

ノード遅延を考慮した 分散クラウドサービスシステムに関する研究

M2011MM083 吉田亮史

指導教員：奥村康行

1 はじめに

近年、クラウドサービスが注目を集め、幅広く利用されている。クラウドサービスとは、従来では手元で管理・利用していたソフトウェアやデータをインターネットを通じて必要に応じて利用するサービスである。データセンタに集約されたデータをインターネットを介して大多数のサービス利用者で共有することで低コストを実現している。また、使用するデバイスに関わらず利用できる面から、場所・時間を選ばないことが非常に優れている。クラウド事業者として Amazon.com, Google, Evernote Corporation 等が挙げられる。

しかし、データセンタを複数所有するクラウド事業者は少なく、サービス利用者から地理的に遠い位置に設置されると、ネットワークの応答速度である *RTT*(Round Trip Time)が増大する可能性があり、スループットの低下が懸念される。この場合、大容量データの転送を行う際、サービス品質を維持できない事とが予想できる。そこで、この問題を緩和すべく、位置情報を考慮したクラウドサービスシステム [1] が提案されてる。

先行研究のシステムでは、サービス利用者は地理的に近いサーバを選択してアクセスすることで *RTT* の削減を図っている。しかし、遅延を考慮しない理想的な結果となっていた。そこで本研究では、その遅延に着目し、*RTT* を精密に求めるシミュレーションを行い、先行研究の結果と比較することで、改善の検討を行う。

2 先行研究のシステム概要 [1]

サービス利用者は、データの転送を行う際、地理的に近いサーバを選択してアクセスを行う。これにより、従来のシステムよりも、*RTT* を削減でき、スループットを向上させ、高品質のサービス享受を維持できると考えられる。しかし、その全てのサーバをクラウド事業者が用意するには非常にコストが高くなり実現が困難であると予想できる。そこで、各地に存在する一般ユーザから、余っているコンピュータリソースを借用し、その代わりにインセンティブを支払う手法を取る。これを「サーバ保持者」という概念として導入する。つまり、サービス利用者、クラウド事業者、サーバ保持者の三者を用いるシステムである。この三者を用いたビジネスモデルを図 1 に、先行研究のシステム概念図を図 2 に示す。

2.1 先行研究のシステム詳細

従来のクラウド事業者は、サーバを多量に購入、データセンタを構築し、その運用・管理・保守を全て行っていた。先行研究のシステムでは、サーバ保持者からサーバを借用するので、従来のシステムのようにデータセンタを保持する必要がない。その代わりに、サーバ保持者のサーバ

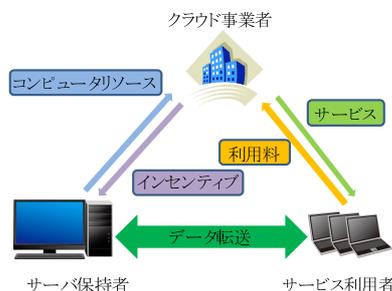


図 1 先行研究のシステムのビジネスモデル

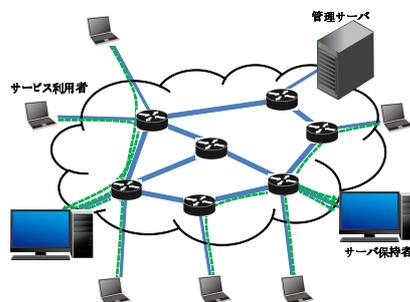


図 2 先行研究のシステム概念図

群を管理し、サーバ保持者へインセンティブを支払う。また、サービス開始のために、サーバ保持者とサービス利用者のためのアプリケーションを開発する。そして、各サーバ保持者へ ping を送り、大まかな場所の推測を行う。以上により、サービス運用開始のための初期費用等のコストを大幅に削減することが可能であると予想できる。

サービス利用者は、従来のシステムのようにデータセンタとデータのやり取りを行うのではなく、クラウド事業者が求めた ping を頼りに、地理的に近いサーバへアクセスを行う。この際、サービス利用者は、ネットワーク内部の違いについて全く意識する必要がなく、従来のシステムと同様にサービスを利用することができる。サービス利用料についても、従来のシステムと同様にクラウド事業者を支払う。つまり、サービス利用者は、利用料をクラウド事業者を支払い、サーバ保持者とデータの転送を直接行うのである。

