分散環境におけるサービスと計算機構造の関係

1S−8

横山和俊　　谷口秀夫
ＮＴＴデータ通信（株）　　九州大学工学部

1．はじめに

高性能な計算機や高速な通信路が登場してきている。これにともない、複数の計算機や通信路からなる分散環境において、システム全体として効率的にサービスプログラムを走行させることは重要である。

本稿では、分散環境を構成する要素を整理し、それらの要素の性質と関連により、サービス処理を最適に行えるための要素への要求を明らかにする。サービスプログラムの分散が有効な程度を、サービスプログラムの性質とプロセッサ数の関係で述べる。具体的には、サービスプログラムを分散させた時のプロセッサ間通信量、プロセッサの性能、および通信路の速度などを因子として、数式により有効な分散の程度を示す。

2．分散環境のモデル化および要素項目と特徴量

分散環境はプロセッサと通信路からなり、プロセッサ上ではサービス処理と通信処理が走行する。ここで、通信処理とは、サービス処理が協調するために必要な通信に要する処理である。

このような分散環境において、サービスプログラムの分散を論じる上で必要な要素を抽出し、かつその特徴量を決定する。抽出した要素項目と特徴量を表１に示す。

表１　要素項目と特徴量および対応記号の一覧

通番	要素項目	特徴量	対応記号
1	プロセッサ	性能（ＭＩＰＳ）	p
2	通信路	通信速度（bit/sec）	l
3	サービス処理	負荷（実行命令数：DS）	s
4	通信処理	負荷（実行命令数：DS）	c
5	分散環境規模	プロセッサ数	n
6	通信データ量	ｂｉｔ	t

3．数式による解析

3．1　数式化

各特徴量について、添え字は次の意味とする。

（1）添え字 i は、プロセッサ i における特徴量を示す。

（2）添え字 ij は、プロセッサ i とプロセッサ j の間の特徴量を示す。

このため、各特徴量は、以下の性質を持つ。

$$c_{ii} = 0 \tag{1}$$

$$t_{ii} = 0, t_{ij} = t_{ji} \tag{2}$$

プロセッサ数が n のときのサービス処理時間 T_n は、以下の式となる。

$$T_n = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{p_i} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{c_{ij}}{p_i} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{i} \frac{t_{ij}}{l_{ij}} \right) \frac{1}{Q_n} \tag{3}$$

ここで、Q_n はプロセッサ数 n のときの並行係数であり、サービス処理が Q_n の程度で並行に実行されていることを意味する。式（2）より、

$$T_n = \frac{1}{Q_n} \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{p_i} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{c_{ij}}{p_i} + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{t_{ij}}{l_{ij}} \right) \tag{4}$$

となる。これを n が非常に大きいとして、連続系で表現すると、

$$T(n) = \frac{1}{Q(n)} \left(\int_0^n \frac{s(x)}{p(x)} dx + \int_0^n\int_0^n \frac{c(x,y)}{p(x)} dxdy + \frac{1}{2}\int_0^n\int_0^n \frac{t(x,y)}{l(x,y)} dxdy \right) \tag{5}$$

となる。ただし、

$$c(x,x) = 0, \frac{t(x,x)}{l(x,x)} = 0, \frac{t(x,y)}{l(x,y)} = \frac{t(y,x)}{t(y,x)} \tag{6}$$

である。

3．2　仮定の導入

プロセッサ数とサービス処理時間の関係を推察するため、以下の仮定をおく。

［仮定１］プロセッサの性能は同等

$$p(x) = const. = p$$

［仮定２］プロセッサ間の通信路の速度は同等

$$l(x,y) = const. = l$$

［仮定３］プロセッサのサービス処理の負荷は同等

$$s(x) = const. = s = \frac{S}{n}$$

［仮定４］各プロセッサの通信処理の負荷は同等

$$c(x,y) = const. = c$$

Relation of Computer Architecture and Service Programs on Distributed Environment.
Kazutoshi YOKOYAMA* and Hideo TANIGUCHI**
* : NTT DATA Communications Systems Corporation
** : Kyushu University

