



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113448243 A

(43) 申请公布日 2021.09.28

(21) 申请号 202010438526.3

(22) 申请日 2020.05.21

(71) 申请人 南京农业大学

地址 210095 江苏省南京市玄武区卫岗1号

(72) 发明人 卢伟 李家诚 陈浩

(51) Int.Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

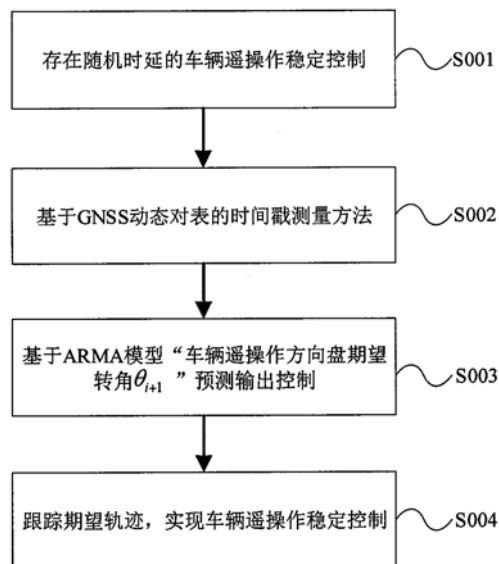
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于时间戳的车辆遥操作时延控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于时间戳的车辆遥操作时延控制方法,属于时延控制技术领域,其特征在于,车辆遥操作主从两端基于GNSS动态对表的时间戳测量方法,消除两端计时模块的时间差,通过发送带有时间戳的控制信息,双端时间对比测量后得到具体的延迟时间,然后基于ARMA模型对车辆遥操作方向盘实测转角 θ_i 的时间序列进行建模,输出下一时刻车辆遥操作方向盘期望转角 θ_{i+1} 的预测值,实现车辆遥操作的可靠控制,本发明对存在随机时延影响的车辆遥操作系统有很好的改善效果,增强了系统的跟踪性和鲁棒性,在遥操作时延控制领域具有很好的应用前景。



1. 一种基于时间戳的车辆遥控操作时延控制方法,其特征为:

步骤1:主端基于GNSS获取卫星时间信息 T_1 ,作为标准时间信息对本地时间进行校准,主端将时间信息 T_1 作为时间戳连同控制报文发送至从端;

步骤2:从端基于GNSS获取卫星时间信息 T_2 ,作为标准时间信息对本地时间进行校准,从端接收控制报文并解析控制报文中的时间戳 T_1 ;

步骤3:计算得到具体的随机延迟时间 $\Delta T = T_2 - T_1$;

步骤4:根据时间戳测量得到的延迟时间 ΔT 及“车辆遥控操作方向盘实测转角” θ_i 的时间序列,进行ARMA模型建模;

步骤5:将“车辆遥控操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$) 和长度为 $q+1$ 的延迟时间序列 $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$) 输入进ARMA模型,ARMA模型预测输出下一时刻 T_{i+1} 的“车辆遥控操作方向盘期望转角” θ_{i+1} ,到电机控制器,由电机控制器驱动转向电机带动转向机构旋转至 θ_{i+1} ;

步骤6:转到步骤1。

2. 权利要求1所述的“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法,其特征在于:

步骤①:主端基于GNSS获取卫星时间信息 T_1 ,作为标准时间信息对本地时间进行校准,并将 T_1 作为时间戳;

步骤②:由主端发送含有时间戳 T_1 的控制报文至从端;

步骤③:经过网络通信传输,从端接收控制报文并解析控制报文中的时间戳 T_1 ;

步骤④:从端基于GNSS获取卫星时间信息 T_2 ,作为标准时间信息对本地时间进行校准;

步骤⑤:计算得到延迟时间 $\Delta T = T_2 - T_1$,后本次时延测量结束,由从端向主端发送已经完成本次时间戳测量的应答报文。

3. 权利要求1所述的,基于ARMA模型的“车辆遥控操作方向盘期望转角” θ_{i+1} 预测输出控制,其特征为:

选取“车辆遥控操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$),输入至基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器,“车辆遥控操作方向盘期望转角” θ_{i+1} 表示为,

$$\theta_{i+1} = \beta_1 \theta_i + \beta_2 \theta_{i-1} + \beta_3 \theta_{i-2} + \dots + \beta_p \theta_{i-p} + Z_t \quad (1)$$

其中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p$ 为自回归模型的参数, Z_t 为由遥控操作网络通讯时延误差,

$$Z_t = \Delta T_i - \alpha_1 \Delta T_{i-1} - \alpha_2 \Delta T_{i-2} - \dots - \alpha_q \Delta T_{i-q} \quad (2)$$

其中, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q$ 为滑动平均模型的参数, $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$) 是根据“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法计算的长度为 $q+1$ 的延迟时间序列,

