

修 士 論 文

濃度こう配特徴と SVM を用いた、
正面顔画像からの表面ハイライト
検出

平成 23 年度修了
三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 情報工学専攻

石川 雅典

はじめに

表面ハイライトとは、光源からの光が光沢のある物体表面で鏡面反射することで見える光源の鏡像である。撮影された画像中に表面ハイライトが存在すると、ハイライト部分では、物体本来の色や形状が失われる可能性がある。そのため、物体の固有の色・形状情報と、鏡面反射成分とを分離するために、画像から表面ハイライトを除去する研究が行われている。

主な分離手法として、偏光板を用いて撮影する手法、カメラや光源の位置を変化させながら撮影した複数の画像を用いる方法があるが、これらの手法は撮影済みの画像に適用できないという欠点がある。また、偏光板や複数枚の画像なしに、一枚の画像から表面ハイライトを検出し、除去する手法として、色の明度と彩度の相関関係を利用して、明度が高いのに彩度が低い部分をハイライトとして検出し、明度を下げる手法がある。しかし、この手法では光源条件に一定の制約があり、日常環境で撮影した画像への適用が難しい。

本研究では、輝度値の極大点に注目し、周辺に比べて不自然に輝度の高い画素を表面ハイライトの候補点として検出し、SVM を用いて表面ハイライトらしさを評価し、表面ハイライトを検出する手法を提案する。表面ハイライトの検出処理に注力し、除去は今後の課題とする。

光源の色が白色であることが多いため、表面ハイライトは一般的に、輝度値が高く白に近い色をしている。しかし、同じ白色でも、白い背景は表面ハイライトではない。人が表面ハイライトを検出する場合、周囲の画素と比較して、相対的に輝度値が高いかどうかを判断材料にしている。表面ハイライトが画像中に存在する場合、表面ハイライトの中心部は、光源の鏡面反射成分が強く現れ輝度が高くなり、中心部から遠い位置にある画素ほど、光源の影響が弱くなり物体の拡散反射成分の輝度に近くなる。その性質を利用し、周囲よりも相対的に輝度値が高い画素を表面ハイライトの候補点として検出する。そして、検出された表面ハイライトの候補点を中心とする領域を対象とし、学習済みの SVM を用いて表面ハイライトらしさを評価する。人間が表面ハイライトと判断した領域を SVM を用いて学習することで、表面ハイライト検出の精度向上を試みる。

また、提案手法の定量的な評価を行うために、人間の基準をもとに手動で検出した表面

ハイライトと，提案手法で自動検出した表面ハイライトの検出実験を行った．検出実験の結果 93.5%の検出成功率を得た．

目次

はじめに	i
第 1 章 研究の背景・目的	1
第 2 章 表面ハイライトとは	4
2.1 表面ハイライトの特徴	4
2.2 二色性反射モデル	4
2.3 従来研究	6
第 3 章 表面ハイライトの検出手法	8
3.1 正解画像の作成	8
3.2 輝度値を利用した検出手法の検討	9
3.3 輝度値極大点の利用	9
3.4 輝度差分値の利用	11
3.5 SVM による学習・分類	12
第 4 章 実験	15
4.1 実験条件	15
4.2 表面ハイライトの候補点検出に対する検証	16
4.3 表面ハイライト候補点検出方法の比較	18
4.4 特徴ベクトルの比較	19
第 5 章 まとめと今後の課題	22
5.1 まとめと今後の課題	22
付録 A 付録	24
A.1 プログラムリスト	24
謝辞	25

第 1 章

研究の背景・目的

パターン認識やコンピュータビジョンの分野においては、与えられた画像中の物体形状や色などを固有特徴量として抽出し、認識に用いる。このとき、画像が 3 次元空間を撮影したものであれば、これらの固有特徴量は光源の影響を受けて変化する可能性がある。パターン認識やコンピュータビジョンの分野で扱う画像は、光源の影響を最小限に抑えて撮影することが望ましい。

光源が画像中に与える影響として、白とび、表面ハイライト（鏡面反射）がある。白とびとは、強い光のあたっている部分（ハイライト）が極端に露出オーバーとなり、階調の情報を失って真っ白になることである。8 ビットカラーで画像を表現した場合、RGB 値は全て 255、もしくはそれに近い値となる。画像中に白とびが存在する場合、白とび部分の情報を復元することが難しい。白とびを防ぐには、画像を撮影する際に、カメラの露出を絞る必要がある。表面ハイライトとは、鏡面ハイライトとも呼ばれ、物体表面に光源が映った領域を指す。表面ハイライト領域には、光源が写りこんでいるため、物体本来の情報が失われている場合がある。しかし、白とびをしていない場合であれば、ある程度復元可能である。

図 1.1 に、表面ハイライトの写った画像例を示す。例えば、この顔画像から目を検出する場合、めがねに写っている表面ハイライトに影響を受け、正しく目が検出できない場合がある。目の検出手法には、テンプレートマッチングによる手法、円の Hough 変換と濃度こう配ヒストグラムを用いる手法 [7] がある。テンプレートマッチングによる手法の場合、画像中から特徴量を抽出し、あらかじめ学習済みの目のサンプルと比較し、目を検出する。しかし、表面ハイライトを含んでいると抽出した特徴量が変化し、検出精度に影響を与える。また、画像中で表面ハイライトと目が被り、目の特徴が消えてしまう場合がある。その場合、正しく目が検出されない場合がある。円の Hough 変換と濃度こう配ヒストグラムを用いる手法の場合、目が円形のこう配をもつという特徴を用いて目を検出するが、表面ハイライトにも強いこう配強度があり、表面ハイライトを誤検出する場合があ

る．そのため，目などの物体検出に inputs する画像は，表面ハイライトが写っていない画像を inputs することが望ましい．



図 1.1: 表面ハイライトの写った画像例

しかし，カメラが固定されている場合や，撮影済みの画像を用いる場合など，光源の影響を最小限に抑えた画像を用意できない場合もある．そこで，物体の固有情報と，光源の影響とを分離するために，鏡面反射成分（入射光と同色の成分）と拡散反射成分（物体色の成分）とを分離する研究が盛んに行われている [1][2][3][4][5][6]．

光が物体表面で反射する場合，鏡面反射光と拡散反射光の 2 種類に分けることができる．鏡面反射光は光源が物体表面で反射した光で，拡散反射光とは物体そのものの色味を表す光である．図 1.2 に鏡面反射と拡散反射の例を示す．拡散反射の部分では物体本来の色である茶色をしているが，鏡面反射の部分では光源の色である白色に近い色をしている．これは，鏡面反射が，光源方向に対する正反射方向に視点がある場合に観測される現象だからである．正反射方向とは，物体表面の法線ベクトルに対し，入射角と反射角が等しくなる方向である．鏡面反射光の影響が強く表れる領域を，一般に表面ハイライトとも呼ぶ．表面ハイライトが画像中に現れると図 1.2 に示す鏡面反射の部分のように，本来の色や形状などの情報が失われる可能性がある．表面ハイライトの除去や軽減は，画像分割や物体認識，トラッキングなどの処理の高精度化に寄与すると考えられる．

従来手法の主な分離手法として，撮影時に偏光板を用いる手法 [1][2] や，カメラ位置や光源位置を移動させる手法 [3][4] がある．撮影時に偏光板を用いる手法は，反射光の鏡面反射成分と拡散反射成分の偏光の違いを利用したものであるが，撮影時に偏光板が必要であり，通常のカメラで撮影済みの画像には適用できないという問題がある．また，カメラ

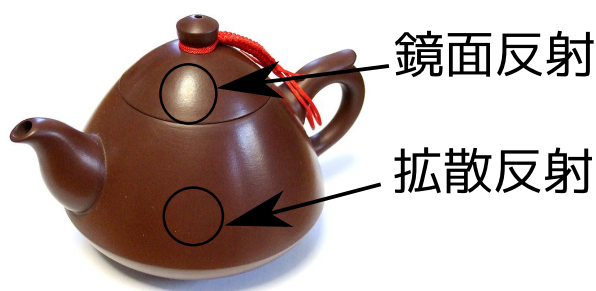


図 1.2: 鏡面反射と拡散反射

位置や光源位置を移動させる手法は、カメラ位置や光源位置を移動させながら画像を撮影すると、画像ごとに表面ハイライトの位置が変化するので、これらの複数枚の画像を用いて表面ハイライトを分離する。しかし、複数枚の画像を必要とするので扱うデータ量が大きくなり、依然として通常のカメラで撮影済みの画像には対応できないという問題がある。

偏光板や複数枚の画像を用いず、一枚の画像から表面ハイライトを検出・除去する手法として、彩度と明度の相関関係を利用した手法がある [5][6]。これらの手法は、明度と彩度が比例関係にあることを利用して、明度が高いのに彩度が低い画素値の明度を制限する手法であるが、光源条件に一定の制約があり、さまざまな光源の影響を受ける日常環境への適用は難しい場合がある。

表面ハイライトを完全に除去できなくても、表面ハイライトが画像中のどこに存在するか検出できるだけで有意な場合もある。例えば、表面ハイライトの検出は、パターン認識に不向きな画像の判断や、表面ハイライトを起こしやすい材質からなる物体の検出、強いハイライトのみの除去などに応用できる。

特に従来手法では、画像全体に処理する手法が多く、処理を適用すると、画像全体が暗くなったり、色彩が失われてしまうことが多い。そのため、表面ハイライトの写っている局所領域のみ、表面ハイライト除去を適用できれば、画像中の輝度値や色彩変化を最小限に抑えつつ、表面ハイライト除去を適用することができる。よって、画像分割や物体認識、トラッキングなどの処理に影響を与えるような表面ハイライトのみを検出することで、これらの処理に影響を与える表面ハイライトだけを除去することに応用できる。

本研究では、表面ハイライトの除去の前処理である、表面ハイライト検出処理に焦点をあわせ、特に人物顔画像中から、顔部品の検出処理に邪魔になる表面ハイライトのみを検出することを目的とする。

第 2 章

表面ハイライトとは

2.1 表面ハイライトの特徴

表面ハイライトは光源の鏡像であるため，一般的に輝度値が高く白色に近い．しかし，同じ白色でも，白い背景は表面ハイライトではない．人が表面ハイライトを認識する場合は，周囲の領域の画素値と比較して判断している．

図 2.1 に，表面ハイライトの例と，赤線部の画素の輝度値の変化をグラフにしたものを示す．図 2.1 のグラフに示すように，グラフの中心部分にある，表面ハイライトの画素の輝度値は，周囲の画素の輝度値に比べて高いことがわかる．また，光源の影響が中心部の方が強く現れ，中心部から遠い位置にある画素ほど，光源の影響が弱くなるため，グラフは山のような形をしている．

