3D 計測点群データからの電柱抽出処理とその応用

高志毅,加藤徹,高橋弘毅,土井章男(ソフトウェア情報学部),榊原健二,細川智徳(株式会社 TOKU/PCM),原田昌大氏((株)タックエンジニアリング)

要旨

宮古市の末広町では、車の通行を抑制して、安全で安心して歩ける道路空間の整備を目指している。そこで、本研究では道路空間を 3D 計測し、3D 点群データから電柱を削除し、道路空間の整備のシミュレーションを行った。さらに、3D 点群データを 2 次元画像に変換し、ハフ変換を用いて電柱を識別することで、電柱化抽出処理の自動化を試みた。

1 はじめに

宮古市宮古駅近いにある「末広町」は、中心市街地に位置する商店街のほぼ中央を通る重要な道路であり、商店街を中心とした魅力あるまちとして、賑わい強化につなげていくためには、地域住民との合意形成を図りつつ、歩行者を優先した安全・安心、かつ快適な道路として整備を進めていく必要がある. (図1)

しかしながら、市道末広町線通りの現状は歩道が設置されておらず、路側帯をカラー舗装で塗り分けることで歩行空間として区別している。歩行空間には電柱が設置されており、電柱を避けて通行する際や歩行者のすれ違いの際には、車道部にはみ出すことが確認されている。また、商店街への来訪や荷捌きの車両が歩行空間を跨いで停車することで、歩行空間が占用分断されており、歩行者は車道部に大きくはみ出して通行する状況が散見される。

無電柱化は「電線類地中化」と「電線類地中化以外」に 大別され、無電柱化により歩道幅員を広くとることが可能 となり、良好な景観が形成され、同時に快適な道路空間が 創出される。しかしながら、これまでは市街地の無電柱化 が十分ではなく、3D計測を行った場合、道路には多くの電 柱や電線が計測されてしまうため、自動で電柱の点群デー タを抽出することが求められている。

そこで、本研究では、道路の **3D** 計測点群データに対して無電柱化処理を行い、無電柱化された道路空間のビジュアルシミュレーションを行った[1].



図1 宮古市末広町

2 3D 計測点群データの取得方法

2. 1. 計測装置およびソフトウェア

3D 計測で使用する装置は、Faro Focus3D 120 レーザースキャナー(レーザー計測装置)、識別用マーカー、GNSS 測量機、座標識別点である(図 2、図 3). 本研究では、土木建築用の点群処理ソフトウェアである Autodesk ReCap とビジュアルシミュレーション用ソフトウェアである Autotodesk InfraWorks を使用している.



図2 レーザー計測装置と識別用マーカー

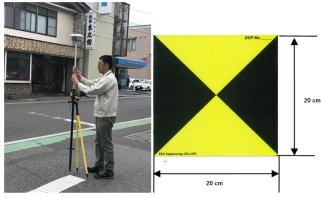


図3 GNSS 測量機と座標識別点

2. 2. 3D 計測から点群データの取得

末広町の点群データは、地上付近にあるものに関してはレーザー計測装置により生成する. 地上付近の対象はレーザー計測装置を用いて計測する. この装置は全方位へレーザー光を照射し、その反射光で距離計測を行う. こうして得られた

計測機からの距離情報を元に、3D 点群データを作成する. この時、指標となるマーカーを同時に計測する.

予め3Dモデルの位置決定のための標定点を9箇所設置し、 さらにGNSS測量機で各標定点の座標を測定する^{図3}.

このようにして計測されたこ各点群データに対して、位置 調整を行う。末広町全体のデータは、同時に撮影した標定点 を基準に世界座標への変換を行う。また、レーザー計測によ って得られたデータも同様にマーカーを基準に世界座標へ の変換を行い、それらを結合する^[4].

