

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-240225
(P2014-240225A)

(43) 公開日 平成26年12月25日(2014. 12. 25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 6 3 H 25/04 (2006.01)	B 6 3 H 25/04 D	5 H 1 8 1
G 0 8 G 3/00 (2006.01)	G 0 8 G 3/00 A	
	B 6 3 H 25/04 G	

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2013-123006 (P2013-123006)	(71) 出願人	501204525 独立行政法人海上技術安全研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(22) 出願日	平成25年6月11日 (2013. 6. 11)	(74) 代理人	110001210 特許業務法人Y K I 国際特許事務所
		(72) 発明者	上野 道雄 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立 行政法人海上技術安全研究所内
		(72) 発明者	塚田 吉昭 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立 行政法人海上技術安全研究所内
		Fターム(参考)	5H181 AA25 FF04

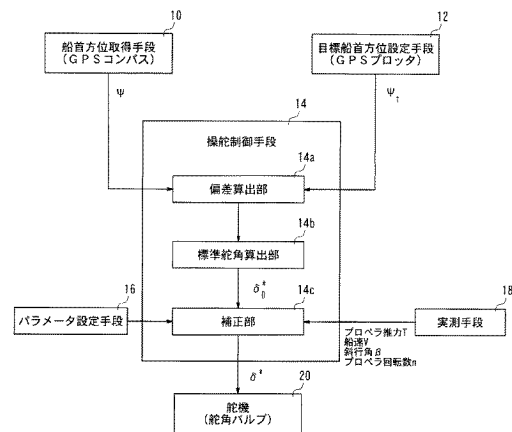
(54) 【発明の名称】 船舶の操舵方法及び船舶の自動操舵装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 舵に流入する水流の性質の舵効きへの影響を考慮した自動操舵を実現する。

【解決手段】 プロペラで推進され、舵で船首方位を変更する船舶を目標船首方位と現船首方位との偏差に基づいて指令舵角を算出して操舵する船舶において、外乱のない場合の標準舵角を舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正ステップ14cを備え、補正指令舵角を指令舵角として用いて操舵する。補正ステップ14cは、舵直圧力の代わりに、舵有効流入速度に応じて標準舵角を補正して補正指令舵角を求めることが好ましい。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プロペラで推進され、舵で船首方位を変更する船舶を目標船首方位と現船首方位との偏差に基づいて指令舵角を算出して操舵する船舶の操舵方法において、

外乱のない場合の標準舵角を前記舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正ステップを備え、

前記補正指令舵角を前記指令舵角として用いて操舵することを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の船舶の操舵方法であって、

前記補正ステップは、前記舵直圧力の代わりに、舵有効流入速度に応じて前記標準舵角を補正して前記補正指令舵角を求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の船舶の操舵方法であって、

前記補正ステップは、

【数 1】

$$\delta^* = \delta_0^* (u_{R0}/u_R)^2$$

δ^* : 補正指令舵角 (外乱のある場合)

δ_0^* : 標準舵角 (外乱の無い場合)

u_{R0} : 標準舵有効流入速度 (外乱の無い場合)

u_R : 舵有効流入速度 (外乱のある場合)

により前記補正指令舵角を求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 4】

請求項 2 又は 3 に記載の船舶の操舵方法であって、

前記補正ステップは、前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_R と船速の前後方向成分 u との前後方向成分比 u_R/u に応じて前記補正指令舵角を求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の船舶の操舵方法であって、

前記前後方向成分比 u_R/u を、プロペラ荷重度 w に基づいて求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の船舶の操舵方法であって、

前記前後方向成分比 u_R/u を、

【数 2】

$$\frac{u_R}{u} = (1-w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2} + (1-\eta)$$

【数 3】

$$\frac{u_R}{u} = (1-w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1-w)^2}} - 1 \right) \right\}^2} + (1-\eta)$$

u_R : 舵有効流入速度の前後方向成分

10

20

30

50

- u : 船速の前後方向成分
- 1 - w : 伴流係数
 - : 舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比
 - : プロペラ直径と舵高さの比
 - : プロペラ後流の増速率に関する係数
- K_T : 推力係数
- J : プロペラ前進率
 - : プロペラ荷重度

により求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 7】

10

請求項 4 に記載の船舶の操舵方法であって、

前記前後方向成分比 u_R / u を、プロペラスリップ比 s に基づいて求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の船舶の操舵方法であって、

前後方向成分比 u_R / u を、

【数 4】

$$\frac{u_R}{u} = u(1-w)\varepsilon \frac{\sqrt{1-2(1-\eta\kappa)s + \{1-\eta\kappa(2-\kappa)\}s^2}}{(1-s)}$$

- u_R : 舵有効流入速度の前後方向成分
- u : 船速の前後方向成分
- 1 - w : 伴流係数
 - : 舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比
 - : プロペラ直径と舵高さの比
 - : プロペラ後流の増速率に関する係数
- s : プロペラスリップ比

により求めることを特徴とする船舶の操舵方法。

【請求項 9】

30

船体を推進するプロペラと、

船首方位を変更する舵と、

目標船首方位と現船首方位との偏差に応じて指令舵角を算出して前記舵を操舵する操舵制御手段を備える船舶の自動操舵装置であって、

前記操舵制御手段は、外乱のない場合の標準舵角を前記舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正部を備えることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記補正部は、前記舵直圧力の代わりに、前記標準舵角を舵有効流入速度に応じて補正して前記補正指令舵角を求めることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

