

筑波大学大学院博士課程
システム情報工学研究科修士論文

共同外出の感覚を作る
遠隔コミュニケーションシステム

張 慶椿
(コンピュータサイエンス専攻)
指導教員 田中 二郎

2011 年 3 月

要 旨

近年、モバイルネットワークの高速化に伴い、モバイル方式による臨場感ビデオ通信が期待されている。臨場感を強調したビデオ通信に関する研究として、共室感、対面感を強調した研究が多数行われてきた。これらの研究の多くは従来のビデオ会議等の固定された場所でのビデオ通信をさらに強化することを目的としている。しかし、これらの研究は機材を設置した会議室などでのみ利用可能であることが多い為、外出中などにこれらを用いることは難しい。

また、これまでのビデオ通信に関する研究は主に相手の顔、体の形状・動き等「相手自身」の情報を表示することが多く、「相手を映した状態」を前提としていた。これらのシステムを用いて、通信相手が外出した場合では周辺環境を共有するのは難しいと考えられる。

そこで我々は、他人と一緒に外出する感覚を作ることを目的として、没入空間内の観察者と遠隔地の移動者との間に、共に外出している感覚を与えるシステムを提案する。

外出している人物と部屋にいる人物の視線が共有できれば、共同外出感を作ることができるのではないかと考えた。部屋にいる人物は、振り向きによって遠隔環境を見渡すことができ、これで外出者と共に外出するような感覚を得ることが可能となる。また、相手の視点だけでなく自分の視線も伝えることができれば、お互いに注目している場所の共有ができるため、会話が促進されることが期待される。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.2	現行研究の問題点と解決提案	2
1.3	本研究の目的	3
1.4	論文の構成	4
第2章	関連研究	5
2.1	遠隔指示と行動支援	5
2.2	ロボットを介した仮想的な活動と遠隔コミュニケーション支援	5
2.3	臨場感通信	6
第3章	共同外出感提供システムの設計	7
3.1	共同外出感	7
3.2	アプローチ	8
3.3	システムの概要と機能	8
3.4	自由視野の取得	9
3.4.1	HMDによる没入型表示空間	10
3.4.2	回転式プロジェクターによる没入型表示空間	10
3.4.3	観察者によるズームイン・ズームアウト	12
3.5	向き情報の共有	13
3.5.1	移動者への観察者の向き情報の伝達	13
3.5.2	観察者への移動者の振り向く行為の伝達	13
3.6	共同注目行為の支援	14
3.6.1	自由視野の一時制限による共同注目	15
3.6.2	共同注目のシナリオ	16
3.6.3	相手の要請による共同注目	17
3.7	身体的動作等によるコミュニケーション手法	17
3.7.1	Wii リモコンによる身体動作の模倣	17
第4章	利用シナリオ	19
4.1	環境とシナリオの設定	19
4.2	「自由視野の取得」の利用シーン	20
4.3	「向き情報の共有」の利用シーン	20
4.4	「共同注目行為の支援」の利用シーン	21
4.4.1	共同注目のインタラクション	21
4.4.2	相手の要請による共同注目	22
4.5	「身体的動作等によるコミュニケーション手法」の利用シーン	22
4.6	移動者の利用手順	22

4.7	観察者の利用手順	23
4.8	本研究の利用場面	23
第5章	システムの実装	25
5.1	環境と言語	25
5.2	システム構造とハードウェア	26
5.2.1	システム構造	26
5.2.2	ハードウェア	26
5.2.3	機能のモジュール化	27
5.3	移動者側システム	28
5.3.1	移動者側ハードウェア	28
5.3.2	移動者側アプリケーション	29
5.3.3	パンチルトカメラの制御	30
5.3.4	方向指示 LED 発光装置	30
5.4	観察者側システム	31
5.4.1	観察者側ハードウェア	31
5.4.2	観察者側アプリケーション	32
5.4.3	観察者側ユーザーインタフェース	33
5.4.4	観察者の向きと傾き情報の取得	36
5.4.5	ズームイン、ズームアウト機能の実装	38
5.5	移動者、観察者共通システム	39
5.5.1	通信モジュール	39
5.5.2	音声提示システム	40
5.5.3	複合センサー装置「Wii リモコン」の制御	40
5.6	加速度データから傾斜角度の計算	41
5.7	回転式プロジェクター	42
5.7.1	ステッピングモータ制御	43
5.7.2	CDS セルによる向き角度補正手法	43
5.8	映像音声送受信モジュール	44
5.9	他の映像音声通信ソフトウェアの利用	45
第6章	共同外出感実現手法の評価と考察	46
6.1	実験目的	46
6.2	実験方法	46
6.3	実験結果	47
6.4	考察	48
第7章	議論	49
7.1	移動者側カメラと観察者の連動手法	49
7.2	共同注目支援の手法について	49
7.3	システム制御の遅延について	50

第 8 章　まとめと今後の展望	51
謝辞	52
参考文献	53
付録	54

図目次

図 1.1	映像を用いた遠隔コミュニケーション	1
図 1.2	Rovio システムとそのユーザーインタフェース	2
図 3.1	システム利用の仕組み	7
図 3.2	システム概観	9
図 3.3	観察者の向きによって回転するカメラ	10
図 3.4	回転式プロジェクター	11
図 3.5	観察者の向き方向に追従する投影画面	11
図 3.6	回転式プロジェクター動作の仕組み	12
図 3.7	方向表示 LED 発光装置と表示の仕方	13
図 3.8	移動者の振り向きをアイコンで観察者に提示する	14
図 3.9	移動者と観察者との共同注目	15
図 3.10	共同注目のシナリオシーン	16
図 3.11	共同注目のシナリオ	17
図 3.12	Wii リモコンを握って叩く	18
図 4.1	観察者の A 君と移動者の B 君	19
図 4.2	B 君はパソコンショップを探す	20
図 4.3	A 君は画面をズームインして看板内容を確認する	20
図 4.4	パソコンショップに入った B 君	21
図 4.5	A 君は見渡ししながらパソコンを探す	21
図 4.6	B 君は A 君と共同注目する	21
図 4.7	共同注目は始まって両者の視線が一致させる	21
図 5.1	システムの構造	26
図 5.2	システムのハードウェア構造	27
図 5.3	移動者が装着するヘルメット	29
図 5.4	移動者側アプリケーションの機能	29
図 5.5	移動者側アプリケーション	30
図 5.6	LED バー発光の仕方	31
図 5.7	HMD と複合センサー装置 Wii リモコン	32
図 5.8	遠隔映像の上に重ねる GUI 画面	33
図 5.9	頭を左に傾くと、見た地面は右傾く	33
図 5.10	平衡状態を保つ観察者と GUI	33
図 5.11	観察は頭を左に傾くと、仮想地平線は右に傾く	34
図 5.12	観察は頭を上を傾くと、仮想地平線は下に寄る	34
図 5.13	観察者ののが左 30 度に向いた時のライトバー表示状態	34
図 5.14	観察者ののが左 90 度に向いた時のライトバー表示状態	34

図 5.15	移動者が左方向に振り向いた時の観察者側 GUI	35
図 5.16	移動者が右方向に振り向いた時の観察者側 GUI	35
図 5.17	移動者が 180 度回転した時の観察者側 GUI.....	35
図 5.18	「相手からの知らせ」メッセージ	36
図 5.19	「共同注目」状態のメッセージ	36
図 5.20	通信状態の表示.....	36
図 5.21	観察者はズームボタンを押す.....	38
図 5.22	遠隔映像をズームイン、ズームアウトする.....	39
図 5.23	回転式プロジェクター.....	42
図 5.24	CDS セルによる電圧測定	43
図 6.1	実験ケース A とケース C で利用するポスター	47
図 6.2	実験ケース B で利用するカラー三角錐	47

表目次

表 5.1	観察者側の環境.....	25
表 5.2	移動者側の環境.....	25
表 5.3	システムの機能モジュール	28
表 5.4	観察者側アプリケーションの機能	32
表 5.5	地磁気センサーの出力データ形式	37
表 5.6	観察者と移動者との通信内容.....	39
表 5.7	提示音声の内容.....	40
表 5.8	Wii リモコンセンサ装置の機能と仕様.....	41
表 5.9	加速度センサーの重力反応	41
表 5.10	傾き角度の算式.....	41
表 6.1	実験結果と使用時間	47
表 6.2	アンケート結果.....	47
表 7.1	遅延の原因と遅延時間.....	50

第1章 序論

1.1 研究背景

近年、モバイルネットワークの高速化が進んでいる。HSPA¹とWIMAX²など技術の応用により、高速かつ安定したモバイル通信が可能になった。また、ビデオ遠隔通信技術の進化により、モバイルネットワーク環境を用いたビデオ通信も実用化が進んでいる。これにより、モバイルネットワークを経由したビデオチャットや、携帯電話でのテレビ電話など遠隔コミュニケーション技術は発達、普及した。

外出状態を想定したビデオ通信技術として、近年 WCDMA³/CDMA2000⁴等の通信技術にもビデオ通話サービスを提案した。しかし、発話側も受話側も手で携帯電話で顔を撮影しながらでなければ利用ができず、普及率は低い（利用率 4.4%、マイボイスコム社調べ⁵）。また、モバイルネットワーク回線速度の向上と MPEG4⁶、H.264⁷などのビデオ圧縮技術の発展によって、リアルタイムな VGA 画質のビデオ通信が可能となった。しかし、ビデオ会議、テレビ電話は日常的に利用されるが、これらの通信技術は主に相手の顔と姿を映すことを目的している。これらの通信手法を用いて相手の所在環境を共有するのは難しいと思われる。



図 1.1: 映像を用いた遠隔コミュニケーション

また、特定環境の共有を目指した技術として、Rovio⁸というカメラ搭載無線ロボットシステムが挙げられる。Rovio にはウェブサーバーとワイヤレス LAN 通信機能が内蔵されており、利用者はブラウザを使うだけで Revio の遠隔行動制御やカメラ映像の閲覧ができる。さらに Rovio 自身もロボットであって、ブラウザ操作で移動操作ができる。しかし、こうしたロボットを介した環境共有技術は環境に制限され、Rovio の場合、ワイヤレス LAN 通信を用いるため移動範囲はアクセスポイントの通信に制限される。

¹HSPA : High Speed Packet Access - <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25308.htm>

²WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access - <http://www.wimaxforum.jp/>

³WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access - <http://www.umts-forum.org/>

⁴CDMA2000 - <http://ja.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>

⁵携帯電話のTV電話機能に関するアンケート調査 - <http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/9902/index.html>



図 1.2: Rovio システムとそのユーザーインターフェース

1.2 現行研究の問題点と解決提案

我々は「相手と一緒に外出する感覚」を共同外出感と定義し、これを作り出すことで、実際に外出していない人に、人と共に外出するような感覚、体験を与える。

それではなぜ共同外出感が必要とされるのか、共同外出感の実現によってどのような利点が生み出されるのか。これらの疑問に対し、我々は「親しい人間関係の促進と維持」を共同外出感の価値として考えている。例えば遠距離恋愛、単身赴任、留学などの事情で親しい人（恋人、家族）と離れる場合は、どのように相手とコミュニケーションするのか、さらにどのようにして相手の気持ち、意思と気持ちを共有するのかということが課題として考えられる。

既存の手段としては電話、メール、テレビ電話などがあるが、これらの手段によるコミュニケーションは限定的であって、相手が意図して伝達しようとした情報だけが届くという欠点があった。例えばこれらの手段を利用してコミュニケーションをとる場合は「書かないと何も分からない」、「言わないと何も知らない」という現象が起こる。これは相手が意図的に伝達しないと以外に、単純に「伝える方法が分からない」という原因により起こる。さらにビデオチャットとテレビ電話の場合は自分の行動が監視されるような感覚が生まれ、プレッシャーによっていつも通りの行動を取るを期待するのは難しいと考えられる。この場合は不完全なコミュニケーションと考えられる。

我々はこれまでの遠隔コミュニケーション手段は主に「相手は移動しない」という前提で行うに気付いた。前述した手法では遠隔側からもらえる情報は限定的しかも欠けていることを認識している。リアルの人間同士と接する場合はコミュニケーションは必ず言語と表情に限らず、身体的動作、目線、さりげない行為や「相手がそばにいる」といった共在感が感じられるので相手に気を配りながら行動をとるのはコミュニケーションには不可欠の要素であると我々が考えている。

⁶MPEG4：動画圧縮規格 - <http://ja.wikipedia.org/wiki/MPEG4>

⁷H.264：動画圧縮規格 - <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.264/e>

⁸Rovio - <http://www.wowwee.com/en/products/tech/telepresence/rovio/rovio>

関連する研究として、ロボットの遠隔制御による仮想的な行動が挙げられる[6][8][9]。ロボットエージェントシステムを用いてロボットを移動させ、ロボットに搭載されたカメラによって遠隔映像を確認できる。用途として、危険な場所での作業支援と遠隔制御による仮想的な行動などが挙げられる。このようなシステムを用いることで「部屋に居ながら仮想的な外出」ができる。しかし、システムを介して他人とのコミュニケーションはできるものの、システムの用途を分析するとこれらの研究は操縦者の行動範囲の仮想的な延長と考えられる。また、ロボットを用いた仮想的な行動は厳しい環境制限がある。例えば階段と段差などの対応、電力の制限とシステムトラブルによる問題、ロボットが公衆交通機関を利用することによって生じる法律問題など、様々な課題は残されている。

ロボットエージェントシステムの問題と制限に対して、我々は人間同士に経由した共同外出という概念を提案する。ロボットシステムと違い、人間の外出者に実験機材を身につけさせる。また、二人での利用を設定し、一人は外出せずに実験地点にいて、もう一人は外出して移動する。ロボットによる仮想的な外出との相違点を挙げてみると、ものを制御するのではなく人間同士との共同活動に変わることである。また、お互いに相手を意識しながら行動を取り、行動は主に外出する人に任せながらカメラのパンチルトなどの遠隔操作もできる。

1.3 本研究の目的

本研究は「相手と一緒に外出する感覚」を作り出す、すなわち「共同外出感」を達成することを目的とする。共同外出感を達成するために、我々はパンチルトカメラと没入空間を組み合わせによってバーチャル外出システムと共同活動支援ツールを開発する。

