

船舶航行データ可視化のための PTAM を用いた位置合わせ手法の 提案

岸晃平^{†1} 白石陽^{†2}

近年、船舶に様々なセンサが搭載され、船舶の位置や速度、船首の方向等の船舶の航行状況が容易に取得できるようになった。大型船舶や旅客船には、センサからの情報を含む、航行中の船舶に関する情報（船舶航行データ）を自動的に受信する船舶自動識別装置（Automatic Identification System : AIS）が搭載されるようになってきている。この AIS により、さらに容易に船舶航行データを取得できるようになり、AIS で共有されるデータ（AIS データ）を可視化して船舶の安全な航海の支援や海上交通・海難事故の分析に関する研究が行われている。本研究では、対象海域を見渡している観光客や船舶に興味のあるユーザーに対して、船舶航行データを提供するために AIS データを活用する。船舶航行データをユーザーに提供する場合、AIS データを直感的に分かりやすく可視化することが有効であると考えられる。しかし、対象の海域を見渡せる場所から船舶の動向を観測する場合、既存システムを、そのまま適用することはできない。そこで本研究では AIS データを、拡張現実感（Augmented Reality: AR）を利用して直感的に可視化するシステムを開発することを目的とする。AR を利用するにあたって現実世界と仮想物体の位置合わせが必要になるが、本研究の対象とする屋外環境下で AR を利用する場合、既存のセンサベース手法だけでは正確な位置合わせは困難である。そこで、マーカレス AR の一つである PTAM（Parallel Tracking and Mapping）とセンサを併用した、現実世界へのマーカの設置が不要かつ船舶と仮想物体との高精度な位置合わせが可能な手法を提案する。また、提案手法に用いる PTAM の本研究の対象とする屋外環境における課題を明らかにするために、PTAM の動作実験を行った。さらに、提案手法とセンサベース手法を比較するために、センサベース手法の位置合わせの精度に関する実験を行い、その実験結果の考察を行った。

An alignment method for visualization of vessel navigation data by using PTAM

KOHEI KISHI^{†1} YOH SHIRAISHI^{†2}

1. はじめに

近年、センサデバイスの高性能化・小型化が進み、船舶に GPS 等のセンサが搭載されるようになった。これにより船舶の現在位置や速度、船首方向等の船舶の航行に関するデータ（以下、船舶航行データ）を容易に取得できるようになり、最近では船舶自動識別装置（Automatic Identification System : AIS）の普及が進んでいる[1]。AIS は船舶の現在位置や速度、船首方向及び船体データ、航行の安全に関する情報を共有するシステムである。このシステムを利用して、より詳細な船舶航行データの収集が容易になったことから、AIS から取得したデータ（以下、AIS データ）を可視化する研究が進められている[2,3]。AIS データを可視化することで、他船舶の位置や針路を把握できるため、船舶の安全な航行の支援や海上交通の分析に役立つと考えられる。

一方、実世界画像に CG 等の仮想物体を重畳表示する AR（Augmented Reality : 拡張現実感）技術が発展し、様々なデータを実世界に関連付けて可視化できるようになってき

ている[4]。この技術を用いて様々なデータを実世界と対応付けることで、直感的な可視化が可能になるため、ユーザーの認知的負担を軽減できる。観光客や船舶に興味がある人が、海域を見渡せる場所で船舶の動向や航行状態を観察する場合、船舶に AIS 等から得た船舶航行データを対象の船舶に関連付けて可視化できれば、より直感的な可視化が可能になると考えられる。そこで、本研究では、対象海域を見渡せる場所から船舶を観察する際に、AR を利用した直感的な可視化を行うための船舶と仮想物体との精度の高い位置合わせを行う手法を提案する。

2. 関連研究

本章では、本研究で利用する AIS と AR の概要とそれぞれの関連研究について述べる。また、AIS データの可視化に関する研究について述べる。

2.1 AIS

AIS（Automatic Identification System : AIS）は、船舶の安全向上を目的として開発されたシステムである。このシステムでは、船舶の識別符号、種類、位置、針路、速力、航行状態およびその他の安全に関する情報を、VHF 帯電波に

†1 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate.

†2 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.

