

コンピュータビジョンを用いた リアルタイム力学運動解析システムの開発

中川 玄

大阪工業大学大学院 情報科学研究科

本研究の目的は、コンピュータを用いて容易に物理実験の実行を可能とすることである。このために力学実験に限定し、PC と Web カメラを用いて運動物体の自動認識を行い、リアルタイムに運動解析結果を可視化する物理実験用システムの開発を行った。これにより特殊な装置を必要とせず、自宅や学校など場所を選ばない物理実験が可能となった。

1. 背景

高等教育において、物理学は理学および工学の基礎として重要な科目として位置づけられているが、学習が困難と思われる科目でもある。このような困難が生じている理由の一つとして、「経験知」と「科学知」のギャップが挙げられる。学習者は、日常の身体的な体験から運動や力の概念を形成し、理解したと考えるようになる（運動に関する経験知）。しかし、経験知は必ずしも学校教育で体系的に与えられる科学知と一致したものではない。この経験知と科学知のギャップが、科学知としての物理理解を妨げていると考えられる。

経験知と科学知のギャップを軽減するためには、学習者自らの経験により科学知としての物理を理解する必要がある。この意味で実験教育は非常に重要である。しかし、学校教育においては、特殊な機材の必要性や時間的な制約があるため、実験は教員や教授者による演示形式で行われることが多く、学習者全員が十分な経験を得ることは難しい。

このような背景から、学習者が物理学を理解するためには、物理実験を容易に行えるシステムが必要であると考え、誰もが利用可能なシステムの開発を試みた。

2. 解析システム

初等的な力学実験を取扱い、学習者の理解を促す物理実験用システムである。PC と Web カメラを用いて運動物体を撮影すると、撮影とリアルタイムに物体の運動を解析し、物体の運動軌跡や位置・速度・加速度のグラフを表示する。また、可視化した軌跡上に速度や加速度のベクトルを表示することも可能である。

図 1 は本システムを用いて放物運動の実験を行い、向かって左から右へボールを投げた際の解析画面である。左上のウィンドウが Web カメラによる撮影像であり、右上が放物線を可視化した図、左下が水平方向のグラフ、右下が垂直方向のグラフを表している。これらは全て撮影とリアルタイムに更新される。

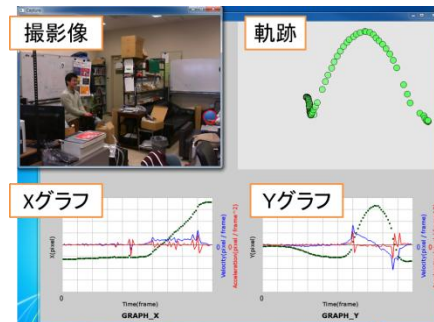


図 1 放物運動の解析画面

2.1 使用環境と条件

本システムで取扱いを想定している力学実験には、単一色のボール等の物体が行う水平運動や、重力下での落下運動、放物運動などがある。ただし、これらは開発時の想定であるため、ユーザーの発想と必要に応じて、特定の物体や運動に縛られない自由な発想を基にした実験が可能と考えられる。

ソフトウェアの実行に必要な機材は PC と Web カメラである。使用する Web カメラは、フレームレートに 30(frame per sec(fps)) 以上の性能を持ち、フォーカスやホワイトバランス等の自動調節機能がない、もしくは機能をオフにできる物が望ましい。

フレームレートは自由落下の実験を行うことを基準に想定している。物体を高さ $h(m)$ から自由落下させた場合、空気抵抗を無視すれば物体が地面に到達するまでに必要な時間 $t(s)$ は次のように表される。但し、重力加速度は $g(m/s^2)$ とした。

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1)$$

このことから、高さ 2 m から物体を自由落下させた場合、物体は 0.64 s 後に地面に衝突することが分かる。30fps の性能を持つ Web カメラであれば、0.64 s の間に 19 frame の撮影が可能であり、これは一般的な運動解析に十分なフレーム数であるといえる。

2.2 物体抽出と座標取得

撮影像からの物体の抽出には、主にコンピュータビジョン(CV)技術である背景差分法と解析物体の色情報を用いた。

ソフトウェアを起動すると、初めに設定画面が現

Development of a real-time kinematic analysis system
Gen NAKAGAWA
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka Institute of Technology
573-0196, Hirakata, Osaka, Japan

れ、解析対象の設定を行う。ユーザーは撮影像を見ながら Web カメラの位置を決め、背景画像を設定する。そして、物体の色情報を設定し、設定は完了する。なお、背景画像の設定は 1 入力で完了する。また、色情報の設定は 1 クリックで自動に行う他に、手動で細かく設定することも可能である。

