



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115515851 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 23

(21) 申请号 202180032273.2

(74) 专利代理机构 上海立群专利代理事务所

(22) 申请日 2021.05.14

(普通合伙) 31291

专利代理师 杨楷 毛立群

(30) 优先权数据

2020-086108 2020.05.15 JP

(51) Int.Cl.

B63H 25/04 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.10.31

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/018445 2021.05.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/230356 JA 2021.11.18

(71) 申请人 国立研究开发法人海上·港湾·航空技术研究所

地址 日本国东京都

(72) 发明人 泽田凉平

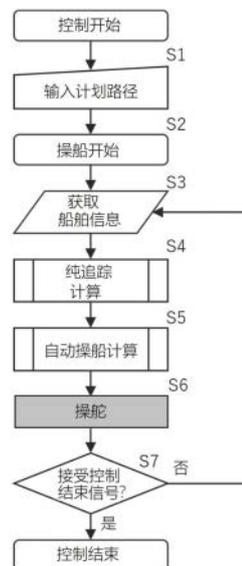
权利要求书3页 说明书27页 附图27页

(54) 发明名称

船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶

(57) 摘要

本发明提供无需大量计算、即使存在外部干扰也能够将距计划路径的偏差控制为一定程度以下的船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶。在使用了对航行的船舶至少自动地进行操舵的自动操船装置的船舶的自动导向方法中,具有:计划路径生成处理(S1),进行计划路径的获取或计划路径的计算;船舶信息获取处理(S3),获取船舶的位置及船首方位;纯追踪计算处理(S4),基于位置及船首方位,计算在船舶的行进方向的计划路径上满足规定条件的目标点或计算目标点的方位;自动操船计算处理(S5),基于目标点或方位、以及位置或船首方位计算船舶的操舵角;控制处理(S6),基于计算出的操舵角控制自动操船装置。



1. 一种船舶的自动导向方法,是使用了对于航行的船舶至少自动地进行操舵的自动操船装置的船舶的自动导向方法,其特征在于,具有:

计划路径生成处理,进行计划路径的获取或所述计划路径的计算;船舶信息获取处理,获取所述船舶的位置及船首方位;纯追踪计算处理,基于所述位置及所述船首方位,计算在所述船舶的行进方向的所述计划路径上满足规定条件的目标点或计算所述目标点的方位;自动操船计算处理,基于所述目标点或所述方位、所述位置或所述船首方位计算所述船舶的操舵角;控制处理,基于计算出的所述操舵角控制所述自动操船装置。

2. 如权利要求1所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述船舶信息获取处理中获取所述船舶的速度,在所述纯追踪计算处理及所述自动操船计算处理中使用所述速度进行计算。

3. 如权利要求2所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述计划路径生成处理中,获取输入的所述船舶的到达点的到达位置与到达方位,使用在所述船舶信息获取处理中获取的所述位置、所述船首方位及所述速度,计算直至所述到达位置且能够确保所述到达方位的所述计划路径。

4. 如权利要求2或3所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述计划路径生成处理中,获取海域信息,结合无法航行的海域信息来计算所述计划路径。

5. 如权利要求2~4的任一项所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述计划路径生成处理中,还具有控制点调整处理,调整用于变更呈曲线的所述计划路径的设定的控制点,基于所述调整后的所述控制点生成所述计划路径。

6. 如权利要求2~5的任一项所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述计划路径生成处理中,将所述计划路径分割为假设切换所述控制的模式的多个划分路径。

7. 如权利要求2~6的任一项所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述自动操船计算处理中计算所述船舶在所述计划路径中航行的所述速度,在所述控制处理中,基于计算出的所述速度控制所述自动操船装置的包括离合器在内的速度控制单元。

8. 如引用权利要求3或权利要求4的权利要求6所述的、或者进一步引用引用了权利要求3或权利要求4的权利要求6的权利要求7所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述计划路径生成处理中生成包含所述划分路径的所述计划路径,在所述划分路径中,在所述到达位置处预先设定的所述船舶的所述速度为零的情况下,在所述船舶距所述到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻,所述船舶向所述到达位置进入的进入角度为预先确定的角度。

9. 如引用权利要求3或权利要求4的权利要求6所述的、或者进一步引用引用了权利要求3或权利要求4的权利要求6的权利要求7所述的、或者权利要求8所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述计划路径生成处理中生成包含大致直线的所述划分路径的所述计划路径,大致直线的所述划分路径用于进行速度控制,在所述到达位置处预先设定的所述船舶的速度为零且所述船舶的行进方向呈预先确定的向所述到达位置的进入角度时,使得在抵达所述船舶与所述到达位置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻所述船舶的速度为零。

10. 如权利要求2~9的任一项所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,在所述船舶信息获取处理中获取所述船舶的周边的海洋气象信息,在所述自动操船计算处理中,结合基

于所述海洋气象信息的对所述船舶的外力,对所述操舵角及所述速度进行校正。

11. 如权利要求10所述的船舶的自动导向方法,其特征在于,求出作为所述海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对所述船舶的所述外力,预测由所述外力引起的船体运动,导出抵消由所述外力引起的所述船体运动的所述操舵角或所述速度,以补偿由风引起的外部干扰的方式控制所述自动操船装置。

12. 一种船舶的自动导向程序,是使用了航行船舶至少自动地进行操舵的控制的自动操船装置的船舶的自动导向程序,其特征在于,

使计算机执行如权利要求1~11的任一项所述的船舶的自动导向方法中的、按照条件的输入进行的所述计划路径生成处理、所述船舶信息获取处理、所述纯追踪计算处理、所述自动操船计算处理以及所述控制处理。

13. 一种船舶的自动导向系统,是使用了航行船舶至少自动地进行操舵的控制的自动操船装置的船舶的自动导向系统,其特征在于,具备:

计划路径生成单元,进行计划路径的获取或所述计划路径的计算;船舶信息获取单元,获取所述船舶的位置及船首方位;纯追踪计算单元,基于所述船舶的位置及所述船首方位,计算在所述船舶的行进方向的所述计划路径上满足规定条件的目标点或计算所述目标点的方位;自动操船计算单元,基于所述目标点或所述方位、所述位置或所述船首方位计算所述船舶的操舵角;控制单元,基于所述船舶的操舵角控制所述自动操船装置。

14. 如权利要求13所述的船舶的自动导向系统,其特征在于,在所述船舶信息获取单元中获取所述船舶的速度,在所述纯追踪计算单元及所述自动操船计算单元中使用所述速度进行计算。

15. 如权利要求14所述的船舶的自动导向系统,其特征在于,在所述计划路径生成单元中,获取输入的所述船舶的到达点的到达位置与到达方位,使用在所述船舶信息获取单元中获取的所述位置、所述船首方位及所述速度,计算直至所述到达位置且能够确保所述到达方位的所述计划路径。

16. 如权利要求14或15所述的船舶的自动导向系统,其特征在于,在所述计划路径生成单元中,获取海域信息,结合无法航行的海域信息来计算所述计划路径。

17. 如权利要求14~16的任一项所述的船舶的自动导向系统,其特征在于,在所述计划路径生成单元中,具有控制点调整部,由船员确认用于变更呈曲线的所述计划路径的设定的控制点并进行变更,或者具有自动控制点调整部,基于由所述船舶信息获取单元得到的船舶信息而自动地进行对所述控制点的调整,

基于所述调整后的所述控制点生成所述计划路径。

18. 如权利要求14~17的任一项所述的船舶的自动导向系统,其特征在于,在所述计划路径生成单元中,将所述计划路径分割为切换所述控制的模式的多个划分路径。

19. 如权利要求14~18的任一项所述的船舶的自动导向系统,其特征在于,在所述自动操船计算单元中计算所述船舶在所述计划路径中航行的所述速度,在所述控制单元中,控制所述自动操船装置的包括离合器在内的速度控制单元,以使船舶得到计算出的所述速度。

20. 如引用权利要求15或权利要求16的权利要求18所述的、或者进一步引用引用了权利要求15或权利要求16的权利要求18的权利要求19所述的船舶的自动导向系统,其特征在

于,在所述计划路径生成单元中生成包含所述划分路径的所述计划路径,在所述划分路径中,在所述到达位置处预先设定的所述船舶的所述速度为零的情况下,在所述船舶距所述到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻,所述船舶向所述到达位置进入的进入角度为预先确定的角度。

21.如引用权利要求15或权利要求16的权利要求18所述的、或者进一步引用引用了权利要求15或权利要求16的权利要求18的权利要求19所述的、或者权利要求20所述的船舶的自动导向系统,其特征不在于,在所述计划路径生成单元中生成包含大致直线的所述划分路径的所述计划路径,大致直线的所述划分路径用于进行速度控制,在所述到达位置处预先设定的所述船舶的速度为零且所述船舶的行进方向呈预先确定的向所述到达位置的进入角度时,使得在抵达所述船舶与所述到达位置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻所述船舶的速度为零。

22.如权利要求14~21的任一项所述的船舶的自动导向系统,其特征不在于,在所述船舶信息获取单元中获取所述船舶的周边的海洋气象信息,在所述自动操船计算单元中,结合基于所述海洋气象信息的对所述船舶的外力,对所述操舵角及所述速度进行校正。

23.如权利要求22所述的船舶的自动导向系统,其特征不在于,求出作为所述海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对所述船舶的所述外力,预测由所述外力引起的船体运动,导出抵消由所述外力引起的所述船体运动的所述操舵角或所述速度,以补偿由风引起的外部干扰的方式控制所述自动操船装置。

24.如权利要求13~23的任一项所述的船舶的自动导向系统,其特征不在于,具备对所述计划路径、所述船舶的位置、所述船首方位、所述目标点或所述目标点的方位中的至少任1项进行显示的显示单元。

25.一种船舶,其特征不在于,具备权利要求13~24的任一项所述的船舶的自动导向系统。

船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用了至少自动进行对航行的船舶的操舵的自动操舵装置的船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶。

背景技术

[0002] 在船舶的操纵作业中,靠泊操船是对船员的负担最重的作业之一,并且要求低速状态下的高超的操船技术。通常,低速航行时的船舶由于舵法向力的降低而操纵性变差,进而容易受到风或潮流等外部干扰,因此靠泊操船一般需要较高的技术含量。另一方面,近年来,在国内海运中,熟练船员短缺及船员高龄化正变得严重。

[0003] 在此,在专利文献1中公开有一种自动操舵装置,具备:航路计算部,基于多个目标地点的各自的位置计算船的旋回航路;间接目标地点计算部,计算船的前方的间接目标地点;指令舵角计算部,基于旋回航路与间接目标地点之间的位置关系,计算指令舵角;操舵控制部,基于指令舵角控制船的操舵机构。

[0004] 此外,在专利文献2中公开有以下内容:在从当前航路径以恒定的转弯速度进行旋回而向新航路航路变更(转向)的自动操舵方法中,根据转弯速度及船速,在当前航路上求出转向点,求出通过该转向点且与新航路平行的转向线,只要本船通过该转向线,就开始基于转弯速度的转向,或者在判定比起基于该转弯速度的转向,切换至基于从航路偏离的航向偏差量修正进路方位的航路保持控制更能高精度地转向的时刻,从基于转弯速度的转向切换为航路保持控制。

[0005] 此外,在专利文献3中,公开有一种操船系统,预先在控制器上记录基于规定的位置信息的航路、以及与在航路上的发动机转速的变化及舵的朝向相关的操船操作,基于所记录的航路以及操船操作使船舶自动航行。

[0006] 此外,在专利文献4中,公开有一种船舶的自动操舵装置,若操船者通过自动操舵装置的显示部切换到自动操舵,则自动操舵装置的控制部取得该时刻的船舶的船首方位及船舶的位置,计算出设定航路及设定方位,在此后随时获取各时刻的船舶的船首方位与船舶的位置,计算设定航路与设定方位的方位偏差,并基于此而计算用于控制舵的命令舵角。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特开2019-196103号公报

[0010] 专利文献2:日本特开平7-242199号公报

[0011] 专利文献3:日本特开2014-184846号公报

[0012] 专利文献4:日本特开2011-16384号公报

发明内容

[0013] 发明要解决的技术问题

[0014] 关于靠泊操船的自动化,存在使用了最优控制理论、神经网络(Neural network)、PD控制器、进化计算等的大量研究。另一方面,为了解决系统设计的难易度和控制计算的实时性能、成本和安全性等各种技术问题,要求开发也能应用于由舵与螺旋桨构成的一般的船舶的、更为简单的控制器。

[0015] 在此,专利文献1需要计算本船在航路变更时经过的圆弧状的旋回航路,基于与间接目标地点的位置关系来计算指令舵角,计算较为复杂化。

[0016] 此外,专利文献2的目的在于提高从当前航路向新航路进行航路变更时的精度,而并非在当前航路或新航路中高精度地跟踪计划航路。

[0017] 此外,在专利文献3中,虽然记载了在基于所设定的航路进行自动航行的期间,通过舵角传感器、油门传感器、GPS装置以及航向传感器来检测船舶的航行状况并进行反馈控制,但关于基于检测出的航行状况如何进行反馈控制的详细内容没有任何记载。

[0018] 此外,专利文献4基于船首方位及本船的位置与设定方位及设定航路的偏差自动控制船舶,以使船舶在设定航路上航行,使计算复杂化。

[0019] 因此,本发明的目的在于,提供无需大量计算且即使存在外部干扰也能够将距计划路径的偏差控制为一定程度以下的船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶。

[0020] 用于解决上述技术问题的方案

[0021] 与技术方案1所对应的船舶的自动导向方法,是使用了对于航行的船舶至少自动地进行操舵的自动操船装置的船舶的自动导向方法,其特征在于,具有:计划路径生成处理,进行计划路径的获取或计划路径的计算;船舶信息获取处理,获取船舶的位置及船首方位;纯追踪计算处理,基于位置及船首方位,计算在船舶的行进方向的计划路径上满足规定条件的目标点或计算目标点的方位;自动操船计算处理,基于目标点或方位、与位置或船首方位计算船舶的操舵角;控制处理,基于计算出的操舵角控制自动操船装置。

[0022] 根据技术方案1所述的本发明,能够通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪控制)与自动操船装置组合,进行跟踪计划路径的自动导向,无需大量的计算而进行控制,即使存在外部干扰,也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。特别地,通过与自动驾驶仪等自动操船装置组合,容易实现通过纯追踪控制来跟踪具有曲线部的计划路径这样的路径。

[0023] 技术方案2所述的本发明的特征在于,在船舶信息获取处理中获取船舶的速度,在纯追踪计算处理及自动操船计算处理中使用速度进行计算。

[0024] 根据技术方案2所述的本发明,能够根据速度使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0025] 技术方案3所述的本发明的特征在于,在计划路径生成处理中,获取输入的船舶的到达点的到达位置与到达方位,使用在船舶信息获取处理中获取的位置、船首方位及速度,计算直至到达位置且能够确保到达方位的计划路径。

[0026] 根据技术方案3所述的本发明,能够生成描绘出以到达方位的朝向(角度)向到达位置连接的平滑的曲线的计划路径。

[0027] 技术方案4所述的本发明的特征在于,在计划路径生成处理中,获取海域信息,结合无法航行的海域信息来计算计划路径。

[0028] 根据技术方案4所述的本发明,能够提高船舶的自动导向方法的安全性,且能够扩

大能应用船舶的自动导向方法的海域。

[0029] 在此，“无法航行的海域信息”是指与存在船舶等移动物体或浮游物体等障碍物、或者浅滩等而无法航行的海域相关的信息。

[0030] 技术方案5所述的本发明的特征在于，在计划路径生成处理中，还具有控制点调整处理，调整用于变更呈曲线的计划路径的设定的控制点，基于调整后的控制点生成计划路径。

[0031] 根据技术方案5所述的本发明，能够灵活地调整并生成例如反映了障碍物的避让、到达时的进入角度的调整等的计划路径。

[0032] 技术方案6所述的本发明的特征在于，在计划路径生成处理中，将计划路径分割为假设切换控制的模式的多个划分路径。

[0033] 根据技术方案6所述的本发明，通过进行与划分路径对应的控制的模式，特别是能够对于包含靠泊的直至到达点的计划路径根据划分路径切换模式来进行控制，使船舶高精度地跟踪至到达点为止。

[0034] 技术方案7所述的本发明的特征在于，在自动操船计算处理中计算船舶在计划路径中航行的速度，在控制处理中，基于计算出的速度控制自动操船装置的包括离合器在内的速度控制单元。

[0035] 根据技术方案7所述的本发明，通过用离合器等速度控制单元调节速度，例如能够容易进行包含靠泊的对船舶的向到达点的导向。

[0036] 技术方案8所述的本发明的特征在于，在计划路径生成处理中生成包含划分路径的计划路径，在所述划分路径中，在到达位置处预先设定的船舶的速度为零的情况下，在船舶距到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻，船舶向到达位置的进入角度为预先确定的角度。

[0037] 根据技术方案8所述的本发明，能够生成划分路径，在所述划分路径中，在距到达位置的距离成为规定距离的时刻，进行朝向到达位置的回转，以适当的进入角度进入到达位置从而能够确保到达方位。

[0038] 技术方案9所述的本发明的特征在于，在计划路径生成处理中生成包含大致直线的划分路径的计划路径，所述大致直线的划分路径用于在到达位置处预先设定的船舶的速度为零且船舶的行进方向呈预先确定的向到达位置的进入角度时，进行速度控制，以使在抵达船舶与到达位置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻船舶的速度为零。

[0039] 根据技术方案9所述的本发明，能够生成能进行速度控制且将船舶可靠且更安全地导向至到达位置为止的划分路径。

[0040] 技术方案10所述的本发明的特征在于，在船舶信息获取处理中获取船舶周边的海洋气象信息，在自动操船计算处理中，结合基于海洋气象信息的对船舶的外力，对操舵角及速度进行校正。

[0041] 根据技术方案10所述的本发明，能够通过结合外力而进行了校正的操舵角及速度，使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0042] 技术方案11所述的本发明的特征在于，求出作为海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对船舶的外力，预测由外力引起的船体运动，导出抵消由外力引起的船体运动的操舵角或速度，以补偿由风带来的外部干扰的方式控制自动操船装置。

[0043] 根据技术方案11所述的本发明,即使在强风时也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0044] 与技术方案12对应的船舶的自动导向程序,是使用了对于航行的船舶至少自动地进行操舵的控制的自动操船装置的船舶的自动导向程序,其特征在于,使计算机执行船舶的自动导向方法中的按照条件的输入进行的计划路径生成处理、船舶信息获取处理、纯追踪计算处理、自动操船计算处理、控制处理。

[0045] 根据技术方案12所述的本发明,能够提供一种程序,通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪控制)与自动操船装置组合,进行跟踪计划路径的自动导向,从而无需进行大量计算而进行控制,即使存在外部干扰也将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0046] 与技术方案13所对应的船舶的自动导向系统,是使用了对于航行的船舶至少自动地进行操舵的控制的自动操船装置的船舶的自动导向系统,其特征在于,具备:计划路径生成单元,进行计划路径的获取或计划路径的计算;船舶信息获取单元,获取船舶的位置及船首方位;纯追踪计算单元,基于船舶的位置及船首方位,计算在船舶的行进方向的计划路径上满足规定条件的目标点或计算目标点的方位;自动操船计算单元,基于目标点或方位、与位置或船首方位计算船舶的操舵角;控制单元,基于船舶的操舵角控制自动操船装置。

[0047] 根据技术方案13所述的本发明,通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪控制)与自动操船装置组合,进行跟踪计划路径的自动导向,无需大量的计算而进行控制,即使存在外部干扰,也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0048] 技术方案14所述的本发明的特征在于,在船舶信息获取单元中获取船舶的速度,在纯追踪计算单元及自动操船计算单元中使用速度进行计算。

[0049] 根据技术方案14所述的本发明,能够根据速度使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0050] 技术方案15所述的本发明的特征在于,在计划路径生成单元中,获取输入的船舶的到达点的到达位置与到达方位,使用在船舶信息获取单元中获取的位置、船首方位及速度,计算直至到达位置且能够确保到达方位的计划路径。

[0051] 根据技术方案15所述的本发明,能够生成描绘出以到达方位的朝向(角度)向到达位置连接的平滑的曲线的计划路径。

[0052] 技术方案16所述的本发明的特征在于,在计划路径生成单元中,获取海域信息,结合无法航行的海域信息来计算计划路径。

[0053] 根据技术方案16所述的本发明,能够提高船舶的自动导向系统的安全性,且能够扩大能应用船舶的自动导向系统的海域。

[0054] 技术方案17所述的本发明的特征在于,在计划路径生成单元中,具有控制点调整部,由船员确认计划路径的设定的控制点并进行变更,或者具有自动控制点调整部,基于由船舶信息获取单元得到的船舶信息自动地进行对控制点的调整,基于调整后的控制点生成计划路径。

[0055] 根据技术方案17所述的本发明,能够灵活地调整并人工或自动生成例如反映了障碍物的避让、到达时的进入角度的调整等的计划路径。

[0056] 技术方案18所述的本发明的特征在于,在计划路径生成单元中,将计划路径分割为切换控制的模式的多个划分路径。

[0057] 根据技术方案18所述的本发明,通过进行与划分路径对应的控制的模式,特别是

能够对于包含靠泊的直至到达点的计划路径根据划分路径来切换模式从而进行控制,使船舶高精度地跟踪至到达点为止。

[0058] 技术方案19所述的本发明的特征在于,在自动操船计算单元中,计算船舶在计划路径中航行的速度,在控制单元中,控制自动操船装置的包括离合器在内的速度控制单元,以使船舶得到计算出的速度。

[0059] 根据技术方案19所述的本发明,通过用离合器等速度控制单元调节速度,能够容易进行例如包含靠泊的对船舶向到达点的导向。

[0060] 技术方案20所述的本发明的特征在于,在计划路径生成单元中生成包含划分路径的计划路径,在所述划分路径中,在到达位置处预先设定的船舶的速度为零的情况下,在船舶距到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻,船舶向到达位置的进入角度为预先确定的角度。

[0061] 根据技术方案20所述的本发明,能够生成划分路径,在所述划分路径中,在距到达位置的距离成为规定距离的时刻,进行朝向到达位置的回转,以适当的进入角度进入到达位置从而能够确保到达方位。

[0062] 技术方案21所述的本发明的特征在于,在计划路径生成单元中生成包含大致直线的划分路径的计划路径,所述大致直线的划分路径用于在到达位置处预先设定的船舶的速度为零且船舶的行进方向呈预先确定的向到达位置的进入角度时,进行速度控制,以使在抵达船舶与到达位置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻船舶的速度为零。

[0063] 根据技术方案21所述的本发明,能够生成进行速度控制且能将船舶可靠且更安全地导向至到达位置为止的划分路径。

[0064] 技术方案22所述的本发明的特征在于,通过船舶信息获取单元获取船舶周边的海洋气象信息,在自动操船计算单元中,结合基于海洋气象信息的对船舶的外力,对操舵角及速度进行校正。

[0065] 根据技术方案22所述的本发明,能够通过结合外力而进行了校正的操舵角及速度使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0066] 技术方案23所述的本发明的特征在于,求出作为海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对船舶的外力,预测由外力引起的船体运动,导出抵消由外力引起的船体运动的操舵角或速度,以补偿由风引起的外部干扰的方式控制自动操船装置。

