テレビの SN 比と帯域幅に関する一実験

日本電気株式会社 原 宏 徳
小 野 英 男
高 橋 健 一

宇宙テレビ通信系の検討または設計に対する基礎資料を得るために、一般の放送規準と異なった面から映像信号の SN 比と帯域幅の規準を求める実験を行なった。実験は映像信号に各種の条件を与えて画像を写真撮影し、この写真試料を多数の被験者により判定して統計的に集計した。結果として画像中のノイズによる異状が確認できる限界の SN 比 28 dB、必要とする帯域幅 1.4 Mc をえている。

1. ま え が き

宇宙開発の一環として、通信中継衛星によるテレビ中継、観測ロケットによるテレビテレメータ、および観測衛星によるテレビ撮影観測など一連の宇宙テレビ通信がある。

これらのテレビ通信系の設計上必要とされる要素として、通信系の最終段階における映像信号の出力 SN 比および帯域幅があげられる。

放送用の標準方式においては SN 比ならびに帯域幅の規準がある。通信衛星中継の場合はこの標準方式による地上放送機器と共通性をもたせる必要があるので、縦横解像度の大幅な変更や同期方式の変更などの操作は好ま

しくない。しかし、一般の宇宙通信における特殊条件は伝送距離の非常に長い無線伝送であるため、地上の規準を若干ゆるめて SN 比を下げ、帯域幅を狭くして伝送しなければならない場合も起こってくる。

また、用途が観測用になると、地上放送機器との共通性は必ずしも必要としないので、その要求に応じて毎秒像数、走査線数、縦横比、および同期方式をきめ、必要最小限度の帯域幅と SN 比で超遠距離の通信を可能にすることを特別に考えなければならない。

筆者らのとった方法と目的は、まず標準方式を対象として実験を行なうことによって、超遠距離通信を可能ならしめるための宇宙テレビ伝送系の検討または設計に対する基礎資料をえることを目的としている。

まず、画像中にノイズによる異状が確認できる限界の SN 比を求めるための実験を行なう。この SN 比限界の判定については、個人差を考慮して多数の被験者によって行ない、統計的平均値として SN 比の値を決定する。

つぎに、画像中の全情報を確認できる映像信号帯域幅を求める実験を行なう。この実験は情報として画像中の部分的なパターンからえられるいくつかの確認項目を、それぞれひとつの情報として取扱う方法をとっている。

この情報と帯域幅の関係において、個々の情報を全部確認できる限界の帯域幅を決定しようとするものである。

2. 実 験 概 要

SN 比および帯域幅を条件とする画質の判定評価のための実験は、それぞれの二つの部分に分けて行ない、筆者らの周囲の人々に一般評価の被験者として協力願った。

筆者紹介

はら ひろゆき
原 宏徳 昭和35年、金沢大学工学部電気工学科卒業。日本電気株式会社に入社、ロケットテレメータ受信装置、テレビ伝送方式の調査研究に従事、日本電気通信技術研究所無線研究室に所属。

おの ひでお
小野英男 昭和31年、電気通信大学電気通信学部卒業。昭和33年、日本電気株式会社に入社、宇宙通信関係の調査研究に従事、日本電気通信技術研究所無線研究室に所属。

たかはしけんいち
高橋健一 昭和25年、旧制東京物理学校物理学科卒業。日本電気株式会社入社、航空機またはロケット用無線テレメータ、テレコントロール、写真伝送方式の研究に従事し、現在、宇宙通信方式の調査研究を担当。日本電気通信技術研究所無線研究室研究主任。

"An Experiment on Signal to Noise Ratio and Bandwidth of Television" by Hironori Hara, Hideo Ono and Kenichi Takahashi (Nippon Electric Co. Ltd, Kawasaki)

SN 比に関する実験では、映像信号にこれと同一帯域幅に制限したランダムノイズを加えて画像表示したときこの画像中にノイズによる異状が確認できる限界の SN 比を判定するという方法をとった¹⁾。

映像信号には 6 種の試験信号を使用し、画像として、点、線、中間輝度面、ステップ状輝度変化などの特殊画像がふくまれている。一般のテレビ映像信号は、これら特殊波形が任意に混合された形で構成されているものである。

