解説

マルチエージェント技術を用いた広域環境向け 個人間分散バックアップシステムの開発[†]

打矢 隆弘*

1. はじめに

近年、インターネットの普及に伴い、情報の電子化が急速に進んでいる。個人情報や社内情報などの重要な情報も電子化されており、データの消失に備える必要がある。データ消失の原因として、ユーザ誤操作、計算機故障、コンピュータウイルスの感染などがある。そのため、データの消失を未然に防ぐためのバックアップの需要が高まっている。現在、バックアップ手法はデータの保存先によって2種類に分類される。1つ目は、USBメモリやHDD／SSDなどのローカル環境へデータを保存する手法である。2つ目は、ネットワーク上に存在するオンラインストレージやサーバなどの分散環境へデータを保存する手法である。しかし、それぞれの手法には問題点が存在する。ローカル環境へデータを保存する場合、災害発生により全てのデータが消失する危険性がある。また、分散環境へ保存する場合、保存容量に制限が存在したり、データの維持により維持費が発生する。上記で述べた問題点を解決するためには、ネットワーク環境の違いや利用者の要求などに柔軟に対応できるシステムの構築が必要である。柔軟なシステムを実現する技術として、エージェント技術に注目が集まっている。エージェント技術とは、エージェントが人、外部環境、他エージェントとの相互作用により自律的に動作するものである。我々は、エージェント技術を用いて、上記で述べた問題点の解決を目標とするシステム第1版[1]を作成した。このシステムは、エージェントを用いることにより、複数の計算機にバックアップデータを分散配置し、冗長化を施すことで、リストア時に全ての計算機を用いることなくバックアップデータの復元を可能とするものである。このシステムにより、既存のバックアップ手法に比べて所要時間の短縮と即時性の向上を実現した。しかし、ファイルの更新に伴い、複数回バックアップを行うにつれて、バックアップ先計算機に保存されるバックアップデータの容量が増加するという問題点が存在する。また、バックアップ先の計算機がリストの先頭から順に選定されるため、バックアップデータが遠隔地の計算機に保存されず、ローカルバックアップ同様災害の発生により全てのデータが消失する危険性存在する。そ

こで、第1版の問題点を解決し、可用性を高めたバックアップシステムを実現することを目的として、システムの拡張に取り組んだ。提案システム第2版では重複排除技術を導入し、第3版ではWHOISサービスを活用した遠隔地サーバの自動選定を導入した。本論文では、提案システムの設計開発及び評価実験について述べ、提案手法の有効性を示す。

本論文は7章で構成される。第2章では、エージェントシステム及び重複排除手法について述べる。第3章では、既存のバックアップ手法について述べる。第4章では、開発したシステム第1版について述べる。第5章では、重複排除を導入した開発システム第2版について述べる。第6章では、遠隔地サーバ自動選定を導入した第3版について述べる。第7章では、評価実験における実験結果と考察について述べる。第8章では、本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2. 基礎知識

2.1 エージェント

エージェントとは、人、外部環境、他エージェントとの相互作用によって自律的に動作するソフトウェアである。エージェントの代表的な性質について説明する。

自律性：自己の行動や内部状態を制御することにより、他のエージェントや人間からの直接的な干渉を受けることなく自律的に動作する。

社会性：複数のエージェントが1つのグループを構成することにより、エージェント同士がお互いに協力しながら問題を解決する。

自発性：目標の達成のために必要となる処理に対し、能動的に参加し、複数のエージェントと協力する。

移動性：ネットワークを介すことにより、他の計算機へ移動し、移動先において処理を行う。

即応性：エージェントが自身の置かれた環境を認識することにより、あらゆる変化に対し素早く適切に反応する。

2.2 エージェントシステム

エージェントシステムとは、複数のエージェントで組織を構成することにより、エージェント同士で協調し、問題解決を目指すシステムである。エージェント単体は単純な機能しか持たないため、問題を単純な部分問題に分割し、各エージェントに分担させる。そして、解決された部分解を統合し、エージェントシステム全体として1つの問題を解決する（図1）。これによ

[†] Development of Wide Area Distributed Backup System for Individuals Using Multi-Agent Technology
Takahiro UCHIYA

