

授業やゼミ向けの画面共有システムの木構造を用いた設計と実装

A Screen Share System using Tree Structure for Seminar and Classwork

平成25年度 学位論文(修士)



琉球大学大学院 理工学研究科
情報工学専攻

谷成 雄

要 目

目次

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 第 1 章 | 序論 | 2 |
| 1.1 | 研究背景と目的 | 2 |
| 1.2 | 本論文の構成 | 3 |
| 第 2 章 | これまでの画面共有システム | 4 |
| 2.1 | RFB プロトコル | 4 |
| 2.2 | TightVNC | 4 |
| 2.3 | 授業やゼミで VNC を使用するときの問題点 | 5 |
| 第 3 章 | 授業・ゼミに向けた画面共有システム TreeVNC の設計 | 6 |
| 3.1 | 木構造を用いた設計 | 6 |
| 3.2 | 表示画面の切替 | 7 |
| 3.3 | マルチディスプレイの対応 | 7 |
| 3.4 | Broadcast と Multicast | 7 |
| 3.4.1 | Braodcast パケットの性質 | 7 |
| 3.4.2 | パケットの分割 | 7 |
| 3.4.3 | 消失したパケットの検出 | 8 |
| 3.4.4 | Acknowledge の設計 | 8 |
| 3.5 | 再接続の再設計 | 8 |
| 第 4 章 | 画面共有システム TreeVNC の実装 | 9 |
| 4.1 | TreeVNC の原理 | 9 |
| 4.2 | TightVNC のアップデートへの対応 | 10 |
| 4.3 | UI の実装 | 10 |
| 4.3.1 | 画面の拡大縮小 | 10 |
| 4.3.2 | マルチディスプレイへの対応 | 11 |
| 4.3.3 | 表示画面の切り替え | 11 |
| 4.4 | 再接続の再実装 | 11 |
| 4.5 | Authentication | 11 |
| 4.6 | Broadcast と Multicast | 12 |
| 第 5 章 | 卒業論文との違い | 14 |
| 5.1 | リファクタリングの容易化 | 14 |

| | | |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 5.2 | UIの拡張 | 14 |
| 5.2.1 | 画面の切り替え | 14 |
| 5.2.2 | 画面の拡大縮小 | 14 |
| 5.3 | マルチディスプレイへの対応 | 14 |
| 第6章 | 画面共有システム TreeVNC の評価 | 15 |
| 6.1 | スケーラビリティ (遅延・フリーズ) | 15 |
| 6.2 | 分木の最適化 | 15 |
| 6.3 | 画面切り替え UI の妥当性 | 15 |
| 6.4 | 再接続 | 15 |
| 第7章 | 結論 | 16 |
| 7.1 | まとめ | 16 |
| 7.2 | 今後の課題 | 16 |
| 7.2.1 | iPad・無線への対応 | 16 |
| | 謝辞 | 17 |
| | 参考文献 | 18 |
| | 発表文献 | 19 |

目 次

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | TreeVNC の構造 | 6 |
| 4.1 | TreeVNC の構造 | 9 |
| 4.2 | 画面更新時に来る可能性のない UpdateRectangle | 11 |
| 4.3 | RawData の構造 | 13 |

表 目 次

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | スループットと CPU 使用率 | 5 |
| 4.1 | ポート一本あたりの通信量 (N はクライアント数、M は Tree の子供の数) . | 10 |
| 4.2 | AuthType | 12 |
| 4.3 | Broadcast と Multicast のテスト | 13 |

第1章 序論

1.1 研究背景と目的

普段授業を行う際、プロジェクタなどの投影機を使用して授業を進める風景をよく目にする。しかし、広い部屋だと後ろの席に座っている生徒が見えにくいなどの不便を感じるものがよくある。もし、授業を受けている生徒の手元にパソコンがあるならば、手元のパソコンに先生の説明しているスライドを表示して授業を進めることでどこの席に座っていても、手元の画面に表示されるので見えづらいという問題は解決される。

