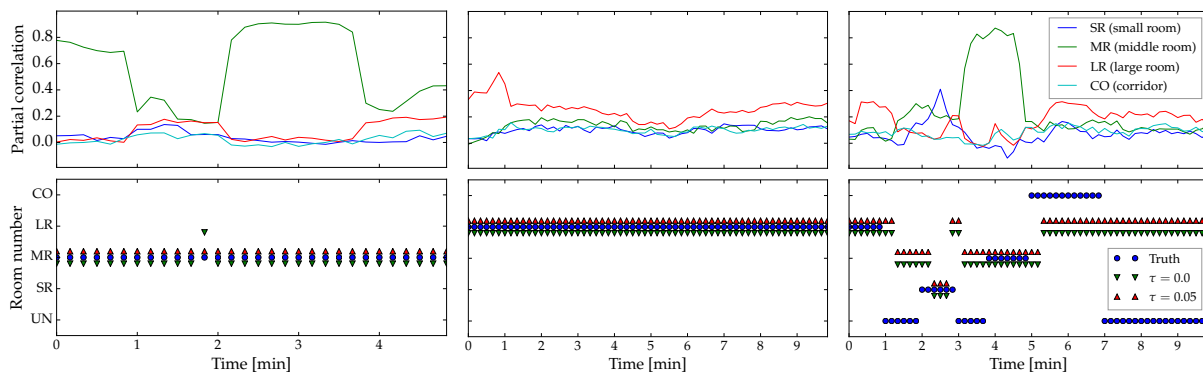


図 5: 上半分は移動センサデータとリファレンスセンサとの partial correlation の値を示す。固定センサは LR, MR, SR の 3 部屋、それと廊下に配置。下半分は実験 1 による位置推定結果を示し、正解と 2 種類の評価出力をプロットしている。CO は廊下、UN は正解なし。それぞれ左の図から MR 滞在、LR 滞在、3 部屋巡回のシナリオを提示

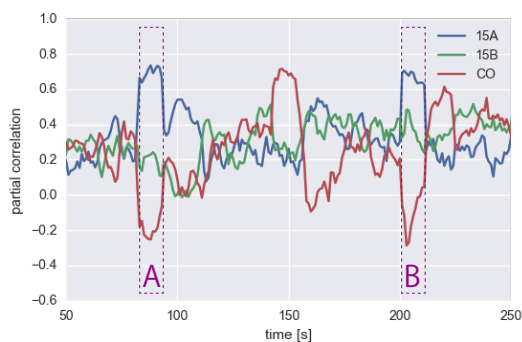


図 6: 移動センサがドアを通過しない場合、する場合の差

各部屋にリファレンス気圧センサを設置し、移動センサとの偏相関を用いることで、移動センサがどの部屋にいるか推定する。一定の期間特定の部屋に停止している場合には、固定長のデータを比較することで、どの部屋か推定が可能である。一方、一定の時間後別の部屋に移動したと推定される場合には、その途中の時刻で移動したと推定する。その時に、時刻を変数とし、移動元、移動先のデータを組み合わせ、相関値が最も高くなる点が移動した時刻と推定することができると考えられる。それにより、部屋を移動しながらも、高い相関値を維持できると考えられる。

11. まとめ

気圧センサを使って、部屋単位の屋内位置計測につながる実験をおこなった。実験としては長期間滞在している場合には部屋を正しく推定することができたが、移動する場合には正しく推定できない場合が発生している。そのために、移動時のより詳しい実験をおこない、相関値の推移を計測した。それにより、今回問題が発生した原因となり得る条件を計測することができ、今後のより高い推定精度をもつ位置推定をおこないたい。

また、ドアの開閉のイベントは距離による遅延は計測できている。そこで、今後は部屋単位より、詳細な位置推定を行う計画を立てている。

謝辞 東邦マーカントイル社と同社大井琢磨様には気圧センサを貸していただき、またキャリブレーションにおいてもご協力いただきました。

参考文献

- [1] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇, “ 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 2006, pp.95-104, 2006
- [2] K. Curran, E. Furey, T. Lunney, J. Santos, D. Woods, and A. McCaughey, “ An evaluation of indoor location determination technologies, ” Journal of Location Based Services, vol. 5, no. 2, pp. 6178, 2011.
- [3] D. R. Christie and P. Campus, The IMS Infrasond Network: Design and Establishment of Infrasond Stations. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 2975, 2009.
- [4] J. Ahn and D. Lee, “ Systems and methods for indoor positioning, ” Apr. 20 2016, eP Patent App. EP20,140,306,649. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/EP3009796A1?cl=en>
- [5] R. Bauer, S. Nollet, and S. Biaz, “ A novel approach to non-gps navigation using infrasond, ” 2014. [Online]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/files/acaddepts/csse/csse technical reports/csse14-03.pdf>
- [6] N. Strozzi, F. Parisi, and G. Ferrari, “ A multifloor hybrid inertial/ barometric navigation system, ” in 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 15, Oct 2016.
- [7] H. Nii, R. Fontigune, Y. Uo and K. Shima, “ BaR: Barometer based Room-level Positioning ” in 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 161_WIP, Sep 2017