

無線センサによる患者モニタのコードレス化

Cordless monitoring of physical conditions by wireless sensors

荒川智*, 久慈憲夫*

Satoshi Arakawa*, Norio Kuji**

*八戸工業高等専門学校 電気情報工学科

*Hachinohe National College of Technology

キーワード: 無線センサネットワーク (Wireless Sensor Network), 低消費電力化 (Low Power algorithm), 通信プロトコル (Communication Protocol), 医療モニタ (Medical Monitoring), データパケット (Data Packet)

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

病院内では、患者の容態をモニタするために、ベッド上に寝たまま各種生体センサ（心電図、血圧、脈拍など）を取りつけモニタする姿がしばしば見かけられる。しかし、各センサは有線でありベッド上のモニタ機器に接続されているため、センサの数が増えると患者はコードによりベッドに縛り付けられた状態となる。そのため、寝返り等による機器の落下、断線、また患者本人の束縛によるストレスが問題となっていた。これらの生体センサ モニタ機器間の接続を無線によりコードレス化できれば、患者モニタの事故を減らすことができるだけでなく、患者の負荷も大幅に軽減できると考えられる。一方、近年の無線通信機器の小型化の結果、センサと無線通信器を一体化し、センサ同士で無線通信を行う計測技術（センサネットワーク）が注目されるようになり、市販品も市場に提供されるに至っている。センサノードの標準化が進

めば、量産効果により低価格が期待でき、種々の応用が検討されている。そこで我々は、無線センサネットワークを生体センサ モニタ機器間の接続に導入する方法を検討した。このような応用においては、センサノードの電源は設置を容易にするため電池を用いる必要がある。しかし無線通信には一定量の電力が必要であり、電池の寿命を延ばすため低電力化が必要である。また、複数のセンサを体の各部位につける必要があるため、複数のセンサからの信号の衝突を避けるような工夫が不可欠である。そこで本報告では、通信プロトコルの観点から、センサノードの消費電力の軽減、及び複数のノード間通信の方式を検討し、有効性を確認した結果について述べる。

2. システム構成

導入を検討した市販センサノードは、心電図などのセンサでは 100Hz 以上の測定を行うため、サンプリング速度が 1ms 以上が必要であることを考慮し、Ni3

(アーズ社)を採用した。その特徴は、1)CPUにPICを使用しているため、C言語プログラムを自由に書き換えられること、2)センサの取り付けが外付けなので組み込みが容易である、などが挙げられる。Ni3の外観写真はFig. 1に示すとおりである。Ni3は複数の子機センサノードとPCとのインタフェースである親機からなる。子機は外付けのセンサによって測定したデータを303.825MHzの微弱無線により親機に送られる。親機が受信したデータはRS232Cケーブル経由でPCに送られる。1

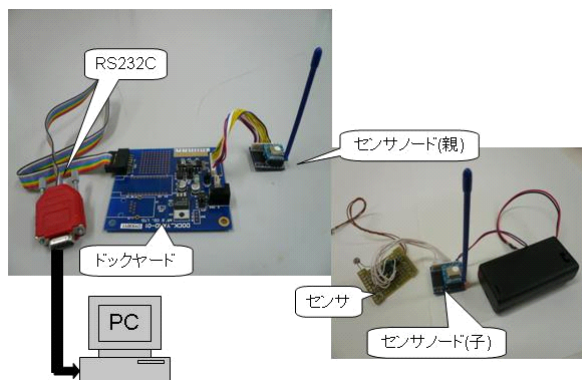


Fig. 1 システム構成

3. 低電力化アルゴリズム

Ni3の通常動作では、PICはサンプリング中、A/D変換中、データ送信中、待機中、の全てにおいて電力供給が行われた状態で常時動作が行われている。その様子をFig. 2の上(常時動作)に示す。センサのデータを送出する観点からは、送信モジュールは必要な時だけ動作させ、その他の状態では電源電圧を下げ、スリープ状態にすれば低電力化がはかれることになる。このような間欠動作をさせた場合の動作を、Fig. 2の下(間欠動作)に示す。具体的には、データ送金の直前に送信モジュールを起動し、データを送信後送信モジュールをスリープモードに移行することでこれを実現した。その際、どちらの場合でもPICは常に動作している。Fig.3は低電力化通信のプログラムのフローチャートである。省電力モードとは、送

