

複数人物移動軌跡を観測するセンサネットワークにおける 時刻同期精度の評価

*^{1,2}坂本 龍哉 *³大村 廉 *²納谷 太 *²野間 春生 *²鳥山 朋二
*²小暮 潔 *¹佐野 睦夫

*¹大阪工業大学大学院情報科学研究科 〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1

*²(株)国際電気通信基礎技術研究所 〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2 丁目 2 番地 2

*³慶応義塾大学慶応義塾大学理工学部情報工学科 〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: *¹sano@is.oit.ac.jp, *²{[@atr.jp](mailto:tatsuya,naya,noma,toriyama,kogure)}, *³ren@ayu.ics.keio.ac.jp

あらまし センサネットワークにおいて、センサノード間の時刻同期精度は、各センサノードで収集される情報間の整合性に影響を与える。また、センサノードの単価と性能のトレードオフが重要な観点であり、最低限の処理コストで、かつセンサネットワークが対象を正確に観測するために必要な同期精度を満たす時刻同期手法の選定が必要である。本研究では、処理能力の低いセンサノードにも適用可能な時刻同期手法を用い、人物移動軌跡を観測するシステムを構築した。さらに、移動軌跡の連続性に基づく評価方法を用い、各手法により得られる時刻同期精度が、人物移動軌跡の整合性に与える影響に関して評価を行った。その結果、我々が用いた時刻同期手法が、人物の移動軌跡の観測に必要な精度を満たすことを示す。

キーワード センサネットワーク, 時刻同期精度評価手法, 人物移動軌跡検出

Evaluation of Time Synchronization Accuracy in Sensor Networks for Tracking Locations of People

*^{1,2}Tatsuya Sakamoto, *³Ren Ohmura, *²Futoshi Naya, *²Haruo Noma, *²Tomoji Toriyama,
*²Kiyoshi Kogure, *¹Mutsuo Sano

*¹ Osaka Institute of Technology 1-79-1 Kitayama, Hirakata-shi, Osaka, 573-0196 Japan

*² ATR 2-2-2 Hikaridai, Keihanna Science City Kyoto, 619-0288 Japan

*³ Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8522 Japan

E-mail: *¹sano@is.oit.ac.jp, *²{[@atr.jp](mailto:tatsuya,naya,noma,toriyama,kogure)}, *³ren@ayu.ics.keio.ac.jp

Abstract: In sensor networks, time synchronization accuracy usually affects consistency in sensor data extracted from these systems. Therefore we have to select an appropriate time synchronization method with less power consumption of sensor nodes and adequate time synchronization accuracy to get consistent results. There exists a trade-off between a cost and capability of a sensor node when building such a sensor networks. In our study we have constructed sensor networks to extract human trajectories adopting time synchronization methods which are suitable for low-performance sensor nodes. And we introduce an evaluation criteria based upon continuity of trajectories for evaluating the time synchronization accuracy.

Keyword: Sensor Network, Time Synchronization, Tracking, Human Trajectories

1. はじめに

センサネットワークを用いて実環境のセンシングを行う際、センサノード間の時刻同期精度は、各センサノードで収集される情報間の整合性に多大な影響を与える。例えば、観測する各センサノードに含まれる時刻誤差が原因となり、実世界に生じた一つの事象を、連続して発生した複数事象として誤観測することなどが考えられる。そのような時刻同期精度の低下が及ぼす影響を回避するために、センサネ

ットワークにおける時刻同期手法として様々な手法が提案されている。しかし、多数のセンサノードを実環境に配置するため、センサノードの単価を可能な限り抑えることが要求されており、これらの時刻同期手法を適用するのに十分な能力が各センサノードに備わっていない場合がある。また、観測対象の変化が比較的低速であれば、処理負担の少ない低精度な時刻同期手法でも、対象の正確な観測に必要な時刻同期精度を満たす場合がある。センサネットワークの設計において、対象の正確な観測に必要な時

