

録画クラウド向け高効率ストレージシステムに関する研究

成田 佳介¹ 知念 賢一² 篠田 陽一³

概要：インターネットを活用したテレビ視聴サービスの一つとして、我々は録画クラウドサービスの構想を進めている。クラウド化すると、ハードウェアの構成に囚われない録画サービスが可能となるが、ユーザ毎に大容量のストレージが必要となってしまう。想定では、放送波は限られたチャンネル数しかなく、コンテンツの種類が限られるため、クラウド上で録画コンテンツは重複すると考えられる。本研究では録画コンテンツの重複部分を判別し、マージすることでストレージ容量の節約が可能な機構を提案する。ストレージシステムが扱う全てのデータを対象とした重複排除手法と比較して、放送データの重複排除に特化しているため、ストレージの高効率化が期待できる。本手法を用いることにより、ストレージ容量を抑えた録画クラウドサービスを実現に一歩近づけることができる。

Highly Efficient Storage-System for Cloud TV Services

KEISUKE NARITA¹ KENICHI CHINEN² YOICHI SHINODA³

1. はじめに

インターネットを活用したテレビ視聴サービスは、インターネットテレビまたはスマートテレビと呼ばれ急速に普及が進んでいる。今後も様々な技術、サービスの出現が予想され、その一つとしてTV放送をクラウド上に録画するサービスである録画クラウドがある。このサービスではクラウド上に録画済みのコンテンツであれば放送波を直接受信できない端末でもネットワーク経由で録画コンテンツの視聴が可能となる。さらに、録画機能を持つ端末をサービス提供者側が管理できるため、メンテナンスがしやすく、耐故障性においても優れた、より柔軟な視聴環境が提供可能となる。

録画クラウドの実現にはストレージ容量の問題を解決しなければならない。一般的に放送コンテンツはデータ容量が非常に大きく、クラウド上に記録するにはユーザ数の増加に伴い膨大なストレージ容量が必要になってしまう。と

ころが、放送は限られたチャンネル数しかなく、コンテンツの種類が限られるためクラウド上では多くの録画コンテンツが重複すると考えられる。その前提に基づく録画コンテンツの総量はユーザ数ではなくチャンネル数により決定できる。

そこで、本研究では録画コンテンツの重複部分を判別し、マージすることでストレージ容量の利用効率を高めるシステムを提案する。提案システムによって本来ユーザ数が増えるにつれて増加していたストレージ容量を、ユーザ数の増加と独立して見積もることができ、必要とされるストレージ容量の大幅な削減が期待できる。

2. 既存の録画システムの現状と問題点

本章では、既存の録画システムの現状と問題点を述べる。既存の録画システムには以下に挙げる問題がある。

- 1) ハードウェアの追加・拡張が困難である
- 2) 再生場所がディスクのある場所に縛られる
- 3) 耐故障性が低い

まず、1つ目の問題点としてハードウェアの追加・拡張が困難であることが挙げられる。既存の録画システムは購入後はユーザ宅で利用することが一般的であるため、購入後にハードウェアの追加・拡張を柔軟に行うことができない。例えば、見たい番組が複数被ってしまいチューナーを

¹ 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)

² 北陸先端科学技術大学院大学 高信頼ネットワークイノベーションセンター

Dependable Network Innovation Center, JAIST

³ 北陸先端科学技術大学院大学 情報社会基盤研究センター
Research Center for Advanced Computing Infrastructure, JAIST

