平成25年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目
スポーツ中継視聴時における盛り上がりを共有するジェスチャインタラクション手法

主専攻　　情報システム主専攻

著者　　澤田佳樹

指導教員　高橋伸　志築文太郎　三末和男　田中二郎

要　旨

スポーツ観戦におけるパブリックビューイングでは, 現地での観戦のように他の観客との盛り上がりや一体感を共有することができる. しかし, 現状パブリックビューイングを行うには場所や設備においての制約が多い.

本研究では一人でスポーツ中継を視聴する場合であっても, 離れた場所でスポーツ中継を視聴する観客と盛り上がりや一体感を共有することのできるジェスチャインタラクション手法を開発することを目的とする. そのために, 離れた場所でスポーツ中継を視聴する観客と仮想的にハイタッチやウェーブを行うことができる手法を提案し, そのシステムの開発を行った. 本システムでは, 映像通信を用いて離れたユーザの映像を提示することで仮想的な座席関係を構築し, 隣の観客とハイタッチ, さらに仮想的な会場全体でのウェーブを行うことができる. ユーザの動作を Kinect で認識し, その動作情報をユーザ間で共有することにより仮想ハイタッチ, 仮想ウェーブを実現させた. また, それらに対し評価実験を行い, 盛り上がりや一体感を共有することができるかどうか検証を行った.

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　研究の背景 1
1.2　研究の目的とアプローチ 2
1.3　論文の構成 2

第 2 章　関連研究 **3**
2.1　スポーツや音楽会場の観客動作に関する研究 3
2.2　通信映像表現による臨場感や動作の意図の伝達に関する研究 3
2.3　本研究の位置付け 4

第 3 章　映像通信を用いた遠隔地の観客とのインタラクション手法 **5**
3.1　仮想的な観客席の構築 5
3.2　隣り合う観客と行うハイタッチ動作 7
3.3　ユーザ全体で表現するウェーブ動作 10

第 4 章　実装 **12**
4.1　開発環境 12
4.2　仮想ハイタッチシステム 12
4.2.1　ユーザの環境構成 13
4.2.2　アプリケーション構成 13
4.2.3　仮想観客席における隣のユーザの映像の提示 13
4.2.4　ハイタッチ動作の認識 15
4.2.5　ユーザの動作状態の通信 17
4.2.6　仮想ハイタッチの成立 18
4.3　仮想ウェーブシステム 19
4.3.1　ユーザの環境構成 19
4.3.2　アプリケーション構成 19
4.3.3　提示画面構成 19
4.3.4　ウェーブ動作の認識 21
4.3.5　ウェーブ情報の共有 22

第 5 章　システム評価と考察 **24**
5.1　仮想ハイタッチ評価実験 24

5.2 仮想ウェーブ評価実験 26
5.3 仮想ハイタッチにおけるユーザフィードバック 28
5.4 アバターを用いた仮想ウェーブの実現 28

第 6 章 結論 **29**

謝辞 **30**

参考文献 **31**

図 目 次

3.1 仮想的な観客席の構成 6
3.2 隣り合う観客がハイタッチを行う場合の流れ
(a) 隣り合う二人の観客
(b) 1 人の観客が隣の観客に手を掲げる
(c) お互いに手を掲げている
(d) 観客がハイタッチを行う 8
3.3 仮想ハイタッチの流れ 9
3.4 仮想環境におけるウェーブ動作 10
3.5 ユーザの連動したウェーブ動作の提示 11

4.1 ハイタッチシステムのスクリーン側の環境構成 13
4.2 ハイタッチシステムのアプリケーション構成 14
4.3 前方を向く相手ユーザの様子 14
4.4 こちらの様子を伺う相手ユーザの様子 14
4.5 ハイタッチ動作の状態遷移図
(状態 0) 試合観戦状態
(状態 1) ハイタッチ待機状態
(状態 2) ハイタッチ実行状態 16
4.6 仮想ハイタッチ成立時のユーザの様子 18
4.7 仮想ウェーブシステムのアプリケーション構成 20
4.8 仮想ウェーブの提示画面 20
4.9 ユーザ動作の様子 21
4.10 仮想ウェーブシステムのサーバーアプリケーション 22

表 目 次

5.1 仮想ハイタッチアンケート結果 25
5.2 仮想ウェーブアンケート結果 27

第1章　序論

1.1　研究の背景

スポーツにおいて, 現地での観戦は他の観客との一体感や, 盛り上がりを体感できるものとしてＴＶ中継とは違った楽しみ方が出来るとして人気が高い. しかし, 試合会場の広さや開催地の遠さなどの理由から, 現地観戦が出来ない人が多いのが現状である. そこで近年, スポーツイベントに際して行われる「パブリックビューイング」というものが登場した. 巨大なスクリーンを用いて試合の中継映像を映し, その映像を不特定の観客と視聴するイベントである. その会場では, 観客が声やジェスチャを通して, 自分の感情を近い座席の観客に対して表現するといった場面を多く見ることができる. さらには共通の選手やチームを応援する際, 会場全体で共通のジェスチャを行うことで感情を共有することができる. そして感情を共有することにより, 盛り上がりや一体感を得る事ができる. しかし, パブリックビューイングが開催されるのは, 遠隔地のサッカースタジアムや都心部の大型商業施設, 大型ホールなどであり, 現状, 場所や設備において制約が多いのが現状である. 一方, 最も身近な観戦方法としては, 自宅でのＴＶスポーツ中継が挙げられるが, 一人で観戦する視聴者も多く, 現地観戦や, パブリックビューイングのような観客同士のインタラクションを行うことが出来ない.

パブリックビューイングを構成する要素について西尾 [1] は, 次の 3 つの要素を挙げている.

1. コンテンツの予測不可能性

   スクリーン上に映し出されるコンテンツつまりスポーツ中継は予測不可能な側面を持つ. 映画はあらかじめ編集, 計画された映像であるのに対し, スポーツ中継は結果が決まっておらず, 当然編集された映像でもない. それは観客に驚きや感動を与える要因となっていると考えられる.

2. 場所の脱個人性

   場所の脱個人性とは, パブリックビューイングの観客が足を運んで個人の環境から, 集団共通の視聴環境を選んでいるということである. この環境は, 周りの観客が観戦する様子を見て取ることが出来る環境であって, 少なからずもその影響を受けることが出来る性質をもつ.

3. 観客の性質

   パブリックビューイングにおける観客の性質として, 匿名性が挙げられる. たとえ観客は匿名であっても, コンテンツ, 場所を共有し, ジェスチャを通して感情的に同調し一体感を生み出している.

これらの要素を自宅の視聴環境と比較すると, 自宅環境では「場所の脱個人性」と「観客の性質」といった要素は満たされていないことが分かる. 自宅環境はまさに個人の環境であり, 一人で観戦する際には周りの観客の様子を見て取ることが出来ない. 自宅の視聴環境における周りの観客は, 家族や友人は匿名とはいえないし, 一人で視聴する際にはジェスチャを他人に提示することも出来ない.

1.2 研究の目的とアプローチ

本研究では, 一人でスポーツ中継を自宅のテレビのような個人的な環境で視聴する場合であっても, 不特定の観客と盛り上がりや一体感を共有することのできるジェスチャインタラクション手法を開発することを目的とする. その手法は現地観戦や, パブリックビューイングのようにジェスチャを通して感情的に同調できるような手法である. そのアプローチとしては, スポーツ観戦時において観客が盛り上がりを表現するようなジェスチャ, 特に観客が隣の観客と喜びの感情を共有する時に行うハイタッチ, また会場全体で盛りあがりを表現することができるウェーブに着目する. そして, それらのジェスチャインタラクションを仮想的に体感できるように環境を構成する.

1.3 論文の構成

第 1 章では, 本研究の背景, 目的とアプローチを述べた. 第 2 章では, 関連研究と本研究の位置づけを述べる. 第 3 章では, 映像通信を用いた遠隔地の観客とのインタラクション手法について述べる. 第 4 章では, その提案手法のプロトタイプシステムの実装について述べる. 第 5 章では, 実装したプロトタイプシステムについての議論を行う. 第 6 章では, 本論文の結論と今後の課題を述べる.

第2章　関連研究

スポーツや音楽会場の観客動作に関する研究について述べたあと, 映像通信を中心とした, 遠隔コミュニケーションに関する研究について述べる. それらを踏まえた上で, 本研究の位置づけについて説明を行う.

