

1. はじめに

船舶の海難事故の発生原因にはいろいろあるが、その中でとりわけ衝突事故が少なくない。船舶の監視にはレーダーが大きな役割を占めており、大型船舶ではレーダーを利用した自動衝突予防援助装置（ARPA; Automatic Radar Plotting Aids）もあり、他の船舶との間の相対的な運動を知ることにより衝突防止に役立っている。最近ではGPSを利用したAISの導入が進められており、海のITSとして航行の安全性を高めるものとして期待されている。しかし依然として目視監視による見張り業務の役割は重要であり、可視光や赤外線のカメラを利用してその業務の支援や代わりを行わせしめることができればより安全性が向上する。陸上からの海上監視ではレーダー情報やAIS情報を補完する役目として画像情報は有効であり、AISとカメラ映像の融合も考えられている。

従来からこれに類した研究は軍事用を含めて数多く行われており、例えば身近なところでは当研究所 [1][2] や海上技術安全研究所 [3][4] の報告にもみられるように船種の識別や捜索救難などの目的で研究が行われている。可視光カメラの使用は昼間に限定されるが、赤外線カメラは昼夜を問わずに使用可能で、波長によっては霧の中でも使える。最近はこのカメラの性能向上や価格の低下などで、従来より監視や捜索の目的での使用の可能性がひろがってきている。そこで本研究ではより効率的な手法により監視の向上をはかるための技術を開発することを目的として、夜間における予備的な船舶の検知実験を行った。なお船舶の検知には航海灯や信号灯などの船舶用灯火の利用も考えられるが、今回は主として赤外線カメラを利用した夜間のデータ取得および簡単な解析による検知追跡を行った。

2. 海難事故について

見張りや航法の不遵守などで特に狭水道での海難事故としては衝突事故の割合が大きい。貨物船の事故が多く、最近では遊漁船と漁船の衝突事故も起こっている。特に夜間の見張り業務の遂行は小型船にとっては疲労が増すので、この改善が重要である。遊漁船や瀬渡船の海難は衝突事故が大半をしめており、特に漁船との衝突事故が多い。操舵室からはいくつかの死角が存在することが多く、これも安全な見張り業務を妨げる要因となっている。また特定の船に気をとられて別の方向から接近する船に対する見張りがおろそかになって事故となる場合もある。特に遊漁船が漂泊中や錨泊中での衝突事故が多く発生している。また帰航中も疲労感や下船準備などの原因で事故を起こしやすい。

3. イメージセンサについて

センサとしては可視、赤外、暗視カメラなどの利用が考えられ、さらにこれらの情報を融合することにより一層信頼性の高い情報を得ることが可能となる。赤外線カメラは霧などによる視程の悪いときでもまた夜間でも温度差があれば使用可能であるので監視用に適している。赤外線は波長による特性の違いがあり、また船の大きさや種類により赤外線による見え方がかなり異なる。また日中は太陽光線の効果が大きく、反射の影響を考慮する必要がある。赤外線カメラは観測波長、検知素子、感度などにより様々な種類がある。検知素子によっては冷却して使用することにより感度が増すものもある。今回実験に使用したカメラの諸元を次に示す。

検知器	PtSi ショットキバリア
観測波長	3 ~ 5 μm
画素数	約 36 万個
検出器温度	77K
冷却方式	スターリングサイクルクーラー
視野角	約 14 × 11 度

4. 観測実験の場所

船の往来が比較的多い東京湾の入り口である浦賀水道を通航する船舶の画像を取得するために、観音崎にある東京湾海上交通センターの近くで浦賀水道航路と中ノ瀬航路が見渡される場所で観測を行った。船舶の画像を取得した場所と付近の航路図および航路の位置関係を図1に示す。



図1 浦賀水道航路図

東京湾は多数の船舶が航行する海上交通の過密海域で、その湾の入り口の狭い部分は約6.5 kmほどしかない。それにつながる浦賀水道航路は第二海堡と第三海堡にはさまれ船舶の輻輳海域となっている。浦賀水道航路では右側通航であり、この先にある中ノ瀬航路は浅いため大型タンカーは航行できず、しかも北行きの方通行となっている。今回観音崎の海岸に赤外線カメラを設置して浦賀水道を航行する船舶の画像を取得した。船との距離はおおよそ4、5 km程度である。

5. 解析結果

取得した赤外線画像から船舶の部分を取り出した画像の例を図2に示す。船の種類や大きさにより温度の高い場所がかなり異なり、これを利用して船の判別に利用することができる。一般的に煙突や機関の部分は温度が高い。

