

修士論文

題目

リフレッシュ遅延型の低遅延符号化方式  
に適するレート制御法の研究

指導教員

近藤 利夫 教授

2011 年

三重大学大学院 工学研究科 情報工学専攻  
計算機アーキテクチャ研究室

井村 卓矢 (409M503)



## 内容梗概

近年の動画像符号化技術の進歩による圧縮率の向上に対し、遅延時間に関しては圧縮率向上の犠牲となりほとんど低減できていない。遅延の要因となる従来方式 IDR のリフレッシュ構造を見直した符号化方式 GDR が開発されたが、効果は十分でなく、即時の応答が不可欠な分野への導入は進んでいない。

そこで当研究室では、リフレッシュの遅延を許容することで遅延低減をはかる新たな符号化方式 DIDR 及び DGDR を開発し、低遅延による符号化が可能であることを示してきた。しかし、符号化効率の面でいまだ十分な性能を引き出せておらず、画質の低下なく遅延を低減できることは示せていない。

本研究では、符号化効率低下の原因となっている各ピクチャへの符号量割り当てを見直し、DIDR や DGDR に適したレート制御法を提案した。DIDR 用の符号量割り当て法は、DIDR においてリフレッシュの目的で使用される R ピクチャに割り当てる符号量を削減し、その後の P ピクチャに割り当てる符号量を増加させる手法である。また、DGDR 用の符号量割り当て法は、リフレッシュのためのイントラスライス部分に割り当てる符号量を削減し、それ以外の表示用ピクチャに割り当てる符号量を増加させる手法である。

これらを H.264 の参照ソフトウェア上に実装し、遅延時間と画質の両方について既存の低遅延符号化方式 GDR と比較した。その結果、DIDR では遅延が低減される一方で無視できない画質の低下が生じたが、DGDR ではほとんど画質の低下なく遅延低減を実現することができ、提案手法の有効性を示すことができた。

# Abstract

Compression ratio is improved by the progress of recent video encoding technology, however the delay can hardly decrease. Encoding method GDR which reviewed refreshment structure of conventional method IDR becoming the factor of delay was developed, however this performance are not enough.

Therefore, new encoding method DIDR and DGDR which measured delay reduction by permitting the refreshment delay were developed, and showed that the low delay encoding was possible in this laboratory. However, we cannot show that can reduce delay without degrading image quality.

In this research, the auther proposed rate control method for DIDR and DGDR by review bit allocation to each picture. The auther let the bit amount of R-picture decrease and the bit amount of P-picture increase for DIDR, and let the bit amount of intra slice decrease and the bit amount of B-picture increase for DGDR.

The auther compared DIDR or DGDR with low delay encoding method GDR about both delay and image quality. As a result, in DIDR, degradation of image quality was not negligible though delay became reduced. However, in DGDR, I can reduce delay without degading image quality and show the effectiveness of the proposed technique.

## 目次

1	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	研究内容	2
2	従来の符号化方式とその問題点	3
2.1	標準的符号化方式 IDR	3
2.2	IDR の問題点	4
2.3	低遅延符号化方式 GDR	6
2.4	GDR の問題点	6
2.5	新たな符号化方式に求められるもの	7
3	低遅延符号化方式 DIDR, DGDR とレート制御における課題	8
3.1	DIDR の原理	8
3.2	DGDR の原理	10
3.3	レート制御における課題	11
4	DIDR, DGDR に適するレート制御法の提案	12
4.1	レート制御における符号量割り当て	12
4.2	DIDR 用符号量割り当て	12
4.3	DGDR 用符号量割り当て	13
5	性能評価	14
5.1	評価方法	14
5.2	評価結果	15
6	おわりに	17
	謝辞	18
	参考文献	19

## 目 次

2.1 IDRの動作 . . . . .	3
2.2 画面リフレッシュの必要性 . . . . .	4
2.3 GDRの動作 . . . . .	6
3.4 DIDRの動作 . . . . .	8
3.5 DGDRの動作 . . . . .	10

## 表 目 次

5.1 評価の条件 . . . . .	14
5.2 DIDR と GDR の比較 . . . . .	16
5.3 DGDR と GDR の比較 . . . . .	16

