

コンピュータが有するストレージの余剰容量を 分散ストレージとして活用する試み

川戸聡也^{†1,2} 東野正幸^{†1} 高橋健一^{†1} 川村尚生^{†1}

概要：技術の発展に伴い、コンピュータの性能が向上する一方、性能に対する価格は下落しており、過去と比べて安価に高性能なコンピュータを導入することが可能となっている。このため、事務作業などの高い性能が不要な用途において過剰な性能を持つコンピュータが利用されることがある。この場合、当該コンピュータが有する CPU やメモリ、ストレージといった資源は十分に活用されず、本来は利用できるにもかかわらず利用されない遊休状態の資源となっている。これらの遊休状態の資源は無駄になってしまっており、資源の有効活用の観点から、有する資源は有益となるよう活用すべきである。そこで、コンピュータが有する遊休状態の資源のうち、特にストレージについて有効に活用することを試みる。まず、コンピュータが有するストレージのうち、外部で利用可能な領域の容量を余剰容量と定義し、この余剰容量を分散ストレージとして活用することを検討する。また、分散ストレージとしての利用法の具体例として、余剰容量をオンラインストレージとして利用することを検討する。

Attempt to Use Surplus Storage Capacity of Computers as Distributed Storage

TOSHIYA KAWATO^{†1,2} MASAYUKI HIGASHINO^{†1}
KENICHI TAKAHASHI^{†1} TAKAO KAWAMURA^{†1}

1. はじめに

技術の発展に伴い、CPU やメモリ、ストレージといったコンピュータを構成する各部品の性能は向上し続けている。一方、各部品の価格は性能の向上に併せて高くなり続けるということではなく、性能に対する価格は下落している。ストレージを例とすると、HDD であれば TB 台の容量を持つことが珍しくなくなったが、GB 台の容量が一般的であった時代と比べて 1GB あたりの価格は安価になっている。このように、技術の発展に伴い、従来と比べて低価格で高性能なコンピュータを導入できるようになっている。

企業や大学などの組織には業務のために多くのコンピュータが必要であり、実際に稼働している。これらのコンピュータを更新などにより新たに導入する際、従来と予算が同程度であれば、価格に対する性能が向上しているために従来よりも高性能なコンピュータが導入されることになる。また、費用を削減しようと低い性能のコンピュータを導入しようとしても、全体的な性能の向上により、市販されるコンピュータにおける再下限の性能値も向上している。このため、低性能なコンピュータの導入には限界があり、ある程度の性能を持つコンピュータを導入するほかない。

ここで、組織内の業務に利用されるコンピュータの具体的な用途について考える。用途として最も多いのは、文書作成や表計算といった事務作業だと考えられる。事務作業はコンピュータにとって比較的軽い処理である。このため、

コンピュータの持つ CPU やメモリなどの計算処理に係る性能は常時上限まで利用されることはなく、コンピュータの起動中の多くの時間において、利用されない遊休状態となっていると考えられる。また、事務処理は大容量のデータを扱うことが比較的少ない。加えて、組織内ではデータの共有やセキュリティ上の観点から、コンピュータに内蔵されたストレージにデータを保存するのではなく、別途用意された共有のストレージにデータを保存することが多い。このため、コンピュータに内蔵されたストレージの容量は用途に対して過剰となり、上限まで利用されず、利用されない領域が遊休な状態として存在していると考えられる。よって、コンピュータが有する CPU やメモリ、ストレージは遊休状態となることが多々あり、遊休状態の資源(以下、「遊休資源」という)になってしまっている。遊休資源が存在することがコンピュータを利用する上で悪影響を及ぼすことはない。しかし、これらの資源は無駄になってしまっており、資源の有効活用の観点から、有する資源は有効に活用すべきである。そこで、コンピュータが有する遊休資源を有効に活用できないかと思い立ち、ここでは、特にストレージを有効に活用することを試みる。

コンピュータが扱うデータ量は増え続けており、それらのデータを保存するためのストレージは必要不可欠な存在である。個々のストレージの容量は有限なため、保存するデータ量が增大すると、空き容量が枯渇してしまう。この際、データ量の削減と新たなストレージの追加という2つの方法が対応手段として考えられる。データ量を削減する方法については、種類や内容、保存期間といった各データの性質に可否が依存する。このため、データ量のみを考慮

