

動的背景差分と照明環境を考慮した影面積変化による プロジェクター向けジェスチャーインタフェース

奥山 顕太 池永 剛

プロジェクターは現在でもプレゼンテーションなど広い用途を持つ身近な機器である。しかし、投影面の操作にはマウスやキーボードなどインタフェースが必ず必要という不便さから多様性が制限されている。そこで本稿では手領域の動き情報と影領域の面積変化、投影面の明度値による、投影面を自分の手で操作出来るプロジェクター向けジェスチャーインタフェースのアルゴリズムを提案する。これにより投影面に触れることによってクリック動作を可能とした。テストパターンとして画像の色情報の複雑さ・周辺環境の明るさ・被験者の違いを組み合わせた実験の結果、投影面に触れた際のクリック動作において95%以上の認識率を確認した。

Gesture Interface for Projector based on Dynamic Background Subtraction and Shadow considering Lighting

KENTA OKUYAMA TAKESHI IKENAGA

A projector becomes a familiar device with a wide range of applications such as presentations. However since it needs some interface devices such as a keyboard or a mouse for the operation of projection plane, it limits the versatility. This paper proposes a gesture interface algorithm for a projector based on motion information of the hand, change area of the shadow and brightness value. It makes possible to execute a "click" action just by touching the wall of the projection plan. Experimental results using various test sequences (three slide contents, three brightness conditions and ten subjects) show the recognition rate for the click action is over 95% in average.

1. はじめに

近年、プロジェクターの形態や用途が広がっている¹⁾²⁾。プロジェクター機能を内蔵したデジタルカメラやスマートフォン、接続式の小型プロジェクター等の発展は著しくプロジェクターが我々にとって、より身近な存在として普及しつつある。従来のプロジェクターの主な使用方法としては、会議やプレゼンテーションの際に、パソコンと接続しホワイトボードや壁に資料を投影し、説明を行うといった使い方が挙げられるが、プロジェクター機能搭載機器ではこれらの使用方法以外に、屋外・室内を問わず、天井や壁などあらゆるところに動画や画像を投影し楽しむといったエンターテインメント性の強い使用方法が増えつつあるように思える。しかし、いずれの使用法にしても、投影面の操作には既存のインタフェースが必ず必要になっている、という操作性の不便さが問題点として存在している。パソコンと接続し、プレゼンテーションを行う際には操作者が常にインタフェースの近くにいないといけない、または常に手に持っていないといけないのが現在のプレゼンテーションの一般的なスタイルである。そのため、手が自由に動かせる瞬間が限られてしまう。しかし、手を自由に使う画面の操作を行うことが出来れば、多様化するプロジェクターの用途を更に有効的に活用できると考えられる。

そこで、本研究ではプロジェクターからの投影面を既存のインタフェース(マウス・キーボード・リモコン・レーザーポインタ等)を使用せず、自分の手を使って操作する方法を提案する。手領域追跡・壁面に対する手の接触を判断する手法は、いくつか提案されているが色情報を用いて肌色や爪といった手領域を抽出する手法³⁾⁴⁾、手の形状や動作を記憶させて手領域を判断している手法⁵⁾が一般的である。しかしプロジェクターからの投影面という性質上、色情報は使用できず動作による手領域判定も困難である。よって本研究では色情報を使用しない動的背景差分法⁶⁾・壁面接触時の手領域における影部分の面積変化に着目した。加えて部屋の照明など周辺環境によって、投影面の明るさは大きく変化する。よって、より汎用的なプロジェクター及びプロジェクター機能搭載機器の使用シーンを想定し、室内・屋外・昼夜といった変動する周辺環境の明るさを限定せずに使用できるロバストな手領域追跡及び影領域追跡のシステムの構築を目指す。また、既に机上や床に画像やキーボードを投影し手や指の接触を感知することの出来る製品は発売されているが、投影と接触判定にそれぞれ1つずつカメラ及び赤外線センサを使用しているため、手と壁面の様な垂直な場合には適していない。よって本論文では、手を使って投影面の操作を行うことのできるプロジェクターを対象としたハンドジェスチャーインタフェースの実現を目的とした。手法として、1) 動的背景差分法を用いた手領域追跡、2) 手領域の影の面積変化による壁面接触判定の