[0067] 根据技术方案23所述的本发明,即使在强风时也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0068] 技术方案24所述的本发明的特征在于,具备对计划路径、船舶的位置、船首方位、目标点或目标点的方位中的至少任1项进行显示的显示单元。

[0069] 根据技术方案24所述的本发明,船员能够进行计划路径的确认、自动导向系统的工作状况的监控等。

[0070] 与技术方案25对应的船舶的特征在于,具备船舶的自动导向系统。

[0071] 根据技术方案25所述的本发明,能够提供具备组合了纯追踪控制与自动操船装置的、即使存在外部干扰也能高精度地跟踪计划路径的自动导向系统的船舶。

[0072] 发明效果

[0073] 根据本发明的船舶的自动导向方法,能够通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪

控制)与自动操船装置组合,进行跟踪计划路径的自动导向,无需大量的计算而进行控制,即使存在外部干扰也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。特别地,通过与自动驾驶仪等自动操船装置组合,容易实现由纯追踪控制跟踪具有曲线部的计划路径这样的路径。

[0074] 此外,在船舶信息获取处理中获取船舶的速度,在纯追踪计算处理及自动操船计算处理中使用速度进行计算,在该情况下,能够使船舶根据速度更高精度地跟踪计划路径。

[0075] 此外,在计划路径生成处理中,获取输入的船舶的到达点的到达位置与到达方位,使用在船舶信息获取处理中获取的位置、船首方位及速度,计算直至到达位置且能够确保到达方位的计划路径,在该情况下,能够生成描绘出以到达方位的朝向(角度)向到达位置连接的平滑的曲线的计划路径。

[0076] 此外,在计划路径生成处理中,获取海域信息,结合无法航行的海域信息来计算计划路径,在该情况下,能够提高船舶的自动导向方法的安全性,且能够扩大能应用船舶的自动导向方法的海域。

[0077] 此外,在计划路径生成处理中,还具有控制点调整处理,调整用于变更呈曲线的计划路径的设定的控制点,基于调整后的控制点生成计划路径,在该情况下,能够灵活地调整并生成例如反映了障碍物的避让、到达时的进入角度的调整等的计划路径。

[0078] 此外,在计划路径生成处理中,将计划路径分割为假设切换控制的模式的多个划分路径,在该情况下,通过进行与划分路径对应的控制的模式,特别是能够对于包含靠泊的直至到达点的计划路径根据划分路径切换模式来进行控制,使船舶高精度地跟踪至到达点为止。

[0079] 此外,在自动操船计算处理中计算船舶在计划路径中航行的速度,在控制处理中,基于计算出的速度控制自动操船装置的包括离合器在内的速度控制单元,在该情况下,通过用离合器等速度控制单元调节速度,能够容易进行例如包含靠泊的对船舶向到达点的导向。

[0080] 此外,在计划路径生成处理中生成包含划分路径的计划路径,在所述划分路径中,在到达位置处预先设定的船舶的速度为零的情况下,在船舶距到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻,船舶向到达位置的进入角度为预先确定的角度,在该情况下,能够生成划分路径,在所述划分路径中,在距到达位置的距离成为规定距离的时刻,进行朝向到达位置的回转,以适当的进入角度进入到达位置从而能够确保到达方位。

[0081] 此外,在计划路径生成处理中生成包含大致直线的划分路径的计划路径,所述大致直线的划分路径用于在到达位置处预先设定的船舶的速度为零且船舶的行进方向呈预先确定的向到达位置的进入角度时,进行速度控制,以使在抵达船舶与到达位置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻船舶的速度为零,在该情况下,能够生成能进行速度控制且将船舶可靠且更安全地导向至到达位置为止的划分路径。

[0082] 此外,在船舶信息获取处理中获取船舶周边的海洋气象信息,在自动操船计算处理中,结合基于海洋气象信息的对船舶的外力,对操舵角及速度进行校正,在该情况下,能够通过结合外力而进行了校正的操舵角及速度使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0083] 此外,求出作为海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对船舶的外力,预测由外力引起的船体运动,导出抵消由外力引起的船体运动的操舵角或速度,以补偿由风引起

的外部干扰的方式控制自动操船装置,在该情况下,即使在强风时也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0084] 此外,根据本发明的船舶的自动导向程序,能够提供一种程序,通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪控制)与自动操船装置组合,进行跟踪计划路径的自动导向,从而无需进行大量计算而进行控制,即使存在外部干扰也将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0085] 此外,根据本发明的船舶的自动导向系统,能够通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪控制)与自动操船装置组合,进行跟踪计划路径的自动导向,无需大量的计算而进行控制,即使存在外部干扰,也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0086] 此外,在船舶信息获取单元中获取船舶的速度,在纯追踪计算单元及自动操船计算单元中使用速度进行计算,在该情况下,能够使船舶根据速度更高精度地跟踪计划路径。

[0087] 此外,在计划路径生成单元中,获取输入的船舶的到达点的到达位置与到达方位,使用在船舶信息获取单元中获取的位置、船首方位及速度,计算直至到达位置且能够确保到达方位的计划路径,在该情况下,能够生成描绘出以到达方位的朝向(角度)向到达位置连接的平滑的曲线的计划路径。

[0088] 此外,在计划路径生成单元中,获取海域信息,结合无法航行的海域信息来计算计划路径,在该情况下,能够提高船舶的自动导向系统的安全性,且能够扩大能应用船舶的自动导向系统的海域。

[0089] 此外,在计划路径生成单元中,具有控制点调整部,由船员对用于变更呈曲线的计划路径的设定的控制点进行确认并变更,或者具有自动控制点调整部,基于由船舶信息获取单元得到的船舶信息自动地进行对控制点的调整,基于调整后的控制点生成计划路径,在该情况下,能够灵活地调整并人工或自动生成例如反映了障碍物的避让、到达时的进入角度的调整等的计划路径。

[0090] 此外,在计划路径生成单元中,将计划路径分割为切换控制的模式的多个划分路径,在该情况下,通过进行与划分路径对应的控制的模式,特别是能够对于包含靠泊的直至到达点的计划路径根据划分路径切换模式来进行控制,使船舶高精度地跟踪至到达点为止。

[0091] 此外,在自动操船计算单元中计算船舶在计划路径中航行的速度,在控制单元中,控制自动操船装置的包括离合器在内的速度控制单元,以使船舶成为计算出的速度,在该情况下,通过用离合器等速度控制单元调节速度,能够容易进行例如包含靠泊的对船舶向到达点的导向。

[0092] 此外,在计划路径生成单元中生成包含划分路径的计划路径,在所述划分路径中,在到达位置处预先设定的船舶的速度为零的情况下,在船舶距到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻,船舶向到达位置的进入角度为预先确定的角度,在该情况下,能够生成划分路径,在所述划分路径中,在距到达位置的距离成为规定距离的时刻,进行朝向到达位置的回转,以适当的进入角度进入到达位置从而能够确保到达方位。

[0093] 此外,在计划路径生成单元中生成包含大致直线的划分路径的计划路径,所述大致直线的划分路径用于在到达位置处预先设定的船舶的速度为零,且船舶的行进方向呈预先确定的向到达位置的进入角度时,进行速度控制,以使船舶的速度在抵达船舶与到达位

置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻为零,在该情况下,能够生成能进行速度控制且将船舶可靠且更安全地导向至到达位置为止的划分路径。

[0094] 此外,在船舶信息获取单元中获取船舶周边的海洋气象信息,在自动操船计算单元中,结合基于海洋气象信息的对船舶的外力,对操舵角及速度进行校正,在该情况下,能够通过结合外力而进行了校正的操舵角及速度使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0095] 此外,求出作为海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对船舶的外力,预测由外力引起的船体运动,导出抵消由外力引起的船体运动的操舵角或速度,以补偿由风引起的外部干扰的方式控制自动操船装置,在该情况下,即使在强风时也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0096] 此外,具备对计划路径、船舶的位置、船首方位、目标点或目标点的方位中的至少任1项进行显示的显示单元,在该情况下,船员能够进行计划路径的确认、自动导向系统的工作状况的监控等。

[0097] 此外,根据本发明的船舶,能够提供具备组合了纯追踪控制与自动操船装置的、即使存在外部干扰也能高精度地跟踪计划路径的自动导向系统的船舶。

附图说明

[0098] 图1是基于本发明的第一实施方式的船舶的自动导向系统的概要图。

[0099] 图2是使用了该船舶的自动导向系统的自动导向方法的流程图。

[0100] 图3是示出该纯追踪的算法的图。

[0101] 图4是对于该计划路径的跟踪性能的概念图。

[0102] 图5是通过航迹轨迹评价进行将由其自动操船装置进行的自动操舵与纯追踪组合的控制的情况下的跟踪性能的图。

[0103] 图6是使用了该自动导向系统的自动靠泊操船的流程图。

[0104] 图7是示出该生成的靠泊路径与控制模式的例子的图。

[0105] 图8是示出用于该靠泊操船的坐标系的图。

[0106] 图9是基于该贝塞尔曲线的靠泊路径的概略图。

[0107] 图10是示出该自动靠泊操船中的控制处理的详细内容的流程图。

[0108] 图11是示出该船体运动的坐标系的图。

[0109] 图12是基于本发明的第二实施方式的Hybrid-state A*的搜索方法与传统的A*算法的比较。

[0110] 图13是示出本发明的第三实施方式中的基于纯追踪的算法的路径跟踪控制的图。

[0111] 图14是示出由风引起的路径跟踪控制的紊乱的图。

[0112] 图15是示出该解析结果的图。

[0113] 图16是示出该实施例1中的实验船的风压系数的图。

[0114] 图17是基于本发明的实施例1的船体控制系统的构成图。

[0115] 图18是示出该旋回试验的测量结果与调整和模拟结果的比较的图。

[0116] 图19是示出在该假想栈桥中的自动靠泊操船的实验结果的图。

[0117] 图20是示出在该假想栈桥中的自动靠泊操船的实验中由船舶信息获取单元获取的各测量值的图。

- [0118] 图21是示出在该实际栈桥中的自动靠泊操船的实验结果的图。
- [0119] 图22是示出在该实际栈桥中的自动靠泊操船的实验中由船舶信息获取单元获取的各测量值的图。
- [0120] 图23是示出在该强风下的假想栈桥中的自动靠泊操船的实验结果的图。
- [0121] 图24是示出在该强风下的假想栈桥中的自动靠泊操船的实验中由船舶信息获取单元获取的各测量值的图。
- [0122] 图25是示出基于本发明的实施例2的使用了Hybrid-state A*生成的到靠泊位置的计划路径的图。
- [0123] 图26是示出使用由该LiDAR测量而得的点组计算靠泊路径的例子的图。
- [0124] 图27是示出将船体位置从由该LiDAR测量的位置有意地改变并计算路径的例子的图。
- [0125] 图28是示出基于本发明的实施例3的通过具有反馈控制的纯追踪与HCS进行的靠泊控制的实船试验结果的图。
- [0126] 图29是示出该图28所示的状态的实测值的图。
- [0127] 图30是示出在该强风下的通过具有反馈控制的纯追踪与HCS进行的靠泊控制的实船试验结果的图。
- [0128] 图31是示出该图30所示的状态的实测值的图。

具体实施方式

- [0129] 以下,对本发明的第一实施方式的船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶进行说明。
- [0130] 图1是船舶的自动导向系统的概要图。
- [0131] 船舶的自动导向系统具备:计划路径生成单元10,进行计划路径的获取或计划路径的计算;船舶信息获取单元20,获取船舶的位置及船首方位;纯追踪计算单元30,基于船舶的位置及船首方位,计算在船舶的行进方向的计划路径上满足规定条件的目标点或计算目标点的方位;自动操船计算单元40,基于目标点或目标点的方位计算船舶的操舵角;控制单元50,基于船舶的操舵角控制自动操船装置60;自动操船装置60的离合器等速度控制单元61;画面等显示单元70。
- [0132] 另外,在自动操船装置60中,可以包含进行操舵的舵和控制速度的离合器等致动器,也可以仅包含舵和离合器等控制功能部,另外也可以仅包含发出用于进行对舵和离合器等控制的指令值的功能,以及还可以将它们由舵和离合器等组合来使用。
- [0133] 图2是使用了船舶的自动导向系统的自动导向方法的流程图,图3是示出纯追踪的算法的图。
- [0134] 首先,计划路径生成单元10生成船舶的计划路径(计划路径生成处理S1)。所生成的计划路径被输入至纯追踪计算单元30及自动操船计算单元40。计划路径生成单元10除了能够自动地生成计划路径以外,还能够通过接受预先设定的计划路径的输入来生成计划路径。另外,关于计划路径的生成的详细内容将在下文描述。
- [0135] 在计划路径生成处理S1之后,控制单元50基于获取的计划路径开始操船(操船开始处理S2)。

[0136] 船舶信息获取单元20例如是位置传感器或方位角传感器等,获取船舶的位置及船首方位(船舶信息获取处理S3)。

[0137] 纯追踪计算单元30基于船舶的位置及船首方位,计算在船舶的行进方向的计划路径上满足规定条件的目标点,或者计算目标点的方位(纯追踪计算处理S4)。

[0138] 纯追踪(Pure pursuit)是一种路径跟踪控制算法,是在机器人学和车的自动驾驶等领域广泛使用的路径跟踪算法。在纯追踪中,如图3所示,对于预先设定的有向路径,将距搭载于船舶的GNSS传感器等位置传感器的设置位置一定距离的前方的路径上的点作为目标点,进行旋回控制以到达该目标点。将距该目标点的距离称为前方注视距离(Look ahead distance)。

[0139] 在决定目标点(前方注视距离)时,在路径跟踪时设想的路径曲线中求出最大的曲率半径,准备具有该曲率半径的圆周路径,以能够跟踪圆周路径的方式设定前方注视距离。另外,也可以进行实船试验确认能否跟踪,此外,在已知KT等操纵性指数的情况下,也能够根据简易的模拟来决定。

[0140] 在纯追踪计算处理S4中,纯追踪计算单元30基于计划路径生成单元10在计划路径生成处理S1中生成的计划路径,在行进方向的计划路径上,例如以规定的距离计算目标点,或者计算目标点的方位,例如将计算出的方位发送至自动操船计算单元40。并且,纯追踪计算单元30随着航行而不断更新目标点的方位(更新设定值)。

[0141] 自动操船计算单元40基于目标点或目标点的方位、船舶的位置或船首方位来计算船舶的操舵角(自动操船计算处理S5)。

[0142] 控制单元50基于自动操船计算单元40计算出的船舶的操舵角,控制自动地进行对操舵的控制的自动操船装置60(控制处理S6)。由此,可得到沿着计划路径的航迹。

[0143] 自动操船装置60与陀螺仪等联动,若设定方位等的设定值,则通过PID控制或自适应控制来控制操舵装置以使船舶成为所设定的方位等。

[0144] 控制单元50在控制处理S6之后,判定是否接受了控制结束信号(控制结束判定处理S7)。控制结束信号例如在以规定距离接近目的地的情况下等通过自动输入或者由船员等手动输入。

[0145] 控制单元50在由控制结束判定处理S7判定为接受了控制结束信号的情况下,结束对自动操船装置60的控制。另一方面,在控制结束判定处理S7中判定为未接受控制结束信号的情况下,返回船舶信息获取处理S3继续进行控制。

[0146] 图4是对于计划路径的跟踪性能的概念图,图4(a)示出仅由自动操船装置进行自动操舵的情况下的跟踪性能,图4(b)示出进行将由自动操船装置进行的自动操舵与纯追踪(单纯跟踪)组合的控制的情况下的跟踪性能。此外,图5是通过航迹轨迹评价进行了将由自动操船装置进行的自动操舵与纯追踪组合的控制的情况下的跟踪性能的图,图5(a)示出通过将由自动操船装置进行的自动操舵与纯追踪组合的控制而跟踪计划路径的结果,图5(b)示出以舵角恒定(+15°)跟踪计划路径的结果。

[0147] 如图4(a)所示,由于使用了方位陀螺仪的现有的自动操舵(自动驾驶仪)仅控制船舶的船首方位,因此若受到风或潮流的影响会偏离路径。

[0148] 另一方面,如图4(b)及图5(a)所示,通过将基于纯追踪计算的控制(纯追踪控制)与自动操舵组合,进行跟踪计划路径的自动导向,无需像模型预测控制那样进行大量的计

算而进行控制,能够进行即使存在外部干扰也将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下的沿着路径的自动控制。特别地,通过与自动驾驶仪等自动操船装置60组合,容易实现由纯追踪控制跟踪具有曲线部的计划路径这样的路径。

[0149] 如上所述,与仅进行自动操舵的情况相比,纯追踪与自动操舵组合的控制加入了对外部干扰进行补偿的控制,因此能够将路径的偏离抑制为一定的量以下。此外,由于仅计算对于路径上的目标点的操舵量,因此计算工作量较少。此外,控制所需要的参数本质上只要前方注视距离这一个即可。此外,对于控制的稳定性,只要路径的曲率较小而具有一定程度的前进速度,则能够通过自动操舵的稳定性来讨论系统的稳定性。即,在设计稳定的控制参数方面,可以使用传统的稳定性解析,能够以自动操舵的控制稳定性为基础保证基本的稳定性。

[0150] 接着,对将船舶导向至到达点的自动导向方法进行说明。另外,在本实施方式中,将到达点设为栈桥。

[0151] 图6是使用了自动导向系统的自动靠泊操船的流程图。

[0152] 若开始自动靠泊控制,则船舶信息获取单元20获取船舶的位置(纬度经度)、船首方位及船舶的速度(第一船舶信息获取处理S11)。

[0153] 在第一船舶信息获取处理S11之后,由船员等将靠泊位置坐标与靠泊时方位角输入至自动导向系统(靠泊信息输入处理S12)。

[0154] 在靠泊信息输入处理S12之后,控制单元50开始操船(操船开始处理S13)。

[0155] 在操船开始处理S13之后,计划路径生成单元10获取所输入的船舶的到达点的到达位置(靠泊位置坐标)与到达方位(靠泊时方位角),使用在第一船舶信息获取处理S11中获取的船舶的位置、船首方位及速度,计算考虑了到达位置与到达方位的向到达点连接的曲线作为计划路径,生成直至到达位置且能够确保船舶的到达方位的计划路径(计划路径生成处理S14)。由此,能够生成描绘出以到达方位的朝向(角度)向到达位置连接的平滑的曲线的计划路径(靠泊路径)。

[0156] 在此,图7是示出所生成的靠泊路径与控制模式的例子的图,图8是示出用于靠泊操船的坐标系的图。

[0157] 假设在到达靠泊为止的计划路径中由控制单元50进行控制的模式切换,计划路径生成单元10将计划路径分割为多个划分路径。

[0158] 在本实施方式中,如图7所示,计划路径生成单元10将以虚线示出的靠泊路径划分为以路径跟踪模式进行控制的第一划分路径A1、以空档航行模式进行控制的第二划分路径1B、以回转模式进行控制的第三划分路径1C、以停止模式进行控制的第四划分路径1D这四个划分路径。控制单元50在各个划分路径中切换控制模式。该切换例如以实际上由操船者进行靠泊操船时的步骤为基准。进而,在本实施方式中,为了减少对主机的过度负荷,除了最后的停止模式以外,不进行利用螺旋桨反转的减速,而是通过空档状态进行减速。因此,控制模式的切换位置以考虑到每个船在各区间充分减速所需要的航行距离,能够确保减速所需要的距离的方式配置,例如配置在从靠泊位置起沿着路径为10、70、100[m]的位置。

[0159] 此外,为了容易地进行位置信息的处理,在以靠泊位置为原点 O_{berth} 的、将长度的单位变换为米的X-Y平面的坐标系中处理从船舶信息获取单元20得到的纬度经度的信息。此时,X轴将北作为正,Y轴将东作为正。进而,在明确与栈桥2的位置关系时,使用将X-Y坐标系

与栈桥2的朝向相匹配地旋转后的 $x_{\text{berth}}-y_{\text{berth}}$ 坐标系(原点同样为 O_{berth})。在图8中示出这两个坐标系的关系。在图8中, α_{berth} 对应于栈桥2的方位角。

[0160] 图9是基于贝塞尔曲线的靠泊路径的概略图。

[0161] 根据实际的操船例等,可认为作为以左右舷靠岸的靠泊路径,只要是从操船开始时的船舶的位置向船首的方向延伸、且以与栈桥2平行的角度向靠泊位置连接的平滑的曲线即可。该形状能用三次贝塞尔(Bezier)曲线来表示。通常, $N-1$ 次贝塞尔曲线是由 N 个控制点 $B_0 \dots B_{N-1}$ 定义的 $N-1$ 次曲线,将 t 作为参数,以下式(1)、(2)那样表示。

[0162] [数1]

$$[0163] \quad \text{Bezier}(t; N) = \sum_{i=0}^{N-1} B_i J_{N-1,i}(t) \quad \dots (1)$$

[0164] [数2]

$$[0165] \quad J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad \dots (2)$$

[0166] 其中, $0 < t < 1$, $J_{n,i}(t)$ 是Bernstein基函数。

[0167] 由于 N 次贝塞尔曲线能够将路径形状表示为 t 的 N 次函数,因此能够将三次贝塞尔曲线作为 t 的至多3次式来表达。在图9中,控制点 B_1 是自动操船开始时的船体位置,控制点 B_2 是距控制点 B_1 在船首方位角 ψ 的方向上为 $0.6 |y_{\text{berth}}|$ [m]的距离的点,控制点 B_3 从控制点 B_4 在 $\alpha_{\text{berth}} + 180$ [deg]的方向上为80 [m]的距离的点,控制点 B_4 是靠泊目标位置。考虑到能够交接系船用的缆绳的距离与安全面,靠泊目标位置例如设定为 $(x_{\text{berth}}, y_{\text{berth}}) = (5, 0)$ [m]。在该设计中,控制点 B_1 根据与栈桥2之间的距离而伸缩,因此能够不考虑控制开始时的船体位置而根据控制点 B_3 与控制点 B_4 的距离来设定向栈桥2接近时的角度。在应用于其他船舶时,能够根据需要通过改变设定控制点 B_3 时的距离,设定从更小的角度靠泊的靠泊路径。

[0168] 另外,虽然通过使用贝塞尔曲线容易生成最普遍的靠泊路径,但是也可以使用B样条曲线、回旋曲线等其他曲线来生成靠泊路径。此外,也能够增加控制点,使用更高阶的贝塞尔曲线。此外,也能够使用后述那样的Hybrid-stateA*算法代替使用了贝塞尔曲线的路径计划算法来生成靠泊路径(计划路径)。

[0169] 在到达点为栈桥2的情况下,预先将到达位置的船舶的速度设为零。

[0170] 计划路径生成单元10在计划路径生成处理S14中生成包含划分路径的计划路径,在所述划分路径中,在船舶距到达位置的距离成为预先确定的距离的时刻,船舶向到达位置的进入角度为预先确定的角度。由此能够生成划分路径,在所述划分路径中,在距到达位置的距离成为规定距离的时刻,进行朝向到达位置的回转,以适当的进入角度进入到达位置从而能够确保到达方位。在本实施方式中,对应于以回转模式进行控制的第三划分路径1C。

