

3軸加速度無線センサノードにおける 身体動作分散検出方式

大崎 英誉 諏訪 敬祐

3軸加速度センサとRFIDタグを組み合わせたセンサノードは、小型、軽量で無線通信機能を持ち、人体装着に適する。複数箇所に装着すれば左右非対称の動作など、身体運動を詳細に計測できる。しかし、空間として考えると、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、複数箇所から高頻度かつ一斉にデータを発信すると信号衝突が問題になる。そこで、複数ノード側で計測値を分類し、その結果を文字にして発信する分散計測方式を提案する。計測値を各ノードから随時発信していた従来方式に対し、計測回数を維持したまま、送信データ量を低減でき、文字にノードの識別子を付加すれば装着箇所も識別できることをねらいとする。身体動作の波形特徴と処理能力を踏まえて簡易な波形分類機能をセンサノードに実装した。実験結果として、波形分類機能による身体動作分散検出の認識結果を示した。また、識別子付き検出結果の送信量を従来比30分の1以下に低減できることを明らかにした。

キーワード：3軸加速度センサ、センサノード、センサネットワーク、モーションキャプチャ、ウェアラブルセンサ

1 まえがき

実世界における、人、物、環境を自動で認識するコンピュータ・サービス「コンテキスト・ウェアネス」[1]、[2]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[3]、[4]。装着例を図1に示す。

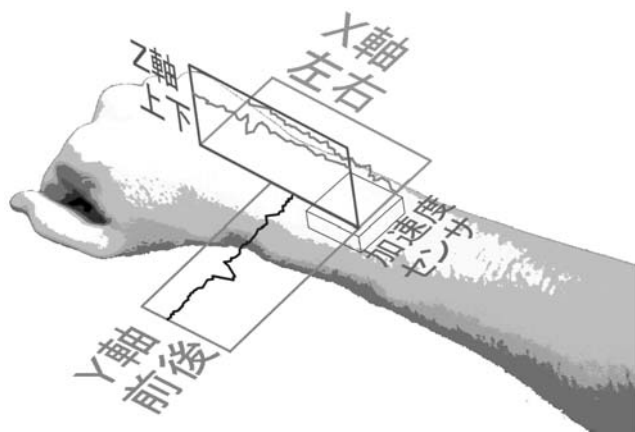


図1 3軸加速度センサ装着による身体動作検出例

無線センサノードを使って加速度センサの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の需要[5]で小型化低価格化[6]が進んでいる。身体状況検出を目的とした加速度センサノードの利用も、さらに普及し、その需要も多様化すると考えられる。

加速度センサによる身体動作検出について、加速度センサノードを採用することの将来性を以下に示す。

- 年々小型化している。
- 年々軽量化している。
- 無線発信できる。
- 大量生産で安くなる。

本稿では、計測値を無線で発信する加速度センサノードを複数装着する方法を、複数装着方式と呼ぶ。

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。加速度センサノードを単数装着する方式と比較すると、装着者の負担は大きいですが、より詳細な情報を得ることができる。複数箇所の身体動作を観測する他の技術と比較した場合、光学式や機械式によるモーションキャプチャに対して検出精度は劣る。しかし、計測値を無線で発信できるうえに、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、以下のような独自の需要がある。

OHSAKI Hidetaka

武蔵工業大学大学院環境情報学研究科博士前期課程1年生

SUWA Keisuke

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科教授

- ・部品組立てや車両運転，介護などの現場においてヒューマンエラーの検出や技能改善を行う。
- ・リハビリテーションやエクササイズについて，その内容を記録する。
- ・プレゼンテーションの進行を支援する。
- ・重度知的障害者の危険や意志を解析する。

本論では，日常生活での利用を含めた普及の将来性からアクティブ型 RFID タグと MEMS センサの組合せによる加速度センサノードの利用を考える。この場合，身体動作のリアルタイム検出を目的とする同期用の回路を内蔵するには容積や価格に対する制約が多く，また，無線チャネルを潤沢に取り扱えるものは少ない。