信モジュールをスリープモードに移行させるだけでなくLEDの動作停止も行い、電力消費を抑制する。まず省電力モードをONし、データの送信間隔の調整のため一定の時間待機した後、サンプリング・A/D変換を行い、省電力モードをOFFして、データを送信する。その後省電力モードをONし待機する。センサノード子機の動きはこの繰り返しとなる。

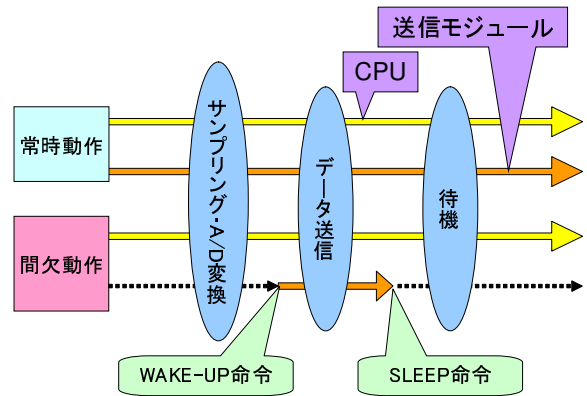


Fig. 2 データ送信アルゴリズム

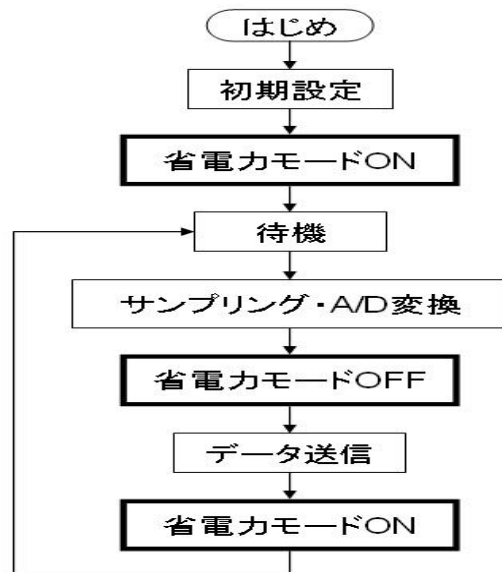


Fig. 3 低電力化通信のフローチャート

4. 複数ノード間通信アルゴリズム

4.1 データ送信

多数のセンサノードからのデータをPCが正しくデータを受信するには、(a) 別々のセンサノードから

のデータが同時に到着することによる混信を避けること、(b) データの発信元の識別を行うこと、が必要である。まず、(a) への対応策としては、自身が受信状態になり、他のノードがデータを送出しているかどうかを確認する。送信ノードが無いときにのみ、データを送信するように各ノードを動作させることで、唯一のノードがデータ送信を行う状態が実現でき、混信が避けられる。次に、(b) の解決策としてセンサデータにノード番号を付け加え、パケット化して送ることとした。両者を一組にして送出することでセンサノードの識別を行う。Fig.5(a)(b) にパケットの構造を示す。Fig.5(a) の場合、センサデータの種類の1つのみと仮定して考えたためセンサデータの後ろにノード番号を付け加える形をとった。Fig.5(b) の場合、センサデータの種類の複数と仮定して考えたためセンサデータの前後にノード番号を付け加える形をとった。この2種類のパケット構造を比較すると、受信データを見たときにパケットの破損の有無の確認のし易さから Fig.5(b) のパケット構造のほうが有効であると考えられる。Fig.4 にフローチャートを示す。他ノードからのデータの確認を行い、他ノードからのデータが無かった場合にデータ送信する。他ノードからのデータ確認の動作は、まずデータを受信し、その受信データからパケットを取り出す。次にパケットの有無の確認をし、パケット数が0の場合データを送信し、パケット数が0でなかった場合他ノードのデータ送信待ちとして一定時間待機させ、その後データ受信からやり直す。

