コンピュータビジョンと
イメージメディア 133－2
（2002．5．9）

室内における背景と物体の分離

森田順也　岩井儀雄　谷内田正彦
大阪大学基礎工学研究科

あらまし　画像中の物体抽出手法の一つである背景差分法には、対象物とともにその影も変化領域として検出してしまうという欠点がある。室内では、影領域が画像中で大きな面積を占めることが多く、人物追跡やジェスチャ認識等を行う際にその影が影響を及ぼす場合がある。また、照明変化により背景画像の変化が起きた場合には背景差分法は適用できないという問題点もある。本研究では、画素値を各光源からのエネルギーの線形和で表わす背景画像のモデル化を行うことで室内の複数照明条件下における影の影響を抑えた背景差分法を提案する。また、本手法は、入力画像の照明条件を推定することでその精度を向上させることができる。実画像を用いた実験により本手法の有効性を検証した。

Separation of background and object in an indoor scene

Junya Morita　Yoshio Iwai　Masahiko Yachida
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract　Background subtraction algorithm is susceptible to both global and local illumination changes such as shadows, sunlight and reflection. These changes are often the cause of failure of object tracking, gesture recognition and so on. In this paper, we propose a method for detecting object casting a shadow in an indoor scene by modeling a pixel value as the total energy received from each light source. Our proposed method can also estimate a ratio of illumination change in order to improve background subtraction. The usefulness of the method is demonstrated by experimental results.

1. はじめに

画像処理によって画像中の移動物体を検出する手法の一つに背景差分法があり、背景が変化しない場合には有効な手法である。

しかし、背景差分法は背景画像と異なる領域をすべて抽出するため、対象物とその影を１つの領域とみなして検出する場合が多く見られる。人物の姿勢推定や追跡、ジェスチャ認識等を行う際にその「影」が影響を及ぼすことがあり、前処理として対象物と影を分離することが重要となる。

また、照明の点灯／消灯など照明条件の変化により背景画像の変化が起きた場合には、背景差分法は適用できないという問題点もある。実画像に適用する場合には、これらの照明変化に対応することも重要である。

影除去の問題に対しては、屋外環境においては多くの手法が提案されている。例えば、太陽の位置情報及びカメラと照明の位置関係を利用する手法[3][7]や、従来グレースケールで扱われてきた背景差分法をカラーに拡張し、入力画像と背景画像の色度差を考慮した手法[2][10]等がある。しかし、室内環境での影除去を考えると室内では光源が複数ある場合が多いため、光源が一つのみと仮定しているこれらの手法を用いることはできない。また、室内では天井や壁からの反射光により影の形状が複雑となるため、影の除去がより困難となる。また、[10]では、屋外だけでなく、複数光源のある室内環境においても安定に物体検出及び影除去を行っているが、すべての光源色が同じであるという前提条件が必要であり、光源色の異なる照明がある場合には適用できない。

そこで本研究では、さまざまな光源色による複数光源環境下において、影の影響を低減した背景差分法を提案する。まず、画素値を各光源の光量に起因するエネルギーの線形和で表す背景画像のモデル化を行い、光源の遮蔽関係及び照明強度比を表すパラメータを変化させることで、各画素ごとに影の影響を考慮した背景差分を行なう。また、照明変化の問題に対しては、従来から照明変化に不変な特徴を用いた手法[1][5]や固有画像解析を用いた手法[1]等が提案されているが、本研究ではこれらとは異なったア

プローチをとる。つまり、照明変化が起こった場合には背景画像モデルの各パラメータが全画素で一定の変化をしていると考えられるため、このパラメータの推定問題として解く。

以下、２章では影を考慮した背景画像のモデル化について述べ、３章で照明変化と影を考慮した背景差分法の具体的処理について説明する。続いて、４章で本手法を実画像に適用した実験例を示し、その有効性を検証する。

2. 影を考慮した背景画像のモデル化

本章では、まず光源からの光のエネルギー量とカメラで観測される画素との関係をモデル化し、影を考慮するためのパラメータを導入することで、任意の明るさを表現できる背景画像を生成する手法を示す。