[0171] 此外,计划路径生成单元10生成包含大致直线的划分路径的计划路径,所述大致直线的划分路径用于在到达位置处预先设定的船舶的速度为零,且船舶的行进方向呈预先确定的向到达位置的进入角度时,进行速度控制,以使船舶的速度在抵达船舶与到达位置之间的距离短于预先确定的距离的位置的时刻为零。由此,能够生成能进行速度控制且将

船舶可靠且更安全地导向至到达位置为止的划分路径。在本实施方式中,对应于以停止模式进行控制的第四划分路径1D。另外,在靠泊的情况下的“预先确定的距离”是指例如能够进行系船用的缆绳的交接的距离。此外,“预先确定的向到达位置的进入角度”可以具有一定程度的宽度。

[0172] 另外,在计划路径生成单元10中,还能够具备由船员对计划路径的设定的控制点进行确认并变更的控制点调整部、或基于由船舶信息获取单元20得到的船舶信息自动地进行对控制点的调整的自动控制点调整部中的至少一方。在该情况下,在计划路径生成处理S14,还具有控制点调整处理,调整用于变更呈曲线的计划路径的设定的控制点 $B_1 \sim B_4$,基于调整后的控制点生成计划路径。

[0173] 由此,能够人工或自动进行灵活调整从而生成例如反映了对他船或浅滩等障碍物的避让和到达时的进入角度的调整等的计划路径。

[0174] 在由船员进行变更的情况下,通过触摸面板或轨迹球等观察画面并且对控制点调整部发出指示,调整控制点。

[0175] 在由自动控制点调整部进行变更的情况下,基于海图信息、LiDAR(激光探测及测距系统:light detection and ranging)等传感器信息自动地调整计划路径。例如,从海图或传感器信息中获取障碍物的二维信息,在计划路径被障碍物挡住的情况下,使控制点 $B_1 - B_2$ 间或 $B_3 - B_4$ 间的长度每隔0.1m进行变更,求出计划路径不被障碍物挡住的路径。计算可以逐一进行,也可以使用动态规划算法高效地求解。另外,在未求出解的情况下,通过显示或声音等发出警告,进行催促船员通过控制点调整部进行变更等的应对。

[0176] 可以在最初的计划路径生成时刻人工或自动调整控制点,且还可以在确认了暂时生成的计划路径后,进行修正控制点的调整而再次生成计划路径。

[0177] 返回到图6,在计划路径生成处理S14之后,船舶信息获取单元20获取船舶的位置、船首方位及速度(第二船舶信息获取处理S15)。

[0178] 控制单元50基于在第二船舶信息获取处理S15中获取的船舶的位置、船首方位及船速来控制自动操船装置60(控制处理S16)。

[0179] 在控制处理S16之后,控制单元50判定船舶是否到达了靠泊位置(靠泊判定处理S17)。

[0180] 在靠泊判定处理S17中判定为“否”,即判定为未靠泊的情况下,控制单元50返回第二船舶信息获取处理S15继续进行控制。另一方面,在靠泊判定处理S17中判定为“是”,即判定为已靠泊的情况下,结束自动靠泊控制。

[0181] 图10是示出自动靠泊操船中的控制处理S16的详细内容的流程图,图11是示出船体运动的坐标系的图。在图11中,在空间固定坐标系 $o_0 - x_0 y_0 z_0$ 中,将 x_0 作为北向,将 y_0 作为东向。此外,将船体固定坐标系的原点 o 作为船体的舯(midship)位置。

[0182] 纯追踪计算单元30基于由船舶信息获取单元20在第二船舶信息获取处理S15中获取的船舶的位置、船首方位及速度,计算在船舶的行进方向的计划路径上满足规定条件的目标点或计算目标点的方位(纯追踪计算处理S21)。

[0183] 在将纯追踪应用于船舶的情况下,由于需要通过操舵来跟踪目标方位角,因此,组合对目标方位角进行PD控制的HCS(航向控制系统:Heading Control System)。此时,若将从船舶(本船)到目标点的相对方位角设为 α ,则能够将相对于船首方位角的PD控制的HCS的

指令舵角设为最大 $\pm 45^\circ$ ，如下式(3)那样地进行计算。

[0184] [数3]

$$[0185] \quad \delta^* = \text{clip}(K_p[\alpha - \psi]_{-180^\circ, 180^\circ} - K_d r, -45^\circ, 45^\circ) \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0186] 在此， K_p 与 K_d 分别表示HCS的比例增益与微分增益， $[x]_{-180^\circ, 180^\circ} = (x + 180^\circ \bmod 360^\circ) - 180^\circ$ 表示将角度 x [deg]收敛在 $[-180^\circ, 180^\circ]$ 的范围的运算。

[0187] 例如根据模拟及实船测量的结果将比例增益与微分增益设为 $K_p = 3.0$ 、 $K_d = 1.0$ 。另外，相对于常用船速(normal speed)的 K_p 的设定为2.0左右。在HCS的增益设计中，纯追踪通过观察路径的前路进行控制再进行微分控制的动作，因此通过在不会使通常的航向保持控制不稳定的范围内，考虑路径上的曲率最大的区间的跟踪性而将 K_p 设定为较大的值，由此能够改善对外部干扰的鲁棒性与路径跟踪性能。

[0188] 将作为纯追踪的唯一参数的前方注视距离定义为船舶与从船舶信息获取单元20中的位置传感器的设置位置观察到的路径上的前方的目标点之间的距离。但是，在由于外部干扰的影响而船体位置与路径上的最接近距离成为设定的前方注视距离以上的情况下，将路径上的最接近点作为目标点。基于跟踪图3所示那样的具有一定曲率半径的路径的控制的模拟及实船实验的结果，将前方注视距离设定为例如相对于垂线间长 L_{pp} 为1.6倍。

[0189] 另一方面，在回转模式下进行控制的第三划分路径1C以后，船速较低，变得难以向目标方位进行跟踪。因此，在纯追踪计算单元30中，对纯追踪计算而得的目标点的方位加上校正角 $\alpha_{add} = -5$ [deg]进行HCS的计算，调整作为目标的靠泊位置的方位。

[0190] 在纯追踪计算处理S21之后，自动操船计算单元40基于目标点或目标点的方位、船舶的位置或船首方位、速度来计算船舶的操舵角(自动操船计算处理S22)。

[0191] 如此，在第二船舶信息获取处理S15中获取船舶的速度，在纯追踪计算处理S21及自动操船计算处理S22中使用速度进行计算，由此能够使船舶根据速度更高精度地跟踪计划路径。

[0192] 控制单元50基于自动操船计算单元40计算出的船舶的操舵角(指令舵角)来控制自动操船装置60进行操舵。另外，在操舵中包括对船首推进器的操作这样的对船舶的方位进行控制的操作。通过将纯追踪与自动操作组合从而由控制单元50控制船体位置，船舶能够高精度地跟踪靠泊路径。

[0193] 控制单元50在图7所示的四个控制区间1A~1D中，对包含离合器在内的速度控制单元61进行控制，以得到通过自动操船计算单元40的计算对每个控制区间作为目标值而设定的速度(船速)。

[0194] 速度控制单元61是基于车钟操作(主机负荷)进行的螺旋桨转速控制或离合器等，但在本实施方式中，考虑应对主机的机械负荷与船舶的安全性，将主机转速固定为怠速转速而进行靠泊操船。此外，船首推进器也不工作。因此，仅通过切换离合器就可以进行速度的控制。离合器能够得到前进、空档及倒退三个状态。

[0195] 控制单元50基于由船舶信息获取单元20获取的信息，判定从搭载于船舶的船舶信息获取单元20中的位置传感器至靠泊位置(栈桥2)为止的直线距离 D_{berth} 是否大于第一距离 D_1 (第一距离判定处理S24)，该第一距离 D_1 是从靠泊位置至第一划分路径1A与第二划分路径1B的边界位置(控制模式的切换位置)为止的直线距离。

[0196] 在第一距离判定处理S24中判定为“是”，即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 大

于第一距离 D_1 的情况下,控制单元50以路径跟踪模式进行控制。路径跟踪模式始终将离合器设为前进。

[0197] 另一方面,在第一距离判定处理S24中判定为“否”,即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 为第一距离 D_1 以下的情况下,控制单元50判定至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 是否大于第二距离 D_2 (第二距离判定处理S25),该第二距离 D_2 是至第二划分路径1B与第三划分路径1C的边界位置(切换控制模式的位置)为止的距离。

[0198] 在第二距离判定处理S25中判定为“是”,即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 大于第二距离 D_2 的情况下,控制单元50以空档航行模式进行控制。在空档航行模式中,控制单元50判定前后方向速度 u 是否大于规定速度 u_1 (第一速度判定处理S26)。规定速度 u_1 例如设为1.0[m/s]。

[0199] 在第一速度判定处理S26中判定为“是”,即判定为前后方向速度 u 大于规定速度 u_1 的情况下,控制单元50将离合器设为空档。另一方面,在第一速度判定处理S26中判定为“否”,即判定为前后方向速度 u 为规定速度 u_1 以下的情况下,将离合器设为前进。

[0200] 如此,空档航行模式下的离合器的状态以空档为基础,在由于强逆风使得前后方向速度 u 下降到规定速度 u_1 以下时,切换到前进。

[0201] 在第二距离判定处理S25中判定为“否”,即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 为第二距离 D_2 以下的情况下,控制单元50判定至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 是否大于第三距离 D_3 (第三距离判定处理S27),该第三距离 D_3 是至第三划分路径1C与第四划分路径1D的边界位置(切换控制模式的位置)为止的距离。

[0202] 在第三距离判定处理S27中判定为“是”,即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 大于第三距离 D_3 的情况下,控制单元50以回转模式进行控制。在回转模式中,控制单元50判定前后方向速度 u 是否大于规定速度 u_2 (第二速度判定处理S28)。规定速度 u_2 例如设为1.0[m/s]。

[0203] 在第二速度判定处理S28中判定为“是”,即判定为前后方向速度 u 大于规定速度 u_2 的情况下,控制单元50将离合器设为空档。另一方面,在第二速度判定处理S28中判定为“否”,即判定为前后方向速度 u 为规定速度 u_2 以下的情况下,对于目标方位角 α ,在右舷靠岸时判断是否为 $\alpha - \psi < 0$ [deg],在左舷靠岸时判断是否为 $\alpha - \psi < 0$ [deg](目标方位角判定处理S29)。

[0204] 在目标方位角判定处理S29中判定为“是”,即对于目标方位角 α 判定为 $\alpha - \psi < 0$ [deg](右舷靠岸时)、或者为 $\alpha - \psi < 0$ [deg](左舷靠岸时)的情况下,控制单元50将离合器设为前进。

[0205] 另一方面,在目标方位角判定处理S29中判定为“否”,即对于目标方位角 α 判定不为 $\alpha - \psi < 0$ [deg](右舷靠岸时)、或者不为 $\alpha - \psi < 0$ [deg](左舷靠岸时)的情况下,控制单元50判定至靠泊位为止的距离 D_{berth} 是否大于规定距离 D_F (例如为50m)且是否 $|\alpha - \psi| > 5$ [deg](距离与角度判定处理S30)。

[0206] 在距离与角度判定处理S30中判定为“是”,即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 大于规定距离 D_F 且 $|\alpha - \psi| > 5$ [deg]的情况下,控制单元50将离合器设为前进。

[0207] 另一方面,在距离与角度判定处理S30中判定为“否”,即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 为规定距离 D_F 以下,或者不为 $|\alpha - \psi| > 5$ [deg]的情况下,控制单元50判定前后方向速度 u 是否小于规定速度 u_3 (第三速度判定处理S31)。规定速度 u_3 例如设为0.3[m/s]。

[0208] 在第三速度判定处理S31判定为“是”，即判定为前后方向速度 u 小于规定速度 u_3 的情况下，控制单元50将离合器设为前进。另一方面，在第三速度判定处理S31中判定为“否”，即判定为前后方向速度 u 为规定速度 u_3 以上的情况下，将离合器设为空档。

[0209] 这样，在回转模式下的离合器的状态基本上设为空档，在满足规定条件的情况下切换为前进。

[0210] 另外，在回转模式之后预定停止模式的情况下，优选在回转模式期间使速度预先降低到规定速度。

[0211] 在第三距离判定处理S27中判定为“否”，即判定为至靠泊位置为止的距离 D_{berth} 为第三距离 D_3 以下的情况下，控制单元50以停止模式进行控制。在停止模式下，控制单元50判定至靠泊位置为止的距离 x_{berth} 是否大于规定距离 x_1 且前后方向速度 u 是否大于规定速度（例如为 $0.5[\text{m/s}]$ ）（第一距离与速度判定处理S32）。

[0212] 在第一距离与速度判定处理S32中判定为“是”，即判定为距离 x_{berth} 大于规定距离 x_1 且前后方向速度 u 大于规定速度的情况下，控制单元50将离合器设为倒退。

[0213] 另一方面，在第一距离与速度判定处理S32中判定为“否”，即判定为距离 x_{berth} 小于规定距离 x_1 或者前后方向速度 u 为规定速度以下的情况下，控制单元50判定至靠泊位置为止的距离 x_{berth} 是否大于规定距离 x_2 且前后方向速度 u 是否大于规定速度（例如 $0.1[\text{m/s}]$ ）（第二距离与速度判定处理S33）。

[0214] 在第二距离与速度判定处理S33中判定为“是”，即判定为 x_{berth} 大于规定距离 x_2 且前后方向速度 u 大于规定速度的情况下，控制单元50将离合器设为倒退。

[0215] 另一方面，在第二距离与速度判定处理S33中判定为“否”，即判定为距离 x_{berth} 为规定距离 x_2 以下或者前后方向速度 u 为规定速度以下的情况下，控制单元50判定至靠泊位置为止的距离 x_{berth} 是否小于0且前后方向速度 u 是否小于 $0[\text{m/s}]$ （第三距离与速度判定处理S34）。

[0216] 在第三距离与速度判定处理S34中判定为“是”，即判定为距离 x_{berth} 小于0且前后方向速度 u 小于 $0[\text{m/s}]$ 的情况下，控制单元50将离合器设为前进。

[0217] 另一方面，在第三距离与速度判定处理S34中判定为“否”，即判定为距离 x_{berth} 为0以上或者前后方向速度 u 为 $0[\text{m/s}]$ 以上的情况下，控制单元50将离合器设为空档。

[0218] 如此，在最后的停止模式中，直到前后方向速度 u 达到例如 $0.1[\text{m/s}]$ 以下为止，使离合器阶段性地设为倒退。此外，在由于逆风等在栈桥跟前成为 $x_{\text{berth}} < -0.0[\text{m}]$ 且 $u < 0[\text{m/s}]$ 的情况下，使离合器设为前进。在不符合这些条件的情况下，使离合器成为空档。

[0219] 如此，通过进行与划分路径对应的控制的模式，特别是能够对于包含靠泊的直至到达点的计划路径根据划分路径而切换模式来进行控制，使船舶高精度地跟踪至到达点为止。

[0220] 此外，在自动操船计算处理S22中计算船舶在计划路径中航行的速度，基于计算出的速度控制自动操船装置60的包括离合器在内的速度控制单元61，由此能够通过用离合器等速度控制单元61调节速度，容易进行例如包含靠泊的对船舶向到达点的导向。特别地，优选为，在第四划分路径1D的停止模式以外，为了防止对主机的过度负荷而限制离合器的倒退操作，以利用空档航行实现的减速为基础，在第三划分路径1C的回转模式下，即便目标方位角与船首方位角的差变大，除非处于船速充分小的状态，则不会进行通过使螺旋桨尾流

碰撞方向舵而实现的紧急旋回。

[0221] 此外,船舶的自动导向系统将靠泊操船中的船速与位置控制分离,设定并跟踪至靠泊位置为止的路径。通过进行基于这样的路径跟踪的靠泊操船,船员等能够预先确认计划路径(靠泊路径),并且能够通过确认距路径的偏差来确认自动控制是否正常工作。另外,在显示单元70上显示距靠泊路径或路径的偏差。除此之外,还在显示单元70中显示船舶的位置、船首方位、目标点、目标点的方位、船舶的速度、海洋气象信息、计算出的外力等。

[0222] 此外,通过采用能够根据路径来设定向栈桥2接近时的角度的路径跟踪控制,能够将路径计划的问题与控制的稳定性的问题分开设计。

[0223] 此外,船舶信息获取单元20在第二船舶信息获取处理S15中获取船舶周边的海洋气象信息,自动操船计算单元40还能够在自动操船计算处理S22中,结合基于海洋气象信息的对船舶的外力,对操舵角及速度进行校正。能够通过结合外力而进行了校正的操舵角及速度,使船舶更高精度地跟踪计划路径。

[0224] 在外力的测量中,由于难以在船舶进行转向、加速、减速等时进行精密的测量,因此优选在空档航行模式等以恒定速度直行的期间进行测量并使用其结果来校正操舵角及速度。

[0225] 如此,组合纯追踪与自动操船装置60而跟踪计划路径的自动导向在如靠泊那样沿着呈曲线的计划路径进行细微控制的情况下特别有效。

[0226] 另外,在上述中主要对船舶的自动导向方法及自动导向系统进行了说明,但本发明还能够是使用了至少自动进行对航行的船舶的操舵的控制的自动操船装置60的船舶的自动导向程序,使计算机执行按照条件的输入进行的计划路径生成处理S1与S14、船舶信息获取处理S3、S11与S11、纯追踪计算处理S4与S21、自动操船计算处理S5与S22、控制处理S6与S16。由此,能够提供一种程序,通过将纯追踪与自动操船装置60组合,进行跟踪计划路径的自动导向,无需像模型预测控制那样进行大量计算,即使存在外部干扰,也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0227] 接着,对本发明的第二实施方式的船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶进行说明。另外,对于与上述实施方式相同的功能部件等赋予相同的附图标记并省略说明。

[0228] 在上述的第一实施方式中,通过使用了贝塞尔曲线的路径计划算法来生成计划路径(靠泊路径),但该算法并不考虑周围的地形或位于栈桥2的周围的浅滩等航行环境,而是根据船体位置与靠泊的目标点在几何学上计算路径,因此根据本船的初始位置的不同,有可能生成实际的航行困难的路径。

[0229] 因此,在本实施方式中,在计划路径生成处理S1、S14中获取海域信息,在计划路径生成单元10中结合无法航行的海域信息来计算计划路径。“无法航行的海域信息”是指与存在船舶等移动物体或浮游物体等障碍物、或者浅滩等的无法航行的海域相关的信息。由此,能够提高船舶的自动导向的安全性,且能够扩大能应用船舶的自动导向的海域。

[0230] 所获取的海域信息是即使离线也能利用的通过电子海图得到的信息,以及通过LiDAR等传感器类在航行中在实际海域检测的海域信息。在航行中,在实际海区域检测出的海域信息是当场得知的新的信息,基于该新的信息,计划路径生成单元10能够再次计算计划路径。

[0231] 在本实施方式中,使用作为路径搜索算法之一的Hybrid-state A*算法,在考虑了航行环境的靠泊控制中生成适当的计划路径。

[0232] Hybrid-state A*算法(也称为HybridA*)是以被称为A*的传统算法为基础的用于路径搜索的算法。在A*中,首先将搜索区域分割成网格状,搜索到终点的路径。A*被分类为图搜索算法,从表示初始位置的启动节点开始依次调查与周围相邻(未被障碍物独占)的网格对应的节点,最终搜索至终点的节点为止的路径。

[0233] 在搜索中,计算各节点的代价(cost)。在搜索从起点到终点为止的最短路径的情况下,各节点的代价对应于与到达该节点为止的移动距离分开定义的启发式函数的值。一般的启发式函数的值是反映到终点的距离的简单的函数。通过在其代价变小的方向上搜索节点,从而找到到终点的目标路径,这便是A*算法。

[0234] 对Hybrid-state A*进行了三项设计。

[0235] 第一个设计在于在搜索时使用四维搜索空间(x,y,θ,r)来进行搜索。在此,x、y以原本的位置坐标表示,θ以移动体的朝向(在船的情况下与船首方位对应)表示,r是相对于路径的移动方向并以0(前进)与1(倒退)的二值表示。通过从原本的二维平面变成四维空间中的搜索,Hybrid-state A*的搜索能够连续地搜索二维空间,得到的轨迹不是通过A*得到的那样的连接网格中心的折线来表达,而是通过连续的曲线来表达。在此,图12是将Hybrid-stateA*的搜索方法与传统的A*算法的进行比较的比较图,图12(a)示出传统的A*算法的离散状态,图12(b)示出Hybrid-state A*算法的连续的状态。

[0236] 第二个设计在于,另一方面,为了减少由于搜索的维数增加而增大的计算时间,更有效地进行搜索,将使用了动态计划法的代价地图作为启发式函数来使用。由此,即使是复杂的地形,也能够有效地搜索到终点的路径。

[0237] 进而,即使在四维空间中的搜索中,由于对一个个节点的搜索是在离散化的行动空间中进行的,因此若保持原样则并不能在实际的连续空间中实现定义好的终点的态势。因此,第三个研究是导入被称为Analytic Expansion的方法。在Analytic Expansion中,将从通过节点的搜索求出的至中途为止的路径到终点用曲线连接,由此扩展路径,从而解决终端状态的问题。通常,在该路径的扩展中,使用被称为Reeds-Shepp路径的路径生成算法。Reeds-Shepp路径是根据被赋予的两点的位置与朝向,生成定义了行进方向的由圆弧与直线构成的最短路径的算法。

[0238] 对于通过到此为止的步骤而得到的路径的候选,进行碰撞检测(Collision Detection)判定是否为有效路径。如果在区域内,则计算在表达出移动体的形状的长方形区域中是否包含障碍物的点,进行碰撞的判定。反复进行该流程,在发现最终没有碰撞的有效路径的时刻结束。

[0239] 在上述的第一实施方式中,如图9所示,参考由人进行操船而靠泊时的航迹等,设计四个控制点 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 的位置。在生成该路径的过程中,尤为重要是距栈桥50m附近的距离为止的路径的曲率。在该区间中,需要使本船相对于栈桥2的进入角度为20度前后,并且避开附近的浅滩,在此基础上考虑船的旋回性能与路径跟踪控制的特性,对曲率也施加一定程度的限制。此外,由于与栈桥2的距离越近越会降低螺旋桨转速,因此要求在舵效变差的状况下进行方位角控制。

[0240] 因此,在将基于Hybrid-stateA*算法的搜索应用于靠泊操船的情况下,需要与贝

塞尔曲线的路径时同样地限制路径的曲率,成为具有适当的进入角度的靠泊路径。在基于Hybrid-state A*的路径计划中,由于在栈桥2附近的路径中障碍物基本上变得较少,因此进行通过Reeds-Shepp路径进行路径扩展的可能性较高。因此,通过限制Reeds-Shepp的曲率,能够生成具有适当的进入角度的路径。

[0241] 在此,该路径的扩展也可以使用基于贝塞尔曲线的路径计划算法来进行,但是,在由圆弧与直线构成的Reeds-Shepp中,在其后的路径跟踪的控制中具有一个优点。利用贝塞尔曲线得到的路径基本上曲率连续地变化而不是恒定的。另一方面,Reeds-Shepp的路径由圆弧与直线构成,因此在每个区间中曲率恒定。若路径的曲率恒定,则以纯追踪为首的路径跟踪的控制中目标的方位(直线)或方位的差(圆弧)恒定。在船的情况下,若考虑在船首方位的控制中使用自动驾驶仪,则从控制的观点出发,优选目标值恒定。若目标值变动,则有可能目标跟踪控制的延迟累积而使控制的精度变差。此外,即使在纯追踪中,原本也是以路径的曲率恒定为前提进行设计的。因此,以适当的曲率生成的Reeds-Shepp路径适合跟踪控制。

