

[論 文]

## 自律分散データベースにおける Proactive な更新許容量調整

梶 功夫

Isao KAJI

分散システム環境でDB更新を単一個所で行なう方法は、DBMSの障害がSPOF(単一障害個所)となり、システム全体の停止となる。分散環境での更新を可能とし、応答性の確保と整合性を可能とするDBMSとして自律分散DBMS(ADDS)が提案され、ここでは各サブシステムが許容量(AV)の範囲内で更新を行なうことにより高応答性を実現する。各サブシステムのAV減少度合いが異なるため、システム全体でのトランザクションの高応答時間を確保するために、各サブシステムの保持するAV量をシステム全体で均等に減少するように局所情報のみを用いて、Proactiveに調整する技術について提案する。また、有効性についてシミュレーションにより検証する。

## Proactive Adjustment of the Update Allowance of the Autonomous Decentralized Database System

### Abstract

In the distributed environment, the DB updates at the central DBMS introduce the Single Point Of Failure and may happen the whole system halt. The autonomous distributed DB system(ADDS) that enables the distributed updates and the fast-response time has been proposed, where each subsystem can update the local DB within its allowance volume (AV). In the environment where the decreasing rates of the update allowances are different among subsystems, the author proposes the proactive and autonomous adjustment of the update allowances among subsystems by circulating the mobile agent to have the decreasing rates be balanced in the system. Also the simulation results to confirm the effectiveness have been shown.

## 1. はじめに

分散システムの進展に伴い、更新を含む分散データベースの必要性が高まっている。従来のDBMSでは分散されたDB間で2フェーズ・コミットなどを用いて整合性を確保している。しかしながら分散の程度が進むと、複数DBMS間でコミットのためのメッセージが増加し応答性の確保は難しくなる。このことを回避する方法として、更新はセントラルDB一ヶ所において行なうことが考えられるが、セントラルDBMSがSPOF（単一障害個所）となり、システム全体の障害となる<sup>[3]</sup>。また、更新を伴うトランザクションは全てセントラルDBMSで処理されるため、応答性の確保も難しい。分散環境で更新を伴うDBシステムの応答性を確保しながらデータの整合性を保つDBMSとして自律分散DBMS (ADDS) が提案されている<sup>[4][5]</sup>。ADDSでは分散した各サブシステムが自律的な判断で更新できる更新許容量 (AV) を保持し、更新要求がAVの範囲内であれば、直ちに更新を行なうことによって応答性の確保を実現する。各サブシステムでAVの不足/余剰が発生した時には、隣接のサブシステムとの間でAVを調整する事により、過不足を解消する。しかしながら各サブシステムでのAVの減少度合いは異なるので、AVの不足が発生する以前にProactiveにサブシステム間で調整をおこなうことにより、サブシステム全体で均等にAVの減少が行なわれるようにすることが可能となる。本研究ではシステム内のAVの消費（減少）のばらつきをモバイルエージェント (MA) によって自律的に、かつ、Proactiveに調整する技術について提案する。

## 2. 背景とシステム要件

パソコンや分散システム技術の発展により、情報を拡散して保有することが容易になってきた。流通業では小売と卸、メーカーによるSCM（サプライチェーン・マネジメント）の強化による協業や連携が進んでいる。また企業内においても部門間を跨る情報共有と連携が生産性向上の大きな担い手であることが多くの企業で報告されている<sup>[2]</sup>。情報共有の仕組みが進むと“更新を伴わない”情報系のシステムのみならず、“データの更新を含む情報共有”を行なうことが必要となってきた。しかしながら異なる企業や部門間の連携ではお互いのシステム要件が相違するため、自律的に調整を行なうアシュアランス性が重要となってくる。すなわち更新頻度の高いデータ項目については他サブシステム上のDBとの整合性同期をとる事無く、各サブシステムによる自律的更新を可能とすることにより応答性を確保し、更新頻度の低いデータ項目についてはセントラルDBによる管理の容易性を確保するなどの柔軟性と適応性が要求される。

### 3. 自律分散データベース・システム

#### 3.1 コンセプトとアーキテクチャー

自律分散データベース・システム (ADDS) は以下のコンセプトのもとに提案された。

- DB のデータ項目の総量は分散されて更新許容量 (AV) として各サブシステムに保持する。
- いかなるサブシステムもシステム全体に関する情報を保持しない。(SPOF の回避)
- 自律的に判断するサブシステムの全体でシステムを構成する。

