

極軌道気象衛星受信装置の概要

山下 晃史*

Summary of The Polar-orbit Meteorological Satellite Receiving System

YAMASHITA Akifumi

Abstract

Meteorological Satellite Center has received HRPT sent from polar orbit meteorological satellite NOAA that National Oceanic and Atmospheric Administration is doing operations maintenance as the polar orbit meteorological satellite reception service over many years. The European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites newly launched polar orbit operational meteorological satellite METOP last October. METOP renewed the polar orbit meteorological satellite receiving system that became superannuated to receive HRPT and AHRPT from the offer of the data observed with the on-boarded sensor to the user by advanced high resolution picture transmission AHRPT as well as NOAA.

要 旨

気象衛星センターでは、長年にわたり極軌道気象衛星受信業務において米国海洋大気庁が運用・維持を行っている極軌道気象衛星 NOAA から送信される HRPT を受信してきた。2006年10月、欧州気象衛星機構が新たに極軌道実用化気象衛星 METOP を打ち上げた。METOP は NOAA と同様に、搭載された測器により観測したデータを改良型高速画像伝送 AHRPT によりユーザへ提供することから、HRPT 及び AHRPT の受信を行うために老朽化した極軌道気象衛星受信装置を更新した。

1. はじめに

2007年2月現在、気象衛星センター（以下「当センター」という。）では極軌道気象衛星受信業務（以下「本受信業務」という。）として、米国海洋大気庁（NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration）の NOAA 衛星を受信している。また、2006年10月に、欧州宇宙機関（ESA: European Space Agency）の Soyuz-ST Fregat ロケットによりカザフスタン共和国のバイコヌール宇宙センターから打

上げられた欧州気象衛星機構（EUMETSAT: European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites）の極軌道実用化気象衛星（METOP: Meteorological Operational Satellite）は、およそ6ヶ月のコミッショニング作業の後、最新の搭載観測機器による運用を開始する。

当センターでは、NOAA 衛星に加え、METOP 衛星の本受信業務を開始するため、2006年3月に極軌道気象衛星受信装置（以下「本受信装置」という。）を更新した。本受信装置は、従前からの NOAA 衛星の高分解能画像伝送（HRPT: High Resolution Picture

* 気象衛星センター情報伝送部伝送第二課

2006年12月19日受領、2007年2月23日受理

Transmission) 信号を直接受信するための機能に加え、METOP 衛星の改良型高分解能画像伝送 (AHRPT: Advanced High Resolution Picture Transmission) 信号を直接受信するための機能を追加した。また、将来の米国極軌道実用化環境衛星システム (NPOESS: National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System) 衛星及び NPOESS 準備プロジェクト (NPP: NPOESS Preparatory Project) 衛星の直接受信を考慮し、7GHz 帯の高速データ (HRD: High-Rate Data) 信号を直接受信可能な直径 3 m φ の空中線を整備した。

本稿では、本受信装置の動作に係る技術概要を説明する。

2. HRPT 信号及び AHRPT 信号について

2.1 HRPT 信号

HRPT 信号は、NOAA 衛星に搭載されるすべての機器からのデータを含んでいる。データストリームの 1 ワードは 10 ビットでインプリメントされており、11090 ワード/ラインのビットストリームで、AVHRR 画像データは 751 ワード目から 10990 ワード目までの 10240 ワードの中に、1024 階調/ピクセル、さらに AVHRR の、6つのセンサチャンネルの内、5つのセンサチャンネルデータが 1 ワード/チャンネル/ピクセル毎順番に、2048 ピクセル/ラインの画像データとして含まれている。

(1) 送信特性

- ア 送信周波数 1698 / 1707MHz (Primary)、
1702.5MHz (Secondary)
- イ 送信機出力 6.35W
- ウ EIRP +10.13dBW@63deg.
(Offset angle to nadir)
- エ 偏波形式 RHCP(STX1 / STX3)、LHCP(STX2)
- オ 変調形式 PCM(Split-phase)-PM
(NOAA-17: ± 68deg, NOAA-18: ± 67deg)
- カ データレート 665.4kbps

- キ 位相変位 NOAA-17: [Data0] +68/-68deg、
[Data1] -68/+68deg.
NOAA-18: [Data0] +67/-67deg、
[Data1] -67/+67deg.
- ク ビットオーダー MSB=Bit 1、LSB=Bit 10
- ケ ラインレート 360 ライン/分
- コ メジャーフレーム 2 メジャー/秒、
3 マイナー/メジャー
- サ マイナーフレーム 6 マイナー/秒
- シ ワード数 11090 ワード、
10 ビット/ワード