また，表面ハイライトは図 2.2 (a) に示すように，中心部とその周辺の二つの部分に分けることができる．中心部では，視線の正反射方向に光源があり，画像中では白とびしている場合が多い．図 2.1 のグラフでは最大点付近にあたる．周囲部分は，白色と物体本来の色との中間色で画像中に現れる．図 2.2 (b) を例にすると表面ハイライトの中心部分は白っぽい色をしている．また，周囲部分は茶色と白の中間色をしていることがわかる．図 2.1 のグラフ中では，山腹にあたる．

2.2 二色性反射モデル

二色性反射モデルとは，S.A.Shafer によって提案されたモデル [8] で，「反射光のスペクトルは，拡散反射のスペクトルと鏡面反射のスペクトルの線形和で表すことができる」というものである．図 2.3 は拡散反射成分と鏡面反射成分の性質を示している．拡散反射成分の光は物体表面に達すると，全方向に均一に反射し，観測方向に依存せずどの方向から同じ強度で観測される．それに対し，鏡面反射成分の光は，物体表面の法線ベクトルに

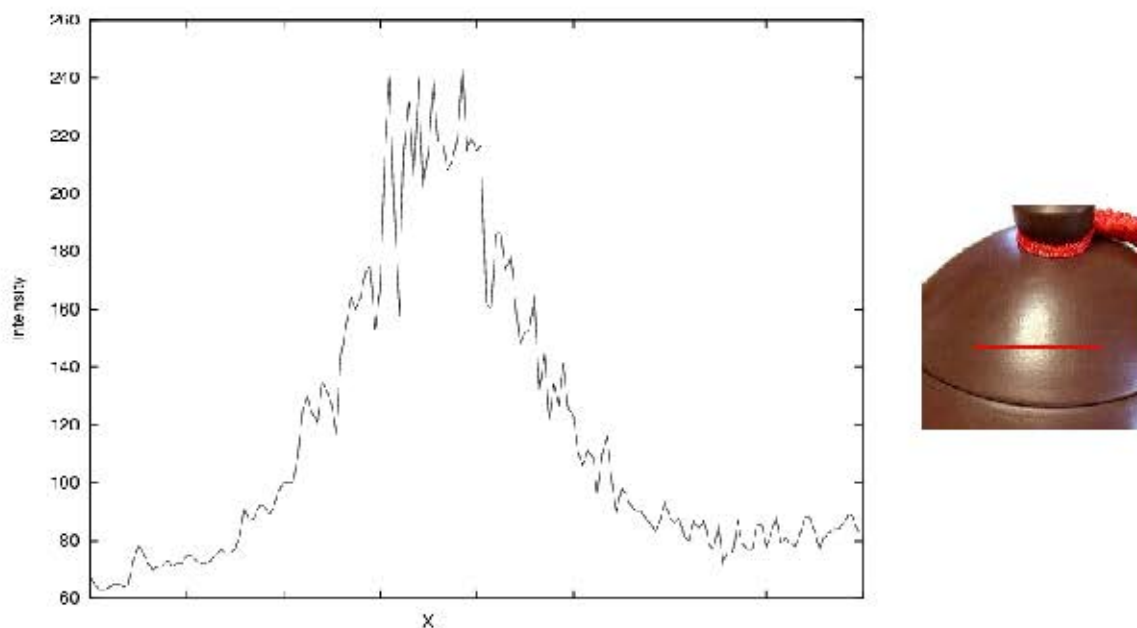
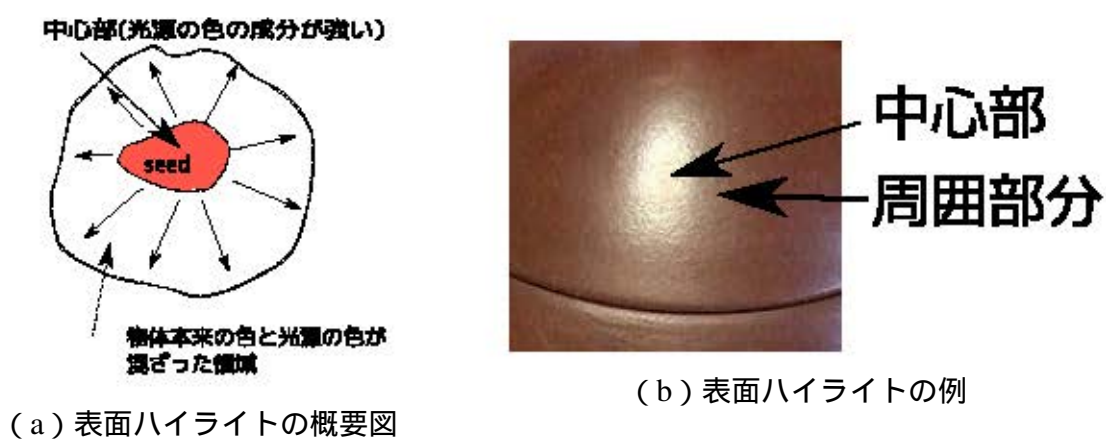


図 2.1: 右図の赤線部の画素の輝度値を表したグラフ



(a) 表面ハイライトの概要図

(b) 表面ハイライトの例

図 2.2: 表面ハイライトの性質

対し，入射角と反射角が等しくなるベクトル線上に視点があるときに最も強く観測され，反射角と観測方向の角度が大きくなるにつれ観測されなくなる．そして，物体表面の素材にも影響を受け，物体表面が滑らかな場合に強く観測され，物体表面がざらざらな場合にはあまり観測されない．実際に我々が知覚する光は，図 2.3(a) に示すように，拡散反射成分と鏡面反射成分の和で表されている．

この反射モデルを利用して，反射光の輝度を I ，拡散反射光の輝度を I_d ，鏡面反射光の輝度を I_s とすると，二色性反射モデルでは，

$$I = I_d + I_s \quad (2.1)$$

と表すことができる．そして，表面ハイライトを除去するということは，鏡面反射光の輝

度 I_s を 0 にすることに等しい。

本手法では、二色性反射モデルを利用し表面ハイライト検出を行う。画像中で表面ハイライトを含む領域の画素は、鏡面反射光の輝度 I_s 分だけ、表面ハイライトを含まない領域の画素より輝度値が高いと考えられる。つまり、周囲の画素の輝度値より相対的に高い輝度値をもつ画素を検出することで、表面ハイライトが検出できる。

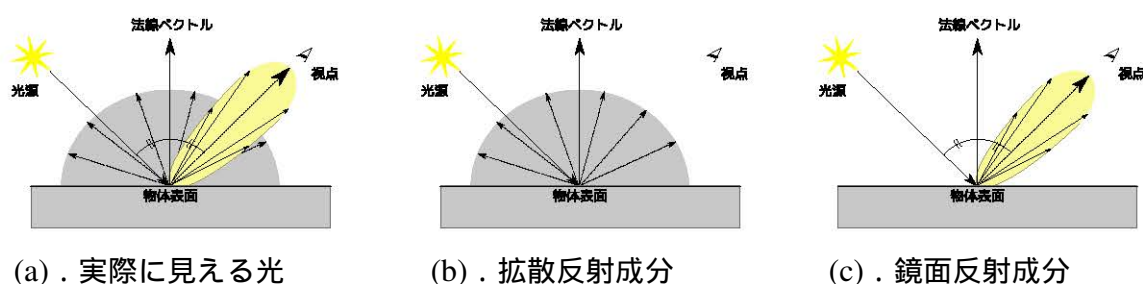


図 2.3: 実際に見える光と拡散反射成分、鏡面反射成分の性質

2.3 従来研究

従来手法は、以下の 3 つのグループに分けることができる。

- 撮影時に偏光板を用いる手法
- カメラや光源を移動させる手法
- 彩度と明度の相関関係を利用した手法

各手法に関して、代表的な手法を紹介する。

撮影時に偏光板を用いる手法 [1][2]

光源が物体表面で反射する場合、光源が偏光する特性がある。物体表面に対して平行な振幅成分が強調されるため、偏光版の方向を物体表面と垂直方向に向けてやることで表面ハイライトが除去できる。しかし、表面ハイライトを適切に除去するためには、偏光板を適切に取り付ける必要がある。また、反射する物体表面により偏光が異なるため、複数の物体表面に写った表面ハイライトを同時に除去できない。撮影時に偏光板が必要であり、通常のカメラで撮影済みの画像には適用できない。

カメラや光源を移動させる手法 [3][4]

鏡面反射成分の光は，物体表面の法線ベクトルに対し，入射角と反射角が等しくなるときに最も強く観測され，入射角と反射角の差が大きくなるにつれ観測されなくなる．その性質を利用し，カメラや光源を移動させながら撮影することで，画像ごとに表面ハイライトの位置が変化する．そして，撮影された複数枚の画像から，表面ハイライトを分離する．

複数枚の画像を撮影する必要がある，計算時間が膨大になる，扱うデータが大きいといった問題がある．また依然として撮影済みの画像に適用できない．

彩度と明度の相関関係を利用した手法 [5][6]

偏光板や複数枚の画像を用いず，一枚の画像から表面ハイライトを検出・除去する手法として，彩度と明度の相関関係を利用した手法がある．これらの手法は，同一の色相をもつ物体表面の拡散反射においては，明度と彩度が比例関係にあることを利用して，明度が高いのに彩度が低い画素値の明度を制限する手法である．しかし，光源条件に一定の制約があり，特に光源が複数存在する場合や，光源が白色でない場合，表面ハイライトを除去できない．また，画像が暗くなり色彩が失われる問題もある．

第 3 章

表面ハイライトの検出手法

3.1 正解画像の作成

検出実験の評価を定量的に行うために，正解画像を作成した．正解画像とは，最低限検出してほしい表面ハイライトの領域を，手作業で赤い色に着色した画像である．この正解画像は全ての画像に対して 1 枚ずつ作成した．原画像とその正解画像の例を図 3.1 に示す．図 3.1 (b) に示すように，メガネのレンズにある検出してほしい表面ハイライトを赤色で着色してある．正解画像はめがねの表面ハイライト領域を目視で判断して作成した．



