

# センサネットワークによる人動態の多点計測

## Multi-points sensing for human action by using sensor network devices

○安田貴弘\*, 佐川貢一\*, 久慈憲夫\*\*, 小野俊郎\*

○YASUDA Yoshihiro\*, SAGAWA Koichi\*, KUJI Norio\*\*, ONO Toshiro\*

\*弘前大学大学院理工学研究科, \*\*八戸工業高等専門学校電気情報工学科

キーワード：多点計測(multi-points sensing), 人動態センシング(sensing for human action)

無線センサネットワーク(wireless sensor network)

〒036-8561 弘前大学大学院理工学研究科弘前市文京町 3

Corresponding：小野(e-mail:tono@cc.hirosaki-u.ac.jp)

## 1. 緒言

人動態のセンシングは、スポーツ・娯楽・医療など様々な分野で需要がある。特に、スポーツ工学やリハビリテーション工学の分野において、故障からの回復などの判断は医師やトレーナーの感覚的な判断に任されることが多く、医師やトレーナーによって指導や退院などの基準があいまいであると考えられる。これらの問題に対して近年では医師などに依らない定量的な解析が注目され始めており、効率的なリハビリ方法の検討や、スポーツにおける怪我の原因究明など、多くの需要が見込まれる<sup>1)2)</sup>。一方で従来の人動態センシングの手法は、高価で大型の設備が必要とされるものが多く容易に導入できない。また、有線式による手法では、多くの機械部品を有線により連結して装着する事になるため、身体的拘束が大きいという欠点がある。これらの問題は、リハビリテーションなどの被験者に負担がかかるのが望ましくない分野においては、設置場所の制限や身体的拘束の観点から運用

が難しい。そのような点から、安価で無拘束な人動態センシングの手法として、小型で低消費電力な MEMS デバイスを用いた加速度・角速度センサによって人体の動きを取得する研究がされている。しかし、これらの研究においても、複数点のセンサを有線で繋ぐ必要性や、データロガーといった計測機器を同時に携帯する必要がある、それによる拘束が懸念される。また、多人数での同時測定を考えた際、個々の時間同期が困難であるということから、無線によって離れた位置の計算機にデータを送る事が求められている。

本報では、市販の無線センサネットワークデバイスによる人動態センシングに注目し、多点計測を考慮した人動態センシングへの適用性を評価した<sup>3)</sup>。

## 2. 実験方法

### 2.1 センサネットワークデバイス

図 1 に本実験で使用した無線センサネットワークデバイスである Crossbow 社の「Mote キ

ット」を示す。Mote キットは、センシングデータを無線によって送信するセンサノード(a)と、パソコンに USB で接続され、センサノードから送られたデータを受信してパソコンに中継するための基地局(b)によって構成される。各種センサ入力はセンサノード(a)上面に取り付けられたセンサボードのアナログ入力チャンネルに接続され、Mote キット内の A/D コンバータにて A/D 変換される。センサノードによって取得されたデジタルデータは、パケットに格納されて 2.4GHz 帯の無線によって基地局へと送信される。

Mote キットは内蔵されているプログラムを任意に変更する事が可能である。初期状態のプログラムでは、サンプリング間隔 1000[msec]と低速であり、高速なサンプリングが必要である人動態センシングに適しているとは言えない。そこで本研究では、人動態センシングに適しているサンプリング間隔 10~20[msec](50~100[Hz])を目標としてサンプリングプログラムをカスタマイズすることで、高速な人動態センシングへのサンプリング性能を評価した。

## 2.2 サンプリング検討

図2に Mote に入力したノコギリ波の図を示す。また、図3は Mote キットから出力されるサンプリングデータの簡易図である。Mote キットの外部入力是人動態センシングに必要な 6 軸センサを取り付けることを想定し 6 チャンネルとした。センサノードにおいては、測定した 6 チャンネルの外部入力を 1 パケットに格納して送信するプログラムを作成した。実験にはファンクションジェネレータ(33210A, Agilent)を用いて、センサボード上に



(a)センサノード+センサボード



(b)基地局 +USB接続ボード

図1. センサネットワークデバイスMoteキット

接続し、アナログ電圧関数を入力することで、その入力電圧を疑似的にセンサ信号としてセンサノードに認識させた。また入力した電圧関数は、視覚的に見やすく関数式を導出しやすいノコギリ波(図 2)とした。ノコギリ波は、0~3[V]で周波数 10[Hz]に設定した。センサノード数を 1~6 個と増加させて多点同時測定を行い、生成されたノコギリ波と Mote キットが測定した電圧値(図 3)を比較し、多点計測でのサンプリング間隔やデータの取得率について評価した。

