

Real-Time Mach 用のオーディオドライバ†

7R-3

河内谷 清久仁 緒方 正暢

日本アイ・ビー・エム (株) 東京基礎研究所

1 はじめに

最近のCPU性能の向上と小型化技術の発達などにより、モバイルコンピュータを用いた分散マルチメディアの環境が現実的なものとなってきている。我々は現在そのプロトタイプを、慶応大学と共同で Real-Time Mach 3.0[1] (以下 RT-Mach と略す) 上に構築中である [2]。

このようなシステムでは、従来からのキーボード (もしくはタブレット) とディスプレイによる入出力に加えて、オーディオ処理機能のサポートが重要になると考えられる。そこで我々は今回、モバイル・マルチメディア環境での利用を前提とした、RT-Mach 用のオーディオドライバの作成を行なった。このドライバは IBM のノート PC である ThinkPad* 750C/755C (以下 75xC と略す) 上で利用することができ、マルチメディア処理向けの機能を備えている。本稿では、このオーディオドライバの機能、構成および性能測定結果について報告する。

2 オーディオドライバに必要な機能

オーディオ機能をマルチメディア処理機能の一部として考えた場合、単にオーディオデータを録音/再生できるだけでは不十分で、他のメディア処理との協調や、QOSの制御などのためのサポートが必要になる。これらも含め、オーディオ機能に必要なとされる要件を重要な順にあげると以下のようになるであろう。

要件 a: 途切れ無い録音/再生

まず最低限の要件として、録音および再生が途切れ無く行なえなければならない。シングルタスクのシステムではこの要件を満たすことは簡単であるが、我々はマルチタスクシステムを考えているため、バッファリングなどを用いて処理に余裕を持たせる必要がある。また、タイミングクリティカルな処理についてはカーネル内で行なうなどの考慮も必要になる。

要件 b: 動作タイミングの制御

マルチメディア処理では、Lip Sync. に代表されるようなメディア間の同期機能が必要になる [3]。そのためにオーディオ機能では、セットしたオーディオデータが実際に再生されるタイミングや録音開始のタイミングを指定できる必要がある。その際には、現在処理中のものをキャンセルする機能も必要である。

要件 c: QOS の制御

マルチメディア処理では、実時間性を保証するために、使用可能な資源 (CPU やメモリ、ネットワークなど) の量に応じて処理のサービスの質 (QOS: Quality of Service) を変更するということが行なわれる [4, 5]。これは特に、デスクトップ環境に比べて処理能力が不足しがちなモバイル環境において重要である。オーディオ処理の QOS としては、データのフォーマットやサンプリングレートなどが考えられるが、これらが動的に変更可能であることが望まれる。

要件 d: 少ない使用資源量

An Audio Driver for Real-Time Mach
Kiyokuni KAWACHIYA and Masanobu OGATA
IBM Research, Tokyo Research Laboratory
1623-14, Shimotsuruma, Yamato, Kanagawa 242, Japan
E-Mail: <kawatiya@trl.ibm.co.jp>

† この研究は、慶応大学/日本 IBM パートナシップ・プログラムの一環として行なわれたものです。

要件 e とも関連するが、オーディオ処理自体が使用する資源の量はなるべく少ない方が望ましい。マルチメディア処理では扱うデータ量が多いため、CPU やメモリの使用量を減らすにはデータコピーの回数を減らすことが特に効果的だと考えられる。

要件 e: 同時録音再生

オーディオ機能の応用の一つとして、ネットワーク越しの会話システムやテレビ会議などが考えられる。そのためには、録音と同時に別のデータを再生できる必要がある。この機能はオーディオ処理のハードウェアにも依存しているが、可能ならサポートしていることが望ましい。

要件 f: API の一般性

分散環境においては通常、各種のハードウェアが混在して使用されており、それらが備えるオーディオ機能も様々であることが予想される。このような環境でのアプリケーション開発をサポートするために、オーディオ処理の API は、デバイスに依存しない一般的なものであることが望まれる。もちろん、この API は上記の要件 b や c を満たしたものでなければならない。

要件 g: オーディオデータの処理

オーディオを処理するという観点からみると、オーディオデータのフォーマット変換や、早送りなどの特殊再生、無音部の検出などの機能がサポートされていれば、非常に有効であろう。