単数装着の場合，計測値は，モバイル用のパーソナルコンピュータや PDA に集約して処理することが多い[4]。これは，センサ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が短く，ホップ数も少ないため，中継による遅延は問題にならない。単数装着であれば，センサノードを使わず，計測値の集約先にセンサを内蔵して，計測結果をその場でサービスに利用する方法もあり，この場合では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，各ノードの無線信号が互いに届く狭い空間で，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信号の衝突が問題となる。

本稿では，上記課題を解決するため，ノードにおいて，加速度の波形を要約し，計測データの送信量を低減する身体動作分散検出方式を提案する。送信データ量を減らすことで信号衝突の解決を試みるものである。

従来方式では，ノードは計測と送信に専念し，信号解析はアクセスポイントに集約して行っていたのに対し，提案方式の解析をノード側にも分散する方法について機能と適用効果を明らかにする。

2 身体動作分散検出システム

2.1 ネットワーク構成

センサノードのデータの最も手軽な利用方法は，パーソナルコンピュータとの連携である。この場合，シリアルポートや IP ネットワークによる両者の接続が必要である。

加速度センサノードを単数装着していた従来方式と，加速度センサノードを複数装着する提案方式における，ネットワーク構成の比較を図2に示す。

従来方式では，図2. aのように，加速度センサノードを単数装着して，計測値を無線発信していた。微弱無

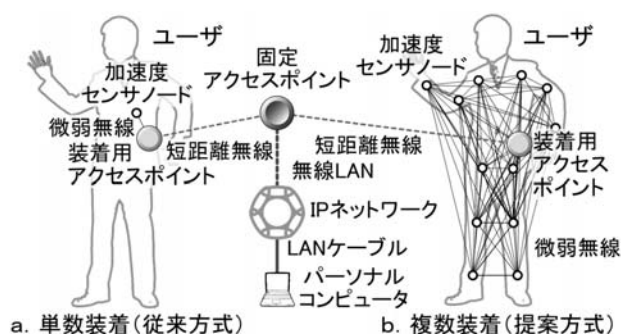


図2 従来方式と提案方式におけるネットワーク構成の比較

線によるリンクはセンサノードとアクセスポイントを結ぶ1箇所だけであるため，信号衝突の危険はなかった。

提案方式におけるネットワーク構成を図2. bに示す。加速度センサノードを人体に複数装着しているため，提案方式に対して微弱無線のリンクが大量に存在していることが特徴である。この状態で，コンテキスト・アウェアネスを目的とした身体動作の検出を行おうとすると，各センサノードが狭い空間で高頻度にデータを送信することになり，微弱無線の信号衝突が深刻になる。

2.2 センサノードの機能構成

従来方式のセンサノードは，計測値の一時保存や発信に重きが置かれていた。内部で行う処理も，平滑化のようなデータ読み取りの作業に近いものや，自由落下の検出など，単純なものに留まっていた。これはセンサノードに最も要求される性能が小型化，軽量化，省電力化の実現を優先するからである。

人体複数装着を目的とした加速度センサノードについては，今後，数年以内に，小型化，軽量化，省電力化が充分に実現されると考え，本稿では，その後必要となるノードの機能について検討する。

