

IP 網対応 MPEG-2 システムクロック再生方法の検討

馬場 昌之

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1

E-mail: baba@isl.melco.co.jp

あらまし 近年, MPEG over IP が盛んに行なわれるようになってきた。MPEG-2 システム規格では, 送受信装置間で同期してメディアの符号化復号動作ができるように, クロック情報を伝送している。しかし IP 網のような伝送遅延の大きな伝送路を考慮していないため, MPEG-2 システム規格に示されるクロック再生方法では, 安定したシステムクロック再生を行なえない状況が発生する。本報告では, IP 網のような伝送遅延時間の大きな状況においても使用可能なクロック再生方法を提案する。伝送遅延の小さいクロック情報のみを選択使用することで再生周波数の精度を高くすると共に, 一時的な伝送揺らぎに左右されない許容範囲を持たせた周波数制御を行なうことで安定したクロック再生を実現する。

キーワード MPEG-2 SYSTEM CLOCK, クロック再生, 揺らぎ補正, MPEG over IP

A Study of MPEG-2 System Clock Recovery Method in IP Networks

Masayuki BABA

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

Ofuna 5-1-1, Kamakura, Kanagawa, 247-8501 Japan

E-mail: baba@isl.melco.co.jp

Abstract MPEG over IP has been a topic of wide interest and put into practice in recent years. MPEG-2 Systems specifies the transmission of clock reference information to synchronize the system clock frequency between the transmitter and the receiver side. The clock recovery method described in MPEG-2 Systems is designed only for low delay jitter situation, and causes problems in networks with large jitter like IP networks. In this report, we propose a new method to achieve accurate and stable clock recovery even in large jitter networks. We improve accuracy and stability of the clock recovery by utilizing only the clock reference information with low jitter and by tolerantly controlling frequency so as not to be affected by temporary jitter.

Key words MPEG-2 system clock, clock recovery, jitter reduction, MPEG over IP

1. はじめに

通信, 放送分野において, MPEG-2 (ISO/IEC13818) は高品質なビデオ伝送を行なうための規格として様々な装置に用いられている。近年では MPEG over IP を実現する IP 網対応の MPEG-2 コーデックも製品化されている。

MPEG-2 システム規格 [1] において, 送受信装置間でシステムクロックを同期させるために, 送信側ではトランスポートストリーム (TS) 中にシステムクロックの時刻情報を示す PCR (Program Clock Reference) を多重し, 受信側でこの PCR の情報を基に送信側と同期したクロック再生を行う。しかしながら, IP 網のように伝送揺らぎが大きい場合, PCR の受信タイミングが本来のタイミングから大きくずれてしまうため

に, 送信側に同期したクロック再生を行なえなくなってしまう。MPEG-2 part9 [2] にリアルタイムインタフェースの規定があり, その中でジッタは $20 \mu \text{sec}$ 以下を要求しているように, MPEG-2 システムターゲットデコーダは伝送揺らぎの大きなデータを受信することを想定していない。

本報告では, まず MPEG-2 システム規格で紹介されるクロック再生方法における伝送揺らぎへの対応能力を検証し, その後安定したクロック再生方法を提案すると共にその能力を検証する。

2. MPEG 規格のクロック再生回路

2.1 クロック再生回路概要

MPEG-2 システム規格に記されている PLL を用いたシステ

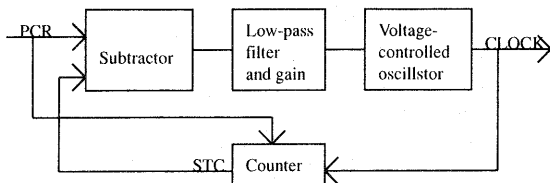


図 1 規格のクロック再生回路

Fig. 1 General Clock Recovery Circuit

ムクロック再生回路を図 1 に示す。

この回路は受信する PCR のカウンタ値と装置内部のクロックのカウンタである STC (System Time Clock) を比較し、その差分により電圧を発生させ、電圧制御発振器の周波数を制御するものである。なお、図中の gain は STC と PCR の差分に対する周波数変動量の係数であり、gain 値を大きくすれば小さい差分でも周波数変動が大きくなり、すばやいクロック周波数の追従が可能となる。しかしその反面、周波数が大きく変動するため安定性に欠ける。Low-pass filter は一時的な差分の変動による周波数の急激な変動を避けるために設けられている。

