

## 自律ディスクによる広域分散ストレージのデータ移動制御方式

藤原 勤<sup>†</sup> 宮崎 純<sup>†</sup> 植村 俊亮<sup>†</sup>

本研究では、自律ディスクを広域ネットワークに適用し、ECA ルールを用いて利用者の必要とするデータを自動的に近隣のディスクに転送したり、データの性質に応じてネットワーク上で多重化する手法を提案する。近年モバイルコンピューティング環境では利用されるデータの種類や容量が格段に増加し、モバイルデバイスにはハードディスクが搭載されるようになった。しかし、利用したいデータが必ずしもハードディスク上にあるとは限らず、ネットワーク上に散在している。しかもモバイル環境におけるハードディスクの信頼性は十分なものとは言えない。モバイルデバイスから快適にアクセスできる信頼性の高いディスクに常に利用するデータがあることでこれらの問題は解決する。提案するシステムでは、扱うデータの種類や状況に応じて自律ディスクのルールを切り替え、データごとに最も適切な移動処理を行なう。このシステムにより、モバイルコンピューティング環境においてデータアクセスが効率化され、同時にデータ損失の可能性も軽減できる。

### Data Migration for a Widely Distributed Storage System Using Autonomous Disks

Tsutomu Fujiwara,<sup>†</sup> Jun Miyazaki<sup>†</sup> and Shunsuke Uemura<sup>†</sup>

We propose a data migration method for widely distributed autonomous disks, in which user's frequently accessed and important data is automatically transferred to the nearest disk and/or duplicated to others by using ECA rules, according to the properties of the data. Recently, a mobile user can handle a large amount of data because mobile disks are installed on many gadgets. However, data required by a user are not always on his mobile disk. Even if they are on it, the reliability is low due to the possibility of a disk crash. The proposed system makes use of multiple sets of ECA rules on autonomous disks and chooses an appropriate rule set in response to the changes of system states, so that optimal data accesses can be performed by migrating and/or duplicating the data to other disks. This system could bring comfortable and reliable data accesses to mobile users.

#### 1. はじめに

近年のモバイルコンピューティング環境では、モバイルデバイスで利用されるデータの容量や種類が格段に増加している。それに伴い、ノートパソコンだけでなく PDA や携帯電話などでも大容量のハードディスクデバイスが搭載されるようになってきている。しかし、モバイルデバイスのユーザーが利用したいデータが必ずしもそのハードディスク上に存在するとは限らず、ネットワーク上に散在している。また、モバイルコンピューティング環境では、ストレージデバイスであるハードディスクドライブやモバイルデバイス自体の損傷によるデータ損失の危険性が高く、信頼性は十分とは言えない。モバイルコンピューティング環境で

は、これらの問題を解決する、より高いデータの安全性とデータアクセスの利便性の向上が課題になる。モバイルデバイスから快適にアクセスできるところに信頼性の高いディスクが必ず存在し、常に利用するデータがそこにあることでこれらの問題は解決する。本研究では自律ディスクを広域ネットワークに適用し、それぞれのディスクが能動的に、利用者の必要とするデータを近隣ディスクに転送したり、ネットワーク上でのデータの多重化を行う方式を提案する。

本論文の構成は次のようになっている。2 節では技術的な背景となっている自律ディスクについてその概要を述べる。3 節で広域分散ストレージ環境とデータ移動制御方式を提案する。関連研究を 4 節で紹介し、5 節でまとめと今後の課題について述べる。

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科  
Graduate School of Information Science, Nara Institute  
of Science and Technology

## 2. 自律ディスク

代表的なストレージデバイスであるハードディスクドライブにはディスクとデータの入出力を制御するためのコントローラとして小さなプロセッサとメモリが内蔵されている。半導体技術の進歩によって、より省電力で省スペースなプロセッサやメモリが可能になった。このため、ディスクコントローラに使用されるプロセッサやメモリをより高性能なものを想定し、そのプロセッサ上でアプリケーションを実行するような研究がなされている。Perterson らは、Decision Support System(意思決定支援システム)のためのクラスタシステムノードを、組込み CPU と大容量メモリを持つ“IDISK”に置き換えることを提案している<sup>1)</sup>。また、Acharya らによる ActiveDisk では同じようにディスクドライブに内蔵されているプロセッサとメモリを利用して関係データベースの操作や画像処理などのアプリケーションを実行することを提案している<sup>2)</sup>。