[0242] 另一方面,Reeds-Shepp路径有时也会定义路径的行进方向,即,有时可生成需要倒退来跟踪的路径。在需要生成在靠泊时不进行倒退这样的路径的情况下,能够替换为仅由前进方向的路径构成的Dubins路径,或者在计算Reeds-shepp路径时,使倒退方向的路径负担比起成本地图等其他成本更大的成本,由此抑制生成倒退路径。

[0243] 接着,对本发明的第三实施方式的船舶的自动导向方法、船舶的自动导向程序、船舶的自动导向系统及船舶进行说明。另外,对于与上述实施方式相同的功能部件等赋予相同的附图标记并省略说明。

[0244] 在第一实施方式中说明的、将纯追踪与HCS(航向控制系统)组合的路径跟踪控制在小于3m/s左右的风速下能够减小路径偏差,另一方面,若风速变得大于3m/s左右,则有时风的外部干扰的影响变大,无法减小路径的偏差。为了扩大船舶的自动导向的ODD(运营设计域:Operational Design Domain),需要即使在风速变大的状况下也能够补偿路径偏差的控制系统。此外,如果考虑应用于一般的船舶,则优选使设计控制系统所需的参数的数目为最小限度。

[0245] 因此,在本实施方式的船舶的自动导向系统中,求出由船舶信息获取单元20作为海洋气象信息而获取的风向及风速带来的对船舶的外力(风压),预测由外力引起的船体运动,导出抵消由外力引起的船体运动的操舵角或速度,以补偿由风引起的外部干扰的方式控制自动操船装置60。由此,即使在强风时也能够将距计划路径的偏差抑制在一定程度以下。

[0246] 另外,“抵消由外力引起的船体运动的操舵角或速度”是指用于在发生预测的船体运动之前,使得该船体运动不发生的操舵角或速度。

[0247] 图13是示出基于纯追踪的算法的路径跟踪控制的图。如图13所示,纯追踪以指向路径的稍前的目标点的方式控制方位,由此进行跟踪控制。方位的控制由基于PD控制的HCS(航向控制系统)承担。该控制的优点在于,由于控制参数较少,特别是关于纯追踪能够只调整从本船位置到目标点位置的距离 L_T 来进行设计。关于船速,使用通过离合器的切换实现的船速控制。

[0248] 在本实施方式中,为了提高强风下的靠泊性能,进一步进行船速控制的调整。在回

转模式中,基本上设为空档,例如仅在满足下述条件时,将离合器切换为前进。

[0249] A) 对于目标方位角, $\alpha - \psi < 0$ [deg] < 0 且前后方向速度 u 为 1.0 [m/s] 以下时。

[0250] B) 对于目标方位角 α , 在 $\alpha - \psi < 0$ [deg] < 0 且沿着至靠泊点为止的路径的距离为 25 [m] 以上时。

[0251] C) 前后方向速度 u 为 0.3 [m/s] 时。

[0252] 由此,能够改善要求控制精度的回转模式的舵效,实现船首方位控制的稳定化。

[0253] 图14是示出由风引起的路径跟踪控制的紊乱的图。在图14中,示出发生距计划路径的偏差的行迹作为风的外部干扰带来的对路径跟踪控制的影响。在船从横向受到风的情况下,从计划路径的偏离变大。

[0254] 像这样,漂浮于水的船不同于以车轮接地的汽车,特别是由横风引起的横向滑动或船首方位的偏移等成为问题。通过减轻该由风产生的路径偏差,能够提高路径跟踪控制的精度。

[0255] 在与汽车相关的纯追踪中,较多地考虑由逆风或顺风引起的阻力的变化。与此相对,在船的情况下,由于是通过横风连续地受到外力、结果路径逐渐变化的响应较慢的控制系统,前馈控制变得有效。于是,在本实施方式中使用将前馈控制机构组入路径跟踪控制的方法,通过前馈控制机构消除由外力(风压)与操舵产生的舵力的船体横向分量。

[0256] 在采用该方法时,针对由操舵带来的作用于船体的横向力,对根据后述的实施例1中的实船试验的数据构筑的操纵运动数学模型进行解析。解析对象是下表1所示的与前进(Forward)·空档(Neutral)·反转(Reverse)的状态对应的各运动。 u 、 v 、 r 分别是船体中央的前后方向速度、左右方向速度、回转角速度, nP 是螺旋桨转速。关于前进与空档,以主机怠速转速进行直行时的运动状态为基准。对于反转,由于仅在停止模式下离合器进入反转,因此以船速为零的状态为基准进行解析。

[0257] [表1]

	前进	空档	反转
[0258] 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

[0259] 图15是示出解析结果的图。 D_y 是在将转舵时的作用于船体横向的舵力设为 F_{dy} 时求出的满足下式(4)的线性关系式的系数, δ 是舵角。

[0260] [数4]

$$[0261] \quad F_{dy} / (m + m_y) = D_y \delta R \cdots (4)$$

[0262] 在此, m 是船的质量, m_y 是Sway运动的附加质量, δR 是操舵量。其中,操舵量为零时的 D_y 的值分别为前进:-0.003272、空档:-0.002771、反转:0.0。使用该系数估算各离合器的状态下由操舵产生的横向力。

[0263] 关于风压,例如能够使用文献“Kitamura F.等人:《对船舶、船舶和海上构造物的水上结构参数与风荷载的估算(Estimation of above water structural parameters

and wind loads on ships, Ships and offshore structures)》、12-8、2017年”以及文献“北村文俊、上野道雄、藤原敏文：《船舶风压简易估算程序》、海上技术安全研究所报告、第9卷、第3号、第207-213页、2009年”所记载的方法计算。

[0264] 图16是示出实施例1中的实验船的风压系数的图。对船体横向施加的风压 Y_A 使用风压系数 C_{AY} 由下式(5)计算。

[0265] [数5]

$$[0266] \quad Y_A = \frac{1}{2} \rho_A A_F U_A^2 C_{AY}(\psi_A) \quad \dots (5)$$

[0267] 在此， ρ_A 表示空气的密度， A_F 表示水线面上的构造物的侧面投影面积， U_A 与 ψ_A 分别表示风向风速计的设置位置中的视风的风速及风向。其中，由于 ψ_A 被定义为相对于船体的迎角，因此与图11的真风向 ψ_w 处于角度方向的正向相反的关系。且 ψ_A 将来自船首方位的风设为0度。

[0268] 消除横向风压的操舵量能够通过根据式(4)及式(5)求解 $Y_A = F_{dy}$ 来求出。通过基于所求出的舵角进行转舵，能够消除风压的船体横向分量，但是其仅为估算值，有可能产生旋回方向的风压力矩或潮流等其他外部干扰因素或传感器值的误差。由于这些要素而产生的误差由具有反馈机制的纯追踪与HCS统一进行补偿。

[0269] 因此，由风压补偿的前馈控制部计算的操舵量 δR_{ff} 与由纯追踪和HCS的反馈控制部计算的操舵量 δR_{fb} 之和 $\delta R_{ff} + \delta R_{fb}$ 为实际操舵的量。

[0270] 实施例1

[0271] 为了证实使用了利用基于纯追踪与HCS的路径跟踪控制的船舶的自动导向系统的自动靠泊，在广岛县尾道市因岛周边海域(因岛MARINA)进行了实船实验。

[0272] 在进行实验的海域中，在浮栈桥的附近存在水深较浅的部位，为了避开该部位需要划出靠泊用的路径。在本实验中，进行了向浮栈桥与虚拟栈桥的基于右舷靠岸的靠泊。

[0273] 以在实施通过实船进行的自动靠泊操船时，预想为在低速时受到的外部干扰的影响较大的小型船舶为对象进行开发。此外，将对象船舶的规格假定为一般的单轴单舵船，作为符合这种条件的船，将海上技术安全研究所管理的实验船“神峰”作为供试船。实验时的神峰的主要尺度如下表2所示。

[0274] [表2]

项目	值
总长, L_{oa} [m]	16.5
垂线间船舶长度, L_{pp} [m]	14.9
船宽 (1.0WL), B [m]	4.38
船舶吃水, d_m [m]	0.502
[0275] 纵倾, τ [m]	0.348
螺旋桨直径, D [m]	1.0
舵侧面积, A_R [m ²]	0.780
舵高, H_R [m]	1.05
质量, m [ton]	21.53
方形系数, C_b	0.642

[0276] 在供试船中,作为船舶的自动导向所使用的船舶信息获取单元,针对位置信息具备应对准天顶卫星系统(QZSS)“指路”号(MICHIBIKI)的厘米级定位增强服务(CLAS)接收机、针对方位角传感器具备卫星罗盘。除此之外,船舶信息获取单元能够实时地监视螺旋桨转速、发动机转速、主机负荷的估算值、以及风向、风速等各种数据。

[0277] 图17是船体控制系统的构成图。

[0278] 供试船具备PC(控制用个人计算机)及PLC(可编程逻辑控制器:Programmable Logic Controller)作为控制单元,为了能够从PC控制实验船,构筑了以可靠性与扩展性高的PLC为中心的控制系统,能够从PC监视及操作液压操舵系统与主机远程操纵系统。

[0279] 能够从PC经由PLC对用于由船舶信息获取单元获取的信息的接收与通常的靠泊操船的舵、主机调速器(对应车钟指示值)、离合器及推进器的全部进行操作。

[0280] 此外,还能够从与PLC连接的显示单元(触摸面板)监视由船舶信息获取单元取得的信息。此外,通过来自与显示单元连接的扬声器的声音输出,具有通报距栈桥的距离、风状、当前的控制状况等功能。

[0281] 进而,在利用PC进行的自动控制中,操船者除了能够在任意的时机切断来自PC的通信并切换为手动操船之外,还具有能够从触摸面板启动的紧急停止机制作为安全对策。

[0282] 在开发系统时,若能够从安全性方面出发在控制程序的开发中无需与实机连接就能够在陆地上确认实际的程序的动作,就能够事先验证包括算法以外的通信部分在内的控制程序整体有无不良情况或验证性能。因此,制作具备模拟船体运动的功能的PLC的通信模拟器。该通信模拟器具有对风况进行模拟的功能与基于操纵运动数学模型进行运动预测的功能,能够通过与在实机中使用的PLC-PC间的串行通信相同的协议进行通信及控制。

[0283] 针对风况,能够基于作为平均值设定的风向与风速,分别按照正态分布与韦伯分布来模拟其变动。此外,关于波和潮流,视为在海湾内对靠泊操船的影响较小,此次不进行处理。

[0284] 在算法的设计中,为了评价低速航行时的响应与外部干扰特别是风的影响进行评价,使用了如下式(6)那样的以MMG模型为基础的操纵运动数学模型。

[0285] [数6]

$$[0286] \left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - m(vr + x_G r^2) &= X \\ (m + m_y) \dot{v} + mx_G \dot{r} + (m + m_x)ur &= Y \\ (I_{zz} + mx_G^2 + J_{zz}) \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

[0287] 其中,m表示船舶的质量, I_{zz} 表示与船体重心相关的艏摇(yawing)的惯性力矩, m_x 、 m_y 、 J_{zz} 分别表示前后方向与左右方向的附加惯性质量与附加惯性力矩, x_G 表示x轴方向的重心位置。 u 、 v 、 r 分别表示船体中央的前后方向速度、左右方向速度、回转角速度,用点表示速度分量的时间微分。 X 、 Y 、 Z 分别为作用于船舶的纵荡(surge)、横荡(sway)、艏摇(yaw)方向的外力,由下式(7)表示。

[0288] [数7]

$$[0289] \left. \begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_A + X_S \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_A + Y_S \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_A + N_S \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

[0290] 其中,

[0291] X_H, Y_H, N_H : 作用于船体的流体力、

[0292] X_P, Y_P, N_P : 由螺旋桨产生的流体力、

[0293] X_R, Y_R, N_R : 由舵产生的流体力、

[0294] X_A, Y_A, N_A : 作用于船体的风压、

[0295] X_S, Y_S, N_S : 由船首推进器产生的流体力。

[0296] 在船体的流体力的计算中, 参考文献“Y. Yoshimura等人:《海洋和港口操纵的统一数学模型 (UNIFIED MATHEMATICAL MODEL FOR OCEAN AND HARBOUR MANOEUVRING)》、2009年MARSIM会议论文集、2009年”, 使用了所需系数较少、能够表达出低速时的大漂角斜航状态的横向及回转方向的流体力的下式 (8) 的模型。

[0297] [数8]

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

[0299] 在此, X_{OF}' 表示前进时的阻力系数, X_{OA}' 表示倒退时的阻力系数, X_{vr}' 、 Y_v' 、 Y_r' 、 N_v' 、 N_r' 表示流体力的微分系数, C_D 、 C_{rY} 、 C_{rN} 表示与 Cross-flow drag 相关的修正系数。

[0300] 附加质量根据元良图表的多元回归式确定, 前进及倒退时的阻力系数由实船的怠速航行时的速率试验结果以及历史的船模试验结果来确定。

[0301] 用于计算螺旋桨推力的 K_T -J 曲线是基于 MAU 螺旋桨的性能估算近似式及用于估算 B-Series 螺旋桨的第 2~4 象限的特性的数据库而求出的。

[0302] 关于螺旋桨的转速, 设想在靠泊位置附近为主机怠速状态下的离合器的切换下的控制, 根据实船的测量, 分别使离合器的前进、空挡、倒退对应于 3.1、0、-3.1 [rps], 忽略离合器切换的时间延迟。

[0303] 进而, 通过螺旋桨反转时的计算, 能够处理所产生的不均衡流体力, 导入能够考虑反转时的舵的流体力的模型。

[0304] 此外, 在将离合器设定为空档时的推力计算中, 由于螺旋桨转速为零, 因此省略前进常数 J 的计算, 螺旋桨推力 $T = X_p / (1 - t_p)$ 为零、向着舵的前后方向的有效流入速度定义为 u_R , 基于此计算 $u_R = (1 - w_R) u$ 。

[0305] 将舵角 δ 的变化设为针对指令舵角 δ^* 的一次延迟系统。使用能够以较少的输入参数进行估算的方法来确定风压系数。

[0306] 图 18 是示出旋回试验的测量结果与调整和模拟结果的比较的图。

[0307] 为了进行流体力微分系数等的鉴定, 以怠速状态的螺旋桨转速 3.1 [rps] 为中心, 实施舵角 20、40 度的旋转试验、 ± 10 度、 ± 20 度的 Z 试验等实船测量。

[0308] 接下来, 参照各种估算式或数据库等, 使用式 (6) 进行模拟, 与实船实验的测量值

相比较进行系数的调整。通过该步骤的鉴定结果如图18及下表3所示。另外,在图18中,舵角为45度,平均真风速为2.08[m/s],平均真风向为348.4[deg]。由于在调整作业中排除了未能测量的潮流的影响,因此航迹存在差值,但可知速度分量 u 、 v 、 r 能够大致再现实船的运动。

[0309] [表3]

	向前	后退
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

[0311] 使用所构筑的操纵运动数学模型进行算法的开发,应用于实验船。

[0312] 在以将距离浮栈桥30m左右的地点作为位置坐标的原点的“虚拟栈桥”和以实际的浮栈桥作为目标的“实际栈桥”这两个设定中进行对使用了实验船的由自动导向系统进行的自动靠泊的验证。在该两个条件的靠泊操船中,不存在靠泊目标地点以外的其他不同点。

[0313] 图19是示出假想栈桥中的自动靠泊操船的实验结果的图,图20是示出假想栈桥中的自动靠泊操船的实验由船舶信息获取单元获取的各测量值的图。

[0314] 在图19中,在左侧以10秒间隔描绘实际的航迹与船体位置、以及此时的真风向风速,在右侧以颜色表示与航迹对应的离合器的状态。

[0315] 在此,图20中的距离(Distance)表示靠泊目标位置与本船的准天顶卫星系统位置之间的直线距离(后述的图22、图24也同样)。若观察航迹,则发现随着与栈桥之间的距离缩短,与路径之间的偏差减少。另一方面,可知在回转模式期间断续地使离合器设为前进来调整船首方位角。

[0316] 图21是示出实际栈桥中的自动靠泊操船的实验结果的图,图22是示出实际栈桥中的自动靠泊操船的实验由船舶信息获取单元获取的各测量值的图。

[0317] 虽然与虚拟栈桥的实验时不同,风向大致相反,但是对路径的跟踪性没有变化而较为良好。

[0318] 图23是示出强风下的假想栈桥中的自动靠泊操船的实验结果的图,图24是示出强风下的假想栈桥中的自动靠泊操船的实验由船舶信息获取单元获取的各测量值的图。

[0319] 为了观察对风的跟踪性能,进行了在强风下向虚拟栈桥靠泊操船的实验。平均真风速为5.34[m/s],存在超过8.0[m/s]的场面。在该状况下,虽然路径的偏差变大,但是实现了即使在空档航行模式以后,偏差也不会增大而进行靠泊。可以认为这是由于通过增大操

舵量补偿了路径的偏差量。

[0320] 实施例2

[0321] 为了验证使用了第二实施方式中的Hybrid-stateA*的靠泊路径的生成,作为实验海域,以因岛周边的海域为对象进行了计算。图25是示出使用Hybrid-stateA*生成的至靠泊为止的计划路径的图。在该例中,用线示出避开由点构成的障碍物的路径。在该计算例中,作为障碍物,以包围陆地和栈桥附近的浅滩的方式配置点。

[0322] 在地图上重叠的图表表示使用动态计划法计算出的成本地图,在下部以0~800的数值进行表示,颜色越深的部位意味着成本越大。

[0323] 越靠近栈桥2成本变得越小,另一方面,在隔着障碍物的位置处,即使与栈桥2的直线距离较小,在至栈桥2的途中也需要绕过障碍物,因此可以看出总体上成本变大的倾向。对于关键的计划路径,示出从初始位置绕过存在防波堤或前滩的区域而连向栈桥2的行迹,能够得到目标靠泊路径。若详细观察所得到的靠泊路径,从开始位置到浅滩北侧一带的通过Hybrid-stateA*的节点搜索得到的路径中,构成从那里至栈桥2为止的由圆弧与直线构成的路径成为Reeds-Shepp路径。通过Hybrid-stateA*的搜索而扩展的总节点数为874个。

[0324] 在实施例1中使用的实验船“神峰”中,为了监视周围状况而装备有多个传感器。其中,LiDAR根据产品的不同能够从200~300m以上的距离检测障碍物。在神峰中,在甲板上设置LiDAR(Velodyne Lidar公司制VLP-32C),记录实验时的测量数据。使用该测量数据进行用于靠泊控制的路径生成。此次使用的数据使用了从在神峰的靠泊操船时由LiDAR测量的数据中抽出的1框(frame)数据中,将距传感器20m以内的点和各点组的LiDAR的强度(intensity)的值为25以下作为噪声而排除的数据。另外,测量时的天气为晴天。

[0325] 图26是示出使用由LiDAR测量而得的点组计算靠泊路径的例子。图26所示的例子是根据测量时的位置计算路径而得的。在该海域中,由于不存在靠近栈桥2时堵塞航线的障碍物,因此计算出的路径需要仅由Reeds-Shepp路径构成的路径即可,但是可能由于更复杂的状况、障碍物的反射强度等而出现不同的结果。

[0326] 在使用了LiDAR的障碍物检测中,有时碰巧在某个时刻无法得到点组,在图26所示的例子中未检测出从图像中央位于左侧的防波堤的前端。实际上,针对像这样的遗漏的部分,虽然有可能通过测量距离变小的情况而能够检测出,但作为解决方案,优选除了使用频道数更多的LiDAR以外,还将历史的几个框(frame)的数据一起使用等,补充暂时测量漏掉的部分的数据,提高检测准确率和精度。

[0327] 图27是示出将船体位置从由LiDAR测量的位置有意地改变并计算路径的例子。图,作为基于LiDAR的传感器数据找出避免与障碍物的碰撞并到达栈桥的路径的例子。另外,需注意LiDAR的测量位置体与船体的初始位置有所不同,实际上有可能得到不同的点组。

[0328] 如图27所示,得到了在栈桥2的北侧,船首方位从朝向岸壁的状态稍微摆动船首后,沿着线所示的路径倒退,将船首方位朝向栈桥2,在线上前进并跟踪而到达栈桥2这样的结果。此时的搜索的总节点数为121个。

[0329] 如此,通过利用LiDAR的传感器数据,即使在事先未提供障碍物的数据的状况下,也能够计算避让障碍物的路径。另一方面,由于在一般的LiDAR中不能得到水深的信息,因此需要另外准备可航行的区域。此外,在LiDAR的数据中,由于点组的位置与障碍物一致,因

此为了计算在避免碰撞的观点上具有余量的路径,优选进行扩张用于碰撞判定的表示本船的矩形范围等设计。

[0330] 此外,本次对某一框的数据计算路径,但作为实际生成计划路径的时机,可以采用在最初决定全局的路径的全局路径规划(global path planning)和如本次那样的针对局部的障碍物当场生成路径的局部路径规划(local path planning)。在作为局部路径规划利用时,也能够具有余量,使得在更新计划路径的频度变化或在更新的前后计划路径发生了变化时使路径跟踪控制跟上变化。

[0331] 实施例3

[0332] 为了证实第三实施方式中导入了风外部干扰补偿的前馈控制的路径跟踪控制的效果,进行了基于实验船“神峰”的实船试验。本例与实施例1同样地在广岛县尾道市因岛周边海域(因岛MARINA)实施。与实施例1同样地,自动生成路径以避让位于栈桥2周边的浅滩,并跟踪该路径。在本实验中,进行了向浮栈桥的基于右舷靠岸的靠泊。

[0333] 图28及图29是示出本发明的风外部干扰补偿型路径跟踪控制的试验结果的图,图28示出基于具有反馈控制的纯追踪与HCS的靠泊控制的实船试验结果,图29示出图28所示的状态的实测值。

[0334] 如图29所示,本实验是刮着平均6.38m/s的真风速的状况,但是最初产生的偏差逐渐变小,并且在距栈桥2为50m的距离处即在要求控制精度的回转模式之前的距离处,偏差几乎消失。

[0335] 与没有风外部干扰补偿的实施例1(图23、图24)相比,可以看到本实施例的速度控制的效果。可知在本实施例中,离合器的切换得以改善,螺旋桨转速的变化也成为最小限度。进而,在本实施例中,最终的船首方位也充分接近栈桥2的方位(104[deg])。如果考虑到其后的系船作业,则使船尾靠近栈桥2也很重要,因此,在该意义上,可看到通过速度控制的改善对终端状态的控制精度的效果。

[0336] 进而,为了验证第三实施方式中的风外部干扰补偿的性能,在风较强的状况下进行了实验。其结果示出在图30与图31。图30示出在强风下的通过具有反馈控制的纯追踪与HCS进行的靠泊控制的实船试验结果,图31示出图30所示的状态的实测值。

