

(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 2020/134621 A1

- (51) 国际专利分类号:
B62D 5/04 (2006.01) *B62D 6/00* (2006.01)
B62D 5/06 (2006.01) *B62D 137/00* (2006.01)
B62D 3/12 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/116039
- (22) 国际申请日: 2019 年 11 月 6 日 (06.11.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811579261.8 2018 年 12 月 24 日 (24.12.2018) CN
- (71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦

淮区白下高新科技园永智路 10 号, 三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。

- (72) 发明人: 周小川(ZHOU, Xiaochuan); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。 赵万忠(ZHAO, Wanzhong); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。 汪桢旭(WANG, Anxu); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。 栾众楷(LUAN, Zhongkai); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。 王春燕(WANG, Chunyan); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。

(54) Title: AUTOMOBILE ELECTRO-HYDRAULIC INTELLIGENT STEERING SYSTEM AND MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种汽车电液智能转向系统及其多目标优化方法

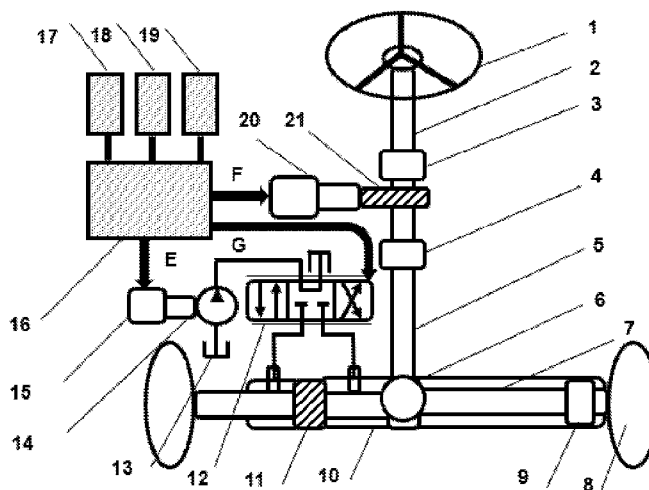


图 1

(57) Abstract: An automobile electro-hydraulic intelligent steering system and a multi-objective optimization method therefor, the system comprising a mechanical steering module, an electric power assist module, an electro-hydraulic power assist module, and a control module. The system may intelligently select the proportions by which the electric power assist module and the electro-hydraulic power assist module participate in steering power assist. For the complex coupling relationship of electro-mechanical fluid in the system, a multi-objective optimization method is proposed. By means of parameter coupling analysis, key design variables that have a relatively large impact on system performance are selected, and a shared niche technology-based multi-objective particle swarm algorithm is used for optimization to obtain optimal design parameters, achieve the optimal performance of steering road feel, steering energy consumption and steering assistance, and improve the overall performance of the steering system.



WO 2020/134621 A1

(74) 代理人: 江苏圣典律师事务所(JIANGSU SUNDY LAW FIRM); 中国江苏省南京市建邺区奥体大街68号4A栋6层, 杨文晰, Jiangsu 210019 (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, 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:

— 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))。

(57) 摘要: 一种汽车电液智能转向系统及其多目标优化方法, 该系统包括机械转向模块、电动助力模块、电动液压助力模块以及控制模块; 系统能够智能地选择电动助力模块和电动液压助力模块参与转向助力的比例; 针对该系统存在的机电液复杂耦合关系, 提出一种多目标优化方法, 通过参数耦合分析, 选择出对系统性能影响较大的关键设计变量, 采用基于共享小生境技术的多目标粒子群算法进行优化, 获得最佳设计参数, 实现转向路感、转向能耗和转向助力的性能最优, 提高转向系统整体性能。

一种汽车电液智能转向系统及其多目标优化方法

技术领域

本发明属于汽车转向系统技术领域，具体指代一种汽车电液智能转向系统及其多目标优化方法。

背景技术

汽车转向系统从机械化，逐渐向液压化、电子化发展，不仅减轻了驾驶员的操纵负担，获得舒适的驾驶感觉，还降低了转向能耗，增强了驾驶安全性。现有汽车转向系统中，应用最多的是电动液压助力转向系统和电动助力转向系统。电动液压助力转向系统仍存在液压系统固有的能量损失导致转向能耗较高，电动助力转向具备较好的节能特性，但高速路感不如液压转向，且受限于电机功率不适用于前轴载荷较大的车辆。因此，不管是电动液压助力转向还是电动助力转向，都难以兼顾良好的路感、充分的助力和较低的能耗。

融合电动液压助力和电动助力的优势，采用电液复合转向系统是一个发展的方向。例如中国专利申请号为 CN201721192203.0，名称“一种双转向助力系统”中公开采用两个助力转向系统的布置，实现纯电动客车的大功率转向助力需求；中国专利申请号为 CN201710587904.2，名称“一种电液混合式无人驾驶汽车转向系统”中公开电动助力主动控制，液压助力随动转向的方案，解决了转向迟滞性的问题。中国专利申请号为 CN201610050308.6，名称“一种用于商用车的电动液压转向装置”中公开采用电动助力和液压助力同时工作，获得较好的节能型并满足应急情转向的安全性。以上专利申请提出的电液复合转向，只是简单地进行转向助力的叠加，不能够根据驾驶员风格 and 实际道路信息智能地协调电动液压助力和电动助力之间的比例关系，既没有考虑转向路感、转向能耗等多个转向性能之间的耦合，也没有涉及电动助力和液压助力之间复杂的机电液耦合关系及其参数优化设计方案。

因此，提出一种汽车电液智能转向系统，并进行合理的多目标参数优化设计，解决目前不能够智能协调电动助力转向和电动液压助力转向的缺陷，有助于汽车转向系统的开发应用，具有一定的市场价值。

发明内容

针对于上述现有技术的不足，本发明的目的在于提供一种汽车电液智能转向系统其多目标优化方法，以克服现有技术中存在的问题。本发明通过提出一种融合电动助力转向和电动液压助力转向的电液智能转向系统，并考虑机电液耦合关系进行多目标优化，解决了汽车转向系统难以同时兼顾较低的能耗、充足的助力、合适的路感的问题。

为达到上述目的，本发明采用的技术方案如下：

本发明的一种汽车电液智能转向系统，包括：机械转向模块、电动助力模块、电动液压助力模块和控制模块；

所述机械转向模块包括依序连接的方向盘，扭杆，下管柱，转向小齿轮，转向齿条，车轮单元；

所述电动助力模块包括助力电机及蜗轮蜗杆减速器；助力电机的输出端连接蜗轮蜗杆减速器，蜗轮蜗杆减速器作用在扭杆和下管柱之间，将电动助力力矩与驾驶员力矩在下管柱进行叠加；

所述电动液压助力模块包括油箱，油泵电机，油泵，换向阀，活塞，液压缸；活塞位于液压缸内并将其分为左右两侧，液压缸两侧分别与换向阀油路导通；油泵电机输出端连接油泵，油泵将液压油从油箱传递至换向阀中，分配至液压缸的两侧；

