

マルチメディア同期機構の試作と評価

岡村耕二 稲垣英太郎 松尾聡
荒木啓二郎 福田晃
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

我々はサービスの品質の保証ができるマルチメディア処理環境の構築に関する研究を行っている。その中でマルチメディア処理における同期処理は重要な研究課題である。そこで、複数のメディアをネットワーク経由で受信し、同期を取りながら再生する同期機構の試作を行ない、この同期機構を用いて、いくつかの種類の同期方式や、システムのパラメータや条件を変えて実際にマルチメディア同期処理を行なった。本稿では、まず、我々が提案するマルチメディア処理における同期処理について述べ、次に試作した同期機構の仕組みを説明する。最後に評価結果に基づいてマルチメディア同期について考察を行なう。

Implementation and Evaluation of Multimedia Synchronization Mechanism

Koji OKAMURA, Eitaro INAGAKI, Satoshi MATSUO
Keijiro ARAKI and Akira FUKUDA
Graduate School of Information Science
Nara Institute of Science and Technology

We study on the development of Multimedia processing environment which can guarantee the QOS (Quality of Service). In our project, the synchronization is one of important problems. We implemented the Multimedia Synchronization Mechanism which can receive the data from the network and can synchronize the media. We evaluated some kind of synchronization processing with changing the parameters of system. In this paper, we explain the synchronization processing for Multimedia processing and its implementation. Then we report the result of the evaluation and discuss the Multimedia synchronization based on the result.

1 はじめに

近年、マイク、スピーカ、カメラおよびマイクといった表示メディア [1] への入出力ドライバを備えたワークステーションや、ネットワークの世界規模の相互接続によって、これらの計算機やネットワークを用いた電子的なコミュニケーションを世界規模で行なえる可能性が高まってきた [2][3]。

しかしながら、現在のオペレーティングシステムではこれらの表示メディアへの入出力は従来の文字ベースの入出力と同じ方式を用いているため、実際にコミュニケーションに利用するといくつか問題がある [4][5]。この問題の一つとして現在のオペレーティングシステムには、表示メディアの性質である連続性の保証を行なうサービスが存在しないことをあげることができる。

我々はこの問題を解決するために、表示メディアの連続性などのサービスの品質の保証をするマルチメディア処理環境の構築をオペレーティングシステムの開発を中心にこなっている [6]。

本稿では、特にマルチメディア処理における同期処理に着目して、同期機構を試作し、その同期機構上でシステムのパラメータや条件を変更して実際に同期処理を行なった評価結果を報告する。本稿は 2 章でメディア間同期について説明し、3 章で試作した同期機構の説明を行ない、4 章で評価結果の報告および考察を行なう。

2 メディア間同期

2 章では、我々の提案するマルチメディア処理モデルおよびその処理モデルで保証されるサービスの品質について述べる。そして、そのサービスの品質の具体的な管理を行なっている QOS ポイントで扱っているメディア間同期の種類の説明を行なう。

2.1 マルチメディア処理モデル

マルチメディア処理では、まず、ある計算機上で音声や映像といった複数の知覚メディアがマイクやカメラといった表示メディアで録音もしくは録画され、表現メディアに符号化される。次に表現メディアはディスクなどの蓄積メディアやネットワークなどの伝送メディアを通じて、別の計算機上に運ばれる。最後にその計算機上で、表現メディアはもとの知覚メディアに復号化され、スピーカやモニタといった表示メディアで再生される [1]。

この一連のマルチメディア処理では、録音/録画された知覚メディアの再生の品質が重要である。この品質は、それぞれのメディアが正確に再生されているかという品質と、複数のメディアが録音/録画された時と同じタイミングで再生されているかという品質に分けることができる。

我々はこれらの品質を次のように定義した。

単一メディアの品質

単一メディアの品質とは、そのメディアが再生される時間間隔 (時間的解像度 [7]) と、再生される情報量 (空間的解像度 [7]) であり、時間間隔が短く情報量が多い場合の品質が高い。