基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器,其按照以下公式,

$$\theta_{i+1} = \beta_1 \theta_i + \beta_2 \theta_{i-1} + \beta_3 \theta_{i-2} + \dots + \beta_p \theta_{i-p} + \Delta T_i - \alpha_1 \Delta T_{i-1} - \alpha_2 \Delta T_{i-2} - \dots - \alpha_q \Delta T_{i-q} \quad (3)$$

4. 权利要求1所述的,基于ARMA模型的“车辆遥控操作方向盘期望转角” θ_{i+1} 预测输出控制,其步骤为:

步骤①:将“车辆遥控操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$) 和根据“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法计算的长度为 $q+1$ 的延迟时间序列 $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$),输入至基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器;

步骤②: ARMA模型的模式识别通过自相关函数 (ACF) 和偏自相关函数 (PACF) 确定, 其中, 自相关函数 (ACF) 体现的自相关程度由自相关系数 γ_p 度量, 可表示为,

$$\gamma_p = \frac{\sum_{i=1}^{n-p} (\theta_i - \bar{\theta})(\theta_{i+p} - \bar{\theta})}{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (4)$$

其中, n 为样本量, p 为滞后期, $\bar{\theta}$ 代表样本数据的算数平均值, 当 $|\gamma_p|$ 越接近 1, 自相关程度越高;

偏自相关函数 (PACF) 体现的“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 及“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_{i-1} 之间相关程度用偏自相关系数 φ_{pp} 度量, 可表示为,

$$\varphi_{pp} = \begin{cases} \gamma_1(p=1) \\ \frac{\gamma_p - \sum_{j=1}^{p-1} \varphi_{p-1,j} \cdot \gamma_{p-j}}{1 - \sum_{j=1}^{p-1} \varphi_{p-1,j} \cdot \gamma_j} (p=2, 3, \dots, n) \end{cases} \quad (5)$$

其中, γ_p 为滞后 p 期的自相关系数, 且 $\varphi_{pj} = \varphi_{p-1,j} - \varphi_{pp} \varphi_{p-1,p-j} (j=1, 2, \dots, p-1)$;

步骤③: 通过 AIC 准则对建立的模型进行定阶;

其中 AIC 准则可表示为,

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (6)$$

其中, k 为模型参数个数, L 为似然函数, 选取 AIC 最小值的模型作为最优模型;

步骤④: 对拟合的 ARMA 模型进行适应性检验, 通过判断 ARMA 模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 构成的统计量 $Q(m)$ 是否服从自由度为 m 的卡方分布确定, $Q(m)$ 表示为,

$$Q(m) = T(T+2) \sum_{i=1}^m \frac{\rho_i}{T-i} \quad (7)$$

其中, T 为样本容量, m 为选定参数, ρ_i 是 i 阶滞后的自相关系数;

若 $Q(m)$ 服从自由度为 m 的卡方分布, 则 ARMA 模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 是白噪声序列, 表示该拟合模型能够提取观察值序列中几乎所有的样本信息, 进行步骤⑤, 否则, ARMA 模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 为非白噪声序列时, 表明残差序列中残留相关信息未被提取, 需重新选择模型, 返回步骤②;

步骤⑤: 最后, 由 ARMA 模型预测输出下一时刻 T_{i+1} 的“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} , 到电机控制器, 由电机控制器驱动转向电机带动转向机构旋转至 θ_{i+1} 。

一种基于时间戳的车辆遥操作时延控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种时延控制方法,尤其是一种基于时间戳的车辆遥操作时延控制方法,属于通讯时延控制领域。

背景技术

[0002] 车辆遥操作是一种远程驾驶控制技术,由操作者、主端控制器、通讯环节、从端驾驶机器人和工作环境组成。由于遥操作系统的独特优势,该技术已广泛应用于航空航天、卫星遥感遥测、深海探测以及核能开发等恶劣作业环境或远程控制领域。

[0003] 在当前的遥操作技术研究中,如应用于航天探月的遥操作使用专门无线电通道,具有较强的专一性且成本极高,是一种以牺牲时间为代价获取高可靠性的控制方法。应用于医疗领域的遥操作通过医疗设备专用网络进行通讯,是一种以高成本为代价解决时间同步问题的技术。不幸的是,这些方法均无法用于普遍的车辆遥操作领域。在实际车辆应用中,既对成本敏感又要求驾驶车辆的高可靠性。而且基于无线网络通讯易受到风雨、雷电等气象条件影响,特别是在雷雨季节气象环境多变,容易造成网络通讯中的时间延迟,且这种延迟是随机的,由此造成的控制信号正反馈,易对车辆的远程可靠操控产生影响。