［仮定５］ プロセッサ間の通信データ量は同等

$$t(x,y)=const.=t$$

［仮定６］ 最も効率良く並行化している

$$Q(n)=n$$

上記の仮定により、式（５）は次のようになる。

$$T(n)=\left(\frac{t}{2l}+\frac{c}{p}\right)n-\left(\frac{t}{2l}+\frac{c}{p}\right)+\frac{S}{pn} \qquad (7)$$

３．３　解析結果と考察

式（７）により、サービス処理時間　T　とプロセッサ数　n　の関係を図１に示す。

サービス処理時間が最小となるプロセッサ数　n_b　を求めると、

$$n_b=\sqrt{\frac{\frac{S}{p}}{\frac{t}{2l}+\frac{c}{p}}} \qquad (8)$$

となる。

図１と式（８）から、次のことがわかる。

（１）サービス処理時間を最小とするプロセッサ数は、唯一である。

（２）式（８）から、次のことがいえる。

（A）分散の効果が高い場合について、直観的な性質を裏付けている。たとえば、「プロセッサ性能が高い」と分散の効果は少ない。

（B）サービス処理の負荷の増大は、１／２乗の割合でプロセッサ数の増加を必要とする。

（３）サービス処理時間　T　の増加の割合は、$\frac{3S}{pn^3}$　であることから、プロセッサ数が　n_b　以上におけるサービス処理時間の増加は少ない。

３．４　実条件での確認

実際の分散環境を想定して、サービス処理時間が最小となるプロセッサ数を求める。実環境に近い想定として、以下のものを考える。

［想定１］通信処理の負荷は、１回の通信データ量に比例する。

$$c=\left(\frac{10}{32}t_1+5\times10^3\right)m$$

ここで、　t_1　は１回の通信データ量、　m　は通信回数である。

［想定２］通信処理の負荷は、各プロセッサのサービス処理の負荷の割合で示される。つまり、割合を　η　％とすると、次の式で与えられる。

$$c=\frac{S}{n}\times\frac{\eta}{100}$$

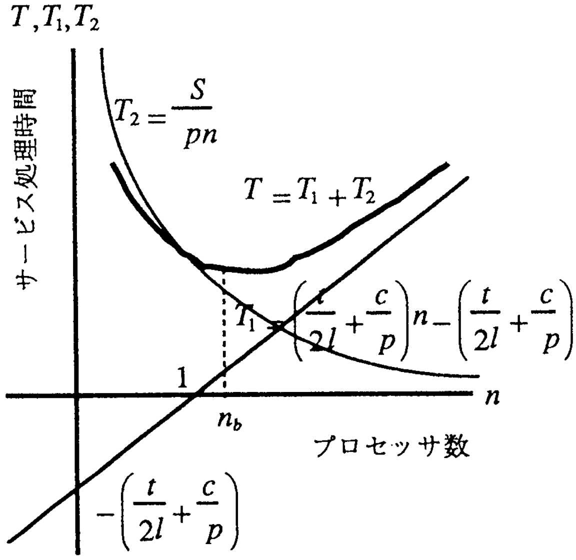

図１　サービス処理時間とプロセッサ数の関係

［想定３］１回の通信データ量を３２バイトとする。

$$t_1=32\times8$$

［想定４］プロセッサ性能を１００ＭＩＰＳとする。

$$p=10^8$$

上記の想定により、サービス処理時間が最小となるプロセッサ数　n_b　は、

$$n_b=\frac{127l}{127l+32\times10^7}\frac{100}{\eta} \qquad (9)$$

となる。式（９）は、通信速度　l　が非常に大きい場合、通信処理負荷の割合　η　の逆数がサービス処理時間が最小となるプロセッサ数　n_b　になることを示しており、直観的にも理解できる。

ここで、通信速度を１０Ｍｂｐｓとすると、

$$n_b\cong\frac{80}{\eta} \qquad (10)$$

となる。これは、たとえば、通信処理負荷の割合が１０％の場合、サービス処理時間が最小となるプロセッサ数は約８個であることを示している。

４．おわりに

分散環境をモデル化し、数式により、効率的な利用について議論した。いくつかの仮定により、サービス処理時間を最小とするプロセッサ数を示した。例えば、サービス処理を均等にプロセッサに負荷配分できると仮定する場合、最近のプロセッサ性能の向上を考慮すると、非常に高速な通信路と相互通信の少ないサービス処理の場合のみ分散が有効である。

今後は、より制限が少ない仮定の場合について検討する予定である。