(2) データフォーマット

- ア Frame Sync 6 ワード
- イ ID 2 ワード
- ウ Time Code 4 ワード
- エ Telemetry 10 ワード
- オ Calibration Target View 30 ワード
(NOAA-17 まで)
- Back Scan 30 ワード
(NOAA-18 から)
- カ Space Data 50 ワード
- キ Sync Data 1 ワード
- ク Data Words 520 ワード
(TIP データ)
- ケ Spare Words 127 ワード
- コ Earth Data 10240 ワード
(AVHRR 画像データ)
- サ Auxiliary Sync 100 ワード

2.3 AHRPT 信号

AHRPT 信号は、宇宙データシステム諮問委員会 (CCSDS: Consultative Committee for Space Data Systems) の勧告に基づく、パケット伝送方式を用いた誤り訂正符号を含む畳み込み信号である。

(1) 送信特性

- ア 送信周波数 1701.3 / 1707MHz

イ	送信機出力	6.3W
ウ	EIRP	+9.1 dBW @ 62 deg. (Offset angle to nadir) +1.46dBW@0deg. (Offset angle to nadir)
エ	偏波形式	RHCP
オ	変調形式	QPSK
カ	Nyquist フィルタ	Square-Root Raised Cosine, Roll-off $\alpha = 0.6$
キ	データレート	3.5Mbps
ク	コードレート	3/4 bit per symbol
ケ	拘束長	7 bits
コ	接続ベクトル	G1= 1111001 / G2=1011011
サ	ビット順位	G1 ファースト ビット系列
シ	シンボル反転	なし
ス	パンクチャ処理	あり
セ	同期マーカ	0x1ACFFC1D
ソ	ターボ符号	なし
タ	リードソロモン符号	255, 223
チ	衛星 ID	0x0B

(2) データフォーマット

ア アプリケーション層

METOP 衛星に搭載された測器から CCSDS パケットの形式で提供される。

イ ネットワーク層

ネットワーク層は CCSDS パスレイヤで構成される。これは、多重化するための CCSDS パケットを伝送し、パケット ID を生成するパスレイヤである。

ウ データリンク層

データリンク層は 2 つのサブレイヤで構成される。ネットワーク層に伝送するサブレイヤのすべてから CCSDS パケットを受ける。仮想チャンネル化は、パケットを生成するために要求される機能である。チャンネルアクセス化は、誤り訂正の

チェックシンボルを付加するためである。最後に同期マーカが付加される。

エ 物理層

物理層では、畳み込み符号化、QPSK 変調及び増幅、空中線から AHRPT データが送信される。

3. 極軌道気象衛星受信装置

3.1 構成

本受信装置は、大別して、空中線部、光伝送装置、受信処理部及びネットワーク装置から構成され、受信処理部は冗長構成がとられている。また、極軌道気象衛星受信塔に設置された空中線部と第一庁舎 2 階運用室に設置された受信処理部は、光伝送装置により高周波信号及び監視制御信号が授受され、ネットワーク装置により信号処理監視制御装置と衛星データ処理システム間で情報交換が行われる。

