地上デジタルテレビジョン監視装置の開発

Development of Monitoring Equipment for Digital Terrestrial Television

正会員 竹内 安弘[†], 正会員 生岩 量久[†], 根岸 俊裕[†]
 初鹿 勝也^{††}, 後藤 剛秀^{††}
 Yasuhiro Takeuchi[†], Kazuhisa Haeiwa[†], Toshihiro Negishi[†],
 Katsuya Hatsushika^{††} and Yoshihide Goto^{††}

あらまし デジタル送信機の C/N 劣化量を MER (Modulation Error Ratio: 変調誤差比) を利用して常時監視するとともに, 劣化量がある値を越えればアラームを出力できる装置を開発した. 本装置を用いれば, 出力低下, スペクトラム, 妨害波の混入なども監視できるため, 破綻が生じるまでのマージンを的確に把握でき, 冗長系への自動切替を行うシステムの構築にも有効である.

キーワード: 地上デジタルテレビジョン, MER, C/N , OFDM, 監視装置

1. ま え が き

放送波中継により OFDM 信号を多段伝送する地上デジタルテレビジョンのネットワークにおいて, 回線品質を管理するためには, 各段の C/N 劣化量を適切に把握する装置が必要となる.

現行のアナログ放送 (NTSC 方式) の場合は, 信号レベルの管理のみでも大きな問題は生じていない. しかし, OFDM 信号の場合には, C/N がある値より悪くなると全く受信できなくなる, いわゆるクリフエフェクト現象があるため, C/N マージンを常に把握することは極めて重要である.

例えば, アナログ放送においては, 妨害波の混入等の異常があれば画質の異常が生じ, 容易に確認できるが, デジタル放送においては, 破綻が生じるまで画質に劣化が発生しない. そこで, C/N 劣化を的確に把握するため, C/N 劣化量を MER (Modulation Error Ratio: 変調誤差比)¹⁾ を利用して常時監視するとともに, 劣化量がある値を越えればアラームを出力できる装置を開発した.

本装置を用いれば, 出力の低下, スペクトラム, 妨害波の混入なども監視できるため, 破綻が生じるまでのマージンを的確に把握できるとともに, 冗長系への自動切替を行うシステムの構築にも有効である.

2. ネットワーク構成と C/N

地上デジタルテレビジョン放送のネットワークとして, 図 1 の構成を仮定する. 例えば, 中継段数を 4 (図の n が 4) とすれば, 4 段目の中継放送所の出力 C/N は約 30 dB²⁾, この電波を受信する受信機の復調可能入力 C/N は約 22 dB²⁾, このときの BER (Bit Error Rate) はおよそ 2×10^{-4} となる. このような C/N が比較的低い場合は, ノイズ加算による BER 劣化を観測するいわゆる間接測定法により C/N マージンは容易に推測できる. しかしながら, 親局の送信出力 ($C/N \approx 37$ dB²⁾) や OFDM 変調器出力 ($C/N \approx 45$ dB²⁾) のような高品質な信号の場合, C/N 劣化に対してノイズ加算による BER 劣化を観測しても精度良く測定できない.

すなわち図 2 で明らかなように, 35 dB を越えるような高 C/N の場合, 加算ノイズ量のわずかな変動に対して C/N は大きく変化するため, 本装置のように信号から直接的に C/N を求める手法 (直接測定法) が必要となる.

3. 動作原理および系統

MER とは, 64 QAM 等の変調信号を復調して I-Q 平面に展開した際の, 理想コンスタレーションポイントと, そこからのベクトル誤差との電力比のことである. 図 3 においては次式で定義される.

$$MER = \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N \{\delta I_j^2 + \delta Q_j^2\}} \quad (1)$$

復調したコンスタレーションポイントが図 3 の一つの正方形の範囲に正しくマッピングされる場合, この MER の値は C/N の値そのものとなる. すなわち, 変調信号の

2001 年 7 月 31 日, 映像情報メディア学会放送方式, 無線・光研究会で発表
 2001 年 8 月 23 日受付, 2001 年 9 月 27 日採録