メディア間同期の品質

メディア間同期の品質とは、同時に録音/録画された複数のメディアが再生させる時のメディア間の相対的な時間差であり、0 の場合の品質が最も高い。また、録音/録画は同時でなくても、後に時間的な関係を付けられたメディア間の同期的な再生の品質もこのメディア間同期の品質として扱うことができる。

我々はこれらの品質はシステムによって保証されるべきであると考え、サービスの品質の保証をしながらマルチメディア処理を行なう図 2-1 のようなマルチメディア処理モデルの提案を行なった [8]。

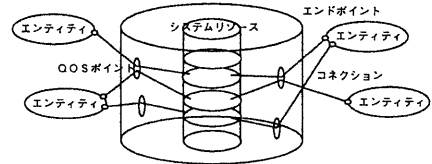


図 2-1: マルチメディア処理モデル

マルチメディア処理モデルは、プロセスやデバイスなどマルチメディアデータの通信および処理を行なう主体であるエンティティ、マルチメディア処理のために必要なシステムリソースを抽象化したシステムリソース、エンティティのデータの出入口であるエンドポイント、エンティティ間でデータの交換を行なうための仮想伝送路であるコネクションおよび、コネクション間同期を行なう QOS ポイントで構成される。

2.2 メディア間同期とその種類

同期するコネクション群には 1 本のマスタコネクションと複数のスレーブコネクションが存在する。マスタコネクションは他のコネクションの影響を受けることなく単一メディアの品質が保証される。一方これに対してスレーブコネクションは、マスタコネクションと同期を取りながら再生されてゆく。マスタコネクションとの同期の品質を保証するためにデータスキップや遅延挿入によって単一メディアの品質が保証されない場合もあり得る [11]。

サービスの品質の管理は、マルチメディア処理では QOS ポイントで行なわれている。我々は、コネクションに対する同期処理の施し方によって、同期を次の 3 種類に分類した。それらの同期の振舞いを 図 2-2、図 2-3 および、図 2-4 で説明する。図中、上のコネクションがマスタコネクションで下のコネクションがスレーブコネクションを示し

ている。データが QOS ポイントに達するまではならぬ制約を受けずに QOS ポイントに達する (図中 QOS ポイントより右側)。一旦 QOS ポイントを通過すると単一メディアの品質が保証されるため、決められた周期でエンティティに送られてゆく (図中 QOS ポイントより左側)。

それぞれの同期の振舞いの説明を行なう。

完全型同期

完全型同期とは、図 2-2 に示すように、対象となるコネクション間で常に同期処理が行なわれている同期である。

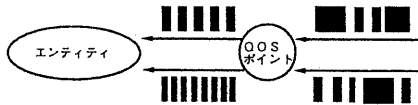


図 2-2: 完全型同期

イベント型同期

イベント型同期とは、通常は同期処理を行なわれず、なんらかの形でイベントが発生すると対象となるコネクション間で同期処理が行なわれる同期である。図 2-3 において白抜きの長方形がイベントを表している。

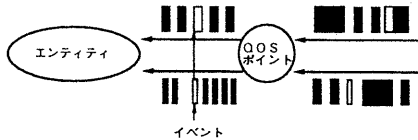


図 2-3: イベント型同期

部分型同期

部分型同期とは、対象となるコネクション間である一定の間同期処理が行なわれる同期である。図 2-4 では、網かけの長方形のデータは同期して処理されている。

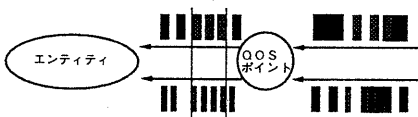


図 2-4: 部分型同期

本稿では、我々が提案したこれらの同期の実際の挙動を評価するために同期機構の試作を行ない、実際にこれらの同期処理の評価を行なった。

3 同期機構の試作

3 章ではまず、同期機構を実現するために必要な構成要素を挙げ、次に具体的な実現方法について説明する。

3.1 同期機構の構成要素

同期機構の主な構成要素は「コネクションマネージャ」、「同期マネージャ」および「共有バッファ」である。コネクションマネージャはメディアデータの受信を行ない、同期マネージャは受信したメディアデータをエンティティへ同期を取りながら送る。共有バッファはコネクションマネージャ、同期マネージャ間でデータの受渡しを行なう場である。

