

気圧情報を利用した在階推定方法の提案と評価実験

富上徹也^{†1} 布施 諒^{†1} 五百蔵 重典^{†1} 田中 博^{†1} 山本富士男^{†1}

屋内での位置情報の一つとして在階情報がある。筆者らの提案手法の特徴は、基準となる階に気圧センサを設置し、その出力値と推定対象が存在する階の気圧センサの出力値の相対的な差から在階を推定することにある。本報告では、さらに推定誤差の原因となる両者の出力差の時間変動を定期的に更新する方法を提案する。そして、手法の妥当性を検証するために構築した実験系の構成を示すとともに予測精度を実験的に評価した結果を述べる。

Proposal of Estimation Method for Being-in-Floor using Atmospheric Pressure Information and its Evaluation

TETSUYA TOMIGAMI^{†1} RYO FUSE^{†1}
SHIGENORI IOROI^{†1} HIROSHI TANAKA^{†1} FUJIO YAMAMOTO^{†1}

Being-in-floor information is one of the location information in indoor area. The feature of our proposed for estimating 'what floor he is in' method is using the relative difference of measured values of two atmospheric sensors. One is put in fixed state, which is regarded as reference sensor. The other sensor is attached to the mobile object that goes up and down in the building. Time variation between two sensor outputs causes estimation error. The authors propose the method for eliminating this error. The configuration of the experiment system is described, and the validity of the proposed method is shown by experiment.

1. はじめに

屋外での位置情報取得に関してはGPSが既に広く利用され、商用サービスを含め、多くの応用システムが開発されている。一方、屋内での位置情報取得に関しては、無線LANの電波強度を用いたものや[1]、筆者らによる超音波受信の時間差を用いたもの等[2]、多くの検討がなされているものの、同一フロア内での位置推定に関する検討がほとんどである。屋内での位置情報として、重要なものの一つに在階情報があり、大型商業施設、大規模な病院など、その階でのナビゲーションが要求される場合もあると思われる。また、フロア間を移動する機材や機器などの所在情報を入手したいという潜在要求もあるようである。

フロア間移動に関しては、現段階では、加速度センサを用いた相対的な上下移動の推定の検討が中心になっているが[3]、気圧センサを用いた検討として、移動行動と生理心理の観点からフロア上下移動の記録をオフライン処理で求める方法が提案されている[4]。また、同様に筆者らは、気圧センサの相対的な値の変化から階移動を検出し、リアルタイムで在階推定を行う手法の提案と基本実験による評価を行ってきた[5]。しかし、気象変化による気圧変化の影響によって、比較的長い時間での在階推定は困難であること、初期階を与える必要があるなどの問題があった。筆者らは上記の問題を解決するために、基準となる気圧センサを基準階に設置し、その気圧を参照して在階推定を行う手

法を提案し[6]、エレベータの運転状況の推定に適用し、その妥当性を実証してきた[7]。

本報告ではこの手法をさらに拡張し、推定誤差の要因である基準とする気圧センサと在階を推定するためのセンサの出力の差の時間変化を定期的に補正する方法を考案、実装し、移動推定という観点ではなく、比較的長い時間での在階推定という観点から推定精度を評価した結果を述べる。これは、フロア間で業務を行うオフィスワーカー、大規模店舗等における滞留者や機材の位置把握に応用できると思われる。

2. 気圧変化の性質

2.1 階移動と時間による気圧変化

気圧が高度で変化することはよく知られている事実で

表1 階移動による気圧変化

階	平均(Pa)	上の階との気圧差(Pa)
12	99858.4	
11	99892.2	33.8
10	99928.2	36.1
9	99980.5	52.2
8	100032.5	52.0
7	100073.1	40.6
6	100129.4	56.3
5	100177.0	47.6
4	100223.6	46.6
3	100269.2	45.7
2	100306.6	37.4
1	100363.8	57.2

^{†1} 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科
Department of Information & Computer Sciences, Kanagawa Institute of Technology