[†] NHK 技術局

(〒150-8001 渋谷区神南 2-2-1, TEL 03-5455-5390)

^{††} アンリツ株式会社

(〒243-8555 厚木市恩名 1800, TEL 046-296-6648)

[†] NHK Engineering Administration Department

(2-2-1, Jinnan Shibuya-ku, Tokyo, 150-8001 Japan)

^{††} Anritsu Corporation

(1800, Onna, Atsugi-shi, Kanagawa, 243-8555 Japan)

図 1 地上デジタルテレビジョンネットワークの一例
An example of terrestrial digital television network.

図 3 MER 測定の原理
Theory of MER measurement.

図 2 入力 C/N と加算ノイズ量の関係 (計算値)
Added noise in terms of input C/N (Calculated).

MER を求めることにより, C/N を直接的に求めることができる.

図 4 に開発した装置の系統を示す. 本装置は周波数変換部, 信号解析部, 制御部から構成されている. 入力周波数範囲は 470 MHz~770 MHz (TV: 13~62 ch) で, 入力レベルは -47 dBm 以上である. また, 中心周波数許容誤差は ± 300 Hz である. 信号解析部はスペクトル解析や各階層ごとの MER の計算, キャリヤ周波数誤差の測定機能 (精度: ± 0.3 Hz) をもち, 図 5 のような構成になっている. 制御部としてはノートパソコンを用い, 信号品質の判

定, 判定結果の伝送, 障害発生時の通報のほか, 冗長系への自動切替等, 将来想定される様々なアプリケーションに対応することが可能である.

図 6 は信号解析部の外観で, 大きさは 426(W) $\times$ 88(H) $\times$ 451(D) mm³ である. このように外部 CRT を接続してリアルタイムでコンスタレーションを観測することもできる.

4. 性 能

図 7 にモード 3, キャリヤ数=5617, 64 QAM 変調, r (畳込み符号の符号率)=7/8, RS 符号: OFF の OFDM 信号 (37.15 MHz) を OFDM 信号発生器で発生させ, 本装置の信号解析部に直接入力したときの C/N と MER の関係を表す. このとき, ノイズとして加算している信号はチャネル帯域全域にわたるホワイトノイズである. 図 7 から, 信号解析部の残留 MER は 49.5 dB であることがわかる. 残留 MER の影響を受けない範囲では, MER と C/N はほぼ同一の値となっている.

このように, 本装置は 50 dB 程度の高 C/N も検知できるため, 親局 (基幹局) 送信機の監視に特に有効である.

C/N が 20 dB 以下の領域では MER の値が C/N より大きくなっている. これは本装置の MER 計算の際, I-Q 平面上で良コンスタレーション範囲を越える大きな絶対値の

図 4 装置の系統
Schematic diagram of the equipment.

図 5 信号解析部の系統
Schematic diagram of the signal analyzing unit.

図 6 装置の外観
Outside view of the equipment.

図 7 C/N 対 MER
MER in terms of C/N.

コンスタレーションポイントをとった場合の誤差 δI , δQ を求めるのに、一番近い理想コンスタレーションポイントを使用するというアルゴリズムになっているためである。

したがって、この領域で測定される MER は真の MER の定義からは外れている。さらに C/N が悪化して 0 dB に近づいた場合、キャリアレベル自身を入力信号から検出する際の誤差も無視できなくなる。しかしながら、図のように C/N とは一定の相関は見られるため、信号をある程度評価することは可能である。

図 8 に、本装置の RF 入力に OFDM 信号発生器で発生させた UHF 15 ch の OFDM 信号(モード 3, キャリヤ数=5617, 64 QAM, $r=7/8$, RS 符号: OFF)を入力したときのコンスタレーション観測画面を示す。この画面は制御部を介して演奏所にも伝送することができる。画面上には MER の値、キャリア周波数およびその誤差が表示されているが、この値はデジタルデータとして制御部に取り込み、障害判定を行うための情報としている。なお、本装置は入力信号の有無の判定、レベルの判定機能も有している。

図 8 コンスタレーション観測画面
Constellation.