所述控制模块包括主控制器、传感器组、驾驶员数据库、道路信息数据库；

主控制器输入端和所述传感器组电气连接，输出端分别与助力电机、油泵电机、换向阀电气连接；

传感器组包括转矩传感器、转角传感器、位移传感器、车速传感器、摄像头、GPS 接收机；转角传感器安装在下管柱上，接收下管柱的转角信号；转矩传感器安装在扭杆上，接收驾驶员输入的转矩信号；位移传感器安装在转向齿条末端，接收液压缸输出的位移信号；GPS 接收机、摄像头、车速传感器安装在汽车上；

驾驶员数据库与主控制器电气连接，其用于储存当前汽车驾驶员的驾驶数据及离线方式下载的多种驾驶员数据模型，并通过数据对比，选择符合当前驾驶员驾驶风格的数据模型，并向主控制器传输；

道路信息数据库与主控制器电气连接，存储通过离线方式下载的道路信息，并连接 GPS 接收机，实时向主控制器传输当前道路信息。

进一步地，所述液压缸与下管柱的末端固定连接，转向齿条同轴安装在液压缸内侧，且转向齿条位于液压缸内的部分上同轴固定安装活塞；转向齿条轴向向右侧伸出液压缸的部分与转向小齿轮啮合，转向小齿轮将驾驶员力矩和电动助力力矩的合力矩传递至转向齿条并转换为齿条力，齿条力与液压缸两侧的压力差产生的液压助力进行叠加并输出，转向齿条两侧输出端连接车轮单元。

进一步地，主控制器分别通过传感器组的各个输入信号判断当前车辆状态，通过驾驶员数据库的输入信号判断当前驾驶员的驾驶风格，通过道路信息数据库的输入信号判断当前道路信息并预测转向需求，综合上述信息进行转向决策，输出相应的电动助力信号、电动液压助力信号、换向阀控制信号，分别控制助力电机、油泵电机和换向阀的工作，调整电动助力模块和电动液压助力模块参与转向助力的比例。

进一步地，通过驾驶员数据库输入的信号，提取当前驾驶员的转向操作特征，包括转向速率大小、转向时滞大小、转向幅值大小；将提取的特征数据与离线驾驶员数据模型进行对比，选择相似度最高的一种，判定为当前驾驶员的驾驶风格。

进一步地，道路信息数据库接收 GPS 信号，获取车辆实时的位置信息，与离线的道路信息进行对应，获取车辆实时的道路信息，并根据道路信息中的弯道分布、弯道曲率、弯道长度的信息预测车辆转向需求。

本发明的一种汽车电液智能转向系统的多目标优化方法，基于上述系统，包括步骤如下：

步骤 1：初始化电液转向系统参数，并在多学科建模软件 AMESim 中建立电液转向系统仿真模型；

步骤 2：分析电液转向系统的转向能耗、转向路感和回正误差；

步骤 3：分析电液转向系统机械、液压、电子参数之间的耦合关系；

步骤 4：根据上述步骤 2 和步骤 3 的分析结果，选择扭杆刚度 K_s ，小齿轮半径 R_p ，蜗轮蜗杆减速器减速比 G ，活塞横截面积 A_p ，换向阀阀口面积增益 K_a 为设计变量，采用 AMESim 软件的 AMEpilot 模块输出设计变量；

步骤 5：设定目标函数为转向能耗、转向路感、回正误差，约束条件为设计变量取值范围，建立电液转向系统优化模型；

步骤 6：采用基于共享小生境技术的多目标粒子群算法，进行电液转向系统多目标优化求解；

步骤 7：得到优化结果，将优化后的设计变量输入 Amesim 软件，验证优化效果。

进一步地，所述步骤 6 基于共享小生境技术的多目标粒子群算法具体包括：

步骤 61：根据电液转向系统优化模型，建立粒子群模型并进行算法参数定义，采用设计变量初值对粒子群进行初始化；

步骤 62：在给定解空间范围内，初始化粒子群位置、速度信息；

步骤 63：在解空间范围内，更新粒子群位置、速度信息，产生新种群，调整个体历史最优位置；

步骤 64：计算各粒子的适应度值，找出初始全局最优位置，将求出的非劣解加入外部存储集合 A_r 中；

步骤 65：计算各粒子的转向能耗、转向路感、回正误差的目标函数值，并选择各个粒子的全局最优位置，采用擂台赛法选择当前状态下新的非劣解，利用新的非劣解更新外部储存集合 A_r ；

步骤 66：判断外部存储集合 A_r 是否装满，若未装满则调整全局最优位置，若装满则首先执行基于共享机制的小生境维护策略，保证粒子群多样性和均匀性，再调整全局最优位置；

步骤 67：循环步骤 63-66，直到达到最大迭代次数或收敛时停止，输出电液转向系统优化结果。

进一步地，所述步骤 66 的基于共享机制的小生境维护策略，采用共享函数调节小生境个体的适应度，具体步骤如下：

步骤 661: 初始化算法, 建立初始种群, 初始化参数;

步骤 662: 计算个体适应度, 执行遗传算法的选择、交叉、变异等操作;

步骤 663: 计算个体共享度, 并根据个体共享度更新个体的适应度;

步骤 664: 比较子代和父代的适应度大小, 并用适应度较大的子代个体代替父代个体, 产生新种群;

步骤 665: 若满足终止条件, 则退出算法, 完成小生境维护策略, 否则返回 662。

进一步地, 所述步骤 663 中个体共享度的计算公式为:

$$share(d_{ij}) = \begin{cases} 1 & d_{ij} = 0 \\ 1 - \left(\frac{d_{ij}}{\sigma_0}\right)^\lambda & d_{ij} < \sigma_0 \\ 0 & d_{ij} > \sigma_0 \end{cases}$$

式中, $share(d_{ij})$ 为共享度函数, d_{ij} 为海明距离, σ_0 为小生境边界参数, λ 为共享函数形状参数。

进一步地, 所述步骤 63 更新粒子群位置和速度的公式为:

$$\begin{aligned} v_i(t) &= \omega v_i(t-1) + c_1 r_1 (x_{pbest} - x_i) + c_2 r_2 (x_{gbest} - x_i) \\ x_i(t) &= x_i(t-1) + v_i \end{aligned}$$

式中, v_i 表示粒子速度, x_i 表示粒子位置, x_{pbest} 表示粒子的个体历史最优位置, x_{gbest} 表示粒子的全局最优位置, ω 是惯性权重; r_1 和 r_2 是 0 到 1 之间的随机数, c_1 和 c_2 是全局增量控制系数和个体增量控制系数。

本发明的有益效果:

本发明与现有的汽车转向系统相比, 融合电动助力和电动液压助力的优势功能, 能够同时获得较好的经济性、良好的驾驶感觉、充分的转向助力, 并通过电动助力和电动液压助力进行安全性和可靠性的冗余备份, 不仅适用于有驾驶员驾驶的汽车, 也可用于无人驾驶汽车。

本发明考虑了电液转向系统中机械、电子、液压等多学科的耦合关系, 通过参数耦合分析确定关键设计变量, 采用基于共享小生境技术的多目标粒子群算法进行优化, 收敛性较好, 容易得到全局最优从而能够获得良好的整体转向性能。

附图说明

图 1 为本发明汽车电液智能转向系统原理结构框图;

图 2 为本发明方法多目标优化流程图;

图 3 为本发明基于共享小生境技术的多目标粒子群算法流程图;

图 4 为本发明转向路感优化历程图；

图 5 为本发明回正误差优化历程图；

图 6 为本发明转向能耗优化历程图；

图中，1-方向盘，2-扭杆，3-转矩传感器，4-转角传感器，5-下管柱，6-转向小齿轮，7-转向齿条，8-车轮单元，9-位移传感器，10-液压缸，11-活塞，12-换向阀，13-油箱，14-油泵，15-油泵电机，16-主控制器，17-传感器组，18-驾驶员数据库，19-道路信息数据库，20-助力电机，21-蜗轮蜗杆减速器，E-电动液压助力信号，F-电动助力信号，G-换向阀信号。

具体实施方式

为了便于本领域技术人员的理解，下面结合实施例与附图对本发明作进一步的说明，实施方式提及的内容并非对本发明的限定。

参照图 1 所示，本发明的一种汽车电液智能转向系统，包括：机械转向模块、电动助力模块、电动液压助力模块和控制模块；

所述机械转向模块包括依序连接的方向盘 1、扭杆 2、下管柱 5，转向小齿轮 6，转向齿条 7，车轮单元 8；

所述电动助力模块包括助力电机 20 及蜗轮蜗杆减速器 21；助力电机 20 的输出端连接蜗轮蜗杆减速器 21，蜗轮蜗杆减速器作用在扭杆 2 和下管柱 5 之间，将电动助力力矩与驾驶员力矩在下管柱 5 进行叠加；

所述电动液压助力模块包括油箱 13，油泵电机 15，油泵 14，换向阀 12，活塞 11，液压缸 10；活塞位于液压缸内并将其分为左右两侧，液压缸两侧分别与换向阀 12 油路导通；油泵电机 15 输出端连接油泵 14，油泵 14 将液压油从油箱 13 传递至换向阀 12 中，分配至液压缸 10 的两侧；

所述控制模块包括主控制器 16、传感器组 17、驾驶员数据库 18、道路信息数据库 19；

主控制器 16 输入端和所述传感器组 17 电气连接，输出端分别与助力电机 20、油泵电机 15、换向阀 12 电气连接；

传感器组包括转矩传感器 3、转角传感器 4、位移传感器 9、车速传感器、摄像头、GPS 接收机；转角传感器 4 安装在下管柱上，接收下管柱的转角信号；转矩传感器 3 安装在扭杆 2 上，接收驾驶员输入的转矩信号；位移传感器 9 安装在转向齿条 7 末端，接收液压缸 10 输出的位移信号；GPS 接收机、摄像头、车速传感器安装在汽车上；

驾驶员数据库与主控制器电气连接，其用于储存当前汽车驾驶员的驾驶数据及离线方式下载的多种驾驶员数据模型，并通过数据对比，选择与当前驾驶员驾驶风格最接近数据模型，并向主控制器传输；

道路信息数据库与主控制器电气连接，存储通过离线方式下载的道路信息，并连接 GPS

接收机，实时向主控制器传输当前道路信息。

其中，所述液压缸 10 与下管柱 5 的末端固定连接，转向齿条 7 同轴安装在液压缸 10 内侧，且转向齿条 7 位于液压缸 10 内的部分上同轴固定安装活塞。转向齿条轴向向右侧伸出液压缸的部分与转向小齿轮啮合，转向小齿轮将驾驶员力矩和电动助力力矩的合力矩传递至转向齿条并转换为齿条力，齿条力与液压缸两侧的压力差产生的液压助力进行叠加并输出，转向齿条两侧输出端连接车轮单元。

其中，主控制器分别通过传感器组的各个输入信号判断当前车辆状态，通过驾驶员数据库的输入信号判断当前驾驶员的驾驶风格，通过道路信息数据库的输入信号判断当前道路信息并预测转向需求，综合上述信息进行转向决策，输出相应的电动助力信号 F、电动液压助力信号 E、换向阀控制信号 G，分别控制助力电机、油泵电机和换向阀的工作，调整电动助力模块和电动液压助力模块参与转向助力的比例。

通过驾驶员数据库输入的信号，提取当前驾驶员的转向操作特征，包括转向速率大小、转向时滞大小、转向幅值大小；将提取的特征数据与离线驾驶员数据模型进行对比，选择相似度最高的一种，判定为当前驾驶员的驾驶风格。

道路信息数据库接收 GPS 信号，获取车辆实时的位置信息，与离线的道路信息进行对应，获取车辆实时的道路信息，并根据道路信息中的弯道分布、弯道曲率、弯道长度等信息预测车辆转向需求。

参照图 2 所示，本发明的一种汽车电液智能转向系统的多目标优化方法，基于上述系统，包括步骤如下：

步骤 1：初始化电液智能转向系统参数，并在多学科建模软件 AMESim 中建立电液智能转向系统仿真模型；

步骤 2：分析电液智能转向系统的转向能耗、转向路感和回正误差；

步骤 3：分析电液智能转向系统机械、液压、电子参数之间的耦合关系；

步骤 4：根据上述步骤 2 和步骤 3 的分析结果，选择扭杆刚度 K_s ，小齿轮半径 R_p ，蜗轮蜗杆减速器减速比 G ，活塞横截面积 A_p ，换向阀阀口面积增益 K_a 为设计变量，采用 AMESim 软件的 AMEplot 模块输出设计变量；

步骤 5：设定目标函数为转向能耗、转向路感、回正误差，约束条件为设计变量取值范围，建立电液智能转向系统优化模型；

步骤 6：采用基于共享小生境技术的多目标粒子群算法，进行电液智能转向系统多目标优化求解；

步骤 7：得到优化结果，将优化后的设计变量输入 Amesim 软件，验证优化效果。

示例中，设定仿真时间 20 秒，在 3-18 秒内执行连续 3 次相同且方向盘转角为 $\pm 120^\circ$ 的转向操作，其余时间内方向盘没有输入；分析电液智能转向系统的转向能耗、转向路感和回

正误差。其中转向能耗包括 3-18 秒内机械转向模块、电动助力模块、电动液压助力模块的能量损耗，转向路感通过 3-18 秒扭杆作用力的峰值和波动情况衡量，回正误差通过方向盘在第 19 秒的位置进行分析。