# 1 はじめに

## 1.1 背景

近年、動画像符号化方式の進歩により圧縮率は着実に向上しているものの、遅延時間に関しては圧縮率向上の犠牲になり、増加の傾向すらある。

その結果、遅延時間の増加によって様々な応用分野への導入が困難となっている。例えば、テレビの掛け合い中継では、遅延時間が増加すると互いの会話がかみ合わなくなり、中継が成り立たなくなってしまう。ロボットアームの遠隔操作では、画像の認識から実際にアームを動かすまでの遅延が大きいと、使用者が思った通りの正確な動作を実現できない。他にも、電車のドアの開閉を監視するカメラは、飛び込み乗車のような急な乗客へのとっさの対応のため、さらに遅延を低減する必要がある。

この遅延増加の最も大きい要因となっているのが、デコーダバッファの容量増大である。デコーダバッファは、各フレームの符号量のばらつきを吸収するため受信側に設けられる。各フレームにはその複雑さや動きから符号量を割り当てているが、従来の符号化方式である IDR では、I、P、B ピクチャという 3 種類のフレームの中でも、リフレッシュと表示の役割を同時に担う I ピクチャの符号量は最も大きい。受信側の処理において、この符号量の大きい I ピクチャの到着を待つために、デコーダバッファの容量は増大し、遅延が増加する。

このバッファ遅延の主因である I ピクチャの符号量の大きさに注目した低遅延符号化の 1 つに、GDR がある。GDR では、I ピクチャを垂直方向に均等に分割したイントラスライスとして送信し、ピクチャを巡回するようにリフレッシュする。それによって各フレームの符号量のばらつきを抑えるというものである。この手法は、低遅延という特性からテレビ電話等リアルタイムでの通信に利用されているが、イントラスライスの符号量のばらつきからくる遅延の増加や巡回リフレッシュノイズなどの問題を抱えており、新たな符号化方式の開発が期待されている。

## 1.2 研究内容

これまでの流れを受け,当研究室ではさらなる遅延低減と画質改善を求め,オリジナルの符号化方式 DIDR 及び DGDR を開発した.

DIDR は IDR をベースに開発されているが, IDR とは違って I ピクチャを使用せず, その代わりとして表示を P ピクチャで行い, 画面のリフレッシュにはこの P ピクチャをイントラ符号化した R ピクチャを使う. このとき, リフレッシュ用の R ピクチャをバッファのオーバーフロー時に送信し, R ピクチャ用のバッファをデコーダバッファとは別に用意することによって表示用のデコーダバッファのサイズを縮小する.

また, DGDR は GDR をベースに開発されているが, GDR とは違いリフレッシュのためのイントラスライス部分をリフレッシュ用スライスと表示用スライスとして二重符号化し, リフレッシュ用スライスをバッファのオーバーフロー時に送信することで符号量のばらつきを抑える.

これらは, ともにリフレッシュのわずかな遅れが許容できることに着目した手法であり, バッファのオーバーフロー時にリフレッシュ用のピクチャまたはスライスを送出することで符号量のばらつきを抑制し, GDR 以上の遅延低減が見込まれる. しかし, DIDR や DGDR はその構造上符号化効率の面で不利になるため, 画質の低下なく遅延が低減できることをいまだ示せておらず, 既存の符号化手法に対する実使用条件下での優位性も実証されていない.

本研究では, 符号化効率低下からくる画質低下への解決策として各ピクチャへの符号量割り当てを見直し, DIDR や DGDR に適するレート制御法を提案することで, 遅延低減と画質改善の両立を目指した. 評価段階では, H.264 の参照ソフトウェアを元に DIDR 及び DGDR を実装し, 提案するレート制御法を実際にこれらの符号化方式に組み込み, 遅延時間と画質の両方に関して評価を行った.