試験信号を用いる意味は、これら各種の波形に対するそれぞれの SN 比限界を統計的に統合整理することにより、一般テレビ画像の映像信号に対する SN 比限界との近似が考えられること、観測用として図面の映像信号のような 2 値信号に関する資料がえられること、および一般の画像ではその映像信号の SN 比を定量的に設定することが、特に高い SN 比について困難であるということにある。

SN 比限界の判定については、表示した画像を写真撮影したのち、多数の被験者がこの写真によって判定を下すようにした。すなわち、一系列の画像写真のうち、SN 比最大の写真を参照してその系列の SN 比の大きい方から順に目視し、ノイズによる異状が現われたことを確認した写真を指摘してもらい、これをその系列の SN 比限界とした。写真による判定は、写真の焼付けおよびシャッタ速度による誤差が導入される危険性を除けば、比較判定が手軽にできる点と、判定者が変わっても同一条件を容易に与える点で有利である²⁾。

このうち、シャッタ速度については、それによる直接観測との誤差を少なくするために、あらかじめノイズの画像とシャッタ速度との関係について判定を行ない、多数意見により 1/4 sec のシャッタ速度で撮影した写真が直接観測に最も近いという結果をえた。

ここで用いる SN 比は、一般に用いられている定義により、信号としては映像信号の黒レベルから白レベルまでの電圧で定義し、ノイズとしては実効値電圧を用いた。

帯域幅に関する実験では、映像信号の帯域幅を単純制限し、これを表示したとき画像中の情報が確認できる帯域幅の限界を求める方法をとった。

画像中の情報としては、画像中の部分的なパターンから確認すべき項目をきめ、どの項目も重要度は同じとして単に各項目をおのおの情報数 1 として取扱った。帯域幅と確認できる情報数との関係を求めることにより、画像中の全情報が確認できる帯域幅の限界が求められる。

情報の確認は SN 比の実験と同様に画像を写真撮影しこの写真により被験者が判定するようにした。映像信号

は ITV カメラで 2 種類の情景を撮影したものを使った。情報数は一方が 6 個、他の画像では 10 個で、これの確認にあたっては、判定者が前もって確認項目がどのようなものかを知っておく必要があることから、確認項目を知っている少数の被験者により大部分判定し、一部前もって知る必要のない項目についてだけ一般の被験者により判定した。

3. SN 比に関する実験

3.1 実験方法

実験装置の系統を図 1 に示す。映像信号の電圧値はシンクロスコープで測定して一定値 0.5V に設定した。SN 比をきめるには試験信号発生器の出力をシャ断してノイズ発生器を単独動作したとき、真空管電圧計によってノイズ電圧実効値を測り、ノイズ発生器の出力を調整して SN 比の設定値にあわせた。帯域幅の設定は誘導 M 形の可変低域濾波器で行なった。

本実験で設定する独立変数 (SN 比、試験信号、および帯域幅) の値をつぎに示す。

- (1) SN 比: 8 dB, 13 dB, 18 dB, 23 dB, 28 dB, 33 dB, 38 dB, 43 dB, 48 dB, 58 dB
- (2) 試験信号: マルチバースト信号, ドット信号, 格子信号 (白ベース黒線), 格子信号 (黒ベース白線), グレー信号, ウインドウ信号
- (3) 帯域幅: 5 Mc, 3.6 Mc, 2.6 Mc, 1.9 Mc, 1.37 Mc, 0.97 Mc, 0.68 Mc, 0.48 Mc

独立変数の組合わせは 480 となる。480 の各画像を 1 枚ずつ写真撮影し、手札形の印面を作った。手札形としたのは 14 インチのブラウン管を約 1 m 離れた位置から見たときの大きさと、手札形の印面を約 25 cm 離して見たときの大きさとが近いという理由による。これを同一試験信号、同一帯域幅ごとに集め、SN 比 58 dB から 8 dB まで 10 段階の写真を 1 系列とし、SN 比の大きい方から順に 1 から 10 までの写真番号を付けて台紙にはった。

