

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/135312 A1

- (51) 国际专利分类号:
G05B 13/04 (2006.01) **B63B 35/44** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/127352
- (22) 国际申请日: 2019 年 12 月 23 日 (23.12.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811597787.9 2018 年 12 月 26 日 (26.12.2018) CN
- (71) 申请人: 上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。
- (72) 发明人: 王磊 (WANG, Lei); 中国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。 李博 (LI, Bo); 中国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。 衣凡 (YI, Fan); 中

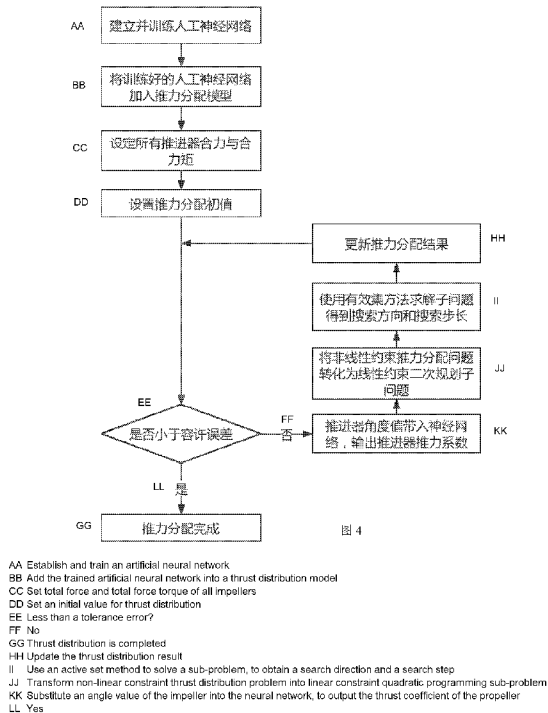
国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。 汪学锋 (WANG, Xuefeng); 中国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。 贺华成 (HE, Huacheng); 中国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。 秦立成 (QIN, Licheng); 中国上海市闵行区东川路 800 号王磊, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 上海伯瑞杰知识产权代理有限公司 (SHANGHAI BRIDGE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国上海市徐汇区龙华西路 585 号 A 座 23 楼代理部, Shanghai 200232 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,

(54) Title: ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-BASED POWER POSITIONING AND THRUST DISTRIBUTION APPARATUS AND METHOD

(54) 发明名称: 基于人工神经网络的动力定位推力分配装置及方法



(57) Abstract: An artificial neural network-based power positioning and thrust distribution method and apparatus. The method relates to a quadratic programming problem among optimization problems, and by considering the rotation angle of a front propeller and by using an artificial neural network, the method can calculate the thrust coefficient of a rear propeller in constraints of a thrust distribution problem; and then on the basis of the optimization problem of minimizing the power of the propeller by solving with a sequential quadratic programming algorithm, the method obtains a thrust distribution scheme for an all-direction propeller. By introducing the concept of a thrust coefficient, the method and apparatus precisely quantify thrust loss, and enlarge a feasible area of a rotation angle of an impeller, so that a more optimized and reasonable result is obtained for a quadratic programming problem, thereby reducing the power of the impeller and saving energy.

(57) 摘要: 一种基于人工神经网络的动力定位推力分配方法及装置, 该方法为最优化问题中的二次规划问题, 通过考虑前推进器转角, 利用人工神经网络, 可以计算推力分配问题约束条件中的后推进器推力系数; 随后基于序列二次规划算法求解使推进器功率最小化的最优化问题, 获得全回转推进器上的推力分配方案。该方法及装置通过引入推力系数的概念, 一方面可以精确地量化推力损失, 另一方面可以扩大推进器回转角的可行区域, 从而使二次规划问题能获得更为优化与合理的结果, 降低推进器功率, 节约能源。

JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则
4.17(ii))
- 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

基于人工神经网络的动力定位推力分配装置及方法

技术领域

本发明涉及一种海洋结构物动力定位系统推力分配技术，具体地，涉及一种基于人工神经网络计算推力损失的海洋结构物动力定位推力分配装置及方法。

背景技术

随着人类对海洋资源的开发规模的逐步扩大，在恶劣海况中作业的海洋结构物定位系统的发展，已成为海洋工程高技术装备研发中的重要课题之一。动力定位系统是一种利用船舶或海洋平台自身推进器，使其尽可能地保持在海平面上要求的位置的控制系统。动力定位系统具有操作简便，定位精度不受水深影响等优点，已经广泛应用于深水半潜钻井平台。动力定位系统一般由位置测量系统，控制系统，推力系统三部分构成。测量系统通过卫星或水声列阵获得结构物的实时位置信息。控制系统依据海洋结构物的实际位置与目标位置的偏差计算出使海洋结构物回复到目标位置所需的总推力与扭矩。推力系统对各推进器进行推力分配，进而使各推进器产生海洋结构物定位所需的总推力和扭矩，最终实现海洋结构物通过自身推进器的动力定位。

推力分配问题本质上是一个非线性最优化问题，推力分配方法需要在保证所有推进器的合力等于海洋结构物定位所需的总推力与扭矩的同时，使所有推进器的总功率最小化。

在推力分配问题中，必须考虑的一个关键因素是全回转推进器之间的水动力干扰问题。对于半潜钻井平台，串联排列的两个全回转推进器，前推进器尾流会影响后推进器，造成后推进器产生的实际推力小于其理论推力，这种现象称之为推力损失。推力损失会造成半潜平台严重的能源浪费。在现有技术中，为避免推力损失，前推进器的回转角会设置禁止区域，前推进器的转角不能停留在进入禁止角区域，防止其尾流影响后推进器。但是，由于的禁止角存在，推进器在旋转时无法穿过禁止角，从而出现推进器转角卡顿在禁止角边缘的问题。无法得到

