衛星移動通信システム対応無線装置開発

安田周平*　木下裕介†
島脇　豊**
佐野裕康***

Development of Wireless Equipment for Mobile Satellite Communication System

Shuhei Yasuda, Yutaka Shimawaki, Hiroyasu Sano, Yusuke Kinoshita

要　旨

三菱電機は，㈱エヌ・ティ・ティ・ドコモ（以下㈱NTTドコモ）が2010年４月にサービスを開始した，衛星電話サービス“ワイドスターⅡ（引用文献：山本員市，ほか：ワイドスターⅡ衛星移動通信システム・サービスの概要，NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，**18**，No.2，37～42（2010））(注1)”のシステムを構成する衛星移動局装置と衛星基地局装置を開発した。

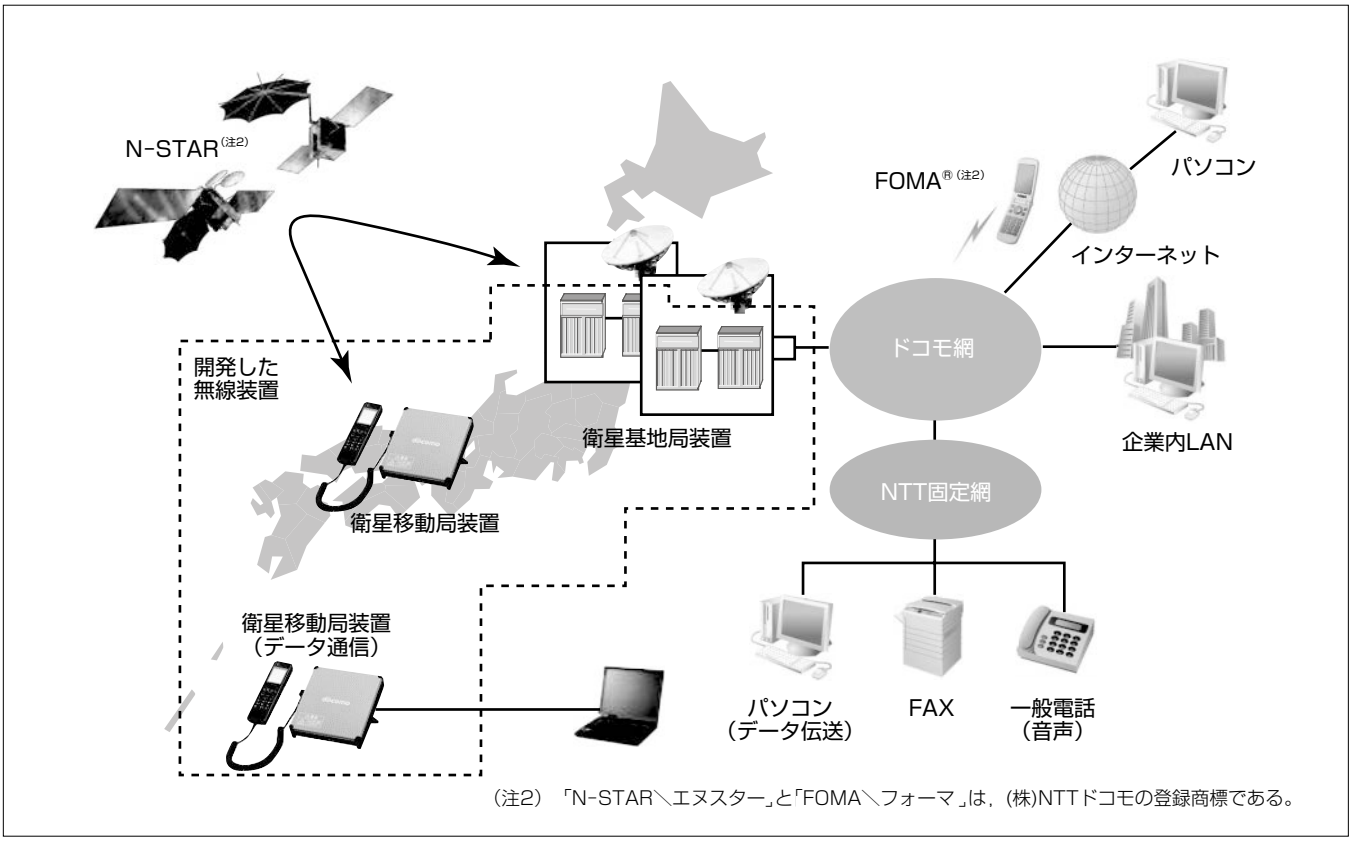
装置の特長としては，低C/N下で高速の伝送路変動に追随可能で良好な受信特性を持つPSP-AVDD（Per-Survivor Processing Adaptive Viterbi Decoding and Demodulation）方式とSSP-MOLFE（Scattered Successive Pilot-Multiple Open-Loop Frequency Estimation）方式を採用し実現した。

