

# センサネットワークによるコードレス健康状態モニタ法の検討

## Wireless monitoring of physical conditions by sensor network

○鈴木翔一\*, 久慈憲夫\*

○ Shoichi Suzuki \*, Norio Kuji \*

\*八戸工業高等専門学校

\*Hachinohe National College of Technologfy

キーワード： 安全確認 (monitarng of safty), 無線通信 (wireless communication), センサネットワーク (sensor network), 加速度センサ (acceleration sensor), 心電図センサ (electrocardiogram sensor)

連絡先： 〒039-1192 八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 電気情報工学科  
久慈憲夫, Tel.: (0178)27-7288, Fax.: (0178)27-7288, E-mail: kuji-e@hachinohe-ct.ac.jp

### 1. はじめに

高齢化社会の進行と共に、高齢者が安心安全に暮らせる家庭内環境を作ることが必要になっている。特に故郷に老親を残し都会で働く人々にとっては、老親世帯の健康状態を遠隔地から把握でき、対策を打てるような手段は不可欠である。これらを実現する方法として、部屋の明るさや温度などから高齢者の生活リズムをモニタすることで、安否確認をする方法<sup>3)</sup>と、高齢者の身体に取り付けて生活リズムをモニタし健康状態を確認する方法<sup>2)</sup>がある。両者のモニタを併用することで、より大きな安心が得られると考えられる。前者については、筆者らはセンサネットワークを用いて、家庭内の温度や湿度などの環境情報を収集し、生活リズムをモニタすることで、高齢者の見守りを行うための実験システムを構築した<sup>1)</sup>。しかしながら、センサネットワークを構成する市販センサノードは高価であり、家庭内に多数配置するためには、よ

り低価格なものが必要である。また後者については、市販のセンサノードは低電力低速の計測を目的に設計されているため、心拍や加速度などの比較的高速の測定を行うには難がある。すなわち、複数のセンサノードの同時計測において、送信パケット同士の衝突によるバックオフの発生などのため、データをリアルタイムで送信するための通信速度を保証することは難しい。そこで、本研究では、前者の目的のため市販のマイコンと無線モジュールを組み合わせた低価格のセンサノードを試作し、評価を行った。後者については、体に身につけるための小型化センサノードを開発し、複数のセンサノード間での混信がない高速の通信アルゴリズムを開発した。これらを混在させ、室内のみならず体にセンサを取り付けて検知することで、より様々な情報が得られ安全が確保できると考えられる。本報告では、開発したセンサノードの概要、通信アルゴリズム、実環境での評価結果を述べ、最後にセンサノードの混在に関する考察を述べる。

## 2. システム構成

### 2.1 基本的な考え方

Fig. 1 にシステムの構成図を示す。低電力低速計測用、高速計測用の2種類のセンサノードからなる。低電力計測用は照度や温度、脈拍など主に生活環境情報を間欠的に測定を行い、長時間計測とマルチホップ通信による通信距離の延長、ネットワークへの参加、離脱を容易としている。一方、高速計測用は加速度変化や心電図などの測定を行う。低速測定ノード、高速測定ノードを混在させ、各種センサを取り付けた複数のセンサノードからセンサデータを親機に無線送信する。親機は受信したセンサデータをパソコンに送り、サーバー上のデータベースへ書き込む。データベースのセンサデータを解析し、日常の平均的な値とのずれを検出した場合に異常としてメールにより異変を知らせる。

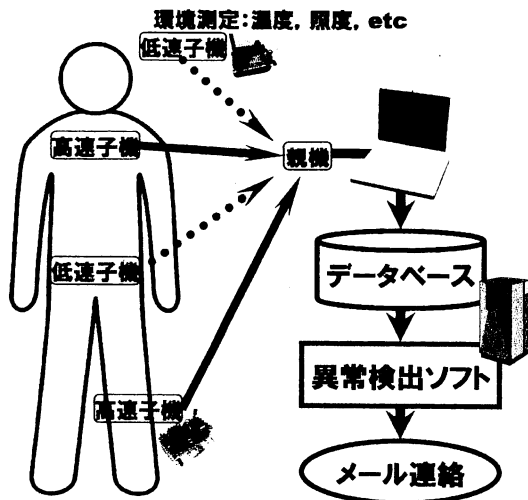


Fig. 1 システムの構成

### 2.2 センサノードの構成

センサノードは、CPU、無線通信モジュール (RFM 社 CDC-TR-01A、送信周波数 303.825MHz)、各種センサ、A/D 変換器からなる。CPU には PIC マイコンを用い、シリアル信号を無線モジュールに入力し、無線通信を行っている。低電力用にはサイズの制