2.1　スポーツや音楽会場の観客動作に関する研究

吉田ら [3] は, 多人数の骨格の動きを動画に重畳表示させることにより, 音楽会場の観客同士の一体感を表現するシステムを開発した. 多数の骨格の動きに合わせて, 自分の動きを連動させることで, ライブ会場における「ノリ」を体感できるシステムである. しかし, このシステムではパフォーマや音楽に向けられたジェスチャなど, 会場全体の盛り上がりを表現することができていても, 特定の観客に向けられたジェスチャを提示することはできない. さらに, このシステムは骨格情報を取得し記録をしておき, 後でそのデータをもとに動きを再現するものなので, リアルタイムに動いているユーザは一人である. つまり, 画面に表示されている骨格の動きに合わせて自分の動きを連動させることができても, その自分の動きに対して, 画面の骨格の動きが変化するといったインタラクションは行われない.

また, 香川ら [4] は一人でメガホンを持ってスポーツをテレビ観戦する際の動作情報を基に, テレビ画面に表示されたメガホンのオブジェクトの動きを生成し, ユーザの動きを増長させるシステムを開発した. 表示されたオブジェクトの動きに合わせて動作を行うことでそのオブジェクトとの盛り上がりを感じることができるシステムである. しかし, オブジェクトとの盛り上がりを体感することができても, そのオブジェクトの動きのもととなる動作情報はユーザそのものから取っており, 現地観戦やパブリックビューイングのように, 他の観客の動作との一体感といったものを感じることができるとはいい難い. また, テレビ観戦する他の観客とのインタラクションを行うことはできない.

2.2　通信映像表現による臨場感や動作の意図の伝達に関する研究

カメラで撮影した映像をリアルタイムでそのまま, または加工を行ってユーザに提示する研究として Gaver[2] は家の屋根に取り付けたカメラ映像をリビングルームの窓に表示することによってリビングから普通の窓を覗くよりも, より外の様子を知ることができるシステムを開発した. また, カメラの撮影対象が人間であった場合でもその人間の身振りや表情, それらを通した意図の伝達などといった項目を対象に映像表現の影響について様々な分析が行われてい

る [9]. 正面にディスプレイとカメラを設置し, 映像通信を用いて対面コミュニケーションを図るシステムは多数開発されてきた [5][10][11]. 複数人の遠隔コミュニケーションを対象とした研究でいうと,luff ら [6] は t-Room[7] を使って, 遠隔会議中に行われるジェスチャについて解析を行い, そのシステムについての検討を行った. t-Room とは, ディスプレイとカメラに囲まれた部屋を遠隔地に 2 つ設置し, その部屋の様子やジェスチャを周囲からのカメラで撮影し, それをもう一方の部屋のディスプレイで再現することで, 遠隔に会議を行うことができるシステムである. このシステムにおけるジェスチャは特定の物, または人に対して行われるものであり, そのジェスチャが指し示す対象についての把握に適していると思われる.

2.3 本研究の位置付け

これらの関連研究を踏まえた上での本研究の位置づけとしては, 観客動作の提示をリアルタイムで行うものであり, またその提示画面を通して, 一人でテレビを用いてスポーツ観戦する観客間のインタラクションの実現を目指すものである. そこで, 我々は特定の観客に向けられたジェスチャを示す手法, さらには会場全体の盛り上がりを他の観客に提示する手法を提案する. その手法において, テレビ観戦する観客はリアルタイムで感覚的に繋がることができ, その観客全体で作り出される盛り上がりや一体感といったものもリアルタイムで生み出されているものである. また, 通信映像を用いて, その身振りや表情を通して, そのユーザと一緒に観戦している感覚を与える. 部屋全体の様子よりもむしろ観客の動作のみを認識することによって, その動作が表現する意図といったものを通信映像表現を通していても伝えられるような特徴をもつ.

第3章　映像通信を用いた遠隔地の観客とのインタラクション手法

スポーツ観戦時における遠隔地の観客との盛り上がりや一体感を共有するジェスチャインタラクション手法について説明する. 本研究では映像通信を用いて, 一人の観客がスポーツをテレビ観戦するのと同時に, 遠隔地の観客の観戦時の様子を把握出来る環境を構築する. またその環境において, スポーツ観戦時のジェスチャを通したインタラクションを行うことによって, 盛り上がりや一体感を共有する狙いがある. 本章では, 提案手法において観客が置かれる環境について説明する. さらに, スポーツ観戦時に行われる特定の観客とのジェスチャインタラクションと会場全体の盛り上がりを表現するジェスチャに着目し, 離れた場所でテレビ観戦している観客と盛り上がりや一体感を共有する手法についても説明する.

3.1　仮想的な観客席の構築

現地観戦や, パブリックビューイングの観客が見ている風景は, その観戦会場の座席位置によって決まる. また, 座席の位置によって隣に座る観客が決定する, つまり観客同士の関係は座席関係に起因していると考えられる. よって本研究では, 他の観客の観戦する様子を映像通信を用いて提示することによって, 仮想的な観客席を構築する手法を提案する.

本手法において, 観客（以後ユーザとする）が置かれる状況設定として, 環境構成を図 3.1 に示す. また, 実際の会場と同じように 100 人規模の観戦するユーザがいることを想定する. 各ユーザの正面には試合映像を映すためのテレビ, さらにユーザのジェスチャを認識するための深度カメラ（Kinect）を一台設置する. 左右にはユーザの姿を撮影するためのカメラと, 別のユーザ（B,C）の姿を映すためのスクリーンを設置する. 図 3.1 を例にすると, ユーザＡの左側のスクリーンにはユーザ B の右側から撮影した映像を, またユーザＡの右側のスクリーンにはユーザ C を左側から撮影した映像を映し出す. これにより, ユーザＡは左右にユーザ B,C が隣で観戦している感覚を得る事ができる. また, ユーザ B の左側, ユーザ C の右側には他のユーザの様子を表示する. このように, ユーザ同士の仮想的な座席関係を構築していくことによって, すべての観客が環状に並んで観戦している環境を構築する.

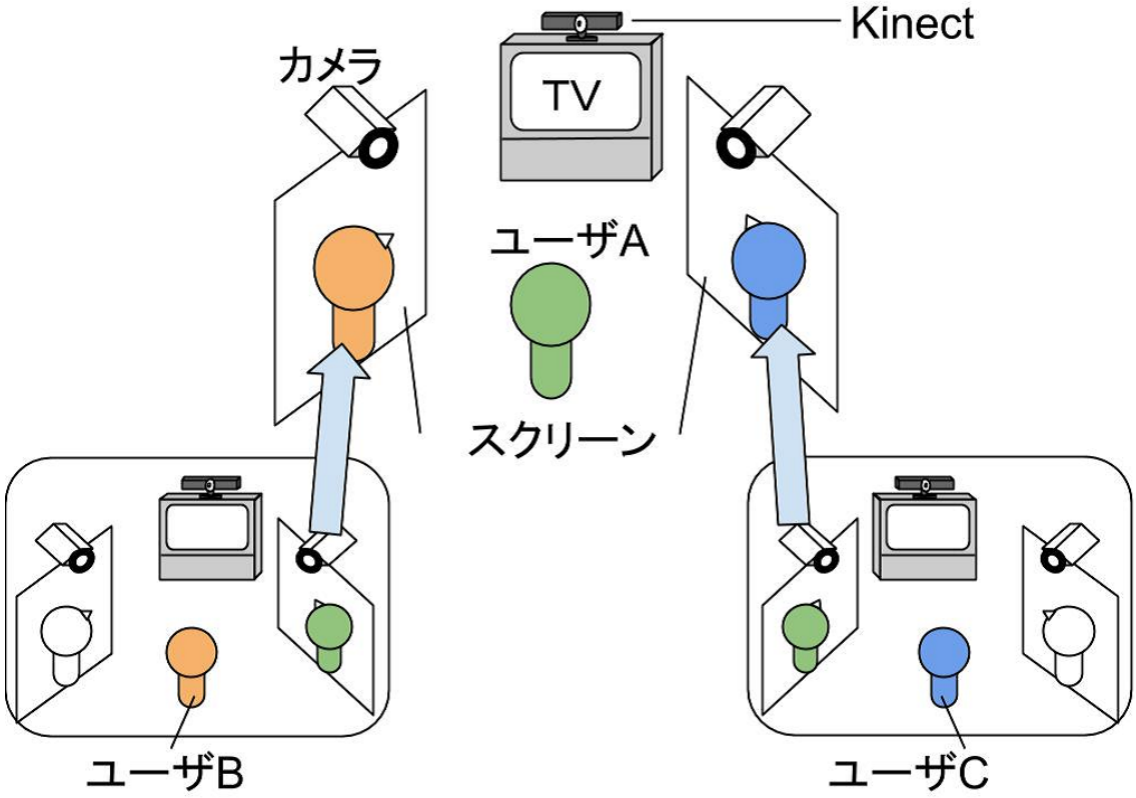

図 3.1: 仮想的な観客席の構成

3.2　隣り合う観客と行うハイタッチ動作

現地観戦や, パブリックビューイングでの観戦の際, 観客が声やジェスチャを通して自分の感情を近い座席で観戦している人に対して表現する様子が多く見られる. その感情は喜びであったり落胆であったり様々であるが, 感情を表現するジェスチャというのは, 多くの場合において共通の動作である. そこで本手法では, スポーツ観戦時に隣の座席の観客と喜びを共有するためのジェスチャとしてハイタッチに着目する. さらに現地観戦やパブリックビューイングのように, ジェスチャが表現する喜びを隣に映るユーザと共有する手法を提案する.