横田らは、これらの高機能ディスクを発展させた自律ディスクを提案している<sup>3)</sup>。自律ディスクはネットワークに接続されたディスククラスタのノードとして構成される。この自律ディスクによるクラスタはデータの分散、アクセスの偏り制御、同時実行制御、耐障害性、障害回復等の機能を持つ。これらの機能を実現するために、自律ディスクではECA(Event-Condition-Action)ルールと呼ばれるアクティブルールの採用を提案している。ECAルールでは、ある事象の発生(イベント)と処理を開始するための条件(コンディション)、実際の処理(アクション)の三つを一組として記述する。システム的设计者はこのルールを変更することで、ディスクの様々な動作を目的に合わせて変更を行なう。

## 3. 広域分散ストレージとデータ移動制御方式

### 3.1 想定するシナリオ

このシステムが利用される場合のシナリオの一つとして、あるビジネスマンの出張を例に挙げる(図1)。

ここではビジネスマンの持つモバイルデバイスに搭載されているストレージ、各駅や出張先に設置されているストレージ、勤務先に設置されているストレージの3種類が存在する。駅に設置されているストレージは無線LANの基地局になっていて、モバイルデバイスが接続可能である。勤務先のオフィスに設置されたストレージには仕事に必要なデータが蓄積され、オフィスで共有されている。モバイルデバイスを起動し

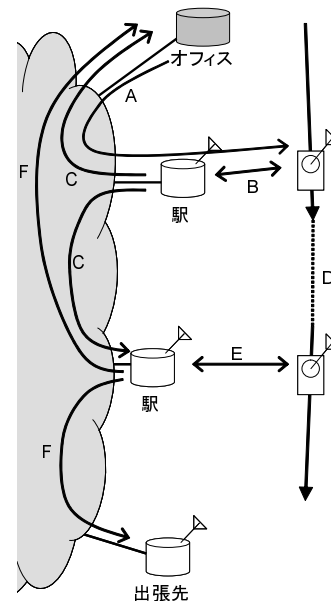


図1 ビジネスマンの例

無線LANで近隣のストレージに接続されたとき、オフィスのストレージから近隣のストレージとモバイルデバイスへ必要なデータがコピーされる(A)。出張先へ向かう鉄道に乗るための駅での待ち時間にワードプロセッサで資料を編集し、資料作成のために必要なデータをインターネットからダウンロードして参照する。これら編集や参照された資料はモバイルストレージだけでなく駅にあるストレージにも更新が反映される(B)。データを分析し、今後も必要なデータであると判断されると移動先(鉄道の降車駅)のストレージにコピーされる(C)。また、これは利用者の編集したオリジナルデータであり、喪失が許されない重要なデータであるため、ステーションストレージだけでなく、さらにオフィスにあるホームストレージにも転送される(C)。これにより、オフィスでは上司や同僚などが最新のデータを参照できるため、データの出来に関するチェックや議論が可能となる。無線LANは鉄道での高速移動中は接続できないが、その間もデータの編集は続けられる(D)。降車駅にあるストレージには利用者に必要なデータが既に格納されて、モバイルデバイスとの間でデータの同期が行われる(E)。しかし、モバイルデバイスが持つデータの中で、もはや利用者にとって重要でないと判断されるデータは駅のストレージにコピーされることはなく、モバイルデバイスだけに存在する。また、モバイルデバイスに残容

量の余裕がない場合は必要なデータでもモバイルデバイスが保持することができない。この場合でも駅のストレージに存在し続けることでデータへのアクセスは可能である。車内で編集したデータは再び移動先（出張先）のストレージとオフィスのストレージに多重化される（F）。乗車駅のストレージには古いデータが残されるが、これは十分に長い期間の経過すればオフィスのストレージへ退避後削除される。ビジネスマンは出張先ではその場にあるストレージに格納されたデータへの快適なアクセスが可能になる。また、もし移動中にモバイルデバイスを喪失したとしても、出張先のストレージには最新のデータが格納されており、すぐにデータが利用可能である。データの利用終了後はオフィスのストレージに自動的に退避されるため、最新のデータを失うこともない。