分别改变系统中机械、液压、电子参数的取值，判断参数对转向能耗、转向路感和回正误差三个性能的影响，分析电液智能转向系统机械、液压、电子参数之间的耦合关系。

约束条件为设计变量取值范围，如表 1 所示：

表 1

序号	设计变量	初值	取值范围
1	扭杆刚度 K_s	15	3-50
2	小齿轮半径 R_p	7.5	6.5-9.5
3	蜗轮蜗杆减速器减速比 G	18	15-28
4	活塞横截面积 A_p	625	200-900
5	换向阀阀口面积增益 K_a	0.95	0.9-1.1

参照图 3 所示，所述步骤 6 基于共享小生境技术的多目标粒子群算法具体包括：

步骤 61：根据电液智能转向系统优化模型，建立粒子群模型并进行算法参数定义，采用设计变量初值对粒子群进行初始化；

步骤 62：在给定解空间范围内，初始化粒子群位置、速度信息；

步骤 63：在解空间范围内，更新粒子群位置、速度信息，产生新种群，调整个体历史最优位置；

步骤 64：计算各粒子的适应度值，找出初始全局最优位置，将求出的非劣解加入外部存储集合 A_r 中；

步骤 65：计算各粒子的转向能耗、转向路感、回正误差的目标函数值，并选择各个粒子的全局最优位置，采用擂台赛法选择当前状态下新的非劣解，利用新的非劣解更新外部储存集合 A_r ；

步骤 66：判断外部存储集合 A_r 是否装满，若未装满则调整全局最优位置，若装满则首先执行基于共享机制的小生境维护策略，保证粒子群多样性和均匀性，再调整全局最优位置；

步骤 67：循环步骤 63-66，直到达到最大迭代次数或收敛时停止，输出电液智能转向系统优化结果。

示例中，建立粒子群模型并进行算法参数定义，具体定义如表 2 所示：

表 2

序号	算法参数	取值	序号	操作选项	状态
1	最大进化次数	450	9	随机种子值	否
2	粒子数量	100	10	使用固定随机种子	否
3	惯性权重	0.92	11	使用变量 自动比例缩放	否
4	全局增量控制系数	0.90	12	重新执行最佳 优化设计点	是
5	个体增量控制系数	0.88	13	执行平行优化	是
6	最大速度	0.15	14	运行时导入数据	否
7	最大失败次数	10			
8	失败的运行惩罚值	100000			

图 4 显示了转向路感的优化历程，横坐标为进化代数，纵坐标为转向路感的目标值。从图中看出，转向路感的目标值最低约为 0.0111，最高约为 0.0197，在进化代数大于 100 代之后，转向路感在接近 0.00193 附近取值最为密集；

图 5 显示了回正误差的优化历程，横坐标为进化代数，纵坐标为回正误差的目标值。从图中可以看出，从第 1 代进化到 400 代的过程中，回正误差取值在 0.00153 附近的基本保持稳定，最低值约为 0.0017，最高值约为 0.00158，变化趋势较为平缓；

图 6 反映了随着进化代数增加，转向能耗目标值的变化情况。从图中可以看出，在进化代数大于 50 代之后，转向能耗的取值逐渐降低，且稳定在 110 附近的取值点最为密集。

综合图 4-6 可以看出，在优化过程中，转向路感、回正误差和转向能耗的目标值是相互耦合的，且优化的变化趋势基本收敛，各目标值稳定在一定的范围内，能够满足设计需求。

本发明具体应用途径很多，以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以作出若干改进，这些改进也应视为本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种汽车电液智能转向系统，其特征在于，包括：机械转向模块、电动助力模块、电动液压助力模块和控制模块；

所述机械转向模块包括依序连接的方向盘，扭杆，下管柱，转向小齿轮，转向齿条，车轮单元；

所述电动助力模块包括助力电机及蜗轮蜗杆减速器；助力电机的输出端连接蜗轮蜗杆减速器，蜗轮蜗杆减速器作用在扭杆和下管柱之间，将电动助力力矩与驾驶员力矩在下管柱进行叠加；

所述电动液压助力模块包括油箱，油泵电机，油泵，换向阀，活塞，液压缸；活塞位于液压缸内并将其分为左右两侧，液压缸两侧分别与换向阀油路导通；油泵电机输出端连接油泵，油泵将液压油从油箱传递至换向阀中，分配至液压缸的两侧；

所述控制模块包括主控制器、传感器组、驾驶员数据库、道路信息数据库；

主控制器输入端和所述传感器组电气连接，输出端分别与助力电机、油泵电机、换向阀电气连接；

传感器组包括转矩传感器、转角传感器、位移传感器、车速传感器、摄像头、GPS 接收机；转角传感器安装在下管柱上，接收下管柱的转角信号；转矩传感器安装在扭杆上，接收驾驶员输入的转矩信号；位移传感器安装在转向齿条末端，接收液压缸输出的位移信号；GPS 接收机、摄像头、车速传感器安装在汽车上；

驾驶员数据库与主控制器电气连接，其储存当前汽车驾驶员的驾驶数据及离线方式下载的多种驾驶员数据模型，并通过数据对比，选择符合当前驾驶员驾驶风格的数据模型，并向主控制器传输；

道路信息数据库与主控制器电气连接，其存储通过离线方式下载的道路信息，并连接 GPS 接收机，实时向主控制器传输当前道路信息。

2. 根据权利要求 1 所述的汽车电液智能转向系统，其特征在于，所述液压缸与下管柱的末端固定连接，转向齿条同轴安装在液压缸内侧，且转向齿条位于液压缸内的部分上同轴固定安装活塞；转向齿条轴向向右侧伸出液压缸的部分与转向小齿轮啮合，转向小齿轮将驾驶员力矩和电动助力力矩的合力矩传递至转向齿条并转换为齿条力，齿条力与液压缸两侧的压力差产生的液压助力进行叠加并输出，转向齿条两侧输出端连接车轮单元。

3. 根据权利要求 1 所述的汽车电液智能转向系统，其特征在于，所述主控制器分别通过传感器组的各个输入信号判断当前车辆状态，通过驾驶员数据库的输入信号判断当前驾驶员的驾驶风格，通过道路信息数据库的输入信号判断当前道路信息并预测转向需求，综合上述信息进行转向决策，输出相应的电动助力信号、电动液压助力信号、换向阀控制信号，分别控制助力电机、油泵电机和换向阀的工作，调整电动助力模块和电动液压助力模块参与转向助力的比例。

4. 根据权利要求 1 所述的汽车电液智能转向系统，其特征在于，通过驾驶员数据库输入的信号，提取当前驾驶员的转向操作特征，包括转向速率大小、转向时滞大小、转向幅值大小；将提取的特征数据与离线驾驶员数据模型进行对比，选择相似度最高的一种，判定为当前驾驶员的驾驶风格。

