

自律ディスクを用いた広域分散ストレージシステムの シミュレーションによる性能評価

藤原 勤[†] 宮崎 純[†] 植村 俊亮[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{tsutom-f,miyazaki,uemura}@is.naist.jp

あらまし 本研究では、自律ディスクを用いた広域分散ストレージシステムと、シミュレーションによるシステムの性能評価について述べる。近年モバイルコンピューティング環境で扱われるデータの種類や容量は格段に増加し、様々なモバイルデバイスへハードディスクが搭載されるようになってきている。しかし、利用中のモバイルデバイス上に求めるデータが存在せず必要なデータの取得に余計なコストが必要になったり、モバイルデバイスの信頼性からくるデータ損失の危険性などの問題がある。我々は、信頼性の高いディスクがモバイルデバイスから快適にアクセスできるあらゆる場所に存在し、利用者の求めるデータがそのディスクに存在する、自律ディスクを用いた広域分散ストレージを提案している。さらに、モバイルコンピューティング環境での利用を考慮して、関連研究との比較をシミュレーションによって行う。

キーワード 分散ストレージ, 自律ディスク, データ移動, ウェアラブルコンピュータ

Simulation and Performance Evaluation for a Widely Distributed Storage System Using Autonomous Disks

Tsutomu FUJIWARA[†], Jun MIYAZAKI[†], and Shunsuke UEMURA[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Takayama 8916-5, Ikoma, Nara 630-0192 Japan

E-mail: †{tsutom-f,miyazaki,uemura}@is.naist.jp

Abstract We evaluate the widely distributed storage system that we have proposed by simulation. Recently, a mobile user can handle a large amount of data because mobile disks are installed on many gadgets. However, data requested 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. In this paper, we evaluate the performance of our proposed system and compare ours with the related work by simulation.

Key words distributed storage, autonomous disk, data migration, wearable computer

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、モバイルデバイス上でより大容量のデータ利用に対する要求が高くなっている。また、そのデータの種類も多岐にわたっている。しかし、モバイルデバイスの利用者の望むデータが必ずしも利用中のデバイス上に存在するとは限らず、遠隔でのデータ取得はネットワーク帯域やデータアクセスの遅延の問題から大きなコストを

必要とする。

モバイルデバイスでは一般にローカル上のストレージのサイズは小さく、持ち運べるデータもごく限られたサイズになってしまう。ノートパソコンでは標準的に搭載されている大容量のハードディスクも、PDA や携帯電話、デジタルオーディオプレイヤーでは搭載されるようになってきているが、まだ一部にとどまっている。しかし、それらのモバイルデバイスでは、ハードディスクドライブの搭載によってその損傷によるデータ損失

の可能性が高くなっている。これらの問題から、モバイルコンピューティング環境ではより多くのデータに対する快適かつ信頼性の高いデータアクセスの確保が課題となっている。

これらの問題は、信頼性の高いディスクがモバイルデバイスから快適にアクセスできるところに存在し、利用者の求めるデータがそのディスクに存在することで解決できる。そこで我々はこれまでの研究において、モバイルデバイスの利用環境の至るところに、ネットワークによって結ばれた無線 LAN でアクセス可能なストレージを利用した広域ストレージネットワークを提案している [1][2]。このストレージネットワーク上のストレージは自律ディスクによって構成され、それぞれが自動的に、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、ネットワーク上でデータの多重化を行う。モバイルデバイスの利用者にもっとも近い自律ディスク上に利用者の必要とするデータを転送するため、ネットワーク帯域やデータアクセスの遅延に影響されない快適なデータアクセスを提供できる。また、複数のストレージ上でデータを多重化することでデータを喪失する危険性も低減する。

本論文では、モバイルデバイスの利用者が移動中にネットワークを通じたデータ取得に要する時間をシミュレーションによって測定する。また、関連研究である、Coda File System [8] との比較を行うことで、本システムの有効性を確かめる。

2. 関連研究

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 [9] 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。

また、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 [7] が挙げられる。WebDAV は HTTP を拡張し、クライアントからサーバ上のデータを管理できるようにしている。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。これら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への接続が必要になる。また、サーバの位置が決まっているため、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。

遠隔ネットワークへのファイルアクセスを実現するシステムに Wide Area File Services (WAFS) [10] がある。既存のネットワークに専用の機器を追加し、ネットワーク間の通信を仲介する事で高速なデータアクセスを実現する。機器間ではデータのキャッシングや通信の最適化が行われ、遠隔ネットワークでの通信の遅延の解消が図られている。