(a) 原画像の例



(b) 正解画像の例

図 3.1: 原画像とその正解画像の例

3.2 輝度値を利用した検出手法の検討

図 3.2 に、白とびを検出した画像例を示す．図 3.2 の画像は、輝度値が 8 ビットカラーで 255 の画素を赤色で着色してある．背景が白とびしている場合が多く、眼鏡付近の表面ハイライトが白とびしているケースは少なかった．また、図 3.3 に、輝度値が 8 ビットカラーで 128 以上の画素を赤色で着色した例を示す．単に、輝度値の高い画素を表面ハイライトとして検出するだけでは、背景なども表面ハイライトとして検出されてしまう．本研究の目標とする、パターン認識に邪魔となる表面ハイライトのみ検出するためには応用が難しい．



図 3.2: 白とびの検出例（白とび領域を赤色で着色した例）

3.3 輝度値極大点の利用

2.1 節で、表面ハイライトを含む領域は輝度値の分布が山のような形をしていることを述べた．この特性を利用し表面ハイライトを検出する手法として、輝度値の極大点を用いた．輝度値の極大点を検出することで、表面ハイライトを検出できると考えられる．しかし、輝度値の極大点全てが表面ハイライトであるとは限らない．そこで何らかの方法を用いて、表面ハイライト領域にある極大点か、その他の領域にある極大点か分類する必要がある．分類する方法については後で述べ、ここでは輝度値の極大点について述べる．

輝度値の極大点は以下の手順を用いて検出する．まず、入力画像のノイズによる影響を少なくするため、移動平均フィルタを用いて 20 回平滑化した．次に輝度値の極大点を検出する．極大点は、注目画素の輝度値が、八近傍の画素の輝度値より同じか高い点とす



図 3.3: 輝度値 128 以上の画素を赤色で着色した画像例

る．そして，得られた極大点を表面ハイライトの候補点とする．

しかし，この手法で求めた候補点には，明らかに表面ハイライトとは異なる点が多数存在する．そのため，以下の条件を用いて，表面ハイライト候補点の削減を行った．

- 低い輝度値をもつ候補点の削減
- 座標が近い候補点の削減

低い輝度値をもつ候補点の削減とは，表面ハイライトが高い輝度値をもつことを利用して．本実験では，8 ビットのカラー画像を利用しているため，輝度値 100 以下の候補点を削除した．輝度値 100 以下としたのは，輝度値 80 以下の候補点を削減，輝度値 100 以下の候補点を削減の二つの条件で，候補点検出実験を行ったところ，輝度値 80 以下の候補点を削減では，検出されない表面ハイライト領域中の候補点が存在したためである．しかし，輝度値 100 以下の候補点を削減では，全ての表面ハイライト領域内で候補点が検出されていた．

座標が近い候補点の削減とは，表面ハイライトが一定の領域をもつことを利用している．本実験では，3.5.1 節で述べる，濃度こう配特徴抽出する領域を， $L \times L$ 画素の正方領域としている．そのため，ある候補点から半径 $\frac{L}{2}$ 画素以内に別の候補点が存在する場合，輝度値が高い方の候補点を優先した．図 3.6 (A) に，輝度値の極大点を用いて求めた表面ハイライトの候補点の例を示す．図 3.6 中の青い点が表面ハイライトの候補点である．しかし，この手法では，白い背景など輝度値の高い領域を候補点とすることが多く，単に輝度値の高い画素と表面ハイライトの画素との区別が付きにくい．

3.4 輝度差分値の利用

表面ハイライトは，局所的に輝度値が高いという特徴がある．そのため，局所的に輝度値が高い画素を検出することで，表面ハイライトが検出できると考えられる．つまり，局所的に輝度値の高い画素を検出し，表面ハイライトを検出する．

周囲の画素より相対的に高い輝度値をもつ画素を検出するために，注目画素（図 3.4 の領域 A）の周囲，外円半径 L_1 ，内円半径 L_2 とする，ドーナツ領域（図 3.4 の領域 B）にある画素の平均輝度値 I_B を求め，注目画素の周囲の輝度値 I_A との差分値 $D = \max(I_A - I_B, 0)$ を求めた．この差分値 D が大きい値をもつ画素ほど，周囲より明るい画素であると言える．画素ごとに D を求めるフィルターを輝度差分値検出フィルターと呼ぶことにする．図 3.5 (b) の画像は，図 3.5 (a) の画像を輝度差分値検出フィルターで求めた輝度の差分値 D を輝度値に置き換えた画像である．白い画素ほど D の値が大きく，黒い画素ほど D の値が小さい．図 3.5 (c) のグレースケール画像と比較すると，めがね付近の表面ハイライトの領域や顔領域と背景の境界など，輝度値が急激に変化する領域が白くなっていることがわかる．そして，得られた輝度差分値 D の極大点を求め，表面ハイライトの候補点とする．極大点は輝度値極大点と同じ方法で求める．輝度値の極大点を用いた場合と，輝度値差分検出フィルターを用いた場合について比較する．図 3.6 (B) に，輝度差分値の極大点を用いて求めた表面ハイライトの候補点の例を示す．図 3.6 中の青い点が表面ハイライトの候補点である．輝度値の極大点を利用した場合に比べ，境界付近に候補点が集中している．

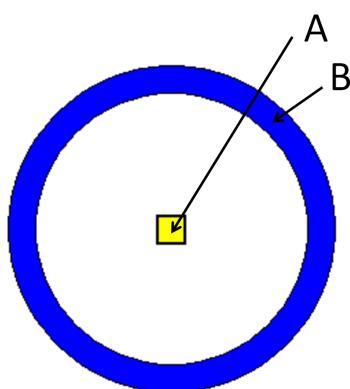


図 3.4: 輝度差分値検出フィルターの概要図．領域 B は周囲の平均輝度値を求める際に利用する画素，領域 A は注目画素を示す．



(a) 原画像 . (b) 差分値 D を輝度値に置き (c) 通常のグレースケール画換えた画像 (白い画素ほど差分値が大きい).

図 3.5: 輝度差分値検出フィルターの処理結果

3.5 SVM による学習・分類

輝度値の極大点や輝度差分値の極大点を表面ハイライトとして検出すると、表面ハイライト以外の領域が多く検出されてしまう。そこで、検出された表面ハイライトの候補点が表面ハイライトであるか、そうでないかを、パターン認識によって識別する。特徴ベクトルは濃度こう配特徴 [9] とし、識別器には SVM を持ちいる。

3.5.1 濃度こう配特徴 [9]

3.3, 3.4 節で求めた候補点を中心とする、 $L \times L$ の領域を抽出し、特徴ベクトルを抽出する。本手法では濃度こう配特徴を用いる。濃度こう配特徴とは、こう配の向きと強度を積算したヒストグラム特徴量である。こう配の計算には Sobel フィルターを用いて求める。

濃度こう配特徴を用いることで、表面ハイライト領域とその他領域の境界の特徴を学習できると考えられる。

この手法では輝度値のこう配の向きや強度の情報を利用できるが、色情報を利用できない。しかし、本研究では、正面顔に現れる表面ハイライト検出を対象としているため、顔の色情報が検出精度向上に有効であると考えられる。そこで、R 値の濃淡、G 値の濃淡、B 値の濃淡に対する濃度こう配特徴ベクトルをそれぞれ抽出し、得られた濃度こう配特徴



(a) 輝度値の極大点利用 .

(b) 輝度差分値の極大点利用 .

図 3.6: 表面ハイライトの候補点を青い点で示した例)

ベクトルを連結して、3 倍の次元数を持つ濃度こう配特徴ベクトルとした。この特徴ベクトルを RGB 値別の濃度こう配特徴ベクトルと呼ぶ。RGB 値別の濃度こう配特徴ベクトルを用いることで、表面ハイライト領域は白い色、表面ハイライトの周囲の画素には肌色が多いという情報を利用できると考えられる。

3.5.2 ラベル付け

SVM で学習を行うためにラベル付けを行った。正解画像の原画像から提案手法で表面ハイライト候補点を求め、それが目視判定で表面ハイライトと判断した画素であれば、候補点を中心とする $L \times L$ 画素の領域に、「表面ハイライトを含む領域」のラベルを付け、それ以外の領域には「その他の領域」のラベルを付けた。この正解ラベルを用いて SVM の学習を行い、表面ハイライト領域として自動検出された候補点を中心とする $L \times L$ 画素領域の特徴ベクトルを入力して、表面ハイライトを絞り込む。また性能評価にもこのラベルを用いる。

3.5.3 Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine (SVM) とは、2 クラス分類を行う場合に高い性能を示すことが知られている分類器である。SVM が 2 クラス識別器として優れているモデルである理由に、学習サンプル中のサポートベクター（クラス境界に最も近いサンプル）との距離が最大となる境界面を求めるマージン最大化と、カーネル学習法による非線形の判別問題へ

拡張が挙げられる．本研究では LIBSVM Ver.2.89[11] を用いた．

SVM は本来は線形分離不可能な問題には適用できない．線形分離不可能な問題へ対応するため，ソフトマージン法とカーネル関数法が考案されている．

ソフトマージン法とは，2 クラスの分布が線形分離不可能な場合に，学習サンプルがマージン内にあったり，決定境界の対立クラス側にある状況にある程度許容するものである．しかし，対立するクラスに分類されてしまったり，正しく分類されているがマージン内に侵入してしまったサンプルにはペナルティを与える．ペナルティと，マージンの大きさの間のトレードオフを制御するパラメータとして，*cost* という変数を用いる．

カーネル関数法とは，カーネル関数を用いてパターンを有限もしくは無限次元の特徴空間へ写像し、特徴空間上で線形分離を行う手法である．本研究では，多くの場合に最も高い分離性能を示す，RBF カーネル（ガウシアン型カーネル）を用いた．RBF カーネルは，

$$K(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \exp(-\gamma |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2|^2) \quad (3.1)$$

で表される．カーネル関数を取り入れた一連の手法では，どのような写像が行われるか知ることなく，高次元空間中における 2 点間の距離や類似度を計算できるので，カーネルトリックと呼ばれる．

しかし，*cost* と γ には適切な値を設定する必要がある．本研究では LIBSVM ライブラリに付属するパラメータサーチプログラムを用いて，*cost* と γ の値を決定した．

LIBSVM ライブラリは，2 クラス分類を行うだけでなく，クラス決定境界と入力データとの距離を出力することができる．決定境界から，表面ハイライトクラスへ近づくほど，正の大きな値が出力され，その他クラスに近づくほど，負の絶対値が大きな値が出力される．境界線上では 0 となる．この出力値を表面ハイライトらしさの程度を表す評価値として用いる．この評価値にしきい値を設定し，しきい値以上なら表面ハイライト領域，しきい値より小さければその他の領域と判定する．

