卒業論文 2017 年度 (平成 29 年度)

Tacvie:
体験映像の臨場感を増幅する触覚再現デバイスの実装

指導教員
慶應義塾大学環境情報学部
徳田 英幸
村井 純
中澤 仁
楠本 博之
中村 修
高汐 一紀
Rodney D. Van Meter III
植原 啓介
三次 仁
武田 圭史

慶應義塾大学 総合政策学部
佐々木 佳介
keisuke@ht.sfc.keio.ac.jp

2018 年 1 月 23 日

卒業論文 2017 年度 (平成 29 年度)

Tacvie: 体験映像の臨場感を増幅する触覚再現デバイスの実装

論文要旨

映像の歴史はトーマス・エジソンがキネトグラフやキネトスコープを発明した 19 世紀末に始まり, カメラの小型化やドローンの利用など撮影手法の改良と VR や 3D 映像など投影手法の改良を通じて進化している. また, 撮影手法の改良と動画共有サービスの拡充により, 個人が撮影した映像を気軽に他者と共有できるようになり, 撮影時の体験を共有する映像が動画共有サービスにアップロードされるようになった. 例えば, 自転車やバイクに乗っている際の目線映像が大量にアップロードされている.

しかし, 人間は何かを体験する際には五感の全てを用いるのに対して, 既存の映像が共有できるのは視覚と聴覚への情報に限られる. それ故, 映像を通して体験を 100 パーセント共有するという目的を達成するためには, 触覚・嗅覚・味覚への情報共有を実現しなければならない.

本研究では, 体験を共有する映像において撮影者の体験をどれだけ共有できるかを示す指標として「臨場感」という言葉を用いて, 臨場感の増幅を目的とし, 実現されていない 3 つの感覚の共有のうち触覚的体験を実現するというアプローチを採用した. そこで本研究では, 体験を共有する映像において触覚的な情報の伝達を可能とするセンシングおよびアクチュエーション手法として Tacvie を提案する. 本システムは, 触覚刺激の取得や再現により, 映像を見ながら撮影者の触覚的体験を共有するデバイスおよびソフトウェアである. 本研究では, 握手をするシーンと自転車に乗るシーンの 2 つにおける触覚的体験の再現にチャレンジした.

本研究では, 本システムの性能を調査する定量的評価と, 本システムが映像における体験の共有をよりリッチにするかを調査する定性的評価を行った.

本論文では, Tacvie の研究概要・システム構成内容・評価実験について述べる.

キーワード

映像, 触覚, センサ, アクチュエータ, 電子工作

慶應義塾大学 総合政策学部

佐々木 佳介

Abstract of Bachelor ' s Thesis Academic Year 2017

Tacvie: Implementation of Haptic Reproduction Device Amplifying Presence of Movie Sharing Experience

Abstract

History of video is started at the end of the 19th century when Thomas Edison invented Kinetoscope and Kinetograph. In the 20th century, improvement of video shooting method such as miniaturization of camera and use of drone caused easy sharing of video taken by common people. As a result, a lot of videos sharing experience of photographer taken with their eyesight are uploaded. For example, movies taken with riding motorcycle or bicycle are uploaded.

But, These movies convey only information of eyesight and hearing, in spite of people use five senses when they experience something. Therefore, for achieving a goal perfectly sharing experience in movies, it is necessary to realize sharing touch, smell and taste. In this research, the goal is amplifying presence in movies sharing photographer ' s experience. Presence means how much photographer ' s experience is shared in this research. If photographer ' s experience is perfectly shared, presence is 100 percent. This research focuses on touch and aims to realize sharing touch stimulation. And this research suggests Tacvie. It is sensing and actuation system to be able to convey information of tactile experience in movies sharing photographer 's experience. This system is comprised of devices reproducing tactile experiences and software processing data. This research challenges sharing tactile experience in two scenes, shaking hands and riding bicycle.

This research does two evaluation experiments. One is to evaluate how long this system takes from getting data to actuation. The other is to evaluate how effective for movies sharing photographer ' s experience to amplify presence. The former is quantitative evaluation, and the latter is qualitative evaluation.

This paper is comprised of abstract of this research, system of Tacvie, and evaluation experiments in this system.

Keywards

movie, tactile, sensor, actuator, electronic work

Keio University Faculty of Policy Management

Keisuke Sasaki

目次

第 1 章　序論 8
1.1　背景 8
1.2　映像による体験の共有 11
1.3　問題意識 12
1.4　目的 13
1.5　本研究における臨場感 13
1.6　本論文の構成 14

第 2 章　関連研究 15
2.1　触覚刺激の効果 15
2.2　映像における触覚刺激 16
2.3　まとめ 19

第 3 章　Tacvie 20
3.1　本研究のアプローチ 20
3.2　リサーチクエスチョン 20
3.3　システム全体像 22
3.4　まとめ 22

第 4 章　利用シナリオ 23
4.1　体験映像における触覚の利用 23
4.2　握手デバイスの利用 24
4.3　自転車デバイスの利用 24
4.4　まとめ 25

第 5 章　設計 26
5.1　システム全体の設計 26
5.2　握手センシングデバイス 26
5.3　握手アクチュエーションデバイス 28
5.4　自転車デバイス 30

5.5 まとめ 31

第 6 章 実装 32
6.1 実装概要 32
6.2 実装環境 32
6.3 利用アプリケーション Senbay 33
6.4 握手センシングデバイス 34
6.5 握手アクチュエーションデバイス 36
6.6 自転車デバイス 38
6.7 まとめ 41

第 7 章 アプリケーション 42
7.1 本研究におけるデバイスの利用 42
7.2 プラグアンドプレイ 43
7.3 設計 43
7.4 実装 44
7.5 今後の展望 46
7.6 まとめ 46

第 8 章 評価 47
8.1 評価目的 47
8.2 握手センシングデバイス 47
8.3 握手アクチュエーションデバイス 49
8.4 自転車デバイス 52
8.5 まとめ 56

第 9 章 まとめ 57
9.1 本論文のまとめ 57
9.2 今後の展望 58

参考文献 60

図目次

1.1 GoPro 9
1.2 GoPro を搭載したドローン 9
1.3 YouTube での映像共有 10
1.4 ポケモン GO 11
1.5 PlayStation VR 11
1.6 映像による体験の共有 12
1.7 問題意識 13
1.8 本研究の目的 14

2.1 北陸先端科学技術大学大学院・Lovelet[12] 16
2.2 和歌山大学・Ther:com[13] 16
2.3 ロンドン大学・The Heat is On[14] 17
2.4 神奈川工科大学・ZZZoo Pillows[23] 17
2.5 慶應義塾大学・Thermo VR[15] 18
2.6 シンガポール大学・AmbioTherm[16] 18
2.7 大阪大学大学院・遠隔握手 [17] 19

4.1 握手デバイスの利用シナリオ 24
4.2 自転車デバイスの利用シナリオ 25

5.1 システム構成図 27
5.2 システム構成図 29
5.3 システム構成図 30

6.1 Senbay Camera 33
6.2 Senbay Studio 34
6.3 握手センシングデバイス 34
6.4 握手アクチュエーションデバイス 36
6.5 自転車デバイス 39
6.6 自転車デバイスの実装で参考にした映像 40

7.1 システム構成図 45
7.2 アプリケーションのサンプル画面 46

8.1 握手アクチュエーションデバイスの評価実験風景 50
8.2 握手アクチュエーションデバイスの評価実験用映像 51
8.3 自転車デバイスにおける評価実験用映像の撮影風景 54
8.4 自転車デバイスの評価実験風景 54
8.5 自転車デバイスの評価実験用映像 55

表目次

8.1 握手センシングデバイスにおける定量的評価結果 48
8.2 握手アクチュエーションデバイスにおける定量的評価結果 49
8.3 握手アクチュエーションデバイスにおける定性的評価結果 52
8.4 自転車デバイスにおける定量的評価結果 53
8.5 自転車デバイスにおける定性的評価結果 56

第 1 章

序論

本章では, はじめに本研究における背景, 問題意識, 目的を述べる. 次いで, 本論文の構成を示す.

1.1 背景

本節では, はじめに映像を撮影するデバイスの歴史と近況について述べる. 次いで, 映像を共有する方法の歴史と近況について述べる. 最後に, 近年の映像について述べる.

1.1.1 映像の撮影

映像の起源は, 19 世紀末にトーマス・エジソンがキネトグラフという撮影機や, キネトスコープという映写機を発明した頃まで遡る. キネトグラフやキネトスコープが発明されて間もなく, 映画が上映されるようになり, 映像が一般的なものになった. 20 世紀になると、さらに映像が庶民にとって身近なものになる. 20 世紀前半, テレビが発明され, 数十年の時を経て世界的に普及した. テレビの普及により, 多くの人が家庭における娯楽として映像を楽しむようになった. 日本では 1950 年代後半, 冷蔵庫や洗濯機と共に白黒テレビが三種の神器として普及した. さらに 1960 年代には車やクーラーと共にカラーテレビが普及した. 1964 年に東京オリンピックが開催されたこともあり, カラーテレビは爆発的に普及し, 多くの人がカラー付きの映像を楽しむようになった. 現在ではテレビの高性能化や地上デジタル放送への移行により、さらに高画質の映像を楽しめるようになった.

カラーテレビの普及に次いで, ビデオが普及する. それまで映画は映画館で鑑賞するものであり, テレビはリアルタイムで放送されるものを鑑賞するものであったが, ビデオの普及により様々な映像を家庭で楽しめるようになった. その後, ビデオは DVD やブルーレイディスクへと規格が変遷し, 高性能化や高画質化に繋がった.

映像が普及した当初, 映像撮影用の機器は大型のものであった. しかし, 技術の進歩により徐々に小型化されていくと, 民生用ビデオカメラが発明された. 民生用ビデオカメラの普及により, 映像の鑑賞だけではなく, 映像の撮影も楽しまれるようになった. 21 世紀に入ると, 民生用ビデオカメラはさらに小型化する. 例えば GoPro[7] はドローンやオートバイのハンドルなど狭小かつ不安定な

図 1.1　GoPro

図 1.2　GoPro を搭載したドローン

場所にもマウントでき, 多様な映像の撮影を可能にした. さらに 21 世紀には, 携帯電話の多機能化が進み, 映像撮影機能も加えられた. 携帯電話で映像の撮影が可能になったことで, 専用の機器を購入することなく, 誰もが手軽に映像の撮影を楽しめるようになった. 現在では, スマートフォンが普及したことにより, 手軽さを失うことなく, 携帯電話よりもさらに高画質な映像の撮影が可能になった.

1.1.2　映像の共有

映像が普及した当初, 映像は映画館で楽しむものであった. その後テレビが普及したが, テレビ局のカメラマンなど限られた撮影者が撮影した映像を楽しむという点は変わらなかった. 民生用ビデオカメラが普及し, 一般人による映像の撮影が可能になったが, 個人で楽しむことを目的としていたものであり, 他者への公開および他者が撮影した映像の閲覧については家族や友人を対象としたものに限られた.

個人が撮影した映像の公開における変革は, インターネットの普及によってもたらされた. インターネットが普及したことで, 様々なウェブサービスが生み出された. その中にはニコニコ生放送

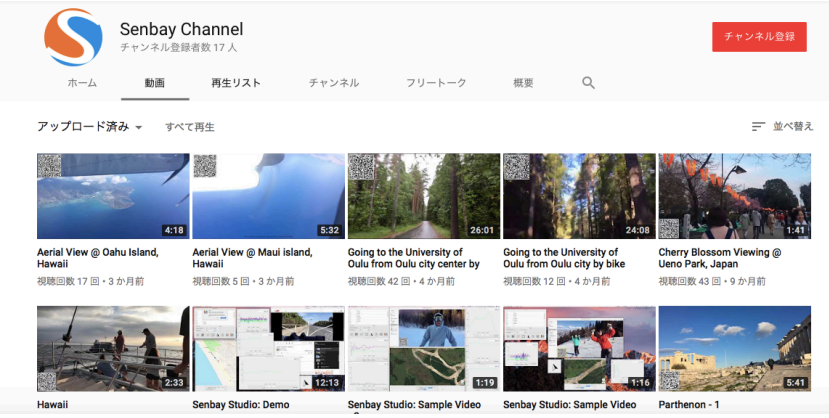

図 1.3　YouTube での映像共有

[1] や AbemaTV[2] のようにインターネットを介して映像を配信するサービスや, YouTube[3] や Google ビデオ [4] のように個人による映像共有を促進するサービスがあり, これらのウェブサービスによって映像の楽しみ方が多様化した. 特に個人による映像共有を促進するサービスの普及により, それまで撮影者本人や身近な人による鑑賞に限られていた映像において, 世界中に配信するという楽しみ方が生まれた.

最近では SNS の普及により, さらに手軽に映像の配信が可能になった. Facebook[5] や Twitter[6] といった SNS では個人が撮影した映像が頻繁に投稿されている. SNS では YouTube をはじめとするウェブサービスではほとんど見られない数秒程度の短い映像が多く投稿されることや, 友達登録をした相手や自分をフォローしている人など投稿した映像の閲覧者を限定できる点が特徴として挙げられる.

YouTube や Google ビデオなどのウェブサービスと Facebook や Twitter などの SNS の共通点として, 映像を配信するまでのプロセスが極めて簡単であることが挙げられる. どちらも簡単な作業だけでアカウントを作成でき, アカウントを作成すればすぐに映像をアップロードできる. 映像のアップロードも, スマートフォンやパソコンに保存されている映像を選択するだけで済むため, 難しい操作を必要としない. 映像の閲覧については, 例えば YouTube ではアカウントの作成すら必要とせず, インターネット環境が整っていればすぐに映像の閲覧が可能である. また, Facebook や Twitter などの SNS でもアカウントを作成するだけで様々な映像の閲覧が可能となる. 以上の理由により, 個人間における映像の共有が手軽に行えるようになっている.

