アナログテレビジョンの音声信号による地上デジタルテレビジョン放送信号への同一チャネル干渉実験

Experimental Evaluation of Analog Television Sound Signal's Co-channel Interference to Digital Terrestrial Television Signal

正会員 永塚 守[†], 正会員 都竹 愛一郎[†]

Mamoru Nagatsuka[†] and Aiichiro Tsuzuku[†]

あらまし 地上デジタル放送信号に対するアナログテレビジョン信号の干渉について、特にアナログ音声信号に着目した実験を行った。映像信号に比べて、音声信号の干渉の影響は大きく、音声の変調信号の違いにより、干渉特性に差が生じ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放送、OFDM、同一チャネル干渉、混信保護比

1. ま え が き

我が国の地上デジタルテレビジョン放送の方式については、すでに電気通信技術審議会から答申¹⁾が行われた。現在は、地域ごとのチャネル割当て、パラメータの選択の検討作業などが進められている。

アナログテレビジョン信号からデジタルテレビジョン信号への同一チャネル干渉については、(社)電波産業会を中心とした実験²⁾が行われ、答申策定時の資料にも用いられた。この実験報告によれば、アナログ映像信号について、その変調内容が干渉特性に大きな影響を与えないことは確認されているが、音声信号については言及されていない。

本研究では、特にアナログの音声信号に着目し、映像信号と比較した相対的な干渉の強さを調べ、変調内容による干渉特性の差を測定する実験を行った。

2. 実 験 方 法

実験システムは、図1のような構成とした。実験に用いたデジタル信号のパラメータは、表1の通りである。誤り訂正符号は内符号のみを用いた。

干渉源となるアナログ信号は、CATV用の変調器を用いて発生させた。使用チャネルはC50で、規格上の周波数は図1に示した通りである。しかし、実際には数十Hzのずれが生じた。

デジタル信号とアナログ信号の間の周波数関係が正確で

あれば、アナログ信号の映像搬送波とOFDMのキャリアのうちの1本(帯域下端から数えて901本目)の周波数は一致する。今回の実験では、これらの間の周波数差が5Hz以下となるよう、デジタル信号用アップコンバータのローカル周波数を調整した。なお、このときのアナログ音声搬送波周波数は、規格上の周波数(映像搬送波より4.5MHz高い値)に比べ、-56Hzから-53Hzの範囲にあった。

図1 実験系統図

Block diagram of test system.

表1 使用したデジタルテレビジョン信号のパラメータ
Parameters of digital television signal.

モード	Mode 3
キャリア数	5617
帯域幅	5.57 MHz
変調	64 QAM-OFDM
有効シンボル長 T_e	1008 μ s
ガードインターバル T_g	$T_e/4$
キャリア間隔	$1/T_e$ (992.063...Hz)
内符号	畳込み符号(符号化率 7/8)
時間インターリーブパラメータ	1

2000年7月27日受付, 2000年9月14日再受付, 2000年9月26日採録

[†] 郵政省通信総合研究所

(〒184-8795 小金井市貫井北町4-2-1, TEL 042-327-6932)

[†] Communications Research Laboratory, MPT

(4-2-1 Nukui-kita, Koganei-shi, Tokyo 184-8795, Japan)

無線設備規則第37条の3によれば、地上放送においては ± 1 kHzの偏差が許容されており、この範囲内の値である。

アナログ映像信号の変調に用いた画像は、カラーバーとした。アナログ音声信号の変調には、正弦波のテストトーンを用いた。

3. 音声信号による干渉の強さ

まずデジタル信号が受ける干渉のうち、アナログ音声信号が関与する割合を調べる実験を行った。この実験では、音声変調信号に1 kHzの正弦波を用い、変調度を100% (周波数偏移 ± 25 kHz)とした。デジタル信号の平均電力とアナログ信号の映像同期尖頭電力の比を D/U として定義し、これを変化させて測定した。アナログの映像・音声と同時に使用した条件(映音同時)と、映像信号のみ、音声信号のみの3条件の実験を行った。すべての条件で、誤り訂正符号を用いないBERを測定したほか、映音同時の場合には、誤り訂正を行った状態でも測定した。

