

デジタル放送における多重化同期管理手法の検討

塩本 祥司

隅田 哲夫

ソニー株式会社 CSNC B&Pカンパニー 開発部

〒141-0001 東京都品川区北品川6-7-35
Tel: 03-5448-7074 E-mail: shiomoto@av.crl.sony.co.jp

あらかし 将来のデジタル放送システムで用いられる多重化モデルでは、入力として多種多様なコンテンツを扱うとともに、限られた伝送帯域下においても同期を確保しながら柔軟かつ効率よく多重する統合化技術が必要となる。本稿では、可変レートの入力ストリームを扱う一多重化モデルを定義し、多重化ストリームにおける同期管理上の制約条件について論じ、多重化時に発生するデータ遅延を評価するための新たな指標の提案を行う。さらに、その評価指標を用いた同期管理に重点を置く多重化制御手法の提案を行うとともに、シミュレーション実験により提案手法の有効性を示す。

キーワード MPEG2, 多重化制御, 可変ビットレート, 同期管理

A Study of Synchronization Control Method in Multiplexing Model for Digital Broadcasting

Shoji Shiomoto Tetsuo Sumida

R&D Dept., B&P Company,
Communication System Solutions Network Company,
Sony Corporation

6-7-35, kitashinagawa Shinagawa-ku, Tokyo, 141-0001 Japan
Tel:+81-3-5448-7074 E-mail:shiomoto@av.crl.sony.co.jp

Abstract

In a bit stream multiplexing model used for the future digital broadcasting systems, establishment of the integration method which can deal with various contents and perform under the severe condition for transmission band width is desired. This paper introduces concept of a new parameter for delay estimation of data in multiplexing model. We also propose a new type of algorithm for multiplex operation to keep the bit stream in synchronization, which is robust even in momentary traffic congestion, and verify its performance through the simulation of bit stream multiplexing.

key words MPEG2, multiplexing control, variable bitrate, synchronization

1. はじめに

将来、より高度なサービスを提供するデジタル放送を実現する上で、多量の映像情報を含む多種多様なコンテンツを柔軟かつ効率的に多重化し、限られた伝送帯域を有効活用する統合化技術が必要となる。その際、多重化時に扱うストリーム発生源としては、映像や音声の高能率符号化装置の他、データサーバや、別の多重化装置等が考えられ、各装置から出力されるストリームは、転送レートが一定でなかったり、データ遅延を含んでいるなど、様々な状態が想定される。そのような各種ストリームを複数入力し、ストリームの同期を確保しながら必要最小限の帯域で効率的に多重化する手法の確立が望まれている。

本稿では、映像音声等、同期復号再生が要求される符号化ストリームを複数入力して多重する多重化モデルを定義し、多重時に発生するデータ遅延についての新たな評価指標を導入する。つづいて、多重化制御時において、受信装置側のバッファ正常動作の検証の必要性について述べ、多重時の一時輻輳状態にも対応する多重アルゴリズムを提案し、多重化動作シミュレーションによる検証結果を示す。

なお本研究は、通信・放送機構の委託研究「ISDB 技術に関する研究開発」の一環として行ったものである。

2. 多重化モデルと多重条件

本検討における多重化モデルを図1に示す。

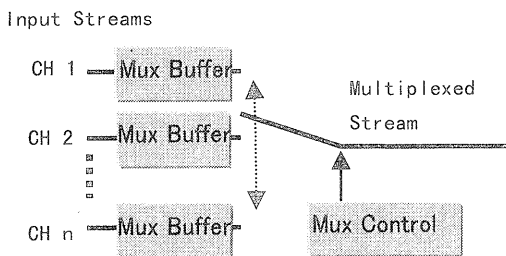


図1 本検討における多重化モデル

符号化、復号化の最小単位であるアクセスユニット(AU)毎に同期復号情報を有するストリームデータを複数 CH で入力する。多重化制御部は、多重出力レートによって決まるパケット

周期毎に多重 CH を選択し、多重バッファから 1 パケットずつデータを読み出すことにより、全データを欠落なく多重し出力する。以下では、多重化制御部における多重 CH 選択のための方法を多重アルゴリズムと呼ぶことにする。

次に、入力ストリームのレート変動について検討する。VBR 符号化された映像ストリームは、設定された平均符号化レートに対し、GOP 単位でレートが上下に変動する場合が一般的である。この場合、0.5 秒程度の時間単位でレート変動が生じていると考えられる。また、MPEG2 規格では、プロファイル/レベルによりビットレート上限が規定されており、上限値を超えないクロックでストリームのバースト転送を行うことも許容される。この場合、パケット単位程度の時間単位でも大きなレート変動が生じるものと考えられる。