我々は以上の要件 a~g を考慮して、オーディオドライバ開発を行なった。次章では、その構成と評価結果について述べる。

3 オーディオドライバの構成と評価

今回作成したオーディオドライバは、IBM のノート PC である ThinkPad 75xC 上の RT-Mach 用のものである。ThinkPad 75xC は、オーディオ処理用のチップを内蔵している。このチップは、2つの DMA チャンネルを制御でき、要件 e の同時録音再生が可能となっている。データフォーマットとしては、8bit リニア、 μ -law、A-law、16bit リニアそれぞれのステレオ/モノラルの 8 種類がサポートされており、サンプリングレートも、5.125kHz から 48.0kHz の間の 14 種類から選択可能で、要件 c の QOS 制御機能もある程度満足できると考えられる¹。

図 1 に、オーディオドライバの構成を示す。今回のドライバは、RT-Mach マイクロカーネル上ということも考え、カーネル内のデバイスドライバには必要最小限の機能を持たせ、高レベルの機能はユーザレベルのライブラリ (もしくはサーバ) でサポートする二段構成をとっている。

デバイスドライバでは主に、DMA と割り込みの処理が行なわれる。これらの機能をユーザレベルで行なうことも不可能ではない [6] が、要件 a の途切れ無い録音/再生を保証するため、カーネル内で行なっている²。DMA は、録音/再生用にそれぞれ 32KB × 2 本ずつを用意したダブルバッファ方式で行なっ

¹ただし、同時に行なう録音と再生で異なるデータフォーマットを扱うことはできないため、動的な QOS 変更には若干の制約がある。

²ThinkPad 75xC が使用しているオーディオチップは内部に FIFO を持っていないため、サンプリングデータが途切れないうちに割り込み処理 (DMA バッファの切り換えなど) を行なう必要がある。例えば CD クオリティのデータ (16bit ステレオ, 44.1kHz) の場合、約 22 μ sec 以内に割り込み処理を行なわなければならない。

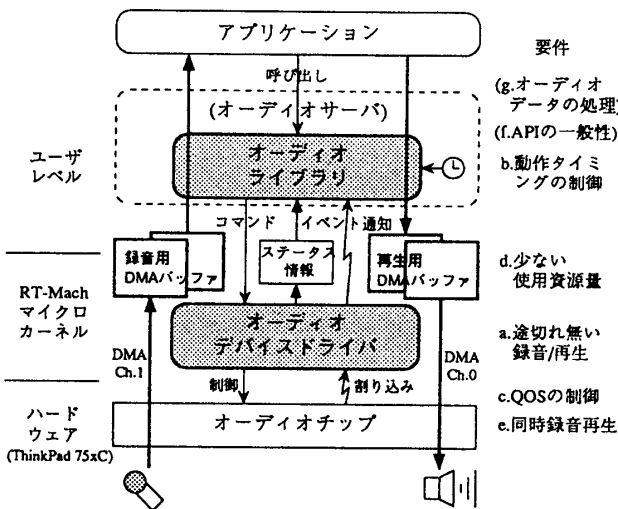


図 1: オーディオドライバの構成図

コマンド	機能
SETBUF	バッファのセット
SETBUF_NOW	バッファのセット (現在の処理キャンセル)
FORMAT_SEL	オーディオフォーマットの選択
PAUSE	処理の中断/再開
FLUSH	バッファのフラッシュ (処理のキャンセル)
SETIREG	音量その他の設定
RESET	リセット

表 1: デバイスドライバのコマンド一覧

いる。これも、要件 a を満たすための処理の余裕を得るため、一方のバッファで DMA を行なっている間にもう一方のバッファのデータ処理を行なうことができる³。割り込みが起きると、デバイスドライバ内で DMA バッファの切り換えが行なわれた後、ユーザレベルにバッファ処理完了のイベントが通知される。

DMA 用のバッファエリアと、デバイスドライバのステータス情報は、`device_map()` コール [7, 8] でユーザ空間にマップできるようになっており、ユーザレベルから直接バッファエリアのオーディオデータの読み書きを行なうことができる。これは、要件 d の使用資源量削減を狙ったものである。また、DMA バッファにデータが準備できてからデバイスドライバの起動を行なうため、データコピーなどによる遅延がなく、要件 b の動作タイミング制御を行ないやすくなっている。

