

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656106

研究課題名(和文)四次元幾何に基づく設計・計画問題への時空間統合アプローチ

研究課題名(英文) Space-time integrated approach for design and planning based on four-dimensional geometry

研究代表者

小野里 雅彦 (Onosato, Masahiko)

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80177279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は位置、姿勢、形状が動的に変化する対象を記述し、それを設計や計画に利用することを目指す。空間と時間を合わせた4次元空間を用いて、4面体を要素とする4次元メッシュモデルによる4次元形状表現を提案し、モデリングシステムを開発した。さらにこれを用いて、運動する物体間の衝突回避問題、5軸工作機械によるボールエンドミル加工の切削形状評価、津波における水面の時間変化の提示などに適用し有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：The subject of this study is to represent the positions, orientations, and forms of dynamic objects and to utilize the representations in design and planning with respect to them. In a four-dimensional space representing a spatio-temporal space, four-dimensional geometric models are constructed with tetrahedrons which determine the boundary of 4D body. Based on this shape data schema, a four-dimensional geometric modeling system has been developed. The proposed method and the developed system were evaluated by applying to three problems: collision avoidance problem of moving objects, representing 5DOF cutting with ball-end milling, and water-level changes in the tsunami disaster.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：4次元形状 モデリング 設計 メッシュモデル

1. 研究開始当初の背景

3次元形状を持つ対象物に対してコンピュータを用いて表現・操作することは、近年、製造、建築、生活、医療など、社会の様々な領域において浸透し、広く活用されるようになった。しかしながら、われわれの周りのほとんどのものは、時間とともに、運動したり変形したりする動的な対象物である。よって、3次元形状が表現しているものは、対象のある一瞬の状態ではない。

そうした空間と時間を合わせた4次元の時空間で対象物を記述し、操作する4次元形状モデリングの領域は、これまで未開拓のままであった。その理由の一つが、4次元においてはモデルのデータ量と処理の計算量が3次元と比べて大きく増大することであった。それが近年のコンピュータ・ハードウェアの高速化と低価格化によって、もはや本質的な傷害ではなくなって来ていると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大きく分けて、理論：4次元形状モデリング手法の確立、実装：4次元形状モデリングシステムの構築手法、応用：4次元形状モデリングを用いた設計・計画領域に対する新たなアプローチの提示、の3つに整理できる。それぞれについて以下に詳しく述べる。

(1) 理論：4次元形状モデリング手法の確立：4次元形状を表現する上で考えられる様々な表現スキーマの比較・検討を行い、実装に採用する手法を定める。

(2) 実装：4次元形状モデリングシステム構築：上述した検討結果に基づいて、4次元形状モデリングシステムを実装し、4次元モデルを生成・操作するための効率的なデータ構造、アルゴリズム、システム構成を提案する。

(3) 応用：4次元に基づく新たな問題解決アプローチの提示：時間を含んだ状態を静的な4次元形状として表現し、操作できることで、既存の問題がどのように新たな切り口で扱われるかを、複数の具体的な例を用いて提示する。

3. 研究の方法

(1) 理論：4次元形状モデリング手法の確立：まず4次元形状情報がどのように取得されるかについての調査を行い、分類・整理を実施する。また、4次元形状モデリングの理論や手法に関する国内外の関連研究の調査を実施する。

(2) 実装：4次元形状モデリングシステム構築：4次元の形状データをメモリ使用量を抑えて、かつ効率的な処理を可能とする形状のデータ構造表現を提示し、それに基づいたシステム実装を行う。

(3) 応用：4次元に基づく新たな問題解決アプローチの提示：変化する対象を扱う領域として、複数の物体が相対運動している機構における干渉回避問題、5軸工作機械による切

削領域の評価問題、津波発生による海岸での波高推移と陸域への遡上過程表現の3つを取り上げ、4次元形状モデリングシステムの適用を行い評価する。

4. 研究成果

本研究で得られた研究結果を理論、実装、応用の順に以下に示す。

(1) 4次元形状を規定するものとして、3次元ボクセルモデルの時系列データ、3次元形状メッシュデータと運動（並進・回転）軌跡データの組、異なる時間に取得された3次元点群データ群、高さ方向に一意な値を持つ地図データ（Zmap）の時系列データのそれぞれについて、4次元形状を生成する手法を考案した。また、回転を含む運動を行う3次元の形状から内挿的に生成される4次元形状の持つ歪みを定量的に評価する手法を示した。（後述の雑誌論文）



