

K-002

体感的学習が可能な物理シミュレーションシステムの構築

Construction of a physics simulation system that is capable of experiential learning

荻原 貴文† 林 大作† 中村 直人†
Takafumi Ogihara† Daisaku Hayashi† Naoto Nakamura†

1. まえがき

物理学の学習において物理現象を体験することは重要である。教科書や参考書などによる概念の学習に加え、視覚と触力覚を通して物体の運動を体験的に学習することで、物理現象の定性的な理解と学習意欲の向上を促すことができる[1]。特に、物理学の単元「力と運動」では、体験的な学習による概念の理解が重要と考えられる。体感できることで、演繹的学習における概念の定性的な理解の定着が可能となる。

そこで、本研究では力覚を伴った物理シミュレーションシステムの構築を行った。仮想の物体に対して、力覚を伴った能動的な操作及びその時の物理現象の再現が可能であり、物体に働く力も受容できるシステムを構築する。

2. システムの実装機能

本システムは、体感的学習が可能な物理シミュレーションシステムとして、以下のような機能の実現を目指す。

2.1 仮想空間内での物理現象の再現

重力、摩擦、衝突といった物理現象を仮想空間内で再現することで、それらの組み合わせによる自由度の高い物理現象の再現環境を実現する。さらに、仮想空間を活かした実世界では再現不可能な視覚的効果や再生方法などの機能を付加する。

2.2 実験環境の設定

学習者が自由に実験環境を設定することで、主体的な学習環境を実現する。このとき、学習者の主体的な学習意欲への妨げにならないように、学習者が容易にそして楽しく環境設定が行えるような機能を実装する。

2.3 オブジェクトに対する力覚を伴った操作

仮想オブジェクトに対する操作に力覚を有することで、体感的学習を実現する。能動的な操作とその時の反力またはオブジェクトからの力の受動的知覚によって、物理現象を体感的に学習することが可能となり、その現象の定性的理解と学習意欲の向上を促す。

3. シミュレーション可能な物理現象

本システムでは、高校物理学における力と運動の単元を想定して、以下のような物理現象のシミュレーションを可能とした。

- 重力：仮想空間内に無重力から多岐に渡る重力を設定することができる。重力下においては動的な物体は全て設定された重力の影響を受ける。
- 摩擦力：オブジェクトの摩擦係数を設定することで、オブジェクト間の接触面に掛かる力に応じて摩擦力を発生させる。
- 弾性力：バネの自然長と弾性係数を設定することで、2つのオブジェクト間の距離に応じた弾性力をオブジェクトに与える。
- 衝突：オブジェクト同士の質量や形状に応じて、衝突した際の移動や回転の計算を行い、動作の再現を行う。

これらの物理現象を組み合わせることで、それぞれの物理現象が物体の運動にどのような影響を及ぼしているのかを再現することができる。しかし、初等物理学教育において、不要な計算を行っている機能があるため、一部の現象に制限を行っている。

4. システムの構成

本システムの外観を図1に示す。本システムでは、物理現象の再現にはオープンソースの Physics エンジンである Bullet を用いた。そして、その物理シミュレーション環境の設定は USB カメラから任意のマーカーを認識させることで設定を行う。仮想物体に対する操作には力覚デバイスの PHANToM Omni (SensAble 社) を使用することで体感的学習が可能なシステムの実装を行った。

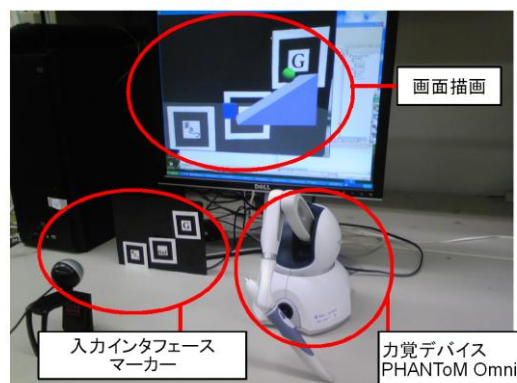


図1 システムの外観

図2に、システムの構成図を示す。本システムは、Windows XP上でVisual Studio2003を利用し、Visual C++により開発した。以下に、実行の流れに沿って各処理部をシミュレーション環境を設定する環境設定フェイズと、物理シミュレーションフェイズに分けて説明を行う。