刻同期精度を満たし、かつセンサノード単体、もしくはセンサネットワーク全体に要求される処理コストが最小限となる時刻同期手法の選定が重要な問題である。

本研究では、汎用的なハードウェアで構成されたセンサノードを用いて複数人物の移動軌跡を観測する「通過センサネットワーク」[1]を構築した。センサネットワークを構築する際に用いられる時刻同期精度を向上させる方法は大きく2つ存在し、1つはネットワークを介した外部時刻基準との同期を高頻度化・高精度化することによる時刻同期精度の向上、もう1つは内部時計の高精度化による時刻同期精度の向上があげられる。しかし、外部時刻基準との時刻同期の高頻度化・高精度化は、センサノードと外部時刻基準間のメッセージを増加させ、センサノードの負荷・センサネットワーク全体の負荷を増大させる要因となる。よって、全てのセンサネットワークで適用可能であるとは限らない。そこで、内部時計の高精度化に関する調査を行った。内部時計の精度はセンサノードが保持する発振器の精度に大きく影響する。また、センサノードに搭載しているソフトウェア上で発振器のドリフト補正を行い、精度を向上させることが可能である。本論文では、低価格・低精度なセラミック・オシレータの使用、比較的高価・高精度なクリスタル・オシレータの使用、また、クリスタル・オシレータに対してソフトウェア補正を行うことで得られる時刻同期精度に関して比較した。また、得られた時刻同期精度が、本センサネットワークのような人物の移動軌跡の検出を目的としたセンサネットワークにおいて必要な精度を満たしているかを評価するために、移動軌跡の連続性に基づく評価を行った。

以降では、まず第2節で我々が構築した「通過センサネットワーク」を紹介する。また、その際に生じた時刻同期精度に関する問題について述べる。第3節では、本研究で比較を行った複数の内部時計精度向上手法について述べ、第4節と第5節では、実環境において、各内部時計精度改善手法の適用により得られた時刻同期精度を比較する。そして、それらの時刻同期精度が、得られた人物移動軌跡の整合性に与えた影響を評価する。最後に、最終的に本センサネットワークに適用した内部時計精度改善手法により、本センサネットワークが実環境で複数人物の移動軌跡を観測するのに十分な時刻同期精度を実現していることを示す。

2. 通過センサネットワーク

2.1. 赤外線通過センサ

本研究で構築したセンサネットワークは、医療現場における業務内容の分析を行うために、看護師の移動軌跡を観測することを目的としている。本センサネットワークに対する要求仕様は次の通りである。

- ・ 部屋を単位とした人物の位置情報検出
- ・ 複数人物の移動軌跡の検出
- ・ 患者と看護師に負担を掛けないシステム構成

我々は、これらの要求を基に、本センサネットワークのセンサノードとなる赤外線通過センサ（以降、通

過センサとする）の開発を行った。通過センサは2つの赤外線受光部と、各赤外線受光部から得られた情報に対して処理を行う赤外線通過センサモジュール（以降、センサモジュール）からなる。観測対象となる人物は、発信機IDが一定間隔で発信される赤外線タグを頭部に装着しており、天井に設置された各赤外線受光部は、赤外線タグから発信される発信機IDを受信する。センサモジュールでは、赤外線受光部で受信された発信機IDに、その発信機IDが受信された側の受光部ID（AまたはB）を付加する。同時に通過センサの内部時計の時刻を参照して、それらの情報にタイムスタンプを付加する。2つの赤外線受光部を部屋の入口の内側、外側にそれぞれ設置することにより、1つの通過センサで人物の入退室、その時の移動速度や移動の様子などを観測することが可能となる（図1）。