[0337] 该实验是在刮着真风速平均为8.86m/s的非常强的风的状况下的靠泊控制。确认到在真风速最大约为12m/s的控制刚开始后,最初向东漂但立即大幅度回转,在非常早的阶段就消除了路径偏差的行迹。此外,在回转模式下的改良后的离合器的控制中,也进行了切换较少的理想的控制。

[0338] 工业实用性

[0339] 本发明由于即使在外部干扰下也能够使船舶高精度地跟踪计划路径,因此能够辅助靠泊等要求高超技术的操船作业并使其自动化。此外,除了靠泊之外,在港外也能够顺畅地跟踪呈曲线状的计划路径进行航行。特别能在预想为在低速时受到的外部干扰的影响较大的小型船舶上发挥效果,但在中到大型船中也是有用的。

[0340] 附图标记说明

[0341] 10 计划路径生成单元

[0342] 20 船舶信息获取单元

[0343] 30 纯追踪计算单元

- [0344] 40 自动操船计算单元
- [0345] 50 控制单元
- [0346] 60 自动操船装置
- [0347] 61 速度控制单元
- [0348] 70 显示单元
- [0349] S1、S14 计划路径生成处理
- [0350] S3、S11、S15 船舶信息获取处理
- [0351] S4、S21 纯追踪计算处理
- [0352] S5、S22 自动操船计算处理
- [0353] S6、S16 控制处理。

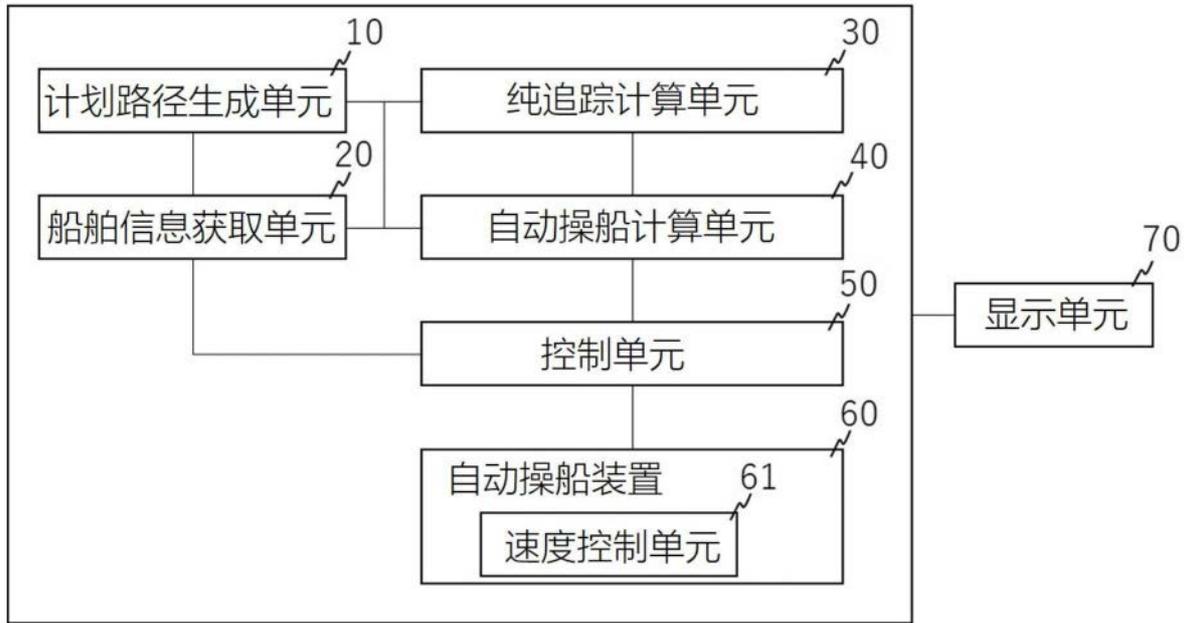


图1

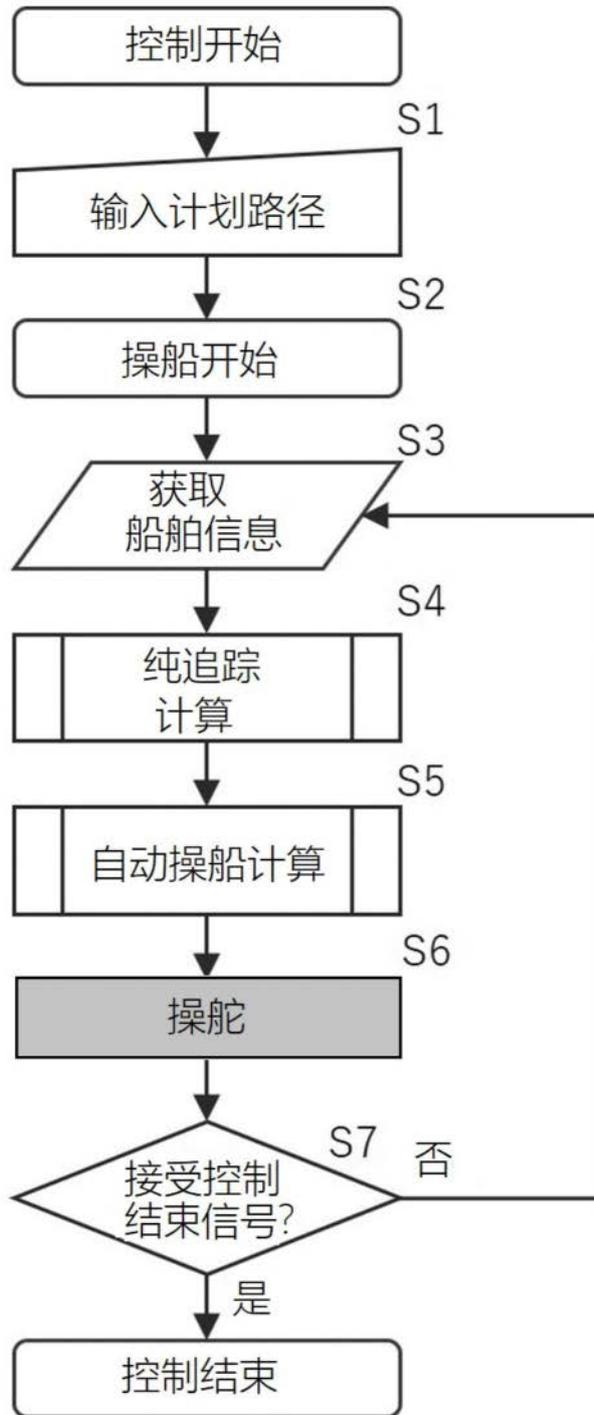


图2

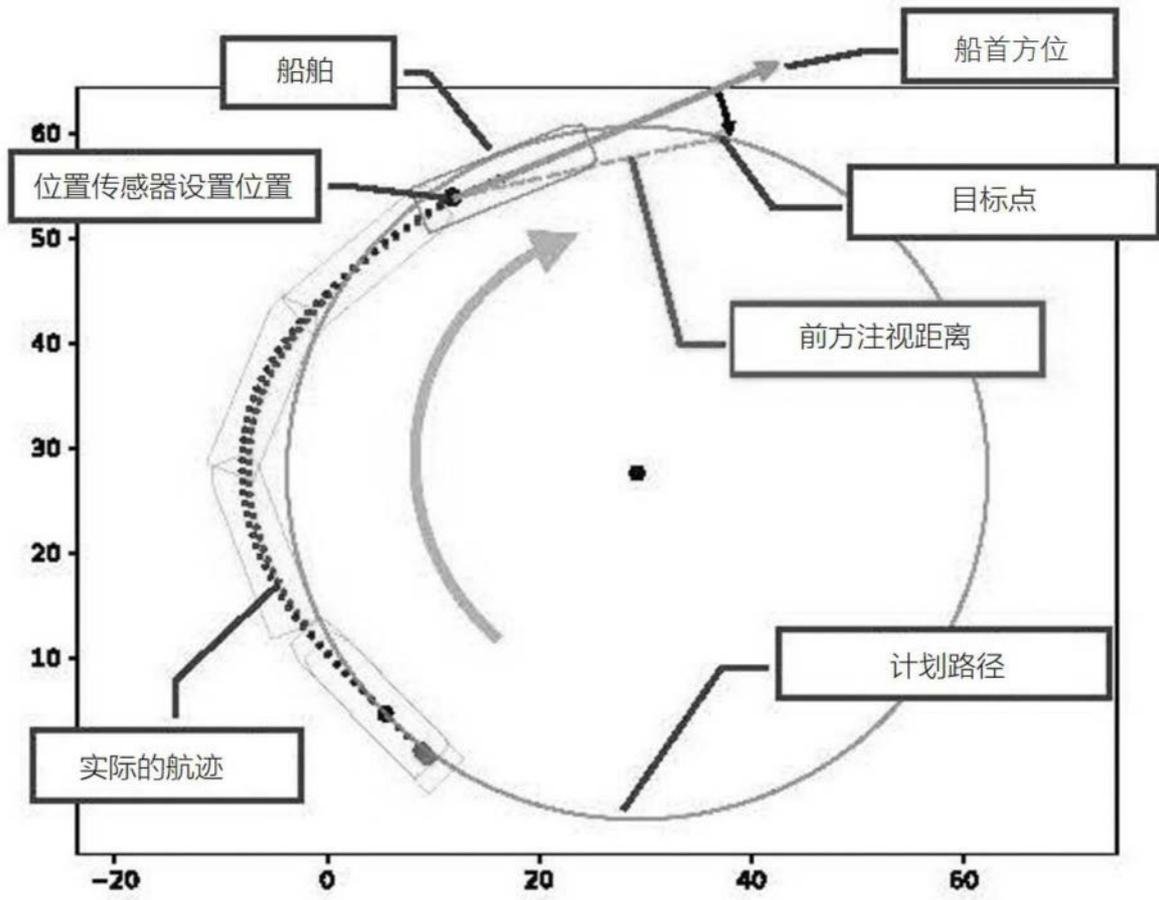


图3

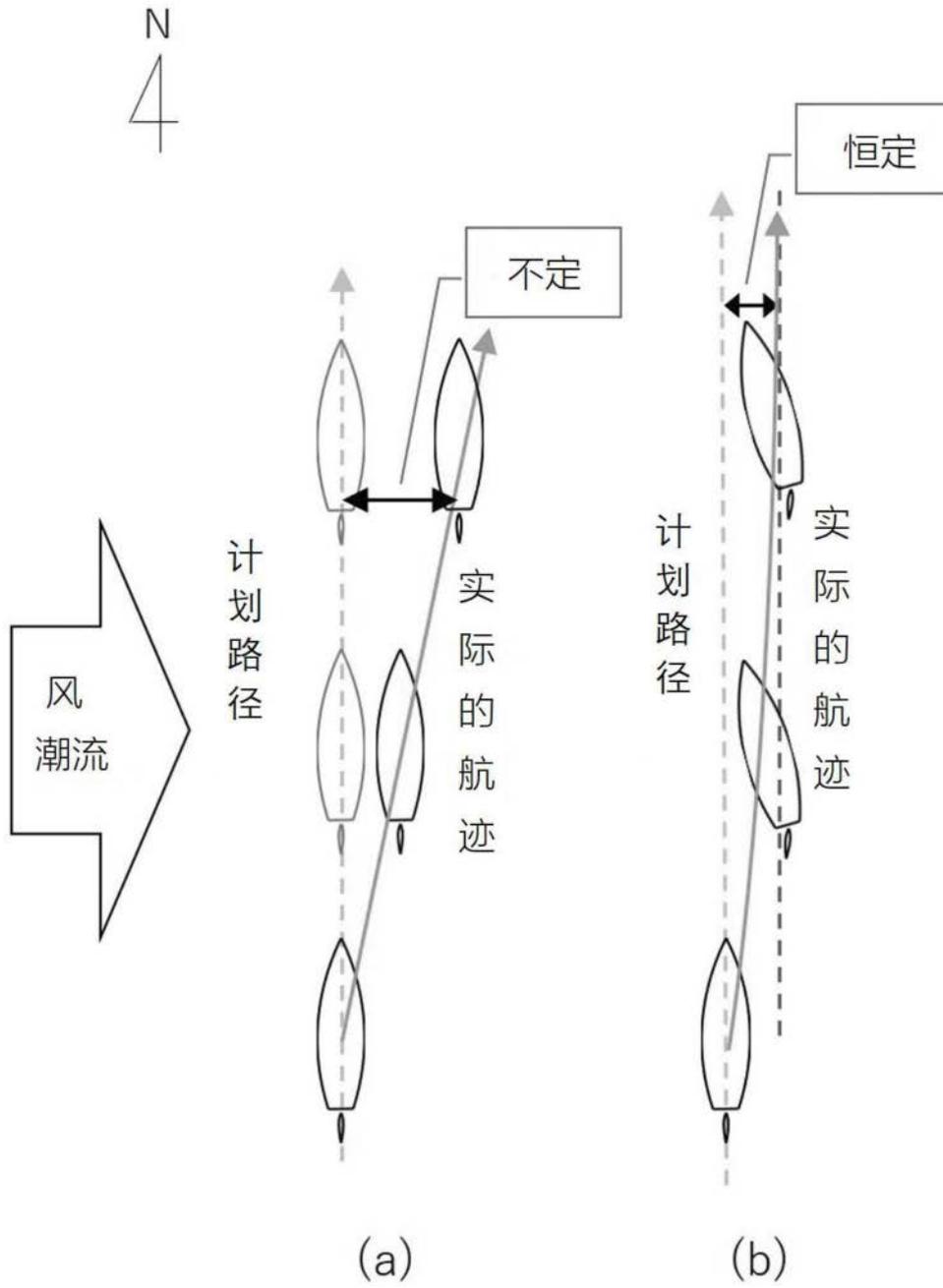
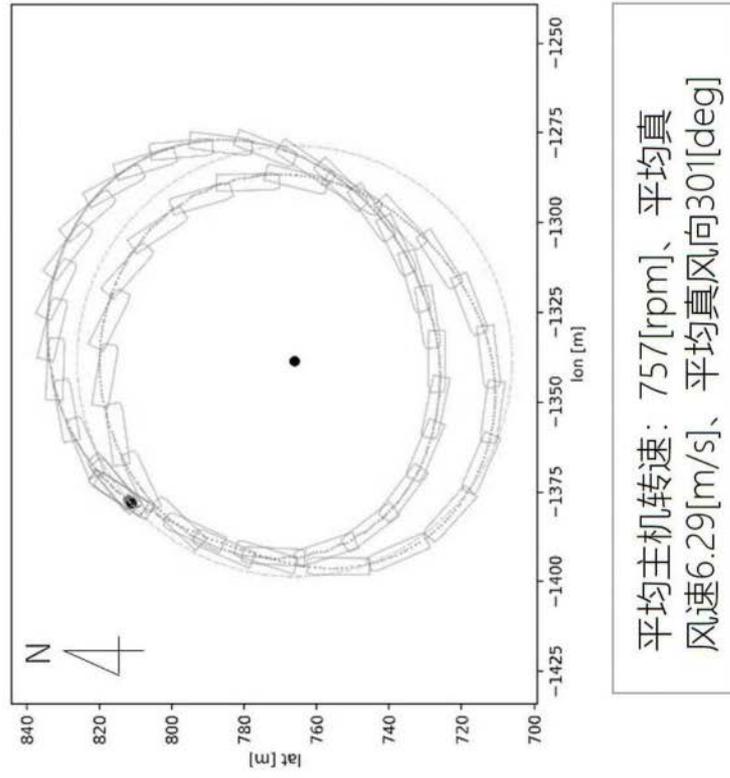
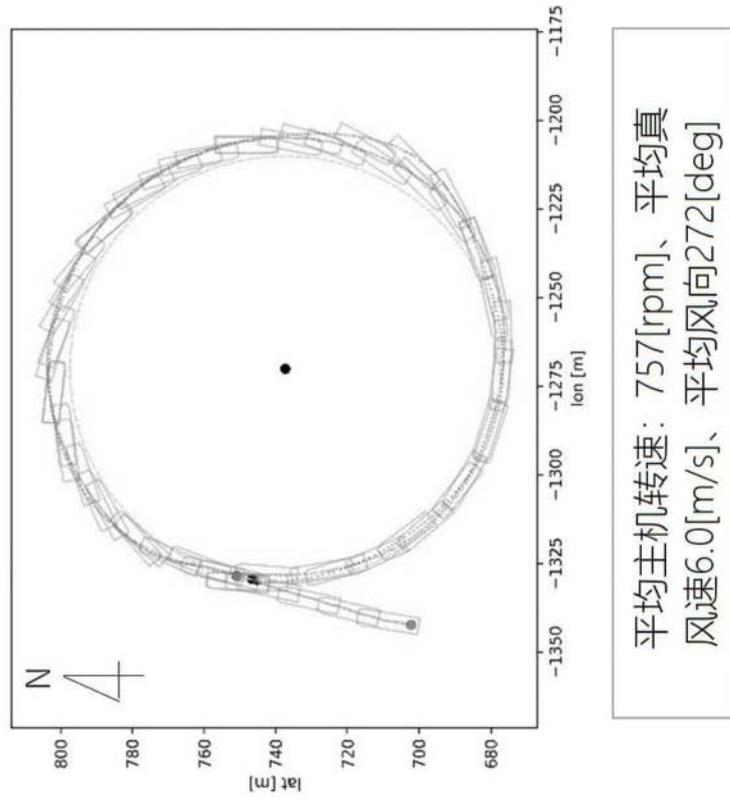


图4



(a)



(b)

