

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 17 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760297

研究課題名(和文)インプラントBANにおける無線通信機能のみを用いた通信端末位置推定方式

研究課題名(英文)A Location Estimation Method Based on Propagation Characteristics in Implant BANs.

## 研究代表者

安在 大祐(Daisuke, Anzai)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40611116

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は体内-体外間での無線通信を行うインプラントBody Area Network (BAN)における通信端末の高精度位置取得方式の開発、および、計算機シミュレーションや実験による提案法の評価を実施した。人体内から送信される無線通信信号の電波伝搬特性の解析および確率モデル化を行い、インプラントBANに適した位置推定法を提案した。計算機シミュレーションや実験による提案法の評価を実施し、提案法ではインプラントBANにおいて人体内に存在する通信端末に対して1cm以下の精度で位置推定可能であることを検証した。

研究成果の概要(英文)：This research develops a location estimation method in implant body area networks (BANs), whose communication links are established between an implantable communication device and outside receivers, and evaluates its location estimation accuracy through computer simulations and experiments. For this purpose, we have investigated the propagation characteristics of implant BAN communication, and derived a statistical model, which can express the implant BAN propagation characteristics. Then, we have proposed a location estimation method in the implant BANs based on the derived statistical model. Finally, this research has performed computer simulations and experiments to evaluate the estimation accuracy of the proposed method. From the results, it has been demonstrated that the proposed method can accomplish a localization accuracy of less than 1 cm in the implant BANs.

研究分野：無線通信工学

キーワード：インプラントBAN 位置推定 カプセル内視鏡

### 1. 研究開始当初の背景

近年、少子高齢化社会の到来に伴い、医療従事者の不足の問題が深刻化している。そこで、医療支援を目的とした ICT 技術である医療支援 ICT 技術が注目を集めている。例えば、患者に ICT 機能を有する各種バイタルセンサを取り付け、センサが得たバイタルデータをネットワークを經由し、遠隔的に医療従事者の元へ伝送し、24 時間の患者のバイタルデータのモニタリングが実現される。このような技術は無線人体通信網 (Body Area Network: BAN) 技術と呼ばれ、近年盛んに研究が行われている。

無線 BAN は、ウェアラブル BAN (または On-body BAN) とインプラント BAN (または In-body BAN) の 2 つに大別され、本研究はインプラント BAN に焦点を当てる。インプラント BAN において、送受信機の少なくとも一方が体内に存在し、無線通信は体内から体外へ、または体内間において行われるため、無線伝搬環境はこれまでの無線通信で想定されているものとは大きく異なる。これを背景に、無線 BAN に適した PHY/MAC の標準化がタスクグループ IEEE802.15.6 において行われており、インプラント BAN では Medical Implant Communication Service (MICS) 帯の 400MHz または 900MHz、または、2.45GHz 帯の使用が検討されている。

インプラント BAN の応用例には、カプセル内視鏡やドラッグデリバリーサービスなど多数提案されている。インプラント BAN では人体内の通信端末が移動する場合も想定されており、送受信機端末位置が重要となるケースが多く考えられる。例えば、カプセル内視鏡のアプリケーションにおいては、送信端末であるカプセル内視鏡は、消化器内部を移動しながら動画像を取得、そして、外部の受信機に対し取得した動画像を送信する。その際に、カプセル内視鏡位置も合わせて取得することが可能であれば、得られた動画像から腫瘍等の病状を検出したときにその部位の把握がより容易となる。さらに、セルラシステムや無線 LAN などの無線通信システムにおいては、数年前から通信端末位置取得のニーズが高まっており、様々な方式が提案されている。このような研究背景を考慮すると、インプラント BAN においても現在はチャンネルモデルの解明や PHY/MAC の開発のニーズが高い状況であるが、今後インプラント BAN での通信端末位置情報の需要が高まることは必然の流れであり、この問題について早期に取り組むことが重要な研究課題となっている。

### 2. 研究の目的

セルラシステムなどにおいて通信端末位置取得には Global Positioning System (GPS) が利用されているが、インプラント BAN では、消費電力面や送受信機が体内に

設置されている点を考慮すると GPS の適応は困難であると予想される。インプラント BAN における位置推定法の先行研究はいくつか行われているが、従来の位置推定方式をそのまま適応したケースが多数であり、先に述べた電波が伝搬する媒質が人体であるなどのインプラント BAN の問題を本質的に捉えた例はほとんどない。さらに、実機による実験による評価はなされておらず、実際の適用においてどのような特性が得られるのかがまだ明らかにされていない現状である。従って、本研究は、実際のインプラント BAN において高精度に高精度位置取得できる方式の開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は、インプラント BAN における通信端末の高精度位置取得方式の開発を目的として、以下の項目を遂行することで研究を実行する。

周波数帯を MICS 帯 400MHz と Ultra WideBand (UWB) low-band に焦点を当て、Finite Difference Time Domain (FDTD) 法によるインプラント BAN のチャンネルモデルの解明