また，IP-NW（IP Network）のIMS（IP Multimedia Subsystem）基盤に接続し，呼接続時間短縮を実現する独自プロトコルを実装し，SIP（Session Initiation Protocol: RFC3261）を用いた呼接続を実現した。

さらに，衛星基地局装置は，デジタル・マルチレートフィルタの採用によって，音声やパケットの様々な帯域を集約でき衛星アクセス装置の小型化を実現した。

衛星移動局装置は，送信系スライディングIF方式，受信系低IF方式を採用し，高密度LSI化によって可搬端末の小型，軽量化を実現した。

（注１）「WideStar＼ワイドスター」は，㈱NTTドコモの登録商標である。



衛星移動通信システム対応無線装置

衛星移動通信システム（ワイドスターⅡ）全体のイメージを示す。当社は無線装置（衛星基地局装置，衛星移動局装置）の開発を行った。

*コミュニケーション・ネットワーク製作所　**通信機製作所　***情報技術総合研究所（工博）　†同研究所

1. まえがき

衛星通信システム（ワイドスターⅡ）は，㈱NTTドコモが運用している衛星移動通信システム（ワイドスター）のシステムを更新し，IPベースのネットワークに切り替えるとともにデータ通信速度の高速化（384kbps）に対応するものである。当社の受注範囲は端末から無線ネットワーク制御機能をもつ基地局までの無線装置である。本稿ではこの無線装置の概要を述べるとともに，技術的な課題とその解決策についても述べる。

2. 無線システムの構成

ワイドスターⅡの無線システムは，衛星アクセス装置と衛星基地局送受信装置からなる衛星基地局装置及び衛星移動局装置で構成される。各装置の機能概要を**表1**に示す。

3. 装置概要

3.1 衛星基地局装置

3.1.1 衛星アクセス装置

衛星アクセス装置は，通信衛星を介して衛星移動局装置との間で無線通信を行うとともにドコモ網への接続を行う。

衛星アクセス装置の主要諸元を**表2**に示す。また特長を次に述べる。

(1) 装置小型化（デジタル・マルチレートフィルタの開発）

合波／分波数：最大1,000ch（音声通話時），帯域信号：5種類（300／150／75／37.5／15kHz）のデジタル・マルチレートフィルタを開発した。このマルチレートフィルタの採用によってIF無線送受信機能の広帯域化（30MHz）と，音声呼／速度保証型パケット／ベストエフォートパケットと様々な帯域の信号を集約することができ，装置の小型化を達成した。

(2) 感度改善

復調器とFEC（Forward Error Correction）を組み合わせた独自アルゴリズムの実装を行った。これによって音声チャネル，パケットチャネルともに，ワイドスターより規格感度が1dB以上上回る受信性能を実現した。

(3) 呼接続時間短縮技術の取込み

衛星移動局装置やドコモ網との呼接続のための時間短縮を行う技術を取り込み，SIPを用いた呼接続を実現した。

3.1.2 衛星基地局送受信装置

衛星基地局送受信装置は通信衛星を介してフィーダリンクを運用するために必要な装置によって構成する。主要な装置はすべて冗長構成とし，保守監視・制御部を中継して遠隔監視・制御を行うことが可能である。

3.2 衛星移動局装置

衛星移動局装置は，ハンドキャリーを想定した可搬端末と船舶又は自動車で移動しながら利用することを想定した船舶・車載端末の2種類がある。可搬端末は，主に移動機本体とハンドセットから構成され，船舶・車載端末は移動機本体，ハンドセット，追尾アンテナから構成される（**図1**）。可搬端末，船舶・車載端末とも音声，データ通信のほか，FAXアダプタを接続することによってFAX通信も可能である。可搬端末の主要諸元を**表3**に示す。

表1．各装置の機能概要

装置名		装置概要
衛星基地局装置	衛星アクセス装置	通信衛星を介して衛星移動局装置との間で無線通信を行うとともにドコモ網への接続を行う
	衛星基地局送受信装置	衛星基地局アンテナおよび衛星アクセス装置と接続し，周波数変換や電力増幅などのRF処理を行う
衛星移動局装置		通信衛星を介して衛星基地局装置との間で無線通信を行う端末である

表2．衛星アクセス装置の主要諸元

項目		諸元
無線諸元	多元接続・多重化方式（アクセス方式）	・音声／速度保証型パケット：上下FDMA ・ベストエフォート型パケット：下りTDM／上りFDMA
	変復調方式	π/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳込み符号／Turbo符号
	キャリア周波数間隔	・音声，制御用物理チャネル：上下15kHz ・速度保証型パケット用物理チャネル：上下75kHz ・ベストエフォート型パケット用物理チャネル： 下り300kHz 上り37.5kHz／75kHz／150kHz
構造条件	大きさ	約700mm（W）×約800mm（D）×約1,800mm（H）
	電源電圧	DC－48V
	消費電力	5kW以下
	冷却方法	強制冷却
	周囲温度	5～45℃

