



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111552299 A

(43)申请公布日 2020.08.18

(21)申请号 202010478039.X

(22)申请日 2020.05.29

(71)申请人 大连海事大学

地址 116000 辽宁省大连市甘井子区凌水
街道凌海路1号

(72)发明人 王凯 黄连忠 孙培廷 赵俊豪

(74)专利代理机构 大连至诚专利代理事务所
(特殊普通合伙) 21242

代理人 涂文诗 邓珂

(51)Int.Cl.

G05D 1/02(2020.01)

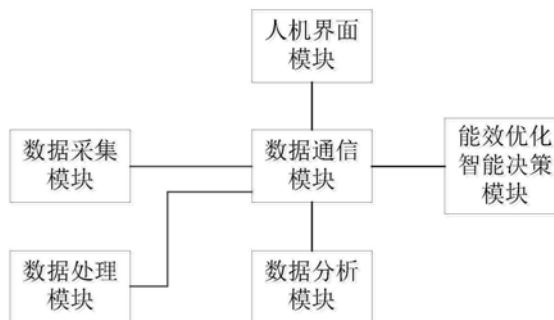
权利要求书4页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统
与优化方法

(57)摘要

本发明实施例公开了一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统与优化方法,其通过航行环境数据、风翼运行状态、船舶能效等数据的实时获取与分析,基于风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,采用启发式群智能决策算法自动求解风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,最终实现风翼助航航速与风翼攻角的联合智能决策与协同优化。同时,优化管理系统可将优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼转角控制系统,实现风翼助航能效的在线智能优化控制。因此,本发明充分考虑了航行环境、航速、风翼运行状态等对风翼助航船舶能效的影响,实现了不同航行条件下航速与风翼运行状态的协同优化控制,从而提高了风翼助航船舶的能效管理的智能化水平。



1. 一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统,其特征在于,包括:数据采集模块、数据通信模块、数据处理模块、数据分析模块、能效优化智能决策模块和人机界面模块组成;其中,所述数据采集模块能够实时获取船舶能效管理数据,所述船舶能效管理数据至少包括船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据;所述数据处理模块能够对经由数据通信模块所上传的船舶能效管理数据进行清洗与预处理;所述数据分析模块能够对船舶能效管理数据进行统计分析,以获取船舶的实时能效水平数据;所述能效优化智能决策模块能够基于预设的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果;所述人机界面模块能够实时对所述数据通信模块、数据处理模块、数据分析模块和能效优化智能决策模块所获取和处理后的数据进行显示。

2. 根据权利要求1所述的风翼助航船舶能效智能优化管理系统,其特征在于,所述能效优化智能决策模块能够基于所建立的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,以及实时获取的船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据、船舶的实时能效水平数据,采用启发式群智能算法对所述模型进行求解,以获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果,所述优化决策结果至少包括风翼助航船舶的最佳航速及最佳风翼攻角;所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型以船舶航速和风翼攻角为优化变量,以船舶能效营运指数最小化为优化目标,以航次计划、航线距离和船舶物理参数为约束条件。

3. 根据权利要求2所述的风翼助航船舶能效智能优化管理系统,其特征在于,所述能效优化智能决策模块能够与船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行通信,以将所述优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行主机转速及风翼攻角的控制,并实时获取船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统调整后的反馈信息,以形成船舶航速及风翼攻角的闭环协同优化控制。

4. 根据权利要求1所述的风翼助航船舶能效智能优化管理系统,其特征在于,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型为:

$$\min EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (1)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $EEOI_{WDS}$ 表示风翼助航船舶能效营运指数; N 是航线所划分航段的数量; i 表示第 i 个航段; f_{fuel} 表示船舶单位距离的油耗; W 表示船舶的载货量; S_i 表示在第 i 个航段内的航行距离; V_{sail_i} 和 D_{sail_i} 分别表示船舶在第 i 个航段内的航速和航向; V_{wind_i} , D_{wind_i} , V_{water_i} , H_{wave_i} 分别表示第 i 个航段的风速、风向、水流速度、浪高; T_{limit} 表示本次航行的总航行时间约束时间; θ_{wing} 表示风翼的攻角; V_{sail_min} , V_{sail_max} , D_{sail_min} , D_{sail_max} , θ_{wing_min} , θ_{wing_max} 分别表

示航速、航向和风翼攻角各自对应的最小值和最大值。

5. 根据权利要求1所述的风翼助航船舶能效智能优化管理系统,其特征在於,采用差分进化算法获取不同航行环境条件下的风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角的协同优化求解的步骤,具体包括以下步骤:

Sa、确定出所述差分进化算法对应的参数,所述参数至少包括:种群大小、缩放因子、杂交概率、变异算子、交叉算子、最大进化代数;

Sb、随机产生所述差分进化算法对应的初始种群,所述初始种群的个体为 $2N$ 维,其中设定每个个体的前 N 维为不同航段中的风翼助航船舶的航速,后 N 维为风翼助航船舶风翼的攻角;

Sc、对所述初始种群进行评价以获取初始种群中每个个体的适应度值,即通过通过粒子的适应度函数计算出初始种群中每个个体的适应度值;所述适应度函数为:

$$EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (3);$$

Sd、判断是否达到终止条件或进化代数达到最大;若是,则终止进化,从而得到最佳个体作为最优解输出;若否,继续进行运算;

Se、通过对种群个体进行变异操作,从而得到满足约束条件的中间种群,并在原种群和中间种群中进行交叉操作,从而得到新一代种群,其中,所述约束条件为:

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (4)$$

Sf、增加种群的进化代数并重新运行步骤Sd,直至达到终止进化条件。

6. 一种风翼助航船舶能效智能优化管理方法,其特征在於,包括如下步骤:

S1、通过数据采集模块实时获取并存储船舶能效管理数据,所述船舶能效管理数据至少包括船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据;

S2、通过数据处理模块对经由数据通信模块所上传的船舶能效管理数据进行清洗与预处理;

S3、通过数据分析模块对船舶能效管理数据进行统计分析以获取船舶的实时能效水平数据;

S4、通过能效优化智能决策模块内预设的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果;其中,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型以船舶航速和风翼攻角为优化变量,以船舶能效营运指数最小化为优化目标,以航次计划、航线距离和船舶物理参数为约束条件;

S5、与船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行通信,以将所述优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行主机转速及风翼攻角的控制,并实

时获取船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统调整后的反馈信息,以形成船舶航速及风翼攻角的闭环协同优化控制。

7. 根据权利要求6所述的风翼助航船舶能效智能优化管理方法,其特征在于,基于所建立的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,以及实时获取的船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据、船舶的实时能效水平数据,采用启发式群智能算法对所述模型进行求解,以获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果,所述优化决策结果至少包括风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角。

8. 根据权利要求6所述的风翼助航船舶能效智能优化管理方法,其特征在于,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型为:

$$\min EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (5)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $EEOI_{WDS}$ 表示风翼助航船舶能效营运指数; N 是航线所划分航段的数量; i 表示第 i 个航段; f_{fuel} 表示船舶单位距离的油耗; W 表示船舶的载货量; S_i 表示在第 i 个航段内的航行距离; V_{sail_i} 和 D_{sail_i} 分别表示船舶在第 i 个航段内的航速和航向; $V_{wind_i}, D_{wind_i}, V_{water_i}, H_{wave_i}$ 分别表示第 i 个航段的风速、风向、水流速度、浪高; T_{limit} 表示本次航行的总航行时间约束时间; θ_{wing} 表示风翼的攻角; $V_{sail_min}, V_{sail_max}, D_{sail_min}, D_{sail_max}, \theta_{wing_min}, \theta_{wing_max}$ 分别表示航速、航向和风翼攻角各自对应的的最小值和最大值。

9. 根据权利要求6所述的风翼助航船舶能效智能优化管理方法,其特征在于,采用差分进化算法获取不同航行环境条件下的风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角的协同优化求解的步骤,具体包括以下步骤:

Sa、确定出所述差分进化算法对应的参数,所述参数至少包括:种群大小、缩放因子、杂交概率、变异算子、交叉算子、最大进化代数;

Sb、随机产生所述差分进化算法对应的初始种群,所述初始种群的个体为 $2N$ 维,其中设定每个个体的前 N 维为不同航段中的风翼助航船舶的航速,后 N 维为风翼助航船舶风翼的攻角;

Sc、对所述初始种群进行评价以获取初始种群中每个个体的适应度值,即通过通过粒子的适应度函数计算出初始种群中每个个体的适应度值;所述适应度函数为:

$$EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (7);$$

Sd、判断是否达到终止条件或进化代数达到最大;若是,则终止进化,从而得到最佳个体作为最优解输出;若否,继续进行运算;

Se、通过对种群个体进行变异操作,从而得到满足约束条件的中间种群,并在原种群和中间种群中进行交叉操作,从而得到新一代种群,其中,所述约束条件为:

$$S. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (8)$$

Sf、增加种群的进化代数并重新运行步骤Sd,直至达到终止进化条件。

一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统与优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及船舶能效管理技术领域,尤其涉及一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统与优化方法。

背景技术

[0002] 新能源应用等技术的发展加快了风能在船舶上应用的步伐,风翼助航船舶通过利用风能作为船舶的辅助推进动力,可以有效地降低燃料消耗与污染气体排放,近年来,这种清洁能源应用形式获得了快速的发展,此外,大数据、人工智能、物联网等技术的快速发展,推动了船舶智能化水平的不断提升,智能能效管理作为智能船舶发展的重要组成部分,是以实现船舶能效实时监控、智能评估及优化,提高船舶能效管理水平为目的,通过大数据分析技术、数值分析及优化技术,为船舶提供数据评估分析结果和辅助决策建议。

[0003] 申请人在研究中发现风翼助航船舶能效智能优化管理系统与方法是其实现智能能效管理的关键技术之一,但是目前风翼助航船舶能效远程监控与智能决策技术仍处于初步发展阶段,尚缺少有效的能效智能优化系统与优化方法,且现有技术无法实现不同航行条件下的船舶主机转速及风翼的协同优化控制。

发明内容

[0004] 基于此,为解决现有技术所存在的不足,特发明了一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统。

[0005] 一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统,其特征在于,包括:数据采集模块、数据通信模块、数据处理模块、数据分析模块、能效优化智能决策模块和人机界面模块组成;其中,所述数据采集模块能够实时获取船舶能效管理数据,所述船舶能效管理数据至少包括船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据;所述数据处理模块能够对经由数据通信模块所上传的船舶能效管理数据进行清洗与预处理;所述数据分析模块能够对船舶能效管理数据进行统计分析以获取船舶的实时能效水平数据;所述能效优化智能决策模块能够基于预设的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果;所述人机界面模块能够实时对所述数据通信模块、数据处理模块、数据分析模块和能效优化智能决策模块所获取和处理后的数据进行显示。

[0006] 可选的,在其中一个实施例中,所述数据处理模块对船舶能效管理数据进行清洗与预处理的方法包括但不限于小波分析、卡尔曼滤波以及聚类分析方法中的任意一种分析。

[0007] 可选的,在其中一个实施例中,所述数据分析模块对船舶能效管理数据进行统计分析的过程中,至少包括获取航行环境的时空特征分析数据、船舶能效的时空特征分析数据以及航行环境与船舶能效的关联关系分析数据中的一种或者多种组合

[0008] 可选的,在其中一个实施例中,所述能效优化智能决策模块能够基于所建立的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,以及实时获取的船舶营运数据、航行环境数据、

风翼运行状态数据、船舶的实时能效水平数据,采用启发式群智能算法对所述模型进行求解,,以获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果,所述优化决策结果至少包括风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角;所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型以船舶航速和风翼攻角为优化变量,以船舶能效营运指数最小化为优化目标,以航次计划、航线距离和船舶物理参数为约束条件;

[0009] 可选的,在其中一个实施例中,所述能效优化智能决策模块能够与船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行通信,以将所述优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行主机转速及风翼攻角的控制,并实时获取船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统调整后的反馈信息,以形成船舶航速及风翼攻角的闭环协同优化控制。

[0010] 可选的,在其中一个实施例中,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型为:

$$[0011] \quad \min EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (1)$$

$$[0012] \quad s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (2)$$

[0013] 式中,EEOI_{WDS}表示风翼助航船舶能效营运指数;N是航线所划分航段的数量;i表示第i个航段;f_{fuel}表示船舶单位距离的油耗;W表示船舶的载货量;S_i表示在第i个航段内的航行距离;V_{sail_i}和D_{sail_i}分别表示船舶在第i个航段内的航速和航向;V_{wind_i},D_{wind_i},V_{water_i},H_{wave_i}分别表示第i个航段的风速、风向、水流速度、浪高;T_{limit}表示本次航行的总航行时间约束时间;θ_{wing}表示风翼的攻角;V_{sail_min},V_{sail_max},D_{sail_min},D_{sail_max},θ_{wing_min},θ_{wing_max}分别表示航速、航向和风翼攻角各自对应的的最小值和最大值。

[0014] 可选的,在其中一个实施例中,所述启发式群智能算法包括但不限于差分进化算法、遗传算法、蚁群算法、粒子群算法中的任意一种算法。

[0015] 可选的,在其中一个实施例中,采用差分进化算法获取不同航行环境条件下的风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角的协同优化求解的步骤,具体包括以下步骤:

[0016] Sa、确定出所述差分进化算法对应的参数,所述参数至少包括:种群大小、缩放因子、杂交概率、变异算子、交叉算子、最大进化代数;

[0017] Sb、随机产生所述差分进化算法对应的初始种群,所述初始种群的个体为2N维,其中,设定每个个体的前N维为不同航段中的风翼助航船舶的航速,后N维为风翼助航船舶风翼的攻角;

[0018] Sc、对所述初始种群进行评价以获取初始种群中每个个体的适应度值,即通过通过粒子的适应度函数计算出初始种群中每个个体的适应度值;所述适应度函数为:

$$[0019] \quad EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (3);$$

[0020] Sd、判断是否达到终止条件或进化代数达到最大；若是，则终止进化，从而得到最佳个体作为最优解输出；若否，继续进行运算；

[0021] Se、通过对种群个体进行变异操作，从而得到满足约束条件的中间种群，并在原种群和中间种群中进行交叉操作，从而得到新一代种群，其中，所述约束条件为：

$$[0022] \quad s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (4)$$

[0023] Sf、增加种群的进化代数并重新运行步骤Sd，直至达到终止进化条件。

[0024] 此外，为解决传统技术存在的不足，还提出了一种风翼助航船舶能效智能优化管理方法，其特征在于，包括如下步骤：

[0025] S1、通过数据采集模块实时获取并存储船舶能效管理数据，所述船舶能效管理数据至少包括船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据；

[0026] S2、通过数据处理模块对经由数据通信模块所上传的船舶能效管理数据进行清洗与预处理；

[0027] S3、通过数据分析模块对船舶能效管理数据进行统计分析以获取船舶的实时能效水平数据；

[0028] S4、通过能效优化智能决策模块内预设的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型，获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果；其中，所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型以船舶航速和风翼攻角为优化变量，以船舶能效营运指数最小化为优化目标，以航次计划、航线距离和船舶物理参数为约束条件；

[0029] S5、与船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行通信，将所述优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行船舶主机转速及风翼攻角的控制，并实时获取船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统调整后的反馈信息，以形成船舶航速及风翼攻角的闭环协同优化控制。

[0030] 可选的，在其中一个实施例中，对船舶能效管理数据进行清洗与预处理的方法包括但不限于小波分析、卡尔曼滤波以及聚类分析方法中的任意一种分析。

[0031] 可选的，在其中一个实施例中，对船舶能效管理数据进行统计分析的过程中，至少包括获取航行环境的时空特征分析数据、船舶能效的时空特征分析数据以及航行环境与船舶能效的关联关系分析数据中的一种或者多种组合

[0032] 可选的，在其中一个实施例中，基于所建立的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型，以及实时获取的船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据、船舶的实时能效水平数据，采用启发式群智能算法对所述模型进行求解，以获取不同航行环境条件下

对应的优化决策结果,所述优化决策结果至少包括风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角。

[0033] 可选的,在其中一个实施例中,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型为:

$$[0034] \quad \min EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (5)$$

$$[0035] \quad s. t. \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (6)$$

[0036] 式中, $EEOI_{WDS}$ 表示风翼助航船舶能效营运指数; N 是航线所划分航段的数量; i 表示第 i 个航段; f_{fuel} 表示船舶单位距离的油耗; W 表示船舶的载货量; S_i 表示在第 i 个航段内的航行距离; V_{sail_i} 和 D_{sail_i} 分别表示船舶在第 i 个航段内的航速和航向; $V_{wind_i}, D_{wind_i}, V_{water_i}, H_{wave_i}$ 分别表示第 i 个航段的风速、风向、水流速度、浪高; T_{limit} 表示本次航行的总航行时间约束时间; θ_{wing} 表示风翼的攻角; $V_{sail_min}, V_{sail_max}, D_{sail_min}, D_{sail_max}, \theta_{wing_min}, \theta_{wing_max}$ 分别表示航速、航向和风翼攻角各自对应的的最小值和最大值。

[0037] 可选的,在其中一个实施例中,所述启发式群智能算法包括但不限于差分进化算法、遗传算法、蚁群算法、粒子群算法中的任意一种算法。

[0038] 可选的,在其中一个实施例中,采用差分进化算法获取不同航行环境条件下的风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角的协同优化求解的步骤,具体包括以下步骤:

[0039] Sa、确定出所述差分进化算法对应的参数,所述参数至少包括:种群大小、缩放因子、杂交概率、变异算子、交叉算子、最大进化代数;

[0040] Sb、随机产生所述差分进化算法对应的初始种群,所述初始种群的个体为 $2N$ 维,其中设定每个个体的前 N 维为不同航段中的风翼助航船舶的航速,后 N 维为风翼助航船舶风翼的攻角;

[0041] Sc、对所述初始种群进行评价以获取初始种群中每个个体的适应度值,即通过通过粒子的适应度函数计算出初始种群中每个个体的适应度值;所述适应度函数为:

$$[0042] \quad EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (7);$$

[0043] Sd、判断是否达到终止条件或进化代数达到最大;若是,则终止进化,从而得到最佳个体作为最优解输出;若否,继续进行运算;

[0044] Se、通过对种群个体进行变异操作,从而得到满足约束条件的中间种群,并在原种群和中间种群中进行交叉操作,从而得到新一代种群,其中,所述约束条件为:

$$\begin{aligned}
 [0045] \quad s. t. \quad & \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (8)
 \end{aligned}$$

[0046] Sf、增加种群的进化代数并重新运行步骤Sd,直至达到终止进化条件。

[0047] 实施本发明实施例,将具有如下有益效果:

[0048] 本发明提供了一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统和优化方法,其能够实时收集船舶及风翼的运行数据,进行数据的实时统计分析,同时建立风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,并采用群智能算法求解该模型,实现风翼助航船舶风翼与柴油机的智能协同优化控制,从而提高风翼助航船舶能效管理的智能化水平;也就是说其集数据采集技术、数据实时在线分析技术,以及基于机器学习的智能决策技术于一体,实现了风翼助航船舶能效的智能优化管理与提升,从而服务于风翼助航船舶的智能化与绿色化发展。

附图说明

[0049] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0050] 其中:

[0051] 图1为一个实施例中实施本发明所述系统对应结构框图;

[0052] 图2为一个实施例中实施图1所述系统对应架构实例图;

[0053] 图3为一个实施例中基于图1原理所形成的监控系统对应的实例图;

[0054] 图4为一个实施例中实施本发明所述方法对应核心步骤图。

具体实施方式

[0055] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0056] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的,不是旨在限制本发明。可以理解,本发明所使用的术语“第一”、“第二”等可在本文中用于描述各种元件,但这些元件不受这些术语限制。这些术语仅用于将第一个元件与另一个元件区分。举例来说,在不脱离本申请的范围的情况下,可以将第一元件称为第二元件,且类似地,可将第二元件为第一元件。第一元件和第二元件两者都是元件,但其不是同一元件。

[0057] 在本实施例中,特提出一种风翼助航船舶能效智能优化管理系统,如图1-3所示,其特征在于,包括:数据采集模块、数据通信模块、数据处理模块、数据分析模块、能效优化

智能决策模块和人机界面模块组成;其中,所述数据采集模块能够实时获取船舶能效管理数据,所述船舶能效管理数据至少包括船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据;所述数据处理模块能够对经由数据通信模块所上传的船舶能效管理数据进行清洗与预处理;所述数据分析模块能够对船舶能效管理数据进行统计分析以获取船舶的实时能效水平数据;所述能效优化智能决策模块能够基于预设的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果;所述人机界面模块能够实时对所述数据通信模块、数据处理模块、数据分析模块和能效优化智能决策模块所获取和处理后的数据进行显示。

[0058] 在一些具体的实施例中,如图2-图3所形成的具体系统实例,所述数据采集模块能够实时获取并存储船舶能效管理数据,所述船舶营运数据至少包括起始港口、航线、航程、船舶主尺度、航期、船舶吃水、纵倾;所述数据采集模块能够获得的航行环境时空预报信息,以获得船舶航次各个航段的航行环境条件,诸如航行环境数据中的风速、风向、浪高;船舶能效数据至少包括航速、主机油耗、主机转速、轴系功率;在一些更具体的实施例中,所述数据采集模块包括风速风向仪、转角测量仪、GPS、计程仪、油耗仪、扭矩仪以及倾斜仪等仪器仪表设备获取对应的船舶能效管理数据;如其通过风速风向仪采集风速风向数据;通过转角测量仪测量帆位角数据;通过GPS获得船舶实时位置及船舶对地航速;通过计程仪采集船舶对水航速数据;通过油耗仪采集船舶油耗数据;通过扭矩仪测量轴系的功率与转速;通过倾斜仪采集船舶的纵倾角等;同时所采集的数据存储在船端本地数据库服务器中。

[0059] 在一些具体的实施例中,所述数据通信模块除了能够将船舶的营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据上传至数据分析/处理模块(如图2将数据处理模块与数据分析模块合并为同一模块);还能够与船舶的船舶主机转速控制系统和风翼转角控制系统进行通信。

[0060] 在一些具体的实施例中,所述数据处理模块对船舶能效管理数据进行清洗与预处理的方法包括但不限于小波分析、卡尔曼滤波以及聚类分析方法中的任意一种分析。

[0061] 在一些具体的实施例中,所述数据分析模块对船舶能效管理数据进行统计分析的过程中,获取船舶的实时能效水平数据,其至少包括基于时空序列的航行环境的时空特征分析数据、基于时空序列的船舶能效的时空特征分析数据以及基于关联规则算法的航行环境与船舶能效的关联关系分析数据中的一种或者多种组合。在一些更具体的实施例中,所述的航行环境的时空特征分析主要采用时序分析和基于地理位置信息的航行环境分析方法,实现航行环境的时空分布分析,各自对应的公式如下式(S31)~式(S33)所示:

$$[0062] \quad V_{wind}^{lon, lat} = \{V_{wind_1}^{lon, lat}, V_{wind_2}^{lon, lat}, \dots, V_{wind_n-1}^{lon, lat}, V_{wind_n}^{lon, lat}\} \quad (S31)$$

$$[0063] \quad D_{wind}^{lon, lat} = \{D_{wind_1}^{lon, lat}, D_{wind_2}^{lon, lat}, \dots, D_{wind_n-1}^{lon, lat}, D_{wind_n}^{lon, lat}\} \quad (S32)$$

$$[0064] \quad h_{wave}^{lon, lat} = \{h_{wave_1}^{lon, lat}, h_{wave_2}^{lon, lat}, \dots, h_{wave_n-1}^{lon, lat}, h_{wave_n}^{lon, lat}\} \quad (S33)$$

[0065] 式中, V_{wind} 表示风速; D_{wind} 表示风向; h_{wave} 表示浪高; n 表示第 n 个时间步长; lon 表示经度位置; lat 表示纬度位置; $V_{water_n}^{lon, lat}$ 表示在 (lon, lat) 位置的第 n 个时间步长所对应的水流速度数据; $V_{wind_n}^{lon, lat}$ 表示在 (lon, lat) 位置的第 n 个时间步长所对应的风速数据; $D_{wind_n}^{lon, lat}$ 表示在 (lon, lat) 位置的第 n 个时间步长所对应的风向数据; $h_{wave_n}^{lon, lat}$ 表示在 (lon, lat) 位置的第 n 个时间步长所对应的浪高数据;

[0066] 所述的船舶能效的时空特征分析主要采用时序分析和基于地理位置信息的船舶

能效分析方法,实现船舶能效的时空分布分析,各自对应的公式如下式(S34)~式(S36)所示:

$$[0067] \quad V_{\text{sail}}^{\text{lon, lat}} = \{V_{\text{sail}_1}^{\text{lon, lat}}, V_{\text{sail}_2}^{\text{lon, lat}}, \dots, V_{\text{sail}_{n-1}}^{\text{lon, lat}}, V_{\text{sail}_n}^{\text{lon, lat}}\} \quad (\text{S34})$$

$$[0068] \quad N_{\text{engine}}^{\text{lon, lat}} = \{N_{\text{engine}_1}^{\text{lon, lat}}, N_{\text{engine}_2}^{\text{lon, lat}}, \dots, N_{\text{engine}_{n-1}}^{\text{lon, lat}}, N_{\text{engine}_n}^{\text{lon, lat}}\} \quad (\text{S35})$$

$$[0069] \quad Q_{\text{fuel}}^{\text{lon, lat}} = \{Q_{\text{fuel}_1}^{\text{lon, lat}}, Q_{\text{fuel}_2}^{\text{lon, lat}}, \dots, Q_{\text{fuel}_{n-1}}^{\text{lon, lat}}, Q_{\text{fuel}_n}^{\text{lon, lat}}\} \quad (\text{S36})$$

[0070] 式中, V_{sail} 表示航速; N_{engine} 表示主机转速; Q_{fuel} 表示船舶油耗; $V_{\text{sail}_n}^{\text{lon, lat}}$ 表示在(lon, lat)位置的第n个时间步长所对应的船舶航速数据; $N_{\text{engine}_n}^{\text{lon, lat}}$ 表示在(lon, lat)位置的第n个时间步长所对应的船舶主机转速数据; $Q_{\text{fuel}_n}^{\text{lon, lat}}$ 表示在(lon, lat)位置的第n个时间步长所对应的船舶油耗数据。

[0071] 所述的航行环境与船舶能效的关联关系分析主要采用关联规则算法实现,通过对不同航行环境数据和船舶油耗数据进行频繁模式挖掘分析以获得各自对应的频繁项集,进而确定不同航行环境数据和船舶油耗数据的关联关系的过程包括:

[0072] B21、分别统计出航行环境数据与船舶油耗数据中,大于频繁项集阈值的每一类别出现的次数后,对所统计的数据按照降序排序确定出一维频繁项集;

[0073] B22、对所获得的一维频繁项集进行不频繁项集过滤,并将未被滤除的一维频繁项集按降序排序,以获得过滤后的一维频繁项集;

[0074] B23、将过滤后的一维频繁项集分别插入到预设的频繁模式树中,同时将所述频繁模式树中相同的一维频繁项集连接起来,并进行降序排序;

[0075] B24、从降序排序后一维频繁项集末端开始,依次寻找一维频繁项集在频繁模式树中的同名节点,并在此节点往上遍历至根节点,以确定出对应的路径,其它同名节点重复前述步骤,直至不存在同名节点;

[0076] B25、通过步骤B24中的同名节点确定出对应的原始事务集,并基于步骤B21~B23重新建立频繁模式树,从而获得不同航行环境数据和船舶油耗数据中的频繁项集。

[0077] 在一些具体的实施例中,所述能效优化智能决策模块能够依据数据分析模块得到的实船采集的营运数据、船舶的基本技术参数(如船舶主尺度)和风翼助航船舶能效的统计分析结果,基于所建立的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,以及实时获取的船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据、船舶的实时能效水平数据,采用启发式群智能算法对该模型进行求解,以获取不同航行环境条件下各个航段对应的优化决策结果,所述优化决策结果至少包括各个航段风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角;所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型以船舶航速和风翼攻角为优化变量,以船舶能效营运指数最小化为优化目标,以航次计划、航线距离和船舶物理参数为约束条件;以保证在航行安全性的条件下,提高风翼助航船舶的经济性和能效水平。

[0078] 在一些具体的实施例中,所述能效优化智能决策模块能够与船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行通信,以将所述优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行船舶主机转速和风翼攻角的控制,并实时获取船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统调整后的反馈信息,以形成船舶航速及风翼攻角的闭环协同优化控制。

[0079] 在一些具体的实施例中,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型为:

$$[0080] \quad \min EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (1)$$

$$[0081] \quad s. t. \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (2)$$

[0082] 式中, $EEOI_{WDS}$ 表示风翼助航船舶能效营运指数; N 是航线所划分航段的数量; i 表示第 i 个航段; f_{fuel} 表示船舶单位距离的油耗; W 表示船舶的载货量; S_i 表示在第 i 个航段内的航行距离; V_{sail_i} 和 D_{sail_i} 分别表示船舶在第 i 个航段内的航速和航向; $V_{wind_i}, D_{wind_i}, V_{water_i}, H_{wave_i}$ 分别表示第 i 个航段的风速、风向、水流速度、浪高; T_{limit} 表示本次航行的总航行时间约束时间; θ_{wing} 表示风翼的攻角; $V_{sail_min}, V_{sail_max}, D_{sail_min}, D_{sail_max}, \theta_{wing_min}, \theta_{wing_max}$ 分别表示航速、航向和风翼攻角各自对应的的最小值和最大值。

[0083] 在一些具体的实施例中, 所述启发式群智能算法包括但不限于差分进化算法、遗传算法、蚁群算法、粒子群算法中的任意一种算法。

[0084] 在一些具体的实施例中, 采用差分进化算法获取不同航行环境条件下的风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角的协同优化求解的步骤, 具体包括以下步骤:

[0085] Sa、确定出所述差分进化算法对应的参数, 所述参数至少包括: 种群大小、缩放因子、杂交概率、变异算子、交叉算子、最大进化代数;

[0086] Sb、随机产生所述差分进化算法对应的初始种群, 所述初始种群的个体为 $2N$ 维, 其中设定每个个体的前 N 维为不同航段中的风翼助航船舶的航速, 后 N 维为风翼助航船舶风翼的攻角;

[0087] Sc、对所述初始种群进行评价以获取初始种群中每个个体的适应度值, 即通过通过粒子的适应度函数计算出初始种群中每个个体的适应度值; 所述适应度函数为:

$$[0088] \quad EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (3);$$

[0089] Sd、判断是否达到终止条件或进化代数达到最大; 若是, 则终止进化, 从而得到最佳个体作为最优解输出即算法终止, 得到的最优解即为最佳个体; 若否, 继续进行运算;

[0090] Se、通过对种群个体进行变异操作, 从而得到满足约束条件的中间种群, 并在原种群和中间种群中进行交叉操作, 从而得到新一代种群, 其中, 所述约束条件为:

$$\begin{aligned}
 [0091] \quad s. t. \quad & \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{\text{sail}_i}} \right) \leq T_{\text{limit}} \\ V_{\text{sail_min}} < V_{\text{sail}_i} < V_{\text{sail_max}} \\ D_{\text{sail_min}} < D_{\text{sail}_i} < D_{\text{sail_max}} \\ \theta_{\text{wing_min}} < \theta_{\text{wing}_i} < \theta_{\text{wing_max}} \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

[0092] Sf、增加种群的进化代数并重新运行步骤Sd,直至达到终止进化条件。

[0093] 在一些具体的实施例中,所述人机界面模块能够进行船舶航行环境的实时展现,以及船舶运动状态(航速、航向)、推进系统运行状态(主机转速、主机功率、油耗)、风翼的运行状态(风翼攻角),以及船舶相关操作参数(包括航行时间、航行里程、能效、CO₂排放等)的实时展示。

[0094] 此外,为解决传统技术存在的不足,如图4,还提出了一种风翼助航船舶能效智能优化管理方法,其特征在于,包括如下步骤:

[0095] S1、通过数据采集模块实时获取并存储船舶能效管理数据,所述船舶能效管理数据至少包括船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据和船舶能效数据;

[0096] S2、通过数据处理模块对经由数据通信模块所上传的船舶能效管理数据进行清洗与预处理;

[0097] S3、通过数据分析模块对船舶能效管理数据进行统计分析以获取船舶的实时能效水平数据;

[0098] S4、通过能效优化智能决策模块内预设的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果;其中,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型以船舶航速和风翼攻角为优化变量,以船舶能效营运指数最小化为优化目标,以航次计划、航线距离和船舶物理参数为约束条件;

[0099] S5、与船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行通信,将所述优化决策结果发送至船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统进行主机转速和风翼攻角的控制,并实时获取船舶主机转速控制系统和风翼攻角控制系统调整后的反馈信息,以形成船舶航速及风翼攻角的闭环协同优化控制;

[0100] 在一些具体的实施例中,对船舶能效管理数据进行清洗与预处理的方法包括但不限于小波分析、卡尔曼滤波以及聚类分析方法中的任意一种分析。

[0101] 在一些具体的实施例中,对船舶能效管理数据进行统计分析的过程中,至少包括获取航行环境的时空特征分析数据、船舶能效的时空特征分析数据以及航行环境与船舶能效的关联关系分析数据中的一种或者多种组合

[0102] 在一些具体的实施例中,基于所建立的风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型,以及实时获取的船舶营运数据、航行环境数据、风翼运行状态数据、船舶的实时能效水平数据,采用启发式群智能算法对该模型进行求解,以获取不同航行环境条件下对应的优化决策结果,所述优化决策结果至少包括风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角。

[0103] 在一些具体的实施例中,所述风翼助航船舶航速与风翼攻角协同优化模型为:

$$[0104] \quad \min EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (5)$$

$$[0105] \quad s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{sail_i}} \right) \leq T_{limit} \\ V_{sail_min} < V_{sail_i} < V_{sail_max} \\ D_{sail_min} < D_{sail_i} < D_{sail_max} \\ \theta_{wing_min} < \theta_{wing_i} < \theta_{wing_max} \end{cases} \quad (6)$$

[0106] 式中, $EEOI_{WDS}$ 表示风翼助航船舶能效营运指数; N 是航线所划分航段的数量; i 表示第 i 个航段; f_{fuel} 表示船舶单位距离的油耗; W 表示船舶的载货量; S_i 表示在第 i 个航段内的航行距离; V_{sail_i} 和 D_{sail_i} 分别表示船舶在第 i 个航段内的航速和航向; $V_{wind_i}, D_{wind_i}, V_{water_i}, H_{wave_i}$ 分别表示第 i 个航段的风速、风向、水流速度、浪高; T_{limit} 表示本次航行的总航行时间约束时间; θ_{wing} 表示风翼的攻角; $V_{sail_min}, V_{sail_max}, D_{sail_min}, D_{sail_max}, \theta_{wing_min}, \theta_{wing_max}$ 分别表示航速、航向和风翼攻角各自对应的的最小值和最大值。

[0107] 在一些具体的实施例中, 所述启发式群智能算法包括但不限于差分进化算法、遗传算法、蚁群算法、粒子群算法中的任意一种算法。

[0108] 在一些具体的实施例中, 采用差分进化算法获取不同航行环境条件下的风翼助航船舶的最佳航速及风翼攻角的协同优化求解的步骤, 具体包括以下步骤:

[0109] Sa、确定出所述差分进化算法对应的参数, 所述参数至少包括: 种群大小、缩放因子、杂交概率、变异算子、交叉算子、最大进化代数;

[0110] Sb、随机产生所述差分进化算法对应的初始种群, 所述初始种群的个体为 $2N$ 维, 其中设定每个个体的前 N 维为不同航段中的风翼助航船舶的航速, 后 N 维为风翼助航船舶风翼的攻角;

[0111] Sc、对所述初始种群进行评价以获取初始种群中每个个体的适应度值, 即通过通过粒子的适应度函数计算出初始种群中每个个体的适应度值; 所述适应度函数为:

$$[0112] \quad EEOI_{WDS} = \frac{\sum_{i=1}^N \{f_{fuel}(V_{wind_i}, D_{wind_i}, h_{wave_i}, V_{sail_i}, D_{sail_i}, \theta_{wing_i}) \cdot S_i\}}{W \cdot \sum_{i=1}^N S_i} \quad (7);$$

[0113] Sd、判断是否达到终止条件或进化代数达到最大; 若是, 则终止进化, 从而得到最佳个体作为最优解输出; 若否, 继续进行运算;

[0114] Se、通过对种群个体进行变异操作, 从而得到满足约束条件的中间种群, 并在原种群和中间种群中进行交叉操作, 从而得到新一代种群, 其中, 所述约束条件为:

$$[0115] \quad s. t. \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{V_{\text{sail}_i}} \right) \leq T_{\text{limit}} \\ V_{\text{sail_min}} < V_{\text{sail}_i} < V_{\text{sail_max}} \\ D_{\text{sail_min}} < D_{\text{sail}_i} < D_{\text{sail_max}} \\ \theta_{\text{wing_min}} < \theta_{\text{wing}_i} < \theta_{\text{wing_max}} \end{cases} \quad (8)$$

[0116] Sf、增加种群的进化代数并重新运行步骤Sd,直至达到终止进化条件。

[0117] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为本申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

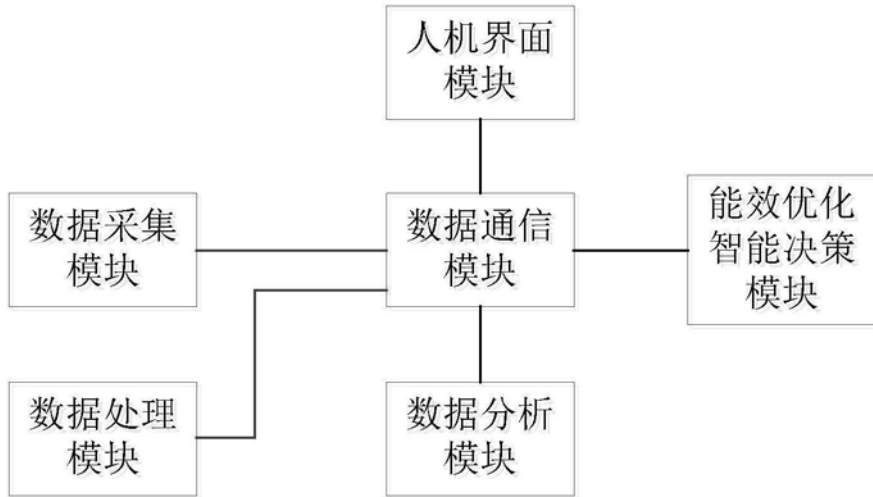


图1

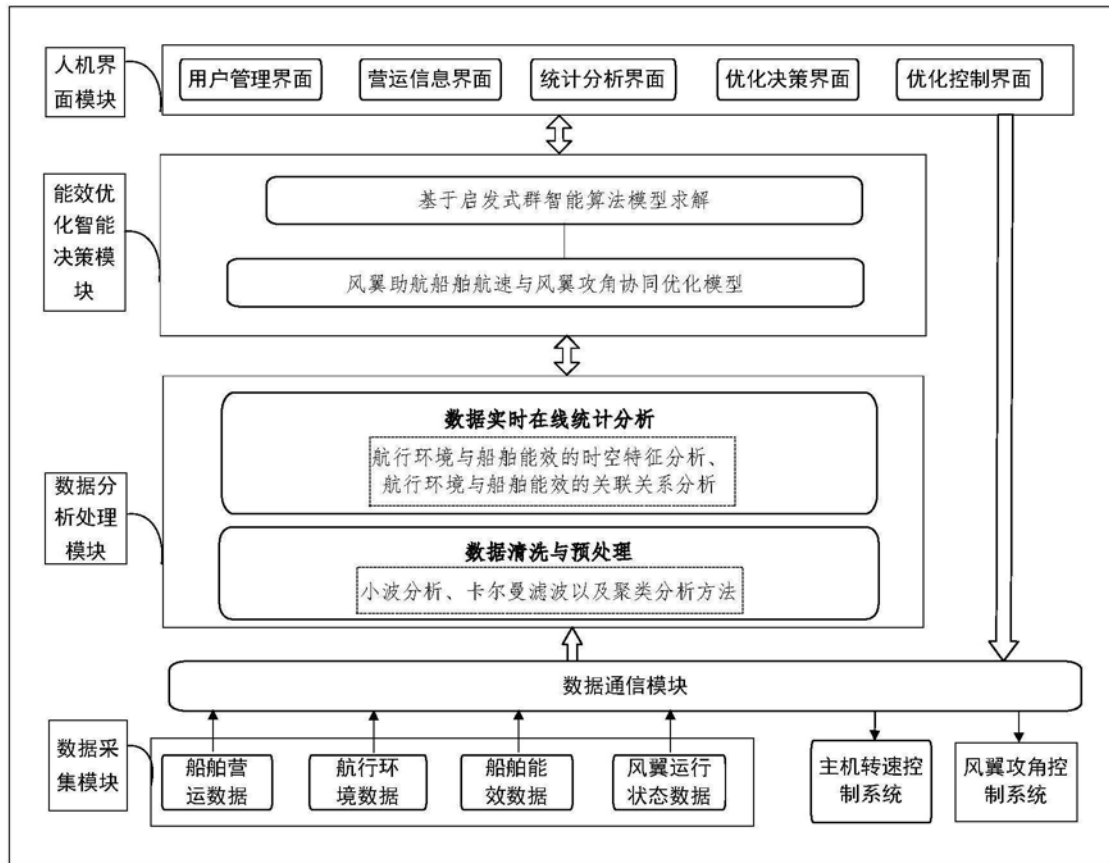


图2

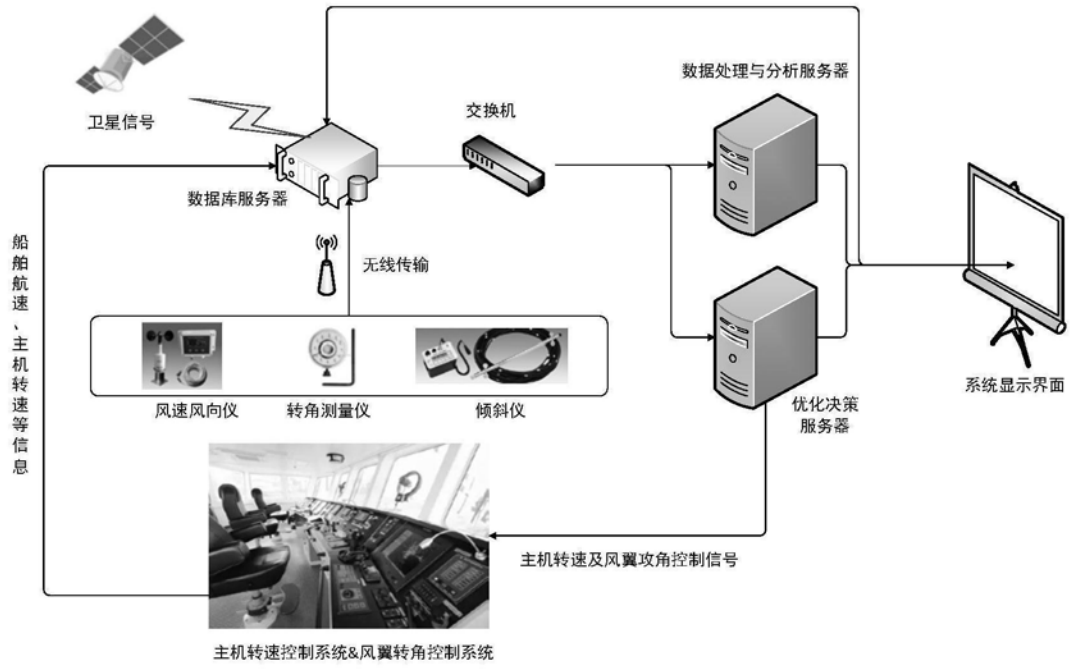


图3

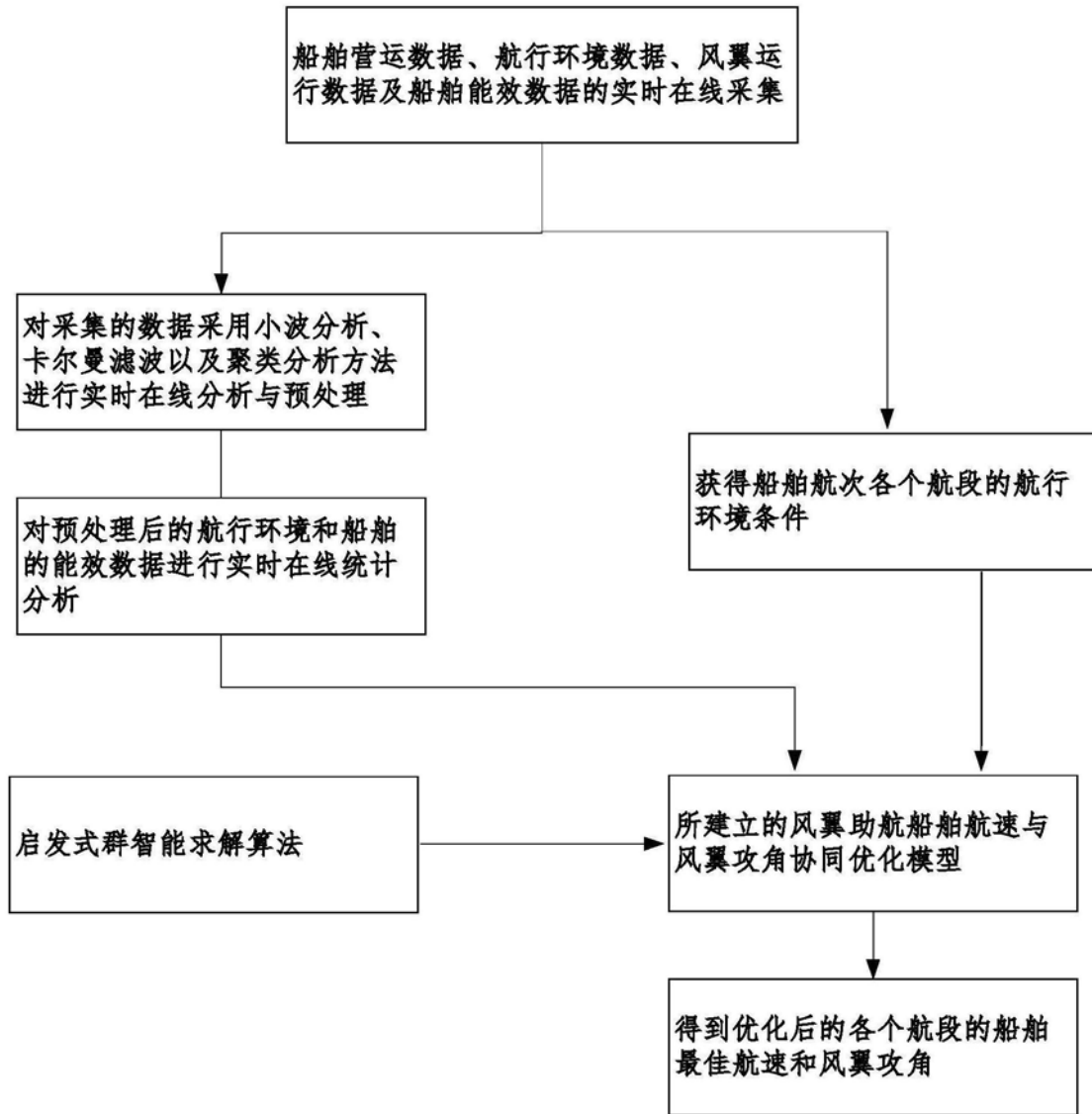


图4