より、船舶間および船舶と陸上の航行支援施設等との間で自動的に送受信している。従来、他船舶の行動は、目視やレーダー等による情報収集に基づき把握しているが、それらの手法では他船舶の行動を素早く探知し、その行動を正確に推定することは困難であった。特に、島や半島の裏側に船舶が存在する場合はレーダーによる探知は困難である。しかし、AIS を利用することで、上記の問題点である位置の把握や船舶動静等の衝突の危険に関する情報を自動的に入手でき、他船舶の行動を随時把握することが可能となる。

AIS は、国際海事機関（International Maritime Organization : IMO）が定める SOLAS 条約（Safety Of Life At Sea convention : 海上における人命の安全のための国際条約）により、一定の規模以上の船舶への搭載が義務付けられている。AIS の搭載が義務付けられている船舶は、全ての客船と総トン数 300 トン以上の国際航海に従事する船舶（外船舶）となっている。さらに、船舶同士の衝突防止等の安全航行を支援する機能を考慮し、国際航海に従事しない船舶（内船舶）についても総トン数 500 トン以上の船舶には搭載が義務付けられている。この条約により、AIS の普及が進み、AIS を利用して船舶の安全向上を目指した航行支援システムの開発や AIS から取得したデータを基に海上交通・海難事故の分析に関する研究が行われている[5]。

AIS で船舶間および船舶と陸上の航行支援施設で送受信しているデータは大きく分けて、静的情報と動的情報、航海関連情報の 3 種類がある。静的情報は、AIS 機器に付けられた識別番号（Maritime Mobile Service Identity : MMSI）や船舶の識別符号（International Maritime Organization : IMO 番号）、船名、船舶の種類等の船舶固有の情報である。動的情報は、船舶の位置や対地針路、対地速度、船首方位、航行状態（航行中、停泊中、運動不自由等）等の船舶の動静に関わる情報である。航海関連情報は、目的地や到着予定時刻、航行の安全に関する情報等の航海等の安全な航行に必要な情報である[6,7]。

2.2 AR

拡張現実感（AR）とはユーザが見ている現実のシーンに CG によって描かれた仮想物体を重畳表示することで、ユーザがいる場所に応じた情報を直感的に提示する技術である。AR では背景となる現実環境に仮想物体を違和感なく重畳表示させ、実際に仮想物体が現実環境に存在しているように見せることが重要である。この際の課題の一つとして挙げられるのが、現実環境と仮想物体の幾何学的整合性である。これは現実環境と仮想物体の 3 次元的な位置合わせを意味しており、仮想物体が対象とする現実環境の物体に対応した正しい位置に存在するような映像を作り出すことである。つまり、カメラの位置・姿勢に合わせて違和感なく仮想物体が表示されるように重畳する位置を決定することである。これは、幾何学的位置合わせ問題とも呼ばれ、

この問題を解決するためにはカメラの位置と姿勢を常に取得・追跡することが必要となる。ここでのカメラの位置・姿勢とは、現実世界に対して任意の場所に 3 次元座標系を設定したときに、その座標系に対してカメラがどんな位置・姿勢にあるかという相対的な位置関係を表している[8]。

この幾何学的位置合わせ問題を解決する手法として、AR には大きく分けて、マーカベース手法、マーカレス手法、センサベース手法の 3 つの手法が存在する[8]。

マーカベース手法は、専用の AR マーカを利用して位置合わせを行い、そのマーカ上に CG を重畳表示する。この手法は位置合わせの精度が非常に高い。しかし、現実環境に AR マーカの設置が必要になるため、屋外で利用する場合、設置場所が限定されたり、景観を壊す等の問題がある。また、カメラ画像を利用するため照明環境の影響を受けるという問題もあげられる。

マーカレス手法は、実画像の特徴点を利用して実世界との位置合わせを行う。この手法は、カメラ画像から取得した特徴点を基に位置合わせを行うため AR マーカの設置が不要であり、位置合わせの精度が高い。しかし、位置合わせを行う際に対象の物体の画像データや特徴点等のデータが必要になる場合が多い。この手法に関して、カメラ画像の特徴点を基に現実環境の平面を推定し、それを基に仮想物体を重畳表示する PTAM（Parallel Tracking and Mapping）という手法がある[9]。PTAM は他のマーカレス手法に対して、対象物体の画像データ等を用意しなくても仮想物体の重畳表示が可能であるという利点がある。