推力分配的最优解，推进器总功率无法实现最小化，造成能源浪费。

发明内容

针对现有技术中存在的上述不足，本发明的目的是提供一种基于人工神经网络的动力定位推力分配装置及方法。该装置及方法避免了在推力分配问题中，由于水动力干扰造成的推力损失；同时又取消了禁止角，解决了推进器转角卡顿的问题，使推进器总功率减小，节约能源。

本发明是通过以下技术方案实现的。

根据本发明的一个方面，提供过了一种基于人工神经网络的动力定位推力分配方法，包括以下步骤：

步骤 S1，在实时控制计算机中建立并训练人工神经网络拟合推力系数。

其中：

建立的人工神经网络，包括输入层、隐藏层和输出层。输入向量为 $x = [\alpha]$ ， α 为前推进器转角，输出向量为 $y = [\eta]$ ， η 为后推进器推力系数。

训练人工神经网络的方法为，将人工神经网络模型试验得到的试验数据作为训练样本 $\{(x(1), y(1)), (x(2), y(2)), \dots, (x(m), y(m))\}$ 。使用 Back Propagation 算法最优化人工神经网络各层神经元的输入权值以及偏置，使得人工神经网络的输出尽可能地接近期望输出，以达到训练的目的。

步骤 S2，将训练完成的人工神经网络加入推力分配模型，得到如下模型：

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^8 c_i(\rho, D) \cdot T_i^{\frac{3}{2}} \\ \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \eta_i - F_x = 0 \\ \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \eta_i - F_y = 0 \\ \sum_{i=1}^8 [T_i \cdot \eta_i (x_i \cdot \sin \alpha_i - y_i \cdot \cos \alpha_i)] - M_z = 0 \\ T_{\min} \leq T_i \leq T_{\max} \end{aligned}$$

其中， c_i 为每个全回转推进器与流体密度 ρ 和螺旋桨直径 D 有关的常数，

$T_{\max}$, $T_{\min}$ 表示每个全回转推进器所能发出推力大小的上限和下限， F_x, F_y, M_z 分

别为设定的纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩。

步骤 S3, 在实时控制计算机中设定纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩。

步骤 S4, 结合二次规划算法进行推力分配迭代计算。推力分配数学模型简记为:

$$\begin{cases} \min f(x) \\ s. t. \quad h_i(x) = 0, \quad i \in E = \{1, \dots, l\} \\ \quad \quad g_i(x) \geq 0, \quad i \in I = \{1, \dots, m\} \end{cases}$$

其中, $x = [T_1, T_2, \dots, T_8, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8]$, α_i 为第 i 个推进器的转角, $i = 1, 2, \dots, 8$, 给定初值 $x_0 = [T_1^0, T_2^0, \dots, T_8^0, \alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_8^0]$ 开始迭代计算, 对于迭代过程中的某一中间值 $x_k = [T_1^k, T_2^k, \dots, T_8^k, \alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_8^k]$, 将每个推进器的转角变量带入训练好的人工神经网络, 得到人工神经网络输出的第 i 个推进器的推力系数 η_i^k , 并带入推力分配模型。将推力分配模型线性化, 得到线性约束的子问题:

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f(x_k)^T d \\ s. t. \quad h_i(x_k) + \nabla h_i(x_k)^T d = 0, \quad i \in E \\ \quad \quad g_i(x_k) + \nabla g_i(x_k)^T d \geq 0, \quad i \in I \end{cases}$$

其中, B_k 为使用 WHP 方法计算的对称正定矩阵。求解线性约束的二次规划最优化问题, 得到目标函数在 x_k 处得下降方向 d_k 与步长 α_k , 更新 $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ 。若新的解小于容许误差, 则得到推力分配的最优解, 否则继续迭代。

将实时控制计算机根据推力分配迭代计算得到的各推进器转速与角度输出至全回转推进器转速控制器和角度控制器, 从而产生海洋结构定位所需的推力, 实现定位效果。

优选地, 还包括如下步骤: 重复步骤 S3 和步骤 S4, 即可进行连续的推力分配计算。

根据本发明的另一个方面, 提供了一种基于人工神经网络的动力定位推力分配装置, 包括一台实时控制计算机和若干分布在海洋结构物浮筒底部的全回转推进器, 各全回转推进器上分别安装有螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器, 所述的螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器通过数据线与实时控制计算机相连;

所述实时控制计算机采用上述基于人工神经网络的动力定位推力分配方法, 计算每一个全回转推进器的转速与角度并输出至螺旋桨转速控制器和全回转角

度控制器，产生海洋结构定位所需推力，实现定位。

优选地，若干全回转推进器分布在海洋结构物底部的两个浮筒的前部和后部。与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：

本发明所提供的基于人工神经网络的动力定位推力分配装置及方法，一方面可以精确地量化推力损失，另一方面可以扩大推进器回转角的可行区域，从而使二次规划问题能获得更为优化与合理的结果，降低推进器功率，节约能源。

