

## 宇宙通信機器技術の研究

## 適応変調技術を用いた衛星通信システム(S-Tune)の研究

A Study on Satellite communication system using adaptive modulation techniques  
 エレクトロニクス技術グループ(Spacecraft Electrical Engineering Group)

白倉政志、谷島正信、高田昇

Masahi Shirakura, Masanobu Yajima, Noboru Takata

(Abstract)

In order to achieve the advancement of satellite communication, a high speed and high quality communication system is required. Therefore we propose a new satellite communication system using adaptive modulation techniques. The proposed system adaptively controls the symbol rate and modulation level of up-link and down-link signals according to the communication channel conditions. This paper describes a study result of the system concept and configuration.

## 1. はじめに

衛星通信の高度化をはかるためには、伝送速度の高速化及び高品質化が必要である。そこで、移動体通信分野で用いられている適応変調技術を衛星の基幹通信システムである TT&C(tracking, telemetry & command)に適用することを目指し、適応変調技術を用いた衛星通信システム (*S-Tune: Satellite communication system using adaptive modulation techniques* 以下、*S-Tune* という。)の研究を平成14年度より進めている。

本システムは、通信路の状況に応じて、シンボルレートや変調方式を動的に切替える機能を有するものであり衛星通信システムの高度化が可能となる。

## 2. 研究の概要

### 2.1 S-Tune 開発の目的

(1) 将来の多様な衛星システムからの通信要求に対応する通信システムの高度化の実現

- ① 通信速度の高速化 ⇒ 通信スループット > 数M sps(従来の100倍の能力)
- ② 高機能化(通信パラメータのアダプティブ制御)
- ③ 電波伝搬の障害及び干渉に対応可能な柔軟性のあるシステムを構築し、通信品質の維持及びロバスト化を実現
- ④ 通信システムの汎用化(システムのダイナミックレンジ: 数百 sps ~ 数 Msps)
- ⑤ 通信リソースの適正化と低コスト化

⇒ 余分な回線マージンを通信速度増加の為にリソースに振分け、回線品質を維持しつつ衛星システム回線の帯域増加を図り、高速・高品質通信システムを構築

⇒ 衛星システムの回線の帯域を増加により、HK運用を除いた帯域でミッションデータ伝送を実現しミッション側の通信システムへの投資を減らし低コスト化を推進

(2) 将来の高周波数帯(X帯、Ka帯等)への移行を見据えた技術の研究/開発

- ① 変調方式の変更 ⇒ 残留搬送波方式から抑圧搬送波方式へ移行
- ② 通信速度の更なる高速化 ⇒ TT&C系においても数10M sps 以上
- ③ 降雨減衰対策の実現方法を確立し、送信出力の適正化を図る

2. 2 S-Tune の開発ターゲット

システム開発の進め方としては、第1段階として S-Tune の利点をより発揮出来る周回衛星及び地球観測衛星をターゲットとして技術確立を行い、第2段階に静止衛星システムの検討を行う。Fig-1に S-Tune のターゲットとする範囲を示す。

(1) 第1段階のSバンドシステムでのターゲットとする衛星システム等

- ① 中小型周回衛星で中低速(データ速度:数百ksps程度)のミッション機器
- ② 中速(1Msps程度)のミッション機器でデータ受信・処理要求に対するリアルタイム性が低いもの

