

低レベル並列処理計算機による3次元図形表示処理

— 視線探索法の場合 —

3C-6

平池龍一 新實治男 富田眞治 萩原宏

(京都大学 工学部)

1. はじめに

我々は、本研究室で開発された低レベル並列処理方式によるマイクロプログラム制御計算機QA-2上に、3次元図形表示処理方法のひとつである視線探索法を実現した。

本稿では、QA-2の有する種々のファシリティがシステム性能に及ぼす効果を中心に、3次元図形表示処理に対するQA-2の適応性について述べる。

2. 低レベル並列処理計算機QA-2

QA-2は、同一で高機能な4個の可変長(8,16,24,32ビット)ALUが、256ビットの水平型マイクロ命令の異なるフィールドで独立に制御され、それらが均一で大容量のレジスタ・ファイル(6Kバイト)を共有して動作する。また、ALU連鎖演算機能により、あるALUで得られた演算結果を他のALU演算の入力オペランドとすることで、1マイクロ命令で最大4個までの逐次演算が可能である。

QA-2では、2方向分岐"IF-THEN-ELSE-"文や多方向分岐"CASE-OF-"文などの強力な条件分岐機能を備えており、さらに、ALUでの演算の結果得られたステータスを直ちにそのマイクロ命令の順序制御に用いる(カレント・モードによる条件分岐)か、あるいは、次のマイクロ命令以降の順序制御に用いるかの選択が可能である。

3. QA-2の適応性

3.1 視線探索法による図形表示

図形表示は、スクリーン上の各画素ごとに、視線計算、交差判定、色計算の処理を経て実現される。各処理には、3次元座標の各座標成分(X, Y, Z)に関する演算処理を同じ演算操作で行う部分が多く、これらの部分では、3つの演算を並列に行うことが可能である。そこで、この並列処理可能な3つの演算を3個のALUに割り当て、残りの1個のALUを後続の演算のための前処理として利用す

る方針で、マイクロプログラムを記述した。

主な処理ルーチンは、次の通りである。

VIEW : スクリーンを通過する視線の算出

CROSS : 視線と物体との交差の有無の判定

COLOR : 照明モデルに基づいた画素の色の計算

FIXDIV : 引き放し法による32ビットの固定小数点除算

FIXSQRT : 引き放し法による32ビットの固定小数点開平方値データは、32ビットの固定小数点形式とした。

表1に、各処理ルーチン別の評価データを示す。ただし、本節では基本的な処理に対するQA-2の適応性をみるために、ランダムな位置に発生させた5個の球を図形データとして用いた。

3.2 レジスタ・ALU部の適応性

QA-2の有する間接アクセス用レジスタ・ファイル(IRF:4Kバイト)に図形データの一部を、汎用レジスタ・ファイル(1Kバイト)に演算結果のすべてを格納可能であるために、主記憶参照の回数を大幅に軽減することができた。実際、図形データの参照回数が多いCROSSルーチンにおいても、主記憶参照の割合は5.8%と低い値を示している。また、主記憶あるいはIRFに格納した図形データを参照するために必要なアドレス計算を、QA-2の有するALU連鎖演算機能を用いて1マイクロ命令で実現できた。さらに、各アドレス・レジスタにはアドレスの自動増減機能が備わっているために、余計なアドレス計算をALUで行う必要がなく、全体の処理ステップ数の増加を抑えることができている。

3.3 順序制御部の適応性

VIEWルーチンにて、多方向条件分岐の割合が37.5%、カレント・モードによる条件分岐の割合が33.3%であるのをはじめ、各ルーチンにおいてQA-2の高度な順序制御機

表1. 主な処理ルーチンの評価データ

ルーチン名	処理ステップ数の割合	平均ALU使用個数 ¹	ALU連鎖演算の割合 ²	2方向条件分岐の割合 ³	多方向条件分岐の割合 ⁴	カレント・モード分岐の割合 ⁵	主記憶参照の割合 ⁶
VIEW	1.9%	2.75個	4.5%	0.0%	37.5%	33.3%	12.5%
CROSS	59.5%	3.48個	3.4%	12.1%	8.2%	26.8%	5.8%
COLOR	1.4%	2.50個	9.2%	9.0%	19.3%	43.9%	6.0%
FIXDIV	10.2%	3.47個	40.7%	0.0%	97.1%	100.0%	0.0%
FIXSQRT	17.5%	3.46個	54.4%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%

1 実行ALU演算総数/実行ステップ総数

2 ALU連鎖演算数/実行ALU演算総数

3 2方向条件分岐命令ステップ数/実行ステップ総数

4 多方向条件分岐命令ステップ数/実行ステップ総数

5 カレント・モード分岐命令ステップ数/条件分岐命令ステップ総数

6 主記憶参照命令ステップ数/実行ステップ総数

表2. 修正アーキテクチャにおける処理ステップ数の増加

ルーチ名	修正のない場合	1-ALU構成の場合	2-ALU構成の場合	8-ALU構成の場合	16-ALU構成の場合	ALU連鎖演算機能がない場合	カレント・モード分岐機能がない場合	多方向条件分岐機能がない場合
VIEW	1.00倍	2.75倍	1.63倍	0.75倍	0.62倍	1.12倍	1.12倍	1.25倍
CROSS	1.00倍	3.48倍	1.85倍	0.68倍	0.55倍	1.12倍	1.11倍	1.20倍
COLOR	1.00倍	2.50倍	1.48倍	0.77倍	0.71倍	1.20倍	1.18倍	1.37倍
FIXDIV	1.00倍	3.47倍	1.97倍	1.00倍	1.00倍	1.91倍	1.97倍	2.94倍
FIXSQRT	1.00倍	3.46倍	1.73倍	1.00倍	1.00倍	2.12倍	1.00倍	1.79倍

