

Hi-Fiデジタル多重伝送システム

Hi-Fi Digital Multiplex Transmission System

中 平 利 一⁽¹⁾

Toshikazu Nakahira

近 沢 幸治郎⁽²⁾

Kojiro Chikazawa

要 約

近年、飛行機、新幹線のグリーン車における、オーディオサービスは欠かせないものの一つとなった。これらのオーディオサービスは、1台の送信装置から複数のチャンネルのオーディオ信号を多重して送信し、受信側の端末で任意のチャンネルのオーディオ信号を選択して聴くことができる。しかし現在のシステムは、近年の「高品質」の要求を十分に満足するものではない。そこで高品質なオーディオサービスを提供する「Hi-Fiデジタル多重伝送システム」の開発を行った。本システムは、ステレオ8チャンネルのオーディオ信号を高品質（帯域：20kHz以上）で多重伝送することができる。そして、集積度が高く、シミュレーション、設計変更が容易に行えるLCA（Logic Cell Array）の使用で小型化を実現した。

本稿では、本システムの性能・動作を中心に、「デジタル多重伝送」の技術が応用できるアプリケーション等について述べる。

In recent years, an audio system for the plane, Shinkansen(green car) has become one of indispensable services.

In this system, the passenger has the convenience of selecting their favorite type of program at each receiver unit through the digital multiplex transmission line.

However, the current system does not meet a demand of high quality sound(like a digital system).

With this in mind, Fujitsu Ten has developed a higher quality 'Hi-Fi Digital Multiplex Transmission System'.

This advanced system enable to transmit 8 programs in the highest quality(Bandwidth:over 20kHz).

And this system realized miniaturization by using LCA(Logic Cell Array) which enable high integration, simulation, ease to changing design.

The following paper describes the operation theory, performance and application of digital multiplex transmission system.

(1), (2) 開発本部技術開発部

1. はじめに

当社は1990年に東北新幹線向けにAVサービスシステムを納入済である。

従来オーディオサービスシステムが目新しかった頃には、移動体で音楽が聴けるということでユーザは「満足感」を得ていた。

しかしオーディオサービスシステムを含む情報サービスの普及してきた現在では、CD、DAT

等の普及により高品質な音楽を聴くのに慣れてしまったユーザにとって、現在設置されているアナログ方式のオーディオサービスシステムでは十分な「満足感」を得ることはできなくなっている。

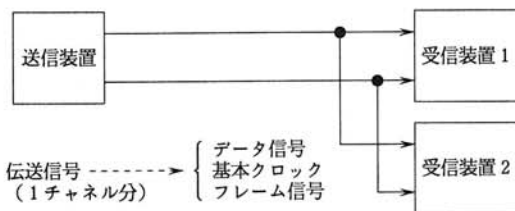
そこで、図-1に示す近年のデータ通信技術の多重伝送、伝送信号の符号化、再生中継に着目し、デジタル信号の高速多重伝送技術を応用して移動体で高品質な音楽を提供する「Hi-Fiデジタル多重伝送装置」の基礎開発に着手した。

本システムの開発にあたった狙い、課題、特徴について表-1に示す。

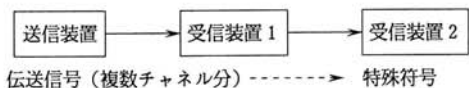
また本システムは移動体に限らず信号帯域、チャンネル数等の異なる他の用途の検討を行う際、十分に役立つものである(図-2参照)。

本システム概念について図-3に示す。

本システムは、ステレオ8チャンネルの音声信号



(a) 特殊技術を用いない2チャンネルデータ伝送



(b) 多重伝送+伝送信号の符号化+再生中継を行った複数チャンネルデータ伝送

多重伝送………時分割あるいは周波数分割により一本の伝送路で複数の情報を同時に伝送すること

伝送信号の符号化…データ信号をクロック成分、フレーム信号を含んだ符号に変換し伝送路向きの信号に符号化すること

再生中継………受信した符号を歪みのない符号に再生して、次の受信装置に伝送する方式

図-1 データ通信の方法

Fig.1 Method of data communication

表-1 デジタル多重伝送装置の開発

狙い	デジタル信号の高速多重伝送技術を用い、移動体において、高品質なオーディオサービスを提供する「Hi-Fiデジタル多重伝送システム」の開発を行う	
課題	従来のアナログ方式との比較	
	品質	従来アナログシステム以上
	形状	従来アナログシステム以下
	コスト	従来アナログシステム以下
特徴	多重信号に容易にマイク信号の割り込みができる	
	多チャンネル、高品質のデータ伝送が可能である	