VNCを使用すれば、先生のスライドを生徒の手元にあるパソコンに表示することができる。しかし、多人数の生徒が先生のパソコンに同時に接続してしまうと処理性能が落ちて授業の進行に画面がついていかなくなってしまう。この問題は一つのコンピュータに多人数が繋がるときに生じる問題である。更に当研究室では、VNCを使用してゼミを進めている。従来のVNCを使用すると発表者が変わると新しくVNCを立ち上げ直す必要がある。このような手間がなくなるとスムーズにゼミを進めることができる。

本研究では、多人数で画面共有ができるようにクライアントをツリー構造に接続させ、上から順番にデータを流していく方法でVNCサーバに対する負荷を分散させる TreeVNCを作成し、更にゼミなどで使いやすいようにユーザインタフェースの提案と実装を行う。

1.2 本論文の構成

本論文では、第2章でこれまでの画面共有システムについて説明し、その中で使用されているプロトコルについて述べ問題点を挙げる。

第3章では、第2章で挙げた問題点に対して考察を行いTree構造を使用した設計やユーザインタフェースの提案を行う。

第4章では、第3章で設計した木構造を利用したTreeVNCの詳細な設計と実装方法そして、実装時の問題点とその解決方法について述べる。

第5章では、卒業論文で作成したTreeVNCとの違いについて述べる。第6章では、画面共有システムTreeVNCの評価を行い、作成したユーザインタフェースの妥当性について述べる。第7章では、本研究のまとめとこれからの課題について述べる。

第2章 これまでの画面共有システム

2.1 RFB プロトコル

RFB(remote frame buffer) プロトコルとは、画面共有システムなどに用いられている、リモートのグラフィカルユーザーインターフェースにアクセスするためのプロトコルである。ユーザが居る側を RFB クライアント側と呼び、フレームバッファ(画像データ)への更新が行われる側は RFB サーバと呼ぶ。

RFB プロトコルでは、最初にサーバ・クライアント間でハンドシェイクが行われる。ハンドシェイクでは、プロトコルバージョンの確認・接続に対しての認証が行われる。ハンドシェイク後には、クライアントに向けて初期メッセージが送信される。初期メッセージにはフレームバッファの大きさやデスクトップに付けられた名前などが含まれている。

RFB サーバ側はフレームバッファの更新が行われるたびに、RFB クライアントに対してフレームバッファの更新データを矩形で送信し、RFB クライアントのフレームバッファアップデートリクエストに対して返信を行う。

描画データに使われるエンコードが多数用意されており、また独自のエンコードを実装することもできるシンプルなプロトコルである。

2.2 TightVNC

TightVNC(Tight Virtual Network Computing) は RFB プロトコルを用いて作成された、画面共有をする為のオープンソースである。TightVNC はサーバ側とクライアント(ビューア)側に分かれていて、サーバを起動し、クライアントがサーバに接続を行い画面共有を可能とする。圧縮された画像データを扱うことができるので、低速回線環境でも動作できるように設計されている。しかしその分 CPU パワーが必要になる。

2.3 授業やゼミでVNCを使用するときの問題点

VNCを多人数で使用する際サーバに対してクライアントの接続が一極集中してしまうことが問題である。実験としてまず、iMacで複数のPCからVNCをかけ検証してみた。10台接続するとVNCクライアントでの画面がカクカクになり、さらにCPU使用率も跳ね上がっていた。

表 2.1: スループットとCPU使用率

| | スループット (Byte) | CPU 使用率 |
|-----|---------------|---------|
| 1台 | 20M(最大速度) | 55% |
| 48台 | 5M | 100% |

一本の通信網への負荷が高く、サーバのCPUへの負荷が高いというのが問題である。更にゼミで使用することを想定する。従来のVNCをゼミで使用して発表者の画面を配信しようとする場合、発表が切り替わるごとにVNCサーバを立ち上げなおさなければならない。