1.1.3　近年の映像

近年, 拡張現実 (AR)・仮想現実 (VR)・複合現実 (MR) など, 様々な手法により映像に新たなユーザ体験が付加されている. 例えば, 拡張現実を利用し, 現実世界には存在しない生物がまるで目の前にいるかのように見せることができる. Pokemon GO[10] では, まるでアニメの世界での出来事が現実世界で起きているかのように見せている. 拡張現実では, 自らが映像の世界に入り込ん

図 1.4　ポケモン GO

図 1.5　PlayStation VR

でいるかのような体験が可能である．ソニー・インタラクティブエンタテイメントは PlayStation VR[11] を発売しており, 本製品ではヘッドマウントディスプレイを装着することで, まるでゲームの世界に入り込んだかのような体験が可能である．複合現実は, 現実空間と仮想空間をさらにシームレスに連携させることで, 仮想空間のオブジェクトが目の前に実在するかのように感じさせる．

1.2　映像による体験の共有

本章第 1 節では, ビデオカメラの小型化および大衆化と, YouTube をはじめとする映像共有を促すウェブサービスや映像の投稿を可能とする SNS の普及により, 個人による映像の配信が可能になったことを示した．さらに, 以上のウェブサービスや SNS における映像の配信や閲覧が極めて簡易的に行えることから, 誰でも手軽に映像を共有できるようになったことを示した．

ビデオカメラの小型化は, 撮影可能な映像の多様化にも繋がった．例えばテレビでも, ジェットコースターに乗車した際の目線映像を放送することがあるが, これはビデオカメラが小型化により

図 1.6　映像による体験の共有

撮影が可能になった事例である．個人による映像撮影においても, GoPro をはじめとする小型ビデオカメラやスマートフォンの映像撮影機能を用いて, 目線映像の撮影が可能になった．以上のカメラはオートバイのハンドルやヘルメットなど狭小かつ不安定な場所にも容易にマウントが可能である．実際, YouTube で検索すると, オートバイのハンドルやヘルメットに小型ビデオカメラをマウントして, ツーリング中の目線映像を撮影し, 共有している人が多く見受けられる．その他にも, スキーやスノーボードをはじめとする様々なスポーツをしている際の目線映像や, 観光地での目線映像など, 多様な目線映像が YouTube を介して共有されている．

人間は情報判断において, 五感の中で視覚から得た情報を最も活用しており, 目線映像は撮影者が見たものをそのまま再現しているため，自分の体験を共有する映像だと言い換えられる．例えばオートバイのツーリング中の目線映像では, 撮影者が見た風景や聴いた音をありのまま映像として残している．スノーボードにおける目線映像でも, 撮影者が見た風景やスピード感をありのまま映像として残している．これらの目線映像を YouTube や Facebook などのサービスを介して共有する場合, 撮影者が見た風景やオブジェクト, 聴いた音などをありのまま共有していることになり, すなわち撮影者は自分の体験を共有する映像を配信していると言い換えられる．

1.3　問題意識

本章第 2 節では, インターネットを介して撮影者の体験を共有する映像が配信されていることを示した．これらの映像は, 視覚的体験と聴覚的体験を共有している．しかし, 人間は何かを体験するとき, 視覚と聴覚だけではなく, 五感の全てを活用する．そのため, 体験を 100 パーセント共有するためには, 視覚と聴覚の共有だけではなく, 五感の全てを共有する必要がある．例えば, オートバイのツーリング中の目線映像では, 撮影者が見た風景や聴いた音が共有されているが, 撮影者はそれら以外にもオートバイのエンジンや路面の凹凸から伝わる振動, 排気ガスの臭い, 風など様々な体験をしているが, 映像では共有されていない．スノーボードの目線映像においても, 撮影者は風を

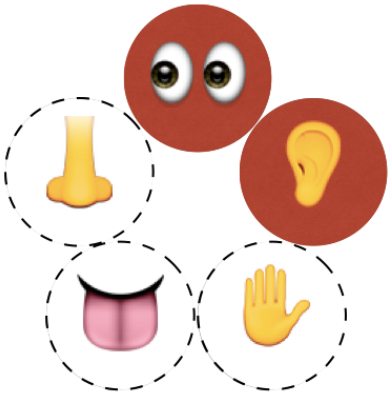

図 1.7　問題意識

切って滑走する感覚や冷たい空気などを体験しているが, 映像では共有されていない. つまり, 撮影者は映像を撮影した際, 五感を用いて様々な体験をしているのに対して, 目線映像が共有している体験は視覚的な体験と聴覚的な体験に限定されていると言える.

以上のことから本研究では, 体験をありのまま共有するためには五感の全てを共有する必要があるのに対して,「撮影者の体験を共有する映像において共有可能なものは視覚的体験と聴覚的体験に限られる」という点を問題意識に設定する.

1.4　目的

本章第 3 節では,「撮影者の体験を共有する映像において共有可能なものは視覚的体験と聴覚的体験に限られる」という点を問題意識に設定した. そのため, 触覚的体験・嗅覚的体験・味覚的体験を共有できれば, 目線映像における体験の共有がさらに豊かになると考えられる. そこで本研究では, 体験映像において体験の共有を豊かにすることを目指す. 体験映像とは, これまで本章で述べたような, ツーリング・スノーボード・ジェットコースターなどを体験している際の目線映像を指す.

本研究では, 体験映像における共有の豊かさを示す指標として「臨場感」を定義し,「体験映像において臨場感を増幅したユーザ体験の実現すること」を目的とする. 次節では, 本研究における臨場感の定義について詳しく述べる.

1.5　本研究における臨場感

本章第 4 節では, 本研究の目的を「体験映像において臨場感を増幅したユーザ体験の実現すること」とした. 本節では本研究における臨場感の定義を示す.

本研究における臨場感とは, 目線映像を通した共有の体験において, どれだけ撮影者の体験に近い体験が可能かの指標である. 仮に撮影者と全く同じ体験が可能な状態が実現されたならば, 臨場感が 100 パーセント伝達された状態だと言える. しかし, 本章第 2 節で述べたように, ありのまま

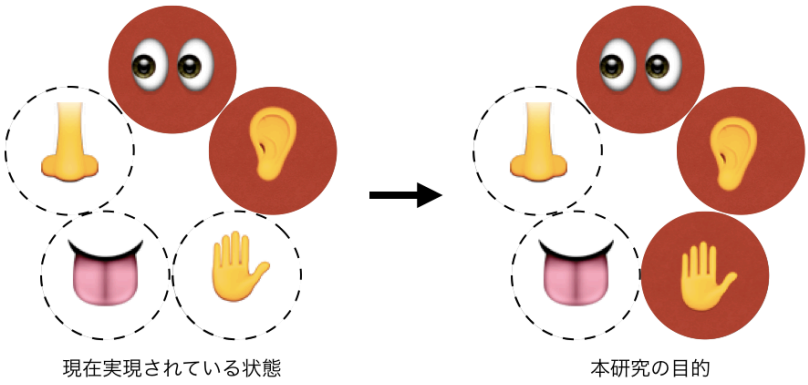

図 1.8　本研究の目的

体験を共有するためには五感の全てを共有する必要があるのに対して, 目線映像を通して共有されているものは視覚的体験と聴覚的体験に限られている. このため, 現状では臨場感が 100 パーセント伝達されている状態ではなく, 現在実現されていない触覚的体験, 嗅覚的体験, 味覚的体験が共有されたならば, 臨場感が 100 パーセントに近づくと考えられる.

映像を見た際に, 撮影者と全く同じ体験ができれば臨場感が 100 パーセントの状態だと定義したが, 視覚的情報と聴覚的情報が共有された映像における臨場感が何パーセントなのかを定義するのは難しい. その理由は, 体験によって五感の中でどの感覚が何パーセントを占めるかが異なるからだ. 例えば, 野球でホームランを打つという体験において味覚や嗅覚が占める割合は限りなく 0 パーセントに近いが, シュールストレミングを食べるという体験では味覚と嗅覚が占める割合が非常に高くなる. そこで今回は便宜上, 五感の全てが臨場感の 20 パーセントずつを占めるものと定義する. また, 既存の映像において視覚的な情報と聴覚的な情報が完全に共有されているわけではないが, 今回は便宜上, 完全に共有されているものとする. つまり, 現在インターネット上にアップロードされている体験映像の臨場感は 40 パーセントの状態であり, 本研究では触覚的な情報が占める 20 パーセントを加えた臨場感 60 パーセントの状態を目指す.

1.6　本論文の構成

本論文は本章を含めて全 9 章で構成される. 第 1 章では本研究の背景, 問題意識, 目的を述べた. 第 2 章では本研究の関連研究について述べる. 第 3 章では本研究のアプローチ, 要件, 実装したシステムの全体像について述べる. 第 4 章では本システムの利用シナリオを示す. 第 5 章では本システムの設計について述べる. 第 6 章では本システムの実装について述べる. 第 7 章ではアプリケーションとしての本システムの概要や実装について述べる. 第 8 章では本システムの有用性を評価する. 第 9 章では本研究の議論と結論について述べる.

第 2 章

関連研究

本章では, 本研究における関連研究について示す. 本章で示す関連研究から, 触覚的体験が映像の臨場感増幅に効果的であると仮説が立てられるため, 本研究では触覚的体験に着目する. 本章第 1 節では, 触覚刺激の効果を検証する研究について述べる. 第 2 節では, 映像に触覚刺激を加えた研究について述べる.

2.1 触覚刺激の効果

触覚へのフィードバックについては多様な研究が行われており, 様々な目的を達成している. 北陸先端科学技術大学大学院の藤田氏らは多色 LED とペルチェ素子を用いて, 遠隔コミュニケーションにおいて思いやりの気持ちを伝達している [12]. 多色 LED が視覚へのフィードバックを行うと共に, ペルチェ素子が触覚へのフィードバックを行う仕組みであり, ペルチェ素子が肌に直接温かい温度刺激を与えるため, まるで離れた相手が近くにいるかのように感じるシステムになっている.

和歌山大学の木村氏らはペルチェ素子を用いた温度刺激と表情アイコンを用いて, オンラインゲームにおいて通信相手の感情を伝達している [13]. 例えば, 喜びの伝達には温かい温度刺激を, 悲しさの伝達には冷たい温度刺激を用いており, 感情の大きさに応じて温かさおよび冷たさをコントロールすることで, プレイヤーの感情の大きさを表現することが可能である.

ロンドン大学の Jordan Tewell 氏らは, 温度刺激による興奮度の操作が可能だとしている [13]. 彼らの研究では, 腕に温度刺激デバイスを装着した状態で SNS の投稿を閲覧してもらい, 温度刺激によって興奮や落ち着きを操作した.

神奈川工科大学の谷中氏らは, 抱き枕型のデバイスを用いてユーザに安心感を提供している [14]. 彼らのデバイスでは, 抱き枕に空気を送り込むことで, まるで呼吸しているかのように動作すると共に, 内部で温水を循環させることで温もりを提供している. 彼らのデバイスにより, 不安が原因で睡眠不足に陥っているユーザに対して, 安心感の提供と睡眠の誘発を行っている.

以上の研究のように, 触覚へのフィードバックによりユーザの興奮や安心感など多様な感情を操作することが可能である.

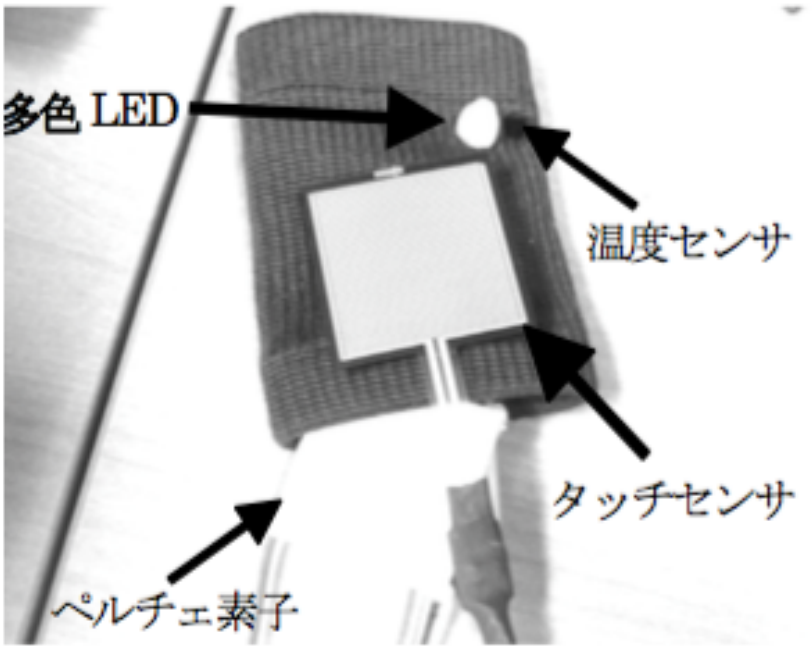

図 2.1　北陸先端科学技術大学大学院・Lovelet[12]

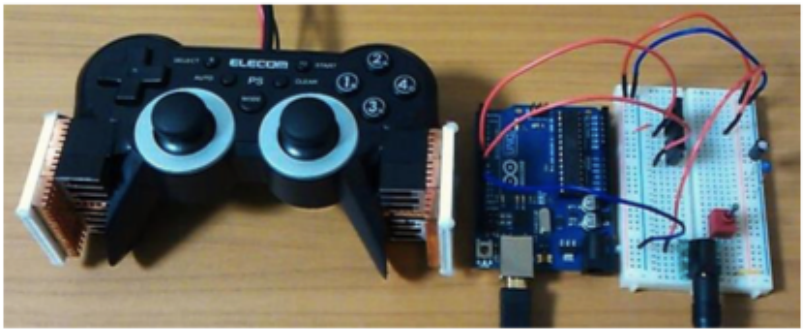

図 2.2　和歌山大学・Ther:com[13]

2.2　映像における触覚刺激

本章第 1 節で述べたように, 触覚へのフィードバックは様々な研究で利用されており, 多様な感情操作が可能とする. 以下では, より本研究の目的に近いものとして, 映像と触覚フィードバックを組み合わせた研究について述べる.

