IoT/M2M 機器のためのアンテナの 小型化・マルチバンド化・広帯域化

越地 福朗*

Miniaturization of Antenna, and Multiband and Broadband Antennas for IoT/M2M Systems

Fukuro KOSHIJI*

* 東京工芸大学工学部 (〒 243-0297 神奈川県厚木市飯山 1583)

* Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University (1583 Iiyama, Atsugi, Kanagawa 243-0297)

1. はじめに

近年、身のまわりのすべての機器・ものをネットワーク接続する Internet of Things (IoT)/Machine to Machine (M2M) 技術に注目が集まっている。IoT/M2M に対応するモバイル・ウェアラブル・センサ機器においては、Third Generation (3G)/Fourth Generation (4G) や Long Term Evolution (LTE), Wireless LAN, Ultra-Wideband (UWB) など、利用周波数帯の異なる複数の通信システムが搭載・共用される。これらのシステムにおいて、アンテナは、電波の出入り口となるキーデバイスであり、機器の小型化のためには、アンテナの小型・薄型化やマルチバンド化、広帯域化が重要となる。

本稿では、IoT/M2M に対応するワイヤレスシステムにおけるアンテナ一例として、UWB 用広帯域アンテナに着目し、アンテナの広帯域化や小型化、さらには、スマートフォンに内蔵可能なサイズの 4G・LTE 用 800 MHz 帯 (815~890 MHz), および、3G 用 2 GHz 帯 (1.92~2.2 GHz), UWB 用 3.1~10.6 GHz の 3 周波数帯に対応するマルチバンドアンテナについて述べる。

2. UWB 用広帯域アンテナ

UWB 通信は、3.1~10.6 GHz の周波数帯域を使用するため、従来の狭帯域通信に比べ、広帯域にわたって良好な VSWR[†] 特性のアンテナが必要とされる。また、UWB 無線通信システムが IoT/M2M 機器などの小型機器に搭載されることを考えると、アンテナの小型、薄型化が、システム全体の小型、薄型化につながる。

UWB 用の広帯域アンテナについては、これまで多数の研究機関により研究されており、自己補対形状、自己相似形状の平衡型アンテナを利用した例^{1)~4)}、モノポールアンテナを変形した例^{5),6)}、ダイポールアンテナを不平衡化した例⁷⁾、従来にないユニークな形状で広帯域化を実現した例^{8),9)} などがある。

平面形状で広帯域な周波数特性と水平面内無指向性を両立するアンテナに、ボウタイアンテナのような平衡型アン

テナ¹⁾があるが、ボウタイアンテナの入力インピーダンスは、200~300 Ω と高く、一般的な高周波回路で用いられる 50 Ω 系線路により給電するためには、インピーダンス変換回路および平衡・不平衡変換回路を必要とし、給電線路を含めたアンテナサイズが大きくなる問題がある^{10),11)}。

これらの課題を解決すべく、図 1 のようなアンテナ放射素子の形状検討がなされている。図 2(a)~(c) は、図 1 における各アンテナの VSWR 特性、および入力インピーダンス特性の抵抗成分、リアクタンス成分それぞれを示したものである。表 1 は、図 1 における各アンテナの寸法を示している。図 2 からわかるとおり、図 1(e) 半円台形不平衡ダイポールアンテナは、ボウタイアンテナを起点に放射素子形状を変形し、半円と台形の組み合わせとすることで、共振点数の増加と低入力インピーダンス化および高域のリアクタンス成分低減を同時に行い、広い周波数帯域にわたって 50 Ω 程度の低入力インピーダンスを実現したものである。

量産化および小型化の観点からセミリジッドケーブルなどの同軸線路での給電は望ましくない。したがって、給電

図 1. UWB アンテナの形状検討プロセス

図2. 各アンテナの VSWR 特性, および, 入力インピーダンス特性 (抵抗成分, リアクタンス成分)

