

階層型ネットワーク上での 分散データベースの性能に関する一考察

川村 尚生[†] 増山 博[†]

階層型ネットワーク内に多数のエージェントが存在する場合に、データベースをスーパーバイザ・エージェントが集中して保管している場合と各クライアント・エージェントが分散して保管している場合のそれぞれについて、データ検索の効率特性を評価した。評価は、1つのエージェントが1つのデータを求めて得られるまでに要する平均時間によって行った。

A Note on Performance Evaluation of Distributed Database in a Hierarchical Network

TAKAO KAWAMURA[†] and HIROSHI MASUYAMA[†]

In this paper, we show a performance evaluation of distributed database in a hierarchical network in the two cases. In one case, database is managed by one supervisor agent and in the other case, it is distributed among all agents. We investigate the average expectation values of the time required by an agent to obtain a required data.

1. はじめに

インターネットや企業内イントラネットに代表される最近の情報システムは、コンピュータ間の結合がシームレスになりつつあるために、ますます多様、複雑になってきている。つまり、多数のクライアントと1個のサーバとを直結するクライアント/サーバアーキテクチャを初期のシステムとすると、これまでのような形状の固定したクライアントの相互接続による分散アーキテクチャ、さらに将来にはエージェント相互接続によるマルチエージェントアーキテクチャというふうにシステムは柔軟な接続形態に変わりつつある。一方、Ad Hoc ネットワークと呼ばれる、必要に応じ一時的に構築されるネットワークもさかんに研究されるようになった¹⁾。

このため、システム全体はあらかじめ初期に確定したのものとしては予想できないポロジーに変わることがある。このような環境の下では、大規模、かつ複雑なデータベースは、1個のスーパーバイザに集中して保管させるのではなく、広範囲に分散して保管する方が、

効率が良い場合があると思われる。もちろん、その場合にも広域分散した大規模、かつ複雑なデータベースから必要な情報を効率良く抽出することが必要である。

従来のクライアント/サーバ直結型アーキテクチャや形状の固定した分散アーキテクチャ等の性能評価については、以前から各種の立場で多数の報告がなされている²⁾。本論文は、階層星状ネットワーク上で、データベースを各クライアント・エージェントが分散して保管している場合（以後、分散管理方式と呼ぶ）とスーパーバイザ・エージェントが集中して保管している場合（以後、集中管理方式と呼ぶ）とのデータ検索効率を相対評価したものである。

2. 対象モデル

本論文は、ネットワーク内に多数のエージェントが存在する場合に、1つのエージェントが1つのデータを求めて得られるまでに要する平均時間の解析を、集中管理方式と分散管理方式において行うことが目的である。

集中管理方式においては、唯一のスーパーバイザ・エージェントがすべてのデータを保持しており、他のエージェントは、スーパーバイザ・エージェントに要求することで求めるデータを得ることができる。

[†] 鳥取大学工学部

Faculty of Engineering, Tottori University

分散管理方式においては、データは各エージェントに均等に分散されており、エージェントがあるデータを必要とするとき、まず自分が保持しているかどうかチェックする。自分が保持していないとき、まず自分の所属するサブネットワーク、次に近傍のサブネットワーク…と、データが見つかるまで順に検索範囲を拡大していくものとする。

解析の視点を具体的にするために、次の仮定を設ける。

- 各エージェント a_i は所望のデータ d_i の検索をいっせに行う。 d_i を保持しているエージェント a_j ($i \neq j$) は、 d_i 検索メッセージの応答メッセージとしてデータ d_i そのものを a_i に対して送信する。 d_i を保持しないエージェントは d_i 検索メッセージを無視する。また、すべてのエージェントがデータを取得するまで、次のデータ検索は行われない。また、ネットワーク上に存在しないデータの検索は行われない。
- 各エージェントは均一の処理能力を持つ。したがって、データ検索にかかる時間として、エージェント内部でのデータ検索のための処理時間を無視しても解析結果には影響しない。
- データはすべて同一サイズである。
- 各エージェントは他のすべてのエージェントと通信可能である。
- エージェント a_i からのデータ d_i の検索メッセージと、それに応答したデータ d_i をアトミックなメッセージとする。