40

【請求項 11】

請求項 10 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記補正部は、

【数 5】

$$\delta^* = \delta_0^* (u_{R0} / u_R)^2$$

δ^* : 補正指令舵角 (外乱のある場合)

δ_0^* : 標準舵角 (外乱の無い場合)

50

u_{R0} : 標準舵有効流入速度 (外乱の無い場合)

u_R : 舵有効流入速度 (外乱のある場合)

により前記標準舵角を補正することを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 1 2】

請求項 9 ~ 1 1 のいずれか 1 項に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記補正部は、前記標準舵角を前記プロペラのプロペラ荷重度 に応じて補正することを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記プロペラ荷重度 は、プロペラ推力 T 、船速の前後方向成分 u 及びプロペラ回転数 n を用いて算出されることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

10

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記船速の前後方向成分 u は、船速 V と前記船体の斜航角 を用いて算出されることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記船速の前後方向成分 u は、船速 V で代用されることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 3 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記プロペラ推力 T は、実測して得られた値を用いることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

20

【請求項 1 7】

請求項 1 3 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記プロペラ推力 T は、実測して得られたプロペラトルクと前記プロペラの単独性能に基づいて算出された値を用いることを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 2 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記プロペラ荷重度 は、伴流係数 $1 - w$ の推定値、船速の前後方向成分 u 又は船速 V 、及びプロペラ回転数 n を用いてプロペラ単独性能から推定することを特徴とする船舶の自動操舵装置。

30

【請求項 1 9】

請求項 1 3 ~ 1 8 のいずれか 1 項に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記補正部は、

【数 6】

$$\frac{u_R}{u} = (1 - w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1 - w)^2} - 1} \right) \right\}^2 + (1 - \eta)}$$

u_R : 舵有効流入速度の前後方向成分

u : 船速の前後方向成分 u

$1 - w$: 伴流係数

: 舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比

: プロペラ直径と舵高さの比

: プロペラ後流の増速率に関する係数

: プロペラ荷重度

により、前記プロペラ荷重度 から前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_R と船速の前後

50

方向成分 u との前後方向成分比 u_R / u を求め、前記前後方向成分比 u_R / u に基づいて前記標準舵角を補正することを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 20】

請求項 9 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記補正部は、前記プロペラのプロペラスリップ比 s に基づいて前記標準舵角を補正することを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【請求項 21】

請求項 20 に記載の船舶の自動操舵装置であって、

前記補正部は、

【数 7】

$$\frac{u_R}{u} = u(1-w)\varepsilon \frac{\sqrt{1-2(1-\eta\kappa)s + \{1-\eta\kappa(2-\kappa)\}s^2}}{(1-s)}$$

u_R : 舵有効流入速度の前後方向成分

u : 船速の前後方向成分

$1-w$: 伴流係数

: 舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比

: プロペラ直径と舵高さの比

: プロペラ後流の増速率に関する係数

s : プロペラスリップ比

により、前記プロペラスリップ比 s から前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_R と船速の前後方向成分 u との前後方向成分比 u_R / u を求め、前記前後方向成分比 u_R / u に基づいて前記標準舵角を補正することを特徴とする船舶の自動操舵装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プロペラで推進される船舶の操舵方法及び船舶の自動操舵装置に関する。

【背景技術】

【0002】

海の状況に応じて、船舶の舵を制御する自動操舵システムが開示されている（特許文献 1）。本自動操舵システムでは、目的地の方位と GPS コンパスが検出した船首方向との偏差に対して、風向風速計で検出された現在値の風向及び風速と、レーダ装置で取得された進行予定ルート上の波の高さ及び波の向きとに基づいて補正を行う。

【0003】

また、制御型自己回帰モデルを用いて、針路偏差を抑制するように制御する自動操舵装置が開示されている（特許文献 2）。本自動操舵装置では、方位角検出手段から得られるターンレートを針路偏差補正に加味して最適操舵量を算出し、その最適操舵量に基づいて舵角を制御する。また、設定針路から所定角度ずらした仮想設定針路を設定し、その仮想設定針路に対する実際の航跡の差である針路偏差を計測し、その針路偏差オフセット値に基づいて最適操舵量を算出し、その最適操舵量に基づいて舵角を制御する。

【0004】

また、自動変針時における船舶と自動操舵装置のパラメータとのずれによる性能低下を防止し、最適な変針軌道計画を可能にする船舶用自動操舵装置が開示されている（特許文献 3）。本船舶用自動操舵装置は、軌道計画に基づいた最適参照針路を演算する軌道演算部と、制御ループを安定化させるために閉ループ制御を提供するフィードバック制御器と、制御ループの変針特性を高めるために開ループ制御を提供するフィードフォワード制御器と、実際の船舶のパラメータを推定演算する同定演算部を有する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 1 - 5 8 8 8 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 8 - 2 3 0 4 8 4 号公報

【特許文献 3】特開平 9 - 2 0 7 8 8 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

ところで、船舶の舵の効果は舵に流入する水流の性質に影響される。舵へ流入する水流の性質は、舵の前に置かれたプロペラの作動状況によって大きく影響を受ける。例えば、プロペラ荷重度が大きいときには舵に流入する水流が速くなるため、同じ舵角でも舵の発生する力が大きくなって舵効きが良くなり、プロペラ荷重度が小さいときは舵効きが悪くなる。