第3章 授業・ゼミに向けた画面共有システム TreeVNC の設計

3.1 木構造を用いた設計

序論で述べたように従来の VNC ソフトを利用して多人数が同時に接続してしまうと、アプリケーションの処理が遅くなったり停止したりしてしまうことが問題である。そこで、クライアント同士で負荷を分散させることによって、多人数の同時接続を可能にすることができないかと考えた。

負荷分散を行う際、クライアント同士どのようなトポロジを組むのが検討した結果、上から流れてきたデータを下のクライアントへと伝えていくことのできる木構造が良いと考えた。

今回行った設計では、クライアントを木構造に接続させデータを流すためにサーバとクライアントの間にプロキシを設置する方式をとった。プロキシは主にクライアントの管理とサーバから流れてきた画像データの管理を担当する。

木構造で設計したのを (図 3.1) に示す。

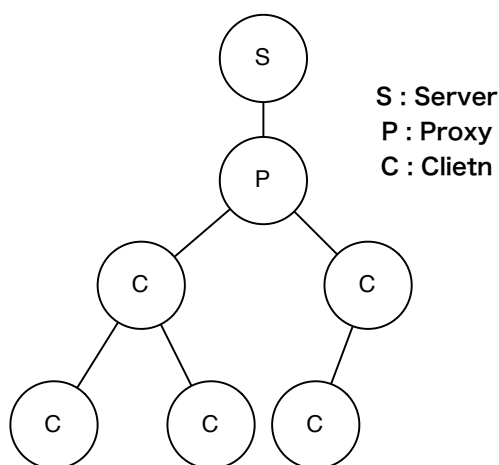


図 3.1: TreeVNC の構造

3.2 表示画面の切替

VNC を使用して画面共有を行う場合、授業などでは講師の画面を共有していれば問題ない。しかし、ゼミなどの発表者が多数いる場合は画面共有の対象を切り替えなければならない。画面共有対象の切り替えを行う場合、発表者ごとにサーバを立ち上げ直さなければならないという問題が発生する。そこで、ユーザ側からプロキシにリクエストを出して、画面共有の対象を切り替える機能が必要になる。

3.3 マルチディスプレイの対応

マルチディスプレイを用いて VNC を行うと、すべてのディスプレイのデータが繋がって表示されてしまう。通常発表などに使用されるディスプレイは一つである。すべての画面のデータを送ってしまうとその分だけ無駄なデータを送っていることになる。そこで、発表用に使用する画面のデータだけを送ることのできるようにディスプレイが指定できるようになることが必要になる。

3.4 Broadcast と Multicast

画像データを配信する際に Broadcast や Multicast を用いて、画像データを送信すると、木構造を構成する必要がなくなり、画像データ送信も一回送信するだけで良くなる。そこで、Broadcast を用いた実装について考察してみた。

3.4.1 Broadcast パケットの性質

Broadcast パケットの性質で大きすぎるデータの送信ができないという性質がある。どの程度の大きさのパケットまで送れるのかをテストしてみた結果 64000byte までだと送信することができることがわかった。もう一つの性質にパケットが消失 (ロスト) しても特定することができないという性質がある。この問題に対しては後述する。

3.4.2 パケットの分割

VNC では画像データが更新される際に矩形単位で更新データを送信する。画面全体の更新やマルチディスプレイの更新などの大きいデータの更新ではどうしてもデータサイズが大きくなってしまふ。Broadcast では、このような大きなデータを受け取った際は、分割して送らなければならない。私が作成している TreeVNC ではプロキシに送られてきた画像データを一旦解凍し、再圧縮してクライアントに送っているため、解凍した後に分割して、64000byte 以下にして圧縮後送信すると良い。

3.4.3 消失したパケットの検出

Broadcast の性質で説明したとおり、Broadcast ではデータが消失したことをクライアントが検出することが出来ない。そこでプロトコルを拡張し、データごとにシリアル番号を振り、連続でない値が来た場合、正しくデータが届いていないと判断することができる。