5. 根据权利要求 1 所述的汽车电液智能转向系统，其特征在于，道路信息数据库接收 GPS 信号，获取车辆实时的位置信息，与离线的道路信息进行对应，获取车辆实时的道路信息，并根据道路信息中的弯道分布、弯道曲率、弯道长度的信息预测车辆转向需求。

6. 一种汽车电液智能转向系统的多目标优化方法，基于上述权利要求 1 至 5 中任意一项所述的系统，其特征在于，包括步骤如下：

步骤 1：初始化电液智能转向系统参数，并在多学科建模软件 AMESim 中建立电液智能转向系统仿真模型；

步骤 2：分析电液智能转向系统的转向能耗、转向路感和回正误差；

步骤 3：分析电液智能转向系统机械、液压、电子参数之间的耦合关系；

步骤 4：根据上述步骤 2 和步骤 3 的分析结果，选择扭杆刚度 K_s ，小齿轮半径 R_p ，蜗轮蜗杆减速器减速比 G ，活塞横截面积 A_p ，换向阀阀口面积增益 K_a 为设计变量，采用 AMESim 软件的 AMEpilot 模块输出设计变量；

步骤 5：设定目标函数为转向能耗、转向路感、回正误差，约束条件为设计变量取值范围，建立电液智能转向系统优化模型；

步骤 6：采用基于共享小生境技术的多目标粒子群算法，进行电液智能转向系统多目标优化求解；

步骤 7：得到优化结果，将优化后的设计变量输入 Amesim 软件，验证优化效果。

7. 根据权利要求 6 所述的汽车电液智能转向系统的多目标优化方法，其特征在于，所述步骤 6 中基于共享小生境技术的多目标粒子群算法具体包括：

步骤 61：根据电液智能转向系统优化模型，建立粒子群模型并进行算法参数定义，采用设计变量初值对粒子群进行初始化；

步骤 62：在给定解空间范围内，初始化粒子群位置、速度信息；

步骤 63：在解空间范围内，更新粒子群位置、速度信息，产生新种群，调整个体历史最优位置；

步骤 64：计算各粒子的适应度值，找出初始全局最优位置，将求出的非劣解加入外部存储集合 A_r 中；

步骤 65：计算各粒子的转向能耗、转向路感、回正误差的目标函数值，并选择各个粒子的全局最优位置，采用擂台赛法选择当前状态下新的非劣解，利用新的非劣解更新外部储存集合 A_r ；

步骤 66: 判断外部存储集合 Ar 是否装满, 若未装满则调整全局最优位置, 若装满则首先执行基于共享机制的小生境维护策略, 保证粒子群多样性和均匀性, 再调整全局最优位置;

步骤 67: 循环步骤 63-66, 直到达到最大迭代次数或收敛时停止, 输出电液智能转向系统优化结果。

8. 根据权利要求 7 所述的汽车电液智能转向系统的多目标优化方法, 其特征在于, 所述步骤 66 中的基于共享机制的小生境维护策略, 采用共享函数调节小生境个体的适应度, 具体步骤如下:

步骤 661: 初始化算法, 建立初始种群, 初始化参数;

步骤 662: 计算个体适应度, 执行遗传算法的选择、交叉、变异等操作;

步骤 663: 计算个体共享度, 并根据个体共享度更新个体的适应度;

步骤 664: 比较子代和父代的适应度大小, 并用适应度较大的子代个体代替父代个体, 产生新种群;

步骤 665: 若满足终止条件, 则退出算法, 完成小生境维护策略, 否则返回 662。

9. 根据权利要求 8 所述的汽车电液智能转向系统的多目标优化方法, 其特征在于, 所述步骤 663 中个体共享度的计算公式为:

$$share(d_{ij}) = \begin{cases} 1 & d_{ij} = 0 \\ 1 - \left(\frac{d_{ij}}{\sigma_0}\right)^\lambda & d_{ij} < \sigma_0 \\ 0 & d_{ij} > \sigma_0 \end{cases}$$

式中, $share(d_{ij})$ 为共享度函数, d_{ij} 为海明距离, σ_0 为小生境边界参数, λ 为共享函数形状参数。

10. 根据权利要求 7 所述的汽车电液智能转向系统的多目标优化方法, 其特征在于, 所述步骤 63 中的更新粒子群位置和速度的公式为:

$$\begin{aligned} v_i(t) &= \omega v_i(t-1) + c_1 r_1 (x_{pbest} - x_i) + c_2 r_2 (x_{gbest} - x_i) \\ x_i(t) &= x_i(t-1) + v_i \end{aligned}$$

式中, v_i 表示粒子速度, x_i 表示粒子位置, x_{pbest} 表示粒子的个体历史最优位置, x_{gbest} 表示粒子的全局最优位置, ω 是惯性权重; r_1 和 r_2 是 0 到 1 之间的随机数, c_1 和 c_2 是全局增量控制系数和个体增量控制系数。