このような入力に対応するため、本多重化モデルでは、各入力ストリームのレートについては、設定レートを中心とする変動を許容し、その際 CH 間で依存しないタイミングで変動してもよいものとする。一方、出力レートについては、設定入力レートのトータル値に等しく設定する。したがって、瞬時におけるトータル入力レートは出力レートを中心として上下に変動し、一時輻輳状態があることを想定する。図2にこのモデルに適合する一例として、入力 CH 数を3、設定レートに対するパケット単位でのレート変動率を各入力で±100%としたストリームを入力した場合に、パケット単位で計測されるトータル入力レートの対出力レート比の時間推移を示す。

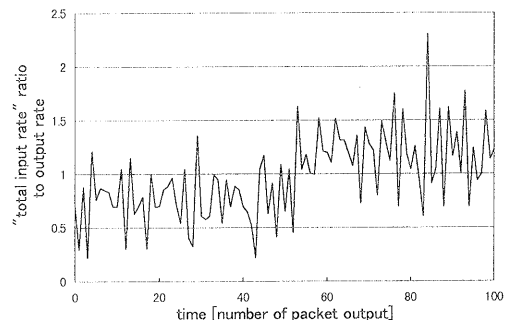


図2 トータル入力レートの対出力レート比の一例 (入力 CH 数=3)

3. 同期管理指標の導入

多重化処理における同期管理では、受信側のバッファ (STD バッファ) を破綻させないようにストリームを多重すること、およびビットストリーム中の DTS が示すデコード時刻に復号が可能ないように多重出力を完了することが必須であり、MPEG2 Systems においても規定されている [1]。STD バッファについては、破綻させないことのみが重要となるが、DTS の制約については、デコード時刻に対してどの程度時間的余裕を残して多重を完了するかが、多重化効率の点から重要であると考えられる。そこで、ストリームの各 AU を出力完了した時点から、各 AU に対応する DTS が示すデコード時刻に至るまでの時間を DTS マージンと定義し、多重化におけるデータ遅延を表す評価指標として用いる。ここで、入力ストリームの DTS マージンをオリジナル DTS マージンと名づける。オリジナル DTS マージンはデータ遅延を受けない基準となる DTS マージンとみなすことができる。複数 CH 入力の多重動作により、DTS マージンが低減し負の値となることは、DTS の制約違反による同期破綻を意味する。図 3 に MPEG2 で符号化された映像符号化ストリーム (PES) を多重することにより得られた各 AU のオリジナル DTS マージンおよび同一ストリームの DTS マージンの推移の一例を示す。符号量が非常に大きい AU や、過去に多重動作を受けデータ遅延を含むストリーム等を多重入力とする際は、図のように入力ストリームのオリジナル DTS マージンが 0 に接近している場合が有り得る。さらに、トータル入力レートと出力レートに対する超過の度合い、また適用する多重アルゴリズムによっては、多重動作により図のよ

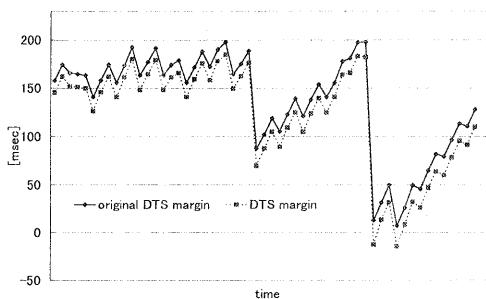


図 3 オリジナル DTS マージンと DTS マージンの推移例

うに DTS マージンが低減し同期破綻をきたすことがある。本検討では、DTS マージン低減の抑制を目的とし、オリジナル DTS マージンをできるだけ保持する多重アルゴリズムの検討を行っている。

4. 多重アルゴリズム

4.1 従来のアルゴリズム

多重 CH を選択する際の基本方針として、各入力の情報発生量に比例した割合で CH を選択する方法が考えられる。パケット周期毎に多重 CH を 1 パケットずつ選択する段階でそれを達成するためのアルゴリズムとして次の方法があげられる。

