

| | |
|-----------|---|
| 氏名 | いそた ようじ 磯田 陽次 |
| 授与学位 | 博士(工学) |
| 学位授与年月日 | 平成15年12月10日 |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第4条第2項 |
| 最終学歴 | 昭和54年3月 大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻博士課程前期課程修了 |
| 学位論文題目 | 衛星・移動体通信用アンテナ給電回路の高性能化 に関する研究 |
| 論文審査委員 | 主査 東北大学教授 坪内和夫 東北大学教授 澤谷邦男 東北大学教授 安達文幸 |

論文内容要旨

1. まえがき

衛星通信はサービスの広域性、同報性、回線設定の柔軟性および耐災害性などの特長を生かし、国際通信を中心に発展した。現在日本では、最大 1.2Gbps のデータ伝送速度の実現を目指した超高速インターネット衛星(WINDS)や移動体衛星通信に適した8の字衛星などの打ち上げが計画されている。一方、日本の移動体通信は1979年の自動車電話サービスの開始以降、端末の小型化、低価格化とサービスエリアの拡大等の努力の結果、現在では携帯電話およびPHSは日本国内で全人口の58%にあたる7300万もの加入を得て、最も一般的な移動体通信手段として広まっている。さらに第3世代移動体通信としてW-CDMA方式やCDMA2000方式による高速データ通信サービスも開始された。最近では、ブロードバンドサービスとして急速に広がっている2.4GHz帯無線LAN(IEEE 802.11b)や5GHz帯無線LAN(IEEE 802.11a)は準静止の通信サービスであるが、ホットスポットネットワークとして広がる可能性がある。

無線LANを含めたこれらの通信システムは動画像伝送が可能なほど高速であり、端末が小型でどこへでも持ち運べるという特徴があるが、海上や山間部ではサービスされていないところが多く、サービスエリアが日本全国をカバーしていない問題がある。

これらの衛星通信と移動体通信を統合すると、日本中をカバーする広範囲なサービスが可能で、災害に強く、高速データ伝送が可能な通信システム構築が可能である。この統合通信システムは災害時や山奥のダム建設現場、海上等の有線インフラが使用できない場合の通信システムに最適と考えられる。現在、衛星通信と移動体通信を統合したシステムとして、N-STARを用いた移動体衛星通信や防災無線があるが、いずれもデータ伝送速度が遅く、画像を伝送するのに時間がかかるという問題がある。高速データ伝送が可能な統合システムを実現するための現在の課題として、

- (1) 衛星回線のデータ伝送速度向上
- (2) 衛星通信、移動体通信両方使用可能な小型・軽量のデュアルユース端末の開発
- (3) シームレスなネットワーク接続方法

が考えられる。

本論文の目的は、衛星通信システムと移動体通信システムを統合した高速無線通信システムの実現に貢献するための要素技術を開発することにある。

そのため、

(1) 衛星回線の伝送速度向上に関して、マルチビームアンテナ用クラスター給電回路の広帯域化のために、小型・広帯域分波器を実現すること、

(2) 衛星通信、移動体通信両方使用可能な小型・軽量のデュアルユース端末の開発に関して3次高調波も減衰可能な小型誘電体フィルタおよびスイッチビームアンテナ用バトラーマトリクスを実現すること、を目標とする。

2. 衛星通信用導波管形広帯域分波器

マルチビームアンテナ用給電回路に分波器や偏分波器が用いられる。分波器には帯域分割用としてフィルタ帯域幅が広帯域であること、周波数有効利用からガードバンドが狭いこと、小形・軽量であることが要求される。ここでは、帯域分割用として適用可能な小形・広帯域な分波器として、円筒空洞形方向性フィルタと小型でガードバンドの狭い分波器としてマニホールド形の隣接帯域分波器について述べる。

2. 1 円筒空洞形方向性フィルタの広帯域化

円筒空洞形方向性フィルタは小型、軽量でかつ、主導波管に対し、任意の位置に設けることができるためアンテナ給電回路を小型に構成できるという利点がある。しかし、円筒空洞形方向性フィルタでは方向性を得るために円筒空洞を円偏波で励振する必要があり、方形導波管とそれに接続される円筒空洞との共通壁に設ける結合孔を方形導波管の横方向磁界と軸方向磁界の強度が等しい位置に設けなければならず、この位置が管壁に近い場合、結合孔の大きさに制限が生じ、大きな結合量を得ることが困難であった。ここでは、方形導波管の側壁から十字形結合孔の中心に向かって突き出した誘導性アイリスを設けて広帯域化を図った。方形導波管に誘導性アイリスを設けると、軸方向磁界 H_z がアイリスによって遮られアイリス先端部に集中する。このため、円偏波の得られる方形導波管の H_x と H_z が等しくなる位置を H_x の大きい導波管の中央部に移動することができ、結合孔寸法を大きくすることができる。また、結合に寄与する磁界を強くすることができる。この二つの効果により、方形導波管と円筒空洞共振器との結合を強くすることができ、広帯域フィルタを得ることができる。K帯での試作結果により比帯域幅 2.7%を得、帯域分割用フィルタとして適用可能とした。

