



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2023-0011310  
(43) 공개일자 2023년01월20일

- |   |  |
|---|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br><i>B63H 25/04</i> (2006.01) <i>B63B 49/00</i> (2006.01)<br><i>B63B 79/10</i> (2020.01) <i>B63B 79/40</i> (2020.01)<br><i>B63H 21/21</i> (2006.01) <i>G01C 21/20</i> (2006.01)<br><i>G05D 1/02</i> (2020.01)<br>(52) CPC특허분류<br><i>B63H 25/04</i> (2013.01)<br><i>B63B 49/00</i> (2013.01)<br>(21) 출원번호 10-2022-7040088<br>(22) 출원일자(국제) 2021년05월14일<br>심사청구일자 없음<br>(85) 번역문제출일자 2022년11월16일<br>(86) 국제출원번호 PCT/JP2021/018445<br>(87) 국제공개번호 WO 2021/230356<br>국제공개일자 2021년11월18일<br>(30) 우선권주장<br>JP-P-2020-086108 2020년05월15일 일본(JP) | (71) 출원인<br>고쿠리츠겐큐카이하츠호진 가이쥬 · 고완 · 고쿠기<br>쥬츠겐큐쥬<br>일본국 도쿄도 미타카시 신카와 6초메 38반 1고<br>(72) 발명자<br>사와다 료헤이<br>일본국 도쿄도 미타카시 신카와 6초메 38반 1고<br>고쿠리츠겐큐카이하츠호진 가이쥬 · 고완 · 고쿠기<br>쥬츠겐큐쥬 내<br>(74) 대리인<br>강일우 |
|---|--|

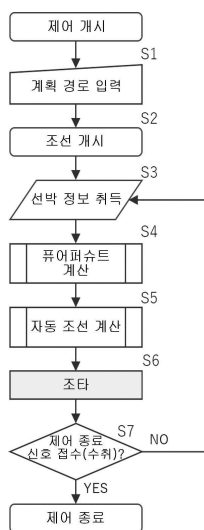
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 **선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박**

**(57) 요약**

대량의 계산을 필요로 하는 일 없이, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수 있는 선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박을 제공한다. 항주하는 선박의 적어도 조타를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치를 이용한 선박의 자동 유도 방법에 있어서는, 계획 경로를 취득 또는 계획 경로의 계산을 행하는 계획 경로 생성 과정 S1과, 선박의 위치 및 선수 방위를 취득하는 선박 정보 취득 과정 S3과, 위치 및 선수 방위에 기초하여, 선박의 진행 방향의 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나 또는 목표점의 방위를 계산하는 퓨어퍼슈트 계산 과정 S4와, 목표점 또는 방위와, 위치 또는 선수 방위에 기초하여 선박의 조타각을 계산하는 자동 조선 계산 과정 S5와, 계산한 조타각에 기초하여 자동 조선 장치를 제어하는 제어 과정 S6을 가진다.

**대표도** - 도2



(52) CPC특허분류

*B63B 79/10* (2022.01)

*B63B 79/40* (2022.01)

*B63H 21/21* (2013.01)

*G01C 21/203* (2013.01)

*G05D 1/0206* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

항주(航走)하는 선박의 적어도 조타(操舵)를 자동적으로 행하는 자동 조선(操船) 장치를 사용한 선박의 자동 유도 방법으로서,

계획 경로를 취득 또는 상기 계획 경로의 계산을 행하는 계획 경로 생성 과정과, 상기 선박의 위치 및 선수(船首) 방위를 취득하는 선박 정보 취득 과정과, 상기 위치 및 상기 선수 방위에 기초하여, 상기 선박의 진행 방향의 상기 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나 또는 상기 목표점의 방위를 계산하는 퓨어퍼슈트 계산 과정과, 상기 목표점 또는 상기 방위와, 상기 위치 또는 상기 선수 방위에 기초하여 상기 선박의 조타각을 계산하는 자동 조선 계산 과정과, 계산한 상기 조타각에 기초하여 상기 자동 조선 장치를 제어하는 제어 과정을 가지는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 선박 정보 취득 과정에 있어서 상기 선박의 속도를 취득하고, 상기 퓨어퍼슈트 계산 과정 및 상기 자동 조선 계산 과정에 있어서 상기 속도를 이용하여 계산을 행하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 과정에 있어서, 입력된 상기 선박의 도착점의 도착 위치와 도착 방위를 취득하고, 상기 선박 정보 취득 과정에서 취득한 상기 위치, 상기 선수 방위 및 상기 속도를 이용하여, 상기 도착 위치에 이르러 상기 도착 방위를 확보할 수 있는 상기 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

#### 청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 과정에 있어서, 해역 정보를 취득하고, 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 상기 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

#### 청구항 5

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 과정에 있어서, 곡선을 이루는 상기 계획 경로를 변경하기 위한 설정한 제어점을 조정하는 제어점 조정 과정을 더 가지고, 상기 조정된 상기 제어점에 기초하여 상기 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

#### 청구항 6

제2항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 과정에 있어서, 상기 계획 경로를 상기 제어의 모드를 전환하는 것을 상정한 복수의 구분 경로로 분할하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

#### 청구항 7

제2항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 자동 조선 계산 과정에서 상기 선박의 상기 계획 경로를 항주하는 상기 속도를 계산하고, 상기 제어 과정에 있어서, 계산한 상기 속도에 기초하여, 상기 자동 조선 장치의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단을 제어하

는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

**청구항 8**

제3항 혹은 제4항을 인용하는 제6항, 또는 제3항 혹은 제4항을 인용하는 제6항을 또 인용하는 제7항에 있어서, 상기 계획 경로 생성 과정에 있어서, 상기 도착 위치에 있어서 미리 설정된 상기 선박의 상기 속도가 제로인 경우, 상기 선박과 상기 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 상기 선박의 상기 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 상기 구분 경로를 포함하는 상기 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

**청구항 9**

제3항 혹은 제4항을 인용하는 제6항, 또는 제3항 혹은 제4항을 인용하는 제6항을 또 인용하는 제7항, 또는 제8항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 과정에 있어서, 상기 도착 위치에 있어서 미리 설정된 상기 선박의 속도가 제로이면서, 또한 상기 선박의 상기 진행 방향이 미리 정해진 상기 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 상기 선박과 상기 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 상기 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략(略) 직선의 상기 구분 경로를 포함하는 상기 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

**청구항 10**

제2항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 선박 정보 취득 과정에서 상기 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 상기 자동 조선 계산 과정에 있어서 상기 기상 해상 정보에 기초한 상기 선박에 대한 외력을 가미해서 상기 조타각 및 상기 속도를 보정하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 의한 상기 선박에 대한 상기 외력을 구하고, 상기 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 상기 외력에 의한 상기 선체 운동을 상쇄하는 상기 조타각 또는 상기 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 상기 자동 조선 장치를 제어하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

**청구항 12**

항주하는 선박의 적어도 조타의 제어를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치를 이용한 선박의 자동 유도 프로그램으로서,

컴퓨터에,

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 기재된 선박의 자동 유도 방법에 있어서의, 조건의 입력에 따른 상기 계획 경로 생성 과정과, 상기 선박 정보 취득 과정과, 상기 퓨어퍼슈트 계산 과정과, 상기 자동 조선 계산 과정과, 상기 제어 과정을 실행시키는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 프로그램.

**청구항 13**

항주하는 선박의 적어도 조타의 제어를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치를 이용한 선박의 자동 유도 시스템으로서,

계획 경로를 취득 또는 상기 계획 경로의 계산을 행하는 계획 경로 생성 수단과, 상기 선박의 위치 및 선수 방위를 취득하는 선박 정보 취득 수단과, 상기 선박의 위치 및 상기 선수 방위에 기초하여, 상기 선박의 진행 방향의 상기 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나 또는 상기 목표점의 방위를 계산하는 퓨어퍼슈트 계산 수단과, 상기 목표점 또는 상기 방위와, 상기 위치 또는 상기 선수 방위에 기초하여 상기 선박의 조타각을 계산하는 자동 조선 계산 수단과, 상기 선박의 조타각에 기초하여 상기 자동 조선 장치를 제어하는 제어 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 14**

제13항에 있어서,

상기 선박 정보 취득 수단에 있어서 상기 선박의 속도를 취득하고, 상기 퓨어퍼슈트 계산 수단 및 상기 자동 조선 계산 수단에 있어서 상기 속도를 이용하여 계산을 행하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 15**

제14항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 수단에 있어서, 입력된 상기 선박의 도착점의 도착 위치와 도착 방위를 취득하고, 상기 선박 정보 취득 수단에서 취득한 상기 위치, 상기 선수 방위 및 상기 속도를 이용하여, 상기 도착 위치에 이르러 상기 도착 방위를 확보할 수 있는 상기 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 16**

제14항 또는 제15항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 수단에 있어서, 해역 정보를 취득하고, 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 상기 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 17**

제14항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 수단에 있어서, 곡선을 이루는 상기 계획 경로를 변경하기 위한 설정한 제어점을 승조원이 확인하고 변경을 행하는 제어점 조정부, 또는 상기 선박 정보 취득 수단에서 얻어진 선박 정보에 기초하여 상기 제어점의 조정을 자동적으로 행하는 자동 제어점 조정부를 가지고, 상기 조정된 상기 제어점에 기초하여 상기 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 18**

제14항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 수단에 있어서, 상기 계획 경로를 상기 제어의 모드를 전환하는 복수의 구분 경로로 분할하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 19**

제14항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 자동 조선 계산 수단에서 상기 선박의 상기 계획 경로를 항주하는 상기 속도를 계산하고, 상기 제어 수단에 있어서, 계산한 상기 속도를 얻도록, 상기 자동 조선 장치의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단을 제어하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 방법.

**청구항 20**

제15항 혹은 제16항을 인용하는 제18항, 또는 제15항 혹은 제16항을 인용하는 제18항을 또 인용하는 제19항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 수단에 있어서, 상기 도착 위치에 있어서 미리 설정된 상기 선박의 상기 속도가 제로인 경우, 상기 선박과 상기 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 상기 선박의 상기 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 상기 구분 경로를 포함하는 상기 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 21**

제15항 혹은 제16항을 인용하는 제18항, 제15항 혹은 제16항을 인용하는 제18항을 또 인용하는 제19항, 또는 제20항에 있어서,

상기 계획 경로 생성 수단에 있어서, 상기 도착 위치에 있어서 미리 설정된 상기 선박의 속도가 제로이면서, 또

한 상기 선박의 상기 진행 방향이 미리 정해진 상기 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 상기 선박과 상기 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 상기 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략 직선의 상기 구분 경로를 포함하는 상기 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 22**

제14항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 선박 정보 취득 수단에서 상기 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 상기 자동 조선 계산 수단에 있어서 상기 기상 해상 정보에 기초한 상기 선박에 대한 외력을 가미해서 상기 조타각 및 상기 속도를 보정하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 23**

제22항에 있어서,

상기 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 의한 상기 선박에 대한 상기 외력을 구하고, 상기 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 상기 외력에 의한 상기 선체 운동을 상쇄하는 상기 조타각 또는 상기 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 상기 자동 조선 장치를 제어하는 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 24**

제13항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 계획 경로, 상기 선박의 위치, 상기 선수 방위, 상기 목표점, 또는 상기 목표점의 방위 중 적어도 어느 것 인가 하나를 표시하는 표시 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 선박의 자동 유도 시스템.

**청구항 25**

제13항 내지 제24항 중 어느 한 항에 기재된 선박의 자동 유도 시스템을 구비한 것을 특징으로 하는 선박.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은, 항주(航走)하는 선박의 적어도 조타(操舵)를 자동적으로 행하는 자동 조선(自動操船) 장치를 이용한 선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 접안 조선(着棧操船)은 선박의 조종 작업 중에서도 가장 선원에 대한 부하가 높은 작업의 하나이며, 게다가 저속 상태에서의 고도의 조선 기술이 요구된다. 통상, 저속 항행 시의 선박은 타(키) 직압력의 저하에 의해 조종성이 악화되고, 또한 바람이나 조류 등의 외란을 받기 쉬워지기 때문에 접안 조선은 일반적으로 높은 기량이 필요하다. 반면에 근년에는, 내항 해운에 있어서는 숙련된 선원의 부족이나 선원의 고령화가 심각화되고 있다.

[0003] 여기서, 특허문헌 1에는, 복수의 목표 지점의 각각의 위치에 기초하여 배의 선회 항로를 산출하는 항로 산출부와, 배의 전방의 간접 목표 지점을 산출하는 간접 목표 지점 산출부와, 선회 항로와 간접 목표 지점의 위치 관계에 기초하여, 지령 타각(舵角)을 산출하는 지령 타각 산출부와, 지령 타각에 기초하여, 배의 조타 기구를 제어하는 조타 제어부를 구비한 자동 조타 장치가 개시되어 있다.

[0004] 또, 특허문헌 2에는, 현항로로부터 일정 턴레이트(선회율)로 선회해서 신항로로 항로 변경(변침(變針))하는 자동 조타 방법에 있어서, 턴레이트 및 선속(船速)보다, 변침점을 현항로 상에 구하고, 이 변침점을 지나, 신항로와 평행한 변침 라인을 구하고, 이 변침 라인을 자선(自船)이 통과하면, 턴레이트에 기초하는 변침을 개시하고, 또, 이 턴레이트에 기초하는 변침보다도, 항로로부터의 코스 어긋남 양에 기초하여 진로 방위를 수정하는 항로 킵(keep) 제어로 전환하는 편이 정밀도 높게 변침할 수 있다고 판정한 시점에서, 턴레이트에 기초하는 변침으로부터, 항로 킵 제어로 전환하는 것이 개시되어 있다.

[0005] 또, 특허문헌 3에는, 소정의 위치 정보에 기초한 항로, 그리고 항로 상에서의 엔진 회전수의 변화 및 타(키)의

방향에 관한 조선 조작을 미리 컨트롤러에 기록하고, 기록된 항로 및 조선 조작에 기초하여 선박을 자동 항행하는 조선 시스템이 개시되어 있다.

[0006] 또, 특허문헌 4에는, 조선자(操船者)가 자동 조타 장치의 표시부에 의해, 자동 조타로 전환하면, 그 시점에 있어서의 선박의 선수(船首) 방위 및 선박의 위치를 자동 조타 장치의 제어부가 취득하고, 설정 항로 및 설정 방위를 산출하고, 이후는, 각 시점에 있어서의 선박의 선수 방위와 선박의 위치를 수시로 취득하고, 설정 항로와 설정 방위의 방위 편차를 계산하고, 이것에 기초하여 타를 제어하기 위한 명령 타각(舵角)을 산출하는 선박의 자동 조타 장치가 개시되어 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 일본특허공개 특개2019-196103호 공보
- (특허문헌 0002) 일본특허공개 특개평7-242199호 공보
- (특허문헌 0003) 일본특허공개 특개2014-184846호 공보
- (특허문헌 0004) 일본특허공개 특개2011-16384호 공보

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0008] 접안 조선의 자동화에 관해서는 최적 제어 이론, Neural network(뉴럴 네트워크)와 PD 컨트롤러, 진화(進化) 계산을 이용한 것 등 많은 연구가 있다. 반면에, 시스템 설계의 난이도나 제어 계산의 리얼타임(실시간) 성능, 코스트나 안전성 등의 갖가지 과제를 해결하려면, 타(키)와 프로펠러로 구성되는 일반적인 선박에도 적용 가능한, 보다 심플한 컨트롤러의 개발이 요구되고 있다.

[0009] 여기서, 특허문헌 1은, 자선이 항로 변경할 때에 경유하는 원호형의 선회 항로를 산출해서 간접 목표 지점과의 위치 관계에 기초하여 지령 타각을 산출할 필요가 있어, 계산이 복잡화된다.

[0010] 또, 특허문헌 2는, 현항로에서 신항로로 항로 변경할 때의 정밀도를 향상시키려고 하는 것이지, 현항로 또는 신항로에 있어서 정밀도 높게 계획 항로에 추종시키는 것은 아니다.

[0011] 또, 특허문헌 3에는, 설정된 항로에 기초하여 자동 항행하는 동안에, 타각 센서, 스로틀 센서, GPS 장치 및 헤딩 센서에 의해서 선박의 항행 상황을 검출하고, 피드백 제어를 행하는 것이 기재되어 있지만, 검출한 항행 상황을 토대로 어떻게 피드백 제어를 행하는지에 대한 상세는 전혀 기재되어 있지 않다.

[0012] 또, 특허문헌 4는, 선수 방위 및 자선의 위치와 설정 방위 및 설정 항로의 편차에 기초하여 선박이 설정 항로를 항행하도록 자동적으로 제어하는 것이어서, 계산이 복잡화된다.

[0013] 그래서 본 발명은, 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수 있는 선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박을 제공하는 것을 목적으로 한다.

#### 과제의 해결 수단

[0014] 청구항 1 기재에 대응한 선박의 자동 유도 방법에 있어서는, 항주하는 선박의 적어도 조타를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치를 이용한 선박의 자동 유도 방법으로서, 계획 경로를 취득, 또는 계획 경로의 계산을 행하는 계획 경로 생성 과정과, 선박의 위치 및 선수 방위를 취득하는 선박 정보 취득 과정과, 위치 및 선수 방위에 기초하여, 선박의 진행 방향의 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나 또는 목표점의 방위를 계산하는 퓨어퍼슈트(pure pursuit) 계산 과정과, 목표점 또는 방위와, 위치 또는 선수 방위에 기초하여 선박의 조타각을 계산하는 자동 조선 계산 과정과, 계산한 조타각에 기초하여 자동 조선 장치를 제어하는 제어 과정을 가지는 것을 특징으로 한다.

[0015] 청구항 1에 기재된 본 발명에 의하면, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조선 장치를

조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이 제어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다. 특히, 퓨어퍼슈트 제어에 의해 계획 경로가 곡선부를 가지는 바와 같은 경로의 추종이, 오토파일럿 등의 자동 조선 장치와 조합해서 용이하게 가능해진다.

- [0016] 청구항 2 기재의 본 발명은, 선박 정보 취득 과정에 있어서 선박의 속도를 취득하고, 퓨어퍼슈트 계산 과정 및 자동 조선 계산 과정에 있어서 속도를 이용하여 계산을 행하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 청구항 2에 기재된 본 발명에 의하면, 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0018] 청구항 3 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 입력된 선박의 도착점의 도착 위치와 도착 방위를 취득하고, 선박 정보 취득 과정에서 취득한 위치, 선수 방위 및 속도를 이용하여, 도착 위치에 이르러 도착 방위를 확보할 수 있는 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 청구항 3에 기재된 본 발명에 의하면, 도착 방위의 방향(각도)으로 도착 위치에 접속하는 매끄러운 곡선을 그리는 계획 경로를 생성할 수가 있다.
- [0020] 청구항 4 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 해역 정보를 취득하고, 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 청구항 4에 기재된 본 발명에 의하면, 선박의 자동 유도 방법의 안전성을 향상시키고, 또 선박의 자동 유도 방법을 적용 가능한 해역을 넓힐 수가 있다.
- [0022] 여기서, 「항행 불능인 해역 정보」란, 선박 등의 이동 물체나 부유 물체 등의 장애물(障害物), 또는 얕은 여울(淺瀬) 등이 존재하며, 항행 불능인 해역에 관한 정보이다.
- [0023] 청구항 5 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 곡선을 이루는 계획 경로를 변경하기 위한 설정한 제어점을 조정하는 제어점 조정 과정을 더 가지고, 조정한 제어점에 기초하여 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 청구항 5에 기재된 본 발명에 의하면, 예를 들면 장애물의 회피나 도착 시의 진입 각도의 조정 등이 반영된 계획 경로를 유연하게 조정해서 생성할 수가 있다.
- [0025] 청구항 6 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 계획 경로를 제어 모드를 전환하는 것을 상정한 복수의 구분 경로로 분할하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 청구항 6에 기재된 본 발명에 의하면, 구분 경로에 따른 제어의 모드가 행해짐으로써, 특히 접안을 포함하는 도착점에 이르는 계획 경로에 대해서, 구분 경로에 따라 모드를 전환해서 제어를 행하여, 도착점까지 선박을 정밀도 높게 추종시킬 수가 있다.
- [0027] 청구항 7 기재의 본 발명은, 자동 조선 계산 과정에서 선박의 계획 경로를 항주하는 속도를 계산하고, 제어 과정에 있어서, 계산한 속도에 기초하여, 자동 조선 장치의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단을 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0028] 청구항 7에 기재된 본 발명에 의하면, 클러치 등의 속도 제어 수단으로 속도를 조절함으로써, 예를 들면 접안을 포함하는 도착점에서의 선박의 유도를 용이하게 할 수 있다.
- [0029] 청구항 8 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로인 경우, 선박과 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 선박의 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 바와 같은 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0030] 청구항 8에 기재된 본 발명에 의하면, 도착 위치까지의 거리가 소정의 거리에 도달한 시점에서 도착 위치로 향한 회두(回頭)를 행하게 하고, 적절한 진입 각도로 도착 위치에 진입시켜서 도착 방위를 확보할 수 있는 구분 경로를 생성할 수가 있다.
- [0031] 청구항 9 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로이면서, 또한 선박의 진행 방향이 미리 정해진 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 선박과 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략(略) 직선의 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 청구항 9에 기재된 본 발명에 의하면, 속도 제어를 행하여 선박을 확실하면서 또한 보다 안전하게 도착 위치까



지 유도 가능한 구분 경로를 생성할 수가 있다.

- [0033] 청구항 10 기재의 본 발명은, 선박 정보 취득 과정에서 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 자동 조선 계산 과정에 있어서 기상 해상 정보에 기초한 선박에 대한 외력을 가미해서 조타각 및 속도를 보정하는 것을 특징으로 한다.
- [0034] 청구항 10에 기재된 본 발명에 의하면, 외력을 가미해서 보정한 조타각 및 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0035] 청구항 11 기재의 본 발명은, 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 따른 선박에 대한 외력을 구하고, 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 외력에 의한 선체 운동을 상쇄하는 조타각 또는 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 자동 조선 장치를 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0036] 청구항 11에 기재된 본 발명에 의하면, 강풍 시에 있어서도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.
- [0037] 청구항 12 기재에 대응한 선박의 자동 유도 프로그램에 있어서는, 항주하는 선박의 적어도 조타의 제어를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치를 이용한 선박의 자동 유도 프로그램으로서, 컴퓨터에, 선박의 자동 유도 방법에 있어서의, 조건의 입력에 따른 계획 경로 생성 과정과, 선박 정보 취득 과정과, 퓨어퍼슈트 계산 과정과, 자동 조선 계산 과정과, 제어 과정을 실행시키는 것을 특징으로 한다.
- [0038] 청구항 12에 기재된 본 발명에 의하면, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조선 장치를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 대량의 계산을 행하는 일 없이 제어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제하는 프로그램을 제공할 수가 있다.
- [0039] 청구항 13 기재에 대응한 선박의 자동 유도 시스템에 있어서는, 항주하는 선박의 적어도 조타의 제어를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치를 이용한 선박의 자동 유도 시스템으로서, 계획 경로를 취득, 또는 계획 경로의 계산을 행하는 계획 경로 생성 수단과, 선박의 위치 및 선수 방위를 취득하는 선박 정보 취득 수단과, 선박의 위치 및 선수 방위에 기초하여, 선박의 진행 방향의 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나 또는 목표점의 방위를 계산하는 퓨어퍼슈트 계산 수단과, 목표점 또는 방위와, 위치 또는 선수 방위에 기초하여 선박의 조타각을 계산하는 자동 조선 계산 수단과, 선박의 조타각에 기초하여 자동 조선 장치를 제어하는 제어 수단을 구비한 것을 특징으로 한다.
- [0040] 청구항 13에 기재된 본 발명에 의하면, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조선 장치를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이 제어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.
- [0041] 청구항 14 기재의 본 발명은, 선박 정보 취득 수단에 있어서 선박의 속도를 취득하고, 퓨어퍼슈트 계산 수단 및 자동 조선 계산 수단에 있어서 속도를 이용하여 계산을 행하는 것을 특징으로 한다.
- [0042] 청구항 14에 기재된 본 발명에 의하면, 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0043] 청구항 15 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 입력된 선박의 도착점의 도착 위치와 도착 방위를 취득하고, 선박 정보 취득 수단에서 취득한 위치, 선수 방위 및 속도를 이용하여, 도착 위치에 이르러 도착 방위를 확보할 수 있는 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 한다.
- [0044] 청구항 15에 기재된 본 발명에 의하면, 도착 방위의 방향(각도)으로 도착 위치에 접속하는 매끄러운 곡선을 그리는 계획 경로를 생성할 수가 있다.
- [0045] 청구항 16 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 해역 정보를 취득하고, 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 계획 경로를 계산하는 것을 특징으로 한다.
- [0046] 청구항 16에 기재된 본 발명에 의하면, 선박의 자동 유도 시스템의 안전성을 향상시키고, 또 선박의 자동 유도 시스템을 적용 가능한 해역을 넓힐 수가 있다.
- [0047] 청구항 17 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 계획 경로를 설정한 제어점을 승조원이 확인하고 변경을 행하는 제어점 조정부, 또는 선박 정보 취득 수단에서 얻어진 선박 정보에 기초하여 제어점의 조정을 자동적으로 행하는 자동 제어점 조정부를 가지고, 조정한 제어점에 기초하여 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 한다.

