

並列分散型連続メディア処理モデル HEARTS における同時性保証機構

3E-10

小倉 毅

小野 諭

高橋 直久

{ogura, ono, naohisa}@slab.ntt.jp

NTT ソフトウェア研究所

1 はじめに

ジッタを含む非同期な並列分散環境では、複数の送信地点で同時刻にサンプリングした連続メディアデータを、受信側でリアルタイムに、正確に同時刻に出力することが困難である。本稿では、広域周波数同期によって非同期な並列分散環境で連続メディアの高品質なデジタル処理を可能にする HEARTS アーキテクチャ [1] の概要と、HEARTS の構成要素を用いて上記のような同時性保証を実現する方法を述べる。

2 HEARTS アーキテクチャの概要

HEARTS は、汎用の並列処理や ATM などの高速通信との相性がよい非同期な環境のもとで、高品質な連続メディア処理を可能にすることを目的としたアーキテクチャである。システムを高精度な周波数源に同期して動作する同期処理部と非同期な処理部とに分離し、両者の境界でタイムスタンプによりメディアの時間軸の保存や回復をおこなう。メディアの時間軸をデータ化して扱うことにより、非同期処理と高品質なメディア処理の共存を可能にする。

高精度周波数源として、ISDN などのデジタル通信網から抽出したクロック（以下、基準クロック）を用いる。データ伝送網を介して周波数情報をやりとりする必要がなく、通信網のトポロジ依存にせず高精度の周波数同期が実現できる。

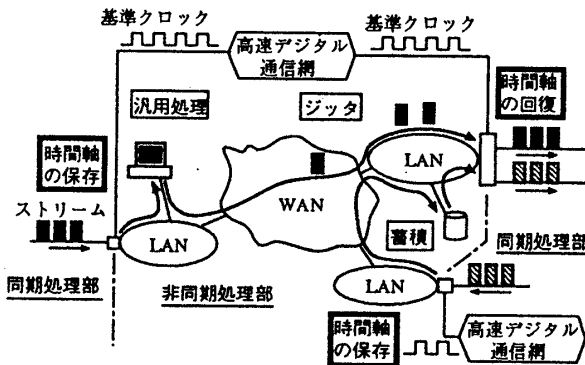


図 1: HEARTS アーキテクチャの概要

タイムスタンプ処理は、基準クロックをカウントする FSC (Frequency Synchronized Clock) を内部にもつ非同期化/同期化部でおこなう。非同期化部は、サンプリング開始時刻  $T$ 、ストリームの継続時間  $\Delta X$  (省略時は  $\infty$  とする) の二つのパラメータにもとづいて、自身の FSC の値が  $T$  から  $\Delta X$  の間、FSC の値をタイムスタンプとして付与しながら、パケットを同期処理部から非同期処理部へ送出する。同期化部では、パケットのタイムスタンプ値  $X$ 、ストリームの継続時間  $\Delta X$  (同上)、出力開始時刻  $Y$  の三つのパラメータにもとづいて、タイムスタンプ値が  $t$  ( $X \leq t \leq X + \Delta X$ ) のパケットを自身の FSC が  $(Y + t - X)$  の時に同期処理部に出力する。図 2 に示すように、各 FSC の周波数同期により時間間隔を正確に再現することができる (等時性の回復)。

The communication mechanism for ensuring simultaneity of continuous media streams in parallel and distributed continuous media processing model "HEARTS".

Tsuyoshi OGURA, Satoshi ONO, Naohisa TAKAHASHI  
NTT Software Laboratories

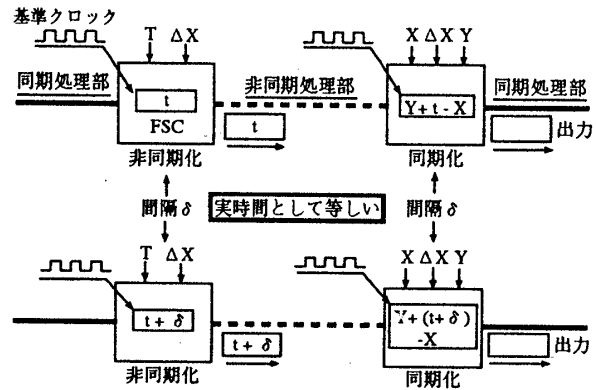


図 2: 同期化/非同期化部の動作

3 同時性保証機構

本章では、複数の送受信地点の組から成るシステムにおいて、送信側でのデータ相互の時間軸上の位置関係を受信側で正確に再現しながら出力する同時性保証通信の実現方法を述べる。