2. 2 結合係数補間形隣接帯域分波器

隣接帯域分波器は減衰特性が優れ、ガードバンドを狭くできる特長を有している。しかし、結合孔の周波数特性のために広帯域化が困難であった。ここでは、共通導波管に接続する結合孔のみ細長いスリットとし、他は誘導性アイリスとした一端終端形フィルタのインピーダンス補正に一端終端形フィルタと両端終端形フィルタの結合係数の線形補間で与えられる結合係数を有する結合係数補間形フィルタを用いることでインピーダンス特性の変化を補正する設計法を提案した。Ka帯での試作結果により、3.5%以上の比帯域幅を得ることができ、この分波器でも帯域分割用フィルタとして適用可能であることが分かった。

3. 移動体通信用 3 次高調波阻止誘電体フィルタ

小型端末に用いられる小型誘電体フィルタには、片方を短絡し、他方を開放とする $1/4$ 波長誘電体共振器が従来用いられていた。しかし、このフィルタは原理的に基本波の 3 倍の周波数に通過帯域を持つため、送信回路の増幅器や発振器などの非線形回路で発生する 3 次の高調波が減衰されずにアンテナから不要電波として放射されるという問題があった。このため、送信用帯域通過フィルタの他に 3 次高調波を減衰させるための低域通過フィルタや帯域阻止フィルタを付け加える必要があった。ここでは、簡単な構造で従来の帯域通過フィルタの性能を損なうことなく、他のフィルタ等を付加することなく、3 次の高調波に対しても減衰量が得られるフィルタとして、誘電体ブロックに内導体と直角方向に一对の溝を設けた簡単な構成のフィルタを提案する。この溝は内導体の開放端からその全長の $1/3$ の位置に設けており、基本波の共振周波数と 3 次の共振周波数との周波数間隔を広げる効果がある。計算と 1 GHz 帯における試作結果により、3 次の共振周波数は溝の効果によって 10% 高い周波数に移動し、 $3(F0 \pm 13.5)$ MHz における減衰量を 45dB 以上得た。送信用増幅器で生じる 3 次の高調波の抑制に有効であり、さらに低域通過フィルタや帯域阻止フィルタを付け加える必要がないため小型化できる。

4. 移動体通信用小型電力分配器

スイッチビームアンテナはあらかじめ方向の定められた複数のビームをスイッチで切り替えるものであり、アダプティブアンテナよりも低コストで実現でき、無指向性アンテナよりも高利得で妨害波除去性能も高い。このアンテナの給電回路にバトラーマトリクスがよく用いられる。ここでは、量産性、信頼性を考慮し、プリント基板で一体化した小型バトラーマトリクスを提案する。両面に導体層を有する薄い基板に線路を形成し、その両側を片面に導体層を有する厚い基板で挟んで構成するストリップ線路を構成した。この構成のストリップ線路では、相互に逆の面のストリップ導体を用いることによって線路の交差が可能であり、多層基板を用いるより安価で設計が容易である。交差する線路間に結合があると、バトラーマトリクスの分配振幅、位相に誤差が生じる。この誤差を小さくするために交差線路の線路幅を狭くして結合を抑制した。L 帯での 8×8 バトラーマトリクスの試作結果により、比帯域幅 10% において、振幅偏差、位相偏差はそれぞれ ± 0.75 dB (RMS 値で 0.29 dB)、 ± 9.5 度 (RMS 値で 5.1 度) 以下、入力 VSWR は 1.15 以下、入力端子間のアイソレーションは 19 dB 以上であり、挿入損失は分配損を含んで 9.39 dB 以下と、移動体通信基地局に十分適用可能な結果を得た。

5. むすび

本論文では、衛星通信と移動体通信を統合した高速データ伝送が可能なシステムの実現を目的とし、その課題解決に対する対策のうち、ハードウェアに関する対策を提案した。この結果、ハードウェア上の主要な課題を解決することができた。今後はシームレスなネットワーク接続方法、システム間のハンドオーバーの検討等のネットワーク構築に関する検討、および地上回線と衛星回線のデュアルユース可能で小型・軽量の端末の開発に向けて、異なる周波数帯で共用できるアンテナ、送受信回路の開発や異なる変調方式で共用できる回路の開発、高性能な電池の開発が重要である。

論文審査結果の要旨及び学力確認結果の要旨

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| 論文提出者氏名 | 磯田 陽次 |
| 論文題目 | 衛星・移動体通信用アンテナ給電回路の高性能化に関する研究 |
| 論文審査及び 学力確認担当者 | 主査 教授 坪内 和夫 教授 澤谷 邦男 教授 安達 文幸 |

