

階層切り替え型車載向け地上デジタル放送受信端末

佐藤 義人[†] 石田 隆張[†] 鶴賀 貞雄^{††} 城杉 孝敏^{††} 安川 智雄[‡] 内山 裕樹[‡]

[†] 株式会社日立製作所日立研究所

^{††} 株式会社日立製作所ユビキタスプラットフォーム開発研究所

[‡] 株式会社ザナヴィ・インフォマティクス

移動体におけるデジタル放送の問題点の一つは、移動受信中に映像や音声我突然フリーズ・ブラックアウトしてしまうことである。これに対し、固定受信向けのハイビジョン映像と移動受信向けの簡易動画を同時に受信する方式を検討した。通常は高品位なハイビジョン映像を表示し、車両の移動等により伝搬路が変動して C/N が確保できなくなった場合には簡易動画に自動的に切り替え、映像品質を落としても、番組が途切れないようにするものである。今回、車載向けの切り替え端末を試作・実験を行った結果、固定受信向けのみの受信時に比べ、受信感度のマージンを約 11dB 拡張可能であることを確認した。

An On-board Receiver Providing Seamless Service by Switching Layers for Digital Terrestrial Broadcasting

Yoshihito SATO[†] Takaharu ISHIDA[†] Sadao TSURUGA^{††} Takatoshi SHIROSUGI^{††}

Tomoo YASUKAWA[‡] and Hiroki UCHIYAMA[‡]

[†] Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

^{††} Ubiquitous Platform Systems R&D Laboratory, Hitachi, Ltd.

[‡] Xanavi Informatics Corporation

In digital terrestrial broadcasting, we developed a prototype of on-board receiver that can receive hi-definition video and simple video simultaneously, and can switch one to another according to C/N ratio. While moving by vehicle, the receiver can provide seamless service without sudden freeze of video. We examined that the minimum sensibility of receiving signal level can be 11 dB lower as compared with receiving hi-definition video only.

1. まえがき

日本の地上デジタル放送では、高品質・高機能を指向した ISDB-T 方式が採用されている[1]。ISDB-T では、一つのチャンネル(6MHz幅)を最大 3 種類の伝送帯域(=階層)に分け、各階層毎に異なる伝送パラメータに設定可能である。固定受信向け階層では、ハイビジョン映像の放送用に少なくとも 18Mbps 程度の高伝送速度(64QAM、FEC3/4)が必要になる。これをそのまま移動受信に用いた場合には、アンテナ高さが確保できないことによる C/N の劣化、無指向性アンテナを用いることによるマルチパス歪の影響、移動受信による電波環境の時変動などが発生し、受信不能になる確率が高い。これに対し、ダイバーシティなどによる受信率の改善方法が提案されている[2][3]。一方で、携帯・移動受信向け階層では、サ

ブキャリア変調に QPSK や 16QAM を用いることにより低速ながら外乱に強い方式が採用される見通しである。この場合は伝送容量が数百キロ bps 程度になるため、H.264/MPEG-4 AVC を用いた簡易動画放送が予定される[4]。現在のところ、地上デジタル放送の携帯・移動受信向け階層の仕様は未定であるが、固定受信向け階層の補完放送と位置付けられ、補完の一つの形態としてサイマル放送が実施される可能性がある。車載向け端末の画面は携帯端末の画面サイズより大きくなり、より固定受信向けに近い品質の映像のニーズがあると考えられる。前述のように移動受信では、固定向け階層は携帯・移動向け階層に比べて途切れやすくなる。そこで筆者らは、固定受信向け階層と携帯・移動受信向け階層を同時に受信し、通常は固定受信向け階層のハイビジョン映像を表示し、ハイビジョンが受信不可となった場

合でも携帯・移動受信向け階層の簡易動画に自動的に切り替え、極力番組の中断を防ぐことを目的とした受信端末の試作を行ったので報告する。

2. 日本の地上デジタル放送方式

2.1 ISDB-T方式

日本の地上デジタル放送規格は、ARIB において策定されている[1]。ARIB 規格に採用された ISDB-T 方式では、ひとつの物理チャンネルの伝送帯域 (6MHz) を 14 個の部分帯域に分割し、そのうちの 13 個分を実際の伝送に用いる (残りの 1 個分は隣接チャンネルとの干渉防止帯域)。各部分帯域はセグメントと呼ばれ、セグメント毎に伝送パラメータや伝送情報を設定できる。同じパラメータに設定されたセグメントのセットを階層と呼び、最大 3 階層まで使用することが可能である。この方式により、受信対象毎に階層を変えて、固定受信・移動受信のそれぞれに適した方式で伝送を行うことが可能となる。図 1 に、実施が予想されるチャンネルの構成例を示す。