3.1 設計方針

1 ~ 6 で定められるシステムにおいて、無限長でフレーム境界のない速度  $V' (< V)$  の  $n$  本のストリームに対して、(1) ~ (6) の特徴をもつ同時性保証通信機構を実現する。

1. 送受信地点の組の数  $n$
  2. 各組での通信の最大遅延時間  $D_{maxi} (1 \leq i \leq n)$
  3. 各組での通信の最小遅延時間  $D_{mini} (1 \leq i \leq n)$
  4. 各組の通信路の帯域  $V$
  5. 各受信地点のバッファ容量  $B_i (1 \leq i \leq n)$
  6. 制御パラメータを全ての送受信地点に通知するのにかかる最大時間  $U$
- (1) 送信側のデータのサンプリング開始時刻  $t_1$ 、受信側の出力開始時刻  $t_2$  が指定されたとき、以下の (a) ~ (c) の異常の有無を判定する。さらに、異常なしのとき、同時刻にサンプリングしたデータを同時刻に出力する。
- (a)  $t_1$  が小さすぎていずれかの送信地点でサンプリングミスが生じる可能性がある
  - (b)  $t_2 - t_1$  が小さすぎていずれかの受信地点でデータの欠落が生じる可能性がある
  - (c)  $t_2 - t_1$  が大きすぎていずれかの受信地点でデータの欠落が生じる可能性がある
- (2) フロー制御をおこなう必要がない
  - (3) 各ストリームの等時性が回復できる
  - (4) サンプリングの開始を、上記 (1) の (a) の異常が発生しないことを保証しつつ、できるだけ早い時刻に設定できる
  - (5) 出力の開始を、上記 (1) の (b) の異常が発生しないことを保証しつつ、できるだけ早い時刻に設定できる
  - (6) 広域分散制御を可能にするため、各送受信地点で時刻管理がローカルにおこなえる

3.2 HEARTS の構成要素を用いた同時性保証通信実現の概要

HEARTS アーキテクチャにもとづいて 3.1 節の同時性保証通信を実現するシステムの構成を図 3 に示す。非同期化部/同期化部 (以下,  $S_i, R_i$ ) を各送受信地点に設置する。

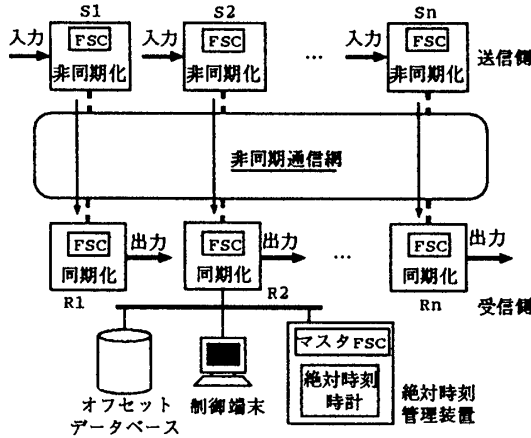


図 3: 同時性保証通信のためのシステム構成

$S_i$  のサンプリング開始時刻と  $R_i$  のパケットのタイムスタンプ値を表すパラメータに時刻  $t_1$  に相当する FSC の値 (それぞれ,  $C_{S_i}(t_1), C_{R_i}(t_1)$ ),  $R_i$  の出力開始時刻を表すパラメータに時刻  $t_2$  に相当する FSC の値 ( $C_{R_i}(t_2)$ ) をセットすれば, 2 章で述べた非同期化部/同期化部の動作定義と各 FSC の周波数同期により, 非同期化部のサンプリング時におけるデータ相互の時間軸上の位置関係を, 同期化部からの出力時に正確に再現することができる。図 4 において, 2 つのパケット A, B のサンプリング時のオフセット  $\delta$  が受信側の  $R_i, R_{i+1}$  からの出力時に再現される。したがって, 同時性の保証が可能となる。

各 FSC の動作周波数が高い精度で同期しているので, 3.1 節 (1) の (b), (c) の異常が発生しないことを保証できれば, 以後フロー制御をおこなわなくてもデータが欠落することなく同時にサンプリングしたデータを必ず同時刻に出力することができる。すなわち, 3.1 節の (1), (2), (3) を満足することができる。

