

業務開始時刻に完了させるバックアップに対する 読み取り制御によるユーザファイルの転送時間の最短化

高橋 風太¹ 串田 高幸¹

概要: 映像制作会社の社員 (ユーザ) は動画ファイルを, 他の社員に共有するためにファイルサーバへ転送する. ユーザは納期が近づくと残業のため, 深夜に動画ファイルを転送する. ファイルサーバは, 深夜を例とする業務時間外に動画ファイルをバックアップサーバへバックアップし, 期限である業務開始時間までにバックアップを終了する. 課題は, バックアップを期限内に終了させる条件下で, ユーザのファイル転送時間の増加を最小限にすることである. 提案は, バックアップ速度に上限を設けることで, ユーザが利用できるディスク帯域幅を最大限とする. 上限として, バックアップするファイルのサイズと業務開始時間までの時間から期限に間に合うバックアップ速度を求める. また, ファイルを転送するユーザの人数の増加によりバックアップ速度が低下するため, 事前に低下するバックアップ速度を上限に加算する. 評価として, バックアップ期限を 60 分として 100GB のファイルをユーザ 3 人が転送した場合のファイル転送時間を提案方式の有無で比較した. その結果, ユーザのファイル転送時間は 48 分 46 秒から提案の適用により 44 分 3 秒となり, 約 9.7%短縮された. また, バックアップ時間は期限である 60 分と比較して約 1.9%早く終了した.

1. はじめに

背景

バックアップはファイルシステムを保護する. データの損失が発生する状況として, ハードウェアやソフトウェアの障害, 自然災害が挙げられる [1]. バックアップは深夜を例とする, アクセスの少ない時間帯に開始される [2]. バックアップ期間は企業により異なる. 本研究は企業の業務終了時刻をバックアップの開始時刻とする. また, 業務開始時刻をバックアップの期限とする.

バックアップ中にアクセスできるシステムは, システムの性能が低下する [3]. これはバックアッププロセスが使用するディスク帯域幅が, 他のサービスプロセスと競合するためである. 映像制作会社では, ユーザである社員は動画ファイルを, 他のユーザへの共有の為ファイルサーバへ転送する. ファイルサーバ内のバックアップソフトウェアは, 業務時間外に業務データをバックアップする. ユーザは納期が近づくと業務時間を延ばして仕事をするため, バックアップの時間帯と重複する. この時, ディスクの読み書き処理が競合し, ユーザのファイルの転送時間が増加する.

ファイル転送を優先し, ファイル転送中にバックアップを中断し続けた場合, バックアップが期限内に終了しない.

課題

課題は, バックアップを期限内に終了させる条件下で, ユーザのファイル転送時間の増加を最小限にする必要があることである. 1 にバックアップによるファイル転送時間の増加を示す. 図 1 では, ユーザがファイルサーバへ動画ファイルを転送している. また, ファイルサーバがバックアップサーバへ業務データを転送している. この時, ファイルサーバの SSD は動画ファイルを書き込み, 業務データを読み取っている. これによりディスク I/O が競合し, ユーザのファイル転送時間が増加する.

各章の概要

第 2 章では, 関連研究について述べる. 第 3 章では, 本研究の提案方式とユースケースについて述べる. 第 4 章では, 提案方式の実装と評価のための実験方法について述べる. 第 5 章では, 提案方式の評価と分析について述べる. 第 6 章では, 本研究が残す議論について述べる. 第 7 章では, 本研究の成果とまとめについて述べる.

¹ 東京工科大学大学院 バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻
クラウド・分散システム研究室
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