(方法 a) 多重バッファ蓄積量最大の CH を選択

筆者らは過去、図 1 で表される多重化モデルの入力を可変レート対応とし、方法 a を適用し、「トータル入力レート \leq 出力レート」という条件が常に成り立つ場合において、多重バッファの蓄積量上限値、つまり所要バッファサイズを評価指標として多重遅延量を見積もった [2]。その結果、所要バッファサイズは CH 数の増加とともに単調増加となるが、増加率は減少し、実際に取り扱う程度の CH 数であれば、数パケット程度のサイズで抑えられることがわかった (例えば、CH 数が 10 では 4 パケット以内、50 では 6 パケット以内)。つまり、多重時における輻輳状態のない条件では、方法 a によって低データ遅延での多重が可能であった。

4.2 仮想 STD バッファ検証の必要性

方法 a では CH 間での多重バッファ蓄積量を平滑化する作用をもつため、他のアルゴリズムに比べ、特定 PID のパケットが連続的に多重される頻度は少なく、STD バッファの破綻、特にオーバーフローによる破綻は生じにくいと考えられる。そこで、方法 a を適用した場合に、MPEG2 MP@ML の映像のトランスポートストリーム用に規定する STD バッファ動作の制約に抵触する可能性を検討した結果を述べる。

1) オーバフロー禁止

同一 PID のパケットが長時間にわたり連続的

に多重されたり、短時間であるが連続多重が間欠的に繰返され、STD バッファの蓄積量が上昇していく場合には、オーバフローの危険性がある。方法 a においては、多重化モデルへのパケット単位で計測した入力レートの上限值 $I_{max}[bps]$ と多重出力ビットレート $R_{out}[bps]$ がわかれば、同一 PID パケットの連続多重回数の上限値が求められる。すなわち、最大蓄積量多重バッファとそれに次ぐ蓄積量を有する多重バッファ間の蓄積量差分値 Δ が上限値をとってから、蓄積量最大の CH からの多重を繰返しながら、 Δ が 0 になるまでの上限パケット数を求めればよく、次式が成立する。

$$\text{同一 PID パケットの連続多重回数} \leq (R_{out} + I_{max}) / (R_{out} - I_{max}) \quad \dots (1)$$

また、1 パケット周期における STD バッファの蓄積量の増減量については、各バッファへの入力レート、リークレートにより算出可能である。したがって、「同一 PID パケットの上限連続多重回数 + 1」パケット後の TB, MB の蓄積量増減を判別することにより、オーバフローの可能性の有無が判定できる。

例えば、 $I_{max} = 15Mbps$ 、 $R_{out} = 27Mbps$ の場合に、TB のオーバフローの可能性の有無を判定する。同一 PID の上限連続多重パケット数は式 (1) より 3 と求められる。一方、1 パケット周期における TB の蓄積量変化については、パケット長を $p[\text{byte}]$ とすると、多重された場合 $p/3$ 増加し、多重されなかった場合 $2p/3$ 減少する。よって、「同一 PID の 3 パケット多重 → 別 PID の 1 パケット多重」というシーケンスにより、蓄積量は $p/3$ 増加する。したがって、このシーケンスが繰返されることにより、TB のオーバフローの可能性があると判定できる。実際に STD バッファ動作を検証可能な多重化動作シミュレーションを行ったところ、上記パラメータを用いた場合、TB のオーバフローが発生する例が確認できている。

2) 1 秒ルール

TB, MB については連続する 1 秒間に 1 度は空にすべき制約がある。TB, MB のリークレートはエレメンタリストリームの符号化レートの上

限値に等しいか、その 1.2 倍程度である。したがって、その符号化レート上限付近に及ぶ高レートのストリームを多重したり、エレメンタリストリームにとってのオーバヘッドを非常に多く含むデータを多重した場合には、STD バッファに入力する平均的なレートがリークレート並みに高くなることが想定され、ルール違反の可能性が生じる。

以上より、2. で設定した条件に対応する多重アルゴリズムを構築する際には STD バッファの正常動作を保証する機構が必要であるといえる。その実現方法については、同一 PID パケットの連続多重に制限を加えるなど方法も考えられるが、STD バッファの破綻までの余裕を最大限に生かしているとは限らず、効率的とはいえない。実際に STD の各バッファの蓄積量をパケット周期でシミュレートすることにより検証し、破綻状態に切迫していることを検知した CH については多重を禁止し、STD バッファの破綻を回避する方法が、多重化効率の点から望ましいと考えられる。

4.3 各種アルゴリズムとその問題点

方法 a によれば、トータル入力レートの増大による一時輻輳状態の際には、バッファ蓄積量が各 CH で平均的に増大し、DTS マージンも低減する。したがって、DTS の制約違反に対する耐性に優れているとはいえない。そこで、積極的に DTS マージンの確保を図る以下の 2 つのアルゴリズムについて検討した結果を述べる。

