

異地点映像ストリームの同一空間表示システムの設計と実装

中 村 和 己^{†1} 谷 川 諒^{†2} 一 瓢 達 也^{†2}
島 田 秀 輝^{†1} 佐 藤 健 哉^{†2}

近年のパソコンやインターネット接続環境、それら周辺機器の普及に伴い、動画コンテンツを配信、及び視聴できる Web サービスが注目を集めるとともに、動画コンテンツを配信するユーザも増加している。Ustream 等のライブストリーミング配信サービスでは、生放送を公衆に向けて配信できる仕組みを配信ユーザに提供している。Ustream で提供される動画コンテンツは、配信ユーザ個々の趣向、嗜好によるものであり、また、ジャンルにより分別されており、1 つのブラウザ上では 1 つの動画コンテンツしか視聴することができない。従って、スポーツ中継などにおいて、視聴ユーザに対して、多視点から視聴可能な動画コンテンツの直観的な取得を提供できない。しかし、近年のスマートフォンの普及により、スマートフォン 1 台でライブストリーミング配信を行えるようになった。これにより、配信ユーザの増加、動画コンテンツの量、内容の多様化を期待できる。そこで、本研究では、同一空間上に位置するスマートフォンを持つ配信ユーザにおける撮影対象、位置、アングル等の映像プロフィールから動画コンテンツを選択し、視聴できるマルチライブストリーミング配信システムを提案する。また、提案システムにおける実装、評価を行い、提案システムの有効性を示す。

Multiple Streaming Recorded at Different Locations Displayed onto a Single Screen Space

KAZUKI NAKAMURA,^{†1} RYO TANIGAWA,^{†2}
TATSUYA IPPYO,^{†2} HIDEKI SHIMADA^{†1} and KENYA SATO^{†2}

In recent years, the popularity of computers and Internet connection environment has grown attention to the video content delivery and its web services and the users who deliver the video contents are increasing. In live streaming services like Ustream, it provides users with a video delivery structure that can be distributed to the public in live video streaming. In Ustream, video contents are provided by the up loaders' interests, and are divided in genres, and users

can only view single video content through single internet browser. Therefore, in case of live sports video streaming, viewers cannot watch multiple video angles in live, and cannot provide an instinct views of video contents that can be viewed from many angles. However, with the recent popularity with the smartphones which can deliver the live video contents by oneself, the increase of video contents' amount, diversity, and as well as the number of video providers can be expected. In this paper, we propose a multi-live video streaming delivery system that can be viewed and selected from multiple viewpoints of the video contents delivered from multiple smartphones in a single interspace. We also implemented the proposed system, and verify the effectiveness of the system by evaluation.

1. はじめに

光ファイバの普及によりインターネットが広帯域化したために、YouTube やニコニコ動画を代表とするインターネットを通じて動画コンテンツを配信するサービス (インターネット放送) が普及し、ユーザはいつでも様々な動画コンテンツを視聴できるようになった。さらに、近年のスマートフォン、タブレット端末の登場により、時間、場所を問わず、手軽に動画コンテンツを視聴でき、視聴ユーザ自身もコメントなどを投稿することができるようになった。これにより、動画コンテンツの視聴ユーザと配信ユーザとの双方のつながりを実現したことから、従来の TV 放送のように一方方向ではなく、通信を併用した双方向のインターネット放送サービスが利用されている。

一方で、公衆無線 LAN アクセスポイントの増加、WiMAX や LTE のサービス開始など、無線通信の広帯域化も相まって、動画コンテンツを視聴するユーザ (視聴ユーザ) ばかりでなく、動画コンテンツを配信するユーザ (配信ユーザ) も増加している。たとえば、YouTube では、誰もが自身の番組を開設でき、そこに動画コンテンツを集約させ、視聴ユーザを呼び込むといった形式のように、配信ユーザが番組を作り動画コンテンツを配信するインターネット放送のパーソナル化が加速している。加えて、Ustream やニコニコ生放送など、現在撮影している映像をリアルタイムで配信するライブストリーミング配信サービスの普及も見られる。これにより、スマートフォンなどの携帯端末 1 台で公衆に向けて手軽に生

