



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103386683 B

(45) 授权公告日 2015.04.08

(21) 申请号 201310328791.6

CN 102814814 A, 2012.12.12, 全文.

(22) 申请日 2013.07.31

JP 特开 2013-13969 A, 2013.01.24, 全文.

(73) 专利权人 哈尔滨工程大学

陈晓明. 基于 Kinect 深度信息的实时三维重复和滤波算法研究. 《计算机应用研究》. 2013, 第 30 卷 (第 4 期),

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

审查员 张琼

(72) 发明人 莫宏伟 孟龙龙 徐立芳 董会云 蒋兴洲 雍升

(51) Int. Cl.

B25J 9/16(2006.01)

G06F 3/01(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102727362 A, 2012.10.17, 说明书第 11 段.

CN 102830798 A, 2012.12.19, 全文.

CN 103170973 A, 2013.06.26, 全文.

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 3 页

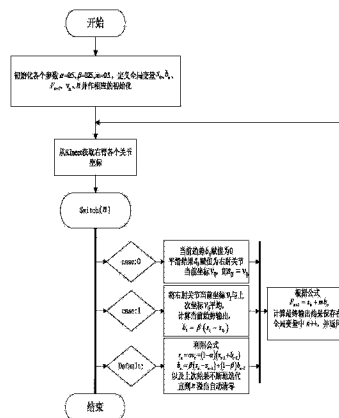
(54) 发明名称

一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法

(57) 摘要

本发明的目的在于提供一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,包括如下步骤:通过 Kinect 传感器获得人体的右侧上肢 5 个关节的三维坐标;对获得的右侧上肢 5 个关节坐标数据利用双指数滤波算法进行平滑;利用平滑后的右侧上肢 5 个关节坐标在 Kinect 的三维空间坐标系中构建向量,通过计算向量夹角获得右侧上肢处的角度,所述的右侧上肢处的角度包括右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度;将角度信息进行融合,组成一个数据包,加上数据包头和校验和,通过无线串口发送给机器人,进行机械臂控制.本发明通过对人体的动作准确识别,能够完成对机械臂、移动机器人的灵活、精确操控.使得人和机器人的交互更加友好,提高机器人的智能性。

CN 103386683 B



1. 一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,其特征是:

(1) 通过 Kinect 传感器获得人体的右侧上肢 5 个关节的三维坐标,右侧上肢 5 个关节的三维坐标包括右臀关节坐标、右肩关节坐标、右肘关节坐标、右腕关节坐标和右手关节坐标;

(2) 对获得的右侧上肢 5 个关节坐标数据利用双指数滤波算法进行平滑;

(3) 利用平滑后的右侧上肢 5 个关节坐标在 Kinect 的三维空间坐标系中构建向量,通过计算向量夹角获得右侧上肢处的角度,所述的右侧上肢处的角度包括右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度;

(4) 将角度信息进行融合,组成一个数据包,加上数据包头和校验和,通过无线串口发送给机器人,进行机械臂控制;

所述的双指数滤波算法为:

t 表示时间, $\{x_t\}$ 表示原始数据序列, $\{s_t\}$ 表示 t 时刻双指数平滑结果, $\{b_t\}$ 表示 t 时刻数据序列趋势的最优估计, F_{t+m} 表示 x 在 $t+m$ 时刻的最优估计, m 为预测因子,且 $m > 0$, 双指数平滑滤波算法公式如下:

$$s_1 = x_0$$

$$b_1 = x_1 - x_0$$

$$s_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}), t > 1$$

$$b_t = \beta (s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}, t > 1$$

$$F_{t+m} = s_t + mb_t$$

α 表示数据平滑因子,且 $0 < \alpha < 1$, β 表示趋势平滑因子,且 $0 < \beta < 1$, 定义 $F_1 = s_0 + b_0$, 则 x 在所有时刻的值都可按照上述双指数平滑滤波算法公式估计出来。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,其特征是:右肘关节坐标平滑的过程为:

(1) 初始化参数,对数据平滑因子 α 、趋势平滑因子 β 、预测因子 m 、右肘关节坐标平滑输出 s_n 、右肘关节坐标趋势最优估计 b_n 、右肘关节坐标最终结果最优估计 F_{n+1} 、当前从 Kinect 获取的右肘关节坐标 v_n 、计数变量 n 分别赋予初值, n 为整型变量,每获取一次右肘关节的坐标, n 加 1;

(2) 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_0 , 进入第一次迭代 $n = 0$, 趋势预测 b_0 赋值为 0, 平滑输出 s_0 赋值为当前右肘关节坐标 v_0 , 右肘关节坐标最终输出 $F_1 = s_0 + b_0$;

(3) 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_1 , 进入第二次迭代 $n = 1$, 平滑输出 s_1 赋值为当前右肘关节坐标 v_1 和上次右肘关节 v_0 的平均值, 即 $s_1 = \frac{v_1 + v_0}{2}$, 趋势预测 $b_1 = (s_1 - s_0) \beta$, 右肘关节坐标最终输出 $F_2 = s_1 + mb_1$;

(4) 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_2 , 进入第三次迭代 $n = 2$, 平滑输出 s_2 按照公式 $s_n = \alpha v_n + (1 - \alpha)(s_{n-1} + b_{n-1})$ 计算, 趋势预测 b_2 按照公式 $b_n = \beta (s_n - s_{n-1}) + (1 - \beta)b_{n-1}$ 计算, 右肘关节坐标最终输出按照公式 $F_{n+1} = s_n + mb_n$ 计算;

(5) 按照步骤 (4) 的迭代方式, 增加迭代次数, 计算右肘关节坐标输出, 直至 n 溢出清零, 回到步骤 (2) 重新开始迭代, 则随着人右手臂运动, 实现对右肘关节坐标的不断平滑;

右侧上肢其余 4 个关节坐标的平滑过程与右肘关节坐标的平滑过程相同。

3. 根据权利要求 2 所述的一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,其特征是:右侧上肢关节角度计算方法为:

(1) 建立 Kinect 坐标系 XYZ,在 Kinect 坐标系下获得分别代表右臀关节点 H、右肩关节点 S、右肘关节点 E、右腕关节点 W 和右手关节点 T 的三维空间坐标 $H(x_h, y_h, z_h)$ 、 $S(x_s, y_s, z_s)$ 、 $E(x_e, y_e, z_e)$ 、 $W(x_w, y_w, z_w)$ 、 $T(x_t, y_t, z_t)$;

定义全局变量 A、B、C 分别表示右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度,均初始化为 0;

(2) 分别计算出向量 \overline{SH} , \overline{SE} , \overline{ES} , \overline{EW} , \overline{WT} , \overline{WE} ;

(3) 分别计算出 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$,将计算结果对应保存在全局变量 A、B、C 中。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,其特征是:主控器基本模块初始化,包括时钟、PWM、串口通信和中断;等待上位机发送的机械臂角度信息数据包到达,数据包到达后以中断的方式通知主控器,主控器读取整个数据包后计算校验和,如果和上位机发送的校验和相同,则该数据包有效,对数据包进行解析,读取机械臂各个关节的角度值,否则该数据包无效,原机械臂各个关节的角度值保持不变;将读取到的机械臂各个关节角度值转化为相应的 PWM 信号,从而控制机械臂运动。

5. 根据权利要求 1-4 任一所述的一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,其特征是:人体的左侧上肢、左侧下肢以及右侧下肢对应的机械臂的控制方法与人体的右侧上肢对应的机械臂的控制方法相同。

一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种机器人控制方法,具体地说是体感机器人控制方法。

背景技术

[0002] Kinect 是一种 3D 体感摄影机,同时它导入了即时动态捕捉、影像辨识、麦克风输入、语音辨识、社群互动等功能。微软于 2011 年 6 月推出了 Kinect for Windows SDK Beta。它是一种新型的人机交互系统,也是一种新的体态感知传感器,其应用领域很广,如虚拟试衣镜、3D 建模、虚拟乐器、虚拟娱乐以及机械控制等。目前基于 Kinect 的机器人控制方法研究还很少,研究利用 Kinect 实现机器人的灵活控制有很广阔的应用前景。