センサベース手法は、GPS やジャイロセンサ等の端末のセンサから実世界におけるカメラの位置・姿勢を取得し、実世界と重畳表示する CG の位置合わせを行う。この手法は、屋外のような広い環境で AR を実現する際に多く用いられている。照明環境の変化の多い屋外環境において、カメラ画像を利用しないため照明環境に左右されないという利点がある。しかし、センサからの計測誤差等により他の手法より位置合わせの精度が低くなってしまふ。また、この手法に関して、カメラ画像から取得した建物と空の境界線を利用して精度を向上させる研究が行われている[10]。

本研究では、対象海域を見渡せる場所における AR による可視化を実現するための位置合わせ手法を提案する。

2.3 AIS データの可視化

AIS データの可視化に関する取り組みとして、船舶の位置情報や船舶の航行に関する情報をリアルタイムに表示するライブ船舶マップという Web サービスがある[2]。ライブ船舶マップでは、AIS データを基に船舶のリアルタイムの船舶位置情報や予定入出港、船首方向等の情報を表示している。また、船舶の種類を色で区別し、船舶の動静を図形の形で表現することで、船舶の種類や船舶の動静をわかりやすく表示している。しかし、実際に海上を目で見ながら、

このシステムを利用する場合には、2次元マップ上に表示されているデータと実世界の船舶とを見比べてユーザ自身がデータの対応付けを行わなければならない。

また、ARを利用してAISデータを実世界に重畳表示することで、船員の目視認識を手助けすることを目的とした研究もある[3]。この研究では目視認識支援装置という機材を船舶に搭載する。目視認識支援装置ではシーズル型のディスプレイを使用することでレーダーエコーとAISデータの実世界への重畳表示を可能にしている。これにより、目視を行う場合に実世界の船舶とAISデータを対応付けるといった認知的負担を軽減することができ、レーダー等のデータも統合表示されるので作業負担の軽減にもつながる。しかし、この手法では可視化を行うための装置が大がかりになってしまう。また、重畳表示されるデータは文字を羅列したものであり、ライブ船舶マップのように色で船舶の種類を区別し、矢印で船首方向を表示する等のAISデータをわかりやすく表示する工夫はなされていない。

さらに、AISデータを基に船舶の位置データや船舶名を始めとした船舶に関連する情報等を蓄積し、共有・分析する研究も行われている[11]。AISでは、通常、リアルタイムの情報しか取得できないが、この研究ではAISデータをデータベースに蓄積し、蓄積したデータを基に船舶の航行軌跡を表示することができる。このようにAISデータの過去のデータを利用することで海上交通の分析やある特定の時間の交通状況の予測等が可能になる。しかし、この研究での可視化は船舶の航行軌跡が2次元マップ上に線で表示されるだけであり、各船舶の種類の違いや大きさ、船首方向等の表示はされておらず、実世界との対応付けも行われていない。

3. 提案手法

本章では、本研究の目的と、研究課題に対するアプローチを述べ、提案手法のシステム構成について述べる。

3.1 研究目的とアプローチ

船舶の航行状況を可視化するためには、船舶の位置情報や速力、船首方向等の船舶の航行に関する船舶航行データが必要になる。そこで、船舶の航行に関する情報を自動的に送受信するAISのデータが有用であると考え、既存研究ではAISデータと実世界との対応付けが不十分であることや、AISデータがユーザにとってわかりやすい表示形式になっていないことが問題として挙げられる。そこで、本研究では、ARを用いて船舶航行データを直感的に可視化する。

ARを用いて実世界の船舶航行データを可視化する場合、海上にはARマーカを設置することは困難なため、マーカベース手法を利用することはできない。また、AISデータ

を受信する際の遅延や船舶の位置センサの計測誤差が想定されるため、センサベース手法だけでは不十分である。そこで、ARマーカの設置等の準備が不要で、位置合わせの精度の高いマーカレス手法とセンサを組み合わせた位置合わせ手法を提案する。提案手法ではマーカレス手法の一つであるPTAM[11]を利用する。