- [0048] 청구항 17에 기재된 본 발명에 의하면, 예를 들면 장애물의 회피나 도착 시의 진입 각도의 조정 등이 반영된 계획 경로를 유연하게 조정해서, 인적(人的)으로 또는 자동적으로 생성할 수가 있다.
  - [0049] 청구항 18 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 계획 경로를 제어 모드를 전환하는 복수의 구분 경로로 분할하는 것을 특징으로 한다.
  - [0050] 청구항 18에 기재된 본 발명에 의하면, 구분 경로에 따른 제어 모드가 행해짐으로써, 특히 접안을 포함하는 도착점에 이르는 계획 경로에 대해서, 구분 경로에 따라 모드를 전환해서 제어를 행하여, 도착점까지 선박을 정밀도 높게 추종시킬 수가 있다.
  - [0051] 청구항 19 기재의 본 발명은, 자동 조선 계산 수단에서 선박의 계획 경로를 항주하는 속도를 계산하고, 제어 수단에 있어서, 계산한 속도를 얻도록, 자동 조선 장치의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단을 제어하는 것을 특징으로 한다.
  - [0052] 청구항 19에 기재된 본 발명에 의하면, 클러치 등의 속도 제어 수단으로 속도를 조절함으로써, 예를 들면 접안을 포함하는 도착점에서의 선박의 유도를 용이하게 할 수 있다.
  - [0053] 청구항 20 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가제로인 경우, 선박과 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 선박의 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 한다.
  - [0054] 청구항 20에 기재된 본 발명에 의하면, 도착 위치까지의 거리가 소정의 거리에 도달한 시점에서 도착 위치로 향한 회두를 행하게 하고, 적절한 진입 각도로 도착 위치에 진입시켜서 도착 방위를 확보할 수 있는 구분 경로를 생성할 수가 있다.
  - [0055] 청구항 21 기재의 본 발명은, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가제로이면서, 또한 선박의 진행 방향이 미리 정해진 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 선박과 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략 직선의 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 것을 특징으로 한다.
  - [0056] 청구항 21에 기재된 본 발명에 의하면, 속도 제어를 행하여 선박을 확실하면서 또한 보다 안전하게 도착 위치까지 유도 가능한 구분 경로를 생성할 수가 있다.
  - [0057] 청구항 22 기재의 본 발명은, 선박 정보 취득 수단에서 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 자동 조선 계산 수단에 있어서 기상 해상 정보에 기초한 선박에 대한 외력을 가미해서 조타각 및 속도를 보정하는 것을 특징으로 한다.
  - [0058] 청구항 22에 기재된 본 발명에 의하면, 외력을 가미해서 보정한 조타각 및 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
  - [0059] 청구항 23 기재의 본 발명은, 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 따른 선박에 대한 외력을 구하고, 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 외력에 의한 선체 운동을 상쇄하는 조타각 또는 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 자동 조선 장치를 제어하는 것을 특징으로 한다.
  - [0060] 청구항 23에 기재된 본 발명에 의하면, 강풍 시에 있어서도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.
  - [0061] 청구항 24 기재의 본 발명은, 계획 경로, 선박의 위치, 선수 방위, 목표점 또는 목표점의 방위 중 적어도 어느 것인가 하나를 표시하는 표시 수단을 구비한 것을 특징으로 한다.
  - [0062] 청구항 24에 기재된 본 발명에 의하면, 승조원(乘組員)이 계획 경로의 확인이나, 자동 유도 시스템의 작동 상태의 감시 등을 행할 수가 있다.
  - [0063] 청구항 25 기재에 대응한 선박에 있어서는, 선박의 자동 유도 시스템을 구비한 것을 특징으로 한다.
  - [0064] 청구항 25에 기재된 본 발명에 의하면, 퓨어퍼슈트 제어와 자동 조선 장치를 조합하여, 외란이 있더라도 정밀도 높게 계획 경로를 추종하는 자동 유도 시스템을 구비한 선박을 제공할 수가 있다.
- 발명의 효과**
- [0065] 본 발명의 선박의 자동 유도 방법에 의하면, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조선

장치를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이 제어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다. 특히, 퓨어퍼슈트 제어에 의해 계획 경로가 곡선부를 가지는 바와 같은 경로의 추종이, 오토파일럿 등의 자동 조선 장치와 조합해서 용이하게 가능해진다.

- [0066] 또, 선박 정보 취득 과정에 있어서 선박의 속도를 취득하고, 퓨어퍼슈트 계산 과정 및 자동 조선 계산 과정에 있어서 속도를 이용하여 계산을 행하는 경우는, 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0067] 또, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 입력된 선박의 도착점의 도착 위치와 도착 방위를 취득하고, 선박 정보 취득 과정에서 취득한 위치, 선수 방위 및 속도를 이용하여, 도착 위치에 이르러 도착 방위를 확보할 수 있는 계획 경로를 계산하는 경우는, 도착 방위의 방향(각도)으로 도착 위치에 접속하는 매끄러운 곡선을 그리는 계획 경로를 생성할 수가 있다.
- [0068] 또, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 해역 정보를 취득하고, 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 계획 경로를 계산하는 경우는, 선박의 자동 유도 방법의 안전성을 향상시키고, 또 선박의 자동 유도 방법을 적용 가능한 해역을 넓힐 수가 있다.
- [0069] 또, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 곡선을 이루는 계획 경로를 변경하기 위한 설정한 제어점을 조정하는 제어점 조정 과정을 더 가지고, 조정한 제어점에 기초하여 계획 경로를 생성하는 경우는, 예를 들면 장애물의 회피나 도착 시의 진입 각도의 조정 등이 반영된 계획 경로를 유연하게 조정해서 생성할 수가 있다.
- [0070] 또, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 계획 경로를 제어 모드를 전환하는 것을 상정한 복수의 구분 경로로 분할하는 경우는, 구분 경로에 따른 제어 모드가 행해짐으로써, 특히 접안을 포함하는 도착점에 이르는 계획 경로에 대해서, 구분 경로에 따라 모드를 전환해서 제어를 행하여, 도착점까지 선박을 정밀도 높게 추종시킬 수가 있다.
- [0071] 또, 자동 조선 계산 과정에서 선박의 계획 경로를 항주하는 속도를 계산하고, 제어 과정에 있어서, 계산한 속도에 기초하여, 자동 조선 장치의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단을 제어하는 경우는, 클러치 등의 속도 제어 수단으로 속도를 조절함으로써, 예를 들면 접안을 포함하는 도착점에서의 선박의 유도를 용이하게 할 수 있다.
- [0072] 또, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로인 경우, 선박과 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 선박의 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 경우는, 도착 위치까지의 거리가 소정의 거리에 도달한 시점에서 도착 위치로 향한 회두를 행하게 하고, 적절한 진입 각도로 도착 위치에 진입시켜서 도착 방위를 확보할 수 있는 구분 경로를 생성할 수가 있다.
- [0073] 또, 계획 경로 생성 과정에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로이면서, 또한 선박의 진행 방향이 미리 정해진 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 선박과 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략 직선의 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 경우는, 속도 제어를 행하여 선박을 확실하면서 또한 보다 안전하게 도착 위치까지 유도 가능한 구분 경로를 생성할 수가 있다.
- [0074] 또, 선박 정보 취득 과정에서 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 자동 조선 계산 과정에 있어서 기상 해상 정보에 기초한 선박에 대한 외력을 가미해서 조타각 및 속도를 보정하는 경우는, 외력을 가미해서 보정한 조타각 및 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0075] 또, 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 따른 선박에 대한 외력을 구하고, 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 외력에 의한 선체 운동을 상쇄하는 조타각 또는 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 자동 조선 장치를 제어하는 경우는, 강풍 시에 있어서도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.
- [0076] 또, 본 발명의 선박의 자동 유도 프로그램에 의하면, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조선 장치를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 대량의 계산을 행하는 일 없이 제어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제하는 프로그램을 제공할 수가 있다.
- [0077] 또, 본 발명의 선박의 자동 유도 시스템에 의하면, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조선 장치를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이 제

어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.

- [0078] 또, 선박 정보 취득 수단에 있어서 선박의 속도를 취득하고, 퓨어퍼슈트 계산 수단 및 자동 조선 계산 수단에 있어서 속도를 이용하여 계산을 행하는 경우는, 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0079] 또, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 입력된 선박의 도착점의 도착 위치와 도착 방위를 취득하고, 선박 정보 취득 수단에서 취득한 위치, 선수 방위 및 속도를 이용하여, 도착 위치에 이르러 도착 방위를 확보할 수 있는 계획 경로를 계산하는 경우는, 도착 방위의 방향(각도)으로 도착 위치에 접속하는 매끄러운 곡선을 그리는 계획 경로를 생성할 수가 있다.
- [0080] 또, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 해역 정보를 취득하고, 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 계획 경로를 계산하는 경우는, 선박의 자동 유도 시스템의 안전성을 향상시키고, 또 선박의 자동 유도 시스템을 적용 가능한 해역을 넓힐 수가 있다.
- [0081] 또, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 곡선을 이루는 계획 경로를 변경하기 위한 설정한 제어점을 승조원이 확인하고 변경을 행하는 제어점 조정부, 또는 선박 정보 취득 수단에서 얻어진 선박 정보에 기초하여 제어점의 조정을 자동적으로 행하는 자동 제어점 조정부를 가지고, 조정한 제어점에 기초하여 계획 경로를 생성하는 경우는, 예를 들면 장애물의 회피나 도착 시의 진입 각도의 조정 등이 반영된 계획 경로를 유연하게 조정하여, 인적으로 또는 자동적으로 생성할 수가 있다.
- [0082] 또, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 계획 경로를 제어 모드를 전환하는 복수의 구분 경로로 분할하는 경우는, 구분 경로에 따른 제어 모드가 행해짐으로써, 특히 접안을 포함하는 도착점에 이르는 계획 경로에 대해서, 구분 경로에 따라 모드를 전환해서 제어를 행하여, 도착점까지 선박을 정밀도 높게 추종시킬 수가 있다.
- [0083] 또, 자동 조선 계산 수단에서 선박의 계획 경로를 항주하는 속도를 계산하고, 제어 수단에 있어서, 계산한 속도를 얻도록, 자동 조선 장치의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단을 제어하는 경우는, 클러치 등의 속도 제어 수단으로 속도를 조절함으로써, 예를 들면 접안을 포함하는 도착점에서의 선박의 유도를 용이하게 할 수 있다.
- [0084] 또, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로인 경우, 선박과 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 선박의 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 경우는, 도착 위치까지의 거리가 소정의 거리에 도달한 시점에서 도착 위치로 향한 회두를 행하게 하고, 적절한 진입 각도로 도착 위치에 진입시켜서 도착 방위를 확보할 수 있는 구분 경로를 생성할 수가 있다.
- [0085] 또, 계획 경로 생성 수단에 있어서, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로이면서, 또한 선박의 진행 방향이 미리 정해진 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 선박과 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략 직선의 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성하는 경우는, 속도 제어를 행하여 선박을 확실하면서 또한 보다 안전하게 도착 위치까지 유도 가능한 구분 경로를 생성할 수가 있다.
- [0086] 또, 선박 정보 취득 수단에서 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 자동 조선 계산 수단에 있어서 기상 해상 정보에 기초한 선박에 대한 외력을 가미해서 조타각 및 속도를 보정하는 경우는, 외력을 가미해서 보정한 조타각 및 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0087] 또, 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 따른 선박에 대한 외력을 구하고, 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 외력에 의한 선체 운동을 상쇄하는 조타각 또는 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 자동 조선 장치를 제어하는 경우는, 강풍 시에 있어서도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.
- [0088] 또, 계획 경로, 선박의 위치, 선수 방위, 목표점 또는 목표점의 방위 중 적어도 어느것인가 하나를 표시하는 표시 수단을 구비한 경우는, 승조원이 계획 경로의 확인이나, 자동 유도 시스템의 작동 상황의 감시 등을 행할 수가 있다.
- [0089] 또, 본 발명의 선박에 의하면, 퓨어퍼슈트 제어와 자동 조선 장치를 조합하여, 외란이 있더라도 정밀도 높게 계획 경로를 추종하는 자동 유도 시스템을 구비한 선박을 제공할 수가 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0090]

- 도 1은, 본 발명의 제1 실시형태에 따른 선박의 자동 유도 시스템의 개요도.
- 도 2는, 같은(同) 선박의 자동 유도 시스템을 이용한 자동 유도 방법의 플로차트(흐름도).
- 도 3은, 같은 퓨어퍼슈트의 알고리즘을 나타내는 도면.
- 도 4는, 같은 계획 경로에 대한 추종 성능의 개념도.
- 도 5는, 같은 자동 조선 장치에 의한 자동 조타와 퓨어퍼슈트를 조합한 제어를 행한 경우의 추종 성능을 항적 트레이스에 의해 평가한 도면.
- 도 6은, 같은 자동 유도 시스템을 이용한 자동 접안 조선의 플로차트.
- 도 7은, 같은 생성된 접안 경로와 제어 모드의 예를 나타내는 도면.
- 도 8은, 같은 접안 조선을 위한 좌표계를 나타내는 도면.
- 도 9는, 같은 베지어 곡선에 의한 접안 경로의 개략도.
- 도 10은, 같은 자동 접안 조선에 있어서의 제어 과정의 상세를 나타내는 플로차트.
- 도 11은, 같은 선체 운동의 좌표계를 나타내는 도면.
- 도 12는, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 Hybrid-state(하이브리드 스테이트) A\*의 탐색 방법과 고전적인 A\* 알고리즘의 비교도.
- 도 13은, 본 발명의 제3 실시형태에 있어서의 퓨어퍼슈트 알고리즘에 따른 경로 추종 제어를 나타내는 도면.
- 도 14는, 같은 바람에 의한 경로 추종 제어의 혼란(흐트러짐)을 나타내는 도면.
- 도 15는, 같은 해석 결과를 나타내는 도면.
- 도 16은, 같은 실시예 1에 있어서의 실험선(實驗船)의 풍압력(風壓力) 계수를 나타내는 도면.
- 도 17은, 본 발명의 실시예 1에 따른 선체 제어 시스템의 구성도.
- 도 18은, 같은 선회 시험의 계측 결과와 조정/시뮬레이션 결과의 비교를 나타내는 도면.
- 도 19는, 같은 가상잔교(假想棧橋)에서의 자동 접안 조선의 실험 결과를 나타내는 도면.
- 도 20은, 같은 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험에 있어서 선박 정보 취득 수단이 취득한 각 계측값을 나타내는 도면.
- 도 21은, 같은 실잔교(實棧橋)에서의 자동 접안 조선의 실험 결과를 나타내는 도면.
- 도 22는, 같은 실잔교에서의 자동 접안 조선의 실험에 있어서 선박 정보 취득 수단이 취득한 각 계측값을 나타내는 도면.
- 도 23은, 같은 강풍 하에 있어서의 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험 결과를 나타내는 도면.
- 도 24는, 같은 강풍 하에 있어서의 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험에 있어서 선박 정보 취득 수단이 취득한 각 계측값을 나타내는 도면.
- 도 25는, 본 발명의 실시예 2에 따른 Hybrid-state A\*를 이용하여 생성한 접안까지의 계획 경로를 나타내는 도면.
- 도 26은, 같은 LiDAR에 의해 계측된 점군(点群)을 이용하여 접안 경로를 계산한 예를 나타내는 도면.
- 도 27은, 같은 LiDAR로 계측한 위치로부터 선체 위치를 의도적으로 바꾸어 경로를 계산한 예를 나타내는 도면.
- 도 28은, 본 발명의 실시예 3에 따른 피드백 제어 있음의 퓨어퍼슈트와 HCS에 의한 접안 제어의 실선 시험(實船試驗) 결과를 나타내는 도면.
- 도 29는, 같은 도 28에 나타내는 상태의 실측값을 나타내는 도면.
- 도 30은, 같은 강풍 하에서의 피드백 제어 있음의 퓨어퍼슈트와 HCS에 의한 접안 제어의 실선 시험 결과를 나타내는 도면.

도 31은, 같은 도 30에 나타내는 상태의 실측값을 나타내는 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0091] 이하에, 본 발명의 제1 실시형태에 따른 선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박에 대하여 설명한다.
- [0092] 도 1은 선박의 자동 유도 시스템의 개요도이다.
- [0093] 선박의 자동 유도 시스템은, 계획 경로를 취득 또는 계획 경로의 계산을 행하는 계획 경로 생성 수단(10)과, 선박의 위치 및 선수 방위를 취득하는 선박 정보 취득 수단(20)과, 선박의 위치 및 선수 방위에 기초하여, 선박의 진행 방향의 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나 또는 목표점의 방위를 계산하는 퓨어퍼슈트 계산 수단(30)과, 목표점 또는 목표점의 방위에 기초하여 선박의 조타각을 계산하는 자동 조선 계산 수단(40)과, 선박의 조타각에 기초하여 자동 조선 장치(60)를 제어하는 제어 수단(50)과, 자동 조선 장치(60)의 클러치 등의 속도 제어 수단(61)과, 화면 등의 표시 수단(70)을 구비한다.
- [0094] 한편, 자동 조선 장치(60)에는, 조타를 행하는 타(키)나 속도를 제어하는 클러치 등의 액추에이터를 포함하는 것, 타나 클러치 등의 제어 기능부만을 포함하는 것, 또 타나 클러치 등의 제어를 행하기 위한 지령값을 내보내는 기능만을 포함하는 것, 및 이것들을 타나 클러치 등으로 조합해서 사용하는 것의 어느것이나 가능하다.
- [0095] 도 2는 선박의 자동 유도 시스템을 이용한 자동 유도 방법의 플로차트, 도 3은 퓨어퍼슈트의 알고리즘을 나타내는 도면이다.
- [0096] 우선, 계획 경로 생성 수단(10)은, 선박의 계획 경로를 생성한다(계획 경로 생성 과정 S1). 생성된 계획 경로는, 퓨어퍼슈트 계산 수단(30) 및 자동 조선 계산 수단(40)에 입력된다. 계획 경로 생성 수단(10)은, 자동적으로 계획 경로를 생성할 수 있을 뿐만 아니라, 미리 설정된 계획 경로의 입력을 접수(수취)하는 것에 의해 생성할 수가 있다. 한편, 계획 경로의 생성의 상세에 대하여는 후술한다.
- [0097] 계획 경로 생성 과정 S1 후, 제어 수단(50)은, 취득한 계획 경로에 기초하여 조선을 개시한다(조선 개시 과정 S2).
- [0098] 선박 정보 취득 수단(20)은, 예를 들면 위치 센서나 방위각 센서 등이고, 선박의 위치 및 선수 방위를 취득한다(선박 정보 취득 과정 S3).
- [0099] 퓨어퍼슈트 계산 수단(30)은, 선박의 위치 및 선수 방위에 기초하여, 선박의 진행 방향의 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을 계산하거나, 또는 목표점의 방위를 계산한다(퓨어퍼슈트 계산 과정 S4).
- [0100] 퓨어퍼슈트(Pure pursuit)란, 경로 추종 제어 알고리즘으로서, 로봇틱스(로봇공학)나 차의 자동 운전 등의 분야에서 널리 사용되는 경로 추종 알고리즘이다. 퓨어퍼슈트는, 도 3과 같이 미리 설정된 유향(有向) 경로에 대해서, 선박에 탑재된 GNSS 센서 등의 위치 센서의 설치 위치로부터 일정 거리 전방의 경로 상의 점을 목표점으로 해서 이것에 도달하도록 선회 제어를 행한다. 이 목표점까지의 거리를 전방 주시 거리(Look ahead distance)라고 부른다.
- [0101] 목표점(전방 주시 거리)을 결정할 때는, 경로 추종 시에 상정되는 경로 곡선에 있어서, 최대의 곡률 반경을 구하고, 이 곡률 반경을 가지는 원주 경로를 준비해서, 원주 경로를 추종할 수 있도록 전방 주시 거리를 설정한다. 한편, 실선 시험을 행하여 추종할 수 있는지의 여부를 확인해도 되고, 또 KT 등의 조종성 지수를 알고 있는 경우는 간이적인 시뮬레이션으로부터 결정할 수도 있다.
- [0102] 퓨어퍼슈트 계산 과정 S4에 있어서 퓨어퍼슈트 계산 수단(30)은, 계획 경로 생성 수단(10)이 계획 경로 생성 과정 S1에서 생성한 계획 경로에 기초하여, 진행 방향의 계획 경로 상에, 예를 들면 소정의 거리로 목표점을 계산하거나, 또는 목표점의 방위를 계산하고, 예를 들면 계산한 방위를 자동 조선 계산 수단(40)에 송출한다. 또 퓨어퍼슈트 계산 수단(30)은, 항행에 수반하여 잇달아 목표점의 방위를 갱신한다(설정값을 갱신한다).
- [0103] 자동 조선 계산 수단(40)은, 목표점 또는 목표점의 방위와 선박의 위치 또는 선수 방위에 기초하여 선박의 조타각을 계산한다(자동 조선 계산 과정 S5).
- [0104] 제어 수단(50)은, 자동 조선 계산 수단(40)이 산출한 선박의 조타각에 기초하여, 조타의 제어를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치(60)를 제어한다(제어 과정 S6). 이것에 의해, 계획 경로에 따른 항적이 얻어진다.
- [0105] 자동 조선 장치(60)는, 자이로 등과 연동하여, 방위 등의 설정값을 설정하면 PID 제어나 적응 제어에 의해, 설

정된 방위 등이 얻어지도록 조타 장치를 제어한다.