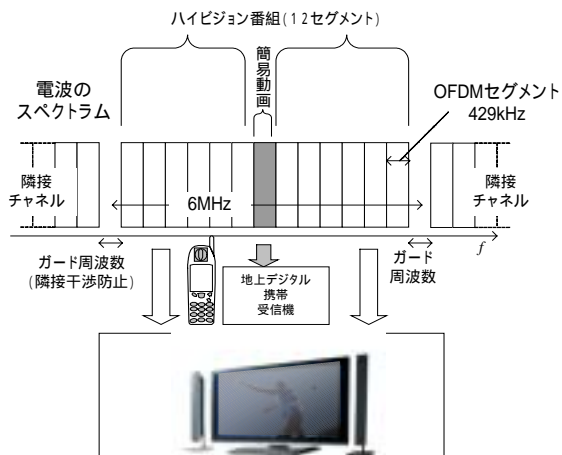


図 1 地上デジタルにおけるスペクトラム構成の例

図1は 13 セグメントのうち 12 セグメントの階層で固定受信向けのハイビジョン番組を放送し、残りの 1 セグメントの階層で、携帯受信向けの簡易動画番組を放送する場合の放送波のスペクトラム構成を示す図である。このような構成の場合、規格では、移動体向けの階層を A 階層もしくは強階層と呼び、固定受信向けの階層を B 階層もしくは弱階層と呼ぶ。B 階層

では、64QAM 変調を使用して、10~21Mbps の高速伝送を実現し、高品位なハイビジョン放送を提供することが可能である。しかし、64QAM は C/N が大きく変動する移動受信には向かない。そこで A 階層では、狭帯域で、C/N 変動に強い QPSK 変調を使用し、より訂正能力の高いエラー訂正パラメータを用いることにより、移動受信向けの放送を提供することが予定されている。ただし、伝送速度は 300kbps ~ 600kbps 程度に制限される。

2.2 移動受信における問題点

図 2 は、アナログ伝送とデジタル伝送との特性の違いを示す概念図である。

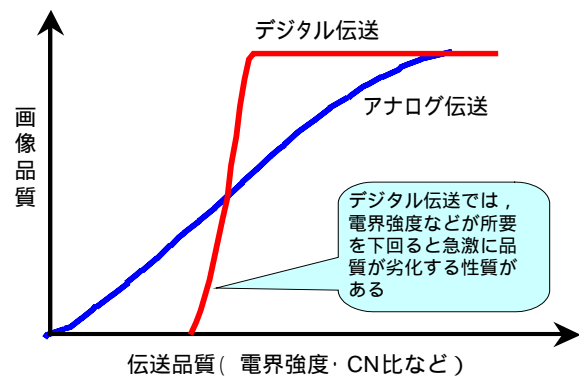


図 2 アナログ/デジタル伝送の品質特性の違い

デジタル伝送ではマルチパス・フェージングに強い OFDM の特性や、FEC、時間インターリーブによる強力なエラー訂正機能により、アナログ方式よりも低い受信レベルで高品位な映像を伝送可能である。このため、一般的に固定受信においては、アナログ伝送に比べて広いエリアで高品位のサービスを提供することが可能となる。一方で、伝送品質の低下に伴って徐々に画像品質が劣化するアナログ伝送と異なり、デジタル伝送では閾値以下で急激に品質が劣化するという特性がある。すなわち、アナログ伝送では劣悪な映像ながら認識可能な場合でも、デジタル伝送では認識不能になってしまう領域が存在する。このような領域は、放送局のカバーするエリアの境界付近はもちろんのこと、エリア内でも、ビルや山の陰・窪地などの地形条件によっても発生しうる。さ

らに移動受信では、無指向性アンテナの使用により利得が落ち、アンテナ高さも制限されるため、たんじかんの間に伝送品質が大きく変動し、映像・音声の停止が頻繁に発生してしまうことになる。