10

【 0 0 0 7 】

しかしながら、舵に流入する水流の性質の舵効きへの影響を考慮した船舶の操舵方法及び船舶の自動操舵装置はこれまでなかった。

【 0 0 0 8 】

本発明は、プロペラで推進される船舶において、舵に流入する水流の性質の舵効きへの影響を考慮した船舶の操舵方法及び船舶の自動操舵装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の請求項 1 に係る船舶の操舵方法は、プロペラで推進され、舵で船首方位を変更する船舶を目標船首方位と現船首方位との偏差に基づいて指令舵角を算出して操舵する船舶の操舵方法において、外乱のない場合の標準舵角を前記舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正ステップを備え、前記補正指令舵角を前記指令舵角として用いて操舵することを特徴とする。

20

【 0 0 1 0 】

ここで、前記補正ステップは、前記舵直圧力の代わりに、舵有効流入速度に応じて前記標準舵角を補正して前記補正指令舵角を求めることが好ましい。例えば、前記補正ステップは、

【数 1】

$$\delta^* = \delta_0^* (u_{R0}/u_R)^2$$

30

により前記補正指令舵角を求めることが好適である。ここで、 δ^* ：補正指令舵角（外乱のある場合）、 δ_0^* ：標準舵角（外乱の無い場合）、 u_{R0} ：標準舵有効流入速度（外乱の無い場合）、 u_R ：舵有効流入速度（外乱のある場合）である。

【 0 0 1 1 】

前記補正ステップは、前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_{Rz} と船速の前後方向成分 u との前後方向成分比 u_{Rz}/u に応じて前記補正指令舵角を求めることが好適である。

【 0 0 1 2 】

40

例えば、前記前後方向成分比 u_{Rz}/u を、プロペラ荷重度 w に基づいて求めることが好適である。このとき、前記前後方向成分比 u_{Rz}/u を、

【数 2】

$$\frac{u_{Rz}}{u} = (1-w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2} + (1-\eta)$$

【数 3】

$$\frac{u_R}{u} = (1-w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1-w)^2}} - 1 \right) \right\}^2} + (1-\eta)$$

により求めることができる。ここで、 u_R ：舵有効流入速度の前後方向成分、 u ：船速の前後方向成分、 $1-w$ ：伴流係数、 ε ：舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比、 η ：プロペラ直径と舵高さの比、 κ ：プロペラ後流の増速率に関する係数、 K_T ：推力係数、 J ：プロペラ前進率、 τ ：プロペラ荷重度である。

10

【0013】

また、例えば、前記前後方向成分比 u_R/u を、プロペラスリップ比 s に基づいて求めることが好適である。このとき、前後方向成分比 u_R/u を、

【数 4】

$$\frac{u_R}{u} = u(1-w)\varepsilon \frac{\sqrt{1 - 2(1-\eta\kappa)s + \{1 - \eta\kappa(2-\kappa)\}s^2}}{(1-s)}$$

により求めることができる。ここで、 u_R ：舵有効流入速度の前後方向成分、 u ：船速の前後方向成分、 $1-w$ ：伴流係数、 ε ：舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比、 η ：プロペラ直径と舵高さの比、 κ ：プロペラ後流の増速率に関する係数、 s ：プロペラスリップ比である。

20

【0014】

本発明の請求項 9 に記載の船舶の自動操舵装置は、船体を推進するプロペラと、船首方位を変更する舵と、目標船首方位と現船首方位との偏差に応じて指令舵角を算出して前記舵を操舵する操舵制御手段を備える船舶の自動操舵装置であって、前記操舵制御手段は、外乱のない場合の標準舵角を前記舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正部を備えることを特徴とする。

【0015】

ここで、前記補正部は、前記舵直圧力の代わりに、前記標準舵角を舵有効流入速度に応じて補正して前記補正指令舵角を求めることが好ましい。例えば、前記補正部は、

30

【数 5】

$$\delta^* = \delta_0^* (u_{R0}/u_R)^2$$

により前記標準舵角を補正することが好適である。ここで、 δ^* ：補正指令舵角（外乱のある場合）、 δ_0^* ：標準舵角（外乱の無い場合）、 u_{R0} ：標準舵有効流入速度（外乱の無い場合）、 u_R ：舵有効流入速度（外乱のある場合）である。

【0016】

前記補正部は、前記標準舵角を前記プロペラのプロペラ荷重度 τ に応じて補正することが好適である。なお、前記プロペラ荷重度 τ は、プロペラ推力 T 、船速の前後方向成分 u 及びプロペラ回転数 n を用いて算出することができる。

40

【0017】

また、前記船速の前後方向成分 u は、船速 V と前記船体の斜航角 β を用いて算出することができる。なお、前記船速の前後方向成分 u は、船速 V で代用してもよい。

【0018】

また、前記プロペラ推力 T は、実測して得られた値を用いてもよい。なお、前記プロペラ推力 T は、実測して得られたプロペラトルクと前記プロペラの単独性能に基づいて算出された値を用いてもよい。

【0019】

50

また、前記プロペラ荷重度は、伴流係数 $1 - w$ の推定値、船速の前後方向成分 u 又は船速 V 、及びプロペラ回転数 n を用いてプロペラ単独性能から推定してもよい。

【0020】

このとき、前記補正部は、

【数6】

$$\frac{u_R}{u} = (1 - w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1 - w)^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1 - \eta)}$$

により、前記プロペラ荷重度から前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_R と船速の前後方向成分 u との前後方向成分比 u_R / u を求め、前記前後方向成分比 u_R / u に基づいて前記標準舵角を補正することが好適である。ここで、 u_R ：舵有効流入速度の前後方向成分、 u ：船速の前後方向成分、 $1 - w$ ：伴流係数、 η ：舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比、 τ ：プロペラ直径と舵高さの比、 ε ：プロペラ後流の増速率に関する係数、 κ ：プロペラ荷重度である。

