

全方位カメラを用いたインターネット生放送における 視線ヒートマップの提案

高田真也¹ 西岡大¹ 齊藤義仰¹

A Proposal of the Gazes Heat Map in Internet Broadcast using an Omnidirectional Camera

MASAYA TAKADA¹ DAI NISHIOKA¹ YOSHIA SAITO¹

1. はじめに

YouTube やニコニコ動画に代表されるインターネット生放送サービスは、コミュニケーションツールとして広く利用されるようになってきた。平成 27 年度の通信利用動向調査[1]によると、インターネット利用者のうち、半数以上がインターネット利用の目的に、動画投稿・共有サイトの利用を挙げており、多くのユーザが利用していると言える。また、これらの他にも Twitter や Facebook などの SNS でも動画のリアルタイム配信に対応してきており、動画コンテンツは様々なサービスとの連携が可能になってきている。インターネット生放送は、放送者と視聴者がコメント等により、リアルタイムなコミュニケーションを取ることが特徴であり、コミュニケーションの結果を放送内容にフィードバックすることが可能である。

一方で、YouTube では 2015 年に 360 度動画のオンデマンド配信に対応し、2016 年には 360 度動画のインターネット生放送サービスへの対応が開始された。360 度動画とは、動画プレイヤー上で操作することで視線を 360 度全方向に向けることができる動画である。360 度動画は、複数の広角レンズによりカメラの周囲 360 度を撮影することができる「全方位カメラ」を用いて作成される。動画共有サービス最大手である YouTube の他にも、Twitter の Periscope や Facebook の Live360 など 360 度動画のインターネット生放送サービスへの対応が進んでおり、今後の爆発的な普及が期待される。

しかし、これまでの通常の Web カメラやスマートフォンのカメラを使用した動画配信の方法とは異なり、全方位カメラを用いた放送では、視聴者の視線を放送者が察知できないという問題が発生する。図 1 に従来の Web カメラを用いたインターネット生放送と全方位カメラを用いたインターネット生放送の違いを示す。従来の Web カメラを用いた場合は単一のレンズが撮影方向を明示的に示しており、視聴者は必然的にその撮影範囲内を視聴している。それに対し、全方位カメラを用いた場合は、魚眼レンズや複数のレンズが撮影を行っているため、視聴者が撮影範囲の中でどこを見ているのかが分からない。視聴者がどこを見ているのか、すなわち視聴者の興味がどちらに向いているのかを察知できない場合、コミュニケーションが円滑に行えない

可能性がある。本研究では、全方位カメラを用いたインターネット生放送において、放送者と視聴者の間で円滑なコミュニケーションが行えるように、視聴者の視線を放送者に対して可視化する視線ヒートマップモデルを提案する。本稿では、視線ヒートマップの実装および動作検証した結果について報告する。



図 1: カメラによる視線認知の差異

2. コミュニケーションにおける視線の役割

これまでも、コミュニケーションにおけるノンバーバル情報の重要性に関して様々な研究が進められてきている[2][3][4]。武川ら[5][6]によれば、コミュニケーションにおける視線はお互いの意図を伝える重要な役割を担っているとしており、相手が何に対し興味を持っているのかを感じ取ることができるものとしている。インターネット生放送において、放送者が視聴者の視線を察知できないということは、視聴者の興味や関心、発言の意図などが感じ取りづらくなる要因に成り得る。

植田ら[7]の研究では、コミュニケーションの様子を観察・分析した結果から、相手の意図を推し量るために有効なノンバーバル情報として、視線や韻律、表情を挙げている。大野[8]の研究では、従来の遠隔ビデオコミュニケーションシステムに加え、視線分析を基にしたコミュニケーション相手の視線位置の可視化が試みられている。遠隔地間での協調作業において、対面状態と同等の作業効率を実現するためには、相手の関心対象をより明解に示すことが必

¹ 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科
Iwate Prefectural University,
Graduate School of Software and Information Science