3.4.4 Acknowledge の設計

データが消失したのを検出した際、どのような対応をするのかが問題になる。シリアル番号を降っているのでプロキシに消失したデータのシリアル番号を指定することで、消失したデータの再送が可能となる。この際、再送に Broadcast を用いると、データの消失が起こるので、消失したデータを再送する際は TCP コネクションを張り送信を行うのが良い。

3.5 再接続の再設計

第4章 画面共有システム TreeVNC の実装

4.1 TreeVNC の原理

TreeVNC がどのような負荷分散を行って負荷がどこにかかっているのか説明する。通常の VNC では、一極集中型でサーバに接続してしまうのでサーバに負荷がかかって性能を低下させたり停止してしまっている。そこでクライアントを木構造に配置させることで、負荷がなくなっているように見える。しかし、実は負荷がスイッチにかかっている消えているわけではない。通常の VNC と TreeVNC の構造を比較した図を (図 4.1) に示す。

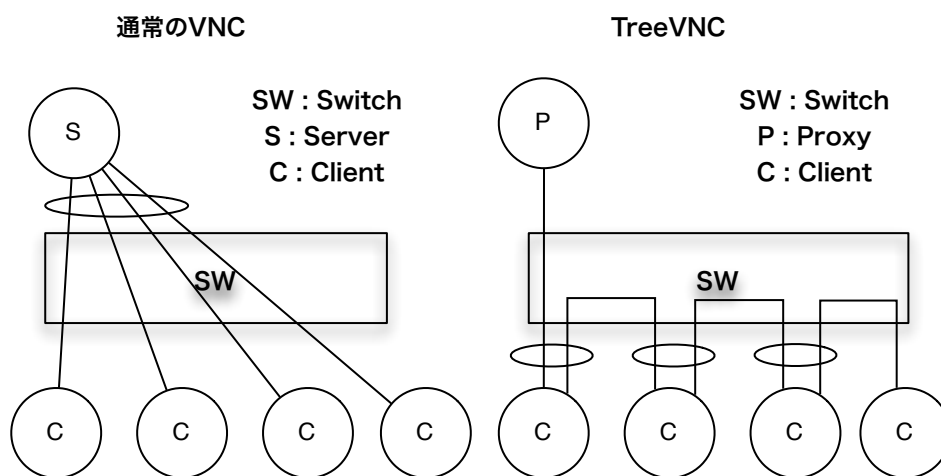


図 4.1: TreeVNC の構造

(表 4.1) はポート一本あたりの通信量である。

表から推察できるように、ポート一本あたりの負荷は通常の VNC の場合はクライアントに比例して増えている。しかし TreeVNC の場合は Tree の子供の数が一定なので、クライアント数に関係なく一定である。

送信する量も通常の VNC の場合クライアント数に比例した量のデータ送信しなければならない。そこで CPU に負荷がかかり性能が低下したり停止したりしている。対して TreeVNC はクライアントが増えても配信するデータは一定なので性能が低下せず使用す

ることができる。

表 4.1: ポート一本あたりの通信量 (N はクライアント数、M は Tree の子供の数)

| | 通常の VNC | TreeVNC |
|-----|-------------------|-------------------------|
| 通信量 | $N * \text{データ量}$ | $(M + 1) * \text{データ量}$ |

4.2 TightVNC のアップデートへの対応

TightVNC は現在も開発が続いていて、アップデートされている。このアップデートに対応するために、私が作成している TreeVNC にも対応させる必要がある。

卒業論文後から私は 2 種類のアップデートを行った。2 種類のアップデートの対応について説明する。

まず、はじめに行ったアップデートは Version が 1.x から 2.x へ変わるメジャーアップデートと言われるアップデートである。

このアップデートでは、パッケージ構成が追加され、元のソースコードがほとんど残っていない状態であった。このようなアップデートに対応するには、Version 2.x 系の TightVNC を手元に持ってきて、作成した TreeVNC の機能を一つずつ移行していく必要がある。このソースコードのアップデートに加えソースコードの質を高めるために AbstractFactory パターンを使用してリファクタリングを行った。リファクタリングとは、将来の仕様変更に対応できるようにソースコードの手直しを行うことである。