【0021】

また、前記補正部は、前記標準舵角を前記プロペラのプロペラスリップ比 s に基づいて補正してもよい。

【0022】

このとき、前記補正部は、

【数7】

$$\frac{u_R}{u} = u(1 - w)\varepsilon \frac{\sqrt{1 - 2(1 - \eta\kappa)s + \{1 - \eta\kappa(2 - \kappa)\}s^2}}{(1 - s)}$$

により、前記プロペラスリップ比 s から前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_R と船速の前後方向成分 u との前後方向成分比 u_R / u を求め、前記前後方向成分比 u_R / u に基づいて前記標準舵角を補正することが好適である。ここで、 u_R ：舵有効流入速度の前後方向成分、 u ：船速の前後方向成分、 $1 - w$ ：伴流係数、 η ：舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比、 τ ：プロペラ直径と舵高さの比、 ε ：プロペラ後流の増速率に関する係数、 s ：プロペラスリップ比である。

【発明の効果】

【0023】

本発明に係る船舶の操舵方法は、プロペラで推進され、舵で船首方位を変更する船舶を目標船首方位と現船首方位との偏差に基づいて指令舵角を算出して操舵する船舶の操舵方法において、外乱のない場合の標準舵角を前記舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正ステップを備え、前記補正指令舵角を前記指令舵角として用いて操舵することによって、舵に流入する水流の性質に応じて効果的に舵を制御し、安定した自動操舵航行をすることができる。

【0024】

ここで、前記補正ステップは、前記舵直圧力の代わりに、舵有効流入速度に応じて前記標準舵角を補正することにより、物理量として把握し易い値を用いて前記補正指令舵角を求めることができる。また、上記数式(1)を用いて前記補正指令舵角を的確に求めることができる。

【0025】

前記補正ステップは、前記舵有効流入速度の前後方向成分 u_R と船速の前後方向成分 u との前後方向成分比 u_R / u に応じて前記補正指令舵角を的確に求めることができる。また、前後方向成分比 u_R / u に応じて前記補正指令舵角を求めることにより、プロペラ荷重度やプロペラスリップ比に基づいて前記標準舵角を補正することが可能となる。例えば、前記前後方向成分比 u_R / u を、プロペラ荷重度に基づいて、上記数式(2)或いは

(3)により求めることができる。また、例えば、前記前後方向成分比 u_x / u を、プロペラスリップ比 s に基づいて、上記数式(4)により求めることができる。プロペラ荷重度 或いはプロペラスリップ比 s に基づくことにより、船舶として把握が容易なパラメータを用いて前記前後方向成分比 u_x / u を求めることができる。

【0026】

本発明に係る船舶の自動操舵装置は、船体を推進するプロペラと、船首方位を変更する舵と、目標船首方位と現船首方位との偏差に応じて指令舵角を算出して前記舵を操舵する操舵制御手段を備える船舶の自動操舵装置であって、前記操舵制御手段は、外乱のない場合の標準舵角を前記舵に流入する流れによる舵直圧力に応じて補正して補正指令舵角を求める補正部を備えることによって、舵に流入する水流の性質に応じて効果的に舵を制御し、安定に船舶を自動航行させることができる。

10

【0027】

ここで、前記補正部は、前記舵直圧力の代わりに、前記標準舵角を舵有効流入速度に応じて補正することにより、物理量として把握し易い値を用いて前記補正指令舵角を求めることができる。また、上記数式(5)を用いて前記補正指令舵角を的確に求めることができる。

【0028】

また、前記補正部は、前記標準舵角を前記プロペラのプロペラ荷重度 に応じて補正することによって、また、プロペラ推力 T 、船速の前後方向成分 u 及びプロペラ回転数 n を用いることにより、船舶として把握が容易なパラメータを用いて前記指令舵角を補正して前記補正指令舵角を求めることができる。ここで、前記船速の前後方向成分 u を船速 V と前記船体の斜航角 を用いて算出することにより、船舶として通常計測する船速 V と前記船体の斜航角 とを実測することで前記補正指令舵角を求めることができる。なお、前記船速の前後方向成分 u を船速 V で代用することにより、斜航角が小さいときには前記船体の斜航角 を実測することなく、船速 V のみを用いて前記補正指令舵角を求めることができる。

20

【0029】

また、前記プロペラ推力 T は、実測して得られた値を用いることにより、舵に流入する水流の性質に正確に応じて舵を制御することができる。一方、前記プロペラ推力 T は、実測して得られたプロペラトルクと前記プロペラの単独性能に基づいて算出することによって、プロペラ推力 T を直接計測する計測器等を準備する必要がなくなる。また、前記プロペラ荷重度 は、伴流係数 $1 - w$ の推定値、船速の前後方向成分 u 又は船速 V 、及びプロペラ回転数 n を用いてプロペラ単独性能から推定することにより、プロペラ荷重度 を直接計測する計測器等を準備する必要がなくなり、上記数式(6)にて前記補正指令舵角を求めることができる。

30

【0030】

また、前記補正部は、前記標準舵角を前記プロペラのプロペラスリップ比 s に基づいて補正することにより、船舶として把握が容易な数値を用いて前記前後方向成分比 u_x / u を求めることができる。また、上記数式(7)にて前記補正指令舵角を的確に求めることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本発明の実施の形態における自動操舵装置の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態における船舶の構成を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態における操舵方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0032】