^{†1} 同志社大学 理工学部 情報システムデザイン学科

Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

^{†2} 同志社大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

Graduate School of Engineering, Doshisha University

放送を配信できるようになり、今後は、映像をメディアから視聴する時代から、一人ひとりが映像を配信する時代、つまり、個人放送局の時代へと変化していくと予想される。

現状の動画コンテンツ配信サイトでは、それぞれの動画コンテンツを特徴付けるために、配信ユーザによって、タイトルやタグと呼ばれるコンテンツの内容を表した情報（タグ情報）をコンテンツに付加でき、視聴ユーザは、タイトルやタグ情報を指標として、自分の視聴するコンテンツを選択することができる。しかし、現状の動画コンテンツ配信サイトでは、コンテンツの内容を表す情報がタイトルやタグ情報などと限られており、たとえば、イベントなどの同一の対象を撮影したコンテンツが複数あっても、それらが明確に関連づけられているわけではない。また、多くの動画コンテンツ配信サイトでは、1つの Web ブラウザ上で視聴できるコンテンツの数は1つとなっており、類似の動画コンテンツが存在していても、同時に視聴しての比較が困難であるといった問題点も存在する。このような状況において、利用ユーザが視聴したい動画コンテンツを探し出すまでに時間がかかってしまうという問題が生じる。そこで、本研究では、これらの問題を解決するために、位置情報やタグ情報を利用して関連付けを行った動画コンテンツを検索し、同一画面に表示する異地点映像ストリームの同一空間表示システムの設計、実装、評価を行う。本システムを利用することで、コンテンツの検索のみならず、関連コンテンツの同時視聴も可能となる。

2. ライブストリーミング配信サービス

2.1 ライブストリーミング配信サービスの現状

現状のライブストリーミング配信サービスで配信される動画コンテンツは、主に、「ニュース」、「スポーツ」、「エンタメ」等のジャンルに分別され、提供されているが、動画コンテンツの撮影対象が「同志社大学 対 京田辺大学のサッカー中継」といった比較的大きい規模のエリアによるスポーツ中継においては、視聴ユーザごとに視聴したい選手、撮影位置、角度等の様々なニーズが発生する場合がある。このとき、関連のある動画コンテンツを取得するためには、タグ情報などのキーワードを用いた検索、もしくは、類似していると思われる動画コンテンツのリンクを次々とたどっていくしかなく、それを取得できない可能性もある。そのため、現状のライブストリーミング配信サービスでは、視聴ユーザに有益な動画コンテンツを提供できない可能性が高くなる。

2.2 ライブストリーミング配信サービスの問題点

現状のライブストリーミング配信サービスには、以下に示す2点の問題点がある。

● 問題点 1

ジャンル別、及び配信ユーザの趣向、嗜好による配信形態のため、視聴ユーザは、1つの撮影対象における関連動画コンテンツを直感的に取得できない。

● 問題点 2

視聴ユーザが検索を行ったとしても、検索結果には様々な動画コンテンツが表示されるため、関連動画コンテンツの判別が困難である。

3. 提案システム

3.1 概要

本研究では、高速無線通信利用可能で GPS、カメラ、加速度センサ等が搭載されたスマートフォンの利用を前提とし、これらの機能により、撮影位置情報、撮影アングル情報を容易に取得できるため、映像プロファイルを容易に構築することが可能となる。提案システムでは、ライブストリーミング配信を行う端末としてスマートフォンを利用し、撮影対象情報や位置情報等の映像プロファイルから動画コンテンツを選択、及び視聴できる仕組みを提供することで2.2節で述べた問題点1、2を解決する。具体的には、イベントなどの特定の事象に対して、その映像を撮影できる位置にある複数の配信ユーザが携帯端末を利用して映像を撮影するとともに、同時に取得した映像プロファイルを集約し、それらを位置情報や関連タグ情報から検索し1つの画面に表示することが可能な、異地点映像ストリームの同一空間表示システムを提供する。視聴ユーザは、特定の位置を指定することで、その周辺の映像を配信している複数の地点を把握し、そこからの映像ストリームを同時に視聴することが可能となる。

3.2 システム構成

本提案システムは、マルチ配信ユーザ、ストリーミングサーバ、Webサーバ、視聴ユーザから構成される。提案システムの構成を図1に示し、それらの役割を以下に示す。

● マルチ配信ユーザ

スマートフォンにインストールされた本研究で開発するクライアントソフトを起動して、映像プロファイルの取得、及びアップロードを行った後、ライブストリーミング配信を開始する。

● ストリーミングサーバ

複数の配信ユーザにおける動画コンテンツの URL を埋め込んだメタファイルと、そのメタファイルにアクセスするための HTML ファイルを自動的に生成し、Webサーバにアップロードする。

