

審査の結果の要旨

氏 名 宮 下 令 央

本論文は、「Realtime Motion Measurement and Material Representation Based on Spatio-temporal Light Rays Control (時空間光線制御を用いた運動計測と質感提示に関する研究)」と題し、6章より構成されている。

本論文は、時空間的な光線の制御を高速に行うことにより、高速運動の計測やリアリティの高い質感提示を行うシステムを提案し、視覚情報を構成する要素の計測・提示に対して、時空間光線制御の有効性を示したものである。システムの高速度を利用することにより、演算処理が簡略化できることを示し、低遅延の運動計測・質感提示が実現できることも示している。

第1章は「Introduction」であり、本論文で提案するシステムの必要性和目的について述べている。まず、視覚情報が、幾何、質感、光線の3つの要素によって構成されることを述べ、物体固有の情報として時空間的に変化する幾何や質感を計測あるいは提示するシステムは、光線を利用する必要があることを示すとともに、時空間的に光線を制御することが有効な手段を提供することを指摘している。そのことから、本論文の目的を時空間光線制御とその高速度を利用し、時空間的に変化する対象の幾何や質感の計測あるいは提示とし、新たに提案する3つのシステムについて、その目的と優位性を簡潔に示した上で、本論文の構成を述べている。

第2章は、「Spatio-temporal visual components」と題し、視覚情報に関する基礎的な性質や構造について述べた上で、時空間光線制御によって運動計測と質感提示を実現するための基本的な考え方を論じている。まず、人間の視覚特性並びに幾何と質感の性質や構造について述べ、本論文で扱う視覚情報の構成要素について定義を行っている。また、光線制御に関する既存手法として、光線の方向、位相、波長、振幅を利用したシステムの原理について述べ、その性質や構造から、運動計測と質感提示において、高い性能を実現するための効率的な時空間光線制御の方法について論じている。

第3章は、「Roll camera: measurement of motion perpendicular to the light ray」と題し、光学素子を動的に制御して、光線に直交する回転運動を計測するロールカメラシステムを提案し、評価を行っている。まず、光学素子や動的に光学素子を制御したシステムの概要を述べ、本章の目的に適したシステム構成として、高速カメラとダブプリズムを内蔵した中空サーボモータからなるフィードバックループ系を提案している。セルフウィンドウ法と呼ばれる高速画像処理を用いて対象の回転速度を計測し、これに応じてダブ

プリズムを制御することで、不規則な運動を行う対象のブラー相殺画像を取得する方法で継続的な運動計測を実現するものである。開発したシステムの性能評価を行い、3200rpmで高速回転する対象に対しても運動計測とブラーを約0.1度に抑えた画像の取得が可能であることを実証している。

第4章は、「3D motion sensing with multiplexed laser: measurement of motion parallel to the light ray」と題し、レーザーを制御して照射することにより、対象の運動を高精度に計測する多重化レーザー運動速度計測システムを提案し、評価を行っている。まず、既存の運動計測センサやシステムの問題について述べ、形状やテクスチャが未知である対象の運動を物理的かつ高速に取得する手法として、レーザー距離計とレーザー速度計による計測情報を統合し、対象の6軸剛体運動を取得するシステムを提案している。本手法は断片的な運動情報から全体の運動を求める逆問題に対し、一般化加重チコノフ正則化を用いることで高速かつ計測ノイズに対し安定的な運動計測を実現するものである。開発したシステムの精度と高速性の評価を行い、測定誤差2%以下、スループット410Hz以上、レイテンシ約0.3msで未知対象の運動計測が可能であることを示している。

第5章は、「ZoeMatrope: display of spatially- and temporally-varying material」と題し、ストロボ光を高速に制御して高い現実感を持った時空間変化する質感を提示するシステムを提案し、評価を行っている。既存の質感提示システムの問題について述べた後、回転する複数の実物体に対して、ストロボ光を高速時分割照射することによって、人間の視覚にこれらを重畳した像を知覚させるシステムを提案している。この際、様々な質感を数少ない実物体の像の重畳によって高精度に再現するため、重畳による再現に適した実物体を決定する手法について提案している。開発したシステムの表現域と精度の評価を行い、色や光沢感などの質感表現や現実には存在しない拡張質感の表現において、高解像度、高ダイナミックレンジ、自由視点、自由光源位置の立体像を時空間的に低遅延で提示可能であることを実証している。

第6章は「Conclusions」であり、本研究の成果がまとめられている。また、時空間的に変化する幾何や質感の計測あるいは提示技術の応用展開について概観している。

以上要するに、本論文は、時空間的に変化する対象物の幾何や質感の計測あるいは提示において、時空間光線制御を高速に実現することが有効であることを理論的かつ実験的に示したものであり、具体的に回転する対象物の撮像制御、未知対象物の6軸剛体運動を取得するシステム、高速時分割照明により実物体を重畳することによる質感表現システムを提案・試作し、実験により、その有効性を実証したものである。本論文の成果は、運動計測技術と質感提示技術を飛躍的に向上させ、様々な応用展開を可能とするものであり、関連する分野の発展に貢献するとともに、システム情報学の進歩に対して寄与することが大であると認められる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。