早稲田大学大学院 情報生産システム研究科
The Graduate School of Information, Production and Systems,
Waseda University

2つのアルゴリズムをメインとし、色情報の多い複雑な背景でも接触判定が可能な事、環境光の違いや周辺の照明条件に左右されない影領域の追跡が可能な方法を提案する。加えて複数のカメラや赤外線センサを使わずプロジェクターと同じ位置に設置したwebカメラ1台のみで、手領域の追跡と奥行情報の2つを判断可能な手法を目指す。

2. 提案手法

プロジェクター向けハンドジェスチャーインタフェースを実現するには手領域追跡と壁面に対する正確な接触非接触判定を行う必要があり、以下の処理を行なっている。

1. 明度による証明の状態判断
2. HSV カラー空間を用いた影の閾値設定
3. 動的背景差分法を用いた手領域の抜き出し
4. 手領域の重心を算出
5. 重心周辺の黒色以外を削除
6. 影ではない黒色を削除するため2値化動き情報マスクを適用

これらの処理フローを図 2.1 に示す。

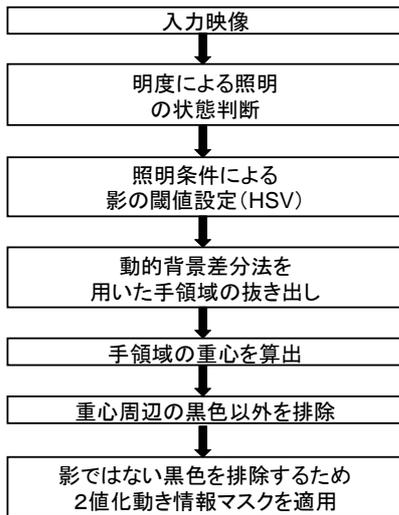


図 2.1 提案手法のフローチャート

2.1 明度による照明の状態判断

プロジェクターを使用し資料や写真を壁面に投影する場合、周辺の環境の明るさや壁の色などによって投影面自体の明るさや画像の濃淡が変化してしまう。さらに、同じように手領域及び手領域の影部分も投影面の明るさによって、濃さやカラー空間上の値も変化してしまうため、影の濃淡の色情報を投影面の明るさ毎に適宜変化できなければ、接触判定方法である影領域の閾値と面積変化の取得も困難になってしまう。しかし、プロジェクター機能内蔵機器の使用シーンを想定した場合、明るさの違う環境で使われることも考えられるため、周辺環境の明るさにロバストな手領域追跡及び、影領域抽出方法が必要である。そこで、投影面全体がどのくらいの明度を持っているのか、という明度の平均を最初に取得し、その明度から周囲の環境

がどの程度明るいかを判断し、後に取得する手領域における影の HSV カラー空間での閾値を決定している。周辺の環境の明るさの差による投影面自体の色の濃さの違いは、人間の目視やカラー空間上でも明確な違いが確認出来る。そのため、RGB カラー空間から明度成分を持つ HSV カラー空間へと画像中の明度の値の操作を行い易く変換している。図 2.2 に各照明環境での投影面と影部分のヒストグラムを示す。