## 2.3 時間同期性能評価

人動態センシングに応用する際には、多点での時間同期性についての検討をする必要がある。センサネットワークは、無線によって単一のパソコンへと送信されるため、複数のノードを用いてもパソコン測定ソフトウェアの絶対時間によって統一することが可能である。離れた場所での同時測定において時間同期が可能な点は、人動態センシングにおける多点測定では非常に有利な点であると言える。これは、人動態センシングにおいて関節に複数装着した際、ノード同士の時間差が解析後の各リンクの誤差に顕著に現れると考えられるからである。センサノードは、ノード同士

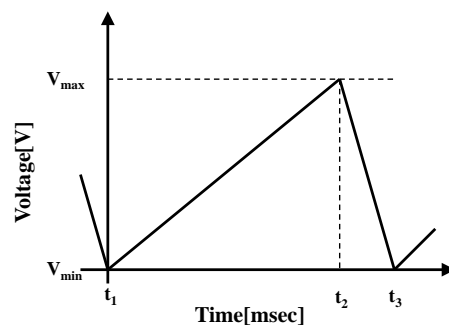


図2. ファンクションジェネレータ出力電圧(ノコギリ波)

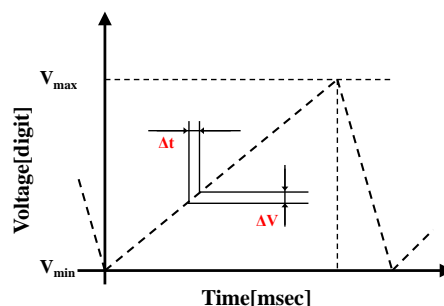


図3. Moteサンプリングデータ

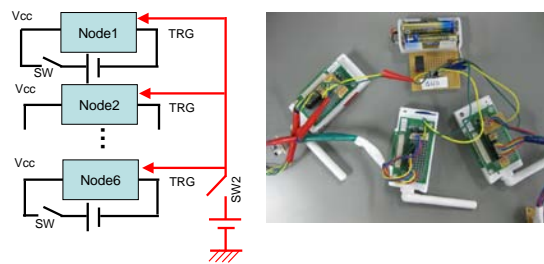
の通信がないため、ノード間で同期されておらず、パケット送信のタイミングは電源投入のタイミングに依存する。そこで、Mote のサンプリングプログラムをトリガー信号の入力によってサンプリングを開始するように変更を加えた。

図 4 にトリガーと各センサノード間の接続の様子を示す。トリガー信号は、3V 電源を使い分岐接続により同時に与える。これにより、複数のセンサノードにおいて電氣的に同時にサンプリングを開始させることが出来る。このときの各ノードの先頭パケット時間差を見ることで、各ノードのサンプリング同期が取得出来ているか確認を行った。

## 2.4 人動態センシング方法

無線センサネットワークデバイスが人動態センシングへ適用可能かどうか複数ノードの同時サンプリングを行った。

図 5 に作製した 6 自由度センサと実際に足に装着した時の様子を示す。6 自由度センサには、MEMS による 3 軸加速度センサ (MMA7260QT, Freescale Semiconductor) と、2 軸 (XY, XZ) 角速度センサ (LP5150AL, STMicroelectronics) を用いている。また、その



トリガーをによる同時サンプリング回路

実際にトリガーとノードを接続した様子

図 4. トリガーと各センサノード間の接続



6自由度センサ

実際に足に取り付けた様子

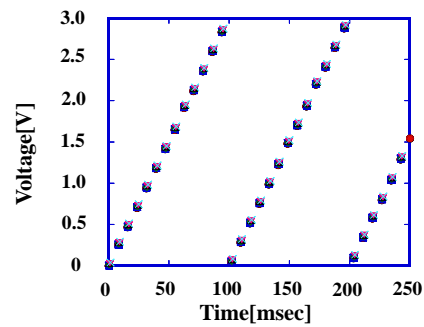
図 5. 6軸センサデバイスとその取り付け

6 自由度センサを各軸が直交するようにホルダーを作製し、9V 電池と一緒に 1 つの箱に収納した。測定には、無線の優位性を確認するために歩行者が交差するコースを用意し、被験者が交差路において接触を起こさない様に、被験者の開始時間を遅延させてから歩行をさせる。実験の際、歩行者は床に描かれている設定コース上を各歩行者の歩行テンポを統一する為にメトロノームを用いて歩行してもらった。歩行後に各センサノードによって送信された加速度・角速度の出力データを元に歩行解析プログラム<sup>4)</sup>(弘前大学佐川研究室作製)を用いて歩行軌跡を算出し、実際のコースとの誤差を比較した。