## 2 従来の符号化方式とその問題点

### 2.1 標準的符号化方式 IDR

#### ➤ IDR (Instantaneous Decoder Refresh)

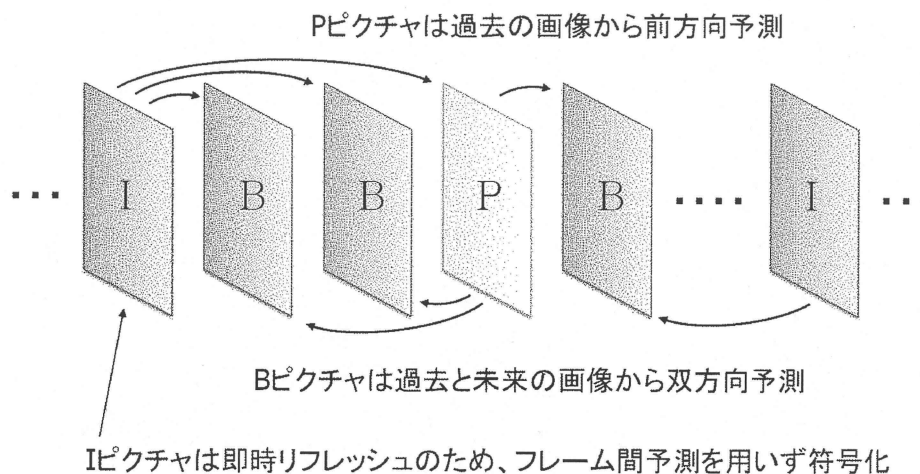


図 2.1: IDR の動作

IDR は I ピクチャ, P ピクチャ, B ピクチャの 3 種類のピクチャを使用する符号化方式の 1 つである. 過去や未来の画像より予測ブロックを参照するフレーム間予測を用いることで符号量の削減を行う P ピクチャ及び B ピクチャに対して, I ピクチャはフレーム間予測を用いずにイントラ符号化を用い, 画面全体の即時リフレッシュを可能にしている.

各ピクチャの符号化方法についてさらに詳しく述べると, P ピクチャは過去の I もしくは P ピクチャを参照画像とする前方向予測を用いて符号化する. B ピクチャは過去と未来 2 つの I もしくは P ピクチャを参照画像とする双方向予測を用いて符号化する. そして, I ピクチャは画面表示の役割以外にも画面のリフレッシュを可能にするため, フレーム間予測を用いずにフレーム内で符号化を行う.

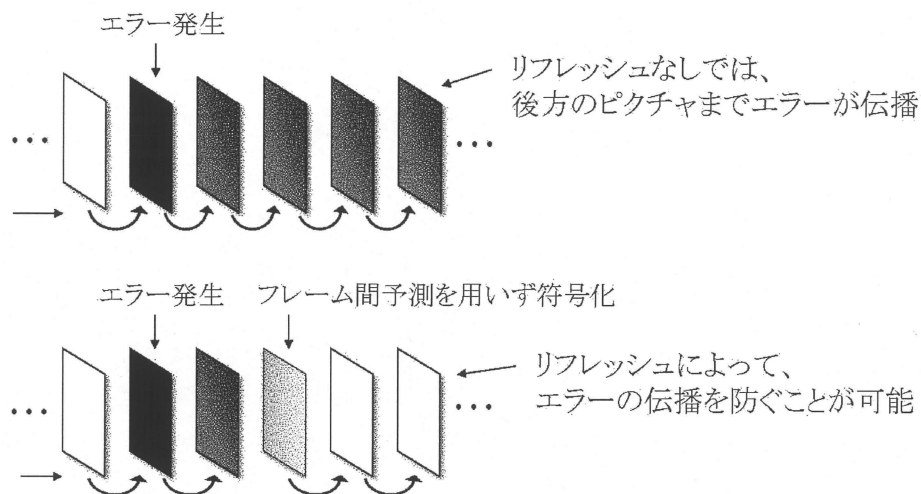


図 2.2: 画面リフレッシュの必要性

リフレッシュとは、連続する画像データ間のエラーの伝播を防ぐ機能である。PピクチャやBピクチャはフレーム間予測を用いて符号化するため、もしこのデータの伝送中にエラーが起こった場合、これを参照する他のピクチャにまで延々とエラーが伝播してしまう。そこで、他のピクチャからの予測符号化に頼らないイントラ符号化画像を一定の間隔ごとに挿入することでエラーの伝播を防ぐ。これが画面のリフレッシュである。