このように、広域分散ストレージ環境では利用中のデータを利用者から近いストレージへ自動的に転送することでデータへの素早いアクセスが可能になり、データアクセスの利便性が高くなる。また、重要なデータを行動の拠点（オフィス）や近隣のストレージに多重化しておくことでデータの損失を防ぐことができる。

### 3.2 システムの概要

我々の提案する広域分散ストレージシステムでは、モバイルデバイスと無線で通信を行うストレージが各所に多数設置されており、ネットワークで互いに接続していることを想定する。これらのストレージは、利用者が必要とするであろうデータを常に利用者の近隣のストレージに格納させることで、モバイルデバイス利用時の利便性の向上を図り、モバイルデバイスの故障に対してもデータが失われることのないシステムを目指す。

この環境での利用者とはすなわちモバイルデバイスの利用者であり、このモバイルデバイスは無線 LAN によってネットワークへの接続が可能である。そして、モバイルデバイスや無線 LAN の基地局はそれぞれにストレージ（自律ディスク）を持つ。また、自宅やオフィス（活動の拠点となる場所）には利用者の様々なデータを格納するストレージが存在する。これらのストレージの間で、自律ディスクの ECA ルールを利用してデータのコピーや移動を行なうことにより上記の環境を実現する。

図 2 に提案するシステムの全体図を示す。図の広域分散ストレージは自律ディスクによる以下の三種類のストレージによって構成される。

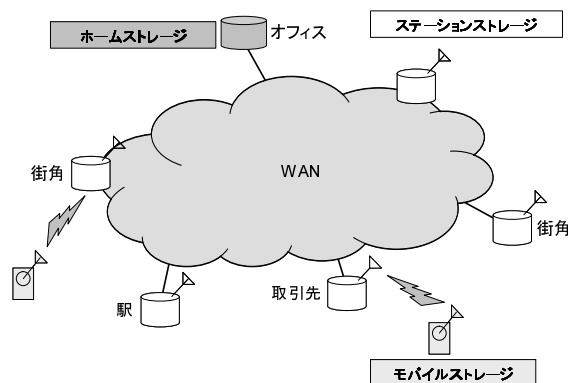


図 2 広域分散ストレージシステムの全体図

**ステーションストレージ** 様々な場所に設置される無線 LAN の基地局となるストレージで、広域分散ストレージの中核を担う。このストレージには無線 LAN によってモバイルストレージが接続する。また、WAN によって他のステーションストレージやホームストレージと接続される。このストレージは、大量のデータが流通するネットワークの中で利用者の様々なデータを格納する必要がある。このため、大容量かつ高速なディスクが使用される。そして、ストレージ内部の ECA ルールによって利用者のデータの多重化や近隣のストレージへの転送が実現される。

**モバイルストレージ** 利用者が持つモバイルデバイスに搭載され、無線 LAN によってステーションストレージに接続される。また、GPS によってステーションストレージや利用者に位置を通知する機能を持つ。モバイルデバイスへ搭載されるため、利用者が持ち運び移動することを前提とする。そのため、小容量で低速なものに制限され、その利用形態から高い信頼性ももたない。

**ホームストレージ** 利用者の自宅やオフィスなど、行動の拠点となる場所に設置されるストレージで、データのオリジナルが格納される。利用者のデータが全て保存されるこのストレージも高速で大容量であることが求められる。

ステーションストレージは、移動の基点となる場所（鉄道の駅や空港）、日々の生活に密着した場所（仕事場やショッピングセンター）など、いたる場所に設置され、ホームストレージとあわせて独自のストレージネットワークを形成する。利用者がモバイルストレージ

ジ上で利用したデータは、このネットワーク上の各ストレージによって自動的に転送や多重化が行われる。具体的にどのような転送や多重化処理が行われるべきかは、各ストレージデバイスの状態や処理対象となるデータの種類によって異なる。

どのようにデータの多重化をするかを定める際に最も重要な尺度は、そのデータの利用者にとっての重要度である。利用者が編集中のデータは最も重要なデータである。こういったデータはステーションストレージとホームストレージに多重化される。多重化には時間のコストがかかるものの、これらのストレージは信頼性が高く大容量なため、データを失う危険性は低くなる。それほど重要度はなくても、参照される機会のあるデータはステーションストレージへ多重化される。ホームストレージには多重化されないが、ステーションストレージにはデータが存在するので、信頼性が大きく下がることはない。重要度が低いデータは、モバイルストレージのみに保存され多重化は行なわれない。ただ、モバイルストレージはステーションストレージと比べて容量は大きくなく、格納できるデータの容量は限られる。この場合、容量の大きいステーションストレージへ重要度の低いデータが追い出される事になる。