[0004] 目前,国内外还未公开将“基于GNSS动态对表的时间戳测量方法”和“基于ARMA模型的时间序列预测”相结合应用于车辆遥操作上,但对遥操作时延控制方法已有众多研究。已经公开的遥操作时延控制方法主要有几种:(1)波变量。中国专利201510793832.8“一种基于波变量的定时延遥操作控制方法”通过前、后向通道波变量补偿和能量整定,改善存在时延的遥操作系统稳定性,但因其方法过于保守,不能保证系统的操作性和透明性。(2)力觉临场感。美国专利9776325“具有通信时延的遥操作控制方法”通过建立传感环境的三维模型结合触觉装置提供力反馈,增强操作者沉浸感,但不能从根本上改善系统的时延影响。(3)时延补偿。中国专利201610887383.8“一种遥操作机械臂系统的时延控制方法”利用遥操作系统的线性化模型设计状态观测器,根据状态反馈控制律进行时延补偿,但对于未知、时变、非线性的环境模型,难以设计出相应的控制观测器。(4)预测控制。中国专利201910939886.9“一种空间遥操作中基于实时重建模型的预测显示方法”利用三维重构和虚拟力觉渲染技术,对主从端之间的力觉预测显示,解决空间遥操作中的时延及未知环境的影响,但对非线性不确定的网络通信遥操作模型,控制效果不理想。(5)变结构控制器。中国专利201510498123.7“一种变时延双人遥操作变结构控制器的设计方法”利用对误差求积分的方法设计滑模控制器,可忽略时延的具体数值,具有很好的鲁棒性,但会随着时延的加大,系统稳定性逐渐降低。

发明内容

[0005] 为了克服现有技术的缺陷,本发明提出一种基于时间戳的车辆遥操作时延控制方法,来降低随机时延对车辆遥操作系统的影响,提高控制系统的稳定性和鲁棒性。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 本发明所述的一种时延控制方法：

[0008] 步骤1：主端基于GNSS获取卫星时间信息 T_1 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准，主端将时间信息 T_1 作为时间戳连同控制报文发送至从端；

[0009] 步骤2：从端基于GNSS获取卫星时间信息 T_2 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准，从端接收控制报文并解析控制报文中的时间戳 T_1 ；

[0010] 步骤3：计算得到具体的随机延迟时间 $\Delta T = T_2 - T_1$ ；

[0011] 步骤4：根据时间戳测量得到的延迟时间 ΔT 及“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 的时间序列，进行ARMA模型建模；

[0012] 步骤5：将“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$) 和长度为 $q+1$ 的延迟时间序列 $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$) 输入进 ARMA模型，ARMA模型预测输出下一时刻 T_{i+1} 的“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} ，到电机控制器，由电机控制器驱动转向电机带动转向机构旋转至 θ_{i+1} ；

[0013] 步骤6：转到步骤1。

[0014] 本发明所述的“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法，其特征在于：

[0015] 步骤①：主端基于GNSS获取卫星时间信息 T_1 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准，并将 T_1 作为时间戳；

[0016] 步骤②：由主端发送含有时间戳 T_1 的控制报文至从端；

[0017] 步骤③：经过网络通信传输，从端接收控制报文并解析控制报文中的时间戳 T_1 ；

[0018] 步骤④：从端基于GNSS获取卫星时间信息 T_2 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准；

[0019] 步骤⑤：计算得到延迟时间 $\Delta T = T_2 - T_1$ ，后本次时延测量结束，由从端向主端发送已经完成本次时间戳测量的应答报文。

[0020] 本发明所述的，基于ARMA模型的“车辆遥操作方向盘期望转角 θ_{i+1} ”预测输出控制，其特征为：

[0021] 选取“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$)，输入至基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器，“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} 表示为，

$$[0022] \quad \theta_{i+1} = \beta_1 \theta_i + \beta_2 \theta_{i-1} + \beta_3 \theta_{i-2} + \dots + \beta_p \theta_{i-p} + Z_t \quad (1)$$

[0023] 其中， $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p$ 为自回归模型的参数， Z_t 为由遥操作网络通讯时延误差，

$$[0024] \quad Z_t = \Delta T_i - \alpha_1 \Delta T_{i-1} - \alpha_2 \Delta T_{i-2} - \dots - \alpha_q \Delta T_{i-q} \quad (2)$$

[0025] 其中， $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q$ 为滑动平均模型的参数， $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$) 是根据“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法计算的长度为 $q+1$ 的延迟时间序列；

[0026] 基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器，其按照以下公式，

$$[0027] \quad \theta_{i+1} = \beta_1 \theta_i + \beta_2 \theta_{i-1} + \beta_3 \theta_{i-2} + \dots + \beta_p \theta_{i-p} + \Delta T_i - \alpha_1 \Delta T_{i-1} - \alpha_2 \Delta T_{i-2} - \dots - \alpha_q \Delta T_{i-q} \quad (3)$$