* 名古屋工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

図1 エージェントシステムにおける問題解決

図2 リポジトリ型エージェントフレームワーク

り、エージェント単体で処理する場合に比べて、処理の分散や構造の変更が容易になるため、柔軟性を高めることができる。

2.3 エージェントフレームワーク

エージェントフレームワークとは、エージェントの性質を実現する動作環境のための枠組みである。社会性を得るための通信プロトコルや自律性・自発性を得るための推論機構などを提供している。現在開発されているエージェントフレームワークとして、DASH [2], JADE [3], OMAS [4], JACK [5] などが存在しているが、この中で DASH フレームワークが最も多様な性質を有するエージェントを開発・運用可能なことから、本研究では DASH をフレームワークに採用する。

2.3.1 DASH フレームワーク

Distributed Agent System based on Hybrid architecture (DASH) は、エージェントを集積・管理するサーバであるリポジトリとエージェントが実際に動作する環境であるワークスペースにより構成されている。DASH はリポジトリを基にシステムの開発を行うことから、リポジトリ型エージェントフレームワークと呼ばれる（図2）。リポジトリにおいてエージェントを管理することにより、ユーザがワークスペースに対してサービスの要求を行うと、ワークスペースがリポジトリに対して要求を通知し、リポジトリ内で拡張契約ネットプロトコルに基づき組織が動的に構成される。その後、エージェント組織がワークスペース上に生成され、ワークスペース上で動作する。これにより、ユーザにサービスが提供される。

2.3.2 DASH エージェント

DASH 上で動作するエージェントは、動作知識がテキストファイル内に記述されている。DASH エージェントは、知識

図3 知識処理機構の内部構成

処理機構と呼ばれる自身の行動を決定する機構を有しており、ファイルの動作知識を読み込み当該機構に格納する。知識処理機構は、推論エンジン、ワーキングメモリ、ルール集合から構成される（図3）。エージェントの行動手順について説明する。

1. エージェントにメッセージ／イベントが到着すると、推論エンジンがワーキングメモリを参照し、発火するルールを検索する。ワーキングメモリには、ファクトと呼ばれるメッセージなどの知識情報が蓄積される。
2. 推論エンジンが発火可能なルールを実行する。発火可能なルールが複数存在する場合には、ソースコードの上部に記述されているルールから順に実行される。
3. ルールを実行した結果、ワーキングメモリの内容が更新され、1に戻る。発火可能なルールがなくなった場合に推論を終了する。

2.4 重複排除技術

重複排除とはバックアップ時にバックアップデータを解析し、重複データを自動的に検出して排除することにより、保存するデータ容量を削減する技術である。重複データとは、既にバックアップされているデータのことであり、重複排除を行う上で、重複排除の効果（重複排除率）を左右する最も重要なポイントは、下記の重複排除の単位である。

【ファイル単位】 同じファイルが既にバックアップされていたら、重複データとして排除する方式。

【固定長ブロック単位】 ファイルを固定長サイズのデータ（ブロック）に分割し、同じブロックが既にバックアップされていたら、重複データとして排除する方式。

【可変長ブロック単位】 ファイルをデータパターンに基づき可変長サイズのブロックに分割し、同じブロックが既にバックアップされていたら、重複データとして排除する方式。

利点： データパターンに基づいてブロックに分割するため、ファイルの更新時に新たなデータが挿入されても、ブロックの境界位置はほとんど変わらない（図4）。そのため、上記の2つの方式に比べて、効率的に重複排除を行うことができる。

欠点： ファイルのデータパターンを見る必要があるため、ファイルサイズが増加するに伴い、上記の2つの方式に比べて、大幅に時間を要する。

本研究では、上記の利点を考慮し、可変長ブロック単位の重複排除を導入する。

図4 可変長ブロック単位のファイル分割

図5 第1版分散バックアップシステム概要図

3. 既存分散バックアップ方式

3.1 分散バックアップ

分散バックアップとは、遠隔地のサーバや計算機へバックアップを行う手法である。バックアップ形態を1) 個人間、2) クラウド、に分類した場合、1) については、CrashPlan [6] が該当する（但し、2018年10月にサービス終了）。2) については、オンラインストレージサービス Dropbox [7] 等が該当する。ユーザは専用ソフトウェアまたはWebブラウザを用いて、ネットワークを介しデータをバックアップすることができる。Dropbox 無料アカウントでは2 GB までのディスクスペースを利用することができ、有料アカウント（1,200 円/月）では2 TB までのディスクスペースを利用することができる。