要であるからだ」と主張している。

これらの研究は、コミュニケーションを行う上で、相手に関心を示しているものが何か、また発言における中心となる対象が何かを理解するために、ノンバーバル情報が有用であることを示している。特に視線情報は、相手が何に関心を示しているのかを顕著に示している。つまり、全方位カメラを用いたインターネット生放送において、放送者が視聴者の視線を感じられないということは、視聴者の意図を十分に理解できず、円滑なコミュニケーションが阻害される可能性が生じる。

3. 全方位カメラと360度動画

ここでは、本研究で対象とした全方位カメラおよび360度動画について述べる。

3.1 全方位カメラ

全方位カメラはカメラを中心とした周囲360度全方向の映像を撮影することができるカメラのことを指す。全方位カメラには、大きく分けて2つの撮影方式がある。1つ目は複数のレンズを用いて撮影された映像を合成する方式である。Omniマウントと呼ばれる箱状のマウンターに小型のカメラを設置することで、360度動画の撮影が可能になる。2つ目は180度以上の広角を撮影することができる魚眼レンズを用いた方式である。この方式では、1つや2つの少ないレンズで360度動画の撮影が可能であるが、魚眼レンズを用いているため、レンズ中心から離れるほど歪みが発生してしまう。撮影された映像は付属しているソフトウェアなどを用いることで360度動画として視聴することが可能である。

現在、全方位カメラは様々な製品が登場している。代表的なものとしては、KodakのSP360アクションカメラ[9]やSamsungのGear360[10]などが挙げられる。本研究ではYouTubeのインターネット生放送サービスで、公式がサポートしているRICOHのTheta S[11]を用いた。Theta Sはdouble fish eyesと呼ばれる2つの魚眼映像が並んだ映像が撮影可能である。1280×720(pixel)のHDサイズになっており、直径640ピクセルの魚眼映像1つ分で180度の映像をカバーする。また、マイクも内蔵されているため、インターネット生放送での利用時はTheta Sを中心とした360度映像および音声を利用することが可能である。

3.2 360度動画

360度動画とは、動画プレイヤー上でドラッグ操作やフリック操作によって視聴方向を自由に変更することが可能な動画のことである。スマートフォンやタブレット端末などでは、ジャイロセンサを用いることで端末の傾きを検知し、動画の視線を端末の動きに合わせて変化させることが可能である。OculusRift[12]やGoogle Cardboard[13]のようなHMDを利用する場合は顔を向けた方向をHMDでセンシングし、映像の切り替えを行う。映像ソースの入力はdouble fish eyes映像によって行われ、プレイヤー側で全天球映像に変換し、再生を行っている。

パノラマコンテンツは古くから認知されているコンテンツの1つであるが、ハードウェアやネットワークの発達により、普及が進んできている。2012年に発表されたOculusRiftの発売から、HMDやパノラマコンテンツには関

心が集まっていたものの、コンテンツ自体の少なさから爆発的な普及には至っていなかった。しかし、2015年にYouTubeやFacebookなどのスマートフォンアプリでも利用できるようになったことで、スマートフォンを持っていれば誰でも楽しめるコンテンツとなった。今後もスマートフォンをはじめとした様々なデジタルコンテンツへの対応が見込まれる。

360度動画に関する研究において、その活用法を模索する研究は近年多く進められている[14][15]。主に、カメラフレームの枠を超えた様々な表現の可能性や臨場感向上について論じられたものが多く、コミュニケーションにおける利用に関する研究は少ない。特に、360度動画の視点変更機能とコミュニケーションにおける視線の役割に着目した研究は今のところ報告されていない。

4. 提案手法

ここでは、視聴者の視線情報を放送者に可視化する視線ヒートマップの提案について述べる。また、視線ヒートマップを実装するにあたり対象としたユースケースについても述べる。