また、センサモジュールには無線LANコンパタと無線LANカードが装着されており、収集されたセンサデータを外部へ送信する機能と、受信したコマンドに対し、処理を行う機能を備えている。外部から通過センサに送られるコマンドは2種類あり、1つは内部時計の時刻を時刻サーバから送られてくる時刻に合わせる「現在時刻設定コマンド」である。もう1つは、コマンドを受信した時点の内部時計時刻を返す「時刻問い合わせコマンド」である。通過センサを構成するハードウェアを表1に示す。なお、センサモジュールの内部時計はマイコン上で実現されており、搭載しているオシレータの発振回数を元に時間を進めている。そのため、オシレータの精度が、直接内部時計の精度に影響する。

2.2. センサネットワークの構成

次に、通過センサを用いて構築したセンサネットワークに関して述べる。今回、業務分析を行う対象としたある病院の1フロアにおいて、病室やナースステーション、トイレの入り口、廊下などに合計34個の通過センサを配置した。そのほか、5か所にアクセスポイントを設置した（図2）。電源投入時に、通過センサは最も電波の強いアクセスポイントに自動で接続を行う。本センサネットワークでは、設置された全通過センサに対するコネクションの管理、時刻同期処理の実施、各通過センサで得られた情報の収集をすべてナースステーション内に設置された1つの管理サーバが行う。管理サーバは、設置された複数のアクセスポイントをネットワークブリッジとして、各通過センサに接続する。各通過センサは確立されたコネクションを使用して、得られた人物通過情報を管理サーバに送信する（図3）。そして、それらのデータを元に、図2に示す28か所の領域を単位として看護師の現在位置の観測を行った。また時刻同期に関しては、管理サーバが全通過センサに対して現在時刻設定コマンドを送信する手法を取った。

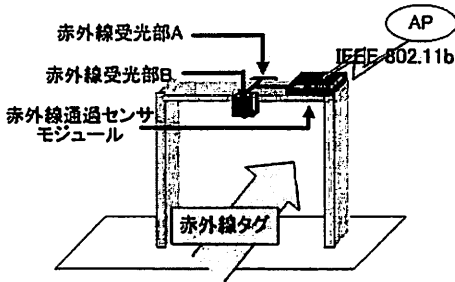


図1 部屋の入口に設置された赤外線通過センサ

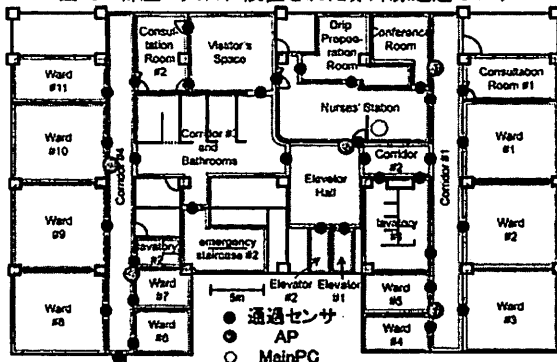


図2 病院における通過センサの配置

マイコン	PIC16F628 Microchip 社製
オシレータ	EFOS4004B5 セラミック・オシレータ 精度:±0.5% 周波数:4.00MHz 松下電機産業 社製
Wi-Fi Card	WL1100C-CF AmbiCom 社製
Wi-Fi Converter	EZL-80C Sollae Systems 社製

表1 赤外線通過センサモジュール構成

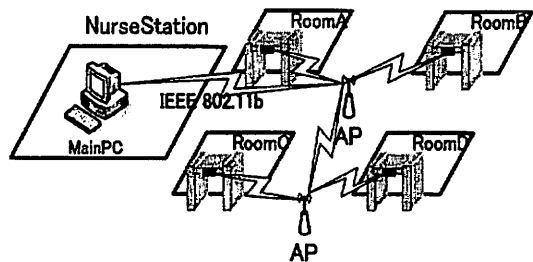


図3 センサネットワークの構成

2.3. 時刻同期精度がもたらす問題点

我々は、実際に本センサネットワークを数日間連続で動作させ、看護師の移動軌跡の検出を行った。しかし、各通過センサに蓄積する時刻誤差が原因となり、得られた移動軌跡が矛盾を含む場合があった。具体的には、