限が無いため、実装が容易な PIC16F877-20/P を用い、2.54mm ピッチの基板上に部品を配置した。また、高速用には体に取り付ける観点から高密度実装用の PIC16F687-I/SO を用い 1.25mm ピッチ基板上に実装した。結果 25mm × 45mm と小型化できた。CPU として 16F877 を使ったセンサノードは A/D 変換ポートが 8 ポート、16F687 を使った場合には A/D 変換ポートは 9 ポート使用可能である。両 CPU 共に動作周波数は 20MHz で動作している。Fig. 2 にセンサノードの外観を示す。

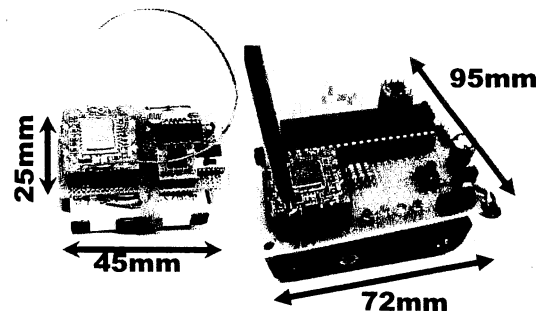


Fig. 2 センサノードの外観

## 3. 通信アルゴリズム

### 3.1 低電力通信

複数のセンサノードによる環境計測を行うにはセンサノード間での混信が無いこと、自立的にネットワークを形成できることがあげられる。そのための通信アルゴリズムとして CSMA/CA 方式による通信アルゴリズム<sup>3)</sup>を採用した。センサネットワークの低電力化は、必要な時以外はセンサノードをスリープ状態におくことによって実現できる。しかしこれを実現するには、1) センサノードをソフトウェア制御によりスリープ状態にできること、2) ネットワークとしての動作に影響が無いことが必要である。2) の条件を満たすには、受信側を常に動作させる必要があるため、2つの条件を満たすのは送信部分のみである。センサノードがデータ送信する際、①サンプリング、② A/D 変換、③データ送信、④待機の動作を行う。

常時動作の場合には、送信モジュールは動作①②③④の間動作し送信時以外でも電力を消費する。しかし送信モジュールは、③データ送信のときのみ動作していればよく、それ以外は停止状態でも差し支えない。従って動作①②の間はスリープさせ、③のデータ送信時に起動命令で送信モジュールを起動する。③のデータ送信が終了後、停止命令により送信モジュールを停止させ④待機に移る。これにより、送信モジュールの駆動電力のうち①②④分の電力を削減する。

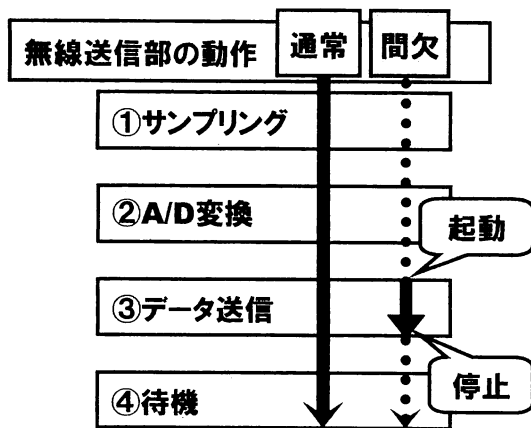


Fig. 3 低電力化アルゴリズム

### 3.2 高速通信

転倒や心電図を測定するためには複数のセンサノードと通信を行いながら10ms以下の間隔でサンプリングする必要がある。複数のセンサノードによる通信の衝突を避けるために用いたCSMA/CA方式では、通信の衝突が発生すると待ち時間が発生するため、10msの通信速度が保障できない。そこで、高速通信を行うためセンサノード間協調動作による新たな通信アルゴリズムを検討した。これはセンサノードに順番を付け、番号とデータをペアにして送信する。それぞれのセンサノードが他のセンサノードの信号を受信して自分の番を知り、順番通りにデータを送信する方法である。Fig. 4に通信アルゴリズムを示す。送信順番が決まっているため、通信の衝突が無く子機の送信間隔を詰める事で通信を高速化できる。

