

# TCP 並列接続を用いたプログレッシブダウンロード における順序制御方式の実装

広島市立大学 情報科学部 情報工学科

1420180 平城 光雄

概要

概要

| ページ<br>数 | 提出日 | 指導教員<br>受付印 | 指導教員名 |
|----------|-----|-------------|-------|
|          |     |             | 舟坂 淳一 |

# **Implementation of sequence control method in progressive download using TCP parallel connection**

**Department of Computer and Network Engineering  
Faculty of Information Sciences  
Hiroshima City University**

1420180 Mitsuo Heijo

**Abstract**

gaiyo

# TCP 並列接続を用いたプログレッシブダウンロード における順序制御方式の実装

## 目次

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 第 1 章 | はじめに                        | 1  |
| 第 2 章 | 関連研究                        | 2  |
| 2.1   | プログレッシブダウンロード方式             | 2  |
| 2.2   | 複数経路を用いた通信方式                | 2  |
| 2.3   | 複数の TCP 接続を用いたプログレッシブダウンロード | 3  |
| 2.4   | 重複再要求                       | 4  |
| 2.5   | タイマ駆動を用いた要求方式               | 5  |
| 2.5.1 | 方針の違い                       | 5  |
| 2.5.2 | 概要                          | 5  |
| 第 3 章 | 提案方式                        | 6  |
| 3.1   | 遅延要求方式                      | 6  |
| 3.1.1 | 遅延要求について                    | 6  |
| 3.1.2 | 固定遅延方式                      | 7  |
| 3.1.3 | 差分計測を用いた遅延予測方式              | 7  |
| 3.1.4 | 接続使用回数比を用いた遅延予測方式           | 7  |
| 3.2   | 重複再要求方式                     | 7  |
| 3.2.1 | バッファ内非有効ブロック数依存方式           | 7  |
| 3.2.2 | 非有効ブロック受信回数依存方式             | 7  |
| 第 4 章 | 実装評価                        | 8  |
| 4.1   | 提案方式の評価                     | 8  |
| 4.1.1 | テストベッドでの評価                  | 8  |
| 4.1.2 | 実ネットワークでの評価                 | 8  |
| 第 5 章 | 動画配信サーバーへの適用例               | 10 |
| 5.1   | プロキシでの実装                    | 10 |
| 第 6 章 | 今後の課題                       | 11 |
|       | 謝辞                          | 12 |
|       | 参考文献                        | 13 |

# 第1章 はじめに

はじめに

## 第2章 関連研究

本章ではまず、動画配信方式の一つであるプログレッシブダウンロードについて述べる。

### 2.1 プログレッシブダウンロード方式

ネットワークの大容量化, 高速化に伴い, Youtube[] や Netflix[] などの動画配信サービスの利用が増加している. 動画配信サービスには UDP を利用したストリーミング, TCP を利用したプログレッシブダウンロードの2種類がある. アプリケーションプロトコルとして HTTP を用いるプログレッシブダウンロードは特別なソフトウェアを必要とせず, ブラウザだけで視聴することができるため, 近年広く普及してきている. また, プログレッシブダウンロードは分割順次ダウンロードとも呼称される. プログレッシブダウンロードの動作概要は, まず, 1つのファイルを複数のあるサイズのブロックに分割する. 次に, クライアントは分割されたブロックをサーバーに対してリクエストする. このリクエストの方法には HTTP の Range Header に分割のための情報を含める方式や HTTP の GET リクエストのクエリストリングに分割のための情報を含める方式などがある. サーバーはリクエストに応じたブロックを送信する. これを繰り返すことで, 1つのファイルを取得できる.

### 2.2 複数経路を用いた通信方式

複数の IP 接続を束ねて上位層に機能を提供することを目的としたものの一つの MPTCP[] などが提案されている. 複数の NIC を束ねることで上位層からは1つの仮想的なインターフェースとして扱うことができ, アプリケーションを限定しない汎用性がある一方で, 各 OS レベルでの実装が必要となるので実装コストは高い.