本研究では前節で述べた問題点を解決するため、共に外出する感覚を作ることを目標とする。外出するシーンを想定して、主な情報ソースは相手の行動と周りの映像とする。いままでの遠隔ビデオ通信に関する応用は主に相手を映した前提で開発したもの、我々はその相手を映した以外の方向に注目する。例えば相手が住んでる家、町、よく出かける場所ないし人間関係など固定地点でのビデオ通信では伝えられない情報に注目する。このようにして、今まで固定地点かつ有限的な応用に制限される遠隔ビデオ通信は新しい用途によって進展させ、様々な新しい用途に対応することが期待される。

本研究は二人での応用を想定し、一人はヘルメットを被り実際に外出する。ヘルメットにパンチルトカメラを搭載させ、固定地点に居るもう一人がカメラを介して周囲を見渡す。これで仮想的な外出感覚を与えられる。この他に、二人の間で向き方向が共有され、お互いどこを見ているかを把握できる。また、共同注目を支援するツールと身体的動作によるコミュニケーション手法によって、二人に共同活動の感覚を与える。

実装したシステムでは、前述した研究目的の達成を確認するために評価実験を行い、システム機能を用いて共同活動の感覚とバーチャル外出の実現可能性を確認した。

1.4 論文の構成

本論文は本章を含め 8 章で構成される、各章の概要は下記の通り。第 2 章では、関連研究として、遠隔指示と行動支援、ロボットを介した遠隔コミュニケーション支援と臨場感通信について述べる。第 3 章では、本研究で提案したアプローチと共同外出感について述べる。第 4 章では、システムの利用シナリオと利用場面について論述する。第 5 章では、システムの実装について説明する。第 6 章では、提案システムを評価する実験の内容と結果の考察について述べる。第 7 章では、実験の結果を踏まえて、研究に対する議論を論述する。最後に第 8 章で、まとめを述べる。

第2章 関連研究

本章では、関連研究を紹介し、本研究の位置付けを明示する。2.1 節では遠隔指示と行動支援の手法についての研究を述べる。2.2 節では、ロボットを介した遠隔コミュニケーション支援手法について述べる。また、2.3 節では本研究にも注目している臨場感通信手法に対して、関連研究について述べる。

2.1 遠隔指示と行動支援

遠隔指示と行動支援を行うにあたり、指示者は遠隔地の映像情報などを把握し、作業場所にいる実施者に指示、協力をする。この概念を用いた研究はいくつか存在する。

システムの利用目標を明確にし、特定の用途に特化した関連研究として、太田らによる開発された **Shared-View**[3]は遠隔指示・支援システムを用いて遠隔環境で心肺蘇生法を指示する。システムの利用者（ユーザ）では実施者と指示者に分かれており、実施者は **HMD** とカメラを装着し、指示者の指示で行動する。指示者は遠隔地で **CRT** 画像を介して実施者と同じ視野をみながら、音声と画面上の指さしにより救急蘇生法の指示を行う。

また、遠隔の環境を共有する研究として、足立らは、リアルタイム映像と 3 次元形状モデルを用いて **3D 仮想環境**[2]を構築した。作業者はカメラとセンサーを頭上に搭載し、作業者は周囲を見渡すと同時に指示者側の **3D 仮想環境**を構成する。指示者は作業者と連動せず、独立した視点で仮想空間を観察できる。

2.2 ロボットを介した仮想的な活動と遠隔コミュニケーション支援

仮想的な活動感覚を与えられる研究として、ロボットを介した仮想的な活動とロボットを用いた遠隔コミュニケーション支援などが挙げられる。このようなシステムは一人での利用になり、特定のコミュニケーション相手はいない。操縦者は遠隔地でロボットを操作しながら仮想的な活動をする。多くの場合、操縦されるロボットは人間の存在を演じ、活動範囲の延長と考えられる。こうした研究の例として、葛岡らが開発した **GestureMan**[5]が挙げられる。彼らはロボットを用いて遠隔作業指示システムと指示者を代理するロボットによる遠隔作業指示支援を提案した。指示者の首振りによってロボットの頭部回転を制御して、ロボット頭部に搭載するカメラからリアルタイム映像を指示者側に伝達する。その他、**GestureMan**は指示用の腕とレーザポインタによる指差し機能を備えるため、指示者はジョイスティックでロボットの指示用腕を制御して遠隔指示を行う。また、レーザポインタによる指差し機能を用いて精密な位置の指示も可能になる。

2.3 臨場感通信

本研究は「相手と一緒に外出する感覚」を作り出すことを目的とする。これに関連した研究分野として、臨場感通信が挙げられる[4][7][12]。臨場感を感じることで錯覚が起こり、遠くいる人が側にいるような感覚が与えられる。また、遠隔環境を高臨場感手法を用いて表現すると、遠隔環境を実世界のように見える錯覚も起こる。本研究も同様に、臨場感のある仮想的な外出と共同活動感覚を利用者に与えることを狙いとする。

臨場感が得られる通信手法として、原田が研究した同室感通信[1]を紹介する。同室感通信は2つの部屋の間で同室感のある共同作業手法を提案する。部屋の中にはそれぞれ作業用テーブル設置し、その周りに3枚のホワイトボードを置く。また、カメラとプロジェクターで自身側の様子を遠隔地のホワイトボードに投影する。こうすることで、ホワイトボードは鏡のように遠隔の環境と利用者を映し、側に人がいるような気配を与える。さらに、ホワイトボードの上に記事などを書くことで、遠隔地の人との共同協調作業もできる。

第3章 共同外出感提供システムの設計

3.1 共同外出感

共同外出感を共有するにはいくつかの要素が必要であると我々は考えた。これらの要素は、相手の存在を気付き、そして行動を把握できる環境を達成するために必要な要素である。

1. それぞれが周囲を自由に見渡すことができる
2. 相手がどこを見ているかを分かる
3. 外界環境の物事は、話題になり会話を促進する
4. 会話の他に、気軽にコミュニケーションを取れる行為



図 3.1: システム利用の仕組み

3.2 アプローチ

本研究では以下のアプローチをとることにより、前節で述べた共同外出の感覚を提供するシステムを実装する。

1. 自由視野の取得
実験地点にいる観察者は遠隔パンチルトカメラを介して自由に周囲を見渡すことができること。
2. 向き情報の共有
相手の向き方向と振り向きが分かる、自分がどこを向いているのかを把握できること。
3. 共同注目行為の支援
相手の注目行為を気づき、ついに相手の趣味と傾向を把握でき、会話を促進されること。
4. 身体的動作等によるコミュニケーション手法
相手の肩を叩き、目の前に手を振るなど、相手の注意を直感的に喚起できる動作と行為。

3.3 システムの概要と機能

本研究では観察者をシステムを利用して共同外出する感覚を得る人と定義し、「移動者」は実際に外出して移動している人と定義する。移動者(図 3.2 左)はヘルメットを被り外出する。ヘルメット上にはパンチルトカメラと各種センサーを搭載し、自分が居る環境の情報を観察者側に提供する。観察者(図 3.2 右)は固定した場所で、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)あるいは回転式プロジェクターで構成された没入空間を経由し、移動者の環境を共有する。

観察者側ではグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)を採用した、GUIはHMDに映る遠隔映像の上にオーバーレイして表示する。観察者側のGUIは自分の向き方向(方向と範囲)、自分の姿勢(チルト・ロール)、ズーム範囲、移動者の振り向き、メッセージ、移動者の方位(東南西北)を表示することができる。

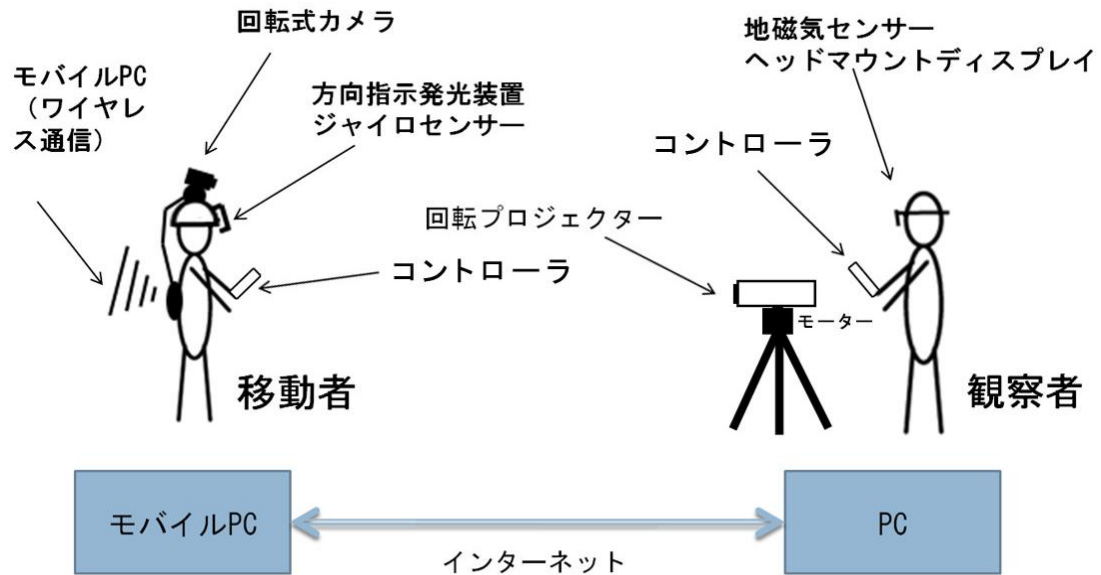


図 3.2: システム概観

システムの機能

本システムを用いて、以下のことができる

1. 観察者は移動者側カメラを経由して、周囲を見渡すことができる
2. 移動者は LED バーの発光で、観察者の向き方向と注目行為を把握できる
3. 特定の操作とシナリオで、二人での共同注目を支援する
4. 身体的動作をすることで、相手に知らせる

3.4 自由視野の取得

自由視野は観察者に仮想的な外出中の仮想視野を与えることである。観察者は首振りによって遠隔地の環境を見渡すことができる。例えば観察者は右 30 度の方向に振り向くと、移動者のパンチルトカメラも右 30 度の方向に回転し、これにより遠隔地から伝わった映像は観察者が向く方向の映像に一致する (図 3.3)、これで観察者の首振りに合わせた映像を得ることができる。

移動者から伝わった映像は、観察者側に HMD もしくは回転式プロジェクターで構成された没入空間で表示される。

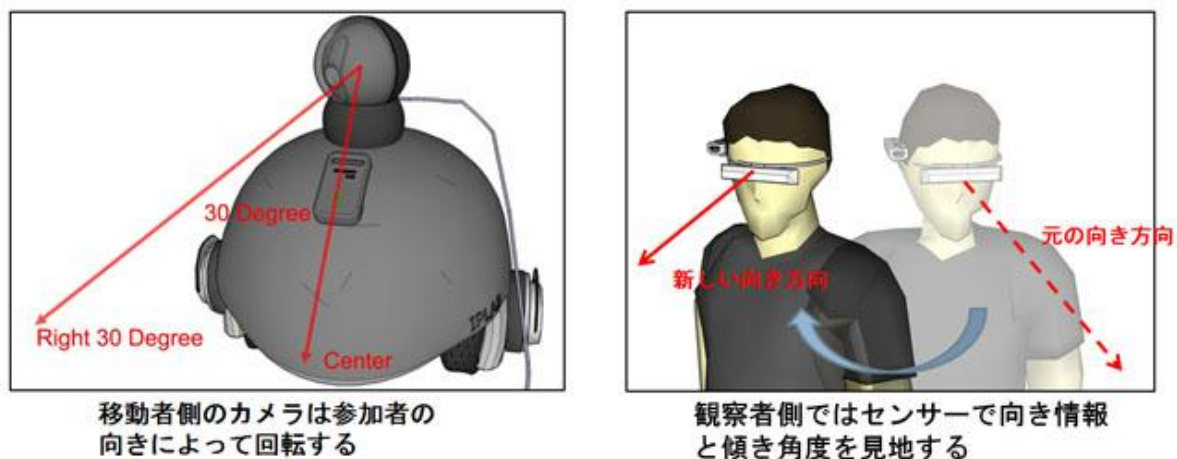


図 3.3: 観察者の向きによって回転するカメラ

パンチルトカメラの設置位置

本研究で使われるパンチルトカメラは移動者頭上に設置する。システム利用中、移動者は観察者をガイドしながら活動すると思われる。カメラを頭上に設置することで、観察者が振り向かなくても、観察者視野と移動者視野は一致する。

3.4.1 HMD による没入型表示空間

本研究では、観察者は没入型表示空間によって移動者の外在環境を遠隔で体感する。没入型表示空間を構成させるため、HMD を採用した。観察者は HMD を頭部に装着し、HMD を経由して移動者側のカメラ映像を確認する。没入型表示空間を用いることで、観察者を移動者所在環境と融和し易くなり、観察者に移動者と共同活動の感覚を与える。

3.4.2 回転式プロジェクターによる没入型表示空間

我々は回転式プロジェクターを用いて観察者側の没入型表示空間を構成する。没入型表示空間はアーク状スクリーンと回転式プロジェクターで構成される。観察者の向き方向によってプロジェクターの投影方向が改変され、画面は観察者の向き先に投影される(図 3.5)。

本研究は HMD の他、回転式プロジェクターを用いることにより没入型表示空間を構成することもできる。回転式プロジェクターは投影方向可変のプロジェクターであり、プログラムからの制御により任意の方向に投影することができる。回転式プロジェクターは汎用プロジェクター、モーターと三脚で構成する。モーターの上にプロジェクターを載せ、モーターの回転を制御することによって投影方向を変化させる(図 3.4)。

