

ISDN 時計同期を用いた遠隔映像スイッチング方式の提案

福田晴元* 酒井裕* 新井健一* 小野諭*

放送や業務で映像を扱う場合には、全ての映像機器をひとつの基準信号により動作させる。複数の映像機器が出力する映像フレームの時間的ずれをあわせることができるため、高品位な映像切り替えが可能となる。映像切り替えを遠隔地で行うためには、統一された基準信号の供給と、映像フレーム上の切り替え箇所を示すタイムコードを指定する方法が必要となる。本稿では、複数地点において、同一の基準信号を生成し、同一時刻には同一のタイムコードを生成する、ISDN 時計同期技術を用いた基準信号・タイムコード発生装置について述べる。本装置を用いた映像切り替え方法を示した後に、インターネット映像中継時で行った映像切り替えの実現方法について述べる。

A Remote Video Switching System using ISDN Time Synchronization System

Harumoto Fukuda[†], Yutaka Sakai[†], Kenichi Arai[†], and Satoshi Ono[†]

The video equipments for television relay demands a single reference clock for video synchronization. The synchronized videos have same timing and phase, and the videos are transferred through synchronized network that has very short delay. When the video streams are switched on video switcher, the quality of the video is kept to high level. It is important for the distributed video switching environment to supply same reference clock and same time code. We show Global Video Synchronization system (GVS) that supplies same reference clock generated from ISDN frequency and same time code generated from absolute time using ISDN time synchronization system. We are first developing a remote video switching system for realizing distributed video switching system using GVS. We applied this system for internet video delivery experimentation and conducted remote video switching.

1. はじめに

放送や業務で映像を取り扱う映像スタジオでは、カメラ、ビデオ、切り替え装置（ビデオスイッチャ）、合成装置（ビデオミキサ）などの機材を、ひとつの基準となるクロック（リファレンスクロック）により動作させる。各映像機材はリファレンスクロックを用いて映像フレームの時間的ずれを合わせることにより、同期（ゲンロック）して動作する。映像間のクロックにずれがあると、映像切り替えを行った際に、映像フレームの途中で切り替えが実施されるなど、表示映像が乱れる場合がある。

各映像機器は数メートルの同軸ケーブルにより接続されたネットワークを利用して、映像転送を行う。このネットワークは、Serial Digital Interface (SDI) 1)2)と呼ばれ、同期型の通信を行う。この通信において、送信機は、リファレンスクロックより映像転送クロックを生成して転送を行う。受信機は、映像転送クロックを取り出して映像クロックに変換し、リファレンスクロックに同期して映像を出力する。

このように、各映像機器がひとつのリファレンスクロックに対して映像フレームを同期する。また、周波数情報を伝播させて映像転送を行う。これにより、複数映像の切り替えといった編集時のフレーム同期ずれを防止することができ、高品位な映像中継が可能となる。

現在は一箇所に映像データを集めて、統一されたリファレンスクロックによる映像切り替えが行われている。しかし、今後のデータセンタ化にとまらぬ、映像データの分散が進むと考えられる。複数箇所から送られた映像データやデータセンタに蓄積された映像データを、一箇所のスタジオにおいて切り替え指示を送信し、データセンタにおいて切り替えを実施するといった、編集指示地点と編集実施地点が異なる状態が考えられる。

切り替えを指示する場所と、実施場所が異なると、編集用命令の転送と映像転送が個別に必要となる。この際に、編集命令の伝播遅延と映像転送の伝送遅延時間が異なる場合には、切り替えを指示した映像フレームと、切り替えが実施される映像フレームが異なり、正確に切り替えが実施されない。

*NIT 情報流通プラットフォーム研究所

†NIT Information Sharing Platform Laboratories

複数のスタジオとデータセンタを接続するために、インターネットといった非同期網を用いる場合がある3)。非同期網を用いて映像転送を行った場合には、周波数情報が完全に失われ、位相や周波数の異なるリファレンスクロックで映像フレームを操作する可能性がある。この場合には、スタジオとデータセンタの映像フレーム同期の実現が困難となる。