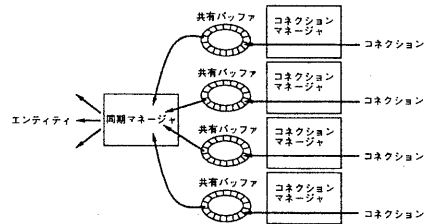


図 3-1: 同期機構

図 3-1 に示されるように、各コネクションごとに一つずつコネクションマネージャおよび共有バッファが存在する。同期マネージャは、共有バッファからメディアデータを取り出して同期を取りながらエンティティに送る。

3.2 同期機構の実現

我々は下位層はできるだけ現在存在する信頼性の高い技術を用いるという方針で、同期機構を UNIX 上のアプリケーションとして実現した。そのため、コネクションのネットワークトランスポート層としては TCP を用いて、同期機構の制御が届かない所でデータが破棄されるのを防いでいる。

次に、エンティティとして、スピーカ、マイク、カメラおよびモニタを用意した。スピーカ、マイク、カメラは、それぞれ外部デバイスとして接続しているが、モニタはディスプレイ中の X ウィンドウの一つのウィンドウである。また、マイク/カメラで録音/録画した表現メディアをハードディスクに蓄積したのも、同等に扱うことができたようにした。

それぞれのコネクションマネージャおよび同期マネージャはそれぞれ UNIX の一つのプロセスとして実現し、共有バッファは、共有メモリで実現した。共有バッファのサイズは同期機構の起動時の指定で変更可能にしている。

コネクションマネージャと同期マネージャの共有バッファを用いた通信では、セマフォを用いた相互排除が行なわれている。バッファが一杯になった時、コネクションマネージャは書き込んだデータが、同期マネージャに読み出されるまでブロックし、もしもコネクション(ソケット)に新たなデータが来ても、その読み出しを行なわない。一方、同期マネージャは、一定間隔で各バッファのポーリングを

行なっているが、バッファが空でもデータ待ちのためにブロックはしない。

4 評価と考察

本同期機構を用いて、複数の知覚メディアをネットワーク経由で送信し、イベント型同期または部分型同期を施しながら再生を行なった。実験では、まず、それぞれの同期の振舞いの比較を行ない、次に共有バッファのサイズ変更やコネクションの数の変更による各同期機構の振舞いの変化について評価、考察を行なった。

4.1 評価データ

評価用のデータとして、1フレーム 21600 bytes の連続的な画像データを 350msec 周期で約 60 秒間送り、受信側で同期を取りながら再生させた。評価は、全てのデータの再生時刻を記録しグラフ化したものに対する定量的な評価を中心に、実際の再生の様子を見ながらの定性的な評価を交えながら行なった。

同期の型としては、イベント型同期、部分型同期を取り上げた。また、バッファサイズが 1, 8, 16 の場合と、コネクションの数が 2 本の場合と 3 本の場合について評価した。

送受信の計算機には、DEC 社製の DEC 3000 を用いた。OS は、OSF/1 であり、OS のバージョンは V2.0 R.250 である。ネットワークは 10Mbps の Ethernet を用いた。送信側において、一フレームのローカルハードディスクからの読み出しは約 6.0 msec、TCP ソケットへのデータの書き込みに約 4.0 msec かかる。一方、受信側においては、TCP ソケットからの読み出しに約 15.5 msec、データの描画 (X ウィンドウの描画関数 XPutImage() を使用) に約 6.0 msec かかる。

