

## 単一固定カメラによる太陽光の入射角が最小となる時刻に基づく 屋外建造物の垂直平面の向き推定

### Estimation of vertical surfaces directions in outdoor Environments using a fixed camera with time at the smallest incidence angle of sunlight

山村 哲平<sup>†</sup>  
Teppeï Yamamura

青木 恭太<sup>†</sup>  
Kyota Aoki

#### 1. はじめに

3次元構造推定は、ステレオ法などの複数視点からの画像を用いる場合が多いが、それらの方式は屋外などの広範囲の三次元構造推定には不向きである[1, 2, 3, 4]. そのため、固定した単一の一眼カメラによって長時間にわたり撮影した複数の屋外画像をもとにした、日の当たり始め・終わりに基づく屋外建造物の垂直平面の向き推定方式(以後、従来方式)が提案されている[5]. しかし、この方式はあまり精度が高くなく、改善には陰影領域の推定において日向時間帯と陰影時間帯の境界をより精度よく判定する必要がある.

そこで単一固定一眼カメラによる従来方式とは異なる垂直平面の向き推定方式として、各画素での最大輝度をとる時刻を、日光の入射角が最小となる時刻と仮定することでその平面の向きを推定する方式(以後、提案方式)を提案する. 本稿ではまず、様々な向きの垂直平面それぞれの太陽光の入射角の時間経過による変化を調査する. 次にその結果をもとに屋外垂直平面の向き推定方式を提示する. 実際に観測画像系列を提案方式で推定する.

#### 2. 垂直平面の向きごとの太陽光入射角が最小となる時刻

##### 2.1 調査方法

任意の時間帯における様々な向きの垂直平面に対する太陽光の当たり方の変化をシミュレートすることで、垂直平面ごとの太陽光の入射角が最小となる時刻を調査する.

調査する垂直平面の向きは北向きを0度とし、時計回りを正の向きとしたとき0度から10度ごとの向きを向く36方向とする. シミュレートする日照条件は夏至(621), 冬至(1222)の0時から24時にかけての栃木県宇都宮市のものとする. なお、大気層による光の減衰は考慮していない.

##### 2.2 調査結果・考察

夏至の調査結果を図1に、冬至の調査結果を図2にそれぞれ記載する. これらのグラフは横軸がどの垂直平面の向きを表し、縦軸はそれぞれの垂直平面の太陽光入射角が最小となる時刻を表している. グラフが存在しない場合、日が当たっていないことを表している.

冬至において、北寄りの垂直平面は日が当たっていないため、推定に使用が困難と考えられる. また、いずれの時期においても、西寄り・東寄りの垂直平面は日が昇った直後の時刻、または日が沈む直前の時刻に太陽光入射角が最小となってしまう. そのためその時刻から垂直平面の向きを特定することができない.

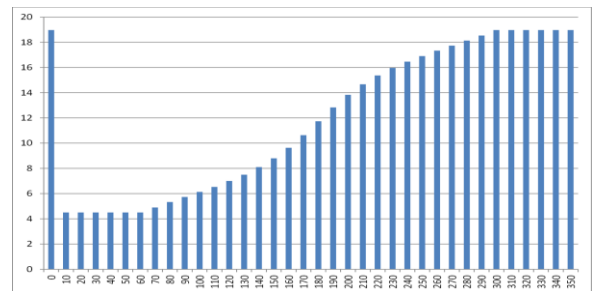


図1: 夏至における垂直平面の向きごとの太陽光入射角最小となる時刻

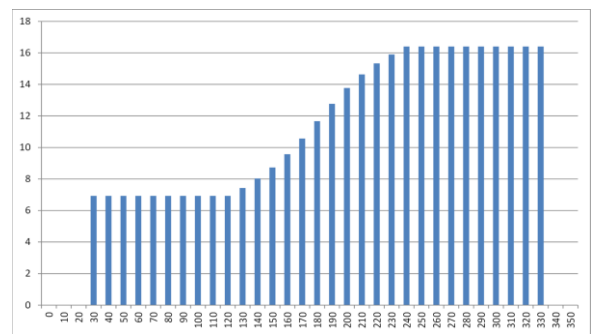


図2: 冬至における垂直平面の向きごとの太陽光入射角最小となる時刻

逆に南寄りの垂直平面は向きごとに太陽光入射角が最小となる時刻がずれており、その時刻から垂直平面の向きを特定することが可能と考えられる.

#### 3. 単一固定カメラによる太陽光の入射角が最小となる時刻に基づく屋外建造物の垂直平面の向き推定

##### 輝度の取得

撮影開始時刻から撮影終了時刻までの全観測画像の集合を観測画像系列とする. 各観測画像内の同一座標の全輝度を取得する. この操作を画像系列内の全画像の全画素に関して行う.

##### 画素ごとの最大輝度時刻の取得

得られた観測画像系列の全輝度をもとに、画素ごとの最大輝度を取る時刻(以後、最大輝度時刻)を取得する.

##### 太陽高度・方位角の取得

撮影時の日照条件をもとに撮影開始時刻から撮影終了時刻までの間の太陽高度・太陽方位角の変化を取得する.