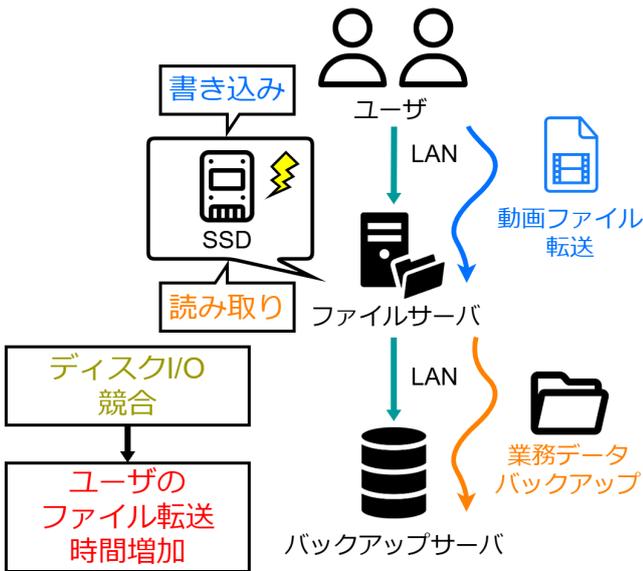


図 1 バックアップによるファイル転送時間の増加

2. 関連研究

進行中の I/O 要求を調整するための新しい I/O 対応バッチスケジューリングフレームワークが提案されている [4]. 課題は、複数のアプリケーションから同時にストレージへアクセスすることにより引き起こされる I/O の輻輳が原因で、パフォーマンスが 4 倍抑制されていることである。実験結果として、スーパーコンピュータである IBM Blue Gene/Q システムのジョブパフォーマンスを約 30 %向上させている。この提案の目的は I/O の複数の回避や、I/O 要求の開始時間が早い順にジョブの処理を開始し、利用可能な帯域幅を有効に活用することである。しかし、本研究の目的は、バックアップ中のユーザのファイル転送時間を最大限に短縮しつつバックアップが期限通りに終了することである。したがって、I/O 要求の開始時間が早い順にジョブの処理を開始すると、バックアップ中のユーザのファイル転送時間を最大限短縮できない。

マルチユーザー光グリッドネットワーク上の大容量ファイル転送のための動的スケジューリングアルゴリズムが提案されている [5]. この研究では、大規模ファイル転送の問題に対処するため、4つの動的スケジューリングアルゴリズムが提案されている。しかし、マルチユーザー光グリッド環境が前提となる。また、複数ノードに対する転送の平均待ち時間と、各ユーザの待ち時間の標準偏差から公平性を評価している。したがって、本研究ではユースケースとして一つのファイルサーバ及びバックアップサーバのみを想定しているが、この提案方式を適用できることが示されていない。

マルチキャストベースのアプローチについての研究がある [6]. 課題は、データセンターでのデータダウンロードにおいて、中央のファイルシステムがボトルネックになるこ

とであり、複数の VM によるファイルサーバからのダウンロードでも発生する。評価では、提案方式によるシステムが、既存のシステムより 9.9 倍から 14.29 倍高速になったことを示している。しかし、データのダウンロードのみに焦点を当てており、アップロード時間については評価していない。また、バックアップ時間が期限を超過する可能性について触れられていない。本研究のユースケースである映像制作会社では、ファイルサーバがバックアップによりアップロードをする想定である。したがって、ダウンロードのみを考慮したこの研究により本研究の課題を解決できることは示されていない。

3. 提案方式

提案方式の目的

提案方式の目的は、バックアップ速度が期限通りに終了するよう制御することでユーザが使用できるディスク帯域幅を増加させ、バックアップ中のユーザのファイル転送時間を短縮することである。

前提条件

提案方式を適用する場合の前提条件として、まずバックアップ終了時間がバックアップ期限より短い必要がある。提案方式はバックアップ時間を期限まで延ばすことでユーザのファイル転送時間を短縮するため、バックアップ時間を延ばすことで期限を超過する場合には提案方式を適用できない。

提案方式

ファイルサーバのバックアップの読み取り速度に上限を設け、ユーザが使用できるディスク帯域幅を最大限にする。上限のバックアップ速度として、バックアップするファイルのサイズとバックアップ期限までの時間から期限に間に合うバックアップの転送速度を求める。また、同時にファイルを転送するユーザの数が増加するごとにバックアップの転送速度が低下し、バックアップが期限内に終了しないことを防止する目的で、上限の設定時にディスク読み取り量の上限に補正値を加算する。補正値はユーザ数に応じたバックアップの転送速度の低下分とし、事前の実験で算出する。図 2 は、バックアップの読み取り制御によるユーザの書き込み増加を示している。図 2 の横軸は時間を、縦軸はディスク帯域幅を表している。(1) では、提案方式がバックアップを期限通りに終了するように制御する。(2) では、転送中のユーザ数によって制御する帯域幅を再計算する。バックアップは期限に間に合う速度に制御され、ユーザはバックアップが制限されている分早くファイルを転送することができる。