- [0106] 제어 수단(50)은, 제어 과정 S6 후, 제어 종료 신호를 접수(수취)했는지의 여부를 판정한다(제어 종료 판정 과정 S7). 제어 종료 신호는, 예를 들면 목적지에 소정 거리까지 가까워진 경우 등에 자동적으로 또는 승조원 등에 의해 수동으로 입력된다.
- [0107] 제어 수단(50)은, 제어 종료 판정 과정 S7에서 제어 종료 신호를 접수했다고 판정된 경우는, 자동 조선 장치(60)의 제어를 종료한다. 반면에, 제어 종료 판정 과정 S7에서 제어 종료 신호를 접수하지 않았다고 판정된 경우는, 선박 정보 취득 과정 S3으로 되돌아가서 제어를 계속한다.
- [0108] 도 4는 계획 경로에 대한 추종 성능의 개념도이고, 도 4의 (a)는 자동 조선 장치에 의한 자동 조타뿐인 경우의 추종 성능을 나타내고, 도 4의 (b)는 자동 조선 장치에 의한 자동 조타와 퓨어퍼슈트(단순 추적)를 조합한 제어를 행한 경우의 추종 성능을 나타내고 있다. 또, 도 5는 자동 조선 장치에 의한 자동 조타와 퓨어퍼슈트를 조합한 제어를 행한 경우의 추종 성능을 항적 트레이스에 의해 평가한 도면이고, 도 5의 (a)는 자동 조선 장치에 의한 자동 조타와 퓨어퍼슈트를 조합한 제어에 의해 계획 경로에 추종시킨 결과를 나타내고, 도 5의 (b)는 타각 일정(+15°)으로 계획 경로에 추종시킨 결과를 나타내고 있다.
- [0109] 도 4의 (a)에 나타내는 바와 같이, 방위 자이로를 이용한 기존의 자동 조타(오토파일럿)는 선박의 선수 방위를만 제어하기 때문에, 바람이나 조류의 영향을 받으면 경로에서 벗어난다(일탈한다).
- [0110] 반면에, 도 4의 (b) 및 도 5의 (a)에 나타내는 바와 같이, 퓨어퍼슈트 계산에 기초하는 제어(퓨어퍼슈트 제어)와 자동 조타를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 모델 예측 제어와 같이 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이 제어를 행하여, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제하고, 경로에 따른 자동 제어를 행할 수가 있다. 특히, 퓨어퍼슈트 제어에 의해 계획 경로가 곡선부를 가지는 바와 같은 경로의 추종이, 오토파일럿 등의 자동 조선 장치(60)와 조합해서 용이하게 가능해진다.
- [0111] 이와 같이, 퓨어퍼슈트와 자동 조타를 조합한 제어는, 자동 조타뿐인 경우에 비해 외란에 대해서 보상하는 제어가 들어가 있기 때문에, 경로로부터의 벗어남(일탈)을 일정 양 이하로 억제할 수 있다. 또, 경로 상의 목표점에 대한 조타량을 계산할 뿐이기 때문에 계산 부하가 가볍다. 또, 제어에 필요로 하는 파라미터는 본질적으로 전방 주시 거리의 하나만으로 해결된다(하나뿐이어도 된다). 또, 제어의 안정성은, 경로의 곡률이 작고 전진 속도가 어느 정도 있다면, 자동 조타의 안정성에 의해서 시스템의 안정성을 논의할 수 있다. 즉, 안정적인 제어의 파라미터를 설계하는데 있어서는, 고전적인 안정성 해석을 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 기본적인 안정성은 자동 조타의 제어 안정성을 근거로 보증할 수 있다.
- [0112] 다음에, 선박을 도착점으로 유도하는 자동 유도 방법에 대하여 설명한다. 한편, 본 실시형태에서는 도착점을 잔교(棧橋)라고 한다.
- [0113] 도 6은 자동 유도 시스템을 이용한 자동 접안 조선의 플로차트이다.
- [0114] 자동 접안 제어가 개시되면, 선박 정보 취득 수단(20)은, 선박의 위치(위도 경도), 선수 방위 및 선박의 속도를 취득한다(제1 선박 정보 취득 과정 S11).
- [0115] 제1 선박 정보 취득 과정 S11 후, 접안 위치 좌표와 접안시 방위각을 승조원 등이 자동 유도 시스템에 입력한다(접안 정보 입력 과정 S12).
- [0116] 접안 정보 입력 과정 S12 후, 제어 수단(50)은 조선을 개시한다(조선 개시 과정 S13).
- [0117] 조선 개시 과정 S13 후, 계획 경로 생성 수단(10)은, 입력된 선박의 도착점의 도착 위치(접안 위치 좌표)와 도착 방위(접안시 방위각)를 취득하고, 제1 선박 정보 취득 과정 S11에서 취득한 선박의 위치, 선수 방위 및 속도를 이용하여, 계획 경로로서 도착 위치와 도착 방위를 고려한 도착점에 접속하는 곡선을 계산함으로써, 도착 위치에 이르러 선박의 도착 방위를 확보할 수 있는 계획 경로를 생성한다(계획 경로 생성 과정 S14). 이것에 의해, 도착 방위의 방향(각도)으로 도착 위치에 접속하는 매끄러운 곡선을 그리는 계획 경로(접안 경로)를 생성할 수가 있다.
- [0118] 여기서, 도 7은 생성된 접안 경로와 제어 모드의 예를 나타내는 도면, 도 8은 접안 조선을 위한 좌표계를 나타내는 도면이다.
- [0119] 접안에 이를 때까지의 계획 경로에 있어서 제어 수단(50)에 의한 제어 모드를 전환하는 것을 상정하고, 계획 경로 생성 수단(10)은, 계획 경로를 복수의 구분 경로로 분할한다.

[0120] 본 실시형태에 있어서 계획 경로 생성 수단(10)은, 도 7에 나타내는 바와 같이, 파선으로 나타내어지는 접안 경로를, 경로 추종 모드로 제어되는 제1 구분 경로(1A), 뉴트럴 항행 모드로 제어되는 제2 구분 경로(1B), 회두 모드로 제어되는 제3 구분 경로(1C), 정지 모드로 제어되는 제4 구분 경로(1D)의 4개의 구분 경로로 나눈다. 제어 수단(50)은, 각각의 구분 경로에서 제어 모드를 전환한다. 이 전환은, 예를 들면 실제로 조선자가 접안 조선헌 때의 순서를 베이스로 한다. 또한 본 실시형태에서는, 주기(主機)에의 과도한 부하를 줄이기 위해, 최후의 정지 모드 이외에서는 프로펠러 역회전에 의한 감속을 행하지 않고, 뉴트럴 상태에서 감속한다. 이 때문에, 제어 모드의 전환 위치는, 배마다 각 구간에서 충분히 감속하는데 필요한 항행 거리를 고려하여, 감속에 필요한 거리를 확보할 수 있도록, 예를 들면 접안 위치로부터 경로를 따라 10, 70, 100[m]의 위치에 배치한다.

[0121] 또, 위치 정보의 취급을 용이하게 하기 위해, 선박 정보 취득 수단(20)으로부터 얻은 위도 경도의 정보는, 접안 위치를 원점  $O_{berth}$ 로 하는, 길이의 단위를 미터로 변환한 X-Y 평면의 좌표계에서 취급한다. 이 때, X축은 북쪽(North)을 정(正)으로, Y축은 동쪽(East)을 정으로 취한다. 또한, 잔교(2)와의 위치 관계를 명확하게 할 때는, X-Y 좌표계를 잔교(2)의 방향에 맞추어 회전시킨  $x_{berth}-y_{berth}$  좌표계를 이용한다(원점은 똑같이  $O_{berth}$ ). 도 8에 는 이 2개의 좌표계의 관계를 나타내고 있다. 도 8에 있어서  $\alpha_{berth}$ 는 잔교(2)의 방위각에 대응한다.

[0122] 도 9는 베지어 곡선에 의한 접안 경로의 개략도이다.

[0123] 실제의 조선 예 등으로부터, 좌우현접안(左右舷付)의 접안 경로(着棧經路)로서는, 조선 개시 시의 선박의 위치로부터 선수 방향으로 뺀고(신장하고), 잔교(2)와 평행한 각도로 접안 위치에 접속하는 때스러운 곡선이라면 된다고 생각된다. 이 형상은 3차의 베지어(Bezier) 곡선으로 표시할 수 있다. 일반적으로 N-1차 베지어 곡선은 N개의 제어점  $B_0 \cdots B_{N-1}$ 로부터 정의되는 N-1차 곡선이며 t를 파라미터로 해서 아래 식(1), (2)와 같이 표시된다.

[0124] [수학식 1]

$$Bezier(t; N) = \sum_{i=0}^{N-1} B_i J_{N-1,i}(t) \quad \dots (1)$$

[0125]

[0126] [수학식 2]

$$J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad \dots (2)$$

[0127]

[0128] 다만,  $0 < t < 1$ ,  $J_{n,i}(t)$ 는 Bernstein(번스타인) 기저 함수이다.

[0129] N차 베지어 곡선은 경로 형상을 t의 N차 함수로서 표시할 수 있기 때문에, 3차의 베지어 곡선은 t의 기껏해야(고차) 3차 식으로서 표현할 수 있다. 도 9에 있어서, 제어점  $B_1$ 은 자동 조선 개시 시의 선체 위치, 제어점  $B_2$ 는 제어점  $B_1$ 로부터 선수 방위각  $\psi$ 의 방향으로  $0.6 |y_{berth}|$  [m]의 거리에 있는 점, 제어점  $B_3$ 은 제어점  $B_4$ 로부터  $\alpha_{berth} + 180$  [deg(도)]의 방향으로 80[m]의 거리에 있는 점, 제어점  $B_4$ 는 접안 목표 위치이다. 접안 목표 위치는, 계선(係船)용의 로프를 받아건널 수 있는 거리와 안전면을 고려해서, 예를 들면  $(x_{berth}, y_{berth}) = (5, 0)$  [m]로 설정한다. 이 설계는, 제어점  $B_1$ 이 잔교(2)와의 거리에 따라 신축하기 때문에, 제어 개시 시의 선체 위치에 관계없이 제어점  $B_3$ 과 제어점  $B_4$ 의 거리에 따라서 잔교(2)에의 어프로치 시의 각도를 설정할 수 있다. 다른 선박에 적용하려면, 필요에 따라 제어점  $B_3$ 을 설정할 때의 거리를 바꿈으로써 보다 얇은 각도로부터의 접안 경로를 설정할 수가 있다.

[0130] 한편, 베지어 곡선을 이용함으로써 가장 일반적인 접안 경로를 생성하기 쉬워지지만, B스플라인 곡선이나 클로소이드 곡선 등, 다른 곡선을 이용하여 접안 경로를 생성할 수도 있다. 또, 제어점을 늘려서, 보다 고차의 베지어 곡선을 이용할 수도 있다. 또, 접안 경로(계획 경로)는, 베지어 곡선을 이용한 경로 계획 알고리즘 대신에, 후술하는 바와 같이 Hybrid-state(하이브리드 스테이트) A\* 알고리즘을 이용해서 생성할 수도 있다.



- [0131] 도착점이 잔교(2)인 경우, 도착 위치에 있어서의 선박의 속도는 제로로서 미리 설정된다.
- [0132] 계획 경로 생성 수단(10)은, 계획 경로 생성 과정 S14에 있어서, 선박과 도착 위치까지의 거리가 미리 정해진 거리에 도달한 시점에서 선박의 도착 위치로의 진입 각도가 미리 정해진 각도로 되는 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성한다. 이것에 의해, 도착 위치까지의 거리가 소정의 거리에 도달한 시점에서 도착 위치로 향한 회두를 행하게 하고, 적절한 진입 각도로 도착 위치에 진입시켜서 도착 방위를 확보할 수 있는 구분 경로를 생성할 수가 있다. 본 실시형태에서는, 회두 모드로 제어되는 제 3 구분 경로(1C)가 해당한다.
- [0133] 또, 계획 경로 생성 수단(10)은, 도착 위치에 있어서 미리 설정된 선박의 속도가 제로이면서, 또한 선박의 진행 방향이 미리 정해진 도착 위치로의 진입 각도로 되어 있을 때, 선박과 도착 위치의 거리가 미리 정해진 거리보다 짧은 위치에 도달한 시점에서 선박의 속도를 제로로 되도록 속도 제어를 행하기 위한 대략 직선의 구분 경로를 포함하는 계획 경로를 생성한다. 이것에 의해, 속도 제어를 행하여 선박을 확실하면서 또한 보다 안전하게 도착 위치까지 유도 가능한 구분 경로를 생성할 수가 있다. 본 실시형태에서는, 정지 모드로 제어되는 제 4 구분 경로(1D)가 해당한다. 한편, 접안의 경우에 있어서의 「미리 정해진 거리」란, 예를 들면 계선용의 로프의 받아건넌 수 있는 거리이다. 또, 「미리 정해진 도착 위치로의 진입 각도」는, 어느 정도의 폭을 가진 것이더라도 된다.
- [0134] 한편, 계획 경로 생성 수단(10)에는, 계획 경로를 설정한 제어점을 승조원이 확인하고 변경을 행하는 제어점 조정부, 또는 선박 정보 취득 수단(20)에서 얻어진 선박 정보에 기초하여 제어점의 조정을 자동적으로 행하는 자동 제어점 조정부의 적어도 한쪽을 구비할 수도 있다. 이 경우는, 계획 경로 생성 과정 S14에 있어서, 곡선을 이루는 계획 경로를 변경하기 위한 설정한 제어점 B<sub>1</sub>~B<sub>4</sub>를 조정하는 제어점 조정 과정을 더 가지고, 조정한 제어점에 기초하여 계획 경로를 생성한다.
- [0135] 이것에 의해, 예를 들면 다른 배(他船)나 얕은 여울(淺瀬) 등의 장애물의 회피나 도착 시의 진입 각도의 조정 등이 반영된 계획 경로를, 인적으로 또는 자동적으로 유연하게 조정해서 생성할 수가 있다.
- [0136] 승조원이 변경을 행하는 경우는, 터치패널이나 트랙볼 등으로 화면을 보면서 제어점 조정부에 대한 지시를 주고 제어점을 조정한다.
- [0137] 자동 제어점 조정부가 변경을 행하는 경우는, 해도(海圖) 정보나 LiDAR(light detection and ranging) 등의 센서 정보를 토대로 자동적으로 계획 경로를 조정한다. 예를 들면, 해도나 센서 정보로부터 장애물의 이차원적인 정보가 취득되고, 장애물에 계획 경로가 가려져 있는 경우는, 제어점 B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub> 사이 또는 B<sub>3</sub>-B<sub>4</sub> 사이의 길이를 0.1 m 마다 변경해 가며, 계획 경로가 장애물에 가려지지 않는 경로를 구한다. 계산은 총량으로 행해도 되고, 동적 계획법을 이용하여 효율 높게 해(解)를 구해도 된다. 한편, 해가 구해지지 않는 경우는, 표시 또는 음성 등에 의한 경고를 내보내어, 승조원에게 제어점 조정부에 의한 변경을 촉구(제촉)하는 등의 대응을 행한다.
- [0138] 제어점은, 최초의 계획 경로 생성 시점에서 인적 또는 자동적으로 조정해도 되고, 또 일단 생성된 계획 경로를 확인 후, 제어점을 수정하는 조정을 행하고, 다시 생성시켜도 된다.
- [0139] 도 6으로 되돌아가서, 계획 경로 생성 과정 S14 후, 선박 정보 취득 수단(20)은, 선박의 위치, 선수 방위 및 속도를 취득한다(제2 선박 정보 취득 과정 S15).
- [0140] 제어 수단(50)은, 제2 선박 정보 취득 과정 S15에서 취득한 선박의 위치, 선수 방위 및 선속(船速)을 토대로 자동 조선 장치(60)를 제어한다(제어 과정 S16).
- [0141] 제어 과정 S16 후, 제어 수단(50)은, 선박이 접안 위치에 도달했는지의 여부를 판정한다(접안 판정 과정 S17).
- [0142] 제어 수단(50)은, 접안 판정 과정 S17에 있어서 「NO(아니오)」, 즉 접안하지 않았다고 판정된 경우는, 제2 선박 정보 취득 과정 S15로 되돌아가서 제어를 계속한다. 반면에, 접안 판정 과정 S17에 있어서 「YES(예)」, 즉 접안했다고 판정된 경우는, 자동 접안 제어를 종료한다.
- [0143] 도 10은 자동 접안 조선에 있어서의 제어 과정 S16의 상세를 나타내는 플로차트, 도 11은 선체 운동의 좌표계를 나타내는 도면이다. 도 11에 있어서, 공간 고정 좌표계 o<sub>0</sub>-x<sub>0</sub>y<sub>0</sub>z<sub>0</sub>은, x<sub>0</sub>을 북쪽, y<sub>0</sub>을 동쪽 방향으로 취한다. 또, 선체 고정 좌표계의 원점 o를 선체의 미드십(midship) 위치에 취한다.
- [0144] 퓨어퍼슈트 계산 수단(30)은, 선박 정보 취득 수단(20)이 제2 선박 정보 취득 과정 S15에서 취득한 선박의 위치, 선수 방위 및 속도에 기초하여, 선박의 진행 방향의 계획 경로 상에 소정의 조건을 만족시키는 목표점을

계산하거나, 또는 목표점의 방위를 계산한다(푸어퍼슈트 계산 과정 S21).

[0145] 푸어퍼슈트를 선박에 적용하는 경우, 목표 방위각을 조타에 의해 추종할 필요가 있기 때문에, 목표 방위각에 대한 PD 제어의 HCS(Heading Control System)를 조합한다. 이 때, 선박(자선(自船))으로부터 목표점까지의 상대 방위각을  $\alpha$ 로 하면, 선수 방위각에 대한 PD 제어의 HCS에 의한 지령 타각을 최대 $\pm 45^\circ$ 로 해서, 아래 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

[0146] [수학식 3]

$$\delta^* = clip(K_P[\alpha - \psi]_{-180^\circ, 180^\circ} - K_D r, -45^\circ, 45^\circ) \quad \dots (3)$$

[0148] 여기서,  $K_P$ 와  $K_D$ 는 각각 HCS의 비례 계인과 미분 계인을 표시하고,  $[x]_{-180^\circ, 180^\circ} = (x + 180^\circ \bmod 360^\circ) - 180^\circ$ 은 각도  $x$ [deg]를  $[180^\circ, -180^\circ]$ 의 범위에 들게 하는 연산을 표시한다.

[0149] 비례 계인과 미분 계인은, 예를 들면 시뮬레이션 및 실선 계측(實船計測)의 결과로부터  $K_P=3.0$ ,  $K_D=1.0$ 으로 한다. 한편, 통상 속력에 대한  $K_P$ 의 설정은 2.0 정도이다. HCS의 계인 설계에서는, 푸어퍼슈트가 경로의 끝(선단)을 보고 제어한다는 점에서 미분 제어적인 작용을 하기 때문에, 통상의 보침(保針) 제어가 불안정하게 되지 않는 범위에서 경로 상의 가장 곡률이 큰 구간의 추종성을 고려해서  $K_P$ 를 큰 값으로 설정하는 것에 의해, 외란에 대한 로버스트성(강인함)과 경로 추종 성능을 개선할 수가 있다.

[0150] 푸어퍼슈트의 유일한 파라미터인 전방 주시 거리는, 선박의 선박 정보 취득 수단(20) 중 위치 센서의 설치 위치에서 본 경로 상의 전방에 있는 목표점과의 거리로서 정의된다. 다만, 외란의 영향으로, 선체 위치와 경로 상의 최접근 거리가 설정한 전방 주시 거리 이상으로 된 경우는, 경로 상의 최접근 점을 목표점으로 한다. 전방 주시 거리는, 도 3에 나타내는 바와 같은 일정 곡률 반경을 가지는 경로를 추종하는 제어의 시뮬레이션 및 실선 실험에 의한 결과에 기초하여, 예를 들면 수직선(垂線)간 길이  $L_{pp}$ 에 대해서 1.6배로 설정한다.

[0151] 반면에, 회두 모드로 제어되는 제 3 구분 경로(1C) 이후는, 선속이 낮고, 목표 방위에의 추종이 어려워진다. 그 때문에, 푸어퍼슈트 계산 수단(30)에서는, 푸어퍼슈트 계산된 목표점의 방위에 보정각  $\alpha_{add} = -5$ [deg]를 가산해서 HCS의 계산을 행하고, 목표로 하는 접안 위치에 있어서의 방위를 조정한다.

[0152] 푸어퍼슈트 계산 과정 S21 후, 자동 조선 계산 수단(40)은, 목표점 또는 목표점의 방위와, 선박의 위치 또는 선수 방위와, 속도에 기초하여 선박의 조타각을 계산한다(자동 조선 계산 과정 S22).

[0153] 이와 같이, 제2 선박 정보 취득 과정 S15에 있어서 선박의 속도를 취득하고, 푸어퍼슈트 계산 과정 S21 및 자동 조선 계산 과정 S22에 있어서 속도를 이용하여 계산을 행함으로써, 속도에 따라 선박을 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.

[0154] 제어 수단(50)은, 자동 조선 계산 수단(40)이 산출한 선박의 조타각(지령 타각)에 기초하여 자동 조선 장치(60)를 제어하고 조타한다. 한편, 조타에는, 바우 트러스터(bow thruster)의 조작이라고 하는 선박의 방위를 제어하는 조작을 포함한다. 푸어퍼슈트와 자동 조타를 조합해서 제어 수단(50)이 선체 위치를 제어하는 것에 의해, 선박은 접안 경로를 정밀도 높게 추종할 수 있다.

[0155] 제어 수단(50)은, 도 7에 나타내는 4개의 제어 구간(1A~1D)에 있어서, 자동 조선 계산 수단(40)의 계산에 의해 제어 구간마다 목표값으로서 설정된 속도(선속)를 얻도록 클러치를 포함하는 속도 제어 수단(61)을 제어한다.

[0156] 속도 제어 수단(61)은, 엔진 텔레그래프 조작(주기(主機) 부하)에 의한 프로펠러 회전수 제어나 클러치 등이지만, 본 실시형태에서는, 주기에 기계적인 부하에 대한 대처나 선박의 안전성을 고려해서, 주기 회전수를 아이들링의 회전수로 고정해서 접안 조선을 행한다. 또, 바우 트러스터도 동작시키지 않는다. 따라서, 속도의 제어는 클러치를 전환함으로써만 가능해진다. 클러치는 전진, 뉴트럴 및 후진의 세 가지 상태를 취할 수가 있다.

[0157] 제어 수단(50)은, 선박 정보 취득 수단(20)이 취득한 정보에 기초하여, 선박에 탑재된 선박 정보 취득 수단(20) 중 위치 센서로부터 접안 위치(잔교(2))까지의 직선 거리  $D_{berth}$ 가 접안 위치로부터 제1 구분 경로(1A)와 제2 구분 경로(1B)의 경계 위치(제어 모드의 전환 위치)까지의 직선 거리인 제1 거리  $D_1$ 보다도 큰지의 여부를 판정한다(제1 거리 판정 과정 S24).

