

J-59

偏微分方程式に基づくレーザーレーダデータの欠損補間
Defect Restoration for Laser-Radar Data
by Partial Differential Equations

須長 信一 小松 隆 齊藤 隆弘

Shin-ichi Sunaga Takashi Komatsu Takahiro Saito

神奈川大学 工学部

Faculty of Engineering, Kanagawa University

1. はじめに

セグメンテーションとインペイントアルゴリズム[1]により、レーザーレーダデータの修復を行った。データ修復は以下の手順で行われる。まず、レーザーレーダで観測したレンジ・テクスチャデータのセグメンテーションを行い、セグメンテーション結果に基づき隠蔽等による欠損領域と構造化対象オブジェクト領域とを同定する。その後、インペイントアルゴリズムにより欠損領域のデータ修復を行う。

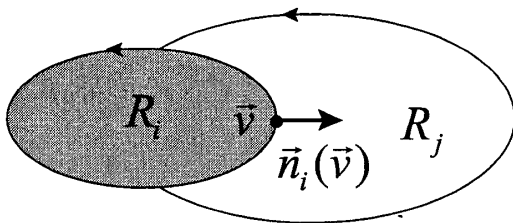
2. レンジ・テクスチャデータのセグメンテーション

セグメンテーションによりデータ欠損領域とオブジェクト領域とを同定する。また、オブジェクト領域が隠蔽され、その領域中に欠損が生じている場合、オブジェクト領域の近似平面上に初期欠損修復データを設定する。

2.1 セグメンテーションアルゴリズム

セグメント領域 R_i の境界上の点 \vec{v} を、領域境界の法線 $\vec{n}_i(\vec{v})$ 方向に前進または後退させることで、セグメント領域 R_i を拡大、縮小させる。この処理を反復更新し、望ましいセグメンテーション結果に収束させる。領域境界上の点 \vec{v} は、統計力 $F_i(\vec{v})$ と曲率 $K_i(\vec{v})$ により制御され、式(1)の時間発展方程式により記述される。

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\lambda K_i(\vec{v}) \cdot \vec{n}_i(\vec{v}) + F_i(\vec{v}) \cdot \vec{n}_i(\vec{v}) \quad (1)$$

図1 セグメント領域 R_i と法線ベクトル $\vec{n}_i(\vec{v})$

ここで、 λ は、式(1)の第一項と第二項の混合比を決定する定数である。また、統計力は、式(2)にて定義される。

$$F_i(\vec{v}) = W(\vec{v})[\log p(I | \alpha_i)] - W(\vec{v})[\log p(I | \alpha_j)] \quad (2)$$

ここで、 $W(\vec{v})$ は、点 \vec{v} の近傍領域内における対数尤度の平均を意味する。式(1)の時間発展方程式をレベルセット関数の時間発展方程式として再定式化すると、式(3)となる。

$$\frac{\partial \phi_i(\vec{v}, t)}{\partial t} = \lambda K_i(\vec{v}) \cdot |\nabla \phi_i| - F_i(\vec{v}) \cdot |\nabla \phi_i| \quad (3)$$

レベルセット関数は、領域境界からの距離値に、領域内部で負の符号を、領域外部で正の符号を付した関数である。

セグメンテーションは以下の手順で行われる。まず、複数の初期種領域をマニュアルで設定し、初期種領域から初期レベルセット関数を生成する。領域毎に式(3)の時間発展方程式に従ってレベルセット関数を収束するまで繰り返し更新する。

2.2 レンジ・テクスチャデータの統計力算出

式(2)の統計力は、レンジデータによる統計力とテクスチャデータによる統計力の荷重和として定義する。

レンジデータによる統計力は以下のように算出する。あらかじめ、観測したレンジデータ $R(\theta, \varphi)$ を3D点群データ $(x(\theta, \varphi), y(\theta, \varphi), z(\theta, \varphi))^T$ に変換しておく。各セグメント領域の近似平面を算出し、3D点群データ点から近似平面に下ろした垂線の足の符号付距離を求め、その平均、分散から各セグメント領域の確率分布モデルを定め、統計力を算出する。確率分布モデルは、ガウス分布を採用した。

一方、テクスチャデータの統計力は、RGB信号からHSV表色系に変換し、明度、色相の統計力の荷重和として算出する。明度による統計力は、セグメント領域内の明度の平均と分散とで定まる確率分布モデルから計算する。色相による統計力も同様に、セグメント領域内の平均色相ベクトル \vec{h}_i と色相ベクトル $\vec{h}_{(x,y)}$ の分散とで定まる確率分布モデルから算出する。明度、色相共にガウス分布を採用し、明度、色相の統計力の荷重和を明度/色相統計力とする。

3. インペイントアルゴリズムによる修復

データの欠損領域を Ω と定義し、処理対象データを

$f(\theta, \varphi)$ とする。インペイントアルゴリズム[1]により欠損領域 Ω 内のデータ修復を行う。欠損領域 Ω 内を式(4)により反復更新することで修復を行う。

$$\begin{aligned} f^{(n+1)}(\theta, \varphi) &= f^{(n)}(\theta, \varphi) + \varepsilon \cdot f_t^{(n)}(\theta, \varphi) \\ f_t^{(n)}(\theta, \varphi) &= (\nabla \cdot \Delta f^{(n)}(\theta, \varphi), \mathbf{N}(\theta, \varphi)) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 Δf は処理対象データのラプラシアン、 $\mathbf{N}(\theta, \varphi)$ はデータの最平坦方向を意味する。