具体的には，計測値処理系における使用目的に沿った計測値要約機能や，外部からの情報によって計測値の解

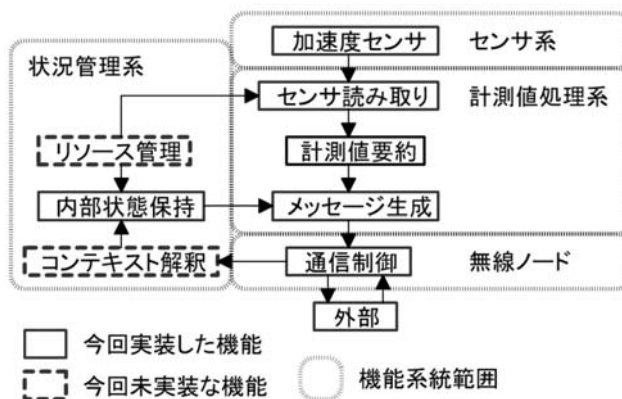


図3 提案方式におけるセンサノード機能構成

積を変化させるコンテキスト解釈機能をノードに内蔵することを提案する。提案する機能構成の詳細を図3に示す。

2. 3 簡易波形分類法

3軸それぞれの加速度を1回ずつ計測した1組みの値を1レコードとする。その上で、本稿は、10レコードを単位区間として波形の要約を行うこととした。これを簡易波形分類とよぶ。単位区間の値は、事前の準備実験から、最も速い動作だったパンチの計測結果を元に決定した。これより区間の長い動作については、波形の中の特徴的な一部分を検出するか、短い動作の連続として検出することとした。まず、3軸それぞれの加速度の波形に対し、特徴抽出を行い、その結果を総合して動作の検出を行うこととした。

センサノードの演算処理能力を踏まえた、加減と条件分岐だけで行える波形の特徴判定方法を、数式で表現し、式(1)～(9)に示す。各式において、 a_1 から a_{10} は単位区間における10レコードの計測値それぞれを表す。

$$I = \begin{cases} 1 & (i_{\max} \geq i_{\min}) \\ 0 & (i_{\max} < i_{\min}) \end{cases} \quad \dots (1)$$

I は、全体としての上昇又は下降を表す。 i_{\max} は単位区間内最大値の添え字、 i_{\min} は単位区間内最小値の添え字とする。

$$A_{temp} = a_{\max} - a_{\min} \quad \dots (2)$$

a_{\max} は単位区間内最大値、 a_{\min} は単位区間内最小値とする。

$$A = \begin{cases} 0 & (A_{temp} < A_{middle} \text{ のとき}) \\ 1 & (A_{middle} \leq A_{temp} < A_{large} \text{ のとき}) \\ 2 & (A_{large} \leq A_{temp} \text{ のとき}) \end{cases} \quad \dots (3)$$

A は、振幅の大きさを表す。 A_{middle} 、 A_{high} は、定数とする。

$$f_{temp} = \sum_{i=2}^{10} |a_i - a_{i-1}| \quad \dots (4)$$

$$F = \begin{cases} 0 & (f_{temp} < f_{middle} \text{ のとき}) \\ 1 & (f_{middle} \leq f_{temp} < f_{high} \text{ のとき}) \\ 2 & (f_{high} \leq f_{temp} \text{ のとき}) \end{cases} \quad \dots (5)$$

F は、計測値の散らばりを表す。 f_{middle} 、 f_{high} は定数とする。

$$P_P = \begin{cases} 1 & (a_{10} < a_{punch} \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases} \quad \dots (6)$$

P_P は、10レコード毎の値と当該しきい値の関係を表す。 a_{punch} は、定数とする。

$$P_B = \begin{cases} 1 & (a_{10} > a_{button} \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases} \quad \dots (7)$$

P_B は、10レコード毎の値と当該しきい値の関係を表す。 a_{button} は、定数とする。

$$P_N = \begin{cases} 1 & (a_{10} < a_{not_raise}) \\ 0 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases} \quad \dots (8)$$

P_N は、10レコード毎の値と当該しきい値の関係を表す。 a_{not_raise} は、定数とする。

$$P_T = \begin{cases} 1 & (|a_{10} - a_{last_a10}| > a_{twist} \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases} \quad \dots (9)$$

P_T は、10レコード毎の値と当該しきい値の関係を表す。 a_{last_a10} は前回の a_{10} の値とする。 a_{twist} は、定数とする。

3軸それぞれの波形について特徴判定を行った結果を用いた動作検出のための決定方法を表1に示す。Pの列のP, B, N, Tは、それぞれ、 P_p, P_B, P_N, P_T が1であることを示す。数値の上の線は「この数値ではないこと」という否定を表す。-記号は不定を表す。呼称イ、ロの動作については、重複した検出を防止するため、直前に同一の呼称の動作を検出していた場合、今回の検出を棄却する。

