

レーザ計測点群からの空調ダクト配管システムの自動認識に関する研究(第2報)

-支配的3軸に平行でない直進ダクトの認識-

北海道大学 ○鳴海 晶也, 金井 理, 伊達 宏昭

近年, 空調配管システムの更新工事効率化を目的としたレーザ計測点群からの3次元 as-built モデルの構築が期待されており, 中でも空調ダクト配管システムのモデル構築の需要が高い. 本研究では Manhattan-World 仮説と計測点の連続性をを用いて, レーザ計測点群から矩形断面ダクトで構成された配管システムを全自動で認識する手法の開発を目的とする. 本報では, これまで認識ができなかった, 支配的3軸に平行でない直進ダクトの認識手法を開発したため, 報告する.

1. はじめに

近年, 建物内部における空調設備の更新頻度が高まっており, これに伴い, 改修作業効率化のためレーザ計測点群を用いた設備の3次元 as-built モデル作成の需要も高まっている. 特にダクト等で構成される空調配管システムは設備の主要部材であり, レーザ計測点群に基づいたモデル作成の要求が高い. そのため, ダクトの空調配管システムを対象とした効率的な as-built モデル構築の支援技術が必要とされている. これまでレーザ計測点群からの円筒配管システム認識には, 多くの研究例が報告されているが[1,2,3 など], これらは矩形断面ダクトの配管システムの認識には適用できない.

そこで本研究では, レーザ計測点群から, ダクト配管システムが支配的な直交軸に平行に配置されているという Manhattan-World 仮説[4]を用いて, 矩形断面ダクトで構成される空調配管システムの自動認識を行うアルゴリズムを開発してきた[5]. しかし, 進行方向が直交軸に沿っていないダクトは, 十分な計測点群が得られていても, ダクト形状の認識を行う事が出来なかった. そこで本報では, 前報[5]までの手法を拡張し, Manhattan-World 仮説に従わない進行方向が直交軸に沿っていない直進ダクトの認識も行えるよう, 機能を拡張追加したので報告する.

2. 矩形断面ダクト配管システムの自動認識アルゴリズム

提案手法の概要を図1に示す. 開発した矩形断面ダクト配管システムの自動認識は以下の手順で行われる. なお, ダクトのうち少なくとも2面に計測点が存在するものを認識対象として限定した.

2.1 基本的な考え方

空調ダクトはその大部分が建物の天井面及び壁面にほぼ平行に設置されている. 従って本研究では, ダクトの大部分が Manhattan-World 仮説に従って存在していると仮定し, 点群内からその支配的直交3軸を求め, 軸に直交する各断面上の点群形状解析からまず矩形断面ダクトの断面位置を認識し, 更にこれらを断面間で相互接続することでダクトの認識を行う. 本報では直進ダクトの認識処理(A3)を前報[5]から拡張し, 直交3軸に沿わない直進ダクトも認識可能な機能を実現した.

2.2 支配的直交3軸の推定および背景点群除去 (A1)

まず入力点群の鉛直方向点分布ヒストグラムと領域成長法から床面領域点群を検出, 除去し, 床面領域点群から支配的z軸を, 点群中の各点が持つ法線ベクトルから支配的x軸の方向を決定し点群の座標変換を行う. 更に床面除去点群に対し, 床面と同様に壁面・天井面を検出・除去することで背景点群がほぼ除去された点群を得る[5].

2.3 断面点群の解析によるダクトの存在位置推定 (A2)

支配的x軸, y軸に垂直な一定間隔の分割面Sで点群を分割し, 分割された点群と法線ベクトルを各分割面Sに投影し, S上の断面点群を取得する. その後, 組み合わせ Hough 変換[6], ユークリディアンクラスタリングを用いてダクト長手方向の辺上に存在する点の集合(クラスタ)を得る[5].

