



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大規模環境レーザ計測点群からのプラント配管系統の高度自動認識に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	川島, 千明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11310号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55597
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuaki_Kawashima_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 川島 千明

学 位 論 文 題 名

大規模環境レーザ計測点群からのプラント配管系統の高度自動認識に関する研究

(Advanced Automatic Recognition of Plant Piping Systems from Large-scale Laser-scanned Point Clouds)

近年、石油化学・製油・ガス・食品などの大規模製造プラントでは、製品ライフサイクルの短命化に伴い、設備の改修や更新頻度が高まっている。このような改修・更新の計画時には、一般にプラント設備の現況が記載された図面や 3 次元 CAD データを参照することとなるが、改修・更新が頻繁に行われている場合、図面や CAD データ上に現況設備の現況が常に正しく反映されていることは少ない。その結果、改修工事の際に想定外の部材間の干渉や部材不足等が発生し、現場での追加作業による工期遅れや追加コストの発生を招いてしまうことが、現在プラントエンジニアリング分野での大きな問題となっている。

一方、ここ数年、物体表面を非接触で高速・高密度に 3 次元計測できる長距離レーザスキャナの普及が加速している。このスキャナは、レーザ光を全方位に発射し、物体表面形状を数千万点にも及ぶ大規模な 3 次元点群データとして自動的に取得することが可能である。従って、このスキャナを用いて現況のプラント設備を計測した 3 次元点群データを取得し、この点群から現況設備の形状や構造を反映した 3 次元 as-built モデルを作成することで、施工計画段階で改修工事の問題を事前に予測・回避し、工期の短縮とコスト削減を図ることが期待されている。その中でも、特に流体の経路となる配管系統は、プラントの大部分を占める必要不可欠な設備であり、また頻繁に経路の改修・変更が行われる対象でもあるため、現況を反映した 3 次元 as-built モデル作成の必要性が極めて高い。

しかし、プラント配管系統の大規模計測点群から配管系統の 3 次元 as-built モデルを構築するには、現在、解決すべき 2 つの大きな技術課題がある。まず第一の課題は、プラント全体の大規模な計測点群内からの配管系統の全自動認識である。プラント設備の計測点群は、非常に入り組んだ構造と膨大な点数をもち、また自動車部品等のレーザスキャン点群に比較し相対的に大きな計測ノイズを含んでいる。このためプラント設備全体の計測点群内から配管系統のみを抽出し、点群に合わせてパイプ等の形状モデルをフィットしてゆく配管系統の認識作業は、現在、設計者の対話的な手作業で行われているケースが大部分であり、莫大な作業時間とコストを要している。また第二の課題は、プラント計測時の適切なスキャナ配置位置の決定である。プラントの配管系統は非常に入り組んだ構造を持つため、1 回のレーザスキャンのみでは手前の配管によるオクルージョン（隠蔽）によって、後方に隠された配管の十分な計測点群を得ることができず、自動認識も十分には行えない。そこでオクルージョン領域を計測可能な新たな位置にスキャナを再配置し計測を行う操作を繰り返してゆく必要がある。しかし現在、このスキャナ再配置位置は操作者の経験に基づいて決められており、オクルージョン領域を効率的に解消でき、かつ配管系統認識にとって有効なスキャナ配置による計測が行われているとは限らない。

本研究は、上記の技術課題解決のため、(1) プラント設備全体の大規模なレーザ計測点群からの配管系統の高速・高精度な自動認識アルゴリズム、および (2) 配管系統認識に効果的な計測オクルージョン領域の解消を可能とする最適スキャナ配置位置の自動推定アルゴリズムを提案し、計算機シミュレーションおよび実プラント計測点群に対する適用結果から、提案アルゴリズムの有効性を実験的に検証することを目的としている。

本論文の各章の内容は、以下の通りである。

第 1 章「緒論」では、本研究の背景を述べ、プラント設備全体の大規模なレーザ計測点群からの配管系統の自動認識アルゴリズムの開発、ならびに配管系統の計測オクルージョン領域の効果的な解消を可能とする最適スキャナ配置位置自動推定アルゴリズムの開発が、本研究の目的であることを述べている。

