

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540045

研究課題名(和文) 移動型カメラを用いた任意地点ライブビューの実現

研究課題名(英文) An Implementation of Any Point Live View using Mobile Cameras

研究代表者

義久 智樹 (Yoshihisa, Tomoki)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：00402743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、利用者が指定した任意地点の定点ライブビュー(任意地点ライブビュー)を実現することである。この目的を達成するために、従来、定点ライブビューに不向きと考えられていたウェアラブルカメラなどの移動型カメラを用いた。定点ライブビューの空間差異および時間差異を考慮してライブ映像を配信する点に特徴がある。本研究に関連した研究開発成果により、大阪大学総長顕彰を受賞し、また国内の100人規模のワークショップで優秀論文賞を受賞するに至った。さらに、幾つかの大規模なフィールド実験で任意地点ライブビューシステムを実現した。これらのことから、本研究は、今後の発展も期待される顕著な研究成果を達成している。

研究成果の概要(英文)：The goal of the research is realizing the live views of the fixed points arbitrary designated by the users (any point live view systems, APLVS). To achieve the goal, we used mobile cameras such as wearable cameras, which were conventionally regarded as not suitable for fixed points live views. The characteristics of the research are live video deliveries considering spatial differences and temporal differences of fixed points live views. By the research results related to the work, we won the Osaka University President Awards and the excellent paper awards of a domestic workshops of more than 100 attendees. Moreover, we implemented APLVS for some large field experiments. For these, the research established sophisticated results expected to lead the future.

研究分野：ストリーミング配信

キーワード：スマートセンサ情報システム コンテンツ・アーカイブ 移動体通信 ビッグデータ ストリートビュー

1. 研究開始当初の背景

ストリートビューやセカイカメラといった、利用者が指定した地点の様子を写真で表示するサービスが提供されているが、写真撮影時の様子しか確認できず、最近の様子と異なることがあった。応募者らはこれまで、ライブ映像配信に関する研究を推進しており、ライブ映像であれば最近の様子を表示できると考えたことが着想に至った経緯である。任意地点の映像表示を目的とする研究が ACM TOG や IEEE ISMAR といった近年の国際的に著名な学術誌で発表されており、任意地点ライブビューは学術的に見て、我が国でも推進すべき重要な研究課題である。しかし既存研究では、モデルで代替した映像や地点情報付加済みの過去の映像を表示しており、任意地点ライブビューのように任意地点の最近の様子を表示できなかった。

2. 研究の目的

ストリートビューの次は定点ライブビューである。定点ライブビューとは定点で撮影されたライブ映像を視聴することである。利用者が指定した地点に近い定点ライブビューを提供するためには、多くの場所にカメラを設置する必要があり、設置コストがかかる問題がある。本研究では、この設置コストを削減するだけでなく、「任意地点ライブビュー」という誰もが不可能と考えていた非常に困難な問題にチャレンジする。この目的を達成するために、従来、定点ライブビューに不向きと考えられていた移動型カメラを用いる。この逆転の発想に本研究の斬新性がある。ウェアラブルカメラなどの移動型カメラから発生するビッグデータ(映像データ)を活用して任意地点ライブビューを提供する全体構想がこれまでになく、新しい研究分野を開拓するものである。

3. 研究の方法

近年、ウェアラブルカメラや車載カメラといった移動型カメラが普及しており、街中に多数の移動型カメラがある状況が一般的になると考えられる。これらの移動型カメラは、任意地点ライブビューサービス提供者が用意したものではなく、普段から街中で利用されているものであり、これらの移動型カメラから発生するビッグデータ(映像データ)を活用することで、固定型カメラを設置する場合と比べてサービス提供者にかかる設置コストを削減できる。しかし、利用者が指定した地点を撮影している移動型カメラが必ずあるとは限らない。そこで本研究では、定点ライブビューの空間差異および時間差異を考慮してライブ映像を配信する。

空間差異とは、利用者の視聴したい地点の定点ライブビューを、近い地点の定点ライブビューで代替する場合に発生する空間的なズレである。時間差異とは、リアルタイムな定点ライブビューを、近い時刻の定点ライブビューで代替する場合に発生する時間的なズレである。

