

ICP を応用した傾斜地三次元立木マップの構築

○近藤修平, 塩沢恵子, 望月寿彦(アドイン研究所, 森林再生システム), 坪内孝司, 浅野明日香(筑波大学), 松本光広(久留米工業高等専門学校), 富村周平, 中西修一, 望月亜希子(森林再生システム), 千葉幸弘(森林総合研究所), 佐々木浩二(アドイン研究所), 速水亨(森林再生システム)

Three dimensional map building for mountain forest structure analysis applying ICP

○Shuhei KONDOU, and Keiko SHIOZAWA, and Toshihiko MOCHIZUKI (AdIn Research, Inc. and Forest Revitalization System Corp.), and Takashi TSUBOUCHI, and Asuka ASANO (Tsukuba Univ.) and Mitsuhiro MATSUMOTO (Kurume National College of Technology), and Shuhei TOMIMURA, and Shuichi NAKANISHI, and Akiko MOCHIZUKI (Forest Revitalization System Corp.), and Yukihiro CHIBA (Forestry and Forest Products Research Institute), and Kouji SASAKI (AdIn Research, Inc.), and Tohru HAYAMI (Forest Revitalization System Corp.)

Abstract: The authors aim at development of a portable equipment and data processing software for forest measurements. It contributes to introduction of IT into manual measurements. 3D point clouds are obtained by roundly swinging SOKUIKI sensor at each measurement locations in the forest. The authors focus on improvement of accuracy to reconstruct 3D map applying ICP and to extract tree parameters.

1. はじめに

森林の資源管理は、木材資源の管理やCO2固定量の推定などの面からその重要性が年々増している。しかし、人工林における樹木資源量に関するデータは、簡易な器具を用いてまだ人手で計測しているのが現状であり、多くの作業時間が必要であることや計測者のスキルによる計測値のバラつきが多いという問題が指摘されている。そのため、計測の機械化による時間短縮、データの均質化が求められている。筆者らは、実際に山林で使用することを前提として、小型軽量で移動しながら自動的に森林の樹木形状や毎木位置、毎木の直径などのデータを取得できる装置の研究開発を行っている。

平地林で三次元計測を行い、森林の三次元マップの合成と立木の胸高直径（地上 1.2m 付近の直径）を算出した[5]。しかし日本の森林は斜面林が殆どであるため、これを斜面林でも行うことが出来るようにしたい。本研究の目的は[5]で提案した手法をさらに改良し、斜面林において傾斜地の三次元立木マップを構築することである。

本研究は、森林管理業務におけるニーズに対し、近年精力的に研究されている移動ロボット分野の環境認識技術を適用できないかということから始まった。計測装置としては、測域センサ・回転駆動体・加速度センサ・デジタルカメラ・小型計算機を一体としたものを想定している。坪内らは、測域センサで複数地点の環境空間を三次元的に走査した距離データを用い、2つの地点で得た距離データのうち、同一の対象物に対する距離データを空間的に重ね合わせる(スキャンマッチング)手法に基づく SLAM 問題を扱っている[2]。森川は、ステレオカメラを用いた同様の研究も行っている[3]。本研究は、ロボット工学分野で盛んに研究されている SLAM 手法を応用できる分野である。本稿では、樹木

情報を取得するための三次元マップの構築を目的とする。実用上は、立木位置誤差 10cm 以下、胸高直径の計測誤差 2cm 以下であればよいとされる。本研究においてもこれを最終的な目標精度とする。