本手法で実現を目指す, スポーツ観戦時に行われるハイタッチ動作の流れを図 3.2 に示す. まず, 二人の観客が隣に並んで観戦しているとする (a). 試合中に応援する選手やチームが活躍するときに観客 A,B の両方が喜びを感じている. すると観客 A は観客 B とハイタッチしようとし, 喜びの声を出しながら観客 B のほうに振り向き手を差し出す (b). 観客 B は差し出された手を認識するとお互いのハイタッチする意思を確認するために手を差し出す (c). 観客はお互いのハイタッチする意思を確認するとタイミングを合わせて手を伸ばし, 相手の手にぶつけることによってハイタッチが成立し, 観客 A,B は喜びを共有することが出来る (d). この一連の流れを踏まえて, ハイタッチ動作を横のスクリーンに映し出されるユーザと仮想的に行う手法について説明する.

本手法においての仮想的なハイタッチの流れを図 3.3 示す. スポーツ観戦をしている間, ユーザ A は左に映るユーザ B が試合に集中している様子を見て取ることができる. ユーザ B がユーザ A とハイタッチしようとユーザに向かって両腕を掲げる. するとユーザ B が手を差し出し, ハイタッチを待機する状態になったことをユーザに知らせるためにユーザ A には音が提示され, 提示画面の枠が緑色から黄色に変化する. その音に反応したユーザ A は, 提示画面に映るユーザ B に対して両腕を掲げることによって, 同様にハイタッチを待機していることをユーザ B に示すことができる. お互いにハイタッチを待機していることを確認してから, ユーザ A,B はお互いに手を前方に差し出す動作を行う. 動作を行っている際はおたがいの提示画面の枠は赤色に変化し, ユーザは動作のタイミングを合わせることができる. システムはそれぞれのユーザの動作のタイミングを判定し, そのタイミングが一致すればハイタッチが成立する. この時, ハイタッチが成立した際にシステム側から効果音を鳴らすことでハイタッチが成立したことをユーザに知らせ, ハイタッチした感覚をユーザに与えることができる.

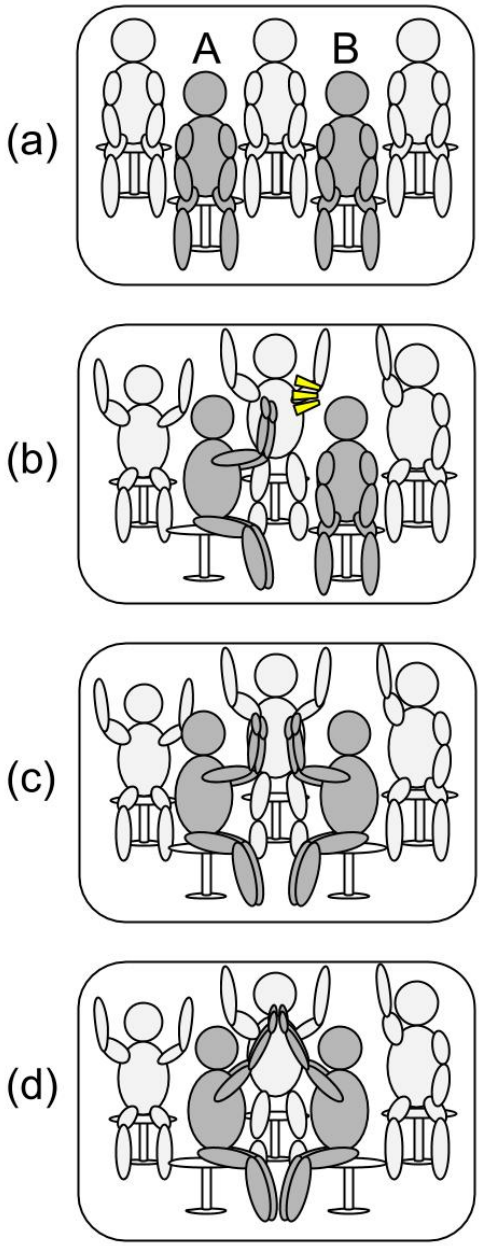

図 3.2: 隣り合う観客がハイタッチを行う場合の流れ
(a) 隣り合う二人の観客
(b) 1 人の観客が隣の観客に手を掲げる
(c) お互いに手を掲げている
(d) 観客がハイタッチを行う

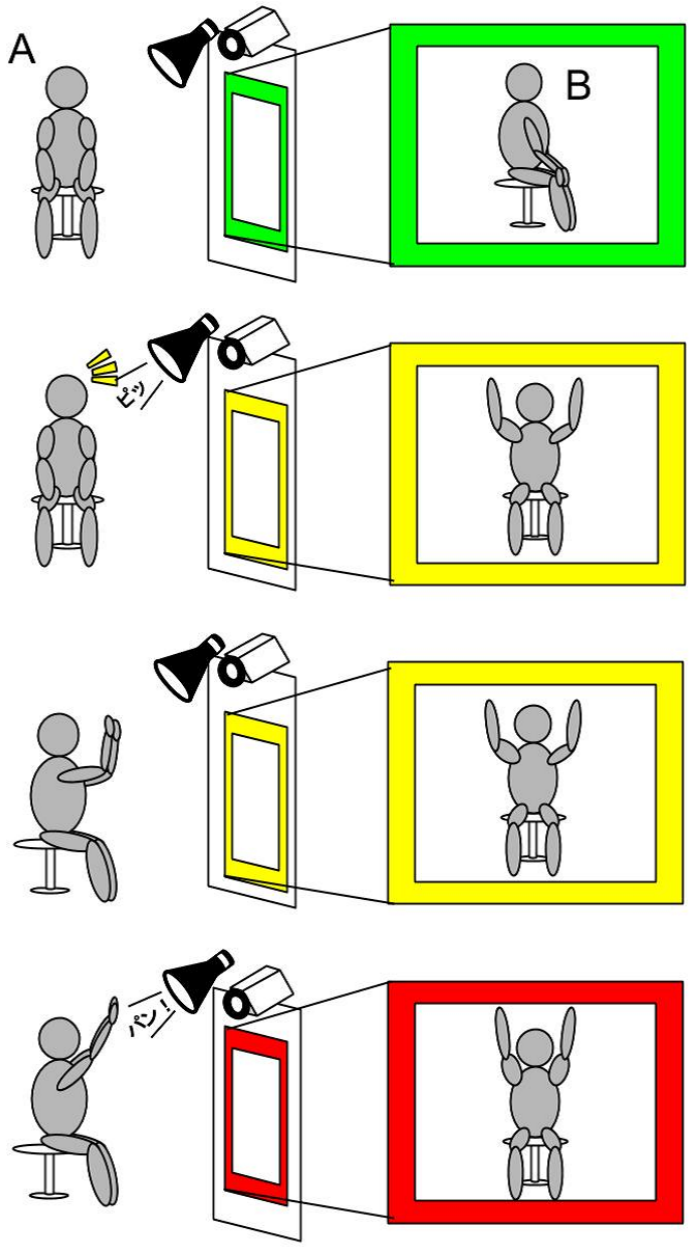

図 3.3: 仮想ハイタッチの流れ

3.3　ユーザ全体で表現するウェーブ動作

現地観戦においての会場全体の盛り上がりや一体感を表現するジェスチャとして, ウェーブに着目する. ここにおけるウェーブとは会場の観客が縦列ごとに連動して, 空中に向かって手を広げながら立ち上がる動作のことである. 人の集団の上下運動が波打っているように感じることができ, 会場全体が連動する一体感や表現される波の勢いから盛り上がりを共有することができる. 本手法では, ユーザのウェーブ動作を認識し, その動作をユーザの座席関係によって連動する仮想的なウェーブを表現する. また, そのウェーブ動作を提示画面を通して共有することによって, ユーザ全体で盛り上がりや一体感を共有する手法を提案する.