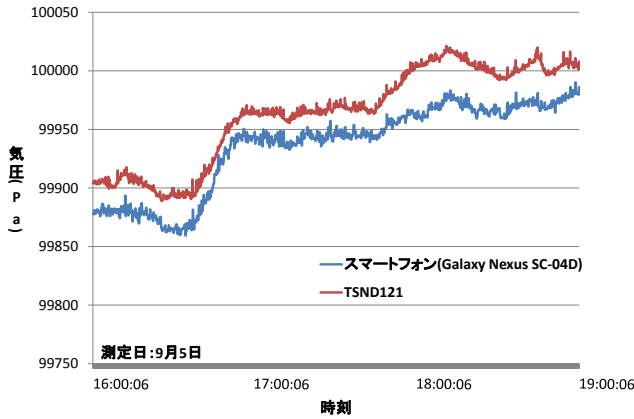


図2 時間変化による気圧変化

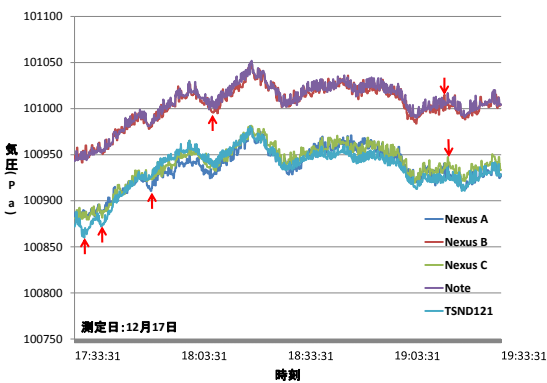


図3 各気圧センサの出力差

ある。本学情報学部棟での各階での気圧変化を図1に示す。階数の高さは4mの相違がある。この実験結果から各階の差のばらつきは見られるものの、平均46Paの差が各階で発生することが確認できる。気圧そのものは測定時間によって異なるものの、この相対的な差は変化しないと考えられる。したがって、比較的短時間であれば、この気圧差から階の上下移動を推定することが可能である。

一方、気圧の時間変化を測定した一例を図2に示す。このときは、4時間程度で160Pa近くの気圧変化が生じている。これは3階以上の階移動に相当し、この結果から単に気圧の変化のみでは、比較的長い時間を考慮した場合の階移動や在階推定が困難であることが確認できる。

2.2 センサ間の出力差

計測対象にもよるが、一般に各センサ出力の変化の差よりも絶対値の差が大きいと思われる。ここで、今回の気圧センサの候補であるTSND121(ATRプロモーション製)とスマートフォン(Galaxy Nexus(SC-04D)3台とGalaxy Note3(SCL22)1台)の内蔵センサの出力を比較した結果を図3に示す。この結果から、各センサの出力差として最大で70Pa程度の差はあるものの、相対的な変化は各センサで同

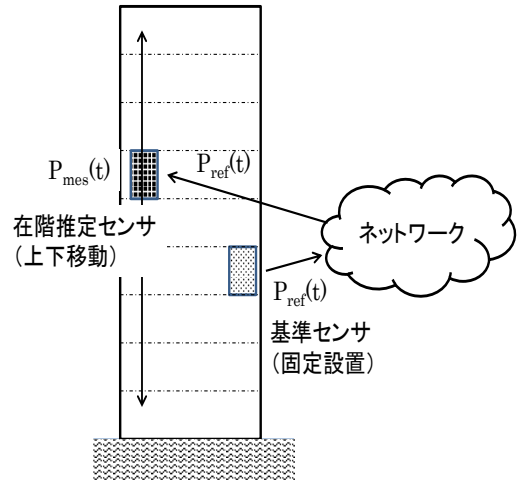


図4 在階推定の基本原理

一と考えられる。ただし、一時的に出力の相違が発生している場合があることが確認できる(図中矢印)。

3. 在階推定の基本原理

筆者らが提案している在階推定手法の基本原理を図4に示す。従来の課題は、気象変化による気圧の変化と階移動によるものとの切り分けができないことにあった。この問題に対して、筆者らは気象の影響がないと考えられる範囲内(基本的には、同一の建物内)に基準センサを設置し、その気圧と在階推定対象が持つ／に取り付けた気圧センサの気圧から式(1)により在階推定を行う方法を提案している。

$$F_{mes}(t) = F_{ref}(t) + \text{round} (P_{ref}(t) - P_{mes}(t) + \varepsilon) / \delta \quad (1)$$