(方法 b) 多重バッファ内の先頭 AU のデコード時刻までの時間余裕 (lefttime とする) が最小の CH を選択。

(方法 c) 多重バッファ内に AU 最終データを保持する CH があれば優先的に選択。該当 CH がない場合は方法 a を適用。

ただし両アルゴリズムとも、上に述べたような STD バッファ破綻回避機構を有するものとする。これら 2 つのアルゴリズムでは、方法 a に比べ、DTS マージン低減が抑制できる例が確認できている。しかし、方法 b では、多重バッファ蓄積

量の CH 間平滑化作用がなく、原理的にある特定 CH の多重バッファのみにデータが集中しやすい。そのため、もしある特定 CH の lefttime が小さくなった時点で、その CH のみで多重が連続すると、STD バッファ破綻回避機構が機能し、NULL パケットを送出し、DTS マージンを著しく低減させるという弊害をもつ。一方、方法 c では、AU の最終バイトを検出しない限り DTS マージンの低減抑制作用がはたらかず、機能的に十分とはいえない。また、優先多重により CH を選択している間は、多重バッファ蓄積量の CH 間平滑化作用が止まり、方法 b と同様の問題が生じる。

4.4 提案アルゴリズム

以上の問題点を踏まえ、提案するアルゴリズムでは、方法 b で用いたパラメータ lefttime と、多重バッファ中の先頭 AU による蓄積分 (oc とする) を用い、多重優先度を表す関数 $f(\text{lefttime}, \text{oc})$ を導入する。例えば、入力 CH 数を $n = 4$ とした場合、図 4 のように与える。ただし、oc はパケット数で、また lefttime は単位パケット時間で換算した値である。図 4 では oc の増加に伴う $f(\text{lefttime}, \text{oc})$ の傾きを 1 としている。それに対し、時間の経過とともに減少する lefttime の減少に伴う $f(\text{lefttime}, \text{oc})$ の傾きについては、その傾きを α とすると、 $\text{lefttime} \geq 4$ のとき $\alpha = 1/n$ 、 $\text{lefttime} < 4$ のとき $\alpha = 16n$ としている。図 4 を一般化すると次式で表すことができる。

$$f(\text{lefttime}, \text{oc}) = \text{oc} - \alpha (\text{lefttime} - \beta) \dots (2)$$

ただし、 $\text{lefttime} \geq \beta$ のとき $\alpha = \alpha_0$

$\text{lefttime} < \beta$ のとき $\alpha = \alpha_1$

すなわち、 α は多重優先度を定める際の oc に対する lefttime の重み付けを表し、 β は α を lefttime に応じて 2 段階に分ける場合、 α が切り替わる際の lefttime の値を表す。提案するアルゴリズムは、各 CH における STD バッファ破綻回避機構、および式 (2) を用いるものであり、STD バッファの破綻のおそれのない CH のうち、 $f(\text{lefttime}, \text{oc})$ の最大となる CH を選択する方法である。本方法によると、lefttime が減少するにつれ、oc の抑制機能を漸化的に

高める制御が可能となる。さらに、lefttime の減少に伴い、 α をより大きくすることにより、oc の抑制機能を一層高める制御が可能となる。

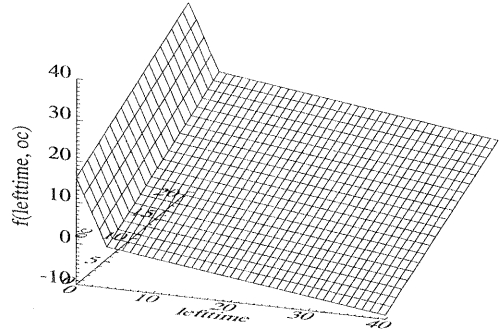


図 4 $f(\text{lefttime}, \text{oc})$ の特性例

5. 多重化動作シミュレーション

以上で述べた多重アルゴリズムについて、計算機上で 2 種の多重化シミュレーション test1 および test2 を行った結果を示す。提案アルゴリズムで用いる式 (2) については全入力 CH に対して図 4 で示される特性を用いる。入力は 4CH の映像 PES とし、test1 が異種データ (平均レートが 5.87M, 4.75M, 5.87M, 8Mbps)、test2 が同一データ (平均レート 5.87Mbps) で構成され、平均レートに対し、パケット単位では変動率 $\pm 100\%$ の範囲でレートが変動する 8 秒分のストリームとする。また入力レートは、test1 では各 CH で互いに独立に変化するが、test2 では CH1, 2, 3 については同一、CH4 のみ他と異なるタイミングで変化する。図 5 および図 6 にそれぞれ 100msec および 1sec 単位に計測されるトータル入力レートの対出力レート比の時間推移を示す。図示を省略するが、レート計測単位がパケット単位の場合、この割合の最大値は test1 で 2.5、test2 で 3 にまで及ぶ。つまり入力レートについては、その計測時間単位が比較的長い場合にはほぼ出力レートに等しいが、短い場合には出力レートを中心として大きく変動するストリームを扱うことを示している。

