

5P-10 スーパーコンピュータにおける
プログラムの性能指標MOPSの評価

羽中田 恭子 山本 克己 日本電気(株)

石倉 徹次

日本電気ソフトウェア(株)

1. はじめに

スーパーコンピュータにおけるプログラムの性能向上では、プログラムのベクトル化率を高め、ベクトル化されるループのループ長を長くするようにプログラムを修正するとともに、修正したプログラムを実行して得られる演算速度や加算率等によりそのハードウェア性能を十分に引き出しているかを検証する総合的な判断が重要である。

本論文では、スーパーコンピュータSX向きにチューニングしたプログラムがハードウェア性能を十分に引き出しているかを検証する指標として、MOPS (Million Operations Per Second) を定義し、その有効性を確認したので、これを報告する。

2. MOPSの定義

従来、性能の指標としては、MIPS (Million Instructions Per Second) やMFLOPS (Million Floating Point Operations Per Second) が用いられてきた。

ところが、MIPSはベクトル命令を考慮していないので、ベクトル命令を含むプログラムの性能が正しく表示できないし、MFLOPSはアーキテクチャの相違やコンパイラの性能の影響を排除し、スーパーコンピュータの性能を総合的に比較するには大変に有効であるが、スーパーコンピュータのハードウェア性能を十分に引き出しているかの指標としては、不十分であった。これは、例えば、load/storeといった性能に実質的に大きな影響を与える命令が評価の対象となっていないためである。

そこで、これら従来の性能指標が抱える欠点を補う性能指標として、MOPSを定義した。このMOPSは、その入力情報をSXのハードウェアが持っている命令カウンタの情報を利用して得るので、少ないオーバーヘッドで情報採取が可能という利点もある。MOPSは、ハードウェアが1秒間に実行した演算数を示し、下の式により算出する。

$$MOPS = \frac{S.INST + V.EL}{T} \times 10^{-6}$$

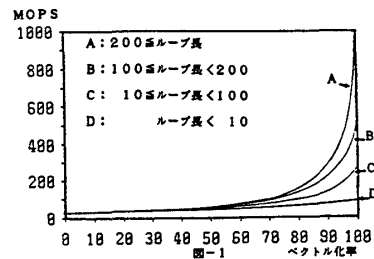
S.INST 実行されたスカラ命令数
V.EL 実行されたベクトル命令で処理された要素数
T 実行時間(秒)

ベクトル化率が高いプログラムでも、バンク競合の発生や遅いベクトル命令の使用等によりハードウェアの性能を十分に生かしていない場合、1演算当たりの実行時間が増加し、MOPS値は低下する。そのため、ベクトル化率の向上やベクトル長を長くする等のチューニングが終了した後に、ハードウェアの性能を十分に生かしていない他の原因があるかの検証に有効と考えた。

また、MOPSはベクトル化率やループ長の影響を受けるので、検証する場合の目標MOPS値は、ベクトル化率やループ長を考慮する必要がある。

3. MOPS値の測定

検証する際の目標MOPS値を設定するために、動的解析ツール (ANALYZER/SX)にMOPS値表示機能を付加して当社の保有のプログラムのベクトル化率、平均ループ長、MOPS値をSX-2Aで測定した。測定プログラムは、約30本(約100プログラム単位)である。図-1は、測定結果をMOPS値とベクトル化率の相関関係で表示したものをベクトル長毎にグループ分けして示したものである。サンプルプログラム数が、少なく、やや偏りがあるが、チューニングが充分かの判定の際の目安となると考える。この図から、SX-2Aにおいて、ベクトル化率もベクトル長も充分な場合の目標MOPS値としては、700MOPS位であろうと考える。



4. チューニング事例

我々の定義するMOPS値を使用して、NASAで開発した著名なベンチマークプログラムであるNASA KERNELがハードウェアの性能を十分に生かして実行されているかの検証を行ったので、それについて述べる。