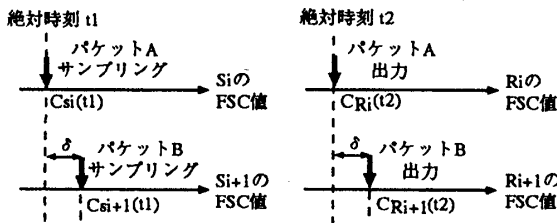


図 4: 同時性の回復

3.1 節 (1) の (b), (c) の異常が発生しないことを保証し得るための前提条件として,  $S_i, R_i$  のバッファ容量が以下の条件を満足する必要がある。  $S_i$  から送り出されるパケットは最大  $D_{maxi}$  の間  $S_i$  中に滞留する可能性がある。この間にデータの欠落が発生しないことを保証するためには, 以下の容量のバッファが  $S_i$  上に必要である。

$$D_{maxi} \times V$$

また, 各  $R_i$  は, ストリームの先頭パケットが到着した時点から全ての  $R_i$  に先頭パケットが届くことが保証できる時刻までに最長

$$\max_{1 \leq i \leq n} (D_{maxi}) - D_{mini}$$

だけ待つ可能性がある。この間にデータの欠落が発生しないことを保証するためには, 上記の値に  $V$  を掛けた容量のバッファが  $R_i$  上に必要である。

$S_i, R_i$  のバッファ容量が以上の条件を満足することを前提としたうえで, 3.1 節 (1) の (a) ~ (c) の異常が生じないことを保証するための条件を与えるため, および, (4), (5) の設定をおこなうために,  $t_1, t_2$  と各種パラメータとの関係を求める必要がある。また, (6) を実現するためにはある時刻をローカルな各 FSC の値に変換する方法が必要である。以下, これらについて述べる。

3.3 指定時刻の設定方法

3.1 節 (1) の (a) ~ (c) の異常が生じないことを保証するため, および, (4), (5) を実現するために  $t_1, t_2$  が満たすべき条件式を示す。

(a) 
$$t_0 + U \leq t_1$$
  
 $t_0$  は  $t_1, t_2$  を指定した時刻。

(b) 次式によって,  $t_2$  までに全ての  $R_i$  ヘストリームの先頭パケットが到着していることを保証すればよい。

$$\max_{1 \leq i \leq n} (D_{maxi}) \leq t_2 - t_1$$

(c)  $t_1, t_2$  間に  $R_i$  に届くデータ量は  $V \times (t_2 - t_1)$  以下なので,

$$\forall i \quad t_2 - t_1 \leq B_i / V$$

(4) (a) についての式の不等号を等号におきかえたときの  $t_1$ 。

(5) (b) についての式の不等号を等号におきかえたときの  $t_2$ 。

3.4 絶対時刻と FSC の対応

各 FSC は基準クロックによって周波数同期がかかっているため, それぞれローカルな値をもっている。それらのオフセットは一定である。そこで, システム内に一つマスター FSC を用意し, これを基準とした各 FSC のオフセットをデータベース化する (オフセットの測定方法については [2] を参照)。

絶対時刻管理装置に, 外部からのアクセス時における自身の絶対時刻時計の値とマスター FSC の値をラッチし, これらの値と基準クロックの周波数とから, 任意の絶対時刻におけるマスター FSC の値を計算する機能をもたせる。これにより, 時刻  $t$  におけるマスター FSC の値  $C_{mas}(t)$  が求まる。

$C_{mas}(t)$  と FSC のオフセット情報とから,  $S_i$  および  $R_i$  の同時刻における FSC の値  $C_{S_i}(t), C_{R_i}(t)$  ( $1 \leq i \leq n$ ) が求まる。

4 おわりに

本稿では, ジッタを含む非同期な環境で同時性保証通信を実現する方法を述べた。今後は, 上記手法で用いた各種パラメータの測定方法を検討し, 詳細設計, 製作, 実アプリケーションへの適用, 評価と進めていく。

謝辞

本研究をご支援下さる後藤滋樹広域コンピューティング研究部長をはじめ, 同部の皆様に感謝いたします。

参考文献

[1] 小倉, 小野, 高橋, "非同期な並列分散環境における実時間連続メディア処理", 信学技報, Vol.94, No.573, pp.33-40.  
 [2] 山下, 小野, "高速デジタル網を用いたクロック周波数同期", 信学技報, Vol.94, No.573, pp.25-32.