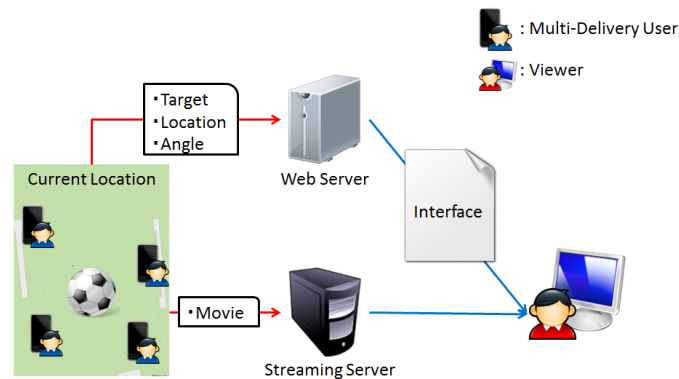


図 1 提案システムの構成
Fig. 1 Proposal system architecture.

- Web サーバ
マルチ配信ユーザから取得した映像プロフィールを基に視聴ユーザ用インタフェースであるマルチライブストリーミング配信ページ (以下、配信ページ) を生成する。
- 視聴ユーザ
希望する撮影対象や撮影位置等の情報を Web ブラウザ上で入力して配信ページを取得し、映像プロフィールを選択することで、動画コンテンツを視聴する。

3.3 動作手順

提案システムでは、配信ページを視聴ユーザに提供することで、視聴ユーザの様々なニーズに対応する。その動作手順について図 2 を用いて説明する。なお、前提条件として視聴ユーザは提案システムをすでに認知しており、受信できる環境にあると想定する。

- (1) 映像プロフィールの取得、アップロード
マルチ配信ユーザはスマートフォンにインストールされたクライアントソフトを起動して映像プロフィールを取得し、Web サーバにアップロードする。
- (2) ライブストリーミング配信
マルチ配信ユーザはスマートフォンにインストールされた Ustream Broadcaster を起動し、ライブストリーミング配信を開始する。各配信ユーザにおける動画コンテンツのストリーミングデータはストリーミングサーバにアップロードされる。
- (3) 視聴ユーザ用インタフェースの生成

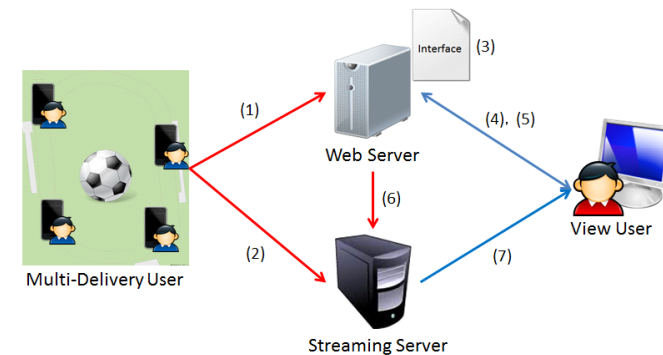


図 2 動作手順
Fig. 2 Action procedures.

- Web サーバはマルチ配信ユーザから取得した映像プロフィールを基に配信ページを生成する。
- (4) マルチライブストリーミング配信システムの Web サービスの享受
視聴ユーザは、希望する撮影対象や撮影位置等の情報を Web ブラウザ上で入力し、Web サーバに送信することで、該当する配信ページを取得する。
 - (5) 映像プロフィールの選択
視聴ユーザは配信ページ内にある複数の映像プロフィールのうち、1つの映像プロフィールを選択することで任意の動画コンテンツの配信要求を Web サーバに送信する。
 - (6) 動画コンテンツの配信の依頼
Web サーバは (5) で選択された動画コンテンツに埋め込まれた HTML ファイルによってメタファイルにアクセスし、ストリーミングサーバに対して動画コンテンツのストリーミングデータを視聴ユーザへ配信するよう要求する。
 - (7) 動画コンテンツの配信
ストリーミングサーバは視聴ユーザの要求と適合する動画コンテンツのストリーミングデータを視聴ユーザの保持する端末に向けて配信する。