2. 森林における距離データ取得手法

2.1 計測装置

筆者らは Fig.1 のような三脚設置型の揺動型計測装置を製作し、東京都青梅市の多摩農林ヒノキ斜面林(斜度 30 度)で計測を行った。

測域センサは北陽電機製 UTM-X002S を使用している。また、三次元走査には揺動機構を使用した[6]。

測域センサの視野角は 270 度、測距精度は 0.1~10m で±30mm, 10~30m で±50mm, ステップ角は 0.6 度である。

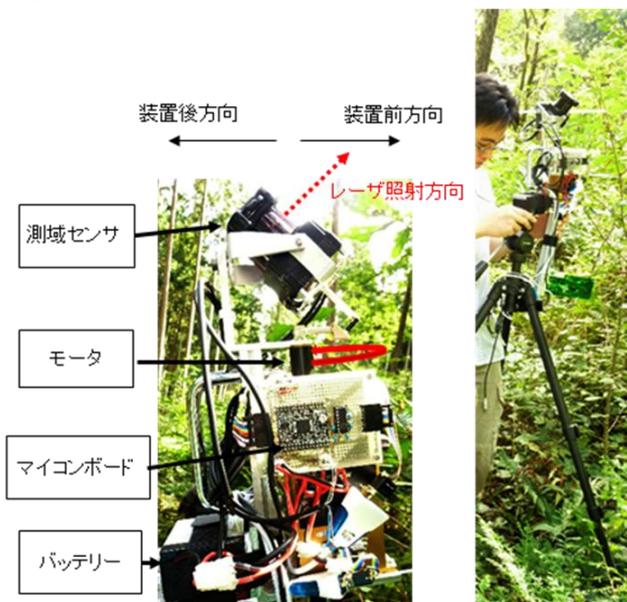


Fig.1 Roundly swinging SOKUIKI sensor and measurement scene

また、測域センサの取り付け角度は45度であり、斜度を考慮し、三脚に対し揺動機構自体が正面をみあげるように15度傾けて設置されている。

2.2 実験方法

揺動機構1周2秒の速さで10回転させ、計測を行った。1回転の間に200lineを計測しており、1lineの計測で最大440点計測される。

計測位置は基線に沿って斜面下より斜面上に向かって、5m間隔で5地点に設置し、各地点での測域データを取得後、三次元距離データへの自動変換を行った。計測装置の正面を斜面上方向に向け、計測した5地点を順に地点1~5と呼ぶ。

計測向き後方には系統誤差が残っているため、重ね合わせには計測装置正面方向から左右各120度以内に幹の中心があると予測される立木のデータを使用する。この手法によって取得されたデータを用いて、次節で説明するアルゴリズムを提案した。

3. 傾斜地に対応した三次元マップ構築アルゴリズムの提案

平地林でのスキャンマッチング手法でICPが有効であることがわかっている[5]。これを斜面林に適応した場合、平地林と同様の精度が出るか検証する。

文献[5]では、森林内の特徴的な形状である幹のデータを抽出し、それらをICPによってマッチングさせる手法を用いているが、幹データは円柱形のため、z(高さ)方向の重ね合わせ精度が悪くなる(Fig.2)。これを解決するため、ICPに地面のデータを使用し、z方向の重ね合わせ精度を向上することを試みた。

3.1 提案手法の流れ

1. 単木抽出

森林内は下草も多く、ポイントクラウドのデータから立木と下草を分離する必要がある。三次元のデータ

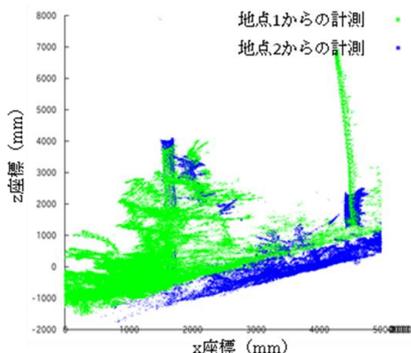


Fig.2 Matching of location 1 and 2

を使って垂直に伸びる幹形状から分離することも可能であるが、計算時間が膨大にかかる。そのため、簡便な方法で立木を認識する方法が要求される。

そこで、水平面を領域を分割しその領域に入るポイント数の度数分布から立木を下草から分離する方法を検討した。領域分割をxyで行うと距離により点密度が変化することから、点密度変化の影響を少なくするため、 $(\theta, \log R)$ の面に分割した(Rは計測器からの距離、 θ はz軸まわりの角度)。

