

無線通信用人体装着型マルチアンテナの検討

坪井聖, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科),

概要: 次世代移動通信は, 限られた周波数帯域でも高速なデータ通信が可能な MIMO (Multi-Input Multi-Output) 技術の利用が不可欠である. その技術を実現するためには, 送受信側に数本のアレーアンテナを搭載する必要がある. しかしながら, 移動通信端末は, 小形化が要求されるため, 端末に数多くのアンテナ素子を実装することが非常に困難である. そこで, 本発表では 移動通信端末のアレーアンテナを, 端末ではなくユーザの体に装着するアンテナを設計し, 数値解析により実現の可能性を検討する.

キーワード: MIMO, アンテナ設計, 人体装着型アンテナ

1. まえがき

利用可能な周波数資源が限られているなか, 移動通信の高速化を実現するため, 次世代携帯電話は, 3G-LTE の規格が採用され, その核心技術として MIMO 通信方式が採用されるとかんがえられる.

MIMO は複数のアンテナを利用することで, 周波数帯域を増やさずにデータ伝送速度を高めたり, 通信距離を伸ばしたりする革新的なアンテナ技術である. この MIMO に関する研究が爆発的に増えるきっかけとなったのは, Foschini と Gans [1] や, Telatar [2] [3] の発見によるものである. 複数の送受信アンテナを用いる MIMO システムの通信容量は, そのアンテナ数 (送受信アンテナ数の少ないほう) に比例して増加するという報告である. この発見から, MIMO に関する研究が進められるようになり, 伝播[4]- [8]・情報理論, 符号理論[9] -[12]・アンテナ構成, 制御方法[13]-[19]などの分野に関係する形で広がっている.

アンテナ素子を配置する際, アンテナ素子間は電磁結合があるため, 理論的にアンテナ素子を半波長以上の間隔に配置することが望ましい. よって MIMO システムを実装する際にはある程度の空間が必要となる. また, ユーザの手の影響を避けるために, 元々小形の端末にアンテナの配置できる場所はさらに限られてしまう. そのため, 複数本のアンテナ素子を無線通信端末に実装することが非常に困難である. また, MIMO 技術の研究の一方で, 近年人体近傍の通信ネットワーク (Personal Area Network, PAN) が提案されており[20], その技術を利用して, 人が装着している複数のウェアラブルデバイス間の通信を実現しようとしている研究が行われている [21].

そこで本研究は, 移動体通信端末のアレーアンテナを端末ではなく, ユーザの体に装着し, アレーアンテナと端末間に無線で結ぶ人体中継アンテナシステムを提案する. 本研究の通信端末用人体中継アンテナシステムは3つのアンテナから構成を予定している.

テナシステムは3つのアンテナから構成を予定している.

1. RF アンテナアレー: 従来端末に搭載するアンテナであり, 基地局と RF 信号の送受信をするが, 本提案では, 人体に装着される.

2. IF アンテナ (人体側): 周波数コンバータを介して, RF アンテナアレーと有線で接続する一方, 端末側の IF アンテナと無線で IF 信号の送受信をする.

3. IF アンテナ (端末側): 周波数コンバータを介して, 端末側のベースバンド回路と有線で接続する一方, 人体側の IF アンテナと無線で IF 信号の送受信をする.

本報告では上記のうちの RF アンテナアレーおよび IF アンテナ (人体側) の設計を行う. また設計するアンテナは, 基地局と通信を行うときは高周波帯を用い, 端末側と通信を行うときは低周波帯を用いる. 端末側と低周波帯で通信を行うことで近傍界結合の実現を目指す.