†1 鳥取大学

Tottori University

†2 米子工業高等専門学校

National Institute of Technology, Yonago College

すれば良い、新たなストレージを追加して容量を増やす方法が汎用的な手段となる。この場合には、新たなストレージを追加するための費用が問題となる。予算が潤沢な組織であれば良いが、予算の削減が進む大学などでは費用を削減するため、導入や運用の費用が安価であることが求められる。また、ストレージを導入する上での選択肢として、利用形態や容量を柔軟に設定できるクラウドストレージがある。急速に普及しているが、組織内の規則やセキュリティ上の理由により外部にデータを保存できず、利用できない場合がある。この場合、オンプレミスな環境にストレージを導入して運用することが必要となる。

そこで、オンプレミスな環境において、ストレージを安価に導入や運用する手段として、組織内に存在するコンピュータが有する、遊休資源となっているストレージを活用する。コンピュータが有するストレージにおいて、利用されている領域の容量を利用容量、利用されていない領域の容量を空き容量と定義する。この空き容量のうち一部の領域の容量を外部で利用可能な余剰容量と定義し、この余剰容量を分散ストレージとして活用する。分散ストレージとは、複数のストレージをネットワークで繋ぎ合わせてデータを分散して配置する技術、ストレージの利用形態である。組織内のコンピュータは事務作業などのためにネットワークに接続されていることが多く、個々のコンピュータが有するストレージの余剰容量をネットワークで繋ぎ合わせてデータを保存できる分散ストレージの形態は適していると考えられる。既存の資源である余剰容量を利用することで、新たな費用を負担することなく新たにデータを保存可能なストレージを導入することができる。また、遊休資源の活用にも繋がる。

本稿では、まず、余剰容量を分散ストレージとして活用するにあたり余剰容量などの性質を考慮し、想定する利用環境や必要な手法を検討する。また、分散ストレージとしての利用法の具体例として、データをネットワーク経由で保存や取得、共有することが可能なオンラインストレージとして利用することを検討する。

2. 分散ストレージへの余剰容量の活用

余剰容量を分散ストレージとして活用する上で、まずは余剰容量そのものや、余剰容量を持つコンピュータの性質を挙げ、想定する利用環境や手法について述べる。

2.1 余剰容量の性質

余剰容量は、分散ストレージとして利用する領域の容量であり、空き容量の一部である。コンピュータが有するストレージはそれぞれ総容量や利用容量が異なるため、空き容量も異なる。また、今後利用容量が増えることへの備えとしてどの程度の余裕を確保するのか、それにより空き容量のうちどの程度を余剰容量として良いかは、コンピュータの利用状況によって異なる。なお、空き容量を全て余剰

容量として利用すると利用容量が増える場合に対応できないため、余剰容量は空き容量よりも小さな容量であることを想定する。また、コンピュータの利用状況は常に変化しており、それに応じて利用容量が変動することで空き容量や余剰容量も変動する。ストレージごとに余剰容量は固定の容量であると定義すれば、変動について考慮しなくて良い。しかし、遊休資源を最大限活用するためには、余剰容量は変動するものとし、状況に応じてストレージの総容量のうち最大の容量を余剰容量として分散ストレージに利用できると良い。このためには、コンピュータの利用状況やストレージの各容量を監視し、余剰容量を動的に調整する仕組みが必要となる。

また、ストレージにおいては、読み書き速度や劣化状態といった容量以外の性能も各々異なる。現在、コンピュータに内蔵される一般的なストレージの種類は HDD または SSD であるが、ストレージの各種性能はこのストレージの種類により大きく異なり、同様な種類やメーカであっても個体差がある。読み書き速度の違いについては、データの保存や取得を行う際にどのストレージに対して行うのかの指標として利用することで、利用頻度の高いデータは高性能なストレージに保存するなど、効率的なデータの管理を図ることができる。劣化状態については、S.M.A.R.T. (Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology) [1]で確認できる情報が参考となるが、当初の個体差に加え、どのような利用経歴なのかによって大きく異なる。余剰容量を分散ストレージとして利用することで、ストレージの劣化が早くなり、故障してしまう可能性が高くなると考えられる。このため、随時、ストレージの劣化状態を把握することで、状態の悪いストレージは利用しないと対応が必要となる。併せて、ストレージの故障に備え、データを複製して保存するなど、冗長性を確保して高い可用性を有する必要がある。

