

# 固定単眼カメラによる屋外建造物の平面の向き推定

## Estimation of Surface Directions using a Single Fixed Camera in Outdoor Environments

刈屋 政春†  
Masaharu Kariya

青木 恭太†  
Kyota Aoki

### 1. まえがき

最近、屋外環境において多くのカメラが設置されるようになってきている。これらのカメラを用いて、カメラ周辺の 3 次元構造を把握することができれば、陰影の影響を予測・測定することによりカメラによる周辺の監視などの精度を向上することが可能となる。近年、3 次元構造の推定にかかわる研究は、川崎洋らによる空間コード化法を用いた未校正ステレオシステムによる密な 3 次元形状復元[1]、黒澤典義らによるアフィン空間分離法による運動物体の分離[2]等に例を挙げるように、画像工学を含む広い分野において活発に行われている。その中でも物体の表面の形状や反射特性の推定に関する研究は多く行われている。例えば荻野真佑らは Torrance-Sparrow モデルに基づく反射特性・形状・光源位置の同時推定の検討[3]を提案している。これらの方式は、形状推定や反射特性を行う際、多くの場合に物体の反射特性やカメラと物体との距離に関する仮定を必要とする。

本稿では、固定した単眼カメラで撮影した時間の経過により照明条件の変化した複数の屋外画像から、物体表面の反射特性が未知である屋外建造物の平面の向きを推定する方法を提案し、シミュレーション画像によりその基本的実験を行い提案方式の有効性を検証する。

### 2. 提案方式の概要

提案方式は、屋外建造物のある平面に対して、その平面に日光が直射し始める時刻と直射し終わる時刻から、平面に対して平行な直線を、日照条件の変化による画像内の輝度の変化からそれぞれ推定する。ある平面と平行な 2 直線が得られれば、その面の向きが決定する。このとき、撮影時刻・撮影地点の緯度経度・撮影時刻毎の太陽の位置は既知であるとする。

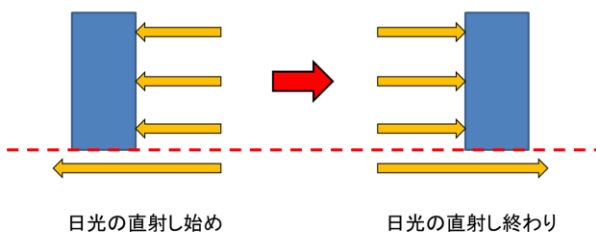


図 1. 提案方式の概念図

### 3. 日光が直射している時刻の推定

ある平面の画像中における輝度は、その平面に直射する光の強さと光の入射角、それ以外の環境光に依存する。よって、輝度を  $I$ 、入射角を  $\theta$ 、光の強さを  $D(D>0)$ 、環境光の強さを  $E$  として、画像中の各ピクセルの時刻による輝度の変化に関して式(1)の曲線との照合を行う。

$$I = D \cos \theta + E \quad (1)$$

ある平面に対し日光が直射し始めるとき、日光の入射角は  $90^\circ$  から時刻の経過にしたがって減少する。よって、ある時間内で入射角が  $90^\circ$  から徐々に減少すると仮定し、最小二乗法によりその時間内の輝度の変化に最も適合する  $D$  と  $E$  を推定する。この操作を撮影開始時刻から終了時刻までの全範囲で行い、各時間内で推定した  $D$  と  $E$  をもつ曲線と、その時間内での輝度の変動の二乗誤差が最小となる時刻を推定する。同様に、ある時間内で最終的に入射角が  $90^\circ$  になると仮定し、日光が直射し終わる時刻を推定する。

### 4. 実験

#### 4.1 実験内容と手順

実験は、屋外建造物の平面へ日光が直射し始める時刻と直射し終わる時刻の推定をシミュレーション画像系列の各ピクセルに関して行う。

画像は6月21日の6時から18時にかけての栃木県宇都宮市の日照条件をシミュレートした  $800 \times 600$  の JPEG 圧縮カラー画像である。シミュレーション環境の建造物の配置、撮影地点を図2に示す。色のついた正方形が建造物、台形が撮影範囲である。図2の環境をシミュレートしたシミュレーション画像の1枚を図3に示す。実験は、2分間隔で連続撮影された画像360枚を用いる。