映音比(アナログの映像同期尖頭電力と音声信号電力の比)を6 dBとした場合の結果を図2に示した。まず、映音同時での誤り訂正後の特性については、BERが 2×10^{-4} となる D/U が約26 dBとなった。中原らのMode 2での実験報告²⁾では25 dBであり、ほぼ同じ結果である。

次に、誤り訂正を行わない場合の各 D/U でのBERの測定結果において、映像のみの値と音声のみの値を合計すると、映音同時の値と一致することが確認できる。音声信号と映像信号は、各々異なるOFDMキャリア群に干渉を与えているためである。

ここで、 D/U が26 dBの測定結果に注目する。映音同時のBERは 2.4×10^{-3} 、音声のみ条件では 1.8×10^{-3} である。これらの値から計算すると、発生しているビットエラーのうち、75%が音声信号に起因したものであることになる。音声信号電力は、映像信号電力に比べて1/4に過ぎないが、与えるビットエラーの数は3倍であった。映像信号では、スペクトル的に特定の周波数にエネルギーが集中し、OFDMの少数のキャリアが影響を受けるが、音声信号はFM変調のため、近傍の多くのキャリアが影響を受け、結果的に影響が大きくなるものと考えられる。

以上のように、音声信号の影響は相対的に大きいといえる。この点から、映音比を変えると、映像信号を基準とする D/U が同じでも、干渉の程度が異なることが予想される。無線設備規則第37条の4によれば、音声信号電力の映像信号電力に対する比は15%以上35%以下と規定されている。これは、映音比の表現では8.2 dBから4.6 dBの範囲に相当し、3.6 dBの範囲が許容されることになる。そこで、映音比をこの範囲で変化させ、映音同時の誤り訂正後のBER特性がどの程度変化するかを調べる実験を行った。結果を図3に示す。BERが 2×10^{-4} となる D/U を所要 D/U とすると、映音比4.6 dBでの所要 D/U は、

図2 D/U に対するBER特性
DU ratio vs. BER characteristics.

図3 映音比とBER特性の関係
Video/sound power ratio vs. BER characteristics.

映音比8.2 dBの場合に比べ約2.9 dB大きい。もし、 D/U の算定を音声信号で行うなら、両者の間の所要 D/U の差は、3.6 dBから2.9 dBを差し引いた0.7 dBとなる。このことから、映音比の変化の影響を受けにくい D/U の表現をするためには、アナログ信号の電力として、映像信号ではなく音声信号のものを使うことが適切といえる。

4. 音声信号の性質と干渉

4.1 変調度の影響

アナログの音声信号はFM変調であるため、変調度を変えると信号の帯域幅が変化する。変調度を変化させることによるBERへの影響を調べた。

D/U を26 dB(アナログ信号の電力には映像同期尖頭電力を用いて算出した。以下同様)とし、映音比は6 dBとした。1 kHz正弦波の音声変調信号のレベルを変え、変調度によるBERの変化を測定した。結果を図4に示す。グラフには、映音同時で誤り訂正なしの場合と、ありの場合の結果を示した。なお横軸は、変調度100%を基準にし

図 4 変調度に対する BER 特性
Modulation factor vs. BER characteristics.

図 5 変調信号周波数に対する BER 特性
Frequency of modulating signal vs. BER characteristics.

た dB 表示である。

おおむね、変調度が小さくなるにつれ、BER が小さくなることが確認できる。変調度が小さくなって帯域幅が狭くなると、音声信号の干渉を受ける OFDM のキャリア数は少なくなる。一方で、音声信号の電力は一定であるから、OFDM のキャリア 1 本当たりの受ける干渉の度合いは大きくなると考えられる。これらの相反する効果が拮抗するため、変調度と BER の間の単純な関係は得られないが、変調度が大きく変化した場合、影響を受けるキャリアの数が減少する効果の方が大きく、BER が減少すると思われる。

誤り訂正ありの結果を見ると、変調度 3% (-30 dB) のときの BER は、100% のときに比べ 1/10 程度となることがわかる。アナログの音声変調信号のレベルが、デジタル信号への干渉に大きな影響を与えていることが確認できる。