表1 簡易波形分類法による動作決定表

呼称	I			A			F			P			動作
	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	
イ	-	0	-	-	2	-	-	-	-	-	P	-	パンチ
ロ	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	B	ボタンを押す
ハ	-	-	-	-	-	-	0	0	0	2	N	-	掌を返す
ニ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	静止
ホ	上記以外全て											不明	

2.4 パケット構成

パケット構成について、従来方式と提案方式の比較を図4に示す。従来方式では、図4上段に示す通り、1レコードにノードの識別子1Byteを付加して1回あたりの送信データとしていた。それに対し、提案方式では、図4下段に示すとおり、10レコードを単位区間として波形の要約を行い、結果を1Byteの文字とした。30レコード分、つまり3Byteの文字を蓄積した上で、識別子を付加する。送信1回あたりのデータ量は、従来方式と同様合計4Byteとした。



図4 従来方式と提案方式のパケット構成

3 提案方式センサノードの検証

3.1 実験における諸元

実験では、提案方式におけるネットワーク構成に対し、幾つかの変更を行った。変更内容の詳細を図5に示す。



図5 提案方式と実験方式における構成の差異

固定アクセスポイントの諸元を表2に示す。アクセスポイントの構成要素として用いているアクティブ型RFIDタグについては、諸元の詳細を表3に示す。また、固定アクセスポイントの写真を図6に示す。

表2 固定アクセスポイント諸元

アクティブ型RFIDタグ	表3を参照 (ただし電源についてはACアダプタを使用)
IPネットワーク用変換モジュール	Xport (日本Lantronix株式会社製)
電源	5V ACアダプタ (内部で3.3Vに変換)

表3 アクティブ型RFIDタグ諸元

CPU	PIC16F627A
電源	CR2032 (ボタン電池)
制御ソフトウェア	SenAccPC.asm
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

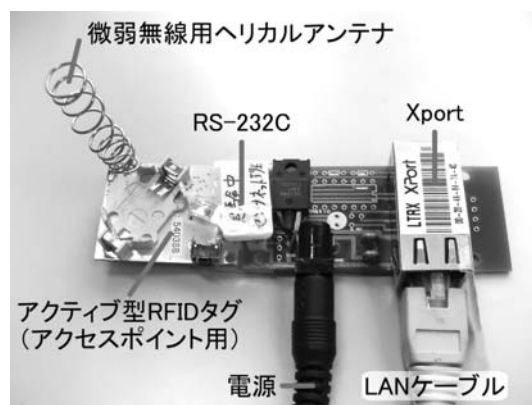


図6 固定アクセスポイントの写真

パーソナルコンピュータの諸元を表4に示す。

表4 パーソナルコンピュータ諸元

形状	ノート型
OS	Windows2000
Xport アドレス検出用ソフトウェア	Lantronix DeviceInstaller 3.6.0.6
Xport パケット変換用ソフトウェア	Lantronix Ridirector (for Win32 3.0.0.2)
受信用アプリケーション開発言語	Borland C++ Builder 6

実験ではすべて、表5に示す加速度センサと、表3に示すアクティブ型RFIDタグをRS-232Cで接続して加速度センサノードとした。センサ読み取り用マイコンに使用した制御プログラムは、従来方式と提案方式で異なっているため、共通の諸元としては示していない。アクティブ型RFIDタグについては、固定アクセスポイントに用いたものと同じハードウェアを用いている。