画像上のある画素ｊの各 RGB 成分についてその物体表面の反射係数を $\mathbf{r}_j$ とし、光源ｉからｊに届く光量を $\mathbf{L}_{ij}$、観測される画素値を $\mathbf{E}_j$ とすると、その関係は式（１）のようになる（図１）。ただし、ここではカメラへの入射光量と画素値の関係が線形であると仮定している。

$$\mathbf{E}_j = \mathbf{r}_j \mathbf{L}_{ij} \qquad (1)$$

ただし、$\mathbf{E}_j = (R_j, G_j, B_j)^t$ （２）

ここで $\mathbf{r}_j$ は物体表面の拡散反射率、及び鏡面反射率を含む係数であり、$\mathbf{L}_{ij}$ には天井や壁からの反射光も含まれる。

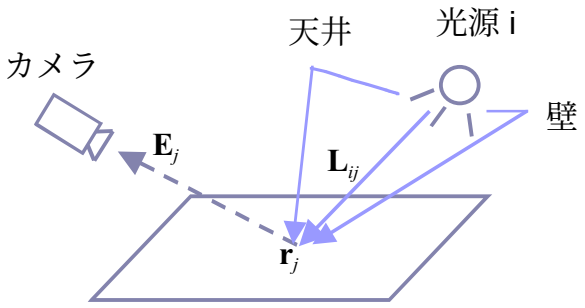


図１　光源からの光量と画素値の関係

次に、影を考慮にいれるために、パラメータ S_{ij} を導入すると、画素値 $\mathbf{E}_j$ は次式のようになる。

$$\mathbf{E}_j = \mathbf{r}_j S_{ij} \mathbf{L}_{ij} \qquad (3)$$

ここで、S_{ij} は光源ｉから画素ｊへ届く光の遮蔽関係を表わし、０～１の値をとる。つまり、Ｓ＝０のときは、遮蔽物体により照明光が完全に隠されて影になっている状態か、照明が消灯されている状態を表している。また、Ｓ＝１は照明光がすべて届いている状態を表す。

複数光源の場合の画素値は、各光源ｉからの光量の和になることから次式のようになる。

$$\mathbf{E}_j = \mathbf{r}_j \sum_i \mathbf{L}_{ij} S_{ij} \qquad (4)$$

ここで、$\mathbf{L}_{ij} = \mathbf{r}_j \mathbf{L}_{ij}$ とおきなおすと、

$$\mathbf{E}_j = \sum_i S_{ij} \mathbf{L}_{ij} \qquad (5)$$

となる。

このモデル化により、影を考慮した任意の背景を $\mathbf{L}_{ij}$ を用いて表現することができる。そこで、$\mathbf{L}_{ij}$ を光源ｉによる画素ｊの背景成分と呼ぶことにする。この背景成分 $\mathbf{L}_{ij}$ を各ピクセルで予め推定しておけば、式（５）より、パラメータ Ｓ を変化させた任意の背景画像を合成できる。

3. 照明変化と影を考慮した背景差分法

本章では、照明変化と影の影響への対策方法の具体的処理について述べる。２章で述べたように、各光源による背景成分 $\mathbf{L}_{ij}$ を各ピクセルで予め推定しておき、それを用いてカラー化した背景差分処理を行なう。

3.1 処理の流れ

本手法の処理の流れを図２に示し、各処理の詳細を次節以降で述べていく。

なお、ここでは簡単化のため２光源の場合について述べるが、任意の光源数の場合も本手法を拡張することで、同様に照明変化及び影を考慮した背景差分が行なえると考えられる。