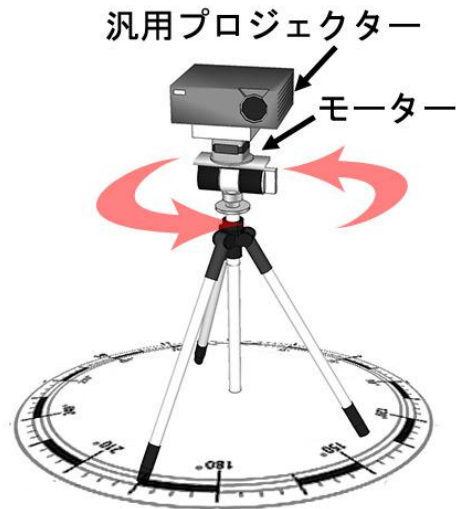


図 3.4: 回転式プロジェクター

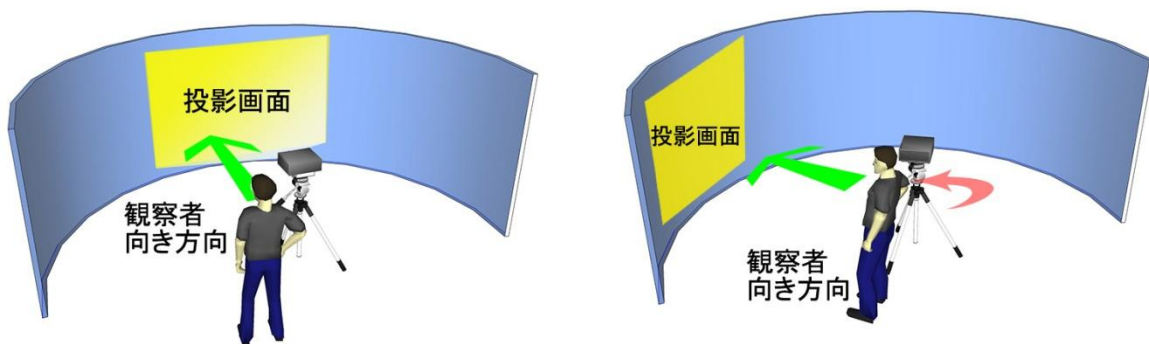


図 3.5: 観察者の向き方向に追従する投影画面

回転式プロジェクターを採用した理由とその利点として、「観察者へ負担の軽減」と「視野範囲の大きさと臨場感」が挙げられる。

HMD を用いた場合、観察者は装置を頭に付けなければならない。HMD は信号ケーブルでパソコンと接続するため、観察者の移動範囲は制限される。また、メガネを着用した使用者に対し、HMD の装着は不快感を招くこともある。さらに、HMD を装着すると視野は完全に遮蔽され、操作中で周辺の設備とパソコンなどを誤接触する恐れがある。

回転式プロジェクターを用いた場合、観察者は無線のセンサーと装置しか装着しない。このため移動範囲は大きくなる。また、投影画面との距離は移動で調整できるため、体への負担を軽減される。さらに、周辺の状況や実験機材の様子など、外界の状態を確認しながらシステムを使用することができる。

HMD はフォーカス距離の設計と本体サイズなどの制限により、大きくて臨場感を感じる画面を表示するのは困難であると思われる。回転式プロジェクターを用いた場合、大きいサイズの画面を投影することができ、また、観察者は投影画面と一定な距離があるため、投影画面に包まれた感覚を持つことが可能である。

回転式プロジェクター動作の仕組み

回転式プロジェクターは観察者の向き方向を追従し、プロジェクターを乗せたモーターを回転させ、観察者の向き先に画面を投影する。観察者は右に振り向いた場合、回転式プロジェクターも右に回転する(図 3.6)。

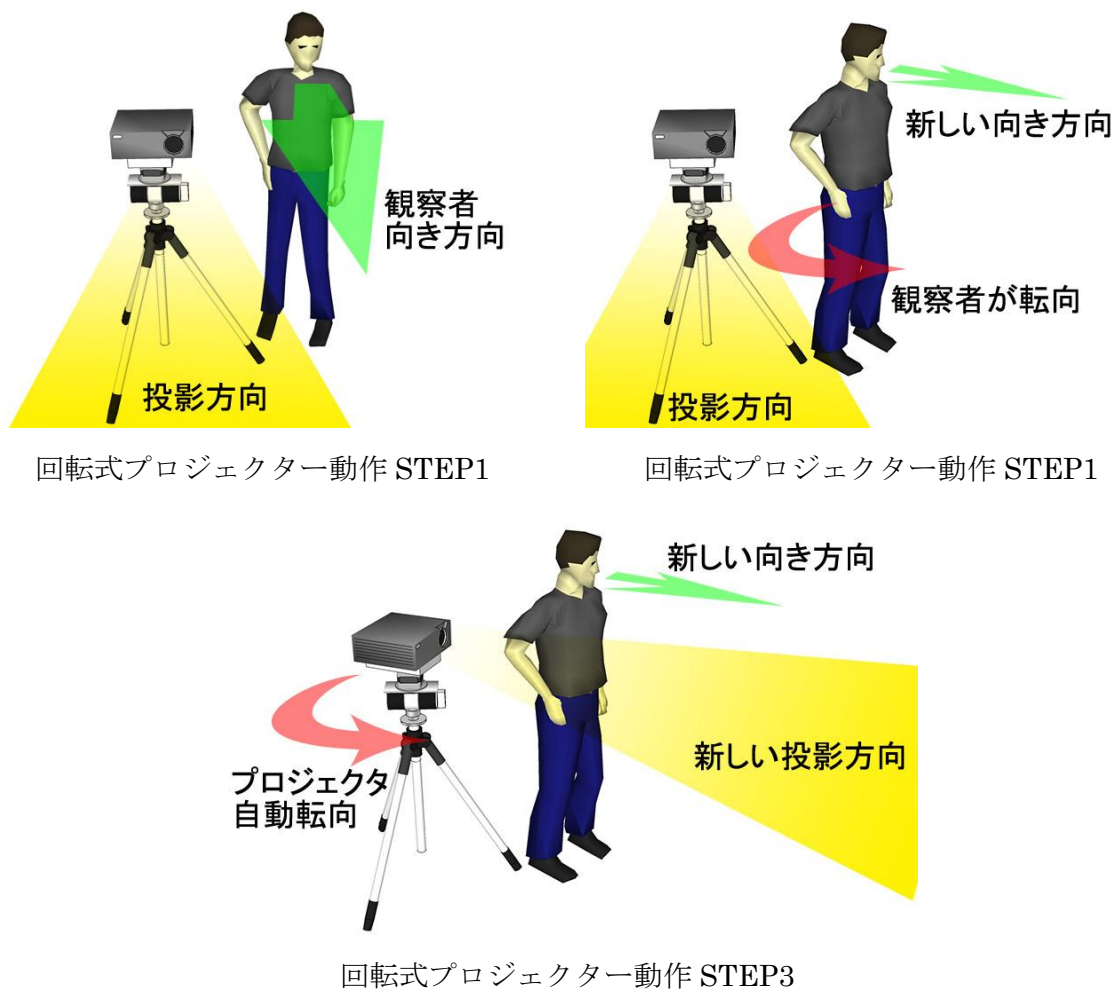


図 3.6: 回転式プロジェクター動作の仕組み

3.4.3 観察者によるズームイン・ズームアウト

観察者は使用するコントローラのズームイン・アウトボタンを押すと、遠隔から伝わった映像をズームイン(拡大)・ズームアウト(縮小)することができる。こうすることで、観察者は看板など細かい文字を読むことができる

3.5 向き情報の共有

向き情報の共有は観察者、移動者の間で、お互いの体の向きや顔の向きを知らせる機能である。向き情報の共有により「遠隔地の相手が何処を見ているのか?」、「どんなものについて興味があるのか?」が分かり、特に口に出さない無意識のうちにを行う行動を観察できる。例えば外出の際、相手が建物や看板に注目したことに気づくことができれば、相手の興味、傾向などを知ることができる。これらの行為は相手の存在に気づくための重要な要素であり、共同外出の感覚を作るためには大きな役割を担っている。

3.5.1 移動者への観察者の向き情報の伝達

方向表示 LED 発光装置は向き情報を伝達する為のディスプレイ装置である(図 3.7)。この装置により移動者は観察者が何処を見ているのかを知ることができ、臨場感と共同外出感をさらに感じさせることができる。方向表示 LED 発光装置は、小型の LED バーで構成される。LED の発光位置で水平向き情報を伝達する。LED バーはヘルメットの端に付けるため、LED に注視しなくても周辺視野で確認できる。

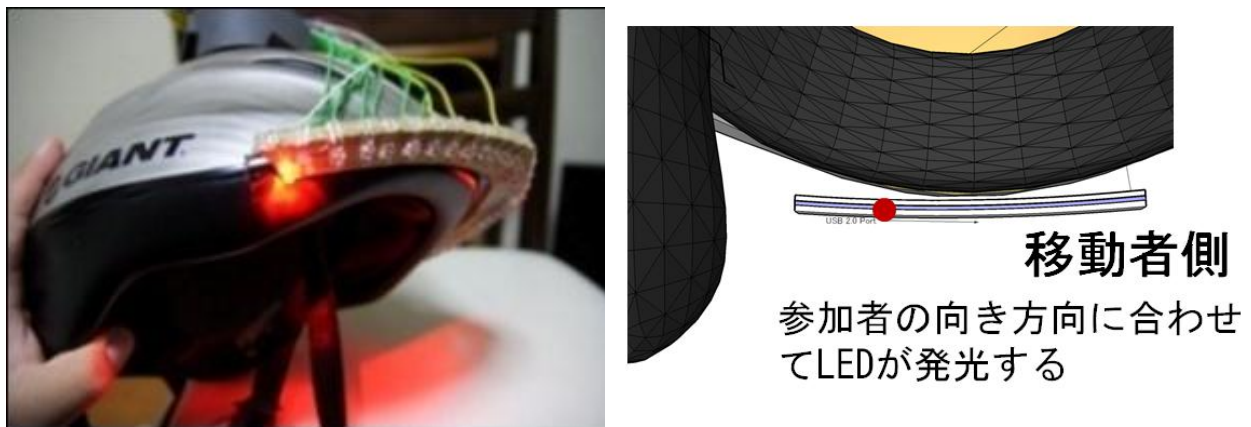


図 3.7: 方向表示 LED 発光装置と表示の仕方

3.5.2 観察者への移動者の振り向く行為の伝達

我々はジャイロセンサーを用いて移動者の頭の水平回転角速度を計測する。これにより振り向く行為を検出することができる。検出したデータ（振り向く速度、方向と角度範囲）は観察者側のグラフィックユーザインタフェースで表示する。

移動者は LED 発光表現で観察者の向き方向を容易的に把握できるが、観察者は移動者の向きを把握するのは難しい。観察者が移動者の向いている方向を把握するには、カメラ映像で確認するしかない。移動者は頻繁に行進方向を変えた場合、観察者は移動者の位置を把握しにくいと思われる。ここで我々は移動者の振り向きを検出し、観察者側 GUI で移動者の振り向きを表示する手法を考えた。移動者の振り向きを矢印アイコンとして観察者側 GUI で表示され、観察者は矢印アイコンで比較的に移動者の振り向き行為を把握し易くなる。

振り向き行為の表示方法

移動者が 30deg/sec 以上の角速度で右もしくは左に振り向けば、振り向き行為と認定され、移動者の振り向き方向によって観察者側に右、左のどちらかの矢印アイコンが表示される。また、移動者の回転角度（振り向く角度範囲）は 135 度以上になると、観察者側に回転アイコンが表示され(図 3.8)、これで「移動者は後ろに振り向いた」ことを提示する。



図 3.8: 移動者の振り向きをアイコンで観察者に提示する

3.6 共同注目行為の支援

共同注目では、「あなたがそこを見ているので私も同じ方向を見てみる」という共に外出している人間同士ではよく行う行為を遠隔地にいる人物同士で実現するシステムである。

自由視野の取得と向き情報の共有により観察者は移動者の周囲を見渡すことができ、移動者も観察者の向きが分かるため、この二つ要素を統合することによって共同注目が可能になる。共同注目とは移動者と観察者は共に一つの方向に注目することであり、その共同注目の行為により、相手の存在と反応を強く感じることが出来るため、共同外出感を共有する上では欠かすことのできない要素である。

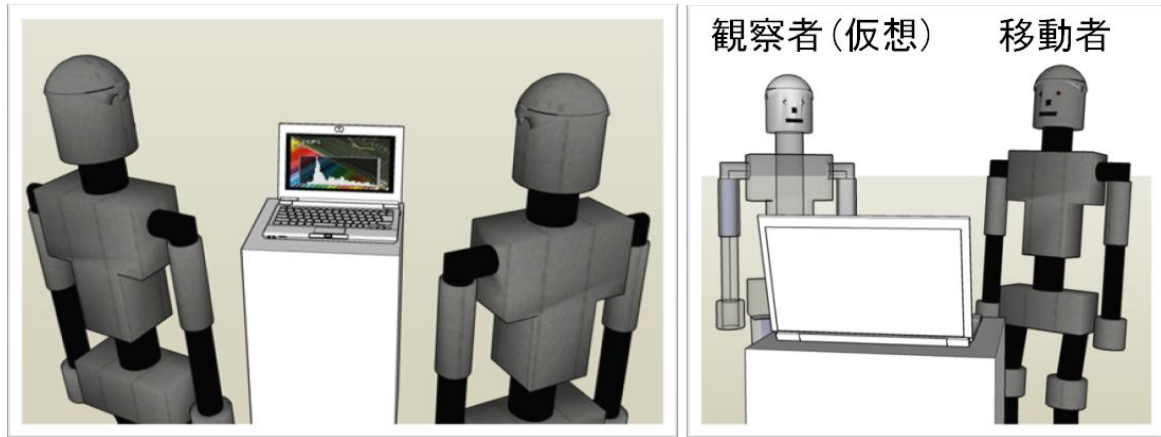


図 3.9: 移動者と観察者との共同注目

3.6.1 自由視野の一時制限による共同注目

観察者の注目行為

観察者は自由視野の機能を用いて、移動者側のパンチルトカメラを介して周囲を見渡せる。また、観察者が3秒以上一つの方向に注目すると「観察者注目」の状態になる。すると移動者側の方向表示 LED 発光装置は通常の表示から点滅モードに変わると同時に「観察者が注目している」という音声提示される。この状態で、観察者は違う方向に向くと観察者注目状態は一旦解除される。また、観察者の向き角度は±30度以内であれば、3秒以上注目しても観察者注目の状態にならない。

共同注目

観察者注目の状態で、移動者は観察者の注目行為に気になり観察者と同じ方向を向いた時、共同注目が始まる。まず観察者と移動者の視線を一致させる為にカメラは一時強制的に正面に戻る。デジタルズームは100%となる。同時に、観察者側の HMD 画面では共同注目のテキストマークが現れ、観察者に「移動者も同じ方向を見ていること」を提示する。

共同注目の状態で観察者の自由視野機能は一旦制限され、観察者はどの方向に向いても移動者側のパンチルトカメラは回転しない。この状態で移動者が視野を主導しながら特定の方向あるいは物を注目する。