4.1 視線ヒートマップ

インターネット生放送における視聴者の視線情報を放送者に可視化するために、視線ヒートマップを提案する。視線ヒートマップは、視聴者が視線を向けている方向を集計し、全方位カメラを中心とした球体表面にヒートマップとして表示することで、集中した多数の視線および少数の視線の可視化を行う。図2に視線ヒートマップのモデル図を示す。

本手法において、放送者は放送用のインターフェースと共に視線ヒートマップを表示する。放送者は全方位カメラの撮影方向に対応付けられたヒートマップを見ることで視聴者の多くがどこに関心を示しているのか、多数から外れた視聴者がどこに関心を示しているのかを直観的に理解することができるのである。

また、放送者の他にも視聴者が視線ヒートマップを表示することで、他の視聴者がどこに関心を向けているのかを知ることができる。他の視聴者の存在を視線の可視化によって感じることができ、視聴者間で行われるコミュニケーションも円滑にする効果が期待できる。

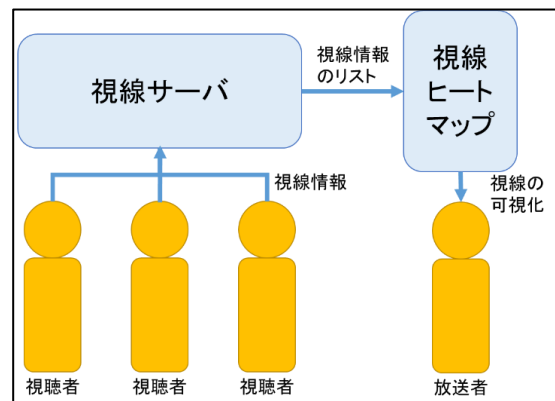


図2: 視線ヒートマップ

4.2 ユースケース

本研究において、全方位カメラを用いたインターネット

生放送サービス利用のユースケースを、従来のインターネット生放送サービスの利用動向を基に定義した。津田ら[16]の調査では、インターネット生放送サービスの視聴および放送、両方の経験がある500人に対して放送内容に関するアンケートを行った。その結果、回答者が行った放送の内容について、視聴者参加放送、動物、エンタテインメント、音楽などが上位に上げられた。視聴者参加放送は、1人の放送者が多数の視聴者とのコミュニケーションを行う放送である。エンタテインメントではゲーム、音楽では楽器の演奏や歌唱などを放送している。今回、動物については、定点カメラを用いたペット等の観察を行うものであったため、コミュニケーションをメインとした放送ではないと判断し、対象から除外することとした。

視聴者とのコミュニケーションをメインとした放送内容の中で上位に挙げられた視聴者参加放送、エンタテインメント、音楽を本研究では対象とする。放送者は1人のメイン放送者と数人のサブ放送者(サブ放送者は存在しない場合も有り得る)とし、放送者の中心に全方位カメラを設置するものとする。津田らの調査結果から、個人で行われている放送において視聴者数が100人を超えるものがごく少数であることが分かっている。よって、本研究のユースケースにおける視聴者は数十人程度の不特定ユーザとした。放送内容は数人程度の放送者による、視聴者を巻き込んだトークやゲーム、音楽の演奏とした。これは、音楽やゲームをメインの放送内容とした放送であっても視聴者とのコミュニケーションによってプレイするゲームや演奏する曲の決定を行っており、ゲームや音楽のみで放送時間すべてを使用することはあまりなく、複数の内容を放送していることが多いからである。

5. 実装

ここでは、本研究で視聴者の視線を可視化するために用意した、全方位カメラを用いたインターネット生放送の放送環境及び、視線ヒートマップを実装した視線可視化アプリについて述べる。

5.1 システムの構成要素

本研究におけるインターネット生放送システムの構成要素は、放送者クライアントと視聴者用のクライアント、映像を仲介するWebRTCサーバ、視線可視化アプリである。システムの構成図を図3に示す。ここでは、放送環境全般についての説明を行った後、視聴者の視線情報を集積し、統計を取る視線サーバ、実際に視線を可視化する視線可視化アプリについての説明を行う。