(1) プログラムを動的解析ツール (ANALYZER/SX)で実行して、

Evaluation of Program Performance Measure MOPS for Supercomputers

Kyoko HANAKATA 1, Katsumi YAMAMOTO 1, Tetsuji ISHIKURA 2

1 NEC Corporation, 2 NEC Software, Ltd.

プログラム単位毎の実行時間、ベクトル化率、平均ベクトル長、MOPS値の情報を得る。図-2は、ANALYZER/SXの出力リストである。

(2) この実行結果から実行時間の長いプログラム単位を選出し、ハードウェア性能を引き出しているかの検証を行う。選出したプログラム単位CFFTD1、VPENTA、CFFTD2のベクトル化率はいずれも98%を越えている。しかし、ベクトル長が約256であるCFFTD1とベクトル長が128でCFFTD2のベクトル長とほぼ等しいVPENTAのMOPS値が、CFFTD2のMOPS値の1/20、1/10と極端に低く、図-1の目標MOPS値(700MOPS)からも極端に低いことが分かり、性能が十分に引き出されていないと判定できる(参考にレーダチャートを図-3に示す)。

(3) プログラム単位CFFTD1、VPENTAについてMOPS値低下の原因を調べる。その結果、どちらのプログラム単位もバンク競合を引き起こして、それが性能低下の原因となっていることが判明した。

(4) そこで、バンク競合を引き起こしているプログラムを修正し、動的解析ツールで再度MOPS値を測定した。その結果、プログラム単位CFFTD1、VPENTAのMOPS値は図-4に示すように充分に増加しており、ハードウェア性能が十分に引き出されたことを確認した(修正後のレーダチャートを図-5に示す)。

また、修正後の図-5で実行時間の比率の高いプログラム単

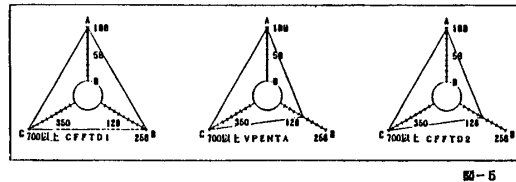
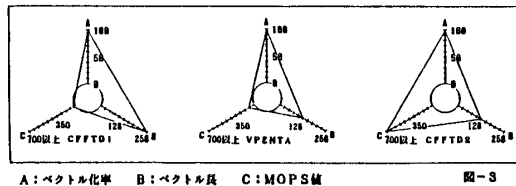
位BTRIXは、ベクトル化率は充分に高いがMOPS値は低い。これは、ループ長が28と短いために性能が出ていないことを示している。

5. おわりに

以上のように、動的解析ツールにおいてベクトル化率やループ長とともにMOPS値を表示することは、チューニング状態にあったハードウェア性能が十分に引き出されているかの検証に大変有効であると確認できた。

なお、当社ではこのMOPS値の表示機能を動的解析ツールに正式に実装してリリースすることとしている。

今後は、ベクトル化率、ループ長、MOPS値の相互関係を利用者が容易に把握するために相互関係のグラフ化等の検討が必要と考えている。また、そのためにも多くのサンプルプログラムを測定して、より精度の高いMOPS値の目標値を利用者に提示する必要があると考える。



```

EXECUTION ( CPU ) TIME = 0 : 0 ' 24 " 447 ( 24447 MSEC )
INSTRUCTION COUNT      = 124613419
VECTOR OPERATION RATIO = 98.52%
MOPS                    = 210.244
    
```