各サブシステムはデータフィールド (DF) を介して接続される<sup>[1]</sup>。各サブシステムにローカル DB が存在し、あるデータ項目については各サブシステムのもつ AV まで自律的な判断で更新可能である。各サブシステムの保持する AV の総合計がそのデータ項目の総量となる。[図 1]

自律分散DBシステム

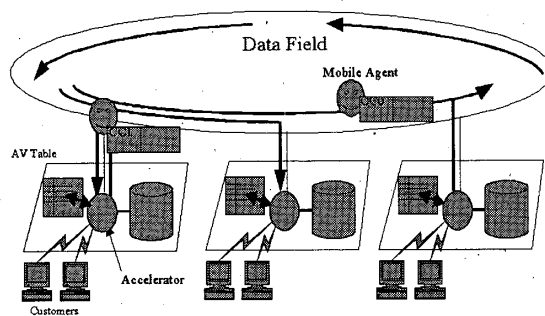


図 1. 自律分散 DB システム

ローカルDBに対する照会・更新要求はサブシステムに直接つながる端末から受信され、更新要求量が自身の保持するAV値以内であれば更新し、サービスに答える。更新要求量が自身のAV値を超える場合は、他のサブシステムに対して不足量を通知し、AVに余剰のあるサブシステムより譲渡を受けることにより、端末からのサービスに応える。

#### 3.2 AVの授受

サブシステム間でAVを受け渡す時の要求方法には直接要求法と間接要求法がある。前者ではAVの不足や余剰が生じたサブシステムがシステム内の他のサブシステムとメッセージを送受信して個別に交渉を行う。応答性の効率は良いが、ネットワーク規模が大きくなったとき、及び要求サブシステム数が増大したときに交換すべきメッセージ数が幾何級数的に増加する。

間接要求法ではサブシステム間を巡回するモバイル・エージェント (MA) により各サブシステム間のAVの調整を行なう<sup>[6]</sup>。システム内にはMAが一定期間毎に巡回し、余剰のAVを

持つサブシステムより AV を譲り受け、不足しているサブシステムからの要求に応える。このようにして MA が間接的にシステム内の AV の過不足を調整する。直接要求法に比較して、過不足が生じてから満たされるまでの応答時間が長くなる場合が生じるが、システム内のメッセージ透過量、AV の整合性の保持において優位である。また、間接要求法では MA に対して“AV の不足が生じたとき”に要求を発する「要求ベース」と“余剰が生じたとき”に譲渡を託する「供給ベース」による調整がある。本論文では「要求ベース」による AV 調整を考える。

#### 4. AV 調整における課題と提案

##### 4.1 現行に於ける課題

サブシステムにおける AV の消費は、そのサブシステムに到着するトランザクションによる更新要求の頻度と量に依存するため、サブシステム間では大きく異なってくる。初期状態で AV がサブシステム間に均等に割り振られていても、消費（減少）の度合いが異なるために、AV 保持量は時間と共に大きく異なってくる。サブシステムにおいて、ひとたび AV 不足が発生すると MA がシステム内を循環して、再度戻ってくるまで、AV 不足は解消しない。従って、システム内の各サブシステムの保持する AV が均等に消費されることが望ましい。しかしながら、サブシステムの AV を事前に、かつ、自律的に調整する技術については、まだ研究されていない。サブシステム間の AV 量を強制的に調整できるアプリケーション（たとえば本部主導で各ショップに自律的に販売することを委託している形態など）では、システム内のサブシステム間に極端な AV 保持量の差異が発生する事無く、事前に調整できることを望む。AV の調整に当たっては自律分散のシステム要件である次のことが満たされなければならない。

- 1) AV 調整は局所情報のみで行なわなければならない。
- 2) AV 調整は現在の状態に基づくものでなければならない。

##### 4.2 Proactive AV 調整

そこで以下のコンセプトに基づく Proactive AV 調整技術を提案する。

- MA は周回中にサブシステムから得られた情報のみで AV 調整を試みる。
- MA は環境変化を迅速に AV 調整に反映する。

第1のコンセプトより、MA はサブシステムから得られる局所的な情報のみによって調整量を判断する必要がある。また第2のコンセプトより、MA は最も最近に得られた情報に基づいて判断する必要がある。

以下の説明では、初期状態ではすべてのサブシステムに同量の AV が配られており、異なる AV 消費率でもって消費されるものとする。1つの MA が常にサブシステム間を巡回し、AV を調整する。あるデータ項目に対する AV は周期的に生産され、各サブシステムに均等に追加さ