図 1 に本受信装置の機器構成、図 2 に信号処理監視制御装置の画面構成及び表 1 に信号処理監視制御装置のソフトウェア構成を示す。

3.2 空中線部

(1) 機能

ア 衛星が天頂付近を通過する際は、空中線方位が回転することで連続的に追尾でき、安定した受信を確保する。

イ 空中線の制御は受信処理部における選択で、自動または手動で操作が可能である。また、空中線制御端末により、空中線部において手動で操作が可能である。

ウ 空中線の制御中は、回転灯及び警報音により動作中であることを知らせる。

エ 空中線に入射される微弱な 1.7GHz 帯の信号を低雑音増幅し、140MHz 帯の中間周波数に変換する。

オ 全地球測位システム (GPS: Global Positioning System) 衛星からの正確な時刻信号の受信が可能である。

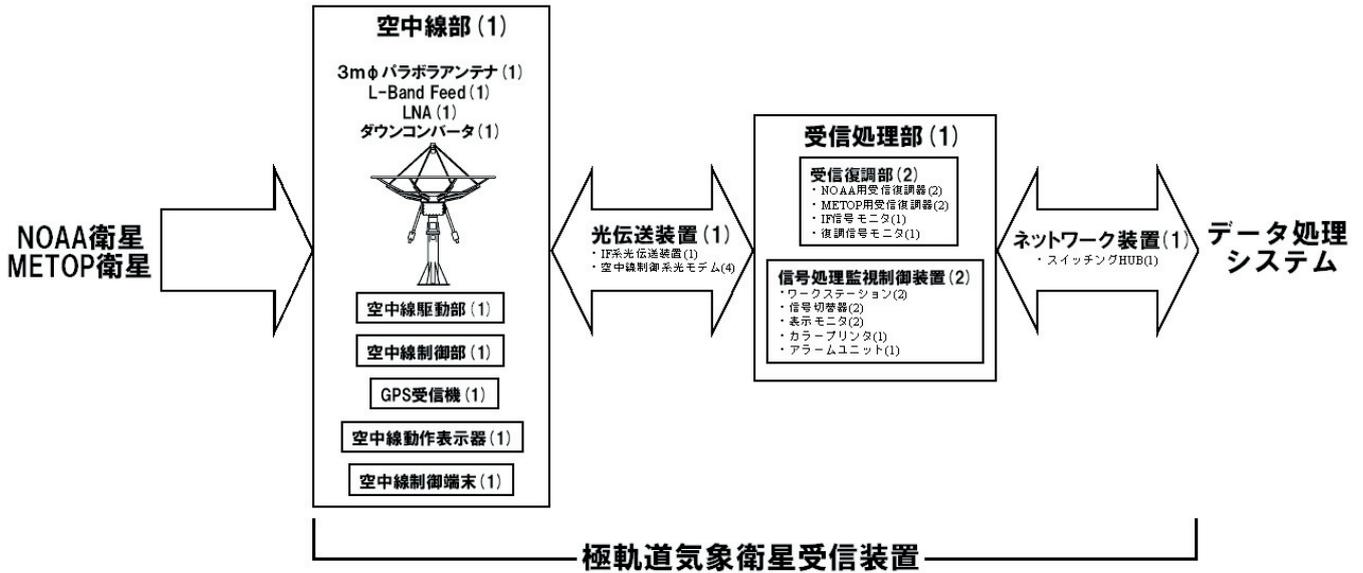


図 1 極軌道気象衛星受信装置 機器構成 (括弧内は数量)

表 1 信号処理監視制御装置 ソフトウェア構成 (括弧内はソフトウェア名称)

機能	内容	説明
受信計画立案機能 (Stracker+)	軌道情報取得	計算機からの軌道情報自動取得する。
	受信計画立案	受信条件により軌道計算を行い受信計画を自動立案する。
	受信計画修正	運用者による受信計画の修正を行う。
	立案内容の表示	立案内容を表示する。
	軌道図表示	衛星の軌道位置表示を行う。
データ受信機能 (Stracker+) (ingest_hrpt) (xprogress) (FOCUS9000)	空中線部制御	空中線の衛星プログラム追尾制御を行う。
	受信復調器制御	受信復調器の周波数制御を行う。
	データ受信処理	受信復調器からのデータ取得、記録を行う。
	Q/L 表示処理	Q/L のリアルタイム表示を行う。 Q/L 画像の再表示を行う
受信監視機能 (Stracker+) (MoniterFTPLog)	機器監視	空中線、受信復調器の稼働表示を行う。 他系 WS の状態監視を行う。
	FTP 転送監視	FTP 転送結果を表示する。
	運用ログ出力機能 (Switcher)	運用ログ出力
印字機能 (Switcher)	画面印字	表示画面、ウィンドウをハードコピーする。
	ログ印字	ログファイルを印字する。