このため、筆者らは分散型基準時計監視システムの研究を進めている。本システム実現のために、まず、スタジオやデータセンタといった異なる複数地点に、同一のリファレンスクロックを供給し、また、切り替えを指定された映像フレームと切り替え実施映像フレームを一致させる方式を検討している。

本論文では、分散型映像スイッチング方式を実現するための映像用リファレンスクロックとタイムコード発生装置について述べる。次に遠隔映像切り替えの実現方法について述べ、実現例として映像中継において実施した遠隔映像切り替えについて述べる。

2. 映像用リファレンスクロックとタイムコードの発生装置

従来 ISDN 時刻同期装置 4) を開発してきた。本装置は ISDN 回線より供給されるフレーム同期信号を利用することにより、分散配置した ISDN 時刻同期装置の周波数同期を実現する。図 1 に PCI バスを利用した ISDN 時計同期ボードを示す。

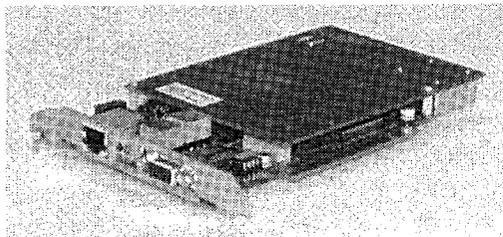


図 1. ISDN 時計同期ボード

本ボードを搭載した ISDN 時計同期装置は、ISDN の基本インタフェースのフレーム同期ビットに位相同期したクロックを時計の周波数源とする。また、Global Positioning System (GPS) より正確な時刻ソースを得る時刻サーバを予め設置し、ISDN 時計同期装置が ISDN 回線を用いて時刻サーバと接続して、時刻同期を実現する。

ISDN 時計同期装置を異なる箇所に配置した場合に、年差 $500 \mu\text{s}$ の精度で全ての装置の時刻・秒のフェーズを揃えることができる。

このように時刻・周波数同期を実現した ISDN 時計同期ボードは図 1 の DB15HD の形状を持つコネクタにケーブルを接続することにより、1PPS および 10MHz の周波数を出力することができ、基準周波数発生装置として利用できる。

この ISDN 時計同期ボードから基準周波数と時刻を読み込み、映像信号を生成する装置を開発している。ISDN 時計同期ボードから基準周波数を受け取り、映像用信号を生成するボードを図 2 に示す。図 3 に映像機器で用いるコネクタを持つ映像用クロック・タイムコードの出力ボックスを示す。これらの機器により構成された装置を Global Video Synchronization (GVS) 装置と呼ぶ。GVS 装置は、Solaris(x86)上で動作する。

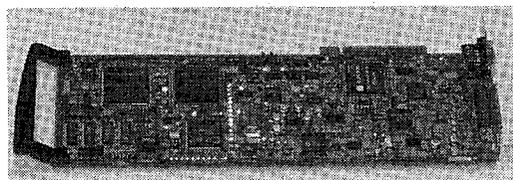


図 2 映像信号生成ボード

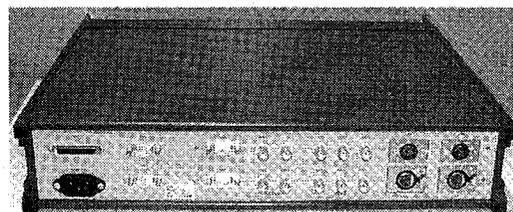


図 3 出力ボックス

GVS 装置を複数地点で用いることにより、複数地点での同一タイムコード生成が可能となり、また、複数地点での映像フレームの同期が実現できる。なお、映像フレームは、Linear Time Code (LTC)・Vertical Interval Time Code (VITC)5)の形式を持つタイムコードを利用する。これらのタイムコードを映像フレームに書き込む方法は定義されている6)7)。特に LTC は、音声チャンネルを利用しての伝送も可能である。これらにより、複数地点で撮影される映像に同一時刻に同一タイムコードを書き込むことが可能となる。

タイムコードは映像フレーム単位で計測されており、時・分・秒・フレーム数により構成される。例えば、National Television System Committee (NTSC)8) では、1秒間に29フレーム転送する。この場合のタイムコードは、フレーム数が29までカウントされた後に、秒に1が加えられて、フレーム数は0となるように動作する。

