

MetaDisk

ブロックチェーンベースの 分散型ファイルストレージアプリケーション

Shawn Wilkinson (shawn@storj.io), Jim Lowry (jim@storj.io)

貢献者: Tome Boshevski (tome@storj.io)

<http://storj.io>

<http://metadisk.org>

2014 年 12 月 23 日

v1.01

概要

MetaDisk はクラウドストレージをもっと分散型に、もっとセキュアに、そしてもっと効率的にできることを概念的に証明せんがためのオープンソースプロジェクトである。加え、MetaDisk は完全な分散型ネットワークのためのプロトタイププラットフォームである。この目標遂行のため、技術的でないユーザやネイティブアプリケーションの元となる API、そして将来の拡張のためのインターフェースを与える WEB アプリケーションを開発することを提案する。ファイルのメタデータのデータ保存として、別のブロックチェーンが使用される一方、暗号通貨はインセンティブ及び支払い機能として役立つ。このアプリケーションは、オープン・ソース・コードを実行するノードのピア・ツー・ピア・ネットワークとして、中央のデータベースというよりは、公開ブロックチェーン上の情報に依存して自律的に動作しようとする。MetaDisk の主な目的は、Storj と呼ばれるピアツーピアクラウド・ストレージ・ネットワークとして、安定したテストプラットフォームを提供することにある。MetaDisk の究極の目的は、伝統的なプラットフォームとユーザーとより簡単に統合できるツールのセットを提供することである。

1 はじめに

「クラウドストレージ」は目新しさのために人気の渴望を利用したマーケティング用語である。普通のユーザーにとって、クラウドはインターネット、クライアント・サーバー、またはサービスなどの技術に比べて新しい技術のように聞こえるので、人気を博した。この既存の技術のブランド再生は単なるミスディレクションであり、魔法ではない。データがクラウドに格納される際、クライアントコンピュータからデータセンター内のホストサーバーへ TCP/IP を介して転送される。それはメインフレームとダム端末の時代から存在していた古いクライアントサーバーモデルと同じである。そのサーバーは、その後、3 つのコピーを作成するという業界標準の冗長性ポリシーに準拠するため、他のサーバーにコピーする。プライベートな情報を委託されている集中型命令を通して実行されるクラウドストレージの現在のモデルは、多くの点で本質的に不安全である。情報泥棒、スパイ、および検閲は、政治的戦略、法的戦術、および技術的手段を介してホスト・サーバに保存されたデータをコピー及び破壊することができる。

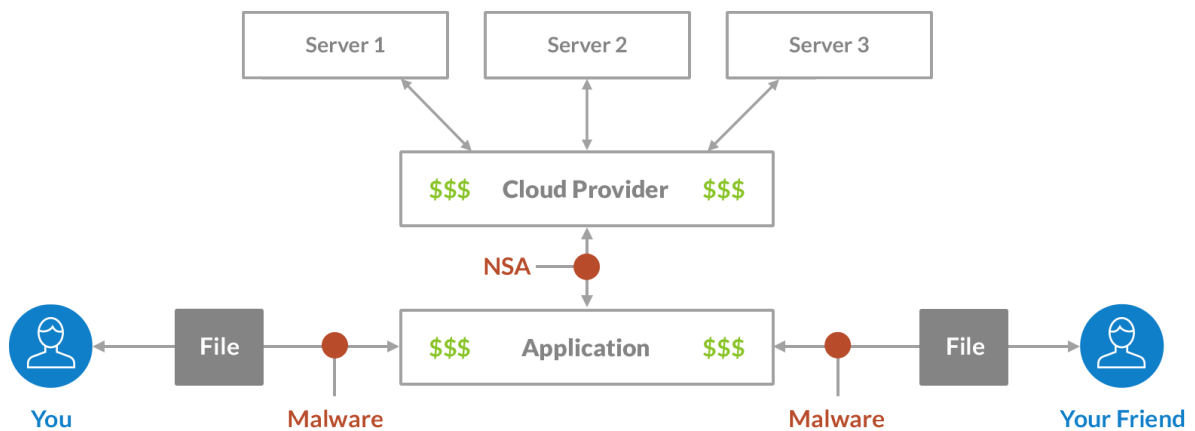


図 1: クラウドアプリケーションの標準モデル

これらの三つのカテゴリー（訳注：政治的戦略、法的戦術、および技術的手段のこと？）の区別が時間をかけてますますばやけていった。今、個人のプライバシーや企業情報のセキュリティはオフサイトのデータ・ストアを、それぞれのカテゴリーに由来しかつ、（それぞれのカテゴリーを）通しての操作される攻撃から保護することができる場合にのみ達成できることは明らかである。モデル内に構築された、簡単に識別可能な攻撃の中心点は、分権と自動化で解決可能である。現在のクラウドストレージモデルのその他の固有のセキュリティ上の欠陥は、現在広くクラウドストレージサービスに広く使われている支払いメカニズムのタイプである。ほとんどのオンライン決済技術は、支払者と受取人についての情報をストアリリークするため、これらのメカニズムはプライベートでも、情報安全でもない。