共同注目の解除

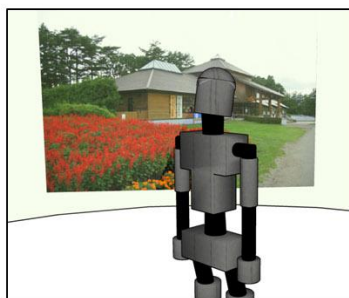
共同注目を解除するには二つの方法がある、解除方法は動作による解除と操作による解除に分けられる。動作による解除の場合、観察者と移動者のどちらか速やかに頭を違う方向に振り向けば(角速度 30deg/sec 以上)、共同注目が解除される。操作による解除の場合、観察者と移動者のどちら手持ちのコントローラにある解除ボタンを押すと、共同注目が解除される。

3.6.2 共同注目のシナリオ

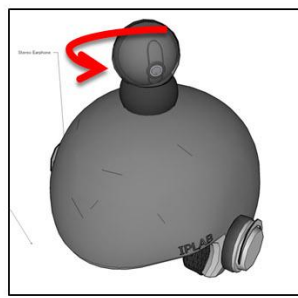
観察者が(図 3.10 上左)のように移動者と異なる方向に向くと、その時移動者側のパンチルトカメラもその方向に向いて回転する(図 3.10 上中)。移動者側は方向指示発光装置の点滅する位置で観察者の向き方向を知ることができる(図 3.10 上右)。

この時、移動者が観察者の向いている場所が気になり観察者と同じ方向を向いたとき(図 3.10 下左)、共同注目インタラクションが始まる。まず観察者と移動者の視線を一致させる為にカメラは一時強制的に正面に戻る(図 3.10 下中)。その後、投影画面では共同注目のマークが現れ、観察者に「移動者も同じ方向を見ていること」を提示する(図 3.10 下右)。

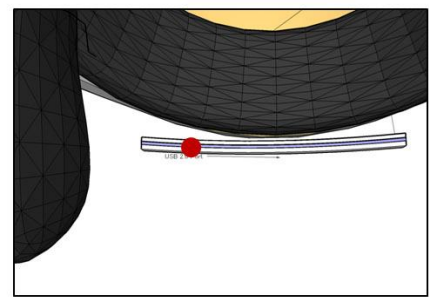
移動者がさらに別の方向を見て移動を開始するなどして共同注目が終わるとカメラの角度は観察者の向いている角度に戻り、自由視野の主導権を返す。こうして観察者と移動者は同じ方向、同じ物に注目することができ、その物について会話することもでき、相手が共同活動している感覚を得る。



1、観察者がある方向に向く



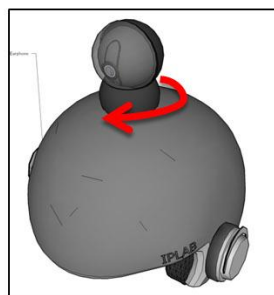
2、遠隔カメラが動く



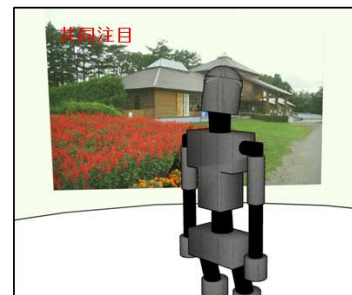
3、向き情報を移動者に伝える



4、移動者もその方向に向く



5、カメラが正面に戻る



6、観察者に知らせる

図 3.10: 共同注目のシナリオシーン

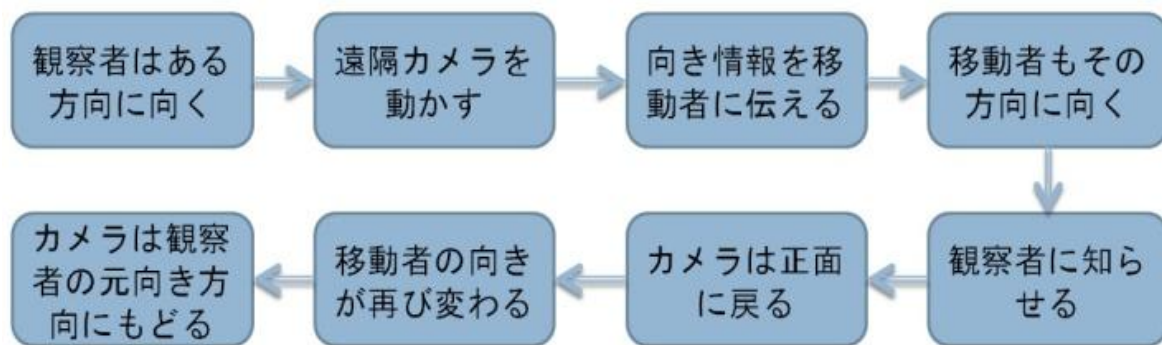


図 3.11: 共同注目のシナリオ

3.6.3 相手の要請による共同注目

共同注目は前述した行動によって自動的に起動する他、相手の要請により起動することも可能である。移動者あるいは観察者が手元にあるコントローラの注目ボタンを押すと、カメラは一時強制的に正面に戻る。同時に、ズームは初期化され、観察者と移動者の視線を一致させる。移動者が要請した場合、観察者側の HMD 画面では共同注目要請のマークが現れ、観察者に「相手の意思で同じ方向を見てもらいたいこと」を提示する。観察者が要請した場合は音声で移動者に提示する。

3.7 身体的動作等によるコミュニケーション手法

外出中、普段は会話以外にも気軽にいくつかのコミュニケーションを取っていると我々は考えた。例えば肩を叩く、目の前に手を振る等である。このような行為は共同活動の感覚を促進すると考えられる。これを模倣するため我々は以下の手法を提案した。

3.7.1 Wii リモコンによる身体動作の模倣

叩く

移動者も観察者も振動機能付きのセンサー装置（Wii リモコン）を使用するため、その振動機能を用いて「肩を叩く」行為を模倣する。例えば観察者はコントローラの「叩く」ボタンを押すことで、移動者側のヘルメットを振動させることができる、これで会話せずに相手に知らせる、あるいは警告することができる。

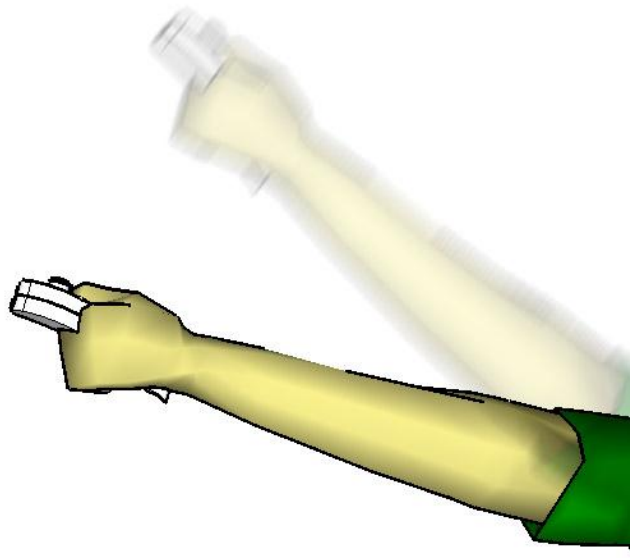


図 3.12: Wii リモコンを握って叩く

目の前で手を振る

「目の前で手を振る」行為は注意を喚起するためによく使われているコミュニケーション手法である。本システムでは、移動者側のシステムに搭載された LED バーにおいて、発光の左右巡りで手を振る行為を表現する。観察者側では GUI の中で手を振る動画を表示することで実現する。

第4章 利用シナリオ

4.1 環境とシナリオの設定

システムの利用シナリオを説明するため、A 君と B 君が本システムを利用することを仮定する。A 君は観察者、B 君は移動者にし、A 君は本システムを用いて B 君と共に秋葉原電気街にショッピングするシーンを設定する(図 4.1)。

A 君は有線 LAN が備えている実験場所でシステムを利用し、B 君は実験設備を持って秋葉原地域に外出する。

システムの利用を開始すると、A 君は自由視野機能を用いて首を回しながら自分が見たい店と商品に注目する。利用状況によって A 君は映像をズームインして店の看板に書いてある値段と情報などを確認する。

B 君は街で散策しながら LED バーで A 君の見ている方向を知り、これで A 君はどんな店とどんな商品について興味があるかを把握できる。こうして B 君は A 君に気を払いながら共に行動する。

この後 B 君は A 君の注目状態に気づき、共同注目支援機能を用いて同じ物に注目させる。共同注目によって A 君が買いたい物のジャンルを把握し、ついに B 君も同じジャンルの物を発見し、相手要請注目機能を使用して A 君に探した物を見せる。買い物途中では A 君と B と共に本システムの身体的動作等によるコミュニケーション機能を利用してコミュニケーションを取る。

最後に A 君は欲しい商品を決定し、B 君は A 君の代わりに商品を購入する。

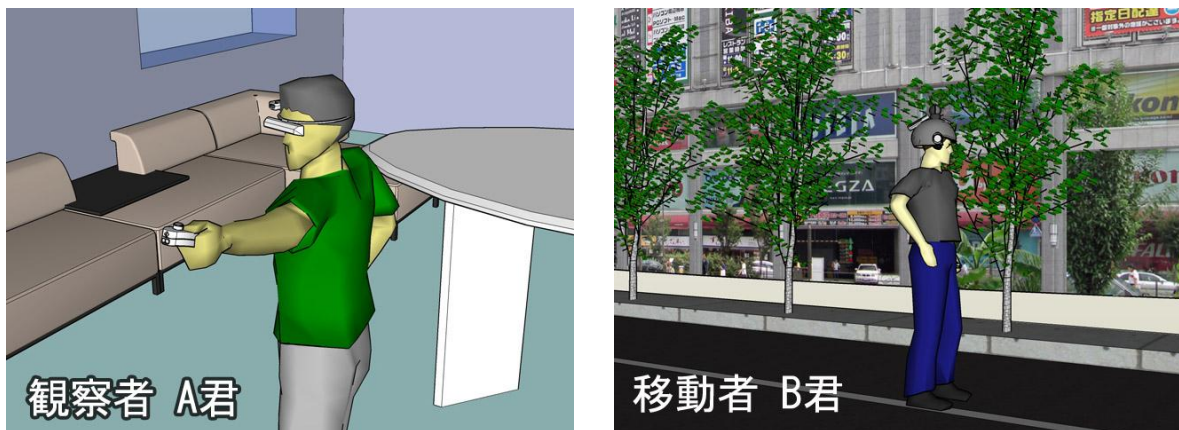


図 4.1: 観察者の A 君と移動者の B 君

4.2 「自由視野の取得」の利用シーン

B 君は秋葉原電気街に到着したらシステムを起動して A 君繋いだら A 君は頭の振り向きによって B 君の頭上に搭載されたカメラを動かせ、これで A 君は B 君のカメラに介して周囲を見渡すことができるようになる。

A 君は新しいノート PC が欲しいため B 君はその要望に応じて秋葉原にある電気屋さんをめぐることにする(図 4.2)。その時 A は周囲を見渡して店の看板と店の前に置いていた目玉商品をチェックしながら移動する。場合によって A 君は音声通信で B 君に声をかけ一旦止まることを求める。A 君は店の前に置いてあった目玉商品の値段などの情報を確認するため、ボタンで遠隔映像をズームイン（拡大）することもあった(図 4.3)。



図 4.2: B 君はパソコンショップを探す



図 4.3: A 君は画面をズームインして看板内容を確認する

4.3 「向き情報の共有」の利用シーン

前述したように A 君は気になる店、買いたい商品を巡りながら B 君もヘルメットの端に取り付けた LED バーの発光位置で A 君が気に入る商品種類、店が分かり、二人の間の話題を作る。B 君は店をさがすため歩きながら路地に曲がる時がある、その時 A 君側の UI 画面は矢印が表示され、これで B 君が今どの方向に向いたことを把握できる。A 君自身も秋葉原地区に詳しいため、場合によって B 君に道を指示することもあった。

4.4 「共同注目行為の支援」の利用シーン

共同注目行為の支援の利用を説明するため、A君は新しいノートパソコンがほしくてB君に声を掛け、一緒にノートPC専門店に入るといいう利用シーンを挙げてみる。

4.4.1 共同注目のインタラクション

A君は店に入って、暫く商品を巡る(図 4.4)。すると一つのパソコンに注目し続けることになる(図 4.5)。B君は方向指示 LED 発光装置の LED バーの点滅と音声提示でA君が注目していることを知り、ついにB君も同じ方向を見る(図 4.6)。

するとヘルメットが搭載したカメラは正面に戻りA君の視野をB君と一致させる(図 4.7)。この時A君は一時的に左右見渡すことができなくなり、B君が視野を主導しながら二人がパソコンの機能について話し合う。



図 4.4: パソコンショップに入った B 君



図 4.5: A 君は見渡ししながらパソコンを探す



図 4.6: B 君は A 君と共同注目する



図 4.7: 共同注目は始まって両者の視線が一致させる

4.4.2 相手の要請による共同注目

B 君はもう一台のノート PC に気にして A 君との相談を求めたいが、しかし A 君は別の方向を見ている。その時 B はボタンを押して「相手の要請による共同注目」を起動する。すると観察者である A 君は音声提示で B 君が見せたいものがあるのを知り、カメラは正面に戻り A 君の視野を B 君と一致させる。

4.5 「身体的動作等によるコミュニケーション手法」の利用シーン

共同活動中、会話の他身体的動作によるコミュニケーションはよく見られている。例えば相手を知らせるため肩を叩く、注意を喚起するため目の前に手を振るなどの行為はよく人々に使われている。使用のタイミングとシーンは様々ですが、「声をかけるまではない」と「声をかけても相手は意識していない」という場面では利用できると我々が考査している。

例を挙げてみると、B は歩きながらある店を通り抜けようとする。その時 A は B に声をかけてみたが、環境のノイズは大きいので B は反応せず。その時 A はコントローラを前後振って身体的メッセージを B に送る。そうすると B 側のヘルメットは振動して提示音声も出てくる、これで B は A の喚起を意識して返事する。

4.6 移動者の利用手順

移動者はヘルメットを被り、背中にはモバイル通信できるモバイルパソコンを携帯して外出する。移動者側のシステムはステータスサーバーに登録し、観察者との通信を待ち続ける。観察者と接続したら音声で移動者に提示する。ヘルメットの上に設置したカメラは観察者の振り向きによってパン・チルトする。移動者はヘルメットの端に取付けた LED バーで観察者が見ている方向を確認できる。観察者は一つの方向に注目し続けると「相手が注目しています」という音声で移動者に知らせる。この時移動者もその方向に向くと共同注目支援機能は起動する、この機能によって観察者の自由視野を一時制限して観察者と移動者の視線を一致させる。なお、移動者は加速度センサー付きのコントローラを持っていて、コントローラを振って観察者にメッセージを送ることができる。