れるものとする。

以下の考察では初期状態から次の AV 増加までに間の減少周期について考える。基本的な提案コンセプトは、MA が各サブシステムの AV 保有量を照会し、訪問したサブシステムの AV 保有量と、直前のサブシステムの AV 保有量を比較する。そして、もし訪問サブシステムの AV 量が直前サブシステムの AV 量よりも多く保有する場合は、その多い AV 量のいくらか（ここでは  $1/2$  を仮定）を徴収する。また訪問サブシステムの AV 保有量が直前サブシステムの AV 保有量より少なく、かつ MA が AV をバッファとして保有している（バッファード AV と呼ぶ）場合は、少ない AV 量のいくらか（ここでは  $1/2$  を仮定）をバッファード AV より、サブシステムに与える。このようにして、現在の状況に応じて、AV 保有量の多いサブシステムから AV を徴収し、AV 保有量の少ないサブシステムに付与することにより、AV に関するアシュアランス性を確保する。MA が AV について徴収するか、付与するかの判断は、直前のサブシステムの AV 量、現在のサブシステムの AV と自身が運んでいるバッファード AV 量の局所情報のみである。このように MA がサブシステムの持つ AV 量を Proactive に調整することにより、サブシステムにおける AV 不足を予防的に調整し、システム全体が均等に減少することに寄与する。

#### 4.3 提案技術の詳細

この章では調整技術の詳細について述べる。MA がサブシステムを訪問したときに、次のようなステップで判断する。なお、 $0 < \alpha < 1$ 、 $0$ である定数で、システム管理者が定めるものとする。

- 1) もし  $AV_{cur} < 0$  ならばステップ 5 へ行く。
- 2) MA は直前サブシステムの AV ( $AV_{prev}$ ) と訪問した現行サブシステムの AV ( $AV_{cur}$ ) を比較する。

$$\Delta AV = AV_{cur} - AV_{prev}$$

- 3) もし  $\Delta AV > 0$  ならば、MA は  $\Delta AV$  の  $\alpha$  にあたる量を現行サブシステムより徴収し、MA が運ぶバッファード AV に加える。

$$AV_{cur} = AV_{cur} - \alpha \Delta AV$$

$$AV_{buf} = AV_{buf} + \alpha \Delta AV$$

- 4) もし  $\Delta AV \leq 0$  ならば、MA は  $\alpha |\Delta AV|$  をバッファード AV より現行サブシステムに付与する。

$$\begin{cases} AV_{cur} = AV_{cur} + \alpha |\Delta AV| & (AV_{buf} \geq \alpha |\Delta AV|) \\ AV_{buf} = AV_{buf} - \alpha |\Delta AV| \end{cases}$$

or

$$\begin{cases} AV_{cur} = AV_{cur} + AV_{buf} (AV_{buf} < \alpha | \Delta AV |) \\ AV_{buf} = 0 \end{cases}$$

ステップ9へ行く。

- 5) もし  $AV_{cur} < 0$  ならば, 以下のステップを実行する。  
 6) MA は直前サブシステム  $AV(AV_{prev})$  と現行サブシステム  $AV(AV_{cur})$  を比較する。  
 $\Delta AV = AV_{prev} + AV_{cur}$   
 7) もし  $\Delta AV > 0$  ならば, MA は  $\Delta AV$  の  $\alpha$  をバッファード AV より現行サブシステムに付与する。

$$\begin{cases} AV_{cur} = AV_{cur} + \alpha \Delta AV (AV_{buf} \geq \alpha \Delta AV) \\ AV_{buf} = AV_{buf} - \alpha \Delta AV \end{cases}$$

or

$$\begin{cases} AV_{cur} = AV_{cur} + AV_{buf} (AV_{buf} < \alpha \Delta AV) \\ AV_{buf} = 0 \end{cases}$$

- 8) もし  $\Delta AV \leq 0$  ならば, MA は  $AV_{cur}$  が 0 になるよう可能な限りのバッファード AV を付与する。

$$\begin{cases} AV_{cur} = 0 (AV_{buf} \geq |AV_{cur}|) \\ AV_{buf} = AV_{buf} - |AV_{cur}| \end{cases}$$

or

$$\begin{cases} AV_{cur} = AV_{cur} + AV_{buf} (AV_{buf} < |AV_{cur}|) \\ AV_{buf} = 0 \end{cases}$$