モデル化したチャンネルモデルを用いた位置推定方式 (受信電力による方式および信号到来時間による方式)・ターゲットトラッキング方式の開発

開発方式の理論解析、計算機シミュレーションによる評価および実機実験による評価および検証

### 4. 研究成果

まず上記の目標において、受信電力による方式は 400MHz MICS 帯と UWB 帯に焦点を当てチャンネルモデルの検討を行った。本検討では、電磁界解析の 1 つの手法である FDTD シミュレーションにより行った。まず、400MHz MICS 帯では、受信電力変動を確率モデルの検討、および、確率モデルのパラメータについて調査した。一方、UWB low-band においても受信電力変動の確率モデル化を行い、さらに電力遅延プロファイルについても検討を行った。受信電力変動については対数正規分布によって精度よくモデル化可能であることを確認し、UWB low-band の電力遅延プロファイルについては 2 パスモデルによって近似できることも実証した。さらに、UWB low-band では「信号到来方向による位置推定方式」のために、信号到来時間の数学モデルも確立した。

次に、の研究課題を遂行した。で確立した受信電力変動モデルを基に最尤推定法による位置推定方式を検討した。特性評価は、理論解析および計算機シミュレーションによって実施した。本評価によって、受信電力位

置推定方式は、人体数値モデルによる FDTD シミュレーションによっておよそ 4cm の精度推定可能であり、最尤推定の理論下界である Cramer-Rao Lower Bound (CRLB) では約 1cm が示されることを確認した。

そして、受信電力による方法に加えて、信号到来時間による位置推定法も検討を行った。距離の分解能は信号の帯域により依存するため、本研究は 3.4 - 4.8 GHz 帯の Ultra WideBand (UWB) 信号による方式を採用した。体内を伝搬する信号は人体によって波長短縮の影響を受け、信号伝搬速度が変化する。その結果、信号到来時間による距離には人体中の信号伝搬速度を推定する必要がある。本方式では、先に開発した信号到来時間に関する伝搬モデルを基にして信号伝搬速度の推定も同時に行う位置推定方式を開発し、予め信号速度の変化の事前測定を必要としない位置推定方式を提案した。

さらに、位置推定方式を基にして、位置トラッキング方式についても提案を行った。位置トラッキング方式では一般的にカプセル内視鏡の位置の推移を表現する状態遷移モデルが必要となる。本研究は、この状態遷移モデルを検討した上で、パーティクルフィルタによる内視鏡位置トラッキング方式の開発を行った。基となる位置推定法は、受信電力による方法と信号到来時間による方法の 2 つを対象にし、パーティクルフィルタによるトラッキング方式導入の効果を評価し、最大 90% 程度の位置推定誤差低減を確認した。

最後に、生体等価液体ファントムによる実験を実施し、信号到来時間による位置推定法で用いる UWB 信号(3.4-4.8GHz)のチャンネルモデルの検証を行った。これまで実施した FDTD シミュレーションの結果と比較して、ほぼ同程度の結果が得られることを確認した。また、生体として豚を用いた UWB-IR 信号のチャンネル特性の検証も実施し、これまでに得られた結果との比較も行った。この生体実験の結果として、アンテナの指向性や臓器の種類によって電波吸収特性が大きく異なるものの、パスロスモデルとしては FDTD シミュレーションや生体等価液体ファントムによる実験で得られた結果とほぼ同等の結果が得られることが確認できた。また、さらなるチャンネルモデルの検証として、実験に加えて理論的な解析として、体外へ散乱される電界表現式の検証も行った。その結果、体内の生体組織の電気定数とカプセル内視鏡位置の同時推定の可能性についても明らかにし、二次元上では遺伝アルゴリズムによる推定法の検討も行った。

上記の結果を踏まえた計算機シミュレーションによる特性評価を実施した結果、位置推定誤差の指標である Root Mean Square Error (RMSE)特性評価では、受信電力による方法では約 7mm、信号到来時間による方法では約 2mm という結果を得ることができ、

両方式において RMSE 特性を 1cm 以下に抑えた高精度なカプセル内視鏡位置トラッキング実現を確認した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

[1] D. Anzai, S. Aoyama and J. Wang, "Performance evaluation on RSSI-based localization for capsule endoscopy systems with 400 MHz MICS band signals", IEICE Trans. Commun., vol. E95-B, no. 10, pp. 3081-3087, Oct. 2012.

[2] T. Ito, D. Anzai, and J. Wang, "Performance evaluation on RSSI-based wireless capsule endoscope location tracking with particle filter," IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, no. 3, pp. 579-586, Mar. 2014.

[3] D. Anzai, S. Aoyama, and J. Wang, "Specific absorption rate reduction based on outage probability analysis for wireless capsule endoscope with spatial receive diversity," IET Microw. Antennas & Propaga., vol. 8, no. 10, pp. 695-700, July 2014.

