

加速度センサノード人体複数装着における身体動作分散検出方式の提案

大崎 英誉 諏訪 敬祐

武蔵工業大学 環境情報学部 情報メディア学科
〒224-0015 横浜市都筑区牛久保西 3-3-1
E-mail: {g0332043, suwa}@yc.musashi-tech.ac.jp

3軸加速度センサチップと RFID タグを組み合わせたセンサノードは、小型軽量で無線通信能力を持ち、複数でも人体に装着しやすい。複数装着することにより身体運動を詳細に計測できる。しかし、エリアとして考えると、人体は、各ノードの無線発信が全ノードに届く狭さであり、複数箇所からの高頻度一斉発信では信号衝突が問題になる。そこで、センサノード側で圧縮を兼ねた計測値の要約を行い、その結果を無線で他の機器に提供する分散計測方式を提案する。身体動作の波形特徴を踏まえ、処理能力に見合う簡易な波形分類機能をセンサノードに実装した。提案の検討例として、計測値の送信量を従来比 30 分の 1 以下に低減した実験結果を示す。

Distributed Estimation for Motion Capture on Wearable 3-Axis Acceleration Sensors

Hidetaka OHSAKI Keisuke SUWA

Department of Information Ecology Studies
Musashi Institute of Technology

3-3-1 Ushikubo-nishi, Tuzuki-ku, Yokohama, Kanagawa 224-0015 Japan

E-mail: {g0332043, suwa}@yc.musashi-tech.ac.jp

We think that we should tie to the human body two or more 3-axis acceleration sensor nodes. To achieve it, we should solve the congestion of a wireless communication. When thinking as an area on a wireless network, the human body is too small. The signal collides mutually when the node transmits the signal all together. Then, we propose the method to summarize the measurement value by each node. We can save the band if it does so. We made the program that simply classified the measurement value. The node adjusted the transmission volume of data to 1/30 or less by our experiment.

1. はじめに

1.1. コンテキスト・ウェアネスにおける加速度センサの位置付け

察するコンピュータ「コンテキスト・ウェアネス」^[1]を考える際、身体運動の検出と分類は利用者の状況を推測する重要な手がかりとなる。身体運動を検出する方法の一つとして、3軸加速度センサを人体に装着し、計測値の平均値や分散などを分類する方法がある^{[2][3]}。無線センサノードを使って計測値を発信すれば装着者の動作を阻害することも少ない。この用途に用いられる MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の加速度センサは、「low g」と呼ばれ、±2~3(g)を主な計測範囲としている。携帯端末や情報家電からの需要^[4]で小型化低価格化^[5]が進んでいる。身体状況検出を目的とした加速度センサ

の利用も、さらに普及し、その需要も多様化すると考えられる。

1.2. 身体運動検出方式の現状

身に付ける加速度センサは、単数か複数かという二種類に分け、身体装着の実装例を整理する。

1.2.1. 加速度センサ単数装着の現状

MEMS 加速度センサを単数搭載した携帯電話が実用化され、様々な利用が期待されている。現在は、主に入力デバイスとして利用されている^[6]。ジャイロセンサと組み合わせ、歩行者ナビゲーションへの利用も検討されている^[7]。限られた体積でいかに新機能を実装するかは、携帯電話メーカーの大きな課題であり、コンテキスト・ウェアネスの製品化は近いと予想できる。携帯電話を身に付ける位置について候補を絞っていけば、加速度

センサ計測値から所持者の状況を推測できる[8]。静止状態、デスクワーク、移動中などを区別する程度だが、所持者の状況に沿ったアラームの制御や Web コンテンツ配信を行える[9]。単数装着の利点には、費用が安いこと、携帯電話のように身近な製品に内蔵すれば、気軽に肌身離さず持ち歩けること、センサノードとアクセスポイントの間で信号衝突の問題が少ないことなどが挙げられる。

1.2.2. 加速度センサ複数装着の現状

複数装着方式は、ベルトや粘着テープなどで加速度センサノードを身体に複数固定して動作を計測する方式である。将来的には衣服への縫い込みも可能と予測される。単数装着に対して、装着者の負担は大きい、より詳細な情報を得ることができる。同年代の技術を比較した場合、光学式や機械式のモーションキャプチャより精度は劣る。しかし、計測値を無線で発信できる上に、画像抽出用の背景設備、カメラ、マーカや装具が不要であるため、独自の需要がある。ボタン電池ケース程度のノードも登場[10]しており、装着の負担も軽減の傾向にある。計測値をアクセスポイントに集約する場合、各センサノードを同期させることが重要になる。多くは、計測から解析、サービスの駆動まで専用のタイミングとフローを備えた「加速度センサネットワーク」を構築することになる。情報量を含め、一斉発信に対応できる無線規格も必要だが、Bluetooth による製品も既に発表されている[11]。