- 9) MA は次のサブシステムに進む。

## 5. 評価

提案技法の有効性を評価するために, 評価指標が必要であり, 以下の指標が考えられる。

- ▶ トランザクション応答時間の改善度
- ▶ サブシステム間の AV 分布の標準偏差
- ▶ サブシステムの AV が 0 となるまでに経過する時間

ここでは標準偏差と応答時間の改善度を評価指標として採用し, シミュレーションを行ってみる。

## 6. ミュレーション

### 6.1 前提条件

5個のサブシステム (A - E) がネットワークに接続しており、それらは初期に同量の AV 値 (100) を保持しているとする。時間の単位はクロック・ティックとし、以下の時間量を仮定している。

MA とサブシステムの折衝時間 : 1

MA のサブシステム間移動時間 : 1

MA の1回の巡回サイクル時間 : 10

1巡回サイクル中にサブシステム A - E は以下の AV 量を消費する。

A : 0 - 10 (平均5)

B : 0 - 20 (平均10)

C : 0 - 30 (平均15)

D : 0 - 40 (平均20)

E : 0 - 50 (平均25)

AV の消費率はランダム分布とする。また、 $\alpha = 0.5$ としている。

### 6.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果は以下の図に示される。図2は MA による調整がなんらなされなかったときの AV 消費傾向を示している。図3は提案手法による AV 調整が行なわれたときの AV 消費動向を示している。

図2に見られるよう、調整が行なわれないときには A から E までがばらついた状態で AV 消費が行なわれる。Proactive 調整を行なうことにより、図3で見られるようにシステム全体で見るときに AV 消費は良くバランスして減少する傾向が見て取れる。特に A - D のサブシステムはバランスする。

E については AV を急速に消費するために、不足 AV の充足が間に合っていないことが分かる。全体的には AV 消費が均等に行なわれるように改善している。

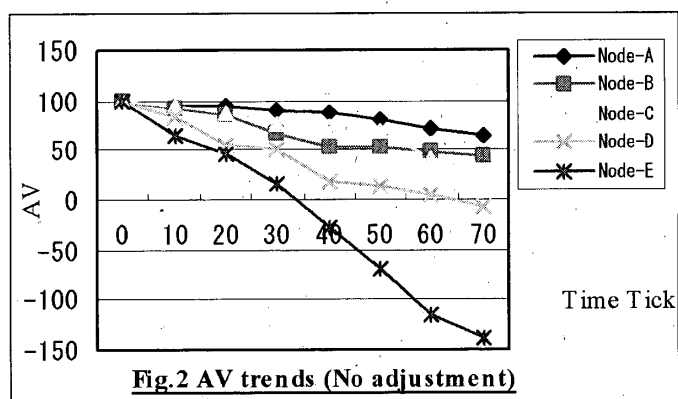


図4は各サイクルの初頭における標準偏差 (STD) の値を示す。初期状態では AV は均等に

分配されているのでSTDは0であるが、時間と共にサブシステム間のばらつきが出てくるために、値が大きくなる。調整なしのケースではSTDは急速に増加するが、AV調整を行なうことにより、STDは徐々に増加し、20と40の間を漂うようになる。このことはAV調整による自律的調整が機能していることを示している。

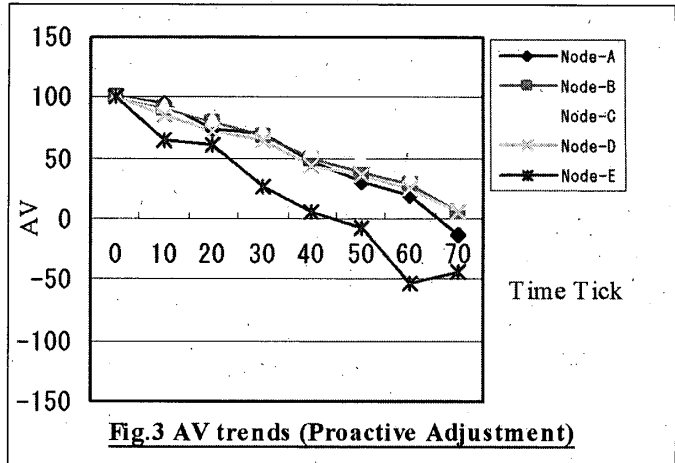


Fig.3 AV trends (Proactive Adjustment)

図5は各サイクルのトランザクション応答時間を示している。もし各サブシステムが十分なAV量を保持しているならば、トランザクションは1.0ティックで処理され、従って応答時間は1.0と評価できる。しかしながら、サブシステムのAVが不足しているときにはトランザクションはMAが1巡回するのを待たなければならない、そのときは10ティックかかる。図からも分かるようにAV調整ありの場合の方が無い場合より明らかに良い応答時間を示している。AV調整がトランザクションの応答時間の改善に寄与していることが分かる。