(2) 第2段階でのターゲットとする衛星システム等

- ① 静止衛星システムのミッションデータ
- ② X/K帯搭載ユーザ宇宙機

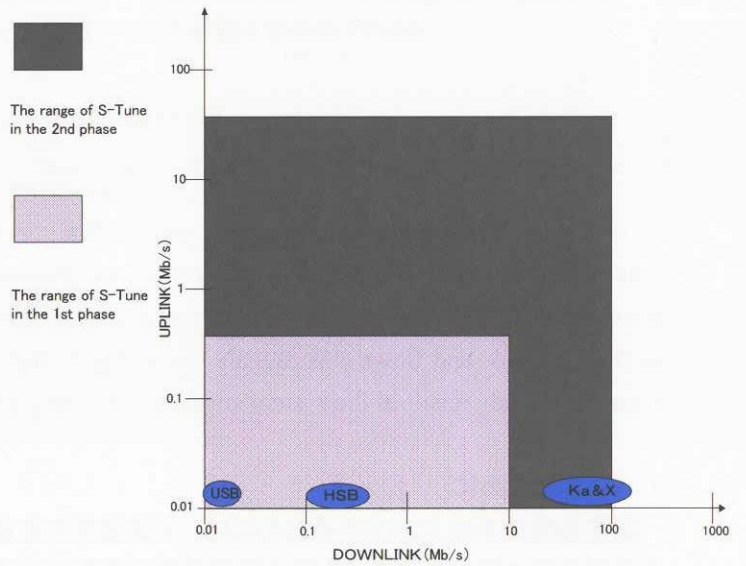


Fig-1 The development target of S-Tune

2. 3 S-Tune のシステム概念

Fig-2に S-Tune のシステム概念を示す。図において、アップリンク/ダウンリンクの受信レベルは、アンテナパターン、衛星/地上間距離、電波伝搬路の状況等により変化する。その変化の状況をアップリンクはトランスポンダ、ダウンリンクは地上局変復調装置において C/N0(搬送波電力対雑音電力密度)を測定することにより推定する。C/N0 の測定結果より測定時の通信状態において、要求される回線品質を満足し最大のスループットを実現できる変調パラメータを地上局の制御装置で決定し、トランスポンダ及び地上局変復調装置の通信モードを制御する。

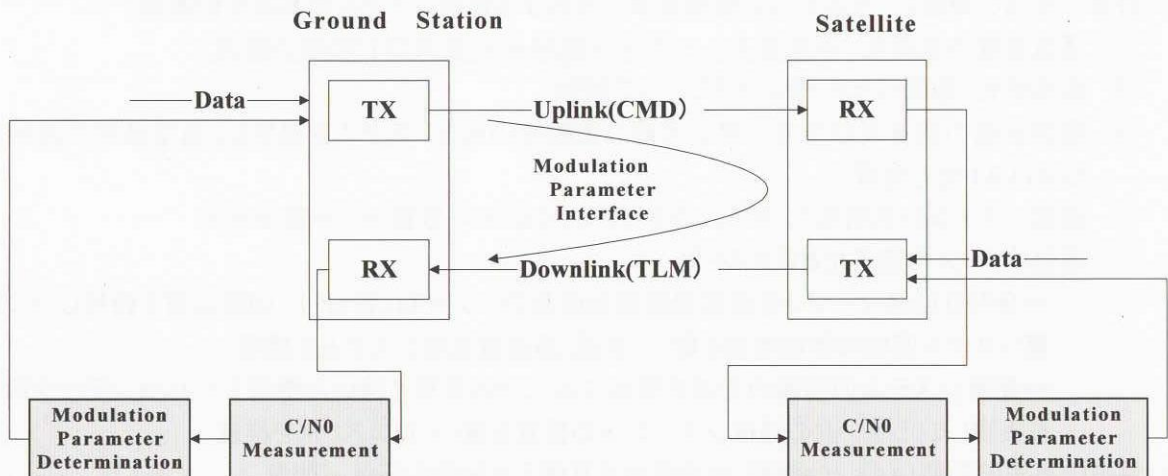


Fig-2 Concept of S-Tune

3. 成果の概要

3. 1 システム性能(案)の検討

S-Tune 総合システム性能(案)を検討し Table-1、Table-2に示す諸元を設定した。

- ①テレメトリ/ミッション系は、Sバンドでの画像伝送等が可能となる為のデータ伝送の高速化を進め、10M sps 程度\*を目標とする。
- ②クリティカル運用、海外機関とのI/Fを確保する目的でUSB機能も有し、適応変調モードとの共用化を実現する。
- ③搭載用トランスポンダの開発仕様については、今後の検討により設定するが、当面はALOS搭載品より、小型・軽量化を進めることを目標とする。

\*S バンド TT&C に割当てられている帯域は3MHzである為、フィルタリングにより帯域を満足するレートを設定する。

Table-1 S-Tune Systems Specifications

Item	Uplink	Downlink	Note
Modulation	(1)QPSK (2)PCM-PSK/PM(USB)	(1)QPSK、16QAM (2)PCM-PSK/PM(USB)	USB / QPSK Automatic select
Coding	N/A	Convolutional Coding Coding Rate: 1/2, 3/4	
Symbol Rate	1kbps(USB) 269kbps~4.3Mbps	40ksps(USB) 269ksps~8.6Msps	It fixes at the time of USB
Dynamic range	+15dB -20dB		
Ranging	<ul style="list-style-type: none"> <li>•USB Tone、UW turnover</li> <li>•GPSR</li> </ul>		
Number of Mode	5	8	
Transponder Specifications			
Mass	<6.0Kg		
Power Consumption	<54W@7W TX		
Dimension	< 230 * 285 * 122.5(mm)		

