

仮想弾性物体の運動の操作手法に関する検討

Study of Manipulation Method for Animating Elastic Objects

渡辺 隆史† 大谷 淳†
Takafumi Watanabe Jun Ohya

1. まえがき

物理シミュレーションは、仮想物体の運動を生成する技術として重要である。一般に物理シミュレーションを行う場合、シミュレーションを開始する前に、初期条件を与える。例えば剛体運動では初期条件として、位置や初速度、反発係数などを与えることになる。そして、シミュレーションを始めると剛体は、重力に引かれ放物線の運動や、他の物体との衝突によって跳ね返りの運動を行う。剛体運動における問題として、最終結果を予測することが難しい。例えば、サイコロを転がすシミュレーションの場合、サイコロは床などと何度も衝突するため、与えた初期条件から最終的にサイコロがどのような状態になっているのかは予測がつかない。

この問題の対処法として、途中の状態や最終結果を初期条件として与えることのできる剛体モデルが提案されている[1]。この論文では、剛体が衝突した際の物理パラメータを操作し、不連続であった跳ね返りの角度を連続にすることで、剛体の運動の制御が可能である。

しかし、弾性物体に関しては運動の制御法がない。そこで、本論文では弾性物体の運動の制御法について述べる。弾性物体のモデルとしては、筆者らが以前に提案したモデルを用いる[2] [3]。弾性物体のモデル自体には様々なものがあり、それぞれのモデルが長所短所を持っているが、このモデルは運動の制御が比較的容易という特徴を持っているため、本論文の目的に即している。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では、本論文で用いる弾性物体のモデルについて、特に運動の手法について述べる。第3章では、弾性物体の運動を制御、操作する方法について述べる。第4章で本論文をまとめる。

2. 弾性物体モデル

本章では、本論文で用いる弾性物体モデル[2] [3]について、特に弾性物体を運動させるために必要な方程式について述べる。このモデルでは、弾性物体の変形のシミュレーションと剛体運動のシミュレーションを分けて計算している。そのため、剛体シミュレーションを制御できれば弾性物体の運動も制御できるので、運動の制御が比較的容易である。また、弾性体のシミュレーション法に境界要素法を用いているため、弾性物体の変形が保証され、シミュレーションが発散してしまうといったことは少ない。

アニメーションを行う場合、始めに剛体シミュレーションを行い、弾性物体が他の物体と衝突した際には、弾性体シミュレーションによって弾性物体を変形する。この処理を繰り返すことで、リアルタイムで弾性物体のアニメーションができる。

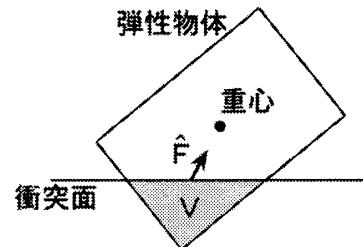


図1 弾性物体の並進運動

このモデルにおける剛体シミュレーションの並進運動は、以下の運動方程式に従うものとする。

$$m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = \kappa V \hat{\mathbf{F}} - R \frac{d\mathbf{x}}{dt} \quad (1)$$

ここで、 m は弾性物体の質量、 \mathbf{x} は弾性物体の重心の位置ベクトル、 κ と R は任意の比例定数、 V は変形していない状態での弾性物体が衝突面を突き抜けている体積、 $\hat{\mathbf{F}}$ は弾性物体が衝突した領域の重心から弾性物体の重心へ向かう単位ベクトルである(図1)。重力がはたらく場合には、さらに重力の項を加える。この式にあるように、このモデルにおける剛体シミュレーションは一般的な剛体シミュレーションと違い、衝突によって加わる力は撃力ではなく、ある程度の時間加わり続けることになる。回転運動に関しては、並進運動によって求めた変位に従って与える。

この方法によって、弾性物体をアニメーションさせた結果が図2および図3である。図2は、弾性物体が平面の床と衝突して変形している様子を示している。図3は、アニメーションを行った際の、弾性物体の重心の軌跡を表している。

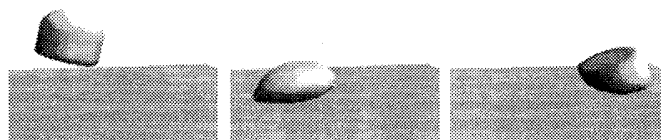


図2 弾性物体のアニメーション時における変形の様子

†早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科

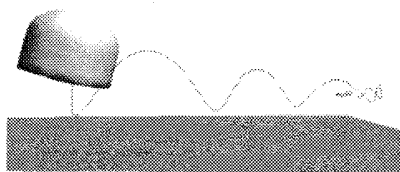


図3 弾性物体のアニメーション時における重心の軌跡

3. 弾性物体の操作法

図3にあるような弾性物体の運動では、重力のみがはたらく状態と、さらに衝突による力が加わった状態の2通りの状態がある。

弾性物体の運動を制御するためには、2つの状態の中で、弾性物体が衝突した場合に、弾性物体の物理パラメータを変化させることによって制御する。もし、重力のみがはたらく状態での運動を制御した場合、弾性物体は推進力を持っているかのような運動をするが、重力しか力がはたらくていなければ、弾性物体の次の挙動は容易に予測できるため、弾性物体が推進力を持っているかのような運動には、違和感を感じてしまう。一方で、衝突時においては、重力のみがはたらく状態に比べて弾性物体の次の挙動が予測し難い。従って、物理パラメータを変化させても、違和感が少ない。