表 1 に、デバイスドライバが提供するコマンドの一覧を示す。これらは `device_set_status()` コールの引数として渡される。このうち、`SETBUF_NOW` は、要件 b の動作タイミング制御のために用意したコマンドで、現在実行中の処理をキャンセルして新たに指定したバッファの処理 (録音/再生) が即座に開始される。

次に、今回作成したオーディオドライバについて簡単な評価を行なった。評価は、要件 b のタイミング制御について、ユーザレベルからの起動コマンドに対して実際に処理が始まるまでの遅延を測定した。測定は ThinkPad 755C (9545-L, IntelDX4*-75MHz) 上で、拡張ユニット内に挿入したタイマボードを用いて行なった⁴。ソフトウェア環境は RT-Mach MK83+UX39[9] である。測定結果は、録音/再生が行なわれていない状態から、`SETBUF` コマンドを実行して実際に再生が開始される (DMA が起動される) ままで約 170μsec、再生中に、`SETBUF_NOW` コマンドで新たなバッファを指定してその再生が開始されるまでが約 230μsec であった⁵。

³例えば、CD クオリティのデータの場合、32KB のバッファを使いきるまでに約 180msec の余裕がある。

⁴タイマの精度は 250nsec で、読み出しオーバーヘッドは約 15μsec。

⁵10 回測定した平均値。

4 まとめと課題

本稿では、モバイル・マルチメディア環境でオーディオ機能に必要とされる要件について検討し、それらを考慮したオーディオドライバの構成と評価結果について報告した。

今回のドライバでは DMA バッファをユーザレベルに開放することでデータコピーの回数を減らしているが、ユーザメモリの任意のエリアに対し直接 DMA が行なえる方式のほうがより効果的であろう。これについては、Mach のメモリ管理機能を利用する形で現在改良を行なっている。また、要件 f の API の一般性と要件 g のオーディオデータ処理機能は、今回のドライバでは解決されていない問題だが、オーディオドライバ上にオーディオサーバ [10, 11] を作成し、そこで対応する方向で検討中である。

謝辞

本研究を行なうにあたり御指導いただいている慶応大学環境情報学部の徳田英幸助教授に感謝いたします。また、協力/助言していただいている「慶応大学/日本 IBM パートナシップ・プログラム」と「慶応大学 マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア (Keio-MMP[12]) プロジェクト」の皆様にも感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Tokuda, et al.: "Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System," *Proc. USENIX Mach Workshop*, pp. 73-82 (1990).
- [2] 緒方, 他: "モバイルコンピュータを使った分散マルチメディア環境の実現," 第 49 回情処全大論文集, 6S-9 (1994).
- [3] A. Jones and A. Hopper: "Handling Audio and Video Streams in a Distributed Environment," *Proc. 14th. ACM Symposium on Operating Systems Principles*, pp. 231-243 (1993).
- [4] H. Tokuda, et al.: "Continuous Media Communication with Dynamic QOS Control Using ARTS with an FDDI Network," *Proc. ACM SIGCOMM '92*, pp. 88-98 (1992).
- [5] 河内谷, 他: "Real-Time Mach 上での QOS 制御サーバの実験," 第 47 回情処全大論文集, 4V-3, pp. 2-355-2-356 (1993).
- [6] D. B. Golub, et al.: "An Architecture for Device Drivers Executing as User-Level Tasks," *Proc. USENIX Mach III Symposium*, pp. 153-171 (1993).
- [7] A. Forin, et al.: "An I/O System for Mach 3.0," *Proc. USENIX Mach Symposium*, pp. 163-176 (1991).
- [8] OSF and CMU: *Mach 3 Kernel Interfaces* (1992).
- [9] 緒方, 他: "Real-Time Mach 3.0 のマルチメディア処理に関する性能評価," 情処研報 93-OS-60, pp. 67-74 (1993).
- [10] 持田, 他: "Real-Time Mach 3.0 における I/O サーバの構成と評価," 第 48 回情処全大論文集, 1H-2, pp. 4-19-4-20 (1994).
- [11] 平林, 萩野: "Keio-MMP におけるサウンドパフォーマンス," 第 49 回情処全大論文集, 7R-4 (1994).
- [12] 徳田, 他: "分散マルチメディア統合環境 Keio-MMP プロジェクトにおける連続メディア処理のためのソフトウェアアーキテクチャ," 第 49 回情処全大論文集, 7R-1 (1994).

*IBM, ThinkPad は IBM Corp. の商標。

**IntelDX4 はインテル社の商標。