私たちは、ホストとクライアントとの間で信頼関係に基づいていないクラウドストレージモデルが必要である。ファイル名、日付、およびその他のメタデータを含むすべてのクライアントの秘密データは、クライアントへのコンピュータからクラウドへの、いかなる転送が行われる前に暗号化されなければならない。政治的または法的攻撃のベクトルを使った攻撃の中心ポイントがあってはいけない。すべてのリソースプロバイダと消費者の両方のインセンティブの支払いは自動化され、匿名の暗号通貨で行われる。その時、クラウドが本当にクラウドとなり、クラウドが構成・移動及び変更されると追加・差し引かれる広大なリソースの水滴が多数構成される。

分散型ストレージ・ネットワークを有効にする包括的な設計原理は数年前から知られている。MaidSafe [1] と Tormet のようなプロジェクト [2] は、概説的な実行可能な解決策である。残念ながら、真に分散型ストレージシステムのセキュリティ、スケーラビリティ、コスト効率を実現するには、巨大で技術的な複雑さのソフトウェアを必要とする。通信回線、ノード自身どちらも信頼できないので、ノードとネットワークを非常に安全な方法で設計する必要がある。ネットワーク上のノードは、現在の集中型ネットワークの冗長性とパフォーマンスのレベルを達成するために協力しなければならない。さらに、実用的または経済的な側面からソフトウェアはそれ自体で、現在の主要なクラウド・ネットワークから離れた、管理されていない環境で、手動による介

入なしで実行する必要がある。

これらの原理は、BitTorrent の同期 [3]、ビットコイン [4]、公開鍵暗号、及び暗号ハッシュ関数等の既存技術の組み合わせを使用することで達成可能である。既存のオープンソースプロジェクトをモジュール方式で統合することで、MetaDisk は非中央集権的ストレージネットワークの開発を簡素化することを目的としている。このようなネットワークは段階的に構築され、かつ既存のクラウドストレージサービスプロバイダが提供している hardware-as-a-service モデルを含む幅広いハードウェアをサポートする相互運用可能で簡単に交換可能なモジュールで構成されているソフトウェアで構築しなければならない。

MetaDisk は、ビットコインが採用したものと同様のインセンティブモデルを使用することができる。ビットコインのマイナーが、ネットワークに暗号ハッシュ資源のパワーに貢献することで、ブロックの報酬を支払われる一方、MetaDisk は、ストレージ容量と帯域幅への支払い及び交換に独自の暗号通貨を使用することができる。このモデルは、分散化されたまま、ネットワークを成長と効率に駆動するため、強力な利己主義的自由市場の力を活かす。たとえば、ファイル転送の別のより速い方法が発見されれば、誰かがさらに高速メソッドを生成するまでその方法に向かってネットワークが引き寄せられるであろう。ノードは絶えず変化と競争の激しい環境で働かなければならないことを可能にする。

2 オーバービュー

MetaDisk は、Storj ネットワークの開発プラットフォームとしてだけでなく、非技術的なユーザー・インターフェースとして機能する。MetaDisk Web インターフェースまたは API を使用して、ユーザーがネットワークから自分のファイルを安全にアップロードしたりダウンロードすることができる。ファイルは、クライアント側でアップロード処理中に、ユーザーにより提供される秘密鍵を使用して暗号化される。ユーザーが以前に MetaDisk を使用していない場合、Web インターフェイスは秘密鍵を生成する際にユーザを支援するかもしれない。MetaDisk は通信利用可能なストレージリソースを見つけるためネットワークと通信し、その後クラウドストレージの工業規格を考えて 3 倍の冗長性を保持するため、少なくともファイルを 3 つの別々の場所に転送する。ユーザやアプリケーションは追加のコストでさらなる冗長性を追加可能である。

私たちは、ユーザがファイルをアップロードした際、アップロードの記録がブロックチェーンに作成され、ブロックチェーンがデータストアとして効率的な機能を提供する記録管理方法を考案した。この機能は、後の「メタデータストア」としてブロックチェーンというタイトルのセクションでさらに詳細に説明する。