サーバ保持者は、自身が保持している余ったコンピュータリソースを提供する代わりに、提供量に応じたインセンティブをクラウド事業者から受け取る。また、提供することになったサーバにはクラウド事業者が開発したアプリケーションを導入し、このアプリケーションを介して、クラウドサービスを提供する。なお、サービス利用者のデータは暗号化した後に保存するため、サーバ保持者にサービ

ス利用者の個人情報漏えいすることはないものとする。先行研究のシステムを導入することで、クラウド事業者は、従来のシステムと比較してコストを抑えることができる。サービス利用者は、 RTT が減少することにより高品質のサービスを楽しむことができる。サーバ保持者は、余っているコンピュータリソースの提供により、インセンティブを得ることができる。この3つの利点から win-win-win の関係を築くことが可能であると考えられる。

2.2 先行研究の課題

先行研究のシステムでは、シミュレーションを行う際、トラフィックを考慮したネットワーク遅延を用いず、結果を求めている。また、ランダムでサーバの位置を決定する手法が、効率よく RTT の削減ができないことを課題として挙げている。本研究では、まず前者に着目し、キューイング遅延を考慮したシミュレーションを行い、精密に先行研究のシステムの効果を示す。さらに、サーバ位置決定方法に新たな方式を提案し、先行研究の結果と比較し、その効果を検証する。

3 シミュレーションにおけるモデル化 [3]

先行研究では、システムの有用性を確認するため、スループット、ネットワーク、サービス利用者、サーバ保持者、クラウド事業者についてモデル化しシミュレーションを行っている。

3.1 スループットの計算

スループットを求める際に、ネットワークシミュレータである ns2 のスループット計算を用いる [5]。

3.2 ネットワークモデル

ネットワークトポロジーのモデルとして Transit-Stub 型のネットワークを用いる [2]。これは、Transit ネットワークの下に Stub ネットワークが構築される2層構造をとっている。図3に Transit-Stub 型ネットワークの概略図を示す。このネットワークは、初めに Transit node を生成し、この node だけの集落である Transit domain を形成する。そして、各 Transit node から複数の Stub node を生成する。この Stub node から次の Stub node を生成し、内部で閉じた集落である Stub domain を形成する。このネットワークを GT-ITM(Gergia Tech Internetwork Topology Models) というネットワークトポロジーにて出力する [3]。

3.3 サービス利用者のモデル

サービス利用者が、サービスに対してどれくらい価値を感じているのかを、支払意思額 (WTP , Willingness To Pay) で評価する。 WTP とは、ある満足度を得られるときに、その満足度がいくらの金額で釣り合うかを表す指標である。サービス利用者の WTP は帯域に対して1未満のべき乗関数で近似可能で、この帯域をスループット T に置き換えると以下の式で表される。 α はサービス利用者の効用の感じやすさであり、サービス内容により変動する。ここで、先行研究との比較のため、 $\gamma=0.4$, $\alpha=3$ と設

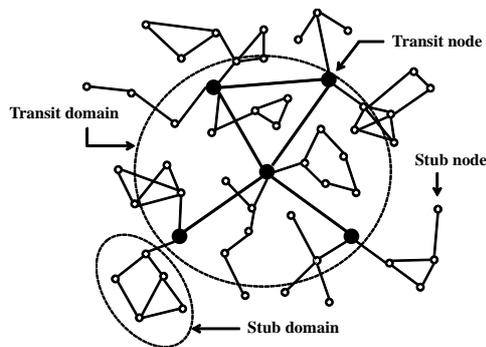


図3 Transit-Stub 型ネットワーク

定する。 [1][4]

$$WTP(T) = \alpha \cdot T^\gamma (0 < \gamma < 1) \quad (1)$$

3.4 サーバ保持者のモデル

サーバ保持者がサーバを提供することにどれくらいのコストを感じるのかを、受入意志額 (WTA , Willingness To Accept) で評価する。これは、ある不満を被る時に、その不満がいくらの金額で釣り合うかを表す指標である。クラウド事業者がサーバ保持者全体に支払うインセンティブ量を I とすると、 WTA に応じて提供されるサーバ数 N は以下の式で表される。ここで、先行研究との比較のため、 $WTA=1000$ と設定する。 [1][4]