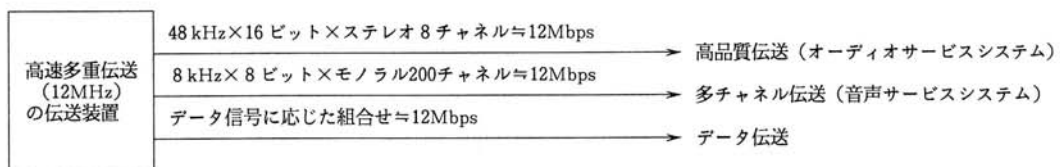


図-2 高速多重伝送の用途

Fig.2 Availability of high speed multiplex communication

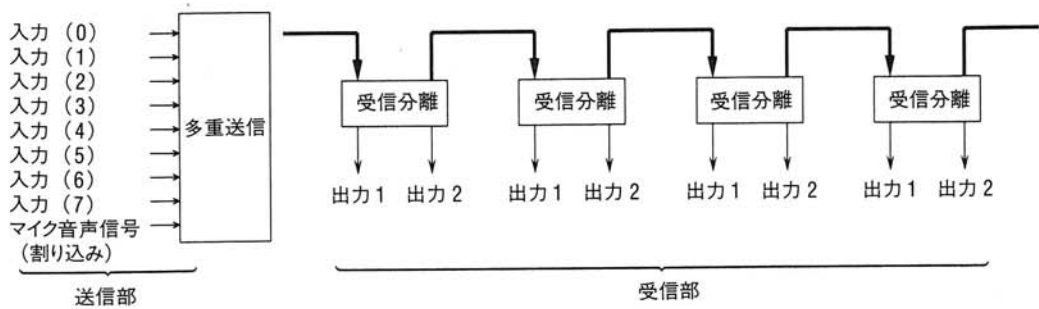


図-3 デジタル多重伝送システム概念図

Fig. 3 Conception of digital multiplex transmission system

と割り込み信号のマイク信号をA/D変換後多重化し、一本の信号線によって伝送するひとつの送信部と、多重化された信号の中から任意の信号を取り出し、アナログ信号への変換を可能とした複数の受信部から成るシステムである。マイク信号の割り込みは、ステレオ音声信号との切り換えにより回路規模が増えないような工夫がされている。

2. 多重伝送の方法

2. 1 送信側回路

送信側の働きを、図-4により説明する。

ステレオ8チャンネルの入力信号は、アンプを介してA/D変換するが、このうちの1チャンネル分はマイク音声信号との兼用としている。すなわち、

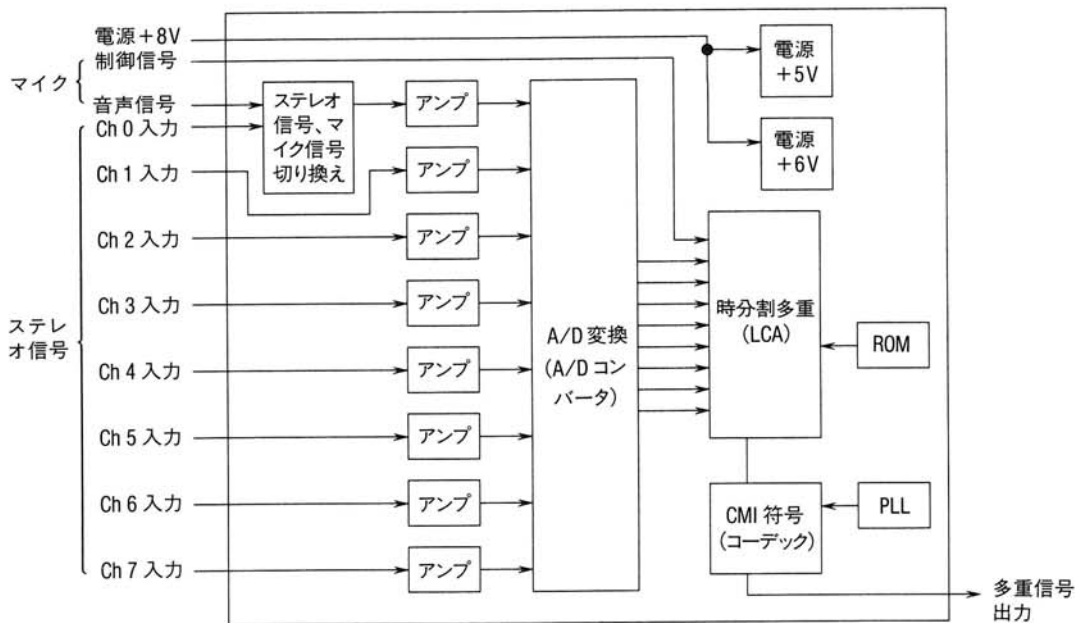


図-4 送信側ブロック図

Fig. 4 Block diagram of transmitter unit

マイク音声信号の入力をマイク制御信号で検出して、アナログスイッチで切り換えを行っている。

A/D変換した信号は、LCA (Logic Cell Array) で時分割多重する。このLCAとは、プログラマブルなゲートアレイで、ROMに書き込んだデータを読んで、各ブロック間のスイッチをON、OFFさせる(3.1.1 LCAの概要参照)。