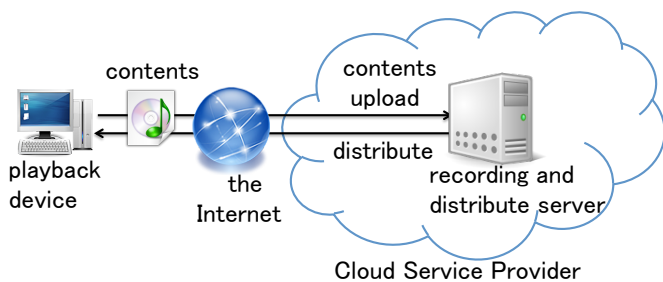


図1 想定する録画クラウドの構成

一時的に追加したいといった要望に応えることができない。このように一つ目の問題点は、ハードウェアの追加・拡張を伴うような新たなサービスの展開を妨げている。2つ目の問題点として再生場所がディスクのある場所に限られるという点である。一般的に録画機器は、TVとセットでの使用を前提としているため、アドホックな視聴スタイルを提供しにくい。3つ目に耐故障性の低さが挙げられる。故障時のサポートは、どこのメーカーも行っているが、録画機器は原則24時間の稼働が求められており、もし故障した場合、その期間に流れている放送の録画機会を失ってしまう。これらの問題点によって、ユーザビリティが低くなってしまうことが、既存の録画システム最大の問題点といえる。

3. 提案

本節では2節で挙げた既存の録画システムの問題点を解決するため、現在構想が練られている録画クラウドについて述べる。また、録画クラウドを実現する上での障壁であるストレージ容量に関する問題とその解決策の提案について述べる。

3.1 録画クラウド

上述した問題点を解決するために現在、既存の録画システムをクラウド化する録画クラウドの構想が練られている(図1)。録画クラウドでは録画コンテンツをクラウド上に記録する。クラウド上に記録した録画コンテンツの配信はネットワーク経由を基本とするためユーザは任意の視聴端末での視聴が可能となる。

3.2 録画クラウドの懸念事項

現在、放送波はMPEG2-TS形式[1],[2],[3],[4]で搬送されている。MPEG2-TSは1時間あたり6GB~8GBとデータ容量が非常に大きいことが特徴である。そのため、データ容量を圧縮する技術によって保持されることが多い。しかし、データ容量の圧縮はコンテンツの劣化につながる。録画システムのユースケースを考えた場合、劣化のないコンテンツを保持したいという要望が存在するため、放送波の形式であるMPEG2-TS形式のままで保持することが望

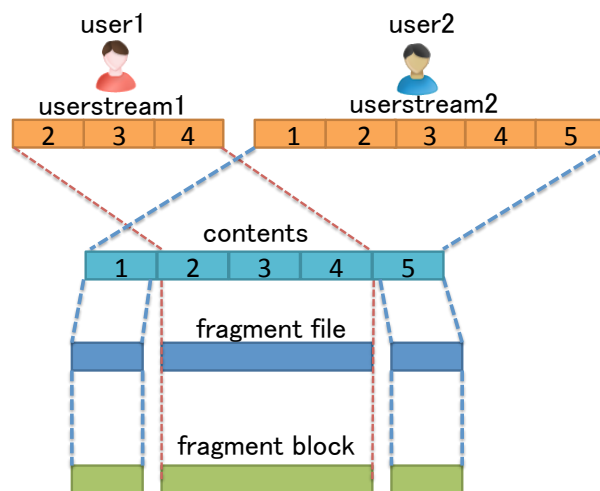


図2 提案システムにおけるコンテンツ記録時のデータ構造

ましい。MPEG2-TSの形式のままで保持することを考えると、ユーザ数を仮に50万として、ユーザー一人あたり2TBとした場合1EBもの容量が必要となる。

3.3 重複排除を行う高効率ストレージシステム

クラウド上にユーザ毎に録画コンテンツを保持するサービスを考えた場合、放送波は限られたチャンネル数しかないためクラウド上では多くのコンテンツが重複すると考えられる。そこで、本研究ではこの録画コンテンツの重複性に着目し、重複排除を用いた高効率なストレージシステムを提案する。

具体的には図2のように、ユーザからの入力であるユーザストリーム(userstream)に重複が存在する場合、ユーザストリームを構成するコンテンツ(contents)はシステム上では断片ファイル(fragment file)として記録される。これらに対応付けることで重複排除を行う。