- [0158] 제어 수단(50)은, 제1 거리 판정 과정 S24에 있어서 「YES」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제1 거리  $D_1$ 보다도 크다고 판정된 경우는, 경로 추종 모드로 제어한다. 경로 추종 모드는 항상 클러치를 전진으로 한다.
- [0159] 반면에, 제어 수단(50)은, 제1 거리 판정 과정 S24에 있어서 「NO」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제1 거리  $D_1$  이하로 판정된 경우는, 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제2 구분 경로(1B)와 제3의 구분 경로(1C)의 경계 위치(제어 모드의 전환 위치)까지의 직선 거리인 제2 거리  $D_2$ 보다도 큰지의 여부를 판정한다(제2 거리 판정 과정 S25).
- [0160] 제어 수단(50)은, 제2 거리 판정 과정 S25에 있어서 「YES」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제2 거리  $D_2$ 보다도 크다고 판정된 경우는, 뉴트럴 항행 모드로 제어한다. 뉴트럴 항행 모드에 있어서 제어 수단(50)은, 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_1$ 보다도 큰지의 여부를 판정한다(제1 속도 판정 과정 S26). 소정 속도  $u_1$ 은 예를 들면 1.0[m/s]로 한다.
- [0161] 제어 수단(50)은, 제1 속도 판정 과정 S26에 있어서 「YES」, 즉 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_1$ 보다도 크다고 판정된 경우는, 클러치를 뉴트럴로 한다. 반면에, 제1 속도 판정 과정 S26에 있어서 「NO」, 즉 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_1$  이하로 판정된 경우는, 클러치를 전진으로 한다.
- [0162] 이와 같이 뉴트럴 항행 모드에 있어서의 클러치 상태는, 뉴트럴을 기본으로 하고, 강한 맞바람(역풍) 등으로 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_1$  이하까지 떨어졌을 때는 전진으로 전환한다.
- [0163] 제어 수단(50)은, 제2 거리 판정 과정 S25에 있어서 「NO」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제2 거리  $D_2$  이하로 판정된 경우는, 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제3 구분 경로(1C)와 제4 구분 경로(1D)의 경계 위치(제어 모드의 전환 위치)까지의 직선 거리인 제3 거리  $D_3$ 보다도 큰지의 여부를 판정한다(제3 거리 판정 과정 S27).
- [0164] 제어 수단(50)은, 제3 거리 판정 과정 S27에 있어서 「YES」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 제3 거리  $D_3$ 보다도 크다고 판정된 경우는, 회두 모드로 제어한다. 회두 모드에 있어서 제어 수단(50)은, 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_2$ 보다도 큰지의 여부를 판정한다(제2 속도 판정 과정 S28). 소정 속도  $u_2$ 는 예를 들면 1.0[m/s]로 한다.
- [0165] 제어 수단(50)은, 제2 속도 판정 과정 S28에 있어서 「YES」, 즉 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_2$ 보다도 크다고 판정된 경우는, 클러치를 뉴트럴로 한다. 반면에, 제2 속도 판정 과정 S28에 있어서 「NO」, 즉 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_2$  이하로 판정된 경우는, 목표 방위각  $\alpha$ 에 대해서, 우현접안(右舷付) 시는  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}]$ 인지의 여부, 좌현접안(左舷付) 시는  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}]$ 인지의 여부를 판정한다(목표 방위각 판정 과정 S29).
- [0166] 제어 수단(50)은, 목표 방위각 판정 과정 S29에 있어서 「YES」, 즉 목표 방위각  $\alpha$ 에 대해서,  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}]$ (우현접안 시)이거나, 또는  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}]$ (좌현접안 시)이라고 판정된 경우는, 클러치를 전진으로 한다.
- [0167] 반면에, 제어 수단(50)은, 목표 방위각 판정 과정 S29에 있어서 「NO」, 즉 목표 방위각  $\alpha$ 에 대해서,  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}]$ (우현접안 시)이 아니거나, 또는  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}]$ (좌현접안 시)이 아니라고 판정된 경우는, 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 소정 거리  $D_f$ (예를 들면 50 m)보다도 크면서, 또한  $|\alpha - \psi| > 5[\text{deg}]$ 인지의 여부를 판정한다(거리·각도 판정 과정 S30).
- [0168] 제어 수단(50)은, 거리·각도 판정 과정 S30에 있어서 「YES」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 소정 거리  $D_f$ 보다도 크면서, 또한  $|\alpha - \psi| > 5[\text{deg}]$ 라고 판정된 경우는, 클러치를 전진으로 한다.
- [0169] 반면에, 제어 수단(50)은, 거리·각도 판정 과정 S30에 있어서 「NO」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{berth}$ 가 소정 거리  $D_f$  이하이거나, 또는,  $|\alpha - \psi| > 5[\text{deg}]$ 가 아니라고 판정된 경우는, 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_3$ 보다도 작은지의 여부를 판정한다(제3 속도 판정 과정 S31). 소정 속도  $u_3$ 은 예를 들면 0.3[m/s]로 한다.
- [0170] 제어 수단(50)은, 제3 속도 판정 과정 S31에 있어서 「YES」, 즉 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도  $u_3$ 보다도 작다고 판정된 경우는, 클러치를 전진으로 한다. 반면에, 제3 속도 판정 과정 S31에 있어서 「NO」, 즉 전후 방향

속도  $u$ 가 소정 속도  $u_3$  이상으로 판정된 경우는, 클러치를 뉴트럴로 한다.

- [0171] 이와 같이 회두 모드에 있어서의 클러치 상태는, 기본적으로 뉴트럴로 하고, 소정의 조건을 만족시키는 경우에 전진으로 전환한다.
- [0172] 한편, 회두 모드의 다음에 정지 모드가 예정되어 있는 경우에는, 회두 모드인 동안에 소정 속도까지 속도를 줄여(늦추어) 두는 것이 바람직하다.
- [0173] 제어 수단(50)은, 제 3 거리 판정 과정 S27에 있어서 「NO」, 즉 접안 위치까지의 거리  $D_{\text{berth}}$ 가 제3 거리  $D_3$  이하로 판정된 경우는, 정지 모드로 제어한다. 정지 모드에 있어서 제어 수단(50)은, 접안 위치까지의 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 소정 거리  $x_1$ 보다도 크면서, 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도(예를 들면 0.5[m/s])보다도 큰지의 여부를 판정한다(제1 거리·속도 판정 과정 S32).
- [0174] 제어 수단(50)은, 제1 거리·속도 판정 과정 S32에 있어서 「YES」, 즉 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 소정 거리  $x_1$ 보다도 크면서, 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도보다도 크다고 판정된 경우는, 클러치를 후진으로 한다.
- [0175] 반면에, 제어 수단(50)은, 제1 거리·속도 판정 과정 S32에 있어서 「NO」, 즉 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 소정 거리  $x_1$ 보다도 작거나, 또는 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도 이하로 판정된 경우는, 접안 위치까지의 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 소정 거리  $x_2$ 보다도 크면서, 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도(예를 들면 0.1[m/s])보다도 큰지의 여부를 판정한다(제2 거리·속도 판정 과정 S33).
- [0176] 제어 수단(50)은, 제2 거리·속도 판정 과정 S33에 있어서 「YES」, 즉 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 소정 거리  $x_2$ 보다도 크면서, 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도보다도 크다고 판정된 경우는, 클러치를 후진으로 한다.
- [0177] 반면에, 제어 수단(50)은, 제2 거리·속도 판정 과정 S33에 있어서 「NO」, 즉 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 소정 거리  $x_2$  이하이거나, 또는 전후 방향 속도  $u$ 가 소정 속도 이하로 판정된 경우는, 접안 위치까지의 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 0보다도 작으면서, 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 0[m/s]보다도 작은지의 여부를 판정한다(제 3 거리·속도 판정 과정 S34).
- [0178] 제어 수단(50)은, 제 3 거리·속도 판정 과정 S34에 있어서 「YES」, 즉 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 0보다도 작으면서, 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 0[m/s]보다도 작다고 판정된 경우는, 클러치를 전진으로 한다.
- [0179] 반면에, 제어 수단(50)은, 제 3 거리·속도 판정 과정 S34에 있어서 「NO」, 즉 거리  $x_{\text{berth}}$ 가 0 이상이거나, 또는 전후 방향 속도  $u$ 가 0[m/s] 이상으로 판정된 경우는, 클러치를 뉴트럴로 한다.
- [0180] 이와 같이 최후의 정지 모드에서는 전후 방향 속도  $u$ 가 예를 들면 0.1[m/s] 이하로 될 때까지 단계적으로 클러치를 후진으로 넣는다. 또, 맞바람 등으로 접안 바로 앞  $x_{\text{berth}} < -0.0[\text{m}]$ 에서  $u < 0[\text{m/s}]$ 로 된 경우는, 클러치를 전진으로 넣는다. 이러한 조건들에 들어맞지 않는 경우는 클러치를 뉴트럴로 한다.
- [0181] 이와 같이 구분 경로에 따른 제어 모드가 행해짐으로써, 특히 접안을 포함하는 도착점에 이르는 계획 경로에 대해서, 구분 경로에 따라 모드를 전환해서 제어를 행하여, 도착점까지 선박을 정밀도 높게 추종시킬 수가 있다.
- [0182] 또, 자동 조선 계산 과정 S22에서 선박의 계획 경로를 항주하는 속도를 계산하고, 계산한 속도에 기초하여, 자동 조선 장치(60)의 클러치를 포함하는 속도 제어 수단(61)을 제어함으로써, 클러치 등의 속도 제어 수단(61)으로 속도를 조절하여, 예를 들면 접안을 포함하는 도착점에서의 선박의 유도를 용이하게 할 수 있다. 특히 제 4 구분 경로(1D)의 정지 모드 이외에서는, 주기에의 과도한 부하를 방지하기 위해 클러치의 후진 조작을 제한해서 뉴트럴 항행에 의한 감속을 기본으로 하고, 제 3 구분 경로(1C)의 회두 모드에서는, 목표 방위각과 선수 방위각의 차가 크게 되더라도 선속이 충분히 작은 상태가 아니라면 프로펠러 후류를 타에 맞히는 것에 의한 급선회를 행하지 않는 것이 바람직하다.
- [0183] 또, 선박의 자동 유도 시스템은, 접안 조선 중의 선속과 위치 제어를 분리하고, 접안 위치까지의 경로를 설정해서 추종한다. 이와 같은 경로 추종에 의한 접안 조선을 행함으로써, 승조원 등은, 미리 계획 경로(접안 경로)를 확인할 수 있음과 함께, 경로로부터의 편차를 확인함으로써 자동 제어가 정상적으로 작동되고 있는지를 확인할 수 있다. 한편, 접안 경로나 경로로부터의 편차는 표시 수단(70)에 표시된다. 표시 수단(70)에는, 그밖에(其他), 선박의 위치, 선수 방위, 목표점, 목표점의 방위, 선박의 속도, 기상 해상 정보, 계산된 외력 등이 표시된다.

- [0184] 또, 경로에 의해서 잔교(2)에의 어프로치 시의 각도를 설정할 수 있는 경로 추종 제어로 함으로써 경로 계획의 문제와, 제어의 안정성의 문제를 잘라 나누어(분리해서) 설계할 수 있다.
- [0185] 또, 선박 정보 취득 수단(20)이 제2 선박 정보 취득 과정 S15에서 선박 주변의 기상 해상 정보를 취득하고, 자동 조선 계산 수단(40)이 자동 조선 계산 과정 S22에 있어서 기상 해상 정보에 기초한 선박에 대한 외력을 가미해서 조타각 및 속도를 보정할 수도 있다. 외력을 가미해서 보정한 조타각 및 속도에 따라 선박을 보다 정밀도 높게 계획 경로에 추종시킬 수가 있다.
- [0186] 외력의 계측에 있어서는, 선박이 변침이나 가속, 감속 등 하고 있을 때는, 정밀한 측정이 어렵기 때문에, 뉴트럴 항행 모드 등, 일정 속도로 직진하고 있는 동안에 계측하며, 그 결과를 이용하여 조타각 및 속도를 보정하는 것이 바람직하다.
- [0187] 이와 같이, 퓨어퍼슈트와 자동 조선 장치(60)를 조합하여 계획 경로를 추종하는 자동 유도는, 접안과 같은, 곡선을 이루는 계획 경로에 따라 정밀한 제어를 행하는 경우에, 특히 유효하다.
- [0188] 한편, 상기에서는 주로 선박의 자동 유도 방법 및 자동 유도 시스템에 대하여 설명했지만, 본 발명은, 항주하는 선박의 적어도 조타의 제어를 자동적으로 행하는 자동 조선 장치(60)를 이용한 선박의 자동 유도 프로그램으로서, 컴퓨터에, 조건의 입력에 따른 계획 경로 생성 과정 S1, S14와, 선박 정보 취득 과정 S3, S11, S15와, 퓨어퍼슈트 계산 과정 S4, S21과, 자동 조선 계산 과정 S5, S22와, 제어 과정 S6, S16을 실행시키는 선박의 자동 유도 프로그램으로 할 수도 있다. 이것에 의해, 퓨어퍼슈트와 자동 조선 장치(60)를 조합하여, 계획 경로를 추종하는 자동 유도를 행함으로써, 모델 예측 제어와 같이 대량의 계산을 필요로 하는 일 없이, 외란이 있더라도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제하는 프로그램을 제공할 수가 있다.
- [0189] 다음에, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박에 대하여 설명한다. 한편, 상기한 실시형태와 동일 기능 부재 등에 대하여는 동일 부호를 붙여서 설명을 생략한다.
- [0190] 상기한 제1 실시형태에 있어서는, 베지어 곡선을 이용한 경로 계획 알고리즘에 의해 계획 경로(접안 경로)를 생성했지만, 그 알고리즘은 주위의 지형이나 잔교(2) 주위에 있는 얕은 여울 등의 항행 환경을 고려하지 않고 선체 위치와 접안의 목표점으로부터 기하학적으로 경로를 계산하기 때문에, 자신의 초기 위치에 따라서는 실제의 항행이 곤란한 경로가 생성될 가능성이 있다.
- [0191] 그래서, 본 실시형태에서는, 계획 경로 생성 과정 S1, S14에 있어서 해역 정보를 취득하고, 계획 경로 생성 수단(10)에서는 항행 불능인 해역 정보를 가미해서 계획 경로를 계산한다. 「항행 불능인 해역 정보」란, 선박 등의 이동 물체나 부유 물체 등의 장애물, 또는 얕은 여울 등이 존재하여, 항행 불능인 해역에 관한 정보이다. 이것에 의해, 선박의 자동 유도의 안전성을 향상시키고, 또 선박의 자동 유도가 적용 가능한 해역을 넓힐 수가 있다.
- [0192] 취득하는 해역 정보는, 오프 라인에서도 이용 가능한 전자 해도에 의한 것과, LiDAR 등의 센서류에 의해 항행 중에 실패역에서 검출하는 것이 있다. 항행 중에 실패역에서 검출한 해역 정보는 그 자리에서 알 수 있는 새로운 정보이고, 이 새로운 정보에 기초하여 계획 경로 생성 수단(10)이 계획 경로를 재계산할 수가 있다.
- [0193] 본 실시형태에서는, 경로 탐색 알고리즘의 하나인 Hybrid-state A\* 알고리즘을 이용하여, 항행 환경을 고려한 접안 제어에 적절한 계획 경로를 생성한다.
- [0194] Hybrid-state A\* 알고리즘(Hybrid A\*라고도 한다)은, A\*이라 불리는 고전적인 알고리즘을 베이스로 한 경로 탐색을 위한 알고리즘이다. A\*에서는, 우선 탐색 영역을 그리드형으로 분할하고, 골(goal)까지의 경로를 탐색한다. A\*는 그래프 탐색 알고리즘으로 분류되고, 초기 위치를 나타내는 스타트 노드로부터, 주위에 인접한(장애물에 전유(專有)되어 있지 않은) 그리드에 대응하는 노드를 순번대로 찾아가며, 최종적으로 골의 노드까지의 경로를 탐색한다.
- [0195] 탐색에서는, 각 노드의 코스트가 계산된다. 스타트로부터 골까지의 최단 경로를 탐색하는 경우는, 각 노드의 코스트는 그 노드에 이를 때까지의 이동 거리와 따로(별도로) 정의되는 휴리스틱 함수(heuristic function)의 값에 대응한다. 일반적인 휴리스틱 함수는, 골까지의 거리를 돌려보내는 단순한 것이다. 이 코스트가 작아지는 방향으로 노드를 탐색함으로써 골까지의 목적 경로를 찾아내는 것이 A\* 알고리즘이다.
- [0196] Hybrid-state A\*는 세가지 고안(연구)이 이루어져 있다.

- [0197] 첫번째 고안은, 탐색 시에, 사차원의 탐색 공간( $x, y, \theta, r$ )을 사용해서 탐색한다고 하는 것이다. 여기서  $x, y$ 는 원래의 위치 좌표,  $\theta$ 는 이동체의 방향(배의 경우는 선수 방위에 대응),  $r$ 은 경로에 대한 이동 방향으로서 0(전진)과 1(후진)의 2값으로 표시된다. 원래의 이차원 평면으로부터 사차원 공간에서의 탐색으로 함으로써, Hybrid-state A\*의 탐색은, 이차원 공간을 연속적으로 탐색할 수 있고, 얻어지는 궤적은 A\*에서 얻어지는 바와 같은 그리드의 중심을 이은 꺾인선(折線)이 아니라, 연속적인 곡선으로 표현된다. 여기서 도 12는, Hybrid-state A\*의 탐색 방법에 대하여, 고전적인 A\* 알고리즘과의 비교도이며, 도 12의 (a)는 고전적인 A\* 알고리즘의 이산적인 상태를 나타내고, 도 12의 (b)는 Hybrid-state A\* 알고리즘의 연속적인 상태를 나타내고 있다.
- [0198] 두번째 고안은, 반면에, 탐색하는 차원이 늘어남으로써 증대하는 계산 시간을 경감하여 보다 효율적으로 탐색을 행하기 위해서, 동적 계획법을 이용한 코스트 맵을 휴리스틱 함수로서 이용한다고 하는 것이다. 이것에 의해, 뒤엎혀 있는(복잡한) 지형이더라도, 골까지의 경로를 효율적으로 탐색할 수 있다.
- [0199] 또한, 사차원 공간에서의 탐색에 있어서도, 하나 하나의 노드의 탐색은 이산화된 행동 공간 안에서 행해지기 때문에, 그대로는 실제의 연속 공간에서 정의된 골의 자세에 도달하는 일은 없다. 그래서, 세번째 고안은, Analytic Expansion이라 불리는 수법을 도입한다고 하는 것이다. Analytic Expansion에서는, 노드의 탐색에 의해서 구해진 도중까지의 경로로부터, 골까지를 곡선으로 접속하도록 해서 경로를 확장함으로써 종단(終端) 상태의 문제를 해결한다. 통상, 이 경로의 확장에 있어서는, Reeds-Shepp 패스라 불리는 경로 생성 알고리즘이 이용된다. Reeds-Shepp 패스는 주어진 2점의 위치와 방향으로부터, 진행 방향이 정의된 원호와 직선으로 구성되는 최단 경로를 생성하는 알고리즘이다.
- [0200] 여기까지의 스텝을 거쳐서 얻어진 경로의 후보는, 충돌 판정을 행해서 유효한 경로인지의 여부를 판정한다. 역(域) 내에 있다면, 이동체의 형상을 표현하는 장방형 영역에 장애물의 점이 포함되는지 어떤지를 계산해서 충돌의 판정을 행한다. 이 흐름을 반복해서 최종적으로 충돌이 없는 유효한 경로가 찾아내어진(발견된) 시점에서 종료로 된다.
- [0201] 상기한 제1 실시형태에 있어서는, 도 9에 나타내는 바와 같이, 사람이 조선해서 집안시킬 때의 항적 등을 참고로, 4개의 제어점  $B_1, B_2, B_3, B_4$ 의 위치를 설계하고 있다. 이 경로를 생성하는데 있어서 특히 중요한 것이 잔교로부터 50 m 부근의 거리까지의 경로의 곡률이다. 이 구간에서는, 잔교(2)에 대한 자선의 진입 각도가 20도 전후로 되도록 하면서, 부근의 얇은 여울을 피할 필요가 있을 뿐만 아니라, 배의 선회 성능과 경로 추종 제어의 특성을 고려해서, 곡률에도 어느 정도의 제한이 가해지게 된다. 또, 잔교(2)와의 거리도 가깝게 되어 프로펠러 회전수를 떨어뜨리게 되기 때문에, 타효(舵效)가 나빠지는 상황에서 방위각 제어를 하는 것이 요구된다.
- [0202] 이 때문에 Hybrid-state A\* 알고리즘에 의한 탐색을 집안 조선에 적용하는데 있어서는, 베지어 곡선의 경로 시와 마찬가지로 경로의 곡률을 제한하여, 적절한 진입 각도로 되는 집안 경로로 할 필요가 있다. Hybrid-state A\*에 의한 경로 계획에서는, 잔교(2) 부근의 경로는 기본적으로 장애물이 적어지기 때문에, Reeds-Shepp 패스에 의한 경로의 확장이 행해질 가능성이 높다. 따라서 Reeds-Shepp의 곡률을 제한함으로써 적절한 진입 각도를 가진 경로를 생성할 수가 있다.
- [0203] 여기서, 이 경로의 확장을 베지어 곡선에 의한 경로 계획 알고리즘을 사용해서 행하는 것도 가능하지만, 원호와 직선으로 구성된 Reeds-Shepp에는, 그 후의 경로 추종의 제어에 관해서 한 가지 이점을 가진다. 베지어 곡선에 의한 경로는, 기본적으로 곡률이 연속적으로 변화되고 있어 일정하지는 아니다. 반면에 Reeds-Shepp의 경로는 원호와 직선으로 구성되어 있기 때문에, 구간마다 곡률이 일정하게 된다. 경로의 곡률이 일정하면 퓨어퍼슈트를 비롯한 경로 추종의 제어에 있어서 목표로 하는 방위(직선) 혹은 방위의 차(원호)가 일정하게 된다. 배의 경우, 선수 방위의 제어에 오토파일럿을 사용하는 것을 생각하면, 목표값은 일정한 것이 제어의 관점에서는 바람직하다. 목표값이 움직이면(변동하면), 목표 추종 제어의 지연(늦어짐)이 누적되어 제어의 정밀도가 악화될 가능성이 있다. 또, 퓨어퍼슈트에 있어서도, 원래는 경로의 곡률이 일정한 것을 전제로 설계되어 있다. 그 때문에 적절한 곡률로 생성된 Reeds-Shepp 패스는 추종 제어 상의 형편이 좋다.
- [0204] 반면에 Reeds-Shepp 패스는 경로의 진행 방향도 정의되어 있고, 즉 후진해서 추종할 필요가 있는 경로가 생성되는 경우가 있다. 집안 시에 후진을 행하지 않는 경로를 생성할 필요가 있는 경우는, 전진 방향뿐인 경로로 구성되는 Dubins 패스로 치환하거나, Reeds-Shepp 패스의 계산 시에, 전후진 방향의 경로에 대해서, 코스트 맵 등 다른 코스트에 비해 큰 코스트를 부과함으로써 후진하는 경로가 생성되는 것을 억제할 수도 있다.
- [0205] 다음에, 본 발명의 제3 실시형태에 따른 선박의 자동 유도 방법, 선박의 자동 유도 프로그램, 선박의 자동 유도 시스템 및 선박에 대하여 설명한다. 한편, 상기한 실시형태와 동일 기능 부재 등에 대하여는 동일 부호를 붙

여서 설명을 생략한다.