- ・ 実際に人物が通った経路とは異なる経路が復元される。
- ・ 同一人物が同時刻に異なる場所に存在する。
- ・ 人物が瞬時に異なる場所へ移動する。

などの不整合な移動軌跡が含まれていた。このような問題を回避するために、我々は時刻同期精度を向上させるための手法について検討を行った。時刻同期精度改善の手法として、外部時刻同期の高精度化・高頻度化に基づく手法と、内部時計の精度向上に基づく手法が考えられる。本センサネットワークでは、全通過センサの管理をすべて管理サーバが担っているため、時刻同期の頻度を増加させることは、管理サーバの負荷増大を招く可能性がある。また、通過センサに搭載しているハードウェアの能力では、現在の外部時刻同期手法よりも高精度・高負荷となる手法の適用が不可能である。その他の問題として、時刻同期を行う度にネットワーク遅延などの不確実な誤差が含まれるため、時刻同期の高頻度化は通過センサ内部時計時間の一貫性を損う可能性がある。以上の点から、外部時刻同期の高頻度化を防ぐため、第3節で複数の内部時計精度向上手法を提案し、各手法が内部時計の精度向上に与える影響を調査した。

3. 内部時計精度向上手法

当初、センサノードのコストを抑えるために、通過センサは発振精度±0.5% (±432000msec/day)、温度変動±0.05% (43200msec/day)以内の安価な4MHzセラミック・オシレータを使用していた。それに対して以下の手法を適用し、得られる時刻同期精度に関してセラミック・オシレータとの比較を

行った。

- (1) 搭載オシレータをより精度の高いクリスタル・オシレータへと変更し、内部時計の信頼性向上を計る。
- (2) 正確な時間周期を持った外部信号を各センサノードに入力する。この信号を時間基準として、一定時間内の搭載オシレータの発振回数を調べる。そして、得られた各オシレータの発振回数をもとに、各センサノード内部時計のドリフトをソフトウェアにより補正する。

本論文では、セラミック・オシレータを使用した場合、手法(1)を適用した場合、手法(1)と手法(2)を併用した場合の3通りを評価対象とした。そして次節で述べる評価手法を用いて、各組み合わせにより得られた時刻同期精度が人物移動軌跡の整合性に与える影響に関して評価を行った。

4. 時刻同期精度評価手法

4.1. 評価手法の必要性

センサネットワークから得られた結果に時刻同期精度が原因となる誤りが含まれないことを正確に評価するためには、観測対象がどのように移動したかを知る「正解データ」が必要である。しかし、本研究対象が実環境における看護師の行動であるために、カメラなどの他センサ、もしくは外部観測者による看護師の移動軌跡の記録は、患者のプライバシー侵害や看護業務に支障を来すこととなることが懸念される。そのため、本研究において「正解データ」を得ることは困難である。そこで、得られた結果の整合性の評価を行うために、

観測対象の順序性に重点を置いた評価手法を用いた。センサネットワークにおいて、事象の発生した正確な時刻よりも、各事象の発生順序が重要な場合があることが他の研究においても報告されている[2]。同様に、我々がやっている看護師の業務分析においても、人物の場所遷移順序が重要な手掛りである。また、時刻同期精度の低さが原因となって観測対象の順序性が損なわれた場合、その前後で観測対象の空間的連続性も損なわれる場合がほとんどである。以上を踏まえ、本論文では、センサネットワークから得られた移動軌跡の整合性を評価する基準として、移動軌跡の連続性を用いた。