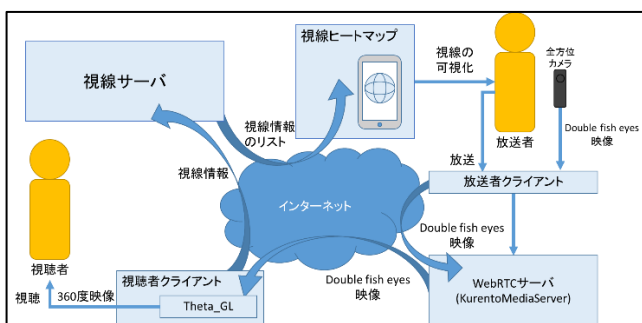


図3: 本研究のインターネット生放送システム構成図

5.2 全方位カメラを用いたインターネット生放送環境

既に全方位カメラを用いたインターネット生放送サービスはYouTubeなどで提供されている。研究開始当初、YouTubeで数回の放送を行い、その動作を確認したところ、放送者の行動や音声が視聴者のもとに届くまでに10秒前後の時間を要することが分かった。これはYouTubeにおいて、視聴者のPCスペックや回線状況に合わせて映像が配信できるように、サーバ側で低・中・高の三段階に映像をエンコードし直してから視聴者に映像や音声を送信することで発生する時間である。リアルタイムなコミュニケーションを行う上で、10秒前後のズレは話題の転換や次の発話が開始されてしまう可能性があり、視聴者も入力途中のコメントを差し控えるなど、円滑なコミュニケーションが行えないと判断した。そこで、本研究ではサーバサイドでのエンコード機能をカットしたズレの少ない、全方位カメラを用いたインターネット生放送システムを構築、使用することとした。コードの変更や機能追加などが行える点も利点として挙げられる。

本研究では、放送映像の使用に関して、従来のFlash Playerを利用した動画配信の仕組みは使用しなかった。これは2016年にGoggle社がChromeブラウザにおけるFlash Playerサポート廃止を発表したこと[17]により、動画配信・共有サービス最大手であるYouTubeがFlashからHTML5コンテンツへの乗り換えを発表しているためである[18]。ニコニコ動画に関しても、2016年10月27日より、一部ユーザから順次HTML5版と題したHTML5対応のプレイヤーの公開が進められている[19]。動画配信・共有サービスで進められているHTML5対応に合わせ、本研究においてもHTML5で再生可能なWebRTC技術を採用し、WebRTCの動画配信に対応したKurento Media Server[20]を利用した。

また、360度映像の再生に関しては、Theta_GL[21]というライブラリを使用した。THETA_GLはインフォコム社が公開しているライブラリで、THETA Sで撮影されたdouble fish eyes映像などをWebGLの3D空間における球体表面にマッピングすることで、360度動画としてWebブラウザ上で再生することができる。再生する映像のソースをWebRTCサーバから取得することでインターネット生放送にも対応することができる。

Theta_GLでは、WebGLの3D空間上に球体オブジェクトとカメラを設定している。球体の内側表面には360度動画の映像がマッピングされており、球体の中心点にカメラ位置が設定されている。Theta_GLにおける3D空間上の球体オブジェクトとカメラの位置関係を図4に示す。カメラの方向は球体表面に緯度経度のように設定された(x, y)の座標によって表現されており、球表面とカメラとの距離を示すz座標を付加した(x, y, z)の情報として管理される。

本研究では360動画を再生しているプレイヤーから視聴者の視線の方向を(x, y, z)の座標として取得し、視線方向を集計する「視線サーバ」に送信するようにした。視線サーバで集計された視線の情報はヒートマップを作成するための点座標および半径、強度の情報に変換される。また、視線の方向をインターネット生放送の映像と対応付けるために、視線方向の情報に対し、その時の時刻情報を付与して送信することとした。