求めた度数分布の結果を、Fig.3に示す(最大度数を100としたときの相対値)。

この状態では下草の度数も高く、立木を分離できない。そのため、Fig.4の式で下草除去を行った。

除去結果を行い、立木抽出した結果をFig.5に示す。

2. 木の対応マップ作成

参照スキャンと現時スキャンのそれぞれ三本の立木の中心位置で構成する三角形を基準に重ね合わせをすることで、同一木の特定を行う。

3. 地面抽出

地面をマッチングに使用する際、下層植生が問題となりそのままの使用では重ね合わせ精度が出ないと考えられる。そこで地面抽出を行う。抽出は以下の手順で行った。

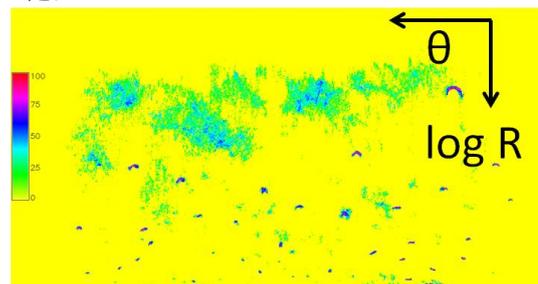


Fig.3 Frequency distribution

領域内の度数 $D(\lambda_i)$

データ処理後の値 $F(\lambda_i)$

$$F(\lambda_i) = \begin{cases} f(\lambda_i) & (f(\lambda_i) > 0) \\ 0 & (f(\lambda_i) \leq 0) \end{cases}$$

$$f(\lambda_i) = D(\lambda_i) + \sum_{k=-j}^j D(\lambda_{i+k}) H(k\Delta\lambda)$$

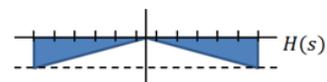


Fig.4 Formula for separating

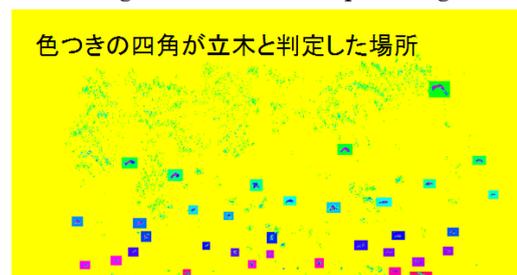


Fig.5 Extraction results

- i. xy 平面で領域分割する.
- ii. 各領域で z 最小になる点を抽出する.
- iii. 抽出した点をドロネー三角形分割により面を構成する.

生成した地面を Fig.6 に示す.

ICP に使用するために、抽出した地面の各三角形面内に 4 点ずつポイントを作成し、面データからポイントデータに変換する.

4. 最急降下法を用いた ICP (6 パラメータ)

最急降下法を使用し、両スキャンの同一木の幹ポイントクラウド間の距離を最小にする. 使用するデータは現時スキャンのみ単木毎に最大 60 点をランダムで抽出する. これにより局所的な最小値に収束することを防ぐ. これ移動量 x,y,rx,ry,rz を収束させ、その値を用いて地面データ同士を最小二乗法にかけると z 方向のマッチングを行い z の移動量を算出する.

これを使用するデータを変え 1000 回収束させ、その後 2000 回繰り返し推定位置の平均、標準偏差を取得した.

3.2 結果

スキャンマッチングに用いる点をランダムに選んだ時の度数分布のピークがどのパターンでもほぼ 1 つに定まっていることから、他の値に収束点が存在する可能性は低い (Fig.7). 標準偏差も $x=3.781,y=3.516,z=1.5179,rx=0.00166,ry=0.00157,rz=0.00058$ で、選択点におけるバラつきが低いことがわかった. 実際にデータの重なりをみると、地面の重なりは Fig.8 が示すように Fig.2 と比較すると、重なりが改善されている.

また、詳細にみると低木のデータが精度よくマッチングしていることが判る.

4. 三次元マップ構築結果と樹木情報算出

実験で取得したデータについて、前節で述べた手法により、計測位置の推定、立木群の三次元マップの構築を行った. これより樹木情報の抽出を行う.

4.1 三次元マップ構築結果

3 章で求めた装置の推定計測座標と向きで三次元距離データを重ね合わせた結果が Fig.10 である. 傾斜地に於いても森林内の立木群三次元マップを構築できることを確認した.

