

連続メディアに対する QoS 制御機能を有する リモートファイルシステム

久保 亮介* 嘉藤 将之† 豊田 博俊‡ 石橋 勇人*

安倍 広多* 山井 成良§ 松浦 敏雄*

*大阪市立大学大学院創造都市研究科 †岡山大学大学院自然科学研究科

‡大阪市立大学（非常勤） §岡山大学総合情報基盤センター

概要

音声や動画像などの連続メディア情報をネットワークを介してアクセスし再生するストリーミングアプリケーションが広く利用されるようになってきた。しかし、既存のストリーミングアプリケーションの多くは独自のデータ形式や伝送プロトコルを採用しており、一般にこれらのデータ形式や伝送プロトコルの間には互換性がない。そのため、ネットワークを経由してメディアデータを再生するには、データ形式と伝送プロトコルを統一するか、もしくは、複数の形式に対応したクライアントを用意しなければならなかった。そこで、本研究では、連続メディア情報のリモートアクセス手法として、QoS 制御可能なネットワークファイルシステムを提案・実装し、その有効性を確認した。

キーワード：ファイルシステム，連続メディア，QoS 制御，MPEG

1 まえがき

音声や動画像などの連続メディア情報をネットワークを介してアクセスし再生するストリーミングアプリケーションが広く利用されるようになってきた。しかし、既存のストリーミングアプリケーションの多くは独自のデータ形式や伝送プロトコルを採用しており、一般にこれらのデータ形式や伝送プロトコルの間には互換性がない。そのため、ネットワークを経由してメディアデータを再生するには、データ形式と伝送プロトコルを統一するか、もしくは、複数の形式に対応したクライアントを用意しなければならなかった。

これに対して、ネットワークファイルシステムを用いて、リモート上にある連続メディア情報を再生する方式が考えられる。この方式では、サーバ側で MPEG 1 [1] などの標準形式でメディアデータを格納しておけば、クライアント側ではローカルファイルに格納さ

Remote Filesystem with QoS Control for Continuous Media

*R. Kubo**, *M. Kato*[†], *H. Toyoda*[‡], *H. Ishibashi*^{*}, *K. Abe*^{*}, *N. Yamai*[§] and *T. Matsuura*^{*}

*Graduate School for Creative Cities, Osaka City University

[†]Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

[‡]Osaka City University

[§]Information Technology Center, Okayama University

れたメディアデータを再生できる任意のアプリケーションプログラムを用いることができる。しかし、既存のネットワークファイルシステムは、データの内容は正確に伝送されるが、動画ファイルを転送しつつ再生する際に重要な実時間性などの QoS が考慮されていない。そのため、LAN のように高速でかつ遅延やゆらぎの小さい通信を行えるネットワーク環境でしか利用できない。

そこで、本稿では、連続メディア情報のリモートアクセス手法として、QoS 制御可能なネットワークファイルシステムを提案する。本手法を用いることで、ローカルファイルに対する任意のアプリケーションプログラムを利用した場合でもファイルアクセスに対して QoS 制御を行うことができる。

以下、2 章では連続メディア情報のリモートアクセスにおける問題について述べる。3 章では、その問題を解決するために試作したシステム（MMFS：Multi Media File System）の設計について述べる。そして、4 章では動作試験と性能評価について述べる。最後に 5 章で結論を述べる。

2 連続メディア情報のリモートアクセスにおける問題

リモート上にある連続メディア情報の再生には、現状として数種のアプリケーションプログラムが主に用いられている。これらのアプリケーションプログラムは、それぞれ独自のメディアデータのフォーマットや伝送プロトコルを使用することで、ネットワークの状況に応じて連続メディア情報の品質をコントロールして転送し、再生している。しかし、それぞれのアプリケーションプログラムごとに独自の手法を用いては、汎用性に欠けるという問題がある。