適切な処理を決定するためにデータの種類やストレージの状態ごとに Decision Tree (決定木) を設定し、自律ディスクにおける ECA ルールとして実装する。最終的に処理の決定は、それぞれのストレージによって能動的に行われる。Decision Tree については 3.6 節で詳述する。

### 3.3 データの分類

ネットワーク上では様々な種類のデータが扱われ流通している。必要なデータが利用者の近隣のストレージに存在するためには、ストレージデバイスが自身の保持しているデータの性質を把握し、どれが利用者に必要なデータなのかを正しく識別しなければならない。

まず、データを種類ごとに分別する。データの性質に合わせて適切に処理を切り替えなければならないが、その種類によって性質が大きく変わるためである。また、同じ種類のデータでも利用のされ方によって適用すべき処理が違ってくる。そこで個別のデータの利用状況にあわせたパラメータを利用することでデータの性質を判別する。ここではデータを「音声」「動画」「静止画」「ユーザー作成文書」「その他の文書」「アプリケーション」と分類し、以下の表に従い、個別にパラメータの初期値が与えられる。

表 1 分類されたデータのパラメータ

	更新 頻度	参照 頻度	lifetime	realtime
音声	小	小	0	
動画	小	小	0	
静止画	小	小		x
ユーザー作成文書	大	大		x
その他の文書	小	中	中	x
アプリケーション	中	中	大	x
ログ	大	小	中	

ここで設定されたパラメータ以外にもそれぞれのデータは更新度数、最終更新時刻、参照度数、最終参照時刻、ユーザー ID についての情報をメタデータとして持ち、データの利用状況によって上記のパラメータは変動する。例えば、更新度数が多く最終更新日が近いデータは更新頻度が「大」と判断される。

また、オフィス文書のようなユーザー作成文書とデジタルカメラの静止画像ではデータの利用のされ方が大きく異なる。そのため、データの各分類ごとに Decision Tree を設定し、それぞれ分類の中で個々のデータに適した処理方法を決定する。

### 3.4 ステーションストレージの状態遷移

広域分散ストレージ環境では利用者のデータの近隣ストレージへの転送や多重化は、それぞれのステーションストレージが能動的に転送を行うことで実現される。しかし、どのデータをどのストレージに転送すべきかはステーションストレージとモバイルストレージとの接続状況によって違う。そこで、まずステーションストレージとモバイルストレージとの接続状態からステーションストレージの状態を 4 つに分類する。

- 状態 I あるモバイルストレージがこのステーションストレージのみと接続している
- 状態 II モバイルストレージが以前このステーションストレージに接続されていた
- 状態 III モバイルストレージに関連したデータを保持していない
- 状態 IV モバイルストレージの移動先が確定する

状態 I では、モバイルストレージは 1 つのステーションストレージにだけ接続されている。これは最も基本的な状態で、モバイルストレージとステーションストレージ間のデータの交換はこのタイミングで行われる。状態 II は、あるモバイルストレージが現在は接

続されていないものの、ストレージ上に接続されていたときのデータが保存されて残っている状態である。状態 III は二つのパターンが考えられる。一つはこれまで一度もモバイルストレージが接続されたことがなく、ストレージ上にそのモバイルストレージに関連するデータが存在していない状態である。もう一つは以前にモバイルストレージが接続されていたが、データを別のストレージへ転送したか、接続が切断されてから長期間が経過し、モバイルストレージに関連するデータが削除されたかのどちらかの状態である。状態 IV はモバイルストレージが移動することから起こる。GPS で得られた情報やモバイルストレージが二つ以上のステーションストレージに接続可能になるなどで、次にモバイルストレージが接続するステーションストレージが確定した時に「次の」ステーションストレージへのデータ転送を行う状態である。

ステーションストレージのこれらの状態は特定のイベントが発生することで遷移する。ここで遷移する条件になるイベントは以下の 5 つである。

- イベント 1 モバイルストレージ上のデータが更新された
- イベント 2 モバイルデバイスが次に接続するステーションストレージが決定された
- イベント 3 モバイルストレージがあるステーションストレージに接続した
- イベント 4 モバイルストレージとステーションストレージとの接続が切断された
- イベント 5 モバイルストレージとの接続が行われず一定期間経過した