バックアップ速度の制御において、以下の計算式を用いる。 $S[\text{MB/s}]$ を 1 秒あたりのディスク読み取り量の上限とする。

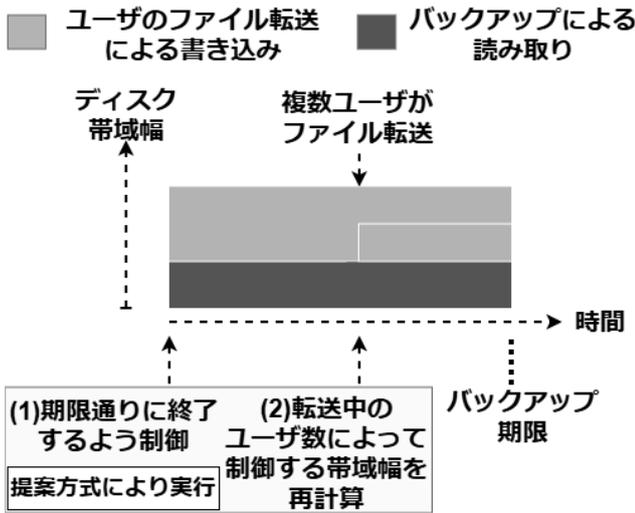


図 2 バックアップの読み取り制御によるユーザの書き込み増加

C [MB] をバックアップ予定の業務データの容量とする。 L [s] をバックアップ期限までの時間とする。 B_{max} [MB/s] をバックアップ速度の最大値とし、 B_{real} [MB/s] をユーザからのファイル転送中の実際のバックアップ速度とする。 B_{max} [MB/s] と B_{real} [MB/s] の差を C [MB/s] とする。この時、ディスク読み取りの制限量を式 (1) 及び (2) に示す。

$$S = \frac{C}{L} + R \quad (1)$$

$$R = B_{max} - B_{real} \quad (2)$$

式 (1) は、バックアップが期限内に終了するバックアップ速度 S を求め、 S がバックアップ速度の上限とするディスク読み取り量となることを目的としている。式 (1) 及び式 (2) の R は、バックアップの容量と期限までの時間から求めた必要なバックアップ速度と、実際にそのバックアップ速度を上限としてユーザのファイル転送中にバックアップした場合のバックアップ速度の差である。

提案方式の基礎実験

事前の基礎実験として、複数ユーザが同時にファイル転送を行う場合のバックアップの低下速度を算出する。速度の算出は各ユーザ数ごとに行われる。基礎実験では、実際の映像制作会社の使用例より、100GB のファイルを転送する*1。転送にはランダムなテキストが羅列されたダミーファイルを用い、ユーザのファイル及びバックアップ予定の業務データとする。これは、容量が 100GB である動画ファイルの事前準備が困難であることや、ダミーファイルと実際の動画ファイルの転送時間に差がないためである。実験でのバックアップ期限は 1 時間とする。これは、既存のバックアップソフトウェアのデフォルトのバックアップ間隔である*2。補正無しのバックアップ時間を以下の表 1

*1 <https://www.directextreme.com/case/interview2.html>(参照 2024/11/19)

*2 <https://www.aomei.jp/articles/create-schedule->

に示す。

表 1 補正無しのバックアップ時間と速度

実験方法	バックアップ時間	転送速度
ユーザ 1 人+バックアップ	約 62 分	約 28.8[MB/s]
ユーザ 2 人+バックアップ	約 63 分 42 秒	約 28.1[MB/s]
ユーザ 3 人+バックアップ	約 62 分 28 秒	約 28.8[MB/s]
ユーザ 4 人+バックアップ	約 65 分 47 秒	約 27.4[MB/s]

ユーザ A がファイル転送中のバックアップ時間は約 62 分、ユーザ A, B がファイル転送中のバックアップ時間は約 63 分 42 秒、ユーザ A, B, C がファイル転送中のバックアップ時間は約 62 分 28 秒、ユーザ A, B, C, D がファイル転送中のバックアップ時間は約 65 分 47 秒であった。また、ユーザ A がファイル転送中のバックアップ速度は約 28.8[MB/s]、ユーザ A, B がファイル転送中のバックアップ速度は約 28.1[MB/s]、A, B, C がファイル転送中のバックアップ速度は約 28.8[MB/s]、ユーザ A, B, C, D がファイル転送中のバックアップ速度は約 27.4[MB/s] であった。バックアップ速度の最大値とこれらの値との差が、それぞれ補正として加算される値となる。