3. 分散型映像切り替えシステムの設計

3.1. システム構成

図4に遠隔映像切り替えシステムの構成例を示す。図では、スタジオにおいて一台のカメラで撮影された映像と、データセンタに蓄積されている映像を、データセンタにおいて切り替えるための構成を示す。

図において、スタジオおよびデータセンタにおいて、GVS装置にISDNを接続して、リファレンスクロックを生成する。各映像機器は、このリファレンスクロックを受け取り、映像フレームの同期を実現する。

映像ストリームは同軸ケーブルにより接続されて、SDIネットワークにより各映像機器間で転送される。GVS装置は、各映像機器と同軸ケーブルで接続されて、リファレンスクロックを送信する。タイムコードは、音声用アナログケーブルを用いてGVS装置からビデオレコーダへ送信される。ビデオコントローラから各映像機器へのコントロール信号は、RS-232/422ケーブルを用いて送信される。なお、インターネットは、Fast Etherもしくは、Giga Etherの帯域を持つ。

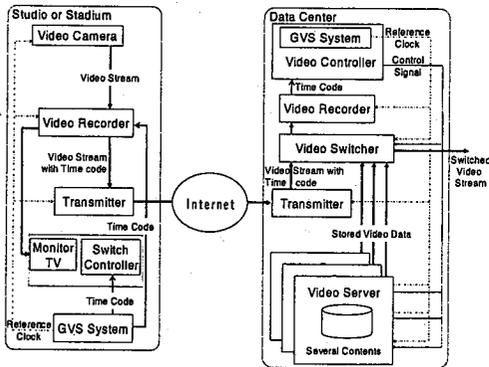


図4 映像切り替えシステムの構成例

スタジオは、ビデオカメラ、ビデオレコーダ、トランスミッタ、スイッチコントローラ、モニタ、GVSシステム

で構成される。データセンタは、GVSシステムを搭載したビデオコントローラ、ビデオレコーダ、ビデオスイッチャ、トランスミッタ、ビデオサーバで構成される。

切り替え指示者は、モニタ画面を見ながら切り替えを行うタイミングでスイッチを押す。スイッチコントローラはスイッチが押されたタイミングのタイムコードを、データセンタのビデオコントローラへ送信する。ビデオコントローラはスイッチコントローラに指示されたタイムコードを持つ映像フレームにおいて、映像切り替えを実施する。

以降では、各地点における機器間でのデータのやりとりと映像切り替え方法について詳細に説明する。

3.2. スタジオにおける切り替え操作

ビデオカメラで撮られた映像ストリームは、SDIネットワークを経由して、ビデオレコーダに送られる。ビデオレコーダは入力された映像ストリームを、SDIネットワークを経由してトランスミッタへ送信する。また、ビデオレコーダはモニタ用映像をモニタ装置へ送信する。トランスミッタはSDI上の映像データをIPプロトコルに搭載して、インターネットを通して送信する。切り替え指示者はモニタ画面を見ながら、切り替えを行うタイミングでスイッチを押す。

GVSはタイムコードを生成して、ビデオレコーダとスイッチコントローラへ送信する。ビデオレコーダに入力された映像ストリームには、フレーム単位でタイムコードTC_nが刻印されて、トランスミッタへ送信される。スイッチコントローラは、スイッチが押された際に、GVSからタイムコードTC_nを取得し、データセンタのコントローラに、インターネットを利用して、TC_nを送信する。

3.3. データセンタにおける切り替え操作

トランスミッタはインターネットより受け取った映像ストリームを、SDIネットワークを経由してビデオスイッチャへ送信する。ビデオサーバは、ビデオコントローラから再生信号が到着した際に、映像データをビデオスイッチャへ送信する。

ビデオスイッチャは、ビデオコントローラからの制御信号に従って入力映像ストリームのスイッチングを行い、外部へ出力する。またビデオスイッチャはトランスミッタから受け取った映像ストリームを分岐してビデオレコ

