インコヒーレント光源による 3D 分光計測手法の開発

 安達雅浩*1、堀将季*2、小山洋太*3

 東 聡志*4、高濱健吾*5、渡辺國寛*6

 森田貴彦*7、米谷 匡弘*8、粟辻 安浩*9

[要 旨]

LED 光源や白色ランプ等のインコヒーレント光源による色相グラデーションから3次元情報を取得 するための手法の開発を行い、測定対象物の3D形状の復元が可能であることを確認した。またさらに シンプルな手法として2色のLED等の単色光源による光強度の比から同様に3D形状の復元が可能であ ることを確認した。併せてリアルタイムに画像処理を行うためにFPGA への実装を行い、3D分光計測 モデルとなるデモ機を試作したので報告する。

1 はじめに

測定対象物の3次元計測には、コヒーレントな 光源であるレーザーの位相差を測定するタイムオ ブフライト方式が主流であるが、測定精度は高い が、スキャン時間がかかるうえ、装置が大がかり となり、結果としてコストが大きくなり汎用性に 乏しい構造となっている^{1),2)}。一方、カメラを用 いたステレオ方式やスリット光・モアレ格子によ る位相差方式はシンプルで低コストな構造ではあ るが、測定分解能が低かったり、測定対象物の3

- *1 応用技術課 主任研究員 (現 中丹技術支援室 室長)
- *2 応用技術課 主任 (現 計量検定所 主査)
- *3 応用技術課 技師 (現 企画連携課 副主査)
- *4 応用技術課 技師 (現 建設整備課 技師)
- *5 高濱研究所
- *6 マイクロシグナル株式会社
- *7 株式会社システムロード
- *8 株式会社大日本科研
- *9 京都工芸繊維大学

次元的等高線のみが可能で絶対距離が測定できない等の制限がある³⁾。ただし、画像処理的手法による3次元計測はシンプルで安価な構成には有用で、今後はカメラを用いたモーションキャプチャ等動的な3次元計測への応用も期待できる⁴⁾。

今回の研究開発においては、LED 光源や白色ラ ンプ等のインコヒーレント光源を用いて、カメラ 画像から3次元情報を取得するための手法を新た に提案し、3次元計測を備えたセンシング技術へ の応用を検討した。インコヒーレント光源は、一 般的には測定対象物をカメラで撮影するための照 明としての要素が大きいが、今回は照明光の色 相・光強度差のための計測用光源として用いるこ とで、簡易に3次元計測またはモーションキャプ チャに有用であることを示す。

2 提案手法及び実験結果

2.1 色相による3次元計測の提案手法

照明光は、図1に示すような x, y 色度座標によ り、光が有する色度を表現することが可能である。 これは CIE (Commission International de l'Eclairage:国際照明委員会)で規定された光の 波長と人間の視感度の相関から数値化したもので、 光の3原色である RBG (赤青緑) 情報を xy 座標上



に全て表現することができる。この色度座標上に おける光の色度変化は色相となり、xyの位相変化 量と等価に表され、例えば赤から緑、緑から青に 徐々に変化する軌跡を描くことで、色相は tan⁻¹ (y/x)で表される。

図2に示すとおり、グラデーション状に波長が 変化する光源を測定対象物に当てることで、観測 側では、xyの強度変化または色相変化から、測定 対象物に応じた相対的な距離特性が得られる。絶 対距離は、基準となる位置をオフセット値とすれ ば測定が可能となる。



図2 波長グラデーションによる3次元測定構成

図2の測定構成において、対象物をZ方向に-20 mmから+20mmまで距離を変化させたときのグラデ ーションの色調変化の結果を図3に示す。



図3 距離可変による色調変化

対象物が基準位置(Za = 0 mm)に置かれたときの色調変化のRGB成分を空間的にプロットすると図4のような分布となり、xy 色度は図5で表される。xy 色度の位相差は色相を示しており、xy の位



図6 色相 (tan⁻¹((y-y0)/(x-x0)):deg)のプロット 図9

相差 tan⁻¹((y-y0)/(x-x0))を求めると図6となり、 対象物のZ方向の位置情報を一義的に求めること ができる。((x0, y0)はD65の白色色度)

同様に基準位置からZa = −20 mm、0 mm、+20 mm に対象物が置かれたときの色調変化から xy の位 相差 tan⁻¹((y-y0)/(x-x0))を図7から図9に示す。

(Za = 0 mm は図6と同じであるが、色調変化から位相差が変化していることを示すために再掲)



2.2 実験及び試作

提案する色相による3次元計測の手法の実験構成を図10に示す。白色のスポット照明をスリットにより絞り、線状の白色照明を反射型回折格子で分光し、RGB成分を有したグラデーション光を対象物に照射した画像をカメラで取得する構成となっている。試作品の概観を図11に示す。