2. 3. 点群データに対する対話的無電柱化処理

点群データ無電柱化処理は、Autodesk ReCap を使用して、対話的に削除することも可能である。ReCapの「フェンス機能」を用いて、点群データの電柱部分を選択し、電柱を順に削除する。この作業をすべての電柱部分に対して行うと、作業時間は ReCap に熟練した CAD ユーザで約 6 時間を要する(図 4、図 5)。そこで、3 章では電柱のみを自動で抽出する方式を提案する。



図4 電柱ある末広町の点群データ



図5 無電柱化した末広町の点群データ

3 無電柱化自動処理実現手順

図6は自動無電柱化処理の概要である. 3次元計測点群から直方体を配置して、その直方体内部の点群から2次元画像を生成する. 次にこの2次元画像に対して、ハフ変換により電柱の中心と半径を取得することで、電柱の点群データを抽出する.

電柱とは、空中に張った電線・ケーブル類を地上に引く際にこれらを支持するための柱状の工作物. 図 7^{la}はさまざまな種類の電柱である。

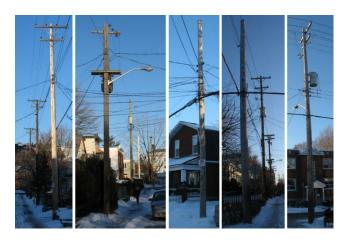


図75 様々な電柱

3. 1. 元データの分割

今回用いた点群データの総量は約7GBであり、非常に処理速度が低下した。そのため、全体のデータに対して、ReCapで対話的に分割して、読み込み作業を行う。今回は300MB単位で分割した(図8)[6][7].

3. 2. ハフ変換で 2D 画像の円識別

ハフ変換 (Hough 変換) は、デジタル画像処理で用いられる特徴抽出法の一つである. 古典的には直線の検出を行うものだったが、更に一般化されて様々な形態に対して用いられている¹⁸. 本研究では、ハフ変換の円の検出アルゴリズムを使用する. 以下はハフ変換の抽出原理である.

ハフ変換の円検出原理:

2次元上の円は、中心位置 (a, b) と半径 r の 3 個のパラメータで表現できるため、図 9、図 10 に示すように、3次元パラメータ空間内の 1 点で、円一つを表すことができる。入力画像に対するエッジ検出結果を使って、全ての円候補画素について(a, b, r)パラメータ空間への写像を行い、その結果を調べることで円のパラメータを算出できる。

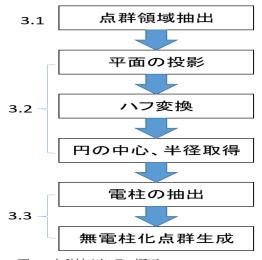


図6 自動抽出処理の概要



図8分割した点群データ例

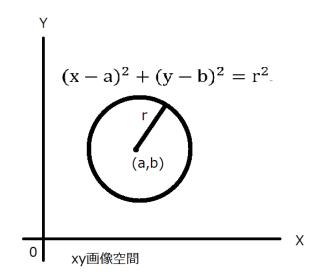
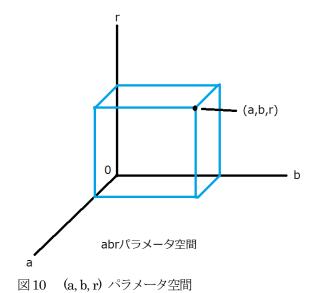


図9 2次元画像空間



電柱データは 3D 計測点群データであるため、3D 計測点群から 2 次元画像を変換することが必要である。そこで、地上から、 $5.0\,\mathrm{m}$ から $5.3\,\mathrm{m}$ の範囲、 $7.0\,\mathrm{m}$ から $7.3\,\mathrm{m}$ の範囲、 $9.0\,\mathrm{m}$ から $9.3\,\mathrm{m}$ の範囲に対して、3 次元空間内の点群を取り出し、各点群データの Z 座標を削除して、2 次元画像を生成する(図 15、図 16) 9.