ここで、圧縮率について述べると、Bピクチャは双方向予測を用いて符号化するため圧縮率は最も高くなり、次に前方向予測を用いるPピクチャが続く、イントラ符号化を行うIピクチャの符号量は3種類のピクチャの中でも特に大きくなる。

## 2.2 IDRの問題点

IDRの問題点として指摘されるのが、その遅延時間である。IDRにおける遅延の原因には主に以下の3つが挙げられる。

<符号化、復号化の処理にかかる遅延>

これは、文字どおり画像の符号化や符号化の処理に要する時間である。

#### <画像の並び替えにかかる遅延>

通常 IDR では I ピクチャ, P ピクチャ, B ピクチャの 3 種類のピクチャを使用する. この時, B ピクチャは過去の画像と未来の画像の双方を参照画像とするため, 参照する未来の画像の後でないと符号化もしくは復号化できない. そのため, 時系列順から実際に符号化, 復号化できる順への並び替えが必要となる. この並び替えが遅延の原因の 1 つとなる.

#### <デコーダバッファによる遅延>

ピクチャの受信側では各ピクチャの符号量の差などから起こる到着時刻の変動を吸収するため, 符号化画像を一旦デコーダバッファに蓄積する. 中でも I ピクチャは他のピクチャに比べ符号量が非常に大きいので, バッファサイズ増加の主因となっている. デコーダバッファへのデータ蓄積後, 画像を表示する間隔は一定となるのが望ましいので, I ピクチャの転送にかかる時間に合わせると, それだけ遅延も増加することになる. これが, デコーダバッファの遅延, バッファ遅延と呼ばれるものである.

一般的に, 符号化・復号化にかかわる遅延時間の中でこのバッファ遅延が占める割合は最も大きい. 従って, 遅延低減にはバッファ遅延の主因とも言える I ピクチャの符号量の大きさが遅延要因とならないようなアプローチが必要となる.

## 2.3 低遅延符号化方式 GDR

### ➤ GDR (Gradual Decoder Refresh)

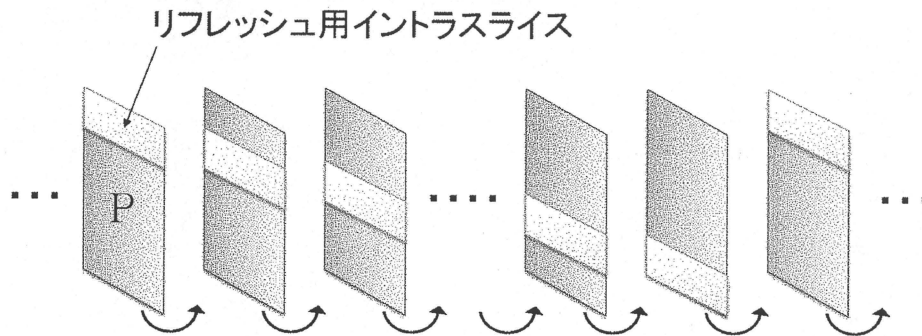


図 2.3: GDR の動作

GDR とは, IDR において遅延の要因となっているデコーダバッファ遅延を低減する符号化方式の 1 つである。

GDR ではピクチャを P ピクチャとして符号化する。この P ピクチャの一部を, リフレッシュ用に I ピクチャの均等分割に相当するイントラ符号化する。数ピクチャかけてこのスライスにピクチャ内を端から端まで巡回させることで, 画面のリフレッシュを行う。

画面のリフレッシュを I ピクチャではなくイントラスライスによって実現し, 符号量の大きな偏りを抑えることで, バッファ遅延を低減することができる。

## 2.4 GDR の問題点

イントラスライスによって遅延低減を可能にした GDR であるが, そのイントラスライス自体の符号量のばらつきが問題点の一つとして挙げられる。画像によってはイントラスライスごとの符号量にばらつきが出るため, これが新たな遅延増加の原因となってしまう。またそれだけでなく, 表示用の P ピクチャとリフレッシュ用のイントラスライスの画質の差に