加速度センサノードの写真を図7に示す。

表5 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)
センサ読み取り用マイコン	PIC16F88	

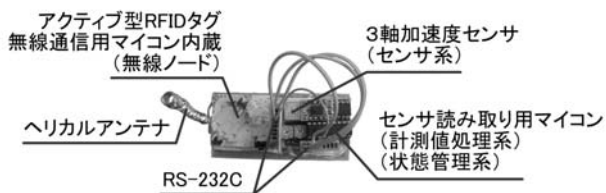


図7 加速度センサノード写真

実験における加速度センサノードの装着状態を図8に示す。



図8 加速度センサノード装着状態

3. 2 簡易波形分類法による身体動作検出実験

「静止」「パンチ」「ボタンを押す」「掌を返す」「それ以外」という5種類の動作について、2. 3のアルゴリズムに基づき、身体動作分散検出を行うための簡易波形分類法を加速度センサノードに実装した。

加速度センサノードを装着し、着席した状態で、「パンチ」、「ボタンを押す」、「掌を返す」の動作について各60回ずつ行ったときの検出結果を記録した。

3. 3 身体動作検出の結果と考察

動作検出の結果から各動作60回の試行に対する検出の割合を求めた値を図9に示す。ここで検出とは、動作に割り当てた文字を受信した場合と定義し、その前後に重複や他の文字が混入した場合でも成功とした。これは、実際の利用では、動作の前後が完全な静止状態である状態はまれであるという考えに基づく。

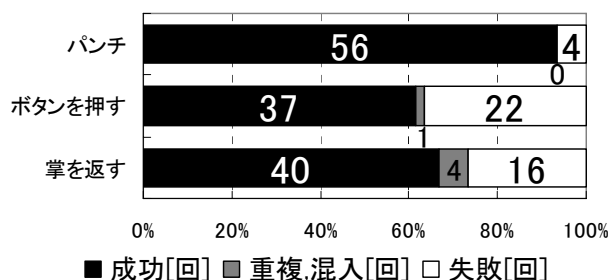


図9 簡易波形分類法による動作検出結果

検出対象としたすべての動作で60%以上、特にパンチについては90%以上の認識率となった。受信した文字を実際の操作に変換するアプリケーションでは、今回の認識率を踏まえたプロシジャを用意すれば、サービスの実証も可能であると考えられる。例えば、認識率の高いパンチをクリックの代替とし、低い「ボタンを押す」については、使用頻度と緊急性が低いコマンドを割り当て、重複や

混入が多い「掌を返す」については、単位時間あたりの個数を踏まえてコマンドを動作させればよいと考える。認識の失敗は動作の速さが乱れたときに多く発生すると推定される。このため、波形の特徴抽出方法に改善の余地があると考えられる。

3. 4 送信データ量比較実験

従来方式と提案方式について、送信データ量の比較実験を行った。ノードは、それぞれの方式について、図4に示すパケット構成に基づき240レコード分のデータを発信する設定とした。固定アクセスポイントにおける受信データ量によって比較を行った。送信は、無線電波の減衰、反射によるデータ欠損を抑えるため、静止したノードをアクセスポイントに隣接させた状態で行った。図10に加速度センサノードと固定アクセスポイントの配置状態を示す。実験は従来方式と提案方式について各5回ずつ行った。