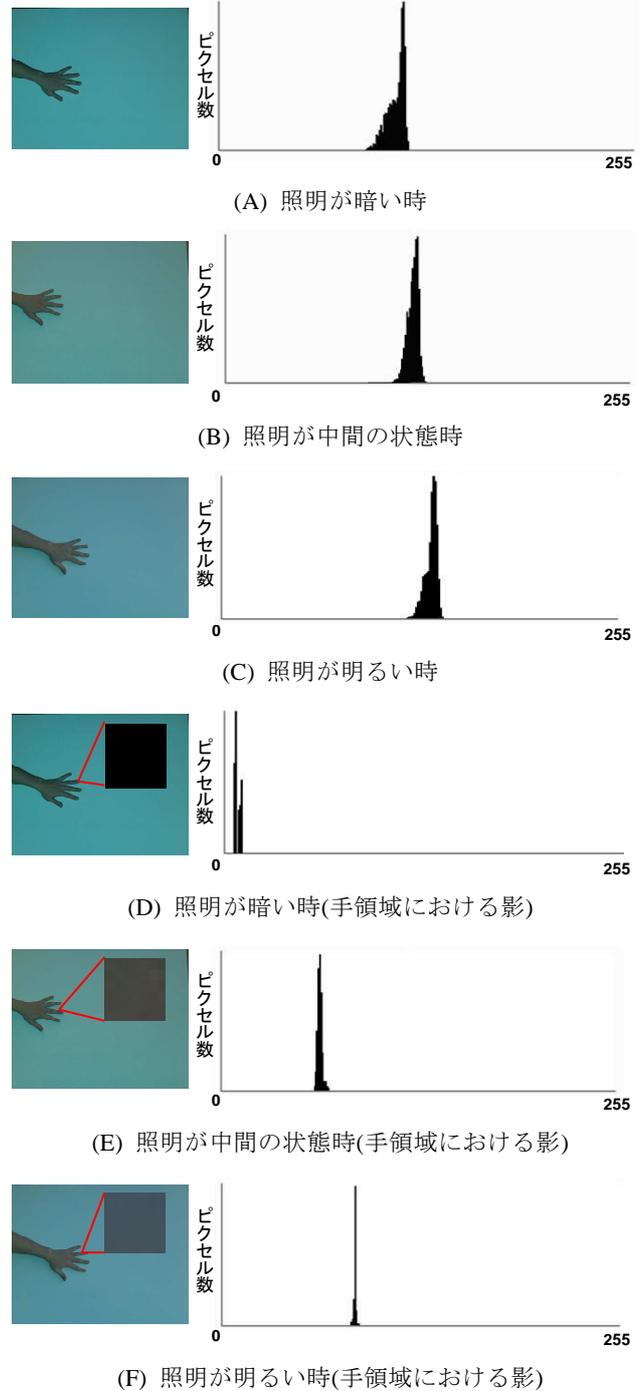


図 2.2 周辺環境の違いによる投影面のヒストグラム

2.2 照明条件による影の閾値設定

手領域と壁面が接触しているかどうかの判断には、手領域における影部分の面積の変化を用いている。これは、プ

プロジェクターからの投影面に手をかざすと、壁面と手領域の距離によって手領域における影の大きさが随時変化している、という特徴があるためである。手領域と壁面の距離が、より離れているときに影部分の面積は大きくなり、反対に手領域と壁面が近ければ近いほど、影部分の面積は小さくなっていく。よって、手領域における影の面積が最小の場合のみ、手領域と壁面が接触していると判断することが出来る。その時の違いを図 2.3 に示す。手領域における影部分の面積変化を壁面との接触非接触の判断情報として使用しているもう 1 つの理由として、手領域の肌色部分は、手をかざしたときの投影されている背景画面によって色が変化してしまうが、影領域の黒色部分は複雑な投影画像の色情報に手をかざしても、変化せず常に同じ色情報として扱うことが出来ることが挙げられる。

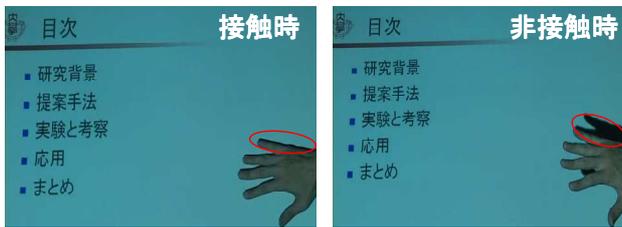


図 2.3 接触時と非接触時の影の違い

2.3 動的背景差分法を用いた手領域の抜き出し

手領域と壁面の接触を判断させるためには、まず手領域を正確に抜き出す必要がある。プロジェクターからの投影面に手をかざした時、また手領域を何らかの動作を行うために動かしたときには、動画などを考慮しない画像や資料であった場合、スライド上で動いているものは手領域のみであると推定することが出来る。よって、手領域と投影面を動きの有無で切り分けることが出来る。動きのあるものと動いていない背景を区別する方法として動的背景差分法に注目した。これによって、手領域の正確な輪郭を抽出できる。しかし、動画を考慮しない投影画面であっても、別画面への切り替えやスライドページの切り替え時には、手領域以外にも投影画面上に動きが存在してしまう、という問題が起こってしまう。現在のページから次または前ページに移動するときは、投影背景画像が全く別の画像に切り替わり、前後ページの違う部分が動きのあるものとして、手領域と一緒に抜き出されてしまう。動的背景差分法を用いている本研究では、その一瞬だけ動き領域の重心や注目領域にブレが生じてしまう。手領域が壁面に近づき、接触し離れていくまでの影部分のピクセル値の遷移を表したグラフと対応する手領域と壁面の状態を表した詳細を図 2.4 に示す。