表1. 各アンテナの寸法

	r	a_1	b_1	h_1	l_1	a_2	b_2	h_2	l_2	g
Trapezoidal dipole: (b)	—	15	32.5	15.16	18.16	15	32.5	15.16	18.16	0.5
Trapezoidal monopole: (d)	—	40	40	20	—	12	32.5	15	18.17	0.5
Semicircular monopole: (c)	15	40	40	20	—	—	—	—	—	0.2
Unbalanced trapezoidal dipole: (f)	—	15	35.55	17.79	20.54	10.5	24.88	12.45	14.38	0.5
Unbalanced semicircular & trapezoidal: (e)	12.44	15	35.55	17.79	20.54	—	—	—	—	0.2

図3. 試作した半円台形不平衡ダイポールアンテナ

図4. 試作アンテナの VSWR 特性

線路まで含めて検討することが重要となる。

図3は, 半円台形不平衡ダイポールアンテナをプリント配線板上により試作したものである。図4に, 図3に示す試作アンテナの VSWR 特性を示す。同図には, Transmission Line Matrix (TLM) 法による電磁界解析結果もあわせて示す。図4からわかるとおり, 試作した半円台形不平衡ダイポールアンテナは, 2.8~11.5 GHz で $VSWR \leq 2.0$, 比帯域幅 122% の良好な VSWR 特性が得られている¹²⁾。

図5. 試作した扇形台形不平衡ダイポールアンテナ

3. 広帯域アンテナの小型化

IoT/M2M 機器などの小型機器へのアンテナ搭載を考えると, アンテナ自体も, より小型なものが望まれる。過去に報告された小型 UWB アンテナは, 帯域特性を犠牲にして小型化を優先したものがほとんどであり, 小型でありながら, UWB 周波数帯域全体にわたって定インピーダンス特性および低 VSWR 特性を実現するものは見当たらない^{13),14)}。

こうした課題に対応するアンテナの一例として, UWB 用半円台形不平衡ダイポールアンテナをもとに, アンテナの表面電流分布を考慮し, 放射素子を扇形と台形に変形することで, アンテナサイズをほぼ半分としながら, 同等以上の VSWR 特性を実現できるアンテナが提案されている¹⁵⁾。図5は, 試作した扇形台形不平衡ダイポールアンテナを示したものである。また, 図6に, 試作した扇形台形不平衡ダイポールアンテナの VSWR 特性を示す。同図には, TLM 法による電磁界解析結果もあわせて示す。同図からわかるとおり, 試作した扇形台形不平衡ダイポールアンテナが,

図 6. 試作アンテナの VSWR 特性

3.0~15 GHz で $VSWR \leq 2.0$ ，比帯域幅 133% の良好な特性が得られている。

さらに，本アンテナの生産性や量産コストを考慮し，プリント配線板で形成したものや，電子機器の曲面部分への配置を考慮し，薄型のプリント配線板を利用することで，フレキシブル化を実現した扇形台形不平衡ダイポールアンテナなども提案・検討されている¹⁶⁾。

4. 800 MHz・2.0 GHz・UWB 帯3周波数帯対応マルチバンドアンテナ

携帯機器への搭載を目的とした UWB アンテナの多くは，UWB 周波数帯のみに対応するもの^{4),9)}であり，すでに複数のアンテナが搭載されているスマートフォンなどの携帯機器への UWB アンテナの搭載は，アンテナ数のさらなる増加につながり，機器の大型化を招くため望ましくない。

こうした課題に対応するアンテナとして，スマートフォンに内蔵可能なサイズで単一アンテナでありながら，3G 用 2 GHz 帯 (1.92~2.2 GHz) と UWB 用 3.1~10.6 GHz の 2 周波数帯に対応可能なデュアルバンドアンテナが提案・検討されている¹⁷⁾。

さらに，スマートフォンなどの移动通信システムに着目すると，今後，800 MHz 帯を利用する Long Term Evolution (LTE) 技術を搭載した第 4 世代 (Fourth-Generation (4G)) 移动通信システム¹⁸⁾の普及が予想される。