†千葉工業大学大学院 情報科学研究科

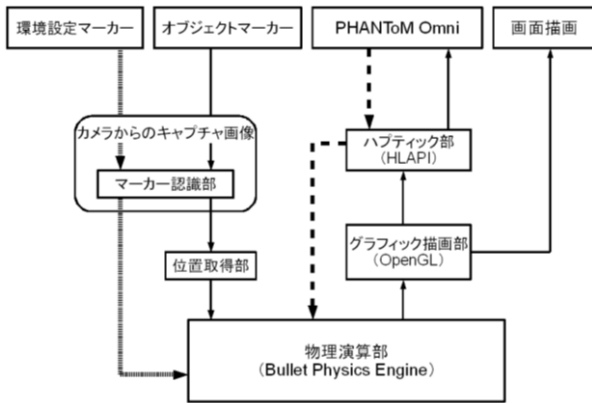


図2 システムの構成図

4.1 環境設定フェイズ

環境設定フェイズでは、再現したい実験環境に従ってカメラから認識されたマーカー情報を基に実験環境の設定を行う。マーカーには、重力や摩擦といった物理現象の有無を設定する環境設定マーカーと、仮想空間内にオブジェクトを作成するオブジェクトマーカーの2種類を用意した。マーカー内にはそれぞれの機能を表すパターンが描かれており、それを認識することで区別を行っている。以下に、それぞれのマーカーの処理について説明する。また、図3にそれぞれの代表例を示す。

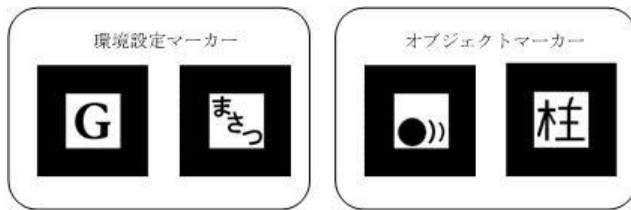


図3 マーカー例

- 環境設定マーカー：キャプチャ画像内から環境設定マーカーが認識されている間、そのパターンと連結した物理現象の設定値が物理演算部に入力され、任意の物理現象が再現される。また、何も環境設定マーカーが認識されなかった場合は、衝突の物理現象のみが再現される。
- オブジェクトマーカー：オブジェクトマーカーが認識された場合、そのパターンと連結したオブジェクトデータが物理演算部に入力される。さらに、そのオブジェクトの位置情報として、検出されたマーカーの位置座標を算出しオブジェクトIDと合わせて物理演算部に入力される。

4.2 物理シミュレーションフェイズ

物理シミュレーションフェイズでは、力覚を伴った物体の操作を行うことができる物理シミュレーションを行う。物理演算部、グラフィック描画部、ハプティック部の3つの処理部をループすることでシミュレーション実験を行っている。以下に各処理部について説明する。

(1) 物理演算部

マーカーを使用して入力された情報を基に、物理現象の再現を行う。オブジェクトマーカーからは、オブジェ

クトIDと位置情報を基に剛体オブジェクトの作成を行い、対応する剛体を持つ形状、質量、位置、回転角をオブジェクトデータとして設定する。また、環境設定マーカーからは、物理現象の設定値が入力される。

各剛体の質点に、重力を含む初期設定の力や力覚デバイスからの入力を与えることでシミュレーションが開始され、一定の間隔で重力や衝突判定などのさまざまな物理現象に伴うオブジェクトのオブジェクトデータが計算される。

(2) グラフィック描画部

物理演算部から一定間隔で各オブジェクトのオブジェクトデータを受け取り、光源の設定からシェーディングの処理を行い描画する。図4に表示される実行画面を示す。

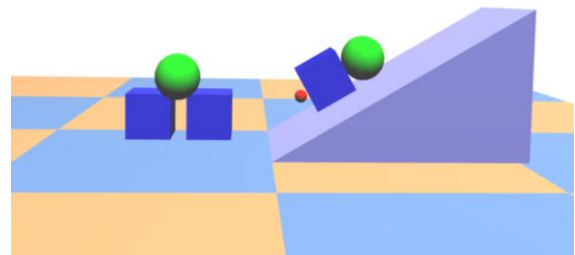


図4 表示される実行画面

(3) ハプティック部

ハプティックレンダリングとして Open Haptics ToolKitのHLAPIを用いる。HLAPIを用いることにより、OpenGLで描かれた各オブジェクトへの触覚が再現される。

PHANToM Omniが持つスタイラスの位置情報と各オブジェクトデータからオブジェクトとの接触が判断された場合、そのオブジェクトと接触点の距離差分を基に1kHzの感覚で物理演算部で設定した条件による力の計算を行う。

スタイラスから力を入力する場合、そのオブジェクトへ作用する力として物理演算部へ、反作用の感覚としてPHANToM Omniへ計算結果を出力する。

5. まとめ

本研究では、仮想空間内のオブジェクトに対して力の入出力を行うことができる物理シミュレーションシステムの構築を行った。これにより、体感的学習が可能な物理シミュレーションシステムを実現した。

今後の課題は、本システムを実際に使用してもらいその有用性を検証する。

参考文献

- [1] 平山 貴美子, 岩根 典之, 松原 行宏, “反力デバイスを用いた初等力学学習支援システム—鉛直投げ上げシステムの開発—”, 電子情報通信学会信学技報, pp.141-146, 2005