SVM に，表面ハイライトを含む領域か，その他の領域かを分類させるために学習を行った．学習にはあらかじめ用意した学習用画像を用いた．学習用画像から，輝度値の極大点，輝度差分値の極大点のいずれかの方法を用いて表面ハイライトの候補点を抽出した．候補点を中心とする $L \times L$ 画素の領域から，濃度こう配特徴ベクトルを抽出した．そして，3.5.2 節で付けたラベルを用いて学習を用いた．また，学習には抽出された領域全てを用いた．

第 4 章

実験

4.1 実験条件

4.1.1 実験に使用する画像

提案手法の有効性を示すため，FERET データベース [10] に含まれる正面顔画像 40 枚を用いて，表面ハイライトの検出実験を行った．これらの 40 枚の画像は，主にめがねのレンズ部分に表面ハイライトを含んでいる．

4.1.2 評価方法

実験は，40 枚の画像を 10 のグループに分け，1 グループ 4 枚の画像を評価用，残り 9 グループ 36 枚の画像を学習用に用いる 10 分割交差検定法で実施した．検出結果の評価は，40 枚の実験画像に対する平均検出成功率で行う．検出成功率とは，目視で表面ハイライトと判断した領域のうち，SVM でも表面ハイライトの領域と評価した候補点の割合である．候補点全ての分類成功率で評価を行わないのは，表面ハイライトを含む領域数に比べ，その他の領域数が多く，適切な評価が行えないと判断したためである．領域毎に SVM の評価値を求めておき，しきい値を変化させながら表面ハイライト領域とその他の領域を分類し，それぞれ再現率と検出精度を求めた．再現率と検出精度はそれぞれ，正解画像の赤い領域（めがねの表面ハイライトと判断した領域）のうち検出成功した画素数の割合と，表面ハイライトとして検出された画素のうち正解画素数の割合を示す．そして，再現率が検出精度と等しくなるときの値を，検出成功率として性能評価した．また，濃度こう配特徴を抽出する領域サイズは $L = 80$ に固定した． $L = 80$ としたのは， L を変化させて予備実験を行ったところ，検出成功率が高かったためである．

4.2 表面ハイライトの候補点検出に対する検証

輝度値極大点を利用して，表面ハイライトの候補点を検出し，SVM を用いて評価する手法を提案した．そこで，輝度値極大点を利用して，表面ハイライトの候補点を検出することの有効性について検証した．輝度値の極大点を用いて求めた，表面ハイライトの候補点を中心とする領域のみ SVM で評価する手法と，画像中の全領域を評価する手法で比較実験を行った．

画像中の全領域を評価する手法に対する実験

画像中の全領域を評価する手法について，学習部について説明する．はじめに，図 4.1 に示すように，画像から縦横 20 画素ずつスライドさせながら， 80×80 画素の小領域を抽出し，濃度こう配特徴ベクトルを求める．次に，抽出された領域に対しラベル付けを行った．ラベル付けは，領域内に目視抽出で表面ハイライトと判断した画素が 300 画素以上の領域を，表面ハイライト領域，それ以外の領域をその他の領域とする．300 画素以上としたのは，予備実験により最も検出成功率が高かったためである．求めた濃度こう配特徴ベクトルとラベルを用いて，SVM で学習用データを作成した．その他領域は表面ハイライト領域に比べ数が多い．よって，学習に用いるその他領域は，表面ハイライト領域と同じ数だけランダムに選び学習に使用した．SVM のパラメーター γ , $cost$ は表 4.1 に示す通りである．

そして，評価用画像に対し，画像から縦横 40 画素ずつずらしながら， 80×80 画素の小領域を抽出し，学習済みの SVM に入力，評価を行った．評価の結果，62.5%の検出成功率を得た．

表面ハイライトの候補点のみ評価する手法に対する実験

輝度値の極大点を表面ハイライトの候補点する手法に対する実験について説明する．3.3 節の方法を用いて，表面ハイライトの候補点を求めた．次に，学習用画像に対し，求めた候補点を中心とする 80×80 画素の領域から濃度こう配特徴を求め，ラベル付けを行い，全ての領域を SVM に入力し学習を行った．SVM のパラメーター γ , $cost$ は表 4.1 に示す通りである．

評価用画像からも表面ハイライトの候補点を，輝度値の極大点を用いて検出し，候補点を中心とする 80×80 画素の小領域を領域から濃度こう配特徴を抽出し評価を行った．評価の結果，87.3%の検出成功率を得た．

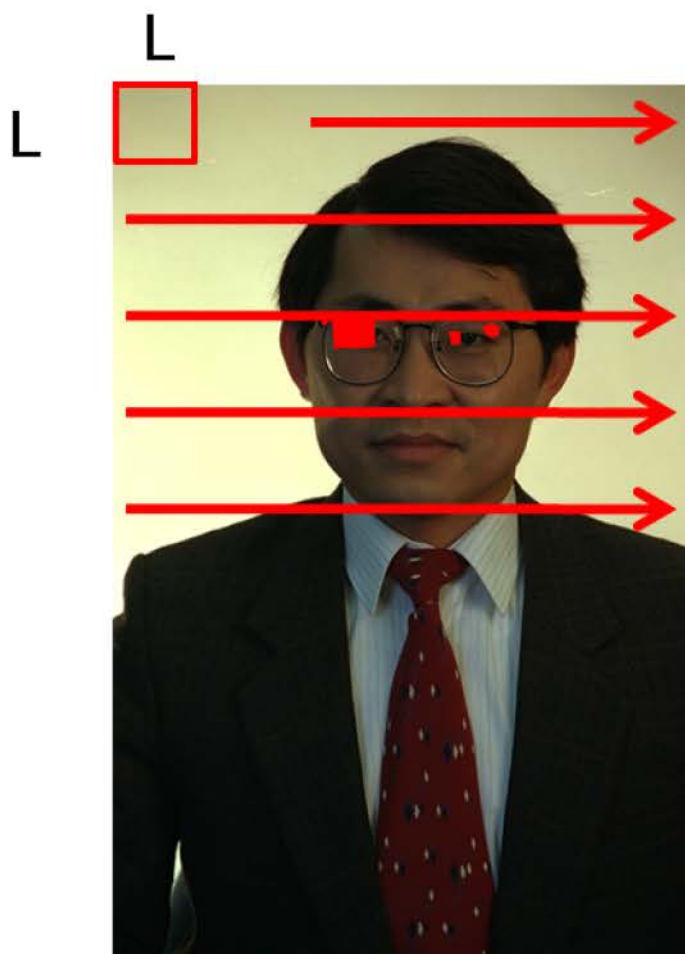


図 4.1: 画像中の全領域を評価する手法の領域抽出方法

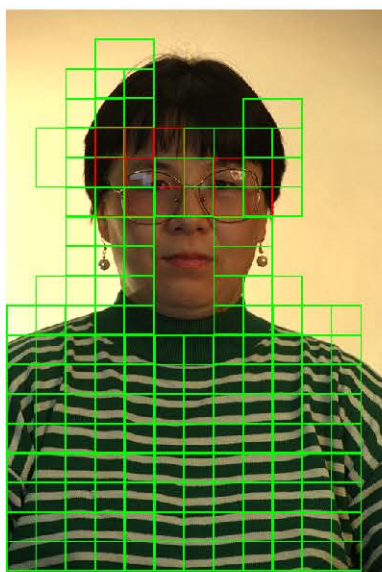
表 4.1: SVM のパラメーター

	γ	$cost$
全領域を評価	0.0078	2.0
表面ハイライトの候補点のみ評価	0.0078	2.0

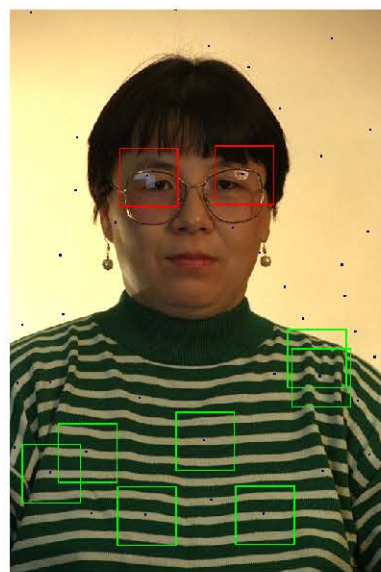
考察

この比較実験により、濃度こう配特徴と SVM だけを用いて、表面ハイライトを検出する手法には限界があることがわかった。図 4.2 に検出結果画像を示す。図中の赤枠、緑枠はそれぞれ、表面ハイライト領域、誤検出の領域を示す。全領域を SVM で評価すると、白い服や縞模様の服、顔領域と背景との境界付近に誤検出が多いことがわかる。しかし、輝度値の極大点を用いて、領域を削減することで、誤検出が削減され、輝度値の極大点で

表面ハイライトの候補点を検出する手法が有効であることがわかった。



(a) 全領域を評価



(b) 輝度値極大点で求めた候補点のみ評価

図 4.2: 検出に用いる候補点の比較

4.3 表面ハイライト候補点検出方法の比較

次に、3.3、3.4 節で述べた二通りの表面ハイライトの候補点検出方法について、比較実験を行った。SVM のパラメーター γ , $cost$ は LIBSVM のパラメーターサーチプログラムを用いて表 4.2 の用に定めた。輝度差分値を求める外円半径 L_1 は 25 画素、内円半径 L_2 は 15 画素とした。外円半径、内円半径の値は予備実験で、検出成功率が最も高かった値である。

表 4.2: SVM のパラメーター

	γ	cost
輝度値の極大点	0.0078	2.0
輝度差分値の極大点	0.0078	8.0

結果と考察

輝度値の極大点を利用して候補点を検出した場合、検出成功率 87.7% が得られた。輝度差分値の極大点を利用して候補点を検出した場合、検出成功率 92.2% が得られた。図 4.3 に、SVM の出力値に対するしきい値を変化させたときの再現率と検出精度のグラフを示

す．横軸は再現率，縦軸は検出精度を表している．この結果から，輝度差分値の極大点を利用して候補点を検出した方（Difference）が性能が良いと言える．図 4.4（b）に輝度値の極大点を用いて表面ハイライトを検出した場合，（b）に輝度差分値の極大点を用いて表面ハイライトを検出した場合の検出結果を示す．図中の赤枠，緑枠はそれぞれ，表面ハイライトの領域，誤検出の領域を表す．どちらの手法を用いた場合でも，眼鏡付近の表面ハイライトが検出されている．しかし，輝度値の極大点を用いて候補点を検出した場合には，輝度差分値の極大点を用いて候補点を検出する場合に比べ，服でも誤検出が多い．