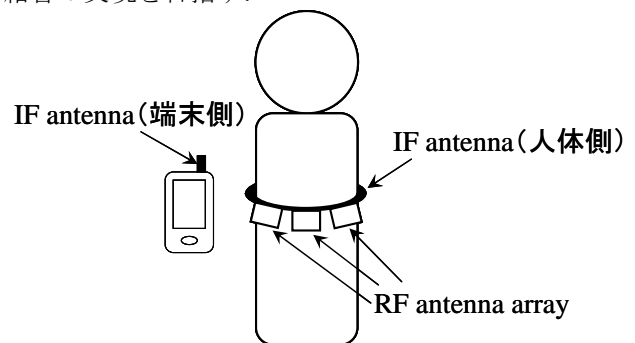


図 1: 通信端末用人体中継アンテナシステムの構成

2. 無線通信用人体装着型マルチアンテナの構造

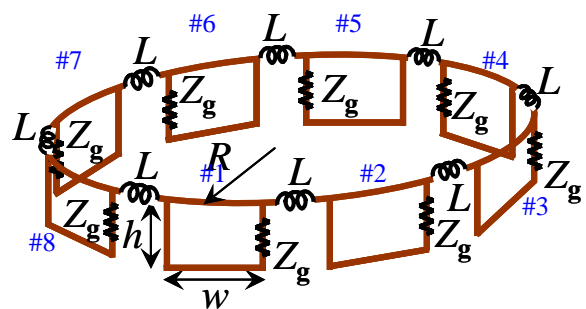


図 2: 無線通信用人体装着型マルチアンテナ

2011年6月21日

東北大学 電気・情報系 103 会議室

基本的なアンテナの形状は図2のようになる。8つの素子からなるRFアンテナアレーを今回設計する。このマルチアンテナは、アンテナを装荷する十分なスペースを確保するためにベルトのように腰に装着することを想定した。またIFアンテナはループアンテナとする。IFアンテナのループ半径を R 、RFアンテナアレーアンテナの素子長をそれぞれ h 、 w とし、負荷インピーダンスとして Z_g を設定する。またIFアンテナは低周波で共振させるためインダクタ L をRFアンテナの間にそれぞれ設定する。また、便宜的に素子に番号をつけ、一つの素子についての特性を評価する。また、この8素子のアンテナそれぞれがMIMOシステムで独立して基地局からの電波を受信し、受信した電波を信号処理し、携帯端末と通信を行い、アクティブリピータとして動作する。

3. ループアンテナアレーの受信特性

図3は解析モデルとなる。基地局との通信を想定して、平面波（垂直偏波）を入射し、設計アンテナの負荷 Z_g での受信電力を求める。このときの周波数は1~3000MHzで平面波の振幅 E_{PW} は1V/m、負荷 Z_g は 50Ω で半径 R は130~175mm、 h と w はそれぞれ10~70mm、インダクタ L は $0.1\sim 10\mu\text{H}$ 、アンテナワイヤー半径は0.1mm、アンテナの素材はPEC（Perfect Electric Conductor）、電磁界解析ソフトFEKOによるMoM法で解析した。

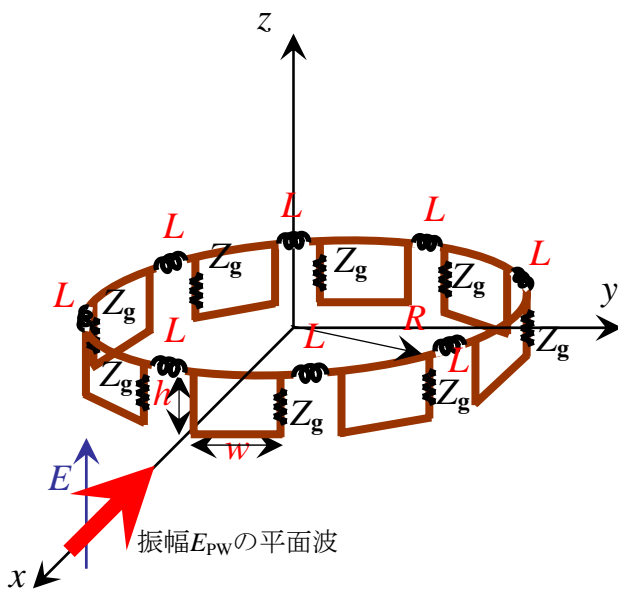


図3：ループアンテナアレーの受信特性解析モデル

図4、図5はインダクタ L をパラメータとしたときと、半径 R をパラメータとしたときの#1の素子の受信電力の周波数特性である。どの時も共振周波数は2GHzとなっており、 L と R は高周波帯で共振周波数に影響しないことがわかる。これはIFアンテナにループアンテナを採用しているため、解析モデルにおいて垂直方向の電波に対する利得が