4.2. 軌跡の連続性に基づく評価

以下に、具体的な手法を述べる。本手法では、まず、各観測領域の隣接関係を示すグラフを作成し(図4)、センサネットワークから得られた人物移動軌跡において不連続な場所遷移の検出を行う。次に、検出された不連続遷移を、それらが生じた時刻と場所で分類を行い、その結果得られた不連続遷移の度数分布を不連続遷移パターンとした。しかし、不連続遷移は、時刻同期精度の低さによる観測誤りの他に、センサの検知ミスなどによっても十分に生じ得る。そのため、時刻同期精度の評価を行うには、それらが原因となっている不連続遷移パターンを評価の対象から取り除く必要がある。そこで、本研究では各通過センサに蓄積している基準時間との時刻誤差を管理サーバで観測し、オフラインで、同一データに対して誤差数 msec の範囲まで時刻補正を行う(以降、オフライン高精度時刻補正とする)ことで得られた移動軌跡を用いる。本センサネットワークの観測対象は、人物の部屋を単位とした移動軌跡である。したがって、室内における人物の一般的な歩行速度を考えると、通過センサは少なくとも 1m 以上の間隔で設置されていることから、数 msec のオフライン高精度時刻補正により得られた人物移動軌跡には、時刻同期精度が原因となった不連続遷移パターンは含まれていないと考えられる。我々は、得られた人物移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンと、同一データに対しオフライン高精度時刻補正を行うことで得られた人物移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンとの距離を計算し、達成された時刻同期精度の評価尺度とした。なお、不連続遷移パターン間の距離計算は以下の式を用いた。

ここで、 i を実験開始から 1 時間ごとの時間間隔、 k を不連続遷移の発生場所とする。 $H(i,k)$ は得られた軌跡の時間帯 i 、不連続遷移発生場所 k における不連続遷移発生回数を表し、 $Ha(i,k)$ は、オフライン高精度時刻補正後の時間帯 i 、不連続遷移発生場所 k における不連続遷移発生回数とする。以上を用いて、不連続遷移パターン間距離 D を式(1)で定義する。

$$D = \sum_i \sum_k |H(i,k) - Ha(i,k)| \quad (1)$$

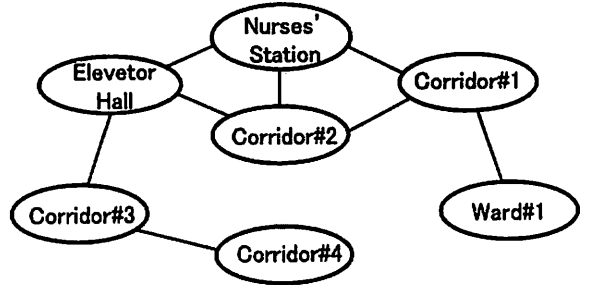


図4 領域の隣接関係を示すグラフ

5. 実験

5.1. 実験条件

本実験を実施するにあたり、次に示す条件で各センサノードに内部時計精度向上手法を適用した。

手法(1)では、高精度オシレータとして発振精度(温度変動含む) $\pm 50\text{ppm}(\pm 4320\text{msec/day})$ 以内の 4MHz クリスタル・オシレータを使用した。

手法(2)では、各センサノードが保持するオシレータが 5sec の間に発振する回数をあらかじめ計測しておく。それを元に各センサノード内部時計のドリフト値を求め、内部時計の補正を行った。この方法では、オシレータの発振周波数が一定であると仮定すると、理論上 $\pm 0.2\text{ppm}(\pm 17.28\text{msec/day})$ 以内の精度を実現することが可能である。

また本実験では、一日に 1 回、夜中の 12 時に各センサノードに対して時刻同期コマンドを発行し、内部時計と管理サーバとの時刻同期を行った。その後、5 分おきに各センサノードに対して現在時刻要求コマンドを発行し、それぞれに蓄積された基準時刻との誤差を計測した。

5.2. 実験

次に、我々が行った実験に関して説明する。今回時刻同期精度の評価対象とするデータは実際に病院で取得されたデータであり、計 3 回(実験 A,B,C)の実験を行った。各実験を行った日数と、観測対象とした看護師のべ人数を表 2 に示す。