3.2 PTAM

PTAM (Parallel Tracking and Mapping) [9]は1台のカメラを平行に動かして動画を撮影し、動画の中から複数の画像を抽出し、その複数の画像の視差によりステレオ視を行い、3次元空間を認識するシステムである。PTAMの手順は次のとおりである。

- トラッキングとマッピングの処理を分割
- キーフレーム毎にマッピングを実行
- エピポーラ幾何により初期3次元マップを生成
- エピポーラ探査によって新しい特徴点の初期位置を設定
- 多数の特徴点を3次元マップに表示

ここで、エピポーラ幾何とは2つの画像間における幾何学関係を表しており、このエピポーラ幾何によって、対象に対するカメラの位置・姿勢を求める。また、エピポーラ探査によって、PTAMが生成した3次元マップにおける特徴点の位置を推定する。

また、PTAMの特徴点の抽出にはコーナ検出の手法の一つであるFAST (Features from Accelerated Segment Test) を用いている。ここで、コーナとは画像から抽出した直線と直線の交点を図形の頂点のことである。AISデータと端末のセンサからの情報、PTAMを併用することで、初めて映す場所でも現実世界の船舶と仮想物体の精度の高い位置合わせが可能になる。

図1にPTAMの動作の流れを示す。

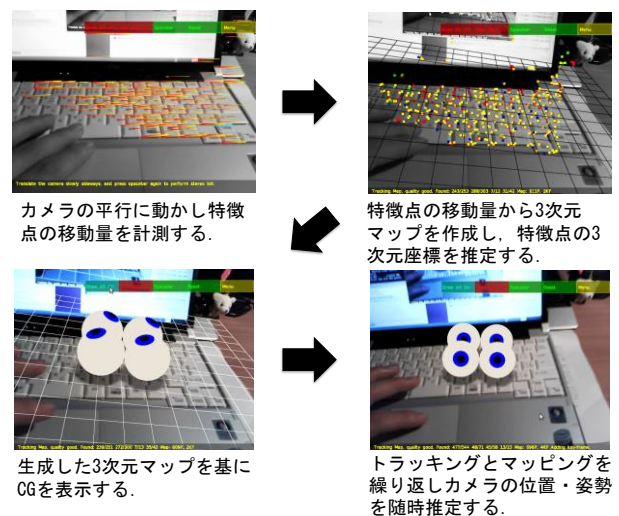


図1 PTAMの動作の流れ

PTAM はカメラの入力画像から特徴点を抽出・トラッキングしてカメラの位置・姿勢を算出する。抽出した特徴点の推移を基に3次元マップを作成し、作成した3次元マップを基にカメラの位置や姿勢を推定する。その後は3次元マップの作成（以下、マッピング）と特徴点のトラッキングを繰り返し行い随時カメラの位置と姿勢を推定する。

3.3 システム構成

本研究では、端末のセンサとカメラ及びマーカレス AR のPTAM と AIS データを利用して船舶の航行状況を直感的に可視化する。そのためには、海上の船舶と仮想物体の位置合わせを行う必要がある。まず端末のセンサは現実世界におけるカメラの世界座標系を取得する。端末のカメラにより現実世界を撮影し、撮影した画像から特徴点を抽出する。抽出した特徴点を基に PTAM を利用して3次元マップを作成する。作成した3次元マップの座標系と、センサにより生成した世界座標系を一致させる。これにより、PTAM で対象の特徴点の3次元マップにおける座標を推定すると同時に、世界座標系における対象の特徴点の場所を推定する。これにより AIS データから取得した船舶の位置情報を基に3次元マップ上の船舶の特徴点を特定する。また、AIS データからは船舶の速度、船首方向、種類、目的地等の船舶の航行状況を表す CG を作成し、作成した CG を PTAM によって実画像に重畳表示する。提案システムの流れを図2に示す。