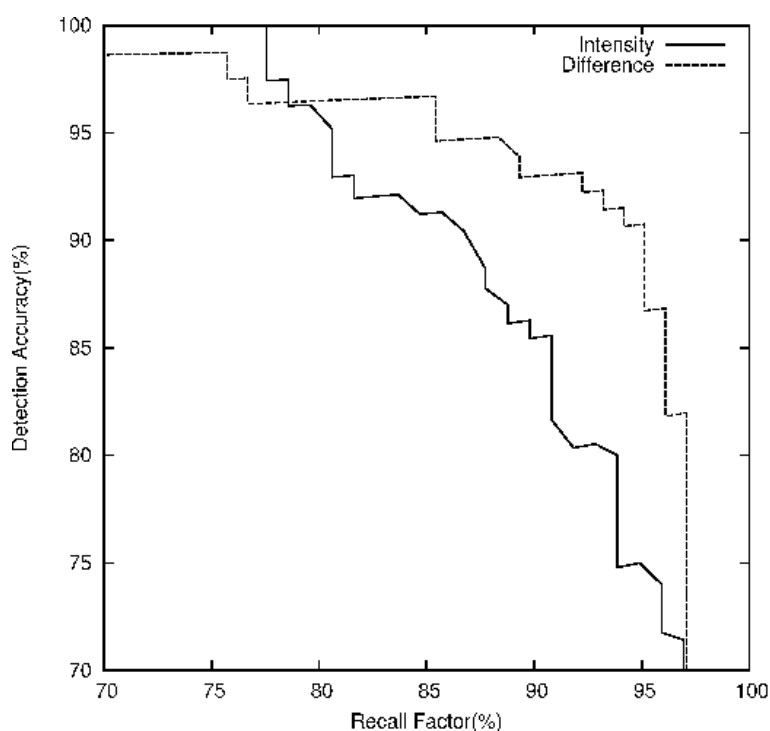


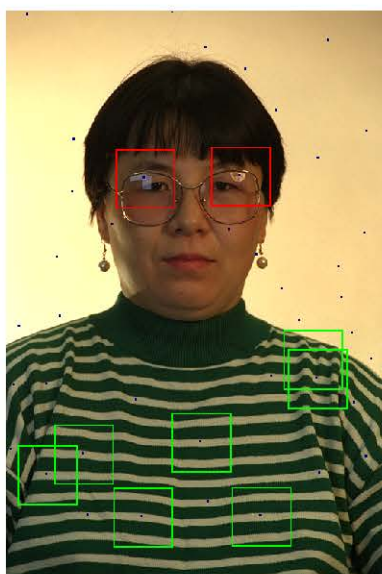
図 4.3: 表面ハイライト候補点の検出方法の比較結果

4.4 特徴ベクトルの比較

次に，3.5.1 節で説明した 2 種類の濃度こう配特徴を用いて比較実験を行った．SVM のパラメーター γ ， $cost$ は表 4.3 に示す通りである．輝度差分値を求める外円半径 L_1 は 25 画素，内円半径 L_2 は 15 画素とした．

結果と考察

輝度値の濃度こう配特徴ベクトルでは，検出成功率 92.2%，RGB 値別の濃度こう配特徴ベクトルでは，検出成功率 93.5% が得られた．図 4.5 に，SVM の出力値に対するしき



(a) 輝度値の極大点利用 .



(b) 輝度差分値の極大点利用 .

図 4.4: 二つの候補点検出方法の検出結果の比較

表 4.3: SVM のパラメーター

	γ	cost
輝度値の濃度こう配	0.0078	8.0
RGB 値別の濃度こう配	0.0019	8.0

い値を変化させたときの再現率と検出精度のグラフを示す．横軸は再現率，縦軸は検出精度を表している．RGB 値別の濃度こう配特徴ベクトルを利用すると，僅かではあるが性能が向上した．図 4.4 (a) に輝度値の濃度こう配特徴ベクトルを用いて表面ハイライトを検出した場合，(b) に RGB 値別の濃度こう配特徴ベクトルを用いて表面ハイライトを検出した場合の検出結果を示す．図中の赤枠，青枠はそれぞれ，表面ハイライトの領域，未検出の領域を表す．どちらの手法を用いた場合でも，めがね付近の表面ハイライトが検出されている．輝度値の濃度こう配特徴ベクトルでは眼鏡の右レンズで未検出があった．しかし，RGB 値別の濃度こう配特徴ベクトルを用いると改この未検出部分が善され検出された．めがねのブリッジ付近の表面ハイライトはどちらの手法でも検出できなかった．

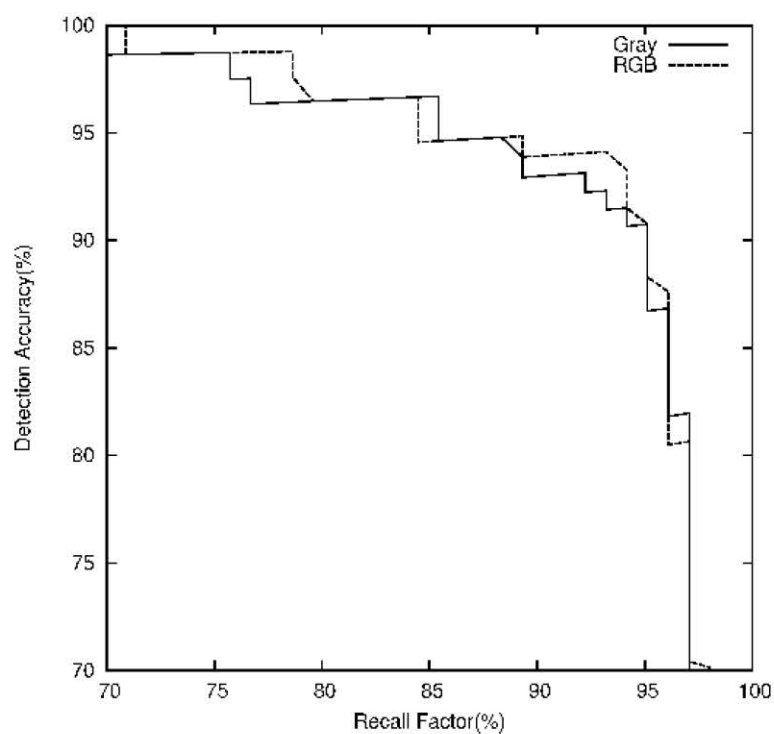


図 4.5: 特徴ベクトルの比較結果



(a) 輝度値の濃度こう配特徴



(b) RGB 値別の濃度こう配特徴

図 4.6: 二つの特徴ベクトルの検出結果の比較

第 5 章

まとめと今後の課題

5.1 まとめと今後の課題

提案手法では，表面ハイライトの候補点検出に輝度差分値の極大点，濃度こう配特徴に RGB 値別の濃度こう配特徴を用いた場合に，表面ハイライトの検出成功率 93.5% が得られた．周囲よりも相対的に輝度値が高い画素を検出し，その画素を中心とした領域を SVM で評価することで，狙った表面ハイライトの検出が可能であることがわかった．また，検出結果画像を確認すると，未検出と判断された領域は， 80×80 画素の濃度こう配特徴抽出に用いた領域面積に比べ，表面ハイライト領域の面積が小さい場合が多い．誤検出は白い服や縞模様の服，明るい背景との境界などで多いことがわかった．しかし，明るい背景などを誤検出することは少ないので，単に輝度値の明るい特徴点を検出するよりも検出精度が高いと言える．

他の表面ハイライト検出手法では，表面ハイライト全てを検出する手法が多い．本手法では，SVM の学習に用いる正解画像に似た，表面ハイライトのみの検出が容易であり，撮影済みの画像から複数枚の画像を用いず表面ハイライトが検出可能である．しかし，SVM の学習に用いる正解画像に似た表面ハイライトを高精度で検出するには，十分な学習データを用意する必要がある．学習データによる検出精度の違いの検証は今後の課題である．また，輝度差分値を求める際に使用した円の半径，濃度こう配特徴を抽出する領域のサイズなど，画像サイズや表面ハイライト領域の大きさに左右されるパラメーターが存在する．そのため，画像サイズや表面ハイライト領域の大きさに依存しない検出手法も検討する必要がある．

本手法では，人物の正面顔画像のみを用いて実験を行った．しかし，パターン認識などで用いる画像は，人物画像だけではない．人物画像以外でもこの手法が適用できるのか検討する必要がある．さらに，人物画像と風景画像等，表面ハイライトが写る素材が異なる場合でも，一つの学習データで対応できるのかといった問題が存在する．

本手法では表面ハイライト検出に焦点を当てて研究を行った。しかし、表面ハイライトを除去・軽減まで処理することが望ましい。本手法の検出結果を用いて、表面ハイライトを局所的に除去することで、パターン認識に与える影響を調べる必要がある。

付録 A

付録

A.1 プログラムリスト

プログラムは全て

ishikawa/M2/

に格納されている。

また，

M2/Feret/

M2/Feret/souce

に，それぞれ実験に使用した画像と主要なプログラムが格納されている。

他のファイルや実行方法などの詳細は

ishikawa/M2/README

に記載する。

謝辞

本研究に関し，多くのアイデア，理論的裏付けを与えて下さった木村文隆教授，数多くの有益なアドバイスをしていただき，お忙しい中，光と色に関する勉強会に参加していただいた若林哲史准教授，発表やプレゼンテーション，論文の書き方などのご指導や，本研究のために光と色に関する勉強会を企画していただいた大山航助教授，お忙しい中，研究のディスカッションに参加していただき，専門的観点からの指摘など多くを御教授下さった三宅康二名誉教授に深く感謝します．また，日頃お世話になった田中みゆき事務，多くの有益なアドバイスを下さった研究室の先輩方，共に切磋琢磨した同期の皆様に感謝します．

最後になりましたが，長きにわたる私の学生生活を支えてくれた両親に今一度の感謝を表して，本論文の結びといたします．

Acknowledgements

Portions of the research in this paper use the FERET database of facial images collected under the FERET program, sponsored by the DOD Counterdrug Technology Development Program Office.