< 自動操舵装置の構成 >

本実施形態の自動操舵装置100は、図1に示すように、船首方位取得手段10、目標船首方位設定手段12、操舵制御手段14、パラメータ設定手段16、実測手段18及び

50

舵機 20 を含んで構成される。

【0033】

自動操舵装置 100 は、図 2 に示すように、船舶 200 に搭載され、船舶 200 の船体を推進させるプロペラ 102 の作動状況に応じて、船舶 200 に設けられた舵 104 の動きを制御する。この舵 104 の制御により、船舶 200 の船体の船首方向が変更される。

【0034】

船首方位取得手段 10 は、現在の船舶 200 の船首の方位である現船首方位 を取得するための手段である。船首方位取得手段 10 は、例えば、GPS コンパスとすることができる。また、船首方位取得手段 10 は、ジャイロコンパス等の方位検出器としてもよい。目標船首方位設定手段 12 は、船舶 200 の進行予定ルートの設定を行う。目標船首方位設定手段 12 は、例えば、GPS プロッタとすることができる。目標船首方位設定手段 12 は、船舶 200 の現在地を取得可能であり、目的地が入力されることで進行予定ルートの設定を行う。これにより、船舶 200 の目標となる船首の方位である目標船首方位 が得られる。

【0035】

操舵制御手段 14 は、図 1 に示すように、偏差算出部 14a、標準舵角算出部 14b 及び補正部 14c を含んで構成される。操舵制御手段 14 は、コンピュータにおいて操舵プログラムを実行することによって、偏差算出部 14a、標準舵角算出部 14b 及び補正部 14c として機能させるようにして実現することができる。

【0036】

操舵制御手段 14 は、船首方位取得手段 10 で得られた現船首方位 と目標船首方位設定手段 12 で得られた目標船首方位 とに基づいて偏差算出部 14a で偏差を算出し、標準状態の指令舵角（以下、標準舵角 という。）を求める。さらに、パラメータ設定手段 16 により設定されたパラメータ及び実測手段 18 で計測された各種実測値に基づいて、舵直圧力に応じて標準舵角の補正值である補正指令舵角 を求める。

【0037】

操舵制御手段 14 による標準舵角の算出及び標準舵角の補正の処理については後述する。

【0038】

舵機 20 は、操舵制御手段 14 で求められた補正指令舵角 を用いて船舶 200 の舵 104 を制御する。舵機 20 は、例えば舵角制御バルブを制御することによって舵 104 の舵板を旋回制御し、船舶 200 の進行方向を変化させる。また、舵角制御バルブによって舵板を旋回させる代わりに、推進器の向きを変化させて船舶 200 の進行方向を変化させる構成としてもよい。この場合、自動操舵装置 100 が適当な舵角変更装置を制御することで推進器の向きを変化させるようにすればよい。

【0039】

< 操舵方法 >

以下、自動操舵装置 100 による操舵方法について説明する。自動操舵装置 100 は、操舵制御手段 14 において補正指令舵角 を求め、舵機 20 において補正指令舵角 に基づいて舵 104 を制御することにより操舵を行う。したがって、以下では操舵制御手段 14 において補正指令舵角 を求める点について説明する。

【0040】

本実施の形態における操舵方法は、図 3 のフローチャートに沿って実行される。図 3 の各ステップは、操舵制御手段 14 となるコンピュータにおいて操舵プログラムを実行することにより実現される。まず、ステップ S8 では、目標船首方位 と現船首方位 が取得される。

【0041】

ステップ S10 では、偏差（ ）が算出される。偏差算出部 14a では、船首方位取得手段 10 で得られた現船首方位 と目標船首方位設定手段 12 で得られた目標船首方位 を受けて、目標船首方位 から現船首方位 を減算した偏差（ ）を算出

10

20

30

40

50

する。このステップ S 1 0 での処理は、偏差算出部 1 4 a での処理に相当する。

【 0 0 4 2 】

ステップ S 1 2 では、ステップ S 1 0 で得られた偏差 () に基づいて標準舵角 が算出される。なお、標準舵角 は、外乱がなく標準状態の船速にあるときの指令舵角である。このステップ S 1 2 での処理は、標準舵角算出部 1 4 b での処理に相当する。

【 0 0 4 3 】

例えば、P I D 制御を適用した場合、標準舵角 は、偏差 () に基づいて数式 (1) のように算出することができる。

【 数 8 】

$$\delta_0^* = c_p(\psi_t - \psi) + c_i \int (\psi_t - \psi) dt + c_d \frac{d(\psi_t - \psi)}{dt} \dots (1)$$

ここで、t は時間、 c_p 、 c_i 、 c_d はそれぞれ P I D 制御の比例係数、積分係数及び微分係数である。

【 0 0 4 4 】

なお、P I D 制御は、偏差 () に基づいて標準舵角 を算出する一例に過ぎない。例えば、制御係数を P I D 制御以外の手法で設定してもよい。また、例えば、偏差 () が微小な場合には標準舵角 を 0 とする不感帯を設けてもよいし、標準舵角 に最大舵角を設定してもよいし、船首揺れ等の他のパラメータに基づいて標準舵角 に補正を加えてもよいし、船首方向のみならず目標航路からの偏差を考慮するようにしてもよい。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 4 では、ステップ S 1 2 で得られた標準舵角 を補正して補正指令舵角 を求める。このステップ S 1 4 での処理は、補正部 1 4 c での処理に相当する。

