

Ka バンド衛星回線によるボディエリアネットワーク データ中継実験

独立行政法人 情報通信研究機構
李 還幫

1. はじめに

安心安全な福祉社会を実現するために、高度な医療とヘルスケアを支える医療情報通信技術 (MICT; Medical ICT) への関心がますます高くなり、さまざまな研究が行われている[1]。近年 MICT の1つとしてボディエリアネットワーク(BAN; Body Area Networks)が注目され [2], 医療またはヘルスケアサービスの効率を高め、品質を向上させるなどにおいて期待が寄せられている。生体データセンサーと組み合わせて用いることにより、BAN は種々のセンサーデータを収集するとともに、信頼度の高いネットワークを形成してリアルタイムのデータモニタリングをサポートできる。以上の特徴から、BAN は病院における患者の状況把握のみならず、老人の在宅健康管理やフィットネス補助などにも重要な役割を果たせる。

一方、特に医療とヘルスケアなどの利用において、BAN で収集されたデータを医者または専門家に診てもらふ必要がある。BAN データを配信するために既存のインフラを利用でき、その候補として、光ファイバーに基づくインターネット、携帯電話回線、衛星通信回線などがある。これらの中で、特に事故現場と大規模災害などで緊急に医療データ伝送が必要な場合や、インフラが整えない離島と過疎地域などでは、迅速に設定できる衛星回線の利用が望まれる。

今回、プロトタイプ BAN システムで取得したデータを Ka バンド衛星回線を用いて伝達する実験システムを構築して、基礎実験を行った。ここで、同実験システムと基礎実験の一部について紹介する。

2. ボディエリアネットワーク

ボディエリアネットワークは、医療支援やヘルスケアモニタリングおよびコンシューマー電子機器などの幅広い応用に利用できる。医療またはヘルスケアで利用される際は、基本的に生体センサーと対になって用いられる。ボディエリアネットワークの基本概念図を図 1 に示す。ボディエリアネットワークは 1 つのコーディネーター (Coordinator) と複数のセンサーノード (Sensor node) からなる。コーディネーターはネットワーク形成を制御し、繋がっているすべてのセンサーノードからのデータを集める役割を果たす。収集される生体情報の例として、血圧、脳波 (EEG)、心電図 (ECG)、脈拍、血糖値、体温などがある。これらの生体データの実際に使用されるシナリオの例として、病院の患者状況のリアルタイムモニタリングがあげられる。ボディエリアネットワークを患者に装着させることによって、生体または健康情報が自動的にコーディネーターに収集され、さらにナースセンターに伝送されて、リアルタイムの患者データ把握が可能となる。このような利用シナリオによって看護負担を大きく軽減でき、患者管理の効率向上につながる。他の利用形態として、在宅健康管理、老人生活支援、リハビリ補助などがあげられる。

ボディエリアネットワークはいろいろな技術によって実装できるが、超広帯域技術 (UWB; ultra wide-band) [3]を用いたプロトタイプシステムを構築した。UWB を用いた理由は以下である。

- (1) ボディエリアネットワークは基本的に人体に装着されるため、他の無線システムと近い場所での利用場面も少なくない。したがって、他の無線システムに対して干渉レベルを極力低減しなければならぬ。UWB の電力スペクトル密度 (PSD) が非常に低いため (-41.3 dBm/MHz) 干渉レベルも低いと推定できる。

- (2) UWB 装置の放射電力レベルが低いことから、低消費電力にとって好都合である。ボディエリアネットワークは電池による長い時間の利用が必要であるため、低消費電力に対する要求が最も高い。
- (3) 低放射電力レベルは単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量 (SAR; specific absorption rate) を抑えることができ、人体防護の観点から望ましい。ボディエリアネットワークは人体上またはその極近辺で動作するため、SAR を避けては通らない。