(1) 移動型カメラの選択戦略

空間差異および時間差異は小さいほど利用者が指定した地点に近い最近の定点ライブビューを提供できるが、これらは独立して変化するため、利用者の要求に応じて適切な移動型カメラを選択する必要がある。例えば、利用者が指定した地点 A が路地で移動型カメラがあまり通らない場合、近い地点 B であれば 1 分前に移動型カメラが通って定点ライブビューを提供でき、遠い地点 C は繁華街でリアルタイムな定点ライブビューを提供できる場合を考える。地点 B の空間差異は小さくて時間差異は大きく、地点 C の空間差異は大きくて時間差異は小さいことになる。利用者が地点 A の飲食店の様子を知りたい場合には地点 B の定点ライブビューを提供し、地点 A の天気を知りたい場合には少し離れていても天気はあまり変わらないため地点 C の定点ライブビューを提供することが考えられる。移動型カメラが多数あると、利用者の要求に応じたライブ映像に関わる移動型カメラを選択する点が非常に難しいため、少ない移動型カメラで基本的な動作確認を行ってから、多数の移動型カメラを用いて任意地点ライブビューを実現する。

(2) ライブ映像の生成戦略

移動型カメラが撮影した映像を保存しておくことで、時間差異が大きい定点ライブビューを提供できる。映像のデータサイズは比較的大きいため、サーバに集約させて保存する場合、多数の移動型カメラがあると膨大な記憶容量が必要になる。そこで本研究では、移動型カメラが映像を保存しておき、サーバが利用者の要求に応じて移動型カメラから映像を取得する。映像を取得する際、遅延や再生途切れが発生する問題がある。特に移動型カメラは、移動により通信状態が不安定になるため、研究代表者らが提案してきた手法を移動型カメラ用に進化させて解決する。サーバは、取得した映像から利用者の視聴に適切なライブ映像を生成する。例えば、利用者が指定した地点を中心として VGA サイズ(640x480)で映像を表示する場合に、右半分が移動型カメラ 1 で撮影されていて左半分が移動型カメラ 2 で撮影されていれば、取得した 2 本の映像を合成することが考えられる。選択された移動型カメラから、映像を低遅延かつ短い途切れ時間で取得して利用者の視聴に適切なライブ映像を生成する点が難しく、選択された移動型カメラから映像を取得して合成する基本的な動作確認を行ってから、様々な移動型カメラを用いるように進化させる。

4. 研究成果

(1) 空間差異の考慮

本研究では、空間差異を考慮するために、指定位置撮影確信スコアを提案した。指定位置確信スコアの基本的な性能を調査するために、利用者が指定した任意地点が撮影されている写真を検索するシステムを実装した。

写真を映像に置き換えることで、任意地点ライブビューに応用できる。

指定位置確信スコアの算出

指定位置撮影確信スコアの算出処理は、大きく二つに分けられる。

処理 1：検索範囲内に含む写真の抽出

利用者がある位置と範囲を指定した時、指定範囲内の撮影データを取り出す。この検索で取り出された撮影データに対して、以下の撮影確信スコアの算出を行う。

処理 2：各写真の撮影確信スコアの算出

取り出された各撮影データに対し、指定位置と撮影位置間で考慮された距離、方位、遮蔽物の三つの指標から撮影確信スコアを計算する。各指標について以下で説明する。

・撮影距離に基づく指標計算

指定位置と撮影位置が近いほど指定位置付近が大きく撮影されており、指定位置の風景を確認しやすいと考えられる。遠ければ指定位置付近が小さく撮影されていたり、空気の汚れ等により視認性が低くなる。そこで、指定位置と撮影位置の距離が小さいほど上位にランキングするため、撮影距離に基づく指標を用いる。検索半径 r 、撮影位置を P 、指定位置を Q 点 P と点 Q の距離を $dist(P, Q)$ とすると、撮影距離に基づく指標 $C_{distance}$ を

$$C_{distance} = 1 - \frac{dist(P, Q)}{r}$$

で与える。なお、 $dist(P, Q)$ の計算は、GPS の測地系である WGS84 で規定された地球の半径に基づく、ヒュベニの式を用いる。

・撮影方向に基づく指標

撮影の構図として、3 分割構図（写真の縦と横を 3 分割するように線を引いたとき、分割した線上に被写体を配置する構図）や対角線構図（被写体を対角線上に配置する構図）など、様々な意図をもった構図で被写体を設定した上で、利用者は撮影していると考えられる。指定位置が画角の中央に位置している構図を理想的な構図とし、撮影範囲の中央に指定位置に近いほど値が大きくなるように、撮影方向に基づく指標 C_{angle} を

$$C_{angle} = 1 - \frac{|angle(PQ) - \theta|}{a/2}$$

で与える。点 P から点 Q へ向かうベクトルが指す方角を $angle(PQ)$ とすると、この方角と撮影の方角との差が小さいほど、指定位置が画角の中央に存在し、 C_{angle} は大きくなる。

