



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104015190 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201410200850. 6

CN 102682100 A, 2012. 09. 19,

(22) 申请日 2014. 05. 13

CN 101995296 A, 2011. 03. 30,

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

US 2013/0120253 A1, 2013. 05. 16,

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

US 2010/0094462 A1, 2010. 04. 15,

赵猛, 张珩. 不确定大时延下遥操作对象模型的在线修正方法. 《系统仿真学报》. 2007, 第 19 卷 (第 19 期), 4473-4476.

(72) 发明人 张珩 李文皓 马欢

审查员 范建会

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所 (普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

B25J 9/16(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1743144 A, 2006. 03. 08,

CN 1876502 A, 2006. 12. 13,

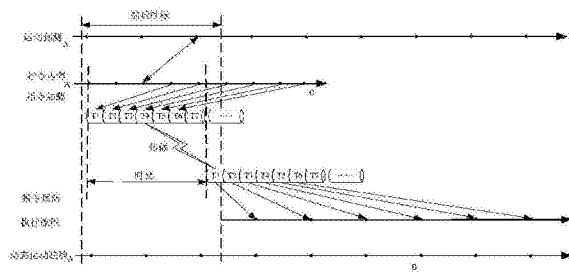
权利要求书3页 说明书11页 附图11页

(54) 发明名称

一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法和系统

(57) 摘要

本发明公开一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法和系统, 其中, 所述方法包括: 遥操作系统在待发出的指令中加入上行邮戳信息, 将指令发送至空间机器人; 所述上行邮戳信息包括指令的序列信息和期望执行时间; 其中, 所述期望执行时间与对应的指令发出时刻的时间差为滞后时标, 所述滞后时标大于预测上行时延值; 所述空间机器人接收到遥操作系统发出的指令序列时, 根据指令中的序列信息对所接收到的指令序列顺序整理, 并将指令中的期望执行时间与当前时标对比, 按顺序执行未过时的指令。本发明解决了现场机器人在有不确定上行时延环境下, 对指令的误解读问题, 提高安全性; 同时解决不确定上行时延环境对远方操作端对现场状态预报的问题。



1. 一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法,包括:

遥操作系统在待发出的指令中加入上行邮戳信息,将指令发送至空间机器人;所述上行邮戳信息包括指令的序列信息和期望执行时间;

所述空间机器人接收遥操作系统发出的指令序列时,根据指令中的序列信息对所接收到的指令序列顺序整理,并将指令中的期望执行时间与当前时标进行对比,按顺序执行未过时的指令。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

所述期望执行时间与对应的指令发出时刻的时间差为滞后时标,所述滞后时标大于预测上行时延值。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,

所述遥操作系统在发出指令前,按滞后时标预测所述空间机器人在指令期望执行时刻的状态,所发出的指令从滞后时标所对应的预测状态开始对所述空间机器人进行控制,以避免发出过多的无效指令。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

所述空间机器人在返回的下行实测信息中加入下行邮戳信息,发送至遥操作系统;所述下行邮戳信息包括对应的下行实测信息发出时刻;

所述遥操作系统接收所述空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,按照基于邮签准则的模型参数在线修正方法消除时延影响。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,

所述遥操作系统接收所述空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,按照基于邮签准则的模型参数在线修正方法消除时延影响的步骤包括:

步骤 1,接收实测信息 $Y(tR_n|*)$;

步骤 2,按时签 $(tR_n|*)$ 匹配原则在预测仿真信息 $\bar{Y}(tR_n|*)$ 和输入信息 $U(tR_n|*)$ 中搜索并构成样本点 $\{Y(tR_n|*), \bar{Y}(tR_n|*), U(tR_n|*)\}$;

步骤 3,实时计算预测误差 $\bar{e}(tR_n|*) = \|Y(tR_n|*) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$,当 $\bar{e}(tR_n|*) > E$ 时,建立同态模型 \tilde{G} 并将其反演至 tR_n 时刻,并转入步骤 4;当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) > E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 5;当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) \leq E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 7;

步骤 4,将 $\bar{e}(tR_n|t)$ 及样本点 $\{Y(tR_n-h|t), \bar{Y}(tR_n-h|t), U(tR_n-h|t)\}$ 代入下式对 $\tilde{A}(tR_n)$ 进行修正,然后返回步骤 1 进行滚动修正;

$$\tilde{A}(tR_n) = \tilde{A}(tR_{n-1}) + \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h) \cdot \bar{e}(tR_n|t)$$

$$P(tR_n) = P(tR_{n-1}) - \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h) \cdot X^T(tR_n-h) \cdot P(tR_{n-1})$$

$$\gamma(tR_n) = 1/[1 + X^T(tR_n-h) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h)]$$

其中: $X(tR_n-h) = [\bar{Y}(tR_n-h), U(tR_n-h)]^T$;

步骤 5,将 $Y(tR_n|t)$ 作为初值代入同态模型 \tilde{G} 中,并由当前的修正时刻 tB ($tB = tR_n$) 加速至当前预测时刻 tF ($tF = t$),得到 $\tilde{Y}(tF|tF)$ 和 $\tilde{A}(tB)$;

步骤 6,更新模型 $\begin{cases} \bar{A}(tF) = \check{A}(tB) \\ \bar{Y}(tF|tF) = \check{Y}(tF|tF) \end{cases}$,并释放同态模型 \check{G} ,完成在线修正;

步骤 7,返回步骤 1 或结束;

其中, $(tR_n|*)$ 表示第 t_n 时刻所接收到的实测信息的时签, E 表示预设的期望的修正精度, $\check{A}(tR_n)$ 表示在修正算法中不断动态滚动迭代计算的预测模型的参数。

6. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,

所述遥操作系统接收所述空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,若实测样本数据不充分,按照基于邮签准则的模型参数在线修正方法消除时延影响的步骤包括:

步骤 1,接收实测信息 $Y(tR_n|*)$;

步骤 2,按时标 $(tR_n|*)$ 匹配原则在预测仿真信息 $\bar{Y}(tR_n|*)$ 和输入信息 $U(tR_n|*)$ 中搜索并构成样本点 $\{Y(tR_n|*), \bar{Y}(tR_n|*), U(tR_n|*)\}$;

步骤 3,实时计算预测误差 $\bar{e}(tR_n|*) = \|Y(tR_n|*) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$,当 $\bar{e}(tR_n|*) > E$ 时,建立同态模型 \check{G} 并将其反演至 tR_n 时刻,并转入步骤 4;当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) > E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 6;当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) \leq E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 8;

步骤 4,将 $Y(tR_{n-1}|*)$ 代入平滑器中,得 $\check{Y}(tR_n - h|*)$ 和 $\check{Y}(tR_n|*)$;

步骤 5,计算 \check{G} 的误差 $\check{e}(tR_n|t) = \|\check{Y}(tR_n|t) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$,当 $\check{e}(tR_n|t) \leq E$ 时,转入步骤 6;否则将 $\check{e}(tR_n|t)$ 及样本点 $\{\check{Y}(tR_n - h|t), \bar{Y}(tR_n - h|t), U(tR_n - h|t)\}$ 代入下式对 $\check{A}(tR_n)$ 进行修正,然后返回步骤 1 进行滚动修正;

$$\check{A}(tR_n) = \check{A}(tR_{n-1}) + \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h) \cdot \check{e}(tR_n|t)$$

$$P(tR_n) = P(tR_{n-1}) - \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h) \cdot X^T(tR_n - h) \cdot P(tR_{n-1})$$

$$\gamma(tR_n) = 1 / [1 + X^T(tR_n - h) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h)]$$

其中: $X(tR_n - h) = [\check{Y}(tR_n - h), U(tR_n - h)]^T$;

步骤 6,将 $Y(tR_n|t)$ 作为初值代入同态模型 \check{G} 中,并由当前的修正时刻 tB ($tB = tR_n$) 加速至当前预测时刻 tF ($tF = t$),得到 $\check{Y}(tF|tF)$ 和 $\check{A}(tB)$;

步骤 7,更新模型 $\begin{cases} \bar{A}(tF) = \check{A}(tB) \\ \bar{Y}(tF|tF) = \check{Y}(tF|tF) \end{cases}$,并释放同态模型,完成在线修正;

步骤 8,返回步骤 1 或结束;

其中, $(tR_n|*)$ 表示第 t_n 时刻所接收到的实测信息的时签, E 表示预设的期望的修正精度, $\check{A}(tR_n)$ 表示在修正算法中不断动态滚动迭代计算的预测模型的参数。

7. 一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制系统,其特征在于,包括遥操作系统和空间机器人,

所述遥操作系统用于在待发出的指令中加入上行邮戳信息,将指令发送至所述空间机

器人；所述上行邮戳信息包括指令的序列信息和期望执行时间；

所述空间机器人用于接收遥操作系统发出的指令序列时，根据指令中的序列信息对所接收到的指令序列顺序整理，并将指令中的期望执行时间与当前时标进行对比，按顺序执行未过时的指令。

8. 如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，

所述期望执行时间与对应的指令发出时刻的时间差为滞后时标，所述滞后时标大于预测上行时延值。

9. 如权利要求 7 或 8 所述的系统，其特征在于，

所述遥操作系统进一步用于，在发出指令前，按滞后时标预测所述空间机器人在指令期望执行时刻的状态，所发出的指令从滞后时标所对应的预测状态开始对所述空间机器人进行控制，以避免发出过多的无效指令。

10. 如权利要求 7 或 8 所述的系统，其特征在于，

所述空间机器人进一步用于，在返回的下行实测信息中加入下行邮戳信息，发送至所述遥操作系统；所述下行邮戳信息包括对应的下行实测信息发出时刻；

所述遥操作系统进一步用于，接收所述空间机器人返回的下行实测信息，根据其中的下行邮戳信息，按照基于邮签准则的模型参数在线修正方法消除时延影响。

一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及机器人领域,特别涉及一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法和系统。

背景技术

[0002] 人类通过远程控制机器人执行危险任务或恶劣环境下的人物是当前机器人发展的重要方向,远程操作与现场操作的一个重要问题就是时间延迟问题。

[0003] 时延按照时延值的大小可以分为短时延和长时延。短时延一般不大于 1 秒,如微波数据收发、编解码、内部节点间的数据传递、分布式基站间的转发和数据再处理等。长时延则从几秒到十几秒甚至几十秒不等,例如月球与地球之间信号延迟达 3 秒,采用声纳通讯的水下机器人系统的通讯时延可高达几十秒。