第 2 章「法線テンソル解析に基づく大規模レーザ計測点群からの配管系統の自動認識アルゴリズムの開発」では、計測点群の各点に対する分散共分散行列の主成分分析に基づいた法線ベクトル推定と、法線テンソルの主

成分分析結果を手掛かりに、設備全体の大規模点群内から直進パイプ円筒面上の点群のみを選択的に抽出し、さらにパイプの軸線追跡により、エルボやジャンクションといった配管系統の接続要素を全自動で認識するアルゴリズムを新たに提案している。最後に、実プラントの計測点群に対し提案アルゴリズムを適用した結果、直進パイプ部分は約 82% の認識率を達成できたこと、しかしエルボとジャンクションは各々 40%、50% に留まることを述べている。また認識時間は、450 万点程度の点群に対し数時間程度を要することから、その認識精度と計算効率のさらなる改善が課題であることを示している。

第 3 章「大規模レーザ計測点群からの配管系統の自動認識アルゴリズムの高速・高精度化」では、前章で提案した手法の計算時間および認識率を改善するためのアルゴリズムを考案している。まず空間を微細に分割したグリッドセル内の計測点群に対し同一の 2 次陽関数曲面フィッティングを行うことで、各点の法線ベクトルを高速に近似推定する方法を導入し、さらにその法線ベクトル方向の同一性を基準とする Region-Growing から得られた領域のアスペクト比分析、同一主方向ベクトルをもつ領域クラスタリングにより、計測点群内の直進パイプ・ジャンクション・エルボを全て含む配管系統点群のみを前章の方法に比べ高精度に抽出可能なアルゴリズムを提案している。また、配管系統表面にフィッティングされた円筒面から配管中心軸上の点列を推定し、この点列に対する連続した円弧・直線のフィッティングにより配管系統の軸線位置を推定し、その位置関係に基づく軸線補完を行うことで、点群を直進パイプ・ジャンクション・エルボ上点群に分類する手法も考案している。最後に、前章と同一の実プラント計測点群に対する認識結果を評価し、直進パイプ・ジャンクション・エルボの認識率の最低値をそれぞれ 86%、88%、71% に改善できたこと、また 450 万点程度の点群に対する認識時間は、20 分程度に大幅に改善できたことを示している。さらに、約 1 億点の大規模化学プラント計測点群から、約 9 時間程度の処理で配管系統を全自動認識可能なことを実証している。また認識で必要となる各種パラメータ設定値に対する認識結果の鈍感性についても仔細に議論し、そのパラメータ推奨値を明らかにしている。

第 4 章「配管系統のレーザ計測時のオクルージョン最小化を目的とした最適スキャナ配置」では、配管系統認識に効果的な計測オクルージョン領域の解消が可能なスキャナ配置を提示するための自動推定アルゴリズムを新たに提案している。ここでは、まず初期スキャナ配置位置での計測点群から、第 3 章で述べた配管系統の自動認識アルゴリズムを用いて推定された配管系統が存在する空間をボクセル分割し、計測点とスキャナの相対配置から、空間領域、物体が存在する領域、オクルージョン領域、スキャナが設置可能な水平面領域等を、第一段階のレイトレーシングにより評価する。さらに各ボクセル位置からオクルージョン領域セルに対する第二段階レイトレーシングを実行し、配管系統の認識率向上に寄与すると思われるオクルージョン領域の可観測確率が最も高い各ボクセル位置を、次の最適スキャナ位置として決定する手法を提案している。またプラント CAD データに対する計算機シミュレーション結果により、類似する Next-Best-View 問題の既存研究と比較し、より少ないスキャンで効率的に計測オクルージョン領域を減少させ、また配管系統の認識率も向上できることを示している。

第 5 章「結論と今後の課題」では、上記各章で得られた研究成果の要点をまとめるとともに、合わせて今後の課題を述べている。