- [0206] 제1 실시형태에 있어서 설명한, 퓨어퍼슈트와 HCS(Heading Control System)를 조합한 경로 추종 제어는, 3 m/s 정도보다 작은 풍속에서는 경로 편차를 작게 할 수 있지만, 반면에 풍속이 그것보다 커지게 되면 풍 외란(風外亂)의 영향이 커져 경로의 편차를 작게 할 수 없게 되는 경우가 있다. 선박의 자동 유도 ODD(Operational Design Domain)를 확대하기 위해서는, 풍속이 커진 상황에서도 경로 편차를 보상할 수 있는 제어계가 필요해진다. 또, 일반 선박에의 적용도 생각하면, 제어계를 설계하기 위해서 필요한 파라미터의 수를 최소한으로 하는 것이 바람직하다.
- [0207] 그래서 본 실시형태에 있어서의 선박의 자동 유도 시스템은, 선박 정보 취득 수단(20)이 기상 해상 정보로서 취득한 풍향 및 풍속에 따른 선박에 대한 외력(풍압력)을 구하고, 외력에 의한 선체 운동을 예측하고, 외력에 의한 선체 운동을 상쇄하는 조타각 또는 속도를 도출해서 바람에 의한 외란을 보상하도록 자동 조선 장치(60)를 제어한다. 이것에 의해, 강풍 시에 있어서도 계획 경로로부터의 편차를 일정 이하로 억제할 수가 있다.
- [0208] 한편, 「외력에 의한 선체 운동을 상쇄하는 조타각 또는 속도」란, 예측한 선체 운동이 발생하기 전에, 그 선체 운동이 일어나지 않도록 하기 위한 조타각 또는 속도이다.
- [0209] 도 13은 퓨어퍼슈트 알고리즘에 의한 경로 추종 제어를 나타내는 도면이다. 퓨어퍼슈트는, 도 13에 나타내어지는 바와 같이, 경로의 조금 앞의 목표점을 향해 가도록 방위를 제어함으로써 추종 제어를 행한다. 방위의 제어는 PD 제어에 의한 HCS(Heading Control System)가 맡는다. 본 제어의 이점은, 제어 파라미터가 적은 것에 의해, 특히 퓨어퍼슈트에 관해서는, 자선 위치로부터 목표점까지의 거리  $L_1$ 를 조정하는 것만으로 설계가 가능하다. 선속에 대하여는, 클러치의 전환에 의한 선속 제어를 이용한다.
- [0210] 본 실시형태에서는, 강풍 하에서의 접안 성능을 향상시키기 위해서, 선속 제어의 조정을 더 행한다. 회두 모드에 있어서, 기본을 뉴트럴로 해서, 예를 들면 다음의 조건을 만족시켰을 때만 전진으로 클러치를 전환한다.
- [0211] A) 목표 방위각  $\alpha$ 에 대해서,  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}] < 0$ 이면서 또한 전후 방향 속도  $u$ 가 1.0[m/s] 이하일 때.
- [0212] B) 목표 방위각  $\alpha$ 에 대해서,  $\alpha - \psi < 0[\text{deg}] < 0$ 이면서 또한 접안점까지의 경로에 따른 거리가 25[m] 이상일 때.
- [0213] C) 전후 방향 속도  $u$ 가 0.3[m/s]일 때.
- [0214] 이것에 의해, 제어 정밀도가 요구되는 회두 모드의 타효를 개선하여, 선수 방위 제어의 안정화를 도모할 수가 있다.
- [0215] 도 14는 바람에 의한 경로 추종 제어의 혼란(흐트러짐)을 나타내는 도면이다. 도 14에서는, 풍 외란에 의한 경로 추종 제어에의 영향으로서, 계획 경로로부터의 편차가 발생하는 모습을 나타내고 있다. 배가 옆(횡방향)으로부터 바람을 받는 경우에, 계획 경로로부터의 일탈(벗어남)이 커진다.
- [0216] 이와 같이, 물에 뜨는 배에서는, 차륜으로 접지하는 자동차와는 달리, 특히 횡풍(橫風)에 의한 횡(橫)슬라이드나 선수 방위의 어긋남 등이 문제로 된다. 이 바람에 의해 발생하는 경로 편차를 경감함으로써 경로 추종 제어의 정밀도를 높일 수가 있다.
- [0217] 자동차 관계의 퓨어퍼슈트에서는, 맞바람이나 순풍(등쪽에서 불어오는 바람)에 의한 저항의 변화를 고려한 것이 많다. 이에 비해 배의 경우는, 횡풍에 의해 연속적으로 외력을 받고, 결과적으로 경로가 점차 변화하는 응답이 느린 제어계이므로, 피드포워드 제어가 유효하게 된다. 그래서 본 실시형태에서는, 외력(풍압력)과 조타에 의해 발생하는 타력(舵力)의 선체 횡방향 성분을 캔슬(상쇄)하는 패드포워드 제어 기구를 경로 추종 제어에 포함시키는(내장하는) 수법을 이용한다.
- [0218] 이 수법을 이용함에 있어서, 조타에 의한 선체에 작용하는 횡력에 대하여, 후술하는 실시예 1에 있어서의 실선 시험의 데이터로부터 구축한 조종 운동 수학 모델을 해석했다. 해석 대상은 아래 표 1에 나타내는, 전진(Forward)·뉴트럴(Neutral)·역회전(Reverse)의 상태에 대응하는 각 운동이다.  $u, v, r$ 는 각각 선체 중앙에 있어서의 전후 방향 속도, 좌우 방향 속도, 회두 각속도이고,  $nP$ 는 프로펠러 회전수이다. 전진과 뉴트럴에 관해서는 주기 아이들링 회전수로 직진 시의 운동 상태를 기준으로 하고 있다. 역회전에 대하여는, 정지 모드에서만 클러치가 역회전으로 들어가기 때문에, 선속이 제로인 상태를 기준으로 해서 해석했다.

표 1

	Forward	Neutral	Reverse
$u$ [m/s]	2.072	2.072	0.0
$v$ [m/s]	0.0	0.0	0.0
$r$ [deg/s]	0.0	0.0	0.0
$nP$ [rps]	3.09	0.0	-3.09

[0219]

[0220]

도 15는 해석 결과를 나타내는 도면이다.  $D_y$ 는 타(키)를 틀었을(선회시켰을) 때의 선체 횡방향에 작용하는 타력을  $F_{dy}$ 로 했을 때에 아래 식(4)의 선형(線形)의 관계식을 만족시키도록 구한 계수,  $\delta$ 는 타각이다.

[0221]

[수학식 4]

$$F_{dy}/(m + m_y) = D_y \delta R \quad \dots (4)$$

[0222]

여기서,  $m$ 은 배의 질량,  $m_y$ 는 Sway 운동의 부가 질량,  $\delta R$ 은 조타량이다. 이 중, 조타량이 제로일 때의  $D_y$ 의 값은 각각 전진 : -0.003272, 뉴트럴 : -0.002771, 역회전 : 0.0으로 되었다. 이 계수를 이용하여 각 클러치 상태에 있어서의 조타에 의해 발생하는 횡력(橫力)을 추정한다.

[0224]

풍압력에 대하여는, 예를 들면 문헌 “Kitamura F. et al. : Estimation of above water structural parameters and wind loads on ships, Ships and offshore structures, 12-8, 2017.” 및 문헌 “키타무라 후미토시(北村文俊), 우에노 미치오(上野道雄), 후지와라 토시후미(藤原敏文) : 선박 풍압력 간이 추정 프로그램에 대하여, 해상 기술 안전 연구소 보고, 제9권, 제3호, pp. 207-213, 2009.”에 기재된 방법을 이용하여 계산할 수 있다.

[0225]

도 16은 실시예 1에 있어서의 실험선의 풍압력 계수를 나타내는 도면이다. 선체 횡방향에 걸리는(가해지는) 풍압력  $Y_A$ 는 풍압력 계수  $C_{AY}$ 를 이용하여 아래 식(5)로 계산된다.

[0226]

[수학식 5]

$$Y_A = \frac{1}{2} \rho_A A_F U_A^2 C_{AY}(\psi_A) \quad \dots (5)$$

[0227]

여기서,  $\rho_A$ 는 공기의 밀도,  $A_F$ 는 수선면(水線面) 상의 구조물의 측면 투영 면적,  $U_A$ 와  $\psi_A$ 는 각각 풍향 풍속계의 설치 위치에 있어서의 외관상의 풍속 및 풍향을 표시한다. 다만,  $\psi_A$ 는 선체에 대한 받음각(迎角)으로서 정의되어 있기 때문에, 도 11의 진풍향  $\psi_w$ 와는 각도 방향의 정(正)의 방향이 반대(逆) 관계에 있다. 또  $\psi_A$ 는 선수 방위로부터의 바람을 0도로 한다.

[0229]

횡방향 풍압력을 캔슬하는 조타량은, 식(4) 및 식(5)로부터  $Y_A=F_{dy}$ 를 푸는 것에 의해 구할 수가 있다. 구해진 타각에 기초하여 전타(轉舵)함으로써, 풍압력의 선체 횡방향 성분을 캔슬할 수 있지만, 어디까지나 추정치이며, 선회 방향의 풍압 모멘트나 조류 등 다른 외란 요소나 센서값의 오차가 생길 가능성이 있다. 이 요인들로 인해 발생하는 오차는, 피드백 기구를 가지는 퓨어퍼슈트와 HCS가 통합해서 보상한다.

[0230]

따라서, 풍압력 보상의 피드포워드 제어부가 계산하는 조타량  $\delta R_{ff}$ 와 퓨어퍼슈트와 HCS의 피드백 제어부로부터 계산되는 조타량  $\delta R_{fb}$ 의 합  $\delta R_{ff} + \delta R_{fb}$ 가 실제로 조타하는 양으로 된다.

[0231]

실시예 1

[0232]

제1 실시형태에 있어서의 퓨어퍼슈트와 HCS에 의한 경로 추종 제어를 이용한 선박의 자동 유도 시스템을 이용한 자동 접안을 실증하기 위해, 일본 히로시마현 오노미치시 인노시마(廣島縣尾道市因島) 주변 해역(인노시마 마리나)에서 실선 실험을 행했다.



[0233] 실험을 행한 해역에서는 부잔교(浮棧橋) 근처에 수심이 얇은 개소가 있고, 이것을 피하도록 접안용의 경로를 그을 필요가 있다. 본 실험에서는 부잔교와 가상잔교에의 우현접안에 의한 접안을 행했다.

[0234] 실선에 의한 자동 접안 조선을 행함에 있어서, 저속 시에 받는 외란의 영향이 커질 것으로 예상되는 소형 선박을 대상으로 해서 개발을 행했다. 또한 대상 선박의 사양으로서 일반적인 1축 1타선(舵船)을 상정하고, 이와 같은 조건에 합치하는 것으로서, 해상 기술 안전 연구소가 관리하는 실험선 「카미네(神峰)」를 공시선(供試船)으로 했다. 실험시의 카미네의 주요 항목(Subjects)을 아래 표 2에 나타낸다.

표 2

Subjects	Value
Length overall, $L_{oa}$ [m]	16.5
Ship length between perpendiculars, $L_{pp}$ [m]	14.9
Ship breadth (1.0WL), $B$ [m]	4.38
Ship draft, $d_m$ [m]	0.502
Trim, $\tau$ [m]	0.348
Diameter of propeller, $D$ [m]	1.0
Side area of rudder, $A_R$ [m <sup>2</sup> ]	0.780
Height of rudder, $H_R$ [m]	1.05
Mass, $m$ [ton]	21.53
Block coefficient, $C_b$	0.642

[0235]

[0236] 공시선은, 선박의 자동 유도에 이용하는 선박 정보 취득 수단으로서, 위치 정보에 준텐초(準天頂) 위성 시스템(QZSS) 「미치비키」 대응의 센티미터급 측위 보강 서비스(CLAS) 수신기와, 방위각 센서에 사테라이트 콤파스(sateraito compass)를 구비한다. 선박 정보 취득 수단은, 그밖에 프로펠러 회전수, 엔진 회전수, 주기 부하의 추정값 및 풍향·풍속 등의 각종 데이터를 리얼타임으로 모니터링 할 수 있다.

[0237] 도 17은 선체 제어 시스템의 구성도이다.

[0238] 공시선은, 제어 수단으로서 PC(제어용 퍼스널 컴퓨터) 및 PLC(Programmable Logic Controller)를 구비하고, PC로부터 실험선을 제어 가능하게 하기 위해서, 신뢰성과 확장성이 높은 PLC를 중심으로 한, 제어 시스템이 구축되고, PC로부터 유압 조타 시스템과 주기 원격 조종 시스템을 감시 및 조작 가능하다.

[0239] PC로부터 PLC를 경유해서, 선박 정보 취득 수단이 취득한 정보의 수신과 통상의 접안 조선으로 사용하는 타(키), 주기 가버너(엔진 텔레그래프 지시값에 대응), 클러치 및 트러스터 모두를 조작할 수가 있다.

[0240] 또, PLC에 접속된 표시 수단(터치 패널)으로부터도 선박 정보 취득 수단이 취득한 정보를 모니터링할 수 있다. 또, 표시 수단에 접속된 스피커로부터의 음성 출력으로, 부두로부터의 거리나 풍황(風況), 현재의 제어 상황을 안내하는 기능을 가진다.

[0241] 또한, PC에 의한 자동 제어 중, 조선자(操船者)는 임의의 타이밍에 PC로부터의 통신을 차단하여 수동 조선으로 전환할 수 있을 뿐만 아니라, 터치 패널로부터 기동할 수 있는 긴급 정지 기구를 안전책으로서 가진다.

[0242] 시스템을 개발하는데 있어서, 안전성의 면에서 제어 프로그램의 개발 중에 실기(實機)에 잇는 일 없이 육상에서 실제의 프로그램의 동작을 확인할 수 있으면, 알고리즘 이외의 통신 부분을 포함한 제어 프로그램 전체의 결함 유무나 성능을 사전에 검증할 수가 있다. 그래서, 선체 운동을 시뮬레이션하는 기능을 구비한 PLC의 통신 에뮬레이터를 작성했다. 이 통신 에뮬레이터는, 풍향을 시뮬레이션하는 기능과 조종 운동 수학 모델에 기초한 운동 예측하는 기능을 가지고, 실기에서 사용하는 PLC-PC 간의 시리얼 통신과 동일한 프로토콜로 통신 및 제어할 수가 있다.

[0243] 풍황은 평균값으로서 설정한 풍향·풍속에 기초하여, 각각 정규 분포와 Weibull(와이불) 분포에 따라서 그 변동을 시뮬레이션할 수가 있다. 또, 물결(波)이나 조류(潮流)에 대하여는, 만(灣) 내에서는 접안 조선에 영향이 작다고 해서 이번에는 취급하지 않기로 했다.

[0244] 알고리즘의 설계에 있어서, 저속 항행 시의 응답과 외란, 특히 바람의 영향을 평가하기 위해서 아래 식(6)과 같

은 MMG 모델을 베이스로 한 조종 운동 수학 모델을 이용했다.

[0245] [수학식 6]

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - m(vr + x_G r^2) &= X \\ (m + m_y) \dot{v} + m x_G \dot{r} + (m + m_x)ur &= Y \\ (I_{zz} + m x_G^2 + J_{zz})\dot{r} + m x_G(\dot{v} + ur) &= N \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

[0246]

[0247]

다만,  $m$ 은 선박의 질량,  $I_{zz}$ 는 선체 무게중심(重心)에 관한 선수동요(船首搖)(yawing)의 관성 모멘트,  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $J_{zz}$ 는 각각 전후 방향과 좌우 방향의 부가 관성 질량과 부가 관성 모멘트,  $x_G$ 는  $x$ 축 방향의 무게중심 위치를 표시한다.  $u$ ,  $v$ ,  $r$ 은 각각 선체 중앙에 있어서의 전후 방향 속도, 좌우 방향 속도, 회두 각속도를 표시하고, 속도 성분의 시간 미분(微分)을 도트로 표시한다.  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ 은 각각 선박에 작용하는 전후동요(前後搖)(surge), 좌우동요(左右搖)(sway), 선수동요(yaw) 방향의 외력이며 아래 식(7)로 표시된다.

[0248] [수학식 7]

$$\left. \begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_A + X_S \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_A + Y_S \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_A + N_S \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

[0249]

[0250]

다만,

[0251]

$X_H$ ,  $Y_H$ ,  $N_H$ : 선체에 작용하는 유체력

[0252]

$X_P$ ,  $Y_P$ ,  $N_P$ : 프로펠러에 의한 유체력

[0253]

$X_R$ ,  $Y_R$ ,  $N_R$ : 타(키)에 의한 유체력

[0254]

$X_A$ ,  $Y_A$ ,  $N_A$ : 선체에 작용하는 풍압력

[0255]

$X_S$ ,  $Y_S$ ,  $N_S$ : 바우 트러스터에 의한 유체력이다.

[0256]

선체의 유체력의 계산에는, 문헌 “Y. Yoshimura et al.: UNIFIED MATHEMATICAL MODEL FOR OCEAN AND HARBOUR MANOEUVRING, Proceedings of MARSIM 2009, 2009.” 를 참고로, 필요한 계수가 적고, 저속 시의 대사항(大斜航) 상태의 횡방향 및 회두 방향의 유체력을 표현할 수 있는 아래 식(8)의 모델을 이용했다.

[0257] [수학식 8]

$$\left. \begin{aligned} X_H &= \frac{1}{2} \rho L d \left[ \begin{aligned} &\{X_{0F}' + (X_{0A}' - X_{0F}')|\beta|/\pi\}uU \\ &+(m_y' + X_{vr}')Lvr \end{aligned} \right] \\ Y_H &= \frac{1}{2} \rho L d \left[ \begin{aligned} &Y_v'v|u| + Y_r'Lur \\ &-\frac{C_D}{L} \int_{\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} |v + C_{rY}rx|(v + C_{rY}rx)dx \end{aligned} \right] \\ N_H &= \frac{1}{2} \rho L^2 d \left[ \begin{aligned} &N_v'vu + N_r'L \cdot |u|r \\ &-\frac{C_D}{L^2} \int_{\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} |v + C_{rN}rx|(v + C_{rN}rx)xdx \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

[0258]

[0259]

여기서,  $X_{0F}'$ 는 전진 시의 저항 계수,  $X_{0A}'$ 는 후진 시의 저항 계수,  $X_{vr}'$ ,  $Y_v'$ ,  $Y_r'$ ,  $N_v'$ ,  $N_r'$ 는 유체력의 미계수(微係數)이며,  $C_D$ ,  $C_{rY}$ ,  $C_{rN}$ 은 Cross-flow drag(크로스플로 드래그)에 관한 수정 계수를 표시한다.

- [0260] 부가 질량은 모토라(元良) 차트의 중회귀식, 전진 및 후진 시의 저항 계수는, 실선의 아이들링 항행 시의 속력 시험 결과 및 과거의 수조 시험 결과로부터 결정했다.
- [0261] 프로펠러 추력의 계산에 이용하는  $K_T$ - $J$ 곡선은, MAU 프로펠러의 성능 추정 근사식 및 B-Series 프로펠러의 제2 내지 제4 상한(象限)까지의 특성을 추정하기 위한 데이터베이스에 기초하여 구했다.
- [0262] 프로펠러의 회전수에 대하여는, 접안 위치 근방에 있어서는 주기 아이들링 상태에서의 클러치의 전환에 의한 계어를 상정하고, 실선의 계측으로부터 클러치의 전진, 뉴트럴, 후진에 대해서 각각 3.1, 0, -3.1[rps]에 대응한다고 하며, 클러치 전환의 시간 지연은 무시했다.
- [0263] 또한 프로펠러 역회전 시의 계산은, 발생하는 불균형 유체력을 취급할 수 있고, 역회전 시의 타(키)의 유체력을 고려할 수 있는 모델을 도입했다.
- [0264] 또, 클러치를 뉴트럴로 설정했을 때의 추력 계산에서는, 프로펠러 회전수가 제로로 되기 때문에, 전진 상수(定數)  $J$ 의 계산을 생략하고, 프로펠러 추력  $T=X_p/(1-t_p)$ 에 관해서는 제로, 타에의 전후 방향 유효 유입 속도  $u_R$ 을 정의에 기초하여  $u_R=(1-w_R)u$ 로 해서 계산했다.
- [0265] 타각  $\delta$ 의 변화는 지령 타각  $\delta^*$ 에 대한 일차 지연계로 했다. 풍압력 계수는 적은 입력 파라미터로 추정이 가능한 수법을 이용하여 결정했다.
- [0266] 도 18은 선회 시험의 계측 결과와 조정/시뮬레이션 결과의 비교를 나타내는 도면이다.
- [0267] 유체력 미계수 등의 동정(同定)을 행하기 위해서, 아이들링 상태의 프로펠러 회전수 3.1[rps]를 중심으로, 타각 20도, 40도의 선회 시험,  $\pm 10$ 도,  $\pm 20$ 도의 Z시험 등의 실선 계측을 실시했다.
- [0268] 다음에 각종 추정식이나 데이터베이스 등을 참조하면서, 식(6)을 이용하여 시뮬레이션을 행하고, 실선 실험의 계측값과 비교해서 계수의 조정을 행했다. 이 순서에 따른 동정 결과를 도 18 및 아래 표 3에 나타낸다. 한편, 도 18에 있어서는, 타각 : 45도, 평균 진풍속(眞風速) 2.08[m/s], 평균 진풍향(眞風向) : 348.4[deg]이다. 조정 작업에서는 계측하지 못한 조류의 영향을 제외했기 때문에 항적에 차가 있지만, 속도 성분  $u$ ,  $v$ ,  $r$ 은 실선의 운동을 대체로 재현할 수 있음을 알 수 있다.

**표 3**

	Ahead	Astern
$m'_x$	0.01897	
$m'_y + X'_{vr}$	0.2470	0.1647
$Y'_v$	-1.232	-0.5547
$Y'_r$	0.1058	0.04759
$N'_v$	-0.07905	-0.09486
$N'_r$	-0.1343	-0.0614
$C_D$	0.1853	0.08340
$C_{rY}$	1.413	0.6362
$C_{rN}$	3.337	1.525

- [0269]
- [0270] 구축한 조종 운동 수학 모델을 이용하여 알고리즘의 개발을 행하고, 실험선에 적용했다.
- [0271] 실험선을 이용한 자동 유도 시스템에 의한 자동 접안의 검증은, 부잔교로부터 30 m 정도 떨어진 지점을 위치 좌표의 원점으로 하는 「가상잔교(假想棧橋)」와, 실제의 부잔교를 목표로 하는 「실잔교(實棧橋)」의 두 가지 설정으로 행했다. 이 두 가지 조건의 접안 조선에 있어서, 접안 목표 지점 이외의 차이는 없다.
- [0272] 도 19는 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험 결과를 나타내는 도면, 도 20은 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험에 있어서 선박 정보 취득 수단이 취득한 각 계측값을 나타내는 도면이다.

- [0273] 도 19에서는, 왼쪽에 실제의 항적과 선체 위치 및 그 때의 진풍향 풍속을 10초 간격으로 그리고, 우측에 항적에 대응하는 클러치 상태를 색으로 나타내고 있다.
- [0274] 여기서, 도 20 중의 Distance는, 접안 목표 위치와 자선의 준텐초(準天頂) 위성 시스템 위치의 직선 거리를 나타낸다(후술하는 도 22, 도 24도 마찬가지). 항적을 보면, 잔교와의 거리가 가까워짐에 따라서 경로와의 편차는 감소되고 있다. 반면에, 회두 모드인 동안에는 단속적(斷續的)으로 클러치를 전진으로 넣고 선수 방위각을 조정하고 있다는 것을 알 수 있다.
- [0275] 도 21은 실잔교에서의 자동 접안 조선의 실험 결과를 나타내는 도면, 도 22는 실잔교에서의 자동 접안 조선의 실험에 있어서 선박 정보 취득 수단이 취득한 각 계측값을 나타내는 도면이다.
- [0276] 가상잔교의 실험 시와는 달리 풍향이 대략 반대로 되어 있지만, 경로에의 추종성은 변함없이 양호하다.
- [0277] 도 23은 강풍 하에 있어서의 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험 결과를 나타내는 도면, 도 24는 강풍 하에 있어서의 가상잔교에서의 자동 접안 조선의 실험에 있어서 선박 정보 취득 수단이 취득한 각 계측값을 나타내는 도면이다.
- [0278] 바람에 대한 추종 성능을 보기 위해서, 강풍 하에서의 가상잔교에의 접안 조선의 실험을 행했다. 평균 진풍속은 5.34 [m/s]이고, 8.0 [m/s]를 넘어가는 장면이 있었다. 이 상황에서는, 경로로부터의 편차는 커지지만 뉴트럴 항행 모드 이후이더라도 편차가 증대하는 일은 없이 접안할 수가 있었다. 이것은 조타량을 크게 함으로써, 경로의 편차량을 보상하고 있다고 생각된다.
- [0279] **실시예 2**
- [0280] 제2 실시형태에 있어서의 Hybrid-state A\*를 이용한 접안 경로의 생성을 실증하기 위해서, 실험 해역으로서 인노시마 주변의 해역을 대상으로 해서 계산을 행했다. 도 25는 Hybrid-state A\*를 이용하여 생성한 접안까지의 계획 경로를 나타내는 도면이다. 이 예에서는 점으로 구성되는 장애물을 피하는 경로가 선으로 나타내어져 있다. 이 계산예에서는, 장애물로서, 육지와 잔교 부근의 얇은 여울을 둘러싸도록(에워싸도록) 점을 배치하고 있다.
- [0281] 지도 상에 중첩된 맵은 동적 계획법을 이용하여 계산된 코스트 맵을 표시하고 있고, 하부에 0~800의 수치로 표시하고 있는 바와 같이, 색이 진한(짙은) 개소일수록 코스트가 큰 것을 나타내고 있다.
- [0282] 잔교(2)에 가까울수록 코스트가 작아지지만, 반면에 장애물들 사이에 둔 위치에서는 잔교(2)와의 직선 거리가 작더라도 잔교(2)까지는 장애물을 돌아들어갈 필요가 있기 때문에, 원래(일반적으로) 코스트가 커지는 경향을 알아챌(간파할) 수 있다. 가장 중요한(핵심적인) 계획 경로에 대하여는, 초기 위치로부터 방파제나 얇은 여울이 있는 영역을 돌아들어가도록 해서 잔교(2)로 이어져 있는 모습이 나타내어져 있고, 목적으로 하는 접안 경로를 얻을 수 있게 되어 있다. 얻어진 접안 경로를 자세히 보면, 스타트 위치로부터 얇은 여울의 북측 근방까지는 Hybrid-state A\*의 노트 탐색에 의해 얻어진 경로로, 그곳으로부터 잔교(2)까지를 구성하는 원호와 직선으로 구성되는 경로는 Reeds-Shepp 패스로 되어 있다. Hybrid-state A\*의 탐색에 의해 확장된 총 노트수는, 874개였다.
- [0283] 실시예 1에서도 사용한 실험선 「카미네」에는, 주위 상황의 감시를 위해서 몇개의 센서가 장비되어 있다. 이 중에서도 LiDAR은 제품에 따라서는 200~300 m 이상의 거리로부터 장애물을 검지할 수가 있다. 카미네에서는 갑판 상에 LiDAR(Velodyne Lidar사제 VLP-32C)를 설치하고 있으며, 실험 시의 계측 데이터를 기록하고 있다. 이 계측 데이터를 사용해서 접안 제어를 위한 경로 생성을 행했다. 이번에 사용하는 데이터는 카미네의 접안 조선 시에 LiDAR로 계측한 데이터 중 1 프레임분의 데이터를 뽑아내고, 센서로부터 20 m 이내의 점과 각 점군(点群)의 LiDAR의 강도(intensity)의 값이 25 이하를 노이즈로서 제외시킨 데이터를 사용하고 있었다. 한편, 계측 시의 날씨는 맑음(晴天)이었다.
- [0284] 도 26은, LiDAR에 의해 계측된 점군을 이용하여 접안 경로를 계산한 예를 나타내는 도면이다. 도 26에 나타내는 예는, 계측 시의 위치로부터 경로를 계산한 것이다. 이 해역에서는 잔교(2)에 가까워지면 침로를 가로막는 듯한 장애물은 없기 때문에, 계산된 경로는 Reeds-Shepp 패스만으로 구성되어 있던 것이 구해지고 있지만, 보다 복잡한 상황이나, 장애물의 반사 강도에 따라서는, 또 다른(상이한) 결과로 될 가능성이 있다.
- [0285] LiDAR을 사용한 장애물 검지에 있어서는, 종종 어떤(임의의) 시각에 점군이 얻어지지 않는 경우가 있으며, 도 26에 나타내는 예에서는 화상 중앙으로부터 왼쪽에 있는 방파제의 선단이 검지되고 있지 않다. 실제로는 이와 같은 놓치고 있는 부분에 대하여는, 계측 거리가 작아짐으로써 검지할 수 있을 가능성이 올라가지만, 해결책으

로서는, 보다 채널수가 많은 LiDAR을 사용하는 것 외에, 과거의 수 프레임 분의 데이터와 합해서 사용하는 등 해서, 일시적으로 계측이 빠진(누락된) 부분의 데이터 보완을 행하여 검지 확률이나 정밀도를 올리는 것이 바람직하다.