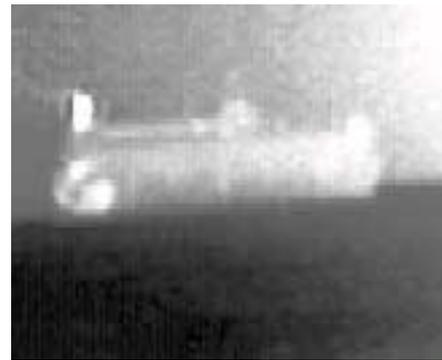


図2 赤外線画像による船舶の例



図3 赤外線カメラ画像



図4 ヒストグラム分割画像



図5 背景差分画像

図3の赤外線カメラ映像では手前に岩礁があり、左上に船が見える。この画像に対して船舶抽出のためのヒストグラム分割を行った結果を図4に示す。画像周辺に明度の高い領域が生じており、これは光学系またはキャリブレーションによりある程度補正可能である。図5は背景差分を行ったものであり、波の部分の影響は

残るが、比較的良好に船の部分が抽出されている。背景画像差分法はあらかじめ移動体を含まない背景画像を登録しておき観測画像との差分から移動物体を抽出するものである。

背景との関係で常に画面に水平線が写るとは限らないが、画像の基準として水平線の利用は重要である。水平線はカメラを水平に保持できれば理想的には画面中央に無限遠の線として出現する。また別の角度センサで水平からの偏差がわかれば対応する無限遠の線として計算が可能である。ここでは波浪状態が比較的平穏で水平線が見える図8の場合の画像について水平線の抽出を試みた。これには代表的な直線検出手法であるハフ変換を利用し、その結果を図6に示す。

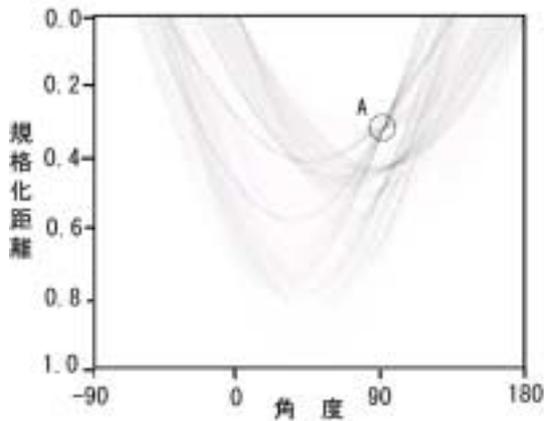


図6 ハフ変換画像

これはパラメータ空間中のハフ変換画像である。原画像の左上を原点とし画像中の直線におおした垂線の角度および長さを横軸および縦軸のとしたものである。ただし縦軸は画像の対角長で規格化してある。局所的な極大値の中の最大値に対応する点Aが水平線に対応していることがわかる。

海は波浪の状況により輝度値が周期的に変動するので、これを利用して海面と物体を区別することも考えられる。海と空の部分をそれぞれFFTで処理した結果を見ると、空は低周波成分の占める割合が多く、それに比べて海は高周波成分に対する広がりが多いことがわかる。FFTによる分析に対する雲や波浪の影響については別途詳しく調べる必要があるが、これを利用して空と海の違いができる可能性がある。

船の検知手法としては図5の背景画像差分法やフレーム間差分やオプティカルフロー(画像平面における見かけ上の移動ベクトル)を利用するものがあるが、波浪が激しいときなどは検出が困難になることが予想される。背景差分に利用する背景は環境の変動に応じて適応的に逐次更新する必要がある。ブイなどの点滅する固定目標はあらかじめマスクして処理領域から除いておく。ここではカメラが固定されている場合の解析を行ったが、外部姿勢基準情報が利用できる場合にも応用可能である。