低いため、#1の素子での受信電力に影響がなかったと考えられる。

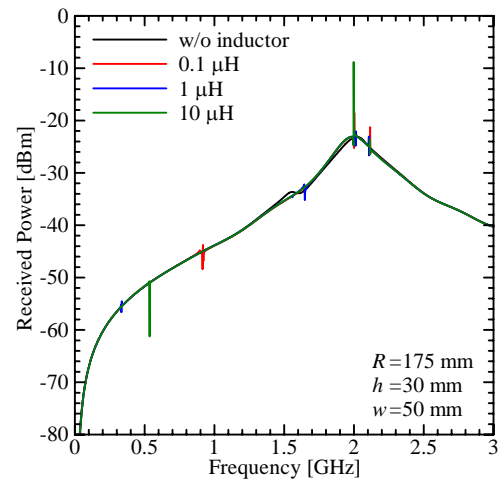


図4：#1の素子の受信電力の周波数特性（パラメータ L ）

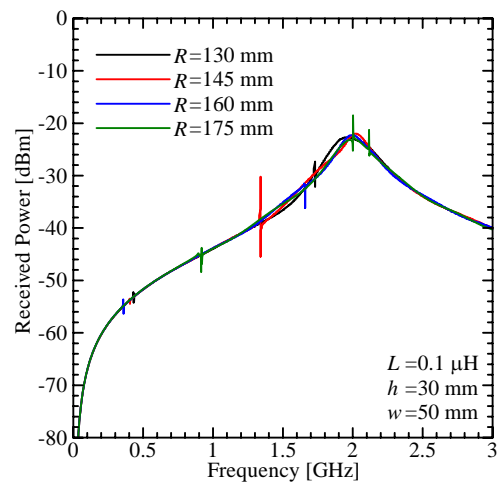


図5：#1の素子の受信電力の周波数特性（パラメータ R ）

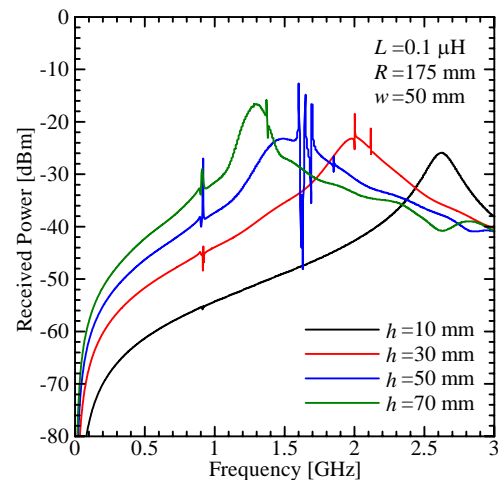


図6：#1の素子の受信電力の周波数特性

(パラメータ h)

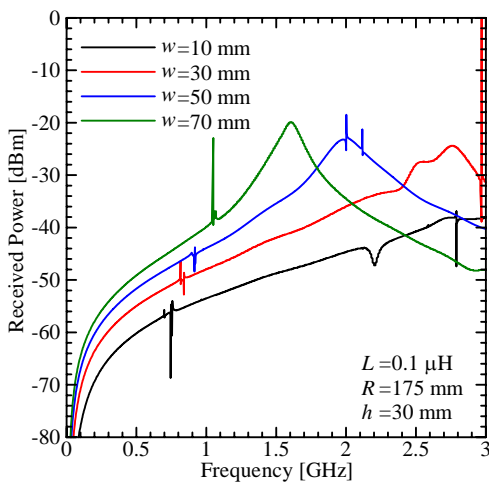


図 7 : #1 の素子の受信電力の周波数特性 (パラメータ w)

図 6, 図 7 は素子長 h をパラメータとしたときと、素子長 w をパラメータとしたときの #1 の素子の受信電力の周波数特性である。どちらも素子長によって共振周波数が変化し、 $h + w = 0.5\lambda$ となる時に共振する。以上の結果より、高周波帯の共振周波数は素子長 h と w によって決定されることがわかる。

