

氏 名	ビエン 下 志 強
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 163 号
学位授与の日付	平 成 19 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 社 会 ・ 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	A Study on Augmented Reality Technology for Supporting Field Work of Nuclear Power Plants (原子力発電プラントの現場作業支援のための拡張現実感技術に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 手 塚 哲 央 教 授 釜 江 克 宏 准教授 下 田 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、原子力発電プラントの現場保守作業を支援するための拡張現実感技術の要素技術のうち、特に原子力発電プラント構内で問題となるトラッキング技術の新しい手法の研究開発とその有効性の検証結果をまとめたもので、5章からなっている。

第1章は序論であり、まず、研究の背景として、地球温暖化防止対策に重要な役割を担う原子力発電に関し、電力市場自由化による発電コスト削減の要請、高経年化による保守作業の複雑化、熟練保守作業員の減少の問題が起きつつあることを指摘し、その対策のためには、現実の世界に情報や仮想の物体を重畳表示させる拡張現実感技術を利用してプラント現場作業を支援することが有効であることを述べている。次に、拡張現実感技術をプラント現場という特殊環境下で利用するためには、実空間とユーザの視線との位置関係をリアルタイムで計測する新しいトラッキング技術の開発が不可欠であり、従来の人工マーカ方式に代わる方法として、(i) トラッキング可能範囲の拡大、(ii) トラッキング精度の向上、(iii) トラッキング信頼性の向上の3点を実現する技術を開発することを述べた後、本論文の構成を示している。

第2章では、プラント現場で利用可能なトラッキング手法を開発するとともにトラッキング可能範囲を拡大するため、新しいラインコードマーカ法とハイブリッドトラッキング手法を提案し、実験によりその有効性を検証した結果を述べている。まず、プラント現場と従来の人工マーカ法の特徴を考察し、プラント内に多数あるパイプ等に貼付しやすい線形のラインコードマーカ（以下、マーカ）を新たに考案し、これを用いてトラッキング可能距離とトラッキング精度を評価した。その結果、提案したラインコードマーカ手法のトラッキング可能距離が10m以上に延びトラッキング可能範囲を拡大できることを確認した。また同時に、貼付するマーカの配置がトラッキング精度に大きな影響を与えることもわかった。さらにトラッキング可能範囲を拡大するため、複数のカメラと半導体ジャイロセンサを用いるハイブリッドトラッキング手法を提案し、実際のプラント現場に16枚のマーカを貼付して想定したルートを移動した場合のトラッキング可能フレーム数を評価した。その結果、ルート移動中でトラッキングが可能なフレーム数が21%から69%に向上し、その有効性を確認した。

第3章では、第2章で開発したラインコードマーカ手法のトラッキング精度向上のため、環境に貼付するマーカの配置がトラッキング精度に大きな影響を与えることに着目してマーカ配置を最適化する手法を開発し、計算機シミュレーションによりその有効性を検証した結果を述べている。まず、トラッキング誤差を定量的に評価する手法として、従来手法より格段に高速なWTEC（Wheel Tracking Error Computation）アルゴリズムを考案し、これを評価関数としてGA（Genetic Algorithm）によりトラッキング誤差を最小にするマーカ配置を決定する方法を提案した。提案手法を評価するため、プラント構内に9枚のマーカを配置する場合を考え、計算機シミュレーションを行った。その結果、ランダムなマーカ配置に比べて最適なマーカ配置により最大トラッキング誤差を2,711mmから51mmに減少させることが可能であり、トラッキング精度が著しく向上できることを確認した。

第4章では、ラインコードマーカ手法のトラッキング信頼性向上のため、トラッキング結果の誤差をリアルタイムで推定

する手法を提案し、実験により精度良く誤差を推定できることを述べている。提案手法は、ラインコードマーカが線形であることの特徴を活かしてマーカ認識の際の誤差を計算し、さらにプロジェクション誤差を考慮して第2章で提案したWTECアルゴリズムにより誤差を高速に評価するものである。提案手法によりトラッキング誤差を評価した結果、プロジェクション誤差のみを用いてトラッキング誤差を評価した場合に比べて精度良くトラッキング誤差を推定できることを確認した。これにより、トラッキング誤差が大きい可能性があるときに、間違った位置に情報を重畳表示されることを避けることができ、支援情報表示の信頼性を向上させることができる。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果を要約し、今後の課題を展望している。

論文審査の結果の要旨

原子力発電プラントの現場保守作業を支援するための拡張現実感技術の要素技術のうち、特に原子力発電プラント構内での問題となるトラッキング技術の新しい手法の研究開発とその有効性の検証結果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. プラント現場という特殊環境下で利用可能なトラッキング手法を開発するとともに、広範な保守作業の支援に対応するトラッキング可能範囲の拡大を目指して、安定して画像認識が可能でパイプ等に貼付しやすい線形のラインコードマーカを新たに設計した。そして、このラインコードマーカ手法の有効性を、トラッキング可能距離とトラッキング精度を室内実験により評価することで示した。
2. ラインコードマーカ手法のトラッキング可能範囲をさらに拡大するため、複数のカメラにより画角を拡張するマルチカメラと作業者の移動を検知する半導体ジャイロセンサを併用するハイブリッドトラッキング手法を提案し、実際のプラント現場でトラッキング可能範囲を評価することで、その有効性を検証した。
3. ラインコードマーカ手法のトラッキング精度を向上させるため、プラント現場に貼付するマーカの配置がトラッキング精度に大きな影響を与えることに着目し、マーカの配置を最適化する手法を開発した。具体的には、トラッキングの最大誤差を高速に計算するWTEC (Wheel Tracking Error Computation) アルゴリズムを考案し、推定された最大誤差を評価関数として遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm ; GA) によりマーカの最適配置を求めるものである。また、この手法の有効性を計算機シミュレーションにより検証した。
4. ラインコードマーカ手法のトラッキング信頼性を向上させるため、マーカ認識時の形状歪みとPnP法による投影誤差からトラッキング誤差の大きさをリアルタイムで推定する手法を提案し、室内でのトラッキング誤差評価実験によってその精度推定の可能性とリアルタイム性を示した。この手法によって、大きなトラッキング誤差が予想される場合には、間違った位置に情報を重畳表示することを避けることができ、支援情報表示の信頼性を向上させることができる。

以上、本論文は原子力プラントの現場保守作業の支援に拡張現実感技術を適用するために、その主要技術であるトラッキング技術の高度化を研究したもので、得られた成果は原子力プラントの安全性と信頼性のさらなる向上に貢献するものであり、学術上、實際上、資するところが大きい。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年8月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。