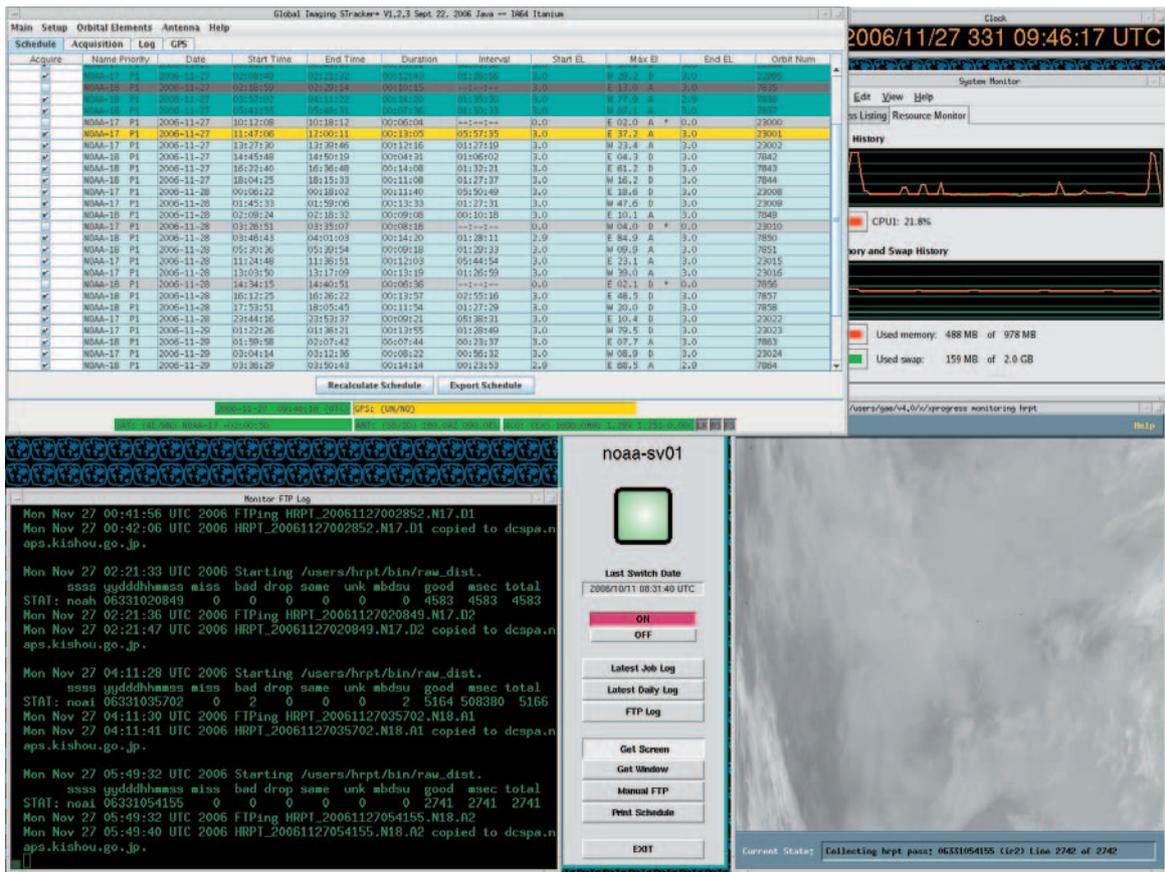


図 2-1 信号処理監視制御装置 画面構成 (運用系)