Coda File System [8] (以下、CFS) は WAFS と同様、遠隔でのファイルアクセスにキャッシュを利用する分散ファイルシステムである。CFS の大きな特徴としては、オリジナルデータ

の存在する Coda サーバ上のファイルシステムのキャッシュをローカルデバイス上に保持することが挙げられる。これによってモバイルコンピュータなどでネットワークへの接続が切断されているときでも、ローカルのキャッシュされているファイルシステムへアクセスすることでデータの利用を可能にする。再びモバイルコンピュータがネットワークへ接続した後、CFS サーバへ接続をすることでサーバとクライアント間で更新済みデータがやりとりされ、ファイルシステムの同期が行われる。これによって、更新された更新部分を他のコンピュータでも利用可能になる。しかし、モバイルデバイスの移動に伴ってファイルシステムのキャッシュ更新が行われる際に、使用しないデータの更新がネットワーク帯域の無駄な消費につながれば、データアクセスの性能低下を招く可能性がある。

CFS も WAFS もキャッシュを用いて通信の利便性の向上を目指している。5. でモバイルコンピューティング環境での利用を考慮した我々のシステムと CFS との性能比較をシミュレーションによって行う。

3. 自律ディスク

現在の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及びデータの入出力制御の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。Patterson らによる IDISK [3] や Acharya らによる Active Disk [4] では、ディスクはより高性能なプロセッサやメモリを持つと想定しディスク上のプロセッサでアプリケーションを実行する高機能ディスクを提案している。

横田は、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 [5]。この研究では、自律ディスクへの ECA (Event-Condition-Action) ルールと呼ばれるアクティブルールの採用が提案されている。システムの設計者はルール変更によってシステムの目的にあう機能を持った自律ディスクを利用できる。また、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、障害回復等の様々な機能を持つ自律ディスククラスタを可能にするルール集合も提案されている。

4. 自律ディスクを利用した広域分散ストレージシステム

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の性質上、利用者の求めるデータが手近なデバイス上ではなく遠隔地のサーバに存在する場合がある。しかし、遠隔のデータアクセスは十分なネットワーク帯域が確保されるとは限らず、快適にデータを利用できるわけではない。また、モバイルデバイスの障害により利用中のデータを喪失する可能性もある。

これらの問題は、モバイルコンピューティング環境の様々なところに安全性の高い大容量ストレージが存在する、広域分散ストレージネットワークによって解決する。このシステムでは、モバイルデバイスの利用者が要求するデータは利用者の近隣に位置するストレージに格納され、モバイルデバイスから無線 LAN を通じてデータを利用出来る。また、利用者のデータは

レージから提供されるストレージスペースを利用することで、ローカルに十分なサイズの格納スペースを持たなくともローカルのリソース以上の多くのデータを利用できる。

モバイルデバイスでは、ネットワークを通してステーションストレージに格納されているデータを利用できる。しかし、利用者の移動によって利用したいデータが格納されているステーションストレージとモバイルデバイスとの距離が遠く離れてしまう場合が考えられる。データが格納されているステーションストレージとモバイルデバイスの間で、ネットワーク帯域の低下や遅延の増大があれば快適なデータアクセスが損なわれてしまう。そこで、データとモバイルデバイス間のネットワークの帯域や遅延の状況から、快適なデータアクセスが損なわれてしまうと判断されれば、モバイルデバイスから最も近隣のステーションストレージへデータを転送する。これによって、快適なデータアクセスが保たれると共にモバイルデバイスの移動に伴う無駄なデータ転送を防ぐ事が出来る。また、このステーションストレージ間のデータ転送の際に各データの利用状況を分析し、利用頻度の高いデータから先に転送を行うことで、モバイルデバイス利用者のデータ転送完了の待ち時間を短縮できる。

4.2 ECA ルールによるデータの管理

我々の広域分散ストレージシステムにおける各ストレージは自律ディスクによって構成されている。この自律ディスクではストレージ上のデータ処理に ECA ルールを用いる。ECA ルールは、処理の開始の鍵となる事象と処理を決定するための条件、そして実際に行われる処理の三つを一組として記述される。システム的设计者はストレージに想定される多くの事象ごとの ECA ルールを定義しなければならない。我々のシステムでは、どのデータをどのストレージに転送するのか、または転送しないのかを決定するための ECA ルールの集合を定義する。モバイルデバイスの移動やシステムを構成する各ストレージ上でのデータ更新など、モバイルデバイスやデータの状態の変化をトリガとして特定の ECA ルールが開始される。