3.4 効果：ストレージ使用量概算

図3で示すように現行の録画システムにおけるストレージの使用量を S 、想定している録画クラウドにおけるストレージの使用量を S' と置くと、式(1)(2)のようになる。 T は録画時間(単位は秒)、 B は録画中の平均帯域(bps)、 C_p は現行方式のチャンネル数、 C_f は想定している録画クラウドにおけるチャンネル数、 R は現行方式のレコーダ数を表す。

$$S = TBC_p R \quad (1)$$

$$S' = TBC_f \quad (2)$$

関係式は式(3)で表せる。

$$\frac{S'}{S} = \frac{TBC_f}{TBC_p R} = \frac{C_f}{C_p R} \quad (3)$$

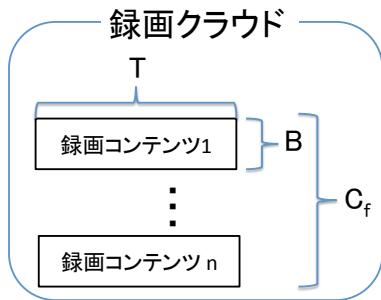
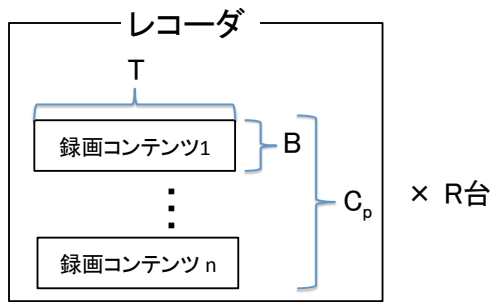


図3 ストレージ使用量の対比

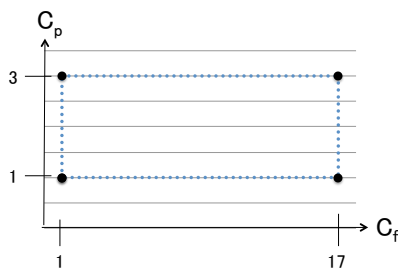


図4 ストレージ使用量成分の変化範囲

表1 ストレージ使用量比率の対応表

C_f	C_p	$\frac{S'}{S}$
1	1	$\frac{1}{R}$
17	1	$\frac{17}{R}$
1	3	$\frac{1}{3R}$
17	3	$\frac{17}{3R}$

ここで、 C_p を1-3、 C_f を1-17 とすると図4のグラフで表すことができる。このグラフの頂点を抽出すると、ストレージ使用量の比率として表1を導ける。最小の値は $\frac{1}{3R}$ となり、最大の場合でも $\frac{17}{R}$ となる。2011年の出荷台数が約710万[5]なので、存在するレコーダ数 R はそれ以上に多いと推定される。仮に存在するレコーダ数 R を出荷台数の3倍、2130万とすると、使用量比は $1.6 \times 10^{-8} \sim 8.0 \times 10^{-7}$ となる。したがって、 S' は S より非常に小さい。すなわち提案手法は既存の録画システムと比較して録画クラウドというサービスにおいてストレージ使用量を大幅に削減できる。