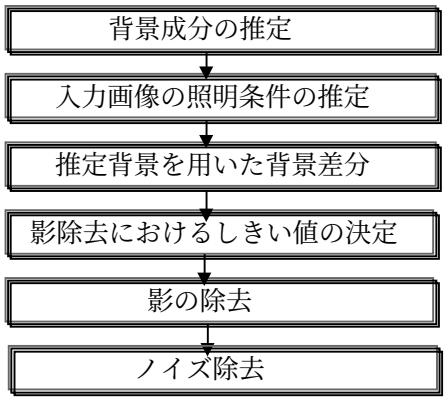


図２　処理の流れ

3.2 背景成分の推定

簡単化のため２光源の場合を考える。このとき、画像上のある画素 j における画素値 $\mathbf{E}_j$ は、式（５）より

$$\mathbf{E}_j = S_{1j}\mathbf{L}_{1j} + S_{2j}\mathbf{L}_{2j} \qquad (6)$$

となる。

２章で述べたように、影や照明変化に対応する任意の背景を合成するためには、各光源による背景成分 $\mathbf{L}_{1j}, \mathbf{L}_{2j}$ が必要となる。式（６）より、(S_{1j}, S_{2j}) が異なるときの背景が２組以上あれば、各ピクセルごとに連立方程式を解くことで背景成分が推定できる。

ここで、光源の遮蔽関係を表わすパラメータ S は、照明の明るさの変化を表わすと考えることもできるので、照明の明るさを変化させた背景画像を２枚以上撮影しておいて背景成分の推定を行う。なお、光源数が N 個の場合は、照明の明るさを変化させた背景画像が N 枚以上あれば、同様に連立方程式を解くことで N 個の背景成分を推定できる。

3.3 照明条件の推定

実環境では、照明の点灯／消灯により、入力画像の照明条件が背景画像での照明条件とは異なることが考えられる。そこで、実画像で背景差分を行う際には照明変化に対応できることが重要となる。本研究では照明の明るさ変動について扱い、色変動については扱わない。

照明の明るさ変化は式（６）において S_{1j}, S_{2j} が全画素で一定に変化していると考えられる。

そこで、

$$S_1 = S_{1j}, S_2 = S_{2j} \qquad \forall j \qquad (7)$$

とおくと、画像中から２点以上選べば、式（６）より、3.2 節で推定した背景成分 $\tilde{\mathbf{L}}_{1j}, \tilde{\mathbf{L}}_{2j}$ を用いた連立方程式を解くことで $\tilde{S}_1, \tilde{S}_2$ を推定することができる。しかし、入力画像中のどの点を用いて推定を行なうかが問題となる。画像全体を用いて照明推定を行った場合は、対象物の大きさが小さい場合は問題ないが、室内では画像中の対象物は大きな面積を占めると考えられるため、対象物体及びその影の影響を大きく受けてしまう。精度良く照明条件の推定を行うためには、何らかの手法で対象物体及びその影を除外した領域で推定を行う必要がある。そこで、画像中の対象物体が大きい場合にも、その影響を低減できる照明推定方法について述べる。

まず一様乱数により、画像上のランダムな２点の組（画素番号 j=1,2）を数多く選んでくると、式（６）及び式（７）より

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1 &= S_1\tilde{\mathbf{L}}_{11} + S_2\tilde{\mathbf{L}}_{21} \\ \mathbf{E}_2 &= S_1\tilde{\mathbf{L}}_{12} + S_2\tilde{\mathbf{L}}_{22} \end{aligned} \qquad (8)$$

の連立方程式が成立する。

いま、輝度値Ｔをｒｇｂ成分の和

$$T = R + G + B \qquad (9)$$

で表す。このとき、画素値 $\mathbf{E}_j$ の輝度値を T_j、画素 j の背景成分 $\tilde{\mathbf{L}}_{1j}, \tilde{\mathbf{L}}_{2j}$ の輝度値をそれぞれ $\tilde{T}_{1j}, \tilde{T}_{2j}$ とすると、式（８）は以下の輝度値の連立方程式に書きかえることができる。

$$\begin{aligned} T_1 &= S_1\tilde{T}_{11} + S_2\tilde{T}_{12} \\ T_2 &= S_1\tilde{T}_{21} + S_2\tilde{T}_{22} \end{aligned} \qquad (10)$$

この連立方程式を解くことで $(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2)$ を推定することができる。

ここで、S_1, S_2 はそれぞれ 0~1 の範囲であるから、この範囲内の値のみを採用することにする。そうすることで、ランダムに選んだ２点の組み合わせの内、（背景、背景）及び（影、影）の組み合わせ以外のものをかなり排除することができる。よって、$\tilde{S}_1, \tilde{S}_2$ それぞれでヒストグラムを作成すると図３のようになり、ヒストグラムのピークとなる値をその観測画像における照明条件 $(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2)$ とすればよい。