3.2 分散バックアップの問題点

分散バックアップシステムのユーザビリティに着目した場合、下記項目についての評価が必要である。

所要時間：バックアップ開始から終了までの時間

保存容量：バックアップデータ容量の総和

即時性：ファイル更新からバックアップが終了するまでの時間

作業障害：CPU・通信回線の占有によるユーザの作業の障害

Dropbox の場合、データ転送速度が低速であることと無料利用における容量制限があるため、所要時間及び保存容量に課題が残る。一方、ファイルの更新と同時にバックアップを行うことや、CPU 占有が少ないことから、即時性や作業障害については問題がないと考える。

4. 第1版：個人間分散バックアップシステムの開発

現在、2) クラウドのオンラインストレージを用いたバックアップの利用が増加しつつあるが、所要時間や保存容量の課題を解決し、かつ複数の遠隔地サーバにデータを保管することでデータ消失のリスクを減少する **1) 個人間分散バックアップシステム**のニーズは依然として高い。本研究ではこの個人間分散バックアップに焦点を当てる。

提案するシステム第1版は、バックアップファイルに冗長化を施し、ネットワークに接続された複数の計算機にデータを分散配置する（図5）。システムはエージェントの組織として構成され、エージェント間の連携でバックアップ処理を行う（図6）。提案システムはエージェントの組み換えでシステムの機能を変更できる強みを有する。

図6 第1版エージェント構成図

システムの特長1：暗号化・改竄防止（復号・改竄検出）

個人間分散バックアップシステムでは、元ファイルの一部のデータが他人の計算機に保存されるため、データを暗号化する必要がある。しかし、所要時間短縮のためには、高速なアルゴリズムにより暗号化を施す必要がある。そのため、共通鍵暗号である Advanced Encryption Standard (AES) を用いる。また、システムはネットワークに接続されており、第三者からの不正アクセスに備え、データ改竄検出をする必要がある。そのため、バックアップ時にファイルのハッシュ値を計算し、データベースに保存する。リストア時には各バックアップ先計算機から送信されるブロックを統合し、生成されたファイルのハッシュ値を計算し、データベースのハッシュ値と比較することにより、改竄検出を行う。

システムの特長2：データ冗長化

このシステムでは、冗長化アルゴリズムとして、保存容量削減を重視する Information Dispersal Algorithm (IDA) [8] と所要時間短縮を重視する Simple Information Dispersal Algorithm (SIDA) [1] の2種類を併用する。これらの冗長化アルゴリズムは、 n ：データを保存する計算機数（分散数）、 m ：復元に必要な計算機数（復元必要数）としたとき、 m 個のデータを集めれば元ファイルを復元できるというものである。これは、ブロックを複数の計算機へ重複配置することで可能になる。各アルゴリズムを用いた場合の保存容量を表1に示す。なお、表中の $|F|$ はファイルサイズである。

第1版システムの問題点

(P1) 保存容量の線形的増加

本システムでは、ファイルを更新するたびに更新内容に関わらずファイル単位で保存容量が増加する。従って、複数回バックアップを行うにつれて線形的に増加する保存容量への対策が必要である。

表 1 各アルゴリズムの保存容量

アルゴリズム	1 計算機の容量	全体の容量
IDA	$ F /m$	$n F /m$
SIDA	$(n-m+1) F /n$	$(n-m+1) F $

図 7 ブロックデータ分割処理 CDC の流れ

(P2) バックアップ先計算機の偏り

バックアップ先計算機は、計算機リストの先頭から順に選定される。そのため、バックアップ先計算機が特定の計算機へ偏る恐れがある。これは、分散バックアップの定義に反する。従って、バックアップ先を特定の計算機へ偏らせず、遠隔地のサーバや計算機から選定させる必要がある。