船舶のトラッキングはフレーム間差分を利用して図7のようなフローで処理を行った。

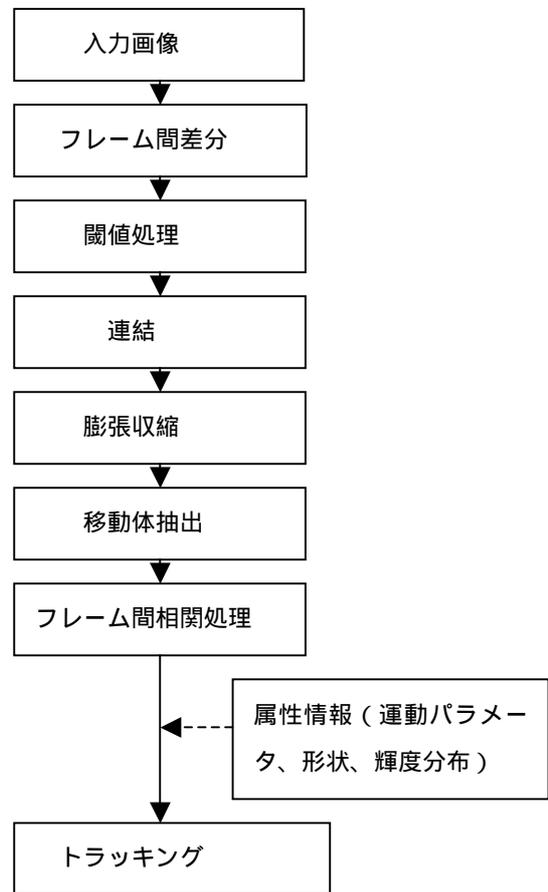


図7 トラッキングのフロー図

フレーム間差分による方法は時間的に連続した複数の画像を比較することにより移動物体の変化分を利用するものである。対象物の移動量が大きければ移動体の形にあわせた領域が抽出されるが、移動量が小さい場合は輪郭付近のみに差分の結果が現れる。また追跡する対象としては領域、特徴点などがある。

複数の船についてはラベリング処理により異なった領域として扱う。ただし検知領域に入ってきた時に船が重なっていた場合には1つの船として認識されてしまうので、その後の追跡により分離を行う。ただし今回の解析では属性情報は利用しなかった。実際の夜間の赤外画像におけるトラッキングの例を次に示す。



図8 赤外画像の場合のトラッキング例

2隻の船が航行している場合で、移動体と認識した領域を長方形で自動的に囲うようにしているが、この例の場合は、輝度の高い煙突部分のみにしかトラッキングできなかった。



図9 可視画像の場合のトラッキング例

可視画像のトラッキングでは船舶の後方の白波も船の一部として認識してしまっている。この場合船の形状情報も考慮する必要がある。複数の船が移動する画像については追い越しや交差などにより片方の船がもう一方の船を隠す隠蔽が生じて、単純な差分のみでは正しくトラッキングが行えない。並走する2つの船を1つに見誤ったりすることがあったり、また逆に1つの船を2つの船と認識してしまう場合もあった。浦賀水道航路から中ノ瀬航路にはいって観測地

点から相対的な移動が小さくなった時にトラッキングできなくなった場合もあった。

船の大きさ、形状などの幾何学特徴量や輝度分布、移動方向、速度、航路情報などの属性情報を持たせることで遮蔽やノイズなどの場合でもトラッキングがより円滑に行われると考えられる。

6. まとめ

赤外線カメラを用いて夜間に浦賀航路を航行する船舶の画像を取得し、船舶の検知および追跡について簡単な処理によりトラッキングを行った。必ずしもすべてのデータで有効に検知追跡が行われたわけではなかったため、アルゴリズムの一層の改良が必要である。特に複数の船舶に対する検知追跡、漂泊している船の処理などが問題である。今回は沖合いを航行する船のデータを取得したが、今後は港に出入りする船についても解析を進めていきたい。海上交通センターに設置した場合などレーダーやAISの情報との連携についても検討を進めたい。なお今回の実験では従来から研究所で所有している赤外線カメラを使用したが、今後は異なるタイプのセンサでも実験解析を行う予定である。

謝辞

なお今回のデータ取得にあたっては電子航法開発部のセンシング研究グループの機材を利用させていただいた。また東京湾海上交通センターからの俯瞰画像の図9の原画像は、上記グループのデータを利用させていただいた。

参考文献

- [1]山本、山田、桐谷、“画像センサを用いた海上の救命筏検出実験”、電子情報通信学会 SANE97-48(1997)
- [2]山本、山田、桐谷、松倉、“海上監視支援システム”、NAVIGATION(平成11年3月)
- [3]松倉、桐谷、室原、“赤外線画像を用いた航行船舶の観測”、日本写真測量学会平成10年度年次学術講演会論文集(平成10年)
- [4]桐谷、金井、松倉、“赤外線画像センサによる航行船舶及び海上浮遊物の観測”、船舶技術研究所発表講演集(平成10年)