能処理ステップ数の軽減に役立っている。特に、基本演算としてハードウェアを持たない除算に関しては、多方向条件分岐の割合が97.1%、カレント・モードによる条件分岐の割合が100.0%にも達しており、多方向条件分岐機能、カレント・モードによる条件分岐機能およびALU連鎖演算機能の支援により1ビットの解を1マイクロ命令で得ることができた。これらの機能がいない場合には、1ビットの解を得るために少なくとも3マイクロ命令が必要であり、以上の機能が有効であることがわかる。また、このルーチンにおける平均ALU使用個数は3.47個となっており、ALUの有効利用に役立つことも確かめられた。

3.4 主記憶管理部の適応性

QA-2では、主記憶多倍長アクセス機能とメモリ・アドレス・レジスタの自動増減機能によって、主記憶中に順配置されたデータを連続したマイクロ命令で16バイト単位で読み出すことが可能である。CROSSルーチンでは、1単位処理に必要な40バイトの図形データを、アドレス計算を含めてわずか4マイクロ命令でフェッチできているなど、各ルーチンにおいて処理ステップ数が軽減されている。

3.5 修正アーキテクチャとの性能比較

QA-2のALU個数が4個で妥当であるか否かを調べるために、ALUの個数と処理ステップ数との関係を求めた。結果を表2に示す。ただし、主記憶へのアクセス幅もALUの個数に合わせて変えるものと仮定した。処理量の大部分を占めるCROSSルーチンにおいては、2-ALU構成から4-ALU構成へ変えた場合に、処理ステップ数は80%以上も減少するのに対して、4-ALU構成から8-ALU構成へ変えた場合には、それが30%しか減少せず、特に、FIXDIVルーチン等の基本演算ルーチンでは、8-ALU構成への修正による性能向上が望めない。8-ALU構成の場合にはハードウェア規模が2倍以上になることを考慮すると、QA-2のALUの個数は妥当な値といえる。

また、ALU連鎖演算機能がない場合、FIXDIVルーチンにおいては2倍以上の処理ステップ数を要し、2-ALU構成を採った場合よりも処理ステップ数の増加が激しくなっており、明示的な並列性のない処理部分ではALU連鎖演算機能の支援が必須であることがわかる。

QA-2の順序制御方式が"IF Status THEN GOTO Label ELSE NEXT"の分岐形式(8個のステータスによる2方向分岐)しか持たない場合、処理ステップ数は1.2~2.9倍に増加している。また、カレント・モードによる条件分岐機能がない場合には、処理ステップ数が1.1~2.0倍に増加することから、QA-2の有する高機能順序制御機能が処理ステップ数の軽減に非常に有効であるといえる。

3.6 IBM370との性能比較

QA-2のマイクロ・アーキテクチャと汎用計算機のアーキテクチャとを比較するために、IBM370の機械語に対して処理ステップ数を算出した。QA-2のマイクロ命令の処理ステップ数との比較を表3に示す。このとき、汎用大型計算機は命令パイプライン制御方式を採用しており、多くの単純な機械命令は1ステップで実行されるものと仮定した。

IBM370の処理ステップ数がQA-2のそれと比べて増加する要因として、①分岐命令が基本的に1個のステータスによる2方向分岐である；②分岐に用いるステータスの設定を行う命令が必要である；③ステータスの保存ができないために、同一ステータスを使用する場合でもステータスの再設定が必要である；④1アドレス方式であり、かつ、レジスタが限られることによるデータ転送関係の命令の増加；などが考えられる。

QA-2では、①、②、③については水平型マイクロ命令の並列操作および高機能順序制御方式で、④については大容量のレジスタ・ファイルで吸収されている。比較の結果、IBM370の処理ステップ数がQA-2のその6倍以上になっており、QA-2の高機能性を示す1つの指標になると考えられる。

表3. IBM370との処理ステップ数の比較

ルーチ名	QA-2	IBM370	
VIEW	2,098,178	15,999,507	(7.63倍)
CROSS	67,375,504	421,307,932	(6.25倍)
COLOR	1,615,088	10,774,096	(6.67倍)
FIXDIV	11,504,510	328,704	(0.03倍)
FIXSQRT	19,880,132	151,239,651	(7.61倍)

除算器あり

4. おわりに

QA-2の有する諸機能が、処理ステップ数を軽減すると共にALUの使用効率を高めており、3次元図形表示処理に対するQA-2の適応性が確かめられた。

参考文献

- [1] 北村 他：『ユニバーサル・ホスト計算機QA-2の低レベル並列処理方式』、情報処理学会、Vol.27, No.4, Apr.1986
- [2] 湯浅 他：『低レベル並列処理計算機による3次元色彩図形表示処理』、情報処理学会、Vol.27, No.6, June.1986