4.3 UI の実装

授業やゼミなどで使用していて、必要な機能が出てきたので実装を行った。

4.3.1 画面の拡大縮小

4.3.2 マルチディスプレイへの対応

VNCでは画面の情報を矩形型にして送信する。もし複数のディスプレイが存在する場合すべてのディスプレイの情報が送られてくる。しかし、発表などに使用するディスプレイは一つである場合が多い。

必要なディスプレイの画像が一つなのに、すべてのディスプレイのデータを送ると無駄なデータが発生する。そこで、ディスプレイを指定して、その画像だけ送信する機能を追加することで、無駄なデータ送信を省ける。画像データがどのように送られてくるのかを調べてみたところ、2つディスプレイがあるとすると、両方にまたがったアップデートの画像更新が来ることがない(図4.3)。

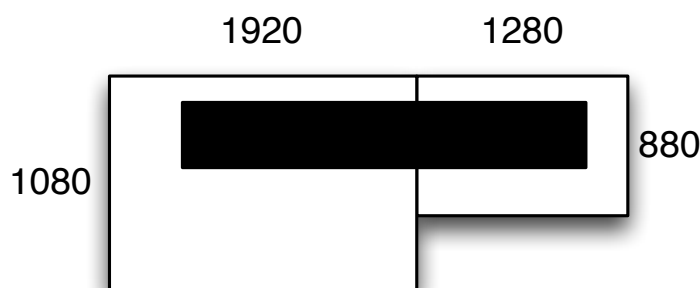


図 4.2: 画面更新時に来る可能性のない UpdateRectangle

4.3.3 表示画面の切り替え

4.4 再接続の再実装

4.5 Authentication

プロキシがサーバに対して VNC 接続を行う際、ハンドシェイクが必要となる。ハンドシェイクの手順として、まず始めにプロキシがサーバに接続を行うと、サーバがサポートする最新のプロトコルバージョンが送られてくる。プロキシはサーバから送られてきたプロトコルバージョン以下の使用できるバージョンをサーバに対し送る。現時点で公開されているプロトコルバージョンは 3.3、3.7、3.8 だけである。今回 TreeVNC は 3.855 というバージョンを用意して 3.855 が来ると TreeVNC を使用するようにした。

プロトコルバージョンが決定すると、サーバ及びクライアントは、その接続で使用されるセキュリティに合意しなければならない。バージョン 3.7 移行ではサーバは自身のサポートするセキュリティタイプの一覧を提示する。クライアントのサポートする有効なセ

セキュリティタイプを少なくとも一つサーバが提示した場合、クライアントはその接続上で使用されるセキュリティタイプを表す単一バイトを送り返す。

登録されているセキュリティタイプの一例として (表 4.2) のようなものがある。

表 4.2: AuthType

| 値 | 名称 |
|----|------------|
| 0 | Invalid |
| 2 | None |
| 5 | RA2 |
| 18 | TLS |
| 21 | MD5 ハッシュ認証 |

MACOSX SnowLeopard で起動している VNC サーバに接続するときには MAC 専用の認証の値 35 がありこれでパスワード認証を行うことができていた。

しかし MACOSX Lion でパスワード認証を行おうとすると、MACOSX Lion にしてパスワード認証ができなくなったので、別の認証方法で認証を行うことにした。

調べてみると MACOSX はが返してくる認証番号は [30, 31, 32, 2, 35] がある。32 はサーバに対して画面要求の認証を求めるタイプの認証であることがわかった。この認証を用いるとサーバに対してプロキシが接続する際にサーバ側に確認画面が出るようになる。サーバ側がこれを容認すると認証が成立する。