FDMA：Frequency Division Multiple Access
TDM　：Time Divisionc Multiplex
QPSK　：Quadrature Phase Shift Keying

図1．可搬端末と船舶・車載端末

表3．可搬端末の主要諸元

項目	諸元
大きさ／重量（本体+電池パック）	約196mm（W）×約180mm（D）×約39mm（H）／約1.3kg
電池パック種類・公称容量	リチウムイオン／5,000mAh
連続通話時間（音声通話）	約2.2時間
連続待受時間	約26時間
受信RF回路	受信：低IF方式 送信：スライディングIF方式
送信機	当社製高効率HFET，ドハティ方式，B級動作・高調波処理技術，ドレイン電圧制御方式

衛星移動局装置は，次の特長を持つ。

⑴　小型化

従来のワイドスター端末からさらなる小型軽量化を図るため，①送信系スライディングIF方式，受信系低IF方式採用によるRF回路の小型化，②高密度LSI化によるデジタル回路の小型化の対策を行った。この結果，寸法約196mm(W)×約180mm(D)×約39mm(H)，重量約1.3kg(本体＋電池パック)を実現した。

⑵　低消費電力

小型リチウムイオン電池と高効率ヘテロ接合GaAS FET(H-FET)を実装したドハティ増幅器方式送信機の採用によって連続待ち受け時間を約1.3倍に向上させた。特にドハティ2段アンプで目標効率37%を上回る44%を実現した。

⑶　電磁干渉対策

WiMAX(注3)による帯域外の干渉抑制とVCCI規格をクリアするため，可搬端末及び船舶・車載端末のEMC設計を実施し，干渉抑圧フィルタを実装している。船舶・車載端末はJIS-F-0812規格に対応している。

(注3)　WiMAX，WiMAX Forumは，WiMAX Forumの登録商標である。

4. 主要要素技術

衛星基地局装置と衛星移動局装置共通の要素技術について述べる。

4.1　復調技術

ワイドスターより規格感度が1dB以上上回る受信性能を実現するためPSP-AVDDとSSP-MOLFEを採用した。

⑴　PSP-AVDD

PSP-AVDDは，PSPという伝送路推定技術を，畳込み符号の復号・キャリア推定に適用したものである。ビタビ復号とキャリア推定を同時に行うことによって，低C／Nにて，安定した復調・復号を実現できる。**図2**に示すように，PSP-AVDDはビタビアルゴリズム(符号化変調も含む)のステートごとにキャリア推定器を持ち，ステートごとの送信系列候補(生き残りパス)にしたがって，伝送路(キャリア)を推定していく。それゆえ，高速の伝送路変動に追随可能である。

また，PSP-AVDDは，雑音などでサイクルスリップが発生した場合でも，自動的にサイクルスリップから復旧可能である。

⑵　SSP-MOLFE

多重開ループ周波数推定方式(MOLFE)は，位相変動観測シンボル数の異なった周波数誤差検出器を複数準備し，広い周波数カバレッジと高い周波数精度を同時実現するものである。**図3**に示すように，まず，小さいシンボル数(例えばN=1)で周波数誤差を推定し，周波数誤差の推定値で補正をかける。これによって，補正後の信号に残留する周波数誤差は当初より抑圧された値となる。次第に大きいNで周波数誤差を推定・補正することによって，周波数カバレッジを大きく取りつつ，周波数推定精度が高められ，理論的限界値に漸近する非常に良好な推定精度が得られる。さらに，フレーム中のパイロットシンボルを使用して，MOLFEによって周波数推定を行うことで，低C/N時の推定精度の改善が図れる。

4.2　呼接続時間短縮技術

ワイドスターⅡはIP-NWのIMS基盤に接続するため，音声通信の呼制御プロトコルにSIPを使用する。このため，従来のワイドスターと比較して，静止衛星を経由する衛星移動局装置と衛星基地局装置間の呼制御メッセージ数ならびにメッセージ信号量が多くなり，音声呼の接続遅延が長くなる課題が発生した。ワイドスターⅡでは，呼接続時間短縮のため，呼接続のためのメッセージ数及びメッセージサイズを削減する次の2つの技術を採用して実装した。

⑴　複数プロトコルの相乗り転送による呼接続メッセージ数の削減

無線側の設定とドコモ網との接続を同時に行う。これによって，独立に送受信していた無線側とドコモ網のメッセージを相乗り機構によって同時に転送し，メッセージ数を削減した。**図4**に発呼シーケンスの一部を示すとおり，相乗り機構によって，発呼シーケンスにおけるメッセージ数を約20%削減した。