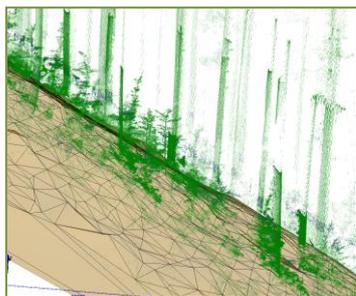


Fig.6 Generated ground

4.2 樹木情報の算出

三次元マップより樹木情報抽出を行う. 樹木情報抽出対象の立木データは手動で選択する (将来、幹形状認識により自動化を図る予定). そこから胸高データを抜き出し、円近似の最小二乗法により樹木の胸高直径を算出する.

抽出する樹木は何れかの計測点から 3m 以内のものを抽出した. 算出結果を Table 1 に示す.

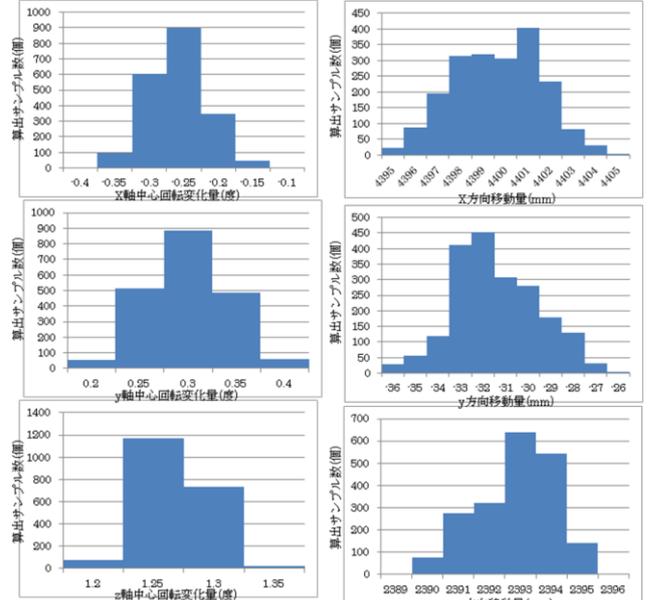


Fig.7 Statistical data of x,y,z,rx,ry,rz based on the movement from location 1 to 2

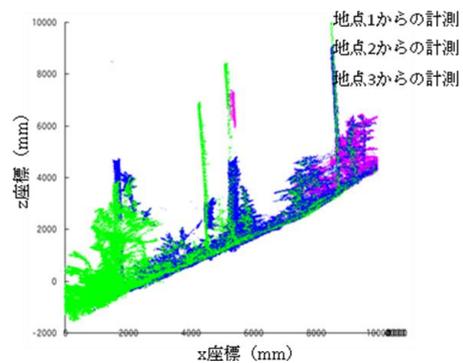


Fig.8 Fitting of the ground

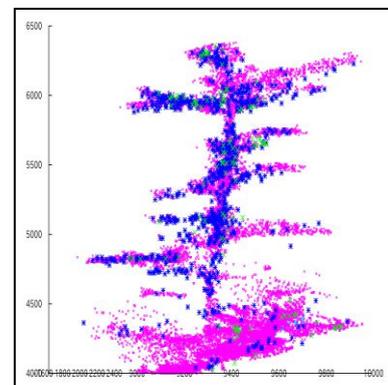


Fig.9 Fitting of a shrub

5. 考察

5.1 三次元マップの評価

Fig.10 より三次元マップの構築を確認し、Table 1 より多くの立木で直径誤差が 2cm 以下の精度で算出されたことが分かる。しかし、実際に胸高部のデータをみると、Fig.11 右のようなずれが発生している場合がある。このような場合でも直径精度が良くなった原因として、Fig.11 右の立木 No.8 は計測地点 4 から 2m 程度であるため、密度の高い計測データが取得されている。胸高直径を算出する際、大きく外れるデータは除外する処理をしていることから、この密度の高いデータの影響で良い値が算出されていると考えられる。