我々は以前の研究で、ステーションストレージの 4 つの状態と ECA ルールのトリガとなる 5 種類のイベントを定義した [2]。また、データの種類によってそれのデータに適用されるべき転送処理は違う。そのためにデータの種類ごとにルール集合を切り替えることで、データに応じた適切な処理を実行出来る。最終的に、ステーションストレージの状態、データの種類、トリガとなるイベントが決まれば処理を決定するための決定木は一つだけ存在する。ここでは例として、あるステーションストレージ上のデータがモバイルデバイスによって更新されたときに適用される ECA ルールを擬似言語の形で例示する (図 2)。

```
ON      データ更新
IF      最近1時間の更新回数>5 and 最近1時間の参照回数>5
THEN    ホームストレージへバックアップ
ELSE    何もしない
```

図 2 ステーションストレージにおいてデータ更新があった場合の ECA ルールの例

この ECA ルールはステーションストレージ上のデータの更新をイベントとしてトリガされ、対象データが更新されている頻度と参照されている頻度をチェックする。この例では、参照頻度及び更新頻度は、対象データが最近 1 時間の間に更新された回数と参照された回数を基準としている。このようなデータの利用状況に関する情報はメタデータとしてそれぞれのデータに付加され、ECA ルールで処理を決定するための条件として利用される。この ECA ルールの場合、頻繁に参照と更新が行われるデータであれば利用者にとって重要なデータであるとしてホームストレージへバックアップを行い、そうで無い場合は何も行わない。ECA ルールの一つ一つは図 2 のようにシンプルなもの想定し、それぞれのストレージがストレージの状態、データの種類、トリガとなるイベントごとに設定された数十の ECA ルールを格納している。これらの ECA ルールはシステム的设计者によって管理されるが、ルールの更新などの場合には対象のディスクへ新しいルールを配布し、自動的にそれぞれのディスクがルール更新をすることも可能である。

5. 性能評価

本節では、モバイルコンピューティング環境における利用を想定し、モバイルデバイスのネットワークを通じたデータ取得に要する時間をシミュレーションによって測定することで我々のシステムと Coda File System (CFS) との性能比較を行い、システムの有効性について検証する。

このシミュレーションでは、モバイルデバイスの利用者が無線 LAN アクセスポイント (ステーションストレージ) が複数存在するフィールド上を移動しながらネットワークを通してデータを要求し、実際にデータを取得するまでの時間を測定した。ただし、実際のネットワークでは多くのネットワークを経由すると通信確立のためのネゴシエーションなどに多くの時間を必要とするが、ここでは単純にデータサイズやネットワーク帯域の影響を見るため、それらの影響は考慮していない。

5.1 想定する状況

このシミュレーションにおける利用者は、モバイルデバイスを利用しながら移動しているものとする。オリジナルデータが格納されているホームストレージ (CFS の場合は Coda サーバ) 上のデータはこの利用者の行動の拠点となる場所に設置されている。ホームストレージ上のデータには他ユーザーとの共有データがあるものとし、そこでは任意のデータが更新されている。また、ホームストレージで更新されているデータは後述する Office 文書以外にも株価情報やセンサデータのようなストリーム型のデータも考慮し、頻繁にデータ更新が行われ蓄積されているものと想定する。利用者は、随時この更新されている最新データをホームストレージ (CFS の場合は Coda サーバ) から取得し、チェックする。

シミュレーションにおける我々のシステムのモバイルデバイスは、モバイルデバイスの可用性とデータの安全性を考慮し、ローカルに十分なサイズのハードディスクを持たないディスクレス型のモバイルデバイスを想定する。よって、利用するデータはすべて無線 LAN を通じてステーションストレージから取得する。モバイルデバイスがあるステーションストレージに

無線 LAN で接続したとき、そのステーションストレージへのデータの転送処理が開始される。我々のシステムでは、データの存在するステーションストレージとモバイルデバイス間のネットワーク状況からデータ転送を行うか判断される。しかし、ここではデータの送信が発生した時の影響を見るため、ステーションストレージ間では必ずすべてのデータが転送されるものとする。以前接続していたステーションストレージが存在しないとき、すなわち最初のステーションストレージへの接続の際にはホームストレージからデータが送信される。また、利用者のデータを構成する全てのデータに対するアクセス確率は等しいとする。よって、ステーションストレージへ全データの 50% が転送されれば、モバイルデバイスから目的のデータへアクセス可能であるとする。また、ホームストレージ上で更新された最新のデータはモバイルデバイスに近い（無線 LAN で接続されていた）ステーションストレージへ随時配信され、モバイルデバイスから利用できる。