附图说明

通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更加明显：

图 1 为基于人工神经网络的动力定位推力分配装置结构示意图。

图 2 为装备了本发明的半潜式海洋平台推进器分布示意图。

图 3 为禁止角示意图。

图 4 为基于人工神经网络的动力定位推力分配方法流程图。

图 5 为用于拟合推力系数的神经网络示意图。

图 6 为推力分配结果示意图。

具体实施方案

下面对本发明的实施例作详细说明：本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。

实施例 1

本实施例提供过了一种基于人工神经网络的动力定位推力分配方法，包括以下步骤：

步骤 S1，在实时控制计算机中建立并训练人工神经网络拟合推力系数。

其中：

建立的人工神经网络，包括输入层、隐藏层和输出层。输入向量为 $x = [\alpha]$ ， α 为前推进器转角，输出向量为 $y = [\eta]$ ， η 为后推进器推力系数。

训练人工神经网络的方法为，将人工神经网络模型试验得到的试验数据作为训练样本 $\{(x(1), y(1)), (x(2), y(2)), \dots, (x(m), y(m))\}$ 。使用 Back Propagation 算法最优化人工神经网络各层神经元的输入权值以及偏置，使得人工神经网络的输出尽可能地接近期望输出，以达到训练的目的。

步骤 S2，将训练完成的人工神经网络加入推力分配模型，得到如下模型：

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i=1}^8 c_i(\rho, D) \cdot T_i^{\frac{3}{2}} \\ & \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \eta_i - F_x = 0 \\ & \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \eta_i - F_y = 0 \\ & \sum_{i=1}^8 [T_i \cdot \eta_i (x_i \cdot \sin \alpha_i - y_i \cdot \cos \alpha_i)] - M_z = 0 \\ & T_{\min} \leq T_i \leq T_{\max} \end{aligned}$$

其中， c_i 为每个全回转推进器与流体密度 ρ 和螺旋桨直径 D 有关的常数， $T_{\max}$ ， $T_{\min}$ 表示每个全回转推进器所能发出推力大小的上限和下限， F_x, F_y, M_z 分别为设定的纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩。

步骤 S3，在实时控制计算机中设定纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩。

步骤 S4，结合二次规划算法进行推力分配迭代计算。推力分配数学模型简记为：

$$\begin{cases} \min f(x) \\ \text{s.t. } h_i(x) = 0, \quad i \in E = \{1, \dots, l\} \\ g_i(x) \geq 0, \quad i \in I = \{1, \dots, m\} \end{cases}$$

其中， $x = [T_1, T_2, \dots, T_8, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8]$ ， α_i 为第 i 个推进器的转角， $i = 1, 2, \dots, 8$ ，给定初值 $x_0 = [T_1^0, T_2^0, \dots, T_8^0, \alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_8^0]$ 开始迭代计算，对于迭代过程中的某一中间值 $x_k = [T_1^k, T_2^k, \dots, T_8^k, \alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_8^k]$ ，将每个推进器的转角变量带入训练好的人工神经网络，得到人工神经网络输出的第 i 个推进器的推力系数 η_i^k ，并带入推力分配模型。将推力分配模型线性化，得到线性约束的子问题：

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f(x_k)^T d \\ \text{s.t. } h_i(x_k) + \nabla h_i(x_k)^T d = 0, \quad i \in E \\ \quad g_i(x_k) + \nabla g_i(x_k)^T d \geq 0, \quad i \in I \end{cases}$$

其中, B_k 为使用 WHP 方法计算的对称正定矩阵。求解线性约束的二次规划最优化问题, 得到目标函数在 x_k 处得下降方向 d_k 与步长 α_k , 更新 $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ 。若新的解小于容许误差, 则得到推力分配的最优解, 否则继续迭代。

将实时控制计算机根据推力分配迭代计算得到的各推进器转速与角度输出至全回转推进器转速控制器和角度控制器, 从而产生海洋结构定位所需的推力, 实现定位效果。

优选地, 还包括如下步骤: 重复步骤 S3 和步骤 S4, 即可进行连续的推力分配计算。

为了使本实施例实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解, 下面结合附图对本实施例进一步详细阐述。

针对实施例 1 中所指出的动力定位系统推力损失与推进器转角卡顿问题, 图 4 展示了一种基于人工神经网络的动力定位推力分配方法流程图。该方法可以使八个全回转推进器的合力与合力矩满足半潜平台定位所需的总推力与转矩, 同时使前推进器的回转角度避开禁止角区域

首先执行步骤一, 在实时控制计算机中建立并训练神经网络。具体包括:

1) 建立人工神经网络, 其结构如图 5 所示, 包括输入层、三个隐藏层和输出层。其中, 输入层包括一个神经元节点, 第一隐藏层包括 15 个神经元节点, 第二隐藏层包括 35 个神经元节点, 第三隐藏层包括 15 个神经元节点。输入向量为 $x = [\alpha]$, α 为前推进器转角, 输出向量为 $y = [\eta]$, η 为后推进器推力系数。

2) 训练人工神经网络。将模型试验得到的前桨回转角与后桨推力系数数据作为人工神经网络的训练样本, 训练样本共包括 360 组数据, $\{(x(1), y(1)), (x(2), y(2)), \dots, (x(360), y(360))\}$ 。每组数据为一个前桨角度以及其对应的后桨推力系数。使用 Back Propagation 算法最优化各层神经元的输入权值以及偏置, 使得人工神经网络的输出尽可能地接近期望输出, 以达到训练的目的。

