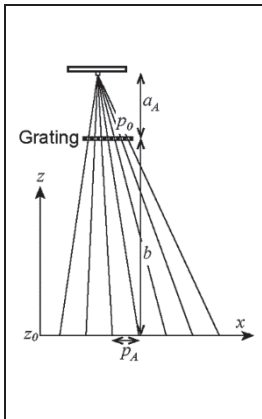


# 格子投影と位相解析による三次元形状計測

福井大学 学術研究院工学系部門  
藤垣元治



## 1. はじめに

光学的手法を用いた非接触三次元計測は、製品加工における検査工程をはじめとして、人体やインフラ構造物、考古物など幅広い分野で必要とされている<sup>1,2)</sup>。また、近年の光技術や情報機器の発展によって、ハード面やアルゴリズムにおいても改良が進んでいる。非接触の三次元計測装置として、近年は、ランダムドットパターンの投影や Time of Flight (ToF)方式、LiDAR など、スマートフォンや自動車、移動ロボットに搭載できるようなものも多く開発されている。一方で、製品検査などように計測精度が必要な場面においては、格子パターンを投影し、その位相解析を用いる手法が広く使われ、多くの製品が開発されている。

その中で著者は、格子投影と位相解析を用いたこれまでに高速かつ高精度に三次元計測を行うことができる手法として、レンズの歪曲収差が入らず高速に点群情報を得ることができる「全空間テーブル化手法」を提案してきた<sup>3)</sup>。また、その手法を用いて小型で高速な三次元計測装置を実現させるための「ライン LED デバイス」を開発し、その改良を進めてきた<sup>4)</sup>。これによりリアルタイムでさらにフルカラーで点群情報を取得できるハンディ型の三次元計測装置の構築が可能となる<sup>5)</sup>。

また、振動の大きな工場現場や屋外の災害現場等で使用するロボットなど、振動が多い環境においても、キャリブレーションずれが発生しないようにするための手法として、「特徴量型全空間テーブル化手法」を提案している<sup>6-8)</sup>。この手法は、従来用いられてきたものとは異なり、プロジェクタから投影するパターンの情報のみで三次元座標値を求める手法である。それにより、カメラのキャリブレーションが不要になることでピント調整がいつでもできる振動に強い三次元計測装置が実現できる。

本稿では、これらの手法の原理と、構築した試作装置について紹介する。

## 2. 格子投影と位相解析による三次元計測手法

画像として撮影された格子パターンの輝度値  $I(i, j)$  は一般に図 1 上段に示すように画像の  $(i, j)$  上に余弦波状に分布している。これを式で表すと次のようになる。

$$I(i, j) = a(i, j) \cos \theta(i, j) + b(i, j) \quad (1)$$

ここで、点  $(i, j)$  は撮影された画像内の一点で、 $a(i, j)$ 、 $b(i, j)$  は、輝度振幅と背景輝度を表し、 $\theta(i, j)$  は格子の位相値を表す。また、左端から順に番号付けをして、それを  $k(i, j)$  とする。

格子画像の場合、位相は実数全体で表すことができるが、 $-\pi$  から  $+\pi$  や  $0$  から  $2\pi$  までの  $2\pi$  周期の繰り返しとみることもできる。図 1 中段は  $\theta(i, j)$  の分布を  $-\pi$  から  $+\pi$  までの繰り返しとして表現したものである。

さらに、位相値が急変する変わり目において  $2\pi$  を加えることで図 1 下段に示すように、位相の連続化を行うことができる。これを位相接続された位相  $\phi(i, j)$  といい、式(2)のように表すことができる。

$$\phi(i, j) = \theta(i, j) + 2\pi k(i, j) \quad (2)$$