4.2 変調信号周波数の影響

次に、変調信号の周波数による、干渉特性への影響を検討する。

D/U を 26 dB、映音比を 6 dB、変調度を 100% とし、変調信号の周波数による BER の変化の測定結果を図 5 に示した。映音同時で、誤り訂正を使用しない結果と、使用した結果である。なお、アナログテレビジョンの音声信号には 75 μ s のプリエンファシスが施されるため、周波数ごとに変調器への入力信号レベルの調整を行い、変調度を一定に保った。

周波数により BER は変化する。誤り訂正を行った結果では、測定した周波数範囲内で、およそ 8 倍の差が生じていた。BER が最大値を示すのは 3 kHz の場合であった。そのほか、6 kHz や 9 kHz では、近傍の周波数に比べ、特に影響が大きくなっていることがわかる。

これは、デジタル信号のスキップドパイロット (SP) が選択的に妨害されるためと考えられる。アナログの音声信号キャリアに相当する周波数は、OFDM の SP の置か

れるキャリアの周波数でもある。SP は 3 キャリヤごとに配置されている。すなわち、約 3 kHz 間隔である。

FM 変調のスペクトルでは、その中心周波数から変調周波数の整数倍にあたる周波数に、エネルギーが集中する。上で挙げた変調周波数のアナログ音声信号は、約 3 kHz 間隔に配置された SP に、選択的に妨害を与えることが考えられる。SP が妨害を受けると、シンボル判別の基準推定に影響し、隣接するキャリアの復調にも支障が出る。この影響を含めて考えると、SP でないキャリアが同等の妨害を受けた場合に比べ、影響が大きい。

以上のように、Mode 3 を使った上、変調度 100% で干渉が最も大きくなる状態での実験を行うなら、音声変調信号には 3 kHz を用いる必要がある。ただし、アナログ信号とデジタル信号の周波数関係が一致しない場合には、結果が異なることが予想される。この点に関する検討は、今後の課題としたい。

5. む す び

アナログテレビジョン信号からデジタル方式への同一チャネル干渉について実験を行い、アナログ音声信号の変調内容に影響されることを示した。

アナログ信号を映像信号と音声信号に分けてその影響を調べた。誤り訂正前のビットエラーのうち音声信号に起因するものの割合が 3/4 に上ることがあり、音声信号の影響が映像信号に比べて大きいことを確認した。したがって、混信保護比としての D/U の計算においては、アナログ信号の電力として音声信号の電力を用いることを提案した。従来の映像信号同期尖頭電力を用いる方法に比べ、映像信号と音声信号の電力比が異なる妨害波に対しても、妨害の度合いをより正確に反映する基準となることを示した。

その他、変調度が大きい場合、また、音声変調周波数が特定の値をとる場合に、妨害が大きくなることを示した。

今後は、映像や音声の内容が常に変化する実際のアナログ放送波を使うなど、より現実 に即した実験を行う。また

測定によって得られた知見を，消失化軟判定復号²⁾の手法に
応用することについても検討する予定である．

〔文 献〕

- 1) 電気通信技術審議会答申，“地上デジタルテレビジョン放送方式の技術
的条件” (May 1999)
- 2) 中原，岡野，黒田，佐々木，内海：“地上デジタルテレビジョン信号の干渉
特性”，映情学誌，53，11，pp. 1585-1591 (Nov. 1999)

ながつか まもる

永塚 守 1990 年，東京工業大学工学部電気電子
工学科卒業．1992 年，同大学大学院修士課程修了．同
年，郵政省通信総合研究所入所．現在，地上デジタル
テレビジョン放送に関する研究に従事．正会員．

つづく あいichiro

都竹愛一郎 1979 年，名古屋大学工学部電子工学科
卒業．1981 年，同大学院修士課程修了．同年，郵政
省電波研究所（現通信総合研究所）入所．1990～1991 年，
ドイツ郵電省通信技術研究所客員研究員．現在，通信シ
ステム部放送技術研究室長．工学博士．正会員．