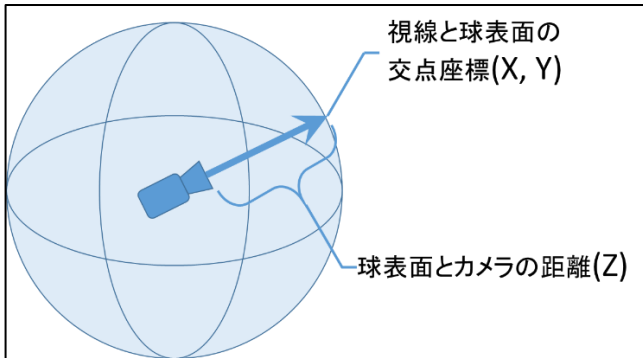


図4: WebGL上の3Dオブジェクトとカメラの関係

5.3 視線サーバ

視線サーバの役割は、複数の視聴者クライアントから送信されてくる視線の方向情報を集計し、ヒートマップ作成の情報に変換することである。3D空間におけるヒートマップ作成には、熱を持つ点の座標(x, y, z)および点が影響を及ぼす範囲(点からの半径)、点が持つ熱量の情報が必要になる。今回の実装において、点の持つ熱量と影響力に関しては変化をつけず、定量的なものとした。視線サーバでは、送られてきた(x, y)の情報から球表面の座標(x, y, z)を算出し、そのリストを保持する。このとき、リアルタイム性を意識し、一定時間が経過した点の情報についてはリストから自動的に削除されるようにした。視線可視化アプリからのリクエストを受信すると、視線サーバは自身が保持している視線方向のリストを可視化アプリに対して送信する。

5.4 視線可視化アプリ

視線ヒートマップを実装する上で、球体や半球、円筒状のディスプレイ、複数のプロジェクターを使用した投影など様々な手法が考えられる。しかし、これらの手法では使用する機材が特殊かつ高価であり、個人で放送を行う場合には入手が困難である。また、機材を使用するにあたり全方位カメラで撮影している映像と視線ヒートマップの表示の向きを調整する必要があり、実用が難しい。そこで、本研究では視線ヒートマップの可視化にAR技術を利用したAndroidアプリを使用することにした。これは、放送を行うユーザが持ち得るデバイスであり、全方位カメラに合わせてマーカーを設置することで、撮影映像と視線ヒートマップの表示方向を一致させることができるからである。視線可視化アプリは、放送者がPCで放送者用インターフェースを操作しながら、手元で視聴者の視線をアプリによってヒートマップ表示するという利用方法を想定している。

視線可視化アプリでは、視線サーバから受信した視線方向のリストから視線ヒートマップを作成し、ユーザに対する可視化を行う。アプリの実装はUnityによって行っており、ヒートマップの作成はAlan Zucconiによって提案されたシェーダを用いた方式[22]を使用した。この方式では3D空間上にヒートマップ用のデータリストを基に、中心点と半径、熱量のデータから透明な球体を配置する。シェーダが設定されたオブジェクトはこの透明な球体と重なった個所にその熱量に応じてヒートマップを表示する。作成したアプリでは、位置関係を分かりやすくするために、縦と横に線を引いた画像をマッピングした球体と、シェーダを適用した一回り大きい球体が重ねてある。

視線可視化アプリでは、視線サーバに対しリクエストを毎秒送信し、視線方向のリストを更新していく。更新されたリストは即座にUnity空間上に配置した球表面にヒートマップとして反映され、視聴者の視線をリアルタイムに可視化することができる。可視化アプリで表示するヒートマップと全方位カメラの撮影した映像の方向を対応付けさせるため、可視化アプリの表示にはAR技術を使用した。本研究ではPTCジャパンが提供するARエンジンVuforia[23]を用いて実装を行った。AR表示に用いるマーカーを全方位カメラのレンズ方向に合わせて設置することで、アプリ内で表示したヒートマップと全方位カメラが撮影した映像との一致を図ることが可能である。

