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

A Study on Improvement of C/N of Cascaded Digital Terrestrial Television Relay Transmitters

正会員 竹内 安弘[†], 正会員 生 岩 量 久[†], 正会員 秋 山 一 浩[†]
Yasuhiro Takeuti[†], Kazuhisa Haeiwa[†] and Kazuhiro Akiyama[†]

あらまし 地上デジタルテレビジョン放送の多段放送波中継ネットワーク構築にあたって最も重要なポイントは、中継装置出力の C/N が段数に対してどのように劣化するかを把握しておくことである。本文では、中継装置を多段接続した時の各段での C/N を取得し、レベルダイヤ、バックオフ量、AGC 時定数等の最適化を行うことにより、 C/N 劣化を抑えることが可能であることを明らかにした。

キーワード：地上デジタルテレビジョン、デジタル中継装置、多段伝送、IM, AGC

1. ま え が き

地上デジタルテレビジョン放送を低コストで実現するためには、現行のアナログ放送と同様に放送波中継による多段ネットワークの構築が求められている。しかし、これを実現させるためには、多段伝送における C/N 劣化をできるだけ抑えることが必要となる。多段ネットワーク構築に必要な性能について検討された例はあるが^{1)~(4)}、実際に多段伝送した場合の各種性能に対する C/N 劣化についての報告はあまりなされていないようである⁽⁵⁾。

筆者らは、デジタル中継装置を多段直接接続したときの C/N について実験・検討を行い、装置のレベルダイヤ、電力増幅器のバックオフ量、AGC(Automatic Gain Control)時定数等の最適化を行うことにより、 C/N 劣化を抑えることが可能であることを明らかにした。

2. 測 定 系 統

系統を図1に示す。現行のアナログ放送における多段数は最大で7段であるが、ほとんどが5段以下(約98%を占める)であるため、5段で実験を行った。

OFDM 変調器から、モード3、64QAM 変調、IF 帯(中心周波数 37.15 MHz)信号を SG(信号発生器)出力とミックスし、任意の UHF チャンネルに変換する。この出力

を5段直接接続した中継装置1~5を通した場合の各段出力の C/N および IM (Inter-Modulation)を測定した。使用した中継装置は周波数変換機能と、MGC(Manual Gain Control)、AGC 機能を有し、定格入力レベルは-37 dBm、定格出力電力は0 dBm である。

3. 中継装置の単体特性

中継装置1~5をMGCとし、各装置単体の C/N に対する BER 特性を測定したものを図2に示す。

中継装置単体の C/N を劣化させる要因として、 IM 、局発位相雑音値、熱雑音を仮定すれば、装置出力の等価 C/N (計算値)は次式で表される。

$$\begin{aligned} \text{等価 } C/N(\text{計算値}) &= -10 \log(10^{-((IM-2.1)(\text{dB})/10)} + 10^{-(\text{局発位相雑音値}(\text{dB})/10)} \\ &\quad + 10^{-(kTBF(\text{dB})/10)})(\text{dB}) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 B は帯域幅、 F は雑音指数である。また、 IM と C/N の換算については文献(2)を採用し、 $C/N = IM$ (測定値) - 2.1(dB)とした。

今回は実測値を元に C/N 劣化特性を検討するために、以下の式により等価 C/N を求めた。

$$\begin{aligned} \text{等価 } C/N(\text{測定値}) &= -10 \log(10^{-(\text{測定系所要 } C/N(\text{dB})/10)} \\ &\quad - 10^{-(\text{各中継装置所要 } C/N[\text{dB}]/10)}) \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式の測定系所要 C/N とは、被測定装置(本例では中継装置1~5)をすべてスルーにした時のビタビ復号前の BER(Bit Error Rate: 誤り率)が 7×10^{-3} (ビタビ復号後の BER: 2×10^{-4} に相当)になるときの信号電力 C とノイズ信号源からの雑音電力 N との比である。

2001年1月30日、映像情報メディア学会無線・光伝送研究会で発表、
2001年3月29日受付

[†] NHK 技術局

(150-8001 東京都渋谷区神南2-2-1, Tel 03-5455-5390)

[†] NHK Engineering Administration Department

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

図 1 測定系統
Schematic diagram for measurement

図 2 中継装置の単体特性
Characteristics of relay transmitter

図 3 段数に対する等価C/Nの変化
Equivalent C/N change in terms of cascaded numbers

また各中継装置所要 C/N とは、中継装置を挿入した時の BER が 7×10^{-3} になるときの C/N である。

IM は、OFDM 信号のセンター周波数(f_c)に対して 3.3 MHz 低いポイントにおける測定値であり、前記の $C/N = IM - 2.1$ [dB] の式を用いた⁽²⁾。なお、送受信変換局発は 52 dB(2 台分)、熱雑音による受信 C/N は約 60 dB が得られている。

4. 多段伝送特性

4.1 C/N および IM 特性

中継装置を 5 段直接接続したときの等価 C/N 、IM 特性を図 3 と図 4 に示す。等価 C/N はほぼ電力加算 ($10 \log M$: M は段数) に沿って劣化している。

