

剛体シミュレーションにおける床上の静止状態に関する研究

臼井 大介[†] 渡辺 大地[†]東京工科大学メディア学部[†]

1 はじめに

剛体シミュレーションとは、物体を決して変形しない剛体であると仮定して物理計算を行い、物体の運動をシミュレートするものである。剛体シミュレーションはロボティクスなどの工学的な分野での応用から、ゲームや映画などのコンテンツ産業における応用など、さまざまな場面で利用されている。剛体シミュレーションにおいて、剛体の挙動を求める際の計算コストが極めて高い点が課題の一つになっている。

剛体シミュレーションで問題となるのは剛体同士の衝突後の運動の扱いである。剛体同士の衝突においては一瞬で相互作用が終わる衝突と、衝突後に接触を続けてお互いの相互作用を長時間に渡って続ける衝突の2つがあり、特に後者の取り扱いが問題となる場合が多い。例えば床の上で静止している剛体のように、剛体が他の物体との衝突後に接触を続ける場合に、制約ベース法 [1] では衝突している頂点に生じる力を制約条件問題として線形計画法によって求めることで剛体の挙動を得、ペナルティ法や撃力ベース法 [2] では微小な衝突を連続的に繰り返すことで剛体の挙動を得る。

床の上で静止し続ける剛体や、他の剛体と衝突し静止状態を続ける状況を実現する際に、既存の手法では剛体に働く力や撃力を求めることで静止状態を実現している。本研究では、既に静止した剛体の静止状態を維持するシミュレーションの実行において、力の計算を省くことで既存手法に比べて高速に実行できる手法を提案する。

本研究では、2次元上で剛体の形状を凸多角形とし、2つの剛体を対象として研究を行った。

2 衝突時に行う前処理

以降では、床を空間に固定された一つの巨大な剛体と仮定する。本研究では事前に閾値を設定し、衝突した辺に垂直な方向に対する撃力が閾値よりも大きな場合は撃力によって衝突後の剛体の挙動を求め、閾値よりも小さな場合は衝突した辺と接触し続けるものとした。例えば、床と1つの頂点によって衝突した剛体は衝突後に床を離れてバウンドする状態と床と接触し続ける状態の2つの状態が考えられるが、この2つの状

態の判別において、衝突時の撃力の床と垂直な方向の成分が閾値よりも大きな場合は前者となり、小さな場合は後者となる。

以上の前処理を行った後の状態を衝突直後の状態と呼ぶこととする。

3 剛体の状態の定義

本研究では剛体の状態を、回転安定、鉛直安定、鉛直不安定という3つの状態に分け、この状態の情報と衝突時の衝突の状態を利用して衝突後に剛体が静止する場合としない場合を判別した。

まず、剛体が床と接触し、接触点が鉛直方向に移動しない状態を鉛直安定状態とする。次に、剛体が床と接触し、鉛直方向に並進せず回転もしない状態を回転安定状態とする。最後に、剛体が自由に運動できる状態を鉛直不安定状態とする。この3つの状態を図1で示す。

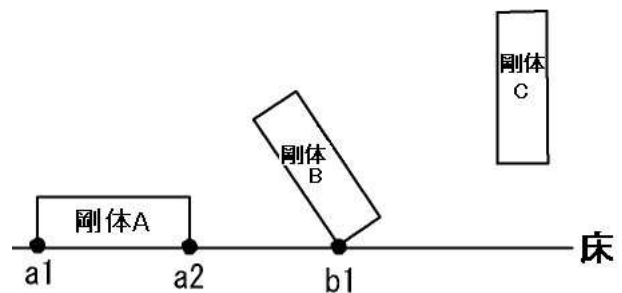


図 1: 剛体の床との衝突の状態: a_1, a_2 は剛体 A の床と接触する頂点であり、 b_1 は床と接触する剛体 B の頂点である

図 1において剛体 A は回転安定、剛体 B は鉛直安定、剛体 C は鉛直不安定である。

一度回転安定になった剛体は他の剛体との衝突が検出されるまでは、剛体の回転と鉛直方向の運動を静止させた。このような処理を行うことで、1つの剛体の床上での静止状態を続ける状況をシミュレーションする際に、毎フレームごとの力の計算を省くことができる。