4.7 観察者の利用手順

観察者は有線 LAN が備えている場所で行う。観察者の頭部には HMD と小型の無線地磁気センサーを装着させ遠隔画面の表示と観察者の向き方向の計測を行う。

観察者はステータスサーバーで移動者の状態（現在地と通信状態など）を確認してから移動者と接続する。接続してから観察者が自分の振り向きによって遠隔のカメラを制御して、向き方向通りの遠隔映像は HMD に映される。

移動者は行進方向を変った場合は観察者画面で矢印が表示され、これで移動者はどの方向に振り向いたかを把握し易くなる。

移動者は自分の振り向きでカメラを動かずに移動者の視線と一致したい場合はコントローラのボタンを押して「相手要請による共同注目」機能を使用する。これでカメラは正面に戻り、移動者の正面視野に追従する。

4.8 本研究の利用場面

本研究の用途につき、様々の可能性は示されている。バーチャル外出と離れた人との共同活動できるのは本研究最大の特徴であり、この特徴を用いて今まで実現できなかった応用と利用形態は期待される。

本研究の利用場面について、我々は以下の利用例を挙げてみる。

遠距離恋愛

本研究のシステムを用いて、離れた恋人を一緒に外出したり、デートしたりすることが可能になる。共同活動の感覚により「相手は側にいる」ような感覚を与える。

離れた家族のコミュニケーション

ここでは海外に留学した息子と母親の利用場面を設定する。母親は息子の生活を心配し、本研究のシステムを用いて息子のリビング環境を把握することができる。息子のガイドにより住んでる家と周囲の町を見回りして、ルームメイトと担任先生との挨拶もできる。

バーチャル旅行

本研究のシステムを用いて、バーチャル旅行は可能になる。ガイドさんは移動者にして、観客は観察者にする。ガイドさんは名所を紹介しながら、観客も自由に周囲を見物することができる。ガイドさんは観客が見ているものを把握し、由緒と見所を紹介する。

外出できない人の利用

事情により外出できない人は本研究を利用してバーチャル外出することができる。例えば病気で外出できない患者と高齢者の利用を想定して、本研究のシステムを介してバーチャル外出ができ、家に帰りたいの場合はバーチャル帰宅としての利用も考えられる。まだ、仕事と任務によって家に帰れない人たちの利用も考えられる。

作業現場の指示

本研究のシステムを用いて、遠隔作業の指示と支援はできる。観察者はカメラに介して現場状況を把握し、移動者に作業の指示を行う。

会議の出席、宴会とセミナー参加等

会議等へ出席の利用場面では、いままでビデオ会議ができない利用形態が期待される。例えば学会のポスター発表とデモ発表の場合、本研究のシステムを用いて研究者たちの研究成果を見渡しながら研究者とのコミュニケーションもできる。これらの場面ではいままでのビデオ会議システムでは対応しにくいと考えられる。

第5章 システムの実装

5.1 環境と言語

本システムは Microsoft Windows 環境で動作する。開発環境は Visual Studio 2008 と Visual Basic 6.0 と Arduino-0019 を使用した。システム環境は観測者側と移動者側に分けられ、移動者側では無線通信の環境とモバイルパソコンの携帯を必要とする。具体的なシステム環境と設置は表 5.1 と表 5.2 の通りになる。

表 5.1: 観測者側の環境

観測者側の環境	
パソコン種類	任意
OS の種類	Microsoft Windows XP 以降
CPU の制限	Intel Core2Duo 以上推奨
ハードウェアの制限など	Bluetooth 搭載 Wi-Fi 802.11g 以上搭載 LAN 通信機能 USB Port x 2

表 5.2: 移動者側の環境

移動者側の環境	
パソコン種類	モバイルパソコン
OS の種類	Microsoft Windows XP 以降
CPU の制限	Intel Core2Duo 以上推奨
ハードウェアの制限など	Bluetooth 搭載 Wi-Fi 802.11g 以上搭載 モバイルネットワーク 通信機能 (HSDPA,HSPA+,WIMAX 以上) USB Port x 2

5.2 システム構造とハードウェア

5.2.1 システム構造

本システムは、移動者側と観察者側に分かれる(図 5.1)。移動者側と観察者側はそれぞれのアプリケーション、装置とセンサーの制御ソフトと専用ハードウェアを持つ、両アプリケーションはインターネットを介して通信を行う。

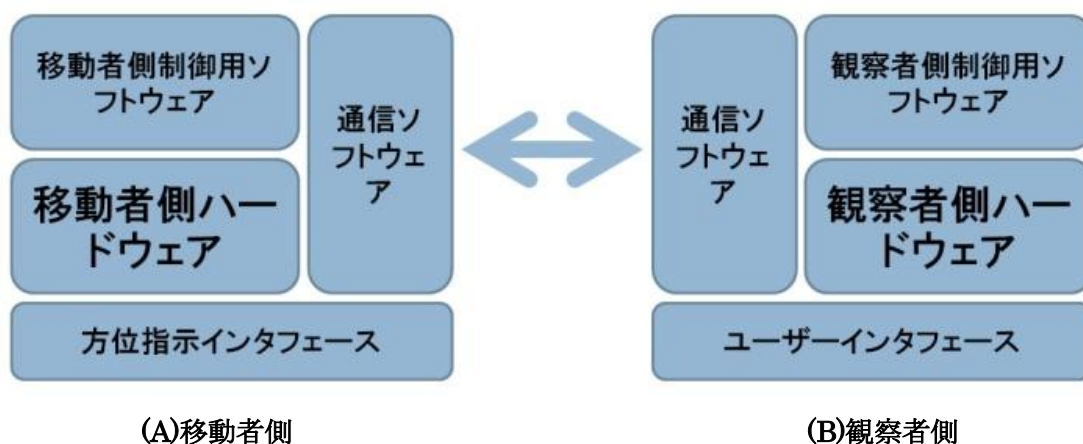


図 5.1: システムの構造

5.2.2 ハードウェア

図 5.1 のように、システムのハードウェアも移動者側用ハードウェアと観察者側用ハードウェアに分かれる(図 5.2)。移動者側ではヘルメットを被り、ヘルメットにはパンチルトカメラ、Wii リモコン・方位表示 LED 発光装置、モバイル PC を装着した。観察者側では頭部に無線地磁気センサー、Wii リモコンを装着し、観察者側パソコンは HMD あるいは回転式プロジェクターと接続して GUI と遠隔映像を表示する。

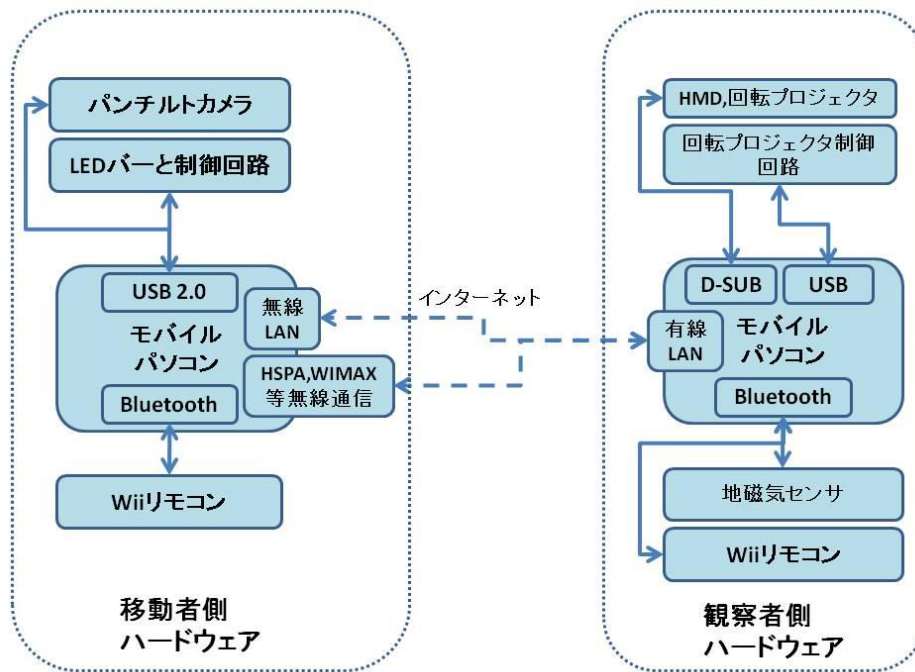


図 5.2: システムのハードウェア構造

5.2.3 機能のモジュール化

本システムは多くのセンサーと装置を制御するため、機能のモジュール化を採用した。利用するセンサー、装置に対して全ての制御方法、補正手法などをシステムコントロールとしてパッケージして、いずれの言語、プラットフォームでも使えるように目指した。

開発の実務上、センサーと装置の制御はそれぞれに違う言語と環境を用いた。LED バーを制御する際には Visual Basic 6.0 を用い、カメラの回転を制御する際には Visual C# 2008 と DirectShow Library を利用した。また、装置製造メーカーからリリースされた制御用ソースコードの他、特定のライブラリにも利用した。

言語とコンパイル方式の違いにより、一つのアプリケーションに統合することが困難であり、さらに機能によって再利用される部分の多いため、コードの管理は極めて複雑になる。すべての機能を一つのアプリケーションに統合するため、我々は機能別のモジュールはそれぞれの目的を果たしていく方針をとる。メインアプリケーションは機能モジュールを制御、管理する。モジュールはマイクロソフト ActiveX コントロールや .Net Component にコンパイルするため、サポートする開発ツールであれば使用できる。

本システムで使われたモジュールは下表(表 5.3)の通りになる。

表 5.3: システムの機能モジュール

モジュール種類	開発言語	コンパイル形式
LED バー制御モジュール	Visual Basic 6.0	ActiveX Control
通信モジュール	Visual Basic 6.0	ActiveX Control
カメラ制御モジュール	Visual C# 2008	.Net Component
Wii リモコン制御モジュール	Visual C# 2008	.Net Component
地磁気センサー制御モジュール	Visual Basic .Net 2008	.Net Component
音声映像送受信モジュール	Visual Basic .Net 2008	.Net Component
回転式プロジェクター制御モジュール	Visual Basic .Net 2008	.Net Component

5.3 移動者側システム

移動者側システムでは移動者の動作情報を計測し、観察者側システムと連動してカメラ制御、方向表示 LED 発光装置の制御と映像の圧縮と送信を行う。

5.3.1 移動者側ハードウェア

移動者側ハードウェアはセンサー装置、パンチルトカメラ、方向表示 LED 発光装置、操作装置とモバイルパソコンに分かれる。センサー装置とパンチルトカメラ、方向表示 LED 発光装置はヘルメットに搭載し、移動者はヘルメット(図 5.3)を被りながら外出する。また、移動者側のモバイルパソコンは無線通信機能を持ち、移動しながら観察者側と通信する。

移動者の動作情報の取得のために、カメラや様々なセンサを頭上に搭載させるため、複合装置搭載用ヘルメットを設計した。ヘルメットには複合センサー装置 (Wii リモコン)、パンチルトカメラと LED バー (方向表示 LED 発光装置) が搭載され、移動者の振り向き情報、傾き角度を計測する。

ヘルメットの製作は自転車用ヘルメットを改造した。頭上部にはパンチルトカメラのベースを設け、先端にはアーク状の LED バーを固定している。ヘルメットに二本の USB ケーブルでモバイルパソコンと連結され、有線でカメラと LED バーの制御が行われる。



図 5.3: 移動者が装着するヘルメット

5.3.2 移動者側アプリケーション

移動者側アプリケーション(図 5.5)は移動者側すべての装置、センサーを制御し、通信機能を持ち、観察者側アプリケーションと通信する仕組みとなる。移動者は移動中スクリーンを確認しにくいいため、すべての情報提示は音声提示と LED バーの発光表現に限定する。入力と操作も移動者自身の動作と手持ちのコントローラでの操作になる。

表 5.4: 移動者側アプリケーションの機能

機能種類	機能内容
センサー計測	観察者の角速度の計測
	観察者の傾き角度の計測
装置制御	方向指示 LED 発光装置の制御
提示機能	LED バーの発光で観察者向き方向を提示
	音声提示
	振動提示
操作システム	移動者とのインタラクション用途等

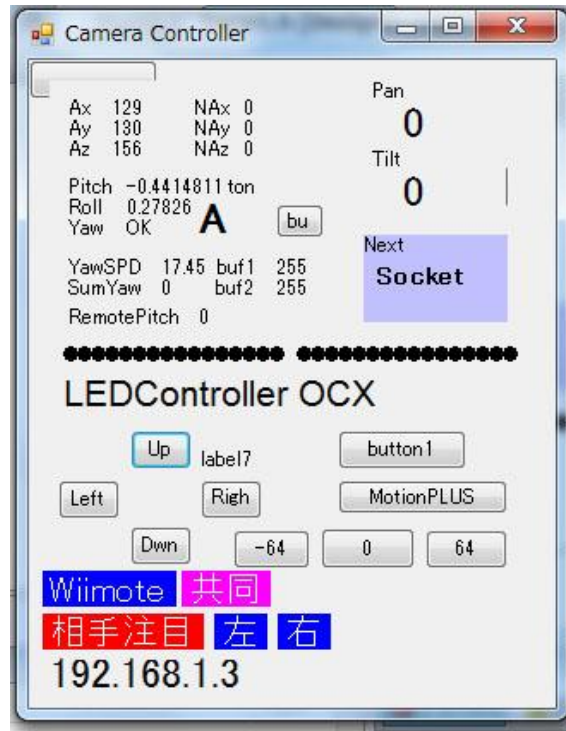


図 5.5: 移動者側アプリケーション

5.3.3 パンチルトカメラの制御

パンチルトカメラは Logitech 社の Orbit AF⁹を利用した。Microsoft DirectShow ライブラリを経由してカメラのパンチルトとズームイン、ズームアウト（デジタルズーム）機能を制御する。パンは前方 128 度回転することができ、チルトは上下 64 度回転することが可能である。デジタルズームの範囲は 100%~800%である。

5.3.4 方向指示 LED 発光装置

移動者に観察者の向き方向を伝達するため、LED バーによる方位表現手法を利用した。32 個の赤色 LED をアーク状の木板に固定し、ヘルメットの端に取り付ける。LED の発光は個別に制御され、観察者の見る方向に応じて該当方向の LED が発光する(図 5.6)。