[0028] 本发明所述的，基于ARMA模型的“车辆遥操作方向盘期望转角 θ_{i+1} ”预测输出控制，其步骤为：

[0029] 步骤①：将“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$) 和根据“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法计算的长度为 $q+1$ 的延迟时间序列 $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$)，输入至基于ARMA模型的车辆方

向期望转角预测器；

[0030] 步骤②:ARMA模型的模式识别通过自相关函数(ACF)和偏自相关函数(PACF)确定,其中,自相关函数(ACF)体现的自相关程度由自相关系数 γ_p 度量,可表示为,

$$[0031] \quad \gamma_p = \frac{\sum_{i=1}^{n-p} (\theta_i - \bar{\theta})(\theta_{i+p} - \bar{\theta})}{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (4)$$

[0032] 其中,n为样本量,p为滞后期, $\bar{\theta}$ 代表样本数据的算数平均值,当 $|\gamma_p|$ 越接近1,自相关程度越高;

[0033] 偏自相关函数(PACF)体现的“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 及“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_{i-1} 之间相关程度用偏自相关系数 φ_{pp} 度量,可表示为,

$$[0034] \quad \varphi_{pp} = \begin{cases} \gamma_1(p=1) \\ \frac{\gamma_p - \sum_{j=1}^{p-1} \varphi_{p-1,j} \cdot \gamma_{p-j}}{1 - \sum_{j=1}^{p-1} \varphi_{p-1,j} \cdot \gamma_j} (p=2,3,\dots,n) \end{cases} \quad (5)$$

[0035] 其中, γ_p 为滞后p期的自相关系数,且 $\varphi_{pj} = \varphi_{p-1,j} - \varphi_{pp}\varphi_{p-1,p-j} (j=1,2,\dots,p-1)$;

[0036] 步骤③:通过AIC准则对建立的模型进行定阶;

[0037] 其中AIC准则可表示为,

$$[0038] \quad AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (6)$$

[0039] 其中,k为模型参数个数,L为似然函数,选取AIC最小值的模型作为最优模型;

[0040] 步骤④:对拟合的ARMA模型进行适应性检验,通过判断ARMA模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 构成的统计量Q(m)是否服从自由度为m的卡方分布确定,Q(m)表示为,

$$[0041] \quad Q(m) = T(T+2) \sum_{i=1}^m \frac{\rho_i}{T-i} \quad (7)$$

[0042] 其中,T为样本容量,m为选定参数, ρ_i 是i阶滞后的自相关系数;

[0043] 若Q(m)服从自由度为m的卡方分布,则ARMA模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 是白噪声序列,表示该拟合模型能够提取观察值序列中几乎所有的样本信息,进行步骤⑤,否则,ARMA模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 为非白噪声序列时,表明残差序列中残留相关信息未被提取,需重新选择模型,返回步骤②;

[0044] 步骤⑤:最后,由ARMA模型预测输出下一时刻 T_{i+1} 的“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} ,到电机控制器,由电机控制器驱动转向电机带动转向机构旋转至 θ_{i+1} 。

[0045] 本发明与现有技术相比,其显著优点:

[0046] (1) 本发明针对网络通讯延迟的随机性和不确定性,采用“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法,消除了两端计时模块的时间差,并通过两端时间对比测量得到具体的延迟时间,为系统ARMA模型准确的预测输出提供了有效数据支撑。

[0047] (2) 本发明所采用的“基于ARMA模型预测输出方法”建模方便,模型简单,只需要内生变量而无需其他外生变量,且相较于其他时间序列预测模型,ARMA模型存在较为精准的谱估计和优良的谱分辨率性能,可有效改善通讯时延对车辆遥操作系统稳定性的影响。

附图说明

- [0048] 图1是本发明提供的时延测量及控制方法总体流程示意图。
 [0049] 图2是本发明提供的时延测量方法工作过程示意图。
 [0050] 图3是本发明提供的时延测量方法流程示意图。
 [0051] 图4是本发明一个实施例的ARMA模型预测结构框图。
 [0052] 图5是本发明一个实施例的ARMA模型建模步骤流程图。