2.4 直進ダクトの認識 (A3)

2.4.1 ダクト長手方向辺上の線分認識

図2(a)のように, 2.3節で得られたダクト断面頂点集合について, 各点の推定に用いられた部分点群の, クラスタの周長に対する点密度が最も高い矩形4頂点のうち任意の1点を, シード点 p_{seed} として選択する. そして図2(b)のように, p_{seed} から出発し支配的軸方向に存在する他の断面上で p_{seed} とほぼ同一位置に存在するダ

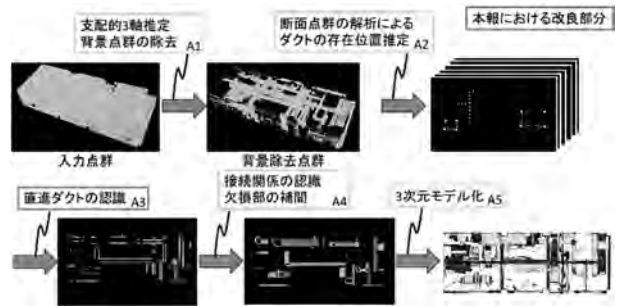


図1 提案手法概要

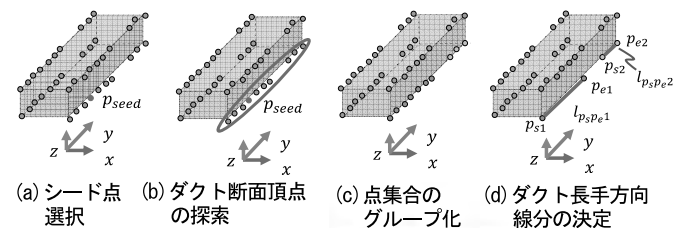


図2 Manhattan-World 仮説に従うダクト長手方向辺上の線分認識手順

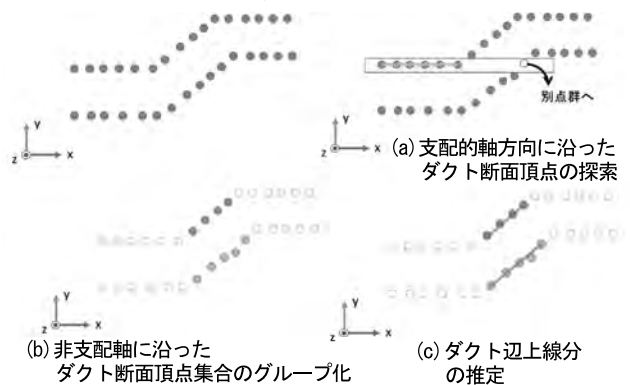


図3 Manhattan-World 仮説に従わないダクト長手方向辺上の線分認識手順

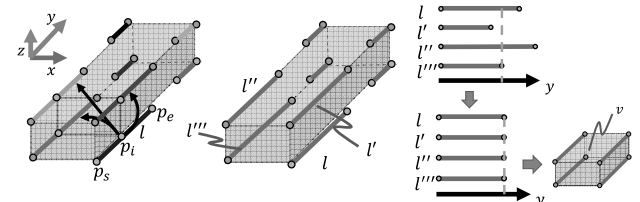
クト断面頂点を網羅的に探索する. その後図2(c)のように得られた支配軸方向に分布する点群を, 更にユークリディアンクラスタリングでグループ化する. グループ化された各点群のうち十分な点数が存在するクラスタについて, 各々端点 p_s, p_e を決定し, ダクト長手方向の辺上の線分 $l_{p_s p_e}$ を決定することで, 図2(d)に示すような支配的軸に沿ったダクトの長手方向に存在する線分集合を得る.

その後, 更に支配的直交軸方向に平行でないダクト断面頂点をグループ化するため, 図3(a)のように点数の少ないクラスタのみを集めた点群に対し, 図3(b)のように再度ユークリディアンクラスタリングによるグループ化を実行する. そして, 図3(c)のようにグループ化した各クラスタ内の点群に対し, RANSACを用いて直線を推定する. 推定された直線近傍に位置する点集合の中で, 互

