

2D-5

待行列モデルによるデュアル・スカラー・プロセッサ型
スーパーコンピュータVP2000の性能評価

石黒美佐子
茨城大学

1. はじめに

スーパーコンピュータFACOM VP2000は、1台のベクトルユニット(VU)に4台までスカラーユニット(SU)を装備できる。速度性能は、ジョブの負荷がスカラー寄りかベクトル寄りかで大きく異なる。SUやVUのアイドルやVUの競合が起こるためである。このことを待行列モデルを用いて解析する。ここでは、ジョブ負荷は、ベクトル化率、ベクトル加速率、ベクトル長によって決める。2台のSUが1台のVUを共有するデュアルスカラープロセッサ(DSP, Fig.2)、1台のSUのユニプロセッサ(UP, Fig.1)及び、DSPと等価なマルチプロセッサ(MP, Fig.3)の3モデルを比較する。ここで、UPとDSPは4パイプVUを、MPは2パイプVUを仮定する。更に、DSPとMPの比較では、短ベクトル長のおきを考慮して評価する。

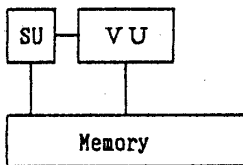


Fig.1 UP-モデル

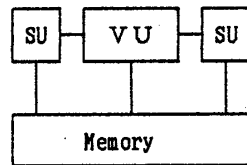


Fig.2 DSP-モデル

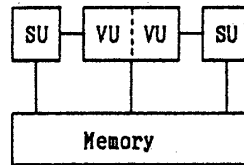


Fig.3 MP-モデル

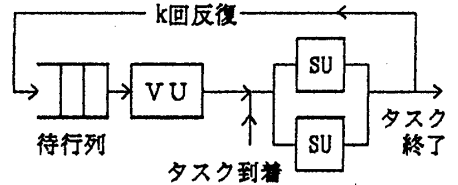


Fig.4 DSP 待ち行列モデル

2. 待行列モデル

DSP システムのSU, VUの使用率を知るために、Fig.4 に示す待行列モデルを考える。ここで、(1) ジョブはタスクに分割され多重処理されているが微小時間内では2タスクのみ処理される。(2) 微小時間内に各タスクは平均 k回SUからVUへの反復を繰り返す。(3) SUとVUのサービス分布は指数分布である。(4)到着順に処理される(FIFO)、を仮定する。

アムダールの法則によれば、ベクトル型スーパーコンピュータでは、スカラー計算に換算した平均のジョブ処理時間(ここではタスク処理時間に当てはめる)を Tとすれば、ベクトル計算部分は $(V/\alpha)*T$ 、スカラー計算部分は $(1-V)*T$ とみなされている。ここで Vはベクトル化率、 α はスカラー計算に対する加速率である。1回の処理時間はVU上では $V*T/(k*\alpha)$ 、SU上では $(1-V)/k$ とみなせる。今後、簡単化のために $T=1$ と仮定する。サービス率は、平均処理時間の逆数として得られるので、VU, SUのサービス率は、

$$\mu_v = k*\alpha/V, \quad \mu_s = k/(1-V). \quad (1)$$

DSP の処理状態としては3とおりに考えられる。S₀: VUにタスクはなく各SUで1つずつ処理されている。S₁: VUで1タスク、いずれかのSUで1タスク処理されている。S₂: VUで1タスク処理され1タスクはVU待ちとなっている。P₀, P₁, P₂を定常時に状態S₀, S₁, S₂をとる確率とすると、次の平衡方程式が成立する。

$$\begin{aligned} dP_0/dt &= \mu_v * P_1 - 2 * \mu_s * P_0, & dP_1/dt &= \mu_v * P_2 + 2 * \mu_s * P_0 - (\mu_v + \mu_s) * P_1, \\ dP_2/dt &= -\mu_v * P_2 + \mu_s * P_1, & P_0 + P_1 + P_2 &= 1. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{定常状態 } dP_i/dt = 0 \text{ の方程式を解くと、} & P_0 = 1/(1+2*C+2*C^2), & P_1 &= 2*C/(1+2*C+2*C^2), \\ & P_2 = 2*C^2/(1+2*C+2*C^2), & C &= \mu_s/\mu_v = V/\{(1-V)*\alpha\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Queuing Model Analysis for the VP2000
with Dual Scalar Architecture

Misako ISHIGURO
Ibaraki University

V, α を変化させたときの平衡状態確率 P₀, P₁, P₂, VUの使用率 $\rho_v (=P_1+P_2)$ 、SUの使用率 $\rho_s (=P_0+P_1)$ を Fig.5で示す。平均VU待ち時間(VUW)は、条件付き確率($=P_2/(P_1+P_2)$)に平均VU処理時間をかけたものである。故に、