具体实施方式

- [0053] 现结合实施例对本发明做进一步描述：
- [0054] 实施例1
- [0055] 参见图1，本发明具体包括步骤如下：
- [0056] 步骤1：主端基于GNSS获取卫星时间信息 T_1 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准，主端将时间信息 T_1 作为时间戳连同控制报文发送至从端；
- [0057] 步骤2：从端基于GNSS获取卫星时间信息 T_2 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准，从端接收控制报文并解析控制报文中的时间戳 T_1 ；
- [0058] 步骤3：计算得到具体的随机延迟时间 $\Delta T = T_2 - T_1$ ；
- [0059] 步骤4：根据时间戳测量得到的延迟时间 ΔT 及“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 的时间序列，进行ARMA模型建模；
- [0060] 步骤5：将“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$) 和长度为 $q+1$ 的延迟时间序列 $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$) 输入进 ARMA模型，ARMA模型预测输出下一时刻 T_{i+1} 的“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} ，到电机控制器，由电机控制器驱动转向电机带动转向机构旋转至 θ_{i+1} ；
- [0061] 步骤6：转到步骤1。
- [0062] 实施例2
- [0063] 参见图2和图3，本发明中，“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法，其特征在于：
- [0064] 步骤①：主端基于GNSS获取卫星时间信息 T_1 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准，并将 T_1 作为时间戳；
- [0065] 步骤②：由主端发送含有时间戳 T_1 的控制报文至从端；
- [0066] 步骤③：经过网络通信传输，从端接收控制报文并解析控制报文中的时间戳 T_1 ；
- [0067] 步骤④：从端基于GNSS获取卫星时间信息 T_2 ，作为标准时间信息对本地时间进行校准；
- [0068] 步骤⑤：计算得到延迟时间 $\Delta T = T_2 - T_1$ ，后本次时延测量结束，由从端向主端发送已经完成本次时间戳测量的应答报文。
- [0069] 实施例3
- [0070] 参见图4，本发明中，基于ARMA模型的“车辆遥操作方向盘期望转角 θ_{i+1} ”预测输出控制，其特征为：
- [0071] 选取“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$)，输入至基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器，“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} 表示为，

[0072] $\theta_{i+1} = \beta_1 \theta_i + \beta_2 \theta_{i-1} + \beta_3 \theta_{i-2} + \cdots + \beta_p \theta_{i-p} + Z_t \quad (1)$

[0073] 其中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \cdots, \beta_p$ 为自回归模型的参数, Z_t 为由遥操作网络通讯时延误差,

[0074] $Z_t = \Delta T_i - \alpha_1 \Delta T_{i-1} - \alpha_2 \Delta T_{i-2} - \cdots - \alpha_q \Delta T_{i-q} \quad (2)$

[0075] 其中, $\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_q$ 为滑动平均模型的参数, $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$) 是根据“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法计算的长度为 $q+1$ 的延迟时间序列;

[0076] 基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器,其按照以下公式,

[0077] $\theta_{i+1} = \beta_1 \theta_i + \beta_2 \theta_{i-1} + \beta_3 \theta_{i-2} + \cdots + \beta_p \theta_{i-p} + \Delta T_i - \alpha_1 \Delta T_{i-1} - \alpha_2 \Delta T_{i-2} - \cdots - \alpha_q \Delta T_{i-q} \quad (3)$

[0078] 实施例4

[0079] 参见图5,本发明中,基于ARMA模型的“车辆遥操作方向盘期望转角 θ_{i+1} ”预测输出控制,其步骤为:

[0080] 步骤①:将“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 长度为 $p+1$ 的时间序列 $\{\theta_i, \theta_{i-1}, \theta_{i-2}, \dots, \theta_{i-p}\}$ ($i-p > 0$) 和根据“基于GNSS动态对表的时间戳测量”方法计算的长度为 $q+1$ 的延迟时间序列 $\{\Delta T_i, \Delta T_{i-1}, \Delta T_{i-2}, \dots, \Delta T_{i-q}\}$ ($i-q > 0$), 输入至基于ARMA模型的车辆方向期望转角预测器;

[0081] 步骤②:ARMA模型的模式识别通过自相关函数 (ACF) 和偏自相关函数 (PACF) 确定, 其中, 自相关函数 (ACF) 体现的自相关程度由自相关系数 γ_p 度量, 可表示为,

[0082]
$$\gamma_p = \frac{\sum_{i=1}^{n-p} (\theta_i - \bar{\theta})(\theta_{i+p} - \bar{\theta})}{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (4)$$

[0083] 其中, n 为样本量, p 为滞后期, $\bar{\theta}$ 代表样本数据的算数平均值, 当 $|\gamma_p|$ 越接近1, 自相关程度越高;

[0084] 偏自相关函数 (PACF) 体现的“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_i 及“车辆遥操作方向盘实测转角” θ_{i-1} 之间相关程度用偏自相关系数 φ_{pp} 度量, 可表示为,

[0085]
$$\varphi_{pp} = \begin{cases} \gamma_1(p=1) \\ \frac{\gamma_p - \sum_{j=1}^{p-1} \varphi_{p-1,j} \cdot \gamma_{p-j}}{1 - \sum_{j=1}^{p-1} \varphi_{p-1,j} \cdot \gamma_j} (p=2, 3, \dots, n) \end{cases} \quad (5)$$

[0086] 其中, γ_p 为滞后 p 期的自相关系数, 且 $\varphi_{pj} = \varphi_{p-1,j} - \varphi_{pp} \varphi_{p-1,p-j}$ ($j=1, 2, \dots, p-1$);

[0087] 步骤③:通过AIC准则对建立的模型进行定阶;