ーダへ送信する。ビデオレコーダは、映像ストリームからタイムコードTCvを取り出してビデオコントローラへ常時送信する。

ビデオコントローラは、RS-232C/422を経由してビデオサーバ、ビデオレコーダ、ビデオスイッチャといった映像機器の制御を行う。図4に例示したビデオコントローラは、以下の手順に従って切り替え動作を実現する。

1. ビデオレコーダからタイムコードTCvを取得する。
2. 上記動作と同時に、GVSシステムより、現在時刻から生成されたタイムコードTCnを受け取る。
3. TCvとTCnを比較して映像転送の遅延時間TCdを算出して保持する。
4. スイッチコントローラから映像切り替えタイムコードTCsを受け取った際に、TCsにTCdを加えて、1フレーム引いた値TCrを、映像切り替えタイミングを示すタイムコードとして求める。
5. TCnとTCrが等しくなった際に、ビデオサーバに再生信号を送信する。
6. ビデオサーバの再生が成功したことを確認した後、ビデオスイッチャに切り替え用の制御信号を送る。
7. ビデオスイッチャの切り替えが成功したことを確認して終了する。

なお、1から3の操作は、常に行う必要はない。4において、TCrを求める際に1フレーム引く作業を行う。ビデオスイッチャにおいて映像切り替えを行うポイントが、映像フレームの先頭から10ライン目と273ライン目に規定されている。ビデオサーバの動作確認に必要な時間を考慮すると、切り替え対象フレームよりも、1フレーム前に切り替え指示をスイッチャに送信することにより、対象フレームにおいて切り替えが実施される。

ビデオコントローラに対して、予め切り替え映像や再生時間のプログラムをリストとして教えることにより、スタジオにおいて撮影される映像と、蓄積映像の切り替えを繰り返し実施できる。また切り替え時間が決定されている場合には、スイッチコントローラからの信号を受け取らずに、切り替えを実施できる。

以上の方式により映像切り替えを実施するためには、映像切り替え命令が、伝送される映像よりも十分先に到

着しなければならぬ。これは、システム適用上の留意点としてあげられる。

4. 分散型映像切り替えシステムの適用

4.1. 適用した映像中継網の構成と説明

分散型映像切り替えシステムを、甲子園球場からの野球中継に適用して運用を行った。図5にネットワーク構成の概略図を示す。

甲子園球場から放送局に対して、高精細映像であるHigh-Definition (HD) 映像を転送する。放送局ではHD映像を、HDと比較して低解像度となる高品位なSerial Digital (SD) 映像に変換する。放送局内では、SD映像をモニターで確認して、切り替え時には、映像切り替えコマンドと呼ぶ映像切り替え指示命令を送る。SD映像は放送局内において圧縮され、データセンタ(大阪)へ送信される。データセンタへの映像と映像切り替えコマンドの伝送は、インターネットを通して行われる。

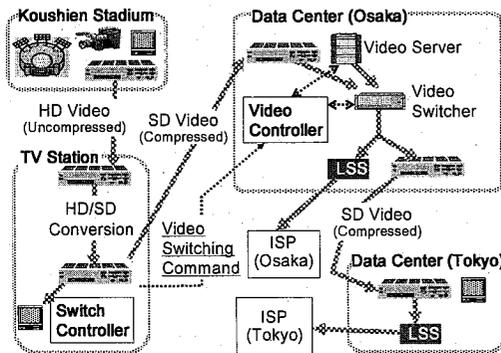


図5 甲子園中継網構成の概要

データセンタ(大阪)では、放送局より送られてきた切り替え指示に従って、SD圧縮映像とビデオサーバの映像の切り替えを実施する。切り替え後の映像は、Live Streaming Switch (LSS)3により各Internet Service Provider (ISP)等へ配送される。また切り替え後の映像は、データセンタ(東京)へ伝送されて、LSSによりISP等へ配送される。

図4に示したシステムとの対応関係について述べる。図5に示した放送局内では、図4に示したスタジオ内のビデオカメラに代わり、HDからSDへ変換された映像がビデオレコーダへの入力となる。ビデオレコーダでは、