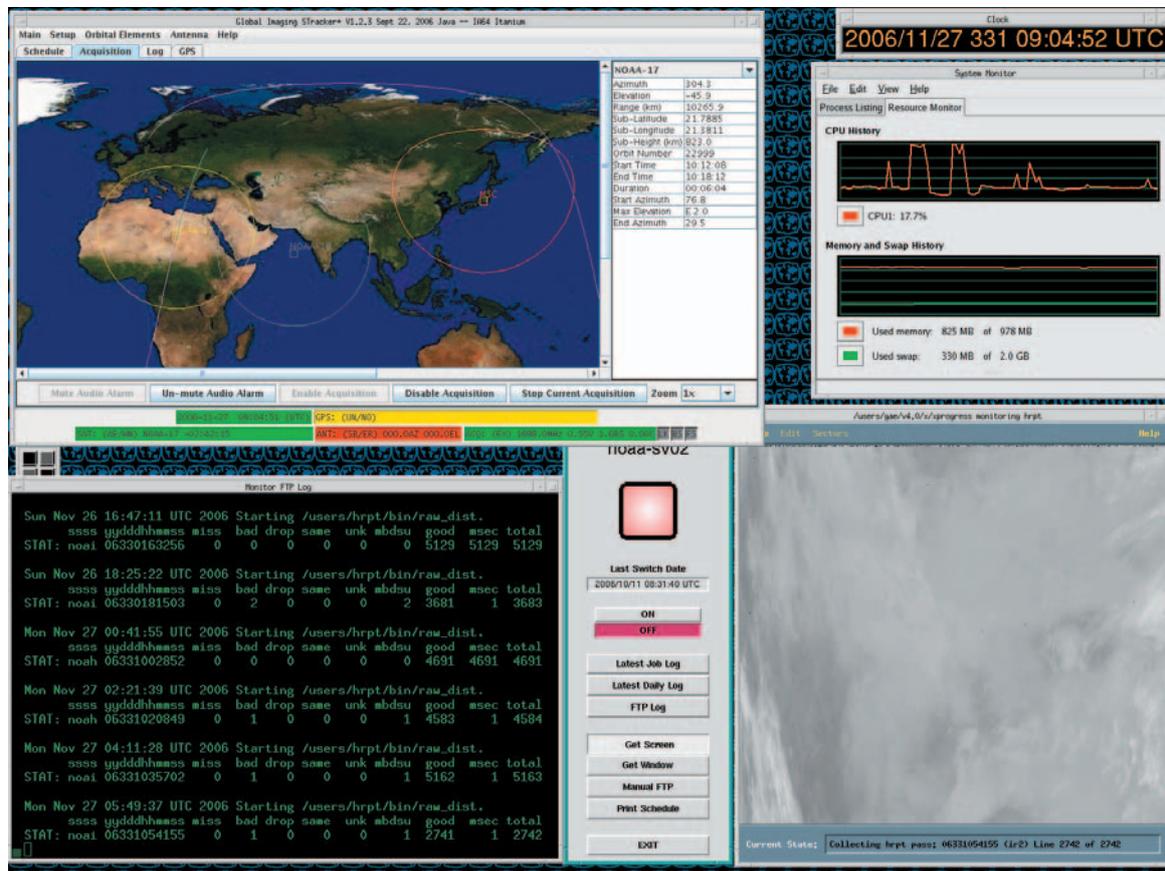


図 2-2 信号処理監視制御装置 画面構成 (待機系)

(2) 性能	(エ) OS	モノリシックカーネル
ア 空中線及び空中線駆動部		
(ア) 形式	直径 3.0m センター フィードパラボラ	3.3 受信処理部
(イ) 材質	アルミニウム、 メッシュ構造	3.3.1 受信復調部
(ウ) マウント方式	AZ/EL マウント	(1) 機能
(エ) 周波数帯	1.690GHz ~ 1.710GHz	ア 信号処理監視制御装置により、受信周波数及び復調方式の自動制御が可能である。
(オ) 利得	30dBi 以上 (1705MHz) 44dBi (8GHz)	イ 衛星送信周波数のドップラ周波数シフトを、自動的に補正する。
(カ) ビーム幅 (半値幅) 4 度 (1.7GHz) 0.75 度 (8GHz)		ウ METOP 用受信復調器において Viterbi 復号を行い、Raw データとして信号処理監視制御装置へ受信データを転送する。
(キ) G/T (システム雑音温度 100 k) 8dB/K (1.7GHz) 26.63dB/K (8GHz)		エ 復調器のローカル信号は、METOP 用受信復調器から NOAA 用受信復調器へ供給する。
(ク) 偏波	右旋円偏波	(2) 性能
(ケ) 制御方式	リアルタイム プログラム追尾	ア IF 受信周波数
(コ) 追尾速度	最大 210 度 / 秒	140MHz ~ 157MHz (1693.5 ~ 1710.5MHz)
イ LNA 及びダウンコンバータ		NOAA 144.5MHz (1698.0MHz) 149.0MHz (1702.5MHz)
(ア) 入力周波数帯	1.690GHz ~ 1.710GHz	METOP 147.8MHz (1701.3MHz) 153.5MHz (1707.0MHz)
(イ) 利得	70dB 以上	イ 復調形式 NOAA PM (± 67°)
(ウ) 出力周波数	140 ~ 157MHz	METOP QPSK
ウ GPS 受信機		ウ データレート
(ア) 受信衛星数	12 衛星	NOAA 665.4kbps
(イ) 更新時間	2 秒以内	METOP 3.5Mbps
エ 空中線動作表示器		エ PCM 符号 NOAA NRZ-L、M、S / Bi-φ L、M、S
(ア) アラーム出力	赤色回転灯及び 電子音 (音量調整付)	METOP QPSK
(イ) 作動期間	空中線動作時	オ 畳み込み処理
オ 空中線制御端末		METOP Viterbi 復号
(ア) プロセッサ	32 ビット	3.3.2 信号処理監視制御装置
(イ) メモリ	256MB	(1) 機能
(ウ) HDD	30GB	ア 軌道情報を自動または手動で取得する。
		イ 受信計画を自動または手動で作成及び更新し、更新状況を確認できる。また、受信計画の対象