ユースケース・シナリオ

提案方式は、映像制作会社において適用する。映像制作会社では、バックアップは 0 時から開始し、9 時に終了することを想定する。提案方式の補正算出は業務時間外に実施する。ユーザである映像制作会社の社員は深夜残業のために、バックアップの期間中に仕事をする*3。したがって、ユーザは他のユーザへのファイルの共有のため、稼働しているファイルサーバへファイルを転送する。ファイルサーバは 1 日の差分である業務データをバックアップサーバへ転送する。業務データや動画ファイルの社内での管理や通信時間の短縮を目的とし、ローカルでのバックアップを想定する。ユーザはバックアップの開始及び終了希望時刻をファイルサーバに配置されている提案システムへ入力することで、課題であるバックアップ中のファイル転送時間の増加及びバックアップ期限の超過を防ぐことができる。ファイルサーバへファイルを転送するユーザは、同時に複数存在することを想定する。ファイルサーバのディスクは SSD であり、容量より読み書きの処理速度を優先するためである。バックアップサーバのディスクは HDD であり、ディスクの書き込み速度よりバックアップ容量を優先するためである。

backup.html(参照 2024/11/19)

*3 キャリアガーデン
”<https://careergarden.jp/eizouseisakukaisha/kinmujikan/>(参照 2024-11-19)

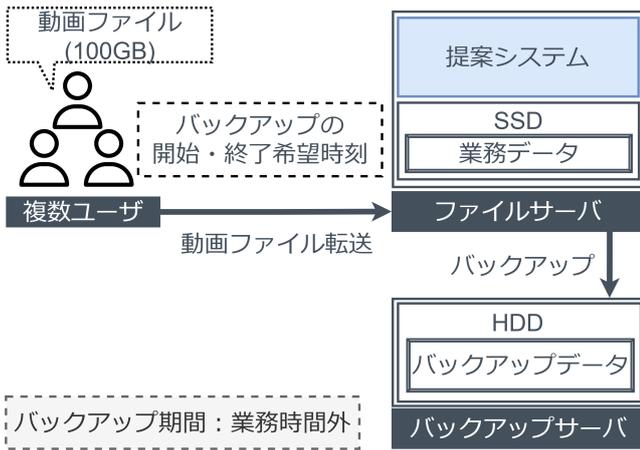


図 3 バックアップ中のユーザのファイル転送速度短縮までの流れ

4. 実装と実験方法

実装

提案方式を実装したソフトウェアをファイルサーバに配置する。図 4 に、実装ソフトウェアの概要を示す。

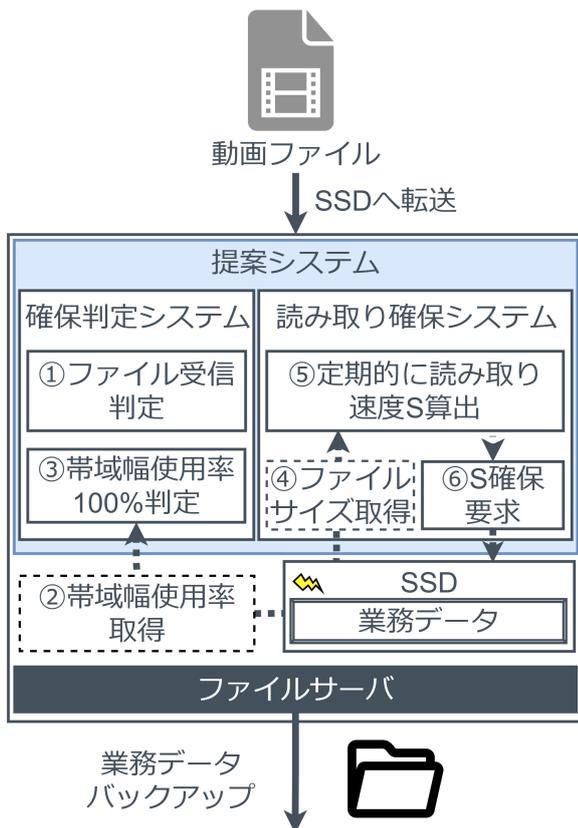


図 4 実装ソフトウェアの概要

①及び③は、帯域幅の確保判定システムである。①ファイル受信判定では、動画ファイルがバックアップ期間中に受信されるかを判定する。②では、ディスク帯域幅の使用率を取得する。確保判定システム内の③帯域幅使用率 100%判定では、②でのディスク帯域幅を利用し、帯域幅の