このシミュレーションでは、多重化動作により得られる DTS マージンの推移に注目すると、DTS マージンの正負の判別により、同期破綻発生の有無を確認できる。図 7 および図 8 に、DTS マージンの最小値およびオリジナル DTS マージンの最小値を示す。test1 では、方法 a

に比べ他の方法での DTS マージン低減抑制効果が認められる。一方 test2 では、方法 b および方法 c において、CH4 の DTS マージンの著しい低減が認められる。これは CH4 で lefttime が小さくなっているにもかかわらず、その多重バッファのみにデータが蓄積され、STD バッファ破綻回避のため、出力タイミングが遅れたためである。提案アルゴリズムによる結果が test1, test2 において唯一 DTS 制約を守っており、一時輻輳状態においても DTS 制約違反に対し耐性ある良好なアルゴリズムといえる。

6. まとめ

本稿では、入力帯域が瞬時的に出力帯域を超過する多重時の輻輳状態を想定した多重化モデルを設定し、入力データを削減せずに多重する条件において、多重化制御における CH 選択のアルゴリズムを提案した。その際、多重化バ

ットストリームの同期管理上の制約を明らかにし、多重時のデータ遅延を評価する新たな指標として DTS マージンを導入した。提案手法は、受信バッファの正常動作を保証し、一時輻輳状態においても DTS 制約違反に耐性あるアルゴリズムであり、多重化動作シミュレーションによりその性能を検証した。したがって、可変レートで入力するストリームを多重化または再多重化する際の同期管理手法としての有用性が期待できる。今後、実時間で動作するハードウェアによる実証システムを構築する予定である。

参考文献

- [1] 塩本他：“可変レート入力の多重化モデルの一検討”，1998 年信学会通信ソサイエティ大会予稿集
- [2] ISO/IEC 13818-1(MPEG2 Systems),1995

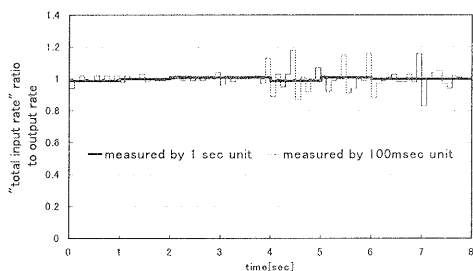


図5 トータル入力レートの対出力レート比 (test1)

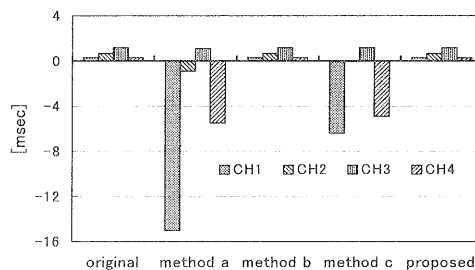


図7 DTS マージンの最小値(test1)

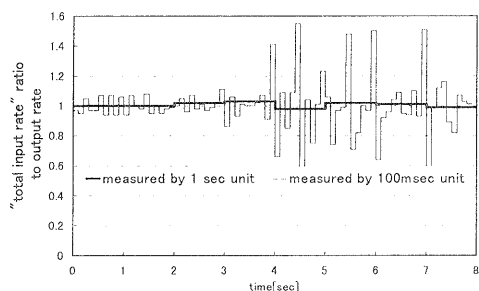


図6 トータル入力レートの対出力レート比 (test2)

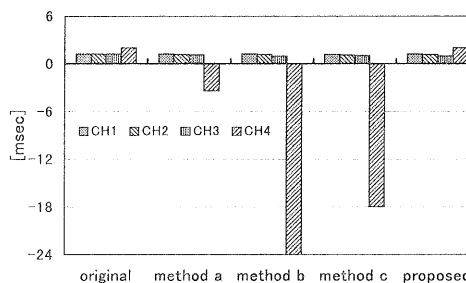


図8 DTS マージンの最小値(test2)