

体内-体外間容量結合型ワイヤレス情報伝送システム

- デジタル通信回路の開発 -

Wireless information transmission system between inside and outside the body using capacitive coupling: Development of digital communication circuits

柴 建次 (東京理科大学基礎工学部)

岩下 龍太郎 (東京理科大学大学院基礎工学研究科)

石渡 将己 (東京理科大学大学院基礎工学研究科)

原 一裕 (KOA株式会社 技創りセンター)

坪木 光男 (KOA株式会社 技創りセンター)

伊藤 雅一 (KOA株式会社 営業支援センター)

Kenji Shiba, Dept. of Applied Electronics, Tokyo University of Science
Ryutaro Iwashita, Dept. of Applied Electronics, Tokyo University of Science
Masami Ishiwata, Dept. of Applied Electronics, Tokyo University of Science
Kazuhiro Hara, KOA Corporation
Mitsuo Tsuboki, KOA Corporation
Masakazu Itoh, KOA Corporation

Abstract: We propose a capacitive coupling information transmission method for an implantable medical device placed deep inside the body. In this study, capacitive coupling type digital communication circuits using on-off keying method were designed and developed. Experiments were conducted for measuring the transmitted information, in which character set data were transmitted from an implantable device inside the human body phantom to the surface of the phantom. The transmitting distance was 10 cm; a transfer rate of 19,200 bps could be obtained when a carrier frequency of 4 MHz was used in our prototype system.

Key Words: capacitive coupling, digital, implantable, information

1. はじめに

近年、埋込型人工心臓、カプセル内視鏡、埋込型の癌検出センサ、埋込型の血圧センサ等、体内に埋め込む様々な小型医療機器が開発されている。これらは、体内深部に埋め込まれ、体外にワイヤレスで情報伝送を行う必要があるが、この方法として我々は、体内埋込機器に貼り付けた2枚の送信電極と、体表面に貼り付けた2枚の受信電極間を、100k~数 MHzの微小電流を人体に流して、ワイヤレスで体内から体外に情報伝送する方法(容量結合型情報伝送)¹⁾の研究を行っている。送信アンテナは2枚の電極(チタン板等)で構成されるため体内埋込医療機器のケースと一体化して用いることができ、送信アンテナの体積を考えなくてよい。このため、小型化が強く要求される体内埋込機器にとって優れた方式である。また、微小電流は、人体組織の中だけを流れ、空間中に電磁界が漏れることがないため、情報の秘匿性に優れるという特徴もある。

従来までに、アナログ情報に変調をかけた信号を、厚さ10cm相当の模擬人体を介して伝送し、受信波形を復調することに成功しているが²⁻⁴⁾、デジタル信号の伝送については行っていなかった。

本研究では、容量結合型情報伝送専用のデジタル変復調回路を設計・試作し、模擬人体を用いて通信実験を行ったので報告する。

2. システム

今回作成した容量結合型ワイヤレス情報伝送装置は、体内深部で取得したデータを体表面まで伝送する目的で作成したため、体内深部から体外への一方向通信としている。Fig. 1に示すように、体内回路は、体内埋込センサや体内埋込機器から得たアナログ情報をA-D変換し、変調回路を介して、送信電極に出力される。2枚の電極からなる送信電極に入力された信号は、生体組織を介して、人体の体表面に誘導され、受信電極を介して体外回路(波形整形回路、増幅回路、変調回路)に入力される。体外回路で復調された信号は、パソコンなどの表示器に表示され、体内から送られてきた情報を患者本人や医師が見ることができる。

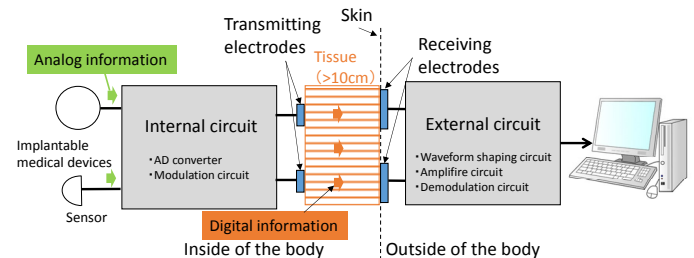


Fig. 1 Block diagram of the wireless digital information transmission system using capacitive coupling

3. 実験方法

試作した容量結合型ワイヤレス情報伝送システムの実験の様子を Fig. 2 に示す。送信電極は $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ を 2 枚、受信電極は $10\text{cm} \times 8\text{cm}$ のステンレス製 (SUS316L) を 2 枚とした。送信電極は、厚さ 5mm のアクリル板の裏表面にそれぞれ貼り付け、筋を模擬した NaCl 水溶液 (導電率: 0.54 S/m) の中央に浸漬させた。2 枚の受信電極は、直径 25cm のアクリル製円柱水槽の内面に貼り付けてあり、体外回路の受信信号入力端子に接続した。

送信回路の変調 IC には、PIC マイコンを用い、今回は 2MHz の矩形波を搬送波として用いた。ビットレートを 19200bps に設定し、OOK 変調によるシリアル通信を行った。また、今回用いた体内回路用の電源には、モバイル USB バッテリー (Panasonic, QE-PL301) により動作させた。

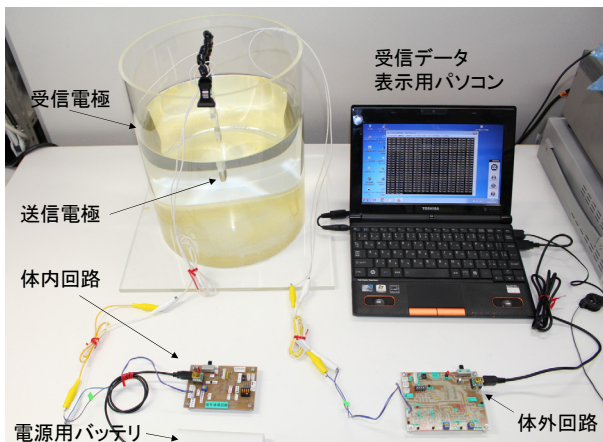


Fig. 2 Prototype wireless digital information transmission system using capacitive coupling.

