

グレーティングアンテナによる二次元通信空間と三次元空間の結合

Connecting 2D-Communication Space with 3D Space Using Grating Antenna

門内 靖明 (東京大学) 篠田 裕之 (東京大学)

Yasuaki MONNAI, The University of Tokyo, monnai@alab.t.u-tokyo.ac.jp
Hiroyuki SHINODA, The University of Tokyo

We propose a novel Grating Antenna which consists of periodic insulators, and couples to a two-dimensional communication sheet to convert microwaves from guided modes into directive radiation modes. The proposed Grating Antenna enables interconnection of two-dimensional communication sheets for instance and enlarges spatial flexibility of two-dimensional communication.

Key word: Evolutionary Computation, Parallerization, Distributed Processing, Genetic Algorithms, Simulated Annealing

1 緒言

近年、電気通信の新しい物理層として、二次元導波路(通信シート)表面のマイクロ波近接場を利用して非接触にデバイス間の通信や給電を行う二次元通信という概念が提案されている^{1, 2)}。

二次元通信は、一次元的なケーブルを伝送路とする有線通信と、三次元空間を伝送路とする無線通信の両者の利点を併せ持った通信形態であり、通信シート上に設置されたデバイス間において干渉性が低く電波漏洩の少ない高速・高セキュリティな無線通信、あるいは無線電力伝送などが可能となる。このような通信シートを机や壁など環境中の面状領域に組み込むことにより、環境中の配線を減らし、面状に分布する数多くのデバイスをワイヤレスでユビキタスに利用可能な環境を実現することが期待されている。しかし従来の二次元通信では、その原理ゆえに基本的に同一平面上でしか電波を伝送することができず、結果的に利用範囲がデスクトップ程度に限定されていた。

本論文では、通信シート上に設置された誘電体周期構造から成るアンテナデバイス(グレーティングアンテナ、図1上段)を用いて二次元通信の適用範囲を空間的に拡張することを提案する。グレーティングアンテナは波数変調効果によって、通信シート中のマイクロ波を空間中に放射される指向性ビームに変換し、また可逆的に空間中のビームを通信シート中を伝搬する波に変換することができる。指向性はグレーティング周期によって調節することができる。これによって、例えば机と壁のようにトポロジの異なる面内に組み込まれた複数の二次元通信シートを指向性ビームによってインターコネクトすることが可能となり(図1下段)、より広い範囲のユビキタス通信やセンサネットワーク環境を構築することができる。

2 原理

図2に通信シートの基本的な構造を示す。通信シートは導体メッシュ層(上)、誘電体層(中)、導体グラウンド層(下)の三層構造からなっており、二次元的なマイクロストリップラインとみなすことができる³⁾。導体メッシュの周期は伝送されるマイクロ波波長よりも十分短い。本論文では通信シートの垂直上方向に z 軸を定め(表面で $z=0$)、 y 方向に一様性を仮定して x 方向に伝搬する波を考える。通信シートによって伝送されるマイクロ波の規準モードは、通信シートにパワーがトラップされながら伝送される導波モードと、外部に放射が生じる放射モードの二種類に分けられる。導波モードの場合には通信シート表面に非放

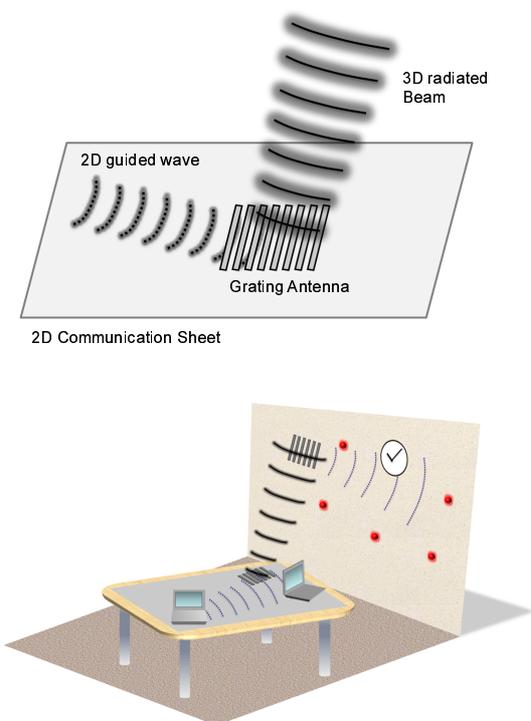


Fig. 1 The images of the fundamental work of the Grating Antenna (top), and its application for intra 2DCSs interconnection (bottom).