いに最も離れた位置にある 2 点を端点として決定し、同様に線分 l_{pspe} を取得することで支配軸に平行でないダクトの長手方向に存在する線分集合を得る。

2.4.2 直進ダクトの認識

以上より推定された線分に対し図 4(a)のように、任意の辺上線分 l 中の任意点 p_i から同じダクト長手方向の他の辺上に存在する 3 線分に投票処理を行う。次に、 l からの投票数が最多となっている他の 3 辺上の線分 l', l'', l''' を求め、図 4(b)のように 4 線分 (l, l', l'', l''') を同一ダクトを構成している線分集合 L として認識する。そして L 内の各線分について、図 4(c)に示すように断面に 3 本以上の線分が表れるダクト長手方向の位置に各端点を再配置することで、端面が長方形となるよう整形した直方体 v を作成する。その後、空間的に共通領域を持つ v の和集合を取り、得られた直方体を直進ダクト D として認識する。



(a) ダクト長手方向 (b) 認識した線分集合 $L(l, l', l'', l''')$ (c) L 中の各線分の整形処理

図 4 直進ダクトの認識

2.4.3 過認識部の除去

2.4.2 で得られた直進ダクトには、天井付近の梁や、床面に置かれた建材等を直進ダクトとして誤認識(過認識)しているものが含まれている。そこで、前報[5]のように、「認識ダクト上面が天井面から d_t mm 以上離れている」かつ「認識ダクト下面が床面から d_b mm 以上離れている」という条件を満たしたもののみを正しい直進ダクトとし、それ以外の認識ダクトを削除することで過認識部を除去する。

2.5 直進ダクト間の接続関係の認識・欠損部の補間(A4)

前報[5]と同様にまず、任意の 2 つのダクト D_1, D_2 端面の重心点 c_1, c_2 について、2 点間の Manhattan 距離 d_m を求める。

次に、 d_m と Manhattan 距離閾値 d_{th1} が $d_m \leq d_{th1}$ となる場合、 D_1, D_2 が接続すると判定し、 d_m の各軸方向成分 d_x, d_y, d_z から接続関係の種類(エルボ・S 字カーブ等)を識別する。

また D_1, D_2 が延長線上の位置にある、すなわち D_1, D_2 が同一方向で d_m が $d_m \leq d_{th2}$ ($d_{th1} < d_{th2}$, d_{th2} : Manhattan 距離閾値)かつ $d_\alpha \cong 0, d_\beta \cong 0$ (α, β : ダクトの進行方向と異なる 2 成分)となり、かつ D_1, D_2 の間に補間するのに妥当なだけの計測点が存在する場合、 D_1, D_2 間を直進ダクトの欠損部と認識し、 D_1, D_2 の間を補間したダクト D_{12} を生成し、 D_1, D_2 と置き換える。支配的 3 軸に平行でないダクトについても同様の方法で欠損部を補間する。

更に、前報[5]のように、領域成長法により既に認識されているダクトの端部をダクトの進行方向に対して成長させることで、欠損部を補間する。

3. 認識実験結果

図 5 に示す空調機械室のレーザ計測点群をダウンサンプリングした点群(点数: 2,037,763)を入力とし、提案手法を用いて矩形断面ダクト配管システムの認識を行った。ダクトが主に存在する水平面に平行する領域を表示したものを図 6 に、前報[5]までの手法によるダクトの認識結果を図 7、本報における認識結果を図 8 に示す。

図 7 と図 8 を比較すると、支配的 3 軸に平行でない斜めに走る直進ダクトについて、本報の改善によって新たに認識が行われていることを確認できた。

また、計測点群が十分に存在する図 6 の枠中の範囲について目視による計測点群と認識結果との比較を行い、真ダクトと認識ダクト部との長さ比に基づき認識率を算出した。その結果を表 1, 2 に示す。計測点群中の全直進ダクト部のうち約 69% が認識でき、前報の結果と比較すると、認識率が若干の改善が見られた。これは、全直進ダクトに占める支配的 3 軸平行でない斜めダクトの割合が少ないためである。認識不足の主な原因は、ダクト下面 1 面にしか計測点が存在しない、もしくはダクト下部に位置する円形配管によるオクルージョンによるものだった。なお、本研究で前提とした、少なくとも 2 面が計測されているもののみについて評価した場合、認識率は約 83% となった。処理時間は約 9.1 分/200 万点であった。

