

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月21日現在

機関番号：82636

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13118

研究課題名（和文）分散型多重通信による革新的ワイヤレス脳計測技術の開発

研究課題名（英文）Development of a novel wireless neural recording technology by distributed multiple communication

研究代表者

安藤 博士（Ando, Hiroshi）

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号：00638794

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：人体頭部における体内外無線通信を模擬した頭部ファントム測定治具を開発し、人体特性を模擬した液体ファントムと共に利用して、体内外無線通信に利用するUWB無線通信の指向性や干渉性など、体内外アンテナとの伝送特性を評価した。用いるアンテナとして、汎用UWBアンテナと、体外受信側アンテナに受信感度を10dBほど改善するLNAを搭載するなど、専用に開発したUWBアンテナの2種について評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ごく近年では、100チャンネル程度のヘッドステージアンプを複数個使い、それらを集約して計測するという、なかば力技の1000チャンネル以上の神経信号記録であっても、優れた成果が得られている海外研究グループなどもあり、システムの多チャンネル化への要求と共に、必然的に装置の小型化・無線化が次の研究課題である。将来的には1万、10万チャンネルの計測が必要になる可能性もあり、その必要性に迫られるよりも前に、本研究にて次世代に向けた新しいエネルギーエフィシエントな体内外無線通信技術を世界に先駆けて開発することに挑戦する。

研究成果の概要（英文）：We developed a head phantom measurement jig that simulates intra-body radio communication in the human body head, and use it together with a liquid phantom that simulates human body characteristics to make directivity or interference of UWB wireless communication used for intra-body wireless communication. The transmission characteristics of the antenna inside and outside the body were evaluated. As antennas to be used, two types of UWB antennas developed for exclusive use, such as mounting a general-purpose UWB antenna and an LNA that improves the receiving sensitivity by about 10 dB on an external receiving antenna, were evaluated.

研究分野：ブレイン・マシン・インタフェース

キーワード：神経信号計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

計測した脳神経信号のみを使って、義手やコミュニケーションシステムを直接操作可能にするブレイン・マシン・インタフェース (BMI) の開発研究において、より身近に利用できる BMI とするためには、一般的な 100 チャネル程度の計測では到達可能な性能に本質的な限界があり、計測チャネル数を一桁以上増やす必要があると考えている。我々はこの課題にチャレンジし、1000 チャネル以上の信号神経計測が可能なワイヤレス超多チャネル計測システムのプロトタイプを開発した。超多チャネル化に伴い大容量化したデータを、超広帯域無線 (UWB) により高速無線通信 (128Mbps) する技術が他の研究と比較して優れたシステムである。

しかしながら、さらに進んだ数年後の第3、第4と続く次世代の BMI システムでは、上記開発でも利用した一般的なデータを集中して伝送する方式では、多チャネルの信号が一局集約されるために無線器に高い通信性能が要求され、必然的に送信電力や消費電力を一定以上は下げられず、システムサイズの小型化・軽量化にも限界があり、性能が頭打ちとなる状況は避けられない。

2. 研究の目的

侵襲・非侵襲を問わず、身体に装着して利用する BMI には、システムのワイヤレス化が望まれる。しかしながら、一つの無線器による集中データ伝送方式では、多チャネルの信号が一局集約するので高い通信性能が要求され、送信電力や消費電力を一定以上は下げられず、システムサイズの高性能化が制限されてしまう。そこで本研究では将来期待される 1 万、10 万チャネル計測へ世界に先駆けて対応するため、高指向性の近距離無線通信のデメリットを逆手に取って、近接した複数の無線器が混信せずに空間上でそれぞれ独立して無線通信可能な新しい分散データ伝送技術を開発するための挑戦的な研究を行う。本技術は BMI のみならず、全てのセンシング分野へ貢献できる。