本手法において仮想ウェーブをユーザが行う際の動作について説明する. ユーザは座っている状態から両腕を上げながら立ち上がる動作を行う（図 3.4）. その動作の高さをユーザ前方のカメラを用いて認識する. 認識した動作の高さは提示画面のバーの運動に反映される. 提示画面においては, 一人のユーザの動作に対して一つのバーの上下運動を対応させて画面に表示させる.（図 3.5）. そして各ユーザの動作情報をサーバーを介してユーザ全体で共有する. その全体の動作情報を基に, 提示画面では各ユーザの動きが 1 つ 1 つのバーに反映される. よってユーザのウェーブ動作が連動すると各バーの動きは連動し, 実際のウェーブのような波打つ様子を各ユーザは感じることができる. ユーザは提示画面に表現されるウェーブの連動と, その勢いを体感することで, 盛り上がりや一体感をユーザ全体で共有することができる.

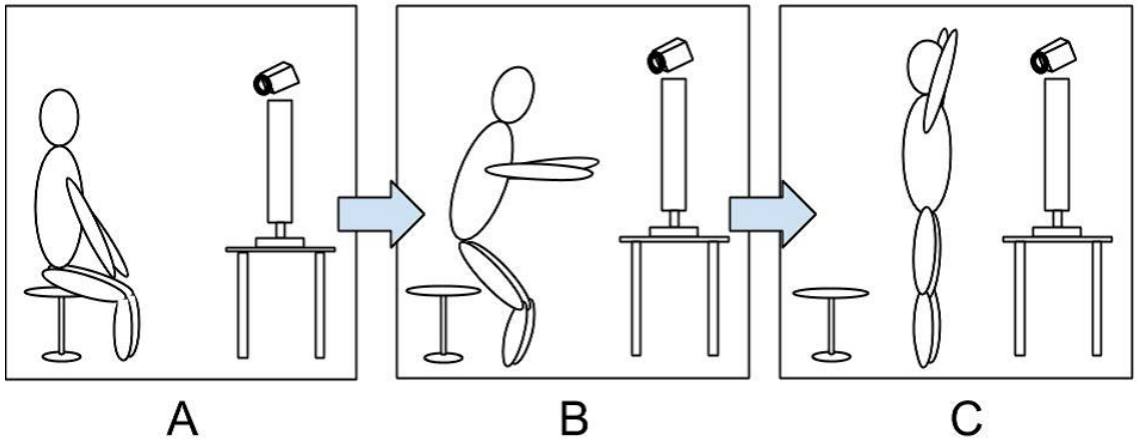

図 3.4: 仮想環境におけるウェーブ動作

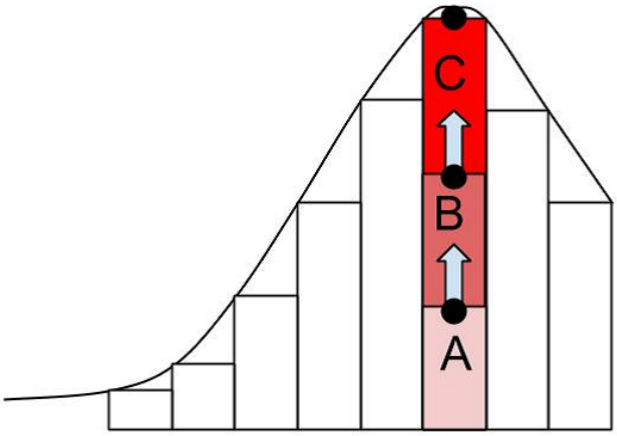

図 3.5: ユーザの連動したウェーブ動作の提示

第4章　実装

本稿では, 仮想ハイタッチと仮想ウェーブを行えるプロトタイプのシステムの実装をそれぞれ行った. 1つ目のシステムでは, 映像通信を使って仮想的な座席関係を構築し, ユーザに提示することができる. また, 機能として1対1で行う仮想ハイタッチ機能を実装している. また,2つ目のシステムでは最大８人で行う仮想ウェーブ機能を実装している. この２つのシステムは将来的にはスポーツ中継の流れに沿って利用することができるよう1つに統合することを目指している.

この章ではまずシステムの開発環境について記述する. 次にそれぞれのプロトタイプシステムについての説明を行う. 内容としては, それぞれのシステム構成について説明し, その後システムの持つ機能についての実装について記述している.

4.1　開発環境

本研究では, 開発言語としてＣ＃を利用し,WPF アプリケーションとして開発を行った. 開発環境としてＯＳは Windows 7 Professional を,IDE は Visual Studio2012 を使用している. また, ユーザの動作を認識する深度カメラとして Kinect を使用している. それに付随して, ユーザの動作の認識は Kinect SDK を用いて行っている. 左右からユーザの姿を撮影するカメラとしては Logicool 社の HD Pro Webcam C910 を使用している. カメラで撮影する映像の解像度は 640 × 480 ドットとなっている. 提示画面を映し出すプロジェクタは EPSON Home Cinema EH-8000W を使用している.

4.2　仮想ハイタッチシステム

この節では仮想ハイタッチシステムについて記述する. まずシステムにおけるユーザ環境の構成, アプリケーションの構成について説明を行う. そして仮想的な座席関係における映像の提示について説明する. また, 本システムでは横に映るユーザと仮想的にハイタッチする機能を実装した. そこで, 各ユーザのハイタッチ動作の認識について説明する. また, 仮想的なハイタッチが成立するためにどのようにユーザの動作情報を共有するかについても記述する.

4.2.1　ユーザの環境構成

仮想ハイタッチを行う 2 人のユーザ A,B の環境の構成について, 正面側と提示画面側に分けて説明する. 各ユーザの正面側には試合映像を映すディスプレイを設置する. 提示画面側の環境を図 4.1 に示す. 相手のユーザの姿を映すスクリーンをユーザＡの右側, ユーザＢの左側に設置する. 提示画面側に Kinect を, スクリーン側からの撮影にカメラを設置する. ユーザの動作の認識とその情報の通信, カメラの映像通信の処理をユーザ一人につき 1 台の PC で行う.

図 4.1: ハイタッチシステムのスクリーン側の環境構成

4.2.2　アプリケーション構成

本アプリケーションはユーザ動作を処理するメインウィンドウと, スクリーンに表示するための提示画面ウィンドウで構成されている. TCP/IP 通信を行う受信部, 送信部の UserControl を作成し, それをメインウィンドウに配置している. また, 映像の送受信を行うモジュールをメインウィンドウに配置している. 図 4.2 のように, ハイタッチの際は動作状態の情報や映像を相互に送受信することによって情報の共有が行われる. またメインウインドウで受け取った映像, 相手の動作情報を提示画面ウインドウに渡し, 反映させている.

4.2.3　仮想観客席における隣のユーザの映像の提示

本システムでは, 二人のユーザを対象に, 隣り合っている感覚を与える機能を実装した. ユーザ同士が隣合って観戦している感覚を与えるための仮想座席関係の構築について説明をする. まず, ユーザＡ, Ｂが隣合って座っている関係を想定した時に相手視点からの映像として, その方向にカメラを設置し, 撮影を行う. カメラから映像を取り込み, それを motion-jpeg の形に圧縮し, 相手ユーザの映像受信部に TCP 送信を行い, 提示画面に表示させる. その提示画面はプロジェクタを用いてユーザの横に設置しているスクリーンに映し出す. 提示画面のウィンドウの大きさを調節することで, 相手ユーザを等身大表示することが出来る.