評価用の画像は、野球のピッチングフォームを角度を変えて撮影したものをを用いた。これら 2 つのメディアは異なる時間に撮影したものであるため、2 つのメディアを再生時に完全型同期を取ることに意味はないが、異なる角度で撮影した投球フォームを同期させて再生するのは視覚的に効果があると考えた。そこで、一つのメディアをマスタコネクションとして、他のメディアをスレーブコネクションとして同期をとりながら再生する実験を行なった。イベント型同期の場合は投球モーションに入った時、イベントを発生させ同期を取った。一方、部分型同期は、一旦、投球モーションに入ると投げ終るまで同期処理を行なわせた。どちらも投球動作以外の時は同期処理を行っていない。

図 4-1 に同期機構の再生の様子を示す。

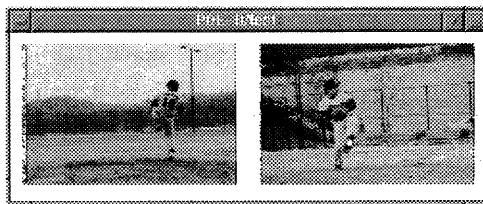


図 4-1: 再生の様子

4.2 評価結果

評価は再生結果の記録のグラフを参照しながら定量的な評価を中心に行なう。本章で扱うグラフは縦軸がフレーム(番号)、横軸が実時間(msec)である。すべてのコネクションは同じ周期で同じサイズなので、フレーム番号を論理時間 [9][10][11] として扱うことができる。図 4-2 から図 4-7 まで、いずれのグラフも、菱形でプロットされているのがマスタコネクションであり、単一メディアの品質が保証されているため、常に直線的な記録を残している。これに対して、マスタコネクションと同期をとるために断片的な記録を残しているのがスレーブコネクションの結果である。

まず、イベント型同期と部分型同期の比較を行なう。2 本のコネクションで、バッファサイズが 8 の時にイベント型同期を行なった結果を図 4-2 に、部分型同期を行なった結果を図 4-3 に示す。

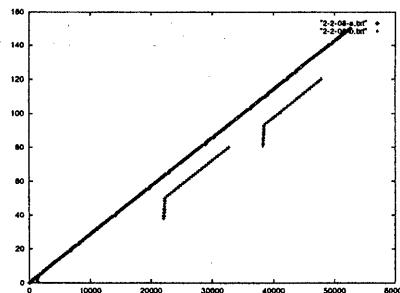


図 4-2: イベント型同期 (コネクション 2, バッファサイズ=8)

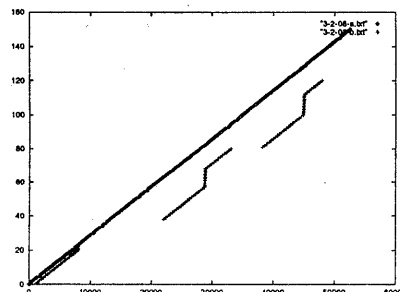


図 4-3: 部分型同期 (コネクション 2, バッファサイズ=8)

まず最初にどちらも同期処理直後にスレーブコネクションの「単一メディアの品質」が低下していることがわかる。

これは、遅延挿入によりバッファに溜められたデータが同期処理の直後にまとめて再生されようとするために起きる現象である。この単一メディアの品質の低下は、イベント型同期では同期を取るべき部分に影響している所に着目する。

本評価で用いているような画像の場合、バッファにデータが溜ると再生間隔が短くなるという品質の低下が起きるが、音声の場合、再生間隔が短くなると音の途切れがなくなり、かつ、完全型同期といった細かい同期処理は困難であることを考慮すれば、音声の場合はイベント型同期が有効であると考えることができる。一方、映像の場合は完全型同期のような細かい同期処理で同期させることは可能であるが、完全型同期はコストが高いため必要な部分だけを部分型同期すればよい。

次に、バッファサイズを変化させることの影響について評価する。コネクション2本で、イベント型同期をバッファサイズ1で行なった場合の結果を図4-4に、バッファサイズ16で行なった場合の結果を図4-5に示す。