1.3. 加速度センサノード複数装着の需要

装着者を発信源にして計測値を無線送信できる、という他のモーションキャプチャにない利点を踏まえて、単数装着では取得できない情報の必要性、携帯電話の所持が難しい利用場面などから加速度センサノード複数装着の需要を考える。部品組み立てや車両運転、介護におけるヒューマンエラー検出や技能改善には、四肢の定量的なモニタリングが欠かせない。特定部位の筋力増強を目的としたリハビリテーションやエクササイズについて、その内容を発信する場合も同様である。単数装着では、腰の万歩計を使って腕の運動量を測定する程度の間接的な情報になってしまう。さらに、勤務中の工場、運転席、病院、体育施設など、いずれも携帯電話を所持、操作しづらい場面である。壇上を広く使いたいプレゼンテーションにも需要はある。無線入力デ

バイスからコンテキスト・ウェアネスまで発展させれば、操作端末を隠蔽した壇上で、発表者のジェスチャや歩行のタイミングを察して、スライドの進展や映像演出などを積極的に支援できる。提供するサービスが重大で、かつ、代替技術の少ない場面としては、重度知的障害者の危険や意志を解析して第三者に提供することがある。本人の積極的な入力が困難であり、コンテキスト・ウェアネスでなければ不可能なサービスである。ただし、障害の程度や年齢などの属性が同じであっても、動作と意味の組み合わせは個別的で、同一の設定を全利用者に適用することは難しい。本人を良く知る介助者や肉親の介護を支援する程度の機能が限界と考えられる。しかし、従来の体温・心拍測定などと連携できれば、実現の意味は大きい。

1.4. 本提案方式の原理

以上のように、加速度センサ単数、複数装着の現状を踏まえて、本稿では、微弱無線方式加速度センサノードによる複数装着の実現性および試作したセンサノードを使用した各動作の実験結果について考察する。想定するネットワーク構成を図 1 に示す。

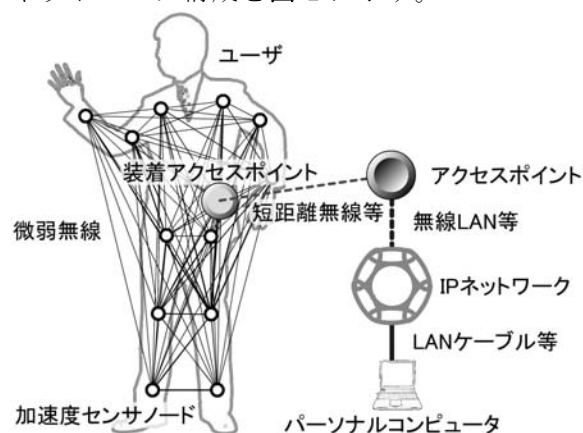


図 1 加速度センサノード複数装着方式

各センサノードは、微弱無線で相互にリンクした状態にある。IP ネットワークと通信するためのアクセスポイントは一つだけ装着する。アクセスポイントは、各センサノードと通信するための微弱無線用アンテナと、IP ネットワークに加入するための短距離無線用アンテナを合わせもち、パーソナルコンピュータ（あるいはサーバ）と各センサノードのやりとりは、IP ネットワークとアクセスポイントを経由させる形で行う。

2. 複数装着における信号衝突の問題

2.1. 計測値処理方法の比較

身体運動を随時モニタリングする場合のセンシングデータの流れを考える。計測値は、ウェアラブルコンピュータ、PDA に集約して処理することが多い[9]。これは、ノードより豊富な演算能力で信号を処理できるからである。センサノードとアクセスポイントの間の距離は短く、中継による遅延は問題にならない。単数装着なら集約先に内蔵して、計測結果をその場でサービスに利用する方法もあり、計測値の伝送の困難性はない。それに対し、複数箇所から同時発信するセンサノードのネットワークを考える場合、全てのノードが互いにリンクする狭いエリアで、身体運動の検出に十分なサンプリング周期で計測値を集約しようとするすると信号の衝突が問題となる。トラヒックの問題を解決する方法を表1に示す。