3.4 映像プロフィール

提案システムでは、映像プロフィールを選択することで、関連動画コンテンツを取得、及び視聴できる。映像プロフィールは、アイコンにまとめ、競技場における地図上に提示す

る。映像プロフィールが持つ情報の説明を以下に記載する。

- 撮影対象情報
撮影対象のタイトルやタグ情報を指す。配信ユーザのテキスト入力により取得し、アップロード
- 撮影位置情報
配信ユーザ (地図上ではアイコン) の位置を表す。スマートフォンに搭載された GPS により緯度、経度を取得し、アップロード
- 撮影アングル情報
写真データを指す。スマートフォンに搭載されたカメラにより写真データを取得し、アップロード

3.5 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図 3 に示す。各 4 要素のソフトウェアは独立した機能を持つ複数のモジュールにより構成される。以下に各 4 要素におけるモジュールの説明を示す。

- スマートフォン
 - － Main
スマートフォン上で、クライアントソフトを利用するための基盤モジュール
 - － ProfileData controller
映像プロフィールの取得をするモジュール
 - － Client socket
スマートフォンから Web サーバにソケット通信を行い、映像プロフィールをアップロードするモジュール
 - － Hardware controller
スマートフォンが搭載している GPS、カメラ等のハードウェア機構の制御を行うモジュール
 - － Connection controller
スマートフォンからストリーミングサーバに通信を行い、動画コンテンツのストリーミングデータをアップロードするモジュール
 - － StreamingData controller
動画コンテンツのストリーミングデータを生成するモジュール
- Web サーバ
 - － Main

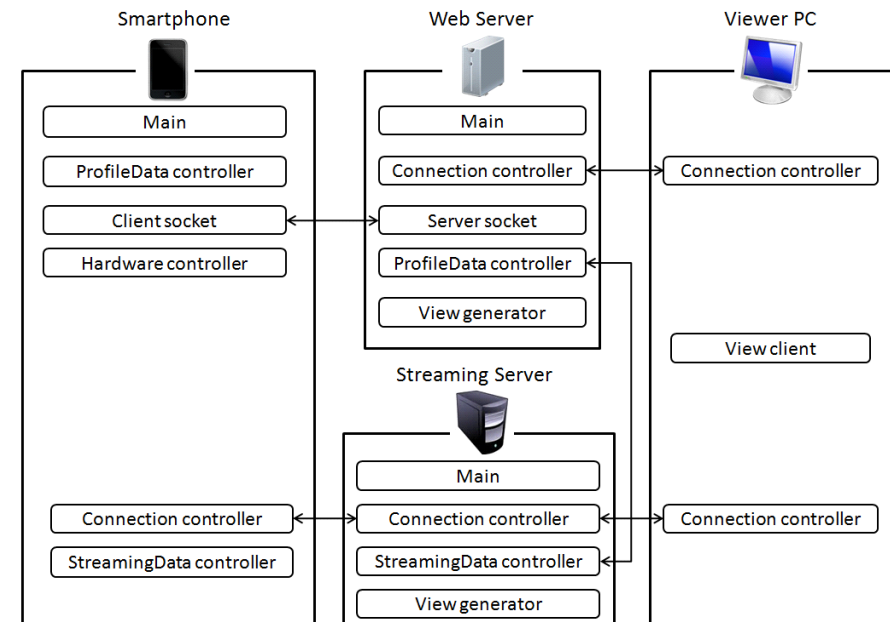


図 3 ソフトウェア構成
Fig.3 Software architecture.

Web サーバが提案システムを提供するための基盤モジュール

- － Connection controller
視聴ユーザ用 PC と通信を行い、視聴ユーザの要求に応じて映像プロフィールを付加した配信ページを提供するモジュール
 - － Server socket
スマートフォンからのソケット通信を受け付けるモジュール
 - － ProfileData controller
スマートフォンから受信した映像プロフィールの管理を行うモジュール
 - － View generator
視聴ユーザ用 PC に Web ページを表示するモジュール
- ストリーミングサーバ

- Main
ストリーミングサーバが動画コンテンツのストリーミングデータを配信するための基盤モジュール
- Connection controller
スマートフォン、視聴ユーザ用 PC との通信制御を行うモジュール
- StreamingData controller
スマートフォンから受信した動画コンテンツのストリーミングデータの管理、配信を行うモジュール
- View generator
視聴ユーザ用 PC に動画コンテンツのストリーミングデータの画面を表示するモジュール
- 視聴ユーザ用 PC
 - Connection controller
Web サーバ、ストリーミングサーバとの通信制御を行うモジュール
 - View client
Web サーバから受信した Web ページ、ストリーミングサーバから受信した動画コンテンツのストリーミングデータ配信画面を表示するためのモジュール