参考文献

- [1] T.Shibata, T.Takahashi, D.Miyazaki, Y.Sata and K.Ikeuchi: “Creating photorealistic virtual model with polarization based vision system” ,Proc.SPIE, Vol.5888, pp.25-35, 2005.
- [2] Lawrence B. Wolff: “Using polarization to separate reflectance components, ” Proc.of Computer Vision and Pattern Recognition”, pp.363-369, 1989.
- [3] R.Swaminathan , S.B.Kang , R.Szeliski , A.Criminisi and S.K.Nayar: “On the motion and appearance of specularities in image sequences”, Proc.of European Conference on Computer Vision, Vol1, pp.508-523, 2002.
- [4] S.Lin and H.Y.Shum: “Separation of diffuse and specular reflection in color images”, Proc.of Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1,pp.341-346, 2001.
- [5] Martin D.Levine, Jisnu Bhattacharyya: “Detecting and removing specularities in facial images”, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 100, pp330-356 , 2005.
- [6] T.Higo , D.MIyazaki and K.Ikeuchi: “Realtime Removal of Specular Reflection Component Based on Dichromatic Reflection Model”, IEICE. PRMU, Vol. 106, No. 230 pp.77-84 , 2006.
- [7] Y. Ito, W. Ohyama, T. Wakabayashi and F. Kimura : “Detection of Eyes by Circular Hough Transform and Histogram of Gradient” ,Proceedings of the 3rd International Workshop on Regional Innovation Studies (IWRIS2011),pp.53-56 , 2011 .
- [8] S.A.Shafer: “Using color to separate reflection components”, in COLOR Research and Application, Vol.10, No.4, pp.210-218, 1985
- [9] 若林 哲史 , 鶴岡 信治 , 木村 文隆 , 三宅 康二: “特徴量の次元数増加による手書き数字認識の高精度化”, 電子情報通信学会論文誌 D-II , Vol.J77-D-II , No.10 , pp.2046-2053,1994
- [10] P. J. Phillips, H. Moon, P. J. Rauss, and S. Rizvi:“The FERET evaluation methodology for face recognition algorithms”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 10, 2000.
- [11] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin, LIBSVM :“a library for support vector machines.

ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology”, 2:27:1–27:27, 2011. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>

濃度こう配特徴とSVMを用いた、 正面顔画像からの表面ハイライト検出

三重大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
ヒューマンインターフェース研究室
石川雅典

表面ハイライトとは？

光源が物体表面に映ったもの



表面ハイライトが与える影響

光源の影響が強すぎると・・・



- 物体表面のテクスチャが隠れる.
- ハイライトが模様のように見えることがある.



画像処理・画像認識に
悪影響を及ぼす



ハイライトの写った例

従来手法

- 撮影するときに除去する手法
 - 偏光板を使う手法 [1]
 - 撮影位置や光源の位置を変化させる手法 [2]
- 撮影した後に除去する手法
 - 輝度値と彩度値の相関関係を利用するルールベースの手法 [3]

[1] T.Shibata, et al.: "Creating photorealistic virtual model with polarization based vision system", Proc.SPIE, Vol.5888, pp.25-35, 2005.

[2] R.Swaminathan, et al.: "On the motion and appearance of specularities in image sequences", Proc.of European Conference on Computer Vision, Vol1, pp.508-523, 2002.

[3] T.Higo, et al.: "Realtime Removal of Specular Reflection Component Based on Dichromatic Reflection Model", IEICE. PRMU, Vol. 106, No. 230 pp.77-84, 2006.

従来手法の問題点

- 撮影済みの画像には適用できない。（撮影時除去）
- ルールの記述が難しい。（ルールベース除去）
- 画像が暗くなる.
- 色彩がなくなる.

表面ハイライトを除去出来れば・・・

- 画像中から表面ハイライトの除去
 - パターン認識の高精度化
 - 光源に影響されない認識システムの構築
- 表面ハイライトがどこにあるのか分かれば・・・
 - 強いハイライト・邪魔なハイライトだけ除去
 - パターン認識に不適切な画像の判断

提案手法

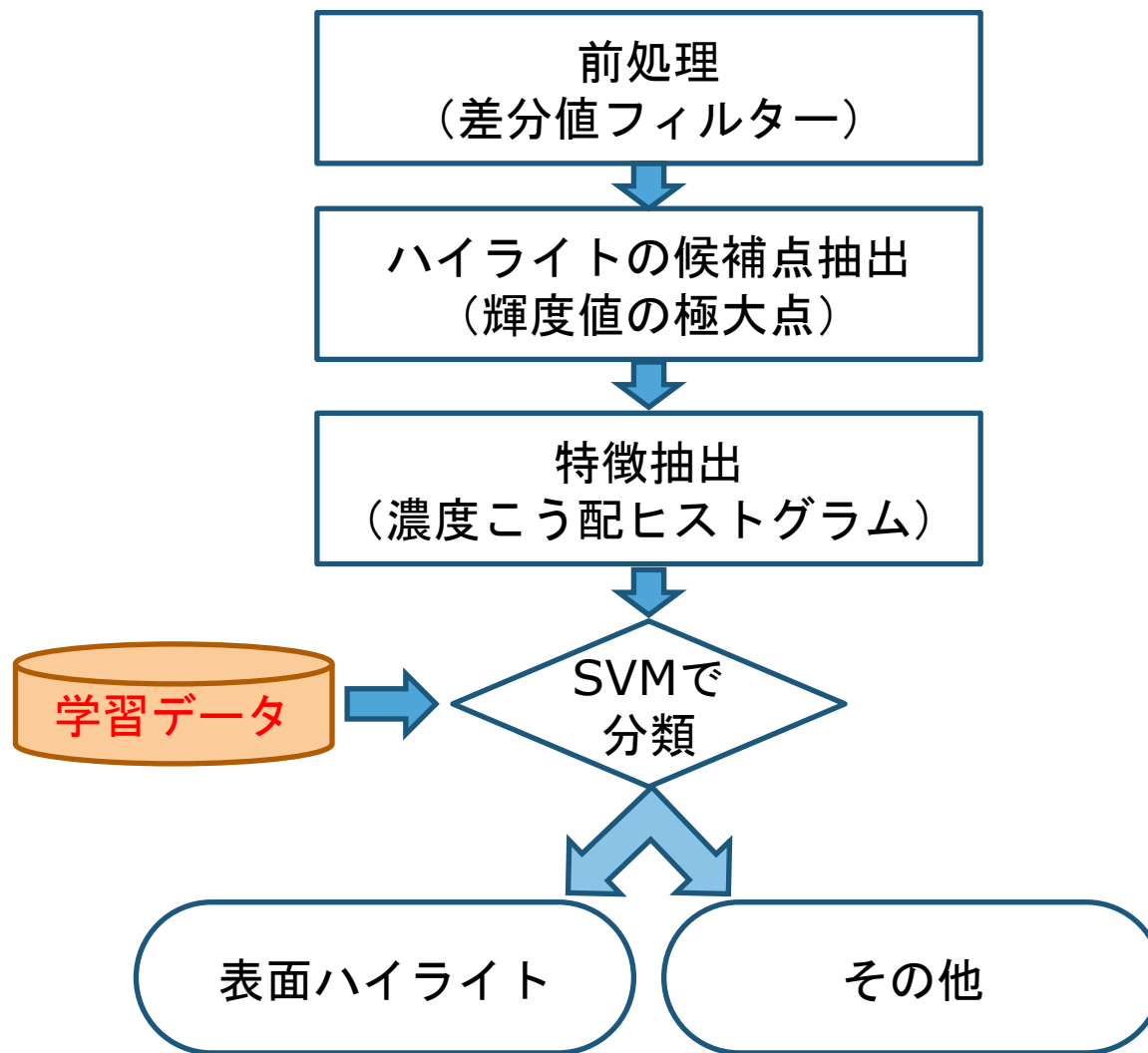
人間は表面ハイライトに関係なく認識できる.



人間の検出結果を分類器に学習させ検出を行う.

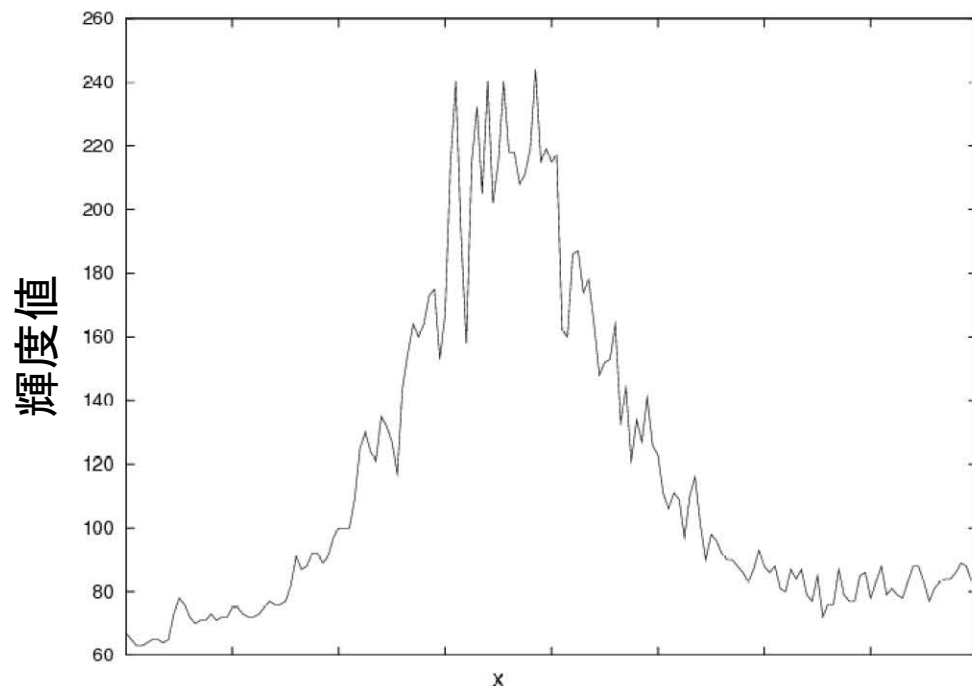
- 特徴量 : 濃度こう配ヒストグラム
- 分類器 : SVM
- 対象画像 : 人の顔画像

処理手順（検出処理）



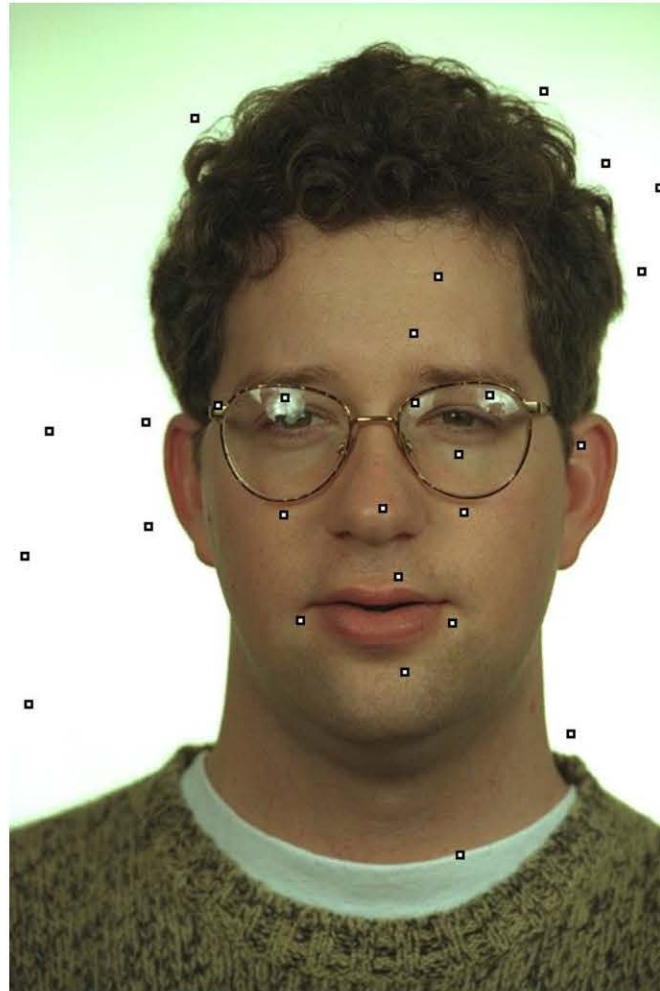
表面ハイライトの候補点抽出

- 表面ハイライトは局所的に輝度値が高い



- 平滑化して、輝度値の極大点を求める（輝度値100以上）.