[0286] 도 27은, LiDAR의 센서 데이터에 기초하여 장애물과의 충돌을 회피해서 잔교에 이르는 경로를 찾아내는 예로서, LiDAR로 계측한 위치로부터 선체 위치를 의도적으로 바꾸어 경로를 계산한 예를 나타내는 도면이다. 한편, LiDAR의 계측 위치와 선체의 초기 위치가 다른 점은 주의한 상태에서(주의하면서), 실제로는 다른 점군이 얻어질 가능성이 있다.

[0287] 도 27에 나타내는 바와 같이, 잔교(2)의 북측에서 선수 방위가 안벽(岸壁)으로 향해 있는 상태에서부터 조금 선수를 흔들(좌우로 움직인) 후, 선으로 나타내어지는 경로를 따라 후진해서 선수 방위를 잔교(2)로 향하게 하고 나서, 선을 전진해서 추종하여 잔교(2)까지 도달한다고 하는 결과가 얻어졌다. 이 때의 탐색한 총 노드수는 121개이다.

[0288] 이와 같이, LiDAR의 센서 데이터를 이용함으로써 사전에 장애물의 데이터가 주어지지 않은 상황에서도 장애물을 회피하는 경로를 계산할 수 있다. 반면에, 일반적인 LiDAR에서는, 수심(水深)의 정보를 얻을 수 없기 때문에, 항행 가능한 영역은 따로(별도로) 준비할 필요가 있다. 또, LiDAR의 데이터에서는 점군의 위치가 장애물과 일치하고 있기 때문에, 충돌 회피의 관점에서 여유가 있는 경로를 계산하기 위해서는, 충돌 판정에 이용하는 자선을 표시하는 직사각형(矩形) 범위를 확장하는 등의 고안(연구)을 하는 것이 바람직하다.

[0289] 또, 이번에는 어떤 1프레임의 데이터에 대해서 경로를 계산했지만, 실제로 계획 경로를 생성하는 타이밍으로서 처음에 포괄적인 경로를 결정하는 글로벌 패스 플래닝과 이번과 같이 국소적인 장애물 데이터에 대해서 그 자리에서 경로를 생성하는 로컬 패스 플래닝이 있다. 로컬 패스 플래닝으로서 이용할 때는, 계획 경로를 갱신하는 빈도나, 갱신 전후에 있어서 계획 경로가 바뀌었을 때에, 경로 추종 제어가 따라잡도록 여유를 갖게 할 수도 있다.

[0290] **실시예 3**

[0291] 제 3 실시형태에 있어서의 풍 외란 보상의 피드포워드 제어를 포함시킨(내장한) 경로 추종 제어의 효과를 실증하기 위해, 실험선 「카미네」에 의한 실선 시험을 실시했다. 본 예는 실시예 1과 마찬가지로, 일본 히로시마현 오노미치시 인노시마 주변 해역(인노시마 마리나)에서 실시했다. 실시예 1과 마찬가지로, 잔교(2) 주변에 있는 얇은 여울을 회피하도록 경로를 자동 생성하고, 이것을 추종한다. 본 실험에서는 부잔교에의 우현접안에 의한 접안을 행한다.

[0292] 도 28 및 도 29는 본 발명의 풍 외란 보상형 경로 추종 제어의 시험 결과를 나타내는 도면이고, 도 28은 피드백 제어 있음(有)의 퓨어퍼슈트와 HCS에 의한 접안 제어의 실선 시험 결과를 나타내고, 도 29는 도 28에 나타내는 상태의 실측값을 나타내고 있다.

[0293] 본 실험은, 도 29에 나타내는 바와 같이, 평균해서 6.38 m/s의 진풍속이 불고 있는 상황이지만, 처음에 생긴 편차를 점점 작게 해 가고, 잔교(2)로부터 50 m의 거리, 다시 말해 제어 정밀도가 요구되는 회두 모드 전까지 편차는 거의 없어져 있다.

[0294] 풍 외란 보상이 없는 실시예 1(도 23, 도 24)과 비교하면, 본 실시예에 따른 속도 제어의 효과를 알아챌 수 있다. 본 실시예에서는 클러치의 전환이 개선되고 프로펠러 회전수의 변화도 최소한으로 되어 있다는 것을 알 수 있다. 또한 최종적인 선수 방위도 본 실시예에서는, 잔교(2)의 방위(104[deg])에 충분히 가깝게 되어 있다. 그 이후의 계선 작업을 생각하면, 선미를 잔교(2)에 가까이대는 것은 중요하기 때문에, 그 의미에서도 속도 제어의 개선에 의해 종단 상태의 제어 정밀도에 대한 효과가 보인다(확인된다).

[0295] 또한 제 3 실시형태에 있어서의 풍 외란 보상의 성능을 검증하기 위해서, 보다 바람이 강한 상황에 있어서 실험을 행했다. 그 결과를 도 30과 도 31에 나타낸다. 도 30은 강풍 하에서의 피드백 제어 있음의 퓨어퍼슈트와 HCS에 의한 접안 제어의 실선 시험 결과를 나타내고, 도 31은 도 30에 나타내는 상태의 실측값을 나타내고 있다.

[0296] 이 실험은, 진풍속이 평균 8.86 m/s로 되는 매우 강한 바람이 불고 있는 상황에서의 접안 제어이다. 진풍속이 최대 약 12 m/s로 되어 있는 제어 개시 직후에 있어서는, 처음에는 동쪽으로 흐르게 되다가 곧바로 크게 회두하여, 매우 이른(빠른) 단계에서 경로 편차를 없애는 모습을 확인할 수 있다. 또, 회두 모드에 있어서의 개량된 클러치의 제어도, 전환이 적은 이상적인 제어를 행하고 있다.

[0297] 산업상의 이용 가능성

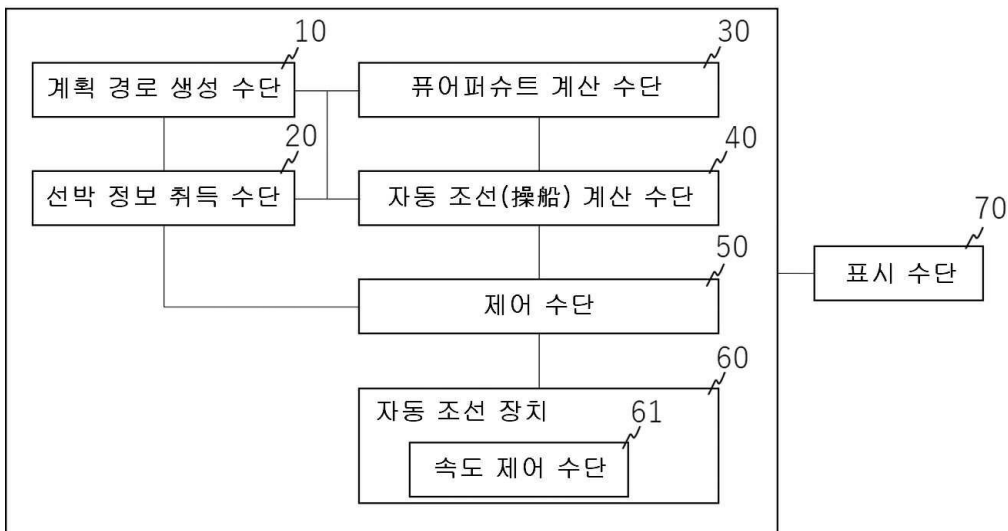
[0298] 본 발명은, 외란 하에서도 선박을 계획 경로에 정밀도 높게 추종시킬 수 있기 때문에, 접안 등의 고도의 기술이 요구되는 조선 작업을 지원하여, 자동화할 수가 있다. 또, 접안 이외의 항구 밖에 있어서도, 곡선형을 이루는 계획 경로를 매끄럽게 추종해서 항행할 수가 있다. 특히 저속 시에 받는 외란의 영향이 커질 것으로 예상되는 소형 선박에 효과를 발휘하지만, 중형선 내지 대형선에 있어서도 유용하다.

**부호의 설명**

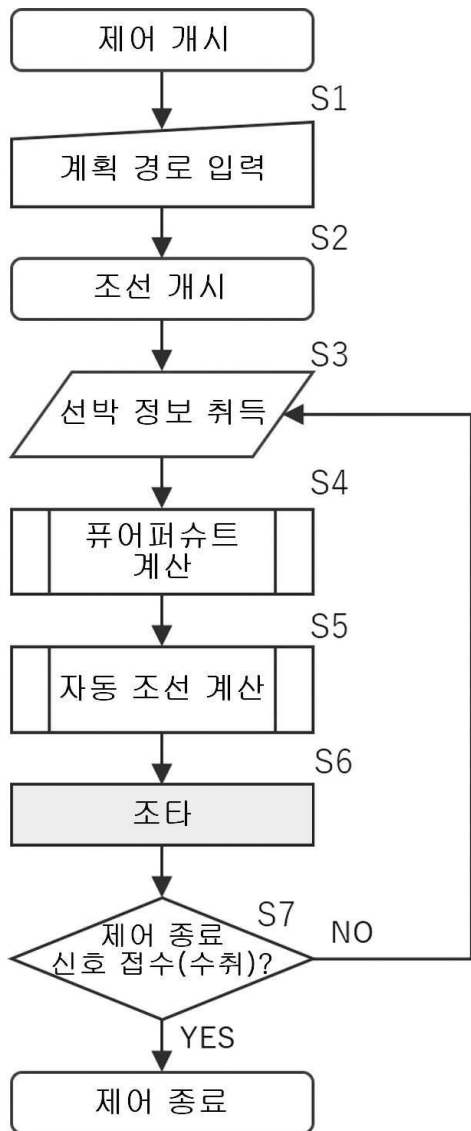
- [0299]
- 10: 계획 경로 생성 수단
  - 20: 선박 정보 취득 수단
  - 30: 퓨어퍼슈트 계산 수단
  - 40: 자동 조선 계산 수단
  - 50: 제어 수단
  - 60: 자동 조선 장치
  - 61: 속도 제어 수단
  - 70: 표시 수단
  - S1, S14: 계획 경로 생성 과정
  - S3, S11, S15: 선박 정보 취득 과정
  - S4, S21: 퓨어퍼슈트 계산 과정
  - S5, S22: 자동 조선 계산 과정
  - S6, S16: 제어 과정

**도면**

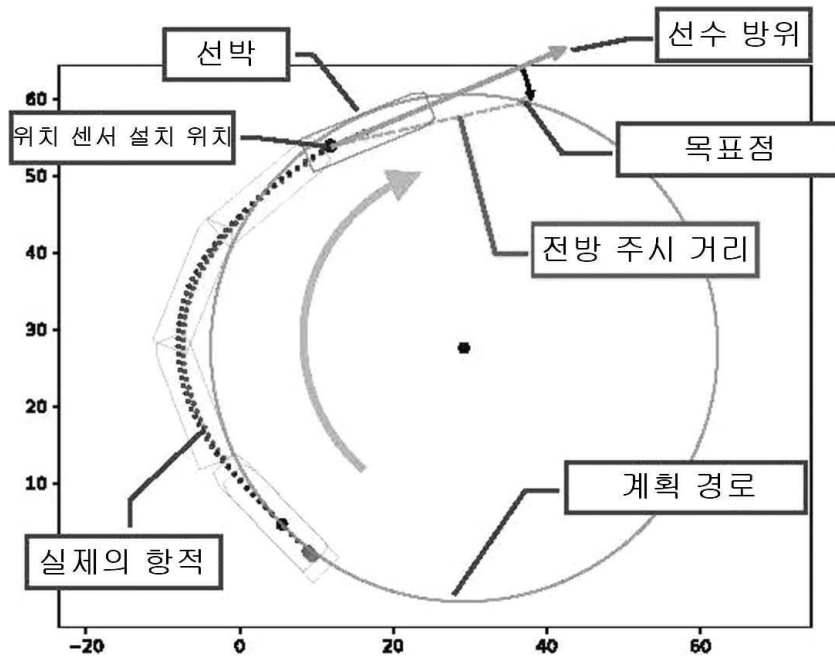
**도면1**



도면2

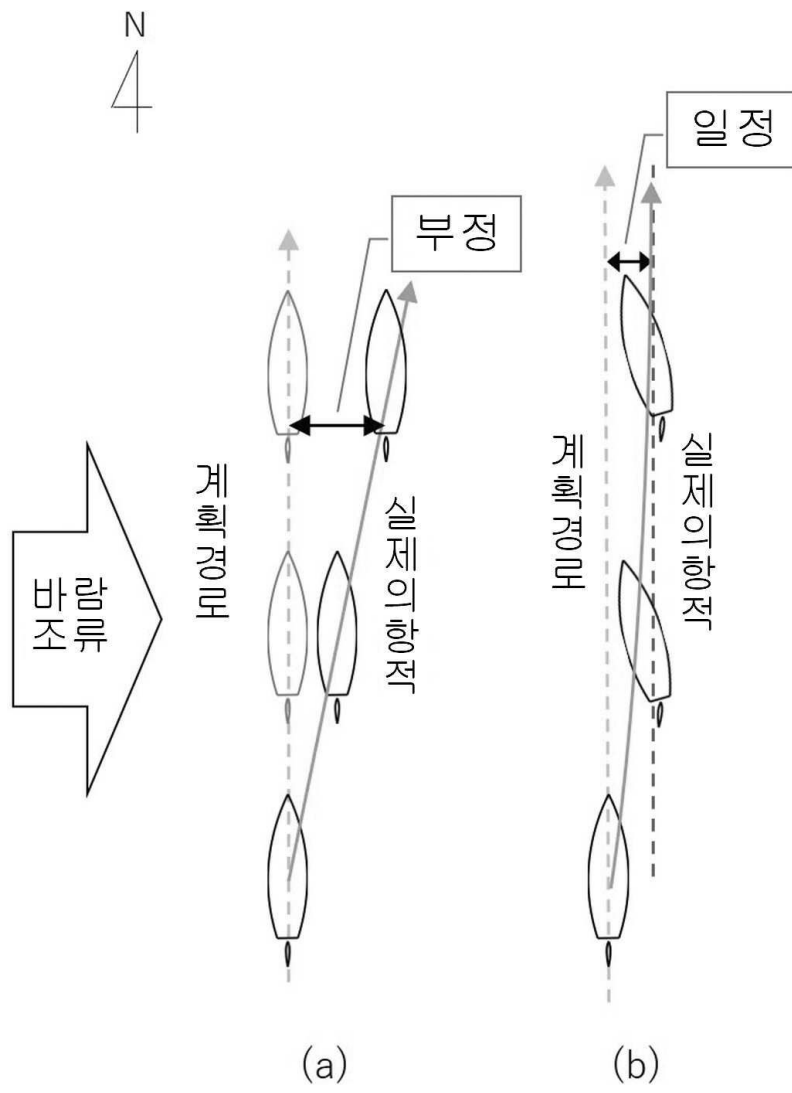


도면3

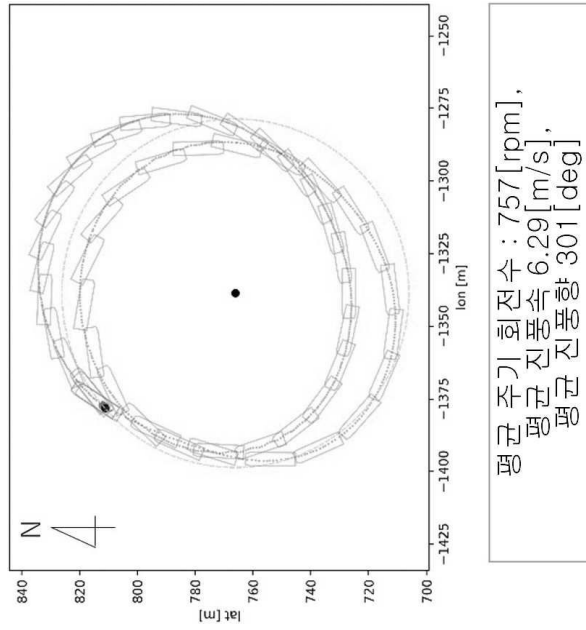




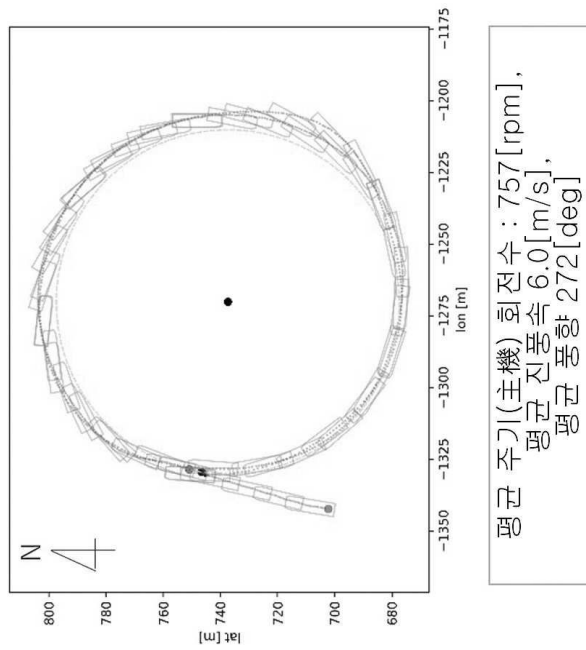
도면4



도면5

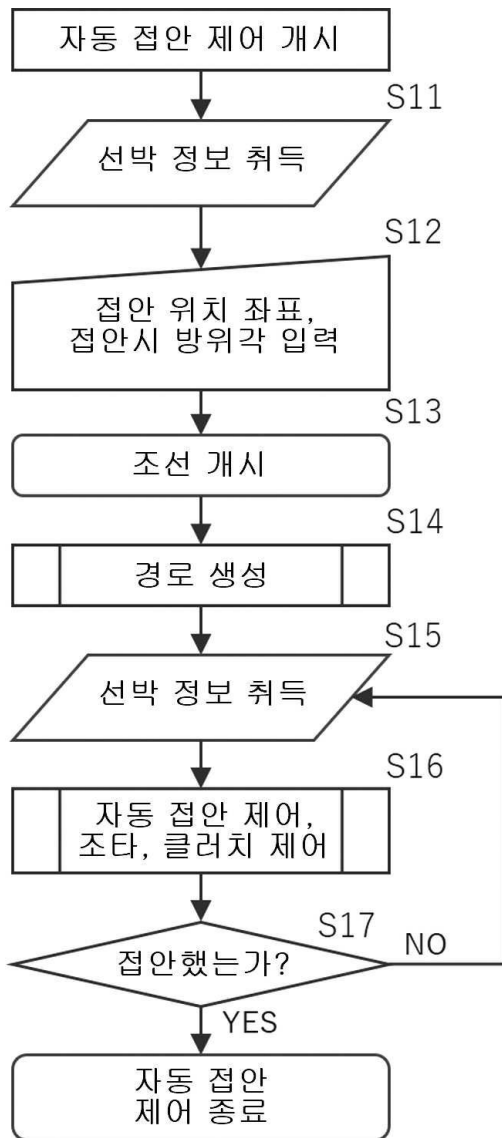


(a)

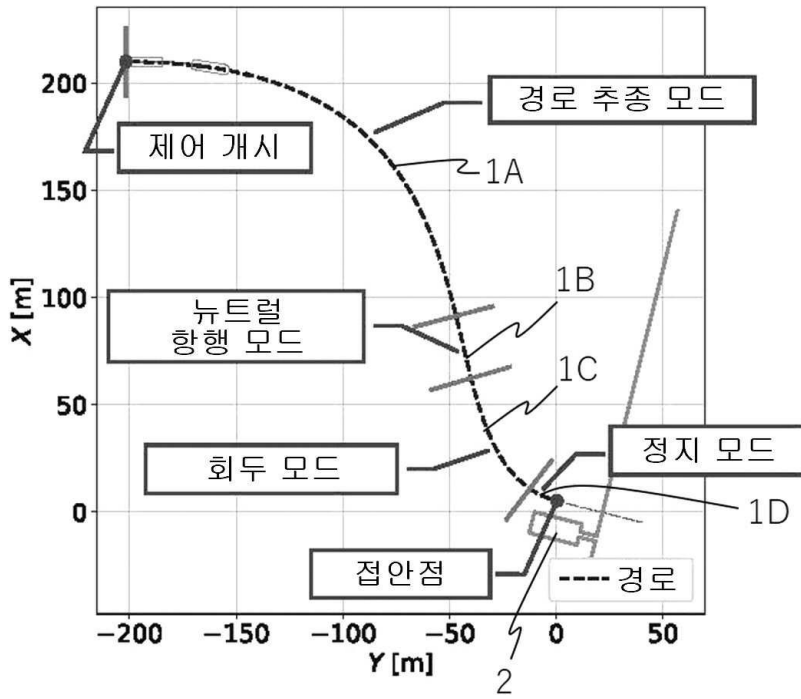


(b)