表 2 実験日数とのべ人数

	実験日数	のべ人数
A	1	11
B	3	28
C	4	51

実験 A では、セラミック・オシレータを搭載したセンサノードを用いて観測を行った。実験 B,C では、内部時計精度向上手法(1)(2)を適用したセンサノードを用いて観測を行った。加えて、内部時計精度向上手法(2)を併用することの有効性を評価するために、内部時計精度向上手法(1)のみを適用した場合のデータセットを作成した。具体的には、実験 B,C の開始前に各センサノードに設定したそれぞれのドリフト補正値を

元にして、得られたデータのタイムスタンプを、手法(2)を用いて補正を行う前の時刻へ変換した。したがって本実験では、

- ・ セラミック・オシレータを搭載したセンサノードから得られた移動軌跡(実験 A)
- ・ 内部時計精度向上手法(1)を適用したセンサノードから得られた移動軌跡(実験 B,C)
- ・ 内部時計精度向上手法(1)(2)を適用したセンサノードから得られた移動軌跡(実験 B,C)

と各実験で得られたデータに対して、オフライン高精度時刻補正を行うことにより得られた移動軌跡との比較を行った。

5.3. 実験結果

まず、セラミック・オシレータを搭載したセンサノードを用いた実験 A で得られた結果に対する評価を示す。各センサノード間に含まれた最大時刻誤差と誤差標準偏差を表 3 に示す。また、オフライン高精度時刻補正後の不連続遷移パターンとの距離も同表に示す。

次に、各内部時計精度向上手法を適用したセンサノードを用いた実験 B,C で得られた結果に対する評価を示す。手法(1)を用いた場合、手法(1)と手法(2)を併用した場合の、各センサノード間に含まれた最大時刻誤差と誤差標準偏差を表 4 に示す。また、オフライン高精度時刻補正後の不連続遷移パターンとの距離も同表に示す。なお、実験 A,B に関しては複数日の実験を行ったため、各実験日のセンサ間誤差最大値と誤差標準偏差のうちで最大のものを表示している。

表 3 時刻同期精度と高精度補正軌跡との距離(実験 A)

	最大誤差 [msec]	誤差標準偏差 [msec]	距離
改善前	528769	144150	5392

表 4 時刻同期精度と高精度補正軌跡との距離(実験 B,C)

	最大誤差 [msec]	誤差標準偏差 [msec]	距離
手法(1)適用	2636	551	79
手法(1)(2)適用	295	67	8

図 6 は、各改善手法を適用したセンサノードで得られた移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンと、オフライン高精度補正後の移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンとの差分を表している。X 軸方向は、不連続遷移が生じた場所を表す。また、Y 軸方向は、実験開始からの経過時間を表しており、1 時間の間に生じた不連続遷移の回数を評価している。本実験では、1フロアに 28 か所の領域を設け、センサネットワークの観測単位としている。そのため、756 通りの組み合わせが考えられる。しかし、表示されている以外の場所ではオフライン高精度時刻補正後の移動軌跡データに含まれる不連続遷移パターンの差分は 0 であるため、省略した。X 軸に表示されているラベルは、28 か所の領域をアルファベットの大字

A-Z と小文字 ab で表しており、(遷移元, 遷移先) という並びで不連続遷移が発生した場所を表している。図 6(a)(b)は、実験 B においての手法(1)適用時、また手法(1)(2)併用時に得られた移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンと、実験 B で得られたデータに対してオフライン高精度時刻補正を行った後の移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンとの差分を表す。図 6(c)(d)は、実験 C に関して同様に評価を行った結果である。