4.2 データ受信

受信データを解析するためには、破損していないパケットの抽出 (パケットの構造は Fig.5(b) を使用) をすること、ノードごと、センサの入力ポートごとの受信データを分配すること、が必要となる。そこでC言語による受信データの解析プログラムを作成した。全体のフローチャートを Fig.6 に示す。受信デー

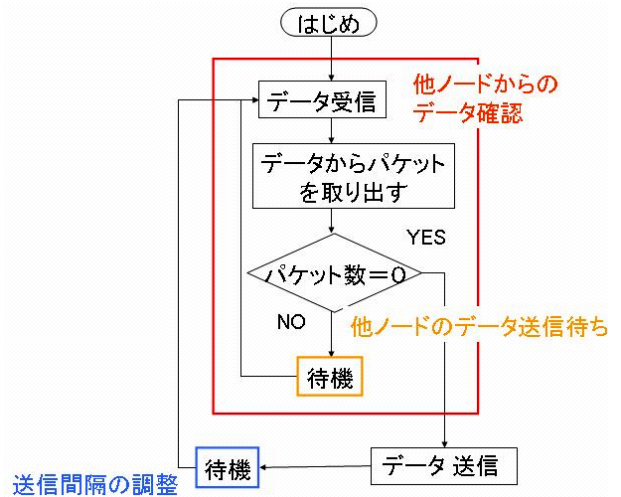


Fig. 4 データ送信アルゴリズム

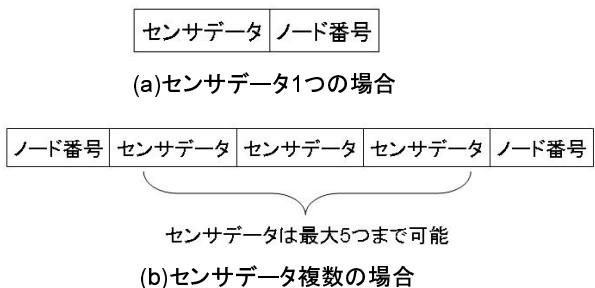


Fig. 5 低電力化通信のフローチャート

タファイルを読み込み、配列として格納する。次に受信データから破損していないパケットの抽出を行う。これにより、断片データを削除し必要なデータのみを抽出する。抽出したパケット群から各ノードごとにセンサデータを分配し、その結果に基づいて受信状況 (データが正しく届いた割合) の計算を行い、各センサごとの受信状況の値を表示する。破損していないパケットの抽出条件は、1) ノード番号 (前) とノード番号 (後) の値が等しいこと、2) そのノード番号 (前) とノード番号 (後) の間にあるデータ数とあらかじめ設定しておいたセンサデータ数が等しいこと、である。この条件を完全に満たすものを選ぶことで、パケットを抽出することができる。また抽出したパケットは新しい配列に格納される。 Fig.7 にこれらの条件下で解析した様子を示す。ここではセンサデータを2つの場合で考える。始めに0番からセ

ンサデータ数 2 個分離れた 3 番のデータを確認する。ここで 0 番と 3 番が等しくかつあらかじめ設定しておいたノード番号であることが確認できたなら受信データ列 0 番～3 番はパケット構造をとっており有効なパケットであるということでパケット抽出データ列に入れられる。同じように次は 4 番から確認すると 4 番と 7 番は等しくないなのでこの 4 番～7 番の受信データ列はパケット構造をとっていないと判断し、パケット抽出データ列には入れない。その場合そのまま番号を 1 ずらし今度は 5 番～8 番で同様の解析を行う。このようにして受信データ列からパケットを抽出していく。Fig.8 にデータの解析結果の表示例を示す。