慶應義塾大学大学院の Roshan Lalintha Peiris 氏らは, VR と温度刺激を組み合わせている [15]. 彼らはヘッドマウントディスプレイに 5 つの温度刺激デバイスを装着し, 暑い場所や寒い場所の映像を見せると共に, 5 つの温度刺激デバイスが動作することで, 映像で見ている場所に本当にいるかのように感じさせている. 複数の温度刺激デバイスが独立して動くことで, 雪山で焚き火をしてい

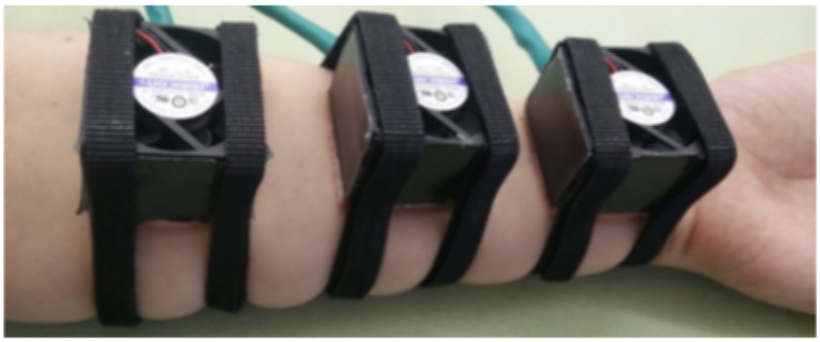

図 2.3　ロンドン大学・The Heat is On[14]

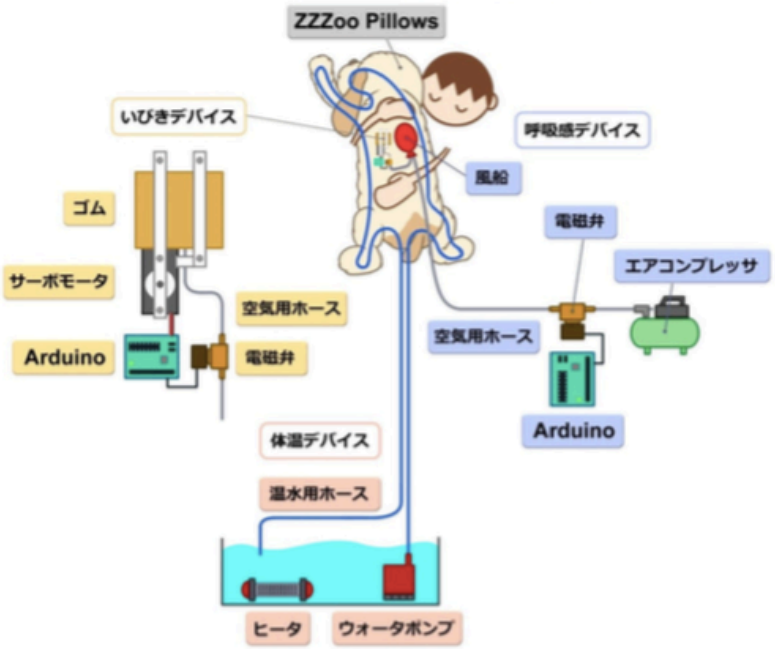

図 2.4　神奈川工科大学・ZZZoo Pillows[23]

る映像を見せながら, 1 つのデバイスだけ温かい刺激を送り, 他のデバイスは冷たい刺激を送ることも可能である.

シンガポール国立大学の Nimesha Ranasinghe 氏らは VR に風を組み合わせている [16]. 彼らは温度刺激デバイスを組み込んだヘッドマウントディスプレイにファンを組み合わせて, サーボモータで制御している. 彼らのシステムでは, 暑い場所や寒い場所の映像を見せると共に, 温度刺激デバイスやファンが動作することで, 映像で見ている場所に本当にいるかのように感じさせている. 彼らの研究では, 温度刺激だけではなく, 風が触覚的な刺激としての効果を持つことを明らかにしている.

大阪大学大学院の田中氏らは, 遠隔コミュニケーションに握手を組み合わせている [17]. 彼らは

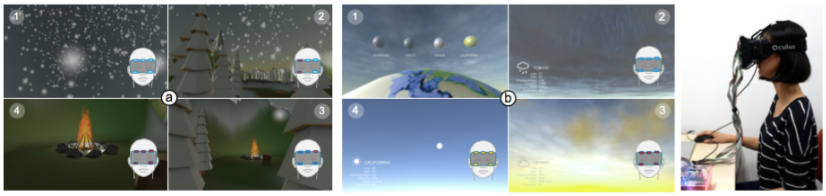

図 2.5　慶應義塾大学・Thermo VR[15]

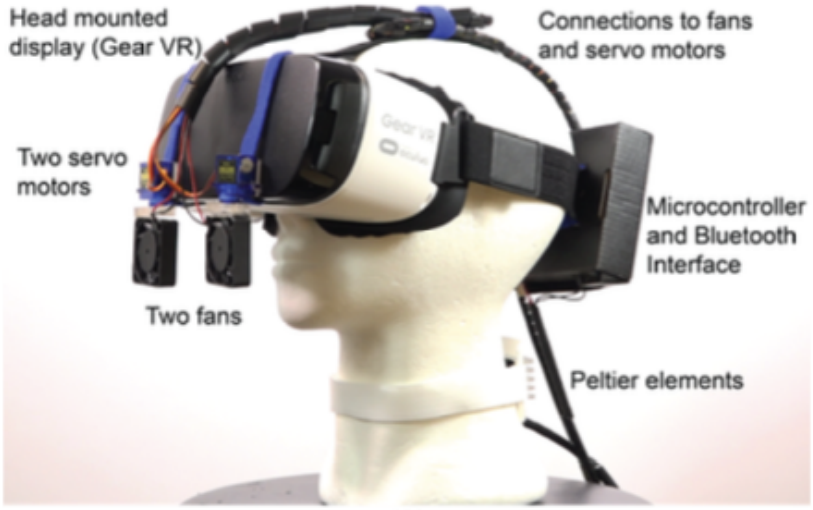

図 2.6　シンガポール大学・AmbioTherm[16]

遠隔コミュニケーションにおいてリアルな接触感覚を再現するために遠隔握手用ロボットハンドを実装している．彼らの研究では, 視覚と聴覚に対する情報提示のみであった Skype[18] などの遠隔コミュニケーションにおいて, 触覚情報を組み込むことがソーシャルテレプレゼンスの強化に繋がるとしている．また, 木製のマネキンの手は, その冷たさと固さから有効な手段とはならなかったのに対し, 彼らが実装したロボットハンドは人工皮膚とフィルム状ヒータを用いて人の手のような柔軟性と体温を再現することで, ソーシャルテレプレゼンスの強化を実現している．以上の点から, 触覚へのフィードバックでは, 現実の触感に近付けることが重要だと考えられる．

本研究では, 触覚刺激を再現するシーンの 1 つとして握手をする映像を想定し, 握手する映像を見ながら実際に握手をしているかのような触覚刺激を与えるデバイスを実装する．握手する体験映像としては, 有名人と握手するシーンや, 子供や孫と手を繋ぐシーンなどが考えられる．しかし, 田中氏らの遠隔握手用ロボットハンドは大きさや握力などが一定である．本研究では, 体験映像を再現することが重要であるため, 一定の大きさや握力のみを再現できるロボットハンドでは要件を満たさない．そこで今回は, 多様な握手の体験映像において汎用的に使用できるデバイスを実装する．本研究で実装したデバイスの設計については第 5 章, 実装については第 6 章で述べる．

図 2.7　大阪大学大学院・遠隔握手 [17]

2.3　まとめ

本章では, 本研究における関連研究を示した. 次章では, 本研究のアプローチ・リサーチクエスチョン・システムの全体像を示す.

第 3 章

Tacvie

本章のタイトルであり, 本論文のタイトルにも含まれている Tacvie は, 本研究において実装したシステムの名称である. 本章では, はじめに本研究のアプローチについて述べる. 次いで, 本研究のリサーチクエスチョンについて述べる. 最後に本システムの全体像を示す.

3.1 本研究のアプローチ

第 1 章第 4 節で述べたように, 本研究の目的は「体験映像において臨場感を増幅したユーザ体験の実現」である. また第 1 章第 5 節で述べたように, 体験映像における臨場感を 100 パーセントの状態まで増幅するには触覚的体験, 嗅覚的体験, 味覚的体験を共有する必要がある. 第 2 章第 2 節で述べたように, 遠隔コミュニケーションにおける触覚へのフィードバックがソーシャルテレプレゼンスを増幅することがわかっている. 遠隔コミュニケーションにおけるソーシャルテレプレゼンスとは, 離れた場所にいるはずの相手がまるで目の前にいるかのように感じることであり, 体験の再現という点で本研究と一致している. そこで本研究では, 触覚的な体験の共有に着目した.

以上のことから, 本研究のアプローチは「映像に触覚データを組み込み, 再生時に触覚を再現すること」とする.

3.2 リサーチクエスチョン

本節では, 本研究における 3 つのリサーチクエスチョンを示す. 3 つのリサーチクエスチョンは 1）触覚データの取得, 2）センサ値の変換, 3）アクチュエーションである. 本研究では体験映像における触覚的体験の再現を行うため, 触覚データを取得する必要がある. また触覚的体験を再現するために, アクチュエータおよびアクチュエータを動かすための数値が必要となる. これらのリサーチクエスチョンを達成することで触覚的体験を再現できれば, 体験映像における臨場感を増幅できると考えられる.

3.2.1 触覚データの取得

本研究では映像の撮影者の触覚的な体験を再現する必要がある．そのためには, まず映像に応じた触覚データが必要である．

触覚的な体験とは, 手で何らかのオブジェクトに触れた際の感覚はもちろん, 風や振動など様々なことが含まれる．例えば, 自転車を運転している人の触覚的な体験は, ハンドルを持った感覚, 路面の凹凸から伝わる振動, 風を切る感覚などが挙げられるほか, 場合によっては飛び石や虫に当たった際の痛みを体験することもある．

以上のように多様な触覚的な体験を再現するためには, まず多様な触覚データを取得する必要がある．例えば自転車に乗っている際の風を切る感覚は自転車のスピードに応じて制御しなくてはならないため, 自転車のスピードを取得する必要がある．また, 誰かと握手した感覚を再現するためには, 手にかかる圧力を取得する必要がある．スマートフォンで撮影する場合, スマートフォンに内蔵された様々なセンサを利用することで, 多様なセンサデータを取得できるが, 握手した際の圧力のようにスマートフォンでは取得不可能な場合は新たにセンサを実装する必要がある．

以上のことから, 1 つ目のリサーチクエスチョンは「触覚的な体験の再現に必要なデータを取得すること」である．

3.2.2 センサ値の変換

触覚を再現するための多様なセンサデータは, 生データのままではアクチュエーションに利用できない．またウェブスクレイピングでデータを取得した場合なども, そのままではアクチュエーションに利用できない場合がほとんどである．以上の場合, 各センサデータを DC モータやサーボモータなどのアクチュエータを動作させるための数値に変換する必要がある．例えば自転車を運転している際の目線映像における風を切る感覚を再現する場合, データは撮影時のスピードの下限と上限の範囲にあり, DC モータに渡す値は 0 から 255 の範囲にある 8 ビットの数値である．そのため風速のデータを 8 ビットの数値に変換する必要がある．またアクチュエータにサーボモータを用いる場合, モータに渡す値は 0 から 180 の範囲にある角度になる．

センサ値を変換するプロセスにおいて, 撮影時のデータをアクチュエータが扱える 8 ビットの数値や角度にマッピングするだけでは不完全である．自転車の事例では, 映像を通して自転車が高速で走り続ける場合, センサ値の下限に 0 を当てはめてしまうと, あるシーンにおいて自転車が走り続けているにもかかわらずモータは停止してしまう．さらに言えば, 映像を通して自転車が低速で走り続けた場合, センサ値の上限に 255 を当てはめることで撮影者が感じた風よりも強い風を起こしてしまう可能性もある．自転車が走り続けているにもかかわらずモータが停止してしまう場合や, 自転車が低速で走っているにもかかわらずモータが高速で動いてしまう場合, 映像の臨場感の増幅には繋がらず, むしろ視覚的体験と合わない触覚的体験をすることで臨場感を損なう可能性もある．

アクチュエータに渡す数値は, 利用するアクチュエータによって異なる．前述した通り, DC モー

タやサーボモータなど, モータの種類によって値の範囲が異なるのはもちろん, モータの大きさやトルクによっても異なる. 自転車の事例では, 利用するモータの大きさによって渡すべき値が異なる. 小型のモータで風を起こす場合, 最大の 255 を渡すような場面であっても, 大型のモータに 255 を渡してしまうと過度に強い風を起こしてしまう. このような場合も, 前述した通り, 視覚的体験と合わない触覚的体験に繋がってしまい, 臨場感を損なう可能性がある.

以上のことから, 2 つ目のリサーチクエスチョンは「センサデータを触覚的体験の再現に必要な値に変換すること」である.

3.2.3 アクチュエーション

触覚の再現においては, 前述した通り, アクチュエータに渡す値が重要な要素となるが, それと同時にアクチュエータ本体の設計も重要である. 自転車の事例では, 風を起こすための DC モータの大きさによって, 風の強さが変化するため, 映像に合わせた DC モータが必要となる. また自転車に乗っている際の振動を再現する場合, 振動モータの大きさのほか, 振動モータをマウントする場所によって感じる振動が変化する. すなわち, 利用するモータの種類や大きさの選定, アクチュエータの設計, モータをマウントする位置など, 多様な要素を考慮して効果的に臨場感を増幅するアクチュエータを実装する必要がある. また様々な映像に対応する汎用的なアクチュエータの実装は困難であり, 各映像に応じたアクチュエータを実装する必要がある.

以上のことから 3 つ目のリサーチクエスチョンは「触覚的な体験を再現するためのアクチュエータを設計および実装すること」である.

3.3 システム全体像

本節では本システムの全体像を示す.

まず本システムでは 1 つのセンシングデバイス, 2 つのアクチュエーションデバイス, アクチュエーションデバイスのプラグアンドプレイを目指したアプリケーションのサンプルを実装した. センシングデバイスは握手の感覚をセンシングするものであり, アクチュエーションデバイスは握手の感覚を伝達するものと, 自転車を運転している感覚を伝達するものである. 各デバイスの設計については第 5 章, 実装については第 6 章で詳しく述べる. また, プラグアンドプレイについては第 7 章で詳しく述べる. 本研究では映像の撮影には Senbay Camera Pro[8] を利用し, センサデータの読み込みには Senbay Studio[9] を利用している.

3.4 まとめ

本章では, 本研究のアプローチ・リサーチクエスチョン・システムの全体像について示した. 次章では, 本システムの利用シナリオを示す.

第 4 章

利用シナリオ

本章では, 本システムの利用シナリオを述べる. はじめに, 触覚へのフィードバックを組み込んだ体験映像の利用について全般的に述べる. 次に本システムで実装した 2 種類のデバイスの利用について順に述べる.