3. 研究の方法

(A) 無線通信方式の検討

(ア) 無線通信・伝送方式

本務研究で開発経験もあり、本研究の成功に最も有望と考える UWB 無線通信をターゲットとし、電磁界放射伝送方式による体内外多重通信実現のためのフェージビリティ・スタディを行い、近接距離や送信電力、周波数と干渉の関係等を明らかにすることを計画する。UWB 無線のみにとらわれず、微弱無線の取り扱いとして他の方式についても技術調査を行い、超近距離向けとしては磁気結合による誘導電界無線通信も有望と考えられるので、複数の無線伝送方式についても検討を進め、総合的にどの無線方式が最適であるかを検証する。

(イ) データ解析系

無線通信・伝送方式の検討に際し、電磁界解析シミュレータや有限要素解析シミュレータなどの数値解析プログラムなどを計算機により実行し、目標とする空間多重通信を効率よく解析したり、人の目には見えない電波放射の様子をわかりやすく可視化したりするためのデータ解析系を構築する。

(B) 評価系の構築・無線通信評価

(ア) 送信系の評価

人体特性を模擬した液体ファントムを用いて送信系を構築し、指向性や干渉性など、体内外アンテナとの伝送特性を明らかにすることを計画する。適切な伝送特性となるよう、アンテナの設計も行う。送信機に要求される性能が緩和されるので、送信パワーに対する伝送レートや干渉への影響についても評価する。データ送信器としては、開発済みの UWB 送信機やシグナルジェネレータを用いて任意の信号波形を生成して評価を行う。

(イ) 受信系の評価

送信系と同様の評価系を用いて受信系を構築し、各受信機が他との干渉や欠損なくデータを受信できるか、他の受信機との同期ずれが発生しないか、体内アンテナと体外アンテナの位置関係による伝送特性の最適化などについて評価する。データ受信器としては、開発済みの UWB 受信機やスペクトラムアナライザを用いて信号波形を受信して評価を行う。

(ウ) 無線評価系の構築

送信系、受信系およびデータ解析系を含めた実環境を模擬した無線評価系を構築して体内外無線伝送特性を評価し、課題と実現可能性を明らかにする。ビットエラーレートや最大スループットがどこまでのばせるのかなどの評価を行う。実際に送受信機を開発し、独自に通信可能か検討するところまでも目指して計画する。

4. 研究成果

近接距離や送信電力、周波数と干渉の関係等について、シミュレーションにより最適な無線通信方式の検討を行うとともに、超近距離無線局を近接利用した時の伝送特性を調査した。

具体的には、本研究の成功に最も有望と考える UWB 無線通信をターゲットとし、電磁解放射伝送方式による体内外多重通信実現のためのフェージビリティ・スタディを行い、近接距離や送信電力、周波数と干渉の関係等を明らかにすることを計画した。UWB 無線のみにとらわれず、微弱無線の取扱として他の方式についても技術調査を行い、超近距離向けとしては磁気結合に