## 2.3 複数の TCP 接続を用いたプログレッシブダウンロード

ネットワークの発展に伴い、大容量のデータを TCP を用いて、通信する機会が増加しつつある。TCP には輻輳回避のためにウィンドウ制御が存在する。このため、ウィンドウサイズを遅延で割ったものが単一 TCP 接続における理論最大性能となる。近年ではコンテンツの大容量化が進んでおり、より効率よくコンテンツをダウンロードするためにアプリケーション層から複数の TCP 接続を用いる手法が提案されている。図 2.1 は複数の TCP を接続を用いたプログレッシブダウンロードの分割されたブロックの受信の様子を示した例である。複数のブロックを性能の異なる別々の TCP 接続に対して要求を行う場合、ブロックの再生順番と受信完了順序が一致しない可能性がある。図 2.1 が示すように、先頭から連続するブロック 1 及びブロック 2 は再生可能である (有効ブロック) が、それ以外のブロック 3 及びブロック 5 は未受信のブロックを間に挟んでいるため再生することはできない (非有効ブロック)。複数の TCP 接続を束ねることでグッドプットを向上させても、受信ブロックが有効ブロックでない限りは応答性は低下してしまい、動画の再生が停止するなどしてユーザー体験は悪化することが予想できる。

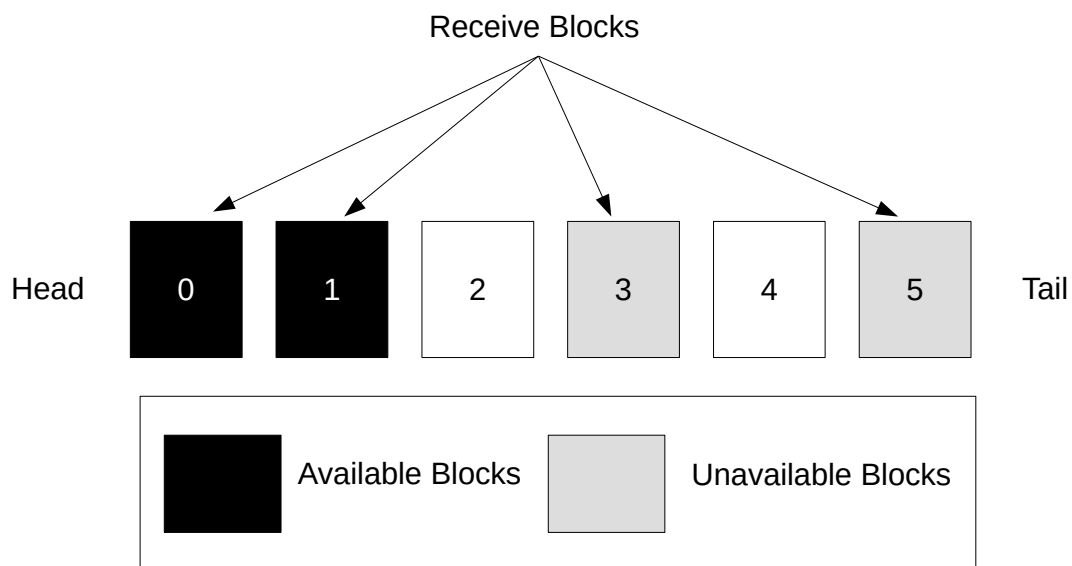


図 2.1: ブロックの有効性

## 2.4 重複再要求

2.3 節で述べた性能差のある複数の TCP 接続を用いたプログレッシブダウンロードにおいて起こりうる問題点を，アプリケーション層での制御で解消するために提案されている方式として，重複再要求 [1] がある. この方式では未取得ブロックより後に合計  $N$  個以上 (有効・非有効は問わない) のブロックがあれば，未取得ブロックをその未取得ブロックを要求した TCP 接続とは別の TCP 接続へ再要求を行う. 図 2.2 にその模式図を示す. 図 2.2 の例では重複再要求を行い，ブロック 2 を取得することで少なくともブロック 3 が非有効ブロックである状態を解消することができる. この操作を受信イベントが発生するたびに繰り返すことで，バッファ上の非有効ブロックの個数の増加を抑制することができ，応答性の向上が見込まれる.