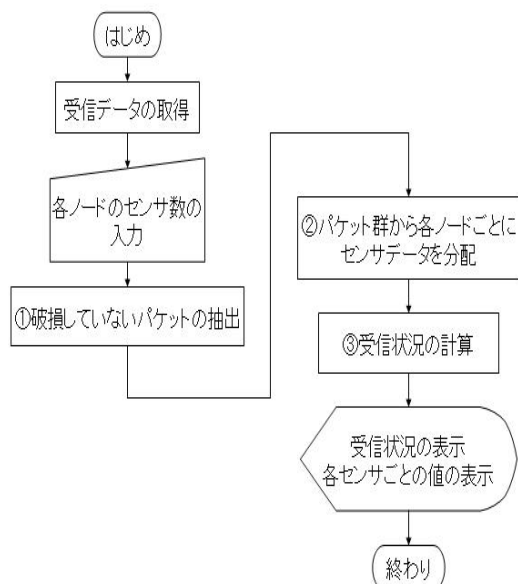


Fig. 6 受信データ解析 (全体フローチャート)

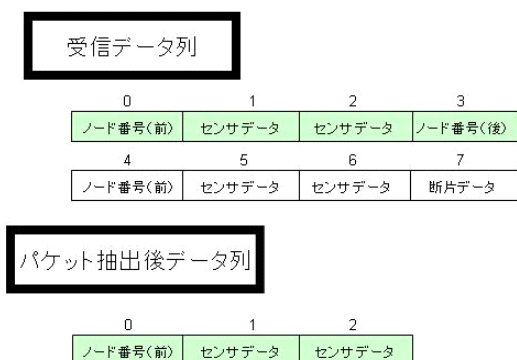


Fig. 7 受信データ解析 (パケット抽出)

```

*****各nodeごとの受信率*****
node.No0の受信率 = 25.0[%]
node.No1の受信率 = 25.0[%]
node.No2の受信率 = 25.0[%]
node.No3の受信率 = 25.0[%]
*****
*****全体の受信率*****
有効データ = 100.0[%] 破棄データ = 0.0[%]
*****
<node No.0>
-----
port0  port1  port2  port3  port4
-----
10      10      10      10      10
20      20      20      20      20
30      30      30      30      30
  
```

Fig. 8 データの解析結果の表示例

5. 評価結果

5.1 低電力化アルゴリズム

低電力化アルゴリズムについては、常時動作、間欠動作 (a) (LED を常時点灯した状態)、間欠動作 (b) (LED はデータ送信 5 回に 1 回点滅) の 3 つの動作を行わせ、ボタン型電池と単三アルカリ電池の両者について電池寿命を比較した。ボタン型電池の場合、最低駆動電圧を 2 V とした時の電池電圧の変化を調べた結果、Fig.9 のグラフに示すとおりとなった。常時動作の場合約 3.2 分、間欠動作 (a) の場合約 39 分、間欠動作 (b) の場合約 32 分となり改善率は最大で約 12 倍を示した。単三アルカリ電池の場合、最低駆動電圧 2 V とした時の最高駆動時間を調べた結果、Fig.10 のグラフに示すとおりとなった。しかし 100000 秒の時間内に、最低駆動電圧 2 V まで低下しなかった。そこで、単三アルカリ電池の標準放電カーブを用いて 2 V に低下するまでの時間を推定した。その結果、常時動作の場合約 4.1 時間、間欠動作 (a) の場合約 103 時間、間欠動作 (b) の場合約 99 時間となり、改善率は最大で約 2.5 倍を示した。