この問題に対し、ネットワークファイルシステムを用いると、リモート上の連続メディア情報にファイルとしてアクセスすることができる。そのため、個々のアプリケーションプログラムごとに開発された独自の伝送プロトコルに依存せずに、リモート上にあるメディアファイルをローカル上にあるファイルと同様に再生することができる。また、独自のメディアデータのフォーマットでなくとも、アプリケーションプログラムが対応しているフォーマットのファイルであれば再生が可能である。このように、ネットワークファイルシステムを用いることで汎用性に欠けるという問題は解消される。しかし、既存のネットワークファイルシステムにはデータの正確性を重視するものであり、実時間性を重視するものは存在しない。連続メディア情報を転送しつつ再生する場合、実時間性が重視されるため、既存のネットワークファイルシステムでは問題がある。

3 MMFS の設計

前章で述べたように、連続メディア情報のリモートアクセスにおいて、ネットワークファイルシステムを用いたデータアクセスは汎用性や拡張性も高く、非常に有用な方法である。しかし、既存のネットワークファイルシステムは、データの正確性を重視するものばかりで、実時間性を重視するものはない。

そこで、本研究では実時間性を重視した QoS 制御機能を有する独自のネットワークファイルシステム（MMFS：Multi Media File System）を試作した。

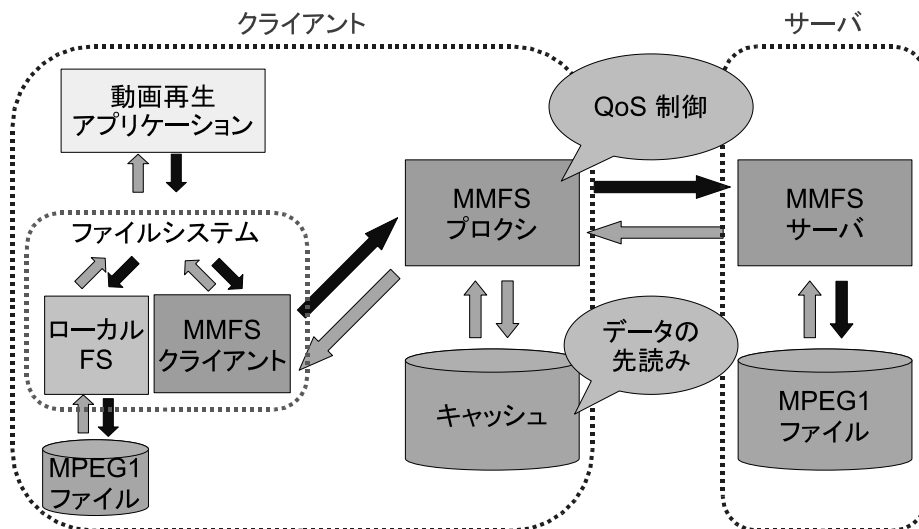


図 1: 試作システムの構成

3.1 MMFS の概要

MMFS では、既存のネットワークファイルシステムと同様にファイルシステムレイヤよりリモート上の連続メディア情報にアクセスする。また、既存のネットワークファイルシステムとは異なり、実時間性を重視し、データ転送時のネットワーク状況に応じて動的に QoS 制御を行うことができる。

MMFS の構成を図 1 に示す。MMFS は、クライアント側は MMFS クライアントと MMFS プロキシ、サーバ側は MMFS サーバという 3 つの要素により構成される。アプリケーションプログラムがリモート上の連続メディア情報にアクセスするために発行する open や read (システムコール) の要求は MMFS クライアントに対して送信される。MMFS クライアントは、それぞれの要求を MMFS プロキシに送信する。MMFS プロキシは、MMFS サーバにメディアデータ転送の要求を送信する。MMFS サーバは MMFS プロキシから受信した要求に応じてメディアデータを MMFS プロキシに転送する。MMFS プロキシは MMFS サーバから受信したメディアデータをローカルディスク上にバッファリングし、MMFS クライアントの read 要求にはバッファリングしたデータを返す。このとき、MMFS プロキシはバッファリングしたデータの中で、バッファを管理しており、そのデータ量に応じて、MMFS サーバに要求するメディアデータの品質を制御する。

3.2 MMFS クライアント

MMFS クライアントはアプリケーションプログラムから open や read の要求を受信すると、LOOKUP や READ の処理を行う。以下、それぞれの処理の詳細を述べる。