方向表示モジュールを実装するため、12Bit 入出力制御可能な Km2Net USB/IO Kit を使用し、32 個の赤色 LED を制御する。そのうち 8Bit を二つの 4:16 Decoder TTL 74154 に接続することで 32 個の LED の点滅を制御し、残りの 4Bit を用いて LED バーの全点灯・消灯を制御する。

⁹Logitech Orbit AF – <http://www.logitech.com/ja-jp/38/3480>



図 5.6: LED バー発光の仕方

方位表示の仕方

方向表示モジュールは方位表示 LED 発光装置を制御し、観察者が向いている方向の LED 発光させる。方位表示 LED 発光装置には 32 個の LED を用いて、前方 128 度の方位を 4 度間隔で指定することができる。例えば観察者は右 30 度の所を向いていた場合、方位表示用発光装置は右 30 度当たり位置の LED が発光する(図 5.6)。

制御インタフェース

Km2Net USB/IO Kit¹⁰は USB HID Device として Windows OS に認識される。2Byte コマンドを送信することにより 12Bit IO の出力を制御することができる。ここで我々は点灯制御プログラムを ActiveX コントロールにパッケージして、移動者側アプリケーションに統合する。

5.4 観察者側システム

5.4.1 観察者側ハードウェア

観察者側ハードウェアは、表示用装置、センサー装置と操作装置に分かれる。表示用装置は HMD(図 5.7)と回転式プロジェクターで構成されて、実験条件の制限等によりどちらが表示用装置として選択される。センサー装置は Wii リモコンと地磁気センサーで構成されて、両方とも Bluetooth でパソコンと通信する。

表示用装置は遠隔カメラ映像を表示する他、GUI も表示される。HMD を使う場合、頭にかけるため表示画面は観察者の向きと一致する。回転式プロジェクターを使う場合、観察者の向き情報を計測してからプロジェクターの投影画面を転向させ、観察者の向き先に画面を投影する。

¹⁰ Km2Net USB/IO Kit – <http://km2net.com/usb-io/index.shtml>

センサーの役割として、地磁気センサーは観察者の向き方向を計測し、Wii リモコンでは加速度センサーを用いて観察者の傾き情報を計測する。操作装置は Wii リモコンのゲームパッド機能を用いて構成される、観察者はゲームパッド内蔵のボタンを操作することでシステム機能を設定、利用する。



図 5.7: HMD と複合センサー装置 Wii リモコン

5.4.2 観察者側アプリケーション

観察者側アプリケーションはセンサーを制御して観察者の行動を計測し、その同時に移動者の情報を観察者に伝達する。また、GUI と移動者側カメラ画面を表示することで、操作システムの役割を務める。観察者側アプリケーションの機能は表 5.4 の通りになる。

表 5.4: 観察者側アプリケーションの機能

機能種類	機能内容
センサー計測	観察者の向き方向を計測
	観察者の傾き角度を計測
装置制御	回転式プロジェクターを制御
画面表示	GUI 画面表示
	移動者情報表示
	移動者側カメラ映像表示
操作システム	システムの設定等
	移動者とのインタラクション用途等

5.4.3 観察者側ユーザーインターフェース

観察側のアプリケーションでは観察者に情報を提示するため、グラフィックユーザーインターフェース（GUI）が備えている。GUI は移動者カメラ画面の上に重ね、両方の動作状態に応じて観察者に情報を提供する(図 5.8)。提示する情報は観察者自身の動作情報、移動者の動作情報及びメッセージとシステム情報になる。



図 5.8: 遠隔映像の上に重ねる GUI 画面

観察者姿勢情報の表示

GUI では観察者自身情報の表示を行う。表示内容は移動者の姿勢（上下向きと左右の傾き）と向き方向になる。観察者により分かりやすく自分の姿勢を理解させるため、我々は「仮想地平線の表示」という手法を採用した。我々は加速度センサーから算出した Pitch（上下向き角度）と Roll（左右の傾き角度）で仮想の地平線を描き、観察者は地平線の上下と傾き具合によって自分の姿勢と姿勢を把握する(図 5.10)。

仮想地平線は観察者の姿勢で見える地平面のバランスを模倣する。例えば頭を左に傾くと、目から見た地面と風景は相対に右傾く(図 5.9)。我々はこの視覚現象をアイディアとして利用し、観察者に自身の姿勢情報を伝達する。

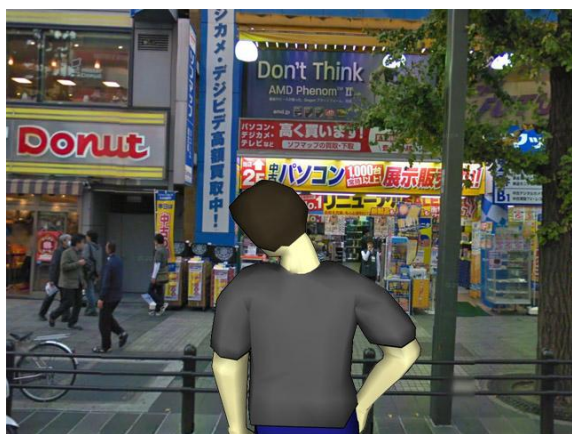


図 5.9: 頭を左に傾くと、見た地面は右傾く

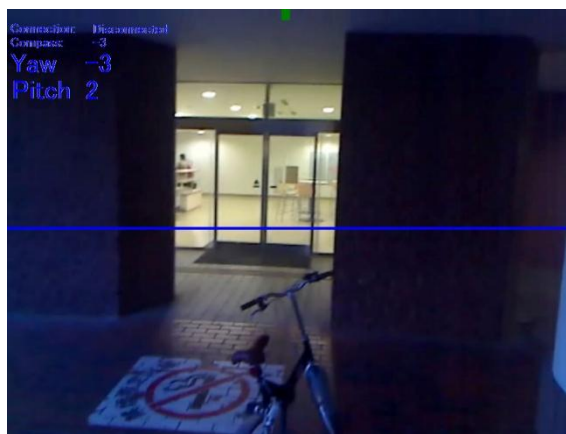


図 5.10: 平衡状態を保つ観察者と GUI

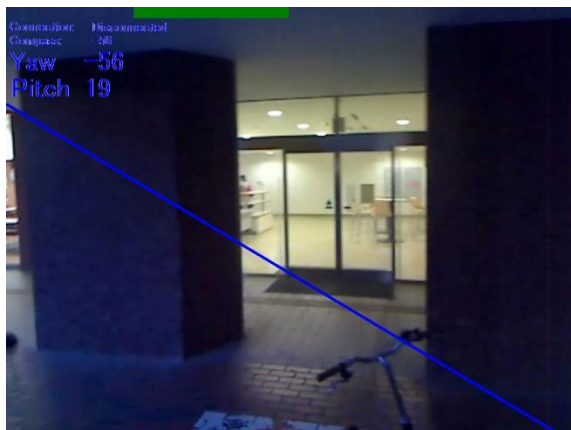


図 5.11: 観察は頭を左に傾くと、仮想地平線は右に傾く



図 5.12: 観察は頭を上を傾くと、仮想地平線は下に寄る

観察者の向き情報を表示するため、ライトバーによる方向表現手法を採用した。観察者の向き方向は移動者側カメラと連動するため、ライトバーは観察者の向き情報を表示する同時に、カメラの可動範囲の表示を行う。

ライトバーは GUI の最上部で表示し、伸びる方向、長さで向き方向とカメラ可動範囲を行う。例えば観察者左 30 度方向に向くと、ライトバーは左 30 度の位置まで伸ばし、たま、カメラの可動範囲内(±64 度)のでライトバーの表示色は緑になる(図 5.13)。仮に観察者はさらに左 90 度方向に向くと、ライトバーは左 90 度の位置まで伸ばす。カメラの可動範囲内(±64 度)を超えているので、ライトバーの表示色は赤色になる(図 5.14)。

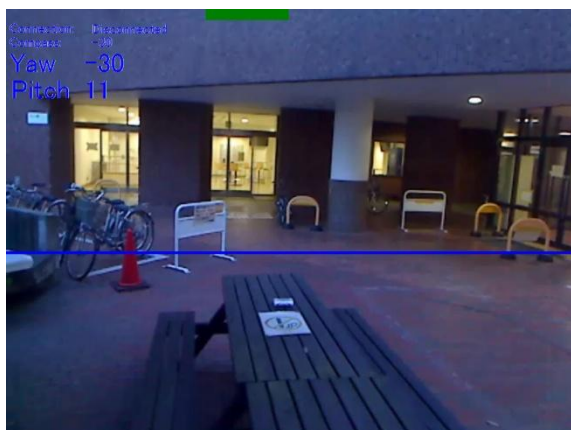


図 5.13: 観察者のが左 30 度に向いた時のライトバー表示状態



図 5.14: 観察者のが左 90 度に向いた時のライトバー表示状態

移動者振り向き情報の表示

移動者の振り向き情報は 3.5.2 節で述べたように、移動者の左方向振り向き(図 5.15)、右方向振り向き(図 5.16)と 180 度回転行為(図 5.17)を矢印アイコンで観察者に提示する。

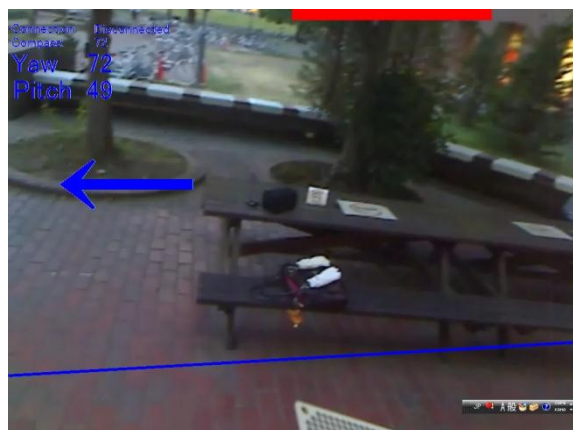


図 5.15: 移動者が左方向に振り向いた時の観察者側 GUI

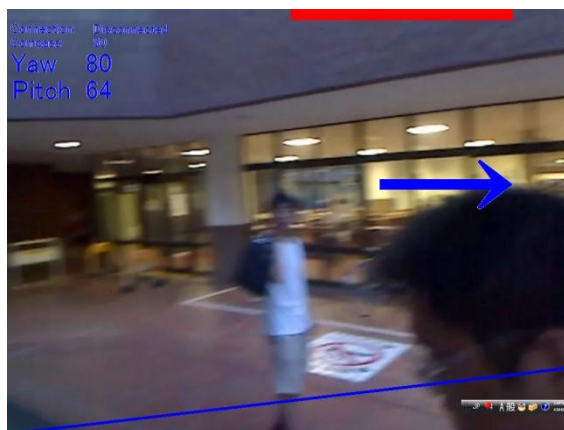


図 5.16: 移動者が右方向に振り向いた時の観察者側 GUI

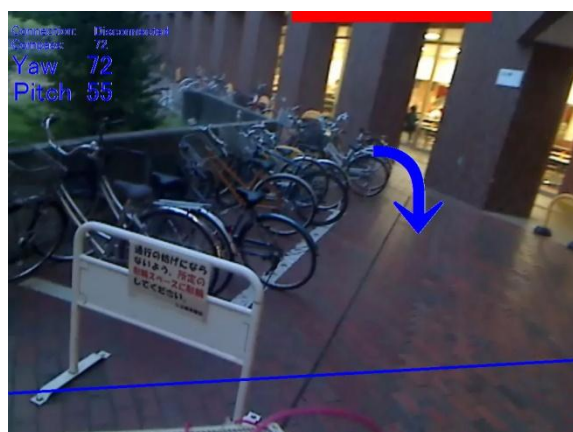


図 5.17: 移動者が 180 度回転した時の観察者側 GUI

メッセージの表示

GUI ではメッセージの表示を行う。メッセージ観察者自身の状態を表すメッセージと移動者から送信したメッセージ(図 5.18)、インタラクション状態のメッセージ(図 5.19)の 3 種類に分かれている。メッセージはシステムが決めたタイミングで GUI に表示される。



図 5.18: 「相手からの知らせ」メッセージ



図 5.19: 「共同注目」状態のメッセージ

システム情報と操作インターフェースの表示

GUI では、システムの操作設定を含め、システム情報の表示を行う。接続の設定、通信状態(図 5.20)、システム音量などを表示する。



図 5.20: 通信状態の表示

5.4.4 観察者の向きと傾き情報の取得

観察者頭部の向き情報と傾き情報を取得する為、我々は無線タイプの地磁気センサーと 3 軸加速度センサーを併用した。

地磁気センサーで観察者側の絶対方位を取得し、その絶対方位角度から観察者が指定した角度（前向き方向）を引き、相対的な向き方向と計算する（-179 度から+180 度まで）。実際の操作として、観察者は頭部に搭載したセンサーリングにある方向校正ボタンを押すことで、向いている方向を前 0 度に定義する。

頭部の傾き情報を測るため、我々は 3 軸加速度センサーから計測した X 軸と Y 軸の加速度データを用いて Pitch 値を算出する。Pitch 値は-90 度から 90 度まで計測でき、傾き角度と等しく、これで傾き情報を取得することができる。

無線地磁気センサーの制御

観察者の向き方向をリアルタイムに計測するため、我々は Wintec⁹社の wbt-100¹⁰ 無線地磁気センサーを使用した。当センサーは Bluetooth¹¹ の SPP プロファイルを経由してパソコンと通信する。計測した方位角度を 360 等分に分けてテキスト形式でパソコン側に出力する。出力データのバターンは表 5.5 の通りにする。

当センサーを制御するため、センサーの仮想のシリアルポートに接続し、出力されるテキストデータをバッファに一旦保存する。バッファにデータが入るとイベントを発生させ、バッファ内容を分析して角度データを取り出す。

相対向き方向の計算

地磁気センサーから取得したデータは絶対方位であり、0～359 度にして東西南北を現す。しかし実際に実験する際、観察者の正面方向を 0 度（真北）にするのは難しい。そこで我々は観察者が指定した角度を前向き方向とし、センサーから取得した絶対角度を引き算して相対的な向き方向を計算する。