射の近接場が形成される。通常の二次元通信ではこの近接場を用いて通信シート内外で信号の授受を行う。

提案するグレーティングアンテナは、図3のように通信シート上に x 方向に並べられた誘電体バーのグレーティングから成る。一般に導波路表面に散乱体として波数 β_p のグレーティングによる誘電率の周期摂動が導入された場合、位相整合条件

$$\beta_r = \beta_g + n\beta_p \quad (1)$$

によって結ばれる導波モード(波数 β_g)と放射モード(波数 β_r)の間に効果的な結合が生じる^{4, 5, 6)}。ただし n はモード結合次数を表す整数である。このようなモード結合は、光の領域では従来より扱われてきたが、本研究ではマ

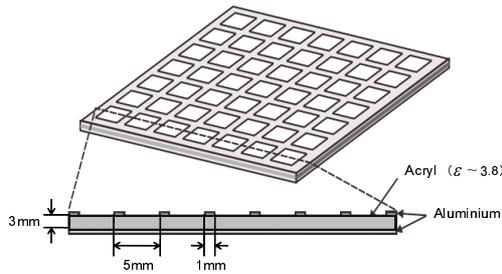


Fig. 2 Image of the Grating Antenna on a 2DCS (top). Definition of parameters for a rectangular grating (bottom).

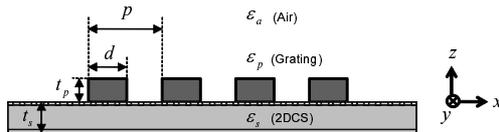


Fig. 3 Image of the Grating Antenna on a 2DCS (top). Definition of parameters for a rectangular grating (bottom).

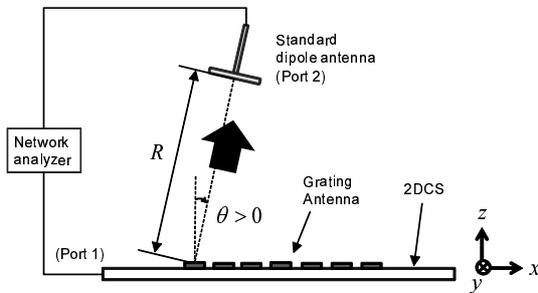


Fig. 4 Schematic of experimental setup.

マイクロ波領域を対象としている．グレーティングの存在する領域中で導波モードのパワーは進行とともに指数関数的に減衰し，その分が放射モードの重ね合わせとして空中の

$$\theta_n = \sin^{-1} \left(\frac{\beta_r}{\beta_a} \right) \simeq \sin^{-1} \left(\frac{\beta_g + n\beta_p}{\beta_a} \right) \quad (2)$$

で定まる方向に指向的に放射される．ただし β_a は空中における平面波の波数である．式(2)は β_p に依存しているので，グレーティングの周期を変えることで放射方向を調節可能であることがわかる．このモード結合の過程は可逆的であるので，外部空間から到来したマイクロ波をグレーティングによって通信シート内に導入することも可能である．

3 実験

図4にグレーティングアンテナからの放射を測定する実験系の概略図を示す．ポート1から導入されたマイクロ波は通信シート上のグレーティング領域から放射される．ポート2は5GHz帯の標準ダイポールアンテナ(アンリツ, MA5612C)であり，放射されたマイクロ波をグレーティングの左端から半径 $R = 500\text{mm}$ ，角度 θ の位置で受信する．測定周波数は標準アンテナの感度が最高となった5.568GHzに設定し，ポート1, 2間のSパラメータをネットワークアナライザ(Agilent, E5071B)を用いて測定した．通信シート中の比誘電率は3，グレーティングとしては比誘電率15の誘電体バー7個を通信シート上に x 方向に周期 p で並べた．ただし p は通信シート中のマイクロ波波長 λ_s で規格化して示すものとする．

