

並列キュー計算モデルの理論特性評価

Halcham Kutluk[†] 吉永 努[‡] 曾和 将容[‡]

電気通信大学 大学院情報システム学研究所^{†‡}

1. はじめに

我々は、キューの使用法に関する制約が異なる、生産消費順序遵守型、消費順序遵守型、生産順序遵守型の3種類の並列キュー計算モデルを提案している。本研究では、命令ホールを多く含むプログラムを用いて、モデルの違いが、命令数、命令レベル並列性、実行ステップ数にどのように影響するかを調べ、3種類の並列キュー計算モデルの理論的な特性を明らかにする。

2. キュー計算モデル

キュー計算モデルとは、キューと呼ばれる FIFO (first in first out) のデータ構造を途中結果の格納場所に用いる計算モデルである。キューの先頭からデータを取り出して演算を行い、キューの末尾に結果を書き込む。キューの先頭からデータを取り出すことをデータを「消費する」と言い、末尾にデータを書き込むことをデータを「生産する」と言う。純粋なキュー計算モデルでは、キューに格納したデータを FIFO に合致する、すなわち、「データの生産順序と消費順序が一致する」必要がある。本稿では、この純粋なキュー計算モデルを「生産消費順序遵守型キュー計算モデル (Qp&c)」と呼ぶ。

Qp&c では「データの生産順序と消費順序が一致する」という制約は、一般的な多くのプログラムに対して厳しい制約となる。複数回使用するデータを複製したり、キュー内のデータの並び順を整えたりする命令の追加が必要となる。これは、コードサイズの小規模化の効果を小さくし、プログラム実行時間の増加につながる。そこで、この問題点を解決するために、「データの生産順と消費順が一致する」という制約を緩和し、データの消費順序が生産順序のどちらか一方だけを遵守するキュー計算モデルを提案している。前者を「消費順序遵守型キュー計算モデル (Qc)」と呼ぶ。後者を「生産順序遵守型キュー計算モデル (Qp)」と呼ぶ。

3. 評価に用いたプログラム

プログラムサイズや並列性に関してどのような特性を持つのかを評価するために、命令ホール含むんだ

- 同じデータを複数回利用する
- 命令レベル並列性を多く含む

という特徴を備えたプログラムを用いた。

図1は、今回用いた、8基の入力データに対する Optimal prefix sums circuit を計算する図形プログラムである。このプログラムは $\{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}\}$ の入力データに対して $s_i = x_0 + \dots + x_i$ を計算して $\{s_0, s_1, \dots, s_{n-1}\}$ を出力するプログラムである(今回は $n=8$)。このプログラムでアークがクロスしているところ(クロスアーク)や横に命令がないところ(命令ホール)や同じデータが複数回消費されること(参照)はキューのデータの並び順番を狂わせる。

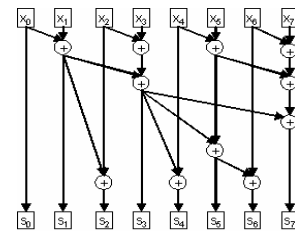


図1 . Optimal prefix sums circuit for 8 inputs

横並びの命令はお互いに従属性がないので、すべて並列に実行可能なことが分かる。したがって、キューの先頭および末尾以外の位置にも同時に取り出しと書き込みを行うことを許せば、これらの命令を並列に実行できる。このように拡張したキュー計算モデルを「並列キュー計算モデル」といい、3種類のキュー計算モデルをそれぞれ「生産消費型並列キュー計算モデル (PQp&c)」、「消費型並列キュー計算モデル (PQc)」、「生産型並列キュー計算モデル (PQp)」と呼ぶ。

(1) PQp&c の場合

PQp&c では、複数回使用するデータを dup 命令によって使用する回数分だけ複製する必要がある。rot 命令によってキューの中の並び順番を整理することで命令ホール問題が解決した。図1に示した図形プログラムの基本形を図2のように変形する必要がある。