[0003] 目前日本借助其先进的机器人技术,科学家应用 Kinect 传感器对机器人实时控制进行了实验,获得一定成效,证明了用 Kinect 传感器实现机器人的控制方法是可行的。美国已经将 Kinect 应用于军事战地巡逻机器人上, Kinect 实时侦测机器人前方三维环境信息以决策机器人的运行,同时可以重构机器人运行过程中的三维地图。国内一些公司或大学现在对 Kinect 应用于机器人的控制研究还很少,更没有应用到实际生产当中。本发明通过对 Kinect 的深入研究,并在小型机器人平台上进行控制实验,同时有望将该技术应用于巡逻安保机器人、医疗辅助机器人、机械臂等控制。

[0004] 现有机器人控制方法都是通过程序控制,无法与人同步工作。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供智能的与人同步工作的一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:

[0007] 本发明一种基于 Kinect 的体感控制机械臂方法,其特征是:

[0008] (1) 通过 Kinect 传感器获得人体的右侧上肢 5 个关节的三维坐标,右侧上肢 5 个关节的三维坐标包括右臀关节坐标、右肩关节坐标、右肘关节坐标、右腕关节坐标和右手关节坐标;

[0009] (2) 对获得的右侧上肢 5 个关节坐标数据利用双指数滤波算法进行平滑;

[0010] (3) 利用平滑后的右侧上肢 5 个关节坐标在 Kinect 的三维空间坐标系中构建向量,通过计算向量夹角获得右侧上肢处的角度,所述的右侧上肢处的角度包括右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度;

[0011] (4) 将角度信息进行融合,组成一个数据包,加上数据包头和校验和,通过无线串口发送给机器人,进行机械臂控制。

[0012] 本发明还可以包括:

[0013] 1、所述的双指数滤波算法为:

[0014] t 表示时间, $\{x_t\}$ 表示原始数据序列, $\{s_t\}$ 表示 t 时刻双指数平滑结果, $\{b_t\}$ 表示 t 时刻数据序列趋势的最优估计, F_{t+m} 表示 x 在 $t+m$ 时刻的最优估计, m 为预测因子,且 $m>0$,

双指数平滑滤波算法公式如下：

$$[0015] \quad s_1 = x_0$$

$$[0016] \quad b_1 = x_1 - x_0$$

$$[0017] \quad s_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) (s_{t-1} + b_{t-1}), t > 1$$

$$[0018] \quad b_t = \beta (s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta) b_{t-1}, t > 1$$

$$[0019] \quad F_{t+m} = s_t + m b_t$$

[0020] α 表示数据平滑因子, 且 $0 < \alpha < 1$, β 表示趋势平滑因子, 且 $0 < \beta < 1$, 定义 $F_1 = s_0 + b_0$, 则 x 在所有时刻的值都可按照上述双指数平滑滤波算法公式估计出来。

[0021] 2、右肘关节坐标平滑的过程为：

[0022] (1) 初始化参数, 对数据平滑因子 α 、趋势平滑因子 β 、预测因子 m 、右肘关节坐标平滑输出 s_n 、右肘关节坐标趋势最优估计 b_n 、右肘关节坐标最终结果最优估计 F_{n+1} 、当前从 Kinect 获取的右肘关节坐标 v_n 、计数变量 n 分别赋予初值, n 为整型变量, 每获取一次右肘关节的坐标, n 加 1；

[0023] (2) 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_0 , 进入第一次迭代 $n=0$, 趋势预测 b_0 赋值为 0, 平滑输出 s_0 赋值为当前右肘关节坐标 v_0 , 右肘关节坐标最终输出 $F_1 = s_0 + b_0$;

[0024] (3) 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_1 , 进入第二次迭代 $n=1$, 平滑输出 s_1 赋值为当前右肘关节坐标 v_1 和上次右肘关节 v_0 的平均值, 即 $s_1 = \frac{v_1 + v_0}{2}$, 趋势预测 $b_1 = (s_1 - s_0) \beta$, 右

肘关节坐标最终输出 $F_2 = s_1 + m b_1$;