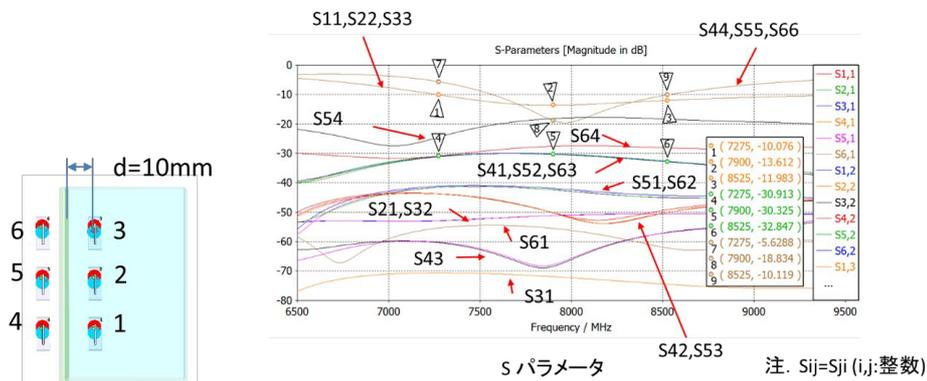


図 1 体内外通信シミュレーションモデルと S パラメータ評価結果

よる誘導電界無線通信も有望と考えられるので、複数の無線伝送方式についても検討を進め、総合的にどの無線方式が最適であるかを検証した。

結果として、体内外模擬シミュレーションにより、8GHz 帯の UWB 通信が有効であることを示した。アンテナ方式として、サイズおよび指向性の観点から、TransferJet よりも磁気誘導 / 磁気共鳴方式の方が優れていることがわかり、磁気誘導 / 磁気共鳴方式を選定した。アンテナ設計では、アンテナサイズ (7x7mm 角) が半波長と同程度になるため、実際には結合共振アンテナに近いものになった。8GHz 帯での体内外通信シミュレーションにて、通信性能と指向性特性を評価した結果、隣接アンテナからの関連のレベルは対面アンテナの受信電力に比較して 10dB 小さいことを確認した。また、治具の影響評価や外部アンテナを 1 台に簡易化した場合の影響調査を同様のシミュレーションにより行い、ともに対面アンテナからの通信性能にあまり影響を与えないことを確認した。また、ケーブル長の影響も小さいことを確認した。これらにより、実験による評価方法を具体化した。

人体頭部における体内外無線通信を模擬した頭部ファントム測定治具を開発し、人体特性を模擬した液体ファントムと共に利用して、体内外無線通信に利用する UWB 無線通信の指向性や干渉性など、体内外アンテナとの伝送特性を評価した (図 2)。

用いるアンテナとして、汎用 UWB アンテナと、体外受信側アンテナに受信感度を 10dB ほど改善する LNA を搭載するなど、専用に開発した UWB アンテナの 2 種について評価した。評価指標にはネットワークアナライザを用いて S21 特性を求めた。評価方法として、液体ファントム内に配置した送信アンテナと、それに対向するように配置した液体ファントム外の受信アンテナについて、両者の間隔距離を 5mm ごとに、両者の位置ずれを 6.5mm ごとに、両者の対面角度を 45 度ごとに変更して行った。

汎用 UWB アンテナにおいて、間隔距離の評価では 5mm・位置ずれなし・対面角度 0 度の最も通信条件が良い場合に S21 はおよそ -37dB であった。これに対し、15mm の間隔距離では -52dB と約 15dB 悪化した。つぎに位置ずれが最大の 32.5mm では、7~10dB ほど悪化し、対面角度 90 度では 2dB ほどの悪化にとどまった。

専用 UWB アンテナにおいて、LNA を用いない場合、間隔距離の評価では 5mm・位置ずれなし・対面角度 0 度の最も通信条件が良い場合に S21 はおよそ -32dB と汎用アンテナに比べて 5dB の改善効果が見られた。一方で、15mm の間隔距離では -51dB と約 19dB 悪化し、汎用アンテナに比べて 4dB ほど劣化した。位置ずれが最大の 32.5mm では、