4.1 体験映像における触覚の利用

第 1 章第 1 節で述べたように, インターネットの普及により様々な体験映像が YouTube[3] などのウェブサービスにアップロードされるようになった. 例えば, YouTube で検索すると, オートバイでツーリングしている際の目線映像, スノーボードで滑走している際の目線映像, グライダーで滑空している際の目線映像などが視聴可能である. しかし, 第 1 章第 3 節で述べたように, これらの体験映像は, 視覚的体験と聴覚的体験のみの共有に限られている. これらに対して第 3 章第 2 節で示した 3 つのリサーチクエスチョンを達成できたならば, 触覚的体験を実現し, より臨場感のある体験映像の共有が可能となる.

オートバイでツーリングしている際の体験映像において, 触覚的体験の共有を実現できたならば, まず子供や高齢者, 身体的な障害を持つ人など, オートバイに乗れない人がツーリングを疑似体験できるようになる. また, 日常的にオートバイに乗っている人でも, 普段行けないような場所でのツーリングを疑似体験できるようになる. 例えば, 沖縄に住んでいる人が北海道でのツーリングを疑似体験したり, 日本に住んでいる人がドイツのアウトバーンでの走行を疑似体験したりするシナリオが考えられる. さらに, 以上の体験が可能であれば, オートバイに興味を持ってもらうためのプロモーション映像としての利用も考えられる. オートバイごとの乗車体験も再現できれば, オートバイ販売会社のプロモーションにも利用できる. スノーボードの体験映像においても, オートバイと同じく, スノーボードに乗れない人が疑似体験できるほか, スノーボードのプロモーション映像としての利用も可能である. グライダーのように, 実際に操縦できる人が限定されるものでは, 乗れない人が疑似体験できる点で強い有用性がある.

その他の体験映像においても, その映像における体験ができない人が疑似体験できる点が要点となる. 旅行に行った際, 旅先で映像を撮影する人は多いが, そのような映像においても共有できるも

図 4.1　握手デバイスの利用シナリオ

のは視覚的体験と聴覚的体験に限られ, 伝えたいことが充分に共有できないことがある. 例えば, 北欧での旅行の場合, その地域がどれほど寒いのかを伝えたいことがある. 実際, テレビ番組でも北欧にロケーション撮影に行った場合, タレントが非常に寒いことを視聴者に伝えようとしているシーンを頻繁に見る. また, 自分の子供が海外留学しているならば, その両親や家族は留学先でどのような生活をしているのかを知りたい場合も多いが, 映像で伝達できるものは限定的である. そこで触覚的体験も共有できれば, 気候や環境などを体験的に知ることが可能になる.

以上のように, 体験映像における触覚へのフィードバックは, その映像における体験ができない人が疑似体験できる点が, 利用シナリオにおける要点となる. また, オートバイやスノーボードのプロモーション映像に組み込んで利用するシーンも想定される.

4.2　握手デバイスの利用

本システムでは握手の感覚をセンシングするデバイスと, センシングした握手を再現するアクチュエーションデバイスを実装した. 本節では, これらのデバイスの利用シナリオを示す.

これらのデバイスの利用シナリオとして, 小さい子供に手を握られる感覚をセンシングし, センシングした感覚の再現することが想定される. 近年, 日本では核家族化が進んでおり, 孫と同じ家で生活する人は減少している. それに対して, 孫との関係により幸福感が高まる高齢者は多い [19]. 孫と離れた場所で暮らしている場合, 会う機会は少なくなり, 映像を通して孫の成長を確認することもあるだろう. その映像の撮影に今回実装したセンシングデバイスを利用し, 子供と手を繋ぐ感覚をセンシングすれば, 手を繋ぐ感覚をデータとして映像と共に保存する. そのデータと映像を祖父母に送ることで, 祖父母はアクチュエーションデバイスを使用することで, 孫の映像を見ると同時に手を繋ぐ感覚を味わうことが可能になる.

以上が本デバイスの利用シナリオである.

4.3　自転車デバイスの利用

本システムでは, 自転車に運転している際に感じる振動と風を再現するアクチュエーションデバイスを実装した. 本節では, 本デバイスの利用シナリオを示す.

図 4.2　自転車デバイスの利用シナリオ

本デバイスの利用シナリオとしては, 身体的な障害などにより自転車に乗れない人が疑似体験できる点が要点となる. また, 沖縄に住んでいる人が北海道でのサイクリングを疑似体験できたり, 日本にいながら海外でのサイクリングを疑似体験できたりと, 普段行けない場所での疑似体験ができる点も重要である. 以上の特徴を活用し, 触覚へのフィードバックを付加したプロモーション映像を作成するシナリオも想定される.

以上が本デバイスの利用シナリオである.

4.4　まとめ

本章では, 本研究において実装したデバイスをはじめ, 触覚へのフィードバックを組み込んだ映像の利用シナリオを示した. 次章では, 本研究において実装したデバイスの設計について述べる.

第 5 章

設計

本章では, 本システムの設計について述べる. 本章では, はじめに, システム全体の設計について述べる. 次いで, 本研究で実装した 3 つのデバイスの設計について述べる.

5.1 システム全体の設計

本研究では, 体験映像における臨場感の増幅を目的として, 触覚へのフィードバックを組み込んだ映像を提案するため, 握手センシングデバイス・握手アクチュエーションデバイス・自転車デバイスの 3 つを実装した. また, 各デバイスにおける触覚データの送受信や, 生データからモータを動作させるための数値への変換などは PC で行う.

5.2 握手センシングデバイス

本節では, 握手センシングデバイスにおける概要・機能要件・システム構成図・各モジュールの設計を示す.

5.2.1 概要

本デバイスは, 本章第 3 節で示す握手アクチュエーションデバイスで再現する触覚刺激をデータ化するため, 握手など手を握られる感覚をセンシングするデバイスである. 尚, 本デバイスは右手に伝わる触覚刺激のセンシングを想定して設計している. 右手と左手ではセンサを配置するべき場所が異なるため, 今回は利き手とする人が多い右手に限定した.

5.2.2 機能要件

本デバイスは触覚検知モジュール・シリアル通信モジュール・UDP 通信モジュールの 3 つのモジュールから構成される. 各モジュールの設計については, 本節で後述する.

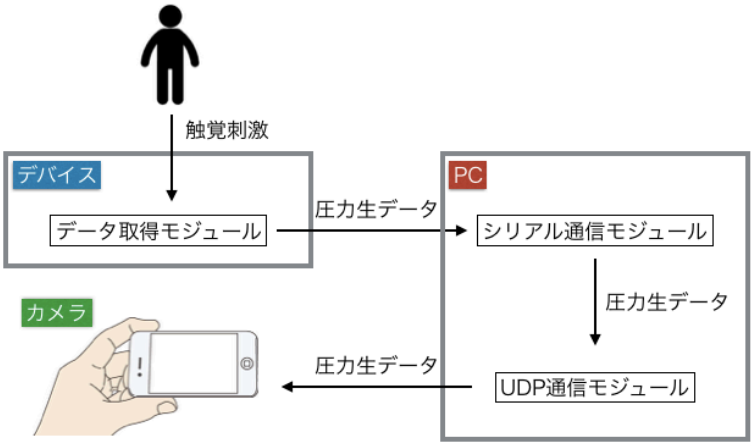

図 5.1　システム構成図

5.2.3　システム構成図

本システムでは, まずユーザが感じた触覚刺激をデータ取得デバイスが受け取る. 次に, そのデータをシリアル通信モジュールにより受け取った生データを PC に送信する. 最後に, UDP 通信モジュールにより生データをスマートフォンなどの撮影デバイスに送信する. 本デバイスのシステム構成図を図 5.1 に示す.

5.2.4　データ取得モジュール

本モジュールは, 触覚をセンシングするモジュールである. 本モジュールでは, 握手など手を握られた感覚を検知し, 握られた強さによって数値が変わる生データを取得する. また, 本デバイスは右手に伝わる触覚刺激のセンシングを想定しているため, 本モジュールも右手による握手を想定して設計した.

5.2.5　シリアル通信モジュール

本モジュールは, 前述したデータ取得モジュールにおいて取得した生データをシリアル通信で PC に送信するモジュールである. 本デバイスでは生データの取得を目的としているため, 本モジュールにおけるデータのやり取りは, 本デバイスから PC への一方通行である.

5.2.6　UDP 通信モジュール

本システムでは, Senbay Camera[8] のソケットに UDP 通信でデータを送信することで, 触覚データを組み込んだ映像を撮影する. 本モジュールは, シリアル通信モジュールで受信した触覚

データを受け取り, Senbay Camera を起動したスマートフォンに送信するモジュールである. 本モジュールにおけるデータのやり取りは, PC からスマートフォンへの一方通行である.

5.2.7 まとめ

本節では, 握手センシングデバイスにおける設計を示した. 次節では, 握手アクチュエーションデバイスにおける設計を示す.

5.3 握手アクチュエーションデバイス

本節では, 握手アクチュエーションデバイスにおける概要・機能要件・システム構成図・各モジュールの設計を示す.

5.3.1 概要

本デバイスは, 本章第 2 節で示した握手センシングデバイスで取得した触覚データ, すなわち握手など手を握られる触覚刺激を再現するためのデバイスである. 尚, 握手センシングデバイスにおいて右手に伝わる触覚刺激を取得したため, 本デバイスも右手への触覚刺激の伝達を想定している.

5.3.2 機能要件

本デバイスは, データ取得モジュール・データ変換モジュール・シリアル通信モジュール・アクチュエーションモジュールの 4 つのモジュールから構成される. 各モジュールの設計については, 本節で後述する.

5.3.3 システム構成図

本システムでは, まずデータ取得モジュールでセンサデータを取得する. この時点におけるセンサデータは圧力センサで取得した生データである. 次に, データ変換モジュールにより受け取った生データをアクチュエーションのための数値に変換する. 次にシリアル通信モジュールにより, 握手アクチュエーションデバイス本体にデータを送信する. 最後にアクチュエーションモジュールがユーザに触覚刺激を与える. 本デバイスのシステム構成図を図 5.2 に示す.

5.3.4 データ取得モジュール

本モジュールは, 本章第 2 節で示した握手センシングデバイスを利用して撮影した, 触覚データを組み込んだ映像から触覚データを取り出すモジュールである.

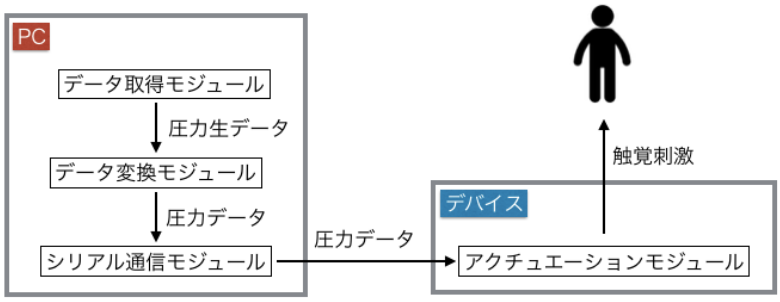

図 5.2　システム構成図

5.3.5　データ変換モジュール

本節第 2 節で示した触覚センシングデバイスで取得した触覚データは生データであり, 本デバイスではサーボモータを用いるため, 生データを 0 から 180 までの角度を示す数値に変換する必要がある. 本モジュールは, データ取得モジュールで映像から取り出した触覚データを角度を示す数値に変換するモジュールである.

5.3.6　シリアル通信モジュール

本モジュールは, データ変換モジュールで算出した数値を, シリアル通信で触覚アクチュエーションデバイスに送信するモジュールである. 本デバイスは PC が取得したデータを利用してアクチュエーションさせるため, 本モジュールにおけるデータのやり取りは, PC から本デバイスへの一方通行である.

5.3.7　アクチュエーションモジュール

本モジュールは, サーボモータを動作させ, 握手など手を握られた感覚を再現するモジュールである. 本モジュールでは, シリアル通信モジュールから受信した角度を示す数値を用いてサーボモータを動作させる.

5.3.8　まとめ

本節では, 握手アクチュエーションデバイスにおける設計を示した. 次節では, 自転車デバイスにおける設計を示す.

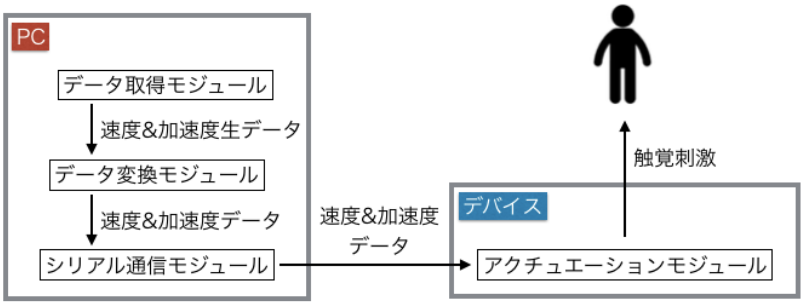

図 5.3　システム構成図

5.4　自転車デバイス

本節では, 自転車デバイスにおける概要・機能要件・システム構成図・各モジュールの設計を示す.

5.4.1　概要

本デバイスは, 自転車を運転している際にヘルメットや自転車にカメラをマウントして撮影した目線映像において, 触覚へのフィードバックを行うためのデバイスである. また, 本デバイスでは, Senbay Camera[8] で映像を撮影した際に取得するデータのみを利用するため, センシングデバイスは実装しない.

5.4.2　機能要件

本デバイスは, データ取得モジュール・データ変換モジュール・シリアル通信モジュール・アクチュエーションモジュールの 4 つのモジュールから構成される. 各モジュールの設計については, 本節で後述する.

5.4.3　システム構成図

本システムでは, まずデータ取得モジュールでセンサデータを取得する. この時点におけるセンサデータは加速度および速度の生データである. 次に, データ変換モジュールにより受け取った生データをアクチュエーションのための数値に変換する. 次にシリアル通信モジュールにより, 握手アクチュエーションデバイス本体にデータを送信する. 最後にアクチュエーションモジュールがユーザに触覚刺激を与える. 本デバイスのシステム構成図を図 5.3 に示す.

5.4.4 データ取得モジュール

本モジュールは, Senbay Camera[8] で撮影した自転車を運転している際の目線映像から, 本デバイスを用いた触覚へのフィードバックに必要なセンサデータを取り出すモジュールである.