使用率が 100%かどうかを判定する。帯域幅の使用率の取得には、`iowait` の `%util` を使用する。①及び③をどちらも満たした場合、提案システムは期限までに終了するバックアップの読み取り速度 S の確保を開始する。④、⑤及び⑥は、読み取り確保システムである。⑤でバックアップの読み取り速度 S を算出するため、④でファイルサイズを取得する。読み取り速度を算出した後に、⑥で定期的にバックアップの読み取り速度 S の確保を要求する。

実験環境

VM の構成情報を以下の表 2 に示す。実験には仮想マシン

表 2 VM の構成情報

役割	vCPU	RAM	HDD	平均転送速度
ユーザ A	2 コア	8GB	120GB	約 112[MB/s]
ユーザ B	2 コア	8GB	120GB	約 112[MB/s]
ユーザ C	2 コア	8GB	120GB	約 112[MB/s]
ユーザ D	2 コア	8GB	120GB	約 112[MB/s]
ファイルサーバ	2 コア	8GB	500GB	約 112[MB/s]
バックアップサーバ	2 コア	8GB	120GB	約 112[MB/s]

ン(以下、VM)を用いる。各 VM の役割をそれぞれユーザ A、ユーザ B、ユーザ C、ユーザ D、ファイルサーバ、バックアップサーバとする。平均転送速度は、iperf によりネットワークの平均速度を測定した値である。ファイルサーバの容量は各ユーザのファイルを保存しつつファイルをバックアップするため、他の VM より大きい想定である。

実験方法

提案方式の適用の有無による、ユーザからファイルサーバへのファイルの転送時間及び、ファイルサーバからバックアップサーバへのファイルのバックアップ時間を比較する。図 5 に実験方法を示す。

αA は、バックアップ中にユーザ A がファイルサーバへファイルを転送する実験である。 βA は、バックアップ中かつ提案システムが実行されている場合にユーザ A がファイルサーバへファイルを転送する実験である。提案方式とカケス法の違いはファイルを転送中のユーザ数による補正があるかないかであるため、 βA は同様にカケス法による実験も兼ねている。 γA 、 γB は、それぞれバックアップ中にユーザ A、B がファイルサーバへファイルを転送する実験である。 δA 、 δB は、それぞれバックアップ中かつ提案システムの実行中にユーザ A、B がファイルサーバへファイルを転送する実験である。 ϵA 、 ϵB 、 ϵC は、それぞれバックアップ中にユーザ A、B、C がファイルサーバへファイルを転送する実験である。 ζA 、 ζB 、 ζC は、それぞれバックアップ中かつ提案システムの実行中にユーザ A、B、C がファイルサーバへファイルを転送する実験である。 αF

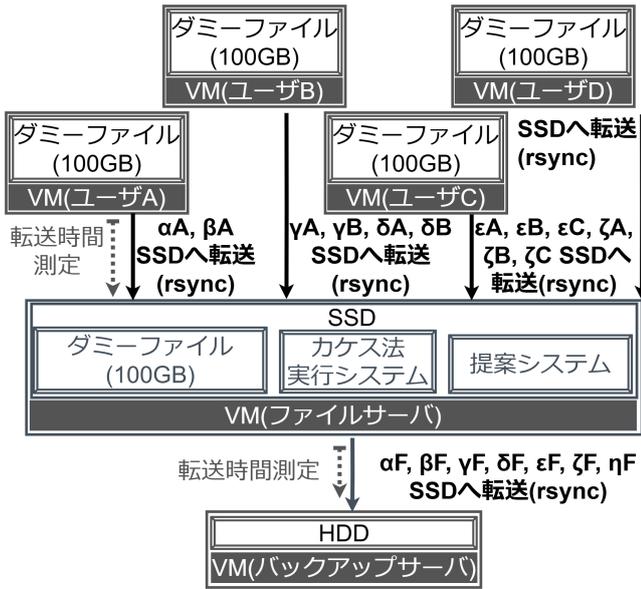


図 5 実験方法

から ζF では、それぞれの実験においてバックアップ時間を計測する。 ηF は、バックアップ中にユーザー 4 人がファイルを転送する場合のバックアップ時間を計測する実験である。