ATR	PROGRAM	FREQUENCY	TIME(%)	AV.TIME	V.OP.RATIO	AV.V.LEN	INSTR.	V.INSTR.	V.ELEMENT	MOPS
-->	NASKER	1	0(0.00)	0	11.6	19.0	2763	19	361	21.234
FNC	CPTIM	14	0(0.00)	0	0.0	0.0	2730	0	0	21.929
SUB	COPY	1420	151(0.62)	0	98.2	255.9	2362740	425120	108769200	730.528
SUB	MXMTST	1	20(0.09)	20	0.0	0.0	518368	0	0	24.747
SUB	MXM	100	488(2.00)	4	98.8	256.0	11865600	2880000	737280000	1526.694
SUB	FFTST	1	81(0.21)	51	95.8	256.0	933654	76800	19660800	400.682
SUB	CFFTD1	201	12702(51.98)	83	99.3	254.9	6173334	2251171	57376312	45.478
SUB	CFFTD2	201	693(2.84)	3	98.8	127.8	13088834	5119871	654267200	955.419
SUB	CHOTST	1	50(0.21)	50	0.0	0.0	1337817	0	0	26.325
SUB	CHLSKY	200	815(2.52)	3	97.9	251.0	17265200	2691000	675441000	1120.175
SUB	BTRIX	1	107(0.44)	107	0.0	0.0	2816670	0	0	24.410
SUB	BTRIX	600	2158(8.83)	3	97.8	28.0	41421000	25331400	709279200	336.121
SUB	GMITST	1	0(0.00)	0	0.1	5.0	11080	2	10	22.183
SUB	GMITR	2	717(2.93)	358	98.3	161.9	11979932	3201422	518226980	734.854
SUB	EMITST	1	69(0.29)	69	0.1	65.4	1942730	24	2050	27.886
SUB	EMIT	10	382(1.56)	38	99.6	244.7	3591000	1843100	450963800	1184.907
SUB	VPENT	1	88(0.28)	88	0.0	0.0	1803947	0	0	23.567
SUB	VPENTA	400	6184(25.23)	15	99.5	128.0	7896000	4813600	616241600	100.393

図-2 NASA KERNEL チューニング前

```

EXECUTION ( CPU ) TIME = 0 : 0 ' 0 " 943 ( 6943 MSEC )
INSTRUCTION COUNT      = 124890120
VECTOR OPERATION RATIO = 98.52%
MOPS                    = 739.053
    
```

ATR	PROGRAM	FREQUENCY	TIME(%)	AV.TIME	V.OP.RATIO	AV.V.LEN	INSTR.	V.INSTR.	V.ELEMENT	MOPS
-->	NASKER	1	0(0.00)	0	11.6	19.0	2763	19	361	20.530
FNC	CPTIM	14	0(0.00)	0	0.0	0.0	2730	0	0	21.596
SUB	COPY	1420	159(0.62)	0	98.3	255.7	2450740	442720	113192600	720.783
SUB	MXMTST	1	20(0.30)	20	0.0	0.0	518408	0	0	24.750
SUB	MXM	100	489(7.00)	4	98.8	256.0	11865600	2880000	737280000	1535.359
SUB	FFTST	1	75(1.09)	75	95.4	256.0	1022855	76800	19660800	272.254
SUB	CFFTD1	201	707(10.19)	3	99.3	254.9	6173334	2251171	57376312	818.412
SUB	CFFTD2	201	697(10.04)	3	98.8	127.8	13088834	5119871	654267300	949.740
SUB	CHOTST	1	50(0.73)	50	0.0	0.0	1338217	0	0	26.343
SUB	CHLSKY	200	615(8.87)	3	97.9	261.0	17265000	2691000	675441000	1120.347
SUB	BTRIX	1	107(1.54)	107	0.0	0.0	2816670	0	0	24.408
SUB	BTRIX	600	2158(31.08)	3	97.8	28.0	41421000	25331400	709279200	336.121
SUB	GMITST	1	0(0.01)	0	0.1	5.0	11080	2	10	22.148
SUB	GMITR	2	718(10.31)	358	98.3	161.9	11979932	3201422	518226980	735.945
SUB	EMITST	1	69(1.00)	69	0.1	65.4	1942730	24	2050	27.885
SUB	EMIT	10	382(5.50)	38	99.6	244.7	3591000	1843100	450963800	1184.920
SUB	VPENT	1	88(0.98)	88	0.0	0.0	1803947	0	0	23.567
SUB	VPENTA	400	627(9.04)	1	99.5	128.0	7795200	4712800	603339200	966.648

図-4 NASA KERNEL チューニング後