- LOOKUP 処理

ファイルシステムは、アプリケーションプログラムからファイルオープン の要求を受信すると、オープンするファイルに対して LOOKUP 処理を行う。LOOKUP 処理は要求されたファイルの存在を確認するために、ファイルパスをルートポイントから 1 階層ずつ探索し、ファイル情報を取得しつつ、要求されたファイルに辿り着くまで繰り返す。LOOKUP 処理のパラメータは親ディレクトリの inode 番号と、ファイル名である。通常のローカルファイルシステムは、ローカル上にあるファイルに対して LOOKUP 処理を行うが、MMFS クライアントはリモート上にあるファイルに対して LOOKUP 処理を行う。LOOKUP 処理を繰り返し、要求されたファイルに辿り着くと LOOKUP 処理は終了する。MMFS クライアントにおける詳細な LOOKUP 処理の動作については、次章で具体例を用いて説明する。

- READ 処理

ファイルシステムは、アプリケーションプログラムからファイル読み込みの要求を受信すると、要求されたファイルに対して READ 処理を行う。READ 処理は要求されたファイルのオフセットから、要求されたサイズ分のデータを読み込む。1 回の READ 処理のパラメータは読み込むファイルの inode 番号とオフセット、読み込むサイズである。通常のローカルファイルシステムは、ローカル上にあるファイルを読み込むが、MMFS クライアントは MMFS サーバから転送されて MMFS プロキシにバッファリングされたメディアデータを MMFS プロキシ経由で読み込む。このとき、MMFS クライアントがプロキシからメディアデータを読み込む処理と、サーバからプロキシへのメディアデータの転送は互いに独立しており非同期である。MMFS における詳細な READ 処理の動作については、次章で具体例を用いて説明する。

- 再アクセス時のキャッシュ

多くのファイルシステムでは、一度アクセスしたデータに再アクセスする場合に備えてデータをキャッシングする。本システムにおいても、一度アクセスしたデータをキャッシングすることで、二度目以降のアクセスを高速化し、ネットワークの負荷も軽減することができる。しかし、本システムのように QoS 制御されたメディアデータを扱う場合は、キャッシングされたメディアデータの品質を考慮する必要がある。例えば、一度目のアクセスにおいて QoS 制御が働き低品質なデータしか保持していない場合、二度目以降のアクセスもアプリケーションプログラムに対して低品質なデータしか供給できないのは問題である。

本システムでは、MMFS クライアントではキャッシングを行わず、MMFS プロキシでキャッシングを行い、この問題に対処している。

3.3 QoS 制御

- データの先読み

通常、ジッタや伝送誤りによる映像や音声の乱れは、クライアントのアプリケーションプログラム内にあるデータバッファのサイズを大きくすることで、ある程度は回避するこ

とができる。しかし、アプリケーションプログラムに対して変更を加えるというのは、さまざまなユーザ環境で導入するためには好ましくないと考えられる。

そこで、アプリケーションプログラムの代わりに MMFS プロキシにバッファを設け、ジッタや伝送誤りの影響を防ぐ。しかし、アプリケーションで再生が開始した後、ネットワークの状態によってはバッファが枯渇してしまう可能性もある。例えば、ネットワークの帯域が小さくデータ受信が遅い場合は、再生で読み込まれるデータの方が多く、バッファが枯渇してしまい、アプリケーションはデータの読み込みができなくなり、再生に支障が生じる。

動画や音声などの連続メディア情報は、再生が始まると、データの最初から順に映像を見る（あるいは音声を聞く）形式がほとんどであり、頻繁に再生をとばすといった状況はあまり起こらないと考えられる。そのため、ファイル読み込みの要求は、データの最初から順にやってくることになり、ランダムアクセスは比較的少ないと予想される。このことから、次に要求されるであろうデータを予測することは容易である。そこで、次に要求されると予測されるデータを先読みすることにより、バッファの枯渇を防ぐ。

● 動的な QoS 制御

データの先読みによりバッファリングを行ったとしても、ネットワークの使用可能な帯域が小さい場合は、バッファの枯渇が防げない場合がある。本システムでは、MMFS プロキシがバッファの枯渇により、再生に対してメディアデータのバッファリングが間に合わないと判断した場合、MMFS サーバに対して重要度の高いデータを要求する。サーバは重要度の低い情報を欠落させたデータをプロキシに送信する。