ファイルが暗号化された後、我々は SHA-256 ハッシュを見つけ、そのハッシュは一意の識別子やファイルの改ざんを検出する方法の両方として使用する。もし、ファイルがアップロードされた後、ファイルに任意の変更が起これば、ハッシュが異なるであろう。我々は、ファイルに直接アクセスする必要なく、ネットワークがファイルを抜き打ち検査することができるよう、基盤となるプラットフォーム Storj [5] で、この事実を利用する。また、クライアントは、ファイルが確かなものであること確認するため、ハッシュを使用することもできる。ハッシュ値を生成するために使用される、ファイルの 3 つの保管場所とともに、ハッシュはブロックチェーンエントリーに保存される。公開鍵の暗号の使用により、ブロックチェーンに挿入されたすべてのメタデータを、不正な読み取りとコピーから保護することができる。ネットワークに入るすべてのデータとメタ

データが暗号化され、ハッシュを介してデータを確認することができるため、悪意のある実態がスパイ、偽装、またはデータを変更することはできない。

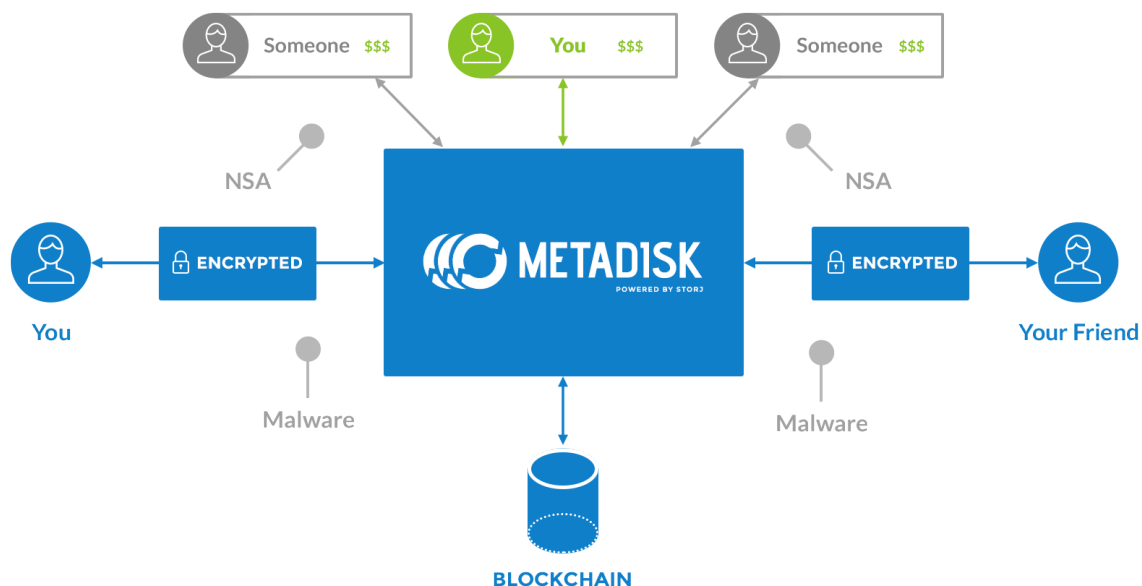


図 2: データストレージの *MetaDisk* モデル

2.1 セキュリティ

ユーザだけが、特定のファイルの復号鍵へのアクセスを有する。さらに、ファイルの内容が安全であることを維持するため暗号化された後に、ストレージ内にある間にファイルを識別するために使用されるハッシュが生成される。そのため、攻撃者は、ファイルの存在を知っていてもネットワーク上のファイルの内容を確認できない。ファイルは送信前に暗号化されているため、MetaDisk は人が介在する攻撃にも耐性があり、オープンな暗号化されていない無線 LAN ネットワークを含むネットワークのような、任意の通信上で使用できるかもしれない。

MetaDisk は、さらに安全なデータにクライアント側の暗号化を追加することができるが、ブラウザ内の暗号が実際に安全か議論の余地がある [6]。プライベートでない、または重要でないファイルは従来のモデルで十分である。他のものには、ファイルを暗号化し、API を介して渡されることが推奨される。そうすれば、ブラウザの暗号における完全な失敗や、そして完全に危険に晒された MetaDisk ノードが、ファイルセキュリティに影響を与えることはない。これは追加のネイティブアプリケーションとツールセットを通じて簡単に達成することができる。

2.2 冗長性

MetaDisk は、ファイルが利用可能および未変更であることを確認するために、データ・ソース上の定期的なチェックを実行する。データソースがこれらのチェックを失敗した場合や使用できない場合は、データを別のデータソースから回収することが可能である。