5. 第2版：個人間分散バックアップシステムの強化・拡張

第1版の開発・評価を経て明らかになった課題に対し、課題(P1)を解決するシステムとして、第2版システムを開発した。

5.1 分割・結合エージェントの拡張

システムの特長 3：重複排除に適したデータ分割

提案システムにおいて、重複排除のためにファイルを可変長ブロックに分割する。ここで、新たにデータ分割アルゴリズムとして Content Defined Chunking (CDC) [9] を導入する。提案システムにおける CDC の流れについて説明する (図 7)。

1. ファイルをバイト列に変換し、ブロックの境界位置を決定するために、固定長のウィンドウを設置する。
2. ウィンドウ内のバイト列をハッシュ値に変換する。提案システムでは、ハッシュ値を求めるハッシュ関数として、Rabin-Karp 法 [10] を用いる。Rabin-Karp を用いることにより、バイト列 $a_0, \dots, a_{n-1}$ から求めたハッシュ値を利用してバイト列 $a_1, \dots, a_n$ のハッシュ値を高速に求めることができる。
3. 変換したハッシュ値の下位数ビットを特定の値と比較する。値が一致した場合、ウィンドウ終点をブロックの境界とする。
4. ウィンドウを1バイトだけスライドさせる。
5. 2~4.の作業をファイルの終点まで繰り返す。ファイルの終点に達したら、残りのバイト列を新たなブロックとして生成する。

以上の処理により、あるファイルの任意の部分のデータが書き換えられたとき、ファイル全体を再度バックアップすることなく、書き換えられた部分周辺のデータのみを対象としてバックアップを行うことができる。

図 8 第2版分散バックアップシステム概要図

図 9 第2版エージェント構成図

5.2 分散バックアップの処理フロー

第2版システムは、バックアップファイルを冗長化し、ネットワークに接続された複数の計算機にデータを分散配置する (図 8)。システムはエージェントを用いて構成される (図 9)。以降、システムのバックアップ／リストアの流れについて説明する。

【バックアップ処理】

1. 管理エージェントがネームサーバから環境情報を取得し、冗長化数や転送先計算機を決定する。その後、バックアップ元計算機のファイルパスと冗長化情報を分割・結合エージェントへ送信する。バックアップ元計算機のファイルパスと冗長化情報を受信した分割・結合エージェントは、ファイルを分割し、ブロック1個1個のサイズをファイル (分割リスト) に書き込み、このパスを管理エージェントへ送信する。分割リストのパスを受信した管理エージェントは、これを重複排除エージェントへ送信する。
2. 分割リストのパスを受信した重複排除エージェントが、データベース Cassandra [11] から既にバックアップされたブロックに関する情報を読み込む。その後、重複排除を行い、重複排除後のブロック1個1個のサイズをファイル (リスト) に書き込み、このパスを管理エージェントへ送信する。リストのパスを受信した管理エージェントは、これを暗号化・復号エージェントへ送信する。
3. リストのパスを受信した暗号化・復号エージェントが、ブロックに暗号化を施し、冗長化・暗号化されたファイル (暗号ファイル) のパスを管理エージェントへ送信する。暗号ファイルのパスを受信した管理エージェントは、これを送受信エージェントへ送信する。

4. 暗号ファイルのパスを受信した送受信エージェントが、バックアップ元計算機から各ファイルを該当の計算機へ送信し、送信したファイルに関する情報を管理エージェントへ送信する。送信したファイルに関する情報を受信した管理エージェントは、これを Cassandra に書き込む。

【リスト処理】

1. Cassandra からファイルに関する情報を読み込んだ管理エージェントが、これを送受信エージェントへ送信する。ファイルに関する情報を受信した送受信エージェントは、該当の計算機から必要なファイルをバックアップ元計算機に送信し、送信されたファイルのパスを管理エージェントへ送信する。送信されたファイルのパスを受信した管理エージェントは、これを暗号化・復号エージェントへ送信する。
2. 送信されたファイルのパスを受信した暗号化・復号エージェントが、各ファイルに復号を施し、復号されたファイルのパスを管理エージェントへ送信する。復号されたファイルのパスを受信した管理エージェントは、これを分割・結合エージェントへ送信する。
3. 復号されたファイルのパスを受信した分割・結合エージェントが、ファイル内のブロックを結合し、元のファイルを復元する。

