

安全安心な生体情報監視を目指したボディアリアネットワーク(BAN)の実証 Prototyping of Body Area Networks for Safe and Reliable Vital Monitoring

井田 一郎* 菊月 達也* 吉田 誠* 二宮 照尚* 加藤 正文* 高木 淳一**
Ichirou Ida Tatsuya Kikuzuki Makoto Yoshida Teruhisa Ninomiya Masafumi Katoh Junichi Takagi

*株式会社富士通研究所
Fujitsu Laboratories Limited

**富士通株式会社
Fujitsu Limited

1. はじめに

我が国における最も深刻な社会問題の一つが、急速に進んでいる高齢化である。医療機関を利用する患者数や、介護が必要な高齢者は今後さらに増加するが、反対に、医療や介護を行う人は不足すると考えられる。そこで、患者のQoL(Quality of Life)を損なうことなく、医療機関における業務を効率化することが必須になっている。

一方、スマートフォンやソーシャルメディアの普及が物語っているように、ICTは社会に広く、深く入り込んできており、その価値は提供者の目線からではなく、利用するヒトの目線で議論する必要性が再認識された。当社は、「ICTの利活用によって人がより豊かに安心して暮らせる社会(Human Centric Intelligent Society)を築くこと」を提唱しており[1]、その一環として、無線による生体情報モニタリングにより、医療従事者の業務効率化および患者の利便性の双方を満たすためのシステムの検討を行っている。

本稿では、まず2章で利用者の目線で無線通信が求められるシーンを整理し、次に3章で2012年2月に仕様が固まった、人体周辺の無線通信プロトコルであるIEEE 802.15.6 BAN(Body Area Network、以下では15.6 BAN)の特徴を概説する[2]。さらに4章で、15.6 BANのMACプロトコルに準拠した実証機の概要について報告する。

2. 医療現場における無線利用への期待

患者にとっても、医療従事者にとっても、ケーブル類が利便性を損なう利用シーンが多々ある(例えば[3])。

ECG(心電計)あるいはSpO₂(血中酸素飽和濃度計)など、患者に装着されたセンサで得られた生体情報を通信ケーブルを介してベッドサイドモニタに送る場合、ケーブルが布団の重みで引っ張られ、センサを固定している粘着シールがはがされたり、ケーブルが外れるなどの不具合が生じる。また患者は寝返りが打ちにくく、これが床ずれの原因にもなりうる。さらに皮膚の弱い患者は、ケーブルの接触により皮膚がかぶれることもある。

生体情報センシングの無線化は、医療・介護従事者の仕事量の低減にもつながり、例えば、着替えの際にいちいちケーブルを外す手間を省き、ケーブルに引っ張られたセンサが外れてアラームが鳴るのを防ぐ効果もある。加えて、ケーブルを患者間で使い回すことによって生じる院内感染が低減できる。米国FCCの文書[4]では生体モニタリングの無線化により、患者一人当たり2,000ドル~12,000ドル(日本円で約17万円~102万円)の院内感染対策費用の節減効果があると報じられている。

3. BAN 標準 IEEE802.15.6 の特長

医療・介護の現場における生体モニタリングを想定した近距離無線規格として2012年に制定された15.6 BANは、Personal Area Network 標準規格であるIEEE802.15シリーズの一つであり、無線通信範囲を人体周辺数m程度にフォーカスし、消費電力の低下と信頼性を両立させることを目標に設計されたものである。

日本においては既に、400MHz帯医療用テレメトリが広く利用されている。ただし、現在のテレメトリシステムは単方向通信を対象としている。これに対し、15.6 BANは双方向通信を対象としているため、通信に問題が生じたことを、送信側におけるACK未受信により認識でき、再送やリレーを用い、通信のロバスト性を高めることができる。また、機器の設定を医療スタッフの側からできる利点もある。

以下に15.6 BANの主な特長をまとめる。

- ① 複数のアクセスモードによる多様なアプリへの対応：スーパーフレーム(リソース割り当て周期)の有無を選択できる。例えば、周期的な情報収集アプリにはスーパーフレームを使い、突発的な情報収集アプリには使わないといった選択が可能になる。
- ② 複数周波数帯利用による高ロバスト性の実現：異なる使用周波数(Narrow Bandでは400MHz帯、900MHz帯、2400MHz帯)を利用できるため、干渉回避が容易になる。複数周波数を使用する際、(インプラントは除き)共通MACで制御可能であり、実装は比較的容易である。
- ③ 干渉対策：Channel hopping や active superframe interleaving, beacon shifting といった、干渉回避のためのオプション機能が定義されている。
- ④ リレーによる高ロバスト性の実現：スター・トポロジを基本としているが、リレー動作も可能としている。人体の姿勢の影響によるシャドウイングにより、あるリンクの品質が劣化しても、品質の良いリンクへ中継することで、ノード・ハブ間の経路をMACのリレーアルゴリズムで確保することができる。ただし、中継動作は最大2ホップ(2リンク)に限定されている。
- ⑤ 細かい間欠制御による低消費電力化：スーパーフレーム内でも、各ノードは送受信していない時間帯にスリープモードに入ることができ、無駄な電力消費を回避できる。
- ⑥ 無線帯域の効率的利用：パケットに占めるペイロードの割合が比較的大きい。ペイロード/パケット長の比はBluetooth Low Energy[5]の約0.66に対し、15.6 BANでは約0.92である。
- ⑦ 暗号化による高いセキュリティの確保。