ここで、

$F_{mes}(t)$: 在階推定値

$F_{ref}(t)$: 基準センサを設置している階数

$P_{mes}(t)$: 推定対象の階に存在する気圧センサ(在階推定センサ)の出力

$P_{ref}(t)$: 基準階に設置している気圧センサ(基準センサ)の出力

$$\varepsilon = P_{ref}(t_0) - P_{mes}(t_0)$$

: オフセット(同一フロア設置時)

$$\delta = (P_{ref}(t_0) - P_{mes}(t_0)) / (F_{ref}(t_0) - F_{mes}(t_0))$$

: 1階当たりの気圧の変化量

である。

したがって、使用するセンサに依存するオフセット ε 、すなわち、図3における2つのセンサの出力の差と、建物の構造(階数間の高さの差)に依存する δ (本検討では、表1の結果より46Paに設定)を事前に測定しておくことに

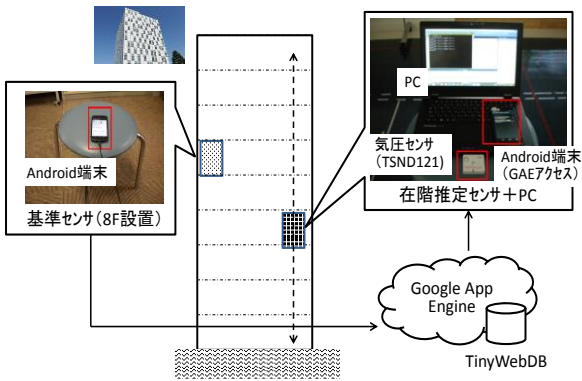


図5 実験系の構成

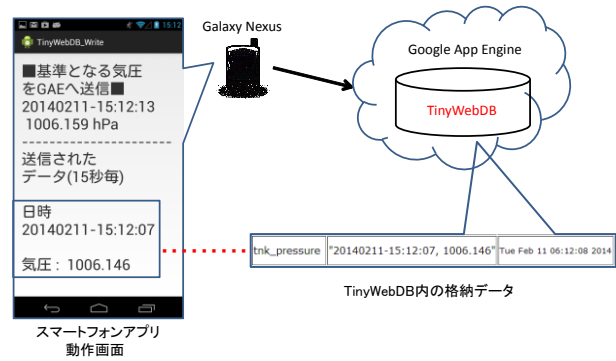


図6 TinyWebDB への送信と格納状況

よって、その時のセンサ出力から在階推定が可能となる。ただし、上記ではオフセット ϵ は一定値という前提を課している。

4. 実験系の開発と基本実験

4.1 実験系の構成

3章で述べた基本原理を検証するために構築した実験系の構成を図5に示す。実験系では、基準センサとして前述のスマートフォン (Galaxy Nexus (SC-04D)), 在階推定センサとして TSND121 を用いた。在階推定センサもスマートフォンを用いる構成も可能であるが、本実験系では本提案の在階推定手法の適用として、電動車いすの階移動を含めた自動走行を検討しているため[8], 今回はより小型の専用センサを用いて、Bluetooth 経由で PC で受信する構成とした。

基準センサによる気圧値は、Google の提供する GAE(Google App Engine)内に準備した TinyWebDB[9]から 3G/LTE 回線経由で、スマートフォンのテザリング機能を用いて PC で取得している。両センサの差分と事前に確認した両センサのオフセットから式(1)の演算により、在階推定値 F_{mes} を求めている。

ここで、基準センサとしたスマートフォンの内蔵センサの気圧データは約 0.3 秒周期で取得し、その 15 秒間の平均値を TinyWebDB に送信し格納している。その構成と TinyWebDB 内に格納したデータの一例を図6に示す。ここから、在階推定時に基準階の気圧情報として取り出している。本データベースにアクセスすることにより、1 ユーザではなく、多数のユーザが基準センサの気圧データを参照することが可能であり、実験システムに留まらない、汎用的な在階推定システムが実現できると考えられる。

4.2 基本実験結果

式(1)における $\delta = 46\text{Pa}$, オフセット ϵ として、事前に測定した両センサの出力値の差から 28Pa と固定して、一定時間 (約 1 時間半) 在階推定のセンサを基準階と同じ 8F に固定設置したときの推定結果を図7に示す。図に示すように、高い推定精度が得られる場合 (左図) と、推定精度が大きく低下した場合 (右図) があった。なお、図中の 7.5~8.5 の範囲が 8F と判定される領域である。図中に両センサの出力を示しているが、推定精度の低下の原因は、オフセット α が 9月に測定設定した値と大きく変わっていることによる。