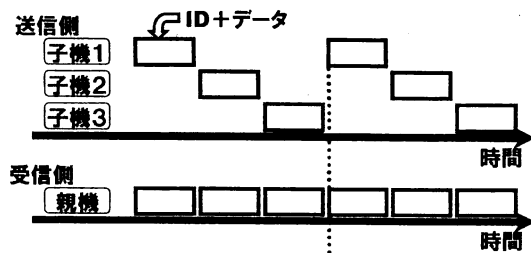


Fig. 4 協調動作による通信アルゴリズム

## 4. システムの評価

### 4.1 センサノードの性能

センサノードの消費電流の大部分はCPUと無線モジュールが占めている。低電力用ノードは、単3電池4本直列にしてレギュレータICにて5Vを供給している。回路全体での消費電流は16mAである。無線モジュールをスリープ状態にした時の消費電流は6.25mAであった。アルカリ電池の標準容量は2000mAhなので、約125時間連続駆動する。1分に1回計測など間欠動作させた場合には、送信時に16mA消費するがデータの送信に1msにも満たないので実質の平均消費電流は6.25mAとすることができるため、320時間駆動すると推測される。

高速通信用ノードは、小型化のため携帯電話用のLi-ion電池を用い、1セルで容量820mAhである、回路全体での消費電流は17.3mAであった。よって約47時間連続動作すると推測される。CPUのクロックを20MHzにすることでRS232C通信速度を115.2kbpsとした。また、プリアンプルなどのオーバーヘッドを4Byteまで詰める事で、通信速度を向上させた。結果、1ノードでの最高計測度は毎秒1440回、3ノードでは毎秒380回のデータ計測が可能となった。

なお、無線モジュールには電界強度を調整するための可変抵抗により消費電流が大きく変化するため、可変抵抗を調整し、約10mまで通信できるようにした。

## 4.2 照度・体温・脈拍の監視

低電力センサノードを部屋に設置し部屋の明るさと室温を計測した。Fig. 5 に計測結果を示す。これにより、照明を点けた時間や消した時間などが分かり、大まかな生活リズムを観測することが出来る。同じように室温の変化を計測する事で、冷暖房を点けた時間などからも生活リズムを観測することが出来る。本センサノードを体に取り付けて、体温や脈拍を測定できる。脈拍センサによる脈拍測定した。結果を Fig. 6 に示す。センサは脈に対してデジタル出力するため方形波が得られる。正確な脈拍数を計測するには、センサノードが脈拍を測定し続け、平均値をデータとして無線送信するようなプログラムに変更する必要がある。

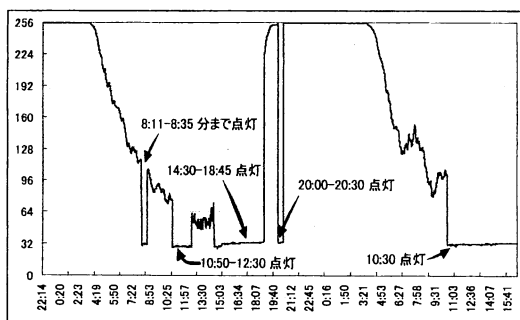


Fig. 5 室内の明るさの計測例

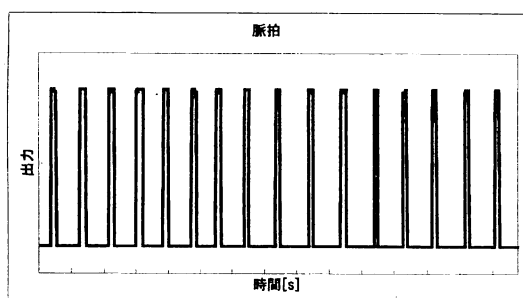


Fig. 6 脈拍の測定例

化の様子を計測した。計測結果を Fig. 7 に示す。転倒時には3個全ての加速度センサに衝撃が加わるため、瞬間的に大きな加速度変化が観測される。この変化をプログラムにより検出する事で、転倒検出が可能であることを確認した。

安静時の加速度センサの各軸出力を比較する事で体位推定を試みた。取り付け位置は転倒検出と同じである。左膝と腹に付けたセンサノードの出力だけをまとめたグラフを Fig. 8 に示す。2つのセンサノードの x,z 軸出力が中央値 (128) 付近で Y 軸の出力が 170 付近と大きい時は、椅子等に座っている状態であることが分かる。腹位置の出力が水平状態と同じで、左 Z が中央値付近かつ、左 X が小さく左 Y が大きい場合は仰向けに寝ている状態であるということが分かる。よって軸出力の違いにより体位を推定できる。