2.2 クロック再生特性

規格の方式のクロック再生特性を検証するために、gain やローパスフィルタ (LPF) の特性を変えながらシミュレーションを行った。シミュレーション条件は表 1 の通り。なお、PCR と STC の差分に gain A,B の値を乗じたものが補正する周波

表 1 シミュレーション条件 1
Table 1 Simulation Conditions 1

PCR 周波数	26,999,550 Hz
STC 初期周波数	27,000,000 Hz
PCR 受信間隔	90 msec
gain A	1.0
gain B	0.1
LPF-1 カットオフ周波数	0.11 Hz
LPF-2 カットオフ周波数	1.12 Hz
伝送遅延 (平均)	約 40 μ sec
伝送遅延 (標準偏差)	約 4.2 μ sec

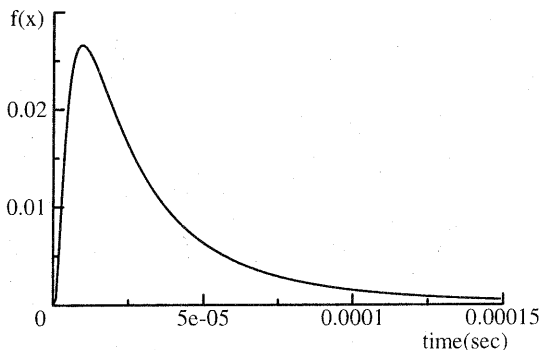


図 2 遅延時間の分布

Fig. 2 Distribution Curve of Delay Time

数となる。LPF にはチェビシェフの 2 次の IIR フィルタを使用した。インターネットにおける遅延時間の分布はパレート分布や対数正規分布が適合すると報告されている [3]。特にビデオデータを転送するような比較的ネットワークが空いている状況では対数正規分布がより適合するため、本シミュレーションでは遅延時間の分布を図 2 に示すような対数正規分布とした。

伝送揺らぎのない状況において 2 種類の gain 値と 2 種類の LPF を組み合わせたときの再生周波数の軌跡を図 3 に示す。gain 値を大きくすれば所望の周波数にすばやく追従できるが、LPF のカットオフを小さくし過ぎた場合には発振する。

伝送揺らぎを加えた場合のシミュレーション結果を図 4 に示す。gain 値を小さくすることで周波数の大きな変動を防げ、ローパスフィルタのカットオフを小さくすることで周波数の小さな変動を防ぐことが可能となる。なお、gain 値 A の場合、クロックは安定しなかった。

2.3 課 題

さらに大きな伝送揺らぎに対応するためには、gain 値を小さくし、ローパスフィルタのカットオフ周波数を下げることで対応は可能であるが、gain 値を小さくすることで再生クロック周波数が収束するまでの時間がさらに長くなる。

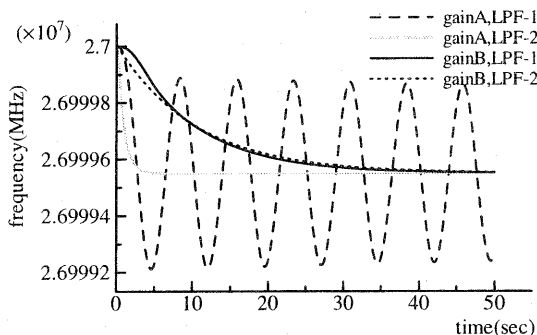


図 3 揺らぎのない場合の再生周波数 (規格の方式)

Fig. 3 Recovered Frequency without Network Jitter (General method)