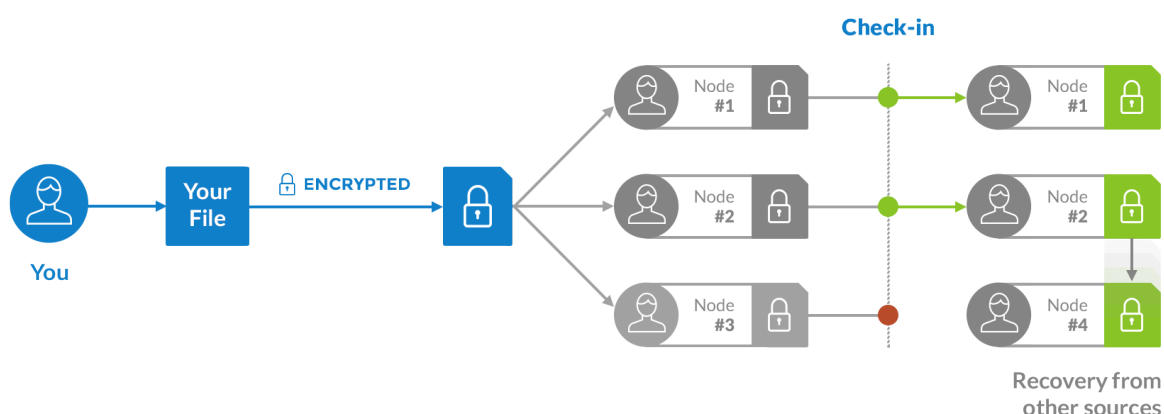


図 3: 冗長検査の可視化

2.3 ブートストラッピング

すぐに、MetaDisk を立ち上げ実行するために、既存の無料の公共ファイルホストをストレージプロバイダとして使用できるようにしたい。コマンドライン (CLI) の一般的なファイル共有サイト用のダウンロード/アップロードツールである Plowshare [7] を使用し、我々はこれらのデータソースへのアップロードのタスクを単純化できる。それぞれの、各々の利用規約の互換性を取るまでは、これらのデータソースは、MetaDisk のデータソースにとって、ユーザとホストを提供する記憶装置間でデータを行ったり来たり往復するためのノードの動作の維持と帯域幅の限界コストのみ (必要) で、無料である。

無料公開ファイル・ホストは、あっという間にローカルのハードディスクスペースによって打ち負かされるかもしれない。したがって、我々は Storj [5] と呼ばれる私たち自身のプラットフォームを実装しており、MaidSAFE と呼ばれる別のプラットフォームに統合することを計画している [1]。これらの両方のプラットフォームは、ユーザーが個人や企業の計算デバイスから、独自のストレージスペースを提供することができ、またストレージ・スペースの分散ネットワークの一部となることができる。これらのプラットフォームは、より直接的にシビル攻撃、冗長性やファイルの整合性、および可用性などの問題に対処する。

MetaDisk はプラットフォームに依存しないであることは明らかでなければならない。MetaDisk は、それぞれのプラットフォームを単にデータソースとして見る。このようにすれば、エンド・ユーザーとアプリケー

ションに MetaDisk ノードの簡略化 API を介しての分散型データ・プラットフォームへのアクセスを与えることができる。

3 コスト計算

簡単に MetaDisk ノードをホストできる、VPS プロバイダのデジタルオーシャンを使用した例のテストケースで、私たちはいくつかのコスト見積もりを行うことができる。月額\$5 で、最大 1TB の転送が与えられる [8]。これはフル稼働で、GB あたり約\$0.0049 ということになる。そのことを考えると、100GB で保存フル稼働にて\$0.49 であるので、3 つの冗長で\$1.47 の総費用がかかるであろう。Dropbox は、同じストレージ 100GB で\$99/年課金する。本質的に、Dropbox 99\$に対して、年間 100 ギガバイトのフル稼働で、\$1.47 プラス転送かかるだろう。使用あたりの支払いモデルを採用することにより、ユーザーが実際には必要ないストレージ・スペースの支払いを避ける。