2.2 余剰容量を持つストレージを有するコンピュータの性質

組織内で余剰容量を持つストレージを有するコンピュータは、常時起動しているか否かにより2種類に分けられる。1つは情報システムを常時稼働させるためのサーバなどのコンピュータである。このコンピュータは情報システムなどを常時利用可能な状態で提供するために、常時起動していることとなる。もう1つは、事務作業などの必要な時のみ利用されるパソコンなどのコンピュータである。このコンピュータは必要な時のみ利用すれば良く、利用しない時は停止する可能性がある。このため、常時起動することは保証されない。よって、常時起動しているコンピュータでは、分散ストレージとしてのサービスを常時提供し、各ストレージや保存されたデータを管理するために必要となるプログラムの稼働や、利用頻度が高く常時取得可能な必要のあるデータを保存しておくことなどが考えられる。

一方、常時稼働以外のコンピュータでは、停止により利用できないことを想定し、利用頻度の低いデータやバックアップのデータを保存する場所とすることなどが考えられる。

3. 余剰容量を活用したオンラインストレージシステム

余剰容量を分散ストレージとして活用する具体的な利用法として、余剰容量をオンラインストレージとして利用することを検討する。

3.1 システムの構成

想定するシステムの構成を図 1 に示す。本システムは、システムの管理やサービスの提供、システムへの余剰容量の提供などを行うコンピュータ（以下、「管理コンピュータ」という）と、システムへの余剰容量の提供を主として行うコンピュータ（以下、「ストレージコンピュータ」）の、2種類のコンピュータにより構成する。これらのコンピュータは相互に通信可能なネットワーク上に存在するものとする。

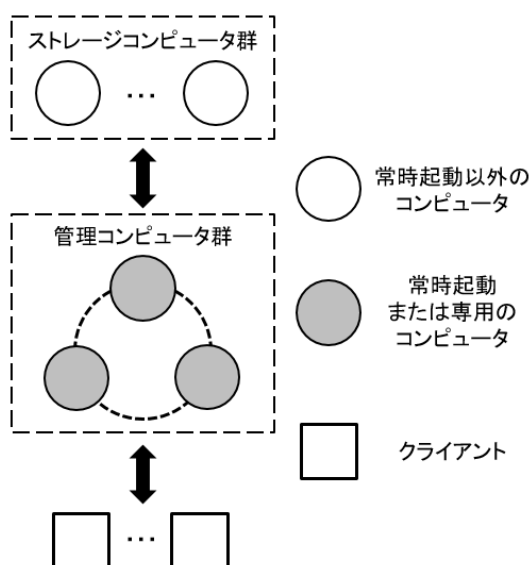


図 1 本システムの構成

Figure 1 The configuration of the system.

システム利用者のコンピュータであるクライアントはシステムを利用する際、管理コンピュータのうち1台に接続する。接続先は、DNS ラウンドロビンなどの負荷分散技術によりランダムで選択することを想定する。なお、ストレージコンピュータや管理コンピュータがクライアントとなることもある。

3.2 管理コンピュータ群の構成

管理コンピュータは、クライアントに対して Web インタフェースを提供し、ファイルの保存、取得、削除などのオンラインストレージとしての基本的な機能を提供するといった、システムのサーバとしての役割を担う。組織内に常

時起動のコンピュータがあればそれを利用し、もしもなければシステム専用のコンピュータを別途用意する。システムに提供する余剰容量は、管理コンピュータごとに今後利用容量が増えることに備えた余裕分の容量を設定し、その余裕分の容量を空き容量から引いた容量とする。また、利用容量が増減した場合には、余剰容量も動的に調整し、管理コンピュータに対してその容量を通知する。