多重化した信号は、コーデックでCMI (Coded Mark Inversion) 符号化を行いバッファを通して伝送路へ送出する。

電源は外部からのDC+8Vを、アナログ回路用+6Vと、デジタル回路用+5Vとして使った。

2. 2 受信側回路

受信側の働きを、図-5により説明する。

CMI符号化した多重信号は、まず光結合アイソレータで絶縁する。

次にコーデックでCMI復号するが、このコーデックは、入力信号をバッファリングして送出する機能を持っている。ここでバッファリングした出力信号を次の受信側装置への送出信号とする。このようにして受信側装置をカスケードに接続して、通信を行う(再生中継方式)。

一方CMI復号した信号は、①基本クロック、②フレーム信号、③データ信号の3本の信号となり、LCAに入力する。

受信したい信号のチャンネル選択は、受信側装置の前面板のスイッチによって行う。現在どのチャンネルを受信しているかは、前面板の7セグメントLEDで表示する(図-17参照)。

多重信号の分離を行うLCAでは、選択チャンネルの信号を多重信号の中から抜きだす。

しかし多重信号で、マイク制御信号が'ON'になっていることを検出した場合には、選択した

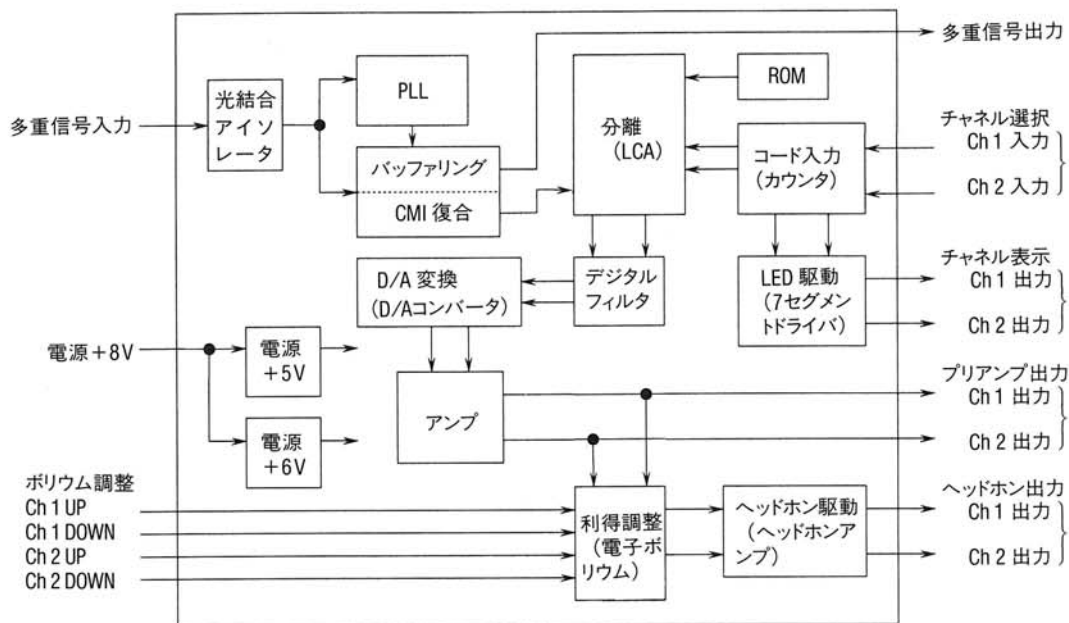


図-5 受信側ブロック図

Fig.5 Block diagram of receiver unit

チャンネル信号を「マイク信号を入力したチャンネル（送信側のチャンネル0）」に強制的に切り換えるようにした。

そして、LCAの出力信号をデジタルフィルタを介してD/A変換を行う。

選択したチャンネル信号の切り換え時には、一定時間のミュートがかかるようにしてある。

D/A変換した信号はアンプを介して、プリアンプ出力として、受信側装置の背面より出力する（図-18参照）。

またこのオーディオ信号は、電子ボリウム、ヘッドホンアンプを介してヘッドホン出力として、受信側装置の側面より出力する。

ヘッドホン使用時の音量調整は、受信側装置前面板のスイッチによって行う（図-17参照）。

電源は外部からのDC+8Vを、アナログ回路用+6Vと、デジタル回路用+5Vとして使った。

2. 3 伝送信号構成

伝送信号は図-6に示すように、A/D変換した16ビットの信号がチャンネル0のLchから、チャンネル1のLch、チャンネル2のLchというようにLch分をまとめて伝送して、その後チャンネル0のRch、チャンネル1のRchというようにRch分をまとめて伝送する。