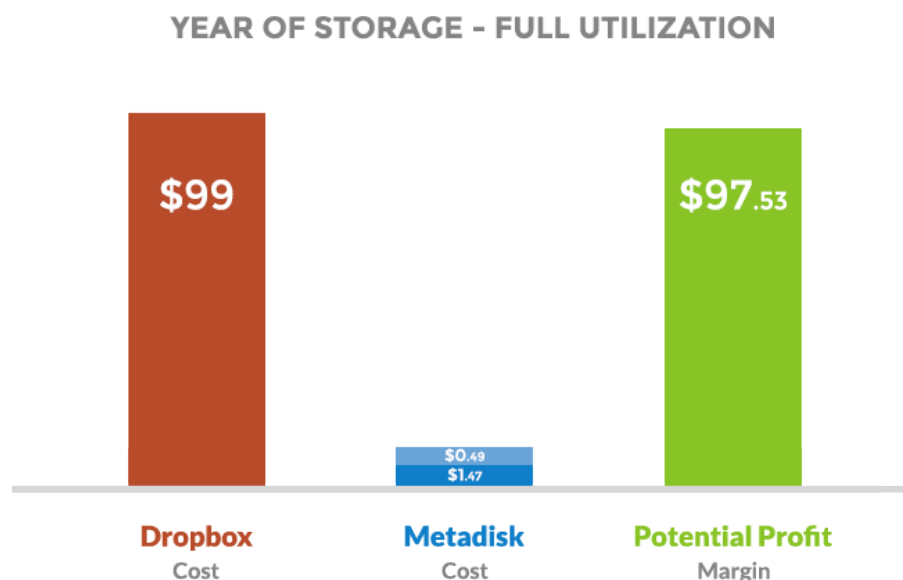


図 4: 1年間、フル稼働 100GB データストレージ。ダークブルー：ストレージコスト、ライトブルー：MetaDisk からのフルデータ取得のための費用

指数関数的な速度で、記憶媒体の容量が増加し、12 ヶ月で倍となる [17] ため、長時間のファイルの保存すること、消費者への 1GB あたりの価格を継続的に下げることがクラウドストレージプロバイダの業界標準の慣行になってきている。したがって、100GB フル稼働使用例の下で、最初の年の 100GB あたり\$1.47 のコストは、簡単に\$0.74 となり、2 年後以降、ゼロに近づくかもしれない。記憶媒体のコストが毎年の半分になっても、データセンターの賃料、従業員の給与、会計コスト、規制の負担、弁護士費用等の継続的な運用コストは固定または毎年増加し、そのようなコストのない分散型モデルを打ち負かす能力を制限するので、集中ファイルホストに対して競争力となる。

3.1 コストを削減し、利益を増やす

定額制のノードを使用すると、さらに帯域幅のコストを削減するが、MetaDisk ノードが生成する大量のデータに対し、ホスティングプロバイダがどのように反応するかは不明瞭である。ノードが削除または破壊された場合、ネットワークまたはファイルの可用性には影響はないので、ノードは、本質的に使い捨てである。特定のノードの破壊に保険をかけるオーバーヘッドを負う必要がなく、ただ継続的に作成するため、使い捨てはコスト削減のたねになる。

ユースケース例のは Hivelocity [9] のような定額制の専用サーバープロバイダである。1Gbps の定額制接続のための手数料は、合計 33 万 GB で推定転送月額 638\$ との推定ができる。再び 3 冗長と Dropbox の価格を使用すると、ノード操作に月額\$9166 の売上総利益を達成する。明らかに、ネットワークの混雑とプロバイダの隠し最高速度が転送を制限する場合があるが、余裕が大きいので、ネットワークの速度が半分にカットされても、まだかなりの利益が得られる。

ホスティングプロバイダに対してより公平になり、共有ホスティングの乱用を避けるために、別の例のユースケースは、Hivelocity [10] のような、定額制の専用サーバープロバイダとする。1Gbps の定額制接続で推定 33 万ギガバイト転送し、合計月額\$638 と推定できる。再び 3 倍の冗長性と Dropbox の価格を使用すると、ノード操作で月額\$36666 の総利益を達成する。

3.2 普通のユーザーとサンクコスト (埋没費用)

我々はまた、自分のパソコンから自分のパブリック MetaDisk の Web ノードを実行している平均的な住宅の高速帯域幅を持つユーザの利益を考慮することができる。この場合、平均データ速度は 2.0975MB/s [10] である。Dropbox の価格と 3 冗長性を用いると、このユーザーは、月額\$150 の総利益を得るだろう。このケースでは、ユーザーはすでに、インターネット接続とパーソナルコンピュータのために支払うことを選択した。したがってこれらがサンクコストである。余分なストレージスペース、電力、および帯域幅の使用が全体のホームコンピューティング予算の総コストのほんのわずかな部分であることを考えると、そのようなユーザにとって限界費用はかなり最小限である。この潜在的利益は MetaDisk に、クラウドストレージを大幅にコストダウンすることによってネットワークのすべてのユーザーが利益を得る強力なネットワーク効果をもたらすだろう。