実際に視聴者の視線を視線可視化アプリによって表示した様子を図5に示す。図5において、設置された紙にはアプリにマーカーとして登録した図が印刷されており、その上部にヒートマップ表示用の球体が重ね合わせて表示されている。重ね合わされた球体の表面には、緑色のヒートマップが表示されている。また、球体右側に表示された矢印は全方位カメラとの同期のために表示されているもので、全方位カメラと矢印の方向が合うように紙の向きを調整することで、ヒートマップの表示が現実の空間と対応する。



図5: 可視化アプリで表示した視聴者の視線

6. 動作検証

実装した視線可視化アプリについて、その動作を確認するために動作検証を行った。ここでは、実施した動作検証について述べる。

6.1 動作検証の概要

動作検証は岩手県立大学コミュニケーション学講座研究室にて、2017年2月10日に実施した。協力者5名を、放送者1名、視聴者4名に分けて実装環境での放送を実施し、動作の確認および視線ヒートマップによる視線の可視化についてインタビューを行った。放送時間は30分、全方位カメラは放送用PC近くに三脚で固定して設置した。放送内容はあらかじめ室内に設置した「鍋、ぬいぐるみ、TVゲーム機、狐のお面」に関する話題を視聴者から提供し、その話題について放送者のアドリブで雑談をしてもらった。設置物と放送者の位置関係を図6に示す。話題の提供は視聴者1人に対し1つをあらかじめ割り振ったものであり、発言タイミングは5分ずつずらして指示し、お互いの話題は分からないようにした。また、設置物に関しては、室内の広範囲に設置し、話題の変更に伴い視聴者の視線方向が変

化するようにした。また、現在の実装システムではコメント機能の実装を行っていなかったため、視聴者と放送者のコミュニケーションはスマートフォンアプリ「LINE」によって行うこととした。動作検証における放送者および視聴者の様子を図7に示す。

30分の放送後に放送者および視聴者全員に、視線方向に関するインタビューを行った。インタビューは参加者一人一人に対し、他人の視聴方向を感じることはできたか、他人が話題に挙げたものを発見することができたか、PCとスマートフォンの同時操作は行えたかの3つの質問をオープンエンド方式で行った。また、放送者に対してはこれらの質問に加え、視聴者の視線の動きを視線可視化アプリによって把握することができたか、放送をする上で不便に感じたことは何かを質問した。

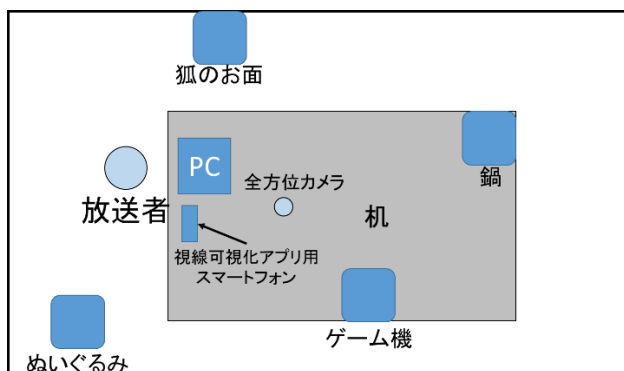


図6：設置物と放送者の位置関係

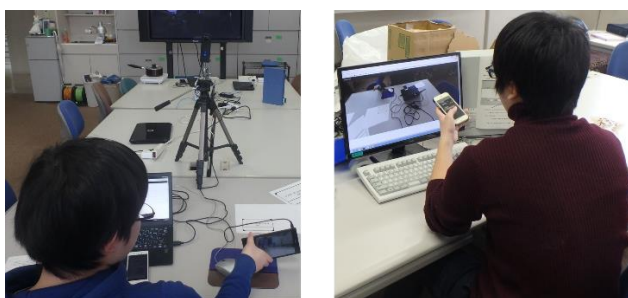


図7：放送者(左)と視聴者(右)の様子

6.2 動作検証の結果

動作検証において、放送中に行われたコミュニケーションでは、問題は見られなかった。放送者から視聴者の視線をリアルタイムに把握することができ、視聴者の様子を把握しながら放送が行えたという意見が得られた。また、マーカーの向きや位置に関してもARアプリの矢印表示もとに容易に行っていた。

