

## 対称型マルチプロセッサ用実時間カーネルの設計と実現について

2H-5

岡坂 史紀 清水 謙多郎

電気通信大学情報工学科

## 1. はじめに

筆者らは実時間対称型マルチプロセッシング(SMP)カーネル Act 8 の開発を行っている。本稿ではカーネルの構成法について実時間処理と SMP という2つの視点から述べ、Act 8 の実時間機能に関して現在の設計と性能を報告する。

## 2. カーネルの構成法

カーネルをプロセスの横取りという面から見ると、UNIX®のようにカーネルモードでの実行中に横取りのないカーネルと、常に横取り可能なカーネルとがある。実時間処理では常に横取り可能なカーネルが望ましいが、カーネル内部で細かな並行性制御が必要となる。

SMP カーネルという面でも、カーネル内部の並行性制御機構が重要である。並行性制御にスピロックを用いている Mach や Plan 9[3]は常に横取り可能ではない。Sun™OS 5.0[1]では相互排除ロックなどを用いることによって常に横取り可能な SMP カーネルを実現している。

## 3. Act 8 の設計

Act 8 は、常に横取り可能な実時間 SMP マイクロカーネルと、カーネルと協調して機能する利用者プログラムとして実現されたサービスから構成される。

Act 8 カーネルは内部の並行性制御に基本優先度継承プロトコル[2]を採用した実時間相互排除ロックを用いている。さらにカーネルインタフェースとして実時間相互排除ロックを応用した実時間遠隔手続呼出し(RPC)機構を提供して

---

“Design and Implementation of a Realtime Kernel for Symmetric Multiprocessing”  
Shiki Okasaka, Kentaro Shimizu  
The University of Electro-Communications  
1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182, Japan

いる。

## 3.1. 実時間相互排除ロック

Act 8 が採用している実時間相互排除ロックのアルゴリズムの概略は下記の通りである。

---

```
MutexEnter(mutex)
while (mutexがロックされている) {
  if (優先度が逆転している) {
    優先度を継承させる;
    if (mutex内のスレッドがロック待ち)
      そのスレッドを実行可能に戻す;
  }
  ロック待ちに遷移;
  再スケジュール;
}
```

```
MutexLeave(mutex)
if (mutexを待っているスレッドがある)
  優先度最高のスレッドを実行可能に戻す;
現スレッドの実効優先度を再評価;
再スケジュール;
```

---

優先度の逆転とは、mutex 内のスレッドよりも mutex に入ろうとしているスレッドの優先度が高いことを意味する。スレッドの実効優先度は、0 を優先度最高とすると、現スレッドが入っている mutex で待ち状態にあるスレッドと、もとの優先度の最小値である。このアルゴリズムによって、スレッドの優先度は基本優先度継承プロトコルに基づき推移的に継承される。

## 3.2. コンカレントサーバと実時間 RPC

Act 8 ではサービスを開発するためのコンカレントサーバ(CS)という枠組みを提供している。CS ではそのコードを同時に複数のプロセッサが実行することはないが、CS が別の CS を呼び出すと、最初の CS は別のクライアントの要求を処理することができる(図 1)。

CS のための実時間 RPC は次のように実現される。Act 8 のカーネル内部ではプロセスとスレッドとを区別している。プロセスには実時間相

互排除ロック(ゲート)がひとつ定義されている。プロセスがCSを呼び出す場合、スレッドは現プロセスのゲートを解除し、CSのゲートに入ろうとする。ゲートをロックしたスレッドはCSのプロセスへ移動する。CSが応答を返す場合は、呼び出しと逆になる。

CSに進入してきたスレッドが現在別のCSを実行しているスレッドと競合する場合は、CSのガードによってデータが保護される。ガードもまた実時間相互排除ロックであり、CSがガードに入ろうとすると、まずゲートから出てガードに入り再びゲートに入りなおす。優先度の高いスレッドがガードで封鎖されると別のCSを実行しているスレッドに優先度が継承される。CSでは必要なだけガードを利用することができる。

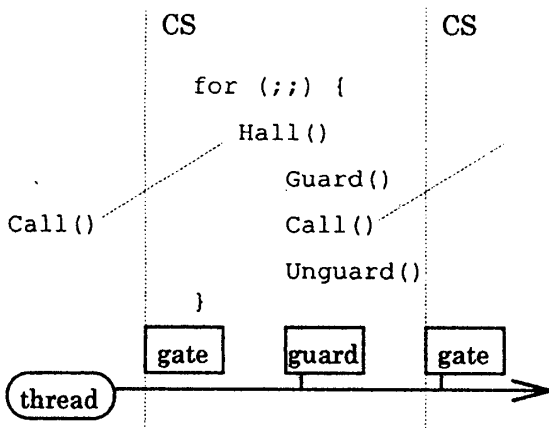


図1 コンカレントサーバの実行

#### 4. 性能評価

実時間相互排除ロック、実時間RPCについてIntel486™DX2/66MHzのPC AT™互換機で性能を測定した結果を表1に示す。測定にはPC ATの8254タイマコントローラを用いた。タイマの精度は0.838μsecである。

表でMutex, Nop, Tin/outはそれぞれカーネル内で実時間相互排除ロックを獲得しただちに解除するのに要する時間、空のRPC時間、2ページ分(8192バイト)のデータの仮想コピーによる受け渡しを含んだRPCに要する時間である。

測定は同じ処理を2回連続して行いそれぞれ実行時間を計測した。キャッシュメモリの効果により2回目は実行時間が短縮されている。

表1 基本性能

	1回目[μsec]	2回目[μsec]
Mutex	18.4	10.9
Nop	210	164
Tin/out	475	384

#### 5. まとめ

本稿では、開発を進めているAct 8の実時間相互排除ロックおよびコンカレントサーバの機構について述べた。コンカレントサーバはサービスの開発を効率よく行うための枠組みとして研究を進めている。またAct 8の実時間スケジューリングはマルチメディアへの対応が期待される。筆者らはAct 8の評価システムとしてEthernet®によるビデオ電話システムを開発し、ビデオ: 160×120(15 bit color)×3 frame/sec, オーディオ: 8 bit 22.5Hzによる双方向通信を実験している。

今後はマルチプロセッサプラットフォーム[4]へのポーティングを計画しているほか、既存システムとの互換としてPlan 9のエミュレーションの実装を検討している。

#### 参考文献

- [1] S. Khanna, M. Sebrée, and J. Zolnowsky, "Realtime Scheduling in SunOS 5.0," *Proc. of 1992 USENIX Winter Conf.*, January, 1992.
- [2] L. Sha, R. Rajkumar, and J. Lehoczky, "Priority Inheritance Protocols: An Approach to Real-Time Synchronization," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 39, No. 9, September, 1990.
- [3] D. Presotto, R. Pike, K. Thompson, and H. Trickey, "Plan 9, A Distributed System," *Proc. of the Spring 1991 EurOpen Conf.*, May, 1991.
- [4] Intel Corporation. MultiProcessor Specification Version 1.1, 1994.