5.4.5 データ変換モジュール

データ取得モジュールで取り出したデータは生データである. それに対して, 本デバイスでは DC モータを内蔵した振動モータを利用するため, 8 ビットの数値が必要である. 本モジュールは, 取り出した生データを 8 ビットの数値に変換するためのモジュールである. 尚, 数値の変換では加速度と速度から適切な数値を判定する. 走行中は常に合成加速度を用いるが, 自転車が停止している際にもハンドル野持ち替えやペダルの踏み換えなどの動作により大きくセンサデータが変わってしまうことが明らかになったため, 速度が著しく低い場合に限り速度から振動を決定するように設計した.

5.4.6 シリアル通信モジュール

本モジュールは, データ変換モジュールで算出した数値を, シリアル通信で自転車デバイスに送信するモジュールである. 本デバイスは PC が取得したデータを用いてアクチュエーションさせるため, 本モジュールにおけるデータのやり取りは, PC から本デバイスへの一方通行である.

5.4.7 アクチュエーションモジュール

本モジュールは, 振動モータを動作させ, 自転車を運転する際に感じる振動を再現するモジュールである. 本モジュールは, シリアル通信モジュールで受信した 8 ビットの数値を利用して振動モータを動作させる.

5.4.8 まとめ

本節では, 自転車デバイスにおける設計を示した. 次節では, 本章のまとめを述べる.

5.5 まとめ

本章では, システム全体の設計と, 本研究で実装した握手センシングデバイス, 握手アクチュエーションデバイス, 自転車デバイスにおける概要・機能要件・システム構成図・各モジュールの設計を示した. 次章では, 各デバイスの実装について述べる.

第 6 章

実装

本章では, 本システムの実装について述べる. 本章では, まず, 実装概要について述べる. 次いで, 実装環境を示す. 次いで, 本研究における利用アプリケーションである Senbay Camera[8] および Senbay Studio[9] について述べる. 次いで, 本研究で実装した 3 つのデバイスの実装について述べる.

6.1 実装概要

本研究では, 握手における触覚を伝達するための握手センシングデバイスおよび握手アクチュエーションデバイス, 自転車に乗っている際の振動を伝達するための自転車デバイスの 3 つを実装した. 各デバイスは Arduino を使用してセンサデータの取得やモータの制御を行っている. また, センサデータを組み込んだ映像の撮影には Senbay Camera[8] を, 映像からセンサデータを取り出す際には Senbay Studio をそれぞれ利用している. また, データの変換や送受信のコードは Python2.7 で実装した.

6.2 実装環境

本節では, 本システムの実装環境を示す. ただし, 各デバイスで使用したセンサやモータについては, 各デバイスの実装の節で述べる.

本システムは MacBook Air を用いて実装を行った. 尚, OS は OS X El Capitan である. Arduino で行うセンサデータの取得やモータの制御におけるコーディングは Arduino IDE を利用した. 尚, 利用した Arduino は Arduino Uno であり, バージョンは 1.6.9 である. また, PC で行うデータの変換や送受信におけるコーディングは Atom を用いて行った. 使用した開発言語については, Arduino の制御は Arduino 言語, PC で行う計算については Python2.7 をそれぞれ使用した. また, プロジェクト管理には Git および GitHub を利用した.

図 6.1　Senbay Camera

6.3　利用アプリケーション Senbay

本システムでは, 触覚データを組み込んだ映像を撮影するために Senbay Camera[8] を利用し, 映像から触覚データを取り出すために Senbay Studio[9] を利用した. 以上のアプリケーションは, 慶應義塾大学の西山勇毅氏らが, センサデータを QR コードとして埋め込んだ映像の研究のために開発したものである [20]. 本節では, 以上のアプリケーションの利用について述べる.

まず, 本研究では, 触覚データを組み込んだ映像を撮影するために, Senbay Camera を利用した. Senbay Camera では, 映像を撮影する際に, 撮影したデバイスが取得する加速度・位置情報・天気・心拍数など 15 種類のセンサデータを取得し, QR コードとして映像に埋め込んでいる. また, Arduino などでセンサを制御して取得したデータを撮影デバイスのソケットに送信することで, さらに多様なセンサデータを埋め込むことも可能とする.

また, 本研究では, Senbay Camera で撮影した映像から触覚データを取り出すために, Senbay Studio を利用した. Senbay Studio では, QR コードを読み取り, センサデータを可視化するほか, ネットワークにデータを送信することも可能とするため, Senbay Studio 以外のアプリケーションや他のデバイスでセンサデータを利用できる. また, センサデータを CSV ファイルに出力することや, 映像とセンサデータを保存した CSV ファイルを合成することも可能とする.

本システムでは, 以上 2 つのアプリケーションを利用して, 触覚へのフィードバックを実現した.

図 6.2　Senbay Studio

図 6.3　握手センシングデバイス

6.4　握手センシングデバイス

本節では, 握手センシングデバイスにおける各モジュールの実装について述べる. また, 握手センシングデバイスの外見を図 6.3 に示す.

6.4.1 使用センサ

本デバイスでは, 手に伝わる触覚を検知するために, 圧力センサを使用した. 使用したセンサは, FSR402 である. 本センサは, 加えられた圧力に応じて電気的抵抗値が減少することで, その圧力が算出される. 本センサを選択した理由は, 電子機器のタッチ操作に最適化されており, 握手をした際の圧力の強さでも問題なく検知できたことである.

6.4.2 データ取得モジュール

本モジュールは, 触覚データを取得するモジュールである. 本モジュールは, Arduino および前述した圧力センサ FSR402 を用いて実装した.

本モジュールでは, はじめに, 圧力センサの値を Arduino で算出するように実装した. 握手の感覚を問題なく検知できるようにした結果, 5.1k Ωの抵抗器を使用することになった. センサや抵抗器は, 使用中に外れてしまうことが多かったため, ブレッドボード配線パターンのユニバーサル基板にはんだ付けした.

次に, 圧力センサで握手の感覚を検知するため, グローブ型のセンシングデバイスとして実装した. 前述したセンサを鍋つかみの上に貼り付け, さらに鍋つかみを被せて Arduino やユニバーサル基板を 2 つの鍋つかみの間に入れることで, メカニズムが露出しないように工夫した.

6.4.3 シリアル通信モジュール

本モジュールは, データ取得モジュールで取得したセンサデータを, シリアル通信で PC に送信するモジュールである. Arduino 側でセンサデータを送信する機能を実装し, PC 側で受信する機能を Python2.7 で実装する.

Arduino 側では, Serial.println() を用いてデータを送信する. データの転送レートは 9600bps に設定した.

PC 側では, pyserial モジュールを利用して実装した. pyserial モジュールは Python でのシリアル通信を簡易的に実装できるモジュールである. Arduino 側から値が送信されるたびに, PC 側で受け取る.

また, 本モジュールで受け取った値は, 後述する UDP 通信モジュールでスマートフォンなどの撮影デバイスに送信されるが, Senbay Studio[9] では CSV と映像の合成も可能であるため, UDP 通信が利用できない環境での使用も考慮し, CSV ファイルにデータを出力する機能も実装した. データの出力については, 値を受け取るたびに行うのは非効率的であるため, 値を配列に格納しておき, シリアル通信が遮断されたタイミングで行っている. CSV ファイルへの出力については, csv モジュールを利用して実装した.

図 6.4　握手アクチュエーションデバイス

6.4.4　UDP 通信モジュール

本モジュールは, シリアル通信モジュールにおいて PC が受信した値を, UDP 通信でスマートフォンなどの撮影デバイスに送信するモジュールである. 本デバイスでは, 映像と触覚へのフィードバックにズレが生じないようにするため, データ取得モジュールが取得したデータを可能な限り早くスマートフォンに送信する必要がある. そこで本モジュールでは, リアルタイム性の高い UDP 通信を採用した.

本モジュールでは, socket モジュールを利用して, 通信を確立している. 本モジュールは, シリアル通信モジュールがセンサデータを受信するたびに, 撮影デバイスに値を送信する.

6.4.5　まとめ

本節では, 握手センシングデバイスにおける各モジュールの実装について述べた. 次節では, 握手アクチュエーションデバイスにおける各モジュールの実装について述べる.

6.5　握手アクチュエーションデバイス

本節では, 握手アクチュエーションデバイスにおける各モジュールの実装について述べる. また, 握手アクチュエーションデバイスの外見を図 6.4 に示す.

6.5.1 使用モータ

本デバイスでは, サーボモータを使用した. 使用したサーボモータは, GWS サーボ MICRO 2BBMG F である. 本デバイスでは, 鍋つかみに縫い付けたサーボモータが回転することで布を捻り, 触覚へのフィードバックを行う仕組みになっている. 以上の使用方法において充分なトルクを持つものとして, 以上のサーボモータを採用した.

6.5.2 データ取得モジュール

本モジュールは, Senbay Studio[9] を使用して映像から取り出した触覚データを Python で受け取るためのモジュールである. 本デバイスでは, 再生された映像と触覚へのフィードバックの間にタイムラグが発生すると, 臨場感の増幅に繋がらないため, 可能な限り早い通信が必要となる. そこで本モジュールでは, リアルタイム性の高い UDP 通信を採用した.

Senbay Studio から送信されるデータは, 15 種類のデータである. 尚, 送信されるデータは json 形式である. その中で, 本デバイスでは, 前述した握手センシングデバイスにおいて取り込んだセンサデータを使用する. 該当するデータは SOCKET の項目に保存されているため, SOCKET の中から値を取り出す.

6.5.3 データ変換モジュール

本デバイスは, サーボモータを用いて触覚へのフィードバックを行うため, 0 から 180 までの角度を示す数値を使用する. それに対して, データ取得モジュールで取り出した値は, 握手センシングデバイスにおいて圧力センサが取得した生データであるため, 数値を変換する必要がある. そこで, 本モジュールは, データ取得モジュールで取り出した値を, 0 から 180 までの角度を示す数値に変換する.

まず, 本モジュールを実装するにあたり, 握手センシングデバイスを装着して握手をした際の最小および最大の値を設定する必要があった. 握手センシングデバイスを実際に数回使用して, 取得した値を確認したところ, 最小の値は, 握手センシングデバイスに触れていないときの 48.13 であり, この数値は毎回変化しなかった. それに対して最大の値は, 数千から数万に及ぶことがあり, 変動が大きかった. しかし, 強く握手した際のデータは 1000.0 前後であったことから, 1000 以上の値をはずれ値とした. すなわち, 握手センシングデバイスが取得した値は最小が 48.13, 最大が 1000.0 とし, 1000.0 以上の数値は 1000.0 として扱った. 以上の数値を, 48.13 は 0, 1000.0 は 255 というように, 角度を示す数値に当てはめた.

6.5.4 シリアル通信モジュール

本モジュールは, データ変換モジュールで変換したデータを, 触覚アクチュエーションデバイス本体に送信するモジュールである. PC 側でのデータの送信は Python, Arduino 側でのデータの受信は Arduino 言語でそれぞれ実装している.

PC 側は, pyserial モジュールを用いて実装している. また, データの転送レートは 9600bps に設定した. 本モジュールでは, データ変換モジュールによる数値の変換が行われるたびに, Arduino にデータを送信している.

Arduino 側は, シリアルポートにデータが到着するたびに, Serial.read() 関数を呼び出し, データを受け取る.

6.5.5 アクチュエーションモジュール

本モジュールは, モータを動作させて触覚へのフィードバックを行うモジュールである. 本デバイスでは, 前述したサーボモータ GWS サーボ MICRO 2BBMG F[22] を, 鍋つかみにおける手のひら側, 人指し指と中指の第一関節周辺に縫い付けており, 本サーボモータが動作することで鍋つかみの布が捻られ, 触覚へのフィードバックが行われる. サーボモータは, シリアル通信モジュールで受信した数値を使用して動作させる. 前述したように, シリアル通信モジュールで受信した数値は, 0 から 180 の角度を示す数値に変換されているため, そのままサーボモータに動作に使用できる. また, 角度を示す数値に変換する前は, 圧力を示す値であり, 加わる圧力が小さければ値も小さく, 加わる圧力が大きければ値も大きくなるため, 元々の値が最小値であればサーボモータは動作せず, 触覚へのフィードバックを行わず, 反対に元々の値が最大値に近いほど, 強いフィードバックを行う.

本デバイスでは, サーボモータ以外は取り付けていない. Arduino とサーボモータを直接ジャンパワイヤで接続している. 前述した通り, 鍋つかみにサーボモータを縫い付けており, さらにその上からもう 1 枚の鍋つかみを被せることで, メカニズムが露出しないように工夫した.

6.5.6 まとめ

本節では, 握手アクチュエーションデバイスにおける各モジュールの実装について述べた. 次節では, 自転車デバイスにおける各モジュールの実装について述べる.

6.6 自転車デバイス

本節では, 自転車デバイスにおける各モジュールの実装について述べる. 尚, 本デバイスでは, Senbay Camera[8] で映像を撮影した際に取得できるセンサデータのみを利用するため, 自転車におけるセンシングデバイスは実装していない. また, 自転車デバイスの外見を図 6.5 に示す.

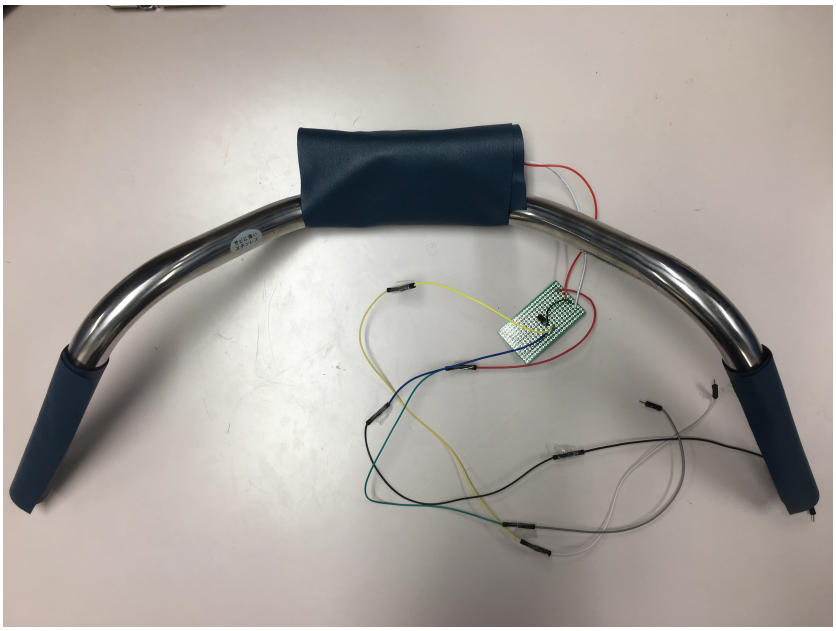

図 6.5　自転車デバイス

6.6.1　使用モータ

本デバイスでは, uxcell マイクロモータ [23] を使用した. 本モータは, 円形状の重りを付けた DC モータが内部で動作することで, 振動を発生させている. 本モータの定格電圧は 12V, 回転速度は 5000RPM である. また, 本モータはマッサージチェアなどに利用されている.