よって、ピクチャのリフレッシュ部分が目立つ巡回リフレッシュノイズの発生も起こりうる。

## 2.5 新たな符号化方式に求められるもの

現状の符号化方式では、低遅延と高画質の両立を理想としながらも、IDRではIピクチャの符号量の大きさに起因するバッファ遅延、GDRではイントラスライス内の符号量のばらつきからくる遅延や巡回リフレッシュノイズなどの問題を抱えている。これらの問題を探ると、ともに深く関係しているのが符号化における画面のリフレッシュであり、問題解決のためにはリフレッシュの方法を見直すことが必要となる。

### 3 低遅延符号化方式 DIDR, DGDR とレート制御における課題

#### 3.1 DIDR の原理

#### ➤ DIDR (Delayed IDR)

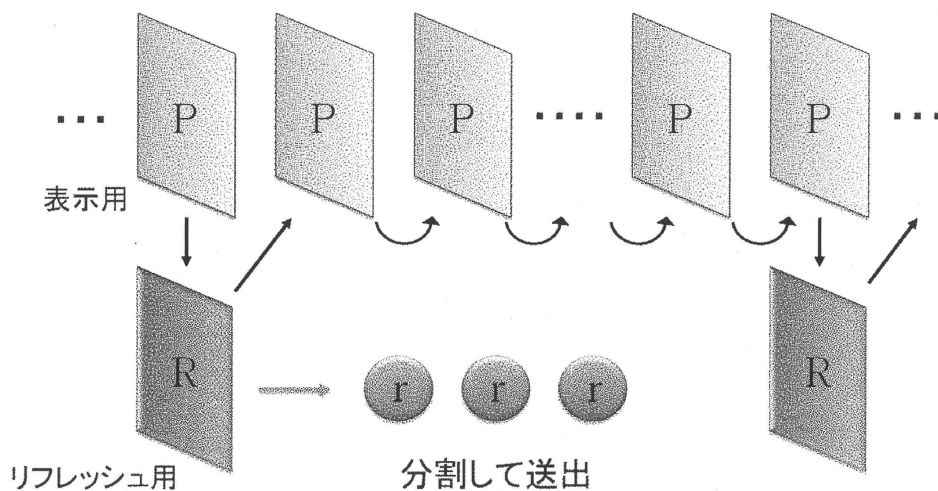


図 3.4: DIDR の動作

DIDR は、当研究室で提案された IDR ベースの低遅延符号化方式であり、画面の即時リフレッシュが行われる IDR に対し、リフレッシュのわずかな遅延を許容することで、バッファ遅延の低減を可能にする方式である。この手法では、特定のピクチャの符号量増大を防ぐため、Iピクチャのようにピクチャの表示とリフレッシュの両方の役割を持つピクチャを使用せず、表示用とリフレッシュ用で別々のピクチャを用いる。

まず、表示用には I ピクチャと比べて符号量が少なく、符号化順への並び替えを必要としない P ピクチャのみを使用する。

次に、リフレッシュ用として新たに R ピクチャを使用する。R ピクチャとは、一定の間隔で表示用の P ピクチャのローカルデコード画像を再度イ

ントラ符号化するものである。Rピクチャのデータ送信時、Rピクチャ用のバッファをデコーダバッファとは別個に設けることによって、Rピクチャがデコーダバッファに蓄積されずその容量増加の要因とならなくなる。これによって、二重符号化による符号化効率の低下を補うことができる。

Rピクチャは表示用のPピクチャの送信時には送信せず、デコーダバッファのオーバーフロー発生時にスタッフィング用バイトの代わりに送信する。スタッフィングとは、デコーダバッファのオーバーフロー発生時、すなわち通信路に転送するデータが無いときにダミーデータの'0'バイトを送ることであり、DIDRではこのダミーデータの代わりにRピクチャのデータを送信する。