・遮蔽物を考慮した指標

指定位置と撮影位置の間に建物があれば、指定位置が建物で隠れて撮影されていることがある。そこで、指定位置と撮影位置の間に建物がある場合にスコアが低くなるように、遮蔽物を考慮した指標を計算する。遮蔽物については地図データベースに登録された建物が指定位置と撮影位置間に存在しているかどうかを判定する。遮蔽物に基づく指標 $C_{obstacle}$ を

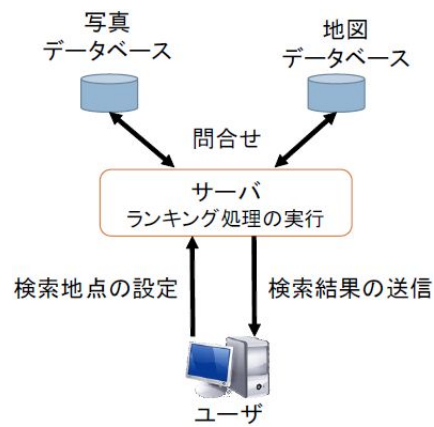


図 1：CoCoPhoto のシステム構成



図 2：CoCoPhoto のスクリーンショット

$$C_{obstacle} = \begin{cases} 1, & \text{遮蔽物がない場合} \\ 0, & \text{遮蔽物がある場合} \end{cases}$$

で与える。なお、指定位置が建物の領域内であった場合には、その建物を遮蔽物の候補から除外した上で指標を計算する。

各指標は 0 以上 1 以下の数値であり、三つの指標から最終的な撮影確信スコアが計算される。本研究では、各指標が大きいかほど高

$$S_{mul} = C_{distance} \times C_{angle} \times C_{obstacle}$$

いスコアを与える積型の撮影確信スコア

と、重みを付けたうえでいずれかの指標が大きければ高いスコアを与える線形結合型の撮影確信スコア

を提案し、評価を行って有効性を確認する。

$$S_{linear} = \alpha C_{distance} + \beta C_{angle} + \gamma C_{obstacle}$$

設計と実装

利用者が指定した任意地点が撮影されている写真を検索するシステム CoCoPhoto を実装した。図 1 にシステム構成を示す。CoCoPhoto システムは、利用者が検索する位置を指定するクライアントと、クライアントからの検索問合せを実行するサーバ、およびサーバがデータを保存するデータベースから構成される。データベースには、撮影位置や方向などのメタデータが付加された写真データを保存する写真データベースと、建物データが保存されている建物データベースがある。建物データとは、建物の領域とその

位置を示すデータである。サーバは、クライアントから受信した指定位置を受信し、指定位置が撮影された写真をデータベースを用いて検索する。データベースより得られた写真について、撮影確信スコアを計算し、クライアントにランキングした写真を提供する。クライアントは写真を受信して利用者にランキング順に提示する。

Intel Core i7-3820@3.60GHz の CPU と 16GB のメモリを搭載した OS が Windows の計算機に、サーバおよびデータベースを構築した。データベースへの問合せや、ランキング結果の表示などのサーバの処理は Java8.0 を用いて実装した。データベース管理システムとして、PostgreSQL9.3 を用いた。

評価

幾つかの指定位置の写真を被験者に閲覧させ、アンケートを実施して提案手法を評価した。被験者は 20 代の大学生および大学院生 20 名である。被験者が任意に地点を指定して評価を行うと、被験者毎に異なる写真でランキングすることになる。この場合、写真の見易さや、指定地点を被験者が知っているといった、ランキングのスコア以外の要因が結果に影響を及ぼし、提案手法の有用性を正確に確認できない。そこで、本実験では、指定位置を予め決めておき、その指定位置で検索した結果を被験者に閲覧させた。まず、提案システムによって検索された写真一覧と、撮影位置が地図に示された画面を提示し、被験者に検索結果のそれぞれの写真と、地図に表示された撮影位置を知ること、写真の撮影条件を取得してもらった。その後、それぞれの写真について、アンケート項目に答えさせた。ただし、提案手法を用いたランキング順に写真を提示すると、被験者が写真の順番に何らかの規則があることに気づいてアンケート結果に影響を及ぼすことが考えられる。そこで本実験では被験者にはランダムな順番に並び替えて写真を提示した。