本システムでは、複数の管理コンピュータで群を成し、協調して動作させ、それぞれがサーバとして動作するようにする。これにより、冗長化や高い可用性を実現し、負荷の分散も図る。協調して動作させるためには、各管理コンピュータが対等な立場や機能で動作する必要があり、アーキテクチャとして P2P (Peer to Peer) が適用できる。P2P を実現する技術は複数存在するが、ここでは分散ハッシュテーブルを利用することで管理コンピュータの間に仮想的ネットワークを構築し、どの管理コンピュータからでも他の全ての管理コンピュータと通信できるようにする。また、新たな管理コンピュータの参加や、既存の管理コンピュータの離脱など、管理コンピュータ群の構成が変化する場合にも柔軟に対応できる。加えて、分散環境では扱うことが難しい関係データベースに相当するデータベース（以下、「分散データベース」という）を分散環境で利用できる。分散データベースを利用することで、各管理コンピュータにおいて様々な情報を共有することができる。

3.3 ストレージコンピュータ群の構成

ストレージコンピュータは、余剰容量をシステムに提供することを主として行う。管理コンピュータのように P2P は適用せず、主としてファイルの保存場所として利用することで、事務処理などの通常の利用への影響を最小限に抑えるようにする。システムへの新たな余剰容量の提供や、システムからの既存の余剰容量の提供取り止めの処理は、当該余剰容量を持つストレージを有するストレージコンピュータから管理コンピュータに対して処理の依頼を行うことで行う。また、余剰容量の調整については管理コンピュータと同様とする。なお、ストレージコンピュータは事務処理などのために必要な時のみ起動するパソコンなどのコンピュータであり、管理コンピュータとは違い、常時起動しているとは限らず停止する可能性がある。そこで、停止する場合には、管理コンピュータに対してその旨を通知し、異常ではないことを明確にする。

3.4 ファイルの暗号化と冗長化

ファイルは、管理コンピュータとストレージコンピュータが有するストレージの余剰容量に保存する。ここで、専用コンピュータ以外の管理コンピュータとストレージコンピュータは、通常は別の用途に利用されており、保存したファイルが不正に取得される可能性が十分に考えられる。そこで、ファイルは保存する際に暗号化し、復号しなければ読み取れないようにする。暗号化及び復号の処理は管理

コンピュータにおいて、クライアントが Web インタフェースから指示したファイル操作にのみ応じて行う。これにより、ストレージから直接ファイルが取得されるなど、管理コンピュータや Web インタフェースを経由しないファイルの取得が発生した場合でもファイルは読み取られることはなく、情報漏洩の危険性を軽減することができる。

また、ファイルを保存する際、そのファイルを1つのストレージにのみ保存すると、ストレージの故障などにより予期せぬファイルの消失や破損、ストレージ自体へのアクセス不可が発生した場合に、そのファイルを正常に取得できなくなってしまう。また、特定のファイルにアクセスが集中した場合に、当該ファイルが保存されたストレージ及びそのストレージを有するコンピュータに負荷が集中してしまい、応答速度が低下することが考えられる。そこで、ファイルを保存する際には、その複製を複数のストレージに対して保存することで冗長化を行う。これにより、可用性が向上し、ファイルを取得するためにアクセスするストレージやコンピュータを分散することができる。

以上の暗号化と冗長化の処理は、秘密分散法によりまとめて行うことができる。秘密分散法として広く認知されているのが、[2]で初めて具体的な実装が提案された、しきい値法による秘密分散法である。元のデータをシェアと呼ばれる複数のデータに分割し、シェアを事前に定めた数（以下、「復元必要数」という）以上集めた時のみ元のデータを復元できる。シェアが復元必要数以上漏洩しなければ元のデータが復元されることはなく、シェアの一部が消失や破損したとしてもシェアが復元必要数以上存在していれば元のデータを復元できるため、機密性や可用性の向上に利用することができる。本システムではこの手法を適用し、ファイルをシェアに分割した上で保存することを想定する。あるファイルのシェアは同一のストレージに複数保存しないこととする。このため、分割数はシステムを構成する管理コンピュータとストレージコンピュータの総数以下で設定する必要がある。復元必要数の設定については後述する。なお、秘密分散法には[2]以外にも様々な手法があり、処理速度やシェアのサイズなどが異なるため、本システムに適した秘密分散法の選定が今後の課題となる。