参考文献

- [1] 松岡諒ほか: 「大規模点群からの生産設備の形状再構成(第 1 報)」, 精密工学会誌, 80(6), pp.604-608 (2014)
- [2] K.Kawashima et al.: "As-built modeling of piping system from terrestrial laser-scanned point clouds using normal-based region growing", Journal of Computational Design and Engineering, 1(1), pp.13-26 (2014)
- [3] R.Qiu et al.: "Pipe-Run Extraction and Reconstruction from Point Clouds", LNCS, 8691, pp.17-30 (2014)
- [4] James, M., Coughlan, and A., L., Yuille, "Manhattan world: Compass direction from a single image by Bayesian inference", Computer Vision, 1999. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on, 2, pp.941-947, (1999)
- [5] 鳴海晶也, 金井理, 伊達宏昭, 脇坂英佑: "レーザ計測点群からの空調ダクト配管システムの自動認識に関する研究(第 2 報)", 2016 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.773-774.(2016)
- [6] 齊藤文彦ほか: "組合せ Hough 変換による画像内長方形物体検出", 精密工学会誌論文集, 71(1), pp.94-98, (2005)

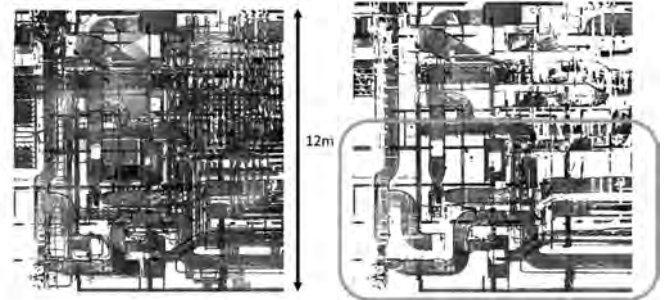


図 5 入力点群(点数: 2,037,763)

図 6 水平方向ダクトの存在領域抽出結果

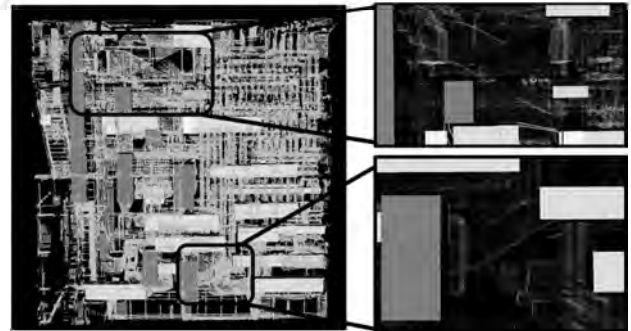


図 7 前報[4]の手法によるダクト配管システム認識結果

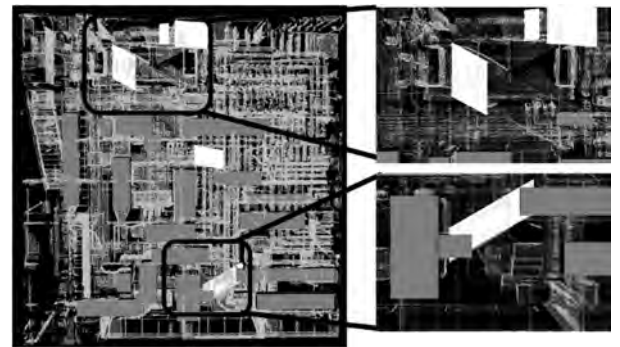


図 8 本報改善によるダクト配管システム認識結果 (白色部が支配的軸に平行でないダクトを示す)

表 1 直進ダクトの認識結果

()内は計測点群が 1 面のみのダクトを除いた数値を示す

	認識ダクト部	認識不足部	真ダクト全長
真ダクト部	26.91m	12.18m(5.69m)	39.09m(32.6m)
過認識部	8.19m		
認識ダクト全長	35.1m		

表 2 直進ダクトの認識率

	前報[4]	本報
再現率	66%(79%)	69%(83%)
適合率	78%(78%)	77%(77%)