表1 計測値大量発信に対する対処方法

対処方法	実装条件
同期制御	ノードに高精度の時計
条件付き確率による欠損データの考慮、補完	データの大量収集と高機能情報処理装置
トークンパッシング方式	ノード間の確実なマルチホップ
インテリジェンス機能[12] (計測値の要約)	ノードに一定以上の処理能力

インテリジェンス機能について補足すると、送信量低減による省電力を目的とした例で、温度センサノードの平均値や異常値だけを発信する方式が既にある[13]。

2.2. 身体動作分散検出方式の意義

本稿では、加速度センサノードの計測値要約機能による身体動作分散検出方式を提案する。ここで、計測値要約機能とは、計測値そのものではなく、計測値の数列を解析して抽出した特徴的な波形を符号化する情報量圧縮処理と定める。従来の集約型と本案の分散型について、計測値処理方法のトポロジ比較を図2に示す。

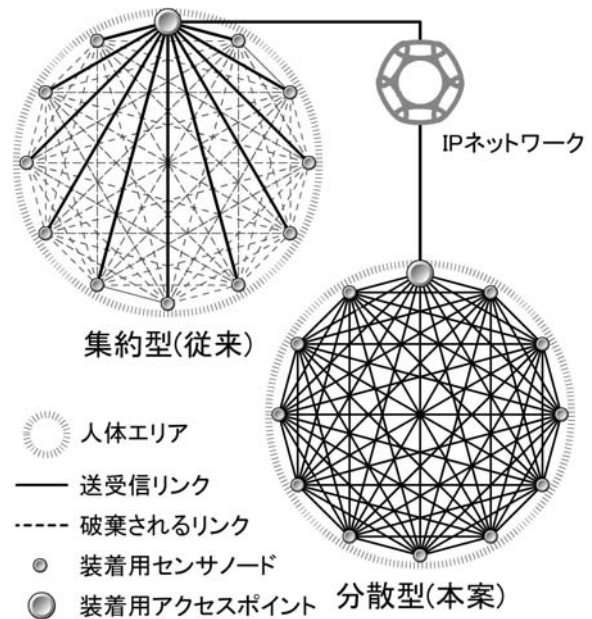


図2 集約型と分散型のトポロジの比較

両方式とも、物理層では全ノードが相互に無線接続されている。アクセスポイントを常に経由する集約型より分散型の方が帯域を節約できることがわかる。コンテキスト・ウェアネスの実現には M2M (機械対機械) ネットワークが重要になるが、その際、サーバやハブを経由せずに P2P (1対1) で目的の機器に状況の情報を提供できれば、より無駄なく連携できる。

提供する情報は、ネットワークに負担をかけず、ほかのノードにとって利用しやすい形に編集されている方が望ましい。オブジェクト指向方法論からの提案であるが、センサの特性を最も理解しているのは、センサノードの設計者であり、装着部位や検出目標とする動作についても同様である。計測値や変換式はノードの中に隠蔽し、外に対してはメッセージのやりとりだけを提供するという、カプセル化が重要と考える。複数種類のセンサが連携するサービスであれば特に、分野の異なる複数の開発者による連携を意識した設計には意義がある。

2.3. インテリジェンス機能搭載における課題

インテリジェンス機能を実現するには、演算に必要な消費電力とマイコンの処理能力が問題となる。センサネットワークではメンテナンスフリーを目指し、省電力化が重要な課題である[14]。しかし、ここでは、電源は容易に供給されるものとする。処理能力について

は計測値要約の作成でセンサの計測間隔が著しく低下することを避けなければならない。従ってプログラムに工夫が必要となる。回路としてセンサに機能を搭載する方法もあるが、ソフトウェアによる解決も利便性が高いと考える。将来的には、センサネットワーク経由でセンサノードのソフトウェアの書き換えが可能になると期待される。

3. 実機による身体動作計測

本研究では、四肢のうち、最も詳細な動作の情報が得られる利き腕（例えば右腕）にセンサノードを図3のように装着した。幾つかの動作について計測値を収集し、ノードの演算能力で実現できる要約方法を検討した。