6. 第3版：広域環境向け個人間分散バックアップシステムの開発

第3版では、第1版に存在する課題 (P2) の解決に取り組む。本研究で提案する個人間分散バックアップシステムは、バックアップ先として遠隔地のユーザが所有する計算機を想定している。今回は、遠隔地のユーザを大学の研究室所属者と想定し、大学での利用を例として広域環境向け個人間分散バックアップシステムを実装する。

システムの特長4：計算機設置場所推定手法の導入

本システムに WHOIS [12] サービスを導入することにより、遠隔地へバックアップを行えるようにする。本研究では、IP アドレスから情報を獲得できる JPNIC の WHOIS を導入する。これにより IP アドレスから大学名を特定し、遠隔地の大学へバックアップを行うことができる。但し、大学名だけでは遠隔地か否かの判別はできない。そのため、Google Geocoder [13] を導入し、大学名から緯度/経度を獲得する。大学名から緯度/経度を獲得することにより、バックアップ元とバックアップ先の距離を求めることができる (図10)。また、緯度/経度から距離を求めるために、下記式を用いる。このとき、地点Aの緯度 ϕ_1 、経度 λ_1 、地点Bの緯度 ϕ_2 、経度 λ_2 、地点Aと地点Bの角度を x とする。

$$\begin{aligned} \cos x &= \cos(90 - \phi_1) \cos(90 - \phi_2) \\ &\quad + \sin(90 - \phi_1) \sin(90 - \phi_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1) \\ &= \sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1) \\ x &= \cos^{-1}(\sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)) \end{aligned}$$

IPアドレス	①大学名取得	②緯度/経度取得	③距離取得
150.43. []	福岡工業大学	33.695469/130.439456	730.6km
133.68. []	名古屋工業大学	35.157135/136.924838	0.0km
133.27. []	慶応大学	35.648964/139.742938	316.4km
202.17. []	千葉工業大学	35.688847/140.021364	347.5km
133.34. []	東北大学	38.253834/140.874074	510.5km

図10 WHOIS 及び Google Geocoder を用いた距離判定

2点間の距離 L は地球の半径を R とすると式 $L = Rx$ により求めることができる。

システムの特長5：バックアップ先計算機の選定手法の導入

提案システムにおいて、WHOIS を導入することにより、バックアップ先計算機の偏りをなくす。しかし、大学間の距離のみを考慮すると、最も遠い北海道や沖縄県の大学へ偏る恐れがある。そのため、大学間の距離以外に計算機のドライブ容量を考慮することにより、バックアップ先計算機の偏りをなくす。バックアップ先計算機の選定手法について説明する。

1. バックアップ元のユーザがバックアップ前に分散数 n を設定する。
2. 各計算機の位置情報を求め、遠隔地（ローカルから120 km 以上離れた場所）の計算機をバックアップ先候補に選定する。
3. データベース Cassandra より選定された各計算機の累計バックアップ回数を求め、累計バックアップ回数の少ない計算機をバックアップ先候補に選定する。累計バックアップ回数の少ない計算機から順に候補とし、 n 台以上になるまでバックアップ先候補に選定する。このとき、すでに選定された計算機の位置情報と比較し、遠隔地と判断されない場合にはバックアップ先候補に選定しない。
4. バックアップ先候補が n 台より多いとき、累計バックアップ回数が最多の計算機からバックアップ先を再選定する。
5. 再選定対象のドライブ空き容量を求め、ドライブ空き容量の多い順にバックアップ先に選定する。その後、 n 台の計算機へバックアップを行う。

7. 評価実験

7.1 実験環境

実験環境について説明する。表2はバックアップ元計算機の実験環境、表3、表4、表5はバックアップ先計算機の実験環境を示す。また、バックアップ元計算機において、Cassandra を単一ノード環境で起動する。

表 2 実験環境：バックアップ元計算機

OS	Windows 7 Home Premium 64bit
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-3770K CPU @ 3.50GHz
メモリ	8.00GB
IP アドレス	133.68. [REDACTED]
ネットワーク情報	名古屋工業大学 打矢研究室
データベース	Cassandra 1.2.5