体内回路から出力される搬送波の波形は、送信電極と接続し電極を NaCl 水溶液に浸漬させるとインピーダンスが変化するため歪んだ波形となる。Fig. 3 に体内回路から出力された搬送波の波形を示す。(a)送信電極を NaCl 水溶液に浸漬させていない場合を、(b)は送信電極を NaCl 水溶液に浸漬させた場合を示す。

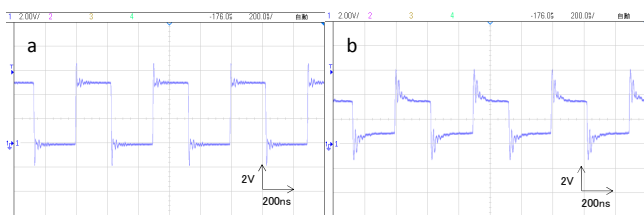


Fig. 3 (a) Output waveform of the internal circuit when transmitting electrode was not immersed in the NaCl solution and (b) when transmitting electrode was immersed in the NaCl solution.

Fig. 4(a), (b) に、受信電極波形と、体外回路内の波形整形回路後で得られた搬送波の波形をそれぞれ示す。受信電極において得られた搬送波は、微分されたような波形になっているため、低域通過フィルタにより、正弦波状の波形に整形した。その後、搬送波は、400kHz の低域通過フィルタを通過し、主信号成分のみを抽出し、さらに、コンパレータを介して波形整形を行った。コンパレータから出力された主信号の受信信号波形を Fig. 5 に示す。

次に、Fig. 2 のシステムにおいて、体内回路から 7 つの文字列を送信し、体外回路で受信して受信データ表示用パ

ソコンに表示させ、この文字列が正しく模擬人体中を伝送できるか実験を行った。なお、表示用パソコンの電源は AC コンセントから得、体外回路の電源は、表示用パソコンの USB 端子 (5V) から得るようにした。つまり、体内回路と体外回路は、電気的に絶縁し、共通モード電流が流れないように注意した。

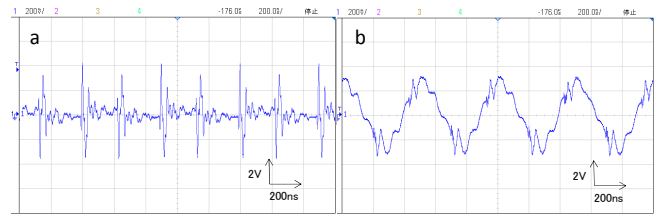


Fig. 4 (a) Waveform of the receiving electrode and (b) waveform from the waveform shaping circuit in external circuit.

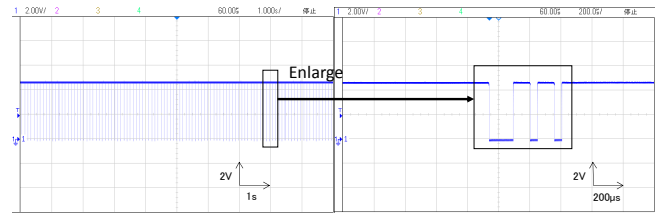


Fig. 5 Output voltage of the comparator in the external circuit.

4. 結果と考察

送信電極の位置を水槽中で動かしても、7 つの文字列を得ることができた。ただし、受信電極の向きを 180° 反転させると受信が不安定になり異なる文字が連続して表示された。この対策については今後の課題である。体内埋込センサなどで得られる体内情報量は、数 10bit 程度であると考えられるため、十分な伝送速度が得られていると考えられる。

5. まとめ

体内深部から体外間の容量結合を用いて、ワイヤレス・デジタル情報伝送するシステムを試作し、19200bps で通信ができることを確認した。

本研究の一部は、文科省科学研究費補助金 (課題 No. 10343112) により行われました。

参考文献

- (1) M.Sun, Q.Liu, W.Liang, *et al.*, Application of the reciprocity theorem to volume conduction based data communication systems between implantable device and computers, pp.3352-3355, *Proceedings of the IEEE EMBS*, 2003.
- (2) 日経エレクトロニクス, 容量結合による体内-体外間通信技術, P.47, 2014年1月20日.
- (3) K.Shiba, N.Enoki, Capacitive-coupling-based information transmission system for implantable devices: Investigation of transmission mechanism, *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and System*, Vol.7, No.5, pp.674- 681, 2013.
- (4) 石渡, 吉川, 京岡, 橋本, 柴: 体内深部-体外間の容量結合無線情報伝送 ~ 空气中及び液体模擬生体中における電圧利得特性の評価 ~, 電子情報通信学会技術研究報告, 高信頼制御通信, Vol. 114, No.60, pp.9-12, 2014.