この問題に対する方策としては、フロントエンド部分の改善により、伝送品質の低下を防ぐ方法がある。これには、アンテナの指向性を動的に制御して受信感度を保つ方法[2]や、アレーアンテナを用いて、受信感度の改善を試みる方法[3]などが提案されている。筆者らは、これらのフロントエンド側の受信感度改善に加え、バックエンド側での対策を検討した。基本的な考え方は、伝送する画像品質を落とすことにより、伝送品質の閾値を下げ、移動中の映像・音声の停止を低減しようというものである。すなわち、伝送品質が確保されている状態では、B 階層のハイビジョン映像を表示し、その伝送品質を確保できなくなった場合に、A 階層の簡易画像に切り替えることで、映像・音声の停止を防ぐ。ただし、このためには A 階層で放送される番組が、B 階層で放送される内容のサイマル放送であることが前提である。この運用形態は有力視されているが、現時点では決定ではない。しかし、移動受信におけるユーザのニーズを考えれば、このような運用形態の実現性は高いと考えられる。

筆者らは上記の機能を持つ車載向け受信端末を試作した。本試作端末は、階層切り替えサービスの有用性を評価し、実現するためにはどのような機能が必要であるかを検討することを目的としている。

3. 階層切り替え端末の構成

3.1 端末の基本機能

本端末の基本機能は、固定受信用階層の12セグメントと、携帯・移動受信用階層の1セグメントの両方を同時に受信し、それぞれに含まれる MPEG-2 でエンコードされたコンテンツと MPEG-4 でエンコードされたコンテンツの双方を同時にデコード・バッファリングし、通常は MPEG-2 をデコードしたコンテンツを表示する。電界強度や C/N 比を監視し、MPEG-2

が正常にデコードできないレベルと判断した場合に自動的に MPEG-4 をデコードしたコンテンツに切り替えるものである。

本端末では C/N 比を検出し、閾値を設けることにより自動切り替えを実現している。

3.2 動作フロー

図 3に、本端末における概略処理ブロック図を示す。本端末は、 μ ITRON™によるタスク管理をベースに動作する。

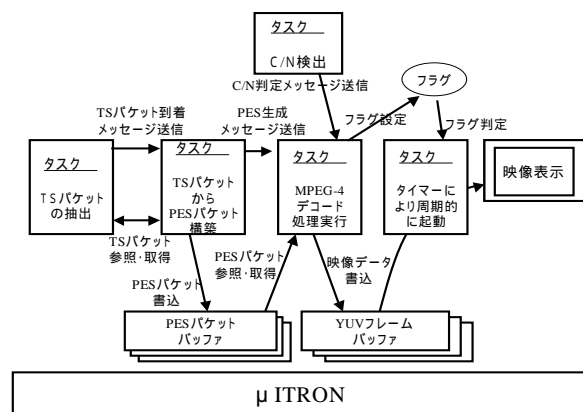


図 3 試作端末の処理ブロック図

図はMPEG-4デコードタスクを中心に、周辺タスクと連携して動作している様子を示している。タスク①において TS パケットのフィルタリングを行い、MPEG-4 映像の TS パケットを抽出する。タスク②では、そこからさらに PES パケットを抽出し、バッファに蓄積する。タスク③は PES パケットをバッファから取り出し、MPEG-4 のデコードを行って映像フレームをフレームバッファに収める。タスク⑤は、チューナを制御するタスクであり、C/N を検出して、MPEG-2 が正常にデコードできるか否かを判定する。MPEG-2 が正常にデコードできる状態から、デコード不能の状態に遷移した時および、その逆に状態が遷移した場合に、タスク⑤は、タスク③に対してタスク間メッセージを送る。タスク③は受信したメッセージによって、MPEG-4 を表示するか否かを表すフラグを設定する。タスク④は、定期的に起動し、このフラグによって MPEG-4 の映像を表示する。MPEG-4 映像を表示しない場合は、MPEG-2 映像を表示する。

4. 階層切り替えレベルに関する実験

4.1 実験方法

本試験は、試作した端末が、実際の放送波を受信して映像を表示できるか否かを確認することおよび、A階層受信が、B階層受信に比してどの程度電力マージンを見込めるものかを確認することが目的である。本試験は、屋内・有線接続にて、図4に示すような装置構成により、試験を実施した。