そして、チャンネル0のLchから、チャンネル7のRchまでを1フレームと称する。

このようにして、16チャンネル分順次伝送する。伝送路での伝送速度は、以下の式で求まる。

$$\begin{aligned}
 &47\text{kHz} \text{ (サンプリング周波数)} \\
 &\times 16\text{ビット} \text{ (分解能)} \\
 &\times 16\text{チャンネル} \text{ (モノラル換算チャンネル数)} \\
 &= 12\text{Mbps} \text{ (伝送速度)}
 \end{aligned}$$

フレームの先頭を示すフレーム信号、マイク音声信号の割り込み入力の有無を示すマイク制御信

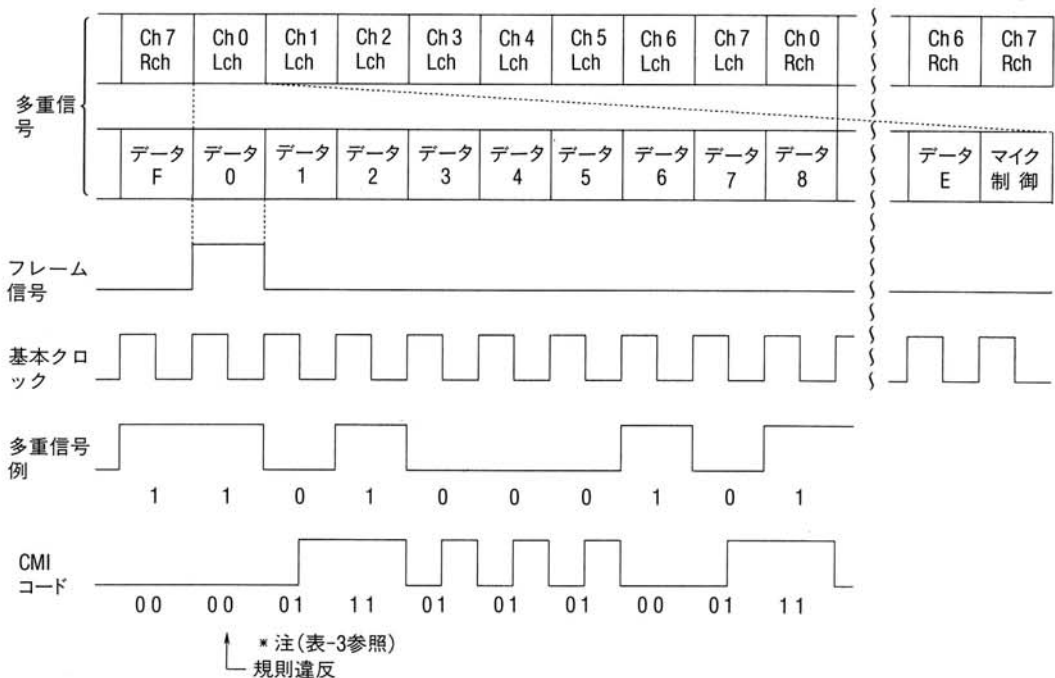


図-6 多重信号の構成

Fig. 6 Timing chart of multiplex signal

表-2 フレーム信号、マイク制御信号伝送方法

伝送信号	伝送方法
フレーム信号	Ch 0、LchのMSBの時間が'1'、それ以外の時間が'0'
マイク制御信号	Ch 0、LchのLSBをマイクONが'1'、マイクOFFが'0'

表-3 CMI符号化方法

NRZ	CMI
0	0 1
1	0 0 と 1.1 を交互

*注
フレーム信号が、
'1'のときは
CMI符号化に
規則違反を起こ
し伝送を行う。

号は表-2に示す方法を用いた。

伝送路上では、本システムでは一本の信号線で伝送を行えるようにCMI符号という特殊な符号に変換して伝送を行う。この符号は一本の信号線に、基本クロック、データ信号、フレーム信号の情報を含んだ符号である。

CMI符号の変換法則は表-3に示す。

2. 4 仕様

表-4にシステムの仕様を示す。

3. システムの実現

3. 1 LCA

3. 1. 1 LCAの概要

LCAとは、ザイリンクス社のプログラマブル・ゲート・アレイで、Logic Cell Arrayの略称である。集積度が高くできシミュレーション、設計変更が容易に行える。

