

近畿大学大学院 学生会員 ○西本 相忠
近畿大学理工学部 正会員 江藤 剛治

1. 序論

a. 目的

本研究は、波高の小さい水面波や橋梁の振動現象等の縦横比(アスペクト比)の非常に大きな振動現象を画像計測する技術の開発を目的としている。例えば通常のテレビジョン画面のアスペクト比は、ハイビジョンでも 2:1 程度であり、横方向の画素数は約 2000 である。一方、支間 100m の橋梁が 1cm 変位したとすれば、アスペクト比は 10000:1 となる。したがって普通にビデオカメラで橋全体を撮影すると、解像力不足で、変位を計測することはできない。また、部分的に拡大した場合、全体の挙動を把握できない。したがって、通常の画像解析手法で橋梁全体の振動を同時計測することは不可能である。

本研究では、画面を一方方向のみに拡大し、一画面上で構造全体の振動を詳細に可視化することにより画像計測する方法を開発している。

b. 問題点

画面のアスペクト比は、シリンダリカルレンズを用いることにより容易に変化させることができる。しかし、シリンダリカルレンズを用いることにより縦方向のみの大きなレンズ歪みが発生する。また、画面を縦に引き延ばすため、水平方向の直線がぼやけてしまう等の問題が生じる。高精度に画像計測を行うためには、縦方向のみのレンズ歪みを補正し、画像解析においてサブピクセル単位で境界線を推定しなければならない。

さらに、振動現象を水平方向にアスペクト比を変化させて撮影した場合、得られる振幅の幅は大きくても縦方向に数十画素相当程度である。したがって、振動現象の撮影には縦方向の撮影領域をそれほど必要としない。このため、横長の撮影領域を持つ高速ビデオカメラを開発する必要がある。撮影領域の画素数を減らし撮影することにより撮影速度と撮影精度が同時に向上する。

c. 計測システムの構成

以上のことから、計測システムを光学系、高速ビデオカメラ、画像解析の 3 つの技術要素に分割し、実用に耐えうるように各技術要素を改良し、これらを統合して高精度の画像計測システムを構築する。

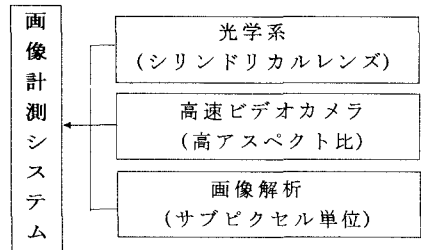


図 1 計測システムの構成

2. シリンダリカルレンズの歪み補正

本研究では、一方方向のみに拡大率を持つレンズの歪をレンズ中心軸からの距離 R のみに依存すると仮定した (式 1 参照)。このレンズ歪み補正式とアフィン変換式を用い画像位置から実空間位置を求め、実測値との誤差を計算し精度の検討を行った。

$$Y = Y_d(1 + \kappa_a R^2)$$

$$R = Y_d - Y_0 \quad (\text{式 1})$$

ただし、 Y : レンズ歪みを修正した画面座標、 Y_d : レンズ歪みを含む画面座標、 κ_a : レンズ歪み係数、 Y_0 : 画面レンズ中心軸位置

3. 画像解析手法の開発

シリンダリカルレンズによって縦横比を変化させて撮影を行うと、縦方向に引き伸ばすためにぼやけが生じるため、被写体の中心位置が正確に解らない。

画像は、ピントがぼけることにより画面の被写体位置に対して、広がりを持った輝度分布を持つ。

解析に用いるパウエル法の最適化においては、中心線のまわりに正規分布の輝度分布を持ち、最大輝度、輝度の広がり 4 次までの $\sin$ 波 $\cos$ 波の係数を変数として、ぼやけた画像と同じような輝度分布を