<sup>†</sup>宇都宮大学工学研究科

### 3.1 垂直平面の向きごとの太陽光入射角が最小となる時刻の取得

撮影時の日照条件での太陽高度・太陽方位角変化をもとに、様々な向きの垂直平面ごとの太陽光入射角を単位時間ごとに求める。そして、垂直平面の向きごとに太陽光入射角が最小となる時刻を求める。

任意の時刻におけるある向きの垂直平面へ太陽光の入射角を求める計算式は以下の式(1)(2)(3)である。式の値はいずれも弧度法によって表現されている。垂直平面に対する入射角を **Incidence** とする。太陽高度 **Height** と **Incidence** の y 成分  $y$  は地面と平行なときを 0 とし、上向きを正の向きとしたときの値である。太陽方位角 **Orien** と垂直平面の向き **Surface**、**Incidence** の x 成分  $x$  は北向きを 0 度とし、時計回りを正の向きとしたときの弧度法による値である。太陽の沈んでいる時刻の **Incidence** は -1 とする。

$$x = \text{surface} - \text{Orien} \quad (1)$$

$$y = \text{Height} \quad (2)$$

$$\text{Incidence} = \cos^{-1}(\cos x \cos y) \quad (3)$$

$$(-\pi \leq \text{Orien} \leq \pi, 0 \leq \text{Height} \leq \pi, 0 \leq \text{Incidence} \leq \pi)$$

### 3.2 画素ごとの輝度最大時刻と太陽光入射角の最小となる時刻の比較による垂直平面の向き推定

屋外において、太陽光以外の光源を考慮しなく、太陽光を遮る遮蔽物がなく、大気層による光の減衰を考慮しない場合、平面の輝度は太陽光の入射角の変化によってのみ変動すると考えられる。そのとき輝度値が最大となるのは入射角が最小のときである。

観測画像系列の同座標ごとの最大輝度時刻と、太陽光入射角が最小となる時刻を比較する。等しい、または極めて近い値を持つとき、その座標に写るものが垂直平面である場合、その向きはその時刻において太陽光入射角が最小となる垂直平面の向きと推定できる。

## 4. 提案方式による屋外シミュレーション画像系列の垂直平面の向き推定実験

### 4.1 実験内容と手順

実験は、単一の固定単眼カメラで撮影した複数の観測画像を使用する。実験に使用する画像は、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 BMP カラー画像である。2分間隔で連続撮影された画像 360 枚を用いる。この画像は照度・ノイズを含まない。シミュレーション環境の建造物の配置、撮影地点を鳥瞰で表した画像を図 3 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 3 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 4 に示す。

実験では観測画像系列に対し、提案方式による垂直平面の向き

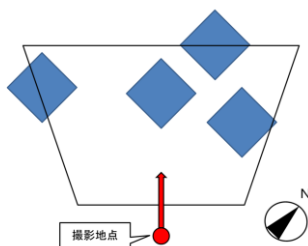


図 3：シミュレーション環境配置図

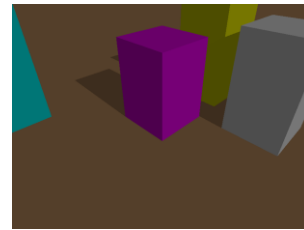


図 4：シミュレーション画像

推定を行う。3.1の方法で太陽光入射角が最小となる時刻を取得しておく垂直平面の向きは  $0, 1, 2, \dots, 359$  度の 360 方向である。

### 4.2 実験結果・考察

推定結果は観測画像系列の同一座標ごとに、北向きを 0 度とし、時計回りを正の向きとした度数で示す。同一座標ごとに推定結果の半分の値を輝度として出力したモノクロ画像を図 5 に示す。

遮蔽物による陰影が存在しない座標において、真南(180度)を向く垂直平面の推定結果は 179 度と 180 度の間であった。また真東(90度)を向く垂直平面の推定結果は 98 度であった。誤差があったのは、90度の垂直平面が最大輝度を取る時刻が、撮影した時間帯でのものと、1日を通したものとで一致していなかったためだと推測できる。

陰影を含む座標では太陽光入射角の変化以外の要因で最大輝度変動しているため、推定がうまくいかなかった。

## 5. まとめ

本稿では既存の単一固定一眼カメラによる屋外の垂直平面の向き推定方式とは異なる新たな推定方式として、太陽光の入射角が最小となる時刻に基づく推定方式を提案した。実際に提案方式で観測画像系列の垂直平面の向き推定を行い、提案方式の有効性を示した。

### 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] 荻野, 右田, 尺長; “TonanceSparrow 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. CIVM*, 2008(27), pp.557-564, 2008
- [3] 坂東, 柴田, 清水, 深谷, 石井; “確率的逐次因子分解による単眼画像時系列からの三次元構図復元(ベイズ情報処理, ベイズ情報処理及び一般)”, *電子情報通信学会技術研究報告. NC*, ニューロコンピューティング 106(279), pp.49-54, 2006
- [4] 岡部, 佐藤; “近接点光源は未校正照度差ステレオにおける形状復元の不定性を解決するか?”, *情報処理学会研究報告. CIVM*, pp.153160, 2007
- [5] 刈屋, 青木; “Estimation of Direction of Surfaces in Outdoor Environments Using Single Cameras”, *IWAIT2012*, 2012

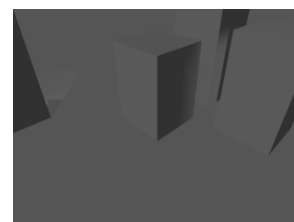


図 5：提案方式による向き推定結果