6. 考察

表 3 より、実験 A では、センサノードが搭載していたセラミック・オシレータの発振精度の低さが原因となり、内部時計の時刻同期精度が大幅に低下していた。その結果、1 日のみの実験であるにも関わらず、多くの不連続遷移が含まれる結果となった。セラミック・オシレータを使用することで、センサノード単体のコストを下げるができるが、その結果、正確な移動軌跡を観測するためには外部時刻同期の頻度を大幅に増やす必要がある。表 4 を見ると、手法(1)を用いることで、各センサノード間の最大時刻誤差・誤差標準偏差は、それぞれ表 3 の改善前と比較して約 1/200, 約 1/260 と大幅に改善されている。表 3 と表 4 では、観測対象が異なるため、不連続遷移パターン間距離を直接比較することは出来ないが、時刻同期精度の向上により、不連続遷移パターン間距離が大幅に減少している。表 4 から、手法(1)と手法(2)を併用した場合の時刻同期精度が、手法(1)のみの場合と比較して、センサノード間の最大時刻誤差・誤差標準偏差それぞれ約 1/9, 約 1/8 と改善されている。また、表 4 においては、同一対象を観測した結果であるため、不連続遷移パターン間距離を直接比較することができる。手法(1)(2)併用時の不連続遷移パターン間距離は、手法(1)のみの場合と比較して約 1/10 になっている。従って、時刻同期精度が原因となる不連続軌跡がさらに取り除かれており、手法(1)(2)を併用することの有効性が確認できた。

さらに、改善手法適用後のセンサノードから得られた移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンとオフライン高精度時刻補正後の移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンとの差分を図 6 から読み取る。これまでの結果同様、手法(1)のみの適用に比べ、手法(1)と手法(2)を併用した場合の方が、差分が減少しているため、手法(1)と手法(2)を併用する有効性が読み取れる。また、このように得られた不連続遷移パターンとオフライン高精度時刻補正後の不連続遷移パターンとの、距離ではなく差分を見ることで、負の値となる個所が存在することがわかる。加えて、手法(1)適用時には存在しない不連続遷移パターンが、手法(1)(2)に存在する場合もある。これらは、時刻同期精度を向上させることで、新たに出現する不連続遷移パターンが存在することを意味する。したがって、時刻同期精度を向上させても、取り除くことができていない不連続遷移パターンと、時刻同期精度を向上させることで、新たに生じている不連続遷移パターンが、手法(1)(2)併用後にも存在していることがわかる。そこで、我々の行った内部時計精度向上手法が必要時刻同期精度を満たしているかを正確に確かめるため、残りの不連続遷移パターンが生じる原因を、得られたデータを見て考察した。その結果、残りの不連続遷移パターンに関しては、通過センサの設置場所と赤外線タグの指向性