[0004] 按时延值的变化与否可将时延分为定时延和变时延。定时延一般为由于物理原因(如空间跨度、传输/处理介质、速度差)等不可抗因素在传输、处理过程中引起的信息时间延迟;变时延一般为由于传输、交互策略等因素引起的延迟,理论上优化的可能,实际中受技术水平的限制。时延按照产生原因,可分为固定时延 T_c 、执行时延 T_p 、数据时延 T_d 和扰动时延 T_r 。

[0005] 1) 固定时延 T_c :该时延表示传输数据包在没有其他干扰的情况下,经由通讯介质从数据源端到目的端所需的时间,包括通讯初始化时间和在介质中的传输时间。信号通过传输介质在两地间的物理传输时间随着网络节点间的物理距离的增大而增大。在遥操作中,如果远端执行机构工作地点固定、通讯方式固定,则其 T_c 为恒值;如果远端执行机构是移动的(地面、太空或水下),但运动速度较慢,也可认为 T_c 为恒值。随着移动执行机构运动速度的加快,就需视为 T_c 变化条件下的遥操作。

[0006] 2) 执行时延 T_p :包括控制指令的解释、计算、执行时间,现场图像的处理时间及仿真图像的运行时间等。 T_p 与现场系统的软件、硬件、运行策略以及具体任务相关,一般情况下 T_p 变化很小。

[0007] 3) 数据时延 T_d : $T_d = (D_s + D_r) / V$ 。 D_s 、 D_r 是发送回收的数据总量, V 是传输速率,与传输介质有关。这一项的存在表明数据传输量和带宽对远程作业非常重要。减少传输量固然能减小时延,但远端所获取的现场信息就可能不足。高效的数据压缩技术和良好的通讯通道有助于解决这一矛盾。

[0008] 4) 扰动时延 T_r :主要指传输中不可预测的扰动,如信息丢失或信息次序的混乱,受网络环境不确定性的限制,干扰必定存在,而且随时间的变化而变化。

[0009] 如图 1 所示,在无时延条件下,对于典型的某闭环回路,其相角裕度为 γ 。当回路存有时延 $e^{-s\tau}$ 时,其相角裕度变化成为: $\gamma - 57.3^\circ \times \tau$ 。显然,随着时延值 τ 的增加,回路的相角裕度迅速下降。控制器的加入可在一定程度上弥补降低的相角裕度,如微分项“D”可以提供 90° 左右相角,双微分项(“D×D”)可提供 180° 左右的相角。但当时延值超过 10s 后,经典的控制方法已不能适用,需要更多的相角补偿策略。

[0010] 如图 2 所示,将控制器与被控对象构成无时延小回路,是将时延环境排斥在控制回路外,有效保证控制稳定性的一个基本方法。此时,时延影响仅作用于指令生成和发出端,对大回路的影响是破坏了指令产生的连续性,控制效果体现为“走—停—走”,指令生成的间隔需超过大回路中的时延值。

[0011] 时延对系统的一个主要影响是操作者无法实时看到当前现场的视频图像,从而获得实时的视觉反馈。时延使得遥操作者发送操作指令若干时间后,才能通过延迟的视屏获得反馈,使得操作过程失去与操作指令相匹配的因果关系,给操作者造成很大的心里负担。为了获得匹配的操作因果关系,操作者不得不等待远端执行机构完成指定的动作后再发布下一步的运动指令,因而效率很低。

[0012] 早期采用机械联动的操作系统具有力反馈功能,而力反馈可以有效地提高遥操作的效率和操作质量,特别是机器人末端与环境存在约束时,力反馈带来的优势更加明显。因此,人们同样希望现代的遥操作系统具有力反馈功能,有学者利用双边力反馈控制来开展远程操作,使从手能跟踪主手的运动,同时能将末端的力反馈到主手上,实现对主手和从手的力和运动进行同时控制,给操作者提供实时的力反馈信息。然而,时延环节加入对力觉反馈带来严重影响,因为力觉反馈是速度反馈对时间的微分、是位置反馈对时间的双重微分,基于力觉反馈的控制,即使只有很小的时延,也极易导致控制系统不稳定。

[0013] 遥操作系统作为人机协作系统,既要充分发挥远端执行机构代替人处理远程任务的优势,同时由于远端环境的复杂性和不可预知性,又要利用人的智能处理不可预知的外界因素所产生的随机事件进行决策和规划,实现安全可靠的作业。由于时延的存在,操作者对远端环境的感知是滞后于当前时刻 T_0 的,在滞后的时间段内,远程工作环境可能已经发生了变化,而操作者基于 T_0 时刻的反馈信息所作的决策可能有误,造成遥操作指令失效,严重的情况下甚至导致不可逆损失。

[0014] 一方面,时延的存在使现场的各种信息到达操作端时已是几秒种前的信息,从而使操作者不能及时、准确地感知远端环境当前的信息;另一方面,操作者基于这些信息发出的控制命令传送到远端时同样也被延时,而此时机器人和环境状态又发生了新的变化,这些过时的控制命令极易导致控制系统的不稳定。因此,时延的存在不仅影响了操作者对远端环境的正确感知,而且更重要的是可能导致系统的不稳定,从而严重地降低了系统的操作性。

[0015] 现有技术中,消除时延影响的处理思路通常为如下几种:

[0016] 1、预先编号确定的指令,机器人按预先设定程序执行;

[0017] 2、预先设计简单的任务处理方法,机器人按程序自主执行;

[0018] 3、执行一段,停止一段,再执行;

[0019] 4、引入预测机制,消除时延影响。

[0020] 显然,方法 1 和 2 主要是靠预先设定,对于复杂情况的处理难以覆盖,方法 3 执行的连续性较差,方法 4 多依赖于预测的准确性。

发明内容

[0021] 本发明要解决的技术问题就是克服现有技术的缺陷,提出一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法和系统,以避免由于时延而导致的各种问题。

[0022] 为了解决上述问题,本发明提供一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法,包括:

[0023] 遥操作系统在待发出的指令中加入上行邮戳信息,将指令发送至空间机器人;所述上行邮戳信息包括指令的序列信息和期望执行时间;

[0024] 所述空间机器人接收遥操作系统发出的指令序列时,根据指令中的序列信息对所接收到的指令序列顺序整理,并将指令中的期望执行时间与当前时标进行对比,按顺序执行未过时的指令。

[0025] 优选地,所述期望执行时间与对应的指令发出时刻的时间差为滞后时标,所述滞后时标大于预测上行时延值。

[0026] 优选地,所述遥操作系统在发出指令前,按滞后时标预测所述空间机器人在指令期望执行时刻的状态,所发出的指令从滞后时标所对应的预测状态开始对所述空间机器人进行控制,以避免发出过多的无效指令。

[0027] 优选地,所述方法还包括:

[0028] 所述空间机器人在返回的下行实测信息中加入下行邮戳信息,发送至遥操作系统;所述下行邮戳信息包括对应的下行实测信息发出时刻;

[0029] 所述遥操作系统接收所述空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,按照 SBOMM(Stamp-Based Online Modify Method,基于邮签准则的模型参数在线修正方法)方法消除时延影响。

[0030] 优选地,所述遥操作系统接收所述空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,按照 SBOMM 方法消除时延影响的步骤包括:

[0031] 步骤 1,接收实测信息 $Y(tR_n|*)$;

[0032] 步骤 2,按时签 $(tR_n|*)$ 匹配原则在预测仿真信息 $\bar{Y}(tR_n|*)$ 和输入信息 $U(tR_n|*)$ 中搜索并构成样本点 $\{Y(tR_n|*), \bar{Y}(tR_n|*), U(tR_n|*)\}$;

[0033] 步骤 3,实时计算预测误差 $\bar{e}(tR_n|*) = \|Y(tR_n|*) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$, 当 $\bar{e}(tR_n|*) > E$ 时,建立同态模型 \tilde{G} 并将其反演至 tR_n 时刻,并转入步骤 4; 当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) > E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 5; 当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) \leq E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 7;

[0034] 步骤 4, 将 $\bar{e}(tR_n|t)$ 及样本点 $\{Y(tR_n-h|t), \bar{Y}(tR_n-h|t), U(tR_n-h|t)\}$ 代入下式对 $\tilde{A}(tR_n)$ 进行修正, 然后返回步骤 1 进行滚动修正;

[0035]

$$\tilde{A}(tR_n) = \tilde{A}(tR_{n-1}) + \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h) \cdot \bar{e}(tR_n|t)$$

[0036] $P(tR_n) = P(tR_{n-1}) - \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h) \cdot X^T(tR_n-h) \cdot P(tR_{n-1})$

[0037] $\gamma(tR_n) = 1/[1+X^T(tR_n-h) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h)]$

[0038] 其中: $X(tR_n-h) = [\bar{Y}(tR_n-h), U(tR_n-h)]^T$;

[0039] 步骤 5, 将 $Y(tR_n|t)$ 作为初值代入同态模型 \tilde{G} 中, 并由当前的修正时刻 tB ($tB = tR_n$) 加速至当前预测时刻 tF ($tF = t$), 得到 $\tilde{Y}(tF|tF)$ 和 $\tilde{A}(tB)$;

[0040] 步骤 6,更新模型 $\begin{cases} \bar{A}(tF) = \bar{A}(tB) \\ \bar{Y}(tF|tF) = \bar{Y}(tF|tF) \end{cases}$,并释放同态模型 \bar{G} ,完成在线修正;

[0041] 步骤 7,返回步骤 1 或结束。

[0042] 优选地,所述遥操作系统接收空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,若实测样本数据不充分时,按照 SBOMM 方法消除时延影响的步骤包括:

[0043] 步骤 1,接收实测信息 $Y(tR_n|*)$;

[0044] 步骤 2,按时标 $(tR_n|*)$ 匹配原则在预测仿真信息 $\bar{Y}(tR_n|*)$ 和输入信息 $U(tR_n|*)$ 中搜索并构成样本点 $\{Y(tR_n|*), \bar{Y}(tR_n|*), U(tR_n|*)\}$;

[0045] 步骤 3,实时计算预测误差 $\bar{e}(tR_n|*) = \|Y(tR_n|*) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$,当 $\bar{e}(tR_n|*) > E$ 时,建立同态模型 \bar{G} 并将其反演至 tR_n 时刻,并转入步骤 4;当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) > E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 6;当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) \leq E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入步骤 8;