図3 センサノードをテープで装着した状態

3.1. 実験に用いたセンサノード

提案方式におけるセンサノードの機能構成を図4に示す。機能システム範囲に対して、必ずしもマイコンを一つ割り当てるものではなく、本稿の実験では、計測値処理系と状況管理系は一つのマイコンで処理している。

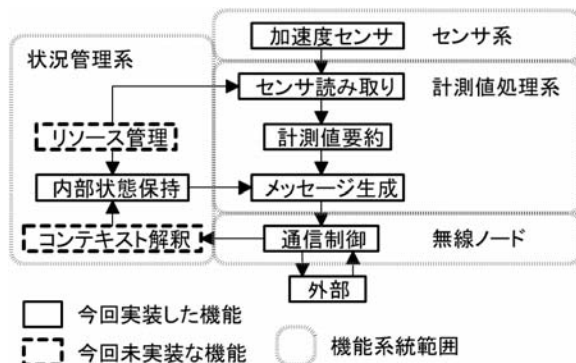


図4 センサノードの機能構成

表2に加速度センサの諸元を示す。

表2 加速度センサ諸元

検知機構	静電容量型	
検出範囲	± 2 (g)(low 型)	
応答周波数	15(Hz)	
共振周波数	X 軸	160(Hz)
	Y 軸	160(Hz)
	Z 軸	195(Hz)
感度	Min	80(mV/G)
	Typ	100(mV/G)
	Max	120(mV/G)

また、表3に加速度センサと接続する無線ノードの諸元を示す。

表3 無線ノード諸元

CPU	PIC16F627A
電源	CR2032 (ボタン電池)
周波数	303.2(MHz)
変調方式	ASK 変調
データ符号化方式	マンチェスタ符号
送信速度	4800(bps) 符号化により 2400 (bps)
アンテナ形状	ヘリカル

3.2. 実験方法

3軸の計測値を単純に発信するプログラムを使用し、8つの動作について実験を行った。動作の一覧を表4に示す。

表4 計測した動作一覧

番号	動作	内容
1	直立して静止 着席して静止	信号の圧縮
2	直立して足踏み タッチタイプ	軽い作業を検出 動作認識の失敗
3	腕を水平に振る	組み合わせの要素
4	ダンベル運動の仕草	エクササイズ リハビリ支援
5	腕を斜めに振る	動作の組み合わせ
6	ボタンを押す仕草	入力方法
7	右パンチ	入力方法
8	掌を返す	入力方法 組み合わせの要素

腕の動作を観察するだけなので加速度センサノードは単数装着とした。ジャイロを搭載していない実機では動作と移動の加速度を区別することが困難であったため、動作は全て

移動しない状態で行った。3軸の値一組を1レコードと数え、200レコードをサンプリングするまで、同じ動作を反復した。

3.3. 実験結果

腕の加速度計測で特徴的な幾つかの結果を計測値の折れ線図表及び代表値の棒グラフとして図5～図12に示す。

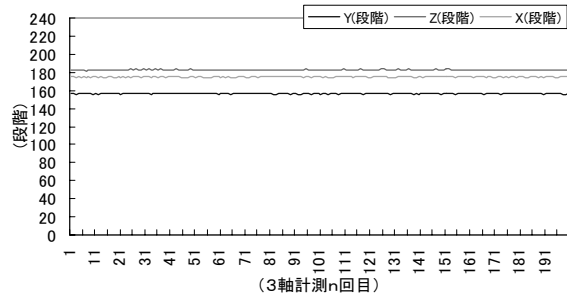


図5 折れ線図表[直立して静止]

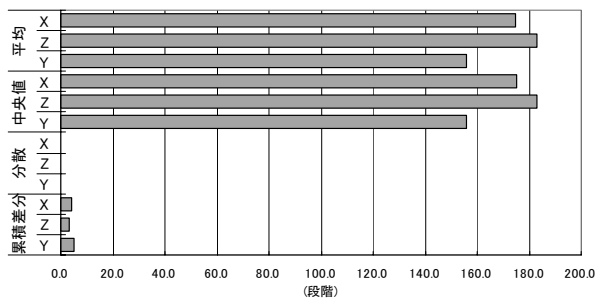


図6 代表値[直立して静止]