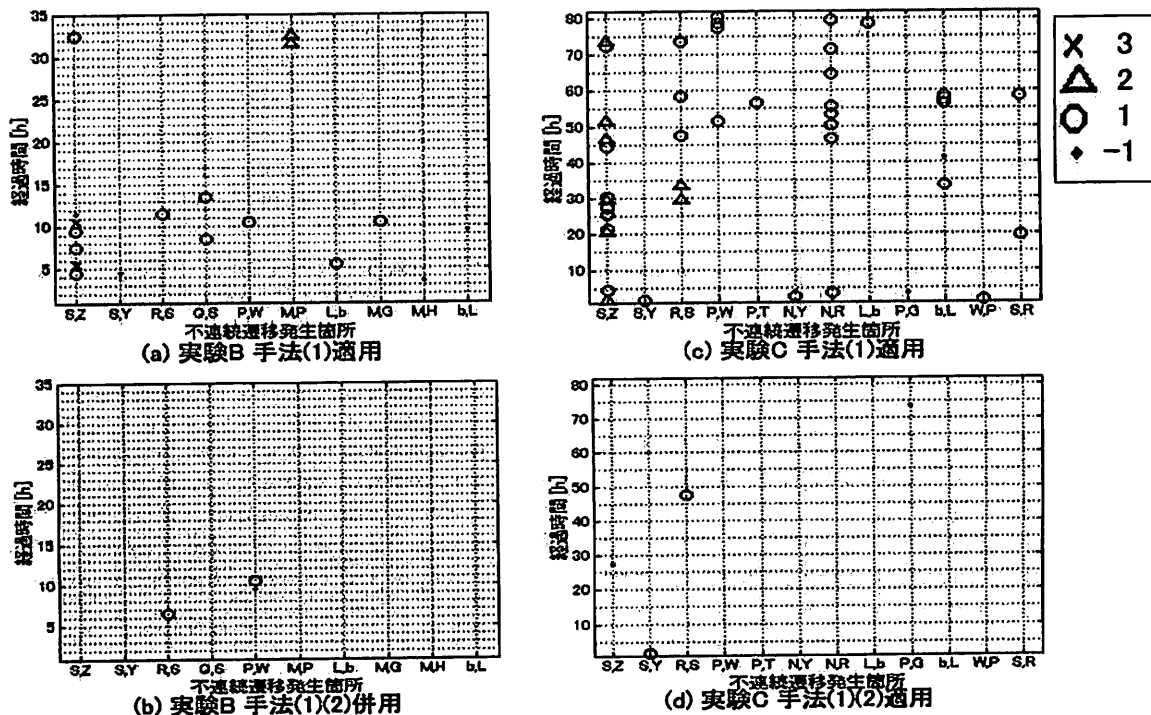


図6 得られた移動軌跡に含まれる不連続遷移パターンとオフライン高精度時刻補正後の不連続遷移パターンとの差分

が原因となり、ほぼ同時に異なる通過センサが同一赤外線タグからのIDを受信している場合であることが明らかとなった。これは、複数の通過センサにおいてID検知範囲が重なり合っている部分が存在することを意味する。そのような領域で、IDを観測した場合、センサ間に存在する時刻誤差を数 msec 程度変化させるだけで、そのIDが検知された順序も変化する可能性がある。我々が今回用いた手法は、人物軌跡の順序性に重点を置いているため、このようなセンサの観測順序の変化が不連続遷移を生じさせ、直接評価結果に影響する。しかし、このような問題は、センサの検知範囲を通過センサの真下に限定するなどの改善を行うことで回避できる。以上の結果から、本センサネットワークのような人物の部屋もしくは廊下のような比較的大きな領域を単位とした移動軌跡の検出において、手法(1)(2)併用による内部時計精度の向上を行うことにより、1日に1回の外部時刻同期でセンサ間誤差 295msec の時刻同期精度を達成することが可能となった。また、センサ間誤差 295msec の時刻同期精度が、人物の移動軌跡を観測するために必要な精度を達成していることが示された。

7. 今後の課題

本論文において、得られた軌跡の評価を行った結果、時刻同期精度以外の問題によって不連続遷移が生じることが明らかとなった。例えば、赤外線タグの指向性により、速くのセンサも同時に反応してしまう場合があることが明らかとなった。今後の課題として、そのような問題を回避するために、センサノードの改良が必要である。また、赤外線タグは業務の妨げとならないように楕円に設計され、看護師の頭に装着

されている。したがって、装着している位置によっては、そのような問題が生じやすいことから、赤外線タグの改良も必要と考える。

8. おわりに

本研究では、汎用的なハードウェアから構成されたセンサノードを実環境に配置し、看護師の移動軌跡の検出を試みた。その際に生じた時刻同期精度低下の問題に対して、複数の内部時計精度向上手法により時刻同期精度の改善を試みた。そして、各手法の組み合わせにより達成される時刻同期精度に関して比較を行った。また、移動軌跡の連続性に基づく評価基準を用いて、得られた時刻同期精度が本センサネットワークにより観測された移動軌跡の整合性に与える影響を評価した。それらの評価手法を元に評価を行った結果、本センサネットワークで達成されたセンサ間誤差 295msec の時刻同期精度が本センサネットワークのような人物の部屋を単位とした移動軌跡の検出を行う上で、必要な精度を満たしていることが示された。

謝辞

本研究は独立行政法人 情報通信研究機構(NICT)の研究委託により実施したものである。

文献

- [1] 高柳ら, “人の行動分析のための赤外線通過センサの開発”, FIT2005, pp.259-260, 2005.
- [2] Kay R'omer, “Time Synchronization in Ad Hoc Networks”, Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, pp. 173-182, 2001