多くの潜在的な住宅のユーザーは技術的観点に対し不快かもしれない。暗号通貨の原理を理解できる上級ユーザーが存在する一方、他は学習曲線を登りたいとは思わないかもしれない。大量の採用を待つ間、急速なネットワークの成長と採用を許容するため、MetaDisk の設計と分散型ストレージネットワークが、詳細を秘密にし、普通のユーザーを混乱させずにユーザーフレンドリーでより高いレベルの抽象化で操作できる、より低いレベルのサービスになるように提案する。

3.3 サービス例

ハイレベルのサービスの例には、我々は FileBox と呼ぶこととしが、Dropbox のようなサービスと同様の機能を提供するであろう。FileBox には、単純な独自のクラウド・ストレージ・ソフトウェア、および競争力あるファイルストレージのレートを持つことができる。バックエンドで、そのようなサービスが被るであろうスタートアップ費用や固定費なしに、FileBox は完全に MetaDisk のノードを通して実行することができる。それ (FileBox) は最もよく使われるファイルのいくつかの独自のキャッシュを保持しながら、そのネットワークの使用のためのクレジットを購入するかもしれない。FileBox は、MetaDisk のノードの Storj ネットワークを使用していることを認識すらないエンドユーザーに多くの必要な抽象化とシンプルさを提供するであろう。その見返りに、FileBox は他の集中クラウドストレージプロバイダ上での継続的な利益マージンとともに低い市場参入コストを享受するであろう。トップレベルのソフトウェアのみ維持する必要があり、基盤となるストレージハードウェアを維持する必要はないであろう。

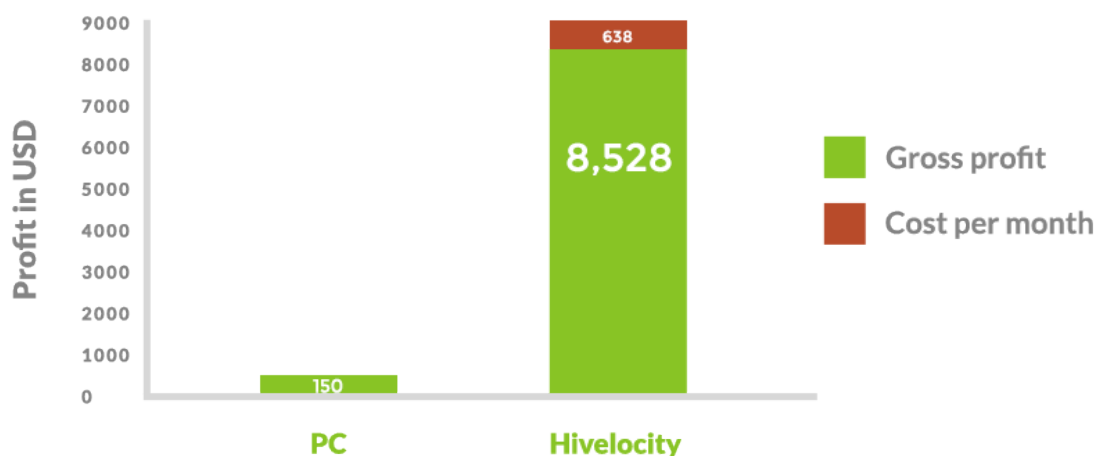


図 5: 既存の価格設定モデルと費用がかからないプロバイダを使用した MetaDisk ノードの利益の例

4 メタデータストアとしてブロックチェーン

Datacoin [11] は、そのブロックチェーンが MetaDisk ネットワークのためのメタデータストアである、暗号通貨である。これは一時的な措置であり、ある時点で Storj プラットフォーム上のソリューションに置換される。Datacoin では、データはブロックチェーンに永遠に格納され、トランザクションのハッシュを識別子として使用して取得できる [11]。残念ながら、これはブロックチェーン肥大化として知られている問題につながる。すべての完全なノードは、ブロックチェーン内にすべてのトランザクションのコピーを格納する必要がある。これは、ユーザーそれぞれが数メガバイトのデータを格納すると、ブロックチェーンはあっという間に管理不能なサイズに拡大することを意味する。ただ、1つのムービーファイルを保存すると、アップロードユーザーに数千ドルの価値の Datacoin のコストがかかり、ネットワークを洪水に晒す。