候補点の例



輝度値の極大点

差分値フィルターの適用

- 注目画素と，周囲の輝度値の差分が大きい画素を検出するフィルター

- 差分値 = 注目画素の輝度値 - 周囲の画素の輝度値の平均

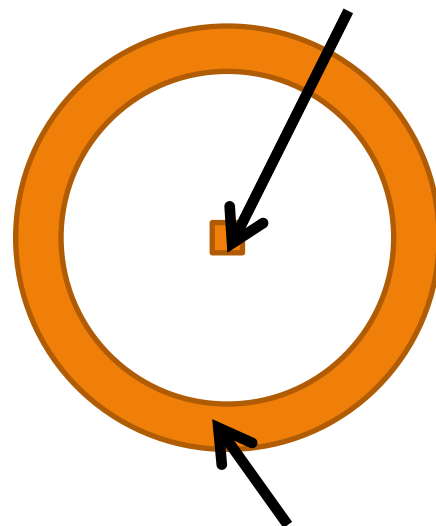
注目画素

- ドーナツ領域

- 外円半径=25画素
 - 内円半径=15画素



- 差分値を輝度値に置き換える.



ドーナツ領域
(周囲の画素)

差分値フィルターの適用例



原画像

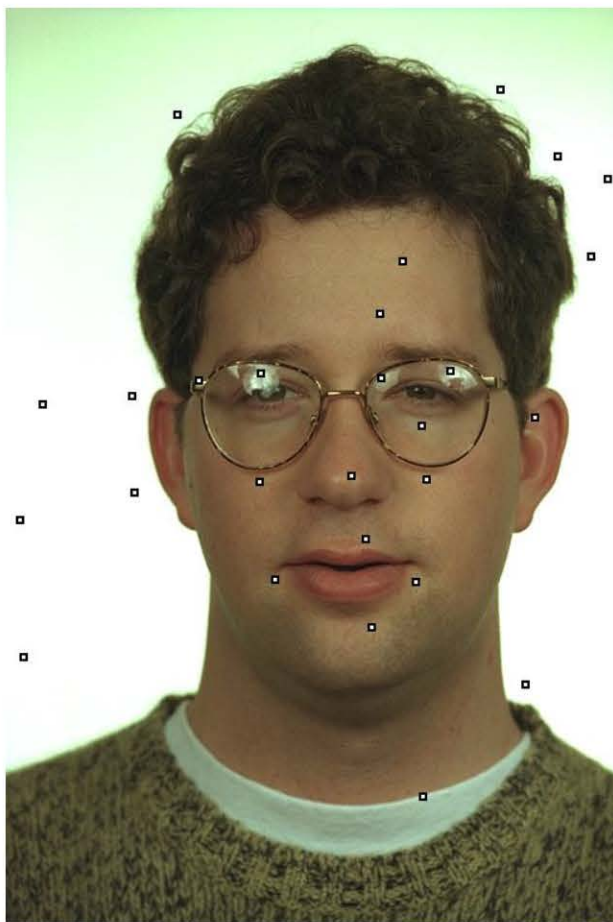


フィルターなし
(グレースケール)



フィルターあり
(白画素→差分値大)

候補点の例



フィルターなし

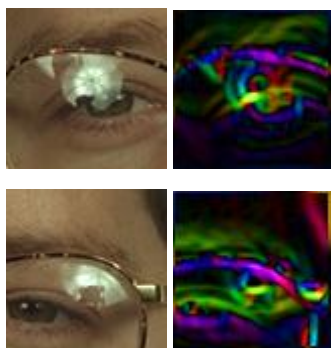


フィルターあり

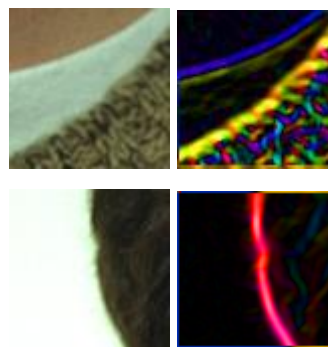
濃度こう配ヒストグラム^[4]

- 候補点を中心とする 80×80 画素の領域を 5×5 のブロックに分割する.
- こう配の強度を向きごとに9方向に量子化して, 積算したヒストグラム を作る ($5 \times 5 \times 9 = 225$ 次元) .

表面ハイライト



その他



[4] 若林 哲史, 鶴岡 信治, 木村 文隆, 三宅 康二: ``特徴量の次元数増加による手書き数字認識の高精度化'', 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J77-D-II, No.10, pp.2046-2053, 1994

RGB値別の濃度こう配ヒストグラム

- 顔（肌色）の色情報を利用する.
- R値, G値, B値の濃度こう配ヒストグラムを別々に求め, 3倍の次元数 ($225 \times 3 = 675$ 次元) の特徴ベクトルとする.

実験の概要

○ 実験用画像

- FERETデータベースに含まれる顔画像40枚

○ 学習方法

- 10分割交差検定法

○ SVM

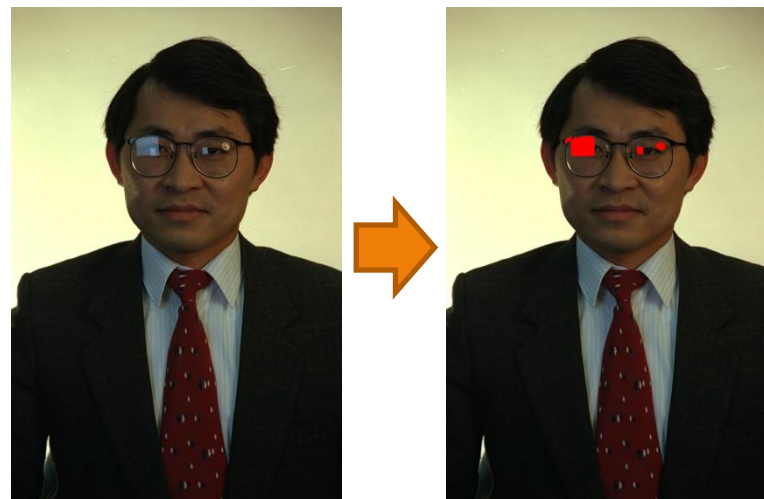
- LIBSVM (Ver. 2.89) [5]
- カーネル:RBF

[5] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin, LIBSVM : a library for support vector machines. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2:27:1--27:27, 2011. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>

正解画像とラベル付け

- 正解画像

- 目視抽出でハイライト領域を抽出



原画像

正解画像

- 正解画像を用いて、特徴ベクトルにラベルを付ける.

- Yes → 「表面ハイライト」
- No → 「その他」

評価方法

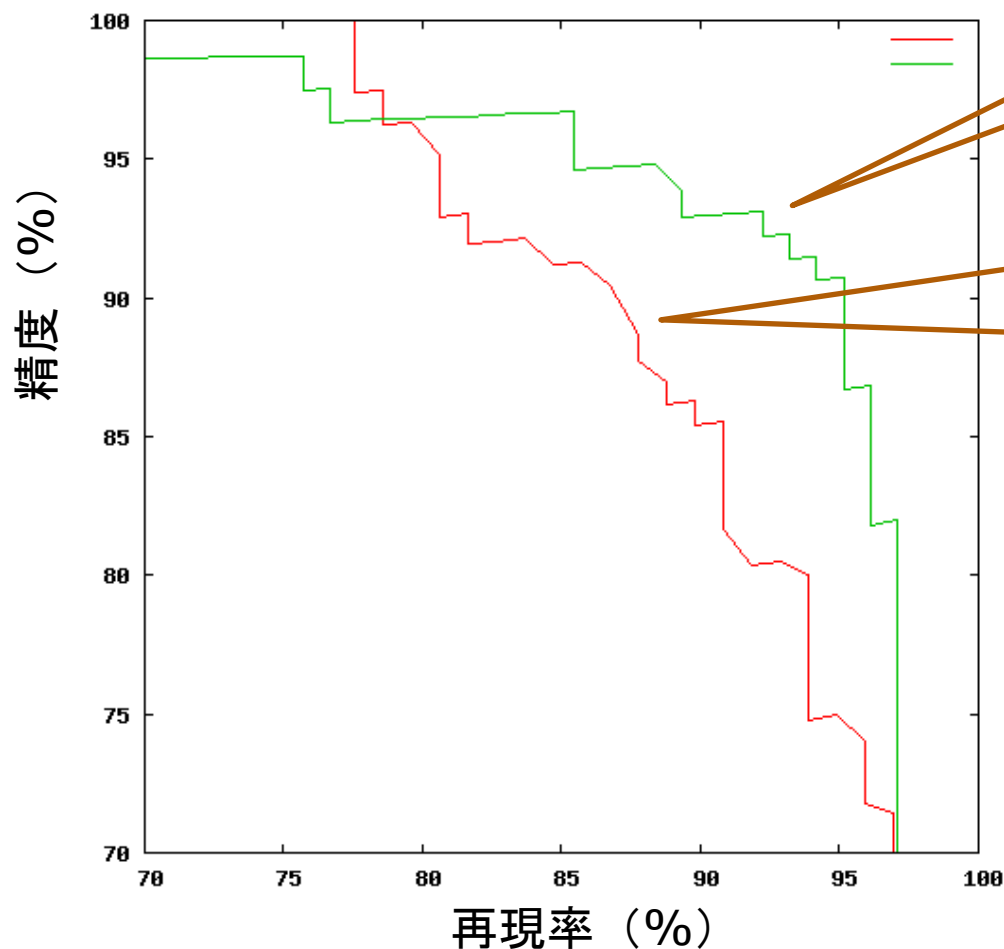
$$\text{再現率(Recall)} = \frac{A}{A + C}$$