図３の例ではヒストグラムの間隔を0.01とし、$(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2) = (0.87, 0.74)$ と推定できる。なお、Ｎ光源の場合も、ランダムにＮ点を選んでくることで同様に照明条件推定ができると考えられる。

この結果より、入力画像の照明条件に対応した背景成分を

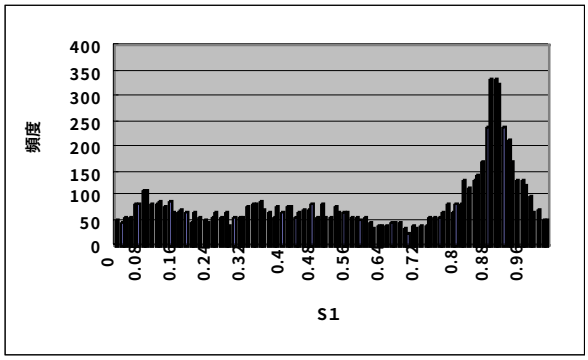
$$\tilde{\mathbf{L}}_{1j} = \tilde{S}_1\tilde{\mathbf{L}}_{1j}, \tilde{\mathbf{L}}_{2j} = \tilde{S}_2\tilde{\mathbf{L}}_{2j} \qquad (11)$$

のように推定する。

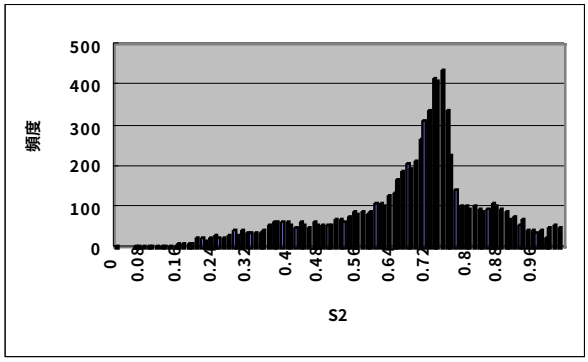
また、

$$\tilde{\mathbf{E}}_j = \tilde{\mathbf{L}}_{1j} + \tilde{\mathbf{L}}_{2j} \qquad (12)$$

として背景画像を合成することができる。この推定背景を用いれば、入力画像との差分値がしきい値以上ならば物体とすることで、照明の明るさ変化に対応した背景差分が行える。しかし、影領域も同時に検出してしまうため、次節では影除去の方法について述べる。



(a) S_1 のヒストグラム



(b) S_2 のヒストグラム

図３　照明条件推定における S_1, S_2 のヒストグラムの例

3.4 影を考慮した背景差分

3.4.1 影の除去

入力画像中に移動物体が存在する場合に、3.3 節で述べた方法で影を含む物体抽出を行った後、影を除去する方法について述べる。

光源が L_1, L_2 の２つの場合、画像は以下の４つの領域に分けられる。

（ｉ）２つの光が当たっている背景
（ii）L_1 の光のみが当たっている影
（iii）L_2 の光のみが当たっている影
（iv）物体

このとき、3.2 節と 3.3 節で推定した背景成分ベクトル $\tilde{\mathbf{L}}_{1j}, \tilde{\mathbf{L}}_{2j}$ を用いると、RGB 空間において、図４に示す３つのベクトルが背景及び影に相当する。物体を表すベクトルは、この３つのベクトルとは異なる方向を向くと考えられる。

したがって、入力画像の各画素において、この３点との距離をはかることで、最短距離がしきい値以下ならば背景（影も含む）、しきい値より大きければ物体であると判別することができる。