$$VUW = C/(1+C)*V/\alpha. \quad (4)$$

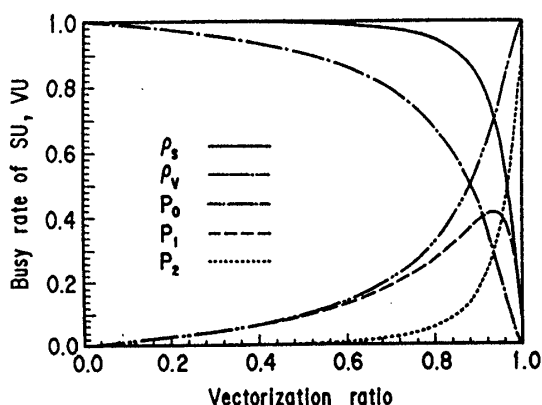


Fig. 5 状態確率、SU、VUビジー率

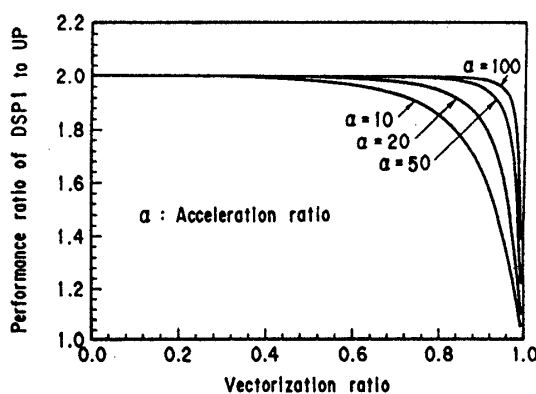


Fig. 6 DSP vs. UP

3. DSP、UP、MPの性能比較

通常のスカラ処理時間を1と仮定した場合のDSPにおける平均タスク処理時間(TDSP)及びUPにおける平均タスク処理時間(TUP)は次式となる。

$$TDSP = \{VU待ち時間 + VU時間 + SU時間\} = (V/\alpha)\{1+C/(1+C)\} + (1-V), \quad TUP = (1-V) + V/\alpha. \quad (5)$$

MPにおいては、十分大きいベクトル長を仮定するとVU処理能力は半分だから、加速率は $1/2 * \alpha$ とみなせる。故に、平均タスク処理時間(TMP)は、

$$TMP = (1-V) + 2 * V/\alpha. \quad (6)$$

DSPとMPは、2タスク並行処理されることを考慮し、スループットの速度性能の比較結果を、DSP対UPについてはFig. 6で、DSP対MPについてはFig. 7で示す。

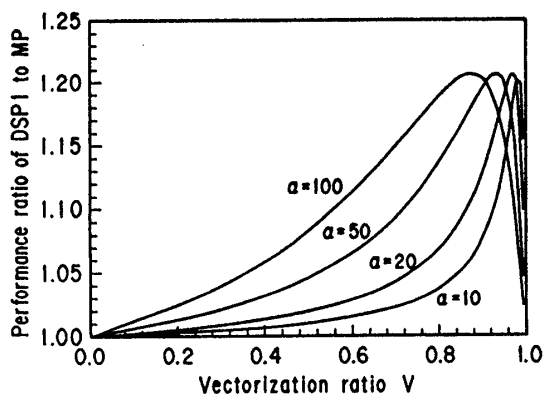
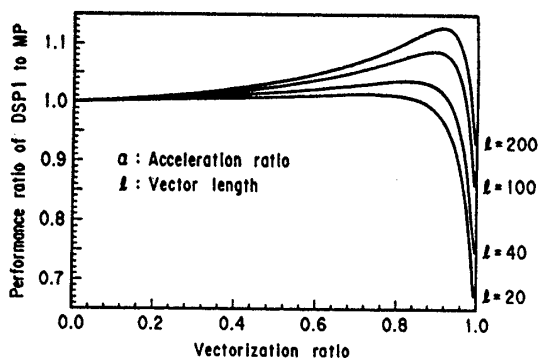


Fig. 7 DSP vs. MP

Fig. 8 DSP vs. MP (短ベクトル)、 $\alpha=20$

4. 短ベクトルのときのDSPとMPの性能比較

ベクトル長が小的时候、ベクトル立ち上がり時間(T_s : VP2600での測定値は約15クロック)のオーバーヘッドによって処理速度が低下する。その影響は、MPの2パイプVUよりもDSPの4パイプVUの方が大きい。低下率はベクトル長 l に依存する。

$$e(l) = (T_s + l/4)/(T_s + l/2) \quad (7)$$

ベクトル長が l のときのDSPでの平均処理時間は次式となる。

$$TDSP(l) = (V/\alpha)\{1 + C/(1+C)\} * e(l) + (1-V) \quad (8)$$

以上を考慮した場合のDSPのMPに対する性能比較結果をFig. 8で示す。

5. おわりに

筆者が、平成3年3月まで原研に勤務していたときの仕事である。原研のジョブ負荷は、ベクトル化率は90%を上回るが短いベクトル長のものが多い。DSPが必ずしも有利とは言えない。参考文献:[1] M. Ishiguro: Queuing Model Analysis of the FUJITSU VP2000 with Dual Scalar Architecture, Inter. Jour. of Supercomputer Applications, Vol.5, No.3, pp.46-62 (1991). [2] K. Miura, H. Nagakura and H. Tamura: VP2000 Series Dual Scalar and Quadruple Scalar Models Supercomputers, Proc. of COMPCON Spring'91, pp.294-302 (1991).