【 0 0 4 6 】

船舶 2 0 0 の舵効きは、舵直圧力 F_N に応じて変化する。そこで、本実施の形態では、舵直圧力 F_N に応じて標準舵角 を補正して補正指令舵角 を求める。舵直圧力 F_N は、数式 (2) で表わされる。

【 数 9 】

$$F_N = \frac{\rho}{2} A_R f_\alpha U_R^2 \sin \alpha_R \dots (2)$$

ここで、 ρ は水の密度、 A_R は舵面積、 f_α は舵の直圧力係数勾配で縦横比の関数、 U_R は舵有効流入速度、 α_R は舵有効流入角をそれぞれ表す。

【 0 0 4 7 】

舵有効流入速度 U_R は、前後方向成分 u_R と左右方向成分 v_R を用いて数式 (3) で表わされる。

【 数 1 0 】

$$U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \dots (3)$$

舵有効流入角 α_R は、数式 (4) で表わされる。

【 数 1 1 】

$$\alpha_R = \delta - \left(\frac{v_{RP}}{u_R} \right) - \gamma_R (\beta - l'_R r') \left(\frac{v}{u_R} \right) \dots (4)$$

ここで、 v_{RP} はプロペラの回転による左右方向流速成分、 γ_R は整流係数、 β は船の斜航角、 l'_R は舵の流体力学的前後位置、 r' は無次元旋回角速度をそれぞれ表す。

【 0 0 4 8 】

10

20

30

50

数式(3)において主として斜航や旋回の影響を表す左右方向成分 v_R に比べてプロペラ102の後流を表す前後方向成分 u_R が支配的である。数式(4)において第2項のプロペラ102の回転による左右方向流速成分 v_R は前後方向成分 u_R に比べて小さく一般に無視しうる程度である。第3項は船の斜航と旋回による影響を表すため自動操舵をおこなう直進付近では一般に小さな値をとる。これらを考慮すると数式(3)と数式(4)はそれぞれ以下のように近似できる。

【数12】

$$\begin{aligned} U_R &\simeq u_R \\ \alpha_R &\simeq \delta \quad \dots (5) \end{aligned}$$

【0049】

上記の近似と自動操舵では一般に大舵角はとらないことを考えると数式(2)は次式で近似できる。

【数13】

$$\begin{aligned} F_N &\simeq \frac{\rho}{2} A_R f_\alpha u_R^2 \sin \delta \\ &\simeq \frac{\rho}{2} A_R f_\alpha u_R^2 \delta \\ &\dots (6) \end{aligned}$$

【0050】

そこで、数式(7)で表わされる前後方向成分 u_R の2乗に着目して舵効きを考慮すればよい。

【数14】

$$\begin{aligned} u_R^2 &= u^2(1-w)^2 \epsilon^2 \left[\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta) \right] \\ &= u^2(1-w)^2 \epsilon^2 \left[\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1-w)^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta) \right] \\ &\dots (7) \end{aligned}$$

ここで、 η は舵位置の伴流係数とプロペラ位置の伴流係数の比、 ϵ はプロペラ後流の増速率、 τ はプロペラ直径と舵高さの比をそれぞれ表す。数式(7)によってある船の前後方向成分 u_R に対しては航行時のプロペラ荷重度が支配的影響をおよぼすことがわかる。

【0051】

なお、数式(7)の平方根を求め、前後方向成分比 u_R / u を表現すると次式で表される。

【数 15】

$$\begin{aligned} \frac{u_R}{u} &= u(1-w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta)} \\ &= u(1-w)\varepsilon \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1-w)^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta)} \end{aligned} \quad \dots (8)$$

【0052】

プロペラ荷重度とは、数式(9)で表される単位面積あたりの推力 を表す。

【数 16】

$$\tau = \frac{T}{\frac{\rho}{2}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 u^2} = (1-w)^2 \frac{8K_T}{\pi J^2} \dots (9)$$

ここで、 T はプロペラ推力、 ρ は水の密度、 D はプロペラ直径、 u は船速の前後方向成分、 $1-w$ は伴流係数、 K_T は数式(10)で表される推力係数を表す。

【数 17】

$$K_T = \frac{T}{\pi \rho D^4 n^2} \dots (10)$$

【0053】

また、推力係数 K_T は、一般的にプロペラ前進率 J の関数である。プロペラ前進率 J は、数式(11)で表わされる。

【数 18】

$$J = \frac{(1-w)u}{nD} \dots (11)$$

【0054】

プロペラ荷重度 が大きい場合は舵効きが良いのでそれに応じて補正指令舵角 を小さくすれば不必要な操舵をすることなく操舵装置の省エネ向上に貢献する。逆にプロペラ荷重度 が小さい場合は舵効きが悪いのでそれに応じて補正指令舵角 を大きくすれば目標船首方位からの偏差を小さくでき過大な船首揺れを防ぎ安全性向上等に寄与する。これらの組み合わせによって安定した自動操舵航行が期待できる。

【0055】

プロペラ荷重度が変化する状況には、例えば次のようなものが考えられる。船舶200の積荷の量、すなわち喫水によって船舶200の抵抗が変化するのでプロペラ荷重度 が異なる。また、同じ喫水であっても向波あるいは向風の場合は抵抗が大きくなるためプロペラ荷重度 が大きくなり、逆に追い波あるいは追い風の場合は抵抗が小さくなってプロペラ荷重度 が小さくなる。また、舵104の前に置かれたプロペラ102以外の推力装置、たとえば帆のような別の推力装置を併用する場合はプロペラ102の推力が小さくて済むためプロペラ荷重度 は大幅に小さくなる可能性があり、舵効きは悪くなる。また、発電用の風車などを甲板上に備えて作動させた場合は発電量に応じて抵抗が大きくなるためその分プロペラ荷重度 は大きくなる。