图5

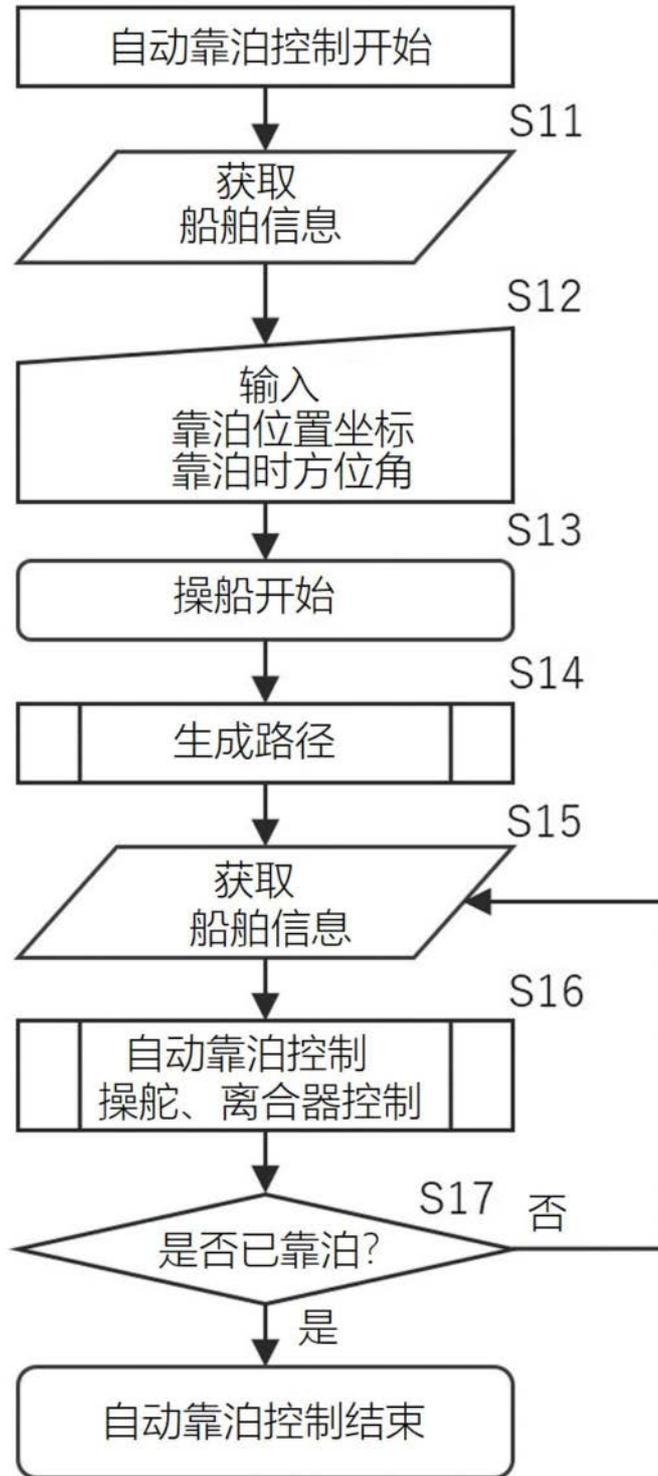


图6

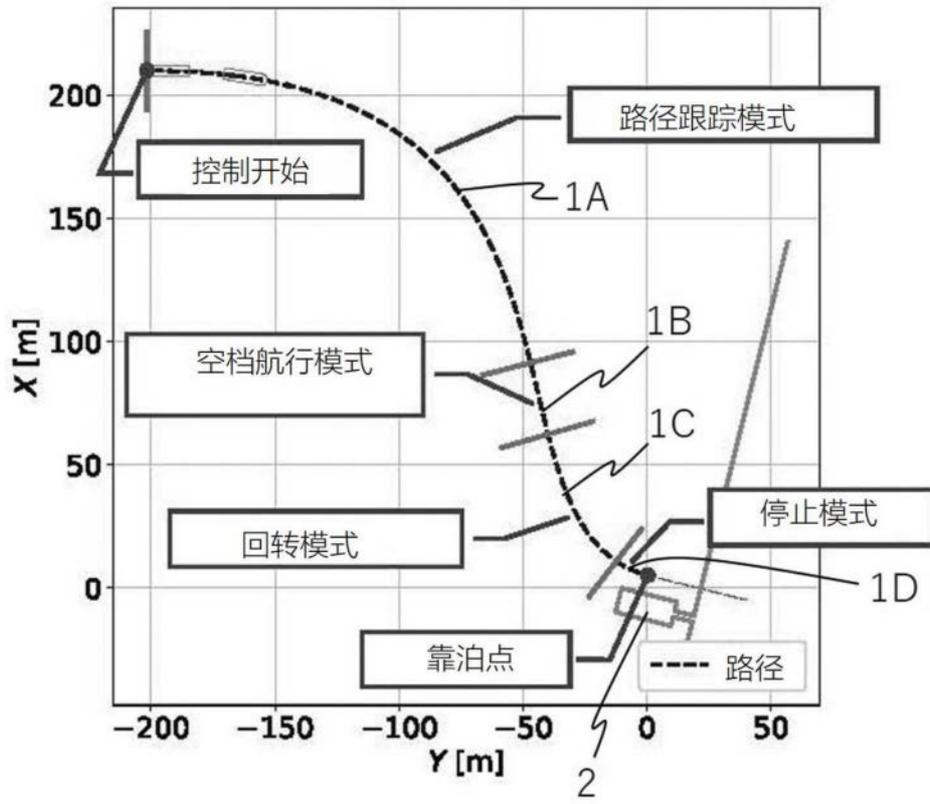


图7

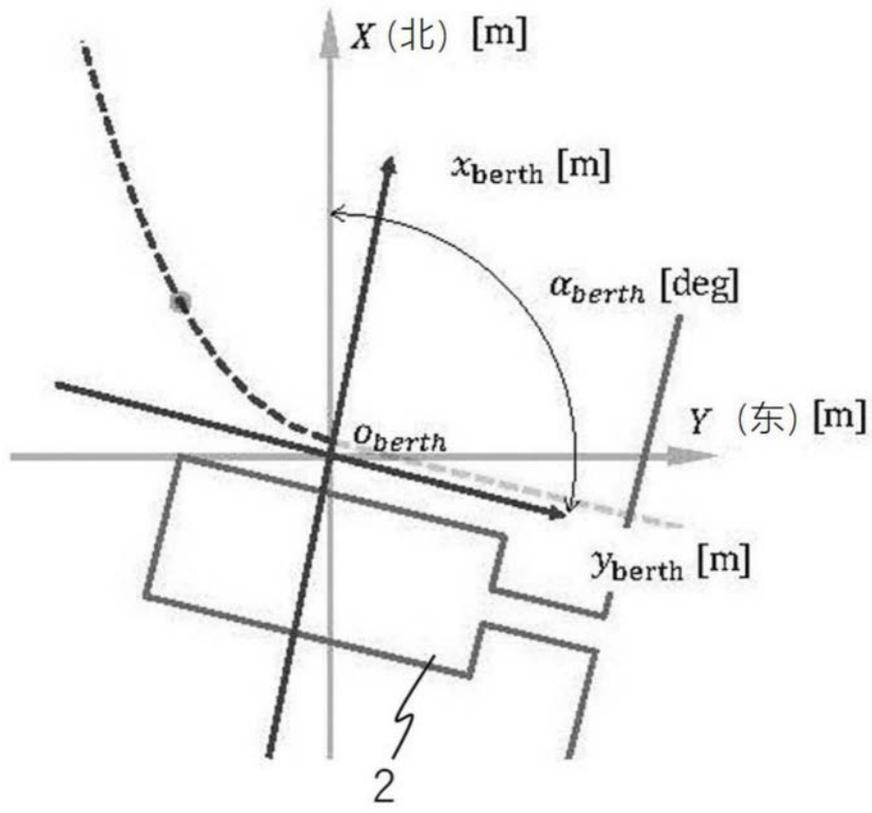


图8

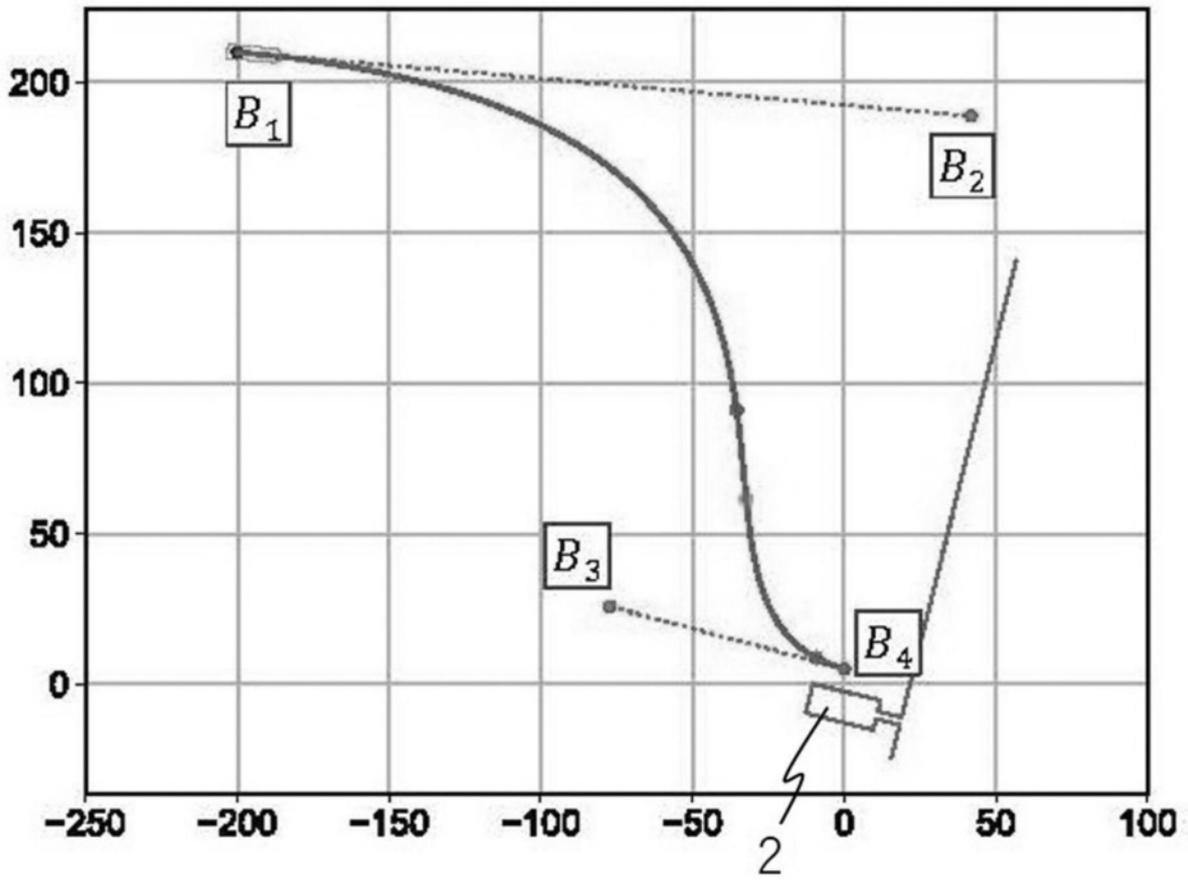


图9

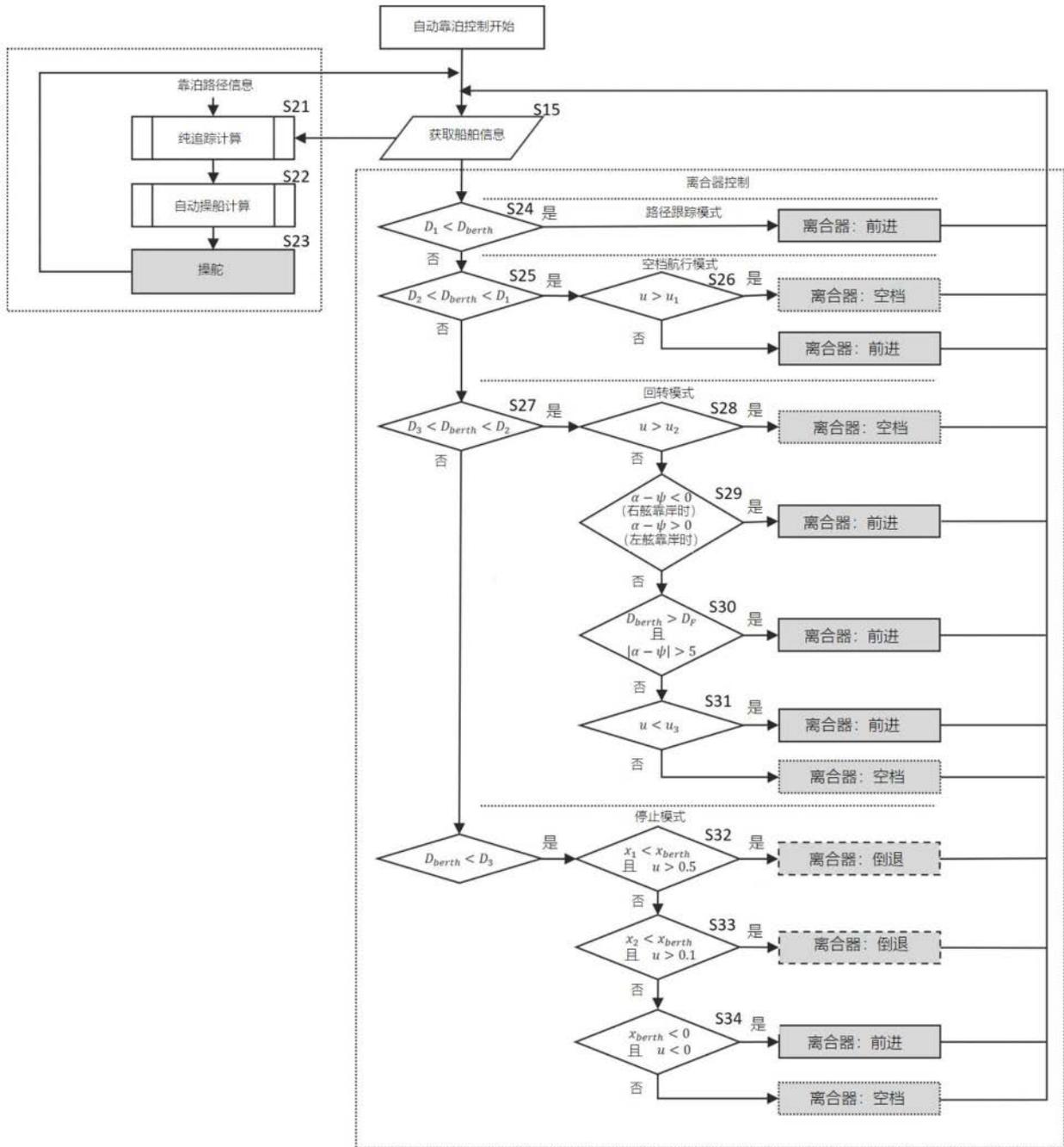


图10

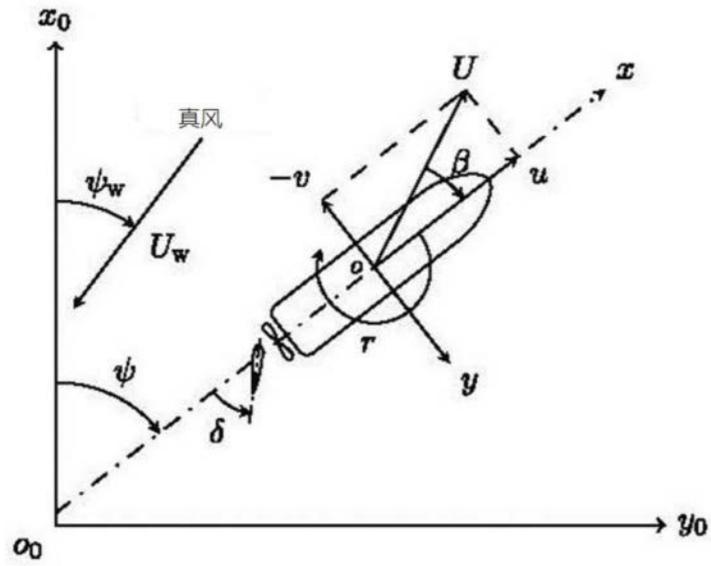


图11

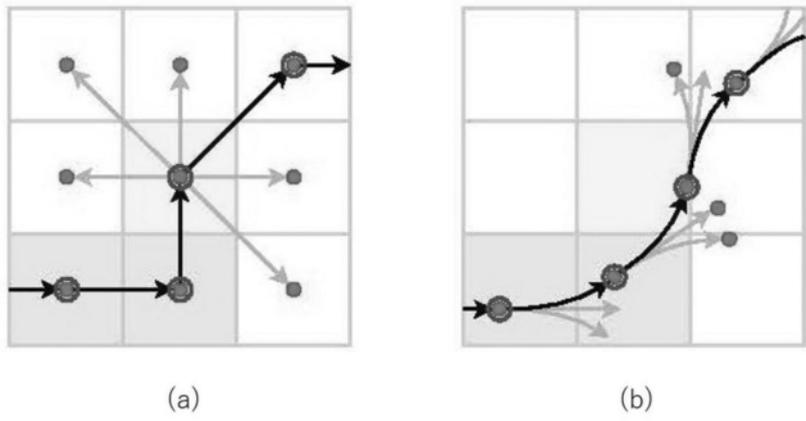


图12

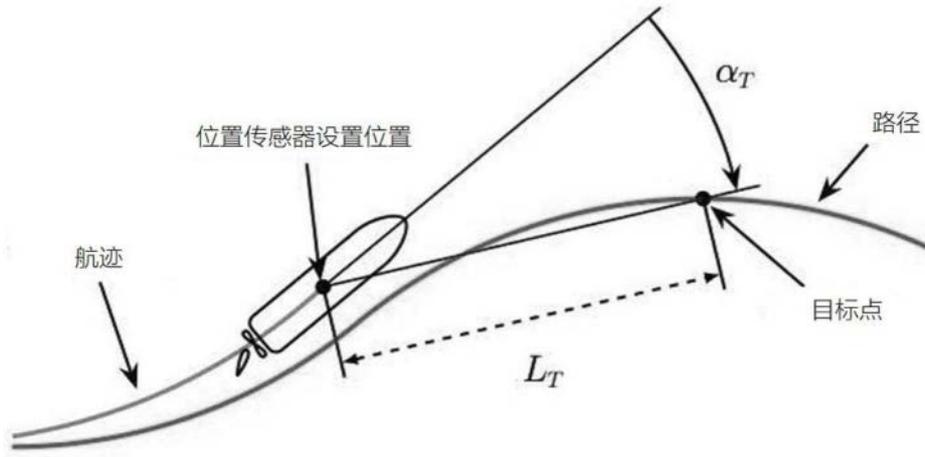


图13

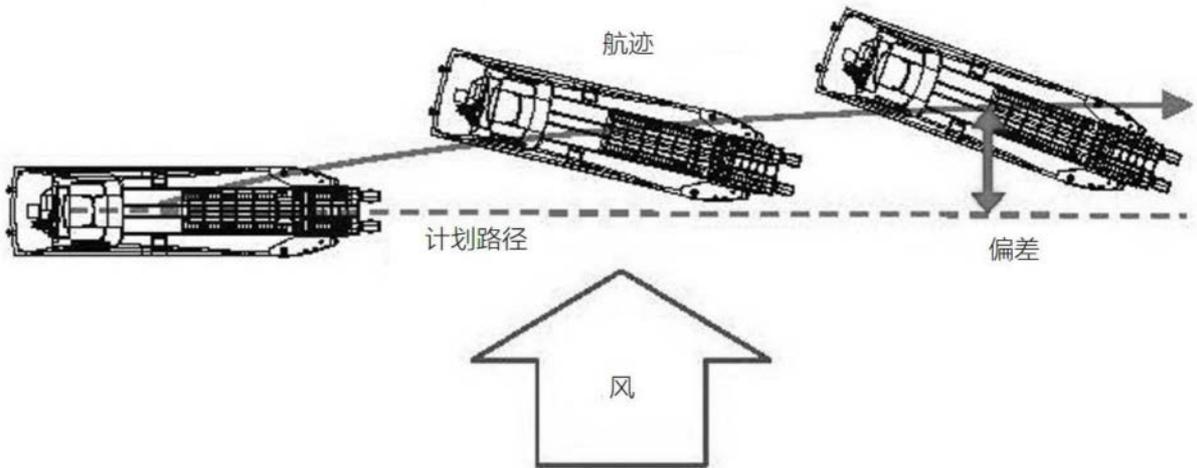