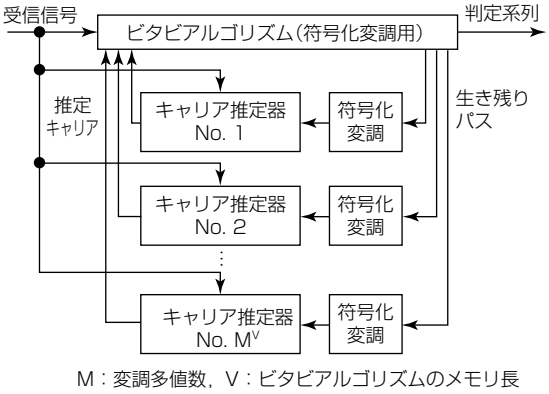


図2．PSPの原理

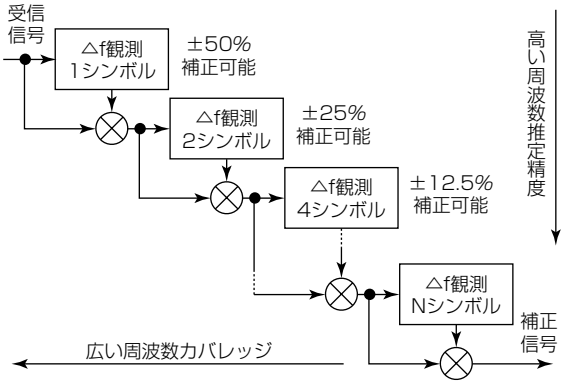


図3．MOLFEの原理

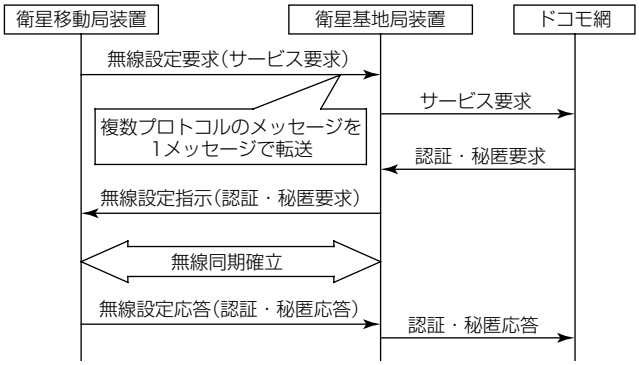


図4．相乗り転送による呼接続メッセージ数の削減

表4．SIPメッセージの圧縮効果

SIPメッセージ	非圧縮	開発技術による圧縮		SigComp圧縮(注4)	
	Size (byte)	Size (byte)	圧縮率 (%)	Size (byte)	圧縮率 (%)
INVITE	698	102	85.4	422	39.5
PRACK	395	106	73.2	254	35.7
ACK	354	97	72.6	235	33.6
100 Trying	266	52	80.5	203	23.7
180 Ringing	401	108	73.1	256	36.2
183 Session Progress	587	137	76.7	372	36.6
200 OK	679	127	81.3	426	37.3

（注4） SigComp圧縮は圧縮アルゴリズムとしてDeflate（RFC1951）を適用した例を示す

⑵ SIPメッセージの圧縮技術による信号量削減

SIPは，テキストベースのプロトコルのためメッセージサイズが大きいという欠点を持つ。従来のSIPメッセージ圧縮技術としてはSigComp（Signaling Compression：RFC3320）が挙げられるが，ワイドスターⅡではSigCompよりも圧縮率をあげるために，SIPメッセージの内容分析に基づいた圧縮を行っている。**表4**に発呼シーケンスで使用するSIPメッセージの圧縮効果の一例を示すが，最大で約85%のメッセージサイズ圧縮率を実現している。

5. む す び

今回開発したワイドスターⅡの無線装置（衛星基地局装置，衛星移動局装置）の概要を説明し，技術的課題とその解決方法について述べた。

この開発にあたり，多大なるご指導をいただいた㈱NTTドコモをはじめとする関係各位に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

⑴ 山本員市，ほか：ワイドスターⅡ衛星移動通信システム・サービスの概要，NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，**18**，No.2，37～42（2010））

⑵ 久保博嗣，ほか：ステートごと推定法を用いた適応形ビタビ復号器の特性，電子情報通信学会論文誌（A），**J77-A**，No.12，1650～1660（1994）

⑶ Kubo，H.，et al.：A multiple open－loop frequency estimation based on differential detection for MPSK，IEICE Transactions on Communications，**E82-B**，No.1，136～144（1999）