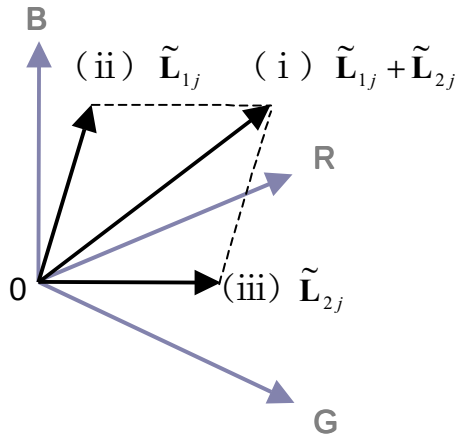


図４　背景と影を表す３次元ベクトル

しかし、この方法では光が完全に当たっているか、全く当たらないか、つまり S＝０か S＝１の２通りしか考えていない。この方法は、光源が大きさをもたず、影が明確な輪郭線をもつ場合には問題ないのだが、実際の照明環境下では影は明確な輪郭線をもたないソフトシャドウとなる。これは、光源には大きさがあり、影の輪郭線付近では光源の一部の光のみが届くためである。また、S＝０か S＝１の２通りで考えるというのは、光源の大きさだけでなく間接光の影響も無視していることにほかならない。そのため、間接光が存在する場合にもソフトシャドウとなり、対応できないと考えられる。

具体例として、図５にソフトシャドウを含む画像を示す。影の輪郭線付近がぼやけているのがわかる。図５の画像に対してこの手法を用いると図６のようになるが、この手法では完全な影（本影）は除去できるものの、輪郭線付近の影は除去できていない。

図５　ソフトシャドウを含む画像

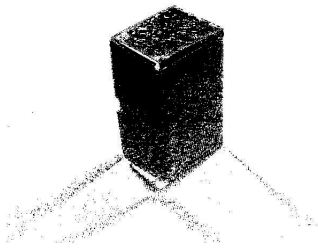


図６　本影を除去した背景差分結果
（黒：物体、白：背景）

3.4.2 ソフトシャドウへの対応

3.4.1 節で問題となったソフトシャドウへの対応について述べる。ソフトシャドウ内での画素値は、図４での $\tilde{\mathbf{L}}_{1j}$ と $\tilde{\mathbf{L}}_{2j}$ の２つのベクトルで作られる平面（平行四辺形）内に分布する。よって、観測値とその平面との最短距離を特徴量とすることで背景と物体が分離できると考えられる。しかし、RGB 空間において背景と認識する領域が大きくなることで、ソフトシャドウに対応できるようになると同時に、物体を背景であると誤検出する割合も増すことになる。また、$\tilde{\mathbf{L}}_{1j}, \tilde{\mathbf{L}}_{2j}$ のなす角が小さくなるほど、平面との距離を計算する過程で誤差が大きくなると考えられる。

そこで、ソフトシャドウの多くは、図４での平行四辺形の４辺周辺に分布していると仮定し、平行四辺形の４辺との最短距離を用いて背景と物体の分離を行う。

しかし、４辺との距離をそのまま特徴量とすると、明るい画素でも暗い画素でも同じしきい値で判別を行なうことになり、明るさの影響を考慮しないことになる。そこで、$\tilde{\mathbf{L}}_{1j}, \tilde{\mathbf{L}}_{2j}$ の推定の際に含まれる誤差は画素値の誤差に起因するものであるから、その影響は暗い領域ほど少ないと考えられ、求めた距離をその点での明るさで割ったものを特徴量とする。そして、その値がしきい値以下なら背景、しきい値より大きければ物体として検出する。

ただし、本手法では RGB 空間の原点付近の値であっても影として判別することがあるため、黒い物体も影として判別されることがあり得る。実際、人物の髪の毛の領域が影として判別されることが多い。そこで、これを防ぐために、明るさがあるしきい値以下の場合はすべて物体であると判別する。これは、実環境においては、環境光の影響により影領域であっても真っ暗になることは稀であり、暗い領域は物体表面の色が元々黒いと考えられるためである。

なお、ここでは２光源の場合について述べてきたが、光源数がＮ個の場合には、ＲＧＢ空間中においてＮ個の背景成分ベクトルでつくられる立体の各辺との距離を考えることで、背景と物体を分離できると考えられる。ただし、光源数が増えるほど計算量が増すため、計算量削減のためには何らかの工夫が必要である。