CFS では、我々のシステムにおけるステーションストレージに相当するものは存在しないためステーションストレージは単なる無線 LAN アクセスポイントとして扱う。同様に、ホームストレージは CFS の Coda サーバとして扱う。CFS ではローカル上にファイルシステムのキャッシュを保持するため、利用するモバイルデバイスは十分なサイズのハードディスクドライブを搭載しているものとする。モバイルデバイスが無線 LAN に接続したとき、Coda サーバ上のファイルシステム（更新情報が蓄積されている）とモバイルデバイス上のファイルシステムの同期がなされ、データが利用可能になる。

5.2 パラメータ

利用者のデータは主にデータサイズの小さい Office 文書とする。よって、そのデータは 1 個あたり 100KB とし、利用者 1 人分の総容量は 10 ~ 100MB で変動させる。ただし、所持する全てのデータを同時に利用することは少ないと考えられるので、ある時間間隔においてデータ 1 個への取得要求があるものとする。そのデータ要求の間隔はポアソン分布に従って変動する。また、ホームストレージ（Coda サーバ）上でのデータは他ユーザーと共有されており、一定間隔でデータの更新が発生している。

モバイルデバイスの利用者は徒歩での移動を仮定し（最大 3m/s）、移動モデルは直線的な Random Waypoint Model [6] を採用した。ただし、ネットワークの形状やフィールドの偏りによる影響を排除するため、9 台のステーションストレージ（無線 LAN アクセスポイント）は、正方形のフィールド内で格子状（3 × 3）に均等配置した。その無線 LAN の帯域は IEEE 802.11b/g [11] [12] の仕様に従う。また、その無線 LAN の電波の有効範囲は半径 200m であるとする。ステーションストレージ間、及びステーションストレージ-ホームストレージ間のネットワーク帯域は、FTTH（Fibre To The Home）環境での帯域を想定した [13]。

これらのパラメータのうち、モバイルデバイスがデータを要求する時間間隔とホームストレージにおいてデータが更新される時間間隔、及びデータの総容量を変動させて、モバイルデバイスの利用者がデータを要求してから実際に取得するまでの時

間を計測した。

以下に、シミュレーションにおけるパラメータをまとめる。全体：

- シミュレーション時間：120 分
 - フィールドの大きさ：1500m × 1500m
 - 任意の 2 つのステーションストレージ間：15Mbps
 - ステーションストレージ-ホームストレージ間：15Mbps
- ステーションストレージ（無線 LAN アクセスポイント）：
- 設置数：9 台
 - 無線 LAN の規格：IEEE 802.11b/g
 - 無線 LAN の有効範囲：半径 200m

モバイルデバイス：

- 利用者数：50 人
- 移動速度：最大 3m/s
- 総データサイズ：10MB, 25MB, 50MB, 75MB, 100MB
- データの平均要求間隔：60 秒, 30 秒, 20 秒, 10 秒
- 1 回で要求するデータサイズ：100KB

ホームストレージ（Coda サーバ）：

- 設定数：50 台（モバイルデバイス 1 つごとに 1 台）
- データが更新される間隔：10 秒, 20 秒, 30 秒, 60 秒
- 1 回で更新されるデータサイズ：0MB（更新なし）、0.1MB, 0.2MB, 0.5MB, 1MB

5.3 シミュレーションによる比較

5.3.1 実験 1：データへのアクセス要求間隔の変化

ホームストレージでは 10 秒ごとに 100KB ずつデータが更新されているとする。そこで、モバイルデバイスがデータを要求する間隔を平均 60 秒, 30 秒, 20 秒, 10 秒と変化させてデータ取得に要する時間の比較を行う。

モバイルデバイスのデータ取得所要時間の平均を図 3 に示す。

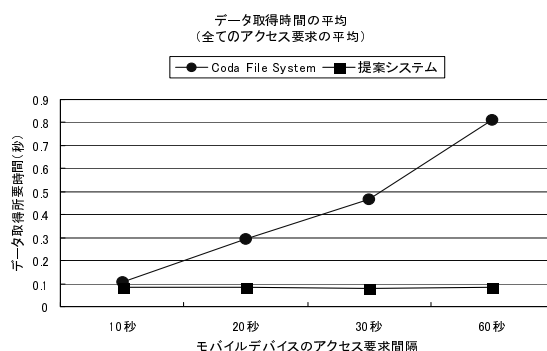


図 3 アクセス要求間隔の変化による比較（全てのアクセス要求の平均）

図 3 の通り、我々のシステムでは全体的に CFS と比べて短時間でデータを取得できている。特徴として、CFS の場合はモバイルデバイスからのアクセス要求の間隔が長くなるのに比例してデータの取得に要する時間も長くなっている。それに対し、我々のシステムではアクセス要求の間隔に関わらずほぼ一定の時間（約 0.1 秒）でデータを取得できている。