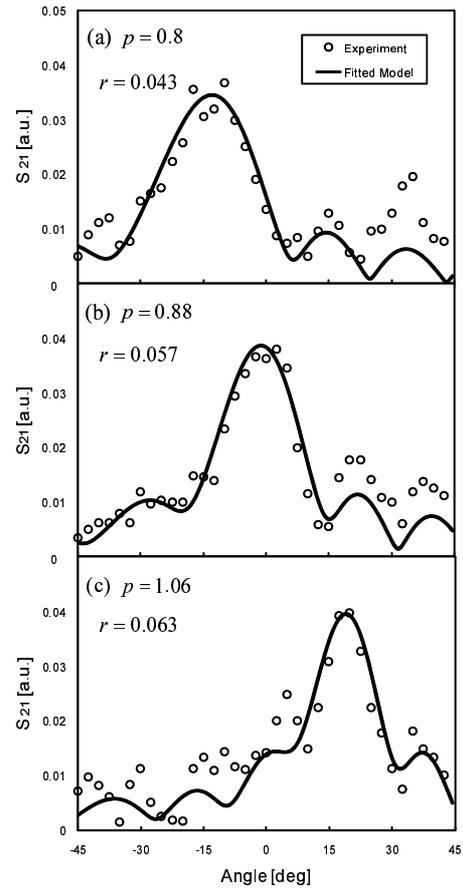


Fig. 5 Directivity of the radiation from the grating. Experimental results (circles) and simulation results (solid lines). $N = 7$, $R = 0.5\text{m}$ and the period is changed from (a) $p = 0.8$ to (c) $p = 1.06$.

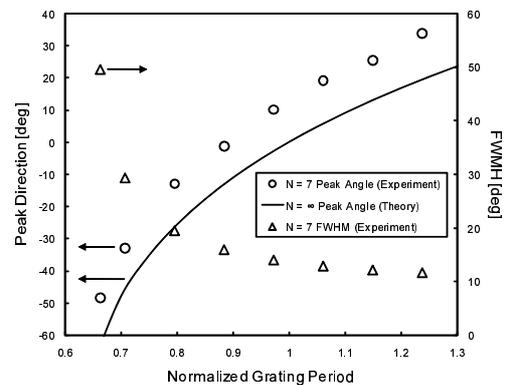


Fig. 6 Radiation angles (circles, left axis) and FWHM (triangles, right axis) as a function of the grating period. The solid line shows the theoretical radiation angle of $N = \infty$.

図5(a)～(c)に $p = 0.8 \sim 1.06$ の場合の指向性の測定結果を示す． p を大きくすると指向性のピークが正の方向にシフトする様子が明瞭に観察される． p をさらに様々に変化させたときの指向性の変化を図6に示す．実験値(丸点，左軸)は式(2)(実線，左軸)の傾向とよく一致している．両者はほぼ定数分だけ違っているが，これは実験で用いたグレーティングが有限長であること，および放射を観測した点がグレーティングの近傍であったことに起因していると考えられる．いずれの場合でも p を $0.6 \sim 1.3$ の範囲で変えることで指向性のピークを約 80° 幅で変えられることが

わかった．また図6にはピークの半値全幅（三角点，右軸）も合わせて示されており， p が大きくなるほどピークが鋭くなることがわかった．単純な見積もりにより，一連の過程において導波モードのパワーの約15～40%が空中に放射されたことがわかった．放射パワーはグレーティング長や比誘電率などのパラメータによって調整することができるものと考えられる．

4 結論

誘電体周期構造からなるグレーティングアンテナによって二次元通信シート中のマイクロ波を空間中の指向性ビームに可逆的に変換するグレーティングアンテナを提案した．実験により，放射の指向性を約80°幅で変えることができ，導波モードの15～40%のパワーを空中に放射できることがわかった．今後，グレーティングアンテナによる受信効率などの評価を行いながら，各パラメータの最適化を図っていく予定である．

参考文献

- 1) Yasutoshi Makino, Kouta Minamizawa, and Hiroyuki Shinoda, "Sensor Networking Using Two-Dimensional Electromagnetic Wave", Proc. IEEJ 22nd Sensor Symposium, pp.83-88, 2005.
- 2) 篠田裕之, 素材表面に形成する高速センサネットワーク, 計測制御, vol.42, no.2, pp98-103, 2007
- 3) Hiroyuki Shinoda, Yasutoshi Makino, Naoshi Yamahira, and Hiroto Itai, "Surface Sensor Network Using Inductive Signal Transmission Layer", Proc. INSS 2007, Braunschweig, Germany, pp. 201-206, 2007
- 4) M. L. Dakss, L. Kuhn, P. F. Heidrich, and B. A. Scott, "Grating coupler for efficient excitation of optical guided waves in thin films", Appl. Phys. Lett., vol.16, no.12, pp523-525, 1970
- 5) T. Tamir and S. T. Peng, "Analysis and Design of Grating Couplers", Appl. Phys. A, vol.14, no.3, pp235-254, 1977
- 6) 西原浩, 春名正光, 栖原敏明, 光集積回路(改訂増補版), オーム社, 東京, 1993