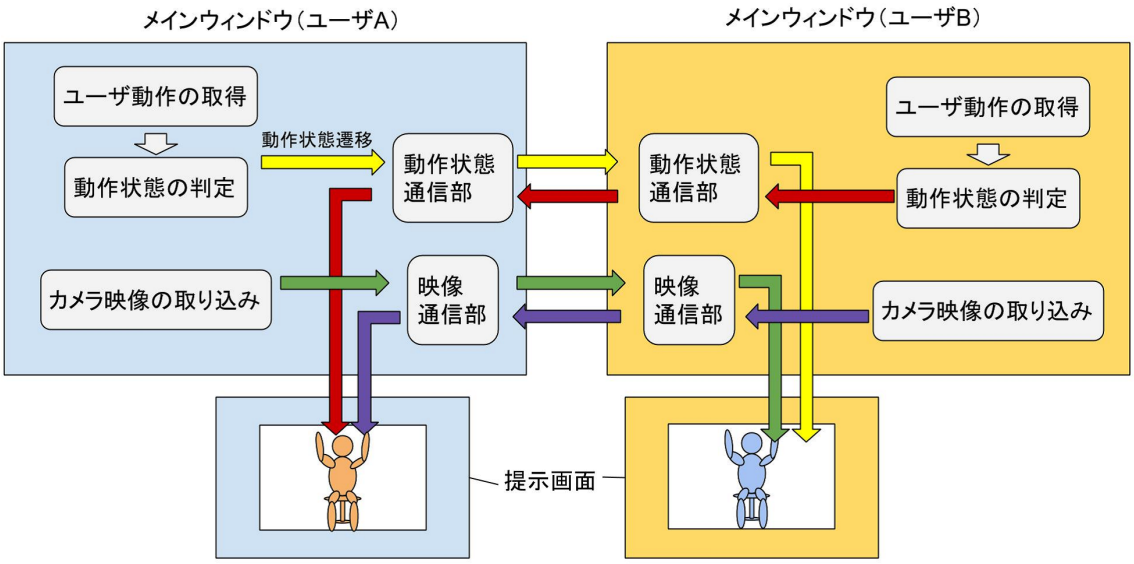

図 4.2: ハイタッチシステムのアプリケーション構成

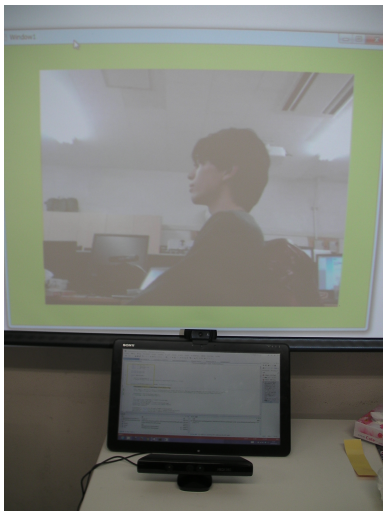

図 4.3: 前方を向く相手ユーザの様子

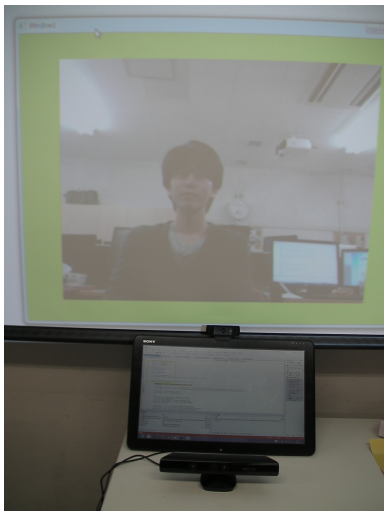

図 4.4: こちらの様子を伺う相手ユーザの様子

スクリーンに映像が映し出されてる様子を図 4.3, 図 4.4 に示す. 図 4.3 に示された画像の通り, 提示された映像から, 相手のユーザが前方の画面に集中している様子を見ることができる. また図 4.4 では, ユーザＢがスクリーンの提示映像, つまりユーザＡの様子を見ているとき, 逆にユーザＡもユーザＢがこちらを向いている様子を見ることができる. これは, 実際の会場で隣合って座ったときの関係を構築したもので, ユーザはその提示映像から相手のユーザが隣に座って観戦している感覚を与えることができる.

4.2.4　ハイタッチ動作の認識

ユーザのハイタッチ動作を認識するのに当たって, その動作の状態を以下の 3 状態に分類した.

1. 試合観戦状態
2. ハイタッチ待機状態
3. ハイタッチ実行状態

動作の状態の認識について説明するとともにその状態の遷移について説明する. 本システムにおけるハイタッチの動作の状態遷移の様子をその提示画面の変化ともに図 4.5 に示す.

試合観戦状態とは, ユーザがハイタッチ動作を行う意思が無い状態のことである (4.5(a)). つまり前方のスポーツ映像を見ている場合や, ただこちらの様子を伺っている場合も含まれており, 観戦時における基本的なユーザの状態を表している.

次に, ハイタッチ待機状態について説明する. 試合観戦状態にあるユーザがスクリーンに映るユーザに対してハイタッチしようとする動作を認識する. 具体的には両腕を相手のほうに掲げる動作のことである. この動作を相手に示すことによってハイタッチをしようとする意思を相手に伝え, 相手に気づいてもらうまで待機する状態をシステムが認識し, ハイタッチ待機状態となる. 本システムでは Kinect を用いて骨格情報を取得し, そのポーズを判定することでユーザの状態を識別している. ポーズの識別の具体的な条件としては, 頭の位置と両手の位置を取得し, その両手の位置が二つとも頭より高い位置にある事である (4.5(b)).

最後にハイタッチ実行状態であるが, これは前方に掲げた腕を相手に差し出す動作を行っている状態のことである. 頭と両腕の両手の骨格情報から, そのポーズを判定している. 判定には 2 つの条件があり, 1 つ目両手が頭の前方にあること, もう 1 つは, ハイタッチの際にはひじが伸びていることに着目し, 上腕と前腕の方向ベクトルの内積を用いてひじの角度を条件としている (4.5(c)). 具体的な条件式を以下に示す.

上腕の正規ベクトル：(x_1, y_1, z_1)

前腕の正規ベクトル：(x_2, y_2, z_2)

図 4.5: ハイタッチ動作の状態遷移図
(状態 0) 試合観戦状態
(状態 1) ハイタッチ待機状態
(状態 2) ハイタッチ実行状態

$$(x_1 * x_2 + y_1 * y_2 + z_1 * z_2) \quad > 0.9$$

また, ユーザの状態は動作を行った後 1 秒ほどの間を置き, 通常の試合観戦状態にもどる. これは片方のユーザがハイタッチ実行状態になったことを認識した後, もう一人のユーザがハイタッチ実行状態になるための時間であり, お互いが実行状態になることでシステムは仮想ハイタッチが成立したと判断する.

システムではこの試合観戦状態, ハイタッチ待機状態, ハイタッチ実行状態をそれぞれ 0,1,2 の 3 つの数値で扱う. 0 の状態から状態 1 のポーズを認識すると, ユーザの状態は 1 に遷移する. その後状態 1 中に状態 2 のポーズを認識するとユーザの状態は 2 に遷移する. 状態 2 の後ユーザの状態は 0 に戻る. これらが一連のハイタッチジェスチャの基本的な流れとなる. しかし, ユーザがハイタッチ動作を途中で中断する場合も考えられるのでその場合の遷移についての説明を行う. 状態 1 のユーザが動作を中断すると, ユーザは状態 0 に戻る. また, 本システムでは, 状態 0 のユーザが状態 2 に直接遷移することはない. しかし, 状態 2 のポーズというのは状態 0 から状態 1 への遷移条件を満たしているので, ユーザからの見た目上, 状態 0 からでも状態 2 に遷移を行うことができているように感じる. これは実際の内部では 0 から 1,1 から 2 といった 2 段階の状態遷移として処理がされている. 同様の理由で, ハイタッチを実行したユーザがそのまま手を挙げた状態, つまりハイタッチ待機状態の条件を満たしているとユーザは見た目上, 状態 2 から直接状態 1 に遷移しているように感じることができる. これによりユーザの状態は連続的に状態 2 に遷移することができる.

4.2.5 ユーザの動作状態の通信

ここでは, ユーザのハイタッチ動作の状態がどのように相手と共有され, 仮想ハイタッチを成立するためにシステムが行う通信について記述する.

図 4.5 に示されている提示画面の枠の色は, その画面に映るユーザの動作状態を示している. つまり, お互いの動作状態をスクリーンに映る映像の枠の色で表現している. 試合観戦状態を緑, ハイタッチ待機状態を黄色, ハイタッチ実行状態を赤で表示する. ユーザの動作状態の遷移情報は,TCP/IP 通信を用いて文字列として直接相手ユーザのＰＣに送信している. 具体的にはユーザ観戦状態を 0, ハイタッチ待機状態を 1, ハイタッチ実行状態を 2 として送信を行う. その文字列を各ユーザの PC で処理し, 相手の動作状態を認識する.

TCP 通信を行う受信部と, 送信部について説明する. 受信部が通信を開始すると, スレッドが開始され, クライアントである相手の送信部からの受付を開始する. 相手から送信されてきた文字列はテキストボックスに表示され, その情報を元に相手の状態を認識し, 提示画面の色を対応させ変化させる. 送信部では, ユーザの動作状態に変化があった際に, 相手の受信部に送信を行う. 送信はユーザの状態遷移が起こったタイミングで行われる. 状態 0 から状態 1 に遷移したら文字列 1 を, 状態 1 から状態 2 に遷移したら文字列 2 を相手の受信部に送信する. 同様にして, 相手ユーザから送られてきた文字列を受信部で受け取り, それを処理した上で相手の動作状態を認識する.