また、ゲートアレイに必要な開発費等の固定費が不要なため、少量生産でもコストがかさまない。LCAは3つの回路機能定義要素より構成される(図-7参照)。

1) IOB (I/O Block)

デバイスの外部パッケージピンと内部ユーザ論理の間のインタフェース

2) スイッチングマトリクス

内部のIOB、CLB間を接続時に使用するプログラム可能なスイッチ

3) CLB (Configurable Logic Block)

プログラム可能な組合せ回路と記憶レジスタより構成

表-4 Hi-Fi デジタル多重伝送システムの主な仕様

項目	分類	仕様
チャンネル	送信チャンネル	ステレオ8+マイク1ch
	受信分離出力チャンネル	2ch (マイク放送の割り込み受信機能付)
	定格出力端子	ライン出力 1Vrms [47k Ω] (1kHz、歪率1%以下)
		ヘッドホン出力 0.5Vrms [16 Ω] (1kHz、歪率1%以下)
使用条件	電源電圧	+8V
	温度範囲	0~70℃
電気的特性 (ライン出力)	ダイナミックレンジ	80dB (1kHz、歪率1%レベルとノイズの差)
	歪率	0.1%以下 (1kHz、入力250mVrms)
	周波数特性	20~20kHz (-3dB)

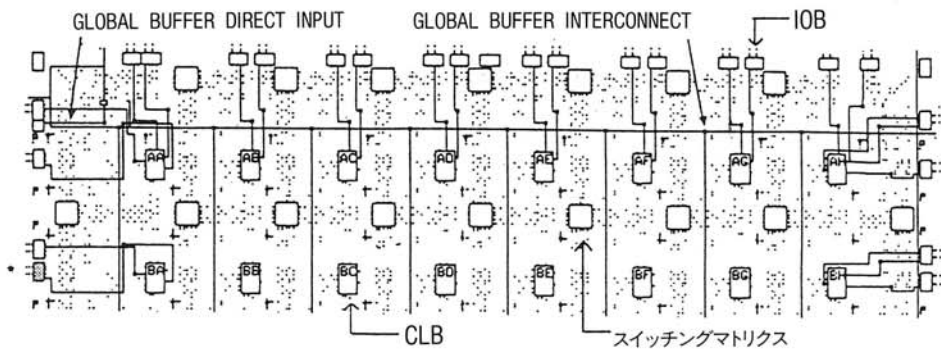


図-7 LCAの構成

Fig.7 Constitution of LCA

3. 1. 2 送信側LCA

送信側LCAは主として時分割多重を行う部分である。

図-8のブロック図で説明を行うと、A/Dコンバータからのデジタル信号をシリアル/パラレル変換して、このデータ（8チャンネル×16ビット）をパラレル/シリアル変換により高速（12Mbps）で送り出す。多重信号はこの動作をLチャンネル、Rチャンネルについて交互に行った信号である。

以上の動作について多重の原理を4ビット、4チャンネルで説明したのが図-9である。ここで示したように、入力信号（デジタル信号）のデータのLSB（最終ビット）のタイミングで読み込みを行い（マイクのON、OFF信号も同時に読み込む）、次にこれを高速な信号で送り出す。そして、フレームを識別するために、フレーム信号を多重信号、基本クロックと同時に、CMI符号器（コーデック）に送り出す。

図-10にシミュレーション結果を示す。

CLK…基本クロック（12MHz）

MIC…マイク制御（ON、OFF）信号

DIN0～DIN7…入力デジタルデータ

L_R…L、R識別信号

BCK…フレーム信号

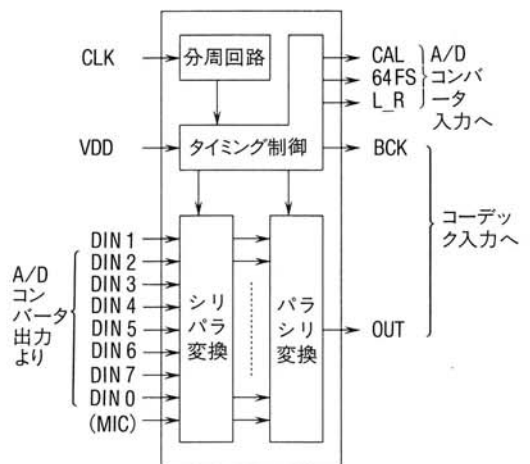


図-8 送信側LCAブロック図

Fig.8 Block diagram of transmission LCA

OUT…多重信号出力

3. 1. 3 受信側LCA

受信側LCAは、多重信号の中から選択された任意のチャンネルの信号を抜き取り出力し、マイク制御信号検出時には、これに割り込みをかけて出力を行う。図-11にブロック図を、図-12に4ビット、4チャンネルの多重信号の分離の原理を、図-13にシミュレーション結果を示す。