注意として、解析対象と同じ色の衣類等を実験者が身に着けていると、正確な物体の抽出は行えない。また、背景画像には解析対象や実験者などの、今後動くものはなるべく写り込まない方がよい。背景画像の設定以降は Web カメラを動かしてはいけない。

設定が完了すると、以降ソフトウェアは背景から撮影像に変化があり、かつ設定した色情報と近い色を持ったピクセルを抽出し、その抽出像の重心を物体の座標として捉え続ける。

これらの処理を、30 fps の Web カメラであれば、1/30 s 毎に行うことにより、物体の座標変化を得ることが可能となる。

2.3 運動解析および可視化

設定が完了すると、得られた座標変化より位置・速度・加速度を解析し、撮影とリアルタイムにグラフや、運動軌跡を表示・更新し続ける。

3. 評価

3.1 測定精度

力学実験での使用が目的であるため、座標の測定精度は非常に重要である。しかし、実験場所や実験者の衣服の模様が煩雑であったり、解析対象に照明による白とびや濃い影が存在したりする場合、運動物体を正確に抽出することができず、物体の中心を座標として正確に捉えることは難しくなる。

手軽に実験を行えるというメリットは減少するが、背景を一色の壁とするなど撮影環境を整え、色情報を細かく設定すれば、精度の上昇は見込める。

また、多少のノイズや服の模様、物体の白とび程度ならば、CV 技術によるクロージングとオープニングを用いたノイズの除去と、抽出像の欠損の補完機能により無視することが可能である。

3.2 精度の評価

2 つ種類の背景の下で放物運動の実験を行い、精度の評価を行った。一方は煩雑な背景、もう 1 つは白壁の背景である。図 2(a)に前者、図 2(b)に後者での実験風景を示す。実験環境、及び評価方法は次の通りである。

- ① 直径 20 cm のボールを放物運動させ、その様子を Web カメラで撮影・記録する。640×480 pixel の映像を 30 fps で撮影した。煩雑な部屋では 1 pixel 辺り約 0.5 cm、白い壁の環境では 1 pixel 辺り約 0.4 cm であった。
- ② 記録した映像から、1 フレームずつ目視で座標を確認し、これを正確な座標とする。

- ③ 記録済みの映像から、本システムと同じ手法を用いて座標を取得するソフトウェアを制作し、映像から座標を取得する。色情報の設定は自動で行った。
- ④ 比較のため、ノイズ除去と欠損補間の機能を使用した場合と、使用しない場合の 2 通りで座標値を得る。このとき色情報は同一のものを使用した。
- ⑤ 正確な座標と、ソフトウェアにより得られた座標の比較を行った。

図 3 は正確な座標とソフトウェアにより得られた座標の差を示した図である。放物運動中の正確な座標を原点とし、ソフトウェアによって得られた座標と正確な座標の距離を示している。図 3(a)は煩雑な背景、図 3(b)は白壁の背景での結果である。



図 2 実験風景

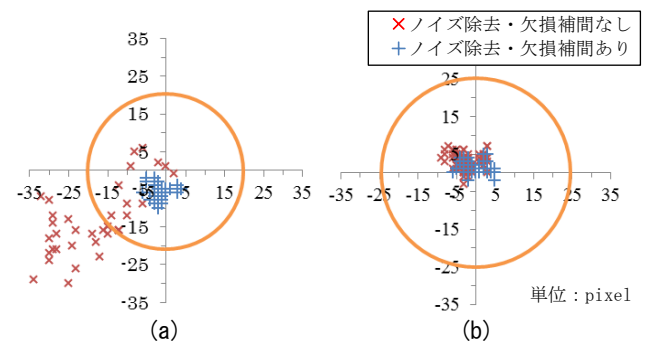


図 3 測定精度

まとめ

ノイズ除去と欠損補間機能を用いれば、背景が煩雑と白壁どちらの場合でも得られた座標にばらつきは少なく、力学実験には十分と考えられる精度が得られた。

本システムを用いれば、学習者は自らの手による実験から運動物体の速度、加速度および力の作用変化を、その場でグラフ等により定量的に視認可能となり、運動と力の作用の関係を直観的に理解することが可能となる。

参考文献

- (1) 中川玄, 高田直照: “コンピュータビジョンを用いた運動解析ソフトウェアの開発”, 2012 年春 JSiSE 学生研究発表会, pp.124-125(2012)
- (2) 中川玄, 藤井研一: “コンピュータビジョンによるリアルタイム運動解析システムの高精度化”, 教育システム情報学会第 37 回全国大会講演論文集, pp.332-333(2012)