$$\text{精度(Precision)} = \frac{A}{A + B}$$

		SVM	
		ハイライト	その他
目視	ハイライト	A	C
	その他	B	D

実験結果 - 差分値フィルターの有無

○ フィルターなし vs フィルターあり

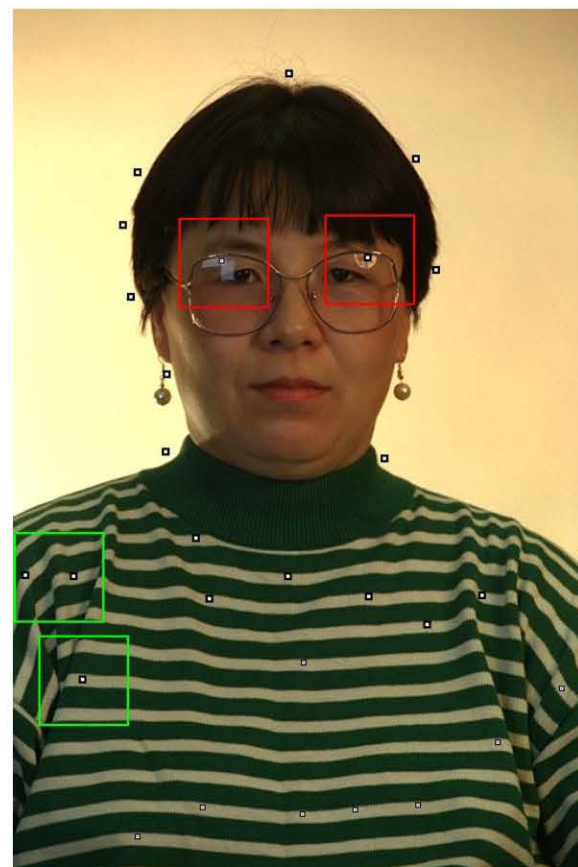
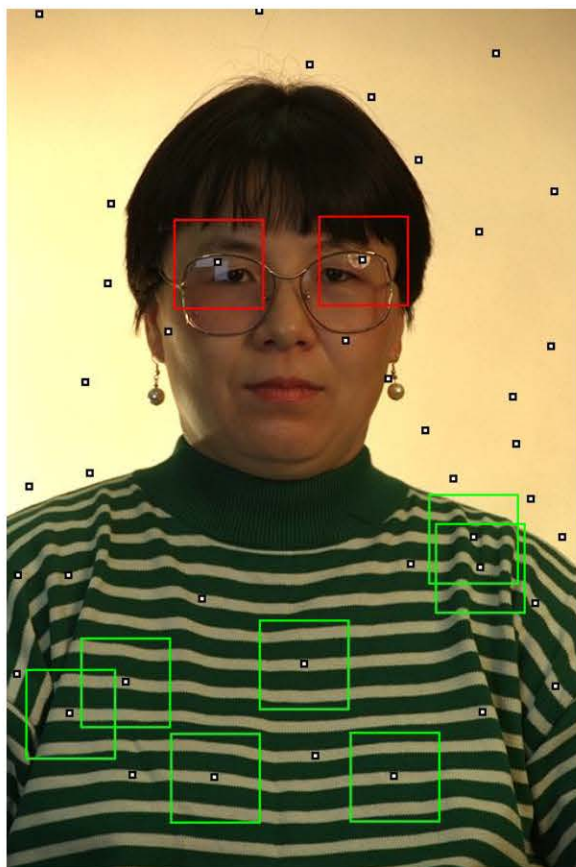


フィルターあり
F値：92.2%

フィルターなし
F値：87.7%

F値：再現率=精度

検出結果 - 差分値フィルターの有無



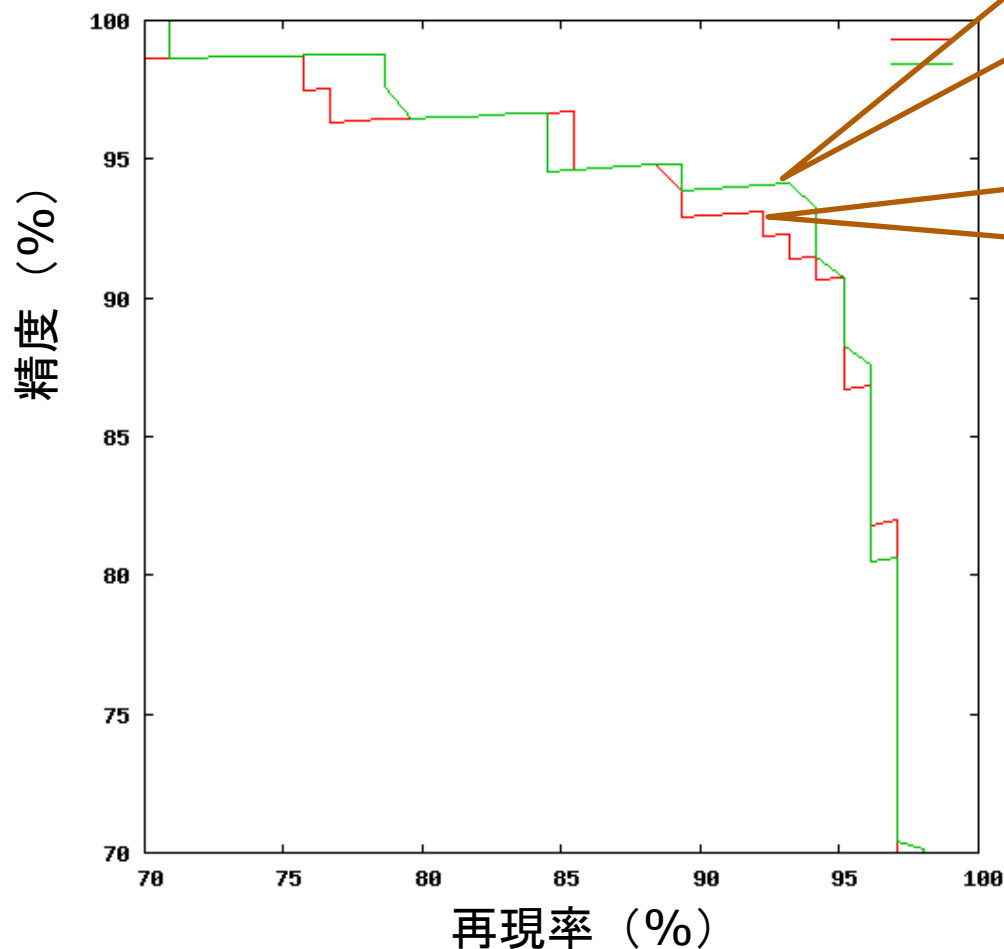
□ ハイライト
□ 誤検出

フィルターなし

フィルターあり

実験結果 - 濃度こう配ヒストグラム

○ 輝度値 vs RGB値別



RGB値別の濃度こう配
F値: 93.5%

輝度値の濃度こう配
F値: 92.2%

F値: 再現率 = 精度



検出結果 - 濃度こう配ヒストグラム



輝度値



RGB値別

 ハイライト
 未検出

まとめ

○ まとめ

- 表面ハイライト検出実験の結果, 再現率=精度93.5%を得た.
 - 差分値フィルターあり
 - RGB値別濃度こう配

○ 今後の課題

- 他の撮影条件への適用する.
- 検出結果を利用して表面ハイライトを除去する.
- 差分値フィルターの大きさの自動決定する.
 - 輝度値の分布の分散を利用する.

濃度こう配特徴とSVMを用いた
正面顔画像からの表面ハイライト検出

ご清聴ありがとうございました

三重大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
ヒューマンインタフェース研究室
石川雅典

輝度値の極大点

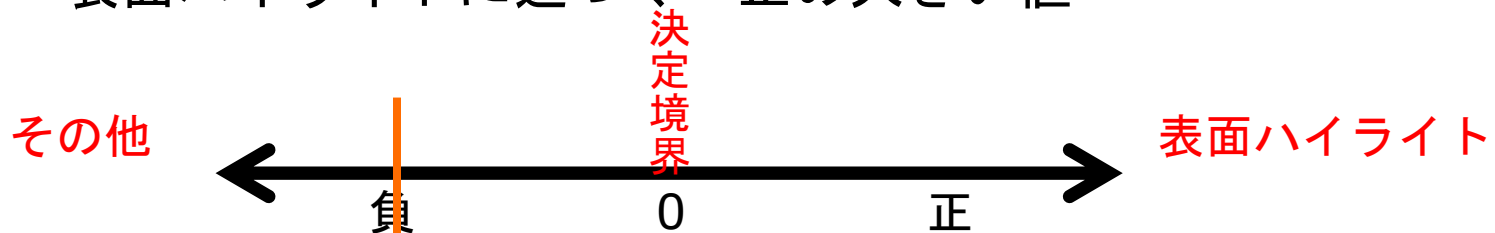
- 注目画素の輝度値に対し，8近傍の画素の輝度値が同じか低い点→極大点
- ただし，極大点が連続する場合は，ラベリング処理で，中心点を求め，中心点だけを極大点とする。
 - 背景など，一定の輝度値をもつ領域で，多く出てしまうため.

190	190	190
190	200	200
190	190	190

190	190	190	190	190
190	200	200	200	190
190	200	200	200	190
190	200	200	200	190
190	190	190	190	190

SVM (Support Vector Machine)

- 2クラス分類（表面ハイライト，その他）をおこなう分類器
 - マージン最大化
- SVM出力値の利用
 - 表面ハイライトに近づく→正の大きい値



- しきい値を変えながら分類をおこなう.

なぜ精度は上がるのか？

$$\text{精度(Precision)} = \frac{A}{A+B}$$

- しきい値がハイライトクラス側に近づく → A減少, B減少

- $A=160, B=40 \rightarrow \frac{160}{160+40} = \frac{160}{200} = \frac{4}{5}$

- $A=60, B=40 \rightarrow \frac{60}{60+40} = \frac{60}{100} = \frac{3}{5}$

- $A=48, B=12 \rightarrow \frac{48}{48+12} = \frac{48}{60} = \frac{4}{5}$