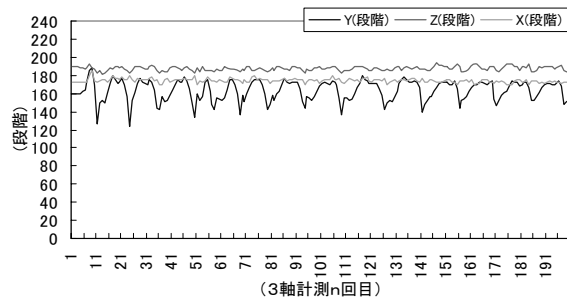


図7 折れ線図表[直立して右パンチ]

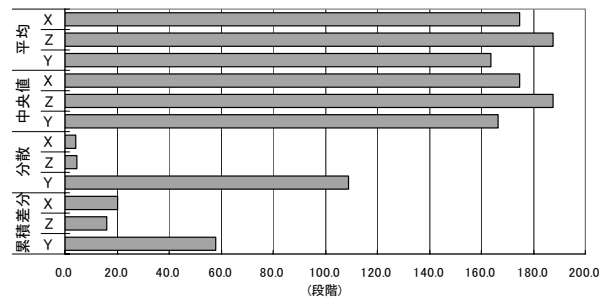


図8 代表値[直立して右パンチ]

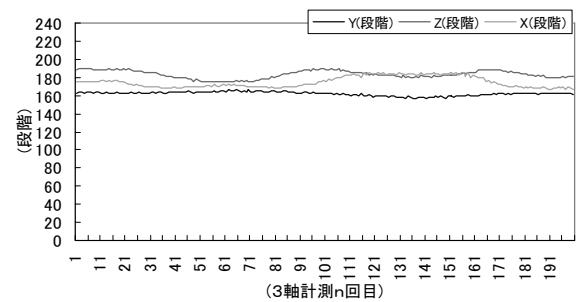


図9 折れ線図表[着席して掌を返す]

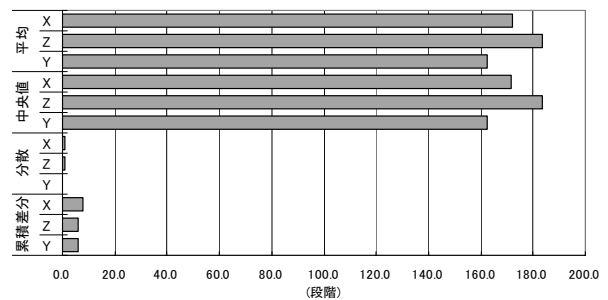


図10 代表値[着席して掌を返す]

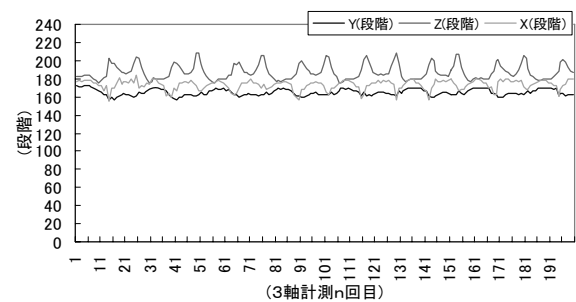


図11 折れ線図表[着席し腕を斜めに振る]

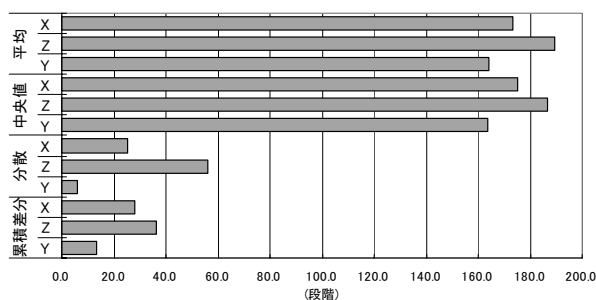


図 12 代表値[着席し腕を斜めに振る]

単位は全て(段階)である。加速度センサの感度を最大にして、256 段階に分けた。その最大値は 255 である。波形の特徴を確かめるだけなので国際単位系への換算は行っていない。代表値は、10 レコード毎に求めて 20 件の配列を作り、さらに配列データから求めた中央値である。10 レコードという制約は、マイコンによる処理能力から決定した。中央値を求めたのは、ノードにボタン電池を付けた衝撃で生じたノイズを除去するためである。折れ線図表を比較すると、各軸について振幅の向きと大きさが動作推測の有効な手がかりになることがわかる。波形頂点の向きについては、要約対象区間の中で、最小値と最大値、どちらが先に現れたかにより判定できる。代表値の有用性を考えるため、「直立して静止状態」（以下、静止状態）と、Y 軸に関する分散が他の軸に対して 20 倍以上大きい「直立して右パンチ」（以下、右パンチ）において、Y 軸に関する代表値を比較する。右パンチと静止状態の各代表値および、静止状態の代表値に対する右パンチの代表値の比率を表 5 に示す。累積差分は、同軸の計測値を数列と見なした場合の、第 n 項と第 n + 1 項の差の絶対値を合計したもので、分散同様、データの散らばりの度合いを求める数値である。