この場合、重要度の低い情報が欠落したデータを MMFS プロキシでそのままバッファに保存すると、ファイルサイズが変わってしまうという問題が発生する。MMFS 経由でファイルにアクセスする場合、データのファイル内オフセットが変わってしまうと、アプリケーションプログラムでは正常に再生できない。そのため MMFS プロキシは、重要度の低いデータを欠落させたデータを受信した場合、データが欠落した部分には代替データを用意して保存することでファイルサイズの変更が発生しないようにする。そして、アプリケーションでは、そのデータも通常のデータのようにアクセスする。代替データ部分の再生時の品質は悪くなるが、これにより実時間性を保つことができる。

本研究では、連続メディア情報のフォーマットとして、動画像圧縮の国際標準であり、さまざまなアプリケーションプログラムで再生が可能な MPEG 1 [1] を想定している。

本研究では、一般的に行われているように以上のような MPEG 1 フォーマットの特徴を利用した QoS 制御を行う。ネットワークの状態により、先読みされたデータが規定時間内にアプリケーションに供給できない場合は、再生の際に基準となる I ピクチャのみの転送を行う。この時、他のピクチャのデータは欠落させ、代替データを用意する。このような QoS 制御を動的に行う。

● データのキャッシング

3.2.4 節でも述べたように、本システムにおいては MMFS クライアントでキャッシングを行わず、MMFS プロキシでキャッシングを行う。MMFS プロキシは MMFS サーバから欠落のあるデータを受信してデータの欠落部に代替データを保存した場合、キャッシング

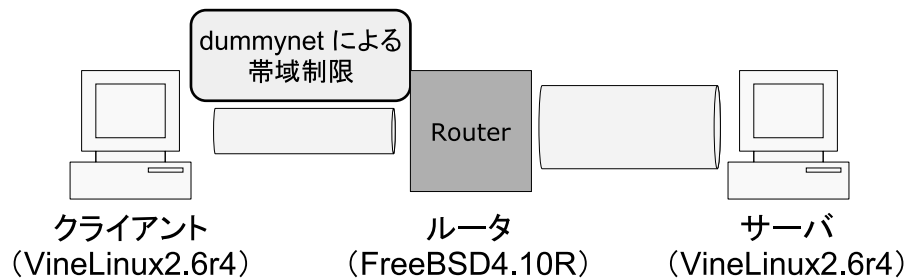


図 2: 動作試験用ネットワーク

するファイルのどこに代替データを保存したかという情報を保持している。キャッシング済みのファイルへ再度アクセスがあった場合、キャッシュファイルの中で代替データが保存されている部分に関しては、MMFS プロキシは MMFS サーバに再度代替データ部のデータ送信を要求する。こうすることで、二度目以降のアクセスに対し、キャッシュファイルの中で高品質なデータは再度有効活用ができ、低品質なデータは改善される余地がある。

4 評価実験

本研究で試作したシステムの有効性を検証するため、サーバに MPEG 1 ファイル（サイズ 5.4MB、再生時間 30 秒）を用意し、クライアントのアプリケーションプログラムとして `mpeg_play` [2] を用いて動作試験を行った。様々なネットワーク環境に対する適応性を調べるため、図 2 のようなネットワークを構築し、ルータで `dummynet` [3] を利用した。`dummynet` は FreeBSD でネットワーク制御を実現するもので、帯域制限やキューのサイズ制限およびパケットの遅延やロスシミュレートが可能である。本研究は利用可能な帯域に応じた QoS 制御を目的としているため、動作確認では `dummynet` の帯域制限機能を使用した。

また、`mpeg_play` で再生した際にプロキシに蓄えられたデータファイルを、Windows 上の QuickTime Player [4] でも動作確認再生を行った。QuickTime Player は同期をとるための機構を有しており、欠落データ部に代替データを埋めたファイルも元の再生時間で再生することができる。