また、階層星状ネットワークに対して以下のような条件を設ける。

- 最下層のサブネットワーク（以後、階層1のサブネットと呼ぶ）には w 個のエージェントが存在する。
- 階層1のサブネットが w 個集まって、上位のネットワーク、つまり w^2 個のエージェントからなる階層2のサブネットを構成する。この結合が h 回繰り返されることにより、 h 個の階層を持つネットワークが構成される。したがって、このとき、ネットワーク上に存在するエージェントの個数は w^h となる。図1は、 $w = 3$ 、 $h = 2$ のネットワークである。
- バスのバンド幅は1、つまり同時に1メッセージしかパス上を伝送されない。
- エージェント間の通信時間は、衝突がない限り、その距離によらず一定である。

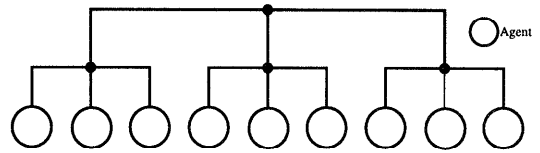


図1 対象ネットワーク例
Fig. 1 A target network.

3. 性能評価

同時に複数のメッセージがパスを流れることはできないので、複数のエージェントが同時にメッセージを送ろうとした場合は、即座にメッセージを送ることのできるエージェントは1つのみで、残りは通信路が空くのを待たなければならない。エージェント a_i が、待つことなくデータ d_i の検索メッセージを送信し、 d_i を受信するのに要する時間を1ステップと定義する。1エージェントが、データを検索しようとしてから得られるまでにかかる平均所要ステップ数（以後、ステップ数と呼ぶ）の期待値を、集中管理方式と分散管理方式で比較してみよう。

3.1 集中管理方式

ネットワーク上の任意のエージェントをスーパーバイザ・エージェントとする。同時には1エージェントしかスーパーバイザ・エージェントにアクセスできないので、 w^h 個の各エージェントがそれぞれ必要とするステップ数は、0から $w^h - 1$ のいずれか異なる値をとると考えることができる。したがって、エージェント a_i がデータ d_i を獲得するのに必要とするステップ数の期待値は次式で表される。

$$E_c = \frac{\sum_{k=0}^{w^h-1} k}{w^h} = \frac{w^h - 1}{2} \quad (1)$$

3.2 分散管理方式

この方式では、エージェント a_i は、階層的に近いエージェントから遠いエージェントに向かって、順にデータ d_i の検索メッセージを送ってデータを検索する。同一階層内のサブネットの各エージェントは、マルチキャストによっていっせいにメッセージを受信できる。つまり、階層 $(l-1)$ のサブネット内の全エージェントに d_i 検索メッセージを送信後、1ステップ経ても d_i が送られてこないとき、次に階層 l のサブネットに向けて d_i 検索メッセージを送信する。以下、同様である。

エージェント a_i がほしいデータを d_i をすでに所有している確率を P_0 、自分が属する階層1のサブネット内でデータが得られる確率を P_1 、階層2のサブネットのうち、自分が属する階層1のサブネットを除いたサブ

ネットで得られる確率を $P_2 \dots$ とすると、それぞれの場合におけるステップ数の期待値 $E_d(l)$ ($l = 0, \dots, h$) が求められる。それらの期待値の和 E_d が分散管理方式のステップ数となる。

まず、 $E_d(l)$ を求める。

(1) $l = 0$ の場合

自分がすでに所有するデータを得るのに要するステップ数は 0 なので

$$E_d(0) = P_0 \times 0 = 0 \tag{2}$$

(2) $l = k$ ($k > 0$) の場合

a_i が k 回目の試みとして、つまり階層 k のサブネットにメッセージを送出しようとしたときに競合する他のエージェントとは、それぞれが所属する $k-1$ 以下の階層のサブネット内に求めるべきデータが存在しないエージェントである。したがって、競合するエージェント数が j になる確率 $Q_{k,j}$ は

$$Q_{k,j} = \binom{w^k - 1}{j} \left(1 - \sum_{i=0}^{k-1} P_i \right)^j \times \left(\sum_{i=0}^{k-1} P_i \right)^{(w^k - 1) - j} \tag{3}$$