重复进行八次步骤一, 得到半潜平台八套全回转推进器关于前桨回转角度

与后桨推力系数的连续函数。该函数可以加入到后文推力分配数学模型的约束条件中。

步骤二，将训练完成的人工神经网络加入推力分配模型，得到如下模型：

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{i=1}^8 c_i(\rho, D) \cdot T_i^{\frac{3}{2}} \\
 & \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \eta_i - F_x = 0 \\
 & \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \eta_i - F_y = 0 \\
 & \sum_{i=1}^8 [T_i \cdot \eta_i (x_i \cdot \sin \alpha_i - y_i \cdot \cos \alpha_i)] - M_z = 0 \\
 & T_{\min} \leq T_i \leq T_{\max}
 \end{aligned}$$

其中， c_i 为每个全回转推进器与流体密度 ρ 和螺旋桨直径 D 有关的常数，示例性的， $c_i = 1, i = 1, 2, \dots, 8$ ， $T_{\max}$ ， $T_{\min}$ 表示每个全回转推进器所能发出推力大小的上限和下限，示例性的 $T_{\max} = 800, T_{\min} = 50$ ， F_x, F_y, M_z 分别为设定的纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩，在后文步骤三中设定具体数值。

以上步骤一和步骤二为推力分配计算的准备步骤，在推力分配计算进行之前完成。步骤一和步骤二只需完成一次即可，无需重复，记忆反复用于推力分配计算。

步骤 3，在实时控制计算机中设定纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩。示例性的，设定 $F_x = 1000, F_y = -344, M_z = -10000$ 。

步骤 4，结合二次规划算法进行推力分配迭代计算。首先给定初值， $x_0 = [50, 50, 50, 50, 50, 50, 50, 50, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$ 。取出八套推进器的转角值 α_i 分别带入每个推进器的人工神经网络，得到八套推进器的推力损失系数。示例性的，对于 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_8 = 0$ ，通过人工神经网络输出的推力系数 $\eta_1 = \eta_2 = \dots = \eta_8 = 1$ 。将推力系数带入推力分配模型，将推力分配模型线性化，得到线性约束的子问题：

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f(x_k)^T d \\ \text{s.t. } h_i(x_k) + \nabla h_i(x_k)^T d = 0, \quad i \in E \\ g_i(x_k) + \nabla g_i(x_k)^T d \geq 0, \quad i \in I \end{cases}$$

其中, B_k 为使用 WHP 方法计算的对称正定矩阵(Schittkowski K. The nonlinear programming method of Wilson, Han, and Powell with an augmented Lagrangian type line search function[J]. Numerische Mathematik, 1982, 38(1):115-127.)。求解线性约束的二次规划最优化问题, 使用有效集方法求解 (Shanno D F. Numerical Optimization by Jorge Nocedal; Stephen J. Wright[J]. Siam Review, 2001, 43(3):572-574.) , 得到目标函数在 x_k 处得下降方向 d_k 与步长 α_k , 更新 $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ 。若新的解小于容许误差, 则得到推力分配的最优解, 否则将 x_{k+1} 中的推进器角度带入人工神经网络, 得到推力损失值 $\eta_i (i = 1, 2, \dots, 8)$, 带入线性约束的子问题, 继续迭代, 直至得到最优解。对于设定的 $F_x = 1000, F_y = -344, M_z = -10000$, 得到推力分配最优解 $x = [162.66, 153.64, 136.74, 116.73, 103.07, 107.24, 142.96, 155.25,$

$-23.2, -9.0, -41.3, -32.3, -9.0, -10.4, -8.9, -17.0]$ 。推力分配的角度和推力大小如图 6 所示。图中圆圈表示推进器, 以圆心为起点的线段代表推力, 线段方向为推力方向, 线段大小为推力大小。

将实时控制计算机根据推力分配方法计算得到的各推进器转速与角度输出至全回转推进器转速控制器和角度控制器, 从而产生海洋结构定位所需的推力, 实现定位效果。

实施例 2

本实施例提供了一种基于人工神经网络的动力定位推力分配装置, 包括一台实时控制计算机和若干分布在海洋结构物浮筒底部的全回转推进器, 各全回转推进器上分别安装有螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器, 所述的螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器通过数据线与实时控制计算机相连;

所述实时控制计算机采用实施例 1 所提供的基于人工神经网络的动力定位推力分配方法, 计算每一个全回转推进器的转速与角度并输出至螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器, 产生海洋结构定位所需推力, 实现定位。

优选地，若干全回转推进器分布在海洋结构物底部的两个浮筒的前部和后部。

为了使本实施例实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面结合附图对本实施例进一步详细阐述。

图 1 为基于人工神经网络的动力定位推力分配装置结构示意图，如图所示，一种基于人工神经网络的动力定位推力分配装置示意图，包括一台实时控制计算机 1 和若干台分布在海洋结构物浮筒底部的全回转推进器 4，各全回转推进器 4 上分别安装有螺旋桨转速控制器 2 和全回转角度控制器 3，所述的螺旋桨转速控制器 2 和全回转角度控制器 3 通过数据线与实时控制计算机相连。

图 2 装备了本发明的半潜式海洋平台推进器分布示意图，它一共装备八套全回转推进器。距离较近的两个推进器为一组。若一组推进器中的前推进器（以下简称前桨）角度达到某些位置时，如图 3 所示，其尾流对后推进器（以下简称后桨）产生较大的水动力干扰，从而造成后桨推力损失。在实际工程应用中，通过设置禁止角使前桨回转角应避开会造成后桨推力损失的区域。但是禁止角的存在，推进器在旋转时无法穿过禁止角，从而推进器的角度停留在禁止角边缘，形成推进器转角卡顿的现象。无法得到推力分配的最优解，推进器总功率无法实现最小化，造成能源浪费。实时控制计算机采用实施例 1 所提供的基于人工神经网络的动力定位推力分配方法，计算每一个全回转推进器的转速与角度并输出至螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器，进而产生海洋结构定位所需推力，解决了以上问题，实现了定位。