## 3.2 DGDRの原理

### ➤ DGDR (Delayed GDR)

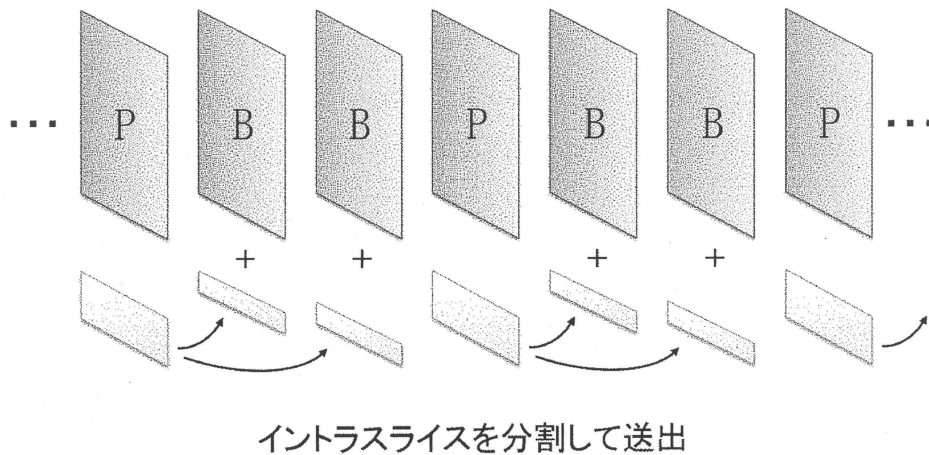


図 3.5: DGDR の動作

DGDRは、当研究室で提案されたGDRベースの低遅延符号化方式であり、イントラスライスによって画面の漸次リフレッシュを行うGDRに対し、DIDRと同様にリフレッシュの遅延を許容することで、イントラスライスの符号量のばらつきからくる遅延増加の問題を解決する方式である。この手法では、イントラスライスの符号量が遅延時間に影響を及ぼさないように、リフレッシュ部分を表示用にPスライスとして先送りし、リフレッシュ用に符号化するイントラスライスは、図3.5に示すように送出を遅らせる。

表示用には、従来のGDRで用いられたPピクチャの他に圧縮率向上の目的でPピクチャよりも符号量の少ないBピクチャも使用する。

リフレッシュには従来のGDRと同様にイントラスライスを用いるが、これまでのように符号化してから即時送出するわけではなく、その後の符号量の少ないBピクチャと一緒に送出するようにしているので、バッファオーバーフローが起これにくくなり、結果としてバッファ遅延が抑えられる。



### 3.3 レート制御における課題

当研究室では,これまでの研究で,増加傾向にある符号化の遅延時間に対する解決策としていくつかの低遅延符号化方式を示した.しかし,DIDRやDGDRは同じピクチャあるいはスライスに対する二重符号化構造が,符号化効率低下要因になる上に,適切なレート制御法が行われていないために,目標とする低遅延と高画質の両立がはかされていない.

そこで,レート制御においては,構造上の不利を補うような手法を提案し,遅延時間の低減のみならず画質向上を実現することが課題となる.より具体的な目標としては,テレビ電話等リアルタイムでの通信にも利用されているGDR以上の低遅延かつ高画質が望まれる.評価段階では,遅延時間と画質の両方についての評価を行い,既存の低遅延符号化方式に対する優位性を示す.

## 4 DIDR, DGDR に適するレート制御法の提案

### 4.1 レート制御における符号量割り当て

DIDR 及び DGDR に適するレート制御法を提案するにあたり, 本研究では, レート制御における符号量割り当ての部分に着目した. 符号量割り当てとは, これから符号化の対象となるピクチャに対しその複雑さなどから目標となる符号量を決定する部分であり, 各ピクチャの符号量ひいては全体の画質にも影響を及ぼす.

DIDR 用の符号量割り当て並びに DGDR 用の符号量割り当ての提案にあたっては, 各手法の特性を踏まえた上で変更を加える.

