

マルチコア *AnT* のスケジュール機構における優先度逆転抑制効果

鴨生 悠冬

佐藤 将也

山内 利宏

谷口 秀夫

岡山大学大学院自然科学研究科

1 はじめに

プロセッサに搭載されるコア数の増加により、サービスが複雑化し、優先度逆転 [1] が生じやすくなっている。オペレーティングシステムは、サービスの要望に即したプロセススケジュールを求められるため、優先度逆転を抑制する必要がある。

マイクロカーネル構造 OS は、OS 機能をプロセス (OS サーバ) として実現しており、堅牢性と適用性を有する。しかし、プロセスによる OS サーバの機能利用 (OS サーバ間通信) 時に優先度逆転が生じる可能性がある。また、コア毎に独立したスケジューラは、マイクロカーネル構造 OS の性能を左右するプロセス切替のオーバーヘッドが小さい特徴を持つ。しかし、優先度逆転を抑制する場合、コア間通信を必要としオーバーヘッドが大きい。

そこで、コア毎に独立したスケジューラを有するマイクロカーネル構造 OS の *AnT* において、OS サーバ間通信における優先度逆転を抑制し、かつコア間通信を削減するスケジュール機構 (以降、優先度逆転抑制法) を提案した [2]。本稿では、優先度逆転抑制法の効果を報告する。

2 優先度逆転抑制法 [2]

優先度逆転抑制法は、OS サーバ間通信における優先度逆転の抑制とコア間通信回数の削減を実現する。優先度逆転抑制法を図 1 に示す。

まず、優先度逆転の抑制の実現について述べる。以下の 2 つの対処により、優先度逆転を抑制する。

- (1) 優先度順依頼取得：OS サーバは、依頼元プロセスによって登録された依頼を登録順ではなく、依頼元プロセスの優先度順に取得する。依頼を登録順に取得する場合に生じる優先度逆転を抑制できる。
- (2) 優先度継承：OS サーバは、依頼元プロセスの優先度を継承し、依頼元プロセスの優先度で依頼された処理を実行する。OS サーバの優先度が依頼元プロセスの優先度と異なる場合に生じる優先度逆転を抑制できる。

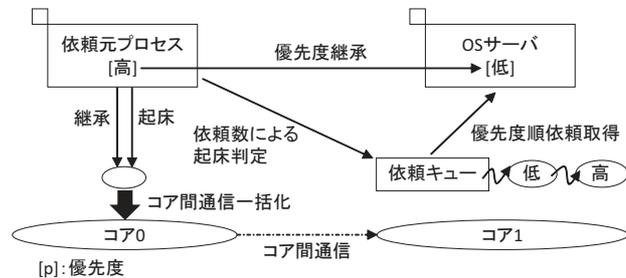


図 1 優先度逆転抑制法

優先度継承の契機の違いにより、以下の 2 つの制御法が考えられる。

- (1) 可変優先度取得時変更法 (VPGET)
優先度順依頼取得を行うとともに、依頼取得時に優先度継承する。
- (2) 可変優先度登録時変更法 (VPSET)
優先度順依頼取得を行うとともに、依頼登録時と依頼取得時に優先度継承する。

次に、コア間通信回数の削減について述べる。以下の 2 つの対処により、コアを跨ぐ OS サーバ間通信におけるコア間通信回数を削減する。

- (1) 依頼数による起床判定：OS サーバの依頼キューに登録されている依頼数を基に起床の要否を判定する。
- (2) コア間通信一括化：OS サーバを起床させるコア間通信と優先度継承させるコア間通信 (VPSET のみ) を 1 つのコア間通信で実現する。

3 評価

3.1 内容

優先度逆転抑制法の効果を明らかにするため、依頼を登録順に取得し、優先度継承を行わず、かつ常にコア間通信を行う手法 (以降、FPFIFO) と比較する。

ここでは、ファイルを暗号化して複写する処理が共存するときのファイル参照性能を評価する。具体的には、ファイル参照を行う高優先度のプロセス (参照プロセス)、およびファイルを読み込み、読んだデータを暗号化して複写する低優先度のプロセス (複写プロセス) を同時走行させ、参照プロセスの処理時間を測定した。参照プロセスと複写プロセスの処理流れを図 2 に示す。参照プロセスは、4KB のファイルを読み込む処理を繰り返す。複写プロセスは、4KB のファイルを読