となる。また、 $j+1$ 個のエージェントが同時にメッセージを送出しようとした場合には競合が発生するので、 $j+1$ 個のエージェントのそれぞれがかかるステップ数は、1 から $j+1$ のいずれかの互いに異なる値となる。したがって、 $E_d(k)$ は次式で表される。

$$E_d(k) = \sum_{l=1}^k P_k \sum_{j=0}^{w^k - 1} Q_{k,j} \frac{\sum_{i=1}^{j+1} i}{j+1} \tag{4}$$

以上より、期待値 E_d は次式で表される。

$$E_d = \sum_{l=0}^h E_d(l) = \sum_{l=1}^h \sum_{k=0}^l P_k \sum_{j=0}^{w^k - 1} \binom{w^k - 1}{j} \times \left(1 - \sum_{i=0}^{k-1} P_i \right)^j \left(\sum_{i=0}^{k-1} P_i \right)^{(w^k - 1) - j} \times \frac{\sum_{i=1}^{j+1} i}{j+1} \tag{5}$$

4. 計算例

前章の式 (1) および式 (5) を、パラメータを変化させて計算した。

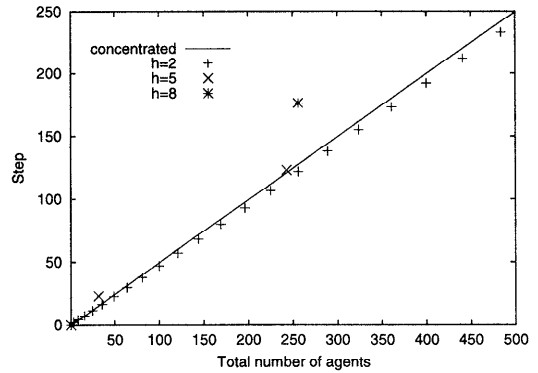


図 2 h を固定したときのステップ数の推移
Fig. 2 Change of the number of steps (fixed h).

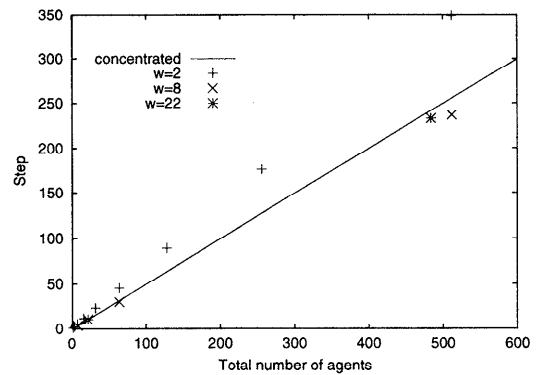


図 3 w を固定したときのステップ数の推移
Fig. 3 Change of the number of steps (fixed w).

4.1 データの分布が均質な場合

データ d_j をどのエージェントが所有しているかは、すべてのエージェントについて等確率とする。すなわち、すべてのエージェントについて、データ d_j を所有する確率は、 $1/w^l$ である。階層 l のサブネットに属するエージェント数は $w^l - w^{l-1}$ であるから、 P_l は次式で表せる。

$$P_l = \begin{cases} \frac{1}{w^h} & (l = 0) \\ \frac{w^l - w^{l-1}}{w^h} & (l = 1, \dots, h) \end{cases} \tag{6}$$

この P_l を用いて式 (5) が計算できる。

h を固定してエージェント数を変化させたときの結果を図 2 に、 w を固定してエージェント数を変化させたときの結果を図 3 にそれぞれ示す。集中管理方式の場合もあわせて示している。

図 2 では、 h が小さければ小さいほどステップ数が小さいという結果になっている。一方、図 3 では、 w が 2 の場合より 8 の場合の方がステップ数は小さいが、8 の場合より 22 の場合の方がステップ数が大きくなっている。これは、エージェント数を固定したと