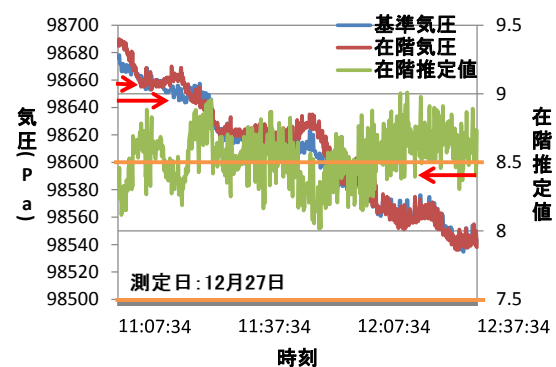
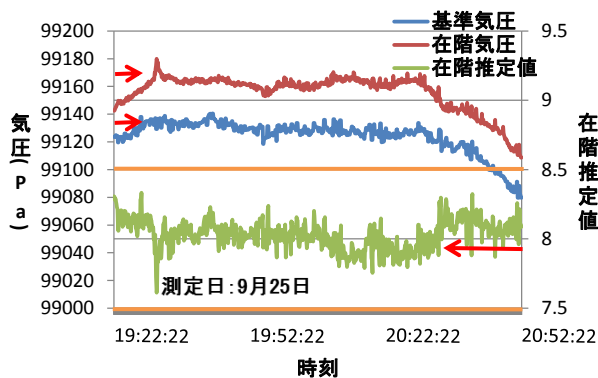


図7 基本実験結果

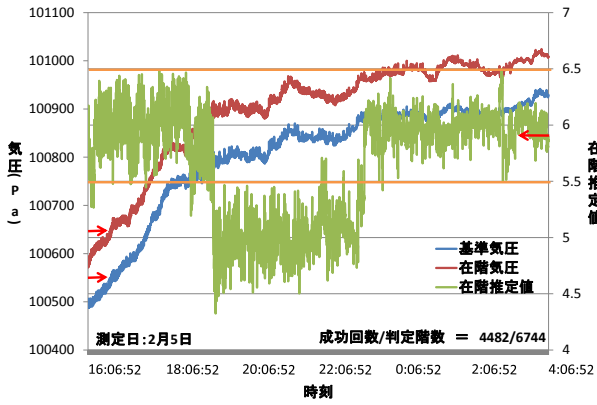


図8 推定結果 (オフセット更新)

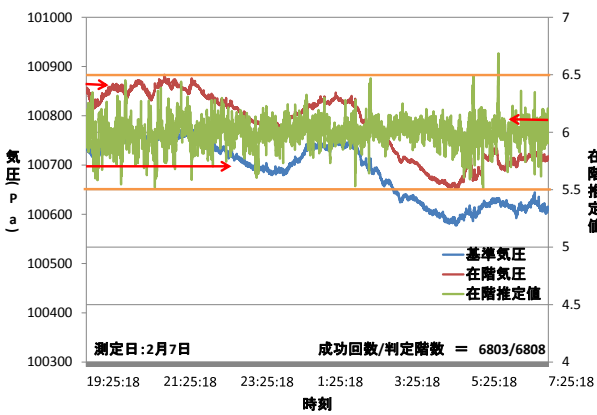


図9 推定結果 (オフセット更新条件変更後)

ここで、図3、図7から分かるように、両センサの出力差であるオフセット ϵ は一定値ではなく、短期的なセンサの出力変動による影響や、経年変化的に時間とともに変動する可能性があることが改めて確認できる、したがって、この現象を考慮した推定、すなわちオフセット ϵ を更新する必要があると考えられる。