[4] T. Iida, D. Anzai, and J. Wang, "Performance Evaluation on GA-Based Localization for Wireless Capsule Endoscope using Scattered Electric Fields," IEICE Trans. Commun (投稿中)

[5] T. Ito, D. Anzai, and J. Wang, "Performance Evaluation on Hybrid TOA/RSSI-Based Wireless Capsule Endoscope Localization with Relative Permittivity Estimation," IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics (投稿中)

〔学会発表〕(計 16 件)

[1] D. Anzai, S. Aoyama, M. Yamanaka and J. Wang, "SAR reduction in implant body area networks with spatial diversity reception," in Proc. 7th Int. Conf. on Body Area Networks (BodyNet), in CD-ROM, Norway, Sept. 2012.

[2] D. Anzai, Y. Takagi, K. Katsu and J. Wang, "Effect of energy detection duration on UWB-IR transmission performance in wireless body area networks," in Proc. 6th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM), pp.218-221, China, Nov. 2012.

[3] D. Anzai, S. Aoyama, and J. Wang, "Investigation of Relationship between SAR and Required Communication Performance for Wireless Capsule

Endoscope,” in Proc. 2013 Asia-Pacific Symp. on Electromag. Compat. (APEMC), Melbourne, Australia, May 2013, pp. 384-387.

[4] T. Ito, D. Anzai, and J. Wang, “A modified particle filter algorithm for wireless capsule endoscope location tracking,” in Proc. 8th Int. Conf. on Body Area Networks (BodyNets), Boston, USA, Sept. 2013, pp. 536-540.

[5] T. Ito, D. Anzai, and J. Wang, “Novel joint TOA/RSSI-based WCE location tracking method without prior knowledge of biological human body tissues,” in Proc. IEEE EMBC 2014, Chicago, USA, Aug. 2014, (CD-ROM).

[6] D. Anzai, K. Koya, and J. Wang, “Local frequency offset spatial diversity with pi/4-DQPSK in implant communications,” in Proc. IEEE PIMRC 2014, Washington D.C., USA, Sept. 2014, (CD-ROM).

[7] T. Ito, D. Anzai, and J. Wang, “Performance Comparison Between TOA and RSSI-Based Localization Methods for Wireless Capsule Endoscopy Systems,” 9th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), Kamakura, Japan, Mar. 2015, (CD-ROM)

[8] 伊藤孝弘, 安在大祐, 王建青, “パーティクルフィルタによるカプセル内視鏡位置トラッキングの特性評価” 2013年度第1回電子情報通信学会医療情報通信技術研究会(MICT)(東京都), 2013年5月

[9] 伊藤孝弘, 安在大祐, 王建青, “パーティクルフィルタによるカプセル内視鏡位置トラッキングにおける特性安定化に関する一検討” 2013年度電子情報通信学会ソサイエティ大会(福岡市), 2013年9月

[10] 安在大祐, “生体インプラント無線通信の伝送特性と端末位置推定,” 電子情報通信学会高信頼制御通信研究会, 2013年11月(招待講演)

[11] 伊藤孝弘, 安在大祐, 王建青, “RSSI/TOAに基づいたカプセル内視鏡位置推定法の性能評価” 2013年度電子情報通信学会総合大会(新潟市), 2014年3月

[12] 伊藤孝弘, 安在大祐, 王建青, “パーティクルフィルタによるカプセル内視鏡位置・人体比誘電率トラッキング法” 2014年度電子情報通信学会ソサイエティ大会(徳島市), 2014年9月

[13] 飯田泰生, 安在大祐, 王建青, “遺伝的アルゴリズムを用いたカプセル内視鏡位置推定法” 電子情報通信学会2014年度第5回ヘルスケア・医療情報通信技術研究会(MICT)(横浜市), 2015年3月

[14] 山田大樹, 安在大祐, 王建青, “マイクロ波を用いた体内内部構造推定に基づくカプセル内視鏡位置推定の一検討” 2014年度

電子情報通信学会総合大会(草津市), 2015年3月

[15] 伊藤孝弘, 安在大祐, 王建青, “受信電力と信号到来時間を用いたカプセル内視鏡位置推定法の特性比較” 電子情報通信学会2015年度第1回ヘルスケア・医療情報通信技術研究会(MICT)(東京都), 2015年5月

[16] 安在大祐, 伊藤孝弘, 王建青, “受信電力と信号到来時間によるインプラント医療機器位置推定法の性能評価” ITヘルスケア学会第9回年次学術大会(熊本市), 2015年6月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計1件)

名称: インプラント通信端末の位置検出装置および位置推定方法

発明者: 安在大祐, 王建青

権利者: 高橋実

種類: 特許

番号: 特願 2013-175422

出願年月日: 平成 25 年 8 月 27 日

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安在 大祐 (ANZAI, Daisuke)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 40611116

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

王 建青 (WANG, Jianqing)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 70250694