文字放送における伝送路特性とアイパターン

正会員 南 口 英 昭†

あらまし NTSC 方式の文字放送において、伝送路特性とビットレートが文字誤りに及ぼす影響を把握するため、電子計算機を用いて、アイパターンのシミュレーションを行った。その結果、アイハイトは伝送路の群遅延特性とビットレートに依存し、特に低域群遅延量の偏差と深い関係があることを述べている。

1. ま え が き

文字放送受信機では、伝送路特性が劣化すると、アイハイトが低下し、文字誤りが増加することが知られている。

一般に伝送路において、波形の無ひずみ条件は、すべての周波数において振幅レベルと群遅延量が一定になっていることである。

現実の NTSC 方式では、テレビ信号の伝送帯域が、ベースバンドで最大 4.5 MHz に制限されている。したがって、この範囲でいかにして文字誤りの少ない特性を得るか、また、実際にどの程度の伝送路特性の偏差を考慮しなければならないかが重要な問題である。

この点について、NTSC 方式の文字放送における伝送系の群遅延特性と、振幅周波数特性、および文字信号のビットレートがアイパターンとどのような関係にあるかを定量的に把握するため、電子計算機を用いて、アイパターンのシミュレーションを行ったので報告する。

2. 受信機のデジタル信号識別回路

文字放送受信機の回路構成を図 1 に示す。そして、文字信号の 1H 区間のパケット構成を図 2 に示す。図 1 においてデコーダー部のスライサーは、デジタル信号の振幅軸方向を識別する回路である。

サンプリングクロック再生は、文字信号の最初に送られるクロックランイン信号 (1010~信号) を基準としてサンプリングクロックを再生する回路である。こ

の再生されたクロックは、クロックランイン信号に続いて伝送されるフレーミングコードと NRZ データ信号の時間軸方向の識別を行う。

3. 符号誤りの発生要因

伝送路の符号誤りの発生要因を図 3 に示す。符号誤りの大きな要因としては、振幅周波数特性、群遅延特性、および識別点変動が考えられる。したがって、これらの要因とアイハイト関係について検討を行った。

4. シミュレーションの概要

シミュレーションの概要を図 4 に示す。入力波 $g(t)$ は孤立パルスで、これをフーリエ変換し、伝送

図 1 文字放送受信機の回路構成図
Block diagram of Teletext receiver.

図 2 パケット構成
Packet structure of Teletext.

† 三洋電機株式会社無線事業本部
“Relationship between Transmission Characteristics and Eye-pattern in Teletext System” by Hideaki Nanko (Sanyo Electric Co., Ltd, Osaka)

図 3 符号誤りの発生要因
Bit error factors.

図 4 シミュレーションの概略
Block diagram of simulator model.

路特性を掛合せ、さらに逆フーリエ変換して、出力応答波形 $S(t)$ を求める。ここでは受信機のサンプリングクロック再生回路を含めた場合でのアイハイトを評価するため、伝送路を通じた後のクロックランイン信号を基準としてサンプリングする方法でシミュレーションを行った。また、伝送路はノイズの影響がなく、非直線ひずみのない理想的なものと仮定した。

アイパターンの算出方法としては、M. G. Croll¹⁾²⁾、吉野³⁾らの方法を用いて孤立パルスの出力応答波形から求めた。(付録参照)

実際のシミュレーションは、電子計算機に、0~4.5 MHz の周波数(12 点)での振幅レベルと群遅延量を入力する。そして、プロッターで出力応答波形図とアイパターンを自動的に作図させた。

5. ビットレート 5.7 Mb/s のアイパターン

伝送路の振幅周波数特性および群遅延特性の偏差を考慮して、ビットレート 5.7 Mb/s の場合のアイパターンを検討した。

5.1 伝送路のモデル

図 5 振幅周波数特性
Amplitude frequency response characteristics.

図 6 群遅延特性
Group delay characteristics.