3.5 ファイルの保存や取得

ファイルを保存する際、秘密分散法によりシェアに分割して保存するが、その保存先は管理コンピュータとストレージコンピュータのどちらかが有するストレージとなる。ここで、管理コンピュータは常時起動であるために、当該コンピュータが有するストレージにはいつでもアクセスできる。一方、ストレージコンピュータは常時起動ではないために、当該コンピュータの有するストレージにはアクセスできない可能性がある。このため、シェアをストレージコンピュータに保存すると、ストレージコンピュータの停止により復元必要数を確保できず、ファイルを取得できな

い可能性がある。しかし、復元必要数のシェアを常に管理コンピュータに保存すると、管理コンピュータにシェアやアクセス負荷が集中してしまう。そこで、ファイルごとに高中低の3段階の重要度を設定する。高重要度のファイルは、常時取得できる必要があるファイルと見なし、必ず復元必要数以上のシェアを管理コンピュータに保存する。このため、復元必要数は管理コンピュータの台数以下とする必要がある。低重要度のファイルは、取得できないことを許容できるファイルと見なし、全てのシェアをストレージコンピュータに保存する。中重要度のファイルは、高重要度のファイルと低重要度のファイルの中間的な扱いとして、シェアの保存先は管理コンピュータとストレージコンピュータを問わず、後述するストレージの性能に応じて選択する。この重要度は、ファイルを保存する際に Web インタフェースにより指定することを想定する。なお、ストレージコンピュータが停止していても、ネットワーク経由で起動することが可能な Wake-on-LAN に対応していれば、該当のストレージコンピュータを強制的に起動させることでアクセスするといった対応も考えられる。

同じ群に属するコンピュータにおいて、どのストレージに保存するかはストレージの性能に応じて選択する。指標とするストレージの性能には、余剰容量と劣化状態を用いる。これらの情報は、変動がある度にそのストレージを有するコンピュータから管理コンピュータに通知する。基本的には余剰容量が多いストレージから順に保存していく。ただし、劣化状態の悪いストレージには、他のストレージに保存できないといった緊急時を除いて保存しない。劣化状態の判断基準としては、S.M.A.R.T.で得られた情報をもとに、不良セクタの数が閾値を超えたか否かといったものを想定する。

ファイルを取得する際は、まずは管理コンピュータのストレージからシェアを取得し、足りなければストレージコンピュータのストレージから取得する。同じ群に属するコンピュータにおけるストレージへのアクセス順は、ストレージの読み込み性能が高い順番とする。読み込み性能の情報は、S.M.A.R.T.で得ることを想定する。

3.6 ファイルの再配置

余剰容量の提供取り止めを行う場合には当該余剰容量を持つストレージを有するコンピュータから、各コンピュータがシステムから離脱する場合には各コンピュータから、管理コンピュータに対して通知を行う。通知を受けた管理コンピュータは、該当のストレージに保存されたシェアを別のストレージが持つ余剰領域に再配置する。再配置先のストレージの選択は、シェアの保存先の選択する際と同様にする。また、ストレージやコンピュータが故障などにより、通知なしで不正に利用不可となることが考えられる。これに備えるため、管理コンピュータから各コンピュータやストレージに対して死活監視を行う。死活監視により不

正な利用不可が判明した場合には、一部のシェアが失われたと判断し、当該シェアの元ファイルを復元した上で再度シェアを生成して保存する。

また、ストレージの利用容量が増え余剰容量が減り、当該余剰容量に空きが少ない場合には、今後の更なる余剰容量の減少に備えて空気を増やす必要がある。この場合にもシェアの再配置を行うことで、余剰容量に空きを作る。なお、必要な空きについては、システムにどの程度の余剰容量が提供されるのか、利用容量がどのように変化するのかなどの情報を基に調整することを想定する。