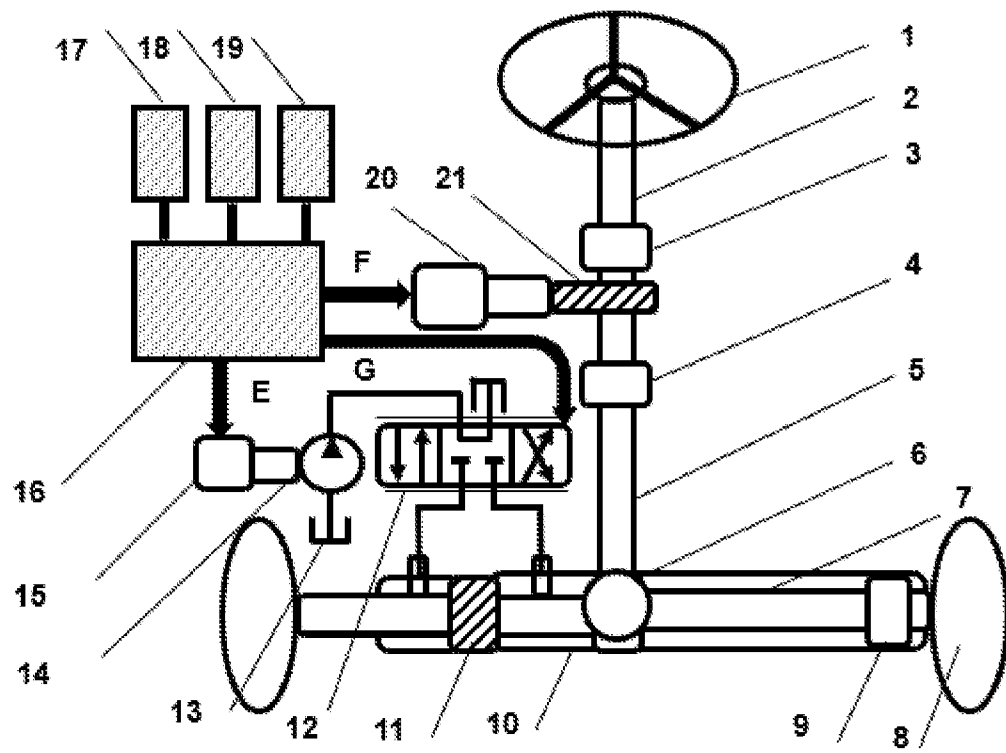


图 1

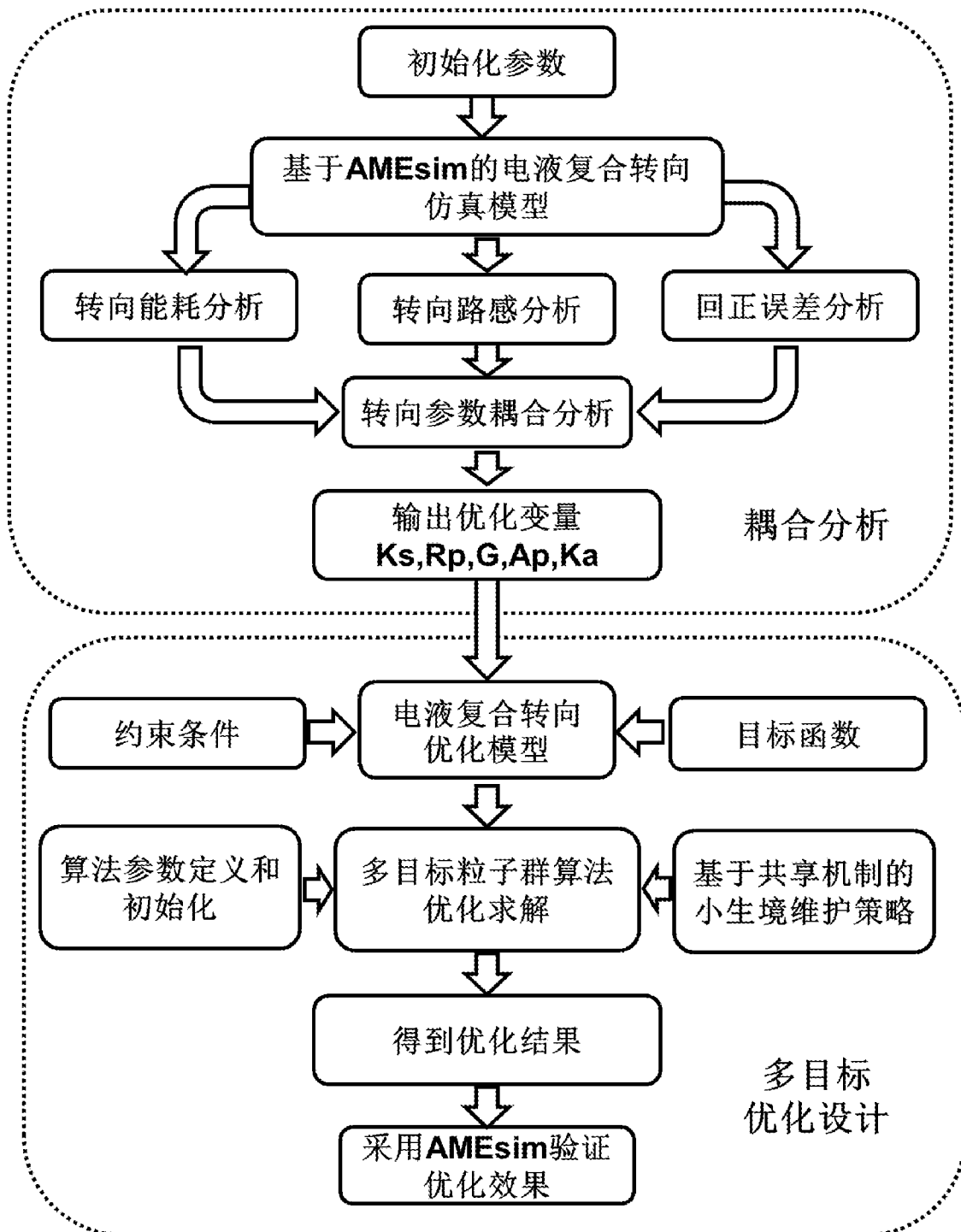


图 2

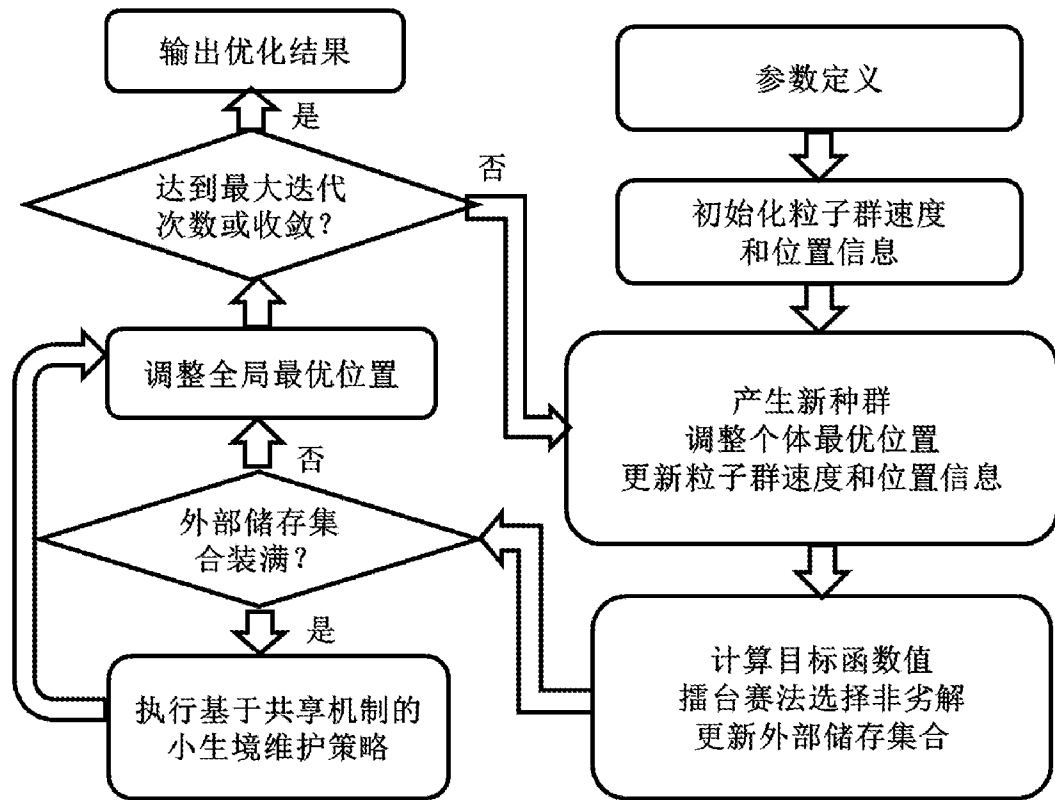


图 3

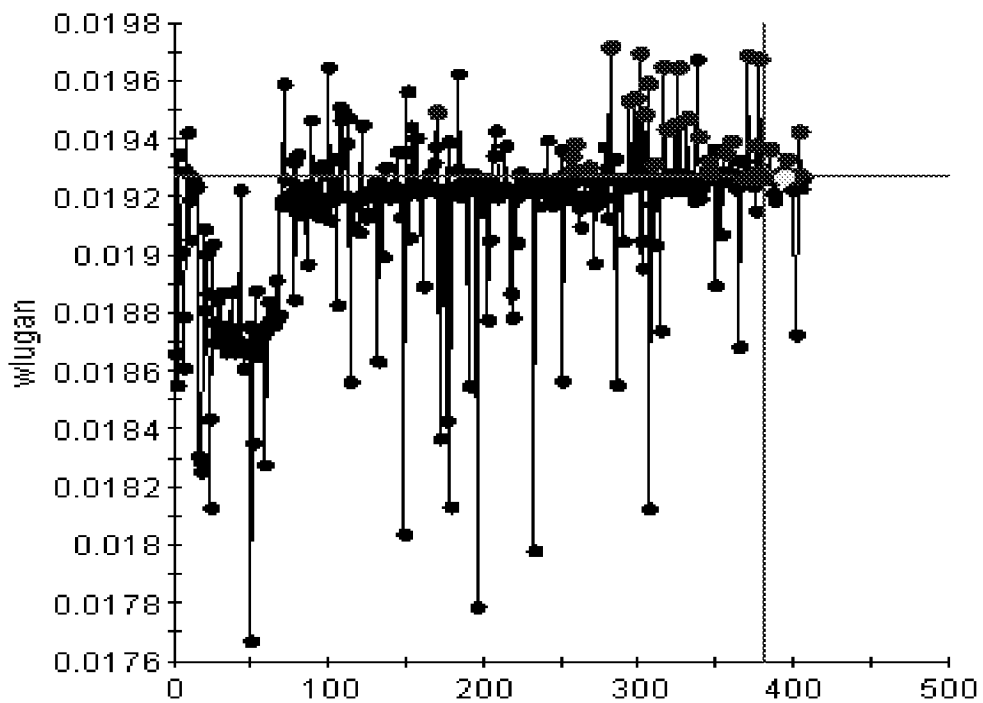


图 4

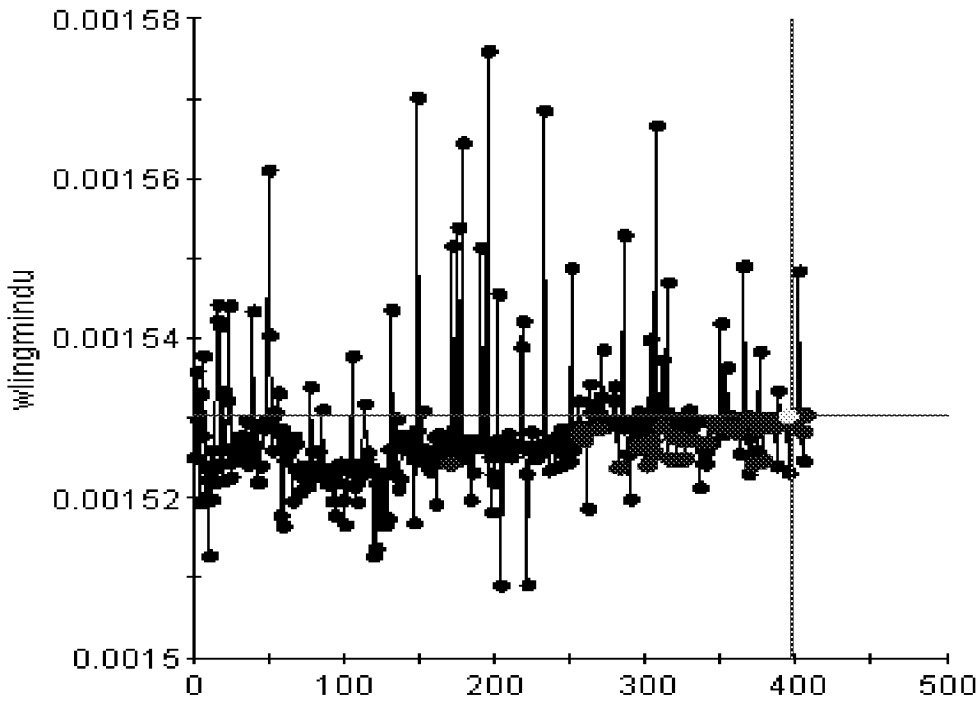


图 5

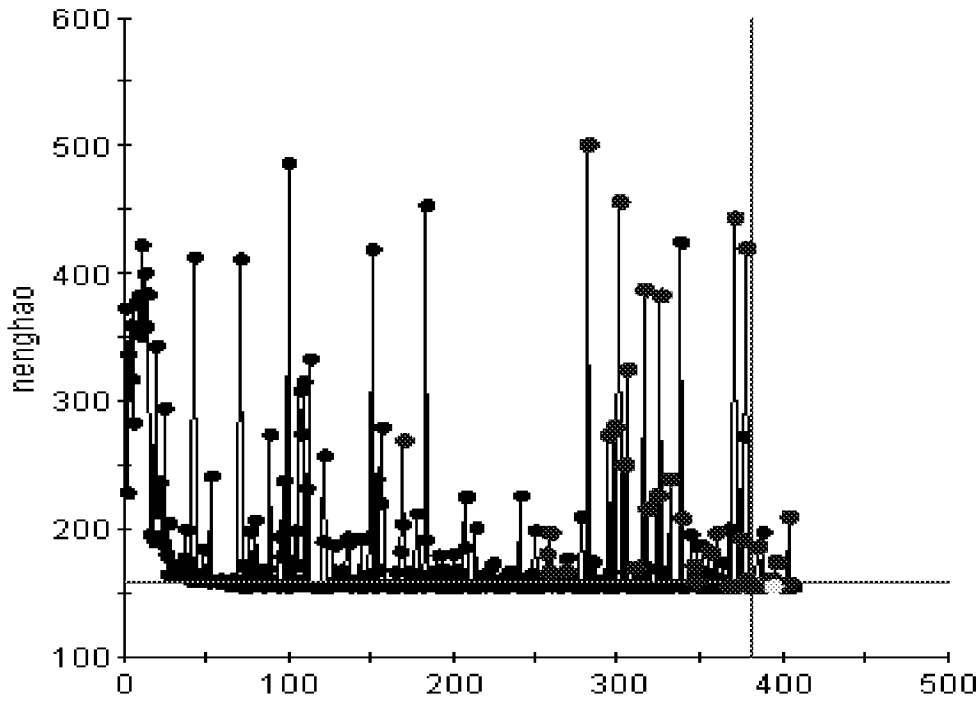


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/116039

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B62D 5/04(2006.01)i; B62D 5/06(2006.01)i; B62D 3/12(2006.01)i; B62D 6/00(2006.01)i; B62D 137/00(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)

