

プログラムのDOループ特性について

1 L-4

中村 絹代

航空宇宙技術研究所

1 はじめに

加算特性は解明すべき問題、方程式、解法、加算コーディングの様々な段階の複合的特徴としてとらえられる。この加算特性は計算機の処理性能に影響を及ぼす。このため、加算特性と計算機の処理性能との関係を明確にするための一つの研究として、DOループ特性とベクトル計算機の処理性能の関係について考察する。

FORTRANプログラムのDOループはベクトル計算機のベクトル処理の単位であり、加算処理において最も計算機負荷のかかる部分である。DOループには個性があり、これは、DOループ特性として、算術演算数や配列データの入出力数等により表現される。本研究は、ベクトル計算機の処理性能に影響を及ぼすDOループ特性について分析し、ベクトル計算機の処理性能とDOループ特性の関係を考察したものである。

2 研究手法

DOループ特性と処理速度（単位：MFLOPS）の関係を考察するために用いたDOループは、航技研の計算空気力学プログラムより選出した18種のDOループである。これらのDOループのVP400による実測の処理速度、及び、15種類の仮想計算機モデル<sup>1)</sup>においてワトウェアシミュレーション<sup>2)</sup>により得られた処理速度とDOループ特性との関係を分析した。

3 DOループ特性とベクトル計算機の処理速度

3.1 DOループ特性

表1に18種のDOループのVP400実測による処理速度及びDOループ特性を示す。DOループ特性として、DOループ中に含まれる各種ベクトル命令数、即ち、ロード命令数

( $n_L$ )、ストア命令数( $n_S$ )、加減算命令数( $n_A$ )、乗算命令数( $n_M$ )、除算命令数( $n_D$ )、ロード・ストア命令数( $n_{LS} = n_L + n_S$ )、算術演算命令数( $n_{AR} = n_A + n_M + n_D$ )、全命令数に対するロード・ストア命令数の比率( $n_{LS}/n_V$ ,  $n_V = n_{LS} + n_{AR}$ )、 $n_A$ と $n_M$ の比率( $B(n_A, n_M) = \text{MAX}(n_A, n_M) / \text{MIN}(n_A, n_M)$ )を示す。

3.2 VP400の処理速度とDOループ特性

表1のVP400の処理速度の平均値と標準偏差値を用いて処理速度の大きいDOループと処理速度の小さいDOループを調べる。即ち、VP400の処理速度の平均値を $m_{VP400}$ 、標準偏差値を $\sigma_{VP400}$ 、 $i$ 番のDOループの処理速度を $MF-D_i$ とする。この時、

$$MF-D_i \geq m_{VP400} + \sigma_{VP400} \quad (3.2.1)$$

$$MF-D_i \leq m_{VP400} - \sigma_{VP400} \quad (3.2.2)$$

を満たす処理速度をもつDOループを調べ、(3.2.1)式を満足するDOループをLグループとし、(3.2.2)式を満足するDOループをSグループとする。DOループの振り分けについては大方これらの式を満たすDOループやこれらの式を満たさないまでもこの基準値に近い値を示すDOループもグループに含めた。LグループとSグループに属するDOループは以下の通りである。

$$L \ni D_2, D_3, D_5, D_8, D_{18}$$

$$S \ni D_1, D_9, D_{10}, D_{12}, D_{15}$$

表1より、Lグループに属するDOループは次のC1~C3の特性をもつ。

C1  $n_{LS}/n_V$ の値が小さい。

C2  $B(n_A, n_M)$ の値が小さく、加減算命令数と乗算命令数のバランスが良い。

C3 算術演算命令数が多い。

また、Sグループに属するDOループは次のC4~C6の特性をもつ。

C4  $n_{LS}/n_V$ の値が大きい。

C5  $B(n_A, n_M)$ の値が大きく、加減算命令数と乗算命令数のバランスが悪い。

On the DO-loop characteristics of FORTRAN programs

Kinuyo Nakamura

Aerospace Laboratory

表1 DOループのVP400の実測処理速度及び種類別ベクトル命令数

DO ループ 番号	VP400 実測 処理速度	DOループ中に含まれるベクトル命令数								比率 $n_{LS}/n_V$	$n_A$ と $n_M$ のバランス
		$n_L$	$n_S$	$n_A$	$n_M$	$n_D$	$n_{LS}$	$n_{AR}$	$n_V$		
1	254	107	80	31	82	2	187	115	302	0.619	2.65
2	700	21	50	176	170	4	71	350	421	0.169	1.04
3	870	110	59	300	340	5	169	645	814	0.208	1.13
4	654	28	39	140	169	8	67	317	384	0.174	1.21
5	720	70	15	113	117	6	85	236	321	0.265	1.04
6	414	26	18	143	147	1	44	291	335	0.131	1.03
7	402	6	7	4	17	1	13	22	35	0.371	4.25
8	870	22	4	35	33	0	26	68	94	0.277	1.06
9	341	7	4	6	9	1	11	16	27	0.407	1.50
10	354	22	2	14	20	2	24	36	60	0.400	1.43
11	420	42	2	36	54	2	44	92	136	0.324	1.50
12	256	30	10	20	10	0	40	30	70	0.571	2.00
13	498	25	5	20	15	0	30	35	65	0.462	1.33
14	605	31	5	25	27	0	36	52	88	0.409	1.08
15	237	13	5	9	4	0	18	13	31	0.581	2.25
16	417	32	6	24	42	0	38	66	104	0.365	1.75
17	560	34	45	202	202	7	79	411	490	0.161	1.00
18	705	67	8	200	162	7	75	369	444	0.169	1.23

## C6 算術演算命令数が少ない

SループにもLループにも属さないDOループは、 $D_6$ 及び $D_{17}$ を除き、LループとSループの両方のDOループ特性が混じっている。 $D_6$ 及び $D_{17}$ のDOループはC1~C3を満足しているため、本来、Lループに属してもよいのではないかと考えられる。DOループの処理速度が大きくなるのはC1~C6以外の理由、例えば、データ依存性が高い等、別の理由が考えられる。

## 3.3 計算機モデルによる処理速度とDOループ特性

各種計算機モデルにおける18種のDOループの処理速度の平均値と標準偏差値を用いてDOループの処理速度の大小について調べた結果、 $M$ ライク多重度の相違に関係なく、3.2と同様の結果を得た。また、ベクトル長を32, 64, 128に変化させた場合も同様である。紙面の関係でそれらに関する表は省く。

## 3.4 まとめ

VP400及び各種計算機モデルにおいては $M$ ライク多重度やベクトル長に関係なく、DOループの処理速度の異なるループのDOループ特性はC1~C3を満たし、処理速度の小

なるループのDOループ特性はC4~C6を満たす。これらの結果よりDOループ処理におけるベクトル命令数やその比率をDOループの特徴として参考にできることがわかる。

## 4 おわりに

DOループ特性とベクトル計算機の処理性能との関係を考察するために、アプリケーションプログラムから選出したDOループの各種計算機モデルの処理速度の大小のループに属するDOループのベクトル命令数を分析し、その特性を明らかにした。

今後は、DOループ特性の研究を進めると共に航技研数値風洞などの並列計算機を対象とすることも検討している。

## 参考文献

- 1) DOループによるベクトル計算機の性能評価、情報処理学会第51回全国大会論文集、1995年9月
- 2) ベクトル計算機のベクトル処理に対するソフトウェアシミュレータVTAP 航技研報告TR-1094、1991年2月