



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	プラント改修向けas-builtモデル構築のための地上型レーザスキャナの最適配置計画 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	脇坂, 英佑
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第13302号
Issue Date	2018-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71903
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Eisuke_Wakisaka_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 脇坂 英佑

審査担当者 主 査 教 授 金井 理
副 査 教 授 小野里 雅彦
副 査 教 授 近野 敦
副 査 准教授 伊達 宏昭

学位論文題名

プラント改修向け as-built モデル構築のための 地上型レーザスキャナの最適配置計画
(Optimal Placement of a Terrestrial Laser Scanner for As-built Modelling for Plant Renovation)

近年, 空調設備プラントの設計施工では, 省エネルギーを目的とする既存設備の改修需要が高まっている. 改修工事では, 既存の熱源プラントや配管系統などの現況をまず計測し, その一部を新規設備と交換する作業が必要となる. しかし, 既存設備の図面には, 現況形状や配置が必ずしも正しく記載されていない場合が多い. そこで既存設備の現況を高速に計測できる 3 次元地上型レーザスキャナ (TLS) が導入され, さらに TLS で計測された計測点群から, 設備の現況形状や配置を反映した 3 次元 as-built(現況反映) モデルを構築し, 改修工事の期間短縮と高精度化を図る事例が増加している. 改修工事に求められる精度の 3 次元 as-built モデルを構築するには, 設備各部に要求される精度品質, レーザ光の入射角や計測距離の有効範囲, 計測対象物表面のスキャナからの可視性, さらには TLS の物理的設置の可能性など, さまざまな計測条件の制約を満たすよう TLS を計測対象に対し最適位置に設置する必要がある. しかし現状は, 熟練技術者の判断のみでその配置が決定されているため, これらの条件を満たす計測が行われ, 要求精度の 3 次元 as-built モデルが生成できるといった保証が必ずしも無いのが実情である.

本論文は, 上記問題を解決するため, 事前調査時に設備をカメラ撮影した画像群から Structure-from-Motion (SfM) で生成された設備のラフな 3 次元モデル (SfM モデル) を構築し, この SfM モデルを事前知識として活用することで, 計測条件の制約を満たし, 改修時に重要となる必要箇所の計測網羅性を最大化する最適スキャナ配置を, 整数計画問題等の最適化問題の解として計算機により合理的かつ効率的に導出する手法を提案することを目的としたもので, 5 章より構成されている.

第 1 章「緒論」では, 背景である TLS に基づく空調設備の 3 次元 as-built モデル構築時におけるスキャナの配置計画の重要性とともに, 熟練技術者の判断のみでは適切なスキャナ配置の決定が不可能であること, また TLS を対象とした最適スキャナ配置問題 (Next-Best-View 問題) の解法に関する従来研究の問題点がまとめられている. そして, 改修工事に求められる精度品質の 3 次元 as-built モデルの生成には, 複雑な制約条件を充足するスキャナ配置を求めることが必要で, 計算機支援によりその最適スキャナ配置を導出可能なアルゴリズムの提案が本研究の目的であることが述べられている.

第 2 章「ボクセル表現と貪欲法を用いた準最適スキャナ配置計画アルゴリズムの開発」では, SfM モデル表面に改修目的に応じた三段階の計測重要度を付加した後, そのモデルを包含した計測空間をボクセル分割し, 各ボクセルに計測対象物の有無を示す占有状態を属性づけ, さらにスキャナを物

理的に配置可能な空間が確保できるボクセル中心点をスキャナ設置候補点として自動選択している。そして、レーザ光入射角や計測距離、可視性、計測点群間の重複からなる制約条件を満たし、かつ計測可能な重要度高および中のボクセル数を最大化するスキャナ設置個所を導出する最適化問題を定式化し、近似解法である貪欲法を用いて、準最適なスキャナ配置順序を導出する手法が提案されている。また二種類の実空調設備を対象に、得られたスキャナ配置と熟練技術者が決定したスキャナ配置について、スキャン回数、計測の網羅性、配管接続部 as-built モデル化の精度など観点から比較を行い、提案手法が計測の網羅性やモデル化精度の観点から優位であることが示されている。

第3章「メッシュモデル表現と整数計画法を用いた最適スキャナ配置計画アルゴリズムの開発」では、第2章で提案した手法の問題点を総括するとともに、その解決を図るため、SfM モデルのメッシュモデル表現への変更、GPU 上のモデルレンダリング結果を用いた高速な可視性判定、整数計画法によるスキャナ配置問題の定式化と、分枝限定法による最適スキャナ配置の導出手法が述べられている。また第2章と同様の設備を対象に、本章の手法と第2章の手法、および熟練者が決定したスキャナ配置の3者について、スキャン回数、計測の網羅性、as-built モデル化の精度、処理時間の観点から比較を行っている。その結果、本手法では、第2章で提案した準最適スキャナ配置計画手法よりも少ないスキャン回数にもかかわらず、同程度の計測網羅性と as-built モデル化精度を達成できる最適スキャナ配置を、第2章の手法に比べ約10倍高速に導出できたことが述べられている。

第4章「実務への展開を考慮した最適スキャナ配置アルゴリズムへの拡張」では、第2章および第3章で提案された手法に基づいて、実務上求められる(1)100%の計測網羅性を確保するための最適スキャナ配置の導出、(2)計測作業の効率性を確保する最短計測経路の導出、および(3)as-built モデル化の現実性を向上させるため計測点群間の重複を最大化する最適スキャナ配置の導出、といった三種類の異なる条件拡張に適合したスキャナ配置を導出するための最適化問題が、それぞれ整数計画問題、巡回セールスマン問題、凸二次計画問題として定式化されている。また、これらの拡張手法を実設備に適用した際の有効性が、計算機シミュレーションに基づいて評価されている。

第5章「結論と今後の課題」では、各章で得られた成果の要点と、今後の課題がまとめられている。

これを要するに、本論文は、空調プラント設備の改修・更新作業にとって必要不可欠となる3次元地上型レーザスキャナによる既存設備の計測時に、計測を効率的に行いながらも、様々な制約条件を考慮した高精度な as-built モデル構築を可能とするスキャナの空間配置を、組合せ最適化手法により合理的に決定できる計算機支援技術を確立したものであり、デジタル幾何処理情報学、計測工学、プラントエンジニアリング、ロボティクス発展に寄与するところ大なるものがある、よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。