表 3 実験環境：バックアップ先計算機 1

OS	Windows 7 Professional 64bit
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-3770K CPU @ 3.50GHz
メモリ	8.00GB
IP アドレス	133.68. [REDACTED]
ネットワーク情報	名古屋工業大学

表 4 実験環境：バックアップ先計算機 2

OS	Windows 7 Professional 64bit
CPU	Intel(R) Xenon(R) Processor X5650 @ 2.66GHz
メモリ	12.00GB
IP アドレス	10.10. [REDACTED] (プライベート IP アドレス)
ネットワーク情報	東北大学

表 5 実験環境：バックアップ先計算機 3

OS	Windows 10 Pro 64bit
CPU	AMD A8 Pro-7600B R7
メモリ	16.00GB
IP アドレス	202.17. [REDACTED]
ネットワーク情報	千葉工業大学

図 11 初回バックアップの様子

図 12 2回目バックアップの様子

7.2 評価実験 1

第 3 版システム（以降、提案システムと記す）によりバックアップが正しく行われていることを確認しつつ、バックアップ時の保存容量を計測するための実験を行った。

7.2.1 実験概要

表 3 の計算機において、ワークスペースを 3 個起動し、表 2 の計算機から 500 KB、10 MB、100 MB、1 GB のサイズのファイルに対してバックアップを行うときの所要時間を測定する（図 11）。2 回目のバックアップ時には、各サイズのファイルを編集し、新たに作成したファイルに対してバックアップを行う（図 12）。

バックアップ条件は分散数 3、復元必要数 2 とする。各サイズのファイル、編集の概要、CDC のパラメータについて説明する。

500 KB のファイル

- 初回のバックアップ：スライド 15 枚の pptx ファイル
- 2 回目のバックアップ：ファイルの最後に新たにスライド 5 枚を追加した pptx ファイル

10 MB のファイル

- 初回のバックアップ：1 分 12 秒の mp4 ファイル
- 2 回目のバックアップ：ファイルに 1 分 12 秒の BGM を追加した mp4 ファイル

100 MB のファイル

- 初回のバックアップ：25 分 34 秒の mp4 ファイル

- 2 回目のバックアップ：ファイルに 4 分 14 秒の BGM をループ追加した mp4 ファイル

1 GB のファイル

- 初回のバックアップ：32 分 15 秒の mp4 ファイル
- 2 回目のバックアップ：ファイルに 4 分 14 秒の BGM をループ追加した mp4 ファイル

CDC のパラメータ

- ウィンドウサイズ：32 バイト
- 最小ブロック長：4096 バイト
- ハッシュ値の下位ビット数：12 ビット

7.2.2 バックアップの実験結果

重複排除率の実験結果を表 6 に示す。また、バックアップの実験結果を表 7 に示す。なお、表中の「先行研究」は第 1 版を示す。

7.2.3 バックアップの考察

動作検証により、バックアップを問題なく行えていることが確認できた。表 7 より、提案システムにおいて重複排除技術が有効に機能し、データ総保存容量が削減できることを確認できた。これにより、バックアップ先計算機の負担が軽減され、線形的に増加する保存容量の問題を解決することができた。そのため、提案システムは有用であると考えられる。

表 6 提案システムの重複排除率 [%]

	500KB	10MB	100MB	1GB
重複排除率	65.7	53.1	25.3	78.1

表 7 データ総保存容量

測定項目	500KB	10MB	100MB	1GB
先行研究	2.00MB	40.00MB	400.00MB	4.00GB
提案システム	1.34MB	29.38MB	349.40MB	2.44GB

図 13 バックアップ時のネットワーク構成図

表 8 選定されたバックアップ先計算機

初回	2 回目	3 回目	4 回目
東北大学	千葉工業大学	東北大学	千葉工業大学

7.3 評価実験 2

バックアップ先計算機の選定手法により遠隔地へバックアップが行われていることを確認するために実験を行った。

7.3.1 実験概要

表 3, 表 4, 表 5 の計算機上でワークプレースを起動し, 表 2 の計算機から 500 KB, 10 MB, 100 MB, 1 GB のサイズのファイルに対してファイルの小さい順にバックアップを行うときのバックアップ先を調査する (図 13)。バックアップ条件は分散数 1, 復元必要数 1 とする。各サイズのファイルの概要については評価実験 1 と同様である。