[0046] 步骤 4,将 $Y(tR_{n-1}|*)$ 代入平滑器中,得 $\bar{Y}(tR_n-h|*)$ 和 $\bar{Y}(tR_n|*)$;

[0047] 步骤 5,计算 \bar{G} 的误差 $\bar{e}(tR_n|t) = \|\bar{Y}(tR_n|t) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$,当 $\bar{e}(tR_n|t) \leq E$ 时,转入步骤 6;否则将 $\bar{e}(tR_n|t)$ 及样本点 $\{\bar{Y}(tR_n-h|t), \bar{Y}(tR_n-h|t), U(tR_n-h|t)\}$ 代入下式对 $A(tR_n)$ 进行修正,然后返回步骤 1 进行滚动修正;

[0048]

$$\bar{A}(tR_n) = \bar{A}(tR_{n-1}) + \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h) \cdot \bar{e}(tR_n|t)$$

[0049] $P(tR_n) = P(tR_{n-1}) - \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h) \cdot X^T(tR_n-h) \cdot P(tR_{n-1})$

[0050] $\gamma(tR_n) = 1/[1+X^T(tR_n-h) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n-h)]$

[0051] 其中: $X(tR_n-h) = [\bar{Y}(tR_n-h), U(tR_n-h)]^T$;

[0052] 步骤 6,将 $Y(tR_n|t)$ 作为初值代入同态模型 \bar{G} 中,并由当前的修正时刻 $tB(tB = tR_n)$ 加速至当前预测时刻 $tF(tF = t)$,得到 $\bar{Y}(tF|tF)$ 和 $\bar{A}(tB)$;

[0053] 步骤 7,更新模型 $\begin{cases} \bar{A}(tF) = \bar{A}(tB) \\ \bar{Y}(tF|tF) = \bar{Y}(tF|tF) \end{cases}$,并释放同态模型,完成在线修正;

[0054] 步骤 8,返回步骤 1 或结束。

[0055] 为了解决上述问题,本发明提供一种不确定双向时延条件下的机器人远程控制系统,包括遥操作系统和空间机器人,

[0056] 所述遥操作系统用于在待发出的指令中加入上行邮戳信息,将指令发送至空间机器人;所述上行邮戳信息包括指令的序列信息和期望执行时间;

[0057] 所述空间机器人用于接收到遥操作系统发出的指令序列时,根据指令中的序列信息对所接收到的指令序列顺序整理,并将指令中的期望执行时间与当前时标对比,按顺序执行未过时的指令。

[0058] 优选地,其中,所述期望执行时间与对应的指令发出时刻的时间差为滞后时标,所

述滞后时标大于预测上行时延值。

[0059] 优选地,所述遥操作系统进一步用于,在发出指令前,按滞后时标预测所述空间机器人在指令期望执行时刻的状态,所发出的指令从滞后时标所对应的预测状态开始对所述空间机器人进行控制,以避免发出过多的无效指令。

[0060] 优选地,所述空间机器人进一步用于,在返回的下行实测信息中加入下行邮戳信息,发送至遥操作系统;所述下行邮戳信息包括对应的下行实测信息发出时刻;

[0061] 所述遥操作系统进一步用于,接收所述空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,按照 SBOMM 方法消除时延影响。

[0062] 本发明与现有技术相比,具有如下优越的技术效果:

[0063] 1、遥操作系统在指令上行前打上“邮戳”,空间机器人在接收遥操作系统指令序列同时,根据“邮戳”内的序列顺序整理并顺序执行,这样可避免上行时延的第一个影响:错配造成的机器人运动抖动问题;

[0064] 2、在“邮戳”里包含该指令的期望执行时间,空间机器人接收指令后,跟实际时标对比,可删除因大时延环境引起的“过时”指令,避免“急停”、“急转”的情况;

[0065] 3、引入“滞后时标”概念,即发出指令内的“期望执行时间”与对应指令发出时刻的时间差大于上行时延值,这样,将掩盖由于上行时延造成的输入指令不同步问题,同时也将不确定执行时延变为确定时延;

[0066] 4、对于运动状态下的空间机器人,遥操作系统在发出指令前,先按滞后时标预测空间机器人在其指令期望执行时刻的状态,然后将发出的指令从滞后时标所对应的预测状态开始,以避免发出过多的无效指令,增强了遥操作系统对空间机器人的操作效率。

附图说明

[0067] 图 1 为时延对闭环控制回路的相角裕度影响的示意图;

[0068] 图 2 为时延对闭环控制回路的控制连续性影响的示意图;

[0069] 图 3 为上行指令时延造成的指令时间与次序错配影响的示意图;

[0070] 图 4 为行指令时延造成的指令内容与运动冲突影响的示意图;

[0071] 图 5 为本发明实施例的指令“邮戳”防止指令序列错配示意图;

[0072] 图 6 为本发明实施例的指令“邮戳”消除过时指令示意图;

[0073] 图 7 为本发明实施例的“滞后时标”保证指令执行同步示意图;

[0074] 图 8 为本发明实施例的在线预测输出指令示意图;

[0075] 图 9 为遥操作模型在线修正方法原理图;

[0076] 图 10 为本发明实施例的 SBOMM 在线修正过程示意图;

[0077] 图 11 为本发明实施例的基于邮签准则的模型参数在线修正方法流程图;

[0078] 图 12 为本发明实施例的基于邮签准则预测过程异步问题解决示意图;

[0079] 图 13 为线性插值平滑示意图;

[0080] 图 14 为抛物线插值平滑示意图;

[0081] 图 15 为本发明实施例的基于模型的数据积分平滑示意图;

[0082] 图 16 为单向递推修正方法示意图;

[0083] 图 17 为本发明实施例的嵌套式递推修正方法示意图;

[0084] 图 18 为本发明实施例的采用同态模型平滑并配合邮签准则的模型参数在线修正方法流程图。

具体实施方式

[0085] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0086] 本发明针对双向时延条件下的远程操控问题,以预测思路为基础,提出一种机器人远程控制方法和系统。

[0087] 对于确定的时延,有不少方法均可以准确修正参数并预测当前状态,对于不确定时延,有学者提出了基于“时间戳”的方法,将不确定时延获知,并用于状态修正,但是当存在双向不确定时延时,该方法会失效。

[0088] 遥操作指令的上行时延和遥测信息的下行时延产生原因一样,都是由于数据中转、处理和天地传输距离而客观存在的。在诸多文献中,往往将上行时延并入遥操作任务的大时延环节,将其与下行时延一并处理,当隔时重装初值等离线式输入输出修正时,将上行时延视为整个大时延环境的一部分统一处理并无不妥,但当以人在回路为主进行连续操作时,遥操作指令的上行时延就必须与遥测信息的下行时延分别对待。

[0089] 上行时延和下行时延对遥操作任务影响不同,遥操作指令上行时延将导致遥操作人员的操作意图不能得到迅速反应,遥测信息下行时延使得空间机器人响应不能及时传达至操作员。虽然对操作员而言,其感觉都是空间机器人反应“滞后”,但机理不同。如果仅存在遥操作指令上行延时,操作员可即时获取当前工作状态,在此情况下,操作员不会因感知混乱而误操作,但在发现问题后的干预处理将滞后;如果仅存在遥测数据下行延时,操作员感知现场状态滞后,但在预计问题发生时的干预处理可即时完成。

[0090] 可以看出,由于上行指令时延的存在,真实被控对象前增加了滞后环节,这将带来以下几个问题:

[0091] 1、指令时间与次序错配:当被控对象处于静态或者稳态情况下,当滞后环节的滞后效果恒定时(即上行时延值恒定),被控对象可按控制顺序由静态到动态顺序执行。但若滞后环节的滞后效果变化时,由操作员发出的指令序列到达的先后次序有可能打乱,这将使得空间机器人执行过程发生震颤、抖动、降低平滑效果甚至损坏,如图 3 所示。

[0092] 2、指令内容与运动状态冲突:当被控对象处于动态或运动情况下,由于滞后环节的滞后效果,将可能使得操作员发送的操作指令在到达现场空间机器人时刻变得不适应和不适用,成为“过时型”指令或者“冲突型”指令,降低操作员的操作效果,甚至造成机器人的往复运动、急停、急转等情况,如图 4 所示。

[0093] 3、预测异步:在不能准确预知指令执行的时刻的条件下,地面遥操作系统所建对象模型激励时刻会与空间对象的实际受激励时刻有时间差,这会导致空间对象的运行状态的预测会与现实运行状态存在异步。

[0094] 4、在线模型修正匹配失效:在线模型修正利用实测的输入输出数据,对已建立的预测模型参数进行校正,最终在相同的输入激励条件下使预测模型的输出以一定的误差限度逼近真实系统的输出,达到修正目的。未知上行时延时,观测的输出无法与对应的输入激励匹配。对于在线修正,匹配失效不仅会增加修正误差,还有可能因误差积累导致修正发

散。

[0095] 在本发明实施例中,不确定双向时延条件下的机器人远程控制方法,包括如下步骤:

[0096] 1、遥操作系统在待发出的指令中加入上行邮戳信息,将指令上行发送至空间机器人;所述上行邮戳信息包括指令的序列信息和期望执行时间;

[0097] 2、所述空间机器人接收到遥操作系统发出的指令序列时,根据指令中的序列信息对所接收到的指令序列顺序整理,并将指令中的期望执行时间与当前时标对比,按顺序执行未过时的指令。

[0098] 其中,空间机器人根据上行邮戳信息内的序列顺序整理并顺序执行,可避免上行时延的第一个影响:错配造成的机器人运动抖动问题,如图5所示。

[0099] 在上行邮戳信息里包含该指令的期望执行时间,空间机器人接收指令后,跟实际时标对比,可删除因大时延环境引起的“过时”指令,避免“急停”、“急转”,如图6所示。

[0100] 对于修正中的输入指令异步问题,下行时延中用邮签准则将数据整理后可通过加速运算反演预测消除大时延影响,但面对上行时延时,遥操作系统无从辨识上行时延值,除非空间机器人将遥操作系统指令发送时刻、接收时刻、执行时刻等信息再次返回,但如此将极大滞后修正信息的获取,降低修正效果和系统动态响应性能,在此,引入“滞后时标”概念,即发出指令内的“期望执行时间”与对应指令发出时刻的时间差大于预测上行时延值,这样,将掩盖由于上行时延造成的输入指令不同步问题,同时也将不确定执行时延变为确定时延,如图7所示。