4.1 Blockchain Bloat

ブロックチェーン膨張のため、ブロックチェーン上にファイル自体を格納することは単純には不可能である。代わりに少量のブロックチェーン上の各ファイルに関するメタデータ情報のみを格納することによって、この問題を解決する。これはメタデータを含む、単純なトランザクションを送ることによって行われる。私たちは、そのハッシュ、ファイルの場所、私たちが本質的と考える他の情報を保存することができる。プライバシーとセキュリティ上の理由のためブロックチェーンに挿入する前にこのメタデータを暗号化することができる。このメタデータのサンプルは、このようなものに見えるかもしれない：

```
1 {
2   version: "0.1",
3   datetime: "1391212800",
4   filesize: "23124",
5   file_hash: "6e163442e29ec8d7538bc86fe2c4a48778e8ae2254632f0889da753b1c357b1b",
6   "uploads": [
7     { "host_name": "mediafire" , "url": "http://www.mediafire.com/?qorncpzfe74s9"},
8     { "host_name": "rapidshare" , "url": "http://rapidshare.com/files/130403982"}
9   ]
10 }
```

このサンプルメタデータは、アップロードされたファイルサイズに関係なく、約 330 バイトの情報を占める。私たちは、500 バイト程度の平均的なトランザクションにこれを追加する [12]。いくつかの余分なパディングを追加し、トランザクションごとに約 1KB となる。そのケースでは、ブロックチェーン内のメタデータが 1GB のサイズに到達する前に、百万ファイルを格納することができる。さらなる改良によって、チェーンの多重化、ブロックチェーンの切り払い、圧縮を使用して、さらに必要なメタデータ情報量を最小限に抑えることができ、大幅これらの数字（ファイル数）を増やすことができる。

4.2 さらなるスケーリング

確かに、初期ネットワークのファイルには合理的であるが、全体のクラウドのデータの全容量を処理するネットワークにとっては、スケーラブルではない。毎秒 7 トランザクションの Satoshi スタイルのブロックチェーン [13] の制限がボトルネックとなっている。システム利用が増加するにつれて、我々はトランザクションに格納されているすべてのファイルの暗号要約である merkle root を保管する代わりにシステムに移行できる。このようにして、一つのトランザクションで数百万のファイルの存在を証明することができる。この方法では、ビットコインおよび/または Storj ブロックチェーンのセキュリティを直接使用することができる。執筆時点では、我々は Factom [14] といくつかの他のソリューションを模索している。

5 報酬

できるだけ分散型であるために、我々は、データストアに使用する暗号通貨から、報酬と支払いの暗号通貨を分離する。StorjcoinX、または SJCX の設計目標は、ある種の正貨として機能することである。これを行うには、すでにビットコインのために開発されているすべての（ビットコインをそのような優れたお金の形にした）コードと機能を使い、お金の単なる社会的受容を越えた健全性を与えるよう、何かしらの代替可能価値で

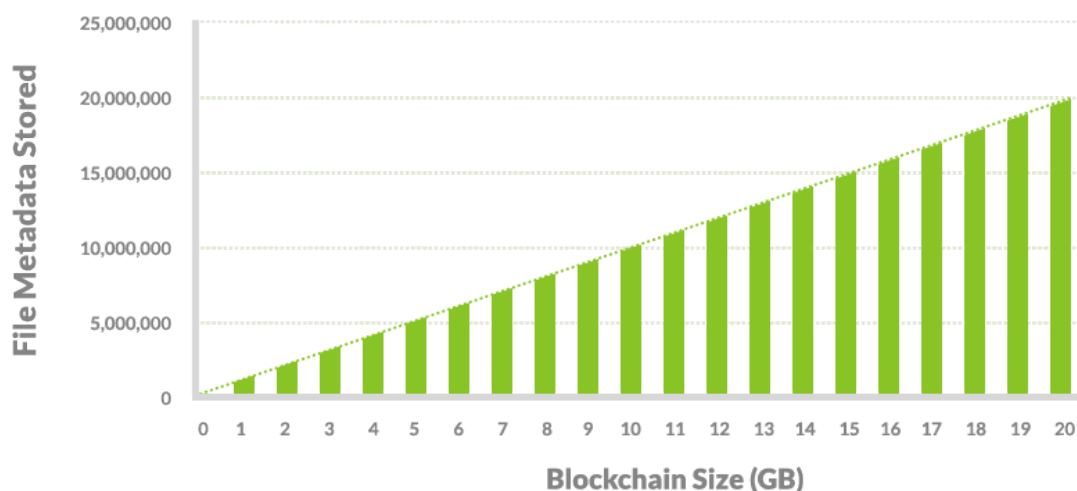


図 6: 保存されたファイルのメタデータ vs ブロックチェーンサイズ

あるクラウドストレージにより保証を提供するよう拡張する。時間をかけて計画的に、より多くのリソースが Storj ネットワークに追加されるに従い、SJCX 単位で購入可能なクラウド・ストレージ単位の量が増加し、その (SJCX 単位の) 価値は増加するよう設計することにより、SJCX はデフレ通貨となる。