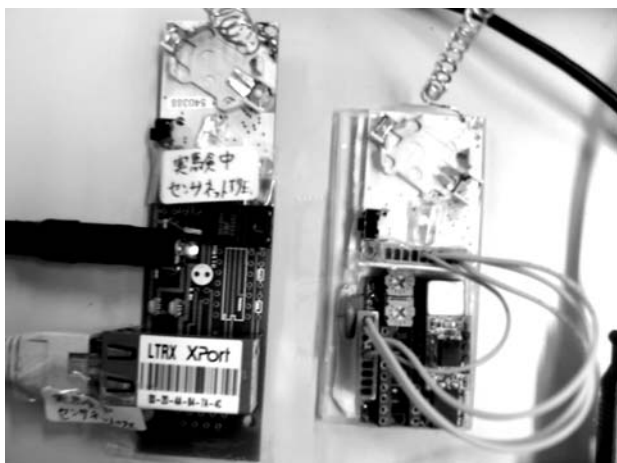


図10 送信データ量比較実験における機材位置関係

パーソナルコンピュータ側のデータ受信アプリケーションでは、識別子1Byteを含めて受信文字数とした。

3. 5 送信データ量比較の結果と考察

送信データ量の比較結果を図11に示す。

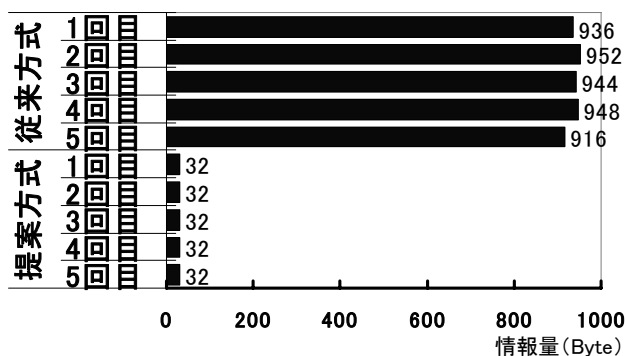


図11 送信データ量比較実験の結果

図11より、提案方式は、従来方式に対して送信データ量を約1/30に低減できた。発信データに識別子を付加した上での結果であることから、提案方式のノードは複数装着した上での装着部位特定を実現できると考える。従来方式における送信データ量のばらつきは、無線の減衰、反射が原因と考えられる。

4 むすび

本研究は、加速度センサノードを身体に複数装着することで、身体動作の詳細な情報を得ることを目的とする。

その実現にあたり、加速度センサノードの単数使用を前提とする従来のシステム構成では、複数箇所からの高頻度大量発信により微弱無線の信号衝突が問題となる。そこで、加速度センサノード側において信号を要約してから無線発信する身体動作分散検出方式を提案し、実装と検証を行った。

身体動作を分散検出するため、簡易波形分類法を考案した。それを加速度センサノードに実装し、その動作検出の特性を明らかにした。これにより、分散検出方式による身体動作検出を実現できた。分散検出により、計測結果の送信データ量を約1/30に低減できた。これにより、複数装着における信号衝突を防ぐため通信トラフィックを低減する、という目的を実現できた。

識別子の付加したパケット構成の実装により、無線チャンネルを十分に用意できない、という想定において加速度センサノードを複数装着した場合でも装着箇所の識別が可能となった。これにより、左右非対称であるかなど、動作の詳細な検出が可能となった。

今後は、動作検出の高精度化について検討する。また、提案したシステムによる実証実験を行う予定である。

謝辞

本研究及び論文作成にあたり、実験機材の解析、修復、試験機器の提供並びに構築作業に多大な協力を頂いた小倉信彦准教授に厚く感謝の意を表します。試験機器の提供を快諾して下さった小倉研究室の方々にも厚く御礼申し上げます。さらに、諏訪研究室センサネットワーク班をはじめとする関係者にも深い感謝の言葉を申し上げます。

参考文献

- [1] 坂村 健, “ユビキタスコンピューティングが変える社会,” “第3章: コンテキスト・アウェアネス,” http://www.iii.u-tokyo.ac.jp/research/symposium/past_sympo_isics/2003/Sakamura_web/ann_S3.

- html, 2003
- [2] 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
 - [3] Stephen S. Intille, Ling Bao, Em-manuel 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
 - [4] 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
 - [5] 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
 - [6] 山田 剛良, “<3軸加速度センサ> 3mm 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
 - [7] ワイマチック株式会社, “ユビキタス社会に向けた超小型無線ネットワークノード,” ワイマチック株式会社, p6, 2005
 - [8] スター精密株式会社, “ACA302 SPEC V1_1,” スター精密株式会社, p1, 2004
 - [9] 大崎 英誉, 諏訪敬祐, “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,” 情報処理学会研究報告, pp59-66, vol. 2006, No. 120, 2006