SD 映像の圧縮が行われる。図 5 に示したデータセンタ (大阪) 内では、図 4 に示したデータセンタと比較して、ビデオサーバが 1 台で実施した以外の構成は同一である。

なお、適用方式では、映像の伝送遅延時間は約 730ms(22 フレーム)であるが、ネットワークの伝播遅延時間は最大 0.192ms であった。これは、適用方式では圧縮映像を扱っており、映像の圧縮時間がネットワークの遅延時間より非常に大きいためと考えられる。適用方式では、映像切り替えのコマンドは、映像よりも十分早く転送されるため、第 3.3 節の最終段落で述べた留意点には解決される。

以上の構成により放送局からの映像とビデオサーバの映像を繰り返し切り替える動作を実施しインターネット中継を行った。次節より、映像切り替え機能として実現した命令と、その機能について述べる。

4.2. 実現した命令と機能

映像切り替え指示は、スイッチコントローラが生成してビデオコントローラへ送信する。コマンドを受け取ったビデオコントローラは、コマンドの内容に従って映像機器を制御する。

スイッチコントローラから送信される指示は、遅延なくビデオコントローラに到着する必要がある。このため、再送を行わない User Datagram Protocol (UDP) を利用してコマンドをビデオコントローラへ送信する。このパケットを切り替え指示パケットと呼ぶ。

パケットロスに対応するため、ひとつの指示は、100ms おきに 3 回連続して同一の切り替え指示パケットとして送信される。切り替え指示パケットのヘッダにはオペレーション番号のフィールドがあり、指示を出すごとに番号が 1 ずつ増加する。ビデオコントローラは、同一のオペレーション番号を持つ切り替え指示パケットについて、2 個目以降を廃棄することにより、ひとつの指示である複数の切り替え指示パケットに対応する。

実現した映像切り替え指示のコマンド名と機能概要を表 1 に示す。また、それぞれの指示は、以下の手順により実行される。

- QUE_UP

1. スwitchコントローラから、ファイル名と映像再生開始地点を示すタイムコードを含む切り替え指示パケットが送信される

2. ビデオコントローラは、切り替え指示パケットより、映像ファイル名と再生開始時刻を読み取り、ファイルサーバに対して指定されたファイル名をロードし、指定タイムコードを頭出しすることを指示する。
3. ビデオコントローラは、ビデオサーバからの動作結果を読み取り、ビデオサーバが正常に動作した場合には、ACK をスイッチコントローラへ返信する。ビデオサーバが異常終了した場合には、NAK を返信する。

- CM_IN, CM_OUT

1. スwitchコントローラから、ビデオスイッチの入力ポートと出力ポートの対応関係を示すマトリクスと、切り替えを行う時刻を示すタイムコードを含む切り替え指示パケットが送信される
2. ビデオコントローラは CM_IN、もしくは、CM_OUT の切り替え指示パケットより、切り替え時刻を示すタイムコードと切り替え後のマトリクスを読み取り、問題がない場合には、スイッチコントローラへ ACK を返信する。何らかの問題が発生した場合には、NAK を返信する。
3. ビデオコントローラは、指定された切り替え時刻まで待機し、映像切り替えを実施する。切り替え動作の詳細については、第 3.3 節の説明に従う。
4. ビデオコントローラは、ビデオサーバとビデオスイッチャからの正常終了を受け取った後に ACK をスイッチコントローラへ返信する。異常終了した場合には、NAK をスイッチコントローラへ返信する。

- MATRIX_READ

1. スwitchコントローラから、MATRIX_READ の命令を示す切り替え指示パケットを送信する。
2. ビデオコントローラは、ビデオスイッチャから、入力と出力の対応関係を示すマトリクスを読み込む。
3. ビデオコントローラは、マトリクスの読み込みが正常終了した場合には、スイッチコントローラに ACK を返信する。異常終了した場合には、NAK を返信する。
4. マトリクスのデータをスイッチコントローラへ返信する。