4. 実 装

本研究では、スマートフォン用のクライアントソフトである Multi-LiveBroadcaster と提案システムにおけるマルチライブストリーミング配信ページについて実装を行う。

4.1 Multi-LiveBroadcaster

マルチ配信ユーザ用のクライアントソフトである Multi-LiveBroadcaster の実装は、Android OS を利用して行う。また、スマートフォンを利用したライブストリーミング配信のためのアプリケーションとして、Ustream が提供する Ustream Broadcaster を利用した。つまり、Multi-LiveBroadcaster により映像プロファイルの取得、及びアップロードを行い、Android OS の機能であるインテントにより Ustream Broadcaster を呼び出して、ライブストリーミング配信を行う。インテントとは、他のアプリケーションを呼び出すための情報オブジェクトであり、これに動作要求を記述して Android OS に投げることで、Android OS が切り替え可能なアプリケーションに通知してくれる。Multi-LiveBroadcaster の実装環境を表 1 に、クライアントソフトの GUI 画面を図 4 にそれぞれ示す。「Target」欄に撮影

表 1 Multi-LiveBroadcaster 実装環境
Table 1 Implementation environment 1.

OS	Android 1.6
Hardware	docomo PRO series HT-03A
Language	Java

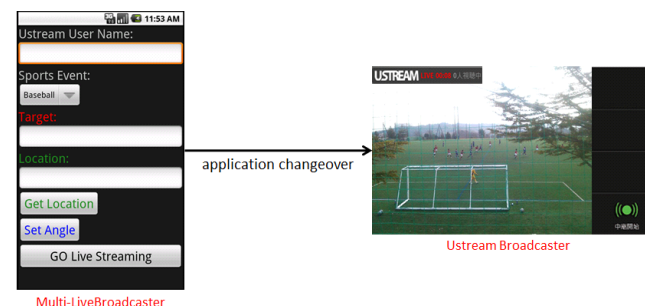


図 4 Android 端末のスクリーンキャプチャ
Fig. 4 Screen capture of Android mobile phone.

対象やタグ情報を入力し、「Get Location」ボタンをタップすることで GPS により現在位置の緯度、経度を取得でき、「Set Angle」ボタンをタップすることでカメラが起動し、写真データを取得できる。そして、「Go Live Streaming」ボタンをタップすることで、取得した映像プロファイルが Web サーバにアップロードされ、Ustream Broadcaster が起動できる。

4.2 マルチライブストリーミング配信ページ

視聴ユーザにとって有益な動画コンテンツを提供するために、映像プロファイルの選択を行うことができるページ (プロファイル選択ページ) と、関連する複数の動画コンテンツを視聴することができるページ (動画視聴ページ) の二つのページでマルチライブストリーミング配信ページを構築する。実装環境を表 2 に、プロファイル選択ページ、及び動画視聴ページをそれぞれ図 5、図 6 に示し、それぞれのページの説明を以下に記載する。

● プロファイル選択ページ

視聴ユーザの所望する動画コンテンツをより早く取得するために、Google Maps API¹⁾、Twitter@Anywhere²⁾、Ustream Data API³⁾ を用いて、ページを構築する。これにより、視聴ユーザは検索を行わなくとも提示された映像プロファイルから直感的に関連動画コンテンツを取得し、視聴できる。また、Twitter との連携により、視聴ユーザと配

表 2 マルチライブストリーミング配信ページ実装環境
Table 2 Implementation environment 2.

Web Server	Apache 2.2.17
Streaming Server	Ustream Server
Language	javascript
Web API	Google Maps API Twitter@Anywhere Ustream Data API

信ユーザが相互にコミュニケーションを取ることでもある。

視聴ユーザは図 5 に示す配信ページ上のマーカーをマウスオーバーすることで映像プロフィールを見ることができる。ここでの撮影対象情報は「キーパー」、撮影位置情報はマーカーの各位置、そして、撮影アングル情報は「写真データ」である。また、画面下部に示すツイートボックスから特定の配信ユーザに映像プロフィールの変更要求を行える。そして、視聴ユーザが各マーカーをクリックすれば、図 6 のように動画コンテンツを複数表示した動画視聴ページを表示することができる。