CLK…基本クロック（12MHz）

DIN…多重信号入力

BCK…フレーム信号

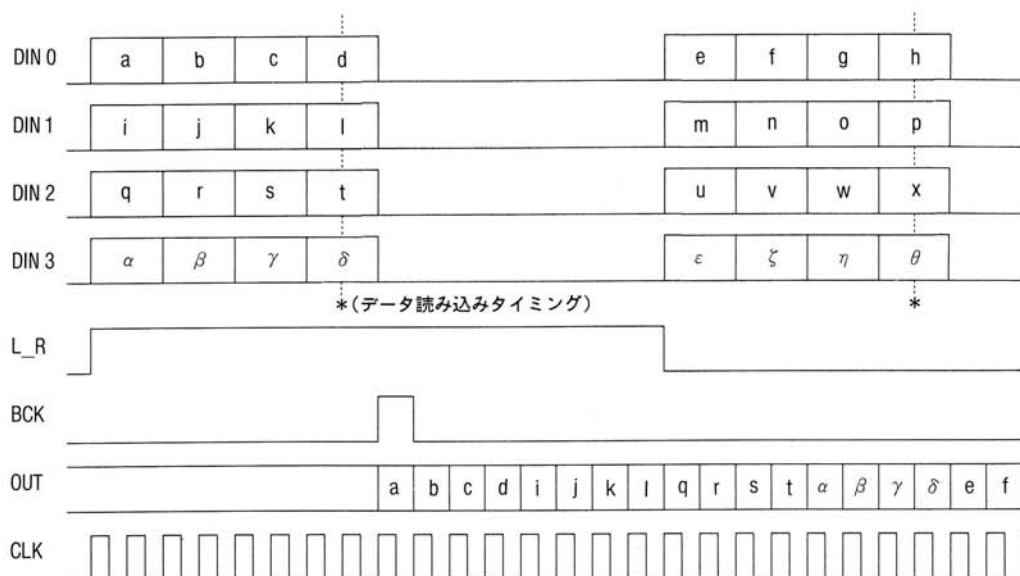


図-9 多重の原理

Fig. 9 Principle of multiplexing

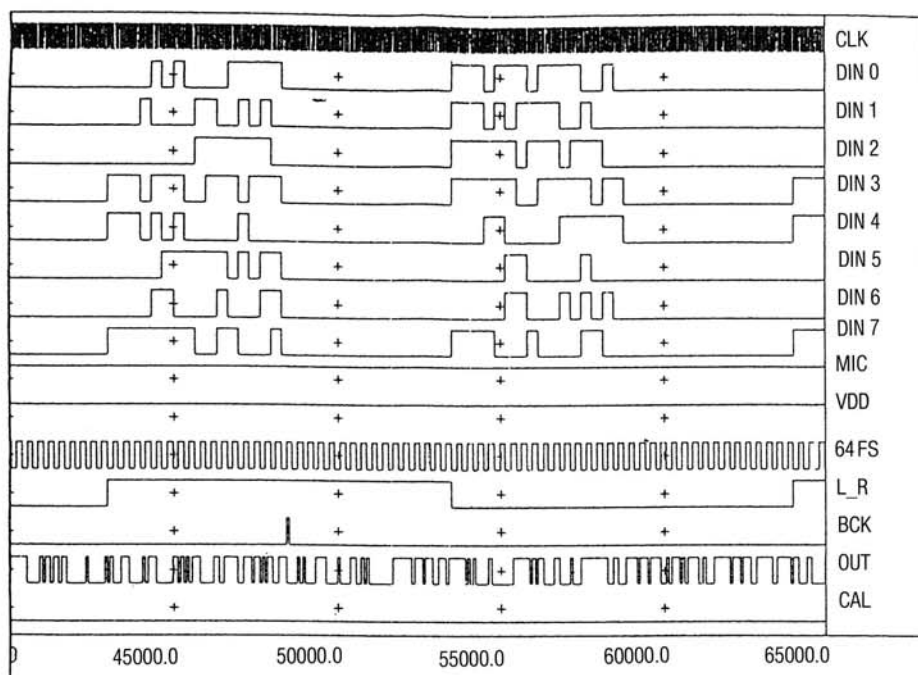


図-10 送信側LCAシミュレーション結果

Fig.10 Result of simulation for transmission LCA

AD10～AD12…チャンネル1の選択信号

AD20～AD22…チャンネル2の選択信号

OUT1～OUT2…出力データ

L_R1～L_R2…L、R識別信号

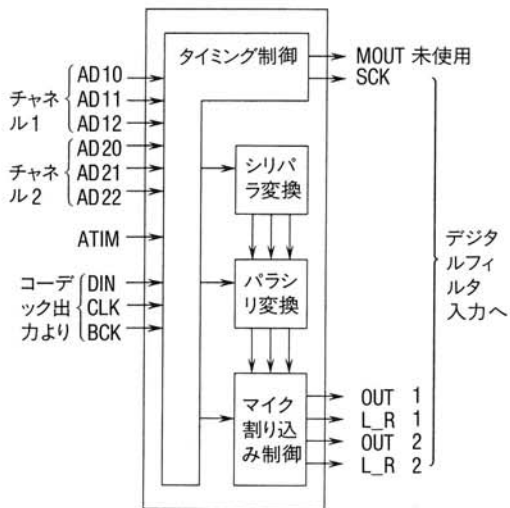


図-11 受信側LCAブロック図

Fig.11 Block diagram of Reception LCA

3. 2 誤り制御