作り、誤差の自乗和が最小になるように最適化を行うので、高精度で中心位置が推定できる(図.2 参照)。

しかし、普通に画像に対しパウエル法を用いて解析を行った場合、初期値の推定が難しく解が収束しない等の問題が生じる。このような問題を解決するために、平均化・2値化処理、細線化処理、FFT法、により初期値を推定し、パウエル法により精度を上げるとい画像解析方法を開発した。

4. バイオリンの弦の振動撮影

a. 撮影方法

バイオリン全体をスチールカメラで結像させ、シリンドリカルレンズを用いて画面の縦横比を変化させ高速ビデオカメラで撮影を行った。ただし、弦の振動を明瞭に撮影するため、弦に夜光塗料を塗り、ブラックライトを使用して蛍光撮影を行った。また、弦以外の部分は黒の画用紙で覆った。弓の腹部分は黒に塗装した。これにより、バイオリンの弦の振動のみを詳細に撮影することができた。

撮影結果をビデオで示す。

b. バイオリンの弦の振動現象の画像解析

蛍光撮影されたバイオリンの弦の画像(写真.1 参照)を解析モデルとして使用し、解析方法と結果を示す。平均化・2値化処理により、ぼやけを含む被写体の境界線を設定し、細線化処理によりその中心線を求める(図.3 参照)。

細線化結果を被写体中心位置と仮定し、FFT法によりフーリエ級数を求め、中心位置の波形を求める。これを、パウエル法の輝度分布の中心位置の初期値として用いて解析を行う。ただし、FFT法で得られた波形の次数は100次である。このうち4次の係数を、パウエル法の初期値として用い解析を行った(図.4 参照)。

5. 結論

- 1) 画像位置から実空間位置を求めるためのキャリブレーションの精度は、相対精度で1/10~1/100であった。
- 2) 夜光塗料とブラックライトを用いた蛍光撮影により、バイオリンの弦の振動を詳細に撮影することができた。
- 3) 開発した解析方法により、短時間で解析結果が得られた。解析結果と画像の波形は良く一致していることが確認できた。

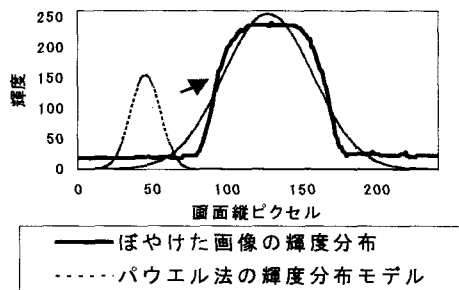


図.2 ぼやけた画像輝度分布と
パウエル法のフィッティング

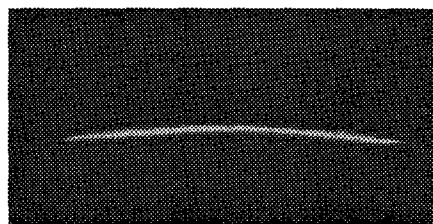


写真.1 解析モデル(バイオリンの弦の振動画像)

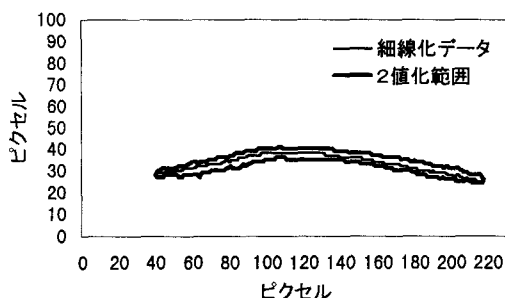


図.3 平均化・2値化処理、細線化処理結果

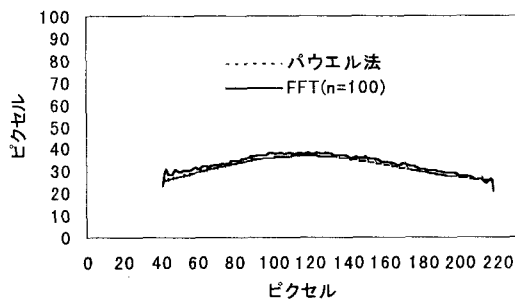


図.4 FFT法、パウエル法結果