[0101] 在有时标的条件下,空间机器人记录接收指令的时刻,打上时间标签下发至遥操作系统,通过对比遥操作系统发送指令的时刻和空间机器人接收指令的时刻,即可获得上行时延。通过记录并统计上行时延值的变化,可以获得平均上行时延值,即预测上行时延值。

[0102] 考虑到上行时延的波动性,可以将滞后时标取大于预测上行时延值1.5倍以上即可。

[0103] 对于运动状态下的空间机器人,遥操作系统在发出指令前,先按滞后时标预测空间机器人在其指令期望执行时刻的状态,然后将发出的指令从滞后时标所对应的预测状态开始,以避免发出过多的无效指令,增强遥操作系统对空间机器人的操作效率,如图8所示。

[0104] 另外,在本发明中,还包括如下步骤:

[0105] 3、所述空间机器人在返回的下行实测信息中加入下行邮戳信息,发送至遥操作系统;所述下行邮戳信息包括对应的下行实测信息发出时刻;

[0106] 4、所述遥操作系统接收空间机器人返回的下行实测信息,根据其中的下行邮戳信息,按照SBOMM方法消除时延影响。

[0107] 下面对步骤4中的SBOMM方法进行介绍:

[0108] 针对不确定大时延问题提出一种基于邮签准则的模型参数在线修正方法(Stamp-Based Online Modify Method,简称SBOMM)。该方法借用了邮递系统的原理,即将由信源发出的信息作为信件,并在信件上标记出发信时间(即信息的响应时间)——邮签(即邮戳信息),最后在信宿端依据邮签将分别由各个信源发送的信件进行匹配处理。邮

递原理不考虑邮递路径和邮递时间,而只将接收到的信件的邮签作为参考标准,因此 SBOMM 方法将有效克服不确定大时延造成的信息时间错配的影响。

[0109] 考虑图 9 的遥操作系统,其中

[0110] 真实被控对象 G 为:

$$[0111] \quad y(t_n) = f[y(t_{n-1}), U(t_{n-1}), A(t_{n-1})]$$

[0112] 模型 \bar{G} 为:

$$[0113] \quad \bar{Y}(t_n) = f[\bar{Y}(t_{n-1}), U(t_{n-1}), \bar{A}(t_{n-1})]$$

[0114] 传输模型为:

$$[0115] \quad Y(t_n) = y(t_n - \tau(t_n)) \cdot \delta(t_n - H)$$

[0116] 其中: A 和 \bar{A} 分别为真实对象和预测模型的参数, $\tau(t_n)$ 为通信不确定大时延(未知), $h = t_n - t_{n-1}$ 为预测模型 \bar{G} 的计算步长, H 为实测信息的采样步长, $\delta(t_n - H)$ 是以 H 为采样周期的采样函数,且 $H = h = \text{常数}$ 并满足采样定理。 t 为系统当前时间, t_P 为预测信息的响应时间, t_R 为实测信息的响应时间, t_F 为模型正向预测时间, t_B 为模型反馈修正时间。

[0117] 引入符号 $\text{DATA}(\cdot | *)$, 表示: $*$ 时刻接收到的信息 DATA 的响应时间为 \cdot 。为了克服不确定大时延 $\tau(t)$ 的影响,采用邮签准则将信息的响应时间作为标签,直接标识信息,得 $Y(t_{R_n}|t)$ 和 $\bar{Y}(t_{P_n}|t)$ 。然后以 $(t_{R_n}|*)$ 为原则进行信息匹配,得样本点 $I(t_{R_n}|*) = \{Y(t_{R_n}|*), \bar{Y}(t_{R_n}|*), U(t_{R_n}|*)\}$, 并实时计算 \bar{G} 的预测误差 $\bar{e}(t_{R_n}|*) = \|Y(t_{R_n}|*) - \bar{Y}(t_{R_n}|*)\|$, 当 $\bar{e}(t_{R_n}|*) > E$ 时,建立 \bar{G} 的同态模型 \check{G} , 并将其由预测时刻 t_F 反演到 t_{R_n} 时刻(即修正时刻 t_B), 得:

[0118]

$$\check{Y}(t_{R_{n+1}}) = f[\check{Y}(t_{R_n}), U(t_{R_n}), \check{A}(t_{R_n})]$$

[0119] 其中同态模型初始时刻 $\check{A}(t_{R_n}) = \bar{A}(t_F)$ 。然后利用实时获得的样本点 $I(t_{R_n}|t)$ 在线滚动修正 \check{G} 的参数 \check{A} , 直到 \check{G} 的误差 $\bar{e}(t_{R_n}|t) = \|Y(t_{R_n}|t) - \check{Y}(t_{R_n}|t)\|$ 小于 E 为止。再将 \check{G} 由当前反馈修正时刻 t_B 加速计算至正向预测时刻 t_F , 得 \check{G} 的状态 $\check{Y}(t_F|t_F)$ 和参数 $\check{A}(t_B)$, 最后用其更新模型 \bar{G} , 完成在线修正。修正过程如图 10 所示:

[0120] 如图 11 所示,具体修正步骤及流程如下:

[0121] 1) 接收实测信息 $Y(t_{R_n}|*)$ 。

[0122] 2) 然后按时签 $(t_{R_n}|*)$ 匹配原则在预测仿真信息 $\bar{Y}(t_{R_n}|*)$ 和输入信息 $U(t_{R_n}|*)$ 中搜索并构成样本点 $\{Y(t_{R_n}|*), \bar{Y}(t_{R_n}|*), U(t_{R_n}|*)\}$ 。

[0123] 3) 实时计算预测误差 $\bar{e}(t_{R_n}|*) = \|Y(t_{R_n}|*) - \bar{Y}(t_{R_n}|*)\|$, 当 $\bar{e}(t_{R_n}|*) > E$ 时,建立同态模型 \check{G} 并将其反演至 t_{R_n} 时刻,并转入下一步;当 $\bar{e}(t_{R_{n+1}}|*) > E$ 且 $\bar{e}(t_{R_n}|*) \leq E$ 时,转入第 5) 步;当 $\bar{e}(t_{R_{n-1}}|*) \leq E$ 且 $\bar{e}(t_{R_n}|*) \leq E$ 时,转入第 7) 步。

[0124] 4) 将 $\bar{e}(t_{R_n}|t)$ 及样本点 $\{Y(t_{R_n} - h|t), \bar{Y}(t_{R_n} - h|t), U(t_{R_n} - h|t)\}$ 代入下式对 $\check{A}(t_{R_n})$

进行修正,然后返回到第 1) 步进行滚动修正。

[0125]

$$\check{A}(tR_n) = \check{A}(tR_{n-1}) + \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h) \cdot \check{c}(tR_n | t)$$

[0126] $P(tR_n) = P(tR_{n-1}) - \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h) \cdot X^T(tR_n - h) \cdot P(tR_{n-1})$

[0127] $\gamma(tR_n) = 1 / [1 + X^T(tR_n - h) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h)]$

[0128] 其中: $X(tR_n - h) = [\bar{Y}(tR_n - h), U(tR_n - h)]^T$ 。

[0129] 5) 将 $Y(tR_n | t)$ 作为初值代入同态模型 \check{G} 中,并由当前的修正时刻 $tB(tB = tR_n)$ 加速至当前预测时刻 $tF(tF = t)$,得 $\check{Y}(tF | tF)$ 和 $\check{A}(tB)$ 。

[0130] 6) 更新模型 $\begin{cases} \bar{A}(tF) = \check{A}(tB) \\ \bar{Y}(tF | tF) = \check{Y}(tF | tF) \end{cases}$,并释放同态模型,完成在线修正。

[0131] 7) 返回第 1) 步开始下一步循环;或者结束。

[0132] 基于邮签准则的模型参数在线修正方法通过信息的时标标识和同态模型的反演与加速计算策略将不确定大时延 $\tau(t)$ 排除在外,不仅解决了信息错配问题,而且使修正过程的时间 tB 统一到预测过程时间 tF ,解决了过程异步问题,在没有影响正常预测的情况下,有效地完成了预测模型的在线修正,如图 12 所示。

[0133] 在遥操作系统中,除了不确定大时延外,有限带宽造成下行的实测信息(即样本数据)不充分,难以完全、准确地表征真实对象的响应特性,这同样对模型在线修正产生严重的影响。令虚拟对象的预测计算步长为 h ,当 h 较大时,在线计算量较小,但仿真精度较低;当 h 较小时,在线计算量较大,但仿真精度较高,因此在 h 选取时要折中考虑在线计算量和仿真精度两个因素。然而为了便于传输与计算机处理并满足传输带宽的要求,需要对真实对象的响应信息进行采样,设实测信息的采样步长为 $H(H = t_i - t_{i-1})$,即相邻实测信息的响应时间的间隔),一般 H 远大于 h 。

[0134] 定义:信息相对密度 M ——即预测仿真信息步长 h 与实测信息采样步长 H 之比

[0135] $M = \frac{h}{H}$

[0136] 信息相对密度 M 直接反映了实测信息的充分性:

[0137] ◆ $M \geq 1$ 时,实测信息充分(稠密)

[0138] ◆ $M < 1$ 时,实测信息不充分(稀疏)

[0139] 为了满足天地间的有限带宽的要求,经常性的 $M < \frac{1}{10}$,实测信息稀疏、不充分,相

关性变弱,无法准确反映真实对象的特性。另外,由于受遥操作系统中在轨系统处理能力以及传输过程中的数据缺损等影响,造成了采样步长 H 的不确定性,即不确定大采样步长 $H(t) = m \cdot h$ (m 为不确定正整数)。因此,利用不充分的样本数据修正预测模型,将导致:

[0140] ★ 实测样本信息不充分,信息相关性变弱,无法表征动态响应特性;

[0141] ★ 无法保证样本点在大采样步长内恒定,即 $\{Y(T), \bar{Y}(T), U(T)\} \neq \{Y(t_{i-1}), \bar{Y}(t_{i-1}), U(t_{i-1})\}$

[0142] $(t_{i-1} \leq T \leq t_{i-1} + H)$,影响修正的结果;