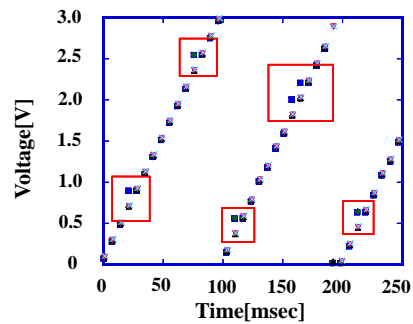
## 3. 実験結果と考察

### 3.1.1 ノードサンプリング性能評価

データのサンプリング間隔は MOTE プログラム内のリピートタイマーによって制御される。MOTE 内のタイマー設定値( $T_r$ )は、 $T_r=1$  の時で  $0.98[\text{msec}] (\cong 1.0[\text{msec}])$  となっている。図 6 に 6 チャンネルの入力を使用した際の 1 ノードにおける Mote キットの基本サンプリ



(a)  $T_r=8 (\cong 7.81[\text{msec}])$



(b)  $T_r=7 (\cong 6.84[\text{msec}])$

図 6. 1ノードでの高速サンプリング

ング性能を示す。プログラムのカスタマイズによりサンプリングタイマー設定値(Tr)の値を順次下げることでサンプリング速度を高速化していったところ、Tr=8の時(a)まででは、ファンクションジェネレータの出力と Mote のサンプリングデータは一致しており、安定してサンプリングが行えていることが確認出来た。しかし、Tr=7以下(b)になるとデータのエラーやパケットの抜けが頻出して正常にサンプリングが行われてはいなかった。これにより、1ノードにおけるサンプリングではタイマー設定値 Tr=8(≒8msec)が、安定して測定できる最短サンプリング速度と考えられる。このことから、1ノードでは100Hz以上の十分高速なサンプリングが行えることが分かった。

### 3.2 多ノードサンプリング性能評価

人動態センシングを想定した場合、手足などのリンクを考え3点以上の多点測定が必要とされる。また無線では、データの抜けであるパケット抜けが存在し、より良いサンプリ

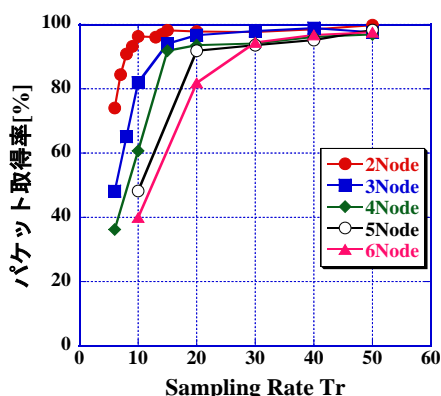


図7. 2~6ノードにおけるパケット取得率

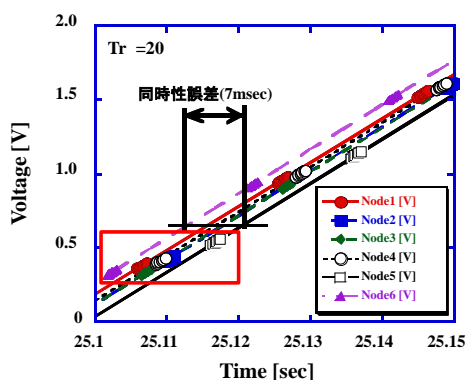


図8. 6ノード同時サンプリング評価

ングを行うには、高いパケット取得率が必要である。図7に、サンプリングレートを変えた際の2~6ノードにおけるパケットの取得率を示す。図から6ノードまでにおいて、Tr=20以降でパケット取得率が95%近くを示し、飽和する傾向にあることが見て取れる。以上から、人動態の解析を想定した多点同時サンプリングにおいても20~30[msec]間隔で90%以上のパケット取得率が確認でき、人動態センシングにおいて十分適用出来ると考えられる。