アンケートの一部に、被験者が指定位置をより確認できる写真順に並び替える質問を設定した。指定位置が撮影されていない写真は並び替えが困難なため、質問 1 で映っていると判断した写真を対象に被験者に実行させた。確認のしやすさの感覚は被験者毎に異なるため、選択された写真の撮影確信スコア S_{mul} と S_{linear} の平均値を求め、それらの順位を比較する。被験者の過半数がランキングした、寺院では 6 位まで、食堂では 4 位までのそれぞれの計算結果を表 6 に示す。寺院の場合は、 S_{mul} 、 S_{linear} とともに大きい値から順番に上位のスコアを与えていることが分かる。一方で食堂の場合、 S_{mul} 、 S_{linear} とともに撮影確信スコアが比較的近い値の写真が多く、被験者が選択した順位と撮影確信スコアの順位にずれが生じている。これは、他のアンケート結果と同様に、物体を被写体として指定した場合、メタデータから得られる撮影条件では不足しており、提案手法のよう

表 1: アンケート結果 (一部)

	平均 S_{mul}	平均 S_{linear}
寺院 1 位	0.802	2.705
寺院 2 位	0.623	2.495
寺院 3 位	0.327	2.125
寺院 4 位	0.281	2.078
寺院 5 位	0.257	1.799
寺院 6 位	0.278	1.856
食堂 1 位	0.519	2.465
食堂 2 位	0.682	2.654
食堂 3 位	0.226	2.118
食堂 4 位	0.073	1.950

に物体の大きさを考慮していないスコアでは、より確認できる写真を発見できないためである。

(2) 時間差異の考慮

本研究では、時間差異を短くするために、撮影データベースにアクセスすることなく撮影データを利用できるデータフロー制御機構を開発した。提案するデータフロー制御機構を用いることで、自動的に撮影データを検索でき、時間差異を短くできる。

時間差異を考慮するための課題

CoCoPhoto などのこれまでのライブビュー検索システムでは、撮影データをデータベースに保存していたため、別の視聴端末で利用するためには、データベースにアクセスして取得する必要があった。データベースにアクセスすることなく利用することで、データが生成されると自動的に別の視聴端末に送信でき、撮影データを早く取得できる。例えば、Twitter の投稿から撮影データを利用して視聴する場合、一定間隔で撮影データベースにアクセスして撮影データの更新を確認することが考えられる。ライブビュー検索システムへの負荷の都合上確認する間隔が数分程度である場合、撮影データが更新されてから、視聴するまで長くて数分かかることになる。データフロー制御機構を用いることで、更新されると自動的に利用して、撮影データを早く視聴できる。

設計

取得された撮影データを一時的に保持し、必要に応じて利用する機能を設計する。本研究では、他の視聴端末に撮影データを送信するために、ライブビュー検索システムにおけるデータフロー制御部で、撮影データを一時的に保持して通信を制御する。

・構成要素

データフロー制御部は、プロセス間通信によってライブビュー検索システムに登録された撮影データ間でのデータのやり取りを補助する。撮影データルーティングテーブルには、撮影データを利用する視聴端末が登録される。データフロー制御部は、撮影データルーティングテーブル上の登録情報を参照し、撮影データの振り分けを行う。撮影データバッファは、データフロー制御部に送信された撮影データ本体を、撮影データを利用す

各視聴端末へ送信するために、一時的に保持するバッファである。撮影データバッファでは、撮影データの書き込みおよび読み込みが同時に発生しないように、排他制御を行う。撮影データコンテナは、データフロー制御部と視聴端末との間で送受信される、撮影データを格納するデータコンテナである。撮影データコンテナには、撮影データのほか、データフロー制御部への要求、および要求に必要な情報が含まれる。データフロー制御部は、これらの情報を参照して、視聴端末の要求ごとに適した処理を行う。データフロー制御部に要求を出す際に必要のない情報は、省略できる。ライブビュー検索システムは、視聴端末や撮影端末に自動的に ID を割り振る。