[0143] ★ 在变采样步长 $H(t) = m \cdot h$ 条件下,模型修正无法正确收敛。

[0144] 基于邮签准则的模型参数在线修正方法 (SBOMM) 有效地解决了不确定大时延的影响,但在不确定大采样步长 (即实测样本数据不充分) 的条件下,对修正结果会有较大影响,对于大采样步长问题,一般采用数据平滑方法解决,通过数据平滑,产生采样点间隔间的虚拟实测信息,以达到数据补全和增加数据密度的目的。常用的数据平滑方法有线性插值平滑 (如图 13 所示)、抛物线插值平滑 (如图 14 所示)、样条插至平滑等,但这些方法的平滑误差较大,并且没有考虑在此期间控制量的作用,影响修正的效果。

[0145] 考虑到模型结构的确定性信息,利用动态的同态模型设计了平滑器:

[0146]

$$\check{Y}(t+n \cdot h) = \underbrace{f[\dots[f[Y(t), U(t), \check{A}(t)], \dots, U(t+(n-1) \cdot h), \check{A}(t+(n-1) \cdot h)]]}_n$$

[0147] 这种基于模型的数据积分平滑方法不仅充分利用了已知模型结构的确定性信息,而且考虑了大采样步长时段内控制量的作用效果,从而减小了平滑误差,如图 15 所示。

[0148] 通过分析最小二乘在线修正方法及 SBOMM 方法,适用于实测信息充分的情况,属于单向递推修正方法,即直接利用实测信息、仿真信息和相应的控制量信息进行模型修正,如图 16 所示。

[0149] 在利用动态的同态模型作为平滑器的基础上,基于邮签准则的模型参数在线修正,由于增加了基于模型的数据积分平滑环节,因此革新了传统的单向递推修正方式,形成了一种嵌套式递推修正方法,如图 17 所示。

[0150] 如图 18 所示,嵌套式递推修正方法具体修正步骤和流程如下:

[0151] 1) 接收实测信息 $Y(tR_n|*)$ 。

[0152] 2) 然后按时标 $(tR_n|*)$ 匹配原则在预测仿真信息 $\bar{Y}(tR_n|*)$ 和输入信息 $U(tR_n|*)$ 中搜索并构成样本点 $\{Y(tR_n|*), \bar{Y}(tR_n|*), U(tR_n|*)\}$ 。

[0153] 3) 实时计算预测误差 $\bar{e}(tR_n|*) = \|Y(tR_n|*) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$; 当 $\bar{e}(tR_n|*) > E$ 时,建立同态模型 \check{G} 并将其反演至 tR_n 时刻,并转入下一步; 当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) > E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入第 6) 步; 当 $\bar{e}(tR_{n-1}|*) \leq E$ 且 $\bar{e}(tR_n|*) \leq E$ 时,转入第 8) 步。

[0154] 4) 将 $Y(tR_{n-1}|*)$ 代入平滑器中,得 $\check{Y}(tR_n - h|*)$ 和 $\check{Y}(tR_n|*)$

[0155] 5) 计算 \check{G} 的误差 $\check{e}(tR_n|t) = \|\check{Y}(tR_n|t) - \bar{Y}(tR_n|*)\|$, 当 $\check{e}(tR_n|t) \leq E$ 时,转入第 6) 步; 否则将 $\check{e}(tR_n|t)$ 及样本点 $\{\check{Y}(tR_n - h|t), \bar{Y}(tR_n - h|t), U(tR_n - h|t)\}$ 对 $\check{A}(tR_n)$ 进行修正,然后返回到第 1) 步进行滚动修正。

[0156]

$$\check{A}(tR_n) = \check{A}(tR_{n-1}) + \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h) \cdot \check{e}(tR_n|t)$$

[0157] $P(tR_n) = P(tR_{n-1}) - \gamma(tR_n) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h) \cdot X^T(tR_n - h) \cdot P(tR_{n-1})$

[0158] $\gamma(tR_n) = 1 / [1 + X^T(tR_n - h) \cdot P(tR_{n-1}) \cdot X(tR_n - h)]$

[0159] 其中: $X(tR_n - h) = [\check{Y}(tR_n - h), U(tR_n - h)]^T$ 。

[0160] 6) 将 $Y(tR_n|t)$ 作为初值代入同态模型 \check{G} 中,并由当前的修正时刻 tB ($tB = tR_n$) 加

速至当前预测时刻 t_F ($t_F = t$), 得 $\bar{Y}(t_F | t_F)$ 和 $\bar{A}(t_B)$ 。

[0161] 7) 更新模型 $\begin{cases} \bar{A}(t_F) = \bar{A}(t_B) \\ \bar{Y}(t_F | t_F) = \bar{Y}(t_F | t_F) \end{cases}$, 并释放同态模型, 完成在线修正。

[0162] 8) 判断是否继续? 是, 返回第 1) 步; 否则结束。

[0163] 综上所述, 本发明解决双向时延的机器人远程控制问题, 一方面解决现场机器人在有不确定上行时延环境下, 对指令的误解读问题, 提高安全性; 另一方面, 同时解决不确定上行时延环境对远方操作端对现场状态预报的问题。再结合下行不确定时延的 SBOMM 方法, 综合构成双向时延条件下的远程控制方法。