一方で、三脚により全方位カメラを固定した場合に視線方向が放送者や設置物のある下方向に集中してしまう、2つのレンズの境界に設置物がある場合設置物が歪んでしまい見づらくなってしまふ、ということが分かった。視線の下方向集中は、サイズの大きい三脚を用いたことでレンズ位置が高い位置に固定されてしまったことが原因で起こったものであり、レンズの境界で被写体が歪んでしまふ問題については映像を貼り付けた半球の重ね合わせの調整により軽減が必要となる。

この他にも、放送者へのインタビューでは、ARアプリにおいてマーカーがカメラフレーム内に収まっていないとオ

ブジェクトの表示が行えないことから、視線ヒートマップの下部が見づらいという点が挙げられた。先に述べた視線の下方向集中と併せ、視聴者の視線を把握することが難しいとの意見が得られた。また、視聴者も含めた実験参加者から、PCの放送画面とスマートフォンを同時に操作することが負担になるとの意見が得られた。これはスマートフォンアプリを使用してコミュニケーションを行ったため得られた意見である。特に今回の動作検証において、放送者はコメント送受信を行うものと、視線可視化アプリを動作させるものの2台のスマートフォンをPCと同時に操作する必要があったため、重度の負担となってしまった。

7. 考察

今回の動作検証で得られた意見の中で、視線の下方向集中とARアプリで視線ヒートマップの下部が見えづらい問題について、視線ヒートマップの本来の目的である視聴者の視線方向の把握が困難であると判断した。放送画面を見ながらのスマートフォン操作について、今回はコメントの送受信のためにスマートフォンアプリを使用したために、このような意見が発生した。ユースケースで挙げた、視線ヒートマップの視聴者利用に関して、この問題は重要になる可能性があると考えられる。

しかし、視線可視化アプリの当初の目的である、視線の可視化に関しては、放送者が視聴者の視線を把握することができたため、十分に達成できているものと考えられる。視線ヒートマップの表示方法の工夫により、実際の放送環境においても十分にコミュニケーションを支援する効果が期待できる。

7.1 視線可視化の提示方法について

動作検証の結果から、下方に集中した視線情報を放送者に提示するために、視線ヒートマップの回転操作機能が必要になると考える。当該機能はスマートフォンのタッチスクリーンを利用し、視線ヒートマップを表示した球体を回転することができるようにするものである。ただしこの時、球体の回転によって全方位カメラが撮影する映像と視線ヒートマップの同期が取れなくなってしまう。そのため、スワイプ操作後に指がタッチスクリーンから離れた時点で、球体の回転をリセットすることで、この問題を一時的なものとし、いつでも同期した状態に戻せるようにする。

7.2 PCとスマートフォンの同時操作について

インタビューの結果得られたPCとスマートフォンアプリの同時の操作が困難であるという問題について、スマートフォンの利用方法を十分に検討する必要がある。スマートフォンアプリで行っていたコメント機能をPCの視聴画面に実装することで、YouTubeやニコニコ動画のようなインターネット生放送システム的环境に近づけることができる。しかし、視線の可視化については全方位カメラで撮影した映像との同期を図る必要があるため、ARマーカーを用いずにPC上で視線ヒートマップ表示を行う場合、同期が行えないという問題点がある。この問題点はPCを用いたままでは解決が困難であるため、AR技術の利点を活かし、操作負担を軽減した視線ヒートマップ可視化アプリを考察していく必要がある。操作負担の軽減のため、少ない操作手順で可視化が行えることを目指す。

8. まとめ

本論文では、全方位カメラを用いたインターネット生放送において放送者が視聴者の視線を察知できないという問題点に対し、視線ヒートマップによる可視化を提案した。また、AR 技術を用いた視線ヒートマップの可視化をアプリ実装し、可視化アプリの動作検証を行った。