### 3.3 多ノードにおける時間同期性

図8は、トリガー信号によりノード間で開始時間を同期させた受信パケットの取得結果を示す。実際の測定では、センサノードは6個まで同時に測定を行い、Moteのプログラムは、サンプリング間隔をTr=20に設定して行っている。多ノードセンシングにおいて計測をする際に、各ノード間の取得タイミングは、同時期であることが望ましい。図に四角で表された様な一定範囲内に、6ノードの受信パケットがまとまって取得していることからトリガー信号によるノード間での同期がなされていると考えられる。一方で、受信した時間がずれてしまう同時性誤差が生じているが、6ノードにおいても7[msec]と設定したサンプリングレートに対して小さいものであると言える。この誤差は、基地局にデータが集中した為の輻輳に起因するものだと考えられる。

### 3.4 複数人による同時歩行測定評価

これまでの実験結果を踏まえ、パケット取得率等の観点から、センサデバイスのサンプリング間隔をTr=20に設定し測定を行った。

図9に、実験に使用した設定コースを示す。また、図10に3人の歩行者による歩行軌跡の同時測定を行った結果を示す。図に表されている黒いラインは歩行者が歩いた設定コースであり、赤・青・緑の線は、センサデバイスの実測値から歩行軌跡を表したものである。その結果から、設定コースに対し僅かなずれはあるが、歩行軌跡は十分設定コースに沿って歩行されていることが確認出来る。これにより、複数ノードによる同時サンプリングに適用可能であることが確認できた。

#### 4. 結言

市販の無線センサネットワークデバイスのプログラムをカスタマイズし、サンプリング速度の高速化と時間同期性を考慮した多点計測実験を行った。また、実際に3人の歩行者による歩行軌跡の同時測定を行い、人動態センシングに適用可能か評価した。

多ノードサンプリング評価実験においては、サンプリングレート 20~30[msec]間隔で 90%以上のパケット取得率が確認でき、人動態センシングにおいて十分適用出来る事が確認出来た。次に、トリガー信号を用いた多ノードセンシングにおける時間同期性評価では、各ノード間でのパケットは一定範囲内に収束しており、トリガー信号によるノードの同期を確認した。以上を踏まえ、実際に複数人による同時歩行実験に適用した結果、実測値からの歩行軌跡では設定コースの軌跡を確認する事ができ、良好なサンプリング結果が得られた。

以上より、市販の無線センサネットワークデバイスは、カスタマイズを行うことにより、無拘束 6 ノードでの高速な同時サンプリングが応用可能であり、多ノードによる人動態センシングへの適用が期待される。

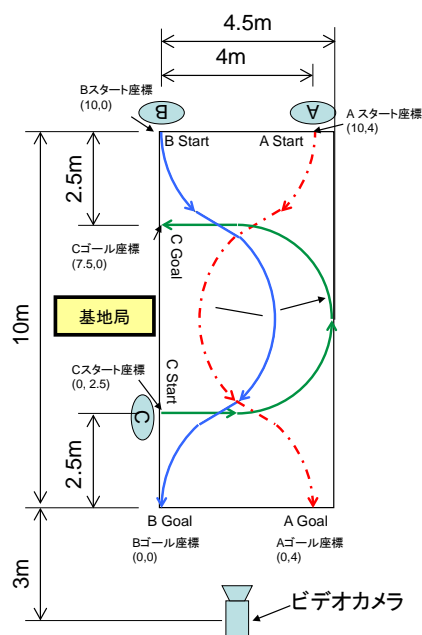


図 9. 実験に使用した設定コース

#### 謝辞

本研究の一部は弘前大学機関研究の支援を受けて実施した。

#### 参考文献

- 1) 久慈憲夫:センサネットワークによる生活リズム解析システム, 八戸工業高等専門学校紀要, 第 41 号, (2006)
- 2) 安藤繁(編):センサネットワーク技術, 東京電機大学出版局, (2005)
- 3) 大平進:センサネットワークデバイスの人動態センシングへの応用, 2009 年度精密工学会東北支部学術講演会, pp.25-26 (2009)
- 4) 三島啓太, 佐川貢一:つま先装着型センサを用いた歩行分析システムの開発, 生体医工学会 Vol.47, pp.238 (2009)

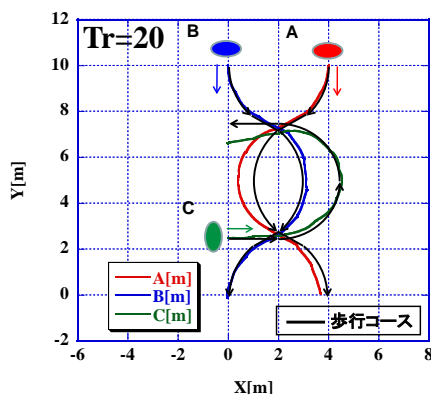


図 10. 多ノードによる同時歩行測定結果