[0025] (4) 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_2 , 进入第三次迭代 $n=2$, 平滑输出 s_2 按照公式 $s_n = \alpha v_n + (1 - \alpha) (s_{n-1} + b_{n-1})$ 计算, 趋势预测 b_2 按照公式 $b_n = \beta (s_n - s_{n-1}) + (1 - \beta) b_{n-1}$ 计算, 右肘关节坐标最终输出按照公式 $F_{n+1} = s_n + m b_n$ 计算；

[0026] (5) 按照步骤(4)的迭代方式, 增加迭代次数, 计算右肘关节坐标输出, 直至 n 溢出清零, 回到步骤(2)重新开始迭代, 则随着人右手臂运动, 实现对右肘关节坐标的不断平滑；

[0027] 右侧上肢其余 4 个关节坐标的平滑过程与右肘关节坐标的平滑过程相同。

[0028] 3、右侧上肢关节角度计算方法为：

[0029] (1) 建立 Kinect 坐标系 XYZ, 在 Kinect 坐标系下获得分别代表右臀关节 H、右肩关节 S、右肘关节 E、右腕关节 W 和右手关节 T 的三维空间坐标 $H(x_h, y_h, z_h)$ 、 $S(x_s, y_s, z_s)$ 、 $E(x_e, y_e, z_e)$ 、 $W(x_w, y_w, z_w)$ 、 $T(x_t, y_t, z_t)$ ；

[0030] 定义全局变量 A、B、C 分别表示右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度, 均初始化为 0；(2) 分别计算出向量 \overline{SH} , \overline{SE} , \overline{ES} , \overline{EW} , \overline{WT} , \overline{WE} ；

[0031] (3) 分别计算出 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$, 将计算结果对应保存在全局变量 A、B、C 中。

[0032] 4、主控器基本模块初始化, 包括时钟、PWM、串口通信和中断；等待上位机发送的机械臂角度信息数据包到达, 数据包到达后以中断的方式通知主控器, 主控器读取整个数据包后计算校验和, 如果和上位机发送的校验和相同, 则该数据包有效, 对数据包进行解析, 读取机械臂各个关节的角度值, 否则该数据包无效, 原机械臂各个关节的角度值保持不变；将读取到的机械臂各个关节角度值转化为相应的 PWM 信号, 从而控制机械臂运动。

[0033] 5、人体的左侧上肢、左侧下肢以及右侧下肢对应的机械臂的控制方法与人体的右

侧上肢对应的机械臂的控制方法相同。

[0034] 本发明的优势在于：

[0035] 1、通过对人体的动作准确识别，能够完成对机械臂、移动机器人的灵活、精确操控。使得人和机器人的交互更加友好，提高机器人的智能性。

[0036] 2、采用模块化的编程，方便程序在不同机器人平台上的移植。

[0037] 3、可以将该技术用于远程机器人操控上，例如远程控制排爆机器人，从而减少不必要的人员伤亡。

[0038] 4、整个机器人控制界面采用 XAML 编程，使得界面设计和行为相分离，方便以后扩展和集成，而且开发人员能够发挥各自专长，同步开发，最终完成更复杂的机器人控制。

附图说明

[0039] 图 1 为实施方式 1 的双指数滤波算法流程图；

[0040] 图 2 为实施方式 1 的 Kinect 坐标系示意图；

[0041] 图 3 为实施方式 1 的右手臂几何示意图；

[0042] 图 4 为实施方式 1 的机械臂的几何示意图；

[0043] 图 5a 为实施方式 1 的机械臂控制原理框图 a，图 5b 为实施方式 1 的机械臂控制原理框图 b。

具体实施方式

[0044] 下面结合附图举例对本发明做更详细地描述：

[0045] 实施方式 1：

[0046] 结合图 1 ~ 5，本实施方式的总体步骤为：

[0047] (1)通过 Kinect 传感器获得人体的 20 个骨骼点三维坐标，实验主要用到的关节坐标包括右臀关节坐标、右肩关节坐标、右肘关节坐标、右腕关节坐标和右手关节坐标。

[0048] (2)对获得的右臂关节坐标数据利用双指数滤波算法进行平滑，减少右臂关节运动过程中的抖动。

[0049] (3)利用滤波后的右臂关节