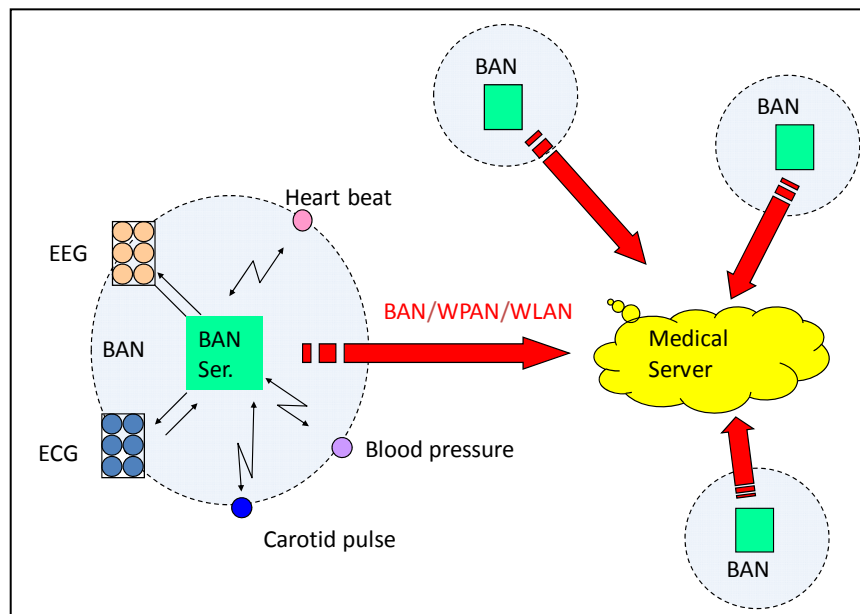


図 1 ボディエリアネットワークの概念図

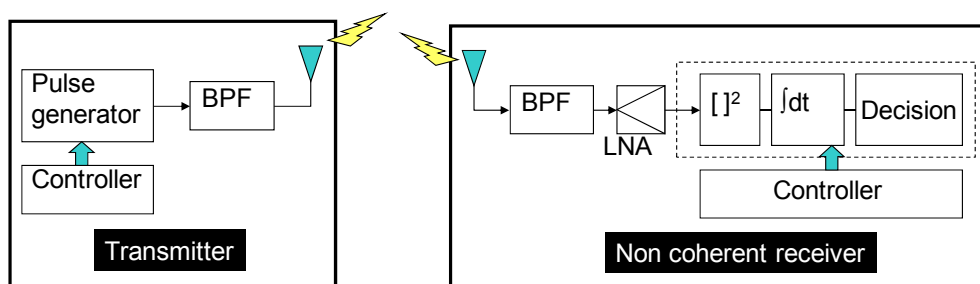


図 2 UWB 送信機のブロック図

構築したプロトタイプ UWB 送受信機のブロック図を図 2 に示す。UWB 送受信機の中心周波数は 4.1GHz で、帯域幅は 1.2GHz である。平均放射電力密度はおおよそ -45 dBm/MHz である。低コストでシンプルな構成とするため、送信機には OOK (on-off keying) 変調、受信機には電力検波を用いた。1 つの BAN デバイス (コーディネーターまたはセンサーノード) には図 2 に示す送信機と受信機の両方が実装され、送信機のパルス生成器はガウス型パルスを作り出している。また、センサーノードに取り付けているセンサーは加速度センサーで、三軸 (X, Y, Z) の加速度の変化を取得できる。今回実装していないが、上記 3 次元加速度の変化値と地磁気センサー値と組み合わせることで、人体の姿勢を把握することができる。加速度センサーのデータ量が低いため、送

信機のデータレートを 66 kbps とし、より長い距離で通信できることとした。データレートを 1 Mbps 以上に上げることは可能である。プロトタイプ UWB 送受信機の仕様を表 1 に纏めた。

表 1 UWB 送受信機の仕様

Parameter	Value
Center Frequency	4.1 GHz
Bandwidth	1.2 GHz (-10dB)
Data rate	66 kbps
Pulse Shape	Gaussian
Average Power	-45 dBm/MHz
Antenna gain	0 dBi
Modulation	OOK
Demodulation	Energy detection
Pulse repetition frequency	Mean = 21.25MHz