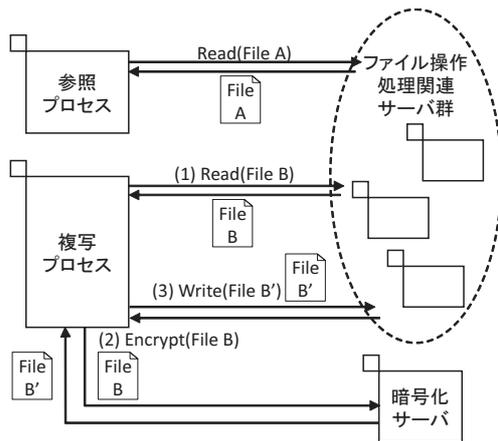


図2 参照プロセスと複製プロセスの処理流れ

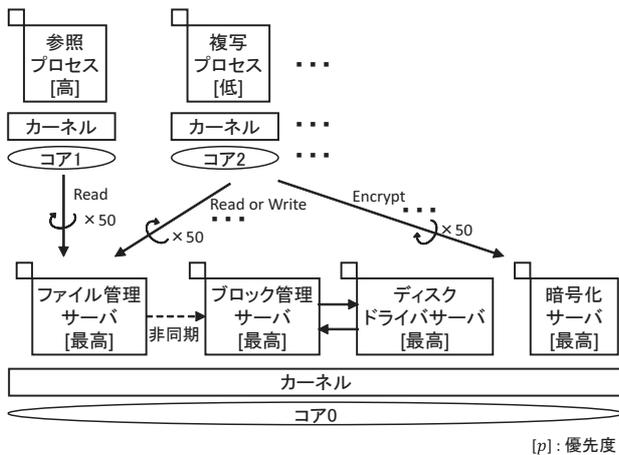


図3 評価モデル

込み、読込んだデータを暗号化し、暗号化したデータを異なるディレクトリ以下に書込む処理を繰り返す。

評価モデルを図3に示す。暗号化処理を行う暗号化サーバ、ファイル操作処理に関連するファイル管理サーバ (FS)、ブロック管理サーバ (BLK)、およびディスクドライバサーバ (DK) をコア0、参照プロセスをコア1、複製プロセスをコア2からコアN+1に配置する。Nは複製プロセス数である。初期優先度は、複製プロセスを低、参照プロセスを高、OSサーバを最高とした。暗号化処理として、鍵長128bitのAES (Advanced Encryption Standard) を用いた。なお、Intel Xeon E5-2630 v3 (8Core, 2.4GHz) の計算機を用い、複製プロセス数 (N) を0~5の場合で測定した。

3.2 結果と考察

参照プロセスの平均処理時間 (4KBのファイルの読み込み処理時間) を図4に示す。図4より、以下のことが分かる。

(1) FPFIFOの処理時間は複製プロセス数に比例増加しているのに対し、優先度逆転抑制法の処理時間は複製プロセス数3以上で増加しない。これは、FPFIFOでは登録順に依頼を取得するのに対し、優先度逆転抑制法

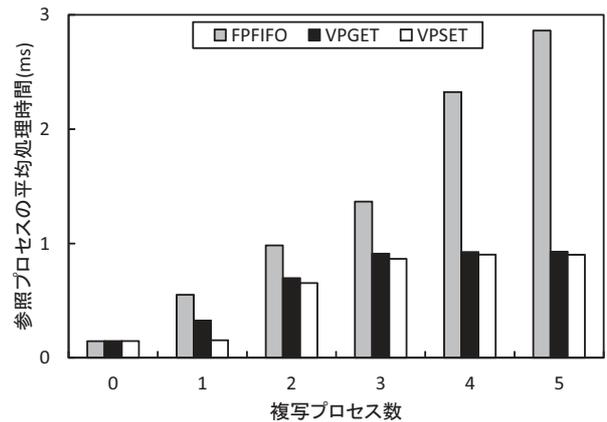


図4 ファイル暗号化複製共存時のファイル参照性能

では依頼元プロセスの優先度順に依頼を取得するためである。また、優先度逆転抑制法では優先度継承を行うため、参照プロセスの依頼を処理するファイル操作処理に関連するサーバを複製プロセスの依頼を処理する暗号化サーバに比べ優先できる。ゆえに、優先度逆転抑制法は、FPFIFOに比べ優先度逆転を抑制する。

(2) 複製プロセス数1の場合、VPSETの処理時間は、VPGETに比べ0.17ms短い。これは、VPSETでは依頼登録時に優先度継承を行うのに対し、VPGETでは依頼登録時に優先度継承を行わないためである。暗号化サーバが複製プロセスの依頼を処理している間に、参照プロセスがFS (優先度: 低) に依頼する場合を考える。VPGETでは、依頼登録時に優先度継承を行わないため、FSの優先度が低のままとなり、暗号化サーバの処理終了まで参照プロセスの依頼が実行されない。一方、VPSETでは、依頼登録時に優先度継承を行うため、FSの優先度が高となり、参照プロセスの依頼が直ちに実行される。ゆえに、VPSETは、VPGETに比べ優先度逆転を抑制する。

4 おわりに

マルチコア *AnT* のスケジューリング機構である優先度逆転抑制法の評価として、ファイルを暗号化し複製する処理の共存時のファイル参照性能を述べた。評価結果から、実I/Oを含む場合も優先度逆転抑制法は、FPFIFOに比べ優先度逆転を抑制することを示した。また、VPSETは、VPGETに比べ優先度逆転を抑制できる。

参考文献

- [1] Sha, L., Rajkumar, R., Lehoczky, J.P.: Priority inheritance protocols: an approach to real-time synchronization, IEEE Transactions, Vol.39, No.9, pp.1175-1185 (1990).
- [2] 鴨生 悠冬, 山内 利宏, 谷口 秀夫: マルチコア環境における優先度逆転を抑制する *AnT* オペレーティングシステムのスケジューリング機構, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-OS-136, No.17, pp.1-8 (2016).