写真 1 にグレー信号のひとつの系列 (帯域幅 5 Mc) の一部を示す。このような系列が各試験信号ごとに帯域幅の数だけ 8 通りあり、試験信号の数は 6 通り、計 48 通りの試料となる。

図 1 SN 比に関する実験系統図

上から SN 比 58 dB, 48 dB, 38 dB

上から SN 比 28 dB, 18 dB, 8 dB

写真 1 SN 比の実験試料例

この試料を10才単位にわけた各種年齢層より2人ずつ選んだ10人の被験者に示し、画像中のノイズを確認できると判断した写真を指示してもらった。被験者の構成をつぎに示す。

15～25才男子	2名
15～25才女子	2名
25～35才男子	2名
35～45才男子	2名
45～55才男子	2名
計	10名

判定の仕方をつぎに示す。48系列の試料に対し乱数表により1から48番までの系列番号を付し、箱に入れる。判定をするときは任意の1系列ずつ取り出して判定し、その結果を判定記入用紙に記入する。この用紙は縦列に系列番号を横列に写真番号を、あらかじめ記入してあって、各系列番号について判定した写真の写真番号欄に○印を入れる仕組みになっている。なお、写真観測条件は並列40Wけい光灯の直下約2mの机上である。

3.2 実験結果と検討

ノイズが確認できると判定した SN 比、すなわち SN

比限界の分布を試験信号ごとにまとめたものを図2に示す。この分布の状態によれば、たとえば、グレー信号と格子信号のようにSN比限界の判定に、かなりのちがいがみとめられる。一般のテレビ映像信号は、これら試験信号の混合した形に近いものである。試験信号を混合した形に対する実験結果の近似として、全試料系列を総合したときの結果を用いることができる。図3に総合の分布を示す。

統計的な取扱いを容易にするために、これら図2、図3の分布は正規分布であると仮定すれば、簡単に平均値ならびに誤差限界を求めることができる。

図2ならびに図3の分布について、平均値と誤差限界を求めた結果を図4に示す。図4において $\bar{x}$ は変量平均値、 σ は標準偏差をあらわす。この結果から一般のテレビ画像に対するSN比限界(許容限界)の近似値として、総合分布におけるSN比限界の平均値28 dBがえられた。

また、特殊な画像については、図4の各試験信号に対するSN比限界の値の中から知ることができる。たとえば、図面のような2値輝度の画像の伝送においては、格子信号に対するSN比限界24.5 dBが適用できる。

独立変数として用いた帯域幅は、一般テレビの映像信号が、広帯域にわたり多数の周波数成分をふくんでいるために、各試験信号の判定結果を総合して一般テレビの映像信号の場合に適用するとき、よりいっそう近似度を高める目的で与えたものである。

図5は帯域幅ごとにまとめたSN比限界の統計的平均値と誤差限界を示したもので、5 Mc の場合をのぞき、帯域幅が狭くなるほどSN比限界値が高くあらわれている。この原因は、帯域幅を狭くするとその画像の輝度がステップ状に変化する点がゆるやかな変化をするために新たに中間輝度部分が生じてきてノイズが確認されやすくなるためと推察できる。このことは、図4の試験信号ごとにまとめた場合で、グレー信号、マルチバースト信号など中間輝度部分が多いか、または帯域幅を狭くすることにより中間輝度部分が多くあらわれる信号のSN比限界が高いことから裏付けられる。

したがって、図4および図5から中間輝度部分の多い信号は、中間輝度部分の少ない信号にくらべて高いSN比限界を有することが結論される。

ここでえられた一般波形に対する近似値28 dBについて検討する。さきのNHKの木下氏他¹⁾の結果¹⁾に対し、筆者らのとった評価の基準、すなわち“ノイズによる異状が確認できる限界値”なる基準は“ノイズが見えず”および“ノイズが苦になる”という値の間にあるものと考えられる。