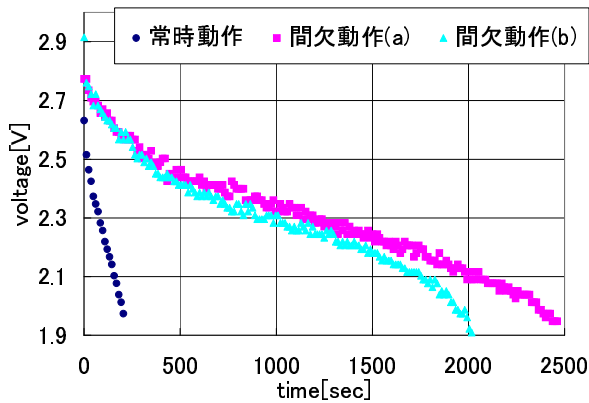


Fig. 9 ボタン電池の電圧変化

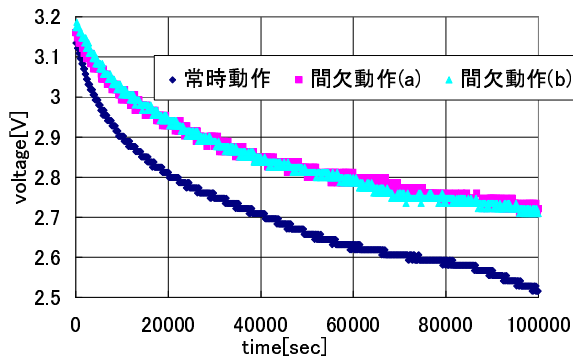


Fig. 10 単三アルカリ電池の電圧変化

5.2 複数ノードとの通信プロトコル

複数ノードとの通信プロトコルを評価するために、評価指標として (a) 全体のパケットの受信率と (b) 各ノードごとの受信率の2つの受信率を導入した。

まず (a) であるが、これは受信したデータのうち破損していないデータの存在率を意味する。その計算式は以下ようになる。

$$\text{全体の受信率} [\%] = 100 \times \frac{\text{破損していないパケットのデータ数}}{\text{受信した全データ数}}$$

次に (b) であるが、これは受信データで前述したパケットの構造を保ったままのデータのうち、各センサーノードごとの受信できた割合を意味する。この計算式は以下ようになる。

$$\text{ノード番号 } x \text{ の受信率} [\%] = 100 \times \frac{\text{ノード番号 } x \text{ の格納データ数}}{\text{パケット抽出後の全データ数}}$$

これらの計算を行うことで、受信データの解析を行った。次に複数ノードとの通信の評価として親機 - 子機間の通信距離とデータ送信間隔の評価を行っ

た。親機 - 子機間の距離の評価において距離の変化、センサーノード数の変化で受信状況がどのように変化するかを調べた。データ送信間隔については、データの送信間隔の変化、センサーノード数の変化により受信状況はどのように変化するかを調べた。親機 - 子機間の通信距離の評価結果を Fig.11 に示す。全体をみると、ノード数によらず通信距離が約 2m 付近まで受信状況が 100 % という値を示している。ノード数が 1 個の場合をみると、最大通信距離は約 5m となっている。しかし 5 m では受信状況は非常に悪くパケットを受信できていない。また Fig.12 ではノードを 4 つ同時使用したときのノードごとの受信率を示した。各ノードも 25 % 付近の値を取っているがノード番号 1、2 の間に配置したノード番号 0、3 はノード番号 1、2 と比べて低い値となっている。次に、データ送信間隔の評価結果を Fig.13 に示す。ノード数によらずデータ送信間隔が 0.15 秒以上では受信状況が 100 % になっている。ノード数が 4 個の場合はデータ送信間隔が 0.3 秒付近ではノード数の少ない場合と比べても低い値をとっている。