【0056】

補正指令舵角 δ^* は、標準舵角 δ_0 、標準舵有効流入速度 u_{R0} 及び舵有効流入速度 u_R (ここでは、前後方向成分 u_x を舵有効流入速度としている。) を用いて数式 (12) で表わされる。標準舵有効流入速度 u_{R0} は、外乱がなく標準状態の船速にあるときの舵有効流入速度である。

【数19】

$$\delta^* = \delta_0^* \left(\frac{u_{R0}}{u_R} \right)^2 \dots (12)$$

【0057】

ここで、数式 (12) の右辺の標準状態の標準舵角 δ_0^* に乗ずる量は、数式 (13) で表される。

10

【数20】

$$\begin{aligned} \left(\frac{u_{R0}}{u_R} \right)^2 &= \frac{(1-w_0)^2 \epsilon_0^2 \left[\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_{T0}}{\pi J_0^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta) \right]}{(1-w)^2 \epsilon^2 \left[\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta) \right]} \\ &= \frac{(1-w_0)^2 \epsilon_0^2 \left[\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_0}{(1-w_0)^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta) \right]}{(1-w)^2 \epsilon^2 \left[\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{\tau}{(1-w)^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta) \right]} \\ &\dots (13) \end{aligned}$$

【0058】

数式 (12) の補正指令舵角 δ^* にしたがうとすると、数式 (6) は数式 (14) のように表せる。

30

【数21】

$$\begin{aligned} F_N &\simeq \frac{\rho}{2} A_R f_\alpha u_R^2 \delta_0^* \left(\frac{u_{R0}}{u_R} \right)^2 \\ &= \frac{\rho}{2} A_R f_\alpha u_{R0}^2 \delta_0^* \\ &\dots (14) \end{aligned}$$

【0059】

40

すなわち、プロペラ前進率 J が変化する航行状態であっても数式 (12) の補正指令舵角 δ^* を用いればいつも標準状態の舵直圧力 F_N に近似的に等しい舵直圧力 F_N が得られることになる。

【0060】

標準舵角 δ_0 はこれまでの自動操舵による舵角の与え方で決定すればよい。ただし、帆装船の定常釣り合い舵角など別途プロペラ荷重度 K_T をあらかじめ考慮して決定されている場合はその成分は数式 (12) から除いて考えればよい。

【0061】

数式 (13) の値を求めるためにはプロペラ荷重度 K_T と伴流係数 $1-w$ 、プロペラ位置と舵位置での伴流係数の比 ϵ 、プロペラ増速率 τ 、プロペラ直径と舵高さの比 J が必要と

50

なる。プロペラ直径と舵高さの比は、船舶200が決まれば幾何学的に決定される。プロペラ増速率とプロペラ位置と舵位置での伴流係数の比は、船舶200が異なっても大きく異なることはないので、文献等により標準的な値を用いればよい。伴流係数 $1-w$ は、一般に対象とする船舶200の設計時に推定値あるいは実験値が求められているのでそれを用いればよい。また、伴流係数 $1-w$ は、プロペラ荷重度又は斜航角や旋回角速度によって変化することが報告されているので、それらに関する情報があれば伴流係数 $1-w$ をプロペラ荷重度等の関数として扱えばより厳密な推定値が求められる。ただし、伴流係数 $1-w$ は、標準直進状態の値を用いても近似的な値を得ることができると考えられる。また、伴流係数 $1-w$ は、プロペラ推力かプロペラトルクの計測値がある場合はプロペラ単独性能を介して推定することが可能である。これらの値は、補正部14cに入力される。

10

【0062】

また、プロペラ荷重度は、プロペラ推力 T と船速の前後方向成分 u 、プロペラ回転数 n を用いて算出することができる。船速の前後方向成分 u は、船速 V と斜航角 β がわかれば $V \cos \beta$ で求めることができる。ただし、動操舵中の斜航角 β は一般に小さいので、船速の前後方向成分 u は船速 V で置き換えてもよい。プロペラ回転数 n は、一般に容易に得られる。プロペラ推力 T は直接計測値を用いるか、プロペラトルクの計測値からプロペラ単独性能を介して推定することができる。プロペラ単独性能は、一般に船舶200の設計時に求められている。プロペラ推力 T もプロペラトルクも計測されない場合、プロペラ推力 T は、伴流係数 $1-w$ の推定値と船速の前後方向成分 u (または近似的に船速 V)、プロペラ回転数 n を用いてプロペラ単独性能から推定することができる。

20

【0063】

本実施の形態における自動操舵装置100では、プロペラ推力 T 、船速 V 、斜航角 β 及びプロペラ回転数 n を実測手段18にて実測して補正部14cに入力する構成とする。また、その他のパラメータはパラメータ設定手段16にて設定するものとする。ただし、これに限定されるものではなく、上記のように、補正部14cにおいて、これらの値を他のパラメータから推定する構成としてもよい。なお、これらのパラメータは船舶として実測や推定を通じ、把握することが容易なパラメータである。

【0064】

補正部14cは、入力されたパラメータを用いて数式(13)の値を求め、数式(13)で得られた結果を数式(12)に代入することによって標準舵角 δ_0 を補正して補正指令舵角 δ_c を算出する。得られた補正指令舵角 δ_c は舵機20へ出力される。