現段階では動作の検証までしか行っておらず、視線可視化アプリが全方位カメラを用いたインターネット生放送において、放送者と視聴者の間で行われるコミュニケーションを円滑化することができるかは評価できていない。今後、このことを確認するためにも複数回の実験とその結果のフィードバックを行っていききたい。

参考文献

- [1] 総務省 : 通信利用動向調査 平成 27 年調査, 2016; http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/160722_1.pdf
- [2] Roel Vertegaal, “The GAZE groupware system: mediating joint attention in multiparty communication and collaboration”, CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, pp.294-301, 1999
- [3] David M. Grayson, Andrew F. Monk, “Are you looking at me? Eye contact and desktop video conferencing”, ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) Volume 10 Issue 3, September 2003, pp.221-243, 2003
- [4] Hiroshi Ishii, Minoru Kobayashi, “ClearBoard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact”, CHI '92 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.525-532, 1992
- [5] 武川直樹, “コミュニケーションにおける視線の役割”, 電子情報通信学会誌 Vol.85(10), pp.756-760, 2002
- [6] Naoki Mukawa, Tsugumi Oka, Kumiko Arai, Masahide Yuasa, “What is connected by mutual gaze?: user's behavior in video-mediated communication”, CHI EA '05 CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.1677-1680, 2005
- [7] 植田一博, 吉川左紀子, 伝康晴, 長岡千賀, 大本義正, 榎本美香, “会話の分析とモデル化”, 人工知能学会誌 Vol.21(2), pp.169-175, 2006.
- [8] 大野健彦, “視線共有に基づく遠隔地間コミュニケーション”, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理 104(747), pp.55-60, 2005
- [9] PIXPRO - マスプロ電工 | MASPRO, <https://www.maspro.co.jp/products/pixpro/sp360/>
- [10] Gear 360 | ウェアラブル | by Galaxy, <http://www.samsung.com/jp/consumer/mobilephone/gear/gear/SM-C200NZWAXJP>
- [11] 製品紹介 | RICOH THETA, <https://theta360.com/ja/about/theta/s.html>
- [12] Oculus, <https://www.oculus.com/rift/>
- [13] Google Cardboard(商品情報)
- [14] 笠原俊一, 暦本純一, “JackIn : 一人称視点と体外離脱視点を融合した人間による人間のオーグメンテーションの枠組み”, 情報処理学会論文誌 56(4), pp.1248-1257, 2015
- [15] 片山康太郎, 柴田啓司, 堀田裕弘, “極座標方向への画像積分による全方位動画画像中の車両検出の高速化”, 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 113(469), pp.125-128, 2014
- [16] 津田侑, 上原哲太郎, 森村吉貴, 森幹彦, 喜多一, “インターネット生放送におけるユーザの活動の分析”, システム制御情報学会論文誌 28(10), pp.407-418, 2015
- [17] Intent to implement: HTML5 by Default, 2016, https://groups.google.com/a/chromium.org/forum/#!searchin/chromium-dev/HTML5%20by%20default/chromium-dev/0wWoRRhTA_E/_E3jf40OAAJ
- [18] YouTube Engineering and Developers Blog: YouTube now defaults to HTML5 <video>, 2016, https://youtube-eng.googleblog.com/2015/01/youtube-now-defaults-to-html5_27.html
- [19] 「動画視聴ページ HTML5 版 (β)」提供開始のお知らせ - ニコニコインフォ, 2016, <http://blog.nicovideo.jp/niconews/ni064261.html>
- [20] Kurento, <http://www.kurento.org/>
- [21] Theta_GL, 2016, https://github.com/mganeko/THETA_GL
- [22] Arrays & shaders: heatmaps in Unity, 2016, <http://www.alanzucconi.com/2016/01/27/arrays-shaders-heatmaps-in-unity3d/>
- [23] Vuforia | Augmented Reality, <https://www.vuforia.com/>