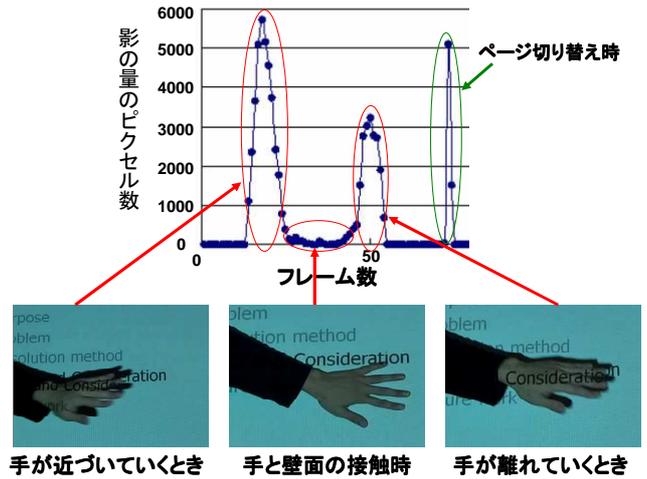


図 2.4 壁面に対する手領域毎の影の量

図よりページ切り替えは僅か 1-2 フレームのあいだに完了する動作であることが判断できる。このページ切り替え動作の際の黒色のピクセル値の変化を、ノイズとして捉え、フィルタによる除去によって解決を図った。ページ切り替えによる急激な黒色部分の増加は、後ろのピクセル数がほぼ 0 の値のときに発生すると想定することが出来る。よって後ろの数フレームの黒色領域のピクセル数が 0 のときに、平滑化フィルタを用いる事で急激な黒色の増加、即ちページ切り替え時の動き領域の重心と注目領域にブレが生じるという問題点の解決手法とした。平滑化フィルタ適用前と適用後の違いを図 2.5 に示す。

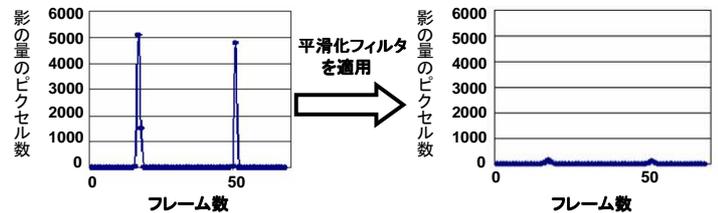


図 2.5 ページ切り替え時のノイズ除去

2.4 手領域の重心を算出

後述する影ではない黒色部分の排除のため、また正確な手領域の抽出方法として、動きのある領域の重心の算出を行なった。手領域の重心を求めることと後述する注目領域の表示と合わせて、複雑な背景画像下においても、ロバストな手領域追跡を目指す。

2.5 手領域における影の抜き出し

前述の通り、手領域と投影された壁面との接触・非接触判定には手領域における影の面積変化を用いる。しかし、投影面に存在する手領域から影部分のみを抜き出すためには、以下の問題点が発生する。

1. 影以外にも投影される画像にも黒色が含まれている
 2. 手と背景画像が重なってしまった場合、手領域の色が濃くなり影と同じ色として誤検出されてしまう
- それぞれの問題点における詳細と解決策を述べていく。

● 重心周辺の黒色以外を削除

まずは、投影面には影部分以外にも HSV カラー空間上影と同じ黒色として抜き出されてしまう領域が多数存在するということが挙げられる。HSV のそれぞれの値に閾値を設定し、その閾値に当てはまる黒色を抜き出すという単純な手法では画像中の面積の大きい黒色部分も影と一緒に抜き出されてしまい、正確な影の面積を求めることが出来ない。投影面内の手領域における影とは全く関係ない画像の中や、また手領域と背景画像が重なり手領域の色が濃くなってしまった部分も影と同じ黒色として抽出されてしまう。このような問題を解決するために、前述の動き情報である動的背景差分法を使用した手領域の重心を用いる。手領域の重心の周辺に注目領域を表示し、その領域の中だけ黒色を抜き出すという手法を提案する。動きのある領域の重心という条件上、重心は常に手の平部分に描かれることになり、その周囲を注目領域とすると必然的に、手領域の指先から手首付近を常に追跡することができる。