本发明上述两个实施例提供的一种基于人工神经网络计算推力损失的海洋结构物动力定位推力分配装置及方法，推力分配方法为最优化问题中的二次规划问题，通过考虑前推进器转角，利用人工神经网络，可以计算推力分配问题约束条件中的后推进器推力系数。随后基于序列二次规划算法求解使推进器功率最小化的最优化问题，获得全回转推进器上的推力分配方案。推力分配装置采用推力分配方法，计算每一个全回转推进器的转速与角度并输出至螺旋桨转速控制器和全回转角度控制器，产生海洋结构定位所需推力，实现定位。本发明上述两个实施例通过引入推力系数的概念，本发明一方面可以精确地量化推力损失，另一方面可以扩大推进器回转角的可行区域，从而使二次规划问题能获得更为优化与合

理的结果，降低推进器功率，节约能源。

以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本领域的技术人员应该了解，本发明不受上述例子的限制，上述实例和说明书中描述的只是说明本发明的原理，在不脱离本发明精神和范围的前提下本发明还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。

权利要求书

1、一种基于人工神经网络的动力定位推力分配方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 S1，在实时控制计算机中建立并训练人工神经网络拟合推力系数；

步骤 S2，将训练完成的人工神经网络加入推力分配模型，得到如下模型：

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^8 c_i(\rho, D) \cdot T_i^{\frac{3}{2}} \\ & \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \eta_i - F_x = 0 \\ & \sum_{i=1}^8 T_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \eta_i - F_y = 0 \\ & \sum_{i=1}^8 [T_i \cdot \eta_i (x_i \cdot \sin \alpha_i - y_i \cdot \cos \alpha_i)] - M_z = 0 \\ & T_{\min} \leq T_i \leq T_{\max} \end{aligned}$$

其中， c_i 为每个全回转推进器与流体密度 ρ 和螺旋桨直径 D 有关的常数， $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 分别表示每个全回转推进器所能发出推力大小的上限和下限， F_x, F_y, M_z 分别为设定的纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩；

步骤 S3，在实时控制计算机中设定纵荡、横荡和艏摇三个自由度方向上所有推进器合力与合力矩；

步骤 S4，结合二次规划算法进行推力分配迭代计算；推力分配数学模型简记为：

$$\begin{cases} \min f(x) \\ \text{s. t. } h_i(x) = 0, \quad i \in E = \{1, \dots, l\} \\ g_i(x) \geq 0, \quad i \in I = \{1, \dots, m\} \end{cases}$$

其中， $x = [T_1, T_2, \dots, T_8, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8]$ ， α_i 为第 i 个推进器的转角， $i = 1, 2, \dots, 8$ ，

给定初值 $x_0 = [T_1^0, T_2^0, \dots, T_8^0, \alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_8^0]$ 开始迭代计算, 对于迭代过程中的某一中间值 $x_k = [T_1^k, T_2^k, \dots, T_8^k, \alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_8^k]$, 将每个推进器的转角变量带入训练好的人工神经网络, 得到人工神经网络输出的第 i 个推进器的推力系数 η_i^k , 并带入推力分配模型; 将推力分配模型线性化, 得到线性约束的子问题:

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f(x_k)^T d \\ s. t. \quad h_i(x_k) + \nabla h_i(x_k)^T d = 0, \quad i \in E \\ \quad \quad g_i(x_k) + \nabla g_i(x_k)^T d \geq 0, \quad i \in I \end{cases}$$

其中, B_k 为使用 WHP 方法 (Wilson-Han-Powell 方法) 计算的对称正定矩阵, 该方法为推力分配算法中使用的经典算法; 使用有效集方法求解线性约束的二次规划最优化问题, 该方法为推力分配算法中使用的经典算法, 得到目标函数在 x_k 处得下降方向 d_k 与步长 α_k , 更新 $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$; 若新的解小于容许误差, 则得到推力分配的最优解, 否则继续迭代;

将实时控制计算机根据推力分配迭代计算得到的各推进器转速与角度输出至全回转推进器转速控制器和角度控制器, 从而产生海洋结构定位所需的推力, 实现定位效果。

2、根据权利要求 1 所述的基于人工神经网络的动力定位推力分配方法, 其特征在于, 所述步骤 S1 中, 建立的人工神经网络, 包括输入层、隐藏层和输出层; 输入向量为 $x = [\alpha]$, α 为前推进器转角, 输出向量为 $y = [\eta]$, η 为后推进器推力系数。

3、根据权利要求 1 所述的基于人工神经网络的动力定位推力分配方法, 其特征在于, 所述步骤 S1 中, 训练人工神经网络的方法为, 将人工神经网络模型试验得到的试验数据作为训练样本 $\{(x(1), y(1)), (x(2), y(2)), \dots, (x(m), y(m))\}$; 使用人工神经网络经典算法 Back Propagation 算法最优化人工神经网络各层神经元的输入权值以及偏置, 使得人工神经网络的输出尽可能地接近期望输出, 以达

到训练的目的。

4、根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的基于人工神经网络的动力定位推力分配方法，其特征在于，还包括如下步骤：