式(1)との照合時間間隔は80分間である。

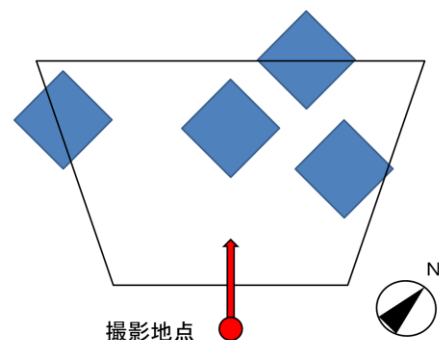


図 2. シミュレーション環境配置図

† 宇都宮大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

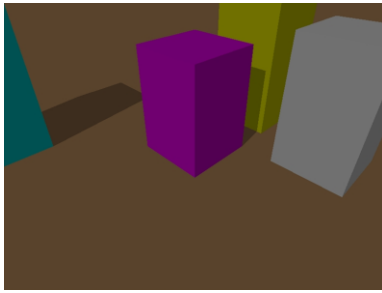


図3. シミュレーション画像

## 4.2 実験結果

実験の結果を図4に示す。図4は、図3を含む画像系列の各画像の上から150行目に対して、日光が平面に直射し始める時刻と直射し終わる時刻の推定を行った結果である。画像は800×600であるため、800個の各ピクセルに関して推定が行われている。図4より、画像系列中の建造物の各平面に関して、平面毎にほぼ一定の値が推定されていることがわかる。この実験では、地面を水平面として太陽と地面のなす角を太陽高度、北を0°として時計回りに太陽方位角が増大していき、東を90°、南を180°、西を270°とする。図2より、画像系列中の建造物はそれぞれ東西南北を向いた平面と、水平面と平行な上向きの平面を持っている。そのうち、画像系列中で視認できる平面は上向きの平面、南向きの平面、東向きの平面の3つである。図4より、画像系列の150行目に含まれる平面は、画像左の建造物の東向きの平面、画像中央の建造物の南向きの平面と東向きの平面、画像右から2番目の建造物の南向きの平面と東向きの平面、画像右の建造物の南向きの平面である。それぞれの平面と推定結果の対応を図4に示す。グラフの縦軸は日光が画像系列中の平面に直射し始める時刻と直射し終わる時刻の太陽方位角、横軸は画像系列中の何列目のピクセルであるかをそれぞれ示す。

## 5. 評価

日光を平行光とすると、南向きの平面に関して、日光が直射し始める直前の時刻に日光と平面が平行になるため、その時刻の太陽方位角は90°となる。同様に東向きの平面に関して、日光が直射し始める時刻の太陽方位角は0°となるが、日本は北半球であるためこの位置の太陽を観測することはできない。このように、推定不能であると推定された平面の場合、推定結果は0°となる。ここで画像中央の建造物の南向きの平面の推定結果は、直射し始めが約80°となっており、実際に太陽がこの平面に直射し始める時刻の太陽方位角とは10°程度の誤差がある。また、画像右の建造物の南向きの平面も同様の推定結果である。直射し始めの時刻が観測できない東向きの平面は、推定不能の0°という値が推定されている。南向きの平面の直射し終わりは、いずれも約280°という推定結果が出ており、270°という正確な値と比較すると、これもまた10°程度の誤差がある。この10°という誤差は、式(1)との照合アルゴリズムの改良によって今後十分対応できる値であると考えられる。

次に問題点として、東向きの平面の直射し終わりの推定

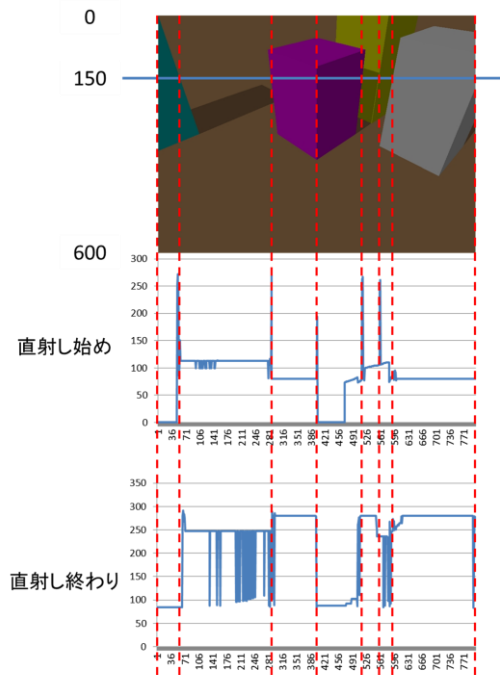


図4. 推定結果

結果は約90°となっており、正確な値は180°であるため90°もの誤差が出ている。これは、式(1)と輝度の照合を行う際に両者の間の誤差が同程度である時間が続いたためである。この問題は、直射し始めと直射し終わりの瞬間以外の照合点を複数設け、それらの照合結果から総合的に判断することで解決できると考えられる。

以上より、現在の推定方式の精度は一部の平面の推定へ適用できるものであると考えられる。

## 6. むすび

本稿では、照明条件が変化した複数の屋外画像と太陽の位置から、反射特性が未知である屋外建造物の、平面の向きを推定する方法を提案し、シミュレーション画像実験により、平面の向き推定の前段階である平面へ日光が直射し始める時刻と直射し終わる時刻の推定を行い、その有効性を検証した。検証の結果、現行方式は一部の平面の推定へ適用でき、アルゴリズムの改良によって適用できる平面はさらに増えると評価した。

## 参考文献

- [1] 川崎, 大沢, 古川, 中村, “空間コード化法を用いた未校正ステレオシステムによる密な3次元形状復元”, MIRU2005, pp. 59-71, 2005
- [2] 黒澤, 金谷, “アフィン空間分離法による運動物体の分離”, 情報処理学会研究報告. CVIM, 2001(4), pp. 25-32, 2001
- [3] 荻野, 右田, 尺長, “Torrance-Sparrowモデルに基づく反射特性・形状・光源位置の同時推定の検討”, 情報処理学会研究報告. CVIM, 2008(27), pp. 557-564, 2008