● 影ではない黒色を排除するため 2 値化動き情報マスクの適用

投影面に存在する、手領域における影の黒色を抜き出す際のもう 1 つの問題点として、手領域と背景画像の色情報が重なり手領域の色が濃くなってしまい、影と同じ色として一緒に抜き出されてしまう場合の解決策を述べる。このような場合、手領域と背景画像が重なってしまっているため、手領域の色が肌色よりも濃くなってしまっている部分が発生し、注目領域内に影以外の余計な黒色が存在していることになる。この余分な黒色が影と一緒に抜き出されていることになり、前述動きのある領域の手領域の重心と注目領域を用いた方法では、解決が出来なくなってしまっている。よって、ここでは 2 値化動き情報マスクを作成・適用することで、この問題点の解決を図った。これは、注目領域の表示までが済んでいる元画像に対し、動的背景差分法を用いて動き領域のみの抜き出しを行なった 2 値化画像を重ね合わせることによって、手領域と背景画像が重なった部分だけを取り除くことを目的としている。

3. 実験結果

第 2 章で示した本提案手法の有効性を検証するための実験として Microsoft Office PowerPoint を対象にしたプロジェクターからの投影面に手を触れることによって、プレゼンテーションの際に次ページへの移動機能を実装した。評価プログラムの作成には Microsoft が提供している Microsoft Visual C++ 2010 Express また画像の入出力を利用するために、画像処理ライブラリとして Intel 社の OpenCV2.1 を用いた。

3.1 実験環境

実験の各条件について述べる。手領域と壁面の接触動作における認識率評価のため以下の 3 種類のテストパターン

の組み合わせを表 3.1 に示す。1 つ目は、図 3.1 に示す投影背景画像を色情報の複雑さの違い毎に 3 種類の背景画像を用意した。次に操作者を 10 人用意し、操作する人毎に接触における認識率の違いの平均を算出した。3 つ目は、周辺環境の明るさに対応しているかを測定するために、周辺環境の明るさを 3 段階用意した。実験で用いた PC のスペックは OS: Microsoft Windows XP, CPU: Intel(R) Core i7, 3.4GHz, 16.00GB となっている。撮影には、Logicool 社製の「ロジクール HD プロ ウェブカム C910」を使用した。また、実験での撮影動画は全て 640 x 480、フレームレートは 30fps で実験を行なっている。

表 3.1 テストパターンの組み合わせ

スライドの種類	色情報の複雑さの違い
被験者	10 人を対象としサンプリング
シーンによる違い	周辺が明るい・暗い・その中間

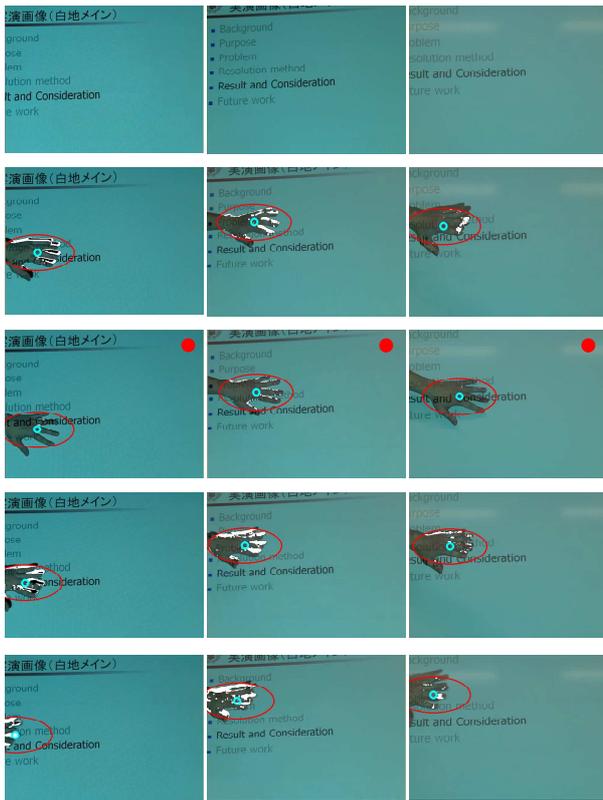
次に、実験に使用した投影背景画像の詳細を記す。色情報の違いによつての認識率の違いを調べた。まずは、背景には白色が多く文字は書かれているが、画像も文字も少なく、あまり色情報としては複雑ではない画像を用意した(図 5.5(A))。次に文字が画面内に占める割合は多いが、画像は少なく色情報としては比較的単調な文字がメインの画像を使用する(図 5.5(B))。最後に、文字も描かれており複雑な色情報の画像が数枚、画像中に存在し背景の白色の面積が少ない色情報メインの画像、以上の 3 種類で実験を進めた。