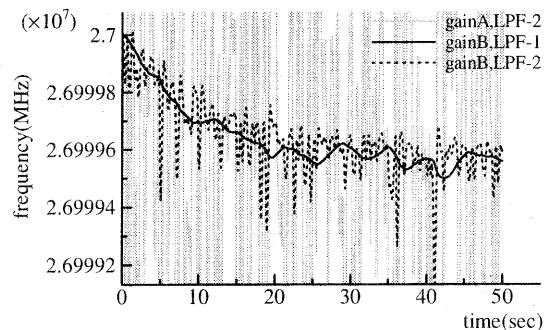


図 4 揺らぎのある場合の再生周波数 (規格の方式)

Fig. 4 Recovered Frequency with Network Jitter (General method)

また規格の方法はSTCとPCRの差分によって周波数制御を行なうため、gain値を小さくすることで相対的にSTCとPCRの差も大きくなってしまふ。メディアの再生を行なう際に本来PCRのタイミングで再生すべきところをSTCのずれたタイミングで再生を行なうことで、メディアデータの受信バッファのアンダー／オーバーフローが発生する可能性もある。

このように規格の方法を用いた場合、数十 μ sec程度の伝送揺らぎに対応できるが、それ以上の揺らぎに対応しようとすれば、このような実用時の問題が発生してしまう。

3. 提案クロック再生方法

3.1 方式検討

図5に送受信装置におけるPCRとその時刻の関係を示す。送信装置(sender)から送られたPCRは、カウンタ値不変のまま受信装置(receiver)に到着する。この時の送受信装置間の時間差が伝送遅延であり、この伝送遅延の最大値と最小値の差が伝送揺らぎである。

送信側におけるPCRのカウンタ値と送信時刻の関係は直線上に位置付けられる。受信側ではこの直線と同じ傾きを持つSTCの直線を再現できれば、送信側クロックと受信側クロックの周波数は一致したことになる。固定伝送遅延時間分は周波数に影響を与えないため、伝送遅延時間の揺らぎ分のみ考慮すればよい。

そこで正確かつ安定したクロック再生を行なうために、以下の点からクロック再生方法を検討する。

- 伝送揺らぎを極力排除したクロック再生
- 伝送揺らぎの影響を受けないクロック再生

3.2 伝送揺らぎの排除

伝送揺らぎを排除するための方法として、受信したPCRから近似直線を作成し、その直線上に位置するようにPCRのカウンタ値もしくは受信時刻を補正する方法がある[4]。伝送遅延時間の分布が正規分布である場合は近似直線は安定するが、対数指数分布の場合に近似直線は安定しない。特に一時的な大きい伝送遅延は近似直線を大きくずらしてしまう。

伝送遅延時間の分布が対数指数分布であるため、伝送遅延時間が小さいPCRはサンプルも多く、また遅延時間自体がある

程度以上小さくならないので、その最小の伝送遅延時間のPCRのみを使用してクロック再生を行なうことで、伝送揺らぎの影響の少ないクロック再生が実現できる。

受信PCRのカウンタ値と受信時刻から近似直線を作成し、その直線から時間軸のマイナス方向に一番離れているPCRが伝送遅延の小さいものとなる。もしくは受信側の自走クロック(STC)は送信側のクロック(PCR)と大きな周波数差は無く、伝送揺らぎによるSTCとPCRの差分の方が十分に大きいと考えられる場合には、PCRを受信した時点のSTCと比べて、STC-PCRが小さくなるPCRが伝送遅延の小さいものである。

ある一定時間内もしくはあるサンプル数毎に伝送遅延時間の小さいPCRを選出し、そのPCRのみを用いてクロック再生を行なうことで、伝送揺らぎを最小に抑えたクロック制御が行なえる。

3.3 伝送揺らぎの影響を受けない制御

少なからず伝送揺らぎを含んだPCRを基にクロック再生を行なうと、再生するクロックの周波数は逐次変動してしまう。そのため常に揺らぎが含まれているものとして、細かなクロック差分は無視して、送信側のクロック周波数と明らかな周波数差が認識できた場合のみ、周波数制御を行なうこととする。これにより細かな伝送揺らぎに左右されることのない安定したクロック再生が行なえる。