30

【0065】

ステップS16では、ステップS14で得られた補正指令舵角 δ_c を用いて舵104の制御が行われる。舵機20は、舵角制御バルブを制御することによって舵104の舵板を旋回制御し、船舶200の進行方向を変化させる。

【0066】

このようにして、船舶200の舵104に流入する水流(流れ)の性質を考慮した補正指令舵角 δ_c によって舵104を制御することができる。これにより、船舶200を適正に航行させることができる。

40

【0067】

なお、数式(7)は次の数式(15)で置き換えることが可能である。

【数22】

$$u_R^2 = u^2(1-w)^2 \epsilon^2 \frac{1 - 2(1-\eta\kappa)s + \{1 - \eta\kappa(2-\kappa)\}s^2}{(1-s)^2}$$

・・・(15)

【0068】

なお、数式(15)の平方根を求め、前後方向成分比 u_R/u を表現すると次式で表さ

50

れる。

【数 2 3】

$$\frac{u_R}{u} = u(1-w)\epsilon \frac{\sqrt{1-2(1-\eta\kappa)s + \{1-\eta\kappa(2-\kappa)\}s^2}}{(1-s)} \quad \dots (16)$$

【0069】

数式(15)の場合、推力係数 K_T の代わりに数式(17)で定義されるプロペラスリップ比 s がプロペラ推力 T を間接的に表現することになる。

10

【数 2 4】

$$s = 1 - \frac{(1-w)u}{nP} \quad \dots (17)$$

ここで、数式(17)において、 P はプロペラピッチを表す。

【0070】

数式(15)を用いた場合、数式(13)に相当する式は数式(18)のように表わされる。

20

【数 2 5】

$$\left(\frac{u_{R0}}{u_R}\right)^2 = \frac{(1-w_0)^2 \epsilon_0^2 [1-2(1-\eta\kappa)s_0 + \{1-\eta\kappa(2-\kappa)\}s_0^2](1-s)^2}{(1-w)^2 \epsilon^2 [1-2(1-\eta\kappa)s + \{1-\eta\kappa(2-\kappa)\}s^2](1-s_0)^2} \quad \dots (18)$$

【0071】

補正部14cは、ステップS14にて、入力されたパラメータを用いて数式(18)の値を求め、数式(18)で得られた結果を数式(12)に代入することによって標準舵角 δ を補正して補正指令舵角 δ_c を算出する。このように、プロペラ荷重度 σ の代わりにプロペラスリップ比 s を用いても、標準舵角 δ を補正して補正指令舵角 δ_c を算出することができる。

30

【0072】

この場合も、補正指令舵角 δ_c によって舵104を制御することによって、船舶200の舵104に流入する水流の性質を考慮した舵の制御が可能となる。

【0073】

また、本実施の形態では、自動操舵装置100にて自動で舵を制御する構成について説明したが、補正指令舵角 δ_c を用いて手動で舵を制御する構成としてもよい。例えば、ステップS14にて算出された補正指令舵角 δ_c をディスプレイに表示させ、補正指令舵角 δ_c に応じて操舵者が舵を操作するようにしてもよい。

40

【産業上の利用可能性】

【0074】

本発明における船舶の操舵方法及び船舶の自動操舵装置は、船舶のみならず、舵に流入する流体の影響を受ける物体の舵の制御に適用することができる。例えば、船舶以外の浮体、水中航行体、航空機等の各種の移動体に適用することができる。これらの場合、船舶に関連した単語は、適用される移動体に関連した単語に読み替えるものとする。

【符号の説明】

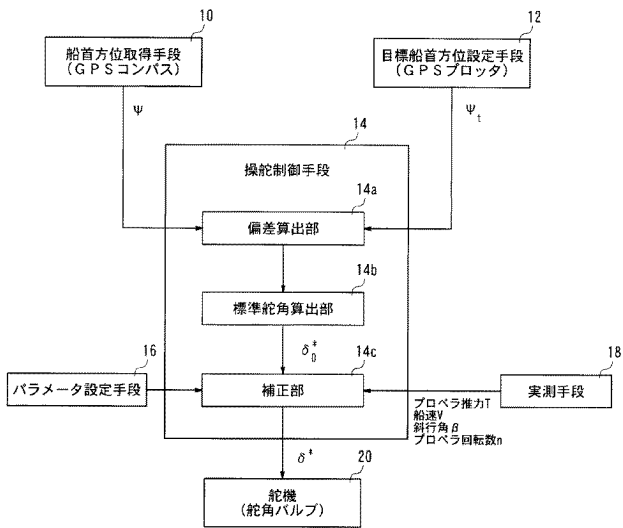
【0075】

10 船首方位取得手段、12 目標船首方位設定手段、14 操舵制御手段、14a 偏差算出部、14b 標準舵角算出部、14c 補正部、16 パラメータ設定手段、

50

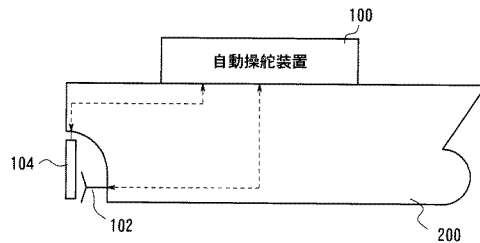
1 8 実測手段、2 0 舵機、1 0 0 自動操舵装置、1 0 2 プロペラ、1 0 4 舵、
2 0 0 船舶。

【図 1】



100

【図 2】



【図3】