图14

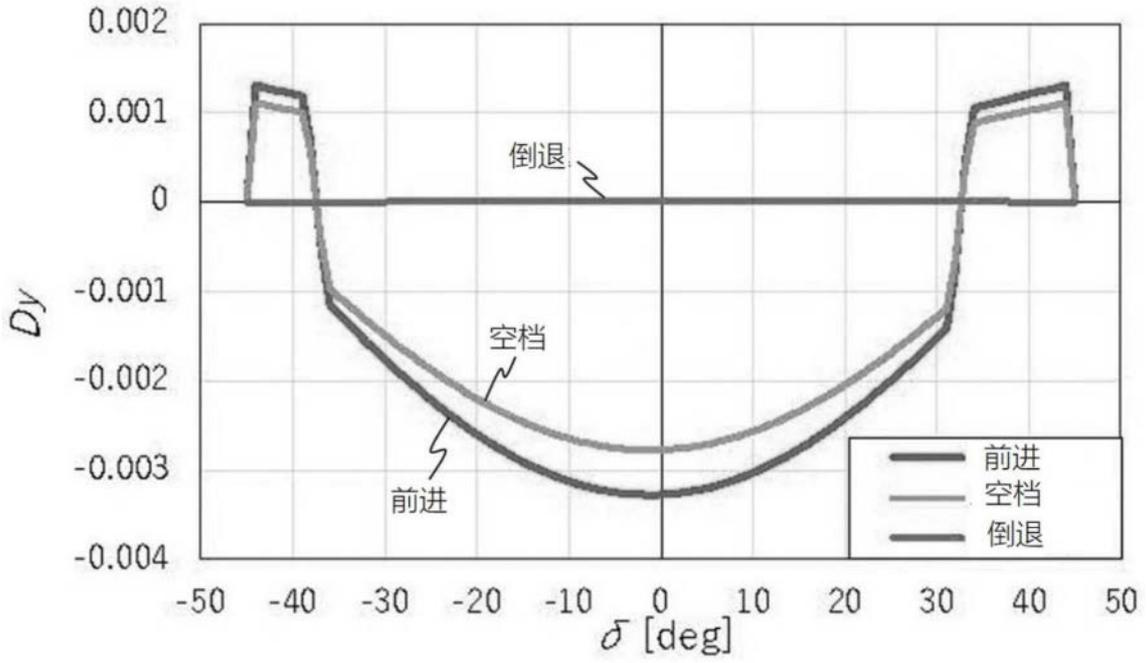


图15

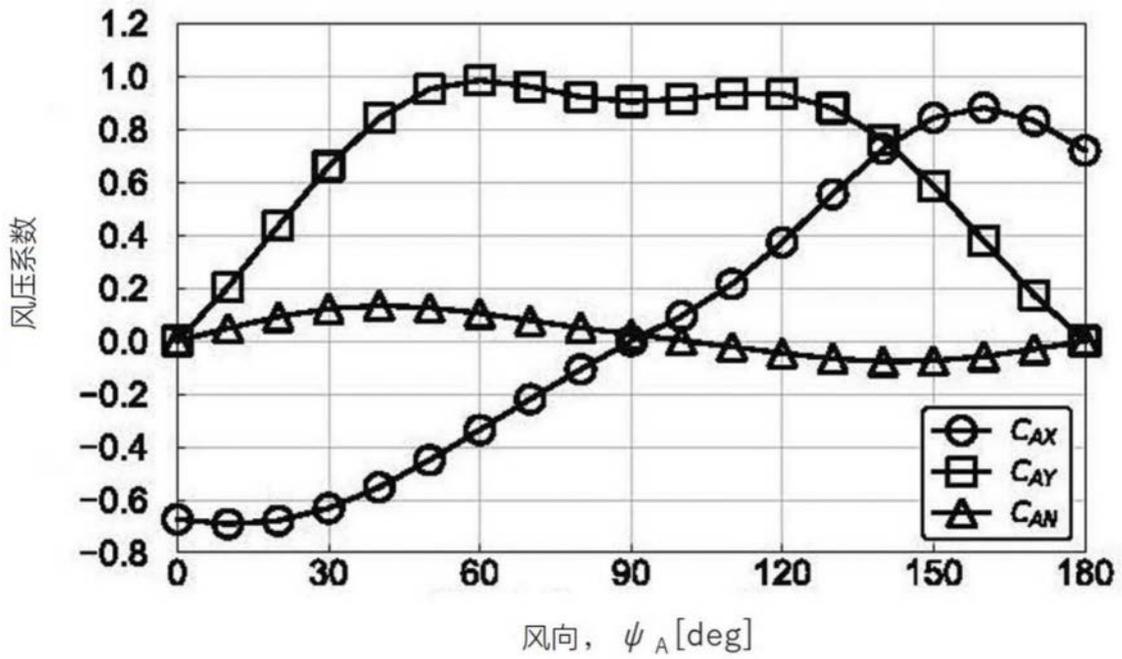


图16

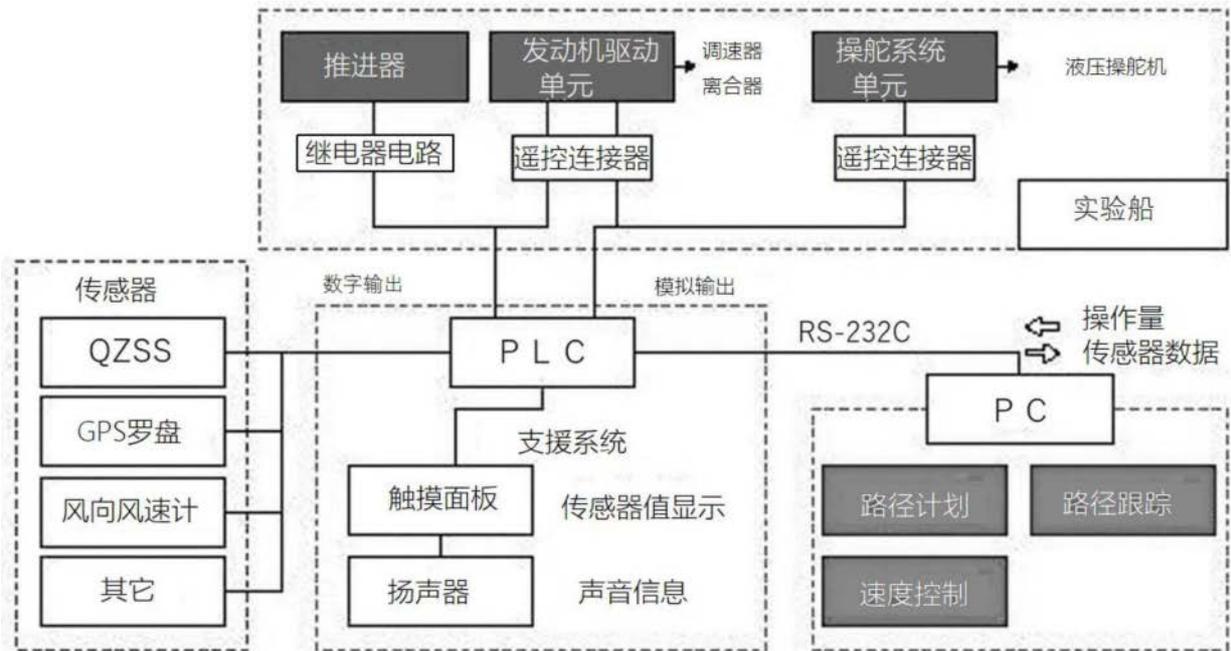


图17

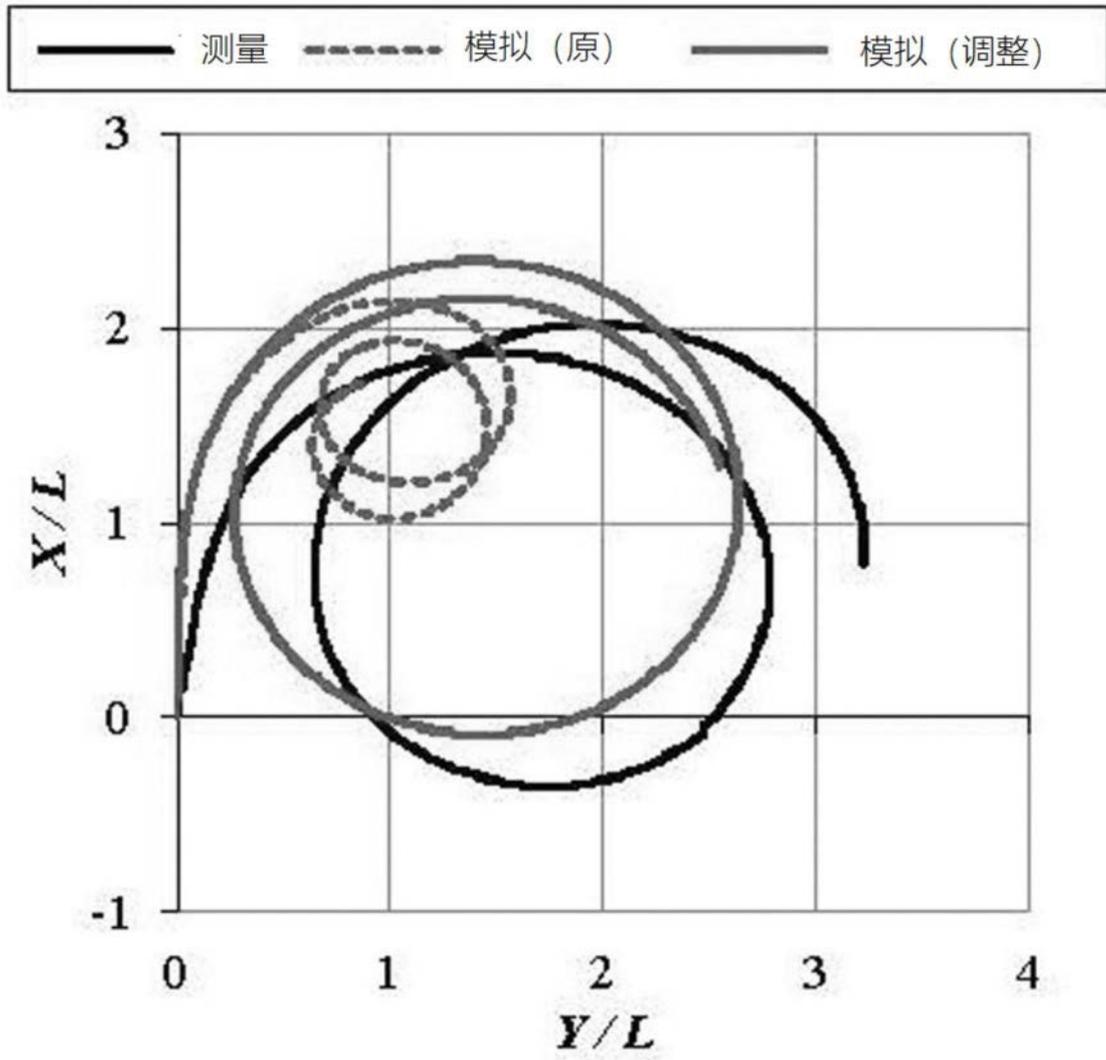


图18

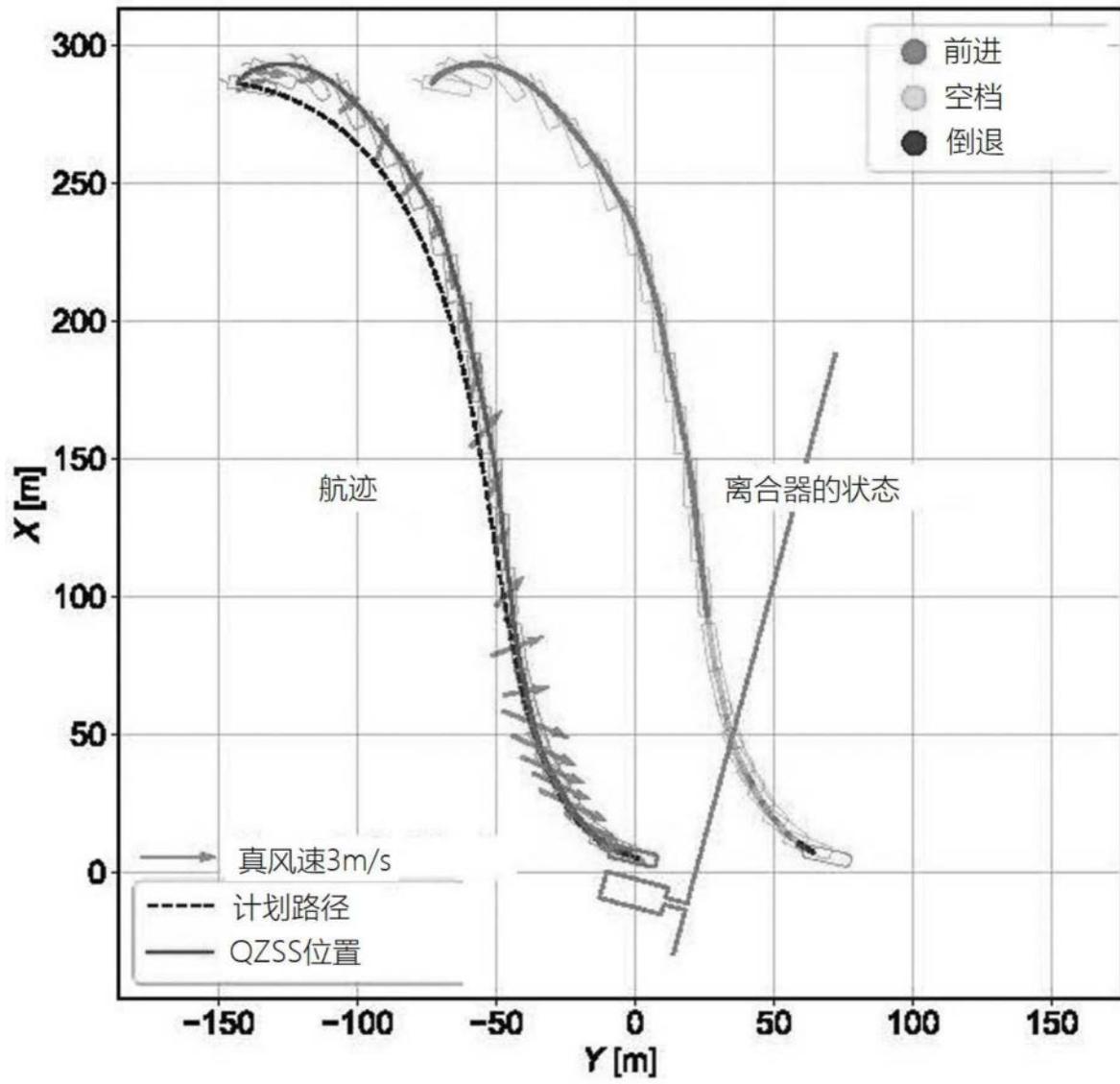


图19

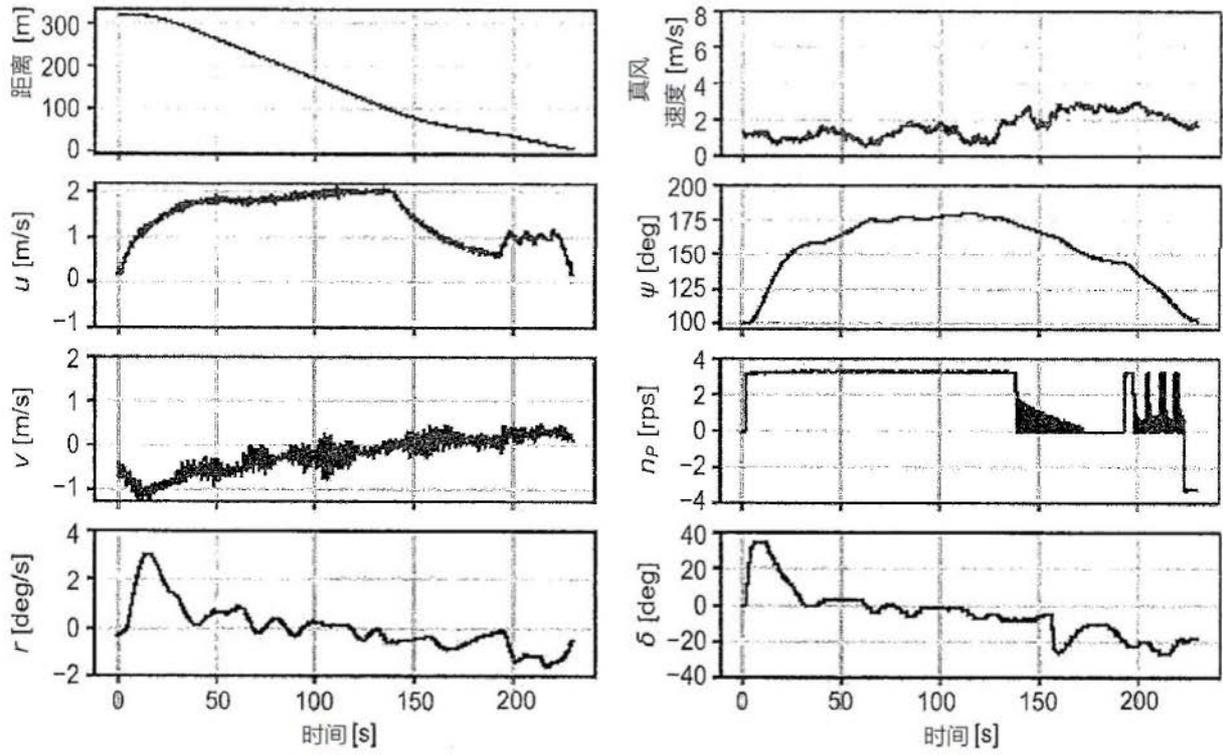


图20

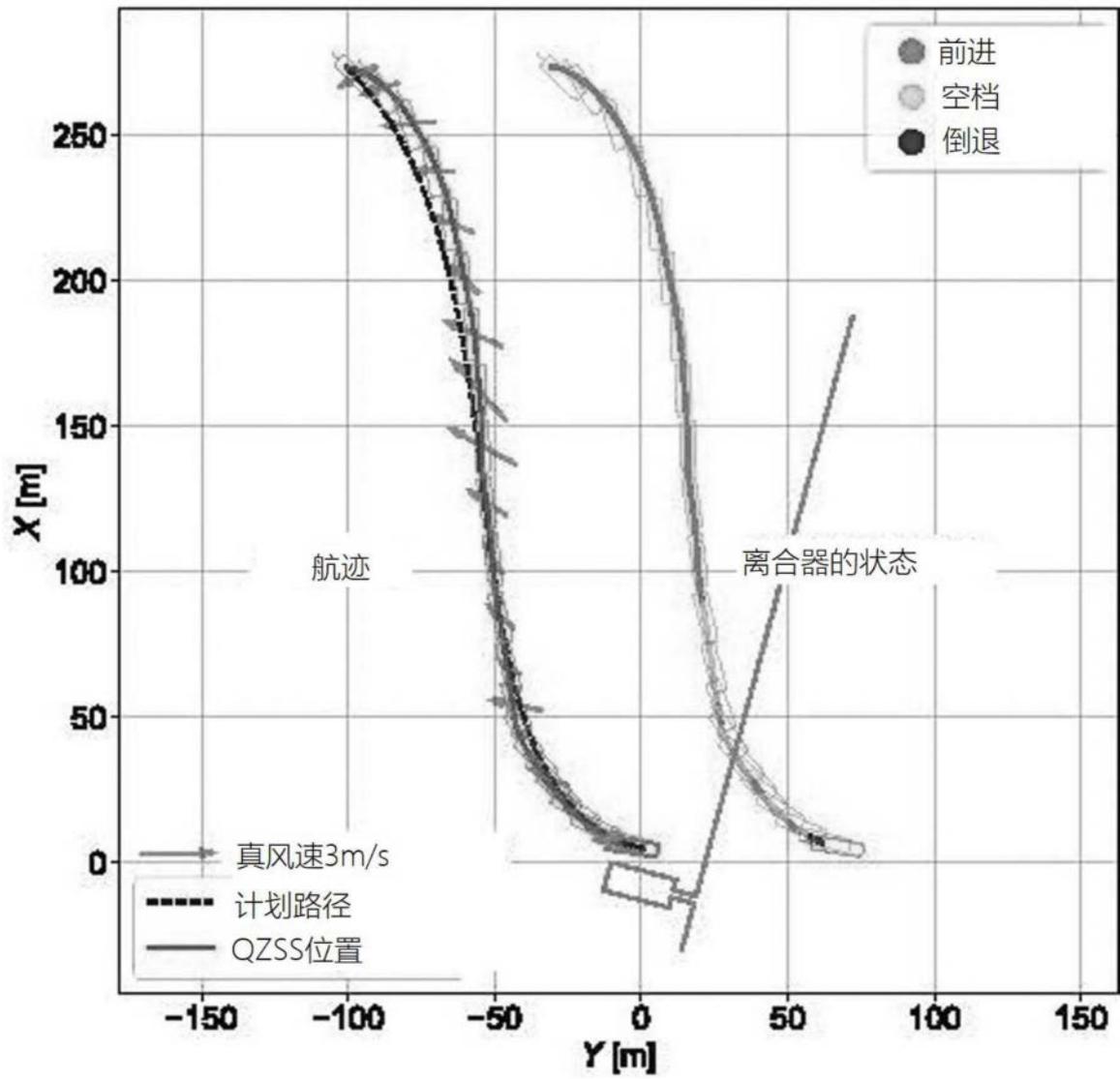


图21

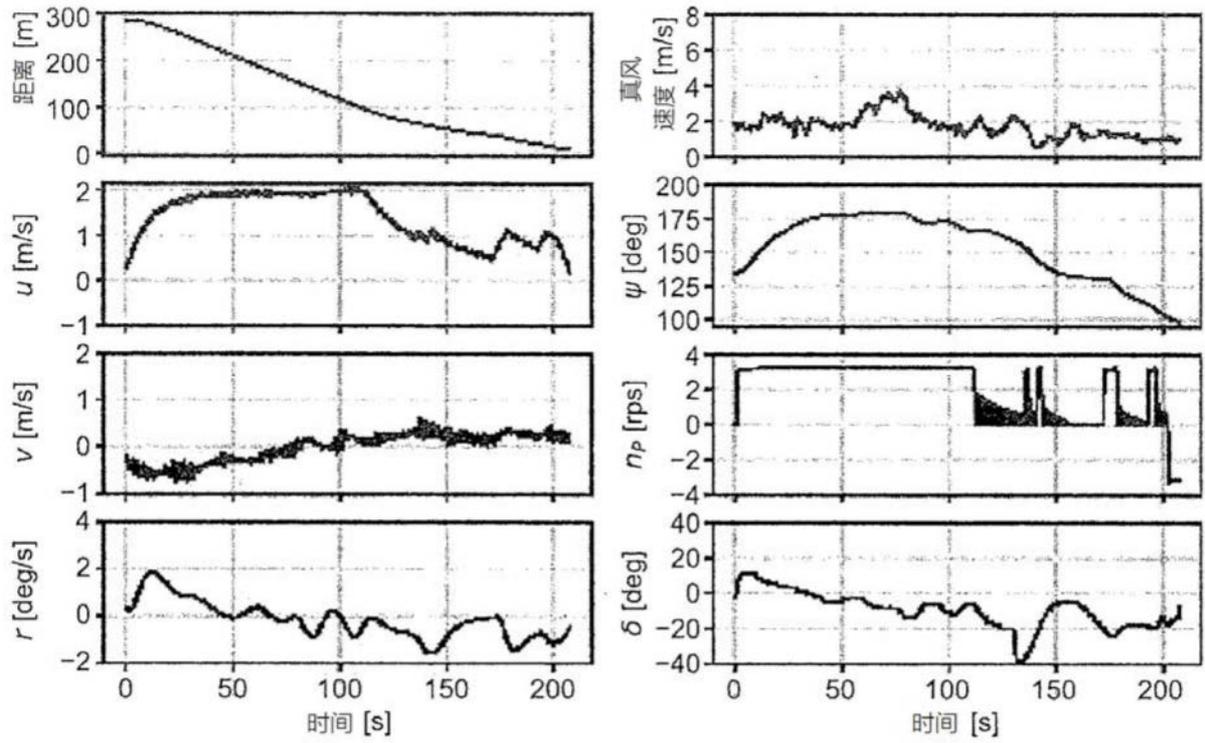


图22