図 9 スペクトラム観測画面
 Frequency spectrum.

図 10 IM 対 MER
 MER in terms of IM.

画面の切替により、図 9 のようにチャンネル内スペクトラムを表示できる。画面の上半分はチャンネル全域を、下半分は指定したセグメント(ここでは一番左の第 11 セグメント)内のスペクトラムをそれぞれ表示している。この画面も同様に、演奏所等で取得することができる。

図 9 において、スペクトラムが波を打っているのは、周波数変換部に使用している SAW フィルタの影響である。周波数変換部にはこのほかミキサや増幅器等の様々な回路が含まれるため、装置全体の残留 MER は信号解析部単体の残留 MER より 4 dB ほど悪くなっている。

また、本装置の有用性を実証するため、送信装置の IM と MER との関係について検証した。送信装置として小信号用広帯域増幅器を使用し、IF 周波数(37.15 MHz)の OFDM 信号を ATT(減衰器)を介して入力した。測定に際しては、入力信号解析部の入力レベルを一定とし、IM

値はスカート部の近傍(中心周波数 $-3.3\text{ MHz}^{3)4)}$)をスペクトラムアナライザで読み取った。測定結果を図 10 に示す。MER は IM の増加を的確に把握しており、有効性が確認できた。

5. む す び

今回開発した装置により、 C/N の劣化や IM の増加を MER で把握することが、可能であることがわかった。MER の観測は、従来のノイズ加算による BER 劣化を調べる方法に対し、直接的に入力信号の品質を評価できるため、OFDM 信号の評価をリアルタイムで行うことができる。特に親局で扱うような非常に品質の良い信号の場合でも、 C/N の劣化や IM の増加を連続的に評価できることもわかった。

また、A/D 変換部の分解能や DSP の演算速度を下げることにより、中継放送所レベルにも活用できる程度に低廉化させることも可能であり、信号の品質管理、入出力の自動モニタとしても有効である。

〔文 献〕

- 1) "Measurement Guidelines for DVB Systems": ETSI ETR-290 (May, 1997)
- 2) "回線設計モデルで想定した各種暫定値", 地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式, ARIB STD-B 31 (May 2000)
- 3) 三木: "地上デジタルテレビジョン放送用伝送ネットワークの目標性能に関する一検討", 映像学誌, 54, 11, pp.1637-1652 (Nov. 2000)
- 4) 竹内, 生岩, 秋山: "地上デジタルテレビジョン中継装置の多段伝送時における C/N 改善の検討", 研究速報, 映像学誌(予定), 56, 7 (July 2001)

たけうち やすひろ
竹内 安弘 1982 年, 宿毛高等学校無線通信科卒業。同年, NHK 入局。高知放送局, 高知久喜ラジオ放送所に勤務。1998 年より, 同技術局送信技術センターに勤務し, 現在に至る。放送機的设计, 開発に従事。正会員。

はえいわ かずひさ
生岩 量久 1970 年, 徳島大工学部電気工学科卒業。同年, NHK 入局。主として送信装置的设计, 開発業務に従事。現在, 同技術局送信技術センターエグゼクティブエンジニア。工学博士。正会員。

ね ぎ し としひろ
根岸 俊裕 1997 年, 慶應義塾大学大学院理工学研究科(電気工学)修了。同年, NHK 入局。2000 年より, 同技術局送信技術センター。主として放送網設備および監視システム的设计, 開発業務に従事。

はつしか かつや
初鹿 勝也 1985 年, 山梨大学工学部電子工学科卒業。同年, アンリツ(株)に入社。主として測定器的设计, 開発に従事。現在, 同社メジャメントソリューションズワイヤレスコム事業部に所属。

ごとう よしひで
後藤 剛秀 1997 年, 名古屋工業大学大学院電気情報工学専攻修了。同年, アンリツ(株)に入社。主として測定器的设计, 開発に従事。現在, 同社メジャメントソリューションズワイヤレスコム事業部に所属。