となる衛星は、2衛星以上である。

ウ 受信予約状況が自動的に画面表示され、衛星の受信開始時刻を確認できる。

エ 衛星の軌道位置を軌道図上で表示する。

オ 空中線は、プログラム自動追尾、または手動操作により任意の方向へ指向する。

カ 空中線の追尾精度を確認するために、太陽追尾による空中線の指向角度の調整ができる。

キ 受信復調器の周波数制御を行う。

ク 受信中の空中線制御状況、受信レベル、同期状況等を画面で監視できる。

ケ 受信中であることを、画面表示、ランプ、音響で報知する。

コ 受信機能及び監視制御機能は、2台の信号処理監視制御装置に同一の機能を持たせ、空中線の制御以外は同時に受信及び監視制御処理を行い、運用系でデータエラー等があった場合、待機系はバックアップとして動作する。

サ 受信開始と同時に、選択したセンサチャンネルで受信中の画像をリアルタイムに表示する。

シ クイックルック表示される画像は、衛星の北上または南下に関係なく、自動的に北を画面の上にして描画する。

ス 受信復調器で復調された HRPT 及び AHRPT 信号を、各データフォーマットの Raw データとして取得し、72パス(約1週間分)保存する。

セ Level 0 データを投影変換し、ランドライン等のオーバーレイ処理を行い描画する。

ソ 保存された Level 0 データを、衛星データ処理システムへ自動的にファイル転送し、その結果を表示する。

タ 衛星データ処理システムへの Level 0 データの転送は、手動操作でも可能である。

チ 受信状態、プログラム動作状態の履歴を出力し、印字する。

ツ 表示画面をハードコピーが可能である。

テ GPS 衛星からの正確な時刻信号で、ワークステーションの内部時刻を自動校正する。

(2) 性能

ア ワークステーション

(ア) プロセッサ 64ビット

(イ) メモリ 1GB

(ウ) ハードディスク 144GB (72GB+72GB)

(エ) OS モノリシックカーネル

3.4 光伝送装置

(1) 機能

空中線部と受信処理部間において、受信 IF 信号及び空中線監視制御信号を光信号に相互変換し伝送する。

なお、光伝送装置を用いることで、空中線部と受信処理部間を電氣的に絶縁することで、雷のサージ電流から防護する。

(2) 性能

ア 伝送周波数範囲 5MHz ~ 2700MHz

イ 最大伝送距離 40km

3.5 ネットワーク装置

(1) 機能

信号処理監視制御装置と衛星データ処理システム間の TCP/IP を用いた情報交換のため、レイヤ 2 スイッチによりルーティング制御等を行う。

(2) 性能

ア 規格 IEEE802.3u (100BASE-TX)
IEEE802.3 (10BASE-T)

イ ポート数 10/100ポート×8、
10/100/1000BASE-Tポート×1

4. 自動受信処理フロー

(1) 軌道情報取得

ア 本受信装置は、毎日、軌道情報を衛星データ処理システムからファイル転送プロトコルにより取得し、信号処理監視制御装置に保存する。

(2) 受信計画立案 (図3参照)

ア 受信計画の立案処理は、毎日23UTに2日分を作成する。

イ 作成された2日分の受信軌道(以下「パス」という。)の中で、受信仰角0.03度以上のパスで立案テーブルを作成する。

ウ 受信開始仰角3.0度、最高仰角4.1度、受信終了仰角3.0度の条件で、立案テーブルの受信時刻を変更する。

エ 立案方式は、Pass Length方式とMax. Elevation方式があり、予め設定した方式により、競合パス(時系列上、オーバーラップするパス)のチェック、衛星優先度の比較、最高仰角の比較を行った後、受信計画に反映し、ユーザインタフェース画面に表示する。

オ Pass Length方式

(ア) 本方式は、多くの軌道の受信を行なう観点から、競合パスを考慮し、受信衛星の優先度、最高受信仰角の比較、システム制約時間及び最低受信時間の判定により受信計画の立案を行なう方式である。