規格の方法ではSTCとPCRの値は一致しないため、メディアの再生タイミングがずれる可能性があるため、ここではSTC-PCRの差分が0に近づくような周波数制御を行なう。

実際の周波数制御方法として、

$$|STC - PCR| < x \quad (1)$$

となるようなSTCとPCRの関係をクロックの安定とみなし、このゾーン内にとどまるような制御を行なう。基本的に(1)のゾーンであれば制御を行わず、そのゾーンを越えた場合に(1)のゾーンに戻るような制御をかける。

周波数制御方法の一例として

- (1)のゾーンから外れた時：初期もしくは前回の制御時の(STC-PCR)の値と今回の値を比較し、経過時間からSTCとPCRの周波数差分を計算し、(1)のゾーンに戻るような周波数制御をかける。

- (1)のゾーンから離れ続けている時：上記の制御で(1)のゾーンに戻れなかったとみなし、さらに(1)のゾーンに近づく方向に周波数制御をかける。

- (1)のゾーン内で(STC-PCR)の符号が変化した場合：STCとPCRが一致した状態なので、現在のSTCとPCRの周波数差分を計算して、今後周波数差分が発生しないように補正する。この制御により再び(1)のゾーンから外れるのを事前に防ぐ。

3.4 実現方式

本提案の方式を実現するクロック再生回路を図6に示す。Select dataの部分で受信PCRから伝送遅延の小さいものを選択し、Controlの部分で安定したクロック制御を行なう。

この提案方法における所望のSTC軌跡は、伝送遅延の小さ

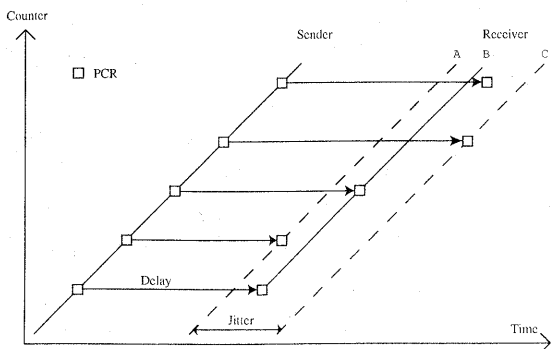


図5 送受信装置におけるPCR

Fig.5 PCR at Sender and Receiver

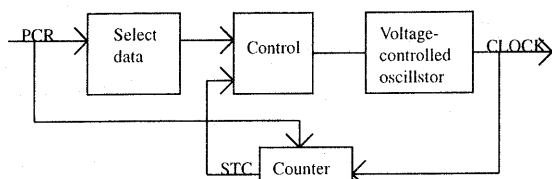


図6 提案方法のクロック再生回路
Fig.6 Proposed Clock Recovery Circuit

いPCRから作られる直線, 図5における左側の点線Aである。

最初に受信したPCRをSTCのカウンタへダウロードした場合, STCの始点は点線A上にない可能性が高い。その始点から点線A上に乗るようにするためには, STCに対して大きな周波数制御を加えることとなり, 再生するクロックの安定性を欠く。

そこで, STCの始点から図5における点線Aと平行な直線Bを引き, それを所望のSTCの軌跡とすることにより, 大きな周波数制御を必要とせずにクロック再生を行なうことができる。このときSTCの始点と点線Aの水平距離を算出し, 以後この水平距離を保つように制御すればよい。この補正でSTCは常に水平距離の時間分だけ最小遅延時間より大きい値となっていることが認識でき, その値は伝送揺らぎより小さい値となる。またこの補正時間により, 伝送揺らぎに対してどのタイミングでSTCのクロックが動作しているかを示すことができる。