7.3.2 実験結果

実験結果を表 8 に示す。

7.3.3 考察

表 8 より, バックアップ先計算機が遠隔地の計算機かつ特定の計算機へ偏らずに選定されることを確認できた。また, 初回 / 3 回目のバックアップにおいては, ドライブ空き容量をもとにバックアップ先が選定されていることを確認できた。そのため, バックアップ先計算機の選定手法を導入することは有用であると考えられる。

7.4 評価実験 3

提案システムにより名工大から遠隔地 (東北大) へバックアップを行うときの所要時間を評価するために実験を行った。

表 9 提案システム初回バックアップ所要時間 [s]

測定項目	500KB	10MB	100MB	1GB
分割処理	0.04	0.13	0.86	9.00
重複排除処理	0.03	0.13	0.76	6.26
暗号化処理	0.16	0.28	0.80	19.00
転送処理	1.79	8.95	80.51	858.61
エージェント処理	0.75	0.34	0.41	2.04
バックアップ処理	2.77	9.83	83.34	894.91

表 10 提案システム 2 回目のバックアップ所要時間 [s]

測定項目	500KB	10MB	100MB	1GB
分割処理	0.04	0.14	0.97	8.35
重複排除処理	0.04	0.20	4.31	488.18
暗号化処理	0.15	0.22	0.84	11.65
転送処理	1.59	5.57	54.10	189.72
エージェント処理	0.30	0.33	0.48	1.46
バックアップ処理	2.12	6.46	60.70	699.36

表 11 第 1 版 (先行研究) のバックアップ所要時間 [s]

測定項目	500KB	10MB	100MB	1GB
暗号化処理	0.17	0.18	1.09	8.22
分割処理	0.03	0.07	0.31	23.33
転送処理	1.89	9.71	79.98	852.90
エージェント処理	0.73	0.31	0.28	1.45
バックアップ処理	2.82	10.27	81.66	885.90

7.4.1 実験概要

表 3, 表 4, 表 5 の計算機において, ワークプレースを起動し, 表 2 の計算機から 500 KB, 10 MB, 100 MB, 1 GB のサイズのファイルに対してバックアップを行うときの所要時間を測定する。2 回目のバックアップ時には, 各サイズのファイルを編集し, 新たに作成したファイルに対してバックアップを行う。バックアップ条件は分散数 2, 復元必要数 2 とする。

所要時間を比較するため, 第 1 版に対して初回のバックアップのみ同様の実験を行う。また, 所要時間を測定するために, バックアップを 3 回行い, 平均を求める。各サイズのファイル, 編集の概要, CDC のパラメータについては評価実験 1 と同様である。

7.4.2 実験結果

実験結果を表 9, 表 10, 表 11 に示す。

7.4.3 考察

表 9, 表 10 より, バックアップを問題なく行えていることが確認できた。また, 表 9 は初回バックアップ (重複排除適用なし), 表 10 は 2 回目バックアップ (重複排除適用あり) となっている。2 回目のバックアップでは, 重複排除により保存容量が削減され, この影響でデータ転送時間が短縮され, 総合的に, バックアップ所要時間が短縮できていることを確認できた。

また, 表 11 は, 先行研究のバックアップ (重複排除機能なし) のシステムの動作結果である。表 10 と表 11 を比べた時, 表 10 の 2 回目バックアップ (重複排除適用あり) の所要時

間は、表 11 の先行研究の所要時間よりも短縮されたことが確認できた。以上のことから、提案システムの有用性を確認できた。

8. おわりに

本研究では、複数回バックアップを行うにつれて増加する保存容量の削減を目的とし、エージェントフレームワーク DASH を用いた個人間分散バックアップシステムを対象に、重複排除を導入したシステムの提案を行った。また、遠隔地の計算機へバックアップを行うことを目的とし、バックアップ先計算機の選定手法を導入したシステムの提案と実装を行った。実験では、提案システムの動作を確認し、第 1 版との所要時間、保存容量の比較を行い、提案システムが第 1 版に比べて保存容量の点で有効であることを確認した。また、重複排除により転送時間が短縮され、提案システムが第 1 版に比べて所要時間の点で優れていることも確認した。最後に、今後の課題について示す。