構築したプロトタイプボディアリアネットワークのデバイスを図 3 に示す。コーディネーター、中継ノード、およびセンサーノードの三種類のデバイスからなる。コーディネーターはネットワーク制御し、各センサーノードからのデータを集める。センサーノードはセンサーからのデータを受け、コーディネーターへ送り出す。中継ノードはセンサーノードとコーディネーターの間で直接通信ができないときに、両者の中継役を果たす。上記三種類のデバイスの役割が異なるが、UWB 送受信機の部分は図 2 に示した同じ構造をしている。プロトタイプボディアリアネットワークのチャネルアクセスは TDMA に基づき、センサーノードと中継ノードがボディアリアネットワークに加入するときに、コーディネーターにビーコンを出してチャネル割当を要求する。コーディネーターは割当要求を受けたら、可能なタイムスロットを選択し、要求元にレスポンスを返すと共にチャネル情報を通知する。センサーノードまたは中継ノードは割り当てられたタイムスロットにおいてデータの送受信を行う。さらに、コーディネーターは制御 PC と繋がり、制御 PC は中継ノードによるマルチホップの設定を含め、強制的にネットワーク構成を変えることができる。また、制御 PC はコーディネーターのモニタにもなっており、ネットワークのトポロジや収集されたデータをリアルタイムに表示する役割を担う。

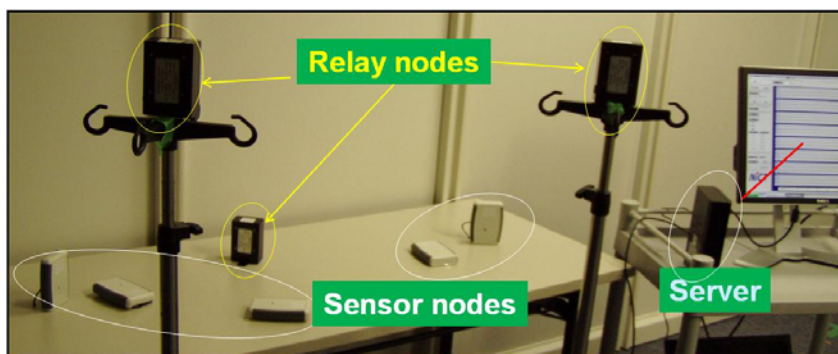


図 3 プロトタイプボディアリアネットワークのデバイス構成

3. Ka バンド衛星回線を用いたデータ中継実験システム[4]

実験システム全体の概念図を図 4 に示す。実験にはハブ地球局 (HES; Hub Earth Station) と VSAT 地球局を使用した。これらの地球局は衛星による IP パケット伝送のために整備されたもので、本実験で再利用した。HES 局と VSAT 局にはイーサネットのアドレスが割り当てられ、100BASE-T によって LAN などの既存インフラにも繋ぐことができる。したがって、必要な時に音声、ビデオ、データを IP パケットにして LAN などの既存インフラを利用して伝送することができる。

実験では商用衛星スーパーバードの Ka バンドトランスポンダーを使用した。このトランスポンダーの上りリンクの周波数帯は 29GHz で、下りリンクの周波数帯は 19GHz である。HES 局のアンテナの直径は 1.8m で、出力パワーは 150W である。一方、VSAT 局のアンテナの直径は 45cm で、出力パワーは 16W である。VSAT 局の写真を図 5 に示す。VSAT 局のアンテナは折りたたみ構造となっており、簡単に組み立てられる。