図12 白色板のカメラ取得画像

基準面となる白色板のカメラ取得画像を図 12 に示し、このときの真ん中のラインの位置におけ る RGB 強度、xy 色度、色相を図 13 に示す。



図13 白色板の色情報からの色相算出

次に基準面となる白色板を取り外し、グラデー ション光を指に照射した画像を取得した結果を図 14 に示し、このときの真ん中のラインの位置にお ける RGB 強度、xy 色度、色相を図 15 に示す。図 13 と比較すると、基準面の高さとの差により、xy 色度及び色相にズレが生じていることが確認でき る。このことから2.1 で示したとおり、基準面 を中心として2軸方向の位置情報が、各画素毎に 含まれていることがわかる。水平・垂直の2次元 の画像に、2軸方向の位置情報をプロットした3 次元復元図を図 16 に示す。



図16 指の3次元復元図

図 16 において、基準面からの絶対距離を縦軸に 示しており、指の腹がへこんだ状態を復元できて いることがわかる。形状を復元できる程度でまだ まだ測定精度は低いが、色相情報からZ方向の絶 対距離情報を検出することが可能であることを示 すことができた。

2.3 光源の LED 化実験及び試作

2. 2においては、白色光源を回折格子により 分光することで色相を算出したが、光学配置が複 雑で自由度に乏しく、さらなる小型化には適して いない構成であるため、RGBの3色のLEDを用い たグラデーション照明により3次元計測のための 光学系を構築し、同様の実験を行った。実験構成 を図17に示す。最初に2.2と同様、基準面とな る白色板のカメラ画像を取得し、指をかざして3 次元データの復元を試みた。図18に基準面及び測 定対象物のカメラ取得画像を示す。その結果、図 19に示すように、3次元データは回折格子を用い た光学系のような形状を復元することができなか った。これは3色のLEDの色むらが大きく影響し ており、基準面の色相の算出自体がうまく動作し ていないことが原因であると考えられる。このこ



図14 指のカメラ取得画像



図15 指の色情報からの色相算出

とからLEDを用いた色相による3次元計測にはさらに高強度のLEDと回折格子のようなRGBのグラデーションを効率良く作るための最適化が必要であると考えられる。









図18 カメラ取得画像



図19 指の3次元復元図

2. 4 色強度比による3次元計測への試み

LED を用いた色相による3次元計測手法は、多 くの課題があり、白色光源と回折格子が不可欠と なることがわかったが、光学系が複雑で小型化を 阻む要素が多い。このため照明のグラデーション を限定し、色の強度比から3次元情報を取得する ための可能性調査も併せて行った。

図17に示したLEDを用いた色相による3次元計 測と同様の構成で、色の重なりから強度の比を算 出するために、グラデーション照明にはGB(緑と 青)の2色のLEDを用いた実験を行った。基準面 となる白色板及び指のカメラ取得画像を図20に 示す。



図20 カメラ取得画像

2色のみのLEDを用いることで、光強度を保っ たままの状態で照射エリアを広げる角度に設定す ることが可能となり、LEDによる色相3次元計測 よりも鮮明にカメラ画像を取得することができた。 この2色のグラデーションによる色の強度を測定 した結果を図21に示す。緑色と青色の照明の色強 度がほぼ重なってしまうため、グラデーションが 鮮明に出ていないため、理想的には緑色を理想G のような重なりを実現するための光強度・照射角 度の最適化が必要ではあるが、色強度比G/(G+B) を求めることで3次元情報を取得することが可能 であることがわかった。色強度比の算出結果を図 22、3次元復元図を図23に示す。



図 21 色強度測定



図 24 デモ機概観







図23 指の3次元復元図

色強度比による3次元計測が可能であることが わかったことから、画像処理プログラムを FPGA への実装を行い、ディスプレイで計測状態をリア ルタイムに確認しながら表示が可能なデモ機を製 作した。その概観を図24に示す。今後は3次元情 報を復元可能な処理機能の実装を行い、モーショ ンキャプチャ等の動的な対象物の3次元計測への 応用を目指していく。

3 まとめ

白色光源を回折格子により分光し、色相から3 次元計測が可能な手法、シンプルな光学系に加え て安価な構成が可能なLEDによる3次元計測が可 能な手法の提案を行い、回折格子を用いた色相3 次元計測及び2色LED光源を用いた光強度比によ り信号処理する手法の開発及び実験試作を行った。 加えてモーションキャプチャ等の動的な対象物の 3次元計測を視野に入れ、リアルタイムに画像処 理可能なFPGAへの実装を行い、デモ機の試作を行 った。今後は、情報端末の周辺機器やセンサデバ イス等、簡易的に、安価に3次元計測が求められ る分野への展開を図っていく。

(参考文献)

- 1) 篠田 達也 他: "3D 計測技術の動向とその応用"、
 KOMATSU TECHNICAL REPORT Vol. 61, No168 (2015)
- 3)新村 稔: "現場で活躍する 3D 計測技術"、情報処理 Vol. 55, No10 (2014)
- 日浦 慎作: "画像情報処理 3 次元計測(奥 行き計測)とカメラの幾何学"、兵庫県立大学講 義資料(2014)
- 4) 依田 康宏 他: "民生機器を利用した三次元計 測システムの開発"、愛知県産業技術研究所研究 報告(2005)