5. 推定精度の確保と評価実験

5.1 オフセットの更新の提案

時間とともに変化するオフセット ϵ の補正方法として、以下の方法を提案する。すなわち、

基準センサと推定対象が存在する階の階数の差に相当する気圧差 $P_{diff} = (F_{ref} - F_{mes}) * 46$ を考慮したオフセット ϵ' を補正值として一定時間間隔で更新する。ここで、 ϵ' は以下で与える。

$$\epsilon' = (P_{ref} - P_{mes}) + P_{diff} \quad (2)$$

なお、 $F_{ref} = F_{mes}$ の場合 (在階と基準階が一致) は、式(1)の ϵ と同じである。

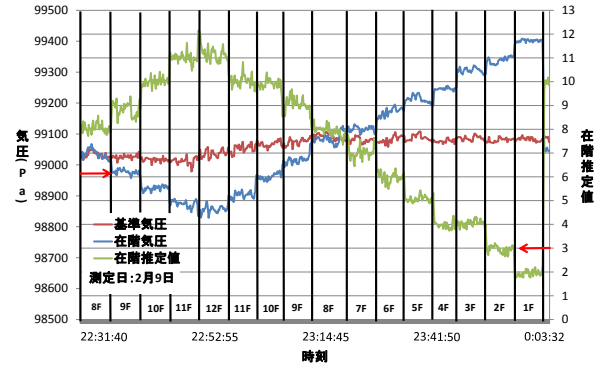


図10 推定結果 (上下移動時のオフセット更新あり)

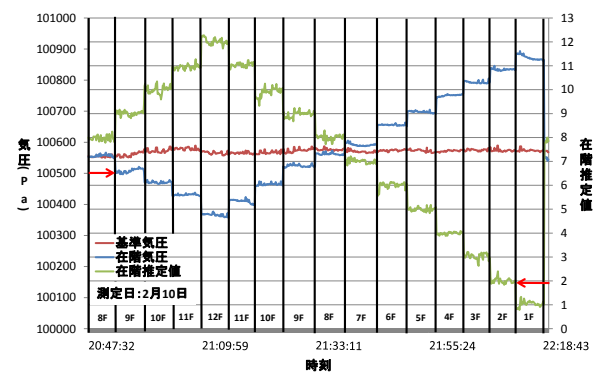


図11 推定結果 (上下移動時のオフセット更新を回避)

5.2 オフセット更新の条件(1)とその結果

この提案手法を実装した在階推定手法の評価として、長時間階移動を伴わない場合での在階推定の評価実験を行った結果を図8に示す。基準センサは8F、在階推定センサは6Fに設置した。推定結果は6Fであり続けるべきであるが、5Fと誤判定された時間が継続している。この原因は、何らかの要因によって階数の誤判定が一度されてしまうと、式(2)からも明らかのように、その後はオフセット ϵ として誤った値を在階推定で使用しつづけることになるためである。

この不適切なオフセット更新による推定誤差を回避するため、推定の応答性を犠牲にして、在階推定結果が4回 (5秒×4回:20秒) 連続して一致したときに、オフセット更新を行うことにした。その結果を図9に示す。実験の後半の時間に瞬間的な誤判定が散見されるが、一時的な誤判定によるオフセット ϵ' の更新は行われず、誤判定の継続を回避できていることが確認できる。

5.3 オフセットの更新の条件(2)とその結果

さらに階移動をとまなう在階推定の実験を行った。前述の実験と同様に8Fに基準センサを設置し、8F→9F・・・→12Fと移動し、12Fから1階ごと下降、すなわち→11F→

6. おわりに

本報告では、在階推定として基準階に設置した気圧センサの出力を参照することにより、気象の変化による気圧変動の影響を受けない在階推定方法を検討した。特に、オフィス内でのオフスワーカーや階を跨って利用される機材の在階推定のような、比較的長い時間の中での推定を本検討の対象とした。本検討では、長期的に安定した推定精度を確保する手法として、基準階に設置したセンサと推定対象に取り付けたセンサの出力差の時間変動を更新する手法を提案、実装した。そして、実験によってその有効性を検証し、実利用に供することが可能な推定精度を確保できる見通しを得た。

今後は、より多くの条件での評価実験を行い、手法の評価をより詳細に行っていく必要があると考えている。また、加速度センサと組み合わせることによって、応答性を確保できる推定方法の検討も課題であると思われる。なお、本実験システムの拡張として、在階推定結果を基準気圧と同様に TinyWebDB に格納することによって、人や機材の在階情報を共有するシステムを容易に構築することができることは、構築した検証システムの大きな特徴であると考えられる。