4.2.6　仮想ハイタッチの成立

この節では, 仮想ハイタッチの成立について記述する. 相手から送られてきた動作状態に合わせて提示画面の色を変化させる. それにより, ユーザは相手の動作状態を確認することができる. 本システムにおける仮想ハイタッチはお互いにハイタッチ実行状態になったときに成立する. 仮想ハイタッチ成立時の様子を図 4.6 に示す. ハイタッチ実行状態から試合観戦状態に戻るまで 1 秒ほどの間隔を取ることで, ユーザは相手がハイタッチ実行状態になったことを確認してから動作を行ってもハイタッチが成立するようになっている. ハイタッチ実行状態になったことは提示画面の色の変化で確認することができる. その提示画面での色の変化は相手の動作状態を認識するのには十分だと思われるが, それはユーザが常にスクリーンに映る相手ユーザの方を向いている場合に限る. そういった場合にもユーザに相手の動作状態を伝えるために, 相手がハイタッチ待機状態になった際に PC のスピーカーから音を発生させる. 音で勧告を行うことで, ユーザは相手ユーザのハイタッチ動作に注目することができる. また, 仮想ハイタッチが成立, つまりお互いにハイタッチ実行状態になった際, ユーザにハイタッチの成立を伝えるのと同時に, ハイタッチをした感覚を与えるために実際のハイタッチの音をスピーカーから流す.

図 4.6: 仮想ハイタッチ成立時のユーザの様子

4.3　仮想ウェーブシステム

最大８人のユーザとウェーブを行い, 盛り上がりを表現する機能を実装した. 今回のプロトタイプでは, 各ユーザのウェーブ動作を 8 本のウェーブバーの上下運動に割り当てることで仮想ウェーブを実現している. この節では, 提示画面構成について触れた後, ウェーブ動作の認識についての説明を行う. また, その認識した情報をユーザ全体で共有することに関して記述する.

4.3.1　ユーザの環境構成

試合映像を映すディスプレイの上に Kinect を設置する. ユーザはディスプレイを眺めながらハイタッチ動作を行い, それを Kinect が認識するといった構成になっている.

4.3.2　アプリケーション構成

仮想ウェーブシステムのアプリケーション構成図を図 4.7 に示す. 各ユーザのアプリケーションでは, まずユーザ動作の取得を行い, そこからウェーブに反映する値を決定する. その値は各ユーザごとの提示画面に反映される. ウェーブ動作の情報は, 各ユーザ PC に対する受信スレッドを持ったサーバーアプリケーションで管理が行われる. このサーバーでは, 各ユーザのウェーブ動作の情報を受信し, その情報をまとめて各ユーザに送信することで共有を行う. その情報を受け取ったメインウィンドウはその情報を処理し, ウェーブの提示画面に反映させる.

4.3.3　提示画面構成

仮想ウェーブを実現するための提示画面を図 4.8 に示す. ウェーブバーは半透明画像として生成され, スポーツ映像に重ねて表示することができる. ユーザには 1 から最大８までの番号を割り当て, ユーザごとに一つのウェーブバーが割り当てられている. 表示されるウェーブバーの順番は共通のものであり, ユーザが担当するウェーブバーの色は黄色で表示される. その担当するウェーブバーの位置関係から, 左側のウェーブバーの上下運動に連動してウェーブ動作を行うことで, 自分のウェーブバーの右側のウェーブバーを担当するユーザの動作も連動することができる. 結果的に全体のウェーブバーの動きが連動し, ユーザ全体のウェーブ動作の盛り上がりを提示画面に表現することができる. また, その提示画面から, ユーザ全体で盛り上がりを共有することが出来る.

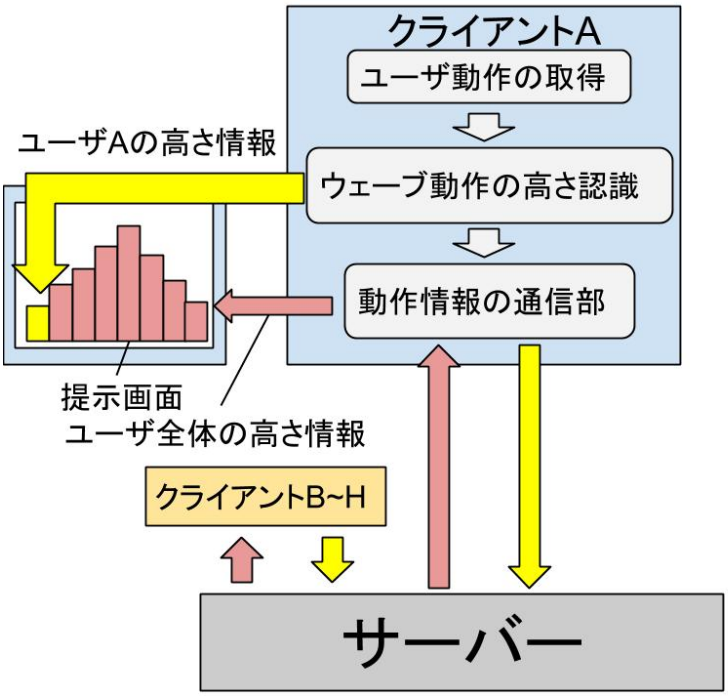

図 4.7: 仮想ウェーブシステムのアプリケーション構成

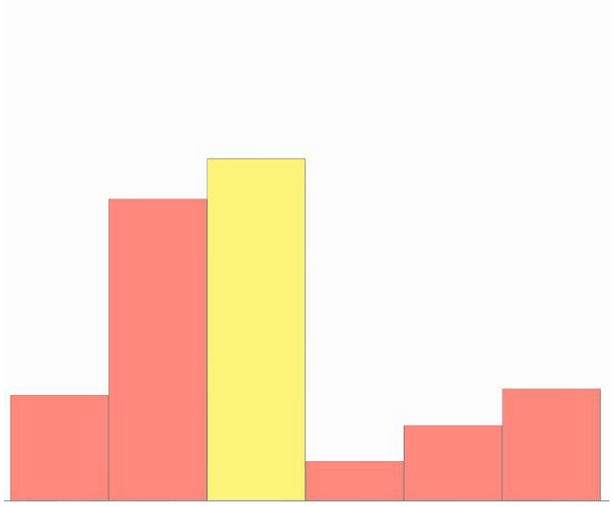

図 4.8: 仮想ウェーブの提示画面

4.3.4　ウェーブ動作の認識

ウェーブ動作を認識するにあたって, 手を上に振り上げながら立ち上がる動作を行った際, 手の位置情報で判断すると,Kinect カメラの撮影範囲外に手が飛び出てしまうことがあり, その高さも個人差が生まれてしまっていた. そこでウェーブ動作の流れの中で, 手の高さの連動して頭の位置の高さが変わることに着目し, 判定に用いている. なぜなら, 動きが最も遅く動き, 認識のブレが少ないためである. 図 4.9 のように手を高く振り上げた際に, 手では Kinect の撮影範囲を飛び出ていることがあるが, 画面の前のような近い距離であっても頭であれば Kinect の撮影範囲内に留めることができる. また, システムを始める前に, ユーザの座る席と Kinect の距離, 角度を調節して, ウェーブ動作の最頂点の際の頭の Y 座標が,Kinect の撮影範囲の上部に設定した閾値を超えるように調節する. このことで, ユーザの身長などの個人差から生まれる判定誤差を少なくすることができる.

認識したウェーブ動作の高さ情報をウェーブを表現するためのウェーブバーの上下運動に割り当てる. ユーザが座っているときの頭の位置を 0,Kinect の撮影範囲の最上部を 100 とし, 現在の頭の高さ情報の割合を計算し, それをバーの高さにそのまま割り当てる. 0.1 秒ごとに, ウェーブ動作の高さを判定し, バーに割り当てることで, ウェーブバーが上下しているように見ることができ, ユーザのウェーブ動作の盛り上がりを表現することができる.

図 4.9: ユーザ動作の様子

4.3.5　ウェーブ情報の共有

システムが, 各ユーザごとに認識したウェーブ動作の情報をどのように共有するかについて記述する.

まず, 各ユーザの動作を認識する PC とは別に, サーバーを用意する. 各ユーザの PC は, 認識したウェーブ動作に対応したバーの高さ情報をその認識と同時にサーバーに送信する. その情報は文字列として,TCP 通信を使って送信される. 各ユーザからの情報を受け取るサーバープアプリケーションの画面を図 4.10 に示す.

図 4.10: 仮想ウェーブシステムのサーバーアプリケーション

ハイタッチの送受信で用いた送受信モジュールを利用して, それを 8 つサーバーアプリケーションに配置した. 図の左側に表示されている 8 つペアの内上のテキストボックスの中には,8 人のユーザＰＣから受け取った各ユーザのウェーブバーの高さ情報がそれぞれ表示される. 各テキストボックスには各ユーザの高さ情報が表示される. サーバー内で, その８つの文字列を 1 つの文字列に結合し, その結合した文字列は図の右側の送信部に表示されているテキストボックスに表示される. 結合の際に各文字列の区切り文字としてカンマを用いる. 結合したひとつの文字列を送信開始ボタンを押すとサーバーは 50ms ごとに各ユーザＰＣへの送信を行う. このように, 各ユーザＰＣはサーバーを介することでユーザ全員のウェーブバーの高さ情報を得る事ができ, 自分の情報も全体で共有することができる.