[0088] 其中AIC准则可表示为,

[0089] $AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (6)$

[0090] 其中, k 为模型参数个数, L 为似然函数, 选取AIC最小值的模型作为最优模型;

[0091] 步骤④:对拟合的ARMA模型进行适应性检验, 通过判断ARMA模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 构成的统计量 $Q(m)$ 是否服从自由度为 m 的卡方分布确定, $Q(m)$ 表示为,

[0092]
$$Q(m) = T(T+2) \sum_{i=1}^m \frac{\rho_i}{T-i} \quad (7)$$

[0093] 其中, T 为样本容量, m 为选定参数, ρ_i 是 i 阶滞后的自相关系数;

[0094] 若 $Q(m)$ 服从自由度为 m 的卡方分布,则ARMA模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 是白噪声序列,表示该拟合模型能够提取观察值序列中几乎所有的样本信息,进行步骤⑤,否则,ARMA模型的残差序列 $\{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_t, \dots\}$ 为非白噪声序列时,表明残差序列中残留相关信息未被提取,需重新选择模型,返回步骤②;

[0095] 步骤⑤:最后,由ARMA模型预测输出下一时刻 T_{i+1} 的“车辆遥操作方向盘期望转角” θ_{i+1} ,到电机控制器,由电机控制器驱动转向电机带动转向机构旋转至 θ_{i+1} 。