図1 3次元ボクセルデータ時系列からの4次元メッシュモデルの生成（概念図）

(2) 4次元形状の表現スキーマの検討を行い、4次元形状の境界を4面体メッシュで覆う4次元メッシュモデルを採用し、数学的な性質を分析した。時間軸を含めた4面体の法線ベクトルが運動や変形の度合いを表す重要な情報を有していることを示した。また、4次元陰関数表現および4次元ボクセルについても表現精度とデータ量の観点から評価をした。

(3) 4次元形状モデリングにおいて固有な概念である4次元累積体を提案した。これはある時刻までの過去の占有領域を累積して作成されるもので、時間軸方向に単調拡大していく形状となる。これは後述の応用における切削加工の加工領域評価に重要な役割を果たす。

(4) 4次元メッシュモデルのための形状要素のデータ構造を考案した。要素の中心として4次元空間での4面体をおき、それに対する4面体同志の隣接関係をコンパクトに表現することを可能とした。

(5) 3次元ボクセルモデルの時系列から4次元メッシュモデルを生成するための手法である4次元 Marching Cubes 法の改良を行い、Triangulation Table の圧縮と頂点重複を回避することで、計算時間とメモリ使用量を大きく削減できた。（後述の雑誌論文）

(6) 4次元メッシュモデルを様々な視点から確認できる4次元メッシュモデルビューワーの拡張を行った。また、4次元メッシュモデルに関するモデルデータファイルのデータフォーマットを定めた。

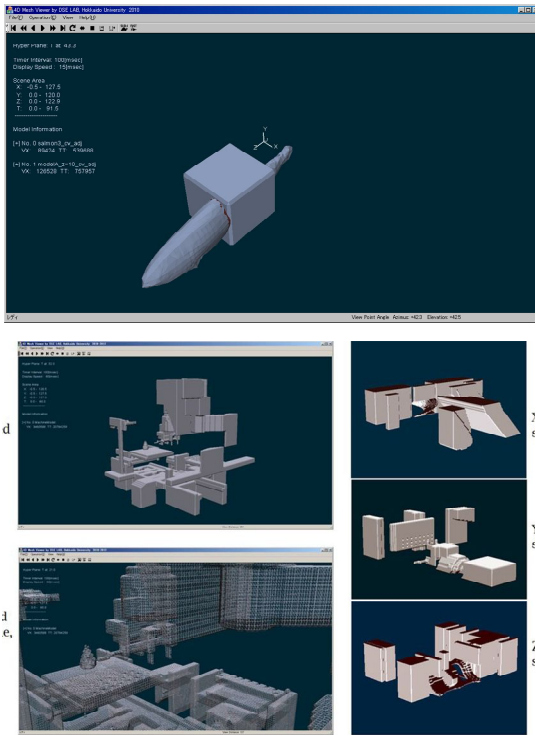


図2 4次元メッシュモデルビューワーによるモデル断面表示例

(7) 相互に運動する物体の衝突回避問題における干渉回避の異なる4つのアプローチ（タイミング変更，速度変更，位置修正，形状変形）を，複数の4次元形状の干渉回避問題として幾何学的操作に統合して解く手法を提示した。

(8) ボールエンドミルを用いた5軸工作機械による切削加工領域評価問題への適用を行った。前述の4次元累積体を用いて工具掃引形状の時間変化を表現することで，時々刻々と変化する被削材形状と除去体積を抽出することを可能とした。

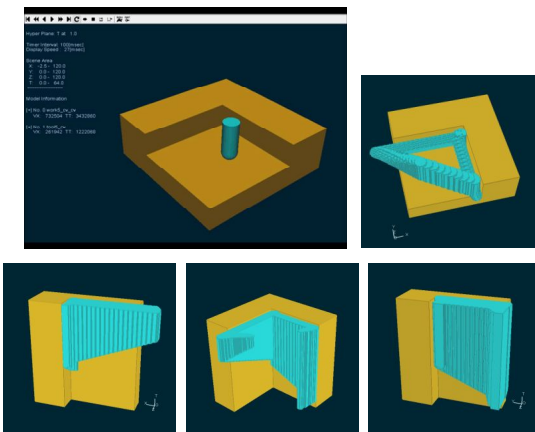


図3 4次元メッシュモデルを用いた5軸工作機械によるボールエンドミル加工の除去領域の推移

(9) 設計・生産とは異なる分野への応用事例として，津波による波高の変化と陸域遡上の時間進行の表現に適用した。開発した津波シ

ミュレータから取得した海面の形状データから4次元メッシュモデルを生成した。4次元メッシュモデル化することで，水深の変化による電波速度の変化や，各地点における海面の高さの時間変化を容易に可視化することができた。