参考文献

- 1) 峰松岳志, 相河聡: ロボットの位置推定・移動履歴を用いた到達精度向上に関する実験的検討(研究速報), 電子情報通信学会論文誌. B, 通信 J95-B(9), pp.1218-1222 (2012).
- 2) 秋山征己, 須永光, 五百蔵重典, 田中 博: 超音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と検証実験, 測位航法学会論文誌, Vol.3, No.1, pp.1-8 (2012).
- 3) 金田重郎, 川島秀人, 新野毅, 芳賀博英: 動画像処理とセンサ情報の統合を用いた移動体検出方法, 信学技法, KBSE2009-29, pp.69-74 (2009-9).
- 4) 大瀧保明, 鈴木明宏, ヨルゴスパステファノ: 屋内移動行動推定と生理心理計測の統合による行動評価技術の開発, 信学技法, WIT2009-48, pp.1-4 (2009-7).
- 5) 鈴木孝幸, 白井宏幸, 森崎雅崇, 田中博, 山本富士男: Android 端末内蔵気圧センサを用いた在階推定方法の基礎検討, 2013 信学総大, B-19-34, p.578 (2013).
- 6) 山本富士男, 田中博: 携帯端末を使用した所在階数推定システム, 携帯端末及びプログラム, 特願 2014- 7477 (2014).
- 7) Yamamoto F., Yamaguchi H., Tanaka H., and Suzuki T.: Estimating elevator car position by referring to Android server providing fluctuating atmospheric pressure of a base floor, The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (19th AROB), pp.236-240 (2014).
- 8) 法月祐太, 屋良朝克, 五百蔵重典, 田中博: 電動車いすの屋内での高精度な自動走行に関する基本実験, 2014 信学総大, 発表予定.
- 9) TinyWebDB: <<http://beta.appinventor.mit.edu/learn/reference/other/tinywebdb.html>>.

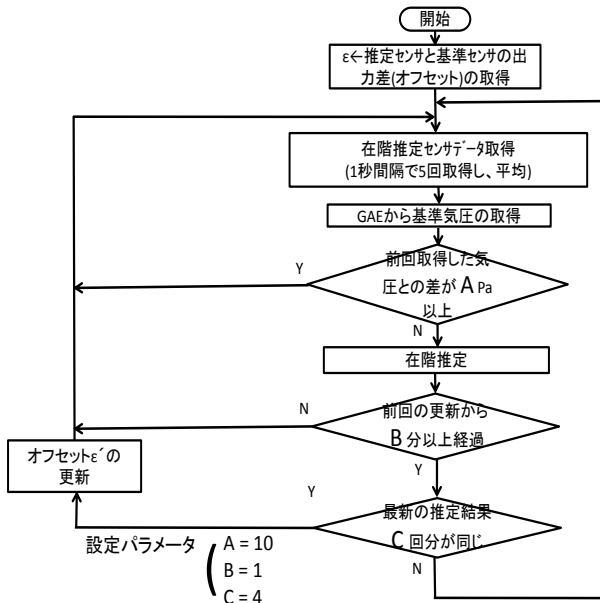


図 12 在階推定のフローチャート

10F...→1F と移動した。そのときの結果を図 10 に示す。このとき、図に示すように上昇時の 12F, 降下時の 11F, 3F で推定の誤りが発生した。この原因は、階段やエレベータによる移動時には階と階との中間点があるが、提案の補正方法では推定在階の値を四捨五入して求めているため、階と階の中間点にいてもその状態を反映した補正が出来ないことによる。すなわち、推定された在階と基準階の差を用いているため、階と階の中間点でオフセット ϵ の更新が行われた場合、1 階分の気圧差の半分である 23Pa 分のずれが誤差として加わることになるためと考えられる。

この上下移動時におけるオフセット更新を回避するために、上下移動時のセンサ出力の変化を考慮し、直前に取得した気圧から 5 秒間で 10Pa 以上の気圧差がある場合 (1 秒間隔で 5 回取得した気圧データの平均を用いている), 上下移動中と判断して、そのデータを無視することにした。再び階を移動しての実験を行った。その結果を図 11 に示す。階の移動時は在階推定を行っていないため移動状態の推定はできないものの、気圧データが安定した後は、精度よく在階推定ができていたことが確認できる。

以上を実装した最終的な在階推定判定のフローチャートを図 12 示す。推定開始時は、基準階と在階推定用のセンサを同一階としオフセット ϵ を設定する。その後のオフセットの更新は、今回は 1 分ごとにその更新条件を確認し、条件を満足した場合に行うようにしている。また、気圧差の変化から上下移動状態にあると判断されるときも同様にオフセット更新を行わないように設定している。