

審査の結果の要旨

氏名 川地 克明

川地克明(かわちかつあき)提出の本論文は「インタラクティブグラフィクスのための実時間モーション生成手法」と題し、全10章よりなり、計算機を利用した映像制作(Computer Graphics, CG)において物体の運動を生成する問題を扱っている。

第1章では、研究の背景を説明し、研究の目的と論文の構成を述べている。インタラクティブグラフィクスはユーザが映像に対話的に介入することを可能にしたCGの一種であり、ユーザの入力によって映像中の物体の運動を変化させることが可能となっている。しかしユーザの入力によって物体の周囲の状態が様々に変化するため、インタラクティブグラフィクスでは何らかのアルゴリズムで物体の運動(モーション)を動的に生成してやる手法が必要がある。本研究では、このようなモーション生成手法に必要な条件として、(1)周囲の状況に応じた動的なモーション生成手法であること、(2)生成されるモーションが自然なものであること、(3)モーション生成が高速で安定していること、の3つを定め、このような条件を満たすモーション生成手法の開発を行った。本研究でのモーション生成では、接触や衝突を伴う運動をする剛体と、ある意図を持って行動する人体(キャラクタ)とをモーション生成の対象とした。

第2章では、接触や衝突を伴う剛体のモーション生成を行う手法として提案された物理法則に基づく運動シミュレーション手法について、物体に働く力のモデル化方法という観点から分類して手法について述べ、本研究で利用する接触力と撃力による運動シミュレーション手法の詳細と、本研究と従来の手法との差異について述べて手法の位置づけを行った。

第3章では、接触状態の変化する剛体の運動シミュレーションで、同時に多数の点で衝突する物体の間に働く撃力とこれに伴う摩擦力について定式化を行っている。また、この定式化では摩擦を伴う撃力は線形相補性問題を解く手法を拡張して解くことができることを示し、この定式化による撃力と摩擦力を計算する手法について詳述した。

第4章では、インタラクティブグラフィクスでのモーション生成手法として剛体の運動シミュレーションを行う場合に、対話性を損なう原因とその解決方法について示している。まず、運動シミュレーションの速度が時間積分の大きさに依存していることを示し、物体同士が特定の力学的状態で衝突した場合には衝突の間隔が等比級数的に小さくなって運動シミュレーションの進行速度が限りなく0に近づく条件について明らかにした。また、このような状態を発生させないために、接触状態にある剛体間の相対速度の条件を緩和する手法を示し、その効果を実際のシミュレータでの実験によって検証した。さらに、単純な最短距離を用いた接触判定手法では力学的に不自然に見えるモーションが生成されることを示し、このような不自然な方向に力を働かせない接触判定を行うために物体のオフセットを取った形状による接触領域を用いて接触方向の決定を行う手法を提案した。

第5章では、ここまでで提案したモーション生成手法によって実際に剛体の運動シミュレータを実装し、機械機構の運動シミュレーションとアニメーションの生成を行って、複雑な機構モデルについてもユーザの操作によるインタラクティブなモーション生成が可能であることを示した。また、本研究での衝突時の摩擦モデルによるモーションが、精密な摩擦モデルである撃力ベース手法によるモーションとよく一致することを明らかにし、この摩擦モデルの有効性を示した。さらに、本研究で提案した剛体のモーション生成手法に関して総括し、インタラクティブグラフィクスでの剛体のモーション生成手法としての有効性を確認した。

第6章では、キャラクタのモーション生成手法について先行する研究の手法を分類し、本研究での手法の位置づけを行う。本研究では生成されるモーションが制御しやすいという点と、もともになるモーションの特徴を生かした自然なモーションが生成できるという性質から、モーションデータベースを用いてモーションの生成を行う手法を利用する。

第 7 章では、制御点からキャラクタの姿勢を再計算する手法について述べる。本研究では、関節角の代わりにキャラクタ上の特徴点を用いてモーションを表わし、外部の拘束を満たすために編集された特徴点をキャラクタにあてはめて姿勢を再計算する。このとき、特徴点は一つ一つ独立に軌道を編集を行うため、全ての特徴点を矛盾なくキャラクタにあてはめられない場合がある。本研究では無限に硬いばねで繋がれた質点系を用いた逆運動学の手法を用い、優先順位を付けた特徴点間の幾何的な拘束を満足させることで姿勢の計算を行う。また、モーションキャプチャによって得た位置センサの測定値からキャラクタのモーションを再計算する場合にこの手順を使用し、ノイズや矛盾を含む特徴点のデータに対して手法が有効であることを実証した。

第 8 章では、周囲の状況に応じてモーションを表わす特徴点の軌道を編集する手法について述べている。このような編集を行う手法としては非インタラクティブな映像制作に用いられる Motion Editing とよばれる手法が挙げられるが、編集に要する計算時間が長く、インタラクティブグラフィクスでそのまま利用することはできない。そこで、本研究では特徴点の軌道に与えることができる拘束条件を簡単なものに限定し、終端点の位置と速度を拘束するモーションの編集を行える計算量の少ない手法を提案した。また、実際にこの手法でモーションの編集の実験を行った結果から速度が小さくなる点で編集結果が不自然になることを示し、このような不自然な変形を起こさないように改良したモーション編集手法を示した。

第 9 章では、前章までで述べた手法を利用してキャラクタのモーション生成を行う手法について述べている。本研究で姿勢の再計算とモーションの編集を行う手法はいずれも簡単な計算によるものであり、モーションキャプチャによって作成したデータベースから一連のモーションを生成する場合でも非常に少ない計算量しか要しないことを示した。また、歩行の歩幅の変更や異なる体格のキャラクタへのモーションの当てはめといったモーション生成を行い、動的なキャラクタのモーション生成が可能であることを実証した。

第 10 章では、結論を述べている。本論文においてインタラクティブグラフィクスでのモーション生成に必要な条件として示した条件が実現されたことが、本研究で実装した剛体とキャラクタのモーション生成システムによってそれぞれ示された。

以上を要約するに、本研究により、インタラクティブグラフィクスでのモーション生成手法に必要な条件が明らかにされ、映像上で運動を行う基本的な単位である剛体とキャラクタとについて、それぞれのモーション生成手法に関して大きな貢献をしたと言える。このことにより、精密機械工学のみならず工学全体の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）学位請求論文として合格と認められる。