6.6.2　データ取得モジュール

本モジュールは, 本章第 5 節で述べた握手アクチュエーションデバイスにおけるデータ取得モジュールと同じく, Senbay Studio[9] を通して映像から取り出した json データを UDP 通信で取得するモジュールである. UDP 通信を採用した理由や, 詳しい実装については, 握手アクチュエーションデバイスと共通しているため, 本節では省略する.

握手アクチュエーションデバイスのデータ取得モジュールと異なる点は, 送信されるデータの中で, 握手アクチュエーションデバイスでは SOCKET の項目に保存されているデータを利用していたのに対して, 本デバイスでは ACC_X・ACC_Y・ACC_Z・SPEE に保存されているデータを利用する点だ. ACC_X・ACC_Y・ACC_Z は加速度を示すセンサデータである. また, SPEE はスピードに応じて変化するセンサデータである. すなわち, 本デバイスは自転車の加速度とスピードに応じて, 振動が変化する仕組みである.

図 6.6　自転車デバイスの実装で参考にした映像

6.6.3　データ変換モジュール

本章第 5 節で述べた握手アクチュエーションデバイスと同じく, データ取得モジュールで取り出す値は, モータの制御に用いる数値とは異なる. 前述したように, 本デバイスでは DC モータを内蔵した振動モータを使用しており, その制御にはトランジスタを使用する. トランジスタの制御に用いる数値は, 最小値が 0, 最大値が 255 の 8 ビットの数値であるため, データ取得モジュールで取り出した値を, 8 ビットの数値に変換する必要がある. 本モジュールは, 取得したセンサデータにおける最小値が 0, 最大値が 255 に当てはまるように数値を変換するモジュールである.

本モジュールで変換するデータは基本的には加速度である. しかし, 自転車が停止しているシーンであってもペダルの踏み換えなどによって加速度の値は変わってしまう. そのため, スピードが著しく低い場合には加速度ではなく速度のデータを変換する. そこで本モジュールを実装するにあたり, データ取得モジュールが取り出す加速度における合成加速度の最大値が必要となった. そこで本デバイスでは, YouTube において Senbay Camera で撮影した映像が多数アップロードされている Senbay Channel[24] にある神奈川県藤沢市を自転車で走る映像をサンプルとして利用し, 本映像における合成加速度を参考にして, 最大値を 3.5 に設定した. また, 加速度ではなく速度のデータを使用する境界線を定めなければならなかった. この点においても, 同じ映像を使用し, 速度のデータが 1.0 以下であれば振動が伝わらない程度の極めて低いスピードだと判断した. つまり本デバイスでは, 速度 1.0 以下であれば速度のデータを使用し, それ以外であれば合成加速度を使用する. 使用した映像を図 6.3 に示す.

本モジュールは, データ取得モジュールが値を受け取るたびに, 値の変換を行う.

6.6.4 シリアル通信モジュール

本モジュールは, データ変換モジュールで変換した値を, 自転車デバイス本体に送信するモジュールである. ソースコードについては, 本章第 5 節で述べた握手アクチュエーションデバイスで実装したものを流用している. そのため, 本モジュールにおける実装は, 握手アクチュエーションデバイスのシリアル通信モジュールと共通している. 以上の理由から, 本節では詳しい説明を省略する.

6.6.5 アクチュエーションモジュール

本モジュールは, 映像に合わせて振動モータを動作させ, 触覚へのフィードバックを行うモジュールである. 本デバイスは, 自転車のハンドルに, 前述した振動モータ uxcell マイクロモータをマウントしている. また, モータをマウントした部分には布を被せることで, メカニズムが極力露出しないように工夫した. さらに, ハンドル本体の硬さと冷たさが臨場感の低下に繋がらないように, ハンドルにおける握る部分にも布を巻いた.

振動モータの制御については, トランジスタ 2SC1815L を使用した. トランジスタの制御については, シリアル通信モジュールで受信した値を用いる. はじめに int 型の変数を宣言しておき, シリアル通信モジュールで値を受信するたびに, 変数が持つ値を受信した数値に書き換えている. 受信した値は, 前述したようにトランジスタの制御に用いる 8 ビットの数値に変換されており, そのまま使用できる. また, 受信する値は, スピードに比例して値が大きくなる特徴を持っている. トランジスタは, 渡す値が小さくなるほど, 流れる電気の量が少なくなり, 反対に渡す値が大きくなるほど, 流れる電流の量が多くなるため, スピードに比例して振動モータの強弱を制御できる. 実際に本デバイスを使用した際, 振動モータ・トランジスタ・ワイヤなどの部品がモータの振動により外れてしまう可能性が高いとわかったため, これら全ての部品はブレッドボード配線パターンのユニバーサル基板にはんだ付けした.

6.6.6 まとめ

本節では, 自転車デバイスにおける各モジュールの実装について述べた. 次節では, システム全体の実装におけるまとめを述べる.

6.7 まとめ

本章では, 実装概要・実装環境・利用アプリケーション・本研究で実装した 3 つのデバイスにおける各モジュールの実装について述べた. 次章では, 実装したデバイスにおけるアプリケーションとしての将来的な利用について述べる.

第 7 章

アプリケーション

本章では, 本研究において実装したアクチュエーションデバイスにおけるアプリケーションとしての将来的な利用について述べる. 今回は, ウェブアプリケーションとしての利用を想定し, サンプル画面を実装した。

7.1 本研究におけるデバイスの利用

本研究において実装したデバイスは全て, USB ケーブルを用いて PC に接続して使用する. このようなデバイスでは, ユーザビリティの観点から, PC に接続すればすぐに起動し, ユーザの求める処理が行われることが望ましい. 例えば, USB メモリを PC に接続すれば, 自動またはデスクトップ上に表示されるアイコンをクリックするだけで保存されているデータを操作できる. それに対して, 本研究で実装したデバイスを用いた映像の再生には, 映像の用意, デバイスの接続, Senbay Studio の設定, Python スクリプトの起動の 4 つの準備が必要となる.

まず, 映像の用意では, PC に保存された映像データを映像再生用のアプリケーションで再生する状態にするか, YouTube[3] などのウェブアプリケーションにアップロードされた映像にアクセスすることを指す. このとき再生できる状態にする映像は, Senbay Camera で撮影された QR コード付きの映像である. 次に, デバイスの接続では, 本研究において実装したデバイスを PC の USB ポートに接続することを指す. 次に, Senbay Studio の設定では, Senbay Studio を起動し, QR コードリーダが映像の QR コード上に来るように調整し, 読み込んだセンサデータを今回実装したシステムに送信するために IP アドレスとポート番号を指定する必要がある. 最後に, Python スクリプトの起動では, コマンドライン上で操作することになり, 特に操作の難易度が高い. 尚, 本研究では, PC に MacBook Air を用いたため, 操作はターミナルで行う.

以上のように, 本研究で実装したデバイスでは, 非常に煩雑な操作が必要となる上, IP アドレスの指定やコマンドライン上での操作など, PC に詳しくないユーザにとって困難となり得る操作が多い. そこで本章では, 本研究で提案したデバイスをユーザが簡易的な操作のみで利用できるようにするためのアプリケーションを提案する.

7.2 プラグアンドプレイ

本章第 1 節で述べたように, USB ケーブルなどを用いて接続して利用するデバイスではユーザビリティの観点から, 接続するだけで起動し, ユーザが求める処理をすることが望ましい. 本章第 1 節で述べた USB メモリの事例のように, 接続するだけでユーザが求める処理をする技術をプラグアンドプレイと呼ぶ. USB メモリに限らず, マウスやキーボードなどの PC 周辺機器をはじめ, 様々な機器がプラグアンドプレイを実現している. また, Arduino などのマイコンを用いて実装したデバイスにおいても, モータに一定の動きをさせるものなどインタラクションが少ないものであれば, 容易にプラグアンドプレイの実現が可能である.

本研究において実装したデバイスがプラグアンドプレイを実現するためには, デバイスを接続した段階で, そのデバイスに適合する映像を表示する必要がある. 今回は, 握手デバイスと自転車デバイスそれぞれに 1 つずつの映像のみを用意していたため実現は難しくないが, 今後は自転車の映像だけでも湘南を走る映像だけではなく, 山道を走る映像や海外を走る映像などの追加が考えられる. それらを単一のアクチュエーションデバイスで再現する場合, デバイスを接続しただけで映像を判断するのは極めて困難になる.

以上のことから, 今回のアプリケーションでは, ユーザは少なくとも映像の選択とデバイスの接続という 2 つの準備が必要になると考えられる.

7.3 設計

本節では, 本研究で提案するアプリケーションの設計について示す.

7.3.1 概要

本研究では, 実装したデバイスのアプリケーションとして利用するためのウェブアプリケーションを提案する. また, 提案するウェブアプリケーションのサンプルを実装した.

本研究では, 映像を再生するためのアプリケーションまたは動画投稿サイトにアクセスするためのウェブブラウザ, Senbay Studio, 本研究において実装した Python スクリプトを起動する必要がある. 多くのアプリケーションを操作しなくてはならない点について非常に煩雑に感じられる. また, 多くのアプリケーションが PC の画面上にあることで, 見栄えも悪く, 操作性も低下する. これら 3 つのアプリケーションを 1 つにまとめることで, 操作の簡易性の向上や見栄えの良さに繋がると考えられる.

本ウェブアプリケーションでは, 映像を流す機能, 映像から QR コードを読み込む機能, QR コードから取得したデータを計算する機能, 計算したデータをデバイスに送信する機能が必要になる. 映像を流す機能については, これまで動画再生用のアプリケーションやウェブブラウザを用いて行っていた機能である. また, 映像から QR コードを読み込む機能については Senbay Studio で

行っていた機能である．また, QR コードから取得したデータを計算する機能と, 計算したデータをデバイスに送信する機能については, 今回実装した Python スクリプトで行っていた機能である．

今回はウェブアプリケーションのサンプルとして, 本研究において実装した Python スクリプトにウェブアプリケーションを追加した．QR コードを読み込み機能については未実装であるため, Senbay Studio を利用する．

7.3.2 クライアントサイド

本アプリケーションはウェブアプリケーションとして実装したため, ウェブブラウザで使用する．まずページを開くと GET リクエストが送られ, サーバサイドの処理を通して, 映像の一覧を受け取る．次に, 一覧から映像を選択すると, POST リクエストが送られ, サーバサイドの処理を通して, 画面上に選択した映像が表示される．また, 何らかの映像により映像の取得に失敗した場合はエラーログが表示されるように設計した．

7.3.3 サーバサイド

前述したように, 本アプリケーションではクライアントサイドから送られる HTTP リクエストは GET リクエストと POST リクエストの 2 種類である．ページを開いた際に GET リクエストが送られ, 映像を選択した際に POST リクエストが送られる．そのため, サーバサイドではこれら 2 つの HTTP リクエストに対応した処理ができるように設計した．また, POST リクエストに対する処理に失敗した場合はエラーログをクライアントサイドに返すように設計した．

7.3.4 まとめ

本節では, 本アプリケーションの設計について示した．次節では, 本アプリケーションの実装について示す．

7.4 実装

本節では, 本アプリケーションの実装について示す．

7.4.1 実装概要

本アプリケーションは, 前述したようにウェブアプリケーションとして実装した．そのため, 今回実装したアプリケーションはクライアントサイドとサーバサイドに分けられ, それぞれ実装した．

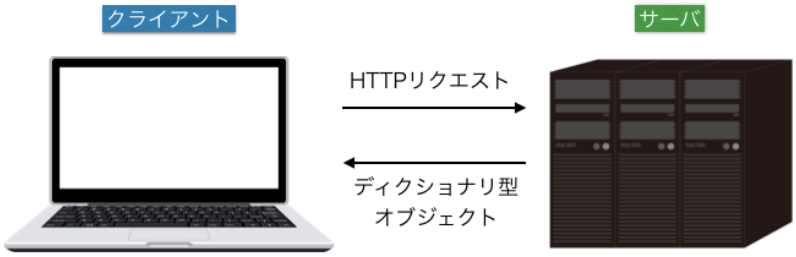

図 7.1　システム構成図

7.4.2　実装環境

本アプリケーションはウェブアプリケーションとして実装したため, サーバサイドとクライアントサイドに分けられる. まず, サーバサイドは Python2.7 を用いて実装した. サーバサイドの実装は, Python のウェブアプリケーションフレームワークである Flask を用いて実装した. 次に, クライアントサイドは Python 用のテンプレートエンジンである Jinja2 を用いて実装した. また, クライアントサイドの装飾には CSS を使用した. 本アプリケーションは MacBook Air を用いて実装を行った. 尚, OS は OS X El Capitan である. また, エディタは Atom を使用した. プロジェクト管理には Git 及び GitHub を利用した.

7.4.3　システム構成図

本アプリケーションにおけるシステム構成図を図 7.1 に示す.

7.4.4　サーバサイド

サーバサイドは Python2.7 で実装し, Python のウェブアプリケーションフレームワークである Flask を用いた. 本アプリケーションではクライアントサイドから GET リクエストと POST リクエストの 2 つの HTTP リクエストが送られるため, サーバサイドでは, それらに対応した get 関数と post 関数を実装した. get 関数はウェブアプリケーションを開いた際に呼び出される関数で, 利用できる映像のリストなどをディクショナリ型のオブジェクトにして返す. また, post 関数は映像を選択した際に呼び出される関数で, get 関数で返すディクショナリ型のオブジェクトに映像の URL を追加したものを返す.