帯域制限は 5Mbps から 1Mbps まで、1Mbps ずつ区切り 5 段階に分けて行った（表 1）。

5 Mbps、4 Mbps に帯域を制限した場合は、映像は途切れることなく正常に再生された。3 Mbps では、30 秒の再生時間の中で、中盤と後半に QoS 制御機能が働いてコマ落ち再生が発生した。中盤のコマ落ちの時間は約 2.5 秒で、すぐにコマ落ちなしの再生に復帰した。後半のコマ落ちは、再生が終了する直前に発生し、コマ落ちの状態のまま再生が終了した。2 Mbps では、再生中に 6 回コマ落ち再生が発生した。1 回のコマ落ちの平均時間は約 2 秒であり、トータルでは 30 秒の再生時間中、約 12 秒間コマ落ち再生が発生した。約 40% のデータが欠落したが、コマ落ちによる映像の品質低下は許容範囲であると思えた。1 Mbps では、再生中に 8 回コマ落ち再生が発生した。1 回のコマ落ちの平均時間は約 2.7 秒であり、トータルでは約 21 秒間コマ落ち再生が発生した。約 70% のデータが欠落し、

表 1: コマ落ち回数と合計コマ落ち時間

伝送帯域	コマ落ち回数	合計コマ落ち時間
5 Mbps	なし	
4 Mbps	なし	
3 Mbps	2 回	約 4 秒
2 Mbps	6 回	約 12 秒
1 Mbps	8 回	約 21 秒

コマ落ちにより映像はかなり見づらくなっていた。

動作試験によって得られた結果を表 2 に示す。表 2 は、QoS 制御される前の I ピクチャ、P ピクチャ、B ピクチャの数がそれぞれ、61、240、601 だったのに対し、1 Mbps、2 Mbps、3 Mbps に帯域を制限したときに QoS 制御が働いた後のピクチャ数を表している。

表 2: QoS 後のピクチャ数

	I ピクチャ	P ピクチャ	B ピクチャ
1 Mbps	61 / 61	74 / 240	185 / 601
2 Mbps	61 / 61	145 / 240	360 / 601
3 Mbps	61 / 61	206 / 240	516 / 601

動作試験の結果、利用できる帯域が小さい場合に、QoS 制御機能が働くことによりデータの欠落が発生し、代替データが再生された場合、その部分では映像はコマ落ちのような状態になることが確認された。

以上より、データの正確性よりもリアルタイム性を重視したファイルシステムによって連続メディア情報にリモートアクセスが行えることを確認した。また、キャッシュの問題について、狭帯域環境における初回の再生時にデータの欠落が発生し、代替データが表示された部分においても、次の再生時には正常に再生されることを確認した。

5 あとがき

本論文では、ファイルシステムレイヤから連続メディア情報にリモートアクセスする手法を提案し、試作システムを実装した。また、様々なネットワーク環境を想定して帯域制限を行い、その上での評価実験の結果より、試作システムの有効性を確認した。

今後の課題としては、QoS 制御の方法として、動きベクトルの情報を活用することを考えている。動きベクトルの数などから画像の特徴を類推して、伝送データ量を調整する方法を併用した QoS 制御方法を検討している。

参考文献

- [1] “MPEG”, <http://www.mpeg.org/MPEG/index.html> .
- [2] “mpeg_play ” http://bmrc.berkeley.edu/frame/research/mpeg/mpeg_play.html .
- [3] “dummysnet”, http://info.iet.unipi.it/~luigi/ip_dummysnet/ .
- [4] “QuickTime Player”, <http://www.apple.co.jp/quicktime/> .
- [5] 山井 成良, 浪平 大輔, 安倍 広多, 下條 真司, 松浦 敏雄, 村上 孝三:
“広域ネットワークにおける NFS を用いた連続メディアデータアクセス方式”,
情報処理学会論文誌, vol.42, pp. 178-187 (1996-02) .
- [6] 嘉藤 将之, 山井 成良, 岡山 聖彦, 久保 亮介, 松浦 敏雄:
“ファイルアクセス API を用いた連続メディア情報のリモートアクセス手法”,
情報研報 (DPS) , vol.2004, pp. 85-90 (2004-09) .
- [7] 久保 亮介, 嘉藤 将之, 豊田 博俊, 石橋 勇人, 安倍 広多, 山井 成良, 松浦 敏雄:
“ファイルシステムレイヤによるリモートマルチメディア情報へのアクセス”,
情報処理学会第 67 回全国大会講演論文集, Vol.2005, 3, pp. 551-552 (2005-03) .