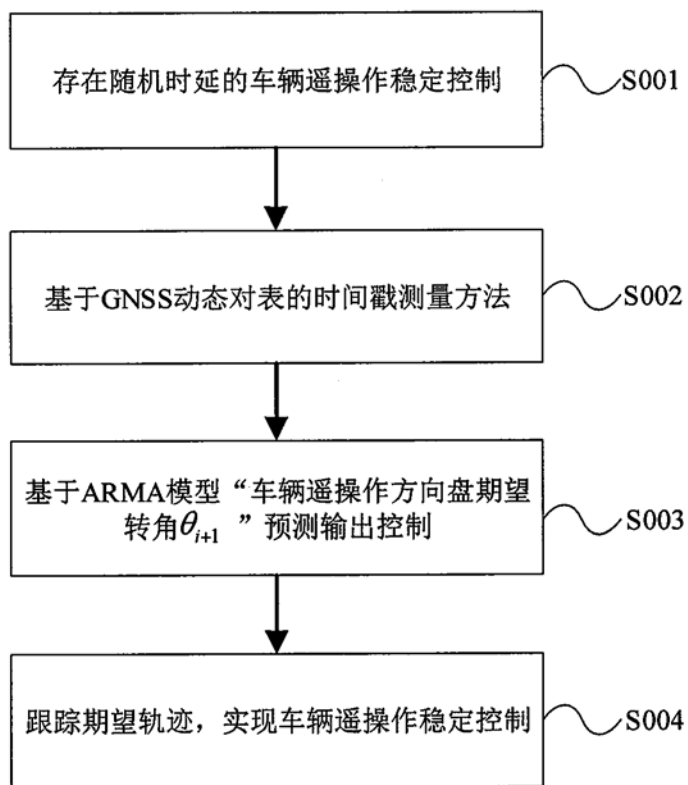


图1

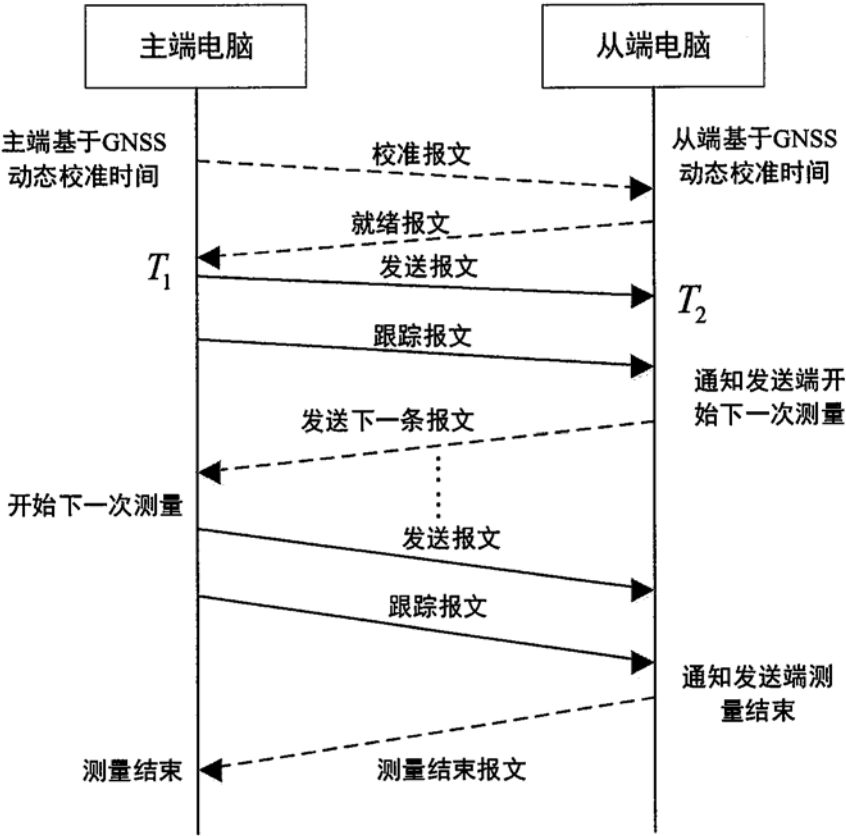


图2

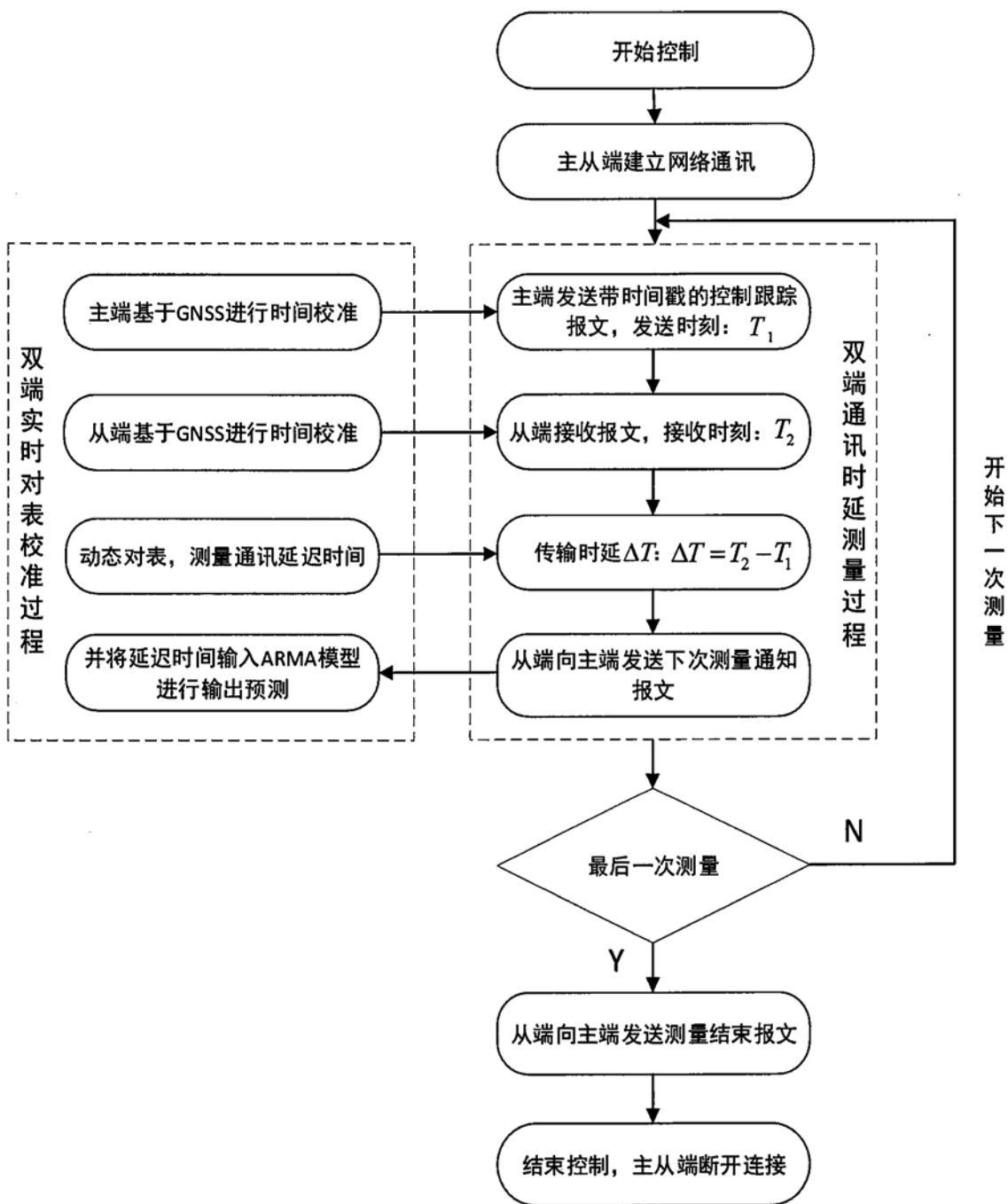