3D 計測点群データから 2 次元に変換した画像は点の画像ですが、線の画像ではない、から点を繋げて、曲線を作成することは要がある.

ガウシアンぼかし(Gaussian Blur)の知識を用いて、点から曲線を作成する.

式 1 はガウシアンぼかし (Gaussian Blur) の式である. 標準偏差 σ のガウシアンぼかしとは、n 次元の入力画像 A[i,j,...] に対し n 次元ガウス関数(図 11)である[10].

$$G_{\sigma}(x,y,\ldots) = rac{1}{\left(\sqrt{2\pi\sigma^2}
ight)^n} \exp(-rac{r^2}{2\sigma^2}) \ (\exists \exists \exists \ r^2 = x^2 + y^2 + \cdots)$$

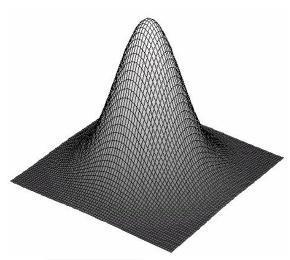


図 11 二次元ガウス関数[11]

画像処理において、ガウシアンぼかし (Gaussian Blur) とは、ガウス関数をもちいて画像をぼかす処理である。こちらの原理は2次元点(図12)をガウシアンぼかし(Gaussian Blur)でぼかす処理して(図13), 黒白二値化して(図14)、点と隣接点間のギャップを埋め、点を曲線に変換することである。





図12 2次元点の画像

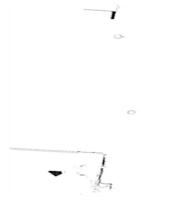


図13 ガウシアンぼかしした画像

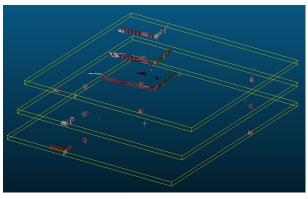


図16 抽出した点群データ





図14 黒白二値化した画像

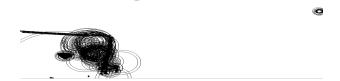


図17 ハフ変換した5.0 mの2D図面

各範囲 (5m-5.3m, 7m-7.3m, 9m-9.3m) は使用されている電柱の高さを元に決定した. 通常, 5.0 mからは地上ノイズが少なく, 電柱の高さは約 12mまであるが, 5m, 7m, 9m の 3 分割で十分であった.

次に、2D ハフ変換アルコリズムを利用して、2D 図面中の円を抽出する。図 17、図 18、図 19は、高さ 5.0 m、7.0 m、9.0m での 2 次元画像から、ハフ変換により円を抽出した結果である。抽出される円はこのように複数個の円が抽出されるため、電柱のみを選択する必要がある。

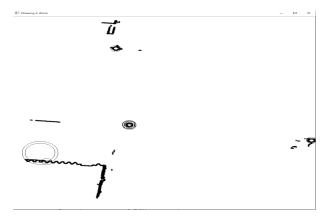


図18 ハフ変換した7.0 mの2D図面

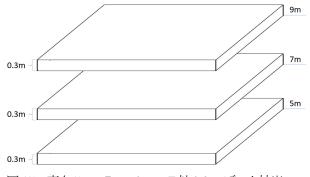


図15 高さ5m, 7m, 9mのZ軸0.3mデータ抽出



図19 ハフ変換した9.0 m の2D図面

3.3 3D 点群データ電柱の識別方式

次に各 2D 図面を並べて、同じ場合で、かつ、半径が電柱の長さの円が電柱である。図 21 はその原理を分かり易く表現した図である。最終的には円筒表面の点群が電柱の 3D計測点群データとなる。図 20 は図 17、図 18、図 19 の 2D図面に対して、抽出された電柱に対応する円を赤色で示している。

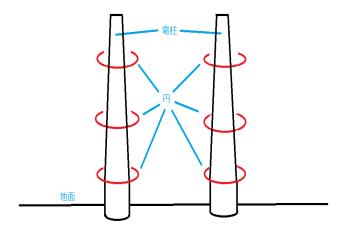


図 21 2D 図面の円から 3D 点群データの電柱識別

図22と図23は、本方式に得られた電柱の3D計測点群データと無電柱化後の3D計測点群データである.