一方、 M 段目の IM は $15 \log M$ に沿って増加しており、多段伝送における IM 劣化は中継装置の IM を単純に

図 4 段数に対する IM の変化
IM change in terms of cascaded numbers

電力加算 ($10 \log M$ に比例) したものでは求められない。

このため、多段時の特性配分を行う場合には、IM 劣化

図5 バックオフ量に対する多段時のIMの変化
IM change in terms of back off at cascaded transmitters

特性の把握が重要となる。

4.2 バックオフ量がIMに与える影響

前項では多段伝送時、IMは $15 \log M$ (M : 段数)に沿って増加することを示したが、 $20 \log M$ で増加する場合も報告されている⁽⁵⁾。そこで、バックオフ量により、IMがどのように変化するかを把握するため、以下の実験を行った。

図1の中継装置1~5の代わりに同一デバイス、同一特性を持つ電力増幅器を4段直接接続した。入力電力の増加に対して出力電力が1 dB抑圧されるポイントをバックオフ点とし、この点に対する入力電力(バックオフ量)を変化させ、IMを測定したものを図5に示す。

図5(a)から、各段のバックオフ量が9 dB時は $20 \log M$ (電圧加算)でIMが増加しており、各段で発生したIMは完全相関状態になっている。

一方、図5(b)から各段のバックオフ量が12 dBの時のIMは、 $15 \log M$ で増加しており、完全相関でなくなっている。また、図5(c)と(d)から、バックオフ量が17 dBを越える時のIMは $10 \log M$ (電力加算)で増加しており、無相関の状態となっている。

以上から、設計時にバックオフ量を考慮し、適切なレベルダイヤを設定すれば、多段におけるIM増加を少なく(電力加算で劣化させる)することが可能である。

4.3 AGCの影響

3項と4.1、4.2項のデータは、MGC時のものであるが、実際の中継装置の運用においては、受信波のレベル変動を吸収するAGC機能が必要となる。しかし、この

図6 AGC時定数を変化させた時の装置単体のBER特性

BER of relay transmitter in terms of AGC time constant

AGC特性により等価C/Nが劣化するケースが報告されており⁽⁶⁾、AGCの多段伝送に対する影響を詳細に調査した。

図1の中継装置3のAGC時定数を10 ms、30 ms、500 msとし、中継装置3単体のC/Nに対するBERを測定したものを図6に示す。図6においては、AGC時定数がシンボル期間1 ms(モード3)に対して数10倍未満のとき、C/Nに対するBERが劣化している。すなわち、AGC時定数が10 msのときの等価C/Nは35.4 dBであり、MGCの等価C/Nと比較して約5 dB劣化している。

次に、図1の中継装置1~5までのAGC時定数をそれぞれ30 ms、500 msとし、5段直接接続した場合の3段、

図 7 AGC 時定数を変化させた時の多段時の BER 特性
BER in terms of time constant at cascaded transmitters

5 段出力における C/N 対 BER を測定し、図 7 に示す。

段数が増えるほど劣化が大きくなっているが、AGC の時定数を 500 ms とした時、5 段出力における等価 C/N が MGC の場合と同じになり、AGC による影響を完全になくすことができた。

以上から、AGC の時定数はフェージングによる電界変動に追従できる範囲で、長くすれば多段時の劣化を抑えることが可能となる。

5. む す び

今回の実験・検討により、等価 C/N の劣化が少ない地上デジタル中継装置を実現するためには、レベルダイヤ、基本部を含めた電力増幅器のバックオフ量、および AGC 時定数の最適化が必要であることを示した。

今後は本検討をもとに、さらに理論的な解析を行い、放送波中継によるネットワークに最適で、かつ低コストの中継装置を開発していく予定である。

今回の実験にご協力頂いた松下通信工業株式会社、日本無線株式会社およびアンリツ株式会社の関係各位に深謝する。

【文 献】

- 1) 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”，映情学誌，54，11，pp.1647～1652 (2000)
- 2) 三木，北沢：“地上デジタルテレビジョン放送の伝送特性と IM に関する一検討”，映情学誌，54，7，pp.1069～1078 (2000)
- 3) 三木，北沢：“地上デジタルテレビジョン放送の多段中継と IM に対する一検討”，映情学技報，24，No. 61，pp.19～24 (2000)
- 4) 三木，大野：“地上デジタルテレビジョン放送の等価 C/N 劣化量と搬送波 C/N に関する一検討”，映情学誌，54，No. 1，pp.127～130 (2000)
- 5) 竹内，生岩：“デジタル中継放送機の試作と多段伝送特性”，映情学技報，24，43，pp.1-6 (2000)

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，菟蒲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。

はせいわ かずひろ
生岩 量久 1970 年，徳島大学工学部電気工学科卒業。同年，NHK 入局。主として送信装置の設計，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。

あきやま かずひろ
秋山 一浩 1987 年，奈良電気高等専門学校電波通信学科卒業。同年，NHK 入局。神戸放送局，テレビ中央送信室に勤務。平 12 年より，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，整備に従事。正会員。