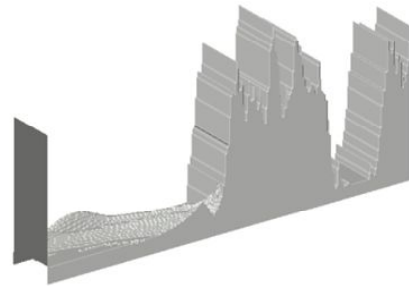
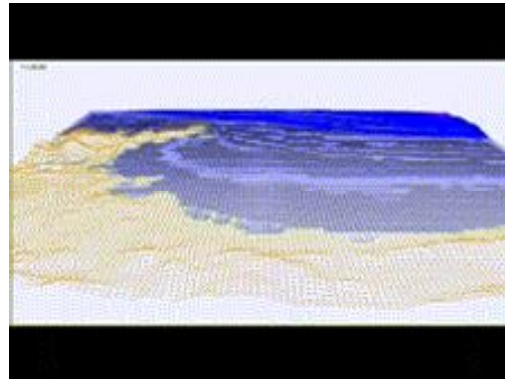


図4 津波シミュレータの画面表示（上）と4次元メッシュモデルで表現された波高の時間推移

(8) これまでの研究によって，4次元形状モデリングの基本的な理論，手法，実装のアプローチならびに応用領域に対する適用の可能性について一定の成果を得ることができた。今後は，より大規模なモデル（空間解像度と時間長さ）を用いて，より複雑な動的挙動をする対象への適用を考えている。例えば，心臓の鼓動，顔の表情や発声，鍛造，土砂崩れなどが例として挙げられる。また，多数のGPGPUを用いた4次元形状生成サーバーを構築して，従来のシミュレーションソフトウェアのバックグラウンドで変化状態を自動で4次元形状としてログを残す仕組みの実現も考えていきたい。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Masahiko Onosato, Yosuke Saito, Fumiki Tanaka, Ryoji Kawagishi, Weaving a four dimensional mesh model from a series of three dimensional voxel model, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Vol. 11, No. 6, 2014（掲載予定）

Hiroataka Kameyama, Ikuru Otomo, Masahiko Onosato, Fumiki Tanaka, Using a Four-Dimensional Mesh Model to Represent a Tool Motion Trajectory in Five-Axis Machining, 査読有, International Journal of Automation Technology, Vol. 8, No. 3, 2014, pp. 437-444
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=IJATE000800030013.xml>
Ikuru Otomo, Masahiko Onosato, Fumiki Tanaka, Direct construction of a four-dimensional mesh model from a three-dimensional object with continuous rigid body movement, Journal of Computational Design and Engineering, 査読有, Vol.1, No. 2, 2014, pp. 96-102,
DOI:10.7315/JCDE.2014.010

〔学会発表〕(計 8 件)

齋藤 洋介, 小野里 雅彦, 田中 文基, 3次元ボクセルモデル時系列データからの4次元メッシュモデル生成の高速化(第2報) - GPU 処理のための並列化処理とメモリ配置の検討 -, 2013年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2013.9.13, 関西大学(大阪府吹田市)

加藤 勇気, 小野里 雅彦, 田中 文基, 陰関数を用いた4次元形状表現に関する研究, 2013年度精密工学会北海道支部学術講演会, 2013.8.3, 北見工業大学(北海道北見市)

駒木根 徳友, 小野里 雅彦, 田中 文基, 4次元メッシュモデルによる津波伝播現象の表現, 2013年度精密工学会北海道支部学術講演会, 2013.8.3, 北見工業大学(北海道北見市)

亀山 博隆, 小野里 雅彦, 田中 文基, 工具運動の4次元メッシュモデルを用いた5軸加工におけるワーク形状変化の連続プロセス表現(第2報) 工具運動履歴表現のための4次元累積体生成, 2013年度精密工学会春季大会学術講演会, 2013.3.13, 東京工業大学(東京都目黒区)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://researchmap.jp/onosato/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野里 雅彦 (ONOSATO, Masahiko)
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 80177279

(2) 研究分担者

田中 文基 (TANAKA, Fumiki)
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号: 30207138