3.5 しきい値の自動決定

3.4 節で求めた特徴量から背景（影を含む）と物体を正確に分離するためには、適切なしきい値を選ぶ必要がある。特徴量のヒストグラムを作成すると、ヒストグラムは物体と背景の２クラスに対応し双峰となり、その間の谷部を最適しきい値と決定することになる。しかし、観測シーンによってこの谷部の位置、つまり適切なしきい値が異なるため、これを自動決定する必要がある。

本手法では、特徴量のヒストグラムから大津の方法と呼ばれる自動しきい値選定法[9]によりしきい値の決定を行なった。これは濃淡画像の２値化を行なうためのものであるが、本手法の特徴量を濃淡画像の濃度レベルと同様にして考えることで適用できる。

このしきい値決定法を図７に示すヒストグラムに対して適用すると、最適しきい値が 0.096 となり、正確にヒストグラムの谷底を検出できているのが確認できる。

ただし、推定背景を用いた単純背景差分におけるしきい値、及び黒い物体を検出するためのしきい値については現在のところ経験値を用いている。

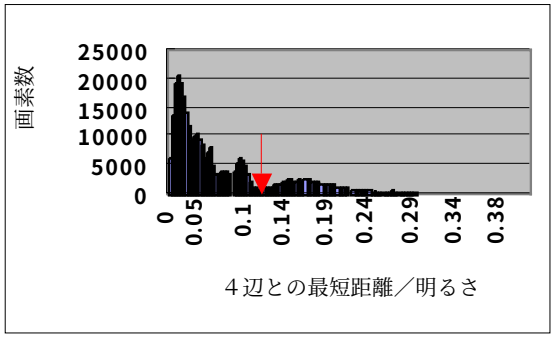


図７　ある画像における本手法の特徴量のヒストグラム

4. 実画像における評価実験

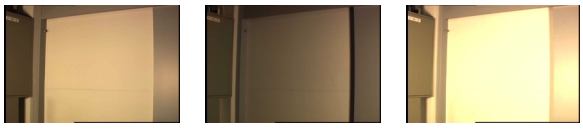
光源として、３本の蛍光灯をそれぞれ点灯／消灯できる照明装置２台を用いた。図８が実験に用いた照明である。これらの照明を点灯／消灯することで照明条件を変化させる。照明及びカメラの位置、向きは固定である。なお、上記の照明光以外の光源の影響をうけないようにするため、夜間に室内で実験を行なった。対象として人物を含めた画像を用いて処理を行なう。

図８　実験で用いた照明

4.1 実験結果

照明を変化させて撮影した背景画像を図９に示す。図１０は図９の背景画像から推定した背景成分画像である。図１１は実験に用いた入力画像であり、図１２は入力画像の照明条件を推定して合成した背景画像である。図１４に本手法で背景と物体を分離し、ノイズ除去をした結果を示す。図１３には比較のため、推定した背景画像を用いて単純な背景差分を行なった結果を示す。

なお、精度評価を行なうため、図１４とは照明条件、対象人物、撮影場所、照明色等が異なる環境で実験を行なった。図１５(a)～(h)にその結果を示す。左が入力画像、右が本手法による物体の検出結果である。



(a) image1　(b) image2　(c) image3

図９ 照明条件を変化させて撮影した背景画像

$\tilde{\mathbf{L}}_1$　$\tilde{\mathbf{L}}_2$

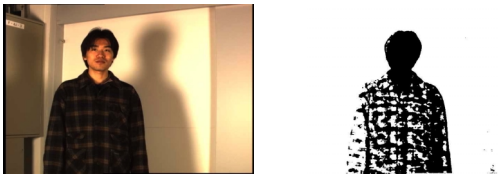
図１０ 図９の画像から推定した背景成分画像

図１１　入力画像

図１２　照明条件を推定後合成した背景画像

図１３　推定背景を用いた単純な背景差分結果

図１４ 本手法による実験結果



(a)