これは、二つのシステムのデータの管理方法の違いにあると考えられる。どちらのシステムでもオリジナルデータが格納さ

れているサーバにおいて 10 秒おきにデータの更新が行われている。CFS ではネットワークへの接続後、データアクセスの前にファイルシステムキャッシュを更新する必要がある。無線 LAN に接続したのち、最初のデータ要求の際にファイルシステムキャッシュの更新が行われるが、キャッシュ更新の間隔が長くなればなるほど Coda サーバ上で未更新のデータが蓄積されていく。そのため、アクセス要求の間隔が長いほどデータの取得時間が長くなると考えられる。逆にアクセス要求の間隔が平均 10 秒のように短い場合はローカルのファイルシステムからデータを取得できる割合が高くなるため、データ取得時間の平均は結果的に我々のシステムと変わらない。

我々のシステムでは、更新されたデータは随時モバイルデバイスが接続しているステーションストレージへ送信され、ホームストレージに蓄積されることは無い。モバイルデバイスがネットワークへ接続されていない場合でも、直前まで接続されていたステーションストレージへ更新データが送信される。

我々のシステムの場合、モバイルデバイスのデータ取得は遠隔のネットワークを介さずに無線 LAN を通してのみ行われる。ホームストレージ上での更新データは、蓄積されずにその都度ステーションストレージへ配信され、CFS のように蓄積された更新データが 1 度に送信される事はない。このことによって、最新のデータは利用者に近隣のステーションストレージ上に存在しているため、データ取得に対する負荷となるのは無線 LAN 部分のみになり、データ取得に要する時間は一定になっていると考えられる。

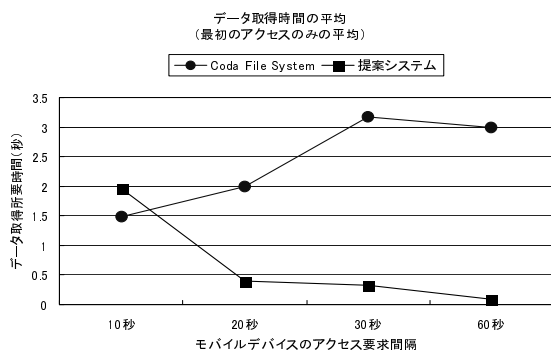


図 4 アクセス要求間隔の変化による比較 (最初のアクセスのみの平均)

図 4 はモバイルデバイス利用者のデータ要求のうち、それぞれのモバイルデバイスがネットワークに接続直後のデータ要求の際にデータ取得に要した時間の平均を示す。図 3 と同じようにデータ取得時間は全体的に CFS よりも短いものの、アクセス要求間隔が 10 秒の場合は CFS よりもデータ取得に要する時間が長くなっている。

4. で述べたように、我々のシステムでは利用者の移動に追従するようにデータの集合もステーションストレージ間を移動する。移動によってあるステーションストレージに無線 LAN で接続したとき、接続中のステーションストレージへ、以前に接続していた (利用者のデータが存在する) ステーションストレージからデータが送信されてくる。また、最初にステーションストレージへ無線 LAN 接続されたときにはステーションス

トレージにはまだ利用者のデータは存在しないため、まずホームストレージから必要なデータが送信されてくる。これらのデータ送信処理は無線 LAN 接続直後から自動的に開始される。

CFS ではデータ要求の時に更新キャッシュの転送が始まるため、データ要求の間隔が長い場合にデータ取得時間への影響が大きくなる。これは、ホームストレージ-ステーションストレージ間のネットワーク帯域が狭いほど、より顕著になると考えられる。しかし、提案システムの場合はアクセス要求の間隔に関らず、ネットワークに接続可能になるとすぐにステーションストレージへデータ転送が開始されるため、その影響は軽減される。データ要求の間隔が平均 10 秒のような短い場合、我々のシステムの場合はデータの送信が完了して利用可能になるまでの待ち時間が発生し、結果的にデータ取得時間が長くなるものと考えられる。