心電図センサ (S & ME 社、心電図センサ) を付けたセンサノードにより心電図の測定を行った。結果を Fig. 9 に示す。センサの校正值より実際の計測値を求めた結果、実際の計測値は 3.03mV である事が分かった。また、周期から心拍数は 72.9BPM である事が分かった。これより心電図の測定が良好に行われたことが分かる。このセンサノードを用いることで受信時間から周期を計算し、心拍数が正確に求めることが出来る。

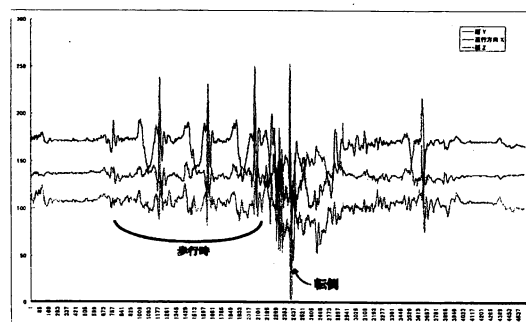


Fig. 7 転倒時の加速度変化の測定例

## 4.3 転倒検出・体位推定・心電図監視

高速センサノードに3軸加速度センサを付け、腹、右膝、左膝の3箇所、体に取り付け歩行時の加速度変

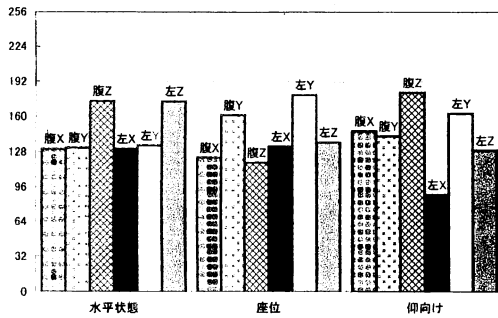


Fig. 8 安静時の体位に対応した加速度センサ測定例

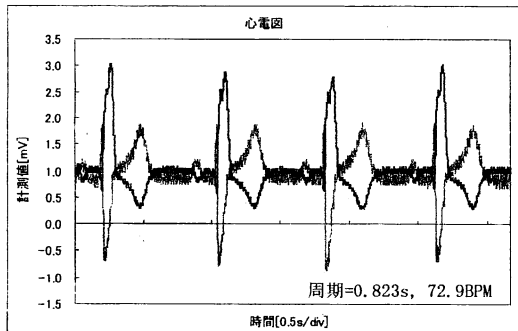


Fig. 9 心電図の測定例

## 5. 考察

低速ネットワークと高速ネットワークを混合させる方法について考察する。1つの方法は高速通信側に定期的に例えば1分間に1度CSMA/CA方式が通信できる数秒間の停止時間を設け、低速通信側がその数秒間の間をCSMA/CA方式により検出し、通信を行う方法がある。停止期間の長さによっては高速側の計測に支障をきたす可能性がある。

もう1つの方法は低電力側のCSMA/CA方式をやめ、高速側に合わせて通信する方式である。これは、低電力側の子機にも順番を付け、番号1番のセンサノードが測定データを送信する中で、1分に1回程度などの低電力側の測定に合わせた間隔で、低電力側のセンサノードが送信するための信号を送り、一時的に高速側のネットワーク中に低速側ネットワークを組み込み、センサの測定を行う。低電力側ではタイマーにより時間を計測し、自分の順番が来そうになったら

スタンバイから復帰し、受信状態で待つことで1番のセンサノードの信号を受信、確認してから自分のデータを送信する事が出来る。この方法では低速側センサノードは間欠動作も出来るため、長時間動作が可能である。マルチホップ通信が出来なくなり、通信距離の拡大が出来ないが、小面積の家屋で使用する場合には大きな問題にならない。

## 6. まとめ

低電力測定においてはCSMA/CA方式によりセンサネットワークを形成し環境測定が可能なることを確認した。高速測定については協調動作通信方式により、3センサノードで10msのサンプリング速度を実現し、体位推定や転倒検出、心電波形への応用が可能となった。今後は異常検出ソフトウェアの検討を進める。

## 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 pp.29~34
- 2) 鈴木翔一、久慈 憲夫、「センサネットワークによる患者異常検知システムの検討」平成21年度東北支部連合大会、H21.8.20-21 発表予定
- 3) 荒川 智、久慈 憲夫、「無線センサによる患者モニタのコードレス化」、計測自動制御学会 東北支部 第236回研究集会、236-8、2007.6.15