伝送路の振幅周波数特性の代表例として、図 5 のような特性モデルを考えた。

①は一般的なカラーテレビ受信機特性(コサインロールオフ率 0.7 の近似曲線)である。

②と③は設計上の偏差を考慮して、①の特性を基準に 2 MHz 点で ± 2 dB となる特性とした場合である。

④は特別な例として、4 MHz まで平坦特性とした場合である。

伝送路の群遅延特性は、現在市販されているテレビ受信機の伝送路特性を実測した結果から図 6 のような特性のモデルとした。低域群遅延特性は 2 MHz 点からの低域方向に直線的に変化し、その 0 MHz 点での低域群遅延量を DL とする。高域群遅延特性は 3 MHz から高域方向に直線的に変化し、その 4 MHz 点での高域群遅延量を DH とする。

5.2 シミュレーションの結果

伝送路の高域群遅延量が 0 ns で低域群遅延量が、0 ns, 200 ns の条件で振幅周波数特性を変化させた場合の出力応答波形とアイパターンを図 7 と図 8 に示す。

次に振幅周波数特性が①の特性で、低域群遅延量と高域群遅延量をそれぞれ変化させた場合の出力応答波形とアイパターンを図 9 と、図 10 に示す。

これらのアイパターンデータから次のような傾向があることがわかった。

図7 $DL=0$ nsの場合の出力応答波形とアイパターン
Output pulse waveforms and eye-pattern at $DL=0$ ns.

図8 $DL=200$ nsの場合の出力応答波形とアイパターン
Output pulse waveforms and eye-pattern at $DL=200$ ns.

(1) 低域群遅延量の絶対値が大きくなると、遅延による符号間干渉が増加して、アイパターン形状は小さくなる。

(2) 低域群遅延量の絶対値が大きくなると、最大アイハイト点がクロックランイン信号を基準としたサンプリング点 (T_0) よりずれてゆく。

図9 $DL=0\sim-300$ nsの場合の出力応答波形とアイパターン
Output pulse waveforms and eye-pattern at $DL=0\sim-300$ ns.

図10 $DH=0\sim300$ nsの場合の出力応答波形とアイパターン
Output pulse waveforms and eye-pattern at $DH=0\sim300$ ns.

(3) アイパターンの形状はスライスレベル (0.5) を軸として、伝送路に非直線ひずみがない場合には上下対称形となる。そして低域群遅延値の正負は、 T_0 点を軸として左右対称形となる。

(4) 高域群遅延量によるアイパターンへの影響は 2.86 MHz 以上の信号エネルギー成分が少ないためほとんどない。

5.3 考察

従来のアイハイトは、伝送路の群遅延特性が平坦で、かつ識別点の偏差がない理想な場合について主に論じられてきたが、今回は上記のアイパターンデータから実際の伝送路に即応したアイハイトについて考察した。

まず、サンプリング点をパラメータとしたアイハイトと低域群遅延量 (DL) の関係を求めると図11のようになる。

ただし、振幅周波数特性は図5に示す④の一般的なカラーテレビ受信機特性 (コサインロールオフ率 0.7 の近似曲線) とし、特性①はサンプリング点の位相ずれを考慮に入れない時の最大アイハイト、特性②はクロックランイン信号を基準としたサンプリング点 (T_0) でのアイハイト、特性③はサンプリング点 (T_0)

の偏差を $\pm 0.1T$ とした時のアイハイトを表している。

図11から、伝送路の低域群遅延量が少ない場合はサンプリング点①②③のアイハイトの差が少ないが、低域群遅延量が大き

図11 サンプリング点をパラメータとしたアイハイトと低域群遅延量 (DL) の関係
Relationship between eye-height and DL by parameter of sampling point.

図 12 振幅周波数特性をパラメータとしたアイハイトと低域群遅延量 (DL) の関係
Relationship between eye-height and DL by parameter of amplitude frequency response characteristics.