図１５　撮影状況を変えたときの実験結果(a)
（左：入力画像、右：物体の抽出結果）

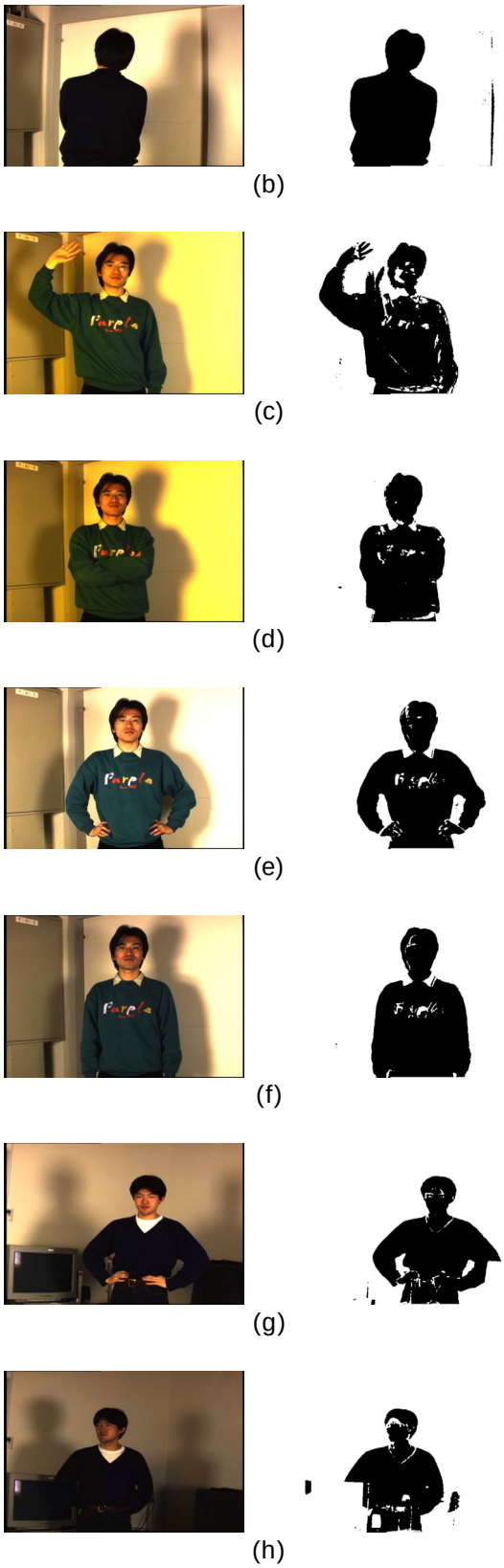


図１５撮影状況を変えたときの実験結果
(b)～(h)
（左：入力画像、右：物体の抽出結果）

4.2 精度評価

図１４及び図１５(a)～(h)の実験結果を評価するために、目視により物体抽出を行なった結果と比較を行なった。

いま、本手法により物体と判別された領域を A,
背景と判別された領域を B,
目視により物体と判別された領域を C,
背景と判別された領域を D
としたとき、物体検出率及び物体誤検出率を以下の式を用いて算出する。

$$\text{物体検出率} = \frac{(\text{A と C の重複領域の総画素数})\times 100}{(\text{C の総画素数})}$$

$$\text{物体誤検出率} = 100 - \frac{(\text{B と D の重複領域の総画素数})\times 100}{(\text{D の総画素数})}$$

図１４及び図１５(a)～(h)の全画像に対して評価を行なった結果表１のようになった。

表１　精度評価実験

画像	物体検出率(%)	物体誤検出率(%)
図１４	97.7	0.2
図１５(a)	71.3	0.04
(b)	98.5	0.6
(c)	91.0	1.6
(d)	94.2	0.08
(e)	91.1	0.02
(f)	92.9	0
(g)	93.9	0.3
(h)	86.5	0.9

この９枚の画像の物体検出率及び物体誤検出率をそれぞれ平均をすると、物体検出率 90.8%、物体誤検出率 0.4%であった。物体の検出漏れがやや見られるものの、影の除去はほぼできているのが確認できた。

4.3 考察

図１３と図１４を比較すると、背景差分の問題点であった影の影響を大幅に削減できているのがわかる。また、(c)と(d)、(e)と(f)、(g)と(h)の実験結果から、照明の明るさ変化が起こった場合にも安定に物体抽出ができているのが確認できる。