こうして算出した角度は方位に依存した向き角度になり、例えば 90 度（東方位）を観察者の前向き方向と指定すると、観察者が東に向いた際、相対向き方向が 0 度と算出される。北に向いた際は-90 度になり、南に向いた際は 90 度になる。

加速度センサーの併用による誤認識の防止

地磁気センサーはセンサーの位置が水平に保たれている時だけ正確な方位角度を出力する。センサーの位置を傾きにすると出力するデータに誤差が生じ、傾き角度によって実際の方位と誤差が生じる時がある。この現象を防止するため我々は加速度センサーを用いて傾き角度を検出し、地磁気センサーの誤認識を防止する。観察者の傾き角度が±20 度を越えた場合、地磁気センサーの出力データを一旦停止させ、±20 度以内に返ると地磁気センサーの出力を再開させる。これで傾きによる方位計測の誤差が大きくなることを防ぐことができる。

表 5.5: 地磁気センサーの出力データ形式

送信データバターン	A + 現在方位角度
テキスト形式	ASCII コード
計測周期	約 5 回/秒
データ例	A0 A90 A180 A270 A359

⁹Wintec – <http://www.wintec.com.tw/>

¹⁰WBT-100 – <http://www.wintec.com.tw/TW/Products/gps/download/WBT-100.html>

¹¹Bluetooth – <https://www.bluetooth.org/apps/content/>

地磁気センサー制御モジュール

地磁気センサーの制御機能を観察者メインアプリケーションに統合するため、我々は地磁気センサーに関する制御、補正機能をモジュール化する。地磁気センサー制御モジュールは.Net Component 形式にパッケージされ、独自の UI と制御関数と持たされる。

回転式プロジェクターとの連動

回転式プロジェクターを使用する場合、算出した向き角度は回転式プロジェクター制御モジュールに送信し、プロジェクターは自動的に該当角度まで回転する。

5.4.5 ズームイン、ズームアウト機能の実装

観察者はコントローラのボタンを押すことで(図 5.21)移動者側カメラ映像をズームイン(拡大)、ズームアウト(縮小)することができる(図 5.22)。我々は複合センサー装置 Wii リモコンのコントローラ機能とパンチルトカメラの制御ライブラリを用いて機能を実装する。観察者はズームインあるいはズームアウトのボタンを押すと、通信モジュールに経由して移動者側アプリケーションにズームのリクエストを送る。移動者側アプリケーションがリクエストを受けると、DirectShow ライブラリを用いてカメラ映像をデジタル拡大、縮小する。



図 5.21: 観察者はズームボタンを押す



図 5.22: 遠隔映像をズームイン、ズームアウトする

5.5 移動者、観察者共通システム

5.5.1 通信モジュール

本研究に使われていた通信モジュールはマイクロソフト社が開発した Winsock OCX Control Library 6.0 を利用して再パッケージした ActiveX Control である。

このモジュールを用いて、TCP によるソケット送受信することを可能になる。具体的には以下の機能が備えている。

- 1、非同期方式によるコマンドアレイ送受信機能 (Integer と String)
- 2、非同期方式によるストリーミングデータ送受信機能
- 3、コネクション中断自動検知、補正機能
- 4、一対多、多対一の複合式サーバー・クライアント構造
- 5、アドレスサーバー経由で自動的に接続相手の IP アドレスを取得する

本研究ではこの通信モジュールを用いてすべてのデータを移動者と観察者の間で情報交換を行う。交換情報は表 5.6 の示す通りになる。

表 5.6: 観察者と移動者との通信内容

送信元	情報内容
観察者	地磁気センサーデータ (向き角度)
観察者	モーションセンサーデータ (傾き角度)
観察者	身体的動作メッセージ、ボタンメッセージ
観察者	観察者側音声 (WMV 64KBps)
移動者	ジャイロセンサーデータ (振り向き)
移動者	移動者側音声 (WMV 64KBps)
移動者	移動者側映像 (640x480 MJPEG 15FPS)

5.5.2 音声提示システム

本システムは移動者、観察者に対し音声提示を行う。特に外出中の移動者に対して表示用のディスプレイ装置はないため、システムと観察者の状態を知らせるには音声提示は大きな役割を占めている。

移動者側にも同等的に音声提示を行う、音声提示することで画面を注視しなくてもシステム状態と相手からの情報を把握できる。具体的な提示情報は表 5.7 のとおりになる。

音声内容の録音は無料ソフトウェア「SofTalk」を用いて電子合成音声で作成した。

表 5.7: 提示音声の内容

音声提示対象	音声内容
共通	起動の知らせ
共通	接続成功の知らせ
共通	接続失敗の知らせ
共通	共同注目開始の知らせ
共通	共同注目完了の知らせ
共通	「相手からの知らせ」の知らせ
移動者	相手注目の知らせ
観察者	移動者振り向きの知らせ

5.5.3 複合センサー装置「Wii リモコン」の制御

観察者と移動者の身体動作情報を取るため複合センサー装置「Wii リモコン」¹¹とそのエクステンドツール Motion Plus¹²を使用した。「Wii リモコン」は Nintendo 社¹³がゲーム機器「Wii」のために開発したゲームコントローラである。Wii リモコンの機能とセンサーの種類は表 5.8 の通りになる。

Wii リモコン制御モジュール

Wii リモコン+Motion Plus は主に 3 軸モーションセンサー、赤外線カメラと 3 軸ジャイロセンサーが搭載され、向き方向、前後と左右の傾き角度、振り向き速度を算出して移動者と観察者の身体動作情報を把握する。移動者と観察者とも利用するため、モジュール化して ActiveX コントロールとしてパッケージする。

Wii リモコンの制御

Wii リモコンのセンサーデータを取得するには USB HID 通信 API により制御を行う、USB HID ドライバに介して制御コマンドを Wii リモコン本体に送信し、返したデータアレーでセンサーデータが含まれる。

¹¹Wii リモコン – http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html

¹²Wii Motion Plus – http://www.nintendo.co.jp/n10/e3_2008/index.html

¹³Nintendo – <http://www.nintendo.co.jp/>

表 5.8: Wii リモコンセンサ装置の機能と仕様

Wii リモコン本体	
接続方式	Bluetooth HID Device
通信速度	Bluetooth 2.0 EDR 921600Bps
センサー種類	3 軸モーションセンサー、赤外線カメラ
その他の機能	ボタン 11 個、振動機能、スピーカ
Wii Motion Plus	
接続方式	Wii リモコン本体に接続、I2C 方式による通信
センサー種類	3 軸ジャイロセンサー

5.6 加速度データから傾斜角度の計算

本研究では観察者の首の傾き情報（上向きと下向き）を測定するため、加速度センサーから傾斜角度を算出する手法を用いた。加速度センサーは動的加速度と重力を測定することができ(表 5.9)、複数方向の重力データから傾きを算出することができるようになる。

本研究で使用している加速度センサーは 3 軸 (X,Y,Z) 方向の加速度を計測することができ、よって 3 軸の重力データを用いてピッチとロールの角度を計算することができる(表 5.10)。

表 5.9: 加速度センサーの重力反応

センサーの持ち方向	X 数値	Y 数値	Z 数値
縦持ち前向き	0	-1	0
縦持ち後ろ向き	0	1	0
横もち右側上向き	1	0	0
横もち左側上向き	-1	0	0
平置き下向き	0	0	1
平置き上向き	0	0	-1

表 5.10: 傾き角度の算式

傾き種類	算式
pitch	$\text{atan}(y/z)$
roll	$\text{atan}(z/x)$

5.7 回転式プロジェクター

観察者側の没入ディスプレイ空間を実現するため、回転式プロジェクターを実作した。本研究において、回転式プロジェクターは観察者の向き方向を追従して、常に観察者の真正面に画面を投影する。

回転式プロジェクターは制御可能な回転台座とプロジェクターで構成される、回転範囲は左右各 180 度になり、合わせて 360 度になる。回転台座は角度修正の機能が搭載されており、最初に起動する時は向き方向を自動的に前向き 0 度に修正する。なお、回転式プロジェクターは使用中にも自動的にズレを計測して補償移動を行う。

駆動系では 1.9deg/step のステッピングモータを用いて、この上に汎用プロジェクターを載せて回転する、実用可能な回転速度はプロジェクターの重さに関わっており、本研究で 3.8kg のプロジェクターを用いた場合は、最高安定動作速度は 126 度/秒になる。ただし小さい角度の回転は加速、減速アルゴリズムの制御により速度が落としてある。



図 5.23: 回転式プロジェクター

5.7.1 ステッピングモーター制御

加速、減速アルゴリズム

ステッピングモータの上にプロジェクターを載せると、回転する時にズレが発生することがある、特に静止から回転し始まる時と回転中から停止させる時がよく回転ズレが観測される。ズレ防止のため我々は加速、減速アルゴリズムを設計した。ステッピングモータの回転速度をタイミング的に遅くさせる、引きかえりに安定性を高めることができる。現状で回転角 40 度以下では所要時間は従来 of 倍になる。

具体的には最初に遅めの速度でモーターを駆動する、経過角度の増加とともに駆速度を上げる、設定速度に到達した後そのまま維持する。最後、目標角度に近づくと減速、停止というシナリオになる。

Algorithm 1 加速のアルゴリズム

```
if  $|\text{now}_{\text{deg}} - \text{dest}_{\text{deg}}| < \text{delayarea}$  then  
 $\text{motorspeed} = \text{basicdelay} + (\text{delayarea} - |\text{now}_{\text{deg}} - \text{start}_{\text{deg}}|) \times 2$ 
```

Algorithm 2 減速のアルゴリズム

```
if  $|\text{dest}_{\text{deg}} - \text{now}_{\text{deg}}| < \text{delayarea}$  then  
 $\text{motorspeed} = \text{basicdelay} + (\text{delayarea} - |\text{dest}_{\text{deg}} - \text{now}_{\text{deg}}|) \times 2$ 
```

now_{deg} = モータの現在角度 $\text{start}_{\text{deg}}$ = モータの開始角度

dest_{deg} = モータの目標角度 delayarea = 加減速角度範囲

basicdelay = モータ駆動の初期遅延 motorspeed = モータ駆動の最終遅延

5.7.2 CDS セルによる向き角度補正手法

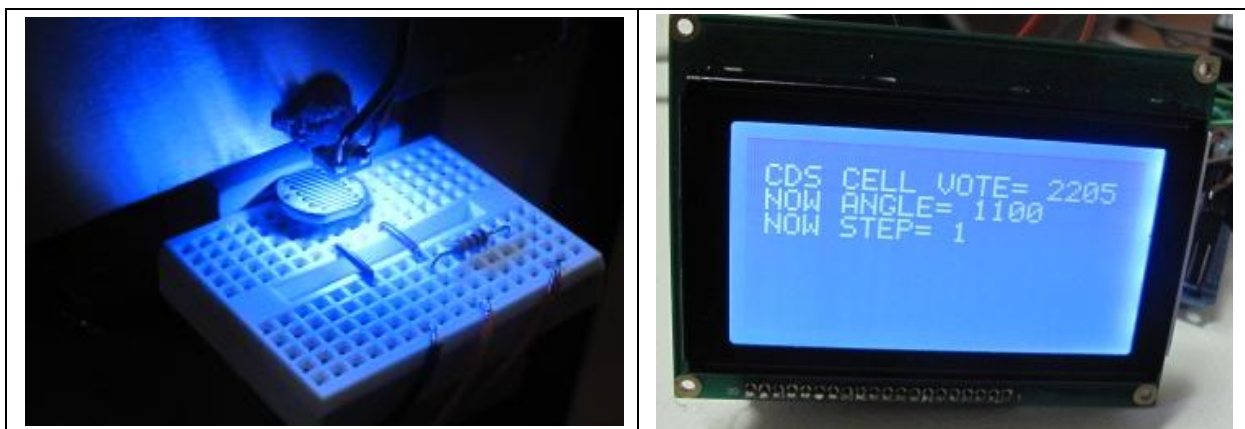


図 5.24: CDS セルによる電圧測定

ステッピングモータでは向き角度を計測する回路がない、さらに前述したのようにプロジェクターを載せると回転ズレが発生する可能性があるため、回転台座の向き角度を測定する必要があると考えられる。

ここで我々は光に反応するセンサー（CDS セル）を導入した。CDS セルは光の強さによって抵抗が変わる電気特性を持つ、固定抵抗とシリーズ接続して電圧をかけると、CDS セルと固定抵抗の間の電圧は光の強さによって変わる。その電圧は Arduino 基板によって測定される。CDS セルの上に角型青色 LED を設置することによって、一番電圧が高い所が前向き 0 度と測定することができる。よって、回転式プロジェクターを起動する時に自動的に前向き 0 度に修正することができる。また、ズレ防止のため、回転式プロジェクターは毎回前向き 0 度を経過する時自動角度修正ができる。これでズレ誤差の累積がなくなる。

5.8 映像音声送受信モジュール

本研究では移動者側のカメラ映像と音声をリアルタイム的に観察者側に伝わった必要があるため、映像音声送受信モジュールを開発した。映像音声送受信モジュールは送信モジュールと受信モジュールに分ける。

映像の送受信

送信モジュールは Microsoft DirectShow API を用いてカメラの YUV フォーマット画面データを VGA サイズでキャプチャして、.Net Framework 3.5 を用いて JPEG に圧縮する。圧縮した JPEG 画像はソケット通信に經由して受信モジュールに送信する。受信モジュールは一枚の圧縮画像を受け取った後、Net Framework 3.5 で解凍して、まだ Bitmap フォーマットに変換する。変換した画像は映像送受信モジュールのユーザーインタフェースに表示する。現状 802.11g の無線 LAN 環境において、VGA 画質での送受信速度は約 15FPS になる。なお、同環境の測定によって平均遅延時間は 0.3 秒になる。

音声の送受信

音声の送信では 22KHz、8Bit の音声信号をリアルタイムに録音し、ストリーミングデータに変換して送信する。音声の受信ではストリーミングデータを接收し、一旦メモリバッファに保存してから再生する。移動者側と観察者側は共に音声の送信、送信機能を備える。全二重通信を用いたことでどちらからも音声通信（会話と指示など）ができる。

5.9 他の映像音声通信ソフトウェアの利用

本システムは内蔵の映像送受信モジュールの他、既存の通信ソフトウェアを利用して映像・音声通信を行うことができる。モバイルネットワークの環境と速度によって、既存の通信ソフトウェアは内蔵映像送受信モジュールより優れる場合がある。本研究で利用できる映像・音声通信ソフトウェアは以下のいずれになる。