- MATRIX_CHANGE

1. スイッチコントローラから、新たなマトリクスを含む切り替え指示パケットを送信する。
2. ビデオコントローラは、切り替え指示パケットよりマトリクスを読み取り、ビデオスイッチャのマトリクスを変更する。
3. ビデオコントローラは、マトリクスの変更が正常終了した場合に、スイッチコントローラへACKを返信する。異常終了した場合には、NAKを返信する。

表 1 映像切り替えコマンド名と機能概要

コマンド名	機能
QUE_UP	スイッチコントローラにより指定された映像ファイルを選択し、映像スタート箇所を頭出しした後に、ビデオサーバを再生待機する
CM_IN	放送局より送られてくる映像からビデオサーバの映像へ切り替える
CM_OUT	ビデオサーバの映像から、放送局より送られてくる映像へ切り替える
MATRIX_READ	ビデオスイッチャのスイッチングの状態(マトリクス)を読み込む
MATRIX_CHANGE	ビデオスイッチャの入出力ポートの対応関係(マトリクス)を変更する

QUE_UP, MATRIX_READ, MATRIX_CHANGE 命令は、切り替え指示パケットを受け取ってから処理が終了するまでの間、ビデオコントローラは、次の切り替え指示パケットを受け取らない。CM_IN, CM_OUT 命令は、切り替え指示パケットを受け取ってから待機状態に以降した後に、切り替え動作を実行するまでの間、次の切り替え指示パケットを受け取ることができる。

例えば、CM_IN 命令に続けて CM_OUT 命令が送信された場合には、初めの CM_IN 命令はキャンセルされ、CM_OUT 命令が実行される。これにより、誤って CM_IN 命令を送信した場合にも、キャンセル可能とした。

スイッチコントローラの映像切り替え用アプリケーションは、以下の手順に従って処理を行う。

- ビデオサーバの映像への切り替え

CM_IN を実行し、MATRIX_READ を実行してマトリクスが正しく変更されたことを確認する。

- 放送力から送られてくる映像への切り替え

CM_OUT を実行し、MATRIX_READ を実行してマトリクスが正しく変更されたことを確認する。その後 QUE_UP を実行する。

5. おわりに

本稿では、ISDN 時計同期システムを利用した、GVS システムについて述べた。本システムは、統一された映像用リファレンスクロックの生成、および、時間軸にそった編集や切り替えを可能とするタイムコードの生成を行う。これにより、映像編集や切り替えを分散して実施するシステムの実現が可能となる。また、GVS システムを用いた映像切り替え方法について示し、実際に映像中継に適用した際の実現方法について述べた。映像切り替えは、15 日間で 7,750 回実施され、インターネット中継を行った。

参考文献

- 1). SMPTE STANDARD, ANSI/SMPTE 259M-1997, "for Television - 10-Bit 4:2:2 Component and 4fsc Composite Digital Signals - Serial Digital Interface".
- 2). SMPTE STANDARD, SMPTE 348M, "for Television - High Data-Rate Serial Data Transport Interface (HD-SDI)".
- 3). "ブロードバンド時代のネット放送技術を開発 - 多様なバリエーションのコンテンツを大規模・低価格に配送可能", 電子情報通信学会誌 News, Vol.84, No.10, p.755, Oct 2000.
- 4). 福田晴元, 小野聡, 高橋直久, "インターネット QoS ビジューライザの設計と実現", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-BII No.6, pp.438-445, Jun 1997.
- 5). SMPTE STANDARD, ANSI/SMPTE 12M-1999, "for Television, Audio and Film - Time and Control Code".
- 6). SMPTE RECOMMENDED PRACTICE, SMPTE RP 188-1999, "Transmission of Time Code and Control Code in the Ancillary Data Space of a Digital Television Data Stream".
- 7). SMPTE RECOMMENDED PRACTICE, SMPTE RP 196-1997, "Transmission of LTC and VITC Data as HANC Packets in Serial Digital Television Interfaces".
- 8). J. Whitaker and B. Benson, "Video and Television Engineering", McGrawHill, ISBN 0-07-069627-6.
- 9). SMPTE RECOMMENDED PRACTICE, SMPTE RP 168-1993, "Definition of Vertical Interval Switching Point for Synchronous Video Switching".