

修士学位論文要約（平成29年3月）

機械式ビーム走査平面型アンテナの研究

関口 貴志

指導教員：陳 強， 研究指導教員：今野 佳祐

Study Of Planar Antenna For Mechanically Beam Scanning

Takashi SEKIGUCHI

Supervisor: Qiang CHEN, Research Advisor: Keisuke KONNO

To realize a high speed wireless communication system, a millimeter-wave band over 30 GHz, is expected to be helpful. In order to compensate a high propagation loss of the millimeter-wave band, a beam scanning capability is desirable for a millimeter-wave antenna. We propose a mechanical beam scanning antenna composed of a dipole array antenna coupled to two-wire parallel transmission line. The proposed antenna is able to direct its main beam flexibly by controlling an array spacing between the dipole elements using an actuator. Performance of our proposed mechanical beam scanning antenna is demonstrated numerically and experimentally.

1. はじめに

高速無線通信実現のため、広帯域を確保できる30GHz以上のミリ波帯の使用が期待されている。ミリ波帯の電磁波は伝搬損失が大きいため、屋内無線LAN等の近距離通信への応用が予測されており、アンテナの主ビーム方向を変化できるビーム走査アンテナが期待される。ビーム走査の手法として、機械的動作で素子を動かしてビーム方向を切り替える機械式ビーム走査が着目されている。

我々の研究グループは、平行二本線路に等間隔配置されたダイポールアレーを組み合わせた機械式ビーム走査アンテナを提案してきた¹⁾。これまでの研究で、提案アンテナにおいてダイポールアレーの間隔を変化することで主ビーム方向が変化するが、エンドファイア方向にグレーティングローブと呼ばれる不要ビームも同時に出現してしまうことを確認した。そこで、グレーティングローブ抑圧のため、線路上にインダクタ素子を装荷することを提案してきたが、ミリ波帯でのインダクタの実現については未検討であった。そこで、本研究では、数値解析及び実験により、提案アンテナの最適な設計を明らかにし、提案アンテナの特性を明らかにするものとする。

2. 数値解析結果

提案アンテナは等間隔配置されたダイポールアレーの間隔 d を変化することで主ビーム方向 θ_0 を切り替えるアンテナであり、 d と θ_0 の関係は以下の式(1)で表せる²⁾。ただし、 λ は平行二本線路を伝搬する電磁波の波長であり λ_0 は自由空間での電磁波の波長である。

$$\theta_0 = \arcsin\left(m \frac{\lambda_0}{d} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right) \quad (1)$$

通常の平行二本線路では、 $\lambda = \lambda_0$ であるため、 d

によらず常にエンドファイアにグレーティングローブを生じてしまう。そこで、線路上にインダクタを装荷することで $\lambda < \lambda_0$ となり、グレーティングローブを抑圧できる。しかしながら、集中乗数素子の実現が不可能なミリ波帯に置いてインダクタ素子をどのように実現するかは検討されていない。

そこで、モーメント法による数値解析により、動作周波数 $f = 30 \text{ GHz}$ において、アレー素子数 $N = 10$ の提案アンテナのインダクタについて、図1で示すように分布定数理論に基づき、インダクタ素子を z 軸方向に折り曲げたメアンダに置換した分布乗数モデルを提案した。メアンダ間の間隔 l_m は $0.7\lambda_0$ であり、メアンダの特性インピーダンス Z_o は 276Ω である。メアンダの長さを l_l とすると、メアンダのインピーダンス Z_s は