5. 評価と分析

バックアップ中のユーザーの動画ファイルの転送時間が、提案方式により短縮されることを確認する。また、バックアップ時間が期限内に終了することを確認する。

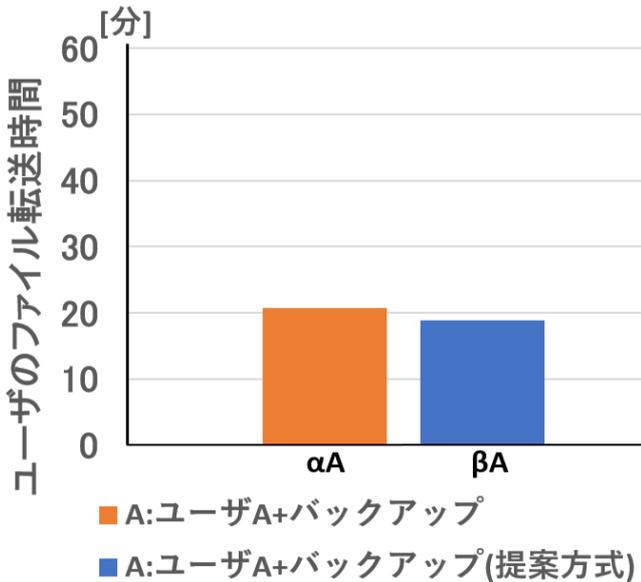


図 6 ユーザ 1 人の場合のファイル転送時間

図 6 に、ユーザー 1 人の場合のファイル転送時間を示す。縦軸はユーザーのファイル転送時間を示す。横軸は実験方法を示す。A: ユーザ A+バックアップは実験 αA に該当し、ユーザー A のファイル転送時間は約 20 分 54 秒である。A:

ユーザー A+バックアップ (カケス法) は実験 βA に該当し、ユーザー A のファイル転送時間は約 18 分 59 秒である。したがって、 βA のファイル転送時間は αA と比較して約 9.2% 短縮された。カケス法と提案方式の違いは、ファイルを同時に転送するユーザー数による補正値の変更である。したがって、1 名のユーザーによるファイル転送の場合、カケス法と提案方式は同一の結果となる。結果として、提案方式によりバックアップ中のユーザーのファイル転送時間が短縮されている。

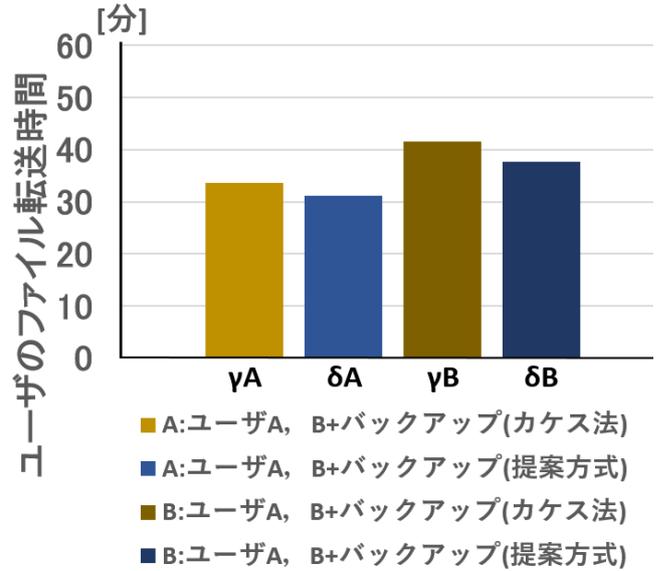


図 7 ユーザ 2 人の場合のファイル転送時間

図 7 に、ユーザー 2 人の場合のファイル転送時間を示す。A: ユーザ A, B+バックアップ (カケス法) は γA に該当し、ユーザー A のファイル転送時間は約 33 分 48 秒である。ユーザー A, B+バックアップ (提案方式) は δA に該当し、ユーザー A のファイル転送時間は約 31 分 25 秒である。したがって、 δA のファイル転送時間は γA と比較して約 7.1% 短縮された。B: ユーザ A, B+バックアップ (カケス法) は γB に該当し、ユーザー B のファイル転送時間は約 41 分 48 秒である。B: ユーザ A, B+バックアップ (提案方式) は δB に該当し、ユーザー B のファイル転送時間は約 38 分 3 秒である。したがって、 δB のファイル転送時間は γB と比較して約 9.0% 短縮された。