弾性物体の運動制御のためには、初めに適当な物理パラメータを与えて、一度シミュレーションを行う。このシミュレーションにより、弾性物体が床と衝突する点が求まる。

次に、弾性物体の位置を操作する。操作することによって、衝突点の座標を変更する。例えば、弾性物体の最終的な位置を初めのシミュレーションの結果よりも遠くにしよとしたら、図4のように各々の衝突点の位置をより遠くに再配置する。操作後の弾性物体は、再配置した衝突点で衝突するように物理パラメータを操作する。再配置における衝突点の変位は、比例配分によって与えた。

弾性物体の物理パラメータは、弾性物体が衝突するたびに値を与えなおす。ここで変化させる物理パラメータは、式(1)の任意定数 κ , R とする。これらの値を、弾性物体が衝突を開始してから衝突が終わり、再び衝突を開始するまでをひとつの区間とし、再配置した衝突点との2乗誤差が一番小さくなるような物理パラメータを選び出し、その値をその区間における物理パラメータとする。

図5は、シミュレーション結果である。初めに適当な物理パラメータを与えてアニメーションを行い、衝突したときの重心の位置を求める。次に、弾性物体の最終的な位置をより遠くになるように変位を与えた。それに従い、他の衝突点の座標は変化する。そして、その衝突点を通るように物理パラメータを計算し、物理パラメータを変化させた場合における弾性物体の重心の軌道を求めた。このシミュレーションでは、物理パラメータを弾性物体が衝突するごとに変化させているが、弾性物体の一連のアニメーションでは、その挙動に違和感が無くアニメーションできている。

- 衝突が開始もしくは終了した点
- ▲ 弾性物体の位置の操作によって、再配置された衝突点

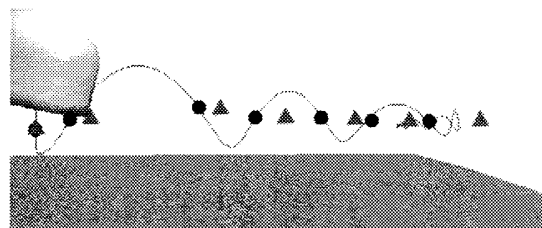


図4 弾性物体がより遠くへ行くように操作した場合の、再配置した衝突点

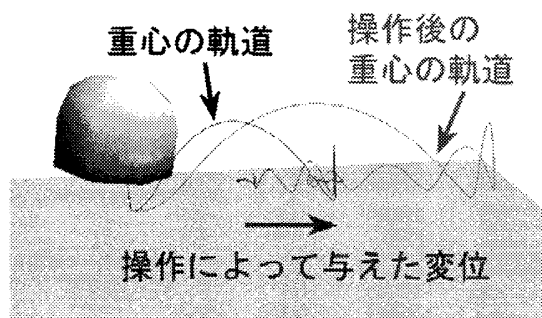


図5 弾性物体の操作を行う前と後の重心の軌跡

4. むすび

弾性物体の運動の制御法について述べ、弾性物体の位置を操作できる手法の提案を行った。弾性物体の衝突時に物理パラメータを変化させることによって、弾性物体を任意の位置へ移動するように運動を制御することができた。

現段階では、変位に誤差が生じてしまうこともあり、運動の制御法については検討すべき点も多いが、弾性物体の運動を制御できる可能性について示すことができた。

今後は、より高度な弾性物体の運動の制御法について検討を行う。

参考文献

- [1] Jovan Popovic, Steven M. Seitz, Michael Erdmann, Zoran Popovic, and Andrew Witkin. "Interactive Manipulation of Rigid Body Simulations", Proceedings of SIGGRAPH 2000.
- [2] Takafumi WATANABE, Jun OHYA, Jun KURUMISAWA, Yukio TOKUNAGA "Real-time Method for Animating Elastic Objects' Behaviors Including Collisions", ICAT2003, pp270-277.
- [3] 渡辺 隆史, 大谷 淳, 棚沢 順, 徳永 幸生, "3次元弾性物体の頂点補間を用いた境界要素法による実時間アニメーションモデルの基礎的検討", 電子情報通信学会全国大会, D-11-120, pp.120, 2003.