さらに、本実験においては観測用途に対しての資料を

図2 試験信号ごとのSN比限界分布

図3 SN比限界の総合分布

図4 映像信号とSN比限界の関係

図5 映像信号帯域幅とSN比限界の関係

(a) 画像 A, 帯域幅 5 Mc

(b) 画像 B, 帯域幅 5 Mc

写真 2 実験に用いた画像

えるために、6 種の試験信号のうち 4 種まで 2 値信号を用いている。これら 2 値信号の中間調は帯域幅制限において現われるものに頼ったので、さきの NHK の結果より若干低い値をえたものと考えられる。このことは中間調が比較的多いグレー信号において 33 dB の値をとることからも裏付けられる。

4. 帯域幅に関する実験

4.1 情報の設定

画面の微小単位、たとえば、走査線および画面を縦に区切る仮定上の線（横解像度に比例）によってかこまれるモザイク状の方形のひとつが情報の単位であると仮定すると、帯域幅と情報数が比例する。このような仮定が必要な場合は、画面上の 2 点の関係位置を正確に知ることが最重要である画像か、または相接する 2 点の分離が最重要である画像にかぎられる。

これに対し、画像中の情報として物体の形状や動きを示すパターンを確認することで十分な場合がある。たとえば、人の顔が画面に写っているとき、それが他の物体ではなく、確実に人の顔であることが確認されるためには、必ずしも髪の毛の 1 本 1 本が分離して見えるほどの分解能は必要としない。この場合には、画像中のパターンが人の顔であるということが確認できれば、一つの情報がえられたことになる。このような情報の取扱い方はパターン認識の分野に入ることであるが、理論と実験的なものとの対応がまだ困難な現状である。

本実験では、一つのパターンから得られる部分的に確認できる項目を選定し、帯域幅と確認できる項目との関係を検討した。したがって、各項目はそれぞれ一つの情報をあらわし、各項目には特に重要度の差はないものとしている。

4.2 実験方法

この実験では、独立変数を映像信号の帯域幅および画像の種類とし、帯域幅は 5 Mc, 3.6 Mc, 2.6 Mc, 1.9 Mc, 1.37 Mc, 0.97 Mc, 0.68 Mc, 0.48 Mc, 0.34 Mc, 0.24 Mc の 10 段階の値をとり、画像はごく一般的な人物をふくむ画像として写真 2 に示すような 2 種類の画像（画像 A, 画像 B）を使った。

これらの画像にふくまれる情報項目をつぎのように選定する。

(1) 画像 A にふくまれる情報

- (a) 存在の確認: (イ)カメラ, (ロ)三脚調整棒, (ハ)人間の顔
- (b) 物体の細部の判別: (イ)カメラの種類, (ロ)手の指, (ハ)横顔の判別, (ニ)髪形, (ホ)性別
- (c) 主観的情報: (イ)誰か, (ロ)何をしているか

(2) 画像 B にふくまれる情報

- (a) 存在の確認: (イ)2 人の人物の半身像
- (b) 物体の細部の判別: (イ)着衣の形, (ロ)髪形 (ハ)表情, (ニ)性別
- (c) 主観的情報: (イ)誰か

実験の系統を図 6 に示す。帯域幅の制限は可変低域濾波器で行ない、前提の帯域幅に従ってそれぞれ画像を写真撮影して、これを手札形の印画に焼付けたのち、画像ごとに帯域幅の狭い方から、順に台紙にはって試料とした。この試料の判定にあたっては、試料を帯域幅の狭い方から順に見て行き、確認された情報の記号を判定記入用紙に書くという方法をとった。この判定には情報の種

図 6 帯域幅に関する実験系統図

上から帯域幅 3.6 Mc, 1.37 Mc, 0.24 Mc

写真 3 画像 A の試料の一部

類をあらかじめ被験者に知らせる必要があることから、主観的情報を除いては筆者ら自身の判定によった。主観的情報だけは、別の 2 名の被験者に試料を示して判定した。写真 3 に画像 A の試料の一部を、また写真 4 に画像 B の試料の一部を示す。

4.3 実験結果と検討

実験の結果を図 7 に示す。これによれば画像 B では帯域幅 0.97 Mc、画像 A では 1.37 Mc で全情報を確認できた。この二つの画像に関するかぎり、また情報のえらび方として本実験のように、画像中の部分的パターンよ