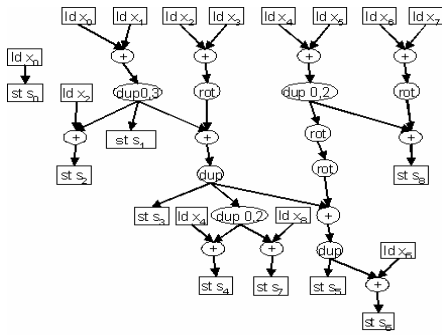


図 2 . PQp&c 用の図形プログラム

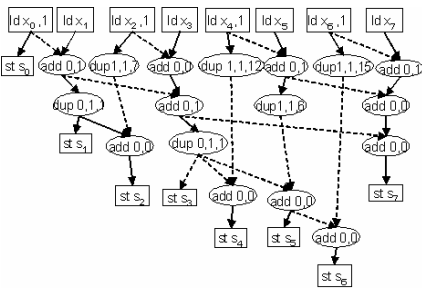


図 3 . PQc 用の図形プログラム

(2) PQc の場合

PQc では、図形プログラムを变形することなく、命令列を生成することができる。図 3 は、Qc 型の命令セットを用いて図 1 を書き直したものである。データの生産位置をオペランドに指定することで命令ホールを解消した。例えば、add 0, n という命令は、キューの末尾と (末尾 + n) の位置の 2 箇所に加算結果を書き込むことを意味する。

(3) PQp の場合

PQp では、図形プログラムを变形することなく、命令列を生成できる。図 4 は、Qp 型の命令セットを用いて図 1 を書き直したものである。データの参照位置をオペランドに指定することで命令ホールが解消された。例えば、add 1, n はキューの先頭のデータとキューの先頭から n ワード先のデータを加算する命令であり、図中の破線は、データが参照によって使用されることを表している。

4. 特性比較と考察

PQp&c, PQc, PQp の 3 種類について命令数、必要となる最大のキューの長さ、実行ステップ数、最大並列度、平均並列度を比較した。表 1 は、演算ユニット数に制限がなく、並列実行可能な命令が全て同時に実行

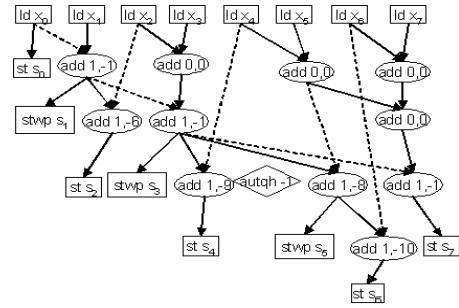


図 4 . PQp 用の図形プログラム

できると仮定した場合の結果である。命令数を比較すると、PQp は、PQp&c より 33% 少なく、PQc より 15% 少なくなった。PQp の命令数が最も少ないのはキュー内のデータを参照して使用できるという柔軟性の効果によるものと考えられる。必要となる最大のキューの長さは、PQp&c が一番小さかった。これは、キュー内のデータの並び順が FIFO に合致するので、キューを最も効率良く利用できたためと考えられる。実行ステップ数は、PQp&c の 9 ステップに対して PQp と PQc は 7 と 6 ステップであり、PQp&c より 25% 少ないステップ数で実行が終わることがわかった。

表 1 . 演算ユニット数を制限しない場合

	命令数	最大の Q の長さ	実行ステップ数	最大並列度	平均並列度
生産消費	42	12	9	8	4.6
消費	33	25	7	8	4.7
生産	28	25	6	8	4.6

5. おわりに

本稿では、命令数、命令レベル並列性、プログラムの実行ステップ数について比較を行うことで、3 種類の並列キュー計算モデルの理論的特性を調べた。その結果、命令ホールをたくさん含むプログラムでも、命令数と実行ステップ数の点で PQp が他の 2 種類のモデル (PQp&c, PQc) よりも優れた特性を持つことを示した。

参考文献

[1] Halcham.KUTLUK, S.Shigeta, ..., and M. Sowa, “並列キュー計算モデルの基本特性評価”, 情報処理学会 CPSY, Vol.104, pp.37-42 (2004).
 [2] M. Sowa, “Summary of Parallel Queue Machine”, Sowa Lab. Technical Report, No. SLL97301 (1997).