4.6 Broadcast と Multicast

4 章で述べたとおり、Broadcast を使用する場合一回に送信するパケットのサイズを 64000byte 以下にしなければならない。もし、1920*1080 のサイズの画像データを送信する際、約 600 万 byte(1920*1080*3) となってしまう。これでは送信することができないのでデータを分割し 64000byte 以下にして送信しなければならない。

作成した TreeVNC では、サーバから受け取った画像データをプロキシが一旦解凍して、再圧縮し、クライアントたちに送信するという方式を取っている。

一旦解凍した後は RawData となるのでデータを分割することができる。TreeVNC では ZRLE エンコーディングを使用して、これを解凍すると左から右へ上から下への順の 64*64 のタイル郡の RawData となる。

解凍された RawData を図 4.3 に示す。

ひとまずテストで、4.1 のように 2 列づつに分割して送信する書いたてみたが、毎回バッファをコピーして送っているため画面共有に問題が出るくらい処理が遅くなってしまった。その他にも、Broadcast と Multicast でどのくらいパケットロスするのもテストしてみた。

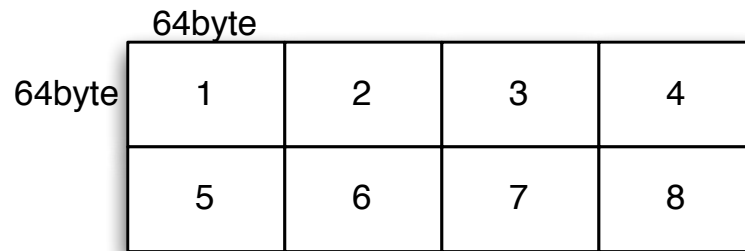


図 4.3: RawData の構造

Broadcast と Multicast を用いてそれぞれの byte 数を 100packet づつ送信しパケットロス率を表したのが表 4.3 である。

表 4.3 にあるように Multicast を用いても 4000byte を 100packet 送信すると 37%もパケットロスしてしまう。

表 4.3: Broadcast と Multicast のテスト

| | 256byte | 4000byte |
|------------|---------|----------|
| Broadcasst | 47% | 87% |
| Multicast | 0% | 37% |

結果として、データ分割の処理が重いかつ予想以上のパケットロス率という結果を受け、Braodcast や Multicast を用いた実装ではなく、従来通り TCP コネクションで通信を行うことにした。

第5章 卒業論文との違い

5.1 リファクタリングの容易化

5.2 UIの拡張

5.2.1 画面の切り替え

5.2.2 画面の拡大縮小

5.3 マルチディスプレイへの対応

第6章 画面共有システム TreeVNC の 評価

- 6.1 スケーラビリティ (遅延・フリーズ)
- 6.2 分木の最適化
- 6.3 画面切り替え UI の妥当性
- 6.4 再接続

第7章 結論

7.1 まとめ

7.2 今後の課題

7.2.1 iPad・無線への対応

謝辞

本研究を行うにあたり, ご多忙にも関わらず日頃より多くの助言, ご指導をいただきました河野真治助教授に心より感謝いたします.

研究を行うにあたり, 並列計算環境の調整, 意見, 実装に協力いただいた大城信康さん, 谷成雄さん, 並列信頼研究室の全てのメンバーに感謝いたします.

最後に, 大学の修士まで支えてくれた家族の方々に深く感謝します.

参考文献

- [1] 谷成雄, 大城信康, 河野真治. Vnc を用いた授業用画面共有システムの設計・開発. 情報処理学会, may 2012.
- [2] Fay Chang and Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, Wilson C. Hsieh, Deborah A. Wallach, Mike Burrows, Tushar Chandra, Andrew Fikes, and Robert E. Gruber. Bigtable : A distributed storage system for structured data.

発表履歴

- VNC を用いた授業用画面共有システムの設計・開発,
谷成雄, 大城信康, 河野真治 (琉球大学),
第 121 回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, May, 2012