4. クロック再生シミュレーション

実際にこの提案方法を用いて, 大きな伝送揺らぎがある状況下でどれだけ正確かつ安定したクロック再生が行なえるかを確かめるためにシミュレーションを行なった。

4.1 シミュレーション条件

シミュレーション条件を表2に示す。PCRに関するシミュレーション条件は規格の方法を検証した条件(表1参照)と同一とし, 伝送遅延分布は対数正規分布で表1の分布時間の約100倍(平均伝送遅延約4msec, 標準偏差約0.42msec)となるようにした。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図7に示す。再生クロックが安定しているのがわかる。

本シミュレーションにおけるクロック再生制御では, 3秒間隔で受信PCRから伝送遅延の小さいと思われるPCRを選出し, (1)のxの値を30000として制御を行なっている。これらのパラメータを大きくすることで安定したクロック再生は可能

表2 シミュレーション条件2
Table 2 Simulation Conditions 2

PCR 周波数	26,999,550 Hz
STC 初期周波数	27,000,000 Hz
PCR 受信間隔	90 msec
伝送遅延 (平均)	約 4 msec
伝送遅延 (標準偏差)	約 0.42 msec

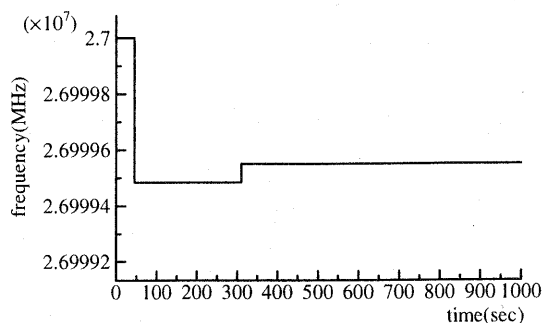


図7 揺らぎのある場合の再生周波数 (提案方法)
Fig.7 Recovered Frequency with Network Jitter (Proposed method)

となる反面, クロック周波数の追従が遅れてしまう。また, これらのパラメータは揺らぎの大きさによって変更されるべきものであり, 揺らぎの大きさは受信する全てのPCRの情報から推測することは可能である。

5. まとめ

IP網のような遅延が大きな伝送路を介した通信において, 伝送遅延の小さいPCRのみを選択し, ある範囲内でクロック同期をとるような周波数制御を行なうことによって, MPEG-2システムクロックを安定して再生できるような方法を提案した。またこの方法を用いて, 数msec程度の伝送揺らぎに対してクロック再生が可能なことをシミュレーションで示した。

STCとPCRの差を一定範囲内に留めるための周波数制御方法に関しては, まだまだ考慮の余地があり, さらなる改良によってさらに安定したクロック再生は可能と思われる。また, この方法における各種パラメータに関しては, 受信PCRの伝送揺らぎの大きさを検出することによって最適な値を選択可能なため, その方法に関して今後検討していく予定である。

文 献

- [1] ISO/IEC13818-1, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems"
- [2] ISO/IEC13818-9, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Real-Time Interface Specification for Low Jitter Applications"
- [3] 笠原正治, "インターネットトラフィックモデリング-通信トラフィック理論からインターネット設計理論へ," 信学技報 NS2001-217, pp.25-30, Feb. 2002.
- [4] 馬場昌之, 加藤嘉明, "MPEG-2システムクロック再生に関する検討," 信学技報 CS98-144, pp.47-54, Mar. 1999.
- [5] 馬場昌之, 加藤嘉明, "MPEG-2システムクロック再生方法に関する一検討," 2000 信学総大, 分冊2, no.B-8-68, Mar. 2000.
- [6] V. Paxson, and S. Floyd, "Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling," IEEE/ACM Trans. Networking, vol.3, pp.226-244, Jun. 1995.
- [7] J.C. Bolot, "Characterizing end-to-end packet delay and loss in the Internet," Proceedings of ACM SIGCOMM, pp.289-298, Sept. 1997.
- [8] V. Paxson, "End-to-end internet packet dynamics," Proceedings of ACM SIGCOMM, pp.139-152, Sept. 1997.