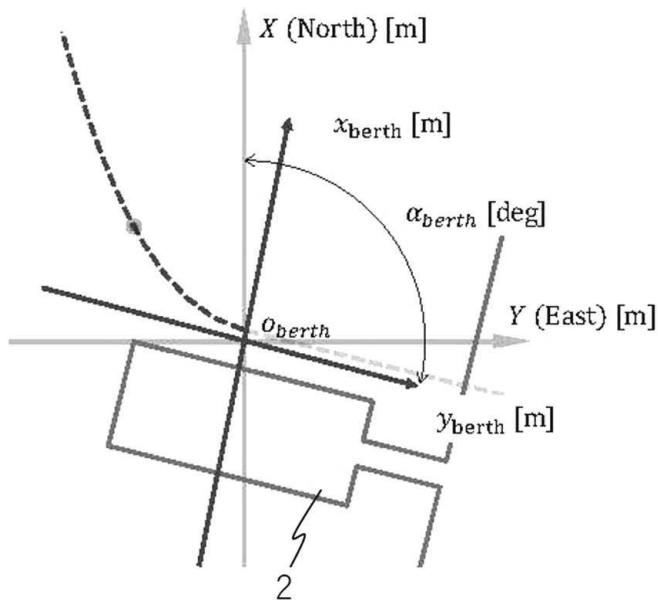
도면6



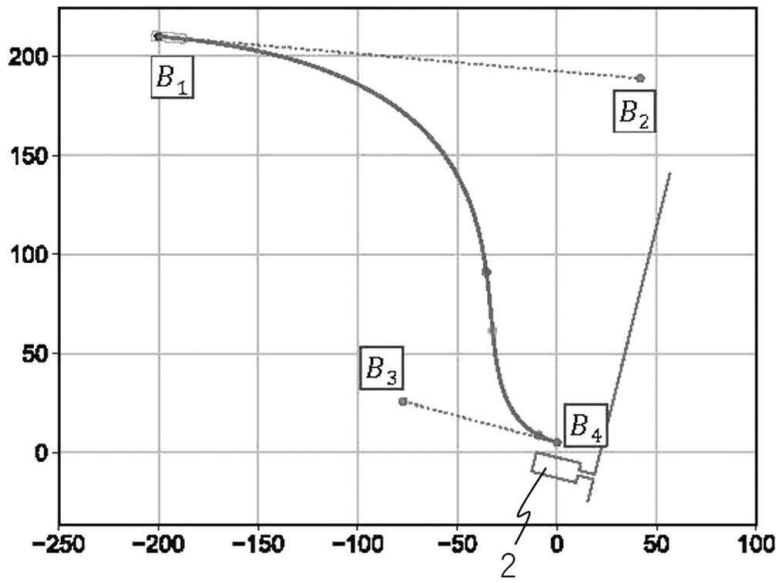
도면7



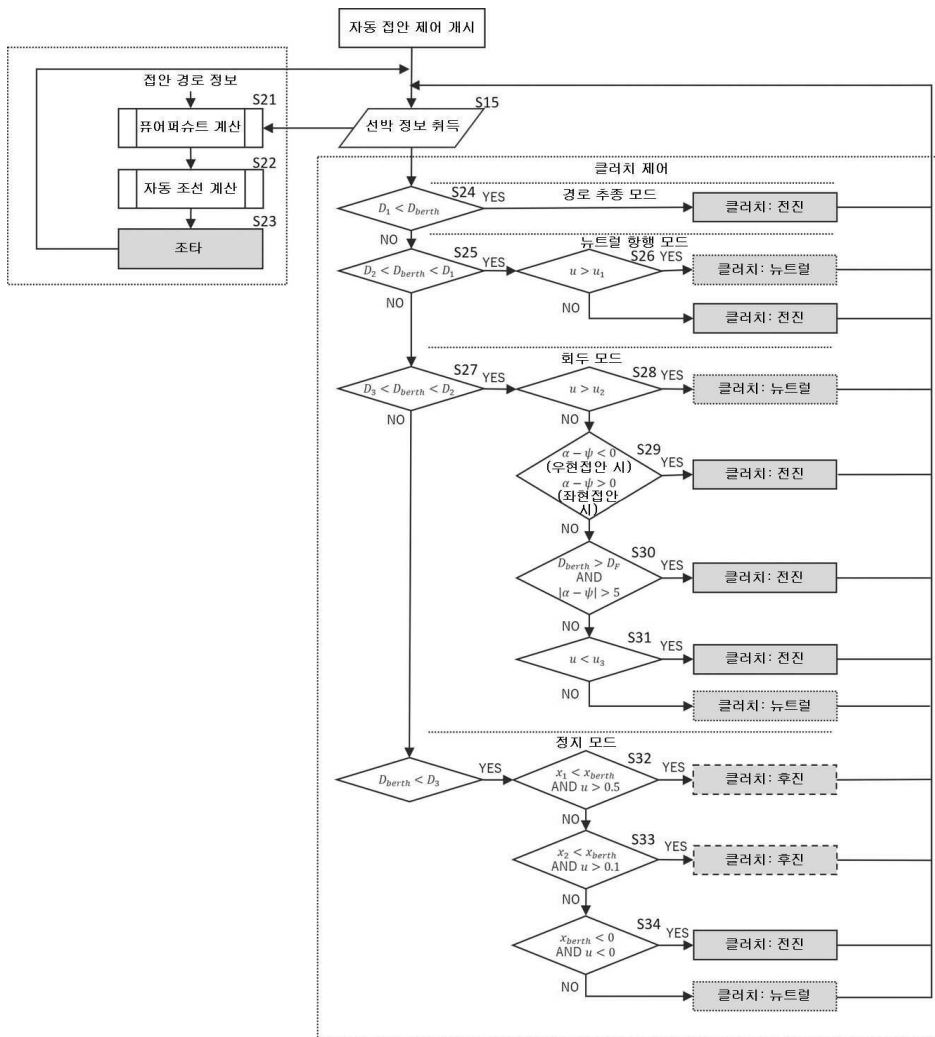
도면8



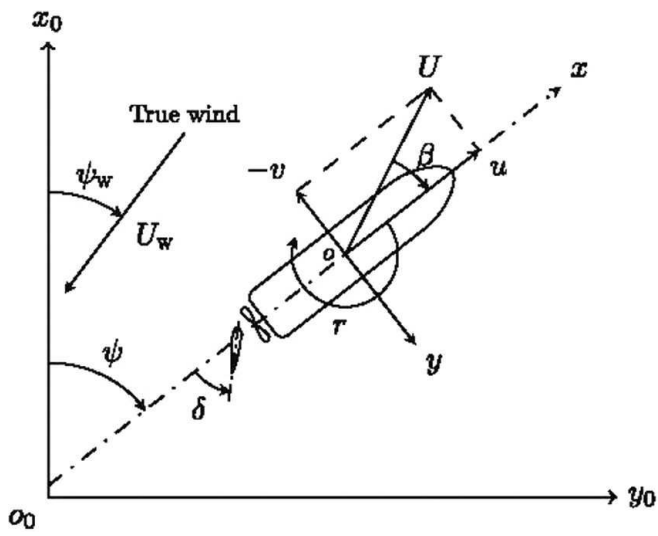
도면9



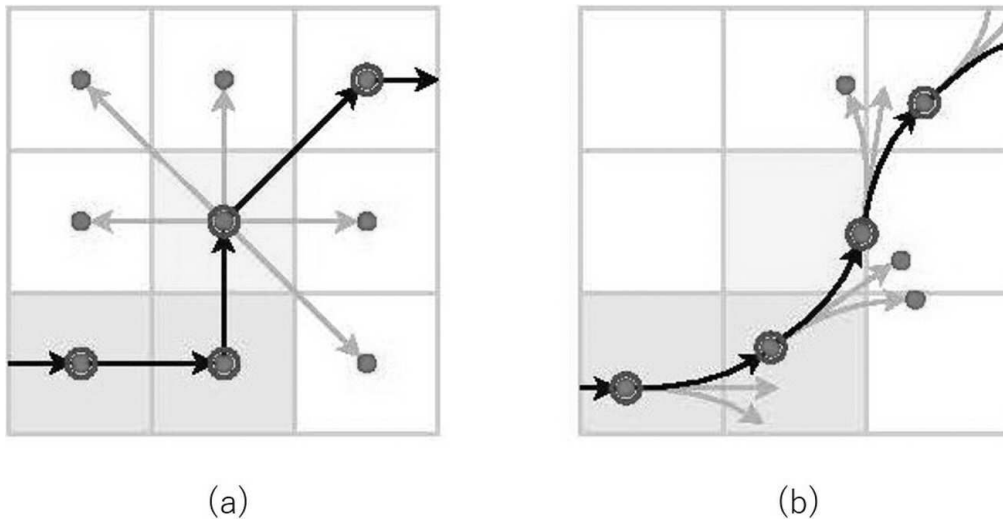
도면10



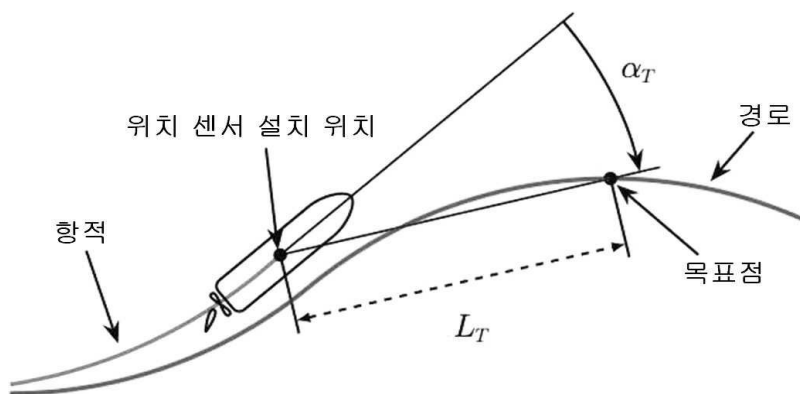
도면11



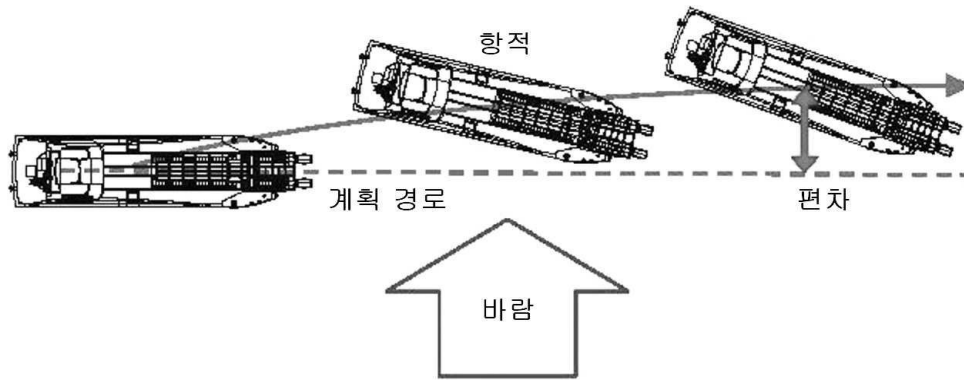
도면12



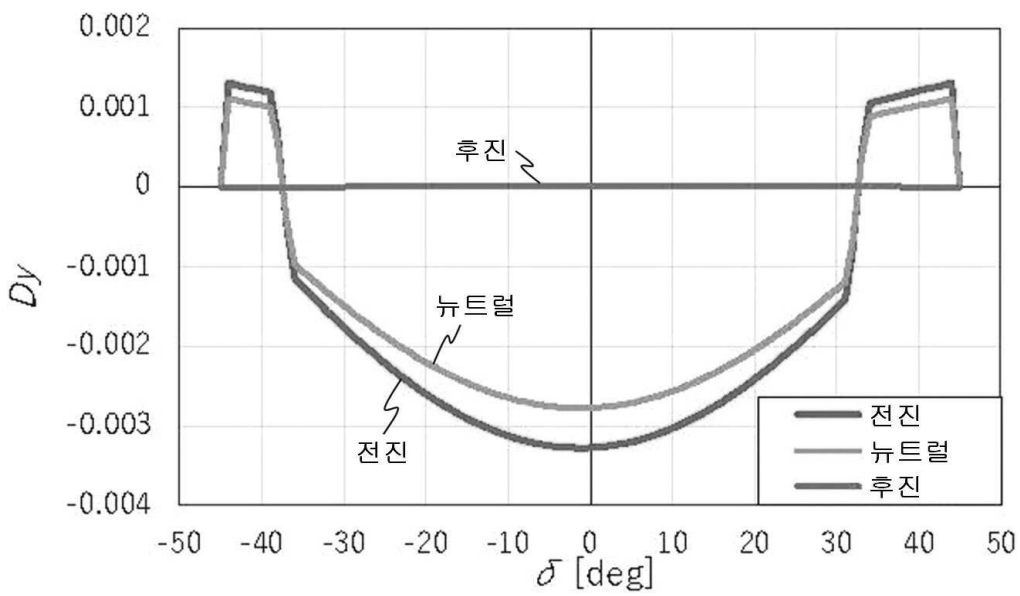
도면13



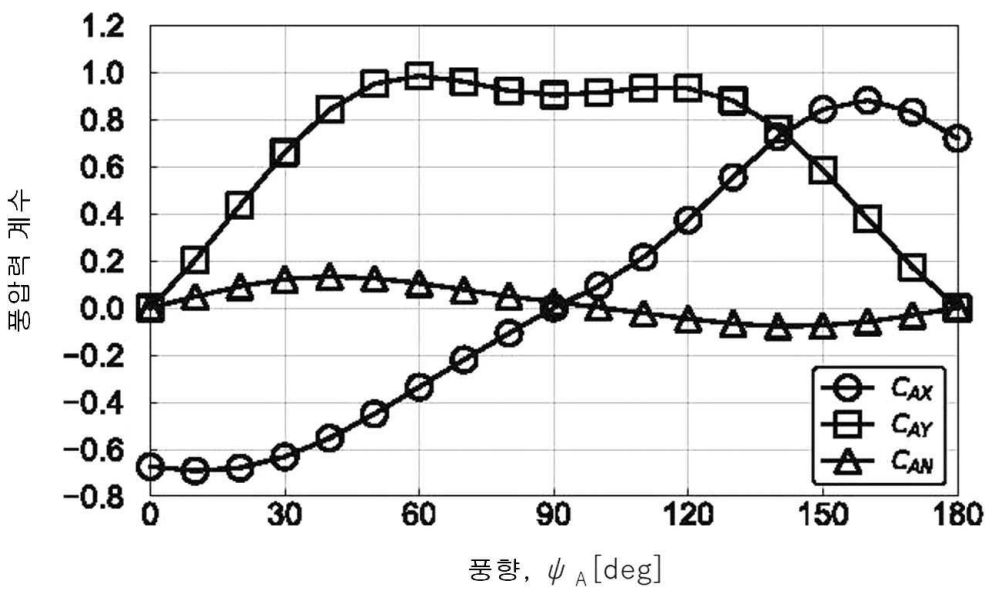
도면14



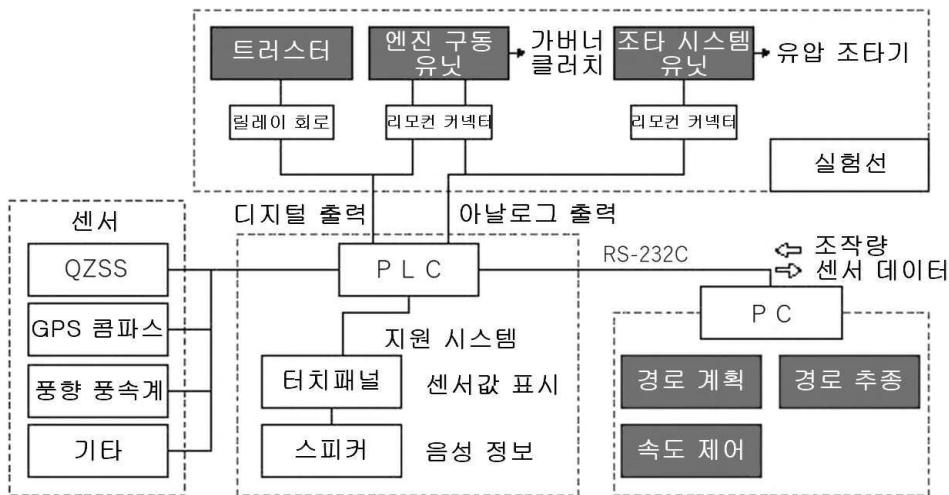
도면15



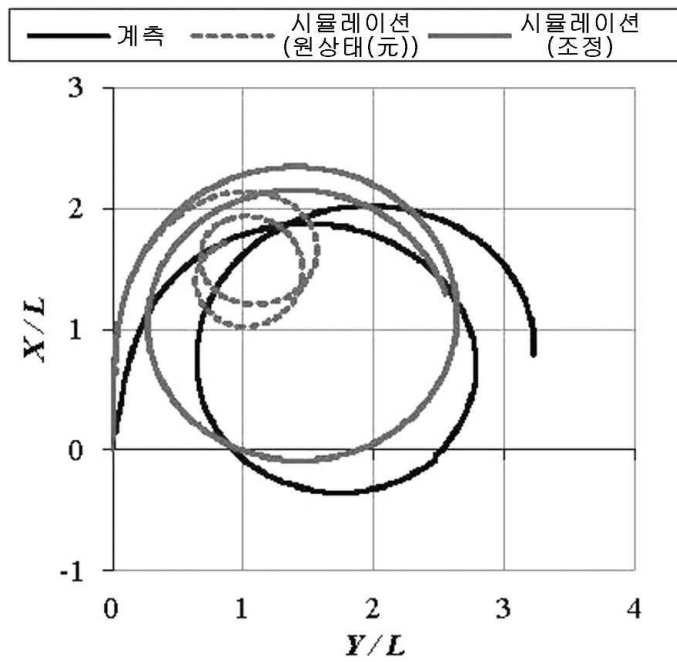
도면16



도면17

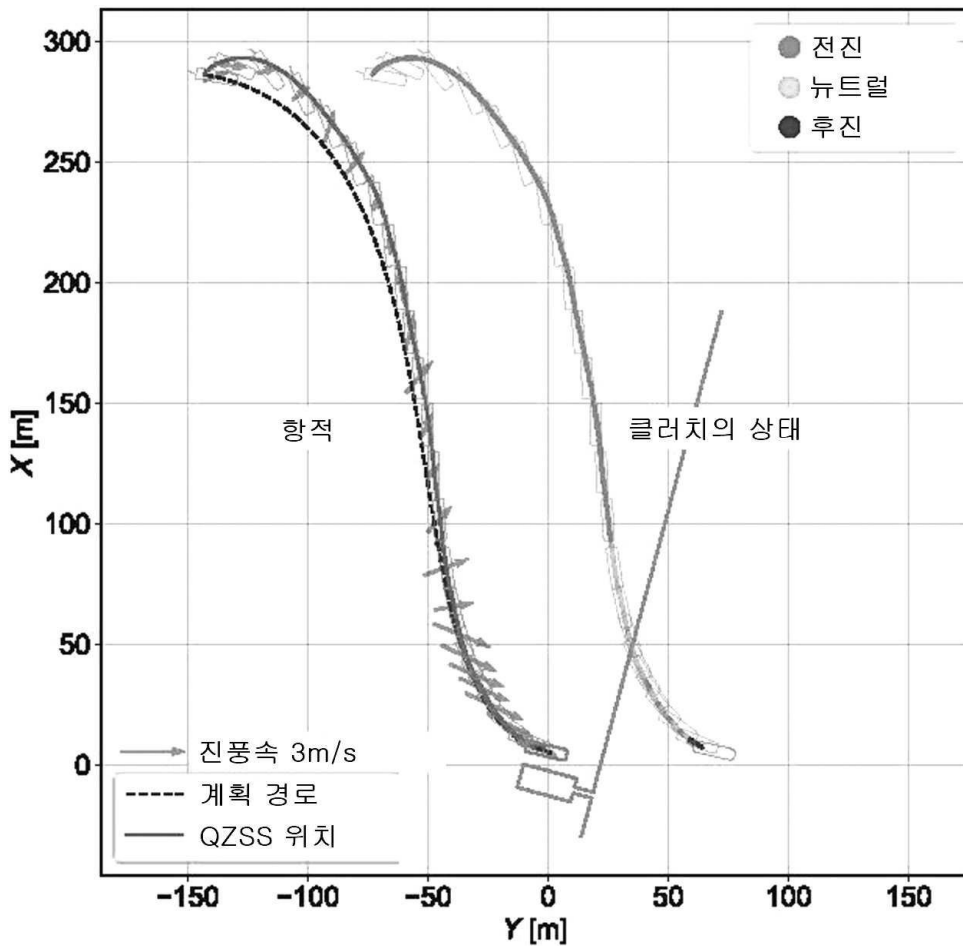