ステーションストレージの 4 つの状態と 5 つ条件イベントについての遷移図を図 3 に示す。

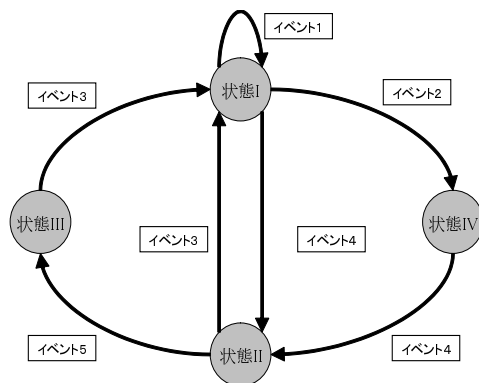


図 3 全体図

各イベントの発生によりステーションストレージの状態は他の状態へ推移する。イベント 1 はモバイルストレージ上のデータが更新され、それがステーションストレージ上に反映されたときにイベントの発生とする。データが一つ更新されるだけでモバイルストレージとステーションストレージの関係は変化しないためイベント 1 の発生後もステーションストレージの状態は状態 I から変化しない。

イベント 2 はモバイルストレージの移動に伴って発生する。利用者に必要なデータが常に近隣のストレージに存在するためには、モバイルストレージが移動してどのステーションストレージに接続されるかを知ることが必要になる。将来接続されるであろうステーションストレージを決定する方法は幾つか考えられる。一つは、GPS 情報から得られる移動ベクトルから予測し決定する方法である。モバイルストレージが 2 つのステーションストレージと同時に接続可能になった時や、もしくは移動ベクトルから明らかな場合である。二つ目としては、利用者の行動予定がはっきりしている時である。この場合は、次のステーションストレージが物理的に近隣のものだけでなく、遠く離れた位置にあるステーションストレージに決定される可能性もある。三つ目は、無線 LAN の接続が切断されていたモバイルストレージが、別のステーションストレージと接続されたときである。これらのいずれかの場合で次のステーションストレージが決定されたとき、イベント 2 の発生とする。

イベント 3 はモバイルストレージとステーションストレージの無線 LAN 接続が確立したときである。状態 II でこのイベントが発生するのは、以前に接続が切断されてから間を置かず再び接続されたときで、それまでに利用したデータがステーションストレージにまだ存在している。状態 III ではステーションストレージ上にはそのモバイルストレージ利用者のデータは存在していない。状態 II や状態 III のどちらの状態からでも必要なデータがコピーされて状態 I に推移する。

イベント 4 はモバイルストレージの利用をやめたとき（シャットダウンした時）や、ステーションストレージの無線 LAN の圏外に出るなどで接続が切断されたときにイベントの発生とする。

イベント 5 は、モバイルストレージとステーションストレージの間の接続が十分に長時間切断されていて再接続の見込みがないと判断された時に発生する。

これらの発生するイベントは ECA ルールの起動のトリガーとなる。つまり、ステーションストレージの

状態ごとに Decision Tree の集合に相当するルール集合を切り替え、その状態にあった処理を行うことが出来る。

### 3.5 データの転送方向

データの転送は、主にステーションストレージ同士を中心に行われる。広域分散ストレージ環境ではホームストレージや多数のステーションストレージがあり、どこへ転送するのかを決定しなければならない。この節ではステーションストレージから見た転送パターンに着目して解説する。

移動するモバイルストレージにとって、ステーションストレージは「現在接続中」「以前接続されていた」「次に接続される」という3つに分類される。「以前接続されていた」ストレージはモバイルストレージとの無線 LAN 接続が切断されてからの時間経過が短く、接続されていた時点で更新・参照されたデータがストレージ上にまだ存在している。前節で述べたとおり、「次に接続される」ステーションストレージを決定する方法は利用者の行動予定から決定する方法と GPS から得られる情報に基づく移動ベクトルから決定する方法、そしてモバイルストレージが実際に別のステーションストレージに接続されたときである。本節の解説では簡単のため「次に接続される」ステーションストレージは隣接した一つだけに決定されると仮定する。