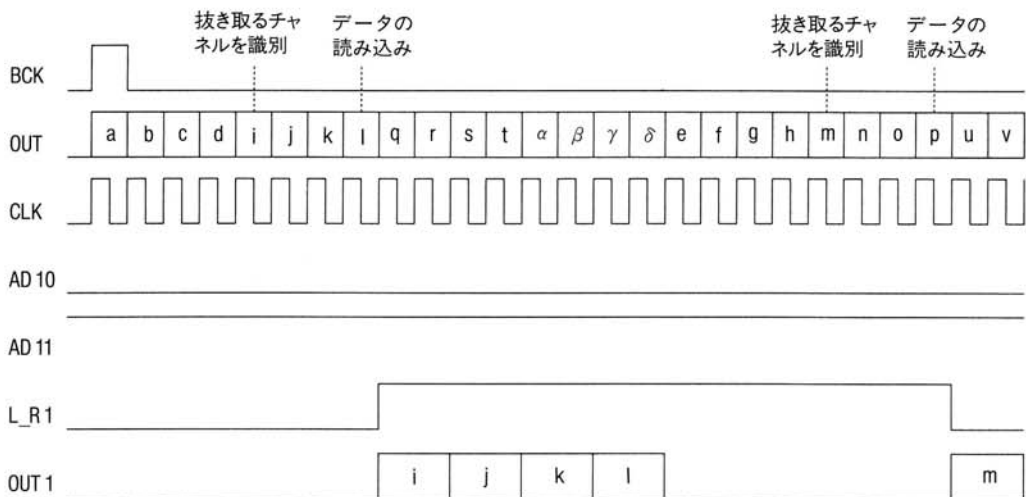
通常データ通信を行う場合には誤り検出、あるいは誤り訂正等の誤り制御を行う。

当初本システムでは、誤り検出し、出力にミューティングをかける機能を目指した。

そして事前に、データ16ビットに対し4ビットのCRC (Cyclic Redundancy Check) 回路で目標の誤り制御が可能なことを確認済である。

しかし本システムを新幹線車両のような移動体で使用する場合、受信側装置間の通信距離は長くても隣接車両の前側の最後部と後ろ側の最前列間と短くなり(数メートル)、誤り発生確率は極めて低いと予測される。

一方、本システムではCMI符号器・復号器(コーデック)は、伝送符号の誤りを検出する機能を有している。したがって、この機能を4ビットのCRCに代えて、有効に活用することにより、データ量を増加させることなく目標の誤り制御を行えることに着目し、回路規模を増やすことなく、