表 5 右パンチと静止状態における Y 軸の代表値と比率

代表値	静止状態 (段階)	右パンチ (段階)	比率
平均	156.0	163.9	1.05
中央値	156.0	166.5	1.07
分散	0.2	109.1	545.50
累積差分	5.0	58.0	11.60

レコード 10 件毎に計算しているため、平均や中央値による動作抽出は難しい。目視し

た波形は明らかに違うのに、平均や中央値では、差が数%しかない。分散と累積差分を比べると、分散の方が、約 47 倍特徴的であるが、条件分岐と加減のみで求められる累積差分でも平均や中央値の 10 倍以上、動作推測の手がかりになることがわかる。最も短い動作は図 7 で示す「右パンチ」だった。そこで、波形の長さから 10 レコードを要約の単位にすることを決めた。それに対し、最も判定に時間がかかる動作を見る。図 9 「着席して掌を返す」の動作が、最も時間のかかる動作であったが、その間隔の長さは他の動作に対し著しい。そのため、この動作については重力加速度の向きを概算して検出することとした。次に長い動作を探すと図 11 に示す「腕を斜めに振る」の 30 レコード相当だとわかった。この動作については、短い動作の複合と解釈することも可能で、以後、複合動作と呼ぶ。

4. 計測値情報量低減機能の実装

4.1. 実装内容詳細

3 軸計測値 30 レコードを 10 レコード毎の波形として分類し、結果をノードの識別子と共に送信するプログラムを作成した。識別子 1 バイトと 3 軸計測値 3 バイトを合わせた 1 送信 4 バイトを 30 件送っていた従来方式に対し、識別子 1 バイトと 10 レコード毎 1 バイトで 30 レコード相当の要約を送る本方式では、120 : 4、すなわち、30 分の 1 の送信量圧縮を目標とする。波形分類の手がかりを表 6 に示す。

表 6 簡易波形分類法

波形	判定方法
変化量の正負	最小値と最大値、どちらが先に登場しているか
周波数の高低	差分累積の量 3 段階
振幅	最大値と最小値の差 3 段階 閾値との比較演算
特に低い周波数	累積差分は少ないのに、10 レコード前の計測値との差が一定以上

各軸計測値の変動を波形として考えて、変化量の正負、周波数の高低、振幅を簡易な計算で大まかに求めている。変化量の正負については、要約区間である 10 レコードのなかで、最大値と最小値、どちらが先に登場しているかで判定する。周波数の高低については、

波形の極の数ではなく、累積差分から求める。振幅は、要約区間における最大値、最小値の差で求める。変化量の正負でも最大値、最小値を用いており、同じ代表値を流用できるアルゴリズムを採用した。周波数の高低のうち、特に低い周波数については、累積差分が少ないにも関わらず 10 レコード毎の 3 軸の計測値変化が閾値を超える場合を検出対象とする。着席か直立かについては不問とした。複合動作以外の各動作には 1 文字の符号を割り当てた。例えば、10 レコード分静止状態が続いた場合、「-」1 文字(Byte)を蓄積する。3 文字蓄積毎に、識別子 1 Byte を付加して、メッセージを作り送信するプログラムとした。

4.2. 実験方法

実験は、3.1 と同じ機材を用いた。センサノードとアクセスポイントを約 5 cm 離して机の上に置き、静止状態における取得情報量の比較を行った。3 軸計測を 1 レコードとし、240 レコード分のメッセージを、メッセージ 1 件につき、識別子 1 Byte を付加して送信する実験を従来方式、提案方式、共に 5 回行った。