● 動画視聴ページ

ストリーミングサーバ上に存在する複数の動画コンテンツを取得し、一つのブラウザ上で表示させることができる Web アプリケーションの実装を行い、ブラウザ上に組み込み、動作させることで、ページの構築を行う。図 6 のように、視聴ユーザがクリックしたマーカーが持つ映像プロフィールに基づいて、その動画コンテンツと関連した動画コンテンツが複数表示される。ここでの関連した動画コンテンツとは、撮影位置情報やタグ情報から関連付けが行われている。動画コンテンツは最大で 10 画面まで表示させることができ、それぞれの動画の解像度に関しても視聴ユーザの任意の数字に変更することができる。

5. 評 価

5.1 動画配信

提案システムと、Ustream のシステムのそれぞれを用いて、ある 1 つの撮影対象における動画コンテンツを検索した後に、関連動画コンテンツを 1 つ取得し、表示するまでの時間を 10 回計測した。計測を行った 10 回の平均時間を表 3 に示す。ある撮影対象の動画コンテンツを検索してから、その動画コンテンツにおける関連動画コンテンツを 1 つ取得する



図 5 マルチライブストリーミング配信ページ (プロフィール選択ページ)

Fig. 5 Page of multiple live streaming delivery.



図 6 マルチライブストリーミング配信ページ (動画視聴ページ)

Fig. 6 Page of multiple live streaming delivery.

までの平均時間は、提案システムが約 4,000 [msec] となり、Ustream の 17,780 [msec] と比べて約 14,000[msec] 早いという結果になった。提案システムは、マルチライブストリーミング配信ページにより、すでに関連動画コンテンツが表示されている。つまり、視聴ユーザは映像プロフィールから動画コンテンツを選択するだけであり、検索せずとも、関連動画コンテンツを視聴できる。Ustream は、配信ユーザによって動画コンテンツにキーワードのタグ付けが為されているだけで、撮影対象の位置情報は付加されていない。そのため、検

表 3 関連動画コンテンツを 1 つ取得、及び表示するまでの平均時間

Table 3 Program average time.

	平均時間 [msec]
提案システム	4,000
Ustream	17,780

表 4 評価環境

Table 4 Evaluation environment.

ノート PC	OS	Windows 7 Home Premium
	CPU	Celeron U2300(1.20GHz)
	RAM	2GByte

索結果には様々な動画コンテンツが存在し、視聴ユーザは関連動画コンテンツを判別するのに時間がかかる。さらに、関連動画コンテンツを発見できない可能性も考えられる。この結果より、映像プロファイルを利用した提案システムは、視聴ユーザに対して、有益な動画コンテンツの取得、視聴を提供可能であることを確認した。

5.2 マルチライブストリーミング配信ページ

ノート PC を用いて、提案システムの視聴方法と、Web ブラウザを複数使用して視聴する方法のそれぞれを用いた際の性能評価を行った。性能評価の評価環境を表 4 に示す。ブラウザは Internet Explorer を使用し、1 画面から 10 画面で同時視聴した際の CPU 使用率、メモリ使用量を記録し、比較する。画面の解像度は 320×240 とした。実験結果を図 7、図 8 に示す。

少ない画面数では、CPU 使用率、メモリ使用量、共にほとんど差は出なかったが、画面数を多くした場合では、顕著な差が出た。複数ブラウザを用いたときと比べて、提案システムを用いた方が、CPU 使用率は約 20 %、メモリ使用量は約 200MB 低くなっている。従って、提案システムを用いた場合、複数ブラウザを用いた時よりも PC にかかる負荷を抑えることができ、視聴ユーザに対して、有益な動画コンテンツの視聴を提供可能であることを確認した。

6. 関連研究

松生⁴⁾らは、スポーツ映像を対象とし、動き特徴に基づく関連動画コンテンツの検索手法を提案している。この提案手法では、動きの特徴として時空間画像処理により抽出した動きの方向や速度を扱い、これらを組み合わせて動画コンテンツの内容に基づく検索を実現す

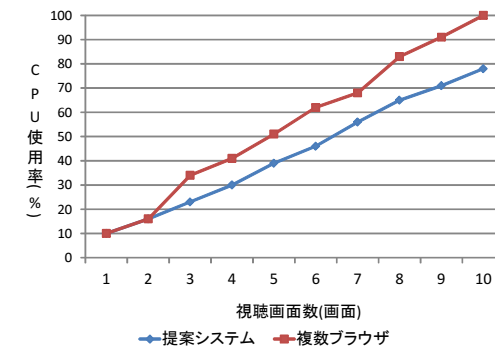


図 7 CPU 性能評価の実験結果

Fig. 7 Experimental result 1.