重复步骤 3 和步骤 4，进行连续的推力分配计算。

5、一种基于人工神经网络的动力定位推力分配装置，其特征在于，包括实时控制计算机（1）和若干分布在海洋结构物底部的全回转推进器（4），其中，每一个全回转推进器（4）上分别安装有螺旋桨转速控制器（2）和全回转角度控制器（3），所述螺旋桨转速控制器（2）和全回转角度控制器（3）分别通过数据线与实时控制计算机（1）连接；

所述实时控制计算机采用权利要求 1 至 4 中任意一项所述的基于人工神经网络的动力定位推力分配方法，计算每一个全回转推进器（4）的转速与角度并输出至螺旋桨转速控制器（2）和全回转角度控制器（3），产生海洋结构定位所需推力，实现定位。

6、根据权利要求 5 所述的基于人工神经网络的动力定位推力分配装置，其特征在于，若干全回转推进器（4）分布在海洋结构物底部的两个浮筒的前部和/或后部。

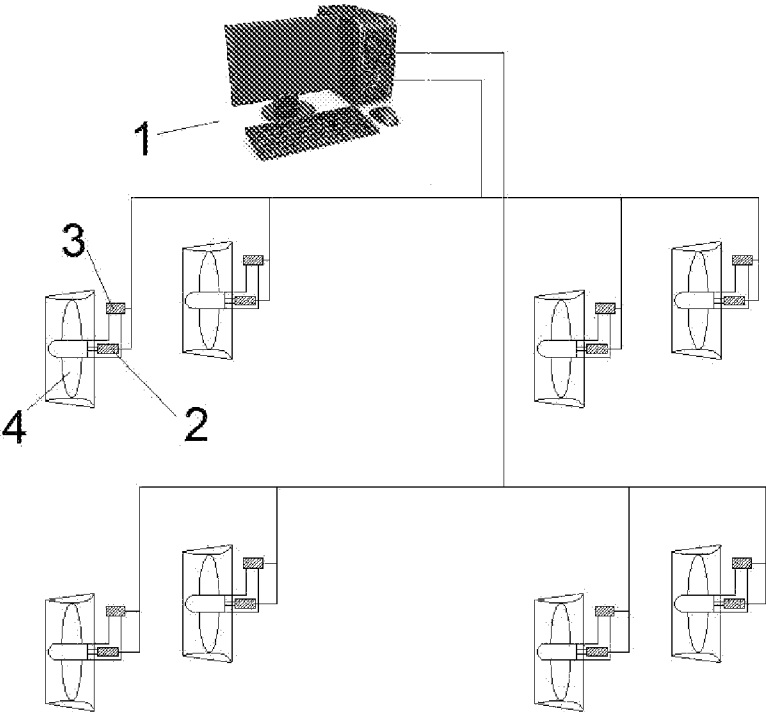


图 1

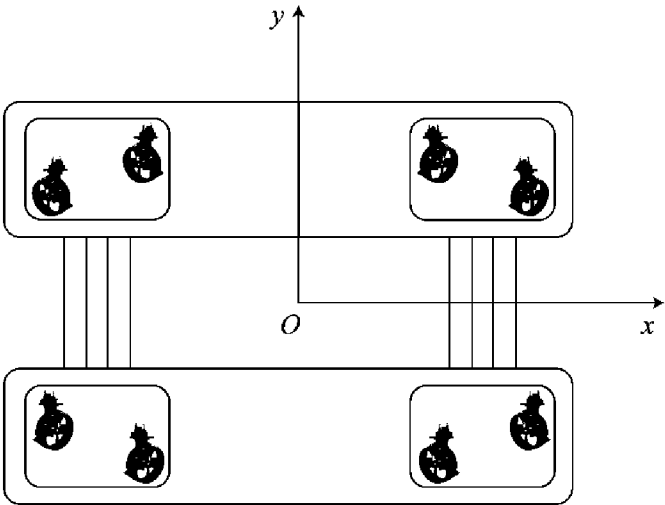


图 2

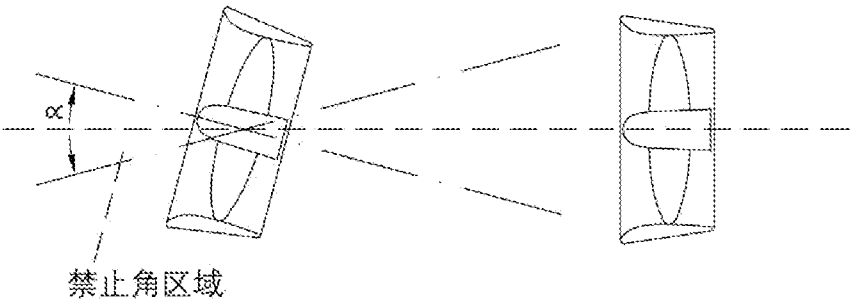


图 3

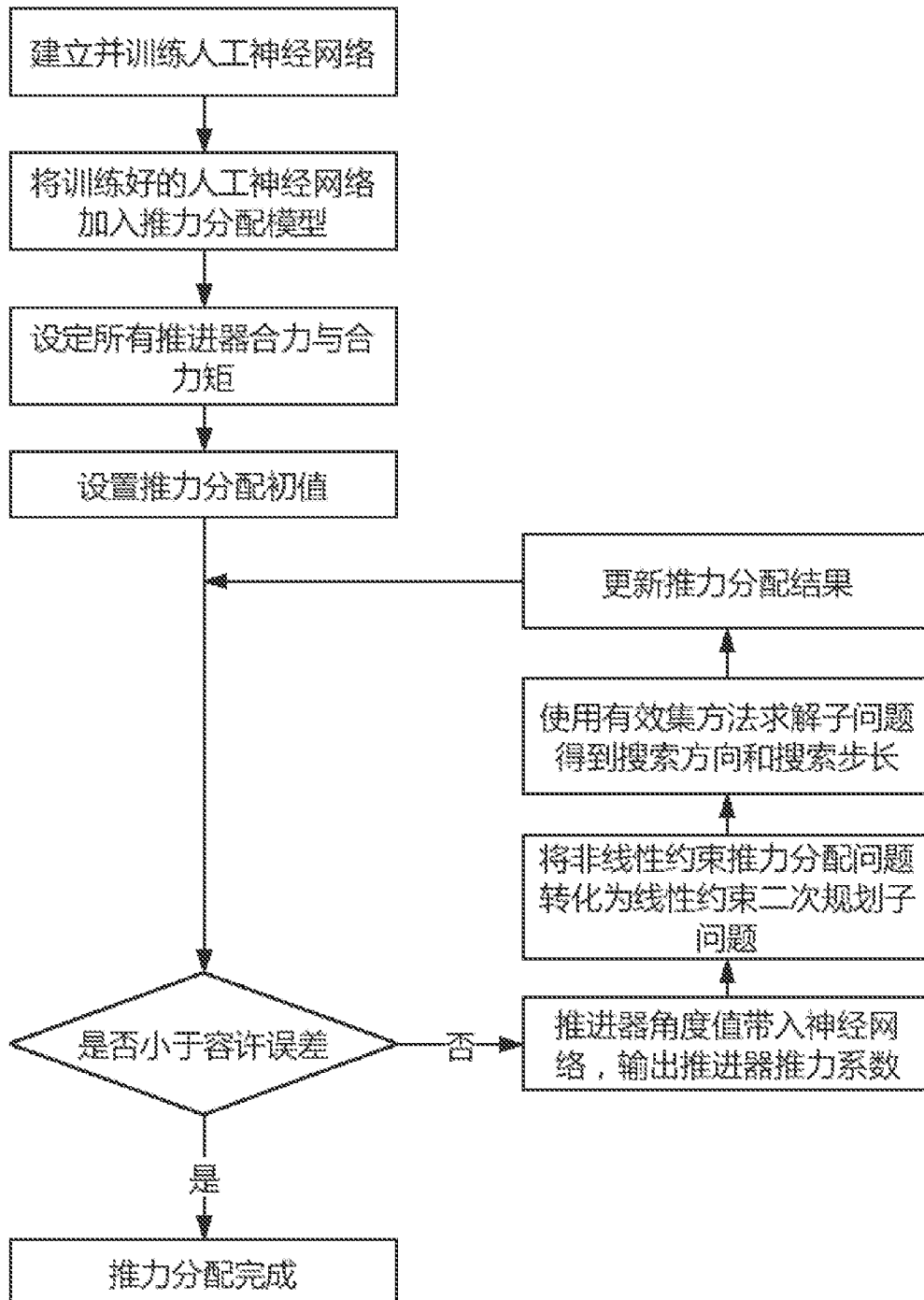


图 4

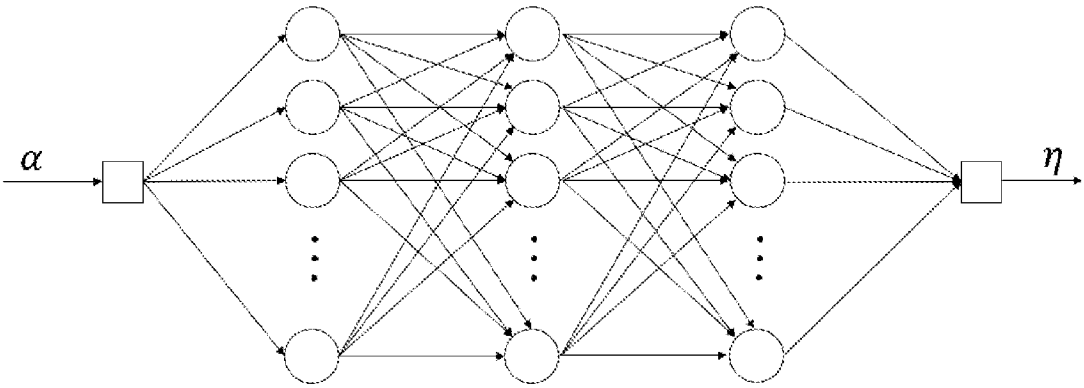


图 5

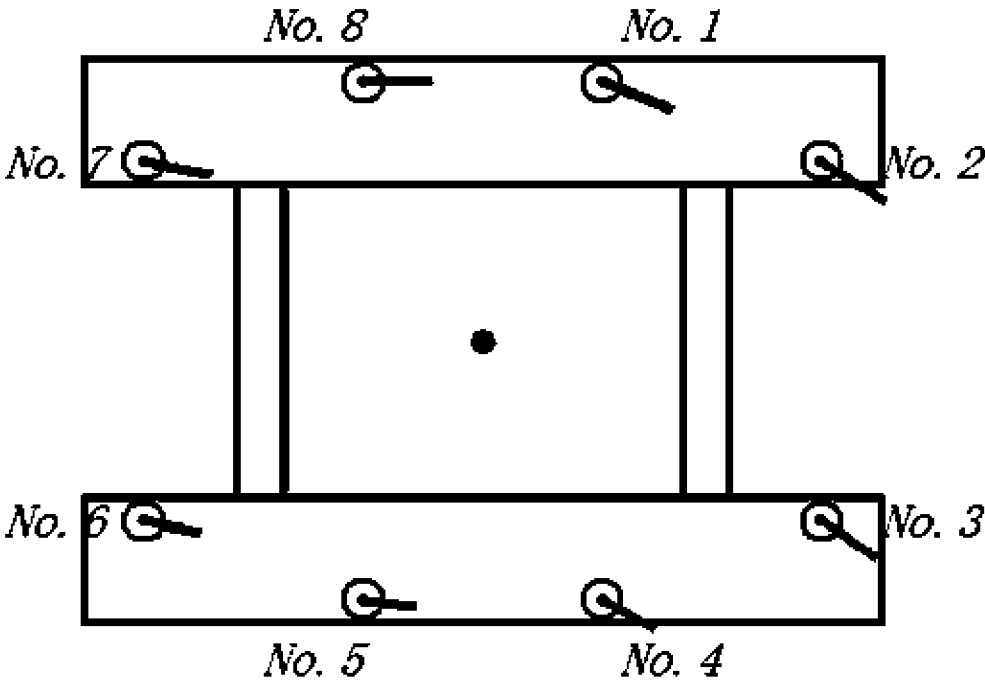


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/127352

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 13/04(2006.01)i; B63B 35/44(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B; G05D; B63B; E21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN: 船, 浮, 海, 台, 推力, 推进器, 螺旋桨, 分配, 海洋, 合力, 力矩, 神经网络, 角度, 转角, 位置, ship, marine, offshore, neural, network, thrust, propeller, platform, drilling, distribut+, angle, position

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109683479 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 26 April 2019 (2019-04-26) Claims 1-6	1-6
Y	张晓迪 (ZHANG, Xiaodi). "船舶推力分配多步优化算法研究 (Non-official translation: Research on Multi-step Optimization Algorithm of Ship Thrust Distribution)" 上海交通大学硕士学位论文 (Master's Dissertation of Shanghai JiaoTong University), 31 July 2016 (2016-07-31), pages 9-71	1-6