(イ) 受信衛星の優先度は任意に設定が可能であり、優先度は1~9まで設定可能であり、同一の優先度を設定することができる。

(ウ) 初めに、軌道情報を基に受信計画の立案を行い、最低受信時間が256秒未満の受信計画を取り消し、256秒以上を保持する。

(エ) 競合パスが発生した場合、優先度により比較を行なう。

(オ) 優先度の比較により、優先度が高い受信

軌道は、受信の立案を行なう。優先度が低い受信軌道は、受信時間から優先度が高い受信軌道時間との重複受信時間及びシステム制約時間90秒を減算し、受信時間が256秒以上の場合は、立案を行なう。

(カ) 優先度が同一の場合、最高受信仰角により判定を行い、仰角の高いパスを立案する。仰角の低い軌道は、⑤項と同様な減算を実施し、受信時間が256秒以上の場合は、立案を行なう。

カ Max. Elevation方式

(ア) 本方式は、競合パスを考慮して受信衛星の優先度、最高受信仰角の比較により受信計画の立案を行う方式である。

(イ) 受信衛星の優先度は任意に設定が可能であり、現時点では、NOAA-18が「優先度1」、NOAA-17が「優先度2」である。

(ウ) 初めに、軌道情報を基に受信計画の立案を行い、最低受信時間が256秒未満の受信計画を取り消し、256秒以上を保持する。

(エ) 競合パスが発生した場合、優先度により比較を行なう。

(オ) 優先度が高い受信軌道は、受信の立案を行なう。優先度の低い受信軌道の立案を行なう。

(カ) 優先度が同一の場合は、最高受信仰角の比較により受信計画の立案を行なう。この場合は、受信仰角が高い受信軌道は受信の立案を行い、受信仰角が低い受信軌道の立案は行なわない。

(3) 受信

ア 受信計画された時刻になると計算された空中線制御情報により空中線を所定の角度へ指向し、1秒毎に軌道計算された指向角度で、リアルタイムにプログラム追尾を開始する。