・視聴端末情報の登録

データフロー制御部を使用する視聴端末はデータフロー制御部に対して登録要求を発行する。データフロー制御部における登録要求の処理手順を、図3に示す。データフロー制御部への撮影データ送信の有無、およびデータフロー制御部からの撮影データ受信の有無で送信する撮影データコンテナの内容が変わる。データフロー制御部に撮影データを送信する場合は、動作要求名を“register”とする。データフロー制御部は、これらの情報を持つ撮影データコンテナを受信すると、視聴端末の登録処理を開始する。まず、受信したデータの譲渡が許可されている場合は、撮影データルーティングテーブルに、送信視聴端末 ID を持つ視聴端末に送信する撮影データは、譲渡が許可されていることを登録する。ただし、既に登録されていた場合はこの操作を省略する。これにより、データフロー制御部が譲渡を許可している撮影端末からの撮影データを受信する毎に、登録された視聴端末へ撮影データを送信できる。

・撮影データの受信

撮影端末が撮影データを生成し、データフロー制御部へ送信すると、データフロー制御部に対してデータ受信要求を発行する。データフロー制御部における受信要求の処理手順を、図4に示す。この場合、撮影データコンテナの、動作要求名を“devote”、送信撮影端末 ID を自身の ID に設定する。データフロー制御部は、これらの情報を持つ撮影データコンテナを受信すると、撮影データバッファに撮影データを一時的に保持するための、受信処理を開始する。まず、撮影データルーティングテーブルを参照し、この撮影端末の生成する撮影データを要求する視聴端末が存在するか確認する。撮影データを要求する視聴端末が存在する場合、撮影データバッファの、受信要求を発行した撮影端末に対応する所定の領域に、一時的に保持する。このとき、データ保持領域では排他制御が行われるため、この操作が終了するまで保持するデータの読み書きは行われない。一方、データを要求する視聴端末が存在しない場合は、デー

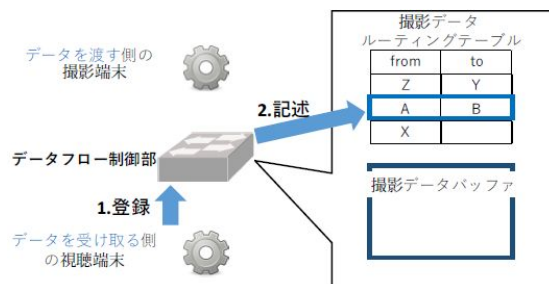


図3：視聴端末情報の登録

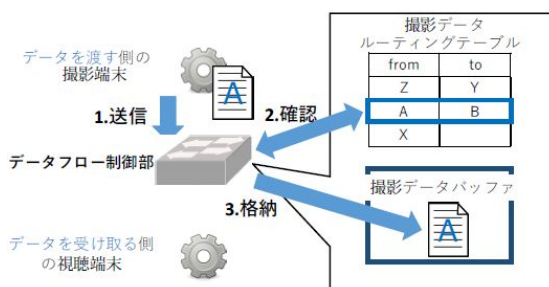


図4：撮影データの受信

タの受信要求を棄却する。

実装

前節で述べた設計に基づき、CoCoPhoto にデータフロー制御機構を備えた CoCoView を実装した。

撮影データルーティングテーブルおよび撮影データバッファの構築、視聴端末や撮影端末からの要求の処理ロジックなど、データフロー制御部は Java1.8.0_66 で実装した。視聴端末の新規登録、撮影データの確認、撮影データの取得などの機能は、CoCoPhoto の機能を利用した。撮影データの要求先と送信先、送信するデータの種別および撮影データを、Java の連想配列 HashMap を用いて格納した。端末 ID をキー値とし、その撮影端末が生成した撮影データを利用する視聴端末を連想配列でもち、さらに利用するデータ名とデータ本体を保持する。

評価

撮影データを利用するいくつかのフレームワークがあるため、CoCoView とそれらの機能比較を行った。結果を表2に示す。提案するデータフロー制御機構を用いることで、CoCoView において、撮影データを利用できる。fluentd は生成されたデータを受信して他のプログラムに送信して利用できる汎用的なプログラムである。UIMA や CoreNLP は、NLP のために開発された、データを再利用する開発環境である。