3.7 各種情報の管理

本システムに関する処理では様々な情報が必要である。それらの情報は逐次取得するのではなく、システムのサーバとしての役割を担う管理コンピュータにおいて常に最新の情報を共有や保持できることが望ましい。そこで、分散データベースにより各種情報を管理するためのテーブルを作成する。

まず、コンピュータの各種情報を管理するテーブル（以下、「コンピュータテーブル」という）を作成する。本テーブルで管理する情報を表 1 に示す。コンピュータの識別番号は、当該コンピュータが管理コンピュータなのかストレージコンピュータなのかを判別できる形式とする。コンピュータの IP アドレスは、当該コンピュータとの通信を行うために利用する。また、コンピュータの稼働状態は、停止の通知があった場合にのみその旨が分かるように書き換え、一時的に利用が不可となっていることを判断するために利用する。

表 1 コンピュータテーブルの構成

Table 1 The configuration of Computer Table.

項目
コンピュータの識別番号
コンピュータの IP アドレス
コンピュータの稼働状態

次に、ストレージの各種情報を管理するテーブル（以下、「ストレージテーブル」という）を作成する。1 台のコンピュータが複数のストレージを有し、それぞれに余剰容量が存在する可能性があるため、コンピュータとは別に管理する。本テーブルで管理する情報を表 2 に示す。ストレージの総容量、利用容量、空き容量は、余剰容量と同様に管理コンピュータにて通知を受けて取得する。

表 2 ストレージテーブルの構成

Table 2 The configuration of Storage Table.

項目
ストレージの識別番号
ストレージの総容量
ストレージの利用容量
ストレージの空き容量
ストレージの余剰容量
ストレージの読み込み性能
ストレージの劣化状況
ストレージを有するコンピュータの識別番号

次に、保存されたファイルの情報を管理するテーブル（以下、「ファイルテーブル」という）と、シェアの情報を管理するテーブル（以下、「ファイル断片テーブル」）の 2 つを作成する。ファイルテーブルで管理する情報を表 3 に、シェアテーブルで管理する情報を表 4 に示す。シェアテーブルは、シェアのファイル名や保存されたストレージの識別番号といった情報のみを管理し、各シェアのインデックスとして利用する。そして、各ファイルの実体は分散データベースとは別に各ストレージに直接保存する。なお、ストレージ上に保存する際のディレクトリのパスは固定とし、ストレージやコンピュータごとに変化しないものとする。ファイルを取得する際には、ファイルテーブル、シェアテーブル、ストレージテーブル、コンピュータテーブルの順に参照することで、必要なシェアにアクセスするための情報を得ることができる。

表 3 ファイルテーブルの構成

Table 3 The configuration of File Table.

項目
ファイルの識別番号
ファイルのファイル名
ファイルの容量
ファイルの重要度
各シェアの識別番号

表 4 シェアテーブルの構成

Table 4 The configuration of Share Table.

項目
シェアの識別番号
シェアのファイル名
シェアの保存先のストレージの識別番号

4. 関連研究

コンピュータ上の遊休資源を活用する事例として、世界的に取り組まれているものにボランティアコンピューティング[3] (以下、「VC」という)がある。VCとは、少ない計算資源では処理することが困難であり、多くの計算資源を要する処理を、ボランティアで提供された計算資源を活用して行うという取り組みである。提供された計算資源は、グリッドコンピューティングの概念により、インターネットを介して繋ぎ合わせられ、スーパーコンピュータに匹敵する計算資源を持つ1つの大きなコンピュータシステムを構成する。VCの実例として、無償で公開されているBOINC[4]を利用したプロジェクトが多く存在し、天文学や生物学といった様々な研究に活用されている。しかし、BOINCは主に大規模な計算処理を行うことを想定しているため、分散ストレージといった主にストレージを利用することには対応できない。

遊休資源のうち、主にストレージの余剰容量を分散ストレージとして活用している事例として、ブロックチェーンの技術を利用した Storj[5]や Sia[6]などのストレージサービスがある。これらは、仮想通貨を介したクラウドストレージであり、ストレージを利用することに対して対価を支払う必要がある。逆に、ストレージの提供に対しては対価を受け取ることができる。一般的なクラウドストレージのように特定の事業者が管理するストレージ上にデータが保存されるのではなく、各利用者のコンピュータが持つストレージ上に暗号化された上で分散して保存される非集中型のシステムであるため、セキュリティ面では強固である。しかし、利用するためには仮想通貨の利用が必須となり、組織内などの特定のネットワーク内でのみ利用することはできない。