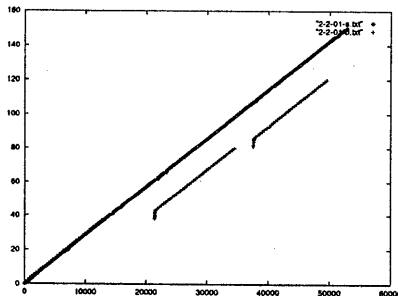


図 4-4: イベント型同期 (コネクション2, バッファサイズ=1)

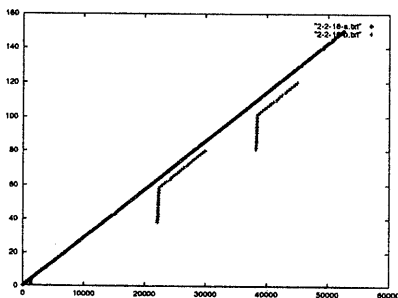


図 4-5: イベント型同期 (コネクション2, バッファサイズ=16)

バッファを用いることで、遅延挿入により再生が停止している時に再生待ちのデータを受信することができるという利点がある。図4-4と図4-5を比較すると、バッファリング許容量の差がわかる。音声の場合、受信したデータサイズに関わりなくデバイスに書き込むことができるので、バッファのサイズが大きければ、大きいほど有益である。これに対して映像の場合は、1フレームづつ「単一メディアの品質」を保証しながら再生する必要があるので、バッ

ファリングはあまり効果がないと考えられる。図4-6に、バッファサイズ1で2本のコネクションで部分型同期をした結果を示す。この場合、適切な品質で再生が行なわれていることがわかる。

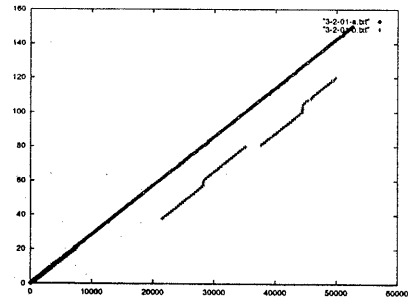


図 4-6: 部分型同期 (コネクション2, バッファサイズ=1)

次にコネクションの数を変化させた場合の影響を評価する。3本のコネクションで部分型同期をバッファサイズ1で行なった場合の結果を図4-7に示す。

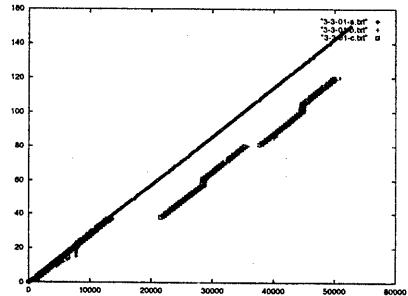


図 4-7: 部分型同期 (コネクション3, バッファサイズ=1)

3本のコネクションの場合でも2本のコネクションの場合とほとんど変わりなく同期を取ることができている。2本のスレーブコネクションは同じマスターコネクションに同期することによって互いに同期しているように再生される。

4.3 考察

同期機構を試作し、記録に基づいて定量的な評価を行なったが、最後に定性的な評価を行ないながら考察を行なう。

4.2章の評価結果から、共有バッファのサイズは扱っている知覚メディアの種類にも依存するものの、最適なサイズをチューニングしておくことが必要であることがわかる。ここでは、伝送メディアの速度を決定するネットワークの容量と、表示メディアの再生速度を主に決定するCPUの処理能力と、「単一メディアの品質」について考察を行なう。単一メディアの品質を空間的解像度は一定として、時間的解像度を単位時間当たり処理するバイト数、ネットワークは単位時間当たり伝送するバイト数、そしてCPU