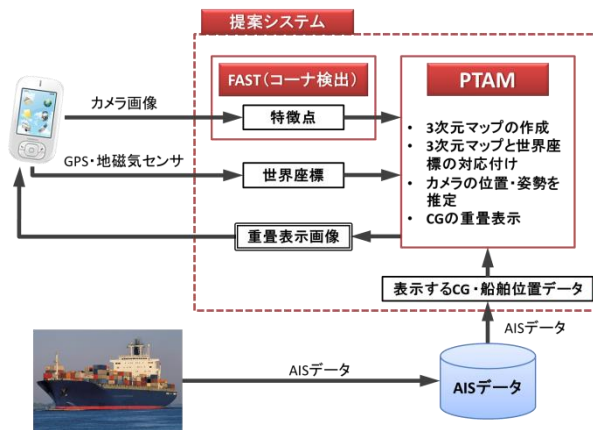


図 2 提案システムの全体図

以下、図2に示した提案システムの流れを説明する。

- (1) 端末のカメラから取得した実画像から FAST によるコーナ検出で特徴点を抽出する。
- (2) PTAM を利用して特徴点の推移を検出し、それを基に3次元マップを作成する。
- (3) 端末に搭載された GPS と地磁気センサから取得したデータを基に世界座標系を作成し、その世界座標系と PTAM で作成した3次元マップの座標系を対応付ける。
- (4) AIS データから船舶の位置データを取得し、その情

報を基に船舶の位置を推定する。

- (5) AIS データの船舶の位置情報を基に、カメラ画像中の船舶の特徴点を特定する。
- (6) 船舶航行データを基に CG を作成し、実画像に重ね合わせて重畳表示画面を生成し端末の画面に出力する。
- (7) PTAM を利用して、入力画像の特徴点のトラッキングとマッピングを行い、随時カメラの位置・姿勢を推定する。

3.4 位置合わせ手法の提案

通常 PTAM では入力画像からの特徴点を基に世界座標系に関係なく独自の3次元マップを作成している。ここで、AIS データの船舶の位置情報は世界座標系の位置であるため、PTAM の生成した3次元マップの座標系に AIS データの位置情報を利用することができない。そのため、端末の GPS と地磁気センサから世界座標系を作成し、その世界座標系と PTAM で作成した3次元マップを対応付ける必要がある。そこで、端末の GPS により世界座標におけるカメラの位置を取得する。取得した位置情報を基にカメラの標高を求め、カメラで海面を見たときの角度を推定する。さらに、端末の地磁気センサから方位を取得し、3次元マップの x, y 軸を一致させる。これにより PTAM によって推定するカメラの位置・姿勢と世界座標系におけるカメラの位置・姿勢を一致させる。また、GPS と地磁気センサにおける世界座標系は PTAM がマッピングする毎に取得する。

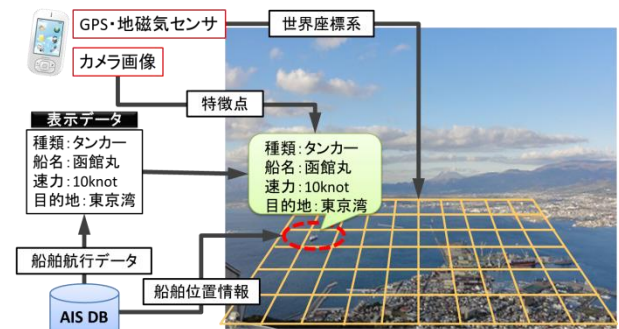


図 3 位置合わせのための提案手法

船舶の位置推定には、図3に示すように AIS データ内の船舶の位置情報と、画像中の船舶の特徴点を利用する。ここで、AIS から船舶の位置情報を受信する際の遅延や船舶の GPS 等のセンサの計測誤差が想定される。そのため、AIS データ内の船舶の位置情報を基に CG を重畳表示した場合、実際の船舶の位置と CG がずれてしまう可能性がある。そこで、AIS データから取得した船舶の位置情報を基に、画像中の船舶の特徴点を推定する。

4. 実験および評価

予備実験として、本研究が対象とする屋外環境で PTAM の動作確認の実験を行った。また、提案手法とセンサベース手法を比較するために、センサベース手法による位置合わせを行う実験を行った。本章では、各実験の内容と実験結果、実験結果に対する考察を述べる。

4.1 予備実験

PTAM は屋内環境を想定して開発されているため、本研究で想定している対象の海域を見渡せる場所で利用した場合にどのような動作をするか不明であった。そこでまず、本研究で対象としている屋外環境における PTAM の課題を明らかにするために、PTAM の動作実験を行った。実験で用いた端末の仕様は表 1 の通りである。