7.4.5　クライアントサイド

クライアントサイドは Python 用のテンプレートエンジンである Jinja2 を用いて実装した. 本アプリケーションでは, サーバサイドに GET リクエストと POST リクエストの 2 つの HTTP リ

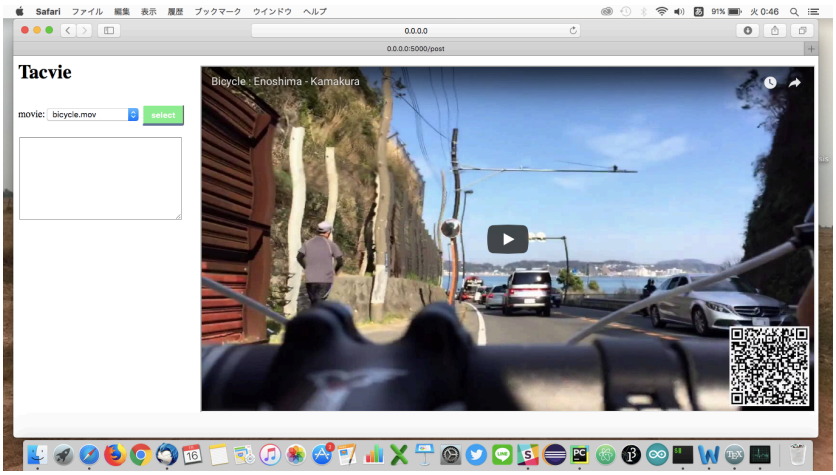

図 7.2　アプリケーションのサンプル画面

クエストを送信する．GET リクエストはアプリケーションを開いた際に送られ，サーバからディクショナリ型のオブジェクトが返される．POST リクエストは映像を選択した際に送信され，GET リクエストで受け取ったオブジェクトに映像の URL を加えたものが返される．POST リクエストで返された映像の URL は YouTube[3] にアップロードされた映像の URL であり，html ファイルの iframe 要素の src 属性に指定することで，画面上に選択した映像を表示する．

7.4.6　まとめ

本節では，本アプリケーションについて示した．次節では，本アプリケーションにおける今後の展望を示す．

7.5　今後の展望

本アプリケーションは現状，本研究において使用した映像にアクセスし，再生することしかできない．しかし，サーバサイドには本研究で実装した Python スクリプトが組み込まれているため，再生した映像から QR コードを検知し，センサデータを取り出すことができれば，本アプリケーションのみで映像の再生，センサデータの計算，本研究で実装した握手デバイスや自転車デバイスとの通信を行うことが可能である．この結果，デバイスの接続と本アプリケーションでの簡易的な操作のみで，本研究で実装したデバイスを使用した映像の再生が可能になり，当初の使用方法と比べて格段に煩雑さが減少する．

7.6　まとめ

本章では，本システムにおいてプラグアンドプレイを目指したウェブアプリケーションについて述べた．次章では，本システムにおける評価について述べる．

第 8 章

評価

本章では, 本実験における評価実験について述べる.

8.1 評価目的

第 1 章第 4 節で示したように, 本研究の目的は「体験映像において臨場感を増幅したユーザ体験の実現」である. そのため, 今回の評価実験では体験映像における臨場感が増幅されたかを評価する. また, 体験映像の臨場感を増幅するためには, 第 3 章第 2 節で示した 3 つのリサーチクエスチョンが満たされなければならない. 第 6 章で述べたように, 触覚データの取得・センサ値の変換・アクチュエーションという 3 つのリサーチクエスチョンを満たす実装は完了しているが, 触覚データを再現するアクチュエーションと映像との間に差が生じてしまうと, 臨場感を損なう可能性がある. そこで今回は, まず本システムがセンサ値の取得からアクチュエーションまでを, ユーザに違和感を与えない速度で行えるかを評価する. 以上の実験を行った後, 実際に体験映像における臨場感を増幅できるかを定性的に評価する. 定性的評価では, 本研究において実装したアクチュエーションデバイスが, それぞれ握手している感覚を再現できているかと, 自転車に乗っている感覚を再現できているかを評価すると共に, 体験映像における臨場感を増幅できたかを評価する. 尚, 第 1 章第 5 節で述べたように, 本研究では触覚が再現されていない状態の映像の臨場感が 40 パーセントと定義し, 触覚が再現された場合は最大で臨場感が 60 パーセントまで増幅する. そこで, 今回は臨場感についての定性的評価項目における回答を触覚体験の再現が関わる 20 パーセントの数値にマッピングし, 現在達成されている 40 パーセントに加えることで, 本システムにより達成された臨場感を算出する.

8.2 握手センシングデバイス

本節では, 握手センシングデバイスの評価について述べる.

表 8.1　握手センシングデバイスにおける定量的評価結果

最大値	1.5580298900604248
最小値	0.010711908340454102
平均値	0.017016019074218548

8.2.1　定量的評価

評価方針

握手センシングデバイスにおける定量的評価では, 本デバイスがセンサ値を取得してから UDP 通信でスマートフォンなどの撮影デバイスに値を送信するまでの時間を計測した. 手法としては Python の time モジュールに含まれる time() 関数を用いて, シリアル通信モジュールでセンサ値を受け取る直前と UDP 通信モジュールでセンサ値をスマートフォンなどの撮影デバイスに送信した直後の UNIX 時刻を取得し, 差分を算出した. UNIX 時刻は 1970 年 1 月 1 日午前 0 時 0 分 0 秒からの経過時間を示すものであり, time() 関数では経過時間が Float 型の値で返される. 今回は, 本デバイスを約 1 分間使用し, 算出された差分の中から最大値, 最小値, 平均値を割り出した. 尚, 本デバイスにおける定性的評価は行わなかった.

評価手順

握手センシングデバイスにおける定量的評価の評価手順を以下に示す.

1. 本デバイスを約 1 分間使用し, 本システムの処理に必要な時間を計測する.
2. 計測結果から最大値・最小値・平均を割り出す.

評価結果

握手センシングデバイスにおける定量的評価の評価結果を表 8.1 に示す. 本デバイスを約 1 分間使用した結果, センサ値の取得から送信までのプロセスが 3626 回行われた. その中で最も遅かったのは約 1558.0 ミリ秒, 最も速かったのは約 10.7 ミリ秒, 平均値は約 17.0 ミリ秒であった.

考察

全体的には 15.0 ミリ秒から 20.0 ミリ秒程度で推移していたが, 最大値が約 1558.0 ミリ秒と非常に遅い数値だった. システム起動時に非常に遅い数値が出やすく, 握手の映像では非常に短い映像になる可能性が高いため, その中での 1 秒の遅延は映像全体の臨場感に多大な影響を及ぼす可能性があるため, 改善が必要である.

表 8.2　握手アクチュエーションデバイスにおける定量的評価結果

最大値	0.8628170490264893
最小値	0.0019369125366210983
平均値	0.04531967740219373

8.3　握手アクチュエーションデバイス

本節では, 握手アクチュエーションデバイスの評価について述べる.

8.3.1　定量的評価

評価方針

握手アクチュエーションデバイスにおける定量的評価では, 本デバイスにおいてデータ取得モジュールがセンサ値を受け取ってから, アクチュエーションモジュールにデータを送信するまでの時間を計測した. 手法としては, Python の time モジュールに含まれる time() 関数を用いて, データ取得モジュールがセンサ値を受け取る直前とアクチュエーションモジュールにデータを送信した直後の UNIX 時刻を取得し, 差分を計算した. 今回は, 映像を 10 回再生し, 算出した差分の中から最大値・最小値・平均値を割り出した. 尚, 使用した映像は約 8 秒間のものである.

評価手順

握手アクチュエーションデバイスの定量的評価における評価手順を以下に示す.

1. 映像を 10 回再生し, 本システムの処理に必要な時間を計測する.
2. 計測結果から最大値・最小値・平均を割り出す.

評価結果

握手アクチュエーションデバイスの定量的評価における評価結果を表 8.2 に示す. 10 回映像を再生した結果, データ取得モジュールがセンサ値を受け取ってからアクチュエーションモジュールに送信するまでのプロセスが 1664 回行われた. その中で最も遅かったのは約 862.8 ミリ秒, 最も速かったのは約 1.9 ミリ秒, 平均値は約 45.3 ミリ秒であった.

考察

今回使用した映像が約 8 秒であることを踏まえると, 最大値の 862.8 ミリ秒は非常に遅いと言える. また平均値を見ても, 握手センシングデバイスの倍以上の時間となっている. 握手センシングデバイスが生データをそのまま転送しているのに対して, 本デバイスは生データをサーボモータ用の数値に変換しなければならないという点を考慮しても, 改善が必要である. 握手センシングデバ

図 8.1　握手アクチュエーションデバイスの評価実験風景

イスを使用して撮影した映像を本デバイスで再現することを踏まえると, 映像との誤差は 62.3 ミリ秒程度に及ぶと考えられる. より再現性を高めるためには, プロセスに必要な時間の短縮が必要である.

8.3.2　定性的評価

評価方針

握手アクチュエーションデバイスにおける定性的評価実験では, 慶應義塾大学総合政策学部または環境情報学部に所属する学生 7 名に被験者として協力をいただき, 本デバイスを装着しない状態と装着した状態で映像を見てもらい, 臨場感を比較してもらった. それぞれの被験者には, 本研究における体験映像と臨場感の定義を説明した上で本デバイスを使用してもらい, 使用後にはアンケートに回答してもらった. また, 本デバイスを装着した状態では, 目隠しをした状態で握手をした感覚があるかと, 映像を見た状態で握手した感覚があるかを回答してもらった. また, デバイスを装着した状態および装着していない状態で映像を見るにあたり, 見る順番が評価結果に影響しないように, 被験者を A グループと B グループに分け, A グループは先にデバイスを装着しない状態, B グループは先にデバイスを装着した状態で映像を見てもらった. 使用した映像は約 8 秒間の映像で, 目の前の人と握手をする映像であり, 握手の前後に 1 秒から 2 秒程度の時間がある. アンケートでは 5 段階評価の質問を 3 問行った.

評価手順

握手アクチュエーションデバイスの定性的評価における評価手順を以下に示す.

図 8.2　握手アクチュエーションデバイスの評価実験用映像

1. 被験者を A グループと B グループに分ける.
2. 被験者に, 本研究における体験映像および臨場感の定義を伝える.
3. 被験者にアンケート用紙を渡す.
4. A グループに本デバイスを装着せずに映像を見てもらう.
5. A グループに本デバイスを装着し, 目隠しをした状態で体験してもらう.
6. A グループに本デバイスを装着して映像を見てもらう.
7. B グループに本デバイスを装着して映像を見てもらう.
8. B グループに本デバイスを装着し, 目隠しをした状態で体験してもらう.
9. B グループに本デバイスを装着せずに映像を見てもらう.
10. アンケートを記入してもらう.

評価結果

握手アクチュエーションデバイスの定性的評価における評価結果を表 8.3 に示す. 目隠しをした状態で握手をした感覚があるかという質問への回答の平均は 4.0 であるのに対して, 目隠しを外した状態で握手をした感覚があるかという質問への回答の平均は 4.3 であり, 目隠しをした状態よりもやや高い結果となった. また, 臨場感が上がったと感じるかという質問に対しては, 4.6 という高い評価結果となった. また, A グループと B グループを比較した場合, B グループの方がわずかに高い評価結果となった. 尚, 平均については小数第 2 位を四捨五入した数値である.

考察

全体的に, 目隠しをした状態よりも映像を見ながらで本デバイスを使用した方が握手をした感覚が伝わりやすいという回答があった. 回答の平均値を見ても, 目隠しを外した状態の方がやや高い結果になった. この点については, 実際の握手の感覚と本デバイスの再現の間に差があり, 握手の映

表 8.3　握手アクチュエーションデバイスにおける定性的評価結果

質問内容	a	b	c	d	e	f	g	A 平均	B 平均	平均
目隠しをした状態で握手をした感覚があるか	4	5	3	4	2	5	5	4.0	4.0	4.0
目隠しを外した状態で握手をした感覚があるか	3	5	4	4	4	5	5	4.0	4.7	4.3
臨場感が上がったと感じるか	4	5	4	4	4	5	5	4.3	4.7	4.6

像を見ながらであれば握手をしたように感じられるものの, 目隠しをした状態だと握手とは言えないと感じた被験者が多かったことが原因だと考えられる. しかし, 半数以上が目隠しをした状態と目隠しを外した状態で同じ回答をしており, 反対に目隠しを外した状態の方が握手した感覚から離れていると回答した被験者もいたことから, 握手の感覚をある程度リッチに再現できていると言える. 臨場感の増幅についても, 非常に良い結果となった. しかし, 最も手が大きかった被験者からは, 手の全体に触覚刺激が伝わらず中指と薬指にしか充分な刺激が加えたれなかったというコメントをいただき, 手の大きさによっては充分な触覚の再現ができないという課題点を発見できた. また, 本デバイスにより達成された臨場感は 58.0 である.

8.4　自転車デバイス

本節では, 自転車デバイスの評価について述べる.

8.4.1　定量的評価

評価方針

自転車デバイスの定量的評価では, 握手アクチュエーションデバイスの定量的評価と同じく, データ取得モジュールがセンサ値を取得する直前およびアクチュエーションモジュールにデータを送信した直後に time モジュールの time() 関数を呼び出し, それぞれにおいて取得した UNIX 時刻の差から本システムの経過時間を算出する. 今回は, 慶應義塾大学総合政策学部および環境情報学部の 1 年生 3 名に本デバイスを使用してもらう機会があったため, その際に経過時間を算出し, その中から最大値・最小値・平均値を割り出した. 尚, 今回使用した映像は約 39 分 26 秒のものであり, 今回は 3 名がそれぞれ約 1 分ずつ使用した.

評価手順

自転車デバイスの定量的評価における評価手順を以下に示す.

1. 3 人に約 1 分ずつ映像を見てもらい, 本システムの処理に必要な時間を計測する.
2. 計測結果から最大値・最小値・平均を割り出す.