$$N = \frac{I}{WTA} \quad (2)$$

3.5 クラウド事業者のモデル

クラウド事業者が、提供するサービスの品質が変化してもサービス利用者数は変動しないものとし、利用料のみが変化するものとする。クラウド事業者の収益を P 、サービス利用者数を U 、コストを C とすると、収益 P は以下の式で表される。本研究では、クラウド事業者のサービスのための維持費を考慮し、 $C=5000$ と設定する。 [4]

$$P = WTP \cdot U - I - C \quad (3)$$

4 サーバ位置決定方式

シミュレーションを行う際、サーバの位置を決定する方式を説明する。ネットワークモデルは、3.2で紹介した Transit-Stub 型ネットワークを利用する。シミュレーションを行う際、サービス利用者を「ノード」、サーバ保持者を「サーバ」とする。また、先行研究のシステムと従来のデータセンタを使用するクラウドサービスシステムとの比較を行うために、先行研究では、2種類の比較方式を用意している。本研究は、先行研究のサーバ配置方式と2種類の比較方式に加え、新たなサーバ位置決定方式を提案する。そして、先行研究のサーバ配置方式と比較し、その検討をする。

4.1 先行研究のサーバ位置決定方式

サーバを決定する際、ネットワーク上の全ノードの中からランダムで一つ選択し、そのノードをサーバとして設定

する。この手順で、 N 個のサーバを設定し、各ノードは、自身から RTT が最も最小となるサーバにアクセスをする。この際、サーバとなったノードは、サーバとしての機能を果たすため、各サーバへのデータ転送は行わない。この方式を、Rand-N 方式とする。また、Rand-N 方式の効果を示すための比較方式として、Rand-1 方式と Min-1 方式を採用している。Rand-1 方式は、全ノードの中からランダムに一つのサーバを設定する方式であり、Min-1 方式は、全ノードへ最小の転送遅延でデータを転送できる位置にサーバを設定する方式である。上記 3 種類のサーバ配置方式が先行研究で用いられている。[1]

4.2 本研究で提案するサーバ配置方式

前述の 3 種類のサーバ配置方式に加え、本研究では、ランダムに N 箇所へサーバを設置しない新たなサーバ配置方式を提案し、その詳細を図 4 に示す。まず初めに、全ノードへ最小の転送遅延でデータを転送できる位置にサーバを設置する。図 4 では中心の点がそれに該当する。ここまでは、Min-1 方式と同様の設定である。次に、 N 個のサーバを設定する。設定方法として、2 つ目のサーバは、中心の点のサーバと直接接続しているノードの中で最も転送遅延の大きいノードをサーバとして設定する。この場合は、小さい枠に囲まれた点が 2 つ目のサーバに該当する。これを N 回繰り返し、中心サーバの負担を軽減することで、効率よく RTT を削減する方式である。この方式は、Min-1 方式を基準に複数のサーバ位置を決定するので、“Min-N 方式”とする。

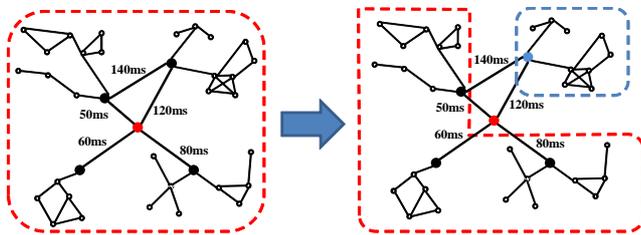


図 4 Min-N 方式

5 シミュレーション

本研究におけるシミュレーション条件を表 1 に示す。このシミュレーション条件は、先行研究の結果と比較を行うため、先行研究で用いられたシミュレーション条件と同設定である。

表 1 シミュレーション条件

シミュレーション	ns-2
ネットワーク数	10
ネットワークのノード数	305
ネットワーク帯域幅 [Mbps]	100
リンク間の伝搬遅延 [ms]	10~150
シミュレーション時間 [s]	90