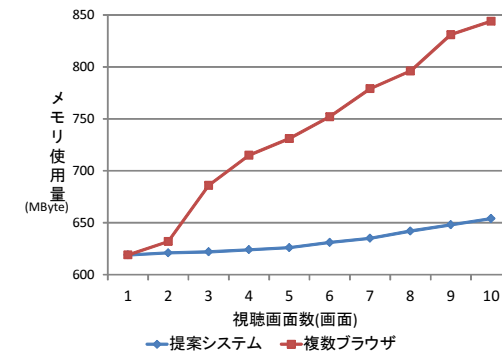


図 8 メモリ性能評価の実験結果

Fig. 8 Experimental result 2.

る。しかし、人の目から見て明らかに関連していない動画コンテンツが検索結果として表示されることもある。提案システムでは、GPS 情報やタグ情報などで複数の動画コンテンツを関連付け、提供するため、視聴できる動画コンテンツは全て関連していることになる。

中野ら⁵⁾は Web ブラウザ上に複数の動画を配置する Web アプリケーションを開発している。視聴ユーザはまず、視聴したい動画コンテンツの数だけ自動配置を行うテンプレート

を選択し、視聴する動画コンテンツの URL を各テキストボックスに入力する。そして、選択したテンプレートにより動画コンテンツが配置され、同時に複数の動画コンテンツを視聴することができる。しかし、視聴ユーザは自ら関連動画コンテンツを探す必要があるため、その検索や取得に手間がかかる。提案システムでは、地図上に提示された映像プロフィールにより、関連動画コンテンツを直感的に取得し、視聴できる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、現状のライブストリーミング配信サービスの問題点を解決するために、異地点映像ストリームの同一空間表示システムの設計と実装を行った。また、提案システムにおけるクライアントソフト、及びマルチライブ配信ページの実装と評価を行った。評価としては、提案システムと Ustream において、ある 1 つの撮影対象における動画コンテンツを検索してから、その動画コンテンツにおける関連動画コンテンツを 1 つ取得してから表示するまでの時間の計測、及びノート PC での提案システムを用いた場合と、複数ブラウザを用いた場合の、複数の動画コンテンツ同時視聴時の、CPU 使用率、メモリ使用量の計測を行った。これにより、視聴ユーザに対して、位置情報やタグ情報などの映像プロフィールから視聴したい動画コンテンツを選択して、視聴するという提案システムの有効性を示し、動画コンテンツの多視点化を実現した。

しかし、提案システムは、動画コンテンツを配信する配信ユーザそれぞれの配信環境に応じて生じる動画コンテンツの遅延に対しては、対応できていない。考えられる対策としては、ストリーミングサーバ上で、それぞれの関連付けされた動画コンテンツにどれだけ遅延が生じているかを判断し、視聴ユーザに動画コンテンツを提供する際に、それぞれの動画コンテンツを同期させることが考えられる。また、本研究では、動画コンテンツにおける品質は考慮していない。

ライブストリーミング配信として、今回は Ustream Broadcaster を採用したが、今後は、自らストリーミングサーバを構築し、スマートフォン用のライブストリーミング配信ソフトを開発することで動画コンテンツの多視点化だけでなく高品質化、また、動画コンテンツの遅延などの問題についての検討をすることも必要である。

謝 辞

本研究の一部は科研費 (21500084) の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) Google.: Google Maps API ファミリー, Google code (online), available from <http://code.google.com/intl/ja/apis/maps/> (accessed 2011-05-23).
- 2) Twitter.: API Documentation, twitter developers (online), available from <http://dev.twitter.com/doc/> (accessed 2011-05-23).
- 3) Ustream.: Ustream API Documentations, USTREAM.TV (online), available from <http://developer.ustream.tv/docs/> (accessed 2011-05-23).
- 4) 松生 智博, 石井 亮司, 前田 眞一郎, 岡田 至弘: 時空間画像処理による類似動画画像検索, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 299-304, 2008.
- 5) 中野 裕太, 服部 明, 速水 治夫, 原 隆浩: リアルタイム動画多画面視聴 Web アプリケーション, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2010) シンポジウム, pp. 59-64, 2010.