4. ループアンテナアレーからダイポールアンテナの伝送特性

図 8 は解析モデルとなる。携帯端末との通信を想定して、設計アンテナに信号源を設定し、ダイポールアンテナでの受信電力と設計アンテナとダイポールアンテナ間の伝送損失を求める。このときの周波数は 1~400MHz で給電電圧は 1V、負荷 Z_g は 50Ω で半径 R は 130~175mm、 h と w はそれぞれ 30mm と 50mm、インダクタ L は 1~20 μ H、ダイポールアンテナの素子長 l は 200mm で設計アンテナから 300mm 離れたところに配置する。アンテナワイヤー半径は 0.1mm、アンテナは PEC, FEKO による MoM 法で解析した。

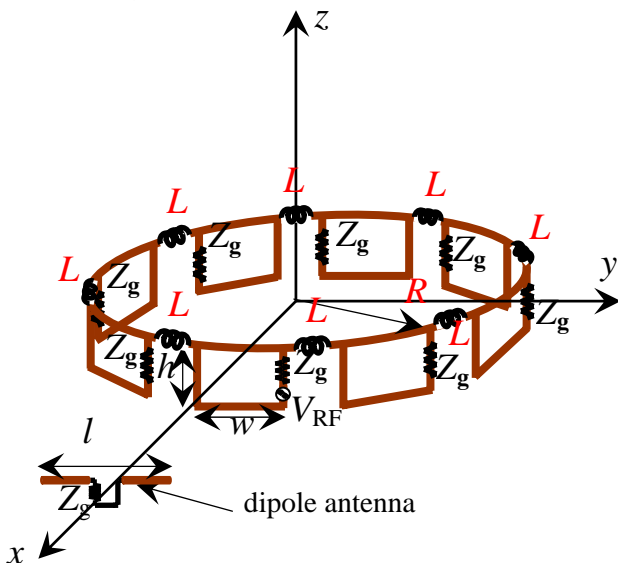


図 8 : ループアンテナアレーからダイポールアンテナの伝送特性解析モデル

図 9 はパラメータを L とした時のダイポールアンテナの受信電力の周波数特性である。図 10 はパラメータを L とした時のダイポールアンテナと #1 間の伝送損失を表している。このとき、 P_r はダイポールアンテナでの受信電力を表し、 P_t は #1 の素子の送信電力を表している。インダクタを装荷することによりピークが現れることがわかる。これはインダクタによってインピーダンスの整合が取れることで共振する周波数が変化しているためである。

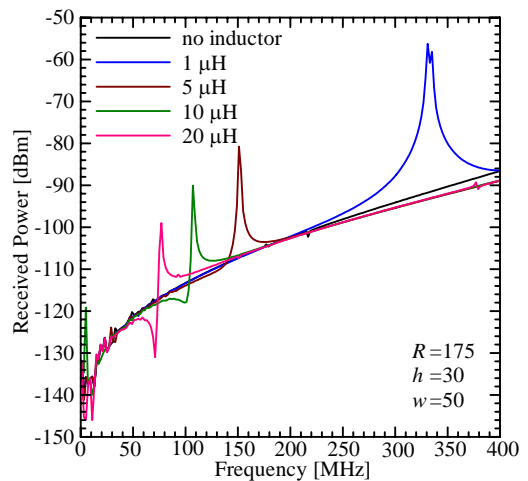


図 9 : ダイポールアンテナの受信電力の周波数特性 (パラメータ R)

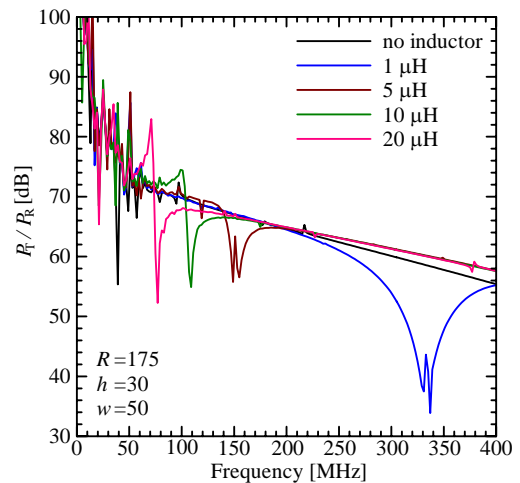


図 10 : ダイポールアンテナと #1 間の伝送損失 (パラメータ R)