4. 設計

本章では提案システムの設計について述べる。まず重複

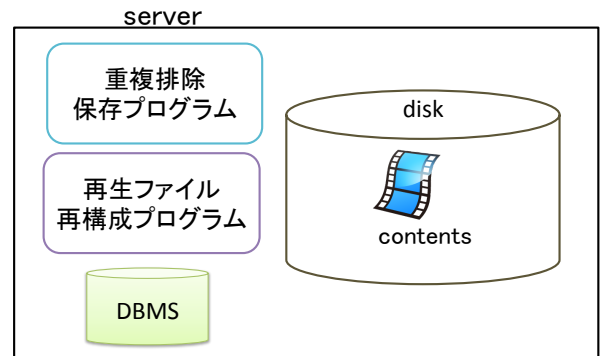


図5 サーバ構成

判別の仕組みやシステムの全体構成、そこで重複判別に用いる特徴値の算出方法について述べる。

4.1 重複判別アルゴリズム

重複判別アルゴリズムとして提案システムにおける重複判別時の動作を簡略化したものを以下に示す。

- 1) 入力となるユーザストリームの受付
- 2) ユーザストリームから特徴値の構成要素を抽出
- 3) 特徴値が既にDBへ記録済みか確認
- 4) 記録済みならユーザストリームのディスク記録は行わない
- 5) 未記録ならDBへ特徴値を記録後、対応するユーザストリームを断片ファイルとしてディスクへ記録
- 6) ユーザが入力したユーザストリームに対応する断片ファイルを再生するため、ユーザIDと再生位置を記録

4.2 システム構成

提案する録画クラウドのサーバ構成では重複判別・記録プログラムと再生ファイル構成プログラムの2つのプログラムが動作している(図5)。

4.2.1 重複判別・記録プログラム

重複判別・記録プログラムはコンテンツの重複判別、特徴値の抽出とDBへの記録、コンテンツの記録を行う。図6ではユーザがコンテンツをクラウド側のストレージへ送信した場合を想定している。まずユーザはユーザストリームをアップロードする。するとそのストリームを受信したサーバはユーザストリームを一意に識別できる値として特徴値を抽出してDBへ記録可能かどうかの問い合わせを行う(特徴値の詳細については後述する)。記録可能であればDBに記録する際に特徴値をキーとして記録するので、記録不可能であれば重複しているコンテンツとみなされ、ディスクへの記録は行われない。もし、重複箇所を含むユーザストリームが記録される場合には記録済み部分は新たに記録せず、未記録の部分だけ断片ファイルとして記録する(3.3節より再掲図2)。その後、再生用に用意した2つのテーブルへユーザストリームと断片ファイルの対応関係

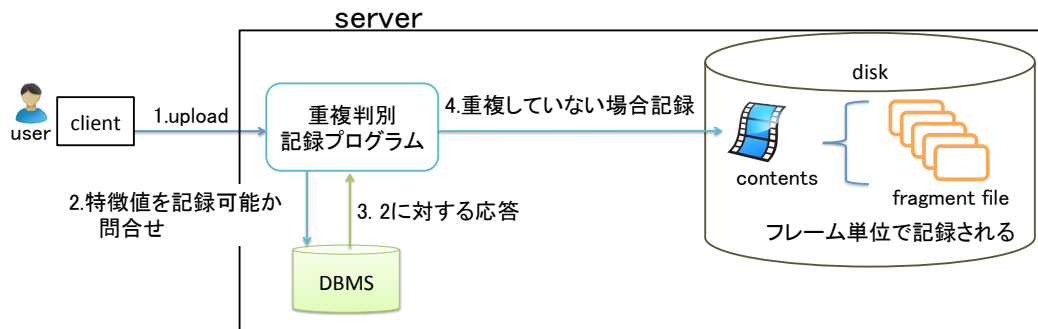


図6 重複判別・記録プログラム

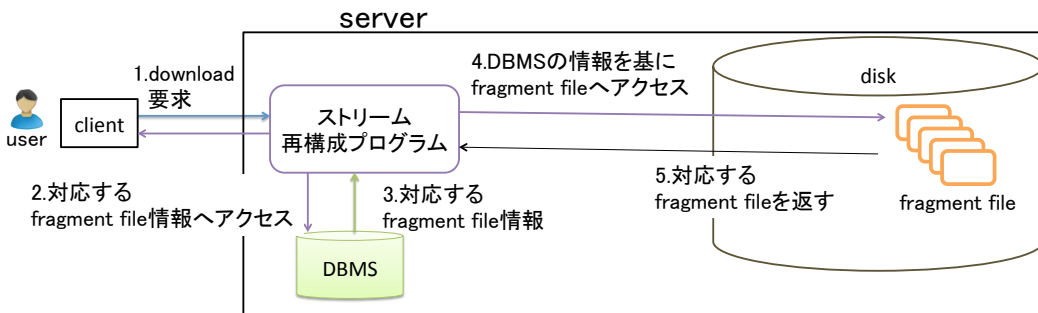


図7 ストリーム再構成プログラム

playlist_table

user stream name	contents
:	:

deduplicate_table

特徴値	fragment file
:	:

図8 記録済みコンテンツ照会に用いるテーブル構造

の記録を行う。ここまでが重複判別・記録プログラムの動作である。

4.2.2 ストリーム再構成プログラム

ストリーム再構成プログラムは、コンテンツ名を指定したダウンロード要求を受けると、コンテンツ名に対応する断片ファイル情報を取得する。取得した情報を基に記録済みの断片ファイルを参照し、コンテンツ名に対応するストリームを再構成する。そして再構成したストリームをユーザに送信する。これが再生ファイル構成プログラムの動作である(図7)。

4.2.3 記録済みコンテンツ照会に用いるテーブル構造

前述のようにユーザからの入力、断片ファイルとして記録される。このユーザからの入力と断片ファイルを対応付けるため、図8で示すテーブルを用いる。

特徴値を記録した際その特徴値を含む断片ファイルと断片ファイル中で特徴値に対応するデータ部分の範囲である

1 GOP分の特徴値

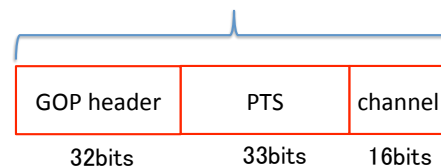


図9 特徴値の算出

再生範囲を記録することで、特徴値をキーとして断片ファイル中の特定データ部にアクセスが可能になる。

5. 特徴値の算出

本説では重複判別に用いる特徴値の算出について述べる。

5.1 算出方法

特徴値の算出を行う上で基になる値として、画像フレームに関する情報を録画コンテンツ中から抽出する必要がある。放送コンテンツの形式である MPEG2-TS では編集可能な画像フレームの最小単位は GOP(Group Of Pictures) と呼ばれ、0.5 秒の映像に対して一つの GOP が対応している。この GOP 毎に特徴値の抽出を行う。抽出方法は図13のように入力されたユーザストリーム中の t_0 から t_1 までをバッファに蓄え、その中から情報の抽出を行っている。この操作を入力されたユーザストリームの終端に達するまで繰り返す。

