

平成 26 年度 卒業論文概要			
所 属	機械情報工学科	指導教員	光来 健一
学生番号	11237054	学生氏名	中田 理公
論文題目	仮想マシンの並列処理性能に対する CPU 割り当ての影響の評価		

## 1 はじめに

近年、プロセッサのマルチコア化が進み、アプリケーションも並列化が不可欠になってきた。また、クラウドコンピューティングの普及により仮想マシン (VM) で並列アプリケーションを動作させることも多くなってきた。一台の計算機上で複数の VM を動かすために、VM にはプロセッサ内の CPU コアのいくつかだけを割り当てることが多い。しかし、この CPU 割り当ては仮想化されており、VM 中のアプリケーションや OS には詳細が分からない。そのため、VM 内の OS は VM を用いない実環境と同じようにアプリケーションのスレッドに CPU を割り当てる。その結果、VM への CPU 割り当てによっては、アプリケーションの性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。

本研究では、VM への CPU 割り当てがアプリケーションの並列処理性能にどのような影響を与えるのかを調査する。

## 2 VM への CPU 割り当て

VM を提供する仮想環境では、プロセッサ内の物理的な CPU コア (物理 CPU) は仮想化され、仮想的な CPU (仮想 CPU) として VM に提供される (図 1)。並列アプリケーションを動作させるために、VM は複数の仮想 CPU を持つことが多い。複数の VM で物理 CPU を共有することになるため、仮想 CPU はスケジューリングにより物理 CPU に動的に割り当てられる。一方、仮想 CPU を特定の物理 CPU に固定的に割り当てることもできる。これは CPU アフィニティと呼ばれる。仮想 CPU と物理 CPU を 1 対 1 に割り当てるだけでなく、仮想 CPU のグループを物理 CPU のグループに割り当てることもできる。CPU アフィニティは VM 間で物理 CPU を排他的に割り当てたい時などに有用である。

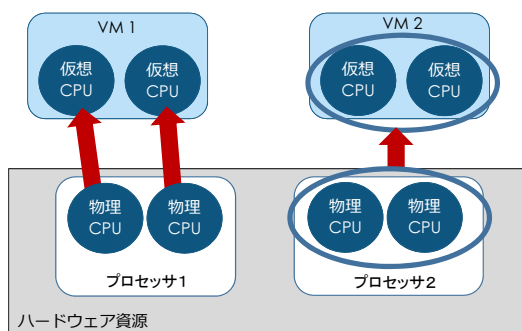


図 1 仮想 CPU への物理 CPU の割り当て

このような VM への CPU 割り当ては仮想化されているため、VM 中のアプリケーションや OS に割り当ての詳細は分からない。仮想 CPU と同じ数のプロセッサがあるように見え

る場合もあれば、プロセッサは 1 つで複数の CPU コアがあるように見える場合もある。しかし、OS はプロセッサを意識してスケジューリングを行うことが多い。同一プロセッサ内の CPU コアはキャッシュを共有でき、メモリ上のデータに高速にアクセスできるためである。VM 内の OS は VM を用いない実環境と同じようにアプリケーションのスレッドに CPU を割り当てるため、VM への CPU 割り当てによっては、並列アプリケーションの性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。

## 3 CPU 割り当ての影響の調査

本研究では、VM への CPU 割り当てが並列アプリケーションの性能に及ぼす影響を調べるために、Tascell [1] を用いて並列化されたフィボナッチ数計算の性能を比較した。Tascell は動的負荷分散フレームワークであり、あらかじめ分割するのが難しい探索などの処理を複数のスレッド間で均等に分割することができる。実験に用いたフィボナッチ数の計算は探索と似た処理を行う。

実験には、Opteron 6376 2.3GHz (16 コア) のプロセッサを 2 基、320GB のメモリを備えた PC を用いた。仮想化ソフトウェアには Xen 4.4.0 を用い、OS には Linux 3.13.0 を用いた。16 個の仮想 CPU と 4GB のメモリを備えた VM を用意し、16 個の物理 CPU を割り当てた。

### 3.1 VM と実環境での性能比較

並列アプリケーションで用いるスレッド数を 1~16 まで変化させて、VM と実環境で実行した場合の実行時間を測定した。VM には 1 つのプロセッサ内の CPU コアを割り当てた。一般に、この CPU 割り当ての性能がよいとされているためである。実験結果を図 2 に示す。

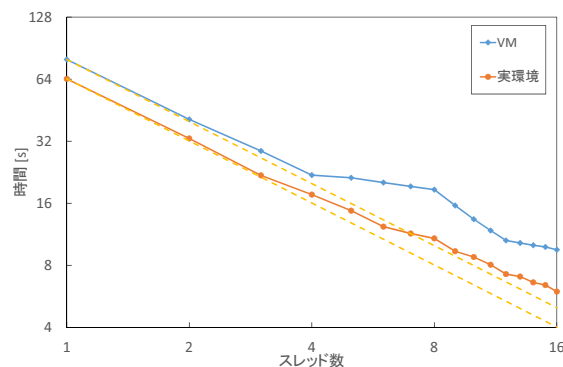


図 2 VM と実環境での性能の変化

この結果より、VM 内で実行すると一定の仮想化オーバーヘッドがあることが分かる。一方、4 スレッド以上での挙動は大きく異なる。実環境では次第に性能向上が鈍化しているのに対し、VM では急に性能が向上しなくなる。しかし、8 スレッド

を超えると再び性能が大きく向上するようになる。

### 3.2 CPU 割り当ての性能への影響

3.1 節のような挙動を示すのは VM への CPU 割り当てが原因である可能性があるため、仮想 CPU に割り当てる 16 個の物理 CPU を 2 つのプロセッサに様々な比率で分散させた。この場合の実験結果を図 3 に示す。