上から帯域幅 3.6 Mc, 1.37 Mc, 0.24 Mc

写真 4 画像 B の資料の一部

りえられる確認項目を一つの情報とするかぎりでは、約 1.4 Mc の帯域幅で充分画像の情報を確認できることがわかった。

ここで行なった実験では、帯域幅の単純制限にとどまっているため、画像としては横の解像度だけが変わり、縦の解像度はまったく変わらない。これはパターンの確認をする場合、帯域幅が狭くなるほど横の解像度だけが低下して、見かけ上画像が横に広がるので、解像度が縦横同時に低下するときよりも著しく不利になる。この点に注目して縦横解像度を平均して下げる方法をとれば、

図 7 映像帯域幅と確認する情報数の関係

帯域幅の限界を下げうる可能性があると考えられる。

5. む す び

実験ならびに検討結果をまとめてつぎに示す。

(1) 映像信号 SN 比について

一般のテレビ映像信号を近似的に 6 種類の試験信号の混合と考えたとき、ノイズを確認する限界の SN 比は統計的平均値で 28 dB である。

さらに図面の画像のような特定の映像信号については一般のテレビ映像信号に対する場合は異なった SN 比を考慮しなければならない。一般的傾向として、中間輝度部分の多い信号の SN 比限界は、中間輝度部分の少ない信号の SN 比限界よりも高い。

(2) 映像信号帯域幅について

画像中の情報として、画像中の部分的なパターンから確認すべき項目をおおのの情報数 1 として取扱ったときこれらの情報をすべて確認できる帯域幅は約 1.4 Mc である。

以上の結果より、特別の目的を有する宇宙テレビ通信

回線を設計するにあたって、定数をきめる一種の目安がえられたものと考えられる。

今後さらに検討を要することは、情報の確認が完全にできる帯域幅の限界値に関し、各情報の大きさ、形、配合などの異なる数多くの情景画像について、帯域幅をこまかく変えて実験検討を行なうことが必要である。

また、横解像度を変えるだけでなく、同時に縦解像度を変えることにより、帯域幅限界をさらに下げうる可能性について検討することが重要である。

もうひとつは、動画像についての検討が SN 比および帯域幅の両面にわたって必要と考えられる。特にパターン認識の面から見て、動いているパターンからえられる情報の量と、静止しているパターンからえられる情報の量との間のちがいなど、興味ある問題が残されている。

本実験は、科学技術庁から研究委託「通信中継衛星の計装化に関する研究」を受けて行なったものの一部である。

この機会を作っていただいた科学技術庁の担当官各位および実験に関しご指導、ご協力いただいた日本電気通信技術研究所 原島所長、鈴木所長代理、同所無線研究室 鶴室長、山下室長代理および室員の方々、無線工場装置開発課 内野課長、また、ITV についてお世話いただいた新日本電気 山本氏に深謝する。

(昭和 39 年 12 月 17 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 木下、丸毛、平山、斑目：テレビジョンカメラの信号対雑音比と雑音の可視限界、昭和 29 年連大
- 2) 極渡、渡部、長田：テレビ受信画像の主観評価と基準写真、テレビ誌、17、4 (1963)
- 3) テレビジョン工学ハンドブック、オーム社
- 4) 無線工学ハンドブック、オーム社

今月の表紙

ソニーイメージオルシコンカメラ IIC-500

放送用機動カメラとして新開発された全トランジスタ式 3 吋イメージオルシコンカメラです。

- ・小型、軽量です。
- ・ズームレンズ専用。フィールドズーマーを直接取り付けられます。
- ・全シリコントランジスタ化により広範囲の温度変化に対して安定に動作します。
- ・調整は簡単で再調整の必要はありません。
- ・レンズマウントの変換により、NHK、PYE、RCA、TV88 等に適合します。
- ・カメラケーブルは最大 300 m まで延長できます。

構 成

- ・カメラヘッド (イメージオルシコンなし)
- ・ビューファインダー
- ・カメラコントロール
- ・カメラ電源
- ・付属ケーブル類 (カメラケーブルは含まず)

—提供 ソニー株式会社—