い場合には、このアイハイトの差が大きくなることがわかる。

この主な原因は、クロックランイン信号がビットレートの $1/2$ の周波数 2.68 MHz ($1010 \sim$ のくりかえしパルス) であるから、伝送路の 2 MHz 以下の低域遅延によってサンプリングの位相は影響されず、一方、低域成分を含む NRZ データ信号の位相がずれるので、最大アイハイト点と実際のサンプリング点とは相対的なずれが発生するためと考えられる。

振幅周波数特性 (①～④) とアイハイトの関係を図 12 に示す。なお、サンプリング点は、サンプリングクロック再生回路で発生するクロックジッターや、位相調整の誤差を考慮して $\pm 0.1T$ ずれた時とする。

一般的にデジタル伝送路の振幅周波数特性は、コサインロールオフの特性 (①) が、最良であることが知られている。しかし、群遅延が平坦ではなく、サンプリング点の偏差がある実際の伝送路において、 $DL < 100 \text{ ns}$ の場合は、コサインロールオフ特性 (①) より中高域の強調されている特性 (②) の方が良い。そして $DL > 100 \text{ ns}$ の場合は、①②④の特性によるアイハイトの差がほとんどない。すなわち、振幅周波数特性が③のような減衰特性とならないかぎり、アイハイトは振幅周波数特性よりも低域群遅延特性に大きく依存することがわかる。

以上の結果から、ビットレート 5.7 Mb/s でアイハイト 50% 以上を必要とする場合、伝送路の低域群遅延量 (DL) は、 $\pm 100 \text{ ns}$ 以内の偏差にしなければならないと考える。

6. ビットレートとアイパターン

ビットレート (f_b) を高くすれば、情報量が多くなる利点があるが、逆に伝送路のひずみを受けて、ビット

エラーが発生しやすくなる欠点がある。前章の考察からアイハイトは主に低域群遅延特性に依存することがわかったので、次に実用上最適なビットレートとの関係について、シミュレーションを行った。

伝送路モデルの振幅周波数特性は、図 5 の一般的なカラーテレビ受信機特性 (②) に固定し、群遅延特性は図 6 の低域群遅延量を $0 \sim 300 \text{ ns}$ 変化させる。ビットレートは $1 \sim 7 \text{ Mb/s}$ の範囲とする。

6.1 シミュレーションの結果

低域群遅延量 (DL) が、 0 ns 、 200 ns の条件で、ビットレートが $3 \sim 6 \text{ Mb/s}$ の場合のアイパターンを図 13 と図 14 に示す。

6.2 実用上最適なビットレートの考察

ビットレート (f_b) と低域群遅延量 (DL) およびアイハイトの関係を求めて図 15 に示す。

このグラフから伝送路の低域群遅延量と実用上最適なビットレートとは深い関係があり、文字放送のビットレートを決めるうえで、最も重要な要因のひとつに低域群遅延量があると考えられる。

図 13 $DL = 0 \text{ ns}$ の場合のビットレートとアイパターン
Relationship between bit-rate and eye-pattern at $DL = 0 \text{ ns}$.

図 14 $DL = 200 \text{ ns}$ の場合のビットレートをアイパターン
Relationship between bit-rate and eye-pattern at $DL = 200 \text{ ns}$.

図 15 低域群遅延量 (DL) をパラメータとしたビットレートとアイハイトの関係
Relationship between bit-rate and eye-height by parameter of DL .

いま、アイハイト 50% 以上を必要とすると、ビットレートが 5.7 Mb/s の場合、伝送路の低域群遅延偏差は ± 100 ns 以下とする必要がある。また逆に伝送路の低域群遅延量 (DL) が ± 300 ns の場合には最適なビットレートは 2~3 Mb/s となり、低域群遅延量が ± 200 ns の場合に最適なビットレートは 3~4 Mb/s

写真 1 $DL=100$ ns の場合の伝送路特性
Transmission characteristic at $DL=100$ ns.

写真 2 アイパターンとサンプリングクロック
Eye-pattern and sampling clock.