B62D

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)

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC: 南京航空航天大学, 周小川, 机械, 电动, 电机, 电动机, 电液, 液压, 油泵, 驾驶员, 风格, 类型, 习惯, 活塞, 换向阀, 优化, 设计变量, 约束, 共享, 小生境, 粒子, 适应度, steering, mechanical, electric, motor, electro-hydraulic, driving, style, piston, valve, optimization, variable, particle, swarm, shared, niche, genetic

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109733466 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 10 May 2019 (2019-05-10) claims 1-10	1-10
Y	CN 101746411 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 23 June 2010 (2010-06-23) description, paragraphs 14-44, and figure 1	1-10
Y	CN 107991864 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS et al.) 04 May 2018 (2018-05-04) description, paragraphs 84-94, and figure 1	1-10
Y	CN 106741137 A (JILIN UNIVERSITY) 31 May 2017 (2017-05-31) description, paragraphs 33-48, and figures 1-4	1-10
Y	CN 107600173 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 19 January 2018 (2018-01-19) description, paragraphs 26-105, and figures 1-3	6-10
A	CN 101710384 A (BEIHANG UNIVERSITY) 19 May 2010 (2010-05-19) entire document	1-10



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

14 January 2020

Date of mailing of the international search report

23 January 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

International application No.

PCT/CN2019/116039**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102759746 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION et al.) 31 October 2012 (2012-10-31) entire document	1-10
A	JP 2018199451 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 20 December 2018 (2018-12-20) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/116039

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109733466	A	10 May 2019	None			
CN	101746411	A	23 June 2010	EP	2199184	A2	23 June 2010
				EP	2199184	B1	15 February 2012
				JP	2010143240	A	01 July 2010
				US	2010147618	A1	17 June 2010
				CN	101746411	B	06 March 2013
CN	107991864	A	04 May 2018	None			
CN	106741137	A	31 May 2017	None			
CN	107600173	A	19 January 2018	None			
CN	101710384	A	19 May 2010	None			
CN	102759746	A	31 October 2012	CN	102759746	B	03 December 2014
JP	2018199451	A	20 December 2018	DE	102018112322	A1	29 November 2018
				US	2018339727	A1	29 November 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/116039

A. 主题的分类 B62D 5/04(2006.01)i; B62D 5/06(2006.01)i; B62D 3/12(2006.01)i; B62D 6/00(2006.01)i; B62D 137/00(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) B62D 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)) CNPAT;CNKI;WPI;EPDOC: 南京航空航天大学, 周小川, 机械, 电动, 电机, 电动机, 电液, 液压, 油泵, 驾驶员, 风格, 类型, 习惯, 活塞, 换向阀, 优化, 设计变量, 约束, 共享, 小生境, 粒子, 适应度, steering, mechanical, electric, motor, electro-hydraulic, driving, style, piston, valve, optimization, variable, particle, swarm, shared, niche, genetic																										
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 109733466 A (南京航空航天大学) 2019年 5月 10日 (2019 - 05 - 10) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 101746411 A (日产自动车株式会社) 2010年 6月 23日 (2010 - 06 - 23) 说明书第14-44段、附图1</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107991864 A (南京航空航天大学 等) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 说明书第84-94段、附图1</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106741137 A (吉林大学) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第33-48段、附图1-4</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107600173 A (南京航空航天大学) 2018年 1月 19日 (2018 - 01 - 19) 说明书第26-105段、附图1-3</td> <td>6-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101710384 A (北京航空航天大学) 2010年 5月 19日 (2010 - 05 - 19) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102759746 A (中国石油天然气集团公司 等) 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31) 全文</td> <td>1-10</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 109733466 A (南京航空航天大学) 2019年 5月 10日 (2019 - 05 - 10) 权利要求1-10	1-10	Y	CN 101746411 A (日产自动车株式会社) 2010年 6月 23日 (2010 - 06 - 23) 说明书第14-44段、附图1	1-10	Y	CN 107991864 A (南京航空航天大学 等) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 说明书第84-94段、附图1	1-10	Y	CN 106741137 A (吉林大学) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第33-48段、附图1-4	1-10	Y	CN 107600173 A (南京航空航天大学) 2018年 1月 19日 (2018 - 01 - 19) 说明书第26-105段、附图1-3	6-10	A	CN 101710384 A (北京航空航天大学) 2010年 5月 19日 (2010 - 05 - 19) 全文	1-10	A	CN 102759746 A (中国石油天然气集团公司 等) 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 109733466 A (南京航空航天大学) 2019年 5月 10日 (2019 - 05 - 10) 权利要求1-10	1-10																								
Y	CN 101746411 A (日产自动车株式会社) 2010年 6月 23日 (2010 - 06 - 23) 说明书第14-44段、附图1	1-10																								
Y	CN 107991864 A (南京航空航天大学 等) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 说明书第84-94段、附图1	1-10																								
Y	CN 106741137 A (吉林大学) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第33-48段、附图1-4	1-10																								
Y	CN 107600173 A (南京航空航天大学) 2018年 1月 19日 (2018 - 01 - 19) 说明书第26-105段、附图1-3	6-10																								
A	CN 101710384 A (北京航空航天大学) 2010年 5月 19日 (2010 - 05 - 19) 全文	1-10																								
A	CN 102759746 A (中国石油天然气集团公司 等) 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31) 全文	1-10																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
* 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 1月 14日		国际检索报告邮寄日期 2020年 1月 23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 杨馥瑞 电话号码 86-10-53960930																								

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	JP 2018199451 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 2018年 12月 20日 (2018 - 12 - 20) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/116039

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	109733466	A	2019年 5月 10日	无	
CN	101746411	A	2010年 6月 23日	EP 2199184 A2	2010年 6月 23日
				EP 2199184 B1	2012年 2月 15日
				JP 2010143240 A	2010年 7月 1日
				US 2010147618 A1	2010年 6月 17日
				CN 101746411 B	2013年 3月 6日
CN	107991864	A	2018年 5月 4日	无	
CN	106741137	A	2017年 5月 31日	无	
CN	107600173	A	2018年 1月 19日	无	
CN	101710384	A	2010年 5月 19日	无	
CN	102759746	A	2012年 10月 31日	CN 102759746 B	2014年 12月 3日
JP	2018199451	A	2018年 12月 20日	DE 102018112322 A1	2018年 11月 29日
				US 2018339727 A1	2018年 11月 29日