图3

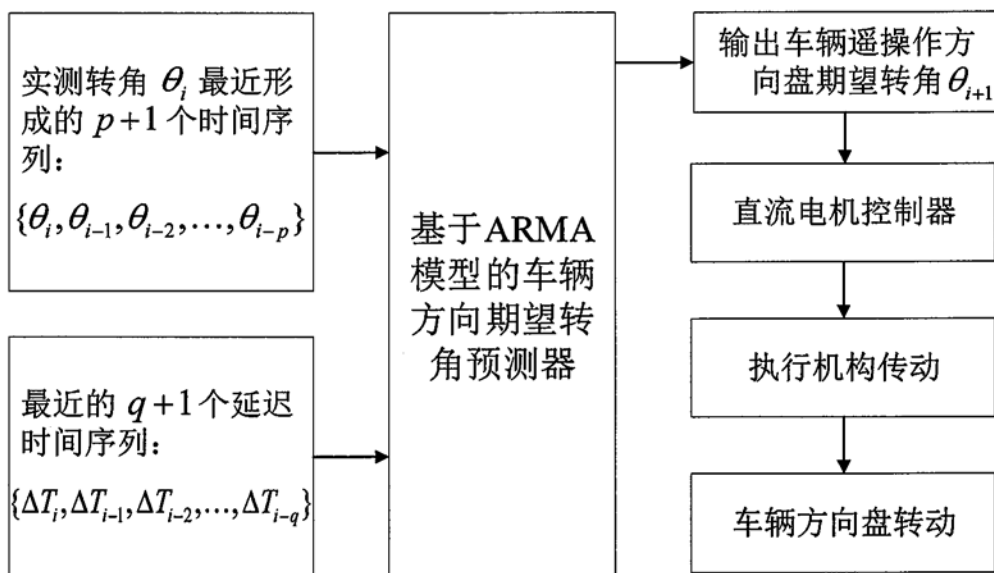


图4

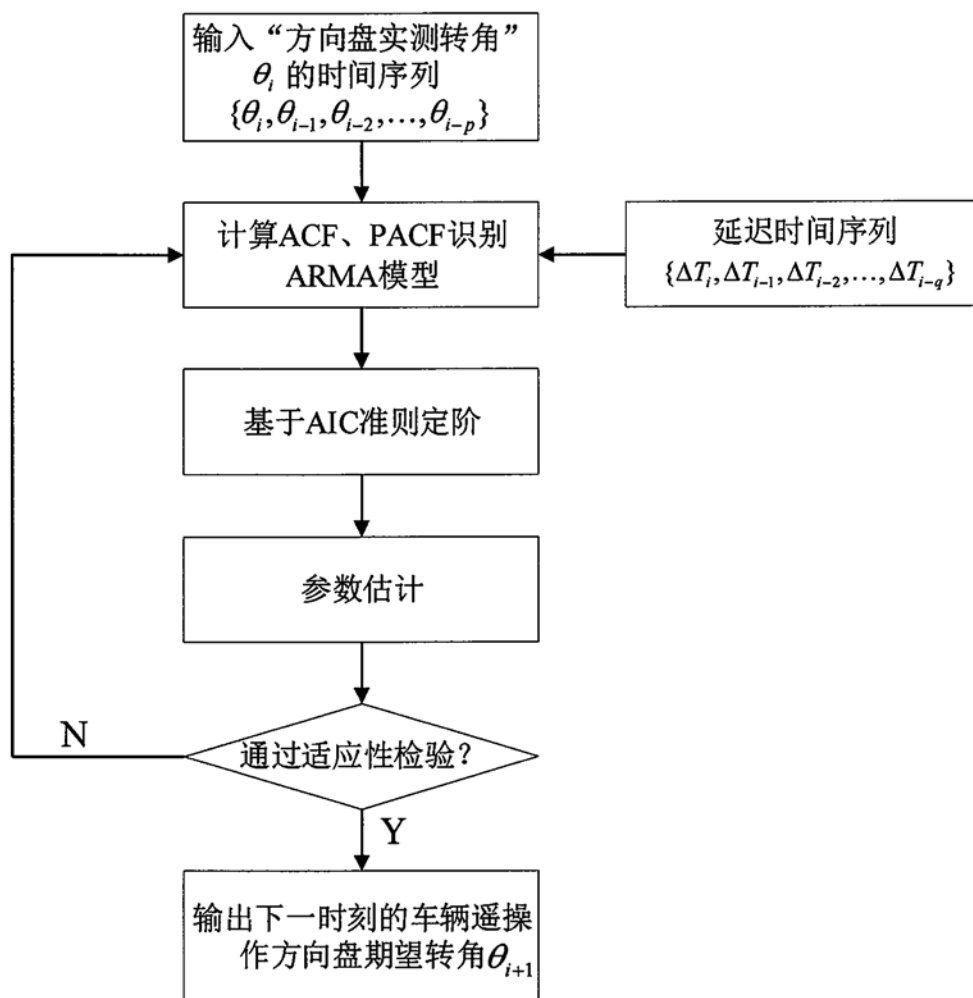


图5