図 3.1 使用した投影背景画像

3.2 照明環境比較実験

プロジェクターを使用している照明環境を、蛍光灯の付いている明るい部屋、付いていない暗い部屋、蛍光灯は付いていないが日光のある部屋の 3 種類を用意した。図 3.1 の 3 種類のスライドと組み合わせたテストパターンにおいての提案手法の一連の動作の結果を図 3.2 と図 3.3 に示す。結果画像は上から、手と壁面が近づき接触し離れていくまでを表している。途中右上に表示される赤い丸は、手領域と壁面が接触したことを擬似的に表す印として示している。



● 手と壁面の接触状態
 照明(暗) 照明(中間) 照明(明)

図 3.2 提案手法動作結果(白背景)



● 手と壁面の接触状態
 照明(暗) 照明(中間) 照明(明)

図 3.3 提案手法動作結果(画像背景)



● 手と壁面の接触状態
 照明(暗) 照明(中間) 照明(明)

図 3.3 提案手法動作結果(文字背景)

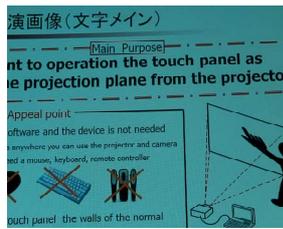
3.3 接触動作精度

3種類のスライドと照明条件と被験者の違いにおけるテストパターンにおいて、壁面と手領域の接触動作の認識率の精度を計測した。手領域と壁面の接触動作を実際に行いながら予めデジタルカメラで撮影したテスト動画での精度を示す。接触動作実験の結果、画像中の色情報の複雑さの違いで投影画像を3種類、周辺環境の明るさを3段階それぞれ用意したテストパターンにおいて、平均約95%以上の接触動作精度を確認した。実際に手領域と壁面の接触動作を行いながらwebカメラから撮影した場合は、フレームレートがリアルタイム処理に至っていないため、実験ごとに精度にバラつきが多く、テスト動画ほどの処理精度は得られなかった。精度結果を図3.5と図3.6と図3.7に示す。

実験動画	照明環境		
	明	暗	中間
A	9/10	10/10	10/10
B	9/10	10/10	9/10
C	10/10	10/10	10/10
D	10/10	10/10	10/10
E	9/10	10/10	9/10
F	9/10	9/10	10/10
G	9/10	10/10	10/10
H	10/10	10/10	10/10
I	9/10	10/10	10/10
J	10/10	10/10	9/10

白背景の面積が多いスライド

図 3.5 接触動作精度(白背景)



文字情報の多いスライド

図 3.6 接触動作精度(文字背景)



画像(色情報)の多いスライド

図 3.7 接触動作精度(画像背景)