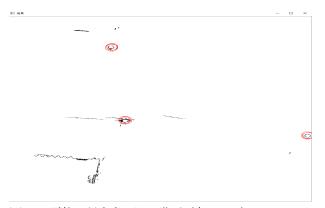


図20 電柱に対応する円の識別(赤いマル)



図22 抽出した電柱の点群データ

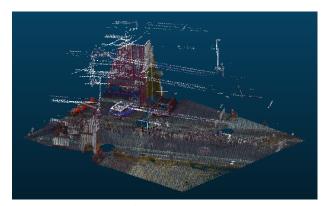


図 23 無電柱化点群データ

電柱は円錐台に近似するため、異なる高さから取得した2D図面の同じ電柱に対応する円の半径が違う。図24¹²³を示して、Rは下図面の円半径、rは上図面の円半径。半径が違うが、この二つ円の円心の二次元座標値が同じである。円心が同じ場合は電柱の可能性が高いである。

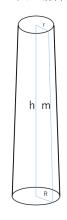


図 24 円錐台

4. 評価

4.1. 3D計測点群データからの電柱の抽出結果

末広町の点群データを4部分に分割して、計算した結果を表1に示す.

図 25, 図 26 は前半および後半の点群データから抽出された電柱の点群データ(No.1,No3)である. 計算時間は主記憶32Gバイトの汎用パーソナルコンピュータで約8分を要した.

番号	No.1	No.2	No.3	No.4
データ	820MB	850MB	660MB	560MB
サイズ				
点群数	2964万	3072万	2385万	2024万
計算時間	608.4 秒	630.7秒	420.3 秒	334.2 秒
実電柱数	10	7	6	6
識別した	7	5	4	4
電柱数				
各識別率	70%	71.4%	66.7%	66.7%
総識別率	68.97%			

表 1 計算結果

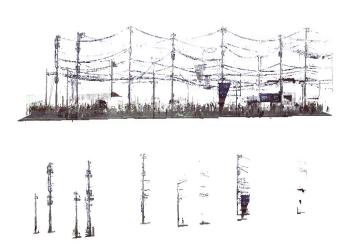


図25 抽出された電柱の3D計測点群データ(No.1)

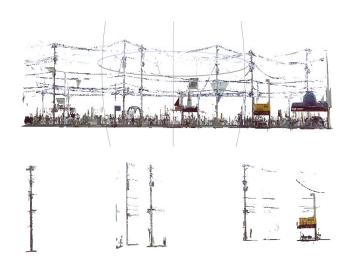


図26 抽出された電柱の3D計測点群データ(No.2)

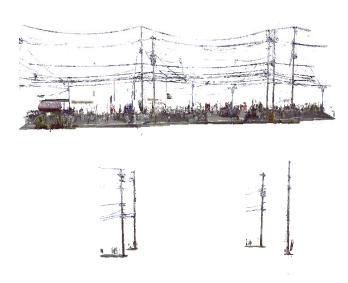


図 27 抽出された電柱の 3D計測点群データ(No.3)

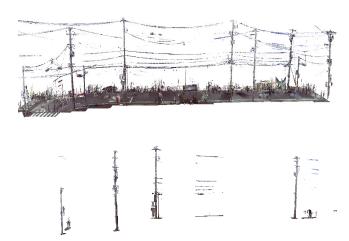


図28 抽出された電柱の3D計測点群データ(No.4)

4.2 視覚評価

無電柱化した点群データに対して、InfraWorks を用いて、歩道のCG画像を貼り合わせて、ビジュアルシミュレーションを行った(図 29). 使用したソフトウェアは Autodesk InfraWorks である.