サーバーから情報を受け取ったユーザＰＣはその文字列の分解を行う. 区切り文字を用いて各文字列を分解し, それを int 型にキャストすることによってユーザ全員の現在のバー情報を得る事ができる. 文字列を 8 つのウェーブバーの情報に分解した後, 自分のウェーブバーの表示と同時にその値を提示画面の各バーの高さに割り当てることで, 全体のウェーブ動作の表示を行う. すると全体のユーザのウェーブ動作の様子をウェーブバーの上下運動で表現することができる. このように, 全体のウェーブ動作の情報を共有することによって, 各ユーザの提示画面においてユーザ全体の盛り上がりや一体感を表現する事ができる.

第5章　システム評価と考察

本章では, 仮想ハイタッチと仮想ウェーブシステムの評価実験についてその結果と考察について記述する. また, 仮想ハイタッチにおいて実際にユーザにハイタッチした感覚を与えるために, ハイタッチ動作の盛り上がり, つまりハイタッチを行う手の高さに合わせたフィードバックについての議論を行う. また, 実験結果を踏まえて, 仮想ウェーブの提示画面についての議論, 具体的にはアバターを用いたウェーブ動作の提示と, その仮想ウェーブが成立したときの達成感を与えるためのフィードバックについての議論を行う.

5.1　仮想ハイタッチ評価実験

実験目的

仮想ハイタッチシステムを使って, 仮想ハイタッチをどのくらい成立させることができるか. また, 相手の状態を把握するための画面枠の色の変化と音によるフィードバックについて検証を行った.

実験環境

6 人の被験者（22 から 28 歳の大学生・大学院生）に参加してもらい,2 人ずつ 3 ペアで仮想ハイタッチシステムについて 2 つのタスクを行ってもらった. 実験環境は大学の研究室内で, 他の被験者の動作を目視することができる環境だが, 画面と提示音のみに集中してもらうように説明を行った.

実験内容

行ってもらったタスクは以下の 2 つである. ただし, 本実験での 1 回のハイタッチというのを, お互いのユーザが一回ずつハイタッチ実行中になったことを指す.

1. スクリーンに対して正面に座ってもらい, お互いに仮想的に向き合ってもらった状態から, １０回ハイタッチを行う.
2. お互いスクリーンに対して横向きに座ってもらい, ハイタッチを仕掛ける側と応答する側に役割分担をする. 仕掛ける側がスクリーンの方を向きハイタッチを仕掛ける. それに

対し応答する側はハイタッチを返す. その動作を 10 回行い, その後役割を交換し, さらに 10 回行う.

各タスクにおいて, 仮想ハイタッチが何回成立したかを計測した. また, 各タスクそれぞれにおいて, 画面の枠の色の変化と音によるフィードバックについて, それぞれ相手の状態を把握するのに役に立ったかを 5 点満点で評価してもらった. 最後に, 実際のハイタッチと比べて盛り上がりを感じることができたかどうか 5 点満点で評価してもらった.

実験結果

タスク 1 における仮想ハイタッチの成立率は 81.3%(3 ペア合計 30 回中) であった. また, タスク 2 における仮想ハイタッチの成立率は 75%（3 ペア合計 60 回中）であった. 画面の色の変化と音に対する評価を表 5.1 に示す. 最後に仮想ハイタッチ全体の評価として, 実際のハイタッチと比べて盛り上がりを体感できたか？という質問に対しては,6 人平均で 5 点満点中 3.2 であった.

表 5.1: 仮想ハイタッチアンケート結果

質問	平均点
タスク１：提示画面の枠の色の変化は相手の状態を把握するのに役に立ったか？	3.8
タスク１：相手の状態を把握するのに音は役に立ったか？	4.2
タスク２：提示画面の枠の色の変化は相手の状態を把握するのに役に立ったか？	3.6
タスク２：相手の状態を把握するのに音は役に立ったか？	4.5

考察

ハイタッチの成立率がタスク 1 に比べてタスク 2 の際に落ちてしまったのは Kinect に対して横向きの状態から正面を向いた際の認識率が悪いからだと考えられる. 振り向きざまに行った動作を認識することができず, 結果的にハイタッチが成立しない結果につながってしまった. また, アンケート結果から, 提示画面の枠の色の変化と, 音に対する評価としては, タスク 1, タスク 2 どちらにおいても音のほうが評価が高かった. またタスク 1 に比べて, タスク 2 では色の評価が下がり, 音の評価が上がったことから, 音によって相手ユーザの待機状態を認識したあとは, 画面の色の変化はさほど効果が無いことがわかった. コメントの中にも, 自分の動作状態を確認したいといったものがあり, むしろ画面の変化を自分の状態変化に対応させるべきであるかも知れない. 実際のハイタッチと比べての評価が低くなってしまったのには, 仮想ハイタッチ成立時のフィードバックが十分でなかったからと考えられる. 音によるフィードバックに対しては, 相手の状態を確認するのに十分な評価を得たが, ハイタッチ成立時においては, 音

のフィードバックではいつハイタッチが成立したか分からないといったコメントがあった. 音以外のフィードバックに関して, 後の節で議論を行う.

5.2　仮想ウェーブ評価実験

実験目的

仮想ウェーブによって盛り上がりや一体感を得る事ができるかどうか実証するため, 評価実験を行った. また, 本実験では以下の項目ついて検証を行う.

1. 仮想ウェーブを表現するバーの上下運動は, 盛り上がりを表現できるか
2. 本システムではどのくらいの割合で仮想ウェーブが成立するのか
3. 実際のウェーブと比較して同様の感覚を得る事ができるか

実験環境

プロトタイプシステムが正しく動作するか実験するために,6 人の被験者（22 から 32 歳の大学生・大学院生）に参加してもらい, 仮想ウェーブ機能について 3 つのタスクを行ってもらった. 実験環境は大学の研究室内で, 他の被験者の動作を目視することができる環境だが, 画面にのみ集中してもらうように説明を行った.

実験内容

行ってもらったタスクは以下の 3 つである.

1. 手を挙げながら立ち上がって座る. この動作（ウェーブ動作）を左端のバーを担当する人から順番に行う.
2. 実際のウェーブのように左隣のバーが上がったら自分も立ち上がり, 下がったら自分も座る. これを２０回行う.
3. タスク 2 の時より完全に立ち上がるのではなく小さく動作を行い, 全体で小さなウェーブを作り出す.

タスク 1 は, 動作確認も兼ねており, 被験者に対し, その提示画面に映る 6 本のバーの上下運動について認識をしてもらった. また, 自分の動作の盛り上がりを表現するのにバーの運動が適切であるか 5 点満点で評価, コメントをもらった. タスク 2 では, 実際のウェーブのように連動して動作を行ってもらい, その際に提示画面に表示される仮想ウェーブについて実際のウェーブの感覚と比較して, 盛り上がりや一体感について 5 点満点で評価, コメントをもらった. また, タスク 3 では, 小さなウェーブをつくりだすことでタスク 2 と比べてどのような変化が生じたか, コメントをもらった.

実験結果

タスク 1 を行った際に, 自分の動作の盛り上がりをバーの上下運動は適切であったかという質問に対しては,6 人の点数の平均値が 4.5 という評価になった. タスク 2 では,20 回中何回の仮想ウェーブが成立したと感じることができたかという質問に対しては 5 回から 10 回という回答が多かった（6 人中 5 人）. また, 実際のウェーブと比べて盛り上がりや, 一体感を同様に感じることができたかという質問に対しては,6 人の点数の平均値が 3.6 という評価になった. バーの動きを人の動きと連想することが難しいといったコメントが多数あった. タスク 3 のコメントでは, 小さい動作のほうが波を作りやすいといったものもあった. また, 小さいウェーブを作る際その動作の体への負担が大きく, 手の動作も反映させるべきといったコメントもあった.

表 5.2: 仮想ウェーブアンケート結果

質問	平均点数
自分のバーは自分の動作の盛り上がりを表現していたか？	4.5
合計 20 回中何回のウェーブが成立したと感じたか？	9.2
実際のウェーブと比べて盛り上がりや一体感を感じることができたか？	3.6

考察

評価実験の結果を踏まえて, 考察を記述する. ユーザの動作を認識し, その値をバーの上下運動に割り当てる点においては, 高い評価を受けているのに対し, 実際に仮想ウェーブを行ったときに盛り上がりや一体感を感じる点に関しては, ユーザの動作の盛り上がりをバーで表現できているのにも関わらず, 実際のウェーブと比べて少し低い評価を受けた. このことから, ウェーブの一体感というのは個人の動作の表現ではなく全体の動作の表現に依存するものだと思われる. また, 仮想ウェーブの成立したと感じる回数が少なくなってしまったのはシステムにラグによるものが原因であると思われる. 6 人という少ない人数も原因であると考えられるが,6 本のバーでウェーブを表現しようとするとどれか一つのバーに少しでもラグが発生するとウェーブとして成立しなくなってしまうことが多かった. また, 動作実験のコメントの中に, 仮想ウェーブをおこなった後に, アニメーションや, エフェクトなどの表現があったほうが良いとの意見が複数寄せられていた. 現在のシステムでは, 仮想ウェーブを行っている最中もその後もウェーブのバーの視覚的な情報しかユーザに与えていない. なので仮想ウェーブに対して, さらに一体感を高めるためには, 今後ユーザの一体感を高めるようなフィードバックが必要になる. それには音による提示や, 画面に視覚的なエフェクトをかけるなど様々な手段が考えられる. 特にアバターを用いて, ハイタッチ, ウェーブ以外の一体感を高めるようなジェスチャインタラクションについての考察がシステム全体として更なるバリエーションを生み出すと思われる.