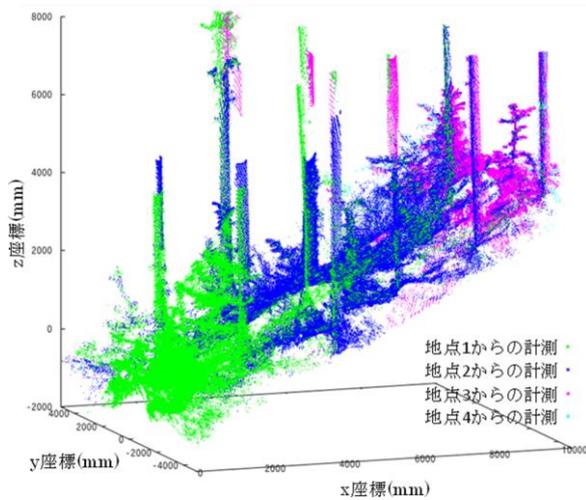


Fig.10 3D Map of trees in the forest

Table 1 Breast-height diameter with manual measurement data

立木 No.	胸高直径		誤差	
	従来手法 直径(cm)	算出結果 直径(cm)	誤差(cm)	誤差(%)
1	25.8	25.4	-0.4	1.6
2	22.3	18.2	-4.1	18.4
3	30.1	30.6	0.5	1.7
4	23	23.8	0.8	3.5
5	24.5	21.2	-3.3	13.5
6	21.5	22	0.5	2.3
7	24.6	21.2	-3.4	13.8
8	21.3	21.2	-0.1	0.5
9	21	20.2	-0.8	3.8

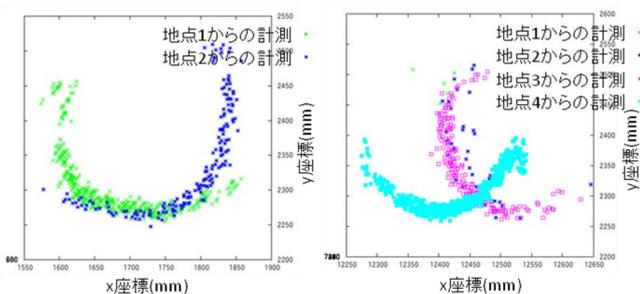


Fig.11 Position error of circumference of a trunk (Left:No.1,Right:No.8)

このデータのずれの原因が重ね合わせの誤差によるものであるか、計測装置に残っている系統誤差であるか検証し、精度を向上させることが今後の課題となる。

5.2 今後の展望

今回の計測は整備が生き届いた針葉樹人工林にて行われたが、整備の行き届いていない人工林では下草により地面が見えず、地面抽出が困難な場合も考えられる。そのような場合、下草のデータからどの程度 z 方向が特定できるか検証し、困難な場合にはランドマークの使用等を考える必要がある。

揺動機構では装置上部と足元が見えないという問題がある。このため、森林の重要な指標となる枝下高、樹冠密度等の取得には向かない。

そこで現在、新装置として、揺動機構に加え、計測面を立て、センサを横に回転させるという機構を合わせもつ、2つの測域センサを搭載した新装置を開発中である。

謝辞

本研究は農林水産省の「新たな農林水産を推進する実用技術開発事業」の一環として行われた。また、計測実験地をお借りした多摩農林の方へ感謝の意を表する。

参考文献

- [1] H.-G.MAAS et al. "Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data", International Journal of Remote Sensing, Vol.29, No.5, pp.1579-1593, 2008.03.10.
- [2] 竹内, 坪内, "移動ロボットによる環境地図生成のための三次元化NDTを用いた高速三次元スキャンマッチング", 第11回 ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.252-257, 2006. (日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 ロボメック表彰受賞[2007年5月])
- [3] 森川, "ステレオビジョンを使った屋外自律走行用ロボットの為の障害物検出", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 2009.
- [4] 特願2008-237029号 「樹木情報計測方法, 樹木情報計測装置, プログラム」
- [5] 近藤, 塩沢, 望月, 坪内, 他, "ICPを応用した森林内立木群の三次元マップの構築", 第28回日本ロボット学会学術講演会講演概要集, 2010
- [6] 松本, 吉田, 森, 油田, "回転式揺動機構とSCIP-3Dコマンドシステムを用いた三次元測域センサモジュール", 日本機械学会論文集(C編)75巻760号, 2009