図 8 に、ユーザー 3 人の場合のファイル転送時間を示す。A: ユーザ A, B, C+バックアップ (カケス法) は ϵA に該当し、ユーザー A のファイル転送時間は約 48 分 46 秒である。A: ユーザ A, B, C+バックアップ (提案方式) は ζA に該当し、ユーザー A のファイル転送時間は約 44 分 3 秒である。したがって、 ζA のファイル転送時間は ϵA と比較して約 9.7% 短縮された。B: ユーザ A, B, C+バックアップ (カケス法) は ϵB に該当し、ユーザー B のファイル転送時間は約 53 分 24 秒である。B: ユーザ A, B, C+バックアッ

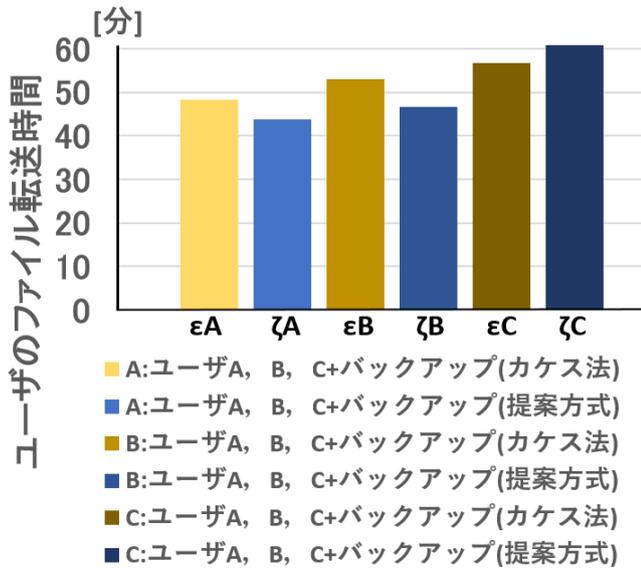


図 8 ユーザ 3 人の場合のファイル転送時間

プ(提案方式)はζBに該当し、ユーザ B のファイル転送時間は約 47 分 3 秒である。したがって、ζB のファイル転送時間は εB と比較して約 11.9%短縮された。C: ユーザ A, B, C+バックアップ(カケス法)はεCに該当し、ユーザ A のファイル転送時間は約 57 分 13 秒である。C: ユーザ A, B, C+バックアップ(提案方式)はζCに該当し、ユーザ C のファイル転送時間は約 61 分 25 秒である。したがって、ζC のファイル転送時間は εC と比較して約 6.8%増加した。

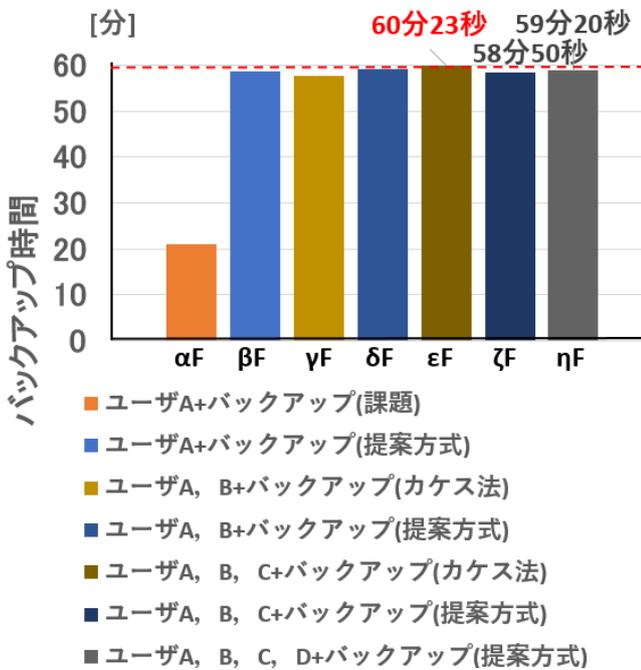


図 9 各実験におけるバックアップ時間

図 9 に、各実験におけるバックアップ時間を示す。ユーザ A+バックアップはαFに該当し、バックアップ時間は約 21 分 7 秒である。ユーザ A+バックアップ(カケス法)