4.3. 実験結果

実験結果を図 13 に示す。

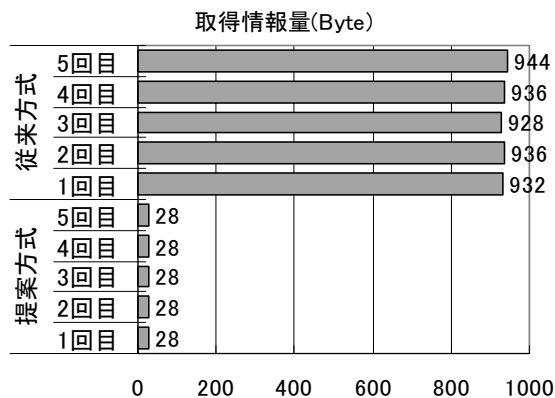


図 13 送信情報量比較実験

両方式の結果それぞれに中央値を求めた上で、比率を求めると、約 33 分の 1 に取得量を低減できているとわかった。従来方式の取得量が必ずしも一致しないのは、実験中の無線信号の欠落や再送が原因と考えられる。

5. おわりに

本稿は、身体動作の分散検出に有用な代表値の選定を行った、また、分散検出によって

送信量を 30 分の 1 以下に低減できることを確認した。識別子は付加できており、複数装着での利用が可能であることを明らかにした。今後は、様々な動作における特性を明確化する予定である。

文献

- [1] 阪田 史郎, “ユビキタス技術 センサネットワーク”, 株式会社オーム社, pp.6-7, 2006
- [2] Stephen S. Intille, Ling Bao, Emmanuel Munguia Tapia, John Rondoni, "Acquiring In Situ Training Data for Context-Aware Ubiquitous Computing Applications", <http://web.media.mit.edu/~intille/papers-files/IntilleBaoTapiaRondoni04.pdf>, 2004
- [3] Y. Kawahara, C. Sugimoto, S. Arimitsu, A. Morandini, T. Itao, H. Morikawa, and T. Aoyama, "Context Inference Techniques for a Wearable Exercise Support System", http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/publications/2005/kawahara_siggraph_05.pdf, 2005
- [4] 新井 将之, 堀切 近史, "ケータイを皮切りにデジタル家電は振って操る", 日経エレクトロニクス 4-11 2005 年 no.897, pp.51-60, 2005
- [5] 山田 剛良, "< 3 軸加速度センサ > 3 mm 角製品が続々登場 200 円切りで普及が本格化", 日経エレクトロニクス 9-11 2006 年 no.934, pp.71-77, 2006
- [6] DoCoMo, Inc., "FOMA N702iS ゆらぐインターフェース 製品 NTT ドコモ", http://www.nttdocomo.co.jp/product/foma/702i/n702is/topics_02.html, 2006
- [7] 旭化成エレクトロニクス株式会社, 旭化成マイクロシステム株式会社, "プレスリリース (世界最小・最薄 6 軸電子コンパスの開発について)", <http://www.asahi-kasei.co.jp/asahi/jp/news/2005/el060322.html>, 2006
- [8] 倉沢 央, 川原 圭博, 森川 博之, 青山 友紀, "センサ装着場所を考慮した 3 軸加速度センサを用いた姿勢推定手法", <http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/publications/2006/kurasawa-UBI-2006.pdf>,

2006

- [9] 林 智天 ,川原 圭博 ,田村 大 ,森川 博之 ,青山 友紀 ,"コンテキスト適応型コンテンツ配信サービス CoCo の実装" ,
<http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/publications/2004/tomotaka-ieice-04f.pdf> ,2004
- [10] 日立金属株式会社 ,"日立金属>プレスルーム>ニュースリリース 2005年 世界最小3軸加速度センサーとワイヤレス3軸加速度センサーを開発・量産" ,
<http://www.hitachi-metals.co.jp/press/news/2005/n0404.htm> ,2005
- [11] ワイヤレステクノロジー株式会社 ,"小型無線加速度センサ Model: WAA-001 取扱説明書 (Ver. 2.1.0 2006.9.20)" ,
http://www.wireless-t.jp/PDF/WAA_001_users.pdf ,2006
- [12] 阪田 史郎, "ユビキタス技術 センサネットワーク", 株式会社オーム社 , p.210,2006
- [13] D.E.カラー ,H.マルダー ,監修:越塚登 , "世界を見守る賢いセンサー網" ,日経サイエンス 2004年9月号 pp.66-75 ,株式会社日経サイエンス ,2004
- [14] 中道 理 ,"Cover Story センサーネット Pert2 ハードウェア 究極の目標はメンテナンスフリー" ,NIKKEI BYTE 2005年2月号 No.261 , pp.20-25 ,2005