

海底地図自動生成のための海底音響画像のモザイクング Underwater Acoustic Imagery Mosaicking for Autonomous Seafloor Map Generation

陸 躍鋒† 大島 正毅†
Yuefeng LU Masaki OSHIMA

1. まえがき

近年、海底調査、自律型海中ロボット (AUV) のナビゲーションなどに海底音響画像から海底地図を生成するマッピング技術の応用が普及してきている[2]-[4].

コンピュータのハードウェアとソフトウェアの進歩によって以前手間が掛かった海底音響画像の処理と海底地図の生成は今パソコンでも処理可能になってきた。しかし、海底の厳しい条件や海底音響画像のノイズ性などにより、海底音響画像の処理と海底地図の生成は経験のある専門家の手に頼らざるを得ないのが現実である[4][5].

このような背景で、海底音響画像のモザイク技術を開発させる必要がある[3][4]。本論文では、海底地図を自動生成するための海底音響画像のモザイク技術及び関連する問題点について論じ、位置ずれなどの歪みの自動検出と補正法を提案する。

2. 海底音響画像の幾何モデル

図1に示すように、サイドスキャンソナー(sidescan sonar)では、トウフィッシュ(towfish)の移動方向(アジマス方向, azimuth direction)と垂直な方向(レンジ方向, range direction)に扇状に音波を照射する。照射された音波は対象物によって反射され、反射波がサイドスキャンソナーで観測される。時系列的に記録された反射波の生データを再生することにより画像が得られる。幾何学的には、再生画像上のレンジ方向の1ライン毎に、サイドスキャンソナーからの斜距離(slant range)が短い点から順に画像が作成されると考えられる。このような画像を斜距離画像という。

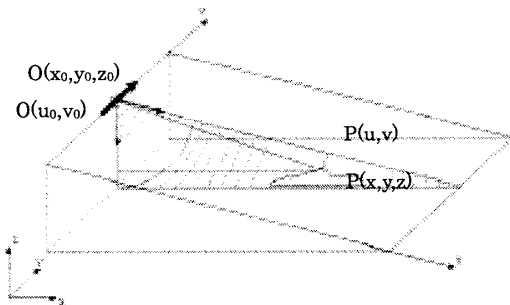


図1. 海底音響画像の幾何モデル

Fig.1 Geometry model of underwater acoustic imagery

画像座標系 (i, j) , 仮想投影面座標系 (u, v) , 対象物空間座標系 (x, y, z) の3つの座標系を考える。画像座標系 (i, j) は、画像データファイルの走査方向の画像番号 i と撮影系の移動方向の画像番号(ライン番号) j から構成される左手座標系とする。仮想投影面座標系 (u, v) は、レンジ方向の距離を u 軸に、アジマス方向の距離を v 軸とする右手系座標系とする。対象物空間座標系 (x, y, z) は、 x 軸, y 軸が、それぞれ u 軸, v 軸に平行となる右手系座標系とする。

図1において、再生画像上でのラインに対応するサイ

ドスキャンソナーの対象物空間座標系での位置 O を (x_0, y_0, z_0) に、スラントレンジが 0 である点の仮想座標を (u_0, v_0) とすると、ライン j における像点 $p(u, v)$ と対象物 $P(x, y, z)$ との対応は、理想的には次の式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2} \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 $y = y_0$

3. 海図上へのマッピング

海底地図を自動生成するには、サイドスキャンソナーが得られた海底音響画像データを1ライン毎に海図上にマッピングする。

3. 1. 3次元空間での撮像センサの追跡

撮像センサの平面位置を追跡する場合は、GPS データとの合成によりできるが、GPS は直接にサイドスキャンソナー上ではなく、曳航する船上に搭載しているため、船上のGPS から撮像センサまでの実際の水平距離はGPS の船上位置、曳航速度、曳航ケーブルの長さ、曳航体の重さ、海水の浮力と阻力、海流状態などの要素に関係がある。これをレーバック(layback)として設定する必要がある。通常、この値は経験で決まるが、位置ずれなどの誤差になる一つ要因である。我々はこれらの誤差を後で提案する方法により、補正することができる。

撮像センサの垂直位置を追跡する場合は海底音響画像データから推定することができる。曳航体直下の海底面から戻ってきた受信波は通常の場合、一番早いので、この信号を検出することにより、曳航体の海底面からの高さを求められる。音響画像上に中心線から外側へ行く最初の濃淡が大きく変化するところである。曳航体の進行方向に沿ってこのような変化点を連続的につなぐと、海底線になる。ノイズと海底の凸凹の部分を除いて、海底の基準平面を求める。

3. 2. 水平面への投影と海図上のマッピング

3. 1に述べた方法で撮像センサの垂直位置を求める。次に、海底音響画像の幾何モデルによって、海底音響画像の水平面に投影する水平距離を算出する。GPS データにより撮影センサの水平位置はすべて分っている。そして、2で述べたように、撮影センサの進行方向と超音波の走査線方向は直交している。したがって、水平距離画像上にある任意点の水平位置を、撮影センサの水平位置から求める。

4. 位置ずれの自動検出と補正

前記のようにGPS は直接にサイドスキャンソナーの上ではなく、曳航する船上に搭載している。またその他の要因で、画像間で、進行方向に位置ずれなどが起きる。そのため、通常は前処理として、画像の間にある共通ターゲットを探して Ground control points という制御マークを付けておき、モザイクする時、これらの制御マークを合わ