5.3.2 実験 2: データの更新間隔の変化

ホームストレージ上で 100KB のデータが 10 秒, 20 秒, 30 秒, 60 秒おきに更新, またはデータが更新されない場合の比較を行う。

図 5 はモバイルデバイスが平均 60 秒おきに、図 6 はモバイルデバイスが平均 10 秒おきにデータを要求したときのデータ取得所要時間の平均を示す。

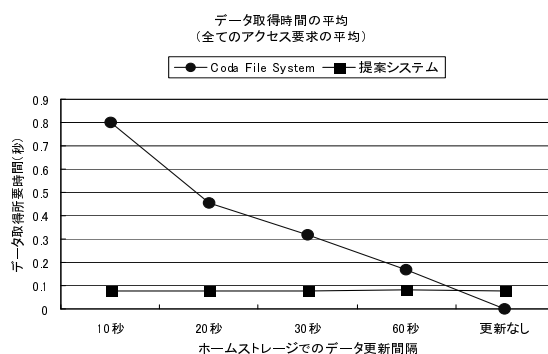


図 5 データの更新間隔の変化による比較・1 (データ要求間隔: 60 秒)

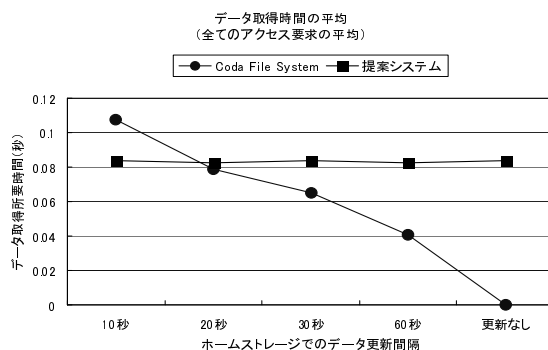


図 6 データの更新間隔の変化による比較・2 (データ要求間隔: 10 秒)

図 5 の通り、我々のシステムでは全体的に CFS に比べて短時間でデータを取得できている。特徴として、CFS の場合はオリジナルデータの更新間隔が短いほどデータの取得に要する時間も長くなっている。実験 1 の場合と同じく、CFS ではデータ

の更新頻度が高いと更新すべきファイルシステムキャッシュのサイズが大きくなり、結果的にデータ取得に要する時間が長くなる。ただし、サーバ上のデータ更新が全くない場合は、CFSではファイルシステムキャッシュが更新されることが無い。よって、全てのデータはネットワークを介さずローカルのファイルシステムから取得できる。本シミュレーションにおいてはネットワークを介したファイル取得時間に注目しているため、この場合にはファイル取得時間が0秒となる。

我々のシステムの場合はデータ取得時間はほぼ一定となっている。実験1の場合と同じく、ホームストレージ上での更新データは蓄積されずにその都度ステーションストレージへ配信されているため、データ取得に対する負荷となるのは無線LANの部分のみになっているためと考えられる。

一方、図6はデータの要求間隔が平均10秒で、図5の場合よりも頻りにデータ要求があった場合のデータ取得時間の平均を示す。実験1でも見られたように、データの要求間隔が短い場合、CFSではローカルのファイルシステムからデータが取得でき、データ取得時間の平均はより低くなる。我々のシステムではこれまでの実験結果と同じく、データ更新の間に影響されずデータ取得時間はほぼ一定を保っている。

5.3.3 データ総容量の変化

ホームストレージ上で10秒ごとに100KBのデータが更新され、モバイルデバイスがデータを要求する間隔は平均60秒であるとする。そこで、利用者1人あたりのデータの総容量を10MB、25MB、50MB、75MB、100MBと変化させてデータ取得に要する時間の比較を行う。

モバイルデバイスのデータ取得所要時間の平均を図7に示す。

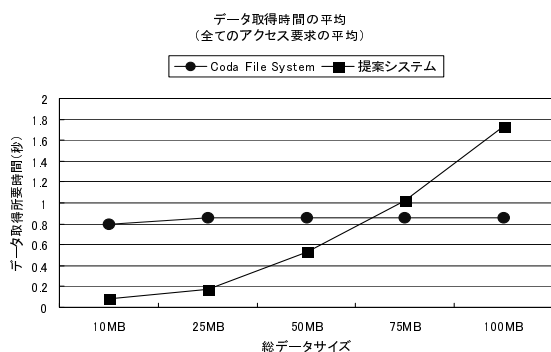


図7 総容量の変化による比較 (全てのアクセス要求の平均)