[0164] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

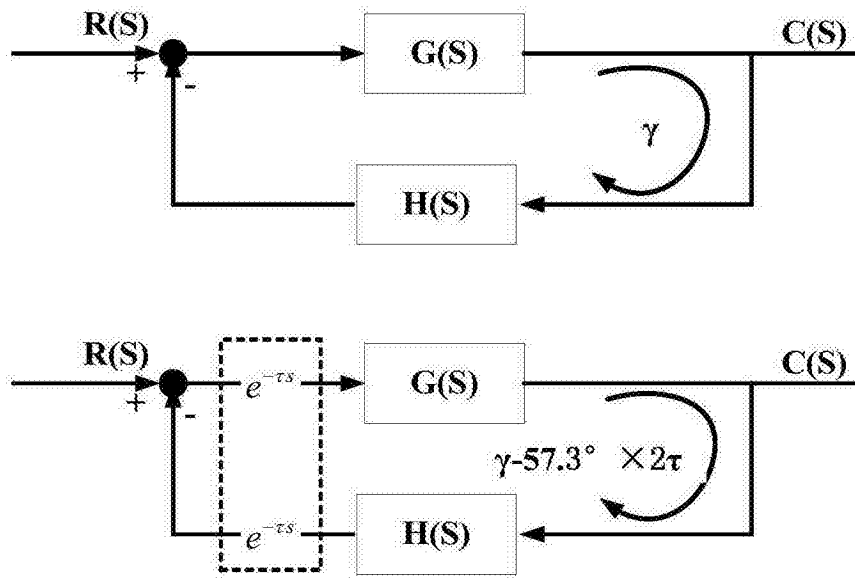


图 1

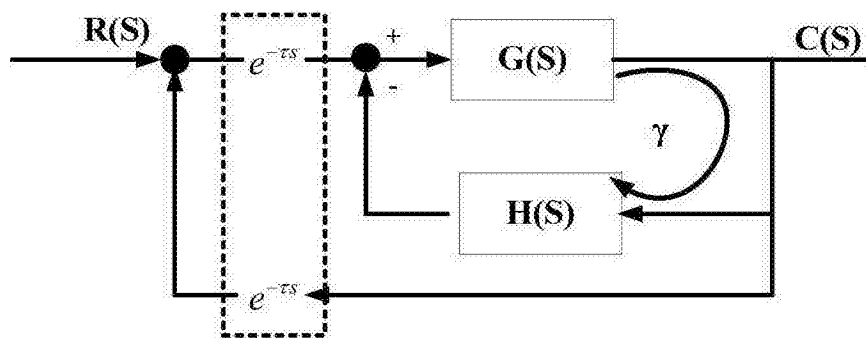


图 2

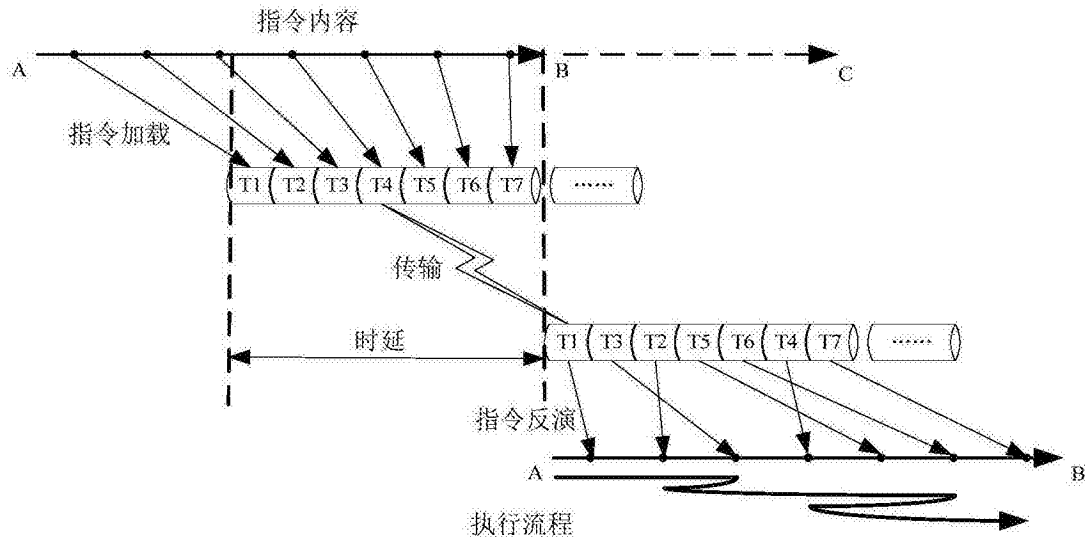


图 3

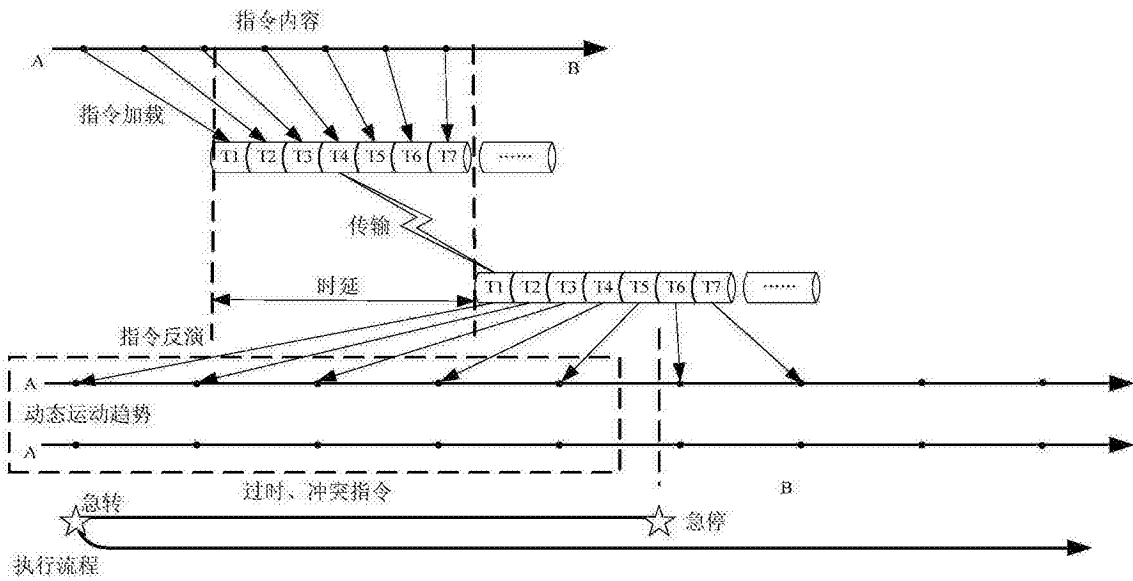


图 4

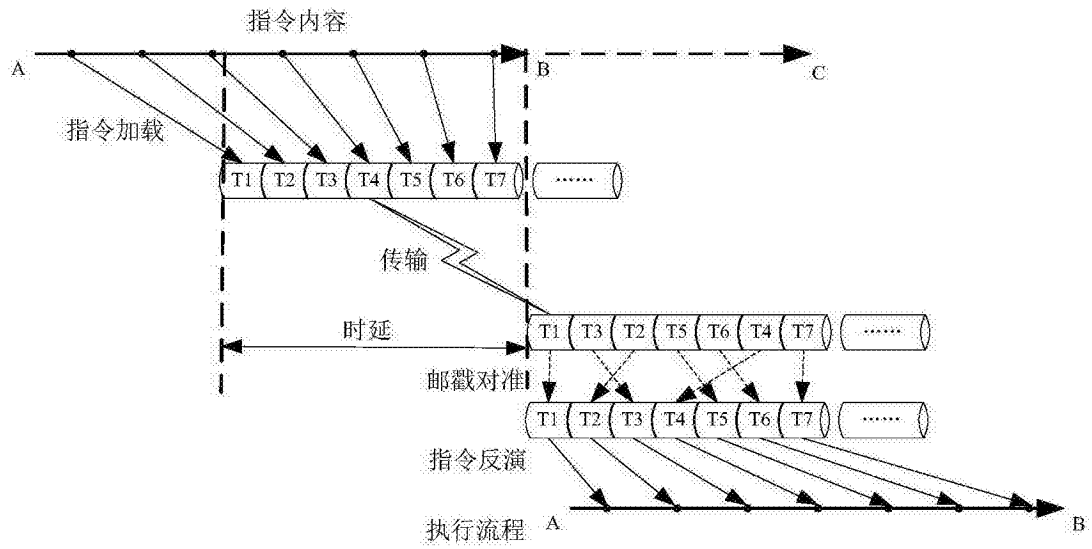


图 5