5. むすび

本稿では人体に装着することを前提にしたマルチアンテナを設計した。高周波帯の 2GHz で共振し、低周波帯でも数十 MHz で共振するようなアンテナを設計することが出来た。高周波帯では素子長 h と w のみによって共振周波数が決定し、低周波帯の共振

位置は L と R に依存することを示した。この結果を元に今後は人体モデルを導入して解析を行い、またマルチアンテナの試作を行い、解析結果との比較を行う予定である。

参考文献

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Commun.*, vol.6, pp.311-335, Mar. 1998
- [2] I. E. Telatar, "Capacity of multiantenna Gaussian channels," *Bell Laboratories, Tech. Memo.*, June 1995.
- [3] I. E. Telatar, "Capacity of multiantenna Gaussian channels," *Eur. Trans. Commun.*, vol. 10, no. 6, pp.585-595, Nov.-Dec. 1999
- [4] J. B. Andersen, "Array gain and capacity for known random channels with multiple element arrays at both ends," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.18, no.11, pp2172-2178, 2000.
- [5] J. F. Kepler, T. P. Krauss, and S. Mukthavaram, "Delay spread measurements on a wide band MIMO channels at 3.7GHz," 2002 IEEE VTC-Fall, Vancouver, Sept, 2002.
- [6] D. Chizhik, G. J. Foschini, M. J. Gans, and R. A. Valenzuela, "Keyholes, correlations, and capacities of multielement transmit and receive antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol.1, no.2, pp.361-368, 2002
- [7] S. Y. Loyoka, "Channel capacity of MIMO architecture using the exponential correlation matrix," *IEEE Trans. Commun. Lett.*, vol.5, no.9, pp.369-371, 2001.
- [8] 唐沢好男, "MIMO の情報伝送能力に関する電波伝搬的支店からの考察," *信学技報*, AP2001-101, Oct. 2002.
- [9] S. M. Alamouti, "A simple transmit technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.16, no.8, pp.1451-1458, 1988.
- [10] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol.44, no.2, pp.744-765, 1988
- [11] G. G. Raleigh and J. M. Cioffi, "Spatio-temporal coding for wireless communication," *IEEE Trans. Commun.*, vol.46, no.3, pp.357-366, 1998.
- [12] R. W. Heath, Jr. and A. J. Paulraj, "Capacity maximizing linear space-time codes," *IEICE Trans. Electron.*, vol.E85-C, no.3, pp. 428-435, March 2002.
- [13] J. Salz, "Digital transmission over cross-coupled linear channels," *AT&T tech. J.*, vol.64, no.6, pp.1147-1159, July-Aug. 1985
- [14] J. H. Winters, "On the capacity of radio communications systems with diversity in Rayleigh fading environments," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.5, no.5, pp.871-878, 1987.
- [15] J. Yang and S. Roy, "On joint transmitter and receiver optimization for multiple-input multiple-output (MIMO) transmission systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol.42, no.12, pp.3221-3231, 1994.
- [16] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," *Bell Labs. Tech. J.*, Autumn 1996, pp. 41-59, 1996
- [17] R. D. Murch and K. B. Letaief, "Antenna systems for broadband wireless access," *IEEE Commun. Mag.*, vol.40, no.4, pp.70-83, April 2002.
- [18] K. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch, "Adaptive antennas at the mobile and base stations in an OFDM/TDMA systems," *IEEE Trans., Veh. Technol.*, vol.49, no.1, pp.195-206, 2002.
- [19] 唐沢好男, 谷口哲樹, 張 毅民, "MIMO 構成における最大比合成ダイバーシチと OFDM の最適伝送について", *信学*

技報, AP2001-196, 2002.

- [20] T. G. Zimmerman, "Personal area networks: near-field intrabody communication," *IBM Systems Journal*, Vol. 35, Issue 3-4, pp.609-617, 1996
- [21] H. Goldstein : "NTT's shaky approach to data transfer targets a solved problem" *IEEE Spectrum*, pp.24-25, January 2006.