また、3つの状態の内、回転安定な状態との衝突において、通常の処理に加え、後に述べる特別な処理を施すこととする。

Reserch on Stationaly State in RigidBody Simulation

[†] Daisuke USUI, Taichi WATANABE, Faculty of Media Science Tokyo University of Technology

4 床との衝突による状態の移行

4.1 鉛直安定状態への移行

剛体が床と1つの頂点で接触し続ける場合は、剛体の鉛直方向の並進運動を静止させ剛体の状態を鉛直不安定から鉛直安定に移行させる。鉛直安定状態になっている剛体の運動は床と接触している部分を中心とした回転運動と、床と水平方向の並進運動に限定する。

4.2 回転安定状態への移行

剛体が床と2点以上の頂点で接触し続ける場合は、剛体の重心の位置と衝突点との関係から、剛体が静止する場合と回転する場合を判別し、静止する場合は剛体の状態を回転安定とした。

5 回転安定な剛体との衝突

5.1 鉛直安定な剛体と回転安定な剛体との衝突

鉛直安定な剛体と回転安定な剛体との衝突において、衝突直後も衝突点が接触し続ける場合は、他の剛体が衝突するまで両方の剛体を静止させることとした。

5.2 床と平行な辺との衝突

鉛直不安定な剛体が、回転安定な剛体の床と平行な辺に衝突した場合は、その辺を床と同様に扱い衝突後の剛体の挙動を実現した。このとき剛体の状態変化についても、床と同様に扱う。図2は剛体Aが回転安定な剛体Bの床と水平な辺と衝突した状態を示した。

このような処理を行うことにより、床上で回転安定な剛体の床と水平な辺の上に、他の剛体が接触し続け、その衝突点が鉛直方向に移動しない状態が生じる場合がある。以降この状態を重なり状態と呼ぶ。重なり状態の例として、床上で回転安定な剛体の上に、回転安定な剛体が重なる状態がある。この場合は、上の剛体と下の剛体との相互作用を計算せずに、両方の剛体を静止させることで、両方の剛体が静止している状態を高速に実行できる。

ただし、回転安定同士が重なっている場合で上の剛体の重心の鉛直下方に衝突点が存在し得ない場合は、上の剛体を鉛直不安定とした。図3は回転安定な状態の剛体Aが回転安定な状態の剛体Bの上に重なっており、剛体Aが水平方向に移動して、剛体Aの重心の鉛直下方に衝突点が存在し得なくなる場合を示した。

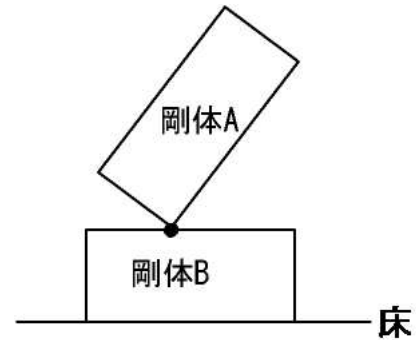


図 2: 回転安定な剛体 B の床と水平な辺との衝突

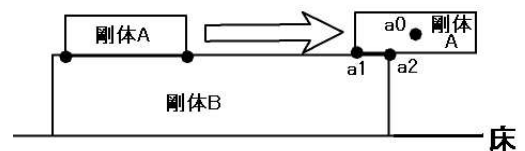


図 3: 回転安定同士が重なっており、上の剛体の重心の鉛直下方に衝突点が存在しない場合: a0 は剛体 A の重心であり、a1,a2 は剛体 A と剛体 B の衝突点である

6 まとめ

剛体の静止状態において、剛体に働く力の計算を省くことによる剛体シミュレーションの高速化手法を提案した。しかしながら、本研究で提案した手法には以下のようないくつかの問題点がある。例えば、静止状態の判別法について一般性のある手法を確立していない。これにより、状況によっては静止すべき剛体を静止させることができない。逆に、静止させるべきではない剛体を静止させてしまう現象が発生する。また、状態の移行に関して、鉛直安定状態から鉛直不安定状態への移行といった一旦静止した部分が再度動き始める状態を考慮していない。さらに、3つ以上の剛体の衝突には対応できない、などである。

参考文献

- [1] David Baraff, "An introduction to physically based modelling: Rigid Body Simulation," SIGGRAPH'97 Course Notes, 1997.
- [2] Brian Mirtich, "Impulse-based Simulation of Rigid Bodies," Symposium on Interactive 3D Graphics, ACM Press, 1995.