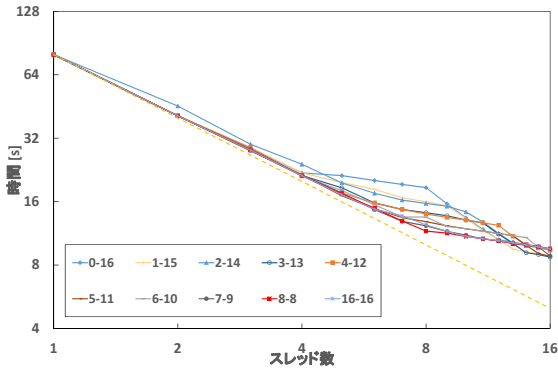


図 3 プロセッサ間での物理 CPU の分散の影響

4 スレッド以上の性能は CPU 割り当てに大きく影響されることが分かる。3.1 節の CPU 割り当ては 0-16 であるが、10 スレッドを超えるまでは最も性能が悪い。最も性能が良いのは均等に分散させた 8-8 であり、8 スレッドまで性能がほぼ理想的に向上し続けている。これは固定的な CPU 割り当てを行わない場合と同じであった。また、7-9 のように各プロセッサから割り当てる物理 CPU 数が奇数になるようにした場合は、16 スレッド付近で 8-8 よりも性能がよくなることも分かった。

### 3.3 CPU コアの競合の調査

VM での実行性能が 3.2 節のようになる原因はプロセッサ内での CPU コアの競合にあるのではないかと考えた。実験に用いた Opteron は Clustered Multi-Thread (CMT) を採用しており、2 つのコアで 1 つのモジュールを構成している。モジュール内のコアは命令デコーダや L2 キャッシュなどを共有している。そこで、0-16 と 8-8 の場合に物理 CPU の使用率を測定し、2 つのコアを同時に使用しているモジュールの数（競合モジュール数）を調べた。この実験結果を図 4 に示す。

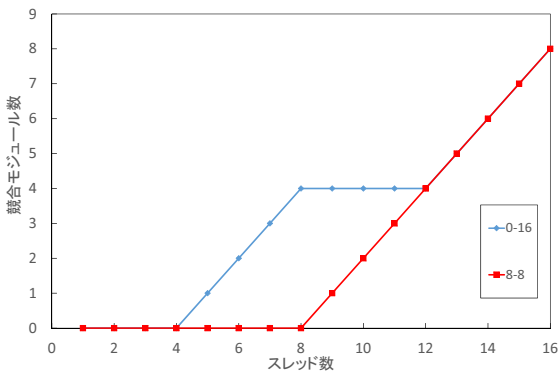


図 4 競合モジュール数の変化

図 3 と比較すると、競合モジュール数と性能には強い相関があることが分かる。これより、並列アプリケーションの性能は物理 CPU の使われ方に大きく影響されることが分かった。

### 3.4 原因となるスケジューラの特定

OS によるスレッドのスケジューリングと仮想環境における仮想 CPU のスケジューリングのどちらに原因があるのかを調べた。まず、並列アプリケーションのスレッドが使う仮想 CPU を固定して、OS によるスケジューリングを無効化した。その場合の性能は図 3 と変わらなかったため、OS のスケジューリングの影響はないことが分かった。

次に、仮想 CPU と物理 CPU を 1 対 1 に割り当て、仮想 CPU のスケジューリングを無効化した。その場合、8-8 と 0-16 の性能はほぼ同じになり、図 3 と傾向が大きく異なることが分かった。この結果より、仮想 CPU のスケジューリングが並列アプリケーションの挙動を決定していることが分かった。

### 3.5 モジュールを考慮した CPU 割り当て

プロセッサ内のモジュールを考慮して仮想 CPU のスケジューリングを行うことで性能が向上するかどうかを調べるために、番号が偶数の物理 CPU だけ 16 個を VM に割り当てた。この場合の実験結果を図 5 に示す。

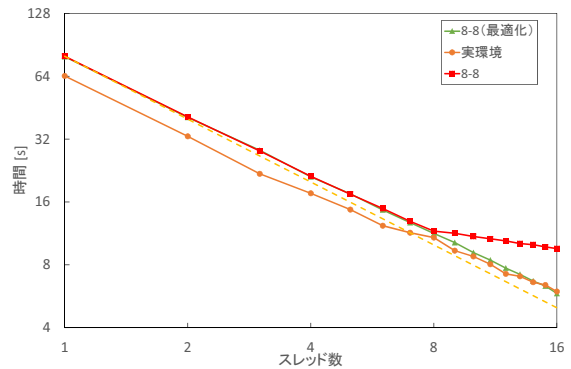


図 5 モジュールを考慮した CPU 割り当ての性能

モジュール内での CPU コアの競合を防ぐことにより、16 スレッドまでほぼ理想的に性能が向上していることが分かる。また、8 スレッド以上では実環境で実行した場合に近い性能を得られていることが分かる。

## 4 まとめ

本研究では、VM の CPU 割り当てがアプリケーションの並列処理性能にどのような影響を与えるかを調査した。その結果、CPU 割り当てが並列アプリケーションの性能に大きな影響を及ぼすことが分かった。その原因を調査し、プロセッサのモジュール内の CPU コアが競合していることが分かった。モジュールを考慮した CPU 割り当てを行うことにより、性能を大幅に改善することができた。

今後の課題は、モジュールを考慮した仮想 CPU のスケジューラを開発することである。そのために、今回用いたアプリケーション以外についても、CPU 割り当ての影響を調査する必要がある。

### 参考文献

[1] T. Hiraishi, M. Yasugi, S. Umatani, and T. Yuasa. Backtracking-based Load Balancing, In Proc. Symp. PPOPP 2009.