しかし、誤検出及び検出漏れもやや見られる。

本手法によるこのような誤認識には、次のようなものが考えられる。

1. 背景と似た色の物体の検出漏れ
2. 複数のソフトシャドウが重なり合った領域の誤検出

１は図１５(a)の服の領域及び図１５(e)の襟の部分の検出漏れがこれに当たる。これは本手法が画素ごとの色情報に基づいた手法であるため避けられないことであると言える。２は、3.4.2 節で述べたように、ソフトシャドウは背景成分ベクトルで作られる平面（平行四辺形）内に分布するためで、平行四辺形の各辺に主に分布すると仮定した本手法では誤検出がおこる。複数物体を対象に撮影を行なった場合に、この複数のソフトシャドウが重なり合う領域が生じると考えられる。

これらは、本手法が各ピクセルの画素値だけで判別を行なっているためで、空間的な相関関係も考慮することで精度の向上が期待できる。また、他の誤認識の要因としては、モデルで仮定していない相互反射の影響、つまり対象物体の色が影などに反映される場合の影響も考えられる。

5. 結論

本研究では、影を考慮した背景画像モデルを定義し、従来の背景差分法の欠点であった影の影響を低減する手法を提案した。

そして、実験により本手法の有効性を確認した。応用として、本手法を人物追跡やジェスチャ認識などの前処理として用いることで、それらの精度向上が期待できる。

今後の課題は以下のものが考えられる。

- しきい値決定の全自動化
- 空間的相関関係の考慮
- 相互反射の対策

また、本実験では一人の人物を対象として撮影を行なったが、複数人物を撮影することによる影響や、複雑な背景の場合、対象物が鏡面反射をおこす場合の影響なども調べる必要がある。

参考文献

[1] 松山隆司，和田俊和，波部斉，棚橋和也：照明変化に頑健な背景差分，電子情報通信学会論文誌 D-Ⅱ, Vol.J84-D-Ⅱ, No.10, pp.2201-2211, Oct (2001)

[2] 奥村晃弘，岩井儀雄，谷内田正彦：屋外における移動物体の検出－照明変動と影への対策－，MIRU2000 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集Ⅱ, pp.307-312 (2000)

[3] 緒方敏博，園田頼信，川勝正晴：監視画像における「対象物」とその「影」の分離，MIRU'96 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集Ⅱ, pp.91-96 (1996)

[4] 佐藤いまり，佐藤洋一，池内克史：物体の陰影に基づく光源環境の推定，情報処理学会論文誌：コンピュータビジョンとイメージメディア Vol.41 No.SIG 10(CVIM 1), pp.31-40, Dec (2000)

[5] 太田直哉：不変量の利用に関する考察とそれに基づく照明不変な画像差分処理，電子情報通信学会論文誌 Vol.J84-D-Ⅱ, No.6, pp.1009-1017, Jun (1999)

[6] 高藤政雄，北村忠明，小林芳樹：空間微分および差分処理を用いた車両抽出法，電子情報通信学会論文誌 Vol.J80-D-Ⅱ, No.11, pp.2976-2985, Nov (1997)

[7] 渡辺真太郎，宮島耕治，武川直樹：陰影モデルを用いた航空写真における建造物の変化抽出，MIRU'98 画像の認識・理解シンポジウム論文集Ⅱ, pp.373-378 (1998)

[8] 東海彰吾，弓場竜，ウ小軍，松山隆司：アクティブカメラを用いた動的広域シーンの映像提示法，電子情報通信学会論文誌，Vol..J84-D-Ⅱ, No.8, pp.1910-1920, Aug (2001)

[9] 大津展之：判別および最小２乗基準に基づく自動しきい値選定法，電子通信学会論文誌，Vol.J63-D, No.4, pp.349-356 (1980)

[10] T. Horprasert, D. Harwood, and L. S. Davis: A statistical approach for real-time robust background subtraction, *in Proceedings of IEEE ICCV'99 FRAME-RATE Workshop,* No.4 (1999)