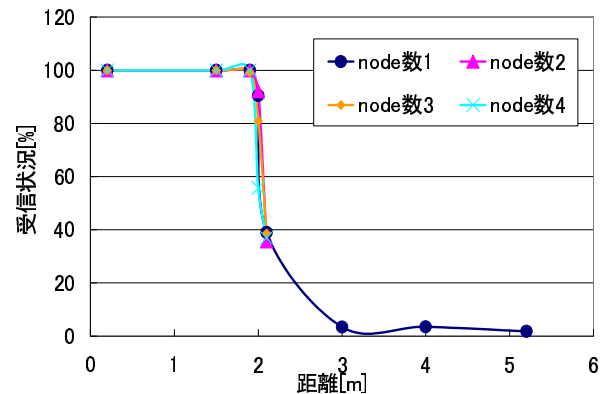


Fig. 11 通信距離の評価

6. 考察

6.1 低電力化について

ボタン型電池の改善率は約 12 倍、単三アルカリ電池の改善率は約 2.5 倍となったが同じアルゴリズムを使用してのこの改善率の違いの理由として考えられ

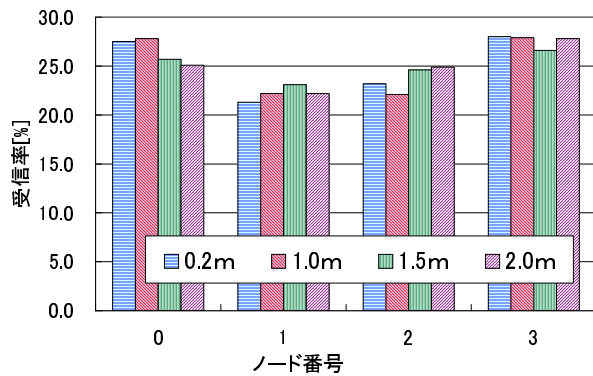


Fig. 12 各ノードの受信率と距離の関係

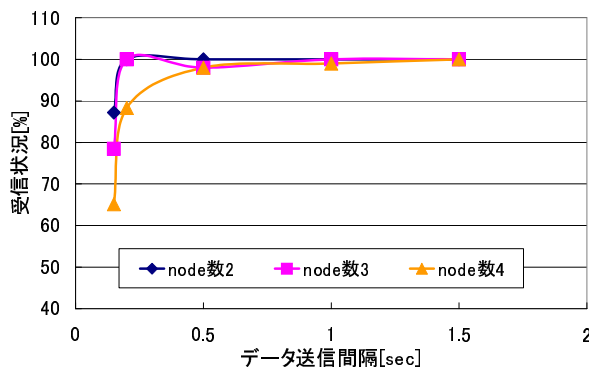


Fig. 13 データ送信間隔の評価

るのは、電池の容量の違いと考えられる。電池の最大放電電流はボタン電池で 1~10mA と少ない値となっている。ボタン電池の最大放電電流が低いことから、電池に予想以上の負荷が加わり約 3.2 分という短い動作時間を示したと考えられる。このため流れる電流を抑制できれば、改善率は 2.5 倍に近づくのではないかと考えられる

6.2 複数ノードとの通信について

まず通信距離の評価では 2m 付近まで通信が可能ということがわかった。ベッド上の患者に使用する限りは、2m でも十分と考えられる。また各ノードの受信率については、他のノードの間に配置されているノードは若干の受信率の減少がみられるものの、距離によらずほぼ均等となった。データ送信間隔については、最低 0.15 秒以上必要である。実際のセンサでは 100Hz 以上の測定が必要になるが、この測定デー

タを一定時間蓄積し一度に送信するという方式にすれば送信時間の制約は問題とならない。データ送信間隔が短くなればなるほど消費電力は増加するので低電力化の面からも望ましい。

7. まとめ

病院内での患者モニタをコードレス化するため、市販センサノードの導入を検討した。本報告では、センサノードの消費電力の軽減、複数のノードとのデータ通信の実現をめざし、低電力化通信アルゴリズムと複数ノードとの通信方式を実現するプログラムを開発し評価を行った。評価の結果、まず低電力化通信では単三アルカリ電池の動作時間を 44 時間から 103 時間に増やすことができた。次に複数ノードとの通信では、通信距離は 2m 以内で病院内での使用環境の範囲内であり、データ送信間隔は 0.15 秒より遅ければ使用できるということが確認できた。今後は、常時モニタを可能にするデータ解析プログラムの開発を進め、病院内への導入が可能な無線センサシステムを実現する予定である。

参考文献

- 1) http://www.arsjp.com/SensorNetwork/SN_index.htm
- 2) <http://www.aster-world.com/soft/commchk.html>
- 3) 後閑 哲也、「改訂版電子工作のための PIC16F 活用ガイドブック」、技術評論社、2004.10.5