余剰容量を活用している研究について取り上げる、[7]は、各コンピュータの持つ余剰容量を iSCSI により繋ぎ合わせて1つの大きなストレージとして利用する。また、iSCSIの通信パケットにストレージの容量や読み書き性能といった情報を付加することで、ストレージ間において相互に情報を共有し、読み書きの頻度が高いデータは高性能なストレージへ、低いデータは低性能なストレージに保存や移動するといったデータの動的な配置処理を行う。[8]では、余剰容量に対し、公開鍵により暗号化およびヒステリシス署名を付与したデータを保存する。[9]では、データをバックアップするコストを低減するために余剰容量を利用している。[10]では、データを安全に容易に低コストで共有やバックアップするために、余剰容量を利用している。[11]では、秘密分散技術を用いてデータを分散保存する非集中化ストレージサービスを提案しており、機密性、可用性、低コスト化を実現するために余剰容量を利用している。これらの研究において余剰容量の利用手法は様々であるが、

利用している余剰容量が固定の容量であり、動的に変動することを想定しておらず、対応できていない。

5. おわりに

余剰容量を分散ストレージとして活用することを試み、具体例として余剰容量をオンラインストレージとして利用することを検討した。

今後は、余剰容量を活用したオンラインストレージのプロトタイプを実装し、評価を行う。ファイルの保存や取得、再配置においては、各コンピュータへの通信速度やファイルの利用頻度といった指標を用いることで、更なる効率化や適正な処理を行うことができると考えられる。また、e-Learning システムや文書管理システムといった、データを保存する必要のある情報システムのストレージ部分として利用するなど、余剰容量を活用した分散ストレージをより汎用的に利用することについて検討する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19K03081 の助成を受けている。

参考文献

- [1] "How Hard Disk S.M.A.R.T. Works?". <https://www.hdsentinel.com/smart/index.php>, (参照 2019-08-27).
- [2] Adi Shamir. How to Share a Secret. *Communications of the ACM*, Vol. 22, No. 11, pp. 612-613, 1979.
- [3] Muhammad Nouman Durrani, Jawwad A. Shamsi. Volunteer computing: requirements, challenges, and solutions. *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 39, pp. 369-380, 2014.
- [4] "BOINC". <https://boinc.berkeley.edu/>, (参照 2019-08-27).
- [5] "Decentralized Cloud Storage - Storj". <https://storj.io/>, (参照 2019-08-27).
- [6] "Sia". <https://sia.tech/>, (参照 2019-08-27).
- [7] Shingo Shimano, Atsushi Nunome, Yuta Yokoi, Kiyoshi Shibayama, and Hiroaki Hirata. A Dynamic Configuration Scheme of Storage Tiers for an Autonomous Distributed Storage System. *Information Engineering Express*, Vol. 3, No. 4, pp. 91-104, 2017.
- [8] Shin Tezuka, Hiroko Tomori, Ryuya Uda, and Ken-ichi Okada. Distributed Secure Virtual File System Using Hysteresis Signatures. *Proceeding of the 23rd International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 90-97, 2009.
- [9] 西村淳, 石橋勇人, 安倍広多, 松浦敏雄. ネットワークノード上の余剰ディスク領域を利用した分散バックアップシステム. 第67回情報処理学会全国大会講演論文集, pp. 711-712, 2015.
- [10] 東森ひろこ, 手塚伸, 宇田隆哉, 伊藤雅仁, 市村哲, 田胡和哉, 星徹. デジタルフォレンジックを目的としたファイル分散保存システムの実装および評価. *情報処理学会論文誌*, vol. 50, no. 6, pp. 1561-1574, 2009.
- [11] 張一凡, 尾形徹, 小池幸生. 秘密分散技術を用いた非集中化ストレージサービスの提案. *マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集*, pp. 359-365, 2016.