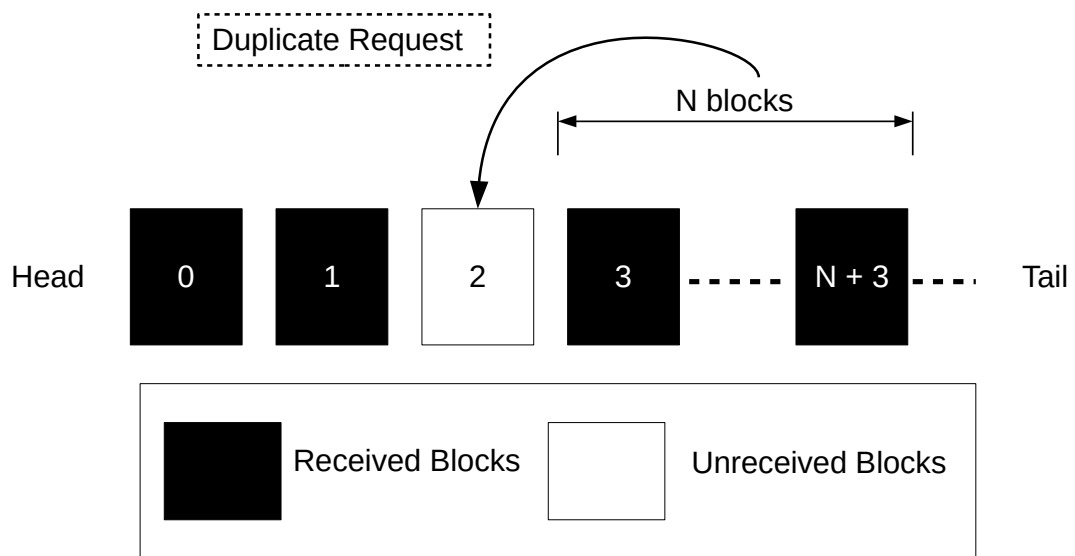


図 2.2: 重複再要求の模式図

## 2.5 タイマ駆動を用いた要求方式

### 2.5.1 方針の違い

2.3 節で述べた複数の TCP 接続を用いたプログレッシブダウンロードにおいて起こりうる問題点を解消するために提案されている方式として、タイマ駆動型要求方式 [ ] がある。2.4 節で述べた重複再要求方式は、ブロックの遅延に対して後から対処するという方針であるが、本節で述べるタイマ駆動を用いた要求方式は、TCP 接続の性能差を予め考慮することで、到着順序逆転の発生そのものを抑制しようという方針である。

### 2.5.2 概要

タイマ駆動



## 第3章 提案方式

本章では性能差のある複数の TCP 接続を並列的に利用する際に生じるいくつかの問題点を解消するためのアルゴリズムを実装した提案方式について述べる。

また、実際に複数の TCP 接続を用いた動画のプログレッシブダウンロードをプログラムに実装する際に考慮すべき点がある。プログレッシブダウンロードの実装は大きく分けて動画ファイルのダウンロードとバイナリファイルをデコードして再生という2つのセクションに分かれている。既存のウェブブラウザや VLC<sup>[1]</sup> 等のネットワークメディア再生機能付きの動画プレイヤーソフトの中ではこの2つのセクションは1つのプログラムから高度に同期をとりながら同時並列的に制御されている。しかし、本研究では実装の難易度と主としてダウンロードセクションについて論じるためにこれら2つのセクションは分離している。

### 3.1 遅延要求方式

3.1.1 節では遅延要求の概要について述べる。3.1.2 節では各接続の帯域が既知であるという仮定に基づいて、TCP 接続の性能差を入力し、ブロックの要求位置を変化させることで到着順序逆転の抑制する方式について提案する。3.1.3 節では未知のネットワーク状況に対応するために TCP 接続の使用回数の差分に注目しブロックの遅延度を推測する方式について提案する。3.1.4 節ではそれぞれの TCP 接続の使用回数の比からブロックの遅延度を予測する方式について提案する。

#### 3.1.1 遅延要求について

この章で定義する遅延要求についての概要を述べる。まず、確立した TCP 接続群の中で性能の最も高い TCP 接続には、最も若番のブロックを要求する。続いて、比較性能の低いある TCP 接続に関して、ブロック要求の送信からブロックの到着までの間隔を算出し、その算出値に基づいてその時点での最も若番のブロックではない後ろのブロックを要求する。図 3.1 にその模式図を示す。この例では、接続 A と接続 B の間には

N 倍 (N は 1 以上) の性能差が存在し, 接続 A のブロック到着時刻間隔を  $T[\text{sec}]$  と仮定する. この条件より接続 B がブロックを 1 個取得する間に接続 A はブロックを N 個取得取得することが予想できる. よって時刻  $t=0$  に接続 A にはブロック番号 X を要求し, 接続 B にはブロック番号  $X+N$  を要求する.  $t=T$  には接続 A にブロック番号 X が到着し, 続いて接続 A がにブロック番号  $X+1$  を要求する. この動作を繰り返した結果, 時刻  $t=T*N$  において接続 A には  $X+N-1$  より若い番号のブロックが到着済みであり, 接続 B はブロック番号  $X+N$  の取得が完了する. よってブロックの到着順序逆転を抑制することができる. 3.1.2 節ではあらかじめ各接続間の性能差が既知であるとして, その値にしたがって遅延要求を行う方式について述べる. 3.1.3 節では各接続ごとにブロック到着間隔を逐次測定することで性能差を算出し, その値にしたがって遅延要求を行う方式について述べる. 3.1.4 節では各接続の使用回数から性能差を算出し, その値にしたがって遅延要求を行う方式について述べる.