Table-2 Modulation Parameter List

Item	Symbol rate	Modulation	Coding	Data rate
Command	4.3Mbps	QPSK	N/A	4.3Mbps
	2.15Mbps	QPSK		2.15Mbps
	(2.15/2)Mbps	QPSK		(2.15/2)Mbps→1075kbps
	(2.15/4)Mbps	QPSK		(2.15/4)Mbps→538kbps
	(2.15/8)Mbps	QPSK		(2.15/8)Mbps→269kbps
Telemetry	8.6Msps	16QAM	3/4 1/2 1/2 1/2 1/2 1/2 1/2	8.6Mbps
	8.6Msps	16QAM		6.45Mbps
	8.6Msps	16QAM		4.3Mbps
	4.3Msps	QPSK		2.15Mbps
	2.15Msps	QPSK		1.075Mbps
	(2.15/2)Msps	QPSK		538kbps
	(2.15/4)Msps	QPSK		269kbps
	(2.15/8)Msps	QPSK		134kbps

### 3.2 システム検討

平成15年度の研究成果を以下に示す。

#### 3.2.1 システム設計

##### (1)要素技術の詳細検討

C/N0(搬送波対雑音電力密度比)の計測方法について、搭載機器を含めたの実現性の検討を行い、アップリンクはシンボルの振幅の平均値と分散を測定し、ダウンリンクは、既知パターンを用いて測定を行う方式とした。

#### (2) データハンドリング系とのインタフェース

通信速度の変化とデータ処理系のインタフェースについて検討を行い、インタフェース信号の内容やフロー制御の方法についてトレードオフを行い、システム構成を検討した。

#### (3) レンズ方式

これまで、QPSK変調のレンジングについては実行する手段が無かったが、S-Tune 独自の方式を検討することで、レンジング用の信号を追加しなくても、現状のTTCと同程度の計測精度を達成できる見込みが得られた。

#### (4) サブシステム検討

トランスポンダ、データ処理機器、データバス方式、地上システムのシステム検討を行い、基本機能、構成を検討した。特に、データバス方式については、10Mbps程度のバス速度を目安として、現在主流の MIL-STD-1553B より高速化可能な方式を検討した。

#### (5) 試作検討

試作回路の範囲、試作試験検証計画の検討を行い、試作の準備を行った。

### 3. 2. 2 通信システム解析

通信解析として、実衛星(ETS-7)の運用時のアップリンクの受信レベルを用いてシミュレーションを実施し、平均スループットが約1Mbpsであることを確認した。尚、ETS-7のアップリンク通信速度は1k bpsであるため、約100倍の速度向上を達成することがシミュレーション上でも確認でき、設計の妥当性を検証した。

## 4. まとめ

平成15年度は、システムの基本設計・解析を実施しシステムの有効性と実現性を検討した。検討の結果、今後試作等を適切に行えば、低リスク/コストでのシステム開発を実現可能な目処が得られた。

本技術は低コストで宇宙機ユーザのデータ伝送量を増加可能であり、これまで、衛星データ量の制約で伝送出来なかったデータの伝送を可能にする。これにより、軌道上での搭載機器のデータ評価精度を向上させ、現在JAXAが抱える緊急課題である信頼性向上に寄与できる技術である。さらに、本技術を確立した場合には、Sバンドでの高速通信、通信パラメータの動的制御によるロバスト性、QPSK変調におけるレンジング等、我が国独自の技術により、国際競争力を有した通信システムを構築可能である。

通信技術は携帯電話に代表されるように、我が国の得意とする分野である。また、技術の進歩が早く、周波数の資源も有限であり将来を見据えた技術開発が重要な分野である。一方、海外の宇宙機関は次世代の通信方式について積極的な研究を実施しており、CCSDS等の国際調整の場において自機関の開発した技術を国際標準とすべく積極的な調整を進めている。この様な状況を鑑み、JAXAも宇宙機を制御・監視するための基幹技術である衛星通信技術の重要性を再度認識し、重点技術として研究開発を推進することが重要である。

以上