特徴値として抽出する情報は後述する3つの値である。

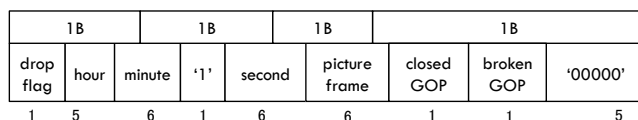


図 10 GOP ヘッダのフォーマット

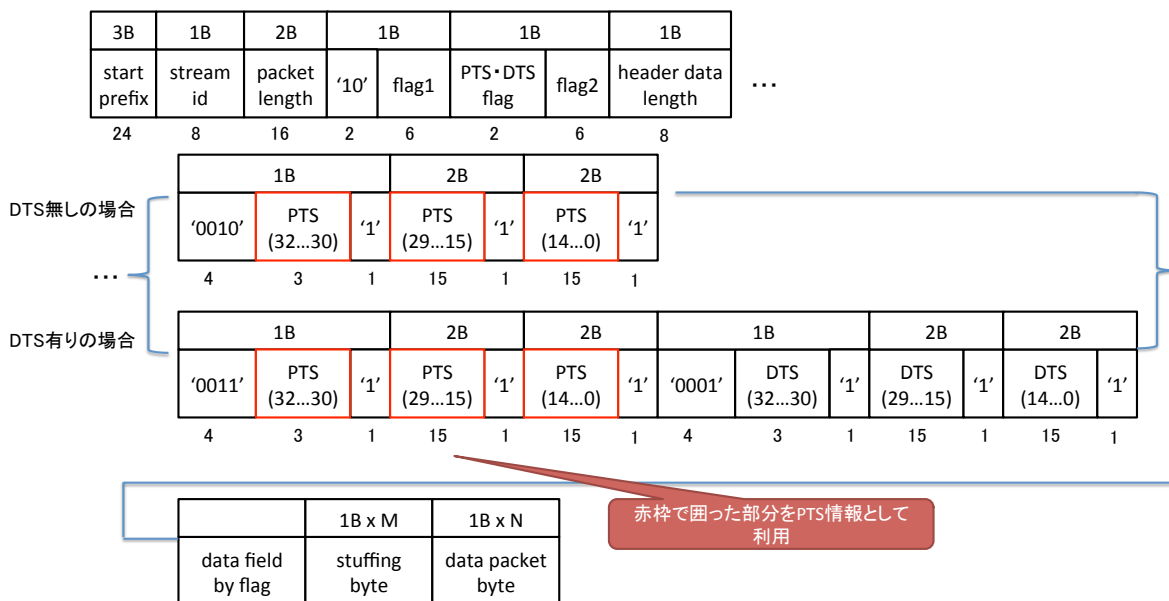


図 11 PTS を含む Video パケットのフォーマット

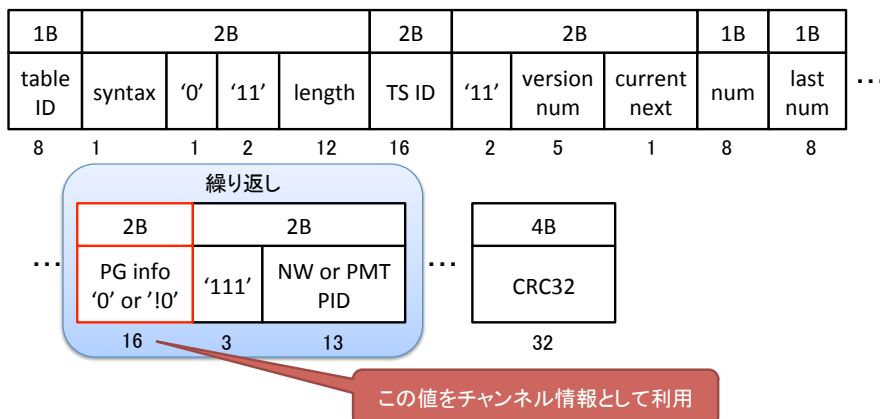


図 12 チャンネル情報を含む PAT のフォーマット



図 13 重複判別時のバッファ処理

1つ目は GOP を含む映像パケット中に存在する 32bit の GOP ヘッダ (図 10) である。2つ目は video パケットに含まれる 33bit の表示時刻情報である PTS(Presentation Time

Stamp)(図 11) を抽出している。そして、3つ目が番組管理情報である PAT(Program Association Table) に含まれる 16bit のチャンネル情報 (図 12) である。これら 3つの情報を連結した 81bit の情報を特徴値としている (図 9)。PTS は 9 万分の 1 秒間隔で表示時刻を表し、26 時間 30 分 43 秒 (小数点以下切り捨て) まで表せる。映像に関する GOP 情報だけでは一意に識別できず、異なる放送コンテンツの映像データまで重複と判断してしまう可能性があるため、時刻情報である PTS を用いている。しかし、PTS は 26 時間 30 分 43 秒を超えるとリセットされ、異なるチャンネルの放送コンテンツ間では誤認識の可能性があるため、チャンネル情報も追加している。