データベースの分散化：現在の提案システムでは、分散データベース Cassandra を用いつつ、バックアップ元の計算機でのみ起動させている。しかし、これでは可用性を確保していない。従って、Cassandra を拡張し、ファイルだけでなくデータベースもバックアップが行われるようなシステムを目指す。

システムの長期運用化：現在の提案システムでは、バックアップシステムの長期運用が想定されていない。従って、ディスクドライブ装置とデータベースを連動し、ディスク拡張や更新時にデータベース内の情報が更新されるシステムを目指す。

参 考 文 献

- [1] M. Shibakawa, T. Uchiya, I. Takumi, and Tetsuo Kinoshita: "Development of the Distributed Backup System Using Multi-Agent Technology," *Proc. of the 12th IEEE Int. Conf. on Cognitive Informatics and Cognitive Computing*, Jul. 16-18, New York, pp. 268-273, 2013.
- [2] 打矢隆弘, 武田敦志, 菅沼拓夫, 木下哲男: "エージェントフレームワークにおけるリポジトリ機構の設計と実装," 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.3, pp. 799-811, 2003.
- [3] Java Agent Development Framework: <https://jade.tilab.com/> [accessed Oct. 13, 2020]
- [4] Open Multi-Agent System: <https://www.utc.fr/~barthes/OMAS/> [accessed Oct. 13, 2020]
- [5] M. Winikoff: "JackTM Intelligent Agents: An Industrial Strength Platform," in *Multi-Agent Programming*, R. H. Bordini, M. Dastani, J. Dix, A. E. F. Seghrouchni eds., Springer, pp. 175-193, 2005.
- [6] CrashPlan Cloud: Endpoint backup & recovery for the enterprise, <http://www.code42.com/crashplan/> [accessed Oct. 13, 2020]
- [7] Dropbox: <https://www.dropbox.com/ja/> [accessed Oct. 13, 2020]
- [8] M. Rabin: "Efficient Dispersal of Information for Security, Load Balancing, and Fault Tolerance," *J. of the ACM*, Vol.36, No.2, pp. 335-348, 1989.
- [9] A. Muthitacharoen, B. Chen, and D. Mazières: "A Low-bandwidth Network File System," *Proc. of the 18th ACM Sym. on Operating Systems Principles*, Vol.35, No.5, pp. 174-187, 2001.
- [10] R. M. Karp and M. O. Rabin: "Efficient Randomized Pattern-Matching Algorithms," *IBM J. of Research and Development*, Vol.31, No.2, pp. 249-260, 1987.
- [11] Apache Cassandra プロジェクト: <http://oss.infoscience.co.jp/cassandra/> [accessed Oct. 13, 2020]

- [12] JPNIC WHOIS Gateway: <https://www.nic.ad.jp/ja/whois/ja-gateway.html> [accessed Oct. 13, 2020]
- [13] Java API for Google geocoder v3: <https://code.google.com/archive/p/geocoder-java/> [accessed Oct. 13, 2020]
(2020 年 10 月 15 日 受付)

[問い合わせ先]

〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学大学院工学研究科
打矢 隆弘
E-mail: t-uchiya@nitech.ac.jp

著 者 紹 介

うちや たかひろ
打矢 隆弘 [非会員]

名古屋工業大学大学院准教授。2004 年東北大学大学院博士後期課程修了。博士（情報科学）。2004 年東北大学電気通信研究所助手。2007 年名古屋工業大学准教授。フランス・コンピュール工科大学客員研究員。東北大学電気通信研究所共同研究員。情報処理学会コンシューマ・デバイス&システム研究会運営委員。合同エージェントワークショップ&シンポジウム（JAWS）プログラム委員。2011 年情報処理学会論文誌編集委員会知能グループ編集委員。2013 年情報処理学会論文誌運営委員会運営委員。2017 年電子情報通信学会誌編集委員。IEEE International Conference on Agents (ICA) Program Committee, International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA) Program Committee.