図 3.1: 遅延要求のの模式図

### 3.1.2 固定遅延方式

固定遅延方式では。

### 3.1.3 差分計測を用いた遅延予測方式

### 3.1.4 接続使用回数比を用いた遅延予測方式

## 3.2 重複再要求方式

### 3.2.1 バッファ内非有効ブロック数依存方式

### 3.2.2 非有効ブロック受信回数依存方式

## 第4章 実装評価

### 4.1 提案方式の評価

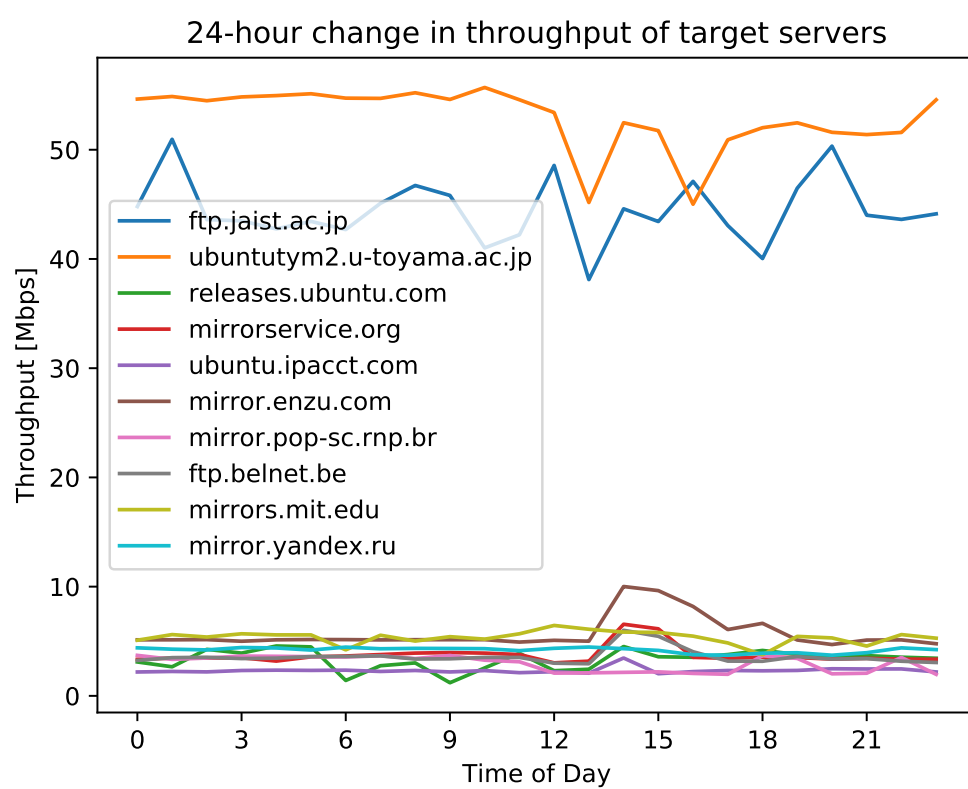
#### 4.1.1 テストベッドでの評価

#### 4.1.2 実ネットワークでの評価

実ネットワークでの評価にあたり Ubuntu のパブリックミラーサーバーを利用した.  
使用したサーバー群

| ホスト                       | 組織                   | 国  |
|---------------------------|----------------------|----|
| ftp.jaist.ac.jp           | JAIST                | JP |
| ubuntutym2.u-toyama.ac.jp | Univercity of Toyama | JP |
| releases.ubuntu.com       | Canonical            | GB |
| mirrorservice.org         | University of Kent   | GB |
| ubuntu.ipacct.com         | IPACCT               | BG |
| mirror.enzu.com           | Enzu Inc.            | US |
| mirror.pop-sc.rnp.br      | PoP-SC               | BR |
| ftp.belnet.be             | Belnet               | BE |
| mirrors.mit.edu           | MIT                  | US |
| mirror.yandex.ru          | Yandex               | RU |

参考 各サーバーの 24 時間の性能の時間変化



## 第5章 動画配信サーバーへの適用例

### 5.1 プロキシでの実装

## 第6章 今後の課題

今後の課題として, 以下が挙げられる.

- 実際のユーザー体験を考慮した評価
- タイマ駆動要求方式の実装との比較

## 謝辞

本研究の機会を与えて頂き，多くの御指導，および御助言を賜りました舟坂 淳一准教授に深甚なる謝意を表します．また，その他多くの御助言を頂きました諸氏に心より感謝致します．

## 参考文献

[1] test