図 2 頭部ファントム測定治具と評価系

表 1 頭部ファントム測定治具を用いた UWB 通信性能

距離 X	角度	汎用UWBアンテナ S21			専用UWBアンテナ S21 LNAなし			専用UWBアンテナ S21 LNAあり		
		5mm	10mm	15mm	5mm	10mm	15mm	5mm	10mm	15mm
+32.5mm	0°	-44.51	-51.03	-59.39	-35.27	-43.10	-46.41	-12.83	-21.05	-25.75
	45°	-44.93	-51.45	-60.25	-32.59	-40.51	-49.22	-19.97	-23.82	-35.75
	90°	-46.75	-53.80	-60.49	-33.54	-39.78	-47.41	-21.58	-27.14	-31.09
+26.0mm	0°	-41.57	-47.89	-58.54	-35.73	-41.38	-46.83	-12.92	-19.97	-24.59
	45°	-43.38	-49.84	-59.90	-33.02	-45.41	-56.58	-20.00	-25.58	-40.32
	90°	-47.95	-53.80	-63.97	-31.38	-36.55	-43.64	-17.92	-20.99	-27.63
+19.5mm	0°	-40.00	-46.17	-55.08	-35.63	-39.79	-47.92	-14.01	-21.29	-25.21
	45°	-41.98	-48.27	-56.41	-40.04	-53.51	-64.41	-22.77	-32.87	-44.10
	90°	-47.00	-52.30	-59.90	-28.85	-34.95	-41.71	-14.08	-17.30	-25.89
+13.0mm	0°	-38.10	-45.47	-54.06	-34.46	-39.32	-49.19	-15.47	-23.19	-26.84
	45°	-39.04	-47.29	-54.67	-45.30	-44.40	-61.35	-28.89	-35.12	-41.41
	90°	-44.18	-51.80	-59.72	-27.89	-34.41	-40.65	-11.44	-15.98	-24.11
+6.5mm	0°	-37.00	-44.44	-52.07	-33.05	-40.30	-49.33	-16.15	-24.24	-28.92
	45°	-37.77	-45.82	-53.61	-31.35	-39.37	-48.72	-21.51	-25.26	-32.94
	90°	-42.04	-48.32	-59.10	-29.49	-34.76	-40.55	-9.94	-15.76	-24.64
0mm	0°	-36.80	-44.63	-52.74	-32.74	-41.16	-51.07	-15.22	-23.23	-30.16
	45°	-37.01	-45.64	-54.06	-29.43	-37.73	-46.19	-17.03	-21.83	-29.00
	90°	-40.90	-48.01	-59.61	-31.09	-37.63	-41.52	-9.97	-17.34	-25.73
-6.5mm	0°	-37.33	-45.21	-52.99	-32.77	-40.41	-49.20	-14.90	-22.71	-30.31
	45°	-36.83	-45.15	-53.59	-29.13	-38.50	-45.68	-15.26	-22.19	-27.26
	90°	-40.55	-47.40	-58.55	-39.50	-41.55	-46.85	-11.69	-20.24	-30.74
-13.0mm	0°	-38.68	-46.26	-53.34	-31.85	-39.39	-47.19	-14.96	-21.68	-29.67
	45°	-37.22	-45.17	-53.47	-30.56	-40.44	-46.84	-15.65	-23.12	-27.71
	90°	-41.03	-48.26	-56.86	-42.25	-45.27	-58.57	-15.16	-27.88	-34.96
-19.5mm	0°	-41.26	-47.43	-55.79	-32.08	-39.32	-46.27	-17.50	-22.40	-30.31
	45°	-38.61	-46.41	-54.66	-33.71	-44.19	-48.95	-17.60	-25.98	-28.46
	90°	-42.43	-49.81	-58.15	-36.41	-50.93	-56.08	-34.30	-30.50	-31.25
-26.0mm	0°	-44.23	-51.01	-60.20	-32.82	-39.93	-46.59	-20.27	-24.38	-31.40
	45°	-40.26	-48.09	-56.27	-36.00	-50.10	-51.86	-19.79	-29.80	-31.58
	90°	-43.88	-51.25	-58.37	-36.28	-48.83	-49.74	-26.29	-24.69	-27.58
-32.5mm	0°	-47.04	-53.32	-62.53	-34.70	-41.34	-47.89	-25.61	-26.72	-33.86
	45°	-42.47	-50.01	-56.95	-40.38	-53.16	-55.21	-23.24	-34.95	-35.11
	90°	-45.62	-52.20	-58.20	-35.72	-50.22	-49.16	-22.05	-22.44	-27.65

7~10dB ほど悪化し、対面角度 90 度では最大 10dB 以上悪化する場合があります、専用アンテナでは角度方向に対する感度が高いことが判明した。LNA を用いた場合、用いない場合に対して 10~15dB ほどの改善効果があり、想定通りであった（表 1）。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等：なし

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：鈴木隆文

ローマ字氏名：Suzuki Takafumi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。