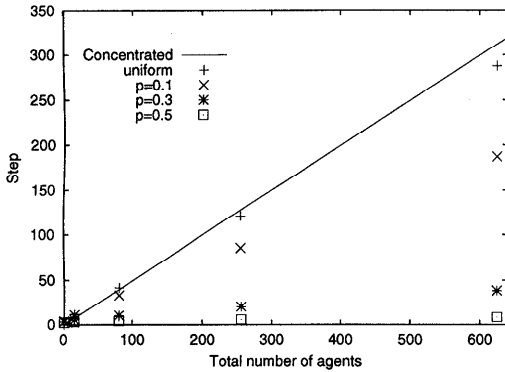


図4 P_l が幾何分布に従う場合のステップ数の推移
Fig.4 Change of the number of steps
(Each P_l has a geometric distribution).

きに、最小の h と最大の w の組合せ、すなわち h が 1 で w が総エージェント数の場合がステップ数を最小にするわけではないことを示唆している。

w が大きくなることは一度にマルチキャストできるエージェント数が増えることを意味し、 h が大きくなることはシステム全体に並行して送られるメッセージ数が増えることを意味しており、 w と h の増減はトレードオフの関係にある。各 P_l が与えられれば、エージェント数を固定したときに、最もステップ数を小さくするような w と h の組合せが存在するはずである。

4.2 データの分布が非均質な場合

エージェント a_i が必要とするデータ d_i は a_i の近傍のエージェントも必要とする、あるいは持っている可能性が高いこと、すなわち、 a_i と階層的に近いサブネットに d_i がより高い確率で存在することを確率的に表現するために、 P_l ($l = 0, \dots, h-1$) が幾何分布に従うものとする。すなわち、次式を与える。

$$P_l = \begin{cases} p(1-p)^l & (l = 0, \dots, h-1) \\ 1 - \sum_{k=1}^{h-1} P_k & (l = h) \end{cases} \quad (7)$$

この P_l を用いて式 (5) が計算できる。

$p = 0.1$, $p = 0.3$, $p = 0.5$ のそれぞれについて、 $h = 5$ として w を変化させた結果を図 4 に示す。参考のために、4.1 節で示した等確率の場合と集中管理方式の場合もあわせて示している。

幾何分布の初期値が大きくなるにつれて分散管理方式のステップが減少していくが、この場合においては、等確率の場合でも集中管理方式に比べてステップ数が少なくなっている。

5. おわりに

階層星状ネットワーク上で、分散管理方式と集中管理方式の 2 つのデータ管理方式におけるデータ・アクセスの効率特性を明らかにした。解析の対象としたネットワークは、総エージェント数が w^h で表されるという制約があるため、本論文で議論している比較的小規模なネットワークでは構造がほぼ一意に決定されるので、分散管理方式での最適構造の議論はできない。また、この制約のために解析が可能となっているので、比較的自由な構造を持つメッシュ等のネットワークでは定式化が困難である。

今回は、エージェントが以前アクセスしたデータを再度アクセスする場合でも、あらたに検索するものとして比較を行ったが、今後、ある程度の容量を持つキューによってアクセス頻度の大きいデータを保持できるシステムについてデータ・アクセス効率を検討したい。

参考文献

- 1) Perkins, C.E. and Bhagwat, P.: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV), *SIGCOMM'94* (1994).
- 2) 高木, 堀口, 川添, 重井: タスク型マルチプロセッサのシステム性能評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J72-D-1, No.5, pp.357-366 (1989).

(平成 11 年 2 月 4 日受付)

(平成 11 年 7 月 1 日採録)



川村 尚生 (正会員)

昭和 40 年生。平成 6 年神戸大学大学院自然科学研究科知能科学専攻博士課程単位取得退学。同年鳥取大学工学部助手。マルチエージェントに関する研究に従事。人工知能学会、ソフトウェア科学会各会員。



増山 博 (正会員)

1969 年広島大学大学院修士課程 (電気工学専攻) 修了。広島大学助手、宮崎大学助教授、教授、Stanford 大客員教授、Boston 大客員教授を経て、現在、鳥取大学工学部知能情報工学科教授および大阪大学医学系研究科客員教授。工学博士。IEEE, 電子情報通信学会各会員。