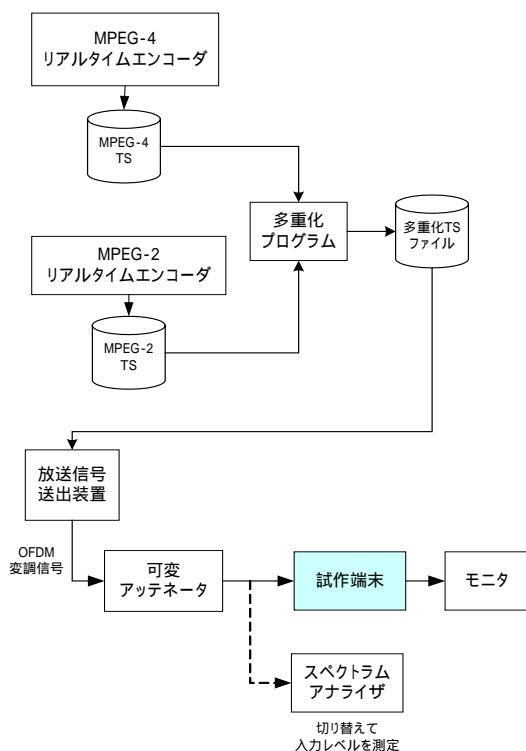


図4 試験装置構成

放送信号送出装置(Tektronix RTX100™)から実際の放送波と同じ仕様の放送波信号を、有線接続により試作端末のチューナに入力した。この際、途中に可変アッテネータを挿入して入力レベルを調整可能とした。入力レベルは、あらかじめアッテネータで調整した信号をスペクトラムアナライザ(HP 8594E™)に入力して測定した。

ハイビジョン映像と簡易動画映像が多重化されたTSを作成し、放送信号送出装置の再多重化機能により、簡易動画をA階層、ハイビジョン映像をB階層に入れた放送TSに変換した。このTSを用いて放送

信号送出装置より、OFDM変調をかけた信号を出力させた。変調に用いた主なパラメータを表1および表2に示す。

表1 伝送パラメータ(1)

	簡易動画	ハイビジョン
階層	A	B
OFDMモード	3	
ガードインターバル	1/8	
サブキャリア変調	QPSK	64QAM
FEC	3/4	5/6
時間インターリーブ	2	2
セグメント数	1	12
TS送出レート	468kbps	18.72Mbps
Videoコーデック	MPEG-4	MPEG-2
Videoビットレート	128kbps	-
Video画面サイズ	QVGA	-
Audioコーデック	AAC	-

表2 伝送パラメータ(2)

	簡易動画	ハイビジョン
階層	A	B
OFDMモード	3	
ガードインターバル	1/8	
サブキャリア変調	16QAM	64QAM
FEC	3/4	5/6
インターリーブ	2	2
セグメント数	1	12
TS送出レート	936kbps	18.72Mbps
Videoコーデック	MPEG-4	MPEG-2
Videoビットレート	128kbps	-
Video画面サイズ	QVGA	-
Audioコーデック	AAC	-

伝送パラメータ(1)はA階層のキャリア変調方式をQPSKとしたもの、(2)は、A階層のキャリア変調方式に16QAMを用いたものである。B階層のキャリア変調方式は共通で、64QAMを用いた。

各伝送パラメータにより信号を入力し、階層切り替えを行ったときに、B階層のみの受信時に対して、A階層受信に切り替えることで、受信感度のマージンをどれだけ見込むことが可能となるかを調べた。

4.2 実験結果

表 3 に、2つの伝送パラメータにおける測定結果を示す。表は、スペクトラムアナライザによる入力信号の電力値と、端末の受信状態の変化を示す。電力値は、受信チャンネル帯域(6MHz)の電力の総和で、100 サンプルの平均値である。

表 3 測定結果

受信電力 [dBm/ch]	簡易動画 (A階層)		ハイビジョン映像 (B階層)		
	16QAM	QPSK	64QAM		
-33.6	-		ノイズレス(図6)		
-41.9					
-50.2					
-73.1				切り替え開始	
-74.6	ノイズレス	ノイズレス	ノイズ出現(図7)		
-74.7			ノイズ頻出(図8)		
-75.0			映像停止		
-75.1					
-80.3					
-80.6				ノイズ出現	
-80.8				ノイズ頻出	
-81.0				映像停止	
-85.6					ノイズ出現
-85.7					ノイズ頻出
-86.0		映像停止			

図5には、B階層で受信したハイビジョン映像(MPEG-2)が、ノイズレスで表示されているキャプチャ画像を示す。なお、キャプチャした画像は、一度ダウンコンバートした映像を用いているため、実際のハイビジョン映像とは、解像度とアスペクト比が異なる。