また,末広町線の現状と道路計画案の比較ビデオを生成した(図30,図31)^{[13][14][15]}.

5. おわりに

末広町の道路を 3D 計測し、膨大な点群データと世界座標値を取得した。 さらに得られた点群データから、電柱のみを自動で抽出する方式を提案した。 また、得られた 3D 計測点群データを用いて、ビジュアルシミュレーションを行った。

ReCap による対話的方式に比べて、自動無電柱化処理は 膨大な点群データに対して、自動で識別して削除することが 可能である。本方式の問題点は、円識別の精度があまり高く ない点である。間違った円が抽出されることが発生した。

今後の取り組みとして、電線や人影などのノイズの削除も 自動化することを検討している.



図 29 InfraWorks でモデル生成



図30 末広町線の現状



図31 末広町線の計画案

参考文献

- [1] "末広町通り社会実験については" : https://www.city.miyako.iwate.jp/toshi/suehirocyo_jik ken.htm
- [2] 松本 裕稀, 緑川 佳孝, 齋藤 和人, 増田 宏"柱状物体の点群処理に適した非剛体レジストレーション", 2018年度精密工学会春季大会, p. 567-568, 2018/03/15 2018/03/17
- [3] 辺 春日,森 悠真,小平 圭祐,増田宏"点群画像を用いた道路緑石の抽出",2018 年度精密工学会春季大会, p. 547-548,2018/03/15 - 2018/03/17
- [4] 重田 航平, 江藤 信輔, 和田 太一, 増田 宏"工業設備の大規模点群からの部材形状の抽出と認識", 2019 年度精密工学会秋季大会講演論文集, NO3, 2019/09/04
- [5] 電柱(Wikipedia):
- $https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E6%9F%B1\#/media/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Upoles_ottawa.jpg$
- [6] 峯村 晃平, 田島 晃太, 松本 裕稀, 増田 宏 "移動計 測による点群と画像を用いた物体の抽出と分類", 2019 年 度精密工学会秋季大会講演論文集, NO9, 2019/09/04
- [7] 森 悠真, 増田 宏 "機械学習を用いた道路周辺地物の自動抽出", 2018 年度精密工学会春季大会 p. 549-550, 2018/03/15 2018/03/17

[8] ハフ変換 (Wikipedia):

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8F%E3%83%95%E5%A4%89%E6%8F%9B

- [9] 増田 宏,森悠真"移動計測で取得した点群と画像からの道路周辺地物の自動抽出",画像ラボ, Vol. 30, No. 8, pp. 42-47, 2019/8
- [10] ガウシアンぼかし (Wikipedia):

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AC%E3%82%A6%E3%82%B7%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%81%BC%E3%81%B8%E3%81%97

[11] 二次元ガウス関数 (Wikipedia):

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AC%E3%82%A6%E3%82%B7%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%81%BC%E3%81%B8E3%81%97#/media/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Gaussian.JPG [12] 円錐台 (Wikipedia):

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%86%86%E9%8C%90%E5%8F%B0#/media/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Kegelstumpf.svg

- [13] 高志毅, 土井章男, 榊原健二, 原田昌大, 細川智徳, 今野公顕, "文化財庭園の 3D モデル化と復興加速化への活用", 日本バーチャルリアリティ学会, 第 32 回テレイマージョン技術研究会, 2017/6/22-23.
- [14] S. Kou, K. Satoh, A. Doi, K. Sakakibara, T., "3D modeling of cultural property gardens and utilization for acceleration of disaster reconstruction", AROB2018, 2018/1/19-21.
- [15] 土井 章男, 大棒 秀一, 榊原 健二, 細川 智徳, 原田昌大 "3Dプリンタによる景勝地(ジオポイント), 三王岩と津波石のモデル作成と活用" H2 地域協働研究-I-15