データの転送は3つの立場のステーションストレージにホームストレージとモバイルストレージを足した5つのストレージの間で行われる。図4でデータの転送の方向とストレージの関係を図示する。処理の中心となるステーションストレージ（Current と書かれている）がモバイルストレージと接続されている。

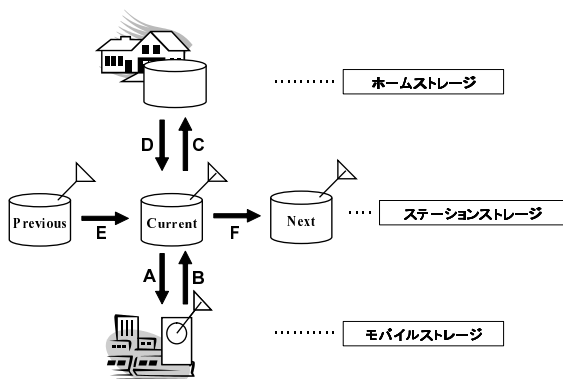


図4 データの転送パターン

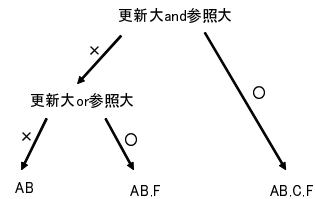


図5 イベント1でのユーザー文書の Decision Tree

- A：ステーションストレージからモバイルストレージへコピー
- B：モバイルストレージからステーションストレージへコピー
- C：ホームストレージからステーションストレージへコピー
- D：ステーションストレージからホームストレージへコピー
- E：前のステーションストレージからコピー
- F：次のステーションストレージへコピー
- G：データの削除
- H：データをそのまま継続して保持

Decision Tree に対応したルール集合を利用して、A～Fにより転送されたデータに対して3.3節で与えられたパラメータを元に、これらの転送パターンの中からそのデータに適用すべき転送処理のパターンを選び出す。パターンGとHはステーションストレージ内部での処理になるため、図4には現れない。

### 3.6 Decision Tree

3.3節でデータを種類ごとに分類し、その種類ごとに適用すべき処理が異なることを述べた。また、3.4節でステーションストレージの4つのいずれかの状態の下、5パターンのイベントの発生する可能性を示した。つまり、ステーションストレージがある状態のとき、そのストレージ上の1種類のデータに対する Decision Tree は一つのみ存在する。

Decision Tree は自律ディスク上のECAルールとして実装される。3.3節で示したデータのパラメータはECAルールの中で参照される条件となり、最終的に3.5節にある転送パターンから最適なものが選ばれる。

例として、データの種類が「ユーザー作成文書」、ステーションストレージが「状態I:あるモバイルストレージが単独で接続している」状態における5つの Decision Tree を図5から図9に示す。

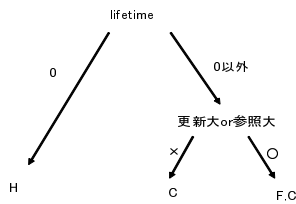


図 6 イベント 2 でのユーザー文書の Decision Tree

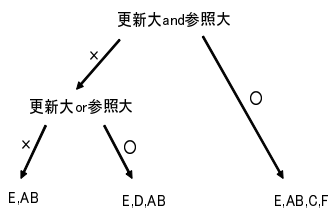


図 7 イベント 3 でのユーザー文書の Decision Tree

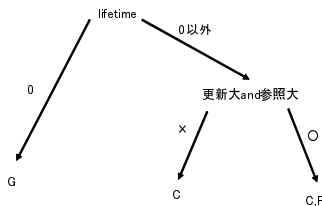


図 8 イベント 4 でのユーザー文書の Decision Tree

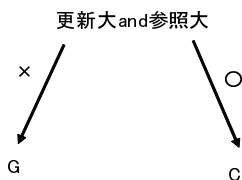


図 9 イベント 5 でのユーザー文書の Decision Tree

2 節で述べたように、ECA ルールは特定のイベントのトリガーとして処理を開始する。しかし、3.4 節で示した 5 つのイベントから起こる処理はそれぞれその処理の対象が異なる。図 5 はイベント 1 の時、モバイルストレージ上でデータが更新されたときの Decision Tree である。前述の通り対象となるデータはオフィス文書のようなユーザー作成文書である。更新された文書データに対してこの Decision Tree が適用される。ここでは全ての転送パターンにモバイルストレージとステーションストレージへの書き込みが含まれている(図 4 の転送パターン A と B)。しかし、更新頻度と