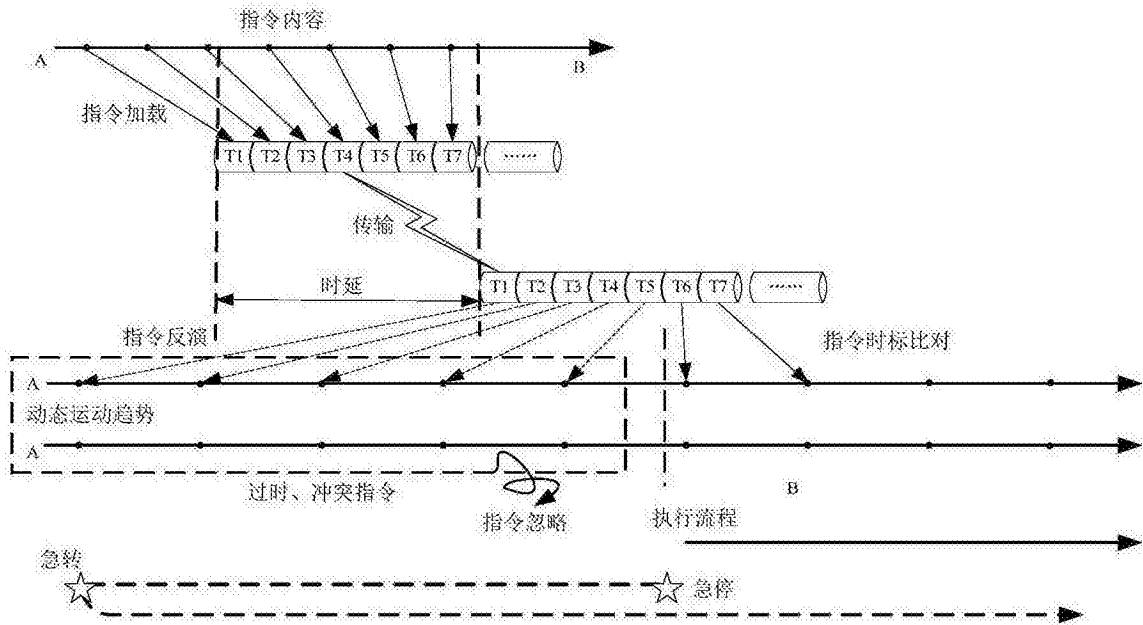


图 6

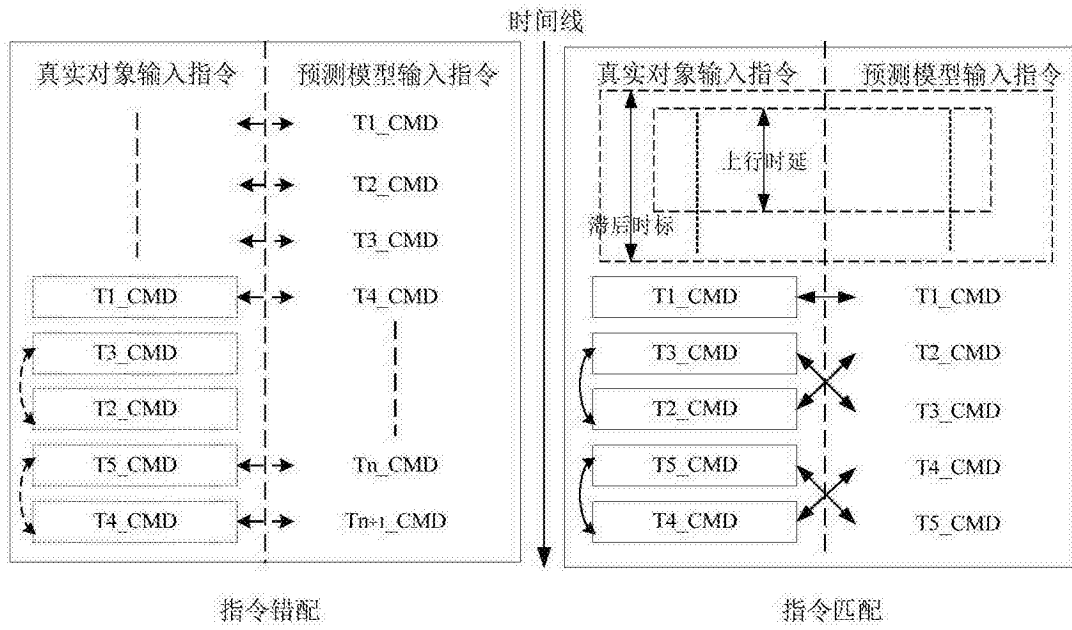


图 7

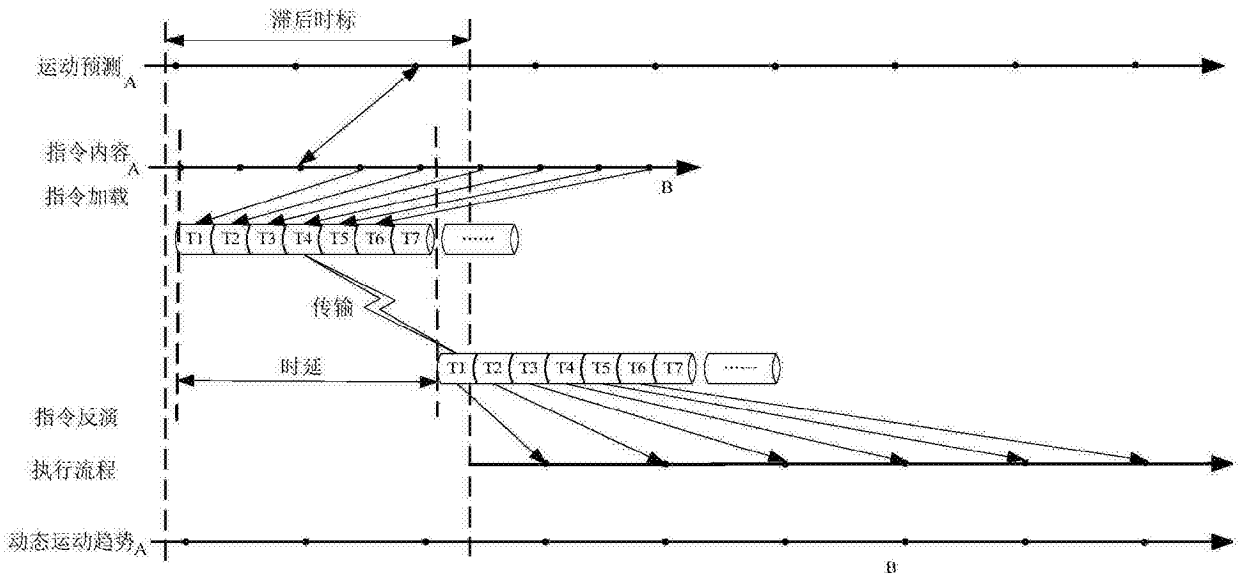


图 8

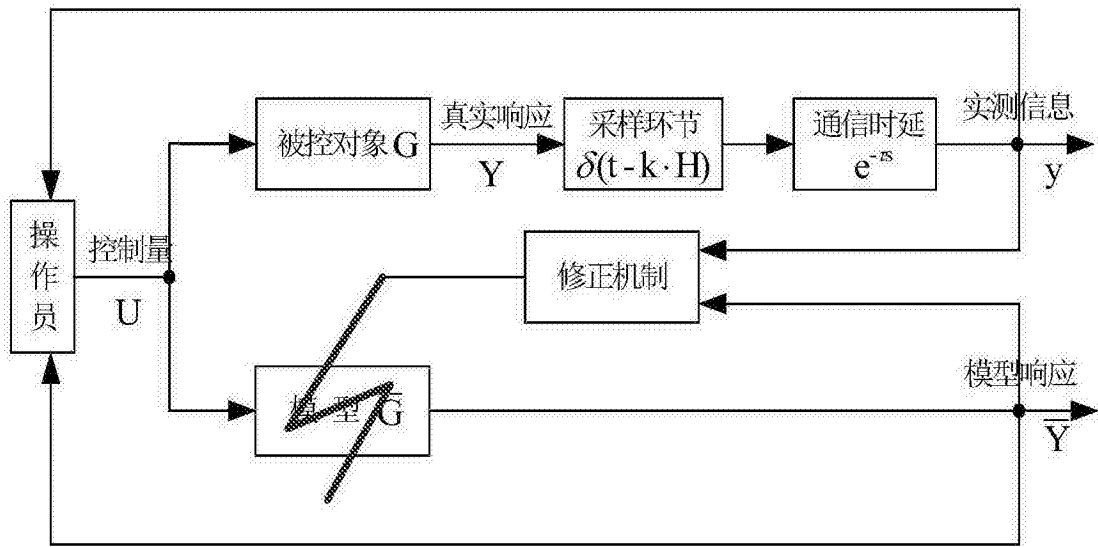


图 9

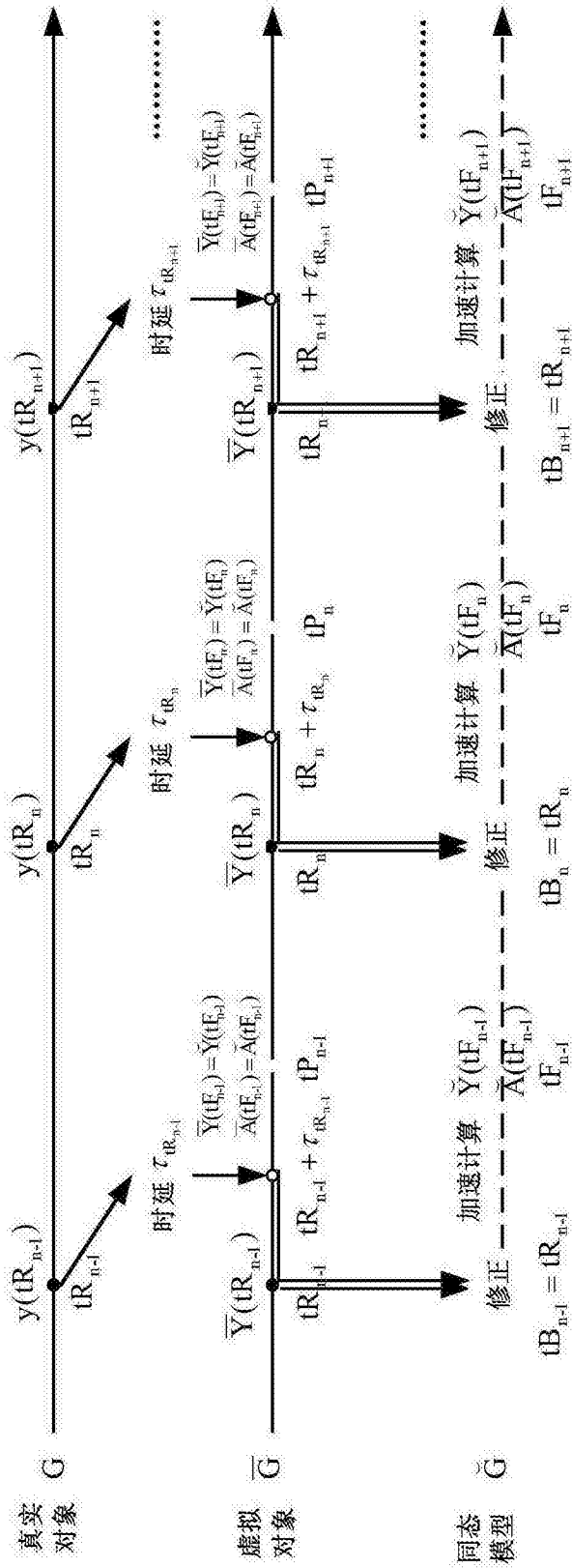


图 10

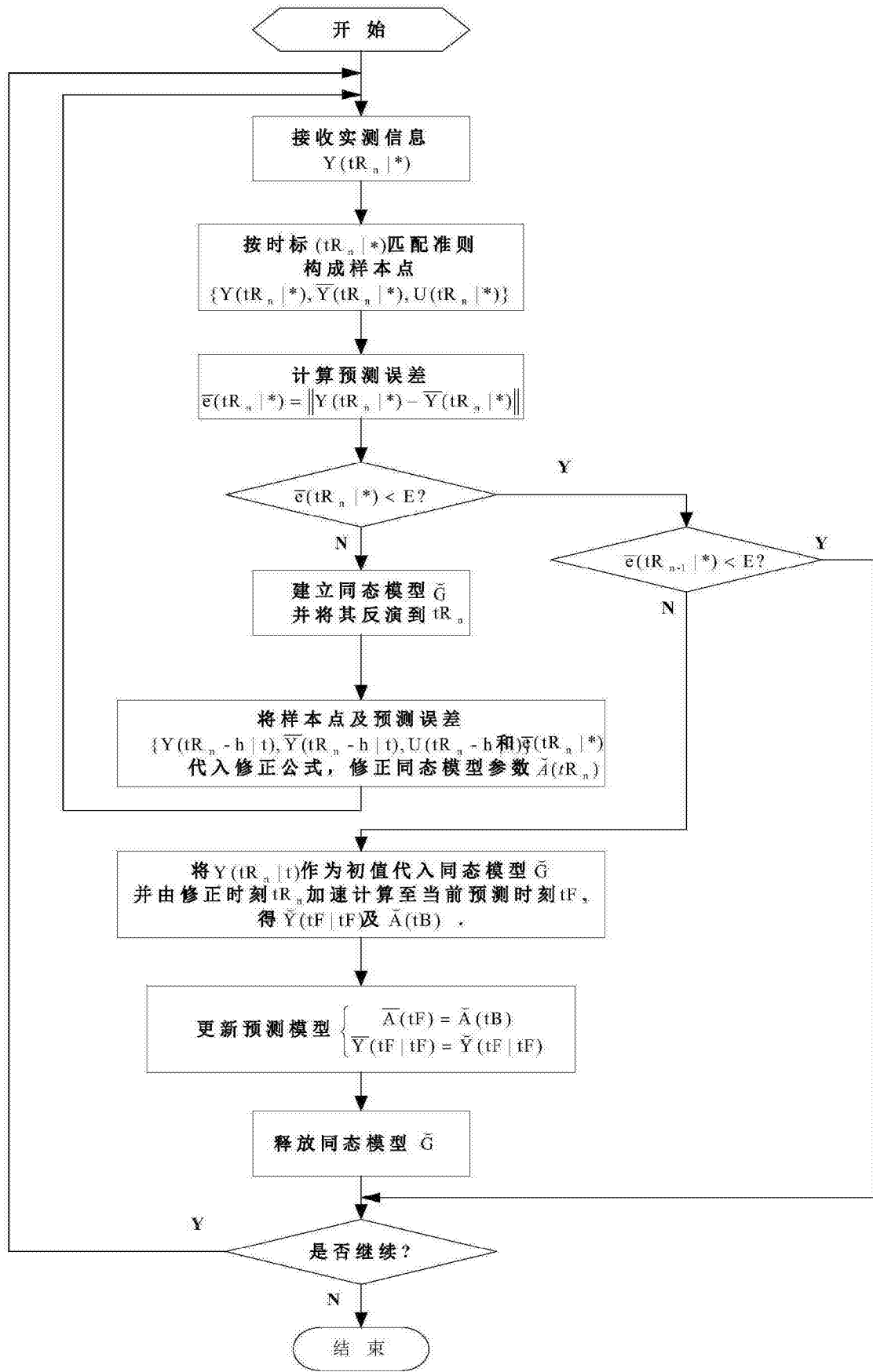


图 11

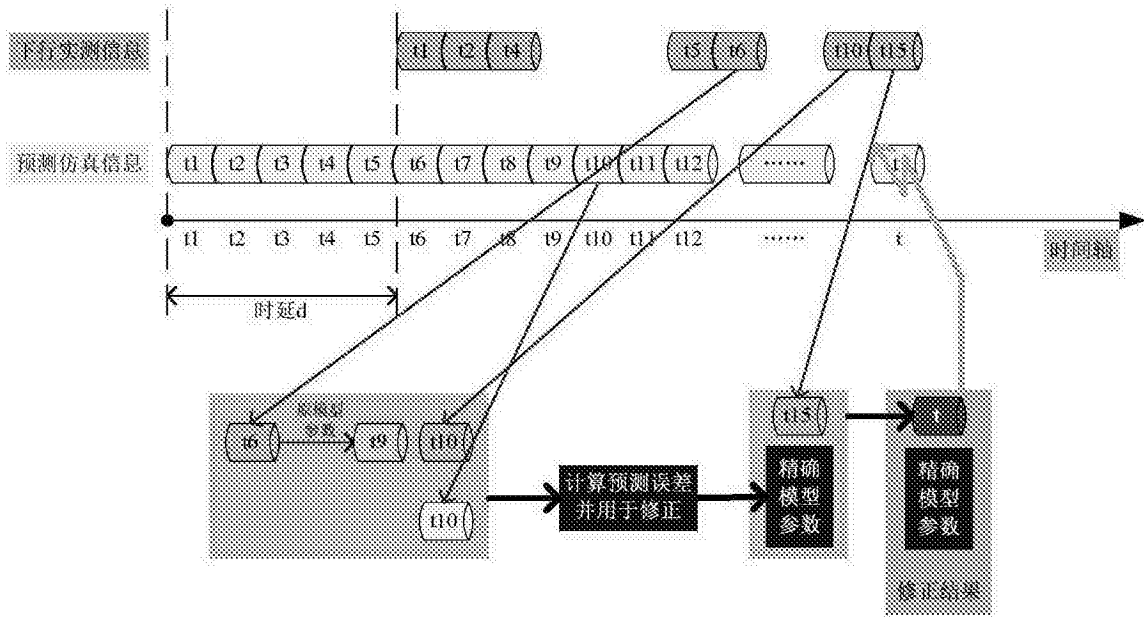