こうした背景から，3G 用 2 GHz 帯 (1.92~2.2 GHz)，UWB 用 3.1~10.6 GHz のみならず，4G・LTE 用 800 MHz 帯 (815~890 MHz) でも利用可能な 3 周波数帯対応マルチバンドアンテナが提案・検討されている¹⁹⁾。

図 7 は，800 MHz・2.0 GHz・UWB 帯 3 周波数帯対応マルチバンドアンテナの構成を示したものである。本アンテナは，扇形台形不平衡ダイポールアンテナの扇形放射素子を用い，携帯機器における電子回路のグラウンドを台形放射素子の代わりに利用している。また，扇形放射素子に折り返し放射素子を付加することで，UWB 用 3.1~10.6 GHz に加えて，3G 用 2 GHz 帯 (1.92~2.2 GHz)，および 4G・LTE 用 800 MHz 帯 (815~890 MHz) でも利用可能としている。

図 7. 800 MHz・2.0 GHz・UWB 帯 3 周波数帯対応マルチバンドアンテナの構成

図 8. 試作アンテナ

図 9. 試作アンテナの VSWR 特性

図 8 は，試作した 800 MHz・2.0 GHz・UWB 帯 3 周波数帯対応マルチバンドアンテナの写真である。アンテナの各寸法は扇形半径 $r = 18$ mm，追加放射素子長 $i = 5$ mm，給電部分の間隔 $g = 0.2$ mm，放射素子とグラウンド導体との距離 $x = 1$ mm，グラウンド導体幅 $L_x = 60$ mm，グラウンド導体長 $L_z = 99.8$ mm，線路幅 $w = 1$ mm， $e_z = 7.5$ mm， $e_x = 38$ mm，テーパ角 $\theta = 88^\circ$ である。図 9 は，試作アンテナの VSWR 特性を示したものである。同図には，Finite Difference Time Domain (FDTD) 法による電磁界解析結果もあわせて示す。同図からわかるとおり，試作アンテナにおいて，800 MHz 帯を含む 810~890 MHz，2 GHz 帯を含む 1.8~2.2 GHz，および，UWB 帯域を含む 2.7~11.5 GHz において $VSWR \leq 2$ の良好な特性が得られている。

5. まとめ

本稿では、IoT/M2Mに対応するワイヤレスシステムにおけるアンテナ一例として、UWB用広帯域アンテナに着目し、アンテナの広帯域化のプロセスを紹介するとともに、小型化やスマートフォンに内蔵可能な4G・LTE用800 MHz帯(815~890 MHz)、および3G用2 GHz帯(1.92~2.2 GHz)、UWB用3.1~10.6 GHzの3周波数帯に対応するマルチバンドアンテナについて述べた。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B))課題番号26750228によって実施されたものである。

(2015.7.5-受理)