先行研究では、ルータにおけるキューイング遅延を考慮せずに、シミュレーションを行っていた。なので、その結果は理想的な効果を示していると考えられる。従って、本研究では、その遅延を考慮したシミュレーションを行い、先行研究の結果との比較を行い効果を示す。また、各ノードに一人ずつサービス利用者が居るものとし、サービス利用者とサーバ間の伝送経路は、転送遅延が最小となる経路をダイクストラ法を用いて選択する。各ノードは、サーバ保持者に成り得る十分なコンピュータリソースを所有し、サーバとなる確率は全て等しいものとする。また、サーバに選択されたノードは、データを各ノードへ送受信する役割を持つので、各サーバとのデータ転送を行わないものとする。また、乱数を変更して 10 回シミュレーションを行い、各サーバ位置決定方式で RTT の計測を行いその平均値を求め、比較・評価を行う。

5.1 シミュレーション結果

図 5 に、キューイング遅延を考慮した Rand-N 方式・Rand-1 方式・Min-1 方式における平均 RTT の結果を示す。また、図 5 の縦線は、データの 95%信頼区間を示している。まず Min-1 方式と Rand-1 方式を比較する。Min-1 方式は Rand-1 方式に比べ、大幅に RTT を削減できている点から、ランダムにサーバを配置する効率の悪さを示している。次に、Rand-N 方式に着目すると、サーバ数が増加するに従い、徐々に RTT の削減効率が向上し、サーバ数が 7 の時点で、最も RTT 削減効率が効果的であることを示している。

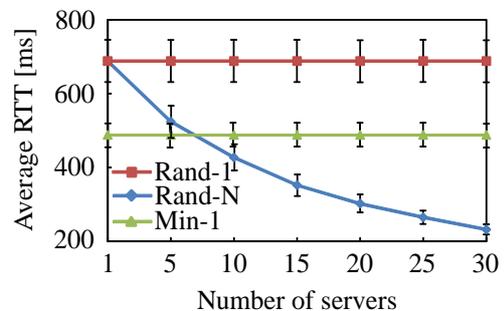


図 5 遅延を考慮したシミュレーションのサーバ数に対する RTT の平均値

図 6 にキューイング遅延を考慮しないシミュレーション結果を示す。また、図 6 の縦線は、データの 95%信頼区間を示している。図 5 と図 6 を比較すると、平均 RTT に差が生じているが、結果のグラフが非常に近似した形を示している。 RTT の差は、キューイング遅延の有無が原因だと考えられる。遅延のない図 6 と遅延のある図 5 の結果が近似していることから、遅延を考慮した先行研究のシステムは、従来のシステムよりも RTT 削減面において優位性があることを示した。

図 7 にクラウド事業者の収益 P を示す。Rand-N 方式は、 I が少ない内は最も P が少ないが、 I が増加する毎に P も増加していき、 $I=6000$ の時点で他 2 方式よりも P が

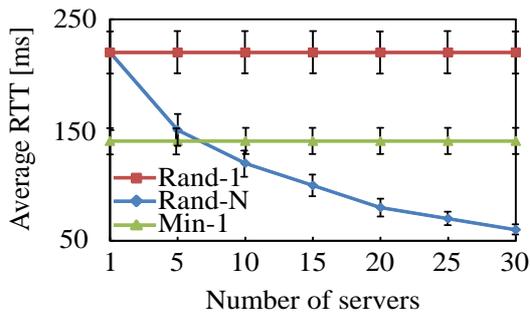


図6 遅延のないシミュレーションのサーバ数に対する RTT の平均値 [1]

多く, $I=8000$ の時点で最大の P を得られる結果を示している。しかし $I=8000$ を超えると徐々に P が減少する。 I の増量がサービス利用者からの収益を上回っていることが原因であると考えられる。従って、適切な I に設定することで P を効率よく得られると考えられる。

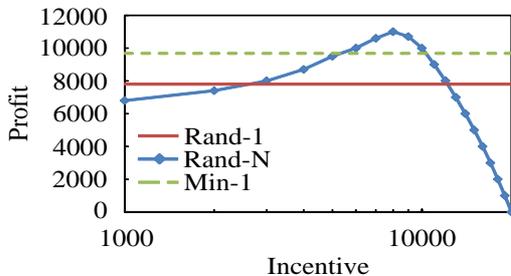


図7 インセンティブに対する収益 ($\alpha=3, WTA=1000$)