CoCoView では、撮影データの視聴中でも、データフロー制御部に登録することで、利用する撮影データを登録でき、「実行中の登録」を行える。fluentd においても、利用する撮影データをタグで指定することで、fluentd の動作中に利用する撮影データを登録できる。UIMA や CoreNLP では、あらかじめモジュールのつながりでプログラムを記述して開発環境に入力するため、プログラムの実行中

表 2 : データフロー制御部に関する機能比較

フレームワーク	撮影データの利用	実行中の登録	利用元の指定	利用先
CoCoView	○	○	撮影端末	視聴端末
fluentd	○	○		
UIMA	○	×		
CoreNLP	○	×		

に利用元を登録することはできない。「利用元の指定方法」とは、利用する撮影データの指定方法を示す。CoCoView では、撮影端末 ID を指定できる。fluentd では、上記した通り、タグで利用元を指定できる。UIMA と CoreNLP は、利用元を登録する機能自体がない。「利用先」とは、撮影されたデータを受信して利用するモジュールを示す。CoCoView では、撮影データを生成するプログラムにデータフロー制御機構がデータを送信する。fluentd では、プログラム自体にデータを送信できるが、中間処理結果となるデータはデータベースに保存されない。

(3)まとめ

本研究では、空間差異を考慮するために、指定位置撮影確信スコアを提案した。また、時間差異を考慮するためのデータフロー制御機構を開発した。これらの技術を用いることで、任意地点ライブビューを実現できる。

今後、移動型カメラ以外で撮影された撮影データも混在する状況において、任意地点ライブビューを実現することを考えている。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

石 芳正、川上 朋也、義久 智樹、寺西 裕一、コンシステントハッシュ法を用いた複数センサデータストリーム配信システムの実現と評価、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 58、No. 2、2017、pp. 343-355、<http://id.nii.ac.jp/1001/00177461/>

Tomoki Yoshihisa、Reducing Interruption Time by Segmented Streaming Data-Scheduling in Hybrid Broadcasting Environments、International Journal of Informatics Society (IJIS)、査読有、Vol. 8、No. 3、2016、pp. 141-149、http://www.infoc.org/journal/vol08/IJIS_08_3_141-149.pdf

[学会発表](計 23 件)

Yuki Taniyama、Tomoki Yoshihisa、Takahiro Hara、Shojiro Nishio、A System to Retrieve Photographs Showing Designated Points、IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2017)、2017 年 3 月 27 日 ~ 2017 年 3 月 29 日、Tamkang University (Taipei, Taiwan)

Keisuke Nakashima、Masahiro Yokoyama、Yuki Taniyama、Tomoki Yoshihisa、Takahiro Hara、S3 System for Sharing Social Sensor

Data and Analytical Programs、International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications, And Applications (MUSICAL2016)、2016 年 11 月 28 日 ~ 2016 年 12 月 1 日、International Conference Center Hiroshima (Hiroshima, Japan)

中嶋 奎介、谷山 雄基、横山 正浩、義久 智樹、原 隆浩、西尾 章治郎、社会センサデータ生成・共有基盤システムの設計と実装、情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア 分散 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2016)、2016 年 7 月 6 日 ~ 2016 年 7 月 8 日、鳥羽シーサイドホテル(三重県鳥羽市)

Tomoki Yoshihisa、Big Stream Data Distribution: Technologies and Perspectives、International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2015) (招待講演)、2015 年 11 月 4 日、Pedagogical University of Cracow (Krakow, Poland)

谷山 雄基、義久 智樹、原 隆浩、西尾 章治郎、指定位置を撮影した写真を撮影条件と地図情報により検索するシステム、情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア 分散 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2015)、2015 年 7 月 8 日 ~ 2015 年 7 月 10 日、ホテル安比グランド(岩手県八幡平市)

Tomoki Yoshihisa、Dynamic Data Delivery for Video Interruption Time Reduction in Hybrid Broadcasting Environments、International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC2014)、2014 年 9 月 11 日、University of Salerno (Salerno, Italy)

[その他]

異世界放送:

<http://www-mmde.ist.osaka-u.ac.jp/~yoshihisa/dwb/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

義久 智樹 (YOSHIHISA, Tomoki)
大阪大学・サイバーメディアセンター・
准教授
研究者番号: 0 0 4 0 2 7 4 3

(2)研究分担者

塚本 昌彦 (TSUKAMOTO, Masahiko)
神戸大学・工学研究科・教授
研究者番号: 6 0 2 7 3 5 8 8