文 献

- 1) J. D. Kraus and R. J. Roland: "Antennas, 3rd edition," p. 384, McGraw-Hill, 2003
- 2) 斉藤 昭, 岩木孝憲, 本城和彦, 佐藤謙一, 小山とよこ, 渡部貢市: "樹脂プリント基板上に作製したUWB用自己補対アンテナ小型化の基本検討," 2004 信学総大, B-1-73, Mar. 2004
- 3) 河村尚志, 山本 綾, 梅田 等, 手代木扶: "UWB用自己補対スパイラルアンテナの伝送特性," 2004 信学総大, B-1-109, Mar. 2004
- 4) 鈴谷充隆, 山本 学, 野島俊雄, 伊藤精彦: "自己補対放射素子を用いたマイクロストリップ給電広帯域プリントダイポールアンテナ," 信学論(B), Vol. **88-B**, No. 9, pp. 1662-1673, Sep. 2005
- 5) N. P. Agrawall, et al.: "Wideband Planar Monopole Antennas," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. **46**, No. 2, pp. 294-295, Feb. 1998
- 6) 手嶋正雄, 島崎 寛, 峯邑隆司, 天野 隆: "広帯域台形形状モノポールアンテナに関する検討," 2004 信学ソ大, B-1-73, Sep. 2004
- 7) 堀田 篤, 岩崎久雄: "UWB用広帯域平面台形ダイポールアンテナの検討," 2004 信学技報, WBS2004-153, Mar. 2005
- 8) 倉本品夫: "プリント基板を用いた平面型のUWBアンテナ," 2004 信学ソ大, B-1-118, Sep. 2004
- 9) 倉本品夫: "2種類の楕円状素子を平行に配置した平面型のUWBアンテナ," 信学論(B), Vol. **88-B**, No. 9, pp. 1710-1717, Sep. 2005
- 10) 岩木孝憲, 斉藤 昭, 本城和彦: "平衡モードインピーダンス整合回路を備えた小型UWBアンテナの特性," 2004 信学総大, B-1-71, Mar. 2004
- 11) 鳥山邦明, 越地耕二: "UWB通信用等角スパイラルアンテナの給電線路の検討," 2005 JIEPエレクトロニクス実装学術講演大会, 17C-02, May 2005
- 12) 越地福朗, 江口俊哉, 佐藤幸一, 越地耕二: "UWB用半円台形不平衡ダイポールアンテナの提案と検討," エレクトロニクス実装学会誌, Vol. **10**, No. 3, pp. 200-210, May 2007
- 13) 島崎 寛, 手嶋正雄, 天野 隆: "変形平面ダイポールアンテナの低背化検討," 2007年電子情報通信学ソサイエティ大会, B-1-47, Sep. 2007
- 14) 倉本品夫: "2組の三角形の放射素子を組み合わせた小形広帯域アンテナ," 信学論(B), Vol. **90-B**, No. 9, pp. 821-829, September 2007
- 15) 越地福朗, 板谷俊輔, 秋山侑祐, 越地耕二: "UWB用広帯域不平衡ダイポールアンテナの小型化の提案と検討," エレクトロニクス実装学会誌, Vol. **15**, No. 7, pp. 526-533, Nov. 2012
- 16) K. Hiraguri, F. Koshiji, and K. Koshiji: "A Flexible Broadband Antenna with Fan-Shaped and Trapezoidal Elements formed on Printed Circuit Board for Ultra-Wideband Radio," International Conference on Electronics Packaging 2014 (ICEP 2014), pp. 807-810, Toyama, Japan, April 2014
- 17) 越地福朗, 秋山侑祐, 越地耕二: "3Gスマートフォンに組み込んだUWB対応アンテナの検討," 日本AEM学会誌, Vol. **21**, No. 2, pp. 122-128, June 2013
- 18) 総務省: 周波数割り当て・公開, <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/>
- 19) 秋山侑祐, 越地福朗, 越地耕二: "第4世代移動通信スマートフォンのための800 MHz・2.0 GHz・UWB帯3周波数帯対応マルチバンドアンテナ," 日本AEM学会誌, Vol. **22**, No. 2, pp. 150-155, June 2014

† 用語解説

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio; 電圧定在波比):

伝送線路にインピーダンス不整合があると、進行波の一部が反射され、反射波が生じる。進行波と反射波が重なってできた波を定在波と呼び、定在波の振幅の最大値と最小値の比を定在波比 (Standing Wave Ratio; SWR) と呼ぶ。特に電圧については、電圧定在波比 (Voltage Standing Wave Ratio; VSWR) と呼び、伝送線路やアンテナの性能をあらわす指標のひとつとして用いられている。

著者紹介

越地福朗 (こしち ふくろう)

2002年東京理科大学理工学部電気工学科卒業。2002~2011年コニカ(現在、コニカミノルタ)(株)中央研究所。2010年東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻博士後期課程修了(博士(環境学))。2011~2014年国土館大学理工学部電子情報学系専任講師。2015年東京工芸大学工学部基礎教育研究センター准教授。現在に至る。また、2010年より、東京理科大学総合研究機構客員研究員を併任。電磁波工学、通信工学、人工環境学などの研究に従事。