図8に、本研究と先行研究のトラフィック量の比較を示す。トラフィック量とは、サーバからノードへデータ転送する際のホップ数の合計とする [1]。まず、両結果の共通点として、Rand-N方式は、 I を増加させる毎にトラフィック量が減少することが挙げられる。本研究の結果の場合、図7で最大の P である $I=8000$ の時点では、Min-1方式の約半分のトラフィック量に抑えている。また、2つの結果は非常に近似した形をしていることから、遅延を考慮した先行研究のシステムが、トラフィック量の面においても従来のシステムより効果があることを示した。

図9に、Min-N方式とRand-N方式の比較を示す。また、図9の縦線は、データの95%信頼区間を示している。Min-N方式は、非常に効率よく RTT を削減できており、Rand-N方式よりも良い効果を示している。従って、ランダムにサーバを配置する際の効率改善が可能である効果を示した。しかしながら、Min-N方式は、常に最良の位置にサーバを配置する必要があるため、これを現実のネットワークで実装する際にサーバ位置の確立が難しい場合があると懸念される。つまり、Min-N方式はシミュレーション上では最もよい結果を得られるが、実際のネットワークで実装するには課題の残るサーバ配置方式であると考えられる。

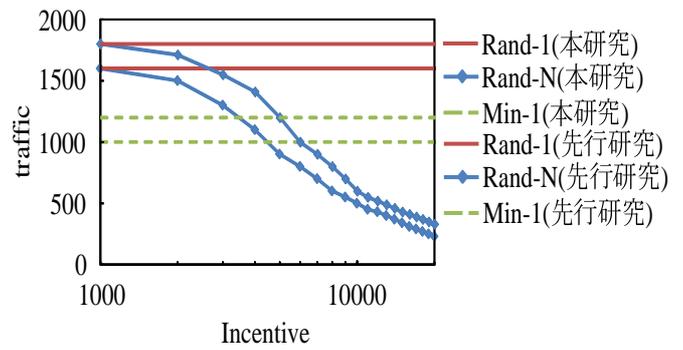


図8 インセンティブに対するトラフィック量の比較

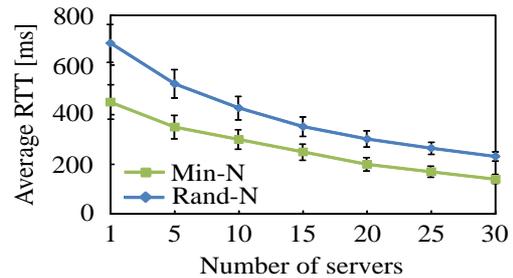


図9 Min-N方式とRand-N方式の RTT 平均値

6 今後の課題

本研究では、先行研究のシステムにて RTT を精密に求めることに着目し、本研究と先行研究の両結果の比較を行った。その比較から、遅延を考慮したシステムでも、 RTT 削減、トラフィック量、収益面において、従来のシステムよりも効果があることを示した。今後の課題として、Min-N方式実装に関する課題改善を挙げる。その解決策として、サーバを設置したい箇所一帯の I を増加させ、サーバの発生を促す、確率の導入が考えられる。また、今回のシミュレーションでは、 α や WTA を固定したが、実際には各ユーザ毎に異なるため、それぞれ変更し、より現実に近い条件下で評価する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 横田健治, 朝香卓也, 高橋達郎, “位置情報を考慮したクラウドサービスシステムの検討,” 信学技報, NS-2010-248, pp.473-478, May 2011.
- [2] E. W. Zegura, K. L. Calvert, and S. Bhattacharjee, “How to Model an Internetwork,” Proceedings of IEEE INFOCOM, Vol.2, pp.594-602, Mar. 1996.
- [3] Georgia Tech Internetwork Topology Models, <http://www.cc.gatech.edu/projects/gtitm/>
- [4] 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, “企業ユーザ向け帯域確保サービスの料金設定法,” 信学技報, NS-2010-90, pp.13-18, Nov. 2010.
- [5] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>