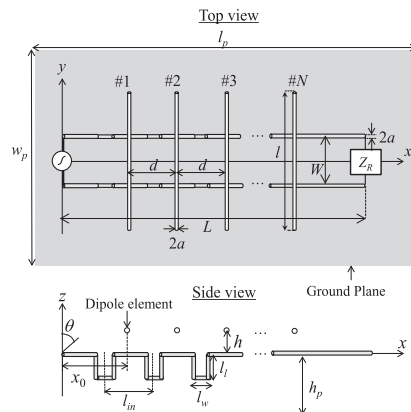


図1 分布定数アンテナモデル

式(2)で示される。ただし、 β は位相定数である。

$$Z_s = jZ_o \tan(\beta l_i) \quad (2)$$

これまでの研究で用いた1nHのインダクタ素子とメアンダが等価になる l_i を式(2)より求めると、 $l_i = 0.1\lambda_0$ である。

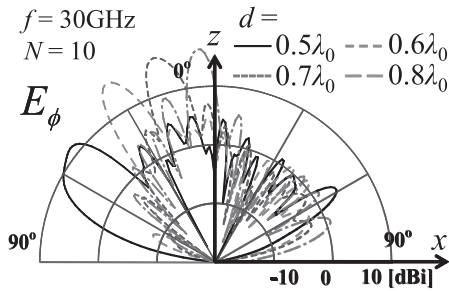


図2 分布定数モデルの指向性利得

以上のように設計した提案アンテナのビーム走査を行った指向性利得の数値解析結果を図2に示す。 d を変化することで、鋭い主ビームの方向を変化できた。また、メアンダにより、グレーティングローブが抑圧され、希望の主ビームのみを得られた。

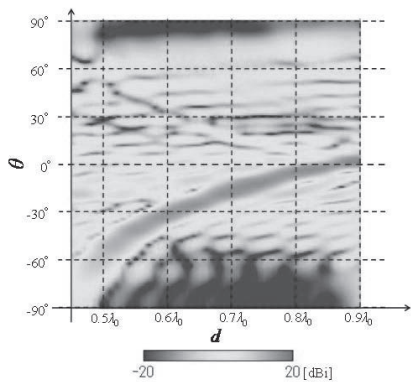


図3 アレー素子間隔と指向性利得

このときのビーム走査範囲を図3に示す。提案アンテナが広範囲にビーム走査できることを示した。

3. アンテナの試作と実験結果

数値解析結果をもとに、動作周波数 f を3GHzとし、アンテナ寸法を10倍スケールしたアンテナを試作した。試作アンテナでは、サーボモーターによりダイポール素子を乗せたゴム紐を引っ張り、 d を変化させることで、機械式ビーム走査実現した。図4に試作アンテナを示す。

伝搬無響室にて以上に示した試作アンテナの伝搬実験を行い、その動作利得を測定した。その結果が

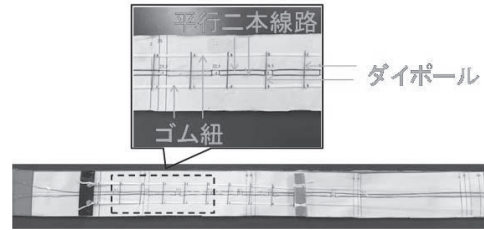


図4 試作アンテナ

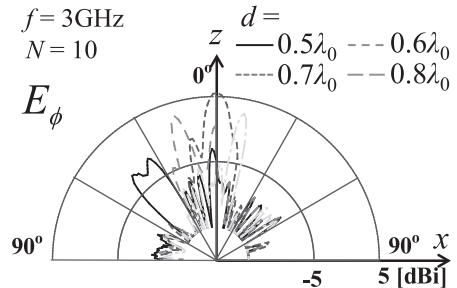


図5 試作アンテナの動作利得

図5である。

図5の結果より、試作アンテナはサーボモーターによる機械動作でビーム走査が実現できることが示された。

4. まとめ

ミリ波帯通信アンテナとして、平行二本線路とダイポールアレーからなる機械式ビーム走査アンテナを提案した。モーメント法を用いた数値解析により、提案アンテナの最適な設計を明らかにし、提案アンテナが広範囲にビームを走査できることを示した。

また、数値解析結果をもとに提案アンテナを試作し、サーボモーターによりアレー素子間隔を変化させ、ビームを走査する機構を作製した。試作アンテナの伝搬実験により、提案アンテナがビームを走査できることを実験的にも明らかにした。

文献

- 1) K. Konno, K. Takeda, and Q. Chen, "Beam scanning capability and suppression of endfire radiation of dipole array antennas coupled to two wire parallel transmission line," IEICE Commun. Express, vol. 4, no. 12, pp. 358-362, 2015.
- 2) J. L. Volakis, Antenna Engineering Handbook 4th ed., McGraw-Hill, 2007.