図7の通り、CFSでは総容量にかかわらずデータ取得時間がほぼ一定なのに対し、我々のシステムでは、総容量が大きくなるにつれてデータ取得の所要時間も大きくなっている。CFSでは、ホームストレージで更新されたデータに相当するキャッシュだけがモバイルデバイスのファイルシステムの更新の際に転送される。それに対して、我々のシステムでは利用者の全てのデータが利用者と共にステーションストレージ間を移動するため、データの総容量が大きい場合にはデータアクセスの際にデータの移動の待ち時間が発生しているものと考えられる。

表1は、この比較でのデータ総容量が100MBの場合での

データ取得要求の総件数と、そのうち1秒未満でデータを取得できた要求の割合を示す。また、図8はデータ取得に1秒以上かかったアクセス要求のデータ取得時間ごとの分布を示す。表1から、我々のシステムでもごく短い時間でデータを取得できる割合が高い事が分かった。しかし、図8から、CFSではデータ取得時間は比較的短い方にほとんどが分布しているのに対し、我々のシステムではデータ取得に20秒以上かかる場合が多くある事が分かった。我々のシステムではステーションストレージ間のデータ転送を行うかどうかは、そのネットワークの状況から判断される。この実験ではモバイルデバイスの移動があれば必ずデータの転送が行われているため、データのステーションストレージ間移動の待ち時間が発生していると考えられる。これは無駄なデータ転送の発生による悪影響が最も大きい状態であり、4.で述べた通りにステーションストレージ間のデータ転送にネットワークの状況を考慮することでデータ転送待ち時間の発生は軽減できると考える。また、利用頻度の高いデータを先に転送することで、その待ち時間も最小限に抑える事が可能になると考える。

表1 データ取得所要時間の割合

	提案システム	Coda File System
データ取得要求総件数	2134	2139
1秒未満でデータを取得できた要求の件数	1877	1802
1秒未満でデータを取得できた要求の割合	87.9%	84.2%

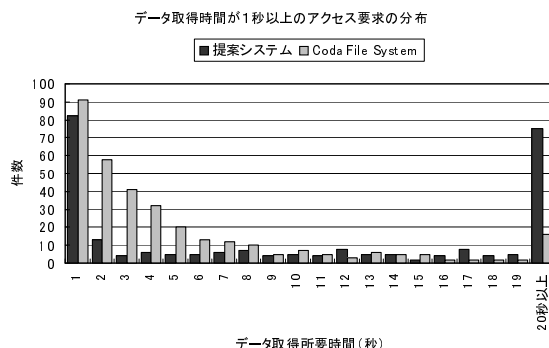


図8 データ取得時間が1秒以上のアクセス要求の分布

5.4 シミュレーションのまとめ

実験1ではデータへのアクセス要求の間隔を、実験2ではデータの更新の間隔を変化させ、データ取得に要する時間を比較した。また、実験3ではデータの総容量を変化させてデータ取得時間の比較を行った。いずれの場合でも、CFSではファイルシステムキャッシュ更新やデータ要求の間隔がデータ取得に要する時間に大きく影響しているのに対し、我々のシステムではそれらはデータ取得時間にほとんど影響がないことが分かった。我々のシステムではホームストレージ-モバイルデバイス間の直接のデータのやり取りはなく、必ずステーションストレージを介して行われる。モバイルデバイスは近隣のステーションストレージから最新のデータを取得できるため、データ取得に要する時間が安定しているものと考えられる。このホームストレージでのデータ更新がシステムの性能に影響しにくいという

性質は、モバイルデバイスへの交通情報やセンサデータのようなストリーム型のデータ配信などの用途に優れた性能を持っているといえる。

しかし、データ要求の頻度が高い場合、ローカルのファイルシステムを利用できる CFS に比べると我々のシステムはデータの取得に時間が掛かる場合があった。データ更新の頻度が低い場合も同様で、このような本来ネットワークへの負荷が低い (CFS ではファイルシステムキャッシュ更新量が少ない) はずの状況でも我々のシステムではデータ取得時間は小さくなっていない。今回の実験では、モバイルデバイスの移動に伴って利用者のデータも必ずステーションストレージ間を移動するため、データ移動が終了するまでそのデータを利用する事が出来ない。この待ち時間がボトルネックになり、ステーションストレージに接続直後のデータアクセスに影響がある事がわかった。この無駄なデータ転送の悪影響は利用者のデータの総容量が大きいと特に顕著になる。しかし、多くの場合において高速なデータアクセスが可能であり、上記の問題もネットワークの状況を考慮したデータ転送の制限や利用頻度の高いデータを先に転送することによって解決できると考える。また、ローカルにある程度のデータ格納領域 (ハードディスクとは限らない) を持つモバイルデバイスの場合には CFS と同様のローカルのキャッシュを利用する事で克服できると考えられる。