SJCX で、ユーザは MetaDisk ポータルを通じて Storj 上の分散ストレージネットワークの帯域幅とストレージの支払いを行うことができる。Storj ソフトウェアは SJCX 単位で各ストレージと帯域幅単位に対し、価格を設定する自律エージェントのマーケット・メーカーとして動作する。そして、Storj ソフトウェアは、定期的にストレージと帯域幅のプロバイダーに、これらのリソースを提供し続けるため、Storjcoin 単位を支払うことになる。これらのプログラムされた自動の行動を通して、Storjcoin はユーザーやホスティングプロバイダへのネットワークを維持する価値とインセンティブを提供する自律エージェントとして働く。SJCX の性質と範囲は Storj のホワイトペーパーで説明される。

6 Proof of Resource (リソース証明)

住宅用高速インターネットで (帯域幅が) 21 ヶ月ごとに倍増する、という Nielsens の法則 [15] と、同様に、グローバルストレージ容量が 12 ヶ月毎に倍増し続けると仮定した Kryders の法則 [16] を考慮すると、帯域幅はストレージより逼迫資源になると予測されている。Storjcoin X が新しい形の正貨として振る舞うという開発目標を維持するために、Proof of Resource 機能を記述する必要がある。より多くのリソース・プロバイダがネットワークに接続すれば、Storjcoin X 単位で買える、帯域幅に関係したストレージ量は増える。難易度の調整に呼応し、ストレージプロバイダが Storjcoin X 単位を得るため一定時間接続しなければならない帯域幅に関係したストレージ量も増加する。

これにより、Bitcoin の価格が Bitcoin のマイニングコストにより部分的に決定されるのと同様、自由市場

が帯域幅に関係したストレージハードウェアをネットワークに提供することにより、SJCX 取得の難易度に基づいて SJCX の価格を設定することができる。

ストレージ証明に、ファイルにシード値を加えたハッシュの手法を使用し、固有のハッシュを生成する予定である。シードを与えることにより特定のファイルを持つことを他に証明することができ、もし他のノードがファイルを保有すれば単一の一致するハッシュを生成できる。Proof of Resource アルゴリズムの完全な技術仕様は、MetaDisk を記述する本稿の範囲外であり、Storj のホワイトペーパーでさらに説明されるであろう。

7 結論

私たちは、ブロックチェーンをバックボーンとして、分散アプリケーションである MetaDisk を活用する新しいモデルを考案した。このアプリケーションは、オープン・ソース・コードを実行するノードのピア・ツー・ピアネットワークなどとして自律的に動作する。我々は、新しいタイプのデータプラットフォームの具体的な導入部分を提供する一方、紛争の調停、シビル攻撃、Storj プラットフォームの根底にあるセキュリティモデルに関連する未解決の問題を残している。

参考文献

- [1] MaidSafe. Distributed platform, maidsafe, (2014). <http://maidsafe.net>.
- [2] Tormet - generic p2p tools, (2013). <https://github.com/bytemaster/tormet>.
- [3] Bittorrent sync, (2014). <http://www.bittorrent.com/sync>.
- [4] S. Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, (2009). <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [5] Storj - decentralized cloud storage, (2014). <http://storj.io/>.
- [6] What 's wrong with in-browser cryptography?, (2013). <http://tonyarcieri.com/whats-wrong-with-webcrypto>.
- [7] Plowshare - download and upload files from file sharing websites, (2014). <https://code.google.com/p/plowshare/>.
- [8] Pay-as-you-grow pricing, (2014). <https://www.digitalocean.com/pricing>.
- [9] Unmetered dedicated servers, (2014). <https://hivelocity.net/dedicated-servers/unmetered-dedicated-servers/>.
- [10] Download speed by country, (2014). <http://www.netindex.com/download/allcountries/>.
- [11] Datacoin, (2013). <http://datacoin.info/index.php?id=index>.
- [12] Transaction fees, (2014). https://en.bitcoin.it/wiki/Transaction_fees/.
- [13] Bitcoin needs to scale by a factor of 1000 to compete with visa. here 's how to do it, (2013). <http://www.washingtonpost.com/blogs/the-switch/wp/2013/11/12/bitcoin-needs-to-scale-by-a-factor->
- [14] Factom, (2014). <https://github.com/FactomProject/FactomDocs/blob/master/Factom.Whitepaper.pdf?raw=true>.
- [15] Nielsen's law of internet bandwidth, (1998).

<http://www.nngroup.com/articles/law-of-bandwidth/>.

[16] Kryder ' s law, (2005). <http://www.chipwalter.com/articles/profiles/kryder.pdf>.