表 1 実験で用いた端末の仕様

OS	Ubuntu10.04 32bit
PC	FUJITSU LIFEBOOK
CPU	Core2 Duo 1.2GHz
メモリ	4GB
HDD	120GB
Web カメラ	BUFFALO BSW32KM01H 320 万画素

PTAM[9]の開発者 Klein らが C++ で開発していたため、C++ を開発言語とした。また、PTAM を実装するために OpenCV2.1 を使用した。

図 4 に実験結果を示す。

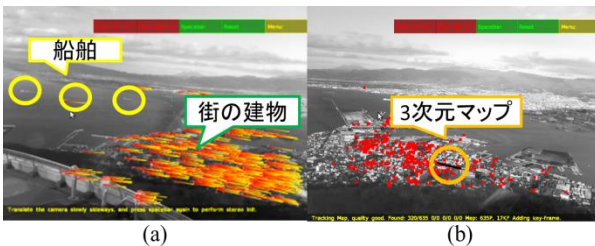


図 4 予備実験結果

図 4(a)は、PTAM を用いて画像中の特徴点のトラッキングを行なった場合の実行結果であり、図 4(b)は、PTAM を用いて 3 次元マップを生成した場合の実行結果である。図 4(a)の中の丸は船舶の場所を表しており、図 4(a)の中の斜線は特徴点の推移を表している。この斜線は始点から終点へ向かうにつれ色が淡くなっている。また、図 4(b)の丸は 3 次元マップの生成された場所を示しており、赤い点は画像中の特徴点を表している。

図 4(b)の海上の船舶や右下の部分にある港付近の建物の

特徴点を取得することができていることがわかる。しかし、海面や画像上部の山、画像下部の森の特徴点や、遠くの海岸線上の建造物の特徴点を検出することは困難であった。また、図 4(b)より、PTAM によって生成された 3 次元マップは、海面の特徴点が抽出できないため、海面上ではなく、海岸の建物の特徴点に合わせて街の上に生成されていることがわかる。

船舶の特徴点を抽出できたことから、AIS データからの船舶の位置情報周辺の特徴点群を船舶と断定する場合に PTAM は利用可能であると考えられる。また、PTAM によって生成された 3 次元マップの大きさや座標系を調整して、対象の海域の海面上に合わせる必要があることがわかった。

4.2 実験

提案手法とセンサベース手法を比較するために、センサベース手法による位置合わせの精度にのみ着目した実験を行った。なお、今回の実験では 1 隻の船舶を対象とする。実験は、本研究の想定する対象の海域を見渡せる場所で行った。実験では地磁気センサや加速度センサ、GPS とカメラを搭載した、携帯性の高い Android 端末を利用した。実装環境の詳細を表 2 に示す。

表 2 実装端末の仕様

OS	Android 4.1.1
端末	Xperia tab
CPU	NVIDIA Tegra 3 (1.3GHz)
メモリ	1GB
ストレージ	64GB

4.3 実験結果および考察

AIS データと端末のセンサのみで、本研究の想定する環境における船舶と仮想物体の位置合わせを行った。AIS データは、函館湾の船舶の AIS データを受信しているサーバから、インターネットを介してテキスト形式のデータを取得する。取得できる AIS データの例を図 5 に示す。

\$PKODG,19,004310106,092113,A,4144.7838,
N,14042.6254,E,000.0,000.0,170513*36

図 5 取得する AIS データの例

実験では、取得した AIS データのうち、船舶の位置情報と MMSI を抽出し利用した。端末の位置情報は、端末に搭載されている GPS を利用して取得した。また、端末の地磁気センサと加速度センサによって端末の向きと姿勢を検出した。実験結果を図 6, 7 に示す。