*) AD10="0"、AD11="1"、より送信チャンネル "01" (DIN1) を分離する

図-12 分離の原理

Fig.12 Principle of signal separation

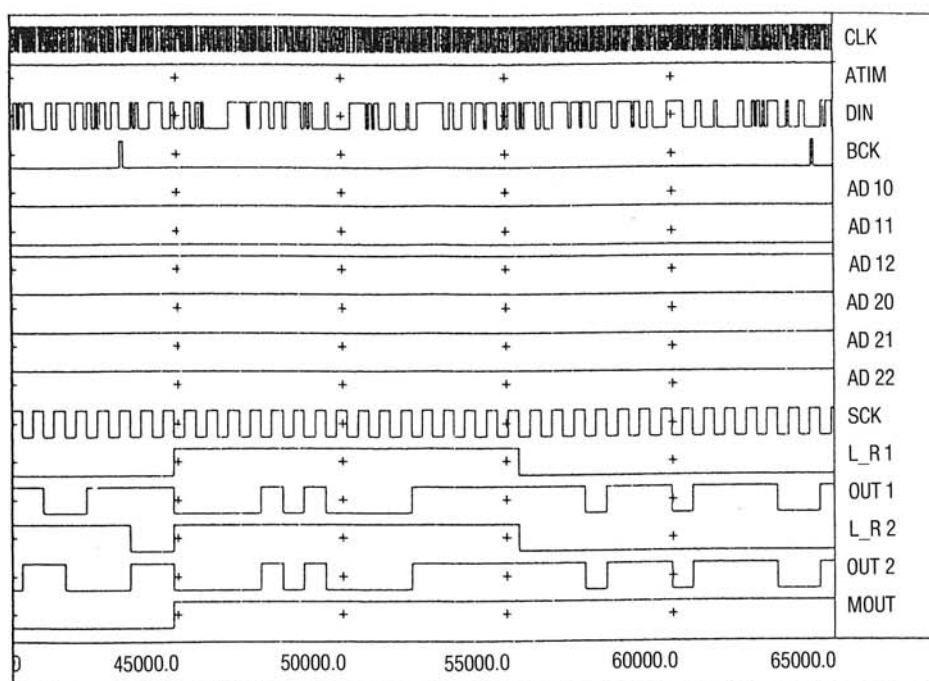


図-13 受信側LCAシミュレーション結果

Fig.13 Result of simulation for reception LCA

誤り制御を実現した。

4. システムの評価

本システムはステレオ8チャンネルの音声信号等をA/D変換後、時分割多重し一本の信号線により伝送を行い、受信側で任意の信号を取り出すという基本的な動作は十分に満足し、温度特性、電気的特性についてもほぼ満足する性能を得ている。

しかし本システムそのものの製品化に際し、伝送距離、コスト等検討の余地がある。

当初本システムは高品質なオーディオサービスの提供を目指して開発を行ったものであるが、同時に、多重伝送技術を応用した他の分野での使用も念頭において開発を行ったので、多重伝送技術を用いた様々な商品を企画する際、十分役立つものと確信する。

表-5に課題に対する開発結果を示す。

表-5 デジタル多重伝送装置試作前の
課題に対する結果

品質	デジタル信号で伝送することにより、高品質(帯域: 20kHz以上)を実現して従来アナログシステム(帯域: 15kHz)以上の品質を確保
形状	LCAの使用により、送信側多重部、受信側分離部を1チップに収めて、送信側、受信側ユニット寸法の従来アナログシステム以下を実現
コスト	受信側ユニットの受信分離出力チャンネル数を2チャンネルから4チャンネルに変更することにより、従来アナログシステム以下にするメドが立った

5. アプリケーション

本Hi-Fiデジタル多重伝送装置は、移動体向けオーディオサービスでの使用を念頭において開発を行ったものであるが、実際には他にも様々な使い方が考えられる。ここでは、項目別に分類していくつかの例を挙げてみる。

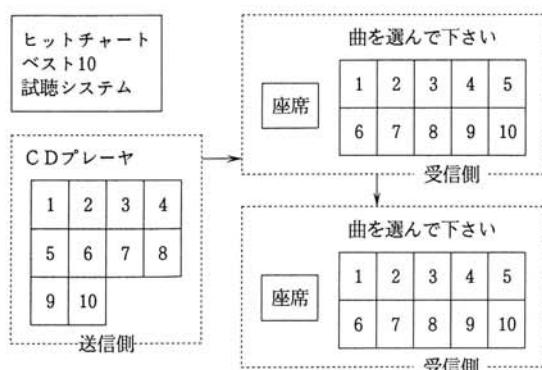


図-14 試聴システムへの応用例

Fig.14 Application for audio-selecting system

1) Hi-Fi伝送

①移動体向けサービス

新幹線、飛行機、船舶などへの適用

②建物向けサービス

ビル、集合住宅への適用

③店内向けサービス

レコード店での試聴装置（図-14参照）

2) 多チャンネル伝送

①国際会議場での同時通訳伝送システム

②観光施設での英、仏、独語等の同時案内

6. お わ り に

本システムは、

①多チャンネルの信号を、

②高品質で、

③一本の信号線で

伝送するデータ通信を可能としたものである。

また考えられる利用範囲も、アプリケーションの項で述べたような多岐にわたっている。

今後世間の動向に留意しながら、ニーズに合わせた完成度の高いシステムにしていきたい。

図-15から図-18に装置の外観を示す。右横の3.5インチフロッピーは形状の比較用である。



図-15 送信側装置正面図

Fig.15 Front view of transmitter unit



図-16 送信側装置背面図

Fig.16 Rear view of transmitter unit



図-17 受信側装置正面図

Fig.17 Front view of receiver unit



図-18 受信側装置背面図

Fig.18 Rear view of receiver unit

参考文献

- 1) プログラマブルゲートアレイデータブック :
X I L I N X
- 2) 近沢他 : “東北新幹線 2 階建グリーン車向け
A V サービスシステム” 富士通 テン 技 報
Vol. 8, No. 2 (Oct.1990)