도면18

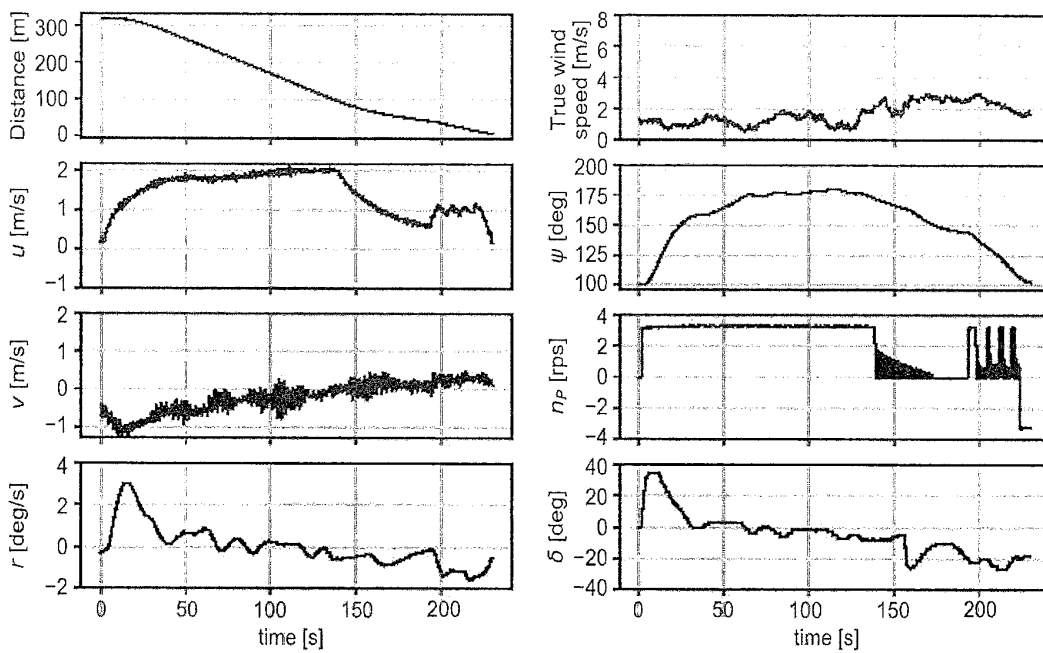




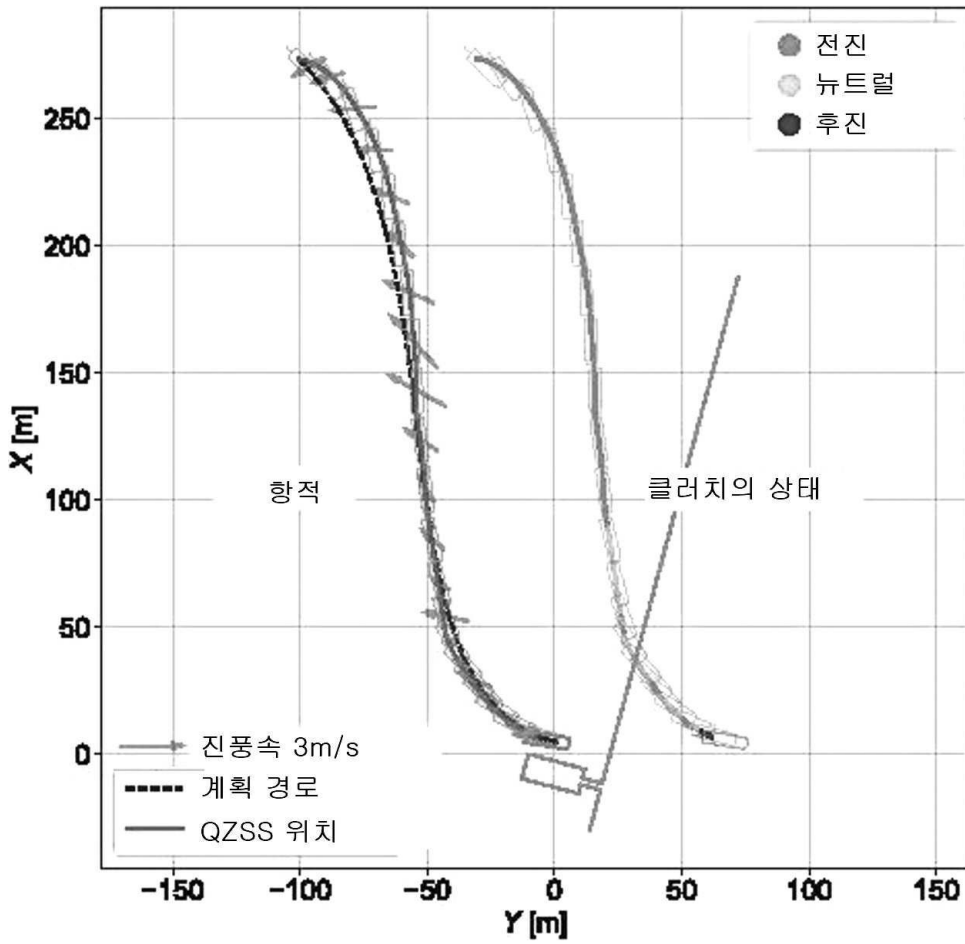
도면19



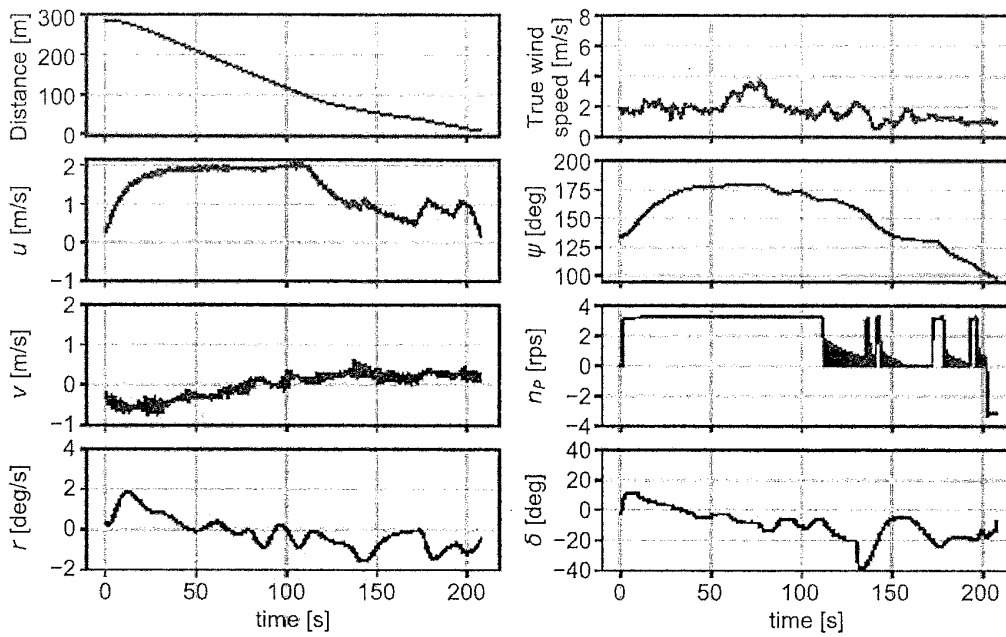
도면20



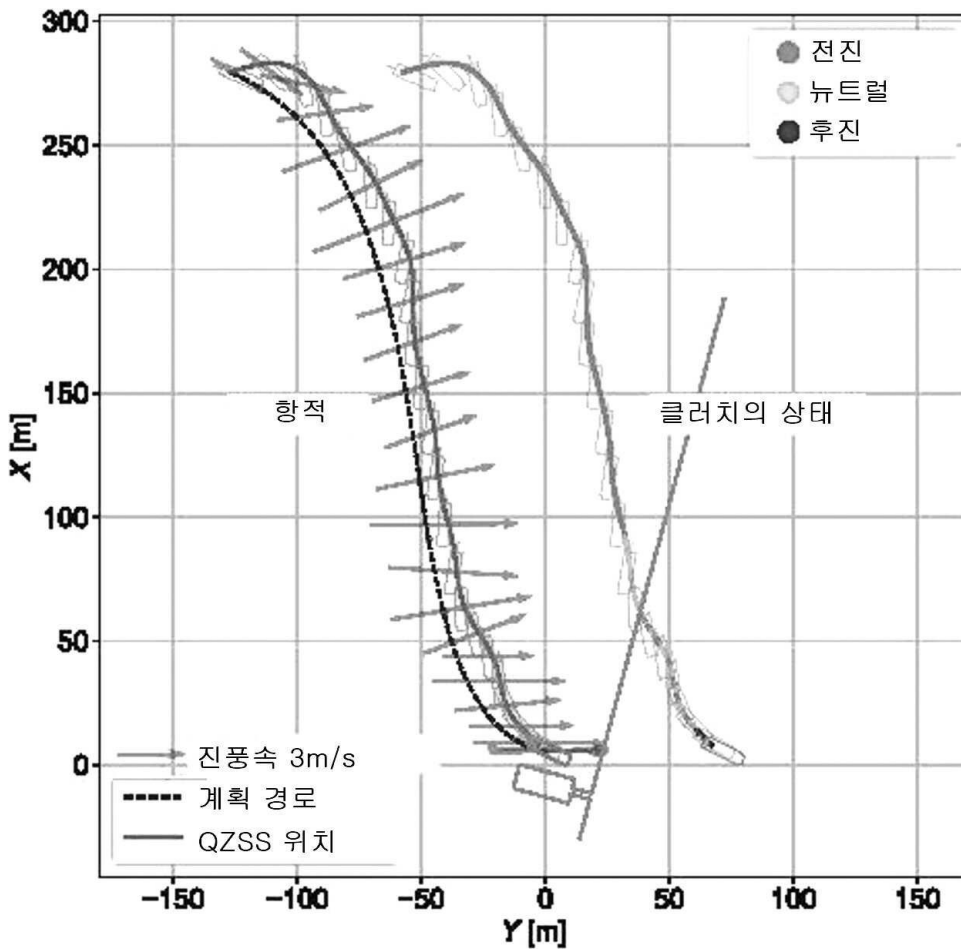
도면21



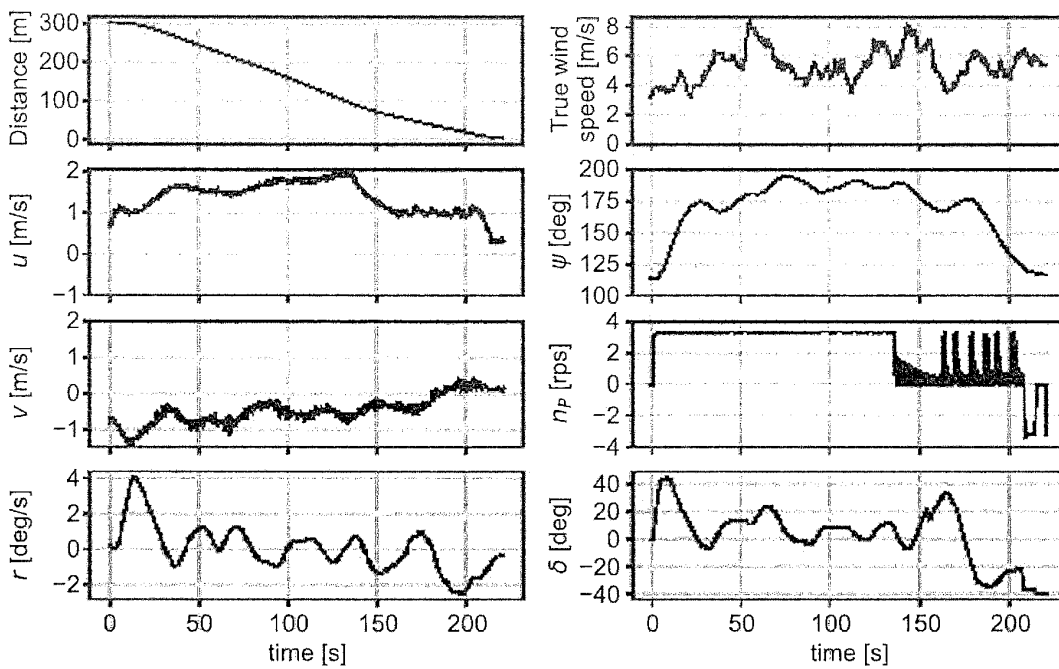
도면22



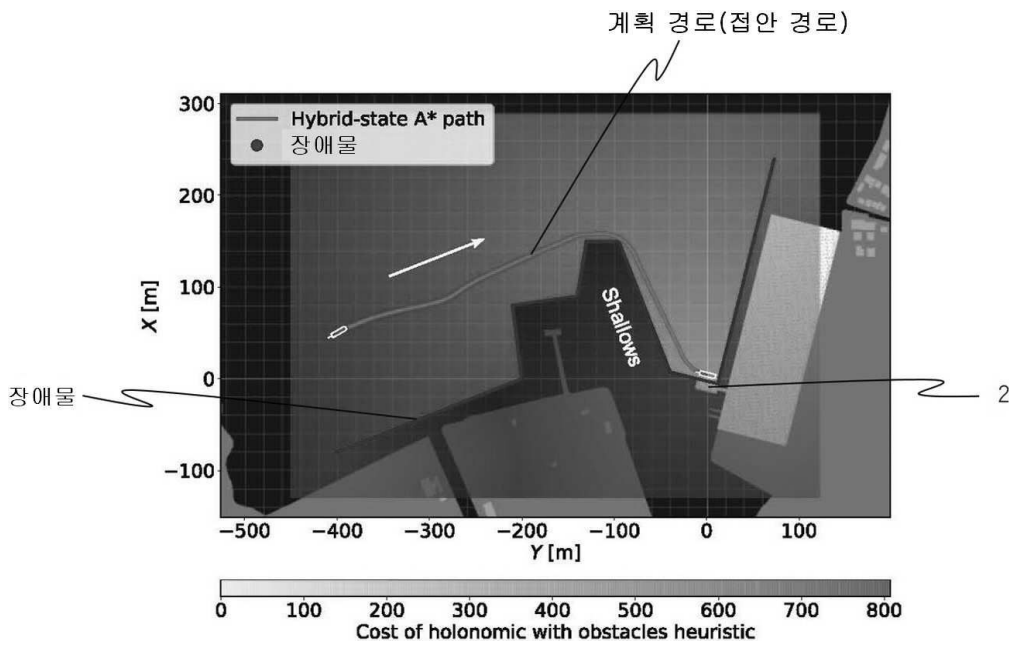
도면23



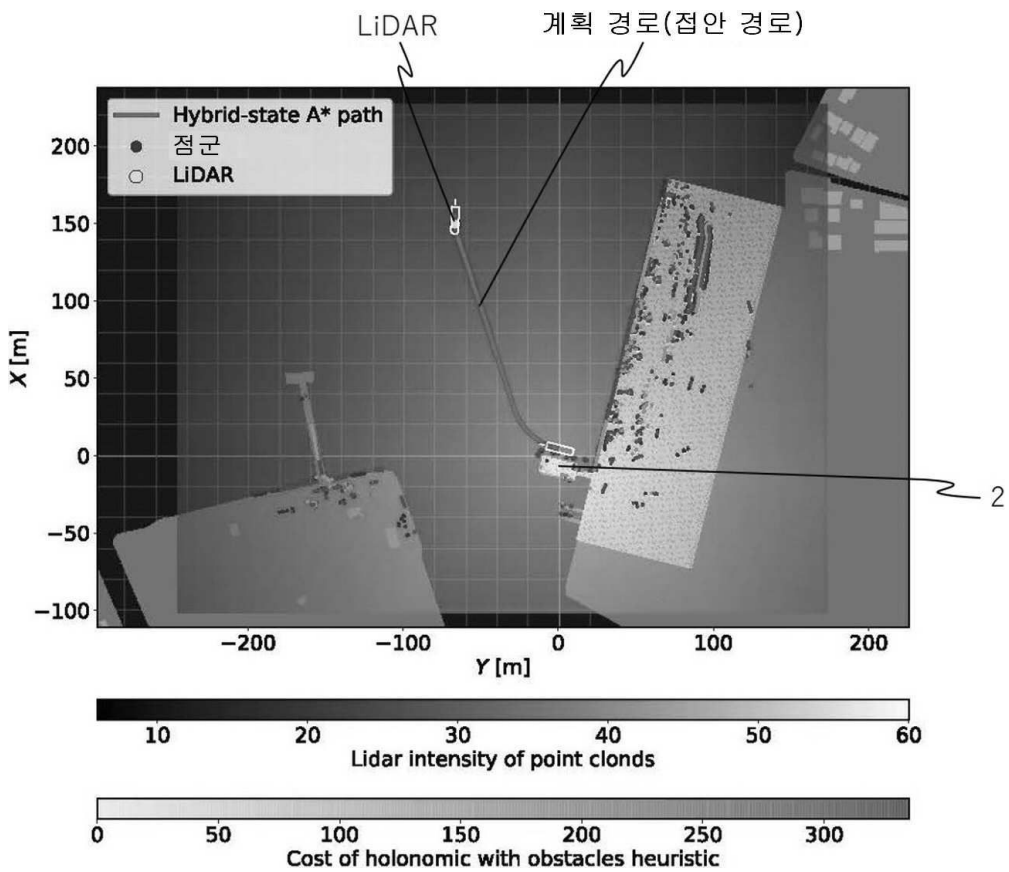
도면24



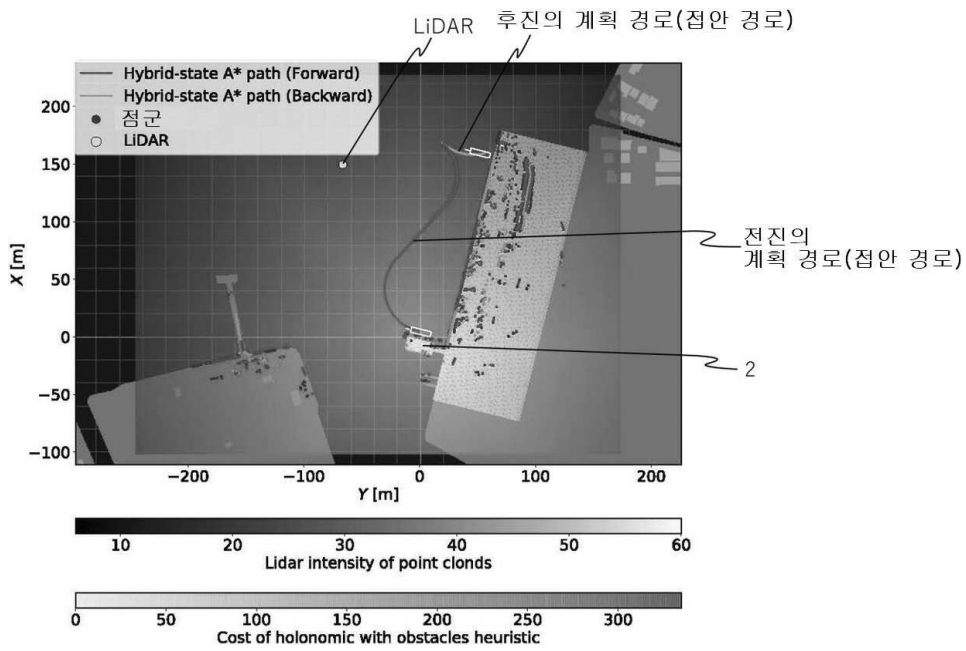
도면25



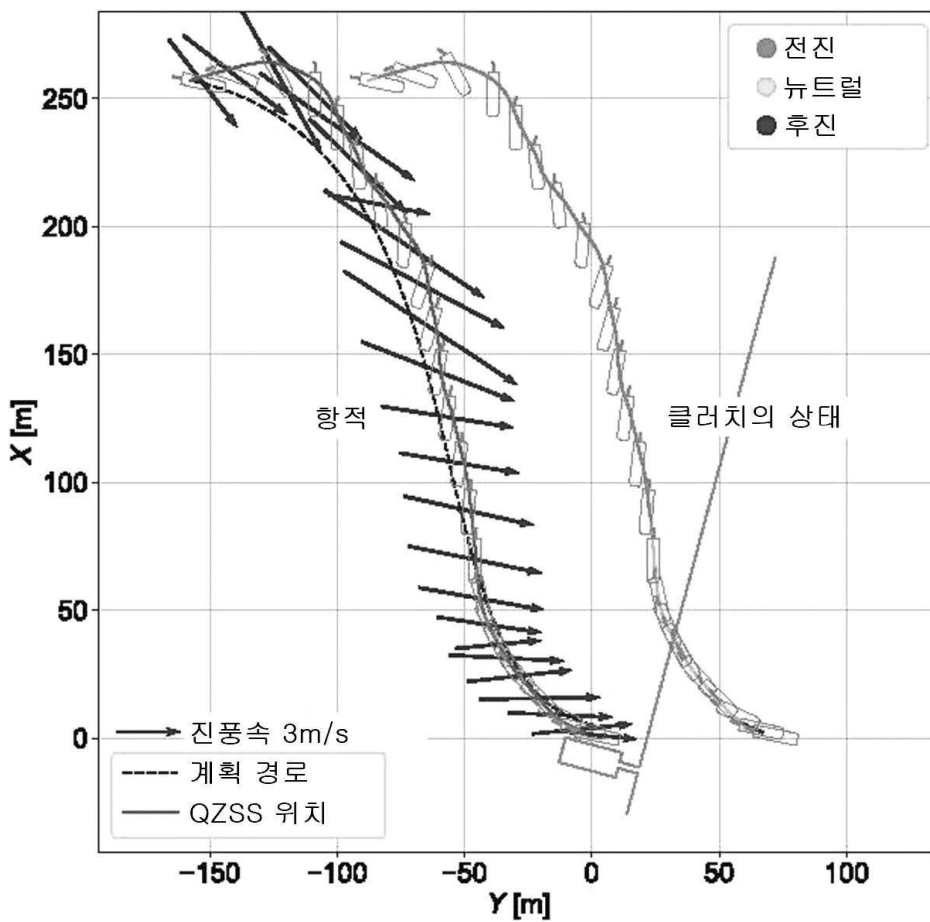
도면26



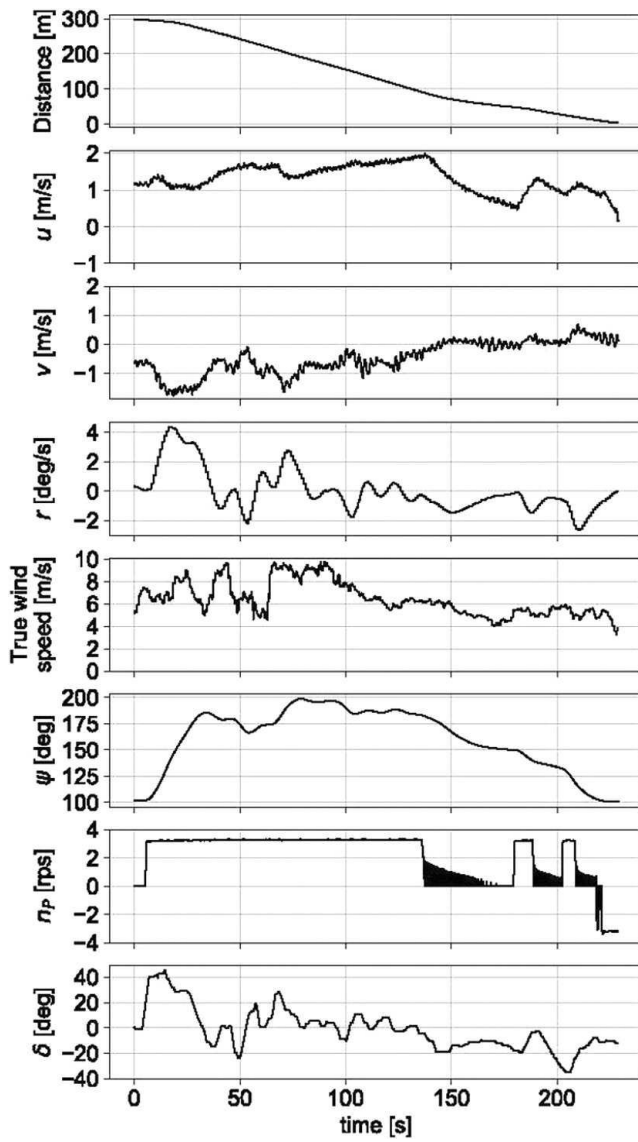
도면27



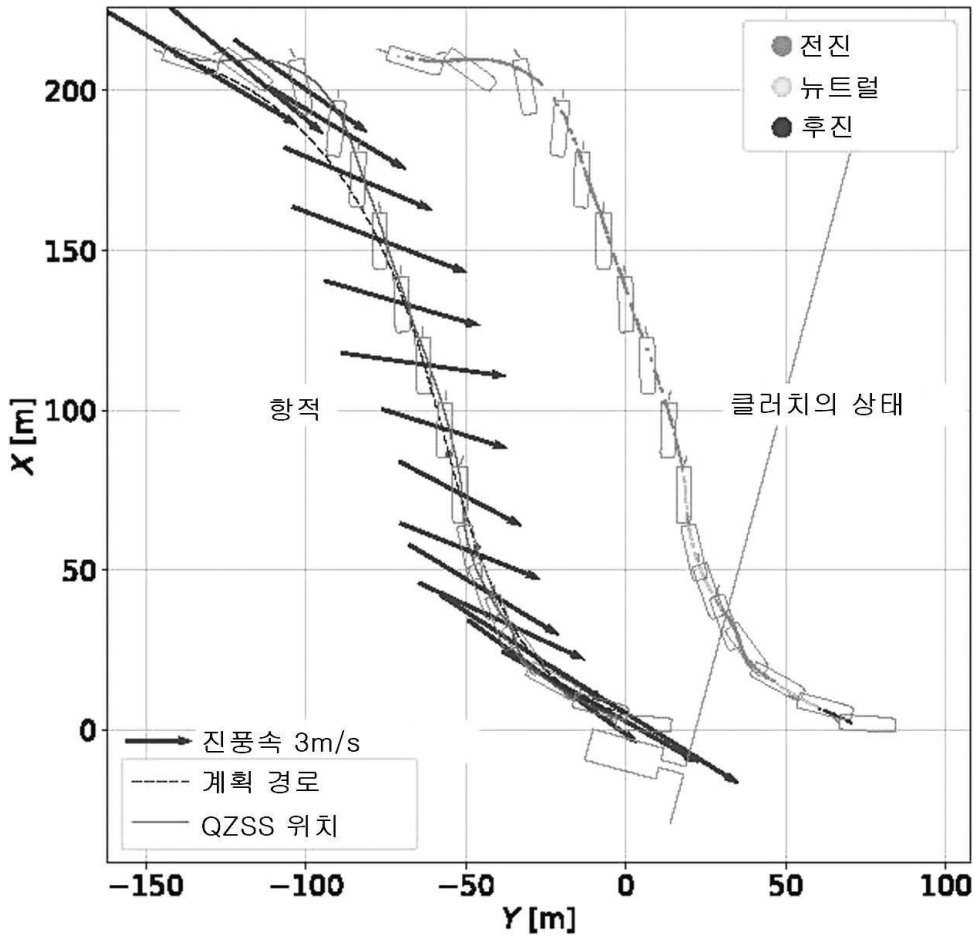
도면28



도면29



도면30



도면31