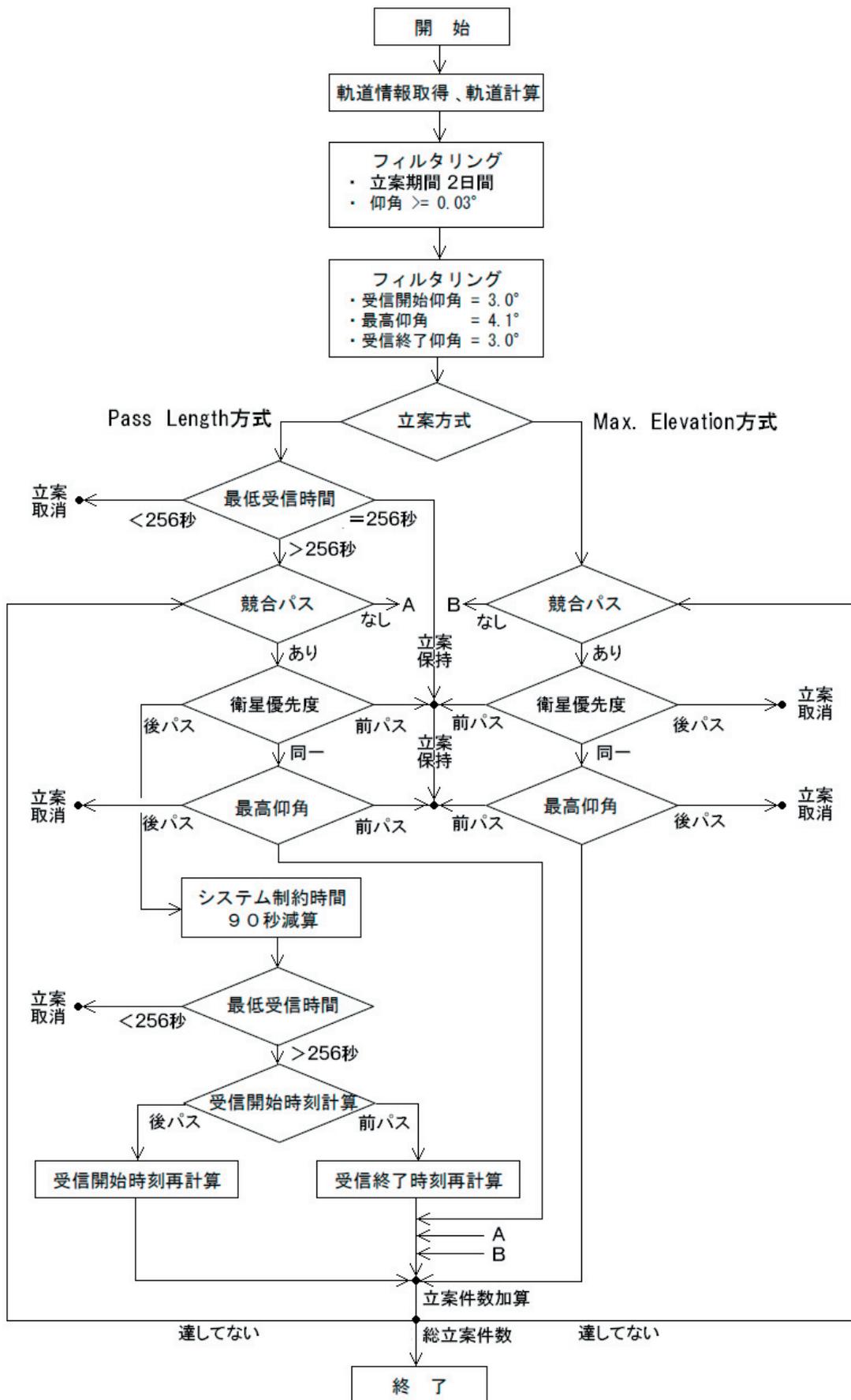


図3 受信計画立案フローチャート

イ 受信された HRPT または AHRPT 信号は、RF ユニットの LNA により増幅され、ダウンコンバータにより 140MHz 帯中間周波信号 (IF 信号) に周波数変換し、光伝送装置により受信処理部へ伝送される。

ウ HRPT IF 信号は、NOAA 用受信復調器において PM (Phase Modulation) 復調、ビット同期及びフレーム同期され Raw データとなる。

エ AHRPT IF 信号は、METOP 用受信復調器において QPSK (Quadra Phase Shift Keying) 復調、ビット同期され、そのビットストリームは、物理層で定義された CADU (Channel Access Data Unit) となっており、これから同期マーカ (0x1ACFFC1D) を検出してフレーム同期を行う。その後、Viterbi 復号処理を行い、データリンク層で定義された VCDU (Virtual Channel Data Unit) に復号され、Raw データとなる。

オ 復号された Raw データは、信号処理監視制御装置へ取り込まれハードディスクに保存される。

カ 信号処理監視制御装置では、Raw データの保存と同時に、選択されたセンサチャンネルの画像をクイックルック表示し、また、Raw データから Level 0 データを作成する。

キ Level 0 データのファイル命名規則を以下に示す。

(ア) NOAA 衛星

HRPT_yyyymmddhhmns.Nxx.yz

yyymmddhhmns

: 受信計画作成時における受信開始時刻

xx : 衛星番号 [12,14,15,16,17,18,19]

y : 軌道帯区分 [A,D]

A: Ascending (北上)

D: Descending (南下)

z : 軌道帯内 FTP 通番 [1,2,3]

(イ) METOP 衛星

AHRPT_yyyymmddhhmns.Mxx.yz

yyymmddhhmns

: 受信計画作成時における受信開始時刻

xx : 衛星番号 [01,02,03]

y : 軌道帯区分 [A,D]

A : Ascending

D : Descending

z : 軌道帯内 FTP 通番 [1,2,3]

(4) データ転送

ア 受信終了後、直ちに Level 0 データを、衛星データ処理システムへファイル転送プロトコルにより伝送する。

イ ファイル転送に失敗した場合は、1 分後に自動的に再転送する。

5. まとめ

衛星に搭載されるリモート・センシング用のセンサは、これから益々そのニーズに応じて進化・発展するもの予想される。新たな高性能センサから作成されるプロダクトが、予報精度向上、調査・研究に寄与するものと期待される。センサの多チャンネル化や高分解能化は、データ量の増加とデータレート的高速化による伝送周波数帯域の広帯域化が予想され、より高度なデータ圧縮技術、誤り訂正技術及び変調技術等より、極軌道気象衛星受信装置の高度化が必要になると考えられる。

最後に、本稿を執筆するにあたりご助言頂いた情報伝送部関係官各位に多謝したい。

参考文献

日本船用エレクトロニクス株式会社 極軌道気象衛星

受信装置 取扱説明書

欧州宇宙機関 Web サイト URL: <http://www.esa.int/>

欧州気象衛星機構 Web サイト

URL: <http://www.eumetsat.int/>

米国海洋大気庁 Web サイト

URL: <http://www.noaa.gov/>

世界気象機関 Web サイト

URL: <http://www.wmo.ch/>