1. Windows Live Messenger ¹⁴
2. Logicoool Vid HD ¹⁵

¹⁴ Windows Live Messenger – <http://messenger.live.jp/>

¹⁵ Logicoool Vid HD – <http://www.logitech.com/ja-jp/349/5787>

第6章 共同外出感実現手法の評価と考察

6.1 実験目的

共同外出感が作り出せることを実証するため、評価実験を設計、実行した。
なお本実験の以下項目について検証を行う。

1. 相手と共同活動する感じがあるかないかを検証する
2. 自由に周囲を見渡すことができるかできないかを検証する
3. 相手の向き方向を把握できるかできないかを検証する

6.2 実験方法

実験条件

1. 被験者人数：5 人
2. 場所：観察者は実験室 A、移動者は実験室 B にいる
3. ネットワーク環境：観察者は EMobile HSPA+ 7.2Mbps、移動者は有線 LAN になる
4. 実験条件：被験者は予め約 20 分の説明とトレーニングを受け、交代して観察者とも移動者とも勤める。ケースを遂行した後、アンケートを受ける

実験パターン

実験ケース A：移動者は室内で歩きながら、観察者はシステムを用いて周囲を見渡して、壁に貼っているポスターを探し出す。

実験ケース B：観察者は七つのカラー付三角錐の内一つを注目して、ついに移動者同じ方向を見て共同注目機能を使用する、そのあと移動者が観察者が注目する三角錐を特定する。

実験ケース C：移動者は複数のポスターを巡りながら、そしてある番号ポスターの前に立っている時観察者はコントローラのボタンを押し、移動者に知らせメッセージを送る。移動者は LED の左右巡りで確認して一旦止まる。

実験ケース D：観察者と移動者に約 5 分の自由時間を与え、自由にシステムを体験する。



図 6.1: 実験ケース A とケース C で利用するポスター



図 6.2: 実験ケース B で利用するカラー三角錐

6.3 実験結果

表 6.1: 実験結果と使用時間

実験内容	実験回数	成功率	平均使用時間
ケース A	7	71.4%	8min 53sec
ケース B	10	40.0%	15min 23sec
ケース C	5	80.0%	5min 12sec

表 6.2: アンケート結果

(点数は 5 ～ 1 まで、5 は非常に同意、1 は非常に同意しない)

質問内容	人数	平均点数
相手と共同活動する感じはありましたか？	5	3
自由に周囲を見渡すことができたか？	3	2.6
相手の向き方向を把握できたか？	5	3
画面は揺れましたか？	3	5

6.4 考察

共同外出感の評価実験より、観察した問題点と現象を述べる

画面の揺れ

本実験のアンケートから最も低い得点は「画面の揺れ」になる。長時間のトレーニングを受けていない被験者が本実験の移動者を勤めると、観察者側の画面の揺れは激しくと見られる。移動者はまだ観察者を意識していない、あるいは被験者がヘルメットを被ることを慣れていないなどを原因として考えられる。また、実験用のヘルメットサイズは固定されているため、頭のサイズにより画面の安定性も影響を与えるのも観察された。

LED バーの設置位置

評価実験を行った後、被験者 5 人中 2 人は「LED バーが眩しい」という意見を述べた。我々の検討結果、LED バーの設置位置は人種（種族）によって眼球に直射する恐れがあると分かった。今回被験したエジプトの学生一名の場合、彼の両眼は東アジア人種よりも外側に寄る及び突出のため、LED バーの発光は眼球に直射してしまい、被験者の不快感を招くことが分かった。この問題に対応するため、我々は LED バーの設置位置を変更することを検討する。

カメラを介してのカラー確認

実験の結果により、ケース B の成功率は著しく低下していることが分かった。その原因を検討してみると、カラー付の三角錐を使用したことと、三角錐と三角錐の間の距離は十分に開いてないことを成功率低下の原因と考えられる。

実験のシナリオとして、観察者はカメラを越してカラー付の三角錐を確認、特定する。しかし、カメラを越して物体の色を確認するのは難しいとみられる。原因として挙げると、カメラの露出設定やホワイトバランスなどの影響により、本来の色を忠実に観察者に伝わるのは困難と思われる。また、三角錐の間の距離は短いため、観察者が注目している三角錐を特定するのも困難になる。

第7章 議論

本章では共同外出感の達成および表現結果につき、長所と短所について議論を行う。

7.1 移動者側カメラと観察者の連動手法

本研究は観察者に自由視野を与えるため、移動者の頭上にパンチルトカメラを搭載させた。これで観察者と移動者の視野は一致させながら観察者も周囲を見渡すことができる。

しかし、移動者が移動中の時、観察者にとって画面の揺れが激しいと見られている。眼球から得られる視覚情報は、揺れを脳が補正しているので揺れを感じにくい。しかし、観察者はカメラを経て外在環境を見るので揺れを意識しやすく。手ぶれの激しいホームビデオのような印象を受ける。このため、観察者にとって遠隔カメラに經由して見た映像では自身が実在した環境と体感することが難しいと思われる。

カメラは移動者の頭上に搭載するため、観察者は振り向かない限り移動者との視野は一致になる。利点として観察者はリアルタイムに移動者が見た外在環境を共有できる。しかし欠点として、観察者が自由視野機能を用いて周囲を見渡している際に、移動者が振り向くと、カメラの方向が観察者が見たい方向から外れ、観察者は映像と自分の行為とに不整合性を感じる。場合によっては「行動が邪魔された」ような感覚も受ける。

7.2 共同注目支援の手法について

本研究は利用者同士の共同注目行為を支援するため、共同注目支援機能を設計、実験した。しかし、評価実験の過程によりいくつかの問題も見られた。本機能は観察者が一方向を長く注目した時に、移動者側に観察者の注目行為を音声提示で知らせる。そして観察者がまだ違う方向を向いた場合、音声で再び提示を行う。すると、観察者が向く方向を頻繁に変わると、移動者にとって、相手は本当に注目しているのかを分からなくなり、元々は観察者の注目情報を提示するため設計した機能だが、状況によっては移動者は観察者が今回本当に注目するのかということが判別できなくなってしまう。この原因を考察すると、人間の注目は、単純に「ある方向を一定時間以上注視する」だけではなく、雰囲気や眼差しなどもっと深い要素の条件が存在すると考えられる。

また、本機能は観察者が注目状態中の場合に移動者が同じ方向を見ると自動的に共同注目を起動する。我々の観測ではこの機能が意図せずに起動されるケースが多く見られた。原因を考察すると、移動者は相手の注目を理解した上で意識的に同じ方向を見るという状況以外にも、自然に周囲を見ている中で間違っただけで機能を起動するケースも見られた。この場合、観察者の自由視野を妨害し、お互いの思うとおりにある方向に共同注目するのは難しくなる。

7.3 システム制御の遅延について

本研究は共同外出感を実現するため、システムを設計、実装した。しかし、システムの遅延は共同外出の感覚を妨害することがわかった。本研究のシステムではインターネットを経由して映像を送受信するため、映像の圧縮、転送では遅延が発生する。

これらの遅延は条件によって累積し、そのためシステムは観察者の動作への反応は遅くなる。反応の遅延によりシステム即時性は低下させ、共同外出の感覚を妨害にもなる。

表 7.1: 遅延の原因と遅延時間

遅延の原因	遅延時間	累積性
映像のキャプチャ	約 0.15～0.2 秒	あり
映像の圧縮	圧縮方法とマシンによる、現状は約 0.1 秒	あり
映像の送信受信	約 0.2～0.3 秒	あり
パンチルトカメラの回転制御	約 0.1～0.6 秒	なし
回転式プロジェクターの回転制御	約 0.4～1 秒	なし
音声通信	約 0.1 秒	なし
センサーの計測	約 0.05 秒	なし

第8章 まとめと今後の展望

共同外出感の実現として、今回は「自由視野の取得」、「向き情報の共有」、「共同注目行為の支援」、「身体的動作等によるコミュニケーション手法」以上4つの手法の実装を行い、評価実験を行った結果、一定評価を得ることができた。

本研究では「共同外出感」という概念を定義し、その感覚を与える手法を提案、実装した。観察者は周囲を見渡すことができる為、より臨場感を得られる。観察者と移動者とお互いの向きを把握できるため、共に外出している感覚を得ることができた。さらに、共同注目行為の支援により、相手の存在を強く感じることができた。

これらの要素を実現することにより、人と共に外出している感覚を得ることができた。従来のビデオ通信に関する研究は相手の情報を主体にした研究が多い一方、本研究は相手の周りの情報を主体にする。相手の生活風景、住んでいる町、日頃の活動等の外出情報を共有しながら、対面通信と類推できない体験ができる。

今後の課題として、移動者側のカメラの設置位置の変更を行うことが挙げられる。カメラの設置位置の変更によって移動者視野からカメラ視野をを独立させることで、観察者にとってより自由かつ妨害されにくい操作を行うことができる。また、観察者側グラフィックユーザインタフェースに3Dアバターの提示を行うことも検討している。

謝辞

本論文を執筆するに当たり、指導教員である田中二郎先生をはじめ、高橋伸先生、志築文太郎先生、三末和男先生には、丁寧なご指導と適切な助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

また、インタラクティブプログラミング研究室の皆様から色々な意見を頂き、特にユビキタスチームのメンバーの方々には、ご自身がお忙しい中、議論などを交わしていただき色々な意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 原田康徳. 同室感通信：インタラクティブシステムとソフトウェア VI 日本ソフトウェア科学会 WISS' 98, pp.53-60, 1998.
- [2] 足立智章, 小川剛史, 清川清, 竹村治雄. ライブビデオと 3 次元実環境モデルを用いた遠隔協調作業支援システム; 日本バーチャルリアリティ学会, Vol.12 No.4, 2007.
- [3] 太田祥一, 行岡哲男, 山崎敬一, 山崎晶子, 葛岡英明, 松田博青, 島崎修次. Head Mounted Display (HMD)による Shared-View System を用いた遠隔指示・支援システムの検討; 日救急医学会誌, pp1-7, 2000.
- [4] 辻田眸, 塚田浩二, 椎尾一郎. SyncDecor: 遠距離恋愛支援システム; 日本ソフトウェア科学会 WISS, 2006.
- [5] 小山慎哉, 葛岡英明, 上坂純一, 山崎敬一. 実空間上の遠隔コミュニケーションを支援するシステムの開発; 情報処理学会論文誌コラボレーションの「場」とコミュニティ特集号, Vol.45, No.1, pp.178-187, 2004.
- [6] 上坂純一, 葛岡英明, 小山慎哉, 山崎敬一. 遠隔作業指示支援ロボットの操作インタフェースがロボットの志向表現に与える影響の研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003 論文集, pp.255-258, 2003.
- [7] 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, pp.3752-3761, 2000.
- [8] 小山慎哉, 葛岡英明, 山崎敬一, Paul Luff. 指示者を代理するロボットによる遠隔作業指示支援, 情報処理学会研究報告 2001-GW-39, pp.83-88 (2001).
- [9] 小山慎哉, 小野寺光, 葛岡英明, 山崎敬一. レーザポインタによる遠隔作業指示支援システムの実用可能性, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000, 2000.
- [10] 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子, 加藤浩, 鈴木栄幸, 三樹弘之. 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. 情報処理学会学会論文誌, Vol. 45, No. 1, pp. 300-311, 2004.
- [11] 太田祥一, 行岡哲男, 田中秀治, 松岡博青, 島崎修次. 病院前救護を遠隔支援するマルチメディア Head Mount Display(HMD) による Shared View System, 第 3 回日本臨床救急医学会総会, 2000.
- [12] Heath C.: “The Analysis of Activities in Face to Face Interaction Using Video”, David Silverman(ed.) Qualitative Sociology, London: Sage, pp.183-200, 1997.
- [13] Nardi, B. et al.: “Turning Away from Talking Heads: The Use of Video-as-Data in Neurosurgery”, Proc. of INTERCHI'93, pp.327-334, 1993.
- [14] Kato, H. et al.: “Designing a Video-Mediated Collaboration System Based on a Body Metaphor”, Proc. of CSCW'97, pp.142-149, 1997.
- [15] Christian Heath: Body Movement and Speech in Medial Interaction, Cambridge University Press, Cambridge (1986).
- [16] Noma, H., Sugihara, T., and Miyasato, T.: “Development of Ground Surface Simulator for Tel-E-Merge System”, Proc. Of IEEE-Virtual reality 2000 Conference, pp.217-224, 2000.

付録

評価実験手順書とアンケート用紙

実験手順：

実験場所；観察者は SB1024、移動者は総 B10 階の Lounge で実験する

実験条件：受験者は予め約 10 分の説明とトレーニングを受け、交代して観察者とも移動者ともを勤める。ケースを遂行した後、アンケートを受ける

実験ケース A：移動者は室内で歩きながら、観察者はシステムを用いて周囲を見渡して、壁に貼っているポスターを探し出す（標的ポスターには番号が書いていて、その番号は観察者に知らせる）、探した後移動者はポスターに書いてある小さな 4 桁の番号を記録する

標的ポスター番号（観察者用）：

4 桁の番号（移動者用）：

実験ケース B：観察者は七つの物の内一つの物を注目して、ついに移動者は共同注目する、そして移動者がその物を特定する。七つのカラー付き四角錐を移動者の周りに設置、移動者が座ったままで観察者は標的四角錐を探す、探した後そのまま注目し、移動者は共同注目して正確の四角錐を持って底に書いてある 4 桁の番号を記録する

標的四角錐カラー（観察者用）：

4 桁の番号（移動者用）：

実験ケース C：移動者は複数のポスターを巡りながら、そしてある番号ポスターの前に立っている時観察者はコントローラのボタンを押し、移動者に知らせメッセージを送る。移動者は音声と LED の左右巡りで確認して、それから一旦止めてポスター番号を記録する。

標的ポスター番号（観察者用）：

標的ポスター番号（移動者用）：

実験ケース D：観察者と移動者に約五分の自由時間を与え、お好みにシステムを体験する。

アンケート

(点数は5～1まで、5は非常に同意、1は非常に同意しない)

質問	点数
相手と共同活動する感じはありましたか？	
自由に周囲を見渡すことができましたか？	
相手の向き方向を把握できましたか？	
共同注目機能は便利だと思いますか？	
将来にこのシステムを利用したいと思いますか？	
画像は揺れましたか？	
カメラはタイミング合わせてうまく動きましたか？	
画像の品質はどう思いますか？ 5～1は綺麗～最悪	