図 5 MPEG-2 ノイズレス映像

図6に、A階層の簡易動画(MPEG-4)に切り替え後のキャプチャ画像を示す。



図 6 MPEG-4映像(中央部)とMPEG-2ノイズ出現時の映像(周辺部)

図では、MPEG-4、MPEG-2の様子が変わるようにMPEG-4映像は、画面の中央にオリジナルのサイズ(QVGA)で表示している。実際にはMPEG-2映像と同じサイズに拡大して全画面に表示する。MPEG-2映像には、下部にノイズが出現しているが、MPEG-4映像はノイズレスで表示された。図7には、MPEG-2映像にノイズが頻出して、デコード不能となった状態を示す。このような状態でも、画面中央にあるMPEG-4の映像ではノイズが入ることなくスムーズに表示された。



図 7 MPEG-4映像(中央部)とMPEG-2ノイズ頻出時の映像(周辺部)

4.3 考察

実験の結果、A階層受信はB階層受信に比して、16QAMを用いた場合は約6dB、QPSKを用いた場

合は約 11dB のマージンを見込むことができることを確認した。なお、2003 年 11 月に、東北地区の実験設備を用いて、本試作端末での無線による屋外受信実験も実施している。屋外実験時には、試作端末が未完成であったため、QPSK の場合でのみでしかマージンの測定ができなかったが、約 10dB という結果であり、室内実験の値とほぼ一致する。

一方、伝送パラメータの設定や、測定の方法が異なるため直接比較はできないが、東海地上デジタル放送実験協議会の実験結果 [5] では、64QAM (Mode2,FEC7/8) と 16QAM (Mode2,FEC1/2) における所要電界強度の差の平均が 11.4dB、64QAM と DQPSK (Mode2,FEC1/2) の差が 15.5dB と報告されている。本実験結果よりも約 5dB 大きいですが、これは 16QAM と DQPSK での受信可能な最小電力が本実験結果にほぼ一致しているのに対して、64QAM での最小電力が約 5dB 本実験結果では低く出たことによる(本端末では 5dB 低い電力でも受信可能であった)。これは、受信可否の評価方法の違いや、伝送パラメータの設定の違い、もしくはチューナ性能の違いによるものであると考えられる。今後、同じ伝送パラメータによる確認を行う必要がある。

また、C/N 比と、デコードしたハイビジョン映像に入り込むノイズ量とは、強い相関はあるが、エラー訂正による補償、エンコード方式によるノイズ耐性、コンテンツの内容などさまざまな要因により、必ずしも一対一の対応とはならない。このため階層切り替えの閾値が低すぎると、場合によってはノイズの多い映像が見えてしまったり、逆に閾値が高すぎると、まだきれいなハイビジョン映像を見ることが可能であるにも関わらず、簡易動画に切り替えられてしまったりすることが発生しうる。このような現象は、ユーザ満足度低下の要因となりうる。したがって、どのような場合においても、限界ぎりぎりまでノイズレスなハイビジョン映像を表示できることが望まれる。デコードされたハイビジョン映像の各フレームに対して、ブロックノイズが発生している個数や、空間周波数成分を解析

するなどによって、ノイズレスな映像であるか、ノイズフルな映像であるかを検知して切り替えることで、ぎりぎりまでハイビジョン映像を表示することが可能であると考えられる。

今回の試作端末では、C/N 比によって切り替える方法としているが、デコードしたフレームのノイズ解析による切り替え方法については今後の検討課題とする。

5. 結論

階層切り替え対応の車載向け地上デジタル放送端末を試作し、B 階層のみの受信時に比べ、A 階層受信を組み合わせれば、16QAM 使用時で約 6dB、QPSK 使用時で約 11dB の受信感度を確保可能であることを確認した。

6. 今後の課題

H.264/MPEG-4 AVC への対応と、階層切り替えを、デコードされた映像の解析結果を元に実施するための解析方法について検討する必要がある。

7. 参考文献

- [1] ARIB STD-B31 「地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式標準規格」
- [2] 今井純志他、指向性制御による地上デジタル放送の移動受信実験、信学技報、RCS2002-212、2003.1
- [3] 長井則和ら、アレーアンテナを用いた地上波デジタルテレビ放送の高速伝搬路時変動補償方式における移動速度推移、信学技報、MoMuC2002-83、2002.1
- [4] MPEG LA ホームページ：
<http://www.mpegla.com/>
- [5] 「東海地上デジタル放送研究開発支援センター 利用報告書 第 3 回」、東海地上デジタル放送実験協議会、2000