6. おわりに

本論文では、これまでの研究で我々が提案している広域分散ストレージについて、シミュレーションによって CFS との比較を行った。その結果、我々のシステムは多くの場合で CFS に比べ高速なデータアクセスを提供できることを示した。特に、モバイルデバイスからのデータ要求頻度やホームストレージでのデータ更新の頻度の影響が少なく安定した性能を持つ事が分かった。これは我々のシステムがモバイルデバイスへのデータ配信システムへの応用に対して有効であることを示している。また、本来ネットワークへの負荷が低いはずの状況でもデータの取得時間が短くならない事があったが、これはステーションストレージ間の無駄なデータ転送が影響しているものと考えられる。これはストレージ間のデータ転送でネットワークの状況やデータの利用状況を考慮することで解決できると考える。

本論文におけるシミュレーションでは、提案システムにおけるモバイルデバイスは、全てのデータアクセスを無線 LAN を介して接続したステーションストレージから取得する完全なディスクレスなデバイスを想定した。今後の課題としては、様々な形状のネットワークやネットワーク帯域への考慮した提案システムの評価を行うことが挙げられる。また、本論文ではモバイルデバイスの利用者は設定されたフィールド上を一様に分散して移動していたが、都市部などの公共交通機関のような複数の利用者が同時に移動する状況も検討していきたい。このような環境では一度に多数のアクセス要求が発生し、ネットワーク帯域へ大きな負荷からデータ取得に多くの時間がかかってしまう事が予想される。また、モバイルデバイスで CFS のようなデータキャッシュを利用した場合も検討していきたい。

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」プログラムならびに情報ストレージ推進機構 (SRC) の支援により行なわれた。

文 献

- [1] 藤原勤, 宮崎純, 植村俊亮: “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”, 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No.6, pp.79-86, 2005-DBS-135-12, 情報処理学会, 2005 年 1 月.
- [2] 藤原勤, 宮崎純, 植村俊亮: “自律ディスクによる広域分散ストレージの静的な性能解析”, 情報処理学会研究報告/電子情報通信学会技術研究報告, Vol.2005, No.68, 2005-DBS-137(II)-75, pp.561-568/Vol.105, No.172, DE2005-104, pp.227-232, 情報処理学会/電子情報通信学会, 2005 年 7 月.
- [3] Kimberly Keeton, David A. Patterson, and Joseph M. Hellerstein. “A Case for Intelligent Disks(IDISKs)”. SIGMOD Record, 27(3):42-52, Sep. 1998.
- [4] Anurag Acharya, Mustafa Uysal, and Joel Saltz. “Active Disks: Programming Model, Algorithms and Evaluation,” in Proc. 8th Int. Conf. on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-VIII), Oct. 1998.
- [5] Haruo Yokota, “Autonomous Disks for Advanced Database Applications”, in Proc. of 1999 International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments (DANTE'99), pp.441-448, 1999.11
- [6] Tracy Camp, Jeff Boleng, Vanessa Davies, “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research”, Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC) : Special issue on Mobile Ad Hoc Networking - Research, Trends and Applications, vol.2, no.5, pp.483-502, 2002.
- [7] WebDAV Resources
<http://www.webdav.org/>
(2006 年 1 月 9 日 URL 確認)
- [8] Peter J. Braam, “The Coda Distributed File System”, Linux Journal, June, 1998
- [9] Akamai
<http://www.akamai.com/>
(2006 年 1 月 9 日 URL 確認)
- [10] Wide Area File Services
<http://www.cisco.com/en/US/products/ps5981/>
(2006 年 1 月 9 日 URL 確認)
- [11] IEEE Std 802.11b-1999 (Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition), “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band”, 2003
- [12] IEEE Std 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edition), “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band”, 2003
- [13] NTT Resonant Inc., Mitsubishi Research Institute, “第 3 回 FTTH コーザの利用実態調査”, 2004
<http://research.goo.ne.jp/Result/0401cl27/01.html>
(2006 年 1 月 9 日 URL 確認)