5.3 仮想ハイタッチにおけるユーザフィードバック

仮想ハイタッチ機能を使って映像に映るユーザとハイタッチ動作を行った際, 音を使った仮想ハイタッチの感覚というのは, 動作を行ったタイミングが一致する感覚でハイタッチする意志を感じることができた. しかし, 実際のハイタッチと比べると, 手と手を直接合わせるような感覚を得るにはいたらなかった. ユーザの盛り上がりが違っていても, ハイタッチ動作のタイミングさえ合えば仮想ハイタッチが成立する仕様になっており, ユーザ同士が同じ感覚でハイタッチを行っているとは考えづらい. 実際のハイタッチでは, ジャンプしながら手を合わせるような観客も多く, そのハイタッチする手の高さがその動作の盛り上がりを作り出していると思われる. そこで, 本節では, 仮想ハイタッチにおいても自分のハイタッチ動作の高さに合わせたユーザへのフィードバックについて議論を行う.

仮想ハイタッチと実際のハイタッチの一番の違いは物理的な感触を伴っていない点である. 今回の提案手法では, 音によるフィードバックによってハイタッチの成立をユーザに勧告する狙いがあった. しかし, 音だけではユーザの盛り上がりを共有するまでには不十分であった. 物理的な感触を与えるものとして和田ら [11] は遠隔握手を実現するために握力, 体温, 感触を伝えるロボットハンドを開発した. 妻木 [8] はそのようなロボットハンドに対し, 操作者の動きが完全に同期すると, そのアバターがまるで自分の体のように感じ, 身体感覚が転移する現象が起こると述べている. 例えば, アバターの動作と, 身体動作を同期させることで, アバター同士の仮想ハイタッチを成立させることができれば, ユーザ同士もアバターを通してハイタッチする感覚を得る事ができるかもしれない. また, ロボットアバターを設置することができれば, 実際の感覚に近い物理的なフィードバックを与えることも可能であるかもしれない.

5.4 アバターを用いた仮想ウェーブの実現

仮想ハイタッチと同様, バーチャルなアバターを用いてウェーブ動作を提示することに仮想ウェーブにおいても一体感を増すことができるのではないかと考えた. そこで本節では, アバターを用いたウェーブ動作の提示手法について議論を行う.

アバターを現在の提示手法であるウェーブバーの代わりに用いることを考える. ユーザのウェーブ動作に同期してアバターを動かすことでユーザにより没入感を与えることができると思われる. さらに,8 人のユーザがいたら,8 人のアバターを表示するのではなく, 擬似的なアバターをスタジアムのように多数並べて, ユーザが操作するアバター以外は自動的に動かす. 大勢のアバターが自動的にウェーブ動作を行う中で少数のユーザが操作するアバターが合わせてウェーブ動作を行うことで, より大規模な仮想ウェーブを体感することができるのではないか. また, 例え一人のユーザが動作を失敗したり, 認識上のトラブルが発生してアバターが仮想ウェーブの流れに乗れなかったとしても, 自動的に動くアバターによって全体としての達成感は損なわれないと思われる. しかしながら, 現在のウェーブバーは半透明画像にして, 試合映像に重畳表示を行っており, 試合映像の視聴の妨げにならないようにしているが, アバターではその仕組みは適用できない. それにより, アバターを用いる場合はまた新たな表示形式に対するアプローチが必要になると思われるので今後更なる考察が必要になると思われる.

第6章　結論

本研究では, 一人でスポーツ中継を視聴する際においても, 現地での観戦やパブリックビューイングのようにジェスチャインタラクションをすることにより, 盛り上がりを共有することができる手法の提案を行った. その手法とは, 仮想的な座席関係を構築することでユーザに隣の座席で一緒に観戦している感覚を与えるものである. また, 盛り上がりを共有するジェスチャインタラクションとして, 仮想ハイタッチと仮想ウェーブを実現する手法の提案を行った.

さらに本研究では, 仮想ハイタッチ, 仮想ウェーブについて, それぞれプロトタイプの実装を行い, その評価と考察を行った. 仮想ハイタッチについては, お互いが横を向いている状態からでも約 8 割の仮想ハイタッチが成立させることができた. また, ウェーブバーの表現については高い評価を得ることができたが, 動作後のユーザへのフィードバックの欠如を指摘され, 十分な盛り上がりを体感させるには至らなかった. その結果を踏まえて, 仮想ハイタッチ, 仮想ウェーブの表現方法, またユーザへのフィードバックについての議論を行った.

今後の課題としては, より同期的な情報通信のためのシステムの改良, 仮想ハイタッチと仮想ウェーブシステムの感覚を与えるフィードバックの改善が挙げられる. また, 盛り上がりなどの観客の感情を表現し, 実際の会場やパブリックビューイングで行われるようなジェスチャインタラクションの模索とその実現手法についての考察を行う.

謝辞

本論文を執筆するにあたり, 指導教員である高橋伸准教授, 田中二郎教授をはじめ, 三末和男准教授, 志築文太郎准教授には日々のゼミやミーティングを通して大変貴重なご意見やアドバイスをいただきました. 深く御礼申し上げます. また, インタラクティブプログラミング研究室の皆様にはゼミや日常生活の中で数々のご意見を頂きました. 特に, ユビキタスチームの皆様にはゼミ以外にも研究生活の全てに渡って数多くの親身なご意見やご指摘をいただきました. この場を借りて厚く御礼申し上げます. 最後に, 大学生活を送る中, 経済面や精神面にわたって支持してくれた両親や, 大学生活を共に過ごした全ての友人に心より感謝いたします.

参考文献

[1] 西尾 祥子. パブリック・ビューイングを構成するものは何か：コンテンツ, 場所性, オーディエンス. 情報文化学会誌 16(1), September, 15, 2009, pp.86-92.

[2] William W Gaver. The video window: my life with a ludic system. Journal Personal and Ubiquitous Computing archive, Vol.10, Issue 2-3, April, 2006, pp. 60-65.

[3] 吉田有花, 宮下芳明. 身体動作の重畳表示による動画上での一体感共有. インタラクション 2012 論文集, pp. 527-532.

[4] 香川勇大, 大久保雅史 スポーツの TV 鑑賞における盛り上げシステムの提案. 全国大会講演論文集 2011, pp. 139-141.

[5] 山下淳, 葛岡英明, 井上直人, 山崎敬一. コミュニケーションにおけるフィードバックを支援した実画像通信システムの開発. 情報処理学会論文誌 , Vol.45, No.1, 2004, pp. 300-310.

[6] Paul Luff, Marina Jirotka, Naomi Yamashita, Hideki Kuzuoka, Christian Heath, Grace Eden. The Accomplishment of Actions in Everyday and Video-Mediated Environments. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), Vol.20 Issue 1, March, 2013, No. 6.

[7] Keiji Hirata, Yasunori Harada, Toshihiro Takeda, Shigemi Aoyagi, Yoshinari Shirai, Naomi Yamashita, Katsuhiko Kaji, Junji Yamato, Kenji Nakazawa. t-Room: Next generation video communication system. In Proceedings of the World Telecommunications Congress at IEEE Globecom (WTC ’08), pp.1-4.

[8] 妻木勇一. 遠隔コミュニケーションとテレロボティクス：ロボットアバターの最前線. 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.6, July 15 , 2012, pp.606-608.

[9] 井上智雄, 岡田謙一, 松下温. テレビ会議における映像表現の利用とその影響. 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, 2000, pp. 3752-3761.

[10] 島田義弘, 小林稔. 映像による対面コミュニケーションシステム:CINEMAFRAME. 電子情報通信学会研究報告.MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol.104, No.490, 2004, pp. 13-18.

[11] 和田侑也, 田中一晶, 中西英之. 握力・体温・感触を伝える遠隔握手用ロボット. インタラクション 2012 論文集, pp. 169-174.