はβFに該当し、バックアップ時間は約 59 分 1 秒である。ユーザ A, B+バックアップ(カケス法)はγFに該当し、バックアップ時間は約 58 分 8 秒である。ユーザ A, B+バックアップ(提案方式)はδFに該当し、バックアップ時間は約 59 分 42 秒である。ユーザ A, B, C+バックアップ(カケス法)はεFに該当し、バックアップ時間は約 60 分 23 秒である。ユーザ A, B, C+バックアップ(提案方式)はζFに該当し、バックアップ時間は約 58 分 50 秒である。図 9 の赤線はバックアップ期限である 60 分を示している。提案方式が適用されているζFのバックアップ時間は、バックアップ期限である 60 分と比較して 1.9%早く終了している。カケス法が適用されているεFのバックアップ時間は約 60 分 23 秒であり、バックアップ期限を超過している。さらに、ηFはユーザが 4 人転送した場合のバックアップ時間を示しているが、バックアップ時間は 59 分 20 秒であり、バックアップ期限を超過していない。したがって、本提案方式はカケス法よりもバックアップ期限を厳守している点で優れている。しかし、バックアップ時間は期限通りではなく、改善の余地を残している。

6. 議論

本研究の提案方式では、ファイルを転送するユーザ同士のディスク帯域幅の割り当ては制御していない。ファイル転送時間が 38%増加するとき、ユーザに不満が発生する。したがって、提案方式により帯域幅の割り当てをする必要がある。小さいファイルの方が同じ時間の遅れでもより早く 38%に達するため、転送中のファイルの中から最もサイズが小さいファイルのみを優先して転送することで、ユーザの不満を防止する。

7. おわりに

課題は、バックアップを期限内に終了させる条件下で、ユーザのファイル転送時間の増加を最小限にすることである。提案は、バックアップ速度に上限を設けることで、ユーザが利用できるディスク帯域幅を最大限とする。上限として、バックアップするファイルのサイズと業務開始時間までの時間から期限に間に合うバックアップ速度を求める。また、ファイルを転送するユーザの人数の増加によりバックアップ速度が低下するため、事前に低下するバックアップ速度を上限に加算する。評価として、バックアップ期限を 60 分として 100GB のファイルをユーザ 3 人が転送した場合のファイル転送時間を提案方式の有無で比較した。その結果、ユーザのファイル転送時間は 48 分 46 秒から提案の適用により 44 分 3 秒となり、約 9.7%短縮された。また、バックアップ時間は期限である 60 分と比較して約 1.9%早く終了した。

参考文献

- [1] Rahumed, A., Chen, H. C., Tang, Y., Lee, P. P. and Lui, J. C.: A secure cloud backup system with assured deletion and version control, *2011 40th International Conference on Parallel Processing Workshops*, IEEE, pp. 160–167 (2011).
- [2] Yao, J., Lu, P. and Zhu, Z.: Minimizing disaster backup window for geo-distributed multi-datacenter cloud systems, *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 3631–3635 (online), DOI: 10.1109/ICC.2014.6883885 (2014).
- [3] Xia, R., Yin, X., Alonso Lopez, J., Machida, F. and Trivedi, K. S.: Performance and Availability Modeling of ITSystems with Data Backup and Restore, *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Vol. 11, No. 4, pp. 375–389 (online), DOI: 10.1109/TDSC.2013.50 (2014).
- [4] Zhou, Z., Yang, X., Zhao, D., Rich, P., Tang, W., Wang, J. and Lan, Z.: I/O-Aware Batch Scheduling for Petascale Computing Systems, *2015 IEEE International Conference on Cluster Computing*, pp. 254–263 (online), DOI: 10.1109/CLUSTER.2015.45 (2015).
- [5] Hu, M., Guo, W. and Hu, W.: Dynamic Scheduling Algorithms for Large File Transfer on Multi-user Optical Grid Network Based on Efficiency and Fairness, *2009 Fifth International Conference on Networking and Services*, pp. 493–498 (online), DOI: 10.1109/ICNS.2009.37 (2009).
- [6] Kaiser, J., Meister, D., Gottfried, V. and Brinkmann, A.: MCD: Overcoming the Data Download Bottleneck in Data Centers, *2013 IEEE Eighth International Conference on Networking, Architecture and Storage*, pp. 88–97 (online), DOI: 10.1109/NAS.2013.18 (2013).