

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	MERCKEL Loic Adrien Louis
論文題目	Information Grounding Suite for Building a Situated Knowledge Management System in the Domain of Complex Instruments （複雑な機器に関わる状況知識マネジメントシステム構築のためのグラウンディング技術）		
(論文内容の要旨)			
本論文は、複雑な操作を必要とする機器に関わる状況知識を管理するためのシステムの実現を目的とし、状況知識マネジメントシステムを構成するために必要となる一連の情報グラウンディング技術として、透視2点問題の効率的解法、ユーザフレンドリなテキストチャ・マッピング・エンジン、3次元オブジェクト描画とアニメーション生成について論じたものであり、全8章から構成されている。 第1章は序章であり、状況知識マネジメントシステムが必要とされる背景について述べた後に、本研究の主要な貢献を概括している。 第2章は、本論文で対象とする複雑な操作を必要とする機器に関わる知識マネジメントシステムを実現するための要件を示し、複合現実感、ユビキタスコンピューティング、会話ロボットに関わる従来研究を俯瞰した上で、本研究の長期目標とする状況知識マネジメントシステムを規定し、本論文で目指す知識循環システムのアーキテクチャと技術課題を示している。さらに、状況知識表現法としての状況知識量子(SKQ)、時空知識量子(STKQ)の枠組み、複合現実感インタフェースを示し、実装と実用化の方略について論じている。 第3章では、透視2点問題に対する3軸方位センサを用いたアプローチについて述べている。まず、既存の姿勢推定手法を俯瞰し、主要な既存研究とその限界について述べている。次に、透視2点問題を形式的に定義し、3軸方位センサを用いて、対象物体につけられた2個のマーカの見え方から対象物体の姿勢を求める計算手法を与えている。より多くのマーカを用いた従来法と提案手法を比較するために、人工的なノイズを加えたデータによる評価実験を行い、高ノイズ状況においては提案手法が従来法に比べて遜色のない精度で姿勢推定ができることを明らかにした。さらに、実世界状況での比較を行い、本手法が従来手法に比べて精度ではやや劣るものの、より高速の姿勢推定が行えることを実験的に示した。 第4章では、モデルベースのオブジェクト認識手法について述べている。この手法は、対象物体の3次元線画モデルと3軸方位センサを用いたものであり、3軸方位センサと連動するカメラから捉えた画像中の少なくとも1モデル線分は検出されたものと仮定し、得られた画像に最もよくマッチする対象物体の位置と姿勢を推定する。剛体運動のLie群表現による定式化を用いた効率的で頑健な計算手法を与え、提案手法の基本となる線分のマッチング、推定姿勢の順序付けのための評価法、最有力候補姿勢の詳細化について述べている。実験的評価において、計算時間、正解が出力されるまでの誤答数の平均を求め、それらが実用的な範囲にあることが示されている。 第5章では、ユーザフレンドリなテキストチャ・マッピング・エンジンの構成手法について論じている。仮想現実感による支援技術を実現するために、ユーザフレンドリなテキストチャマッピング技術の必要性について論じ、既存研究の限界を指摘した上で、大まかな対応点指示を少数回繰り返すことにより、高精度の位置推定を可能にするテキストチャ・マッピング・エンジンを研究目標に設定している。剛体の空間運動のLie群モデルの性質を使った効率的で頑健な姿勢修正手法を示した後、実装と評価実験の内容について述べている。評価実験では、正解に至るまでの修正回数を評価し、本システムの未経験者でも実在の粒子測定装置のCADモデルに5枚のイメージを、合計10回前後のドラッグで張り付けられることを示した。 第6章では、装置設計者とユーザの間で状況知識の効果的なコミュニケーションを			

実現するための低負荷 3 次元物体描画エンジンについて述べている． 3 次元物体描画やアニメーション生成支援手法に関する従来研究を俯瞰した後， 6 自由度の方位・位置センサとビデオカメラを用いて空間内の点を指定することにより， 3 次元線分ないしは 4 面体ボリュームを生成する 3 次元物体描画とアニメーション手法を与え，時空知識量子の表示手法の一つとして位置づけている．この手法は実装され，次章における Lie 群を用いた表示円滑化法の基盤として用いられている．

第 7 章では，ユーザが状況知識表現の一つとしての空間内の剛体運動を容易に規定できるようにするために，ユーザが把持した 6 自由度マーカの動きをリアルタイムで捉え，変化点を自動検出して円滑なセグメントの連結として近似する技術について述べている．まず，変化点検出の従来手法を俯瞰し，空間内剛体運動の Lie 群表現における変化点検出手法の必要性を指摘している．次に， $SE(3)$ による空間内剛体運動の Lie 群表現をいったん $se(3)$ による Lie 代数表現で近似し，その上での変化点を検出した上で， $SE(3)$ 表現に戻す手法を提案している．シミュレーションによる評価と実機による評価の両方を行い，本手法による空間内剛体運動の変化点検出アルゴリズムが期待通り機能していることを示した．

第 8 章は結論であり，本論文の成果を総括し，残された課題を示している．

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、複雑な操作を必要とする機器に関わる状況知識を管理するためのシステムの実現を目的とし、状況知識マネジメントシステムを構成するために必要となる一連の情報グラウンディング技術として、透視2点問題の効率的解法、ユーザフレンドリなテキスト・マッピング・エンジン、3次元オブジェクト描画とアニメーション生成について論じたものであり、得られた主要な成果は以下の通りである。

1. 3軸方位センサを用いて、対象物体につけられた2個のマーカの見え方から対象物体の姿勢を求める透視2点問題の解法を与えた。より多くのマーカを用いた従来手法と提案手法の実験による比較評価を行い、高ノイズ状況においては提案手法が従来手法と遜色のない精度の姿勢推定ができること、実世界状況では、提案手法が精度では従来手法よりやや劣るものの、従来手法より高速に姿勢推定を行えることを示した。この手法を基盤として、剛体運動のLie群表現による定式化に基づくモデルベースのオブジェクト認識手法が開発され、実験的評価によって、計算時間、正解が出力されるまでの誤答数の平均が実用的な範囲にあることを示した。

2. 剛体の空間運動のLie群モデルの性質を使った効率的で頑健な姿勢修正手法を考案し、大まかな対応点指示を少数回繰り返すことにより、インタラクティブに姿勢を計算するユーザフレンドリなテキスト・マッピング・エンジンを開発した。評価実験により、未経験者でも実在の粒子測定装置のCADモデルに5枚のイメージを、合計10回前後のドラッグで張り付けられることを示した。

3. $SE(3)$ による空間内剛体運動のLie群表現をいったん $se(3)$ によるLie代数表現で近似し、その上での変化点を検出した上で、 $SE(3)$ 表現に戻すというアイデアを用いて、6自由度の方位・位置センサとビデオカメラを用いて空間内の点を指定することにより、3次元線分ないしは4面体ボリュームを生成する3次元物体描画とアニメーション手法と、ユーザが把持した6自由度マーカの動きをリアルタイムで捉え、変化点を自動検出して円滑なセグメントの連結として近似する技術を開発した。

以上の成果は、学術上、情報学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。平成22年2月12日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。