参照頻度のどちらかが高いデータである時は利用者が必要なデータとして「次のステーションストレージ」へのコピー(転送パターン F)も実行される。さらに、更新頻度と参照頻度が高いデータは、利用者にとって最も重要なデータであるとして「次のステーションストレージ」へのコピー(転送パターン F)、ホームストレージへのコピー(転送パターン C)の両方が実行される。

図 6 から図 9 の Decision Tree も同様に転送パターンが決定される。しかし、イベント 1 の Decision Tree では更新されたデータのみを処理の対象としていたのに対し、イベント 2~4 ではステーションストレージ(図 4 の”Current”)上に存在する全てのデータが Decision Tree の処理の対象となる。

#### 4. 関連研究

遠隔地でのデータアクセスの利便性の向上を目指す研究として、まず WebDAV<sup>4)</sup> が挙げられる。これは HTTP を拡張し、クライアントからサーバー上のデータを管理できるようにするものである。また、Windows で広く利用されているリモートデスクトップはデスクトップの画面を通じた PC の遠隔操作を可能にする。Coda<sup>5)</sup> は分散ファイルシステムの一つであり、キャッシュを用いることでネットワーク上での転送時間の短縮を可能にする。これらの例ではデータアクセス際にマスターデータの保存されている特定のサーバーへの接続が必要になる。また、サーバーの位置がまっているため、利用者との物理的な距離やネットワークの状況によっては快適なデータアクセスは保障されない。我々の研究では、利用者に必要な最新のデータへのアクセスは特定のサーバーの存在に依存することなく常に近隣のストレージと通信を行う。このため、特定のサーバーとの距離に縛られないデータアクセスが可能になる。

コンテンツを分散させてデータアクセスの高速化を図るものとして Akamai<sup>6)</sup> のコンテンツデリバリーサービスが知られている。コンテンツはあらかじめ高速ネットワークで接続された世界各地のサーバーに分散して保存されており、利用者のアクセス要求に対し最も適切なサーバーを選んでそこからコンテンツを提供する。Akamai のシステムは動画や音声などのコンテンツ配信を主眼に置いたシステムであり、利用者が作成したデータを扱うことは出来ない。我々の提案する広域分散ストレージではデータの安全性向上とアクセスの高速化のために各所に存在するステーションストレージ

を利用している。もちろん、ステーションストレージへあらかじめデータを配信しておくことで Akamai のようなコンテンツ配信も可能である。

## 5. まとめと今後の課題

我々の提案する広域分散ストレージでは、利用者がよく利用するデータは常に近隣のストレージに存在し必要な情報への効率的なアクセスが可能となる。また、データの性質からその重要度を判断し多重化を行うことでモバイル環境におけるデータ損失の危険性を軽減できる。本研究では、自律ディスクを広域ネットワークに応用して、データへの効率的なアクセスとデータの安全性を高めるためのデータ移動制御手法を提案した。

今後の課題としては、提案手法のシミュレーションを行ない、データへのアクセス効率について検証を行うことである。利用されるデータの更新や参照に伴うパラメータの変動の算出方法も検討する必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」プログラム、情報ストレージ推進機構 (SRC)、ならびに科研費補助金 (課題番号: 15700090) の支援により行なわれた。ここに記して感謝を表す。

## 参 考 文 献

- 1) Kimberly Keeton, David A. Patterson, and Joseph M. Hellerstein. "A Case for Intelligent Disks (IDISKS)". SIGMOD Record, 27(3):42-52, Sep. 1998.
- 2) Anurag Acharya, Mustafa Uysal, and Joel Saltz. "Active Disks: Programming Model, Algorithms and Evaluation," to appear in Proc. 8th Int. Conf. on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-VIII), Oct. 1998.
- 3) Haruo Yokota, "Autonomous Disks for Advanced Database Applications", Proc. of International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments (DANTE'99), pages 441-448, Nov, 1999.
- 4) WebDAV Resources

<http://www.webdav.org/>

- 5) Peter J. Braam, "The Coda Distributed File System", Linux Journal, June, 1998  
<http://www.linuxjournal.com/>

- 6) Akamai  
<http://www.akamai.com/>