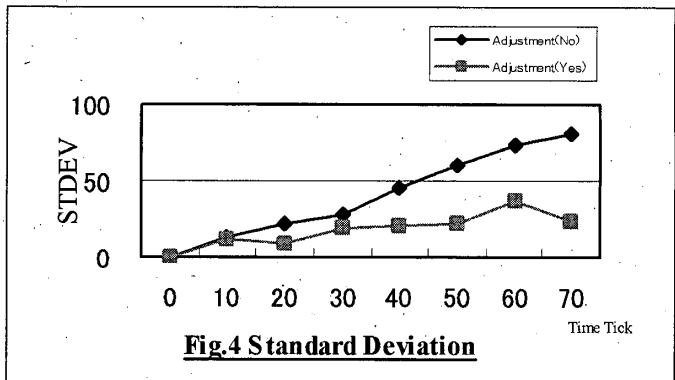


Fig.4 Standard Deviation

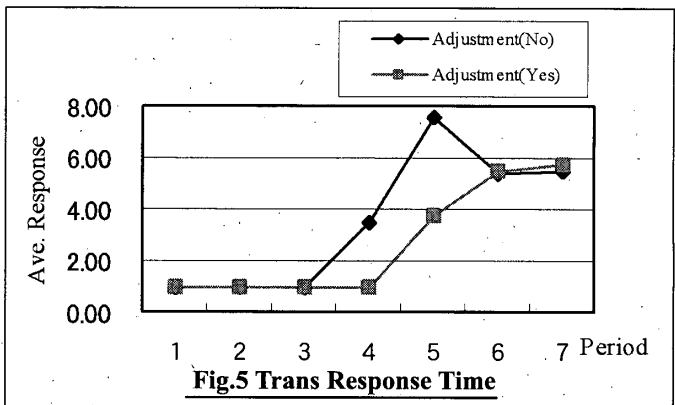


Fig.5 Trans Response Time

## 7. 結論

当論文ではネットワークの規模が大きくなると、動的に変化するシステム全体の状況を把握することが困難となり、既存の分散DBMSでは限界があることを示した。筆者はそのような環境に対して、自律分散DB (ADDS) を実装することを提案した。しかしながらADDSには更新許容量 (AV) を事前 (Proactive) に調整する研究はなされていない。そこで筆者はモバイルエージェント (MA) がシステムを巡回し、相対的に多くAV量を保持するサブシステムからAVを徴収し、相対的にAVの少ないサブシステムに付与する自律的ProactiveなAV調整



技術を提案した。この調整の判断は完全に局所情報によってのみ行なわれる。即ち直前サブシステムの AV 量, 現行サブシステムの AV 量と MA がバッファとして保持する AV 量のみである。従って AV 調整は最も最近の, かつ変化する環境を即時に反映している。このようにしてシステムのアシュアランス性は動的に保たれる。シミュレーション結果は提案手法が有効性であることを, システム全体での AV 減少傾向, サブシステム間の AV 分布の標準偏差値, トランザクションの応答時間からも有弘であることを示している。自律的かつ Proactive な AV 調整技術は広く応用可能である。今回は考察をしていないが, メーカーで生産された製品を分散された小売で販売するなどのように, 局所的に AV 量が生成されたときに, 自律的に分配する技法としても応用可能と考えられる。今後の研究テーマである。

#### 参考文献

- [1] Kinji Mori: "Autonomous Decentralized System Concept, Data Field architecture and Future Trends", Proc. of ISADS93, pp28-34, Mar 1993
- [2] 荒木 勉; "サプライ・チェーン・ロジスティックスの理論と実際", 丸善プラネット社
- [3] M. Tamer Ozsu, Patrick Valduriez; "Principle of Distributed database System", Prentice Hall
- [4] Hideo Hanamura, et al.: "Autonomous Consistency technique in Distributed Database with Heterogeneous Requirements", Proc. of WPDRTS, pp706-712, May 2000
- [5] 加藤祥平: "アシュアランス性実現のための分散データベース自律動的構成化技術に関する研究", 修士論文, 東京工業大学情報理工学研究科, 2002
- [6] 平井健治: "アシュアランス性実現のための自律分散データベース情報一貫性実現技術に関する研究", 修士論文, 東京工業大学情報理工学研究科, 2001