となる。特に注目しなければならないことは、ビットレートを 4 Mb/s より高くすると急激にアイハイトが低下し、逆にビットレートを 4 Mb/s より低くしても、アイハイトの改善効果が少ないことがわかる。

7. 実験結果

実際の文字放送用の受信機と送信機を使用し、5.7 Mb/s の NRZ ランダムパルス信号を伝送して、アイパターンを検討した。

写真 1 は DL が 100 ns の場合の伝送路の総合特性である。写真 2 は DL が 0 ns と 100 ns の場合のアイパターンとサンプリングクロックである。

この写真 2 の結果から、受信機のサンプリングクロック再生回路では、低域群遅延量が大きくなると、最大アイハイトとなるサンプリング点と実際のサンプリング点間にずれが発生し、実際にはアイハイトの小さい所で動作していることが実験で確かめられた。

次に写真 1 の振幅周波数特性を一定として、低域群遅延量 (DL) を変化させて、アイハイトを実測した。実測結果を図 16 に示す。実線が計算値で、点線が実測値である。

図 16 から伝送路の低域群遅延量が大きい場合には、実測値と計算値がほぼ一致している。しかし、低域群遅延量が小さい場合には実測値と計算値の差が発生している。この原因は、受信機の映像検波回路に擬同期検波方式を使用しているために、非直線ひずみの影響を受けているものと考えられる。

8. ま と め

アイパターンのシミュレーションと、文字放送受信機の実験検討の結果から、次のことがわかった。

- (1) アイハイトはクロックランイン信号を基準と

図 16 アイハイトと低域群遅延量 (DL) の関係
Relationship between eye-height and DL .

したサンプリング点で評価する必要がある。

(2) アイハイトは一般的に考えられる伝送路特性の偏差内では振幅周波数特性よりも、低域群遅延特性に依存する。

(3) 文字放送のビットレート (f_b) を決める上で、低域群遅延量 (DL) の偏差は重要な要因である。たとえばビットレート 5.7 Mb/s の場合、伝送路の低域群遅延量は ± 100 ns 以内の偏差にする必要があると考えられる。

(4) 実際の伝送路の場合、低域群遅延量の偏差は、放送局送信機、中継局、送信機測定用の映像復調器、受信機の総合特性⁷⁾で考慮する必要がある。

9. む す び

文字放送において、送受信機総合の群遅延特性は文字受信品質に大きく影響し、非常に重要である。この文字受信品質の向上のためには、送信機側、受信機側、それぞれの低域群遅延特性の偏差を、改善する必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり、貴重な御意見、御協力をいただいた当無線事業本部 西村次長、高橋係長、中田係長ならびに関係各位の方々に深く感謝します。

(昭和 56 年 4 月 9 日受付, 昭和 56 年 11 月 16 日再受付)

[参 考 文 献]

- 1) M. G. Croll, D. T. Wright: CEEFAX; Computer based time-domain and frequency-domain analysis of system responses to test pulses, BBC Engineering, Mar. (1978) 59
- 2) S. Goyal, S. Armfield: Reception of Teletext under Multipath Conditions, IEEE Trans., CE-25, 3 (1979) 378
- 3) 吉野武彦: テレビ放送波を使用したデジタル伝送の符号間干渉の検討, テレビ誌, 30, 3 (1976) 198
- 4) 前原昭義: 文字放送における伝送特性と受信品質, テレビ誌, 32, 9 (1978) 744
- 5) 御園生也: 放送波多段中継における VBL 重畳パルス伝送特性, テレビ学技報, IT 35, 1 (1979) 1
- 6) 石田順一: デジタル伝送路の規格, 放送技術, 32, 1 (1979) 62
- 7) 西村ほか: カラーテレビ受信機における群遅延特性, テレビ全大予, 13-5 (1980) 273
- 8) 齊藤ほか: テレビ送信機における文字多重伝送特性, テレビ学技報, TEBS 65, 3 (1980) 13
- 9) 内村ほか: テレビ送受信系におけるパルス伝送特性, テレビ学技報, TEBS 65, 6 (1980) 31
- 10) 西村ほか: 文字多重受信機の群遅延時間特性, テレビ学技報, TEBS 65, 7 (1980) 37
- 11) 小林秀郎: テレビ電波によるデジタル信号の伝送, 放送技術, 33, 9 (1980) 100
- 12) M. G. Croll: CEEFAX; Measurement Techniques, BBC Engineering, Mar. (1978) 73

付図 1 孤立パルス波形とサンプリング点の関係
Relationship between single pulse waveform and sampling point.