### 4.2 DIDR 用符号量割り当て

DIDR 用の符号量割り当てを提案する上で最も重要となるのが, DIDR の一番の特徴ともいえる R ピクチャの性質である. R ピクチャの性質として, R ピクチャは表示用途としては使われないので, これに多くの符号量を割り当てると他のピクチャに割り当てる符号量が減ってしまい画質は低下する. 逆に, R ピクチャの符号量を小さくしすぎると, この R ピクチャを参照する P ピクチャの画質も低下し全体の画質低下につながる.

これらの性質を考慮に入れ, R ピクチャに割り当てる符号量の増減や R ピクチャ周辺の P ピクチャに割り当てる符号量の増減など, R ピクチャ付近のピクチャに的を絞ってパラメータ調整を行った. パラメータ調整の際には, 実行結果の事前予測が難しかったため, 実際にプログラムを走らせ, 実験的に検証を進めた. その結果, 今回 DIDR 用に提案するのは, R ピクチャに割り当てる符号量を減らし, R ピクチャ周辺の P ピクチャに割り当てる符号量を増加させる手法である.

以下に, 今回行った検証の中で最も効果の高かったパラメータ及び符号量の割り当て式を示す.

R ピクチャ:

$$T(n) = T_{org}(n) * 0.5 \quad (1)$$

Pピクチャ：

$$T(n) = \begin{cases} T_{org}(n) * 1.8 & (R \text{ピクチャ直後}) \\ T(n-1) * 0.9 & (\text{従来の符号量を下回るまで}) \\ T_{org}(n) & (\text{従来の符号量を下回った後}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで, $T(n)$ とは $n$ 番目のピクチャに対する目標符号量であり, $T_{org}(n)$ とは $n$ 番目のピクチャに対する従来の目標符号量である。

### 4.3 DGDR 用符号量割り当て

DGDRではDIDRと違い,画面の表示のためにPピクチャとBピクチャの二種類のピクチャを用いる.そのため,DGDR用の符号量割り当て提案の際には,PピクチャとBピクチャのそれぞれに対して割り当てる符号量を増減させパラメータ調整を行った.パラメータ調整では,DIDRと同様に実際にプログラムを走らせ,実験的に検証を進めた.このとき,リフレッシュを可能とするよう二重符号化された二枚のPピクチャは,互いの同一性を確かなものとするために同量だけ符号量を増減させる.その結果,Pピクチャに割り当てる符号量を減らし,Bピクチャに割り当てる符号量を増加させる手法を,DGDR用の符号量割り当てとして提案した.

DIDRと同様に,今回行った検証の中で最も効果の高かったパラメータ及び符号量の割り当て式を示す.

Pピクチャ：

$$T(n) = T_{org}(n) * 0.78 \quad (3)$$

Bピクチャ：

$$T(n) = T_{org}(n) * 2.0 \quad (4)$$

前述の通り,Pピクチャに関してはリフレッシュ用に対しても表示用に対しても同じ係数をかけ,ピクチャの同一性を維持している.

## 5 性能評価

### 5.1 評価方法

本研究では、二つの低遅延符号化方式を H.264 の参照ソフトウェアを元  
に実装し、提案するレート制御法を組み込んで評価を行った。  
今回行った評価の条件を表 5.1 に示す。比較する符号化方式には、本研究の  
メインである DIDR と DGDR に加え、同じ低遅延符号化方式の一つであ  
る GDR を用いる。各方式と条件をそろえるため、DIDR の比較対象として  
用いる GDR では P ピクチャのみを使用し、遅延時間はバッファ遅延のみを  
比較する。DGDR の比較対象として用いる GDR では P ピクチャと B ピク  
チャの二種類を使用し、遅延時間はバッファ遅延に B ピクチャの並べ替えの  
遅延 (約 100ms) を加えて比較する。画質の評価値は画質の評価に一般的に  
広く用いられる PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) の値とする。評価画像  
には標準で用意されている Whale Show, Opening Ceremony, Wintertime  
River, Ice Hockey, Flower Basket の 5 種類の画像を使用する。

表 5.1: 評価の条件

比較対象	GDR, DIDR, DGDR
評価値	遅延時間, 画質
profile	high
MbInterlace	frame coding
RD 最適化	on
探索範囲	32
ビットレート	2Mbps
フレームレート	30fps
評価画像	Whale Show Opening Ceremony Wintertime River Ice Hockey Flower Basket

## 5.2 評価結果

前節で示した条件に沿って行った評価結果を表 5.2, 表 5.3 に示す.