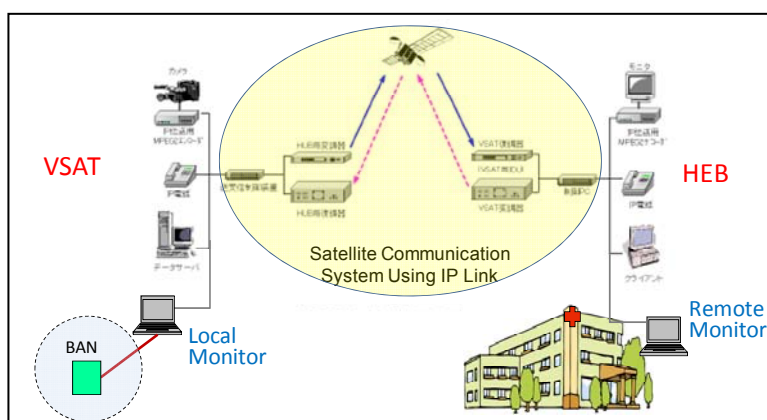


図 4 実験システムの全体概念図

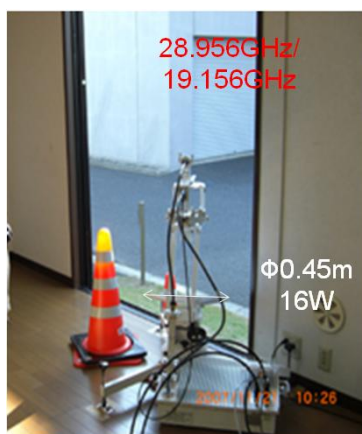


図 5 実験で使用した VSAT 局

ボディエリアネットワークのコーディネーターは i-1394 ケーブルによって制御 PC と繋ぎ、制御 PC は 100BASE-T ケーブルによって VSAT 局に繋がっている。制御 PC はセンサーノードから集めたデータをリアルタイムに表示すると共に、イーサネットインタフェースを経由してセンサーデータの転送を行う。データは VSAT 局から衛星回線によって HES 局側に送られる。HES 局側にはリモート PC があり、100BASE-T ケーブルによって HES 局と繋がっている。リモート PC は VSAT 局側の制

御 PC と同じフォーマットで受け取ったデータを表示する。すなわち、HES 局側では制御 PC と同じ表示内容を見ることができる。

ボディアエリアネットワークのデータは VSAT 局から正しく HES 局側に伝達されることが非常に重要である一方、一部の医療応用では受信したデータパケット間の相対伝送遅延が重要視されている。相対伝送遅延は対になっている送受信データパケットがリモート PC 側での受信時間と制御 PC での送出時間の差の変動を指す。相対伝送遅延の実測例を図 6 に示す。そこで、No.3、No.5 と No.26 は衛星回線において設定した異なるチャンネル条件を表している。それぞれ 605 kbps、519 kbps および 43 kbps のチャンネルスループットを有する。図 6 から判るように、No.26 の場合は相対伝送遅延が 0.1 ms まで幅広く変動している。これに対して、No.3 と No.5 の場合は相対伝送遅延が小さく、安定している。ボディアエリアネットワークのデータレートが 66 kbps であることを考えれば、衛星リンクのスループットは相対伝送遅延を大きく影響することが推測できる。

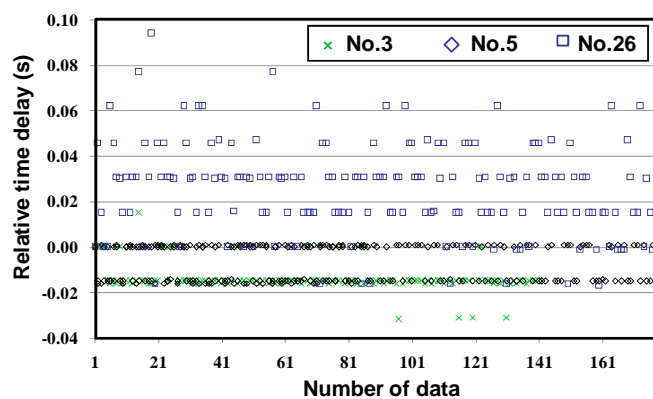


図 6 相対伝送遅延の測定例

4. まとめ

ボディアエリアネットワークと衛星通信回線を組み合わせて収集データを遠隔地へ伝送する実験システムを紹介した。プロトタイプボディアエリアネットワークはインパルス UWB を用いて実装した。衛星通信はほとんど地形等の地理制限を受けず均一なサービスを提供できる特徴がある。衛星通信回線による相対伝送遅延の変動への影響を調べ、実測結果は衛星通信回線のスループットが相対遅延を大きく影響することを示した。

参考文献

- [1] <http://www.continuaalliance.org/home>
- [2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
- [3] K. Siwiak and D. McKeown, "Ultra-wideband radio technology," John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [4] Huan-Bang Li, Takashi Takahashi, Masahiro Toyoda, Yasuyuki Mori, and Ryuji Kohno, "Wireless Body Area Network Combined with Satellite Communication for Remote Medical and Healthcare Applications," Journal of Wireless Personal Communications, to be appeared.