本研究ではキーの検索効率を向上させるため、単一の

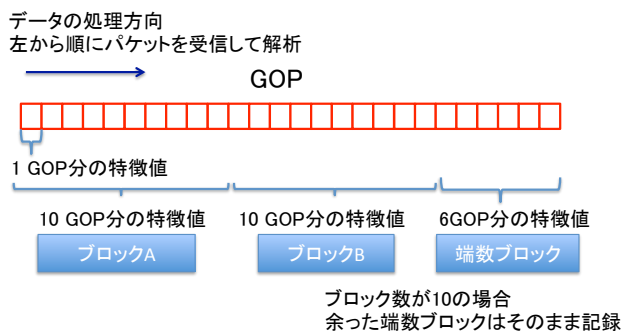


図 14 ブロック毎に特徴値抽出

GOP 単位で重複判別を行わず、複数 GOP 単位（ブロック）で重複判別を行なっている。図 14 で示す通り、仮に 10GOP を 1 ブロックとすると 10GOP 分のデータから特徴値を算出する。ブロックで処理すると DB への問い合わせ回数や検索対象のレコード数が削減できるため、検索効率の向上が期待できる。

また、図 14 で示すように各ユーザの録画環境によってブロックの境界に収まりきれないデータが送られる場合がある。この収まりきれないデータは端数ブロックとして記録される。

5.2 課題：CM データの重複判別

本研究では重複判別に GOP の情報だけでなく時刻情報とチャンネル情報を用いている。そのため、同じ系列のチャンネル中に異なる映像が含まれる場合は区別できない。しかし、録画システムのユースケースを考慮すると、異なる放送コンテンツ中の同一 CM データの重複判別も行うことが望ましい。仮に 1 時間に 4 社分の CM が 4 回流れ、CM の長さを 30 秒とすると最大で 1ch あたり 4 枠 × 4 回（15 分間隔）× 30s × 24h = 11520s 分の CM データが存在する。GOP ヘッダの情報だけで重複を判別することが可能になれば 11520s × チャンネル数分のデータをおよそ 30s 程度のデータ量に圧縮可能である。本研究では異なる映像データの特徴値衝突可能性を考慮し、実現しなかったが、今後はその方法についても検討する必要がある。

6. おわりに

本稿では録画クラウドというサービスを想定した際に問題となるストレージ容量の解決を試みた。そのために、録画コンテンツの重複性に注目し、重複の判別とマージを行うことでストレージ容量の効率化を図るシステムを提案した。そして、提案システムによってどの程度ストレージ使用量を削減できるかを試算し、大幅な削減が可能であるとの結論を得た。さらに、提案システムを実現するため、ユーザから録画コンテンツのアップロードがあった際に記録済みの録画コンテンツに対して重複判別・記録を行うアルゴリズムの設計・実装を行った。以上のことから本研究

で提案したシステムを用いることで、本来ユーザ数に比例して増加していたストレージ容量を、ユーザ数の増加と独立して見積もることができ、必要とされるストレージ容量の大幅な削減が期待できる。したがって本研究を利用することで録画クラウドのようなより高度なテレビ視聴サービスの実現が可能となる。

また、今後の課題として、並列接続数の増加やデータベースへの毎秒アクセス数の増加といった、スケーラビリティに関する問題について考えていく所存である。

謝辞

本研究を行うにあたり、有益な議論をさせて頂いたパナソニック株式会社の村本衛一氏、小西一暢氏、米田孝弘氏、大西遼太氏には心より感謝いたします。そして多くの助言を頂いた篠田研究室の皆様には感謝の意を表します。

参考文献

- [1] ISO/IEC. 13818-1 MPEG-2 System. 2007.
- [2] ISO/IEC. 13818-1 MPEG-2 Video. 2000.
- [3] ISO/IEC. 13818-1 MPEG-2 Audio. 1998.
- [4] 亀山渉, 花村剛. デジタル放送教科書 (上). インプレス, 2004.
- [5] JEITA. 民生用電子機器国内出荷統計. 2011.