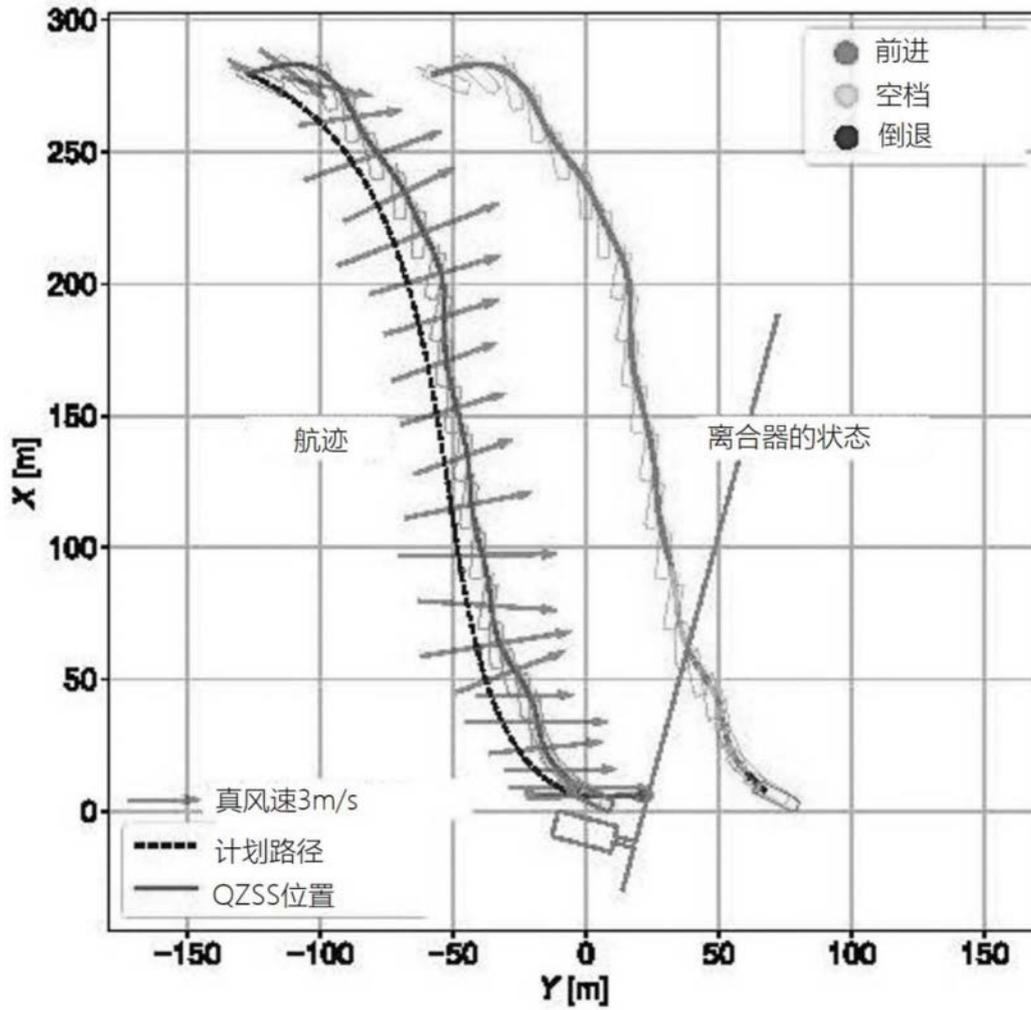


图23

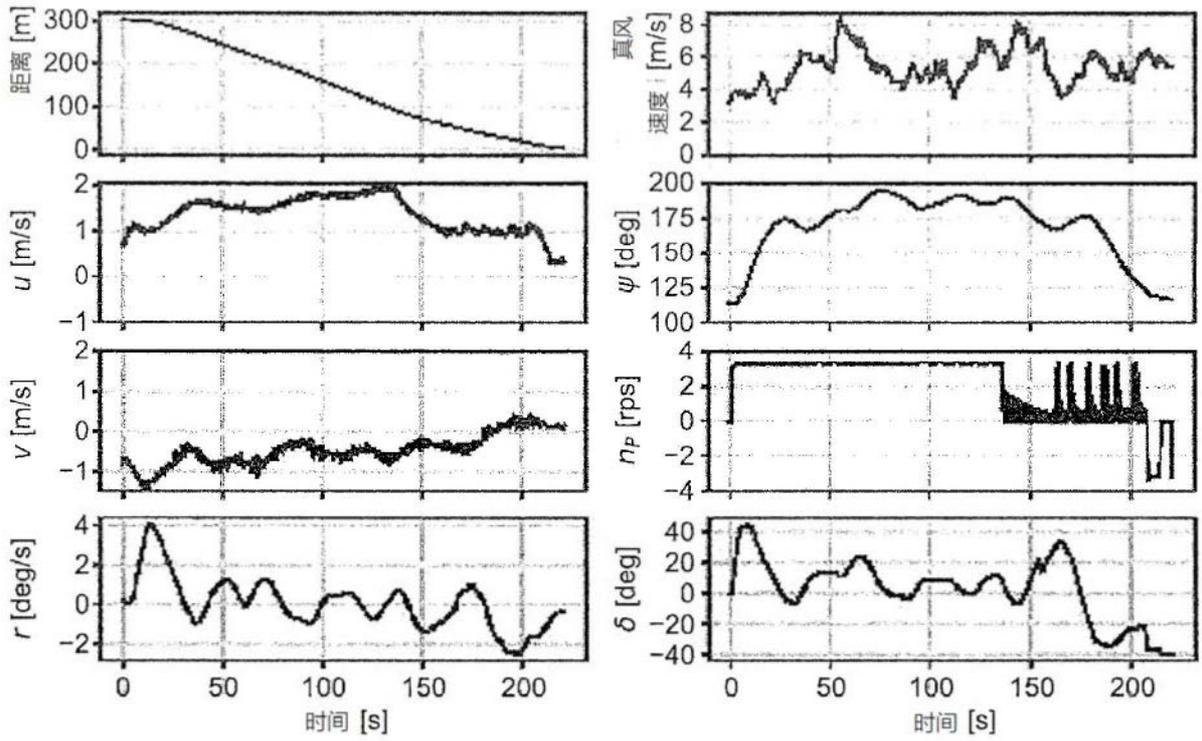


图24

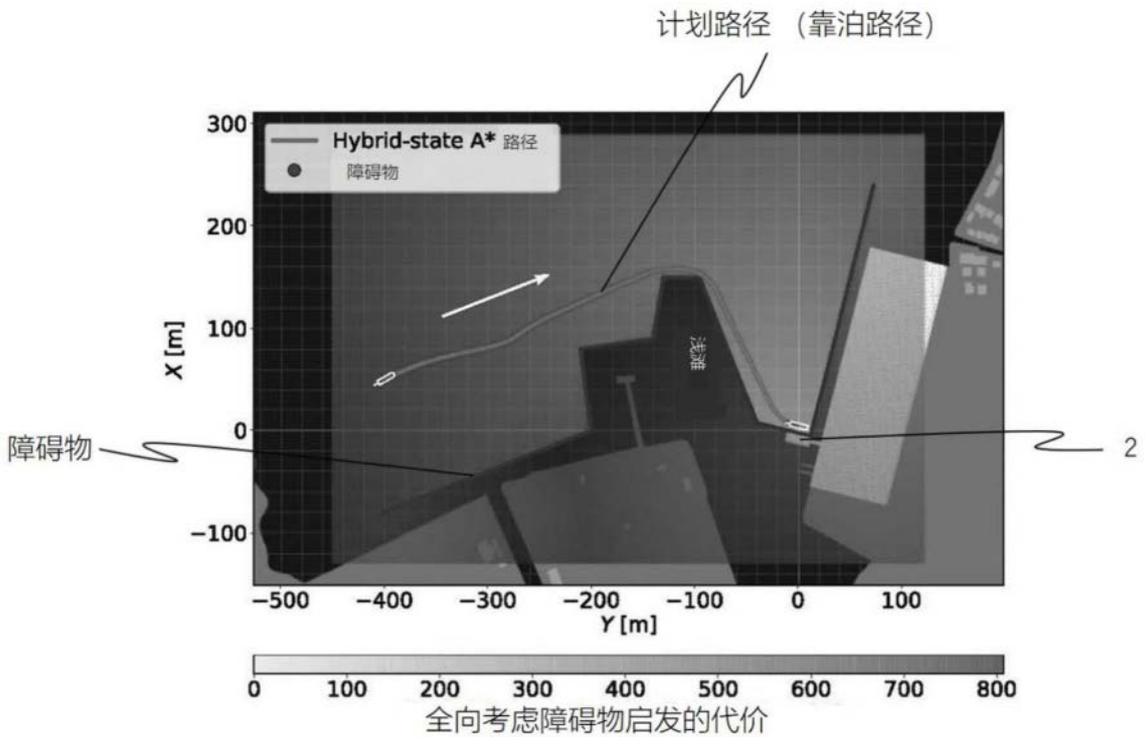


图25

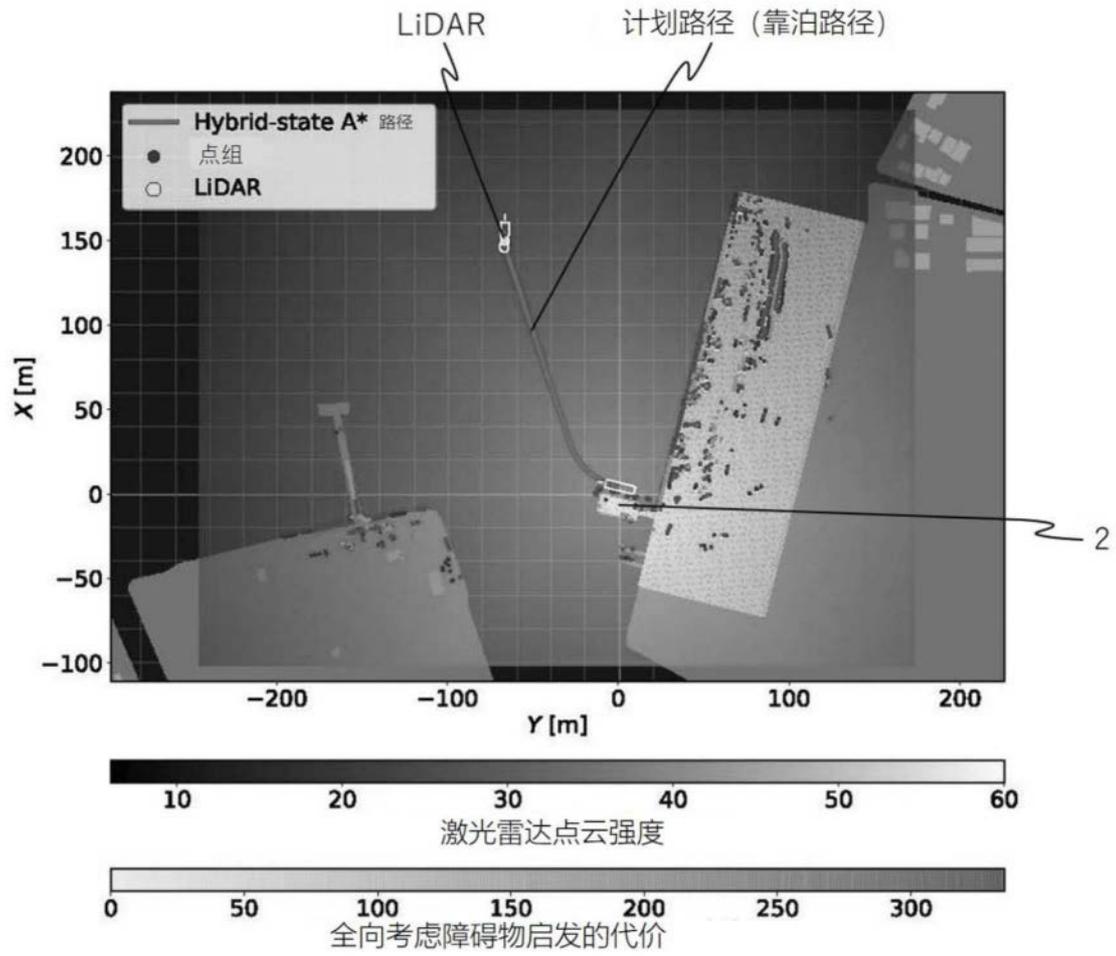


图26

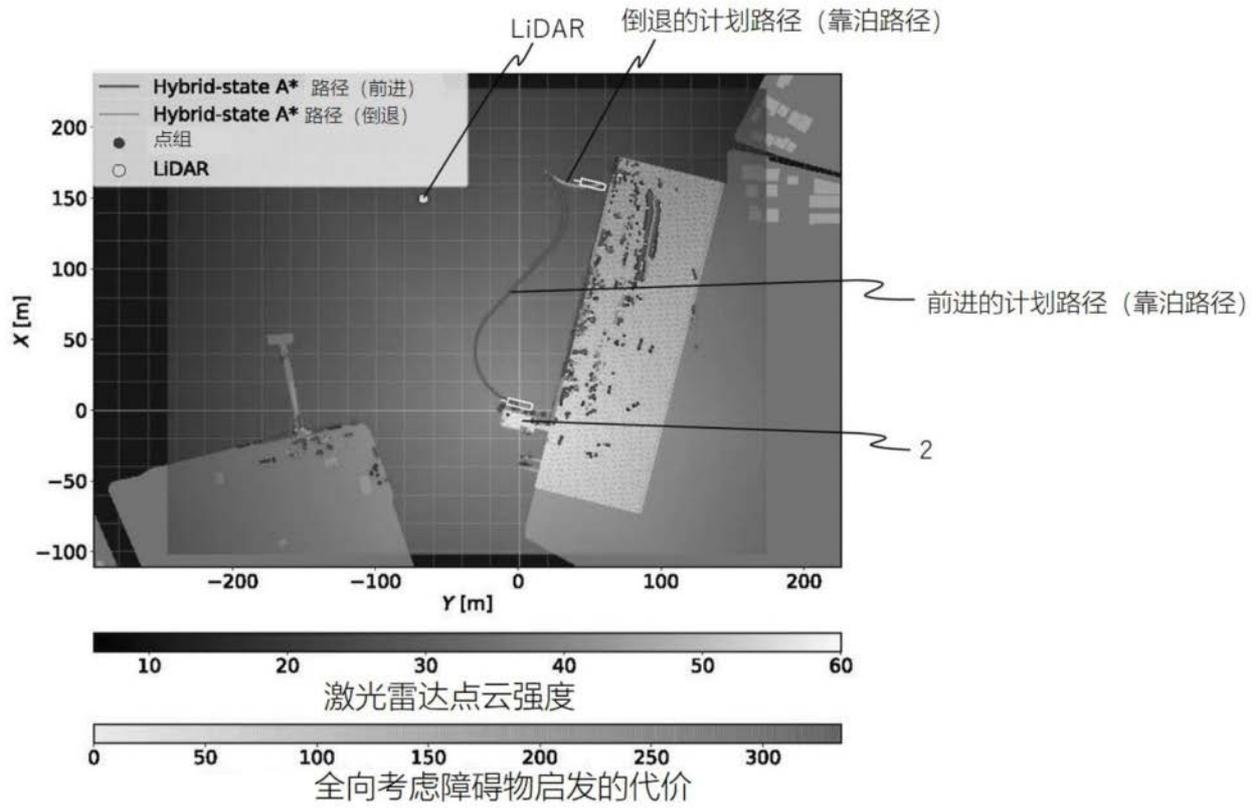


图27

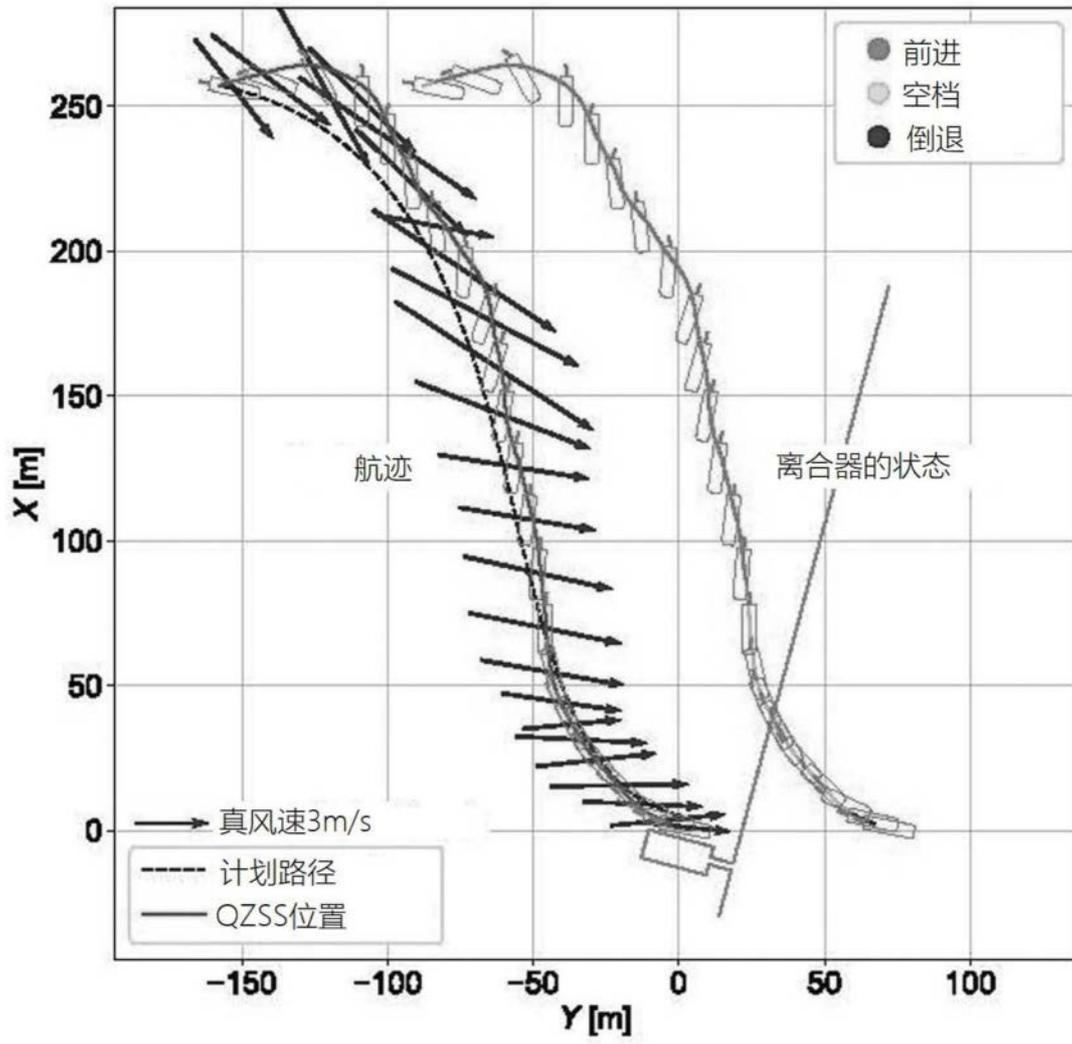


图28

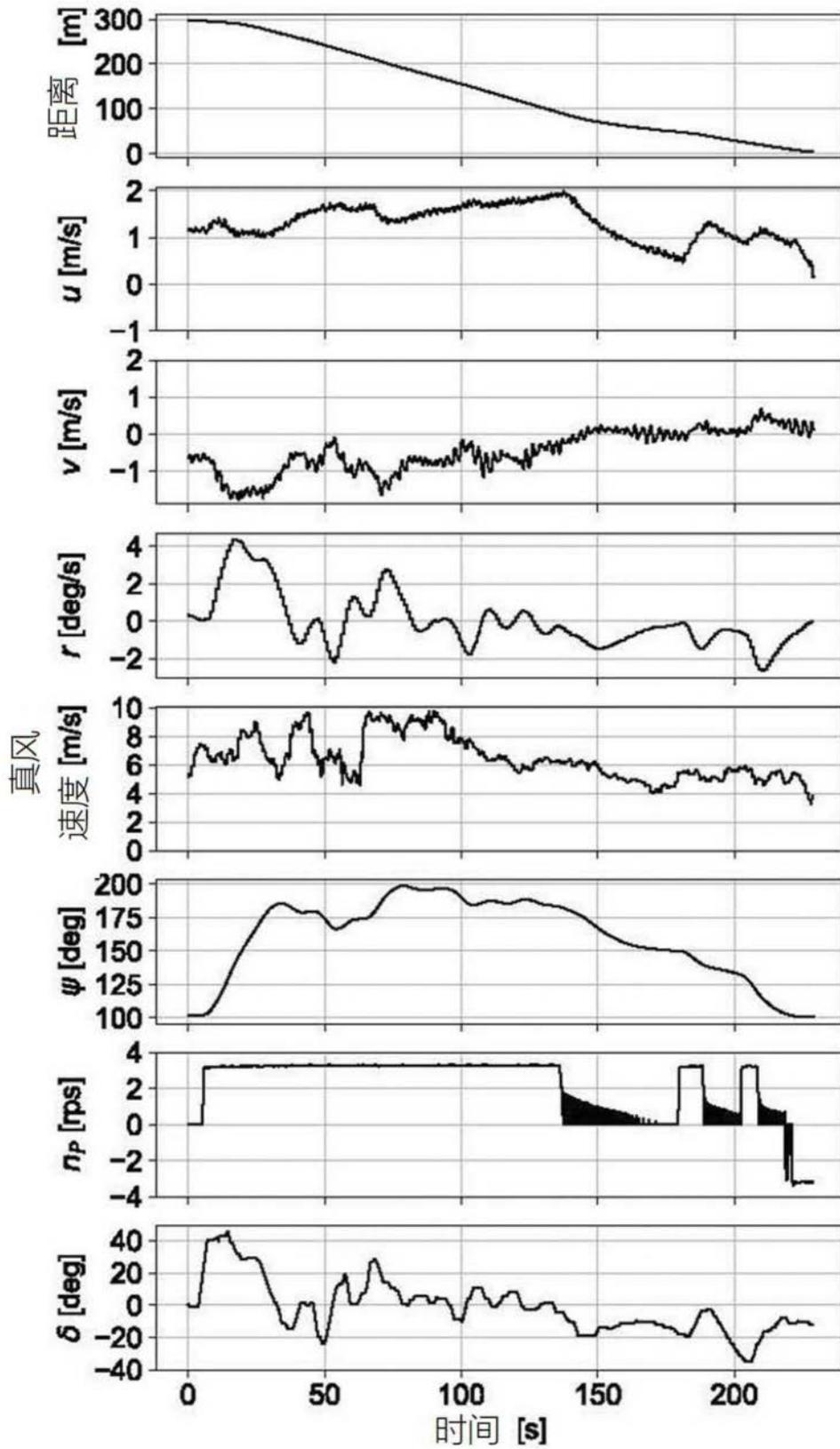


图29

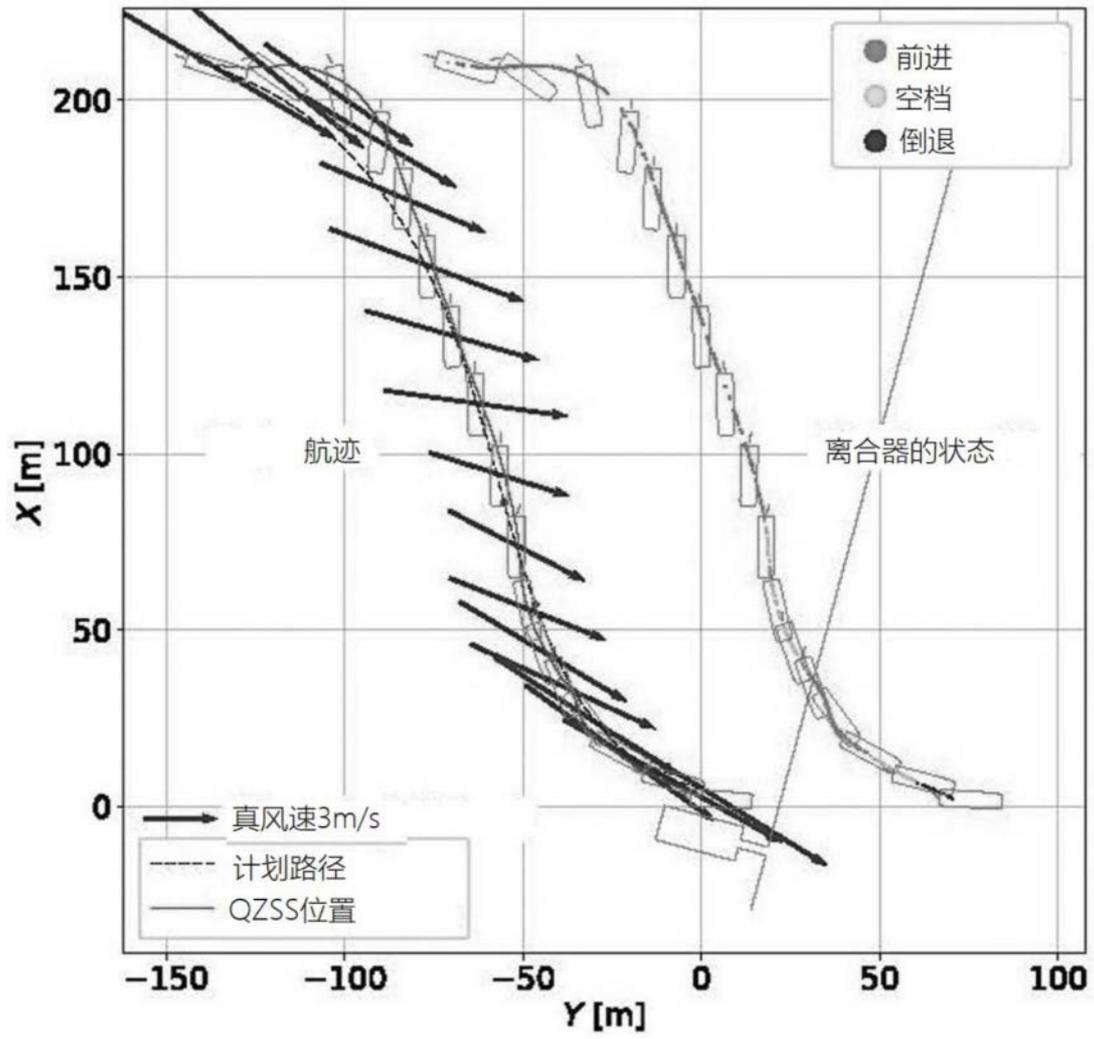


图30

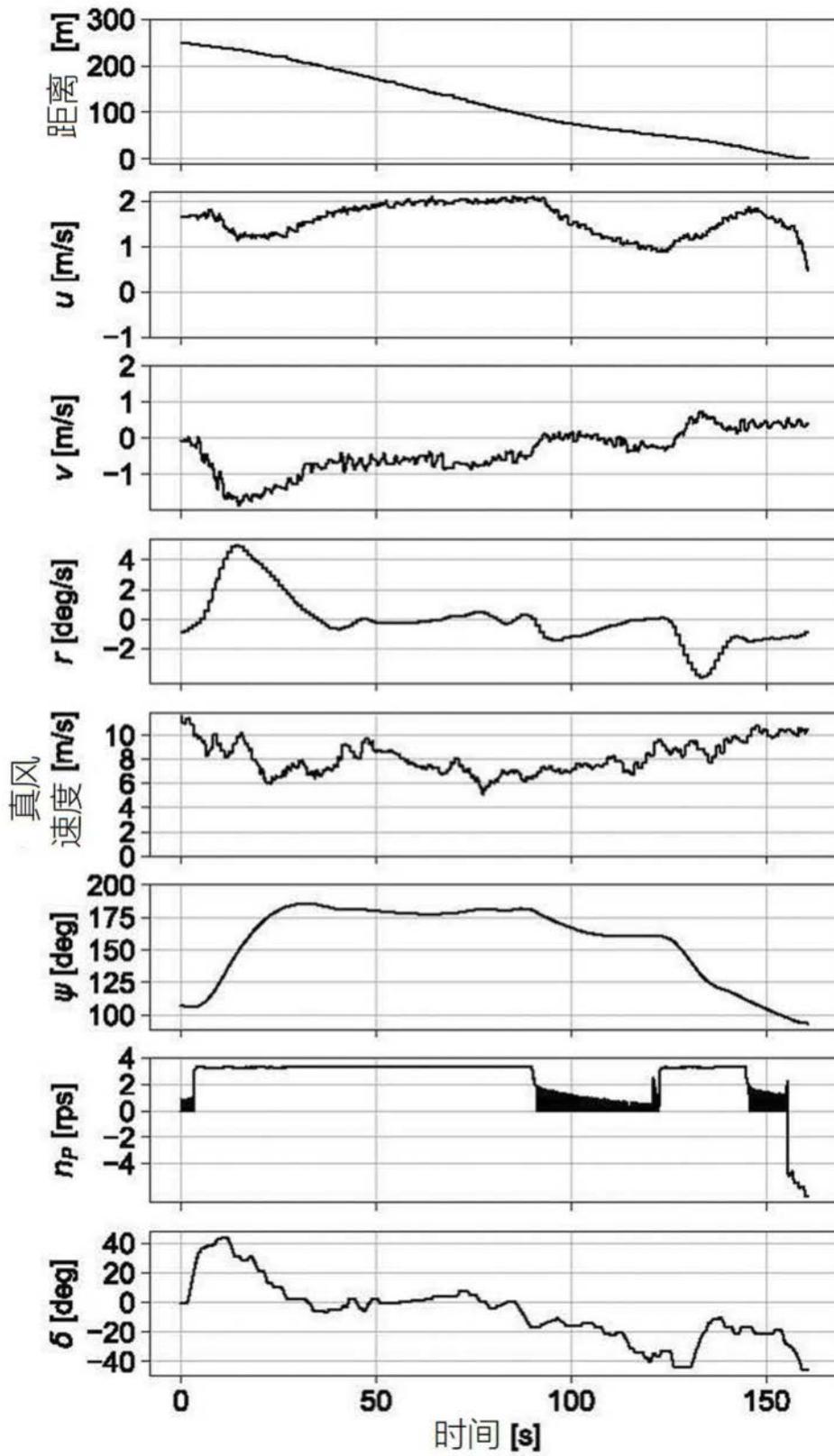


图31