まず, DIDR の評価結果に関して述べると, 遅延時間の面では最悪のケースで比較すると 66ms から 57ms まで低減されていることがわかる. これは, R ピクチャを含めた DIDR の構造によって, 以前の IDR と比べても低遅延が実現されていることを示している. しかし, PSNR 値に関しては全フレームの平均で 1.21dB 程度 GDR を下回っており, 画質の低下が目立つ結果となってしまった. DIDR ではその構造上, 画質の面で不利になることが予想されたが, 今回の提案手法でレート制御に修正を加えても GDR を上回るような成果は得ることができなかった.

次に, DGDR の結果に関して述べると, PSNR 値に関しては平均の値で劣ってはいるがその差は 0.09dB と小さく, バッファ遅延は最悪のケースで 167ms から 155ms まで低減されている. 今回の提案手法によって, DGDR の構造上問題とされた画質の低下を抑えつつ, GDR 以上に低遅延での符号化が可能であることが示された.

本研究では, 画質の面で GDR を上回るまでには至らなかったが, 存在しうる全ての手法を試せたわけではなく, 今回注目した符号量割り当て以外にもレート制御内の処理に新たな変更を加えることにより, DIDR の性能をさらに引き出すことが可能になると考えられる. また, 遅延時間についても理論上の最小値に到達することはいまだ難しく, より最適なレート制御法を組み込むことでさらなる遅延低減と画質改善が期待される.

表 5.2: DIDR と GDR の比較

評価画像 \ 比較対象	遅延時間 (ms)		PSNR(dB)	
	GDR	DIDR	GDR	DIDR
Whale Show	54	51	28.45	28.13
Opening Ceremony	58	54	32.77	30.19
Wintertime River	65	57	37.81	36.44
Ice Hockey	57	52	40.03	39.26
Flower Basket	66	57	41.18	40.17

表 5.3: DGDR と GDR の比較

評価画像 \ 比較対象	遅延時間 (ms)		PSNR(dB)	
	GDR	DGDR	GDR	DGDR
Whale Show	159	153	29.08	29.19
Opening Ceremony	158	152	33.40	33.28
Wintertime River	161	155	38.86	38.52
Ice Hockey	160	152	41.02	40.93
Flower Basket	167	154	41.40	41.38

## 6 おわりに

今回の研究では,当研究室オリジナルの低遅延符号化方式 DIDR 及び DGDR に適するレート制御法を組み込むことで,遅延低減だけでなく画質改善も目指した.そして,より実用的な条件下で既存の低遅延符号化方式の一つである GDR との比較評価を行った.

その結果,DIDR では遅延こそ低減できたものの画質の面での改善は不十分なものとなった.これに対し,DGDR では GDR と比較してもほぼ画質に遜色なく遅延時間を低減することが可能となった.

今後の課題として,レート制御内の符号量割り当て以外の部分にも目を向けることで,DIDR 及び DGDR により適するレート制御法を明らかにし,さらなる性能向上の方法を探る必要がある.また,DIDR や DGDR が持つ構造上の不利を解決するような,新たな符号化方式の開発にも期待したい.

## 謝辞

本研究を行うにあたり、日頃から御指導いただいた計算機アーキテクチャ研究室の近藤利夫教授、大野和彦講師、佐々木敬泰助教、田中みゆき事務官に深く感謝いたします。また、さまざまな局面において御世話になりました計算機アーキテクチャ研究室の皆様にも心より感謝いたします。



## 参考文献

- [1] 近藤利夫, 山本貴也 他: リフレッシュピクチャの冗長符号化による低遅延動画像符号化の H.264 への適用性, 情報処理学会研究報告, Vol.2007, No.125(20071213), pp. 19-24
- [2] 宮地悟史, 滝嶋康弘, 羽鳥好律: 画像性質とバッファ制約を考慮した H.264 レート制御方式, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-II, No.7, pp.1114-1125, 2005