論文審査結果の要旨

サービスの広域性・同報性・回線設定の柔軟性および耐災害性などの特長を有する衛星通信と、小型端末・低価格を特長として広まっている携帯電話に代表される移動体通信を統合することができれば、地球全体をカバーする広範囲なサービスが可能で、災害に強く、高速データ伝送が可能な通信システムが実現できる。本論文は、衛星通信と移動体通信を統合した通信システム実現のためのハードウェアに関する要素技術の研究結果をまとめたものであり、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、マルチビームアンテナを適用してアンテナ利得を向上させて、多値変調技術を適用することにより衛星通信の伝送速度向上を図るために、マルチビームアンテナのクラスター給電回路用の広帯域な円筒空胴形方向性フィルタと隣接帯域分波器を設計・試作している。円筒空胴形方向性フィルタでは、方形導波管に誘導性アイリスを設けることにより従来の 2 倍以上の帯域幅を実現している。隣接帯域分波器では、一端終端形フィルタと両端終端形フィルタの結合係数を補間した結合係数補間形フィルタの設計法を提案し、ガードバンドの狭い隣接帯域分波器として従来の 3 倍以上の帯域幅を実現している。これらの成果は衛星通信地球局に適用されており、実用上有効な成果となっている。

第 3 章では、送信回路に用いられる高出力増幅器で発生する高調波を抑圧するために設けられる帯域通過フィルタで実用上問題になる 3 次高調波抑圧特性の劣化を改善するために、誘電体ブロックに内導体と直角方向に一对の溝を設けた簡単な構成の誘電体フィルタを提案している。これにより、従来の性能を損なうことなく、45 dB 以上の減衰量が得られることを示している。この成果により 3 次高調波阻止用フィルタの追加が不要となり、送信回路の小型化が実現できた点は高く評価できる。

第 4 章では、スイッチビームアンテナ用の給電回路として、プリント基板で一体化した小型・低価格なバトラーマトリクス設計・試作を行っている。この回路では基板表裏で交差する線路間の結合が問題となるが、この部分の線路幅を狭くすることによって結合を抑制する方法を提案している。これにより L 帯で振幅偏差 0.29 dB、位相偏差 5.1 度（いずれも RMS 値）が得られることを示している。この成果は移動体通信基地局に適用されており、実用上極めて重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、衛星通信と移動体通信を統合した通信システムの実現に向けたハードウェア上の主要な課題を解決したものであり、無線通信工学ならびに電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

学力確認結果の要旨

平成 15 年 9 月 16 日、審査委員ならびに関係教官出席のもとに、学力確認のための試問を行った結果、本人は電子工学に関する十分な学力と研究指導能力を有することを確認した。

なお、英学術論文に対する理解力から見て、外国語に対する学力も十分であることを認めた。

論文審査結果の要旨

サービスの広域性・同報性・回線設定の柔軟性および耐災害性などの特長を有する衛星通信と、小型端末・低価格を特長として広まっている携帯電話に代表される移動体通信を統合することができれば、地球全体をカバーする広範囲なサービスが可能で、災害に強く、高速データ伝送が可能な通信システムが実現できる。本論文は、衛星通信と移動体通信を統合した通信システム実現のためのハードウェアに関する要素技術の研究成果をまとめたものであり、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、マルチビームアンテナを適用してアンテナ利得を向上させて、多値変調技術を適用することにより衛星通信の伝送速度向上を図るために、マルチビームアンテナのクラスター給電回路用の広帯域な円筒空洞形方向性フィルタと隣接帯域分波器を設計・試作している。円筒空洞形方向性フィルタでは、方形導波管に誘導性アイリスを設けることにより従来の 2 倍以上の帯域幅を実現している。隣接帯域分波器では、一端終端形フィルタと両端終端形フィルタの結合係数を補間した結合係数補間形フィルタの設計法を提案し、ガードバンドの狭い隣接帯域分波器として従来の 3 倍以上の帯域幅を実現している。これらの成果は衛星通信地球局に適用されており、実用上有効な成果となっている。

第 3 章では、送信回路に用いられる高出力増幅器で発生する高調波を抑圧するために設けられる帯域通過フィルタで実用上問題になる 3 次高調波抑圧特性の劣化を改善するために、誘電体ブロックに内導体と直角方向に一对の溝を設けた簡単な構成の誘電体フィルタを提案している。これにより、従来の性能を損なうことなく、45 dB 以上の減衰量が得られることを示している。この成果により 3 次高調波阻止用フィルタの追加が不要となり、送信回路の小型化が実現できた点は高く評価できる。

第 4 章では、スイッチビームアンテナ用の給電回路として、プリント基板で一体化した小型・低価格なバトラーマトリクス設計・試作を行っている。この回路では基板表裏で交差する線路間の結合が問題となるが、この部分の線路幅を狭くすることによって結合を抑制する方法を提案している。これにより L 帯で振幅偏差 0.29 dB、位相偏差 5.1 度（いずれも RMS 値）が得られることを示している。この成果は移動体通信基地局に適用されており、実用上極めて重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、衛星通信と移動体通信を統合した通信システムの実現に向けたハードウェア上の主要な課題を解決したものであり、無線通信工学ならびに電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。