表 8.4　自転車デバイスにおける定量的評価結果

最大値	0.7753980159759521
最小値	0.0002319812774658202
平均値	0.039262449468857506

評価結果

自転車デバイスにおける定量的評価の評価結果を図 8.4 に示す．評価実験の結果, データ取得モジュールでセンサデータを受け取ってからアクチュエーションモジュールにデータを送信するまでのプロセスが 7393 回行われた．その中で最も遅かったのは約 775.4 ミリ秒, 最も速かったのは約 0.2 ミリ秒, 平均値は約 39.3 ミリ秒であった．

考察

全体的に握手アクチュエーションデバイスよりも若干良い結果となった．しかし, 最大値の約 775.4 ミリ秒は, もし停止した際にモータが止まるまでに必要な時間だとすれば, 人間にとって少し不自然に感じられる可能性がある．今回の最大値のような極めて遅いケースは, 全体の中の一部に過ぎないが, 全体的な映像の臨場感を損なわないためにも, 改善して無くしていかなければならない．

8.4.2　定性的評価

評価方針

自転車デバイスにおける定性的評価実験では, 慶應義塾大学総合政策学部または環境情報学部に所属する大学生 4 名に協力をいただいた．前節で述べた握手アクチュエーションデバイスの評価実験では, 1 つの握手する映像を用意し, 被験者全員に同じ映像を見てもらったが, 自転車デバイスでは本当に体験が再現できているかに着目するため, まず被験者に自転車で予め定めたコースを走ってもらい, 各被験者自身の目線映像を用いて評価実験を行った．定めたコースでは, カーブや一時停止, 危険ではない程度の小さな段差を組み込み, 停止した感覚や路面の凹凸を感じるかも評価した．尚, コースは約 1 分から 1 分 30 秒で回れるように設定した．また, 自転車に乗っている際の事故や怪我などを極力避けるため, 被験者はある程度の運動神経を持つと思われる運動サークル所属の学生に絞った．また, 握手アクチュエーションデバイスの定性的評価実験と同じく, 被験者をグループ A とグループ B に分けて, グループ A には先にデバイスを持たない状態で映像を見てもらい, グループ B には先にデバイスを持った状態で映像を見てもらうことで, 見てもらう映像の順番が結果に影響しないようにした．また, 映像を見てもらった後にアンケートに回答してもらった．アンケートでは 5 段階評価の質問を 7 問行った．

図 8.3　自転車デバイスにおける評価実験用映像の撮影風景

図 8.4　自転車デバイスの評価実験風景

評価手順

自転車デバイスの定性的評価における評価手順を以下に示す.

1. 被験者を A グループと B グループに分ける.

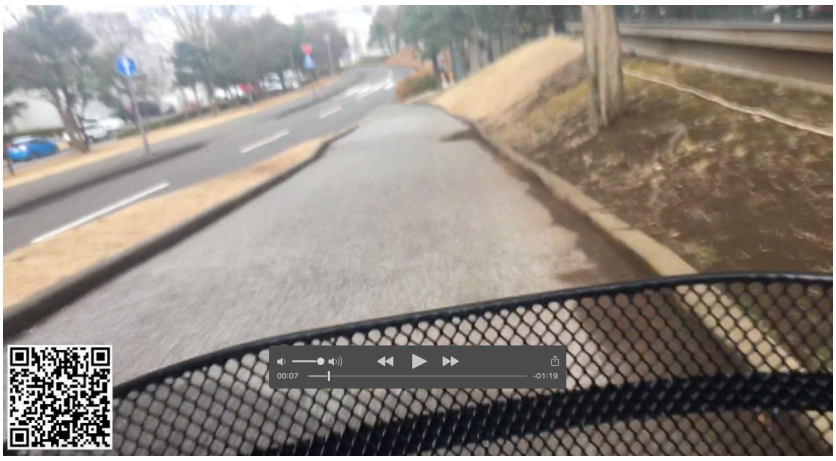

図 8.5　自転車デバイスの評価実験用映像

2. 被験者に, 本研究における体験映像および臨場感の定義を伝える.
3. 被験者にコースを回ってもらい, 映像を撮影してもらう.
4. 被験者にアンケート用紙を渡す.
5. A グループに本デバイスを持たずに映像を見てもらう.
6. A グループに本デバイスを持って, 目隠しをした状態で体験してもらう.
7. A グループに本デバイスを持って映像を見てもらう.
8. B グループに本デバイスを持って, 目隠しをした状態で体験してもらう.
9. B グループに本デバイスを持って映像を見てもらう.
10. B グループに本デバイスを持たずに映像を見てもらう.
11. アンケートを記入してもらう.

評価結果

自転車デバイスの定性的評価における評価結果を図 8.5 に示す. スピードを出している感覚があるか, 停止した感覚があるか, 路面の凹凸を感じるかという質問に対して, 目隠しをした状態ではそれぞれの平均が 3.8, 4.8, 4.3 という結果になり, 目隠しを外した状態ではそれぞれ 3.5, 4.8, 4.5 という結果になった. 臨場感が上がったと感じるかという質問に対しては 4.5 という高い結果になった. グループ A とグループ B の差については, グループ A の方が高い結果担った項目が多いが, 被験者が少ないため有意な差があるとは言い難い. 尚, 平均については小数第 2 位を四捨五入した数値である.

考察

自転車デバイスでは, 停止した感覚と路面の凹凸の感覚については目隠しを外した方が高い結果となったが, スピードを出している感覚については目隠しをした方が高い結果となった. この結果について, 停止したときは振動モータが止まるため停止した感覚が非常に伝わりやすく, 被験者か

表 8.5　自転車デバイスにおける定性的評価結果

質問内容	a	b	c	d	A 平均	B 平均	平均
目隠しをした状態で, スピードを出している感覚があるか	3	3	5	4	3.0	4.5	3.8
目隠しをした状態で、停止した感覚があるか	5	5	5	4	5.0	4.5	4.8
目隠しをした状態で、路面の凹凸を感じるか	5	5	5	2	5.0	3.5	4.3
目隠しを外した状態で、スピードを出している感覚があるか	3	5	4	2	4.0	3.0	3.5
目隠しを外した状態で、停止した感覚があるか	5	5	5	4	5.0	4.5	4.8
目隠しを外した状態で、路面の凹凸を感じるか	4	5	5	4	4.5	4.5	4.5
臨場感が上がったと感じるか	4	5	5	4	4.5	4.5	4.5

ら小さな段差を乗り越えた瞬間には振動が大きくなったとのコメントをいただいたことから路面の凹凸についても再現できている反面, スピードを出した時の感覚は振動モータでは再現しづらいことが原因だと考えらえる. スピードを出したときに感じるものとして風を切る感覚があげられる. スピードに応じた向かい風を再現できれば, よりリッチな体験の再現が可能になると考えられる. 特に高い結果になったのは停止した際の感覚で, 映像で自転車が停止したのと同時に振動モータが完全に停止する点が, 非常にわかりやすかったと考えられる. また, 臨場感が上がったと感じるかという質問に対しては 4.5 で, 握手アクチュエーションデバイスよりも少し劣る結果となったが, 触覚的体験をある程度リッチに再現できたと言える. また, 本デバイスにより達成された臨場感は 57.5 である.

8.5　まとめ

本章では, 本システムの評価実験について述べた. 次章では, 本研究のまとめを述べる.

第 9 章

まとめ

本章では, 本論文のまとめと今後の展望について述べる.

9.1 本論文のまとめ

本論文では, 体験を共有する映像において撮影者の体験をよりリッチに再現するデバイスおよびソフトウェアである Tacvie の提案・実装・評価実験を行った. 本研究では, 体験を共有する映像を体験映像と定義し, 撮影者の体験がどれだけ再現できたかを示す数値として臨場感を定義した. 本研究では体験映像の臨場感増幅を目的とし, 目的達成へのアプローチとして Tacvie を使用した.

近年, カメラの小型化やドローンの使用など撮影手法が進化し, 誰でも手軽に高機能なカメラを使用した撮影が可能となった. また, インターネットの普及により, 撮影した映像を世界中に公開することも手軽に行えるようになった. さらに小型化されたカメラをヘルメットなどにマウントすることで, サイクリングやスノーボードをしている際の目線映像などが撮影できるようになり, それらを含む多様な体験映像が動画投稿サービスにアップロードされている.

しかし, 人間は五感を用いて様々な体験をするため, 撮影者の体験を完璧に再現するならば, 五感に伝わるものをすべて再現できなければならない. それに対して, 上述した体験映像が再現できるものは視覚的体験と聴覚的体験に限られる. すなわち, 体験映像において撮影者の体験を完璧に共有するためには, 触覚的体験・嗅覚的体験・味覚的体験の再現が不足している. そこで本研究では, 体験映像における臨場感の増幅を目的とした. また, 不足しているもののうち触覚的体験に着目し, 触覚的体験を再現するためのデバイスおよびソフトウェアである Tacvie を実装した.

Tacvie の評価実験では, システムのプロセスに時間がかかることや, デバイスが再現する触覚的体験が不充分であることなどがわかった. しかし, 実装した 2 つのデバイスにおいて, どちらも臨場感が増幅されたという回答が多く, 本研究の目的に直結する評価項目については良好な結果になった.

9.2 今後の展望

まず, 本システムは映像を再生するためのアプリケーションまたは動画投稿サービスにアクセスするためのブラウザ, 映像からセンサデータを取得するための Senbay Studio[9], Tacvie のソフトウェアの 3 つが必要となり, 画面上に多くのアプリケーションを表示しなくてはならない他, 操作が煩雑である. さらに言えば, Tacvie は CUI で操作するため, PC に詳しくない人が使いこなすのは非常に困難である. そのため, 誰もが触覚的体験を含んだ体験映像を楽しむために, 本システムを簡易的に使うためのアプリケーションが必要となる. 最も好ましいのは, マウスや USB メモリのように USB ポートに接続するだけで利用できるプラグアンドプレイのデバイスとして実装することだが, 現在必要である 3 つのアプリケーションを 1 つにまとめて, GUI での操作を可能とすることで, 操作の簡易性が飛躍的に向上するだろう.

また, デバイスにも改善点がある. まず, システムのプロセスに必要な時間を短縮したい. データの取得からアクチュエーションまでの時間が長いと, ユーザに違和感を与えてしまい, 臨場感の喪失につながってしまう. また, 自転車デバイスでスピード感を再現できなかったことについて, 新たにモータを追加して風を再現するなどの工夫が必要である.

さらに, 本研究では触覚的体験の再現に着目したが, 撮影者の体験を完璧に再現するためには嗅覚的体験と味覚的体験の再現も必要不可欠である. 嗅覚的体験と味覚的体験が再現できたならば, より一層臨場感が増幅された映像の共有が可能になるだろう.

謝辞

本研究を進めるにあたり, ご指導を頂きました慶應義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝いたします.

また, 慶應義塾大学環境情報学部准教授中澤仁博士, 慶應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士には, 本論文の執筆に当たって御助言を賜りました事を深く感謝致します. 慶應義塾大学徳田研究室の諸先輩方には折りに振れ貴重なご助言を頂きました. 特に慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科米澤拓郎特任助教, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科陳寅特任助教, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科研究員伊藤友隆氏, 小島清信氏, 西山勇毅氏には本論文を執筆するにあたってご指導頂きました. また, 慶應義塾大学大学院博士課程坂村美奈氏, 慶應義塾大学大学院修士課程野崎大幹氏, 日下部眞太郎氏には本研究に対して多くの時間を割いて頂きました. ここに深く感謝の意を表します.

2016 年度卒業生の佐藤亮輔氏, 稲見拳太氏, 森重浩直氏, 山田駿氏には, 学部 3 年次に研究や実装において多くのご指導を賜りました. 深く感謝致します. また, 研究室の後輩である井上義之氏, 鶴岡雅能氏, そして高塚大暉氏とは共に研究活動をすることで切磋琢磨し, 互いに成長できました. ここに深く感謝の意を表します.

最後に, 大学 4 年間に渡る生活を支えてくれた家族に感謝の意を表し, 謝辞と致します.

慶應義塾大学 総合政策学部
佐々木 佳介

参考文献

[1] ニコニコ生放送. http://live.nicovideo.jp

[2] AbemaTV. https://abema.tv

[3] YouTube. https://www.youtube.com

[4] Google ビデオ. https://www.google.de/videohp

[5] Facebook. https://www.facebook.com

[6] Twitter. https://twitter.com

[7] GoPro. https://gopro.com

[8] Senbay Camera. http://www.senbay.info/index.php/senbay-camera/

[9] Senbay Studio. http://www.senbay.info/index.php/senbay-studio/

[10] Pokemon Go. http://www.pokemongo.jp

[11] PlayStationVR. http://www.jp.playstation.com/psvr/

[12] 藤田英徳, 西本一志. Lovelet:離れている親しい人同士のためのぬくもりコミュニケーションメディア. インタラクション 2004 論文集 2004(5), pp.221-222, 2004.

[13] 木村鷹, 伊藤淳子, 宗森純. 温度刺激と表情アイコンによるリッチな遠隔地 コミュニケーション支援システム「Ther:com」の提案. 研究報告デジタルコンテンツクリエーション, pp1-8, 2015.

[14] Jordan Tewell, Jon Bird, George R. Buchanan. The Heat is On: A Temperature Display for Conveying Affective Feedback. CHI2017, pp.1756-1767, 2017.

[15] Roshan Lalintha Peiris, Wei Peng, Zikun Chen, Liwei Chan, Kouta Minamizawa. ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays. CHI2017, pp.5452-5456, 2017.

[16] Nimesha Ranasinghe, Pravar Jain, Shienny Karwita, David Tolley, Ellen Yi-Luen Do. Ambiotherm: Enhancing Sense of Presence in Virtual Reality by Simulating Real-World Environmental Conditions. CHI2017, pp.1731-1742, 2017.

[17] 田中 一晶, 和田 侑也, 中西 英之. 遠隔握手:ビデオ会議と触覚提示デバイスの一体化によるソーシャルテレプレゼンスの強化. 情報処理学会論文誌 Vol.56 No.4, pp.1228-1236, 2015.

[18] Skype. https://www.skype.com/ja/

[19] 中村辰哉, 浜翔太郎, 後藤正幸. 孫との関係に着目した高齢者の主観的幸福感に関する研究. 武

蔵工業大学環境情報学部情報メディアセンタージャーナル (8), pp.75-86, 2007.

[20] Yuuki Nishiyama, Tadashi Okoshi, Yin Chen, Takuro Yonezawa, Jin Nakazawa, Hideyuki Tokuda, “ Senbay: Smartphone-Based Activity Capturing and Sharing Using Sensor-Federated Video ” , ACM Ubicomp2015, poster session. Sep.2015.

[21] 鉄谷信二, 野間春生, 柳田康幸, 杉原敏昭, 内海章, 川戸慎二郎, 萩田紀博. 体験 Web と五感メディア. 高臨場感ディスプレイフォーラム 2002, pp.45-48, 2002.

[22] Senbay Channel. urlhttps://www.youtube.com/channel/UCbnQUEc3KpE1M9auxwMh2dA

[23] 谷中俊介, 小坂崇之, 服部元史. 抱き枕「ZZZoo Pillows」を用いた安心感の提供. 情報処理学会研究報告, Vol.2013-DCC-4 No.6, pp.1-4, 2013.