異なる二種類の方法で修復を行った。

[1] レンジデータ修復法: 修復対象データ f をレンジデータ $R(\theta, \varphi)$ であると考え、レンジデータ $R(\theta, \varphi)$ に直接インペイントアルゴリズムを適用する。

[2] 3D点群データ修復法: 修復対象データ f を3D点群データ $(x, y, z)^T$ と考えて修復する。データの最平坦方向 $\mathbf{N}(\theta, \varphi)$ を点 (θ, φ) の周囲における3D点群データの変化率の最小方向とする。この際、3D点群データのRiemann第1基本量を最小化する方向をデータの最平坦方向 $\mathbf{N}(\theta, \varphi)$ として採用し、 x, y, z 成分毎にインペイントアルゴリズムで修復する。

4. 適用例

図2の観測レンジデータにおいて、掲示板が対象建造物の一部を隠蔽しているが、この部分を欠損領域と見なしてデータの修復を行った。なお、図3には、同時に観測され

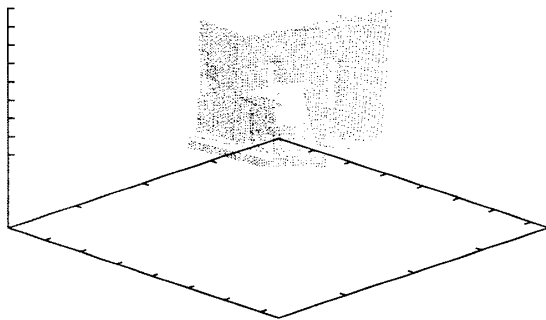


図2 観測レンジデータ

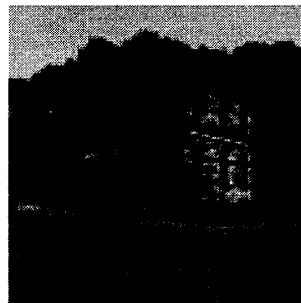


図3 観測テクスチャデータ

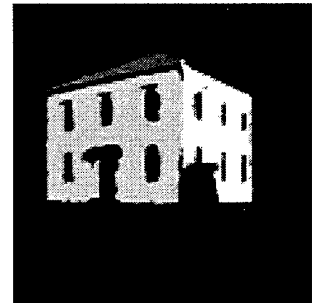


図4 セグメンテーション結果

たテクスチャデータを示した。

修復の過程を以下に示す。まず、マニュアルにより隠蔽領域(建物を隠蔽する掲示板)と取り出したい建物の領域に初期種領域を設定し、レンジ・テクスチャデータのセグメンテーションを行う。これにより、建物の領域と建物を隠蔽する領域が定まる。図4にセグメンテーション結果を示した。隠蔽領域を損傷領域とし、インペイントアルゴリズムによる修復を行う。ここで、セグメンテーション結果から建物壁面の近似平面を算出し、とりあえず最初は、損傷領域は隠蔽された建物壁面の近似平面上にあると想定し、初期損傷修復データをこの近似平面上に設定する。この初期設定データから出発し、前述のレンジデータ修復法と3D点群データ修復法の2種類の適用法にて、インペイントアルゴリズムによる修復を行った。図5、6にレンジデータ修復法による修復結果と3D点群データ修復法による修復結果を比較して示した。レンジデータ修復法の方が自然な修復結果が得られている。

5. むすび

レンジデータ修復法の方が3D点群データ修復法に比べ、初期損傷修復データ設定法や損傷領域の周囲状況の影響を受けにくく、また処理時間も約1/3であった。今後、レーザーレーダデータの補間等にも本手法を拡張する予定である。

参考文献

- [1] G. Shapiro, "Geometric partial differential equations and image analysis", Cambridge Univ. Press (2001).

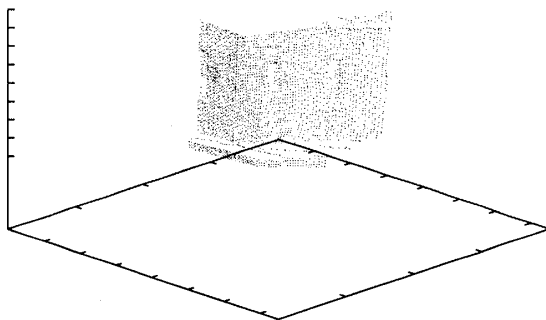


図5 レンジデータ修復法による修復結果

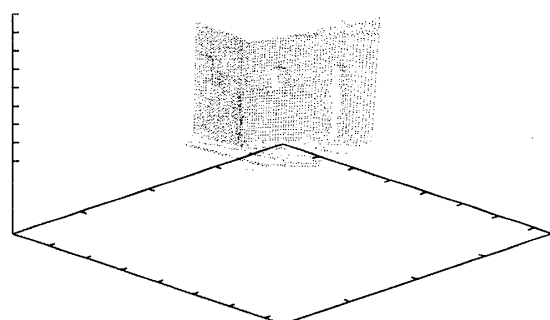


図6 3D点群データ修復法による修復結果