† 東京商船大学交通電子制御工学講座, 東京都

せて位置を合わせる。一般に、このような仕事は手間が掛かり、経験が必要である。海底音響画像から海底地図を自動生成するために、これらの位置ずれなどの歪みの自動検出と補正をしなければならない。

ここに、輝度投影相関を用いた位置ずれなどの歪みの自動検出と補正の方法を提案する。海底音響画像の間の重なっている共通画像領域には、同一のものが二箇所から観測されるので、互いに似ているパターンがあると考えられる。輝度投影は一定方向に画素の輝度値の累積をとったものである。画像間で、投影方向との直交方向にある各点の輝度値が異なっても、投影方向にとった輝度値の累積は変わらない。したがって、画像の輝度投影分布は画像における雑音の影響を低減し、さらに画像パターンの構造的性質を表現することができる[1]。この性質を利用すると、画像間の移動量を検出し、位置ずれなどの歪みを自動検出し補正することができる。

上述の基本的な考え方に沿って、具体的な処理の流れは以下の通りである。

4. 1. 共通画像領域の抽出

海底音響画像の最大斜距離はサイドスキャンソナーのレンジの設定により決まっている。それによって海底音響画像のカバーされる最大水平面を算出することができる。したがって海底音響画像の間に重なっている共通画像領域を抽出することができる。これをベースとして輝度投影相関による位置ずれなどの歪みの自動検出と補正を行う。

4. 2. 輝度投影分布の作成

画像 f_1 を参考画像として、画像 f_2 が取得する範囲の動きを仮定して投影分布を変化させ、それらのうち、実際の投影分布と最も一致するときの動き量を推定値とする。

ここで、画像 f_1 について、進行方向の直交方向に投影した分布を $P_{Y1}(i)$ で表す。 i は、1 から画像 f_1 の進行方向の幅 w_1 までの範囲を取り、 j は、同様に1から画像 f_1 の直交方向の幅 h_1 までの範囲をとる。 $P_{Y1}(i)$ は画像中の座標 (x_1, y_1) の輝度値を $G_1(x_1, y_1)$ で表したとき、次式で与えられる。

$$P_{Y1}(i) = \frac{1}{w_1} \sum_{j=1}^{h_1} G_1(i, j) \quad (2)$$

同様に、画像 f_2 の直交方向に投影した分布 $ProjectY2(i)$ は、次の式で与えられる。

$$P_{Y2}(i) = \frac{1}{w_2} \sum_{j=1}^{h_2} G_2(i, j) \quad (3)$$

4. 3. 投影相関を用いた移動量の検出

基本的に、空間的に隣接する画像 f_1, f_2 からそれぞれ求めた投影分布同士を比較することで移動量を計算する。比較には、取り得る最大の移動量 d_{max} 分だけ両端からそれぞれ除いた中央部のみを用い、一方の投影分布を $\pm d_{max}$ 画素の範囲でシフトさせながら比較し、最も相関の高い時のシフト量を求める。投影分布の相関は、次式の相違度 D から求める。

$$D_y = \sum |P_{Y1}(i) - P_{Y2}(i)| \quad (4)$$

ここで、 D_y は直交方向に投影分布の相違度である。図2にこの方法で検出した結果を示す。

5. モザイク生成

提案する手法で海底地図の自動生成するシステムを

試作した。図3には、海底音響画像からモザイク技術により自動生成した海底地図の例である。

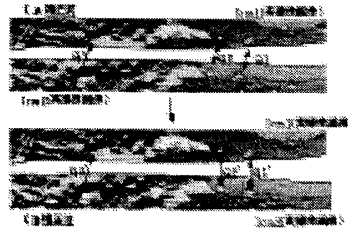


図2. 検出結果
Fig.2 Result of detection



図3. 海底音響画像のモザイク生成の例
Fig.3 Example for underwater acoustic imagery mosaics

6. むすび

本論文では、海底地図を自動生成するために海底音響画像のモザイク技術及び関連する問題の解決について述べた。GPS データと合成することによって、センサ座標系からワールド座標系へ変換し、自動的海図上にマッチングすることができた。また、輝度投影相関を用いた海底音響画像の位置ずれなどの歪みを自動検出し補正する方法を提案し、試作システムでその有効性を示した。

今後は、異なった視点から撮った海底音響画像を視点変換によって、統一的な仮想視点画像のモザイクングを研究する予定である。

文 献

- [1] 陸 躍鋒, 大島正毅, “海底空間系列音響画像からの3次元構造の再構成”, 2000年電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会, D-12-43 (2000).
- [2] S.Tiwari, Mosaicking of the ocean floor in the presence of three-dimensional occlusions in visual and sidescan sonar images, in proc. of the 1996 symposium on Autonomous underwater Vehicle Technology, Monterey, CA, June 1996, pp. 308-314.
- [3] A. E. Johnson and M. Herbert. Seafloor map generation for autonomous underwater vehicle navigation. Autonomous Robots, v3, 2-3, (Jun-Jul 1996), pp. 145-168.
- [4] Freddy Pohner, Technology for Mapping and Inspection of the Ocean Seafloor, Korean/Norwegian Workshop on Ocean Mining, pp. 31-46, Seoul, 1997.
- [5] John P. Fish, H. Arnold. Carr, Sound Reflections, Lower Cape Publishing, Orleans, MA, 2001.