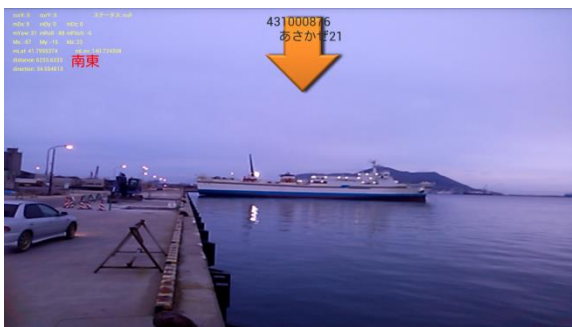


図 6 センサベース手法の実験結果（停船中）



図 7 センサベース手法の実験結果（航行中）

図 6, 7 は、航行中の船舶に対して、仮想物体（ここでは、図の上部の矢印と矢印上の文字）を重畳表示したものであり、図 6 は停船中、図 7 は航行中の場合である。図 6 のように、停船中の船舶に対して重畳表示をした場合、船舶の位置の真上に仮想物体が重畳表示される。しかし、図 7 のように、航行中の船舶に対して仮想物体を重畳表示した場合、実際の船舶の場所より、進行方向と反対の方にずれて表示されていることがわかる。

これは、端末の向きと姿勢を取得している地磁気センサと加速度センサの計測誤差と、AIS データの受信の際の遅延が原因であると考えられる。また、航行中の船舶の AIS データの更新間隔が 6~10 秒間隔であることも仮想物体の位置がずれる原因であると考えられる。このように対象の船舶が動いている場合や端末を動かした時にロバストな位置合わせが行うことができない。したがって、航行中の船舶と仮想物体の位置合わせを行う場合、センサベース手法だけでは不十分であると考えられる。そこで、カメラ画像から、AIS データデータを基に船舶の特徴点を抽出し、PTAM を元にした提案手法を利用することで、より高精度でロバストな位置合わせを行うことができると考えられる。また、今回の実験で対象の船舶の他に複数の船舶が存在し、重なっていた場合、現状の提案手法では判別することができない可能性があることがわかった。対象海域の船舶の相対的な位置関係を全て把握し、データ受信の際の遅延と船舶の速度を考慮して船舶の位置を特定するアルゴリズムが必要になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、マーカレス AR を用いて、AIS データを直感的に可視化するシステムの提案を行った。また、AR を使用するにあたり、本研究の想定する屋外環境において船舶と仮想物体の高精度な位置合わせが必要になるため、センサとマーカレス AR を併用した高精度な位置合わせを行う手法を提案した。この手法により、AIS データを直感的に可視化することができ、対象海域の船舶の航行状況をユーザに対して、AIS データに基づいて効果的に可視化することができると考えられる。今後は、既存の AIS データベース[11]と連携し、船舶の軌跡データの可視化や、過去の船舶航行データを基に、対象の海域の時間帯毎の船舶の航行状況を可視化し、より詳細な対象海域の船舶の航行状況を表示するシステムを検討する。

参考文献

- 1) 福戸淳司, AIS が生み出す航行支援の可能性, 日本船舶海洋工学会誌, No.31, pp.31-32, 2010.
- 2) エーゲ大学 製品システム設計エンジニアリング学部, MarineTraffic.com, <http://www.marinetraffic.com/ais/jp/>
- 3) 疋田賢次郎, 船舶用目視認識支援装置の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, SSS, 安全性, Vol.110, No.145, pp.21-24, 2010.
- 4) 神原誠之, 基礎 1 : 拡張現実 (Augmented Reality) 概論, 情報処理, Vol.51, No.4, pp.367-372, 2010.
- 5) 丹羽康之, 本木久也, 船舶自動識別装置(AIS)情報による関門航路の交通分析, 日本航海学会誌, Vol.2009, No.18, pp.325-326, 2009.
- 6) 高橋宏直, 後藤健太郎, AIS データの港湾整備への活用に関する研究, 国土技術政策総合研究資料, No.420, 2010.
- 7) 海上保安庁, AIS を活用した航行支援システム, http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais_index.htm
- 8) 植松裕子, 基礎 2 : 位置合わせ技術(<特集>拡張現実感(AR)), 情報処理, Vol.51, No.4, pp.373-378, 2010.
- 9) Georg Klein and David Murray, Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, in Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.1-10, 2007.
- 10) 石川高志, 全へい東, 画像処理を用いた屋外 AR システムのための高精度定位, 情報処理学会研究報告, CVIM, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2005, No.18, pp.181-188, 2005.
- 11) 白石陽, 武田一樹, 中村嘉隆, 高橋修, AIS データの蓄積・分析のための地理情報システムプラットフォーム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.133 (USN2012-23), pp.33-36, 2012.