は単位時間当りに表示するバイト数とすれば、これらの関係は図 4-8 のようになる。

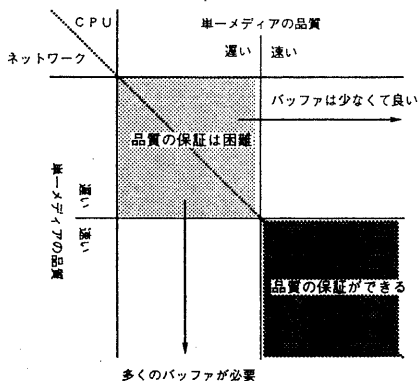


図 4-8: 単一メディアの品質とシステムが提供する品質

図 4-8 中で「品質の保証ができる」と表記している領域では、ネットワークおよび CPU が単一メディアの品質よりも高いサービスの品質を提供できている。この時、バッファの数は少なくとも良い。次に CPU が遅くネットワークは速い場合、十分なバッファがあれば、遅延は伴うものの、単一メディアの品質の保証は可能である。この場合最適なバッファの数を決定する必要がある。また、CPU は速いがネットワークが遅い場合、適切な圧縮技術を用いれば、サービスの品質の保証は可能である。バッファは少なくとも良い。最後に図 4-8 中で「品質の保証は困難」と表記している領域では、単一メディアの品質よりシステムの提供できるサービスの品質が低くて保証が困難な状況である。

5 おわりに

本稿では我々が提案したマルチメディア処理モデルのうち、QoS ポイントに着目し、いくつかの同期の評価を行なったが、実際の評価では、映像を用いた評価しか行わず、音声については、予備実験の結果を元に考察したに過ぎなかった。今後は音声と映像といった異種メディアの同期の評価を行なってゆく予定である。また、評価方法そのものについても、再生のフレームと実時間という定性的な評価結果と再生の様子をビデオカメラにとった定量的な評価を組み合わせた総合的な評価手法を構築してゆく予定である。

本稿では UNIX と TCP を用いてコネクションマネージャ、同期マネージャ、共有バッファからなる同期機構の試作したが、評価で得られたことを参考にこの同期機構を将来的にはオペレーティングシステムに組み込んでゆく予定である。

謝辞

評価用知覚メディア (ビデオテープ) の撮影に協力して頂いた奈良先端科学技術大学院大学荒木研の古木良子氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 安田, “マルチメディア符号化の国際標準”, 丸善株式会社, 1991.
- [2] S. Casner and S. Deering, “First IETF Internet Audiocast”, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp.92-97, 1992.
- [3] 海谷、中山、石田, “研究会会場でのインターネット利用の試み”, 第 48 回 情報処理学会全国大会, 7C-2 1994.
- [4] C. W. Mercer, S. Savage and H. Tokuda, “Processor Capacity Reserves for Multimedia Operating Systems”, *CMU-CS-93-157* 1993.
- [5] 岡村、田中、荒木, “QOS に基づいた電子メディアツールの評価”, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, 94-DSP-64-2 1994.
- [6] 岡村、稲垣、吉川、松尾、田中、荒木, “QOS に基づいたマルチメディア OS”, 情報処理学会 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会資料, 94-OS-63-9 1994.
- [7] H. Tokuda, Y. Tobe, S.T.-C. Chou and J. M. F. Noura, “Continuous Media Communication with Dynamic QOS Control Using ARTS with and FDDI Network,” *In Proceedings of ACM SIGCOMM '92*, vol.22, no.4, 88-98, Oct. 1992.
- [8] 岡村、吉川、稲垣、荒木, “QoS 指定可能なマルチメディアモデルの提案”, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 1993.
- [9] D. P. Anderson and G. Homsy, “A Continuous Media I/O Server and Its Synchronization Mechanism”, *IEEE Computer*, vol.24, no.10, pp.51-57, Oct. 1991.
- [10] L. A. Rowe and B. C. Smith, “Continuous Media Player”, *Proc 3rd Int. Workshop on Network and OS Support for Digital Audio and Video*, 1992.
- [11] 稲垣、岡村、荒木, “PDE-II におけるメディア間同期機構の実現に対する考察”, 第 48 回 情報処理学会全国大会, 1H-6 1994.