4. 考察

接触動作精度の実験結果より、暗い部屋・明るい部屋共に95%を超える認識率が見られた。残りの未検出としては、設定した閾値よりも後ろのフレームで影の量の大小が前後してしまった場合は誤動作が起こってしまう。これらの解決に至っていないエラーパターンを分析し、誤動作の回数を減らす様、提案手法の改良が必用である。提案手法については、手領域の動き情報を用いているため、色情報の複雑な背景画像下にも影響されることなく、手領域追跡が可能なこと確認した。しかし、動画を投影した場合や、プレゼンテーションスライドに動画が添付されていた場合などの手領域以外にも動き情報が存在している事例には対応が出来ていないため、提案手法の改善が必要である。影部分の面積変化については、プロジェクターからの投影面上の手領域という環境の中で、比較的色情報が安定して使用できる手領域の影部分に着目することによって、壁面に対する接触と非接触の違いを判断しカメラ映像における3次元情報の差という問題点を解消し、web カメラ1台のみで、自分の手によって投影面操作が可能であることを確認することができた。しかし、本提案手法を用いても影領域と他の黒色領域を完全に分断出来ているわけではなく手法の更なる改良が必用である。更に、投影画像中の何割が黒色であれば動作しなくなるか・投影画像すべてが黒色であった場合など、提案手法の有効性に対する踏み込みやイレギュラーな環境に対する考察に至ることが出来なかった。投影面の明度による周辺照明環境の判断については、プロジェクター及びプロジェクター内蔵機器の使用シーンを想定し、周辺の照明環境によって投影面の明るさが変わることに着目し、各照明環境の影の閾値を用意することで、室内の明るさの

実験動画	照明環境	明	暗	中間
A		9/10	10/10	9/10
B		9/10	10/10	9/10
C		10/10	10/10	10/10
D		10/10	10/10	10/10
E		10/10	10/10	10/10
F		9/10	10/10	9/10
G		9/10	10/10	10/10
H		10/10	10/10	10/10
I		10/10	10/10	10/10
J		9/10	9/10	10/10

違いに対応している。しかし、投影面は照明状態だけでなく、壁面の色や質感によっても左右されることが想像できるが、それらの条件への対応はできておらず、問題点の発見や提案手法の改善などが必要である。さらに、屋外の実験にも至っていないため、プロジェクター機能内蔵機器の操作性向上の目的のためには、屋外実験への踏み込みも必要である。

5. まとめ

本論文では、現在でも幅広い用途を持つプロジェクターのプレゼンテーションシーンを対象とした、既存のインタフェースを使用せず投影面の操作を自らの手によって行うことのできる、プロジェクター向けのハンドジェスチャーインタフェースの実現を目的とした。これまでに発表されているハンドジェスチャーインタフェース分野の従来研究の手法、関連技術の研究動向などでは、プロジェクター向けジェスチャーインタフェースとしての使用は困難である点がいくつかあり、それらを解決するために、動的背景差分による手領域の動き情報の抽出、手領域における影の面積変化による壁面接触判定、投影面全体の明度値による周辺照明環境の判断という手法を提案した。実験の結果として、Microsoft Office PowerPoint を用いたプレゼンテーションシーンという具体的な対象での動作が可能なること、投影画像・被験者・周辺の明るさの違いといった、一般的な使用シーンを想定したテスト動画上において、投影面に触れた際のクリック動作が95%以上の精度を持つことが確認できた。今後の課題は、プログラムの並列化・関数の自作などの処理時間の改善、動画を含むスライドへの対応、そしてプレゼンテーションの次ページへの移動機能以外の応用も考察が必要である。応用シーンについては幅広く考えられるため、多様化するプロジェクターの実用面としても、活用できる技術ではないかと考えられる。

謝辞

本研究は科研費(23300018)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 田中二郎, 高橋伸, 三末和男, 志築文太郎, “ハンドジェスチャーを用いた公共大画面向けインタフェース”, 2006年度 情報処理学会
- 2) 長谷部尚志, 芦澤寛樹, 山本昇志, “ジェスチャー認識を備えた直観的な画像インタフェース” 2010年2月, 映像情報メディア学会技術報告
- 3) 小川修平, 杉田尚基, 岩井大輔, 佐藤宏介, “指先画像を用いた任意面に対する指先力の検出”
- 4) 玉城 絵美, “直感的な操作のための3次元ジェスチャー認識ライブラリの開発” Processing Library. BRAINY HANDS. 2008年度 上期
- 5) 加藤 裕介, 小嶋和徳, 石亀昌明, 伊藤慶明, “手の形状と動作の認識によるPC操作インタフェース”
- 6) 波部奇, 大矢崇, 松山隆司, “動的環境における頑健な背景差分の実現法” 画像の認識・理解シンポジウム MIRU'98