4. 15.6 BAN の MAC プロトコルを実装した実証機の紹介

今回我々は、15.6 BAN の MAC を実装した実証機を開発した。15.6 BAN 実証機は hub と node から構成され、基本的にはスター・トポロジにより接続される。今回の実証機においては node 数は 2 個であり、それぞれ市販の ECG(心電計)と SpO₂(血中酸素飽和濃度計)に接続される。Hub と node の間のリンクがシャドウイング等により切断した際には、もう一つの node がリレーとなり、hub までの通信を可能にする。

Fig. 1 に実証機の概略を示す。Node からの生体情報が 15.6 BAN 規格の無線により hub に送信され、hub により受信されたデータは、ケーブルを経由してスマートフォンに転送され、さらに WLAN によりサーバに無線伝送され、ブラウザをもつ端末によりデータの内容が確認できる。

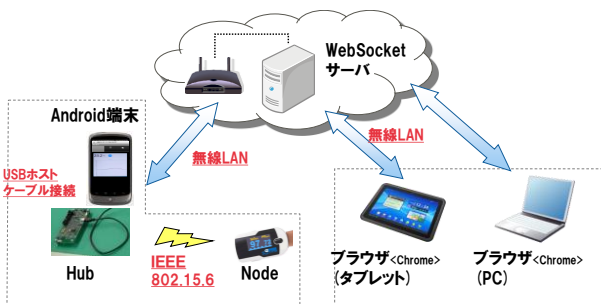


Fig. 1 15.6 BAN 実証機システムの概略図

Fig. 2 に node のシステムブロック図を示す。PHY 特性は 15.6 BAN 準拠ではなく、使用周波数は微弱無線帯の 315MHz であり、変調方式は MSK を用いている。MAC におけるアクセスモードとして、non-beacon mode with superframes を採用し、間欠受信機能、channel hopping による干渉回避機能、リレー機能、ダイバーシチアンテナを実装している。

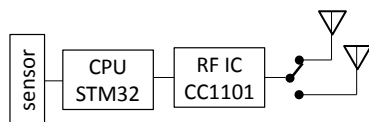


Fig. 2 システムブロック図 (node)

Fig. 3 に本実証機のリレー機能の動作検証時のトポロジーを示す。初期状態として、node1 および node2 が、それぞれ hub と 1 対 1 で接続している。Node1 より 4kbps で hub と通信中、hub と node1 間のリンクがシャドウイングあるいはフェージングが原因で切断した際、0.4kbps で hub と通信中の node2 が hub と node1 間のリレーになり、node1 → node2 → hub と通信を中継することに成功している。Node2 と hub 間は、node1 と node2 の通信速度の合計である 4.4kbps で通信する。

Fig. 4 に Channel hopping による干渉回避機能検証時のトポロジーを示す。まず、Fig. 3 (a) のように、スター・トポロジでの動作中に、hub1 と同一周波数の hub2 を近づけて干渉を発生させた際に、hub1 がこれを検知し、node1 および node2 へ、channel hopping により移動する先のチャンネルおよ

び hopping のタイミングを通知した後、そのチャンネルへと通信周波数を切替えることを確認した。さらに、Fig. 4 に示すような、node1 → node2 → hub のリレー機能動作時に、hub2 による干渉を発生させた際にも、同様に channel hopping 動作を行うことを確認した。

Fig. 5 に本実証機により実際に伝送され、ブラウザに表示された ECG 波形の一例を示す。サーバへの無線 LAN 接続により、複数のブラウザで同時にデータが確認できる。

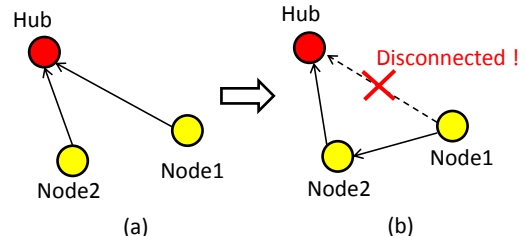


Fig. 3 リレー動作時のトポロジー

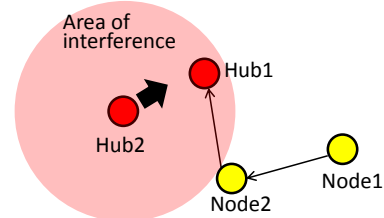


Fig. 4 Channel hopping 動作時のトポロジー

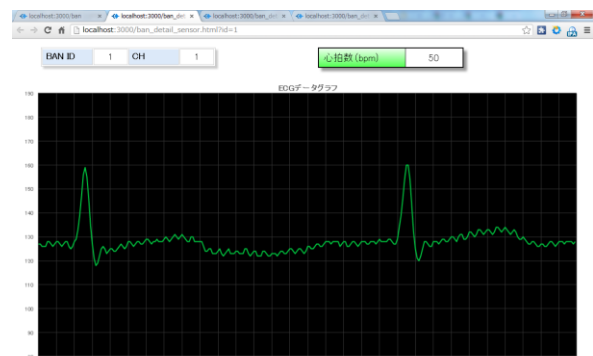


Fig. 5 無線伝送された ECG(心電計)波形の表示例

5. まとめ

本稿では、人体周辺の近距離無線 IEEE802.15.6 BAN の特長を概説し、これに準拠した実証機の構成と実証概要を報告した。今後は実証実験を重ね、実用化に耐えうるシステム開発を目指す。

【参考文献】

- [1] 山本正巳, 「夢をかたちに」, 富士通フォーラム 2010 基調講演 (2010 年 5 月 13 日)
- [2] IEEE802.15.6 Body Area Network, Feb. 2012.
- [3] 日本医療機能評価機構, 「医療事故情報収集等事業第 31 回報告書」 (2012 年 12 月 20 日)
- [4] FCC document No. DOC-314146A1 http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-314146A1.pdf
- [5] Bluetooth specification, ver. 4.0, June 2010.