图 12

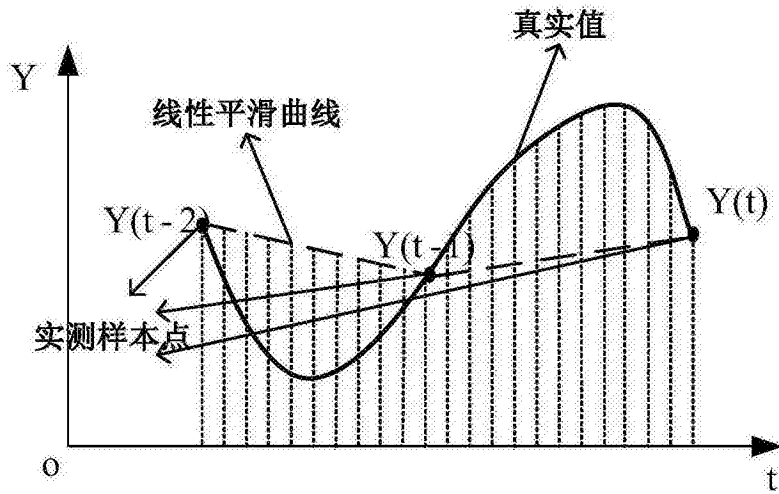


图 13

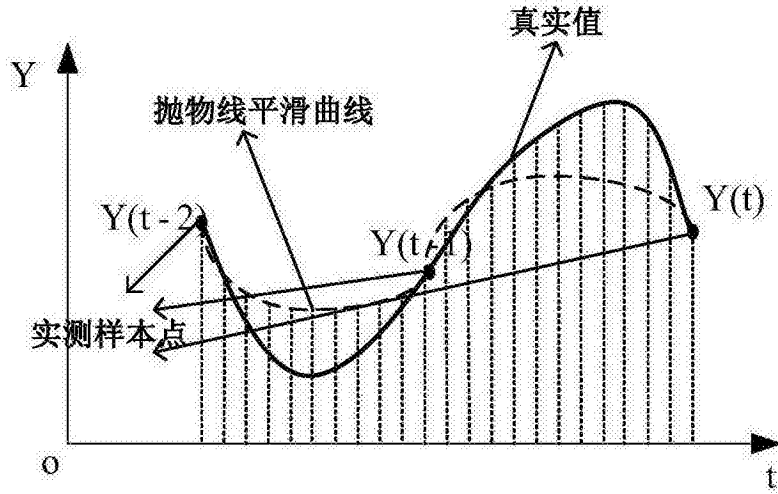


图 14

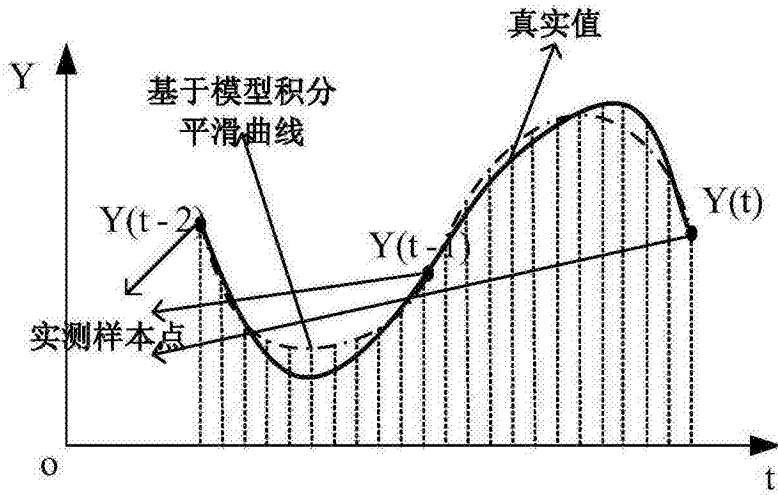


图 15

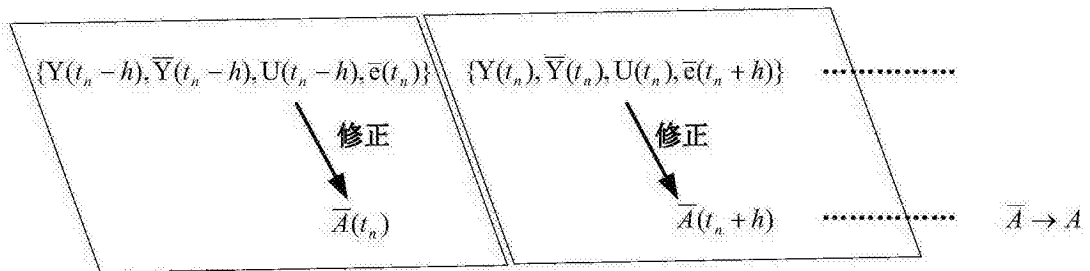


图 16

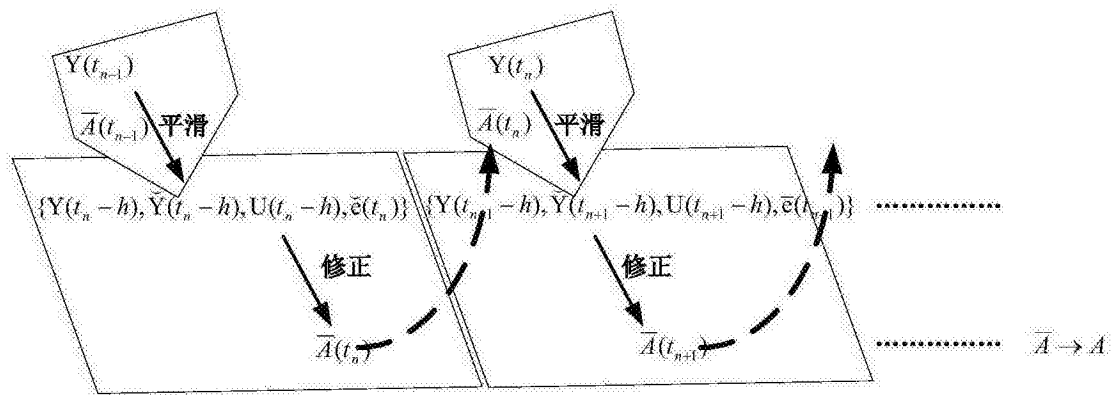


图 17

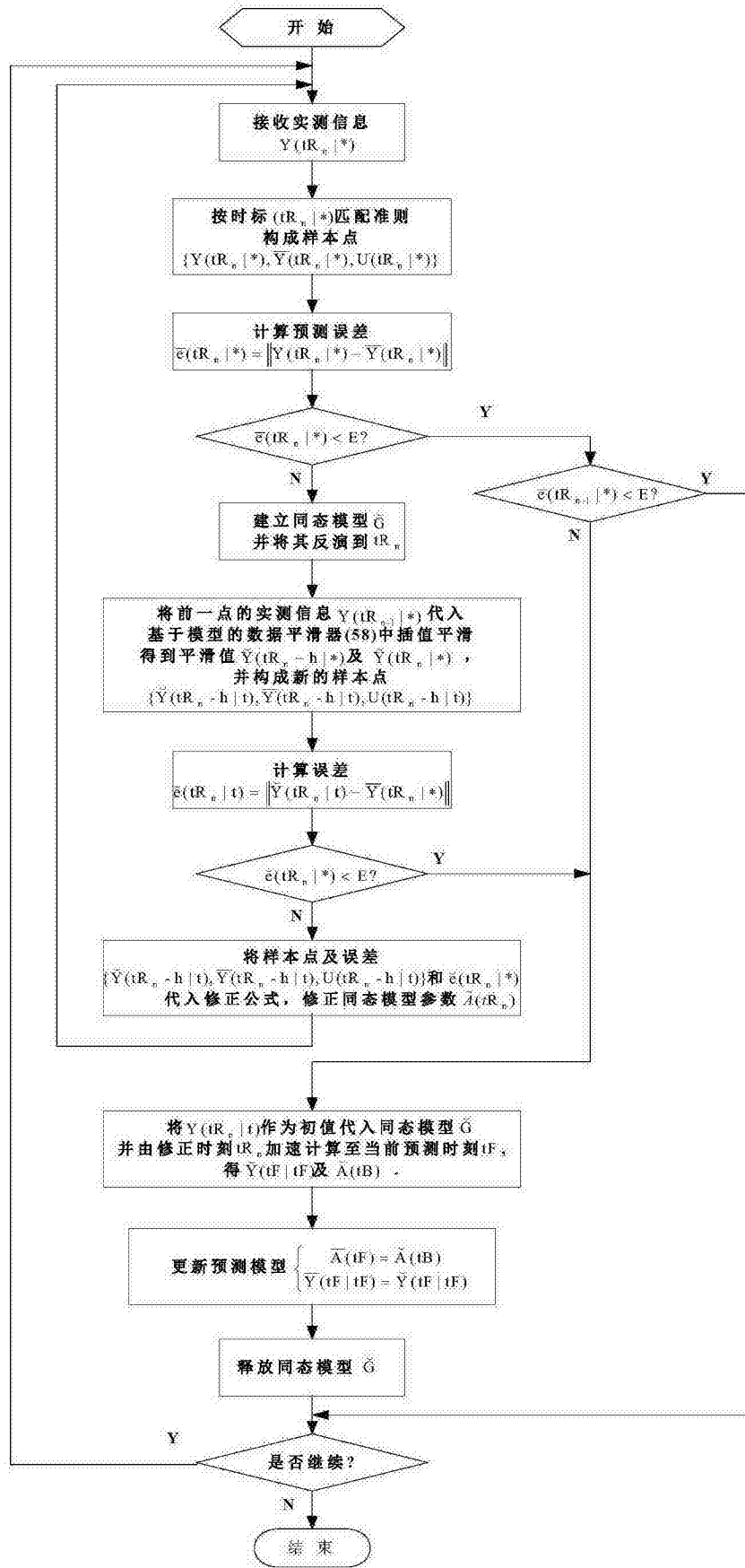


图 18