チンダル現象を利用した物体表面の三次元位置及び法線推定

Estimation the 3D Position and Normal at the Surface of Objects by Using Tyndall Effect

小山 亮 [1]　Akira KOYAMA
テムニランラット ピッチャヤガン [2]　Pitchayagan TEMNIRANRAT
舩冨 卓哉 [3]　Takuya FUNATOMI
飯山 将晃 [4]　Masaaki IIYAMA
角所 考 [3]　Koh KAKUSHO
美濃 導彦 [3]　Michihiko MINOH

京都大学工学部 [1] 早稲田大学大学院先進理工学研究科 [2] 京都大学学術情報メディアセンター [3] 京都大学経済学研究科 [4]
Faculty of Engineering, Kyoto University[1]
Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University[2]
Academic Center for Computing and Media Studies , Kyoto University[3]
Graduate School of Economics, Kyoto University[4]

1. はじめに　映画や VR 装置の合成映像への利用を目的として多種多様な実物体の形状を獲得する需要が増えている．高精度な形状獲得にはレーザレンジファインダが用いられているが，レーザ光の物体表面での反射光を観測することで形状を計測するため，金属や黒色物体など視点によって反射光が観測しづらい物体の形状計測は困難である．本手法ではチンダル現象を利用してこの問題に対処する．チンダル現象とは，微粒子で満たされた媒介中を通過する光の道筋が観測される現象である．この現象により観測される入射光の道筋に基づいて物体表面での到達位置を推定し三次元形状を計測する．また同時に鏡面反射光を観測することで物体表面の法線方向も推定する．

2. チンダル現象の利用法　チンダル現象下で入射光と反射光を観測するために，密閉した空間に煙を充満させてその中に物体を置き，暗室で赤色レーザポインタを物体に照射する．その様子を複数台のカメラで観測する．観測した画像の例を図 1 に示す．

3. 画像上での入射光・反射光・反射位置推定　観測画像から入射光に相当する線分と反射位置に相当する点を抽出する．

レーザポインタを用いると，レーザは一定の幅を持っているので，その光は画像上で高々太さ d ピクセル以下の赤色領域として観測される (d は定数)．そこで、画素値の赤色成分に対して二値化を行った画像に対し，d 回収縮・膨張処理を繰り返すことで太さ d 以上の部分だけが残り，その部分を元の二値化画像から除去することで太さ d 以下の部分のみを抽出する．これをさらに細線化したものから線分を抽出する．収縮・膨張処理によって除去された領域に入射光の反射位置が含まれている可能性を考慮し，抽出された線分を含む直線上でもっとも画素値の高い点を入射光反射位置とする．

次に観測画像上で鏡面反射方向に相当する線分を推定する．入射光反射位置を始点とし任意の方向 θ について反射光の強度 k_θ を推定し，これが最大となる θ を鏡面反射が最も強い方向とする．しかし，チンダル現象による入射光などの散乱光が物体表面で再度反射することが起こるため，鏡面反射方向を正確に得られない場合がある．

入射光反射位置を始点とし任意の方向 θ に向かう半直線上に位置する画素に着目すると，これらの画素値はある減衰法則に従う．空間中の一点の光の強さは光源からの距離の二乗に反比例するというケプラーの法則に基づいてチンダル現象下で反射光をカメラで観測した際の画素値の変化をモデル化すると，画像上での入射光到達位置から θ 方向に距離 r 離れた画素の画素値 I は θ 方向への反射光の強度を k_θ として $I \propto k_\theta/r$ と表すことができる (図 4)．そこで，方向 θ に沿った画素に対して k_θ を推定して k_θ の候補を得，そこからロバスト推定を用いて k_θ の値を決定し，鏡面反射方向を推定する (図 2)．

4. 三次元反射位置及び法線推定　複数カメラで得られた各画像上での入射光反射位置からステレオ視を用いて三次元位置を推定する．画像上での入射光の線分上のある一点に対応する三次元空間上の位置をステレオ視によって得ることにより，三次元空間上での入射方向を得る．鏡面反射ベクトルに関しても同様に三次元ベクトルを求める．ここで Torrance-Sparrow や Phong の反射モデルを利用し，鏡面反射が最も強い方向と入射方向とのなす角を二等分する方向を法線方向とする (図 3)．こうして求まった入射方向と鏡面反射方向から法線方向を推定する．

5. まとめ　チンダル現象を利用することで通常の環境では反射光を観測しづらい物体の形状と法線方向を計測する手法を提案した．今後の課題として，入射光の強度と反射光の強度分布を観測し，そこから拡散反射・鏡面反射の反射特性パラメータを推定することが挙げられる．

謝辞　本研究は科研費 (19800018) の助成を受けたものである．

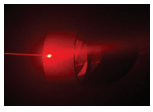

図 1　観測画像

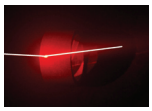

図 2　入射光・鏡面反射光の推定結果

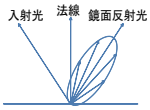

図 3　Phong の反射モデル

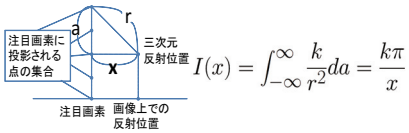

図 4　光の減衰のモデル化

Copyright © 2009 IEICE