<付 録> アイバターンの計算方法

伝送路通過後の孤立パルスを $S(t)$ とする。パルス繰返し周期を T , パルスのサンプリング時刻を $t = t_0 + nT$ とする。そして、入力パルス列を $a(n)$ とするとパルスの出力レベル $S(t_0)$ は,

$$S(t_0) = a_{(0)} S_0(t_0) + \sum_{n=1}^{\infty} [a_{(n)} S_0(t_0 - nT) + a_{(-n)} S_0(t_0 + nT)] \quad (1)$$

となる。付図 1 に孤立パルス波形とサンプリング点の関係を示す。

いま、入力パルス $a_{(n)}$ が “0” を伝送しようとしている時の、(1)式の最大値 $S_{\max}^0(t_0)$ は、 $n=0$ を除く S_0 の各サンプリング点の正の部分のみの和となる。

$$S_{\max}^0(t_0) = \sum_{n=1}^{\infty} [S_0^+(t_0 - nT) + S_0^+(t_0 + nT)] \quad (2)$$

また “1” を伝送しようとしている時の、(1)式の最小値 $S_{\min}^1(t_0)$ は $n=0$ のパルスレベルから負の部分のみの和の絶対値を差引いたものである。

$$S_{\min}^1(t_0) = S_0(t_0) - \sum_{n=1}^{\infty} [|S_0^-(t_0 - nT) + S_0^-(t_0 + nT)|] \quad (3)$$

したがって、パルス繰返し周期 T の中でサンプリング点をずらしながら、(2)と(3)式を計算し、その $S_{\max}^0(t_0)$ と $S_{\min}^1(t_0)$ の値をプロットして行くとアイバターンが得られる。

従来のアイハイトのシミュレーションでは、 $S_{\min}^1(t_0)$ と $S_{\max}^0(t_0)$ の差が最大となる値 (最大アイハイト) で評価していた。このシミュレーションではクロックランインパルスを基準としたサンプリング点でのアイハイトを評価するため、伝送路通過後のクロックランインパルスと入力のクロックランインパルスの時間遅れ (ΔT) を計算し、 ΔT 補正したサンプリング点でのアイハイトの値を求めたことが特長である。

Relationship between Transmission Characteristics and Eye-pattern in Teletext System

by Hideaki Nanko

This report studies the relationship between the transmission characteristics and the eye-pattern in NTSC system of Teletext. The computer analysis is adopted to this study by using the method of the eye-pattern simulation. In this report, the eye-height is evaluated by the value of the sampling clock point linked with the clock-run-in signal.

The results indicate that the eye-height is more dependent on the group delay characteristics than on the amplitude characteristics, and the optimum bit-rate is effected by the group delay characteristics of the lower side of the pass-band, for example, in case of 5.7 Mb/s bit-rate, the tolerance of the group delay characteristics of lower side needs to be set within ± 100 ns.

In conclusion, an improvement of the group delay characteristics both on the transmitter and the receiver is one of the key factors for better quality of Teletext System.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 36, No. 5 (1982) 435~440

Video Display Using a DTN-Liquid Crystal Display Device

by Tatsuo Uchida

A liquid crystal display device using depolarization in a twisted nematic layer (DTN-LCD) has advantages in wide viewing angle and sharp threshold, so that it is suitable for a large scale matrix display. Therefore, the design conditions of this DTN-LCD for applying to video display were investigated, and according to the conditions, a matrix LCD-panel with 120×160 picture elements was made as a trial. When the LCD-panel was driven by an amplitude selection method of 1/60 duty ratio, the contrast ratio was about 1:5.5, the response time was 90~250 ms and the viewing angle was larger than $\pm 40^\circ$.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 36, No. 5 (1982) 441~446