Y	朱艳 (ZHU, Yan). "动力定位系统的推力分配研究 (Non-official translation: Research on Thrust Distribution of Dynamic Positioning System)" 江苏科技大学工程硕士学位论文 (Non-official translation: Master Degree Thesis of Jiangsu University of Science and Technology), 31 March 2016 (2016-03-31), page 32	1-6
A	CN 102508431 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 20 June 2012 (2012-06-20) entire document	1-6
A	JP 2002173086 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. et al.) 18 June 2002 (2002-06-18) entire document	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 March 2020

Date of mailing of the international search report

27 March 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/127352

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	109683479	A	26 April 2019	None	
CN	102508431	A	20 June 2012	None	
JP	2002173086	A	18 June 2002	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/127352

A. 主题的分类 G05B 13/04(2006.01)i; B63B 35/44(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G05B; G05D; B63B; E21B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS; CNTXT; VEN:船, 浮, 海, 台, 推力, 推进器, 螺旋桨, 分配, 海洋, 合力, 力矩, 神经网络, 角度, 转角, 位置, ship, marine, offshore, neural, network, thrust, propeller, platform, drilling, distribut+, angle, position																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109683479 A (上海交通大学) 2019年 4月 26日 (2019 - 04 - 26) 权利要求1-6</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>张晓迪. "《船舶推力分配多步优化算法研究》" 上海交通大学硕士学位论文, 2016年 7月 31日 (2016 - 07 - 31), 第9-71页</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>朱艳. "《动力定位系统的推力分配研究》" 江苏科技大学工程硕士学位论文, 2016年 3月 31日 (2016 - 03 - 31), 第32页</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102508431 A (江苏科技大学) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2002173086 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD等) 2002年 6月 18日 (2002 - 06 - 18) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109683479 A (上海交通大学) 2019年 4月 26日 (2019 - 04 - 26) 权利要求1-6	1-6	Y	张晓迪. "《船舶推力分配多步优化算法研究》" 上海交通大学硕士学位论文, 2016年 7月 31日 (2016 - 07 - 31), 第9-71页	1-6	Y	朱艳. "《动力定位系统的推力分配研究》" 江苏科技大学工程硕士学位论文, 2016年 3月 31日 (2016 - 03 - 31), 第32页	1-6	A	CN 102508431 A (江苏科技大学) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 全文	1-6	A	JP 2002173086 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD等) 2002年 6月 18日 (2002 - 06 - 18) 全文	1-6
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 109683479 A (上海交通大学) 2019年 4月 26日 (2019 - 04 - 26) 权利要求1-6	1-6																		
Y	张晓迪. "《船舶推力分配多步优化算法研究》" 上海交通大学硕士学位论文, 2016年 7月 31日 (2016 - 07 - 31), 第9-71页	1-6																		
Y	朱艳. "《动力定位系统的推力分配研究》" 江苏科技大学工程硕士学位论文, 2016年 3月 31日 (2016 - 03 - 31), 第32页	1-6																		
A	CN 102508431 A (江苏科技大学) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 全文	1-6																		
A	JP 2002173086 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD等) 2002年 6月 18日 (2002 - 06 - 18) 全文	1-6																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																			
国际检索实际完成的日期 2020年 3月 20日		国际检索报告邮寄日期 2020年 3月 27日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 孙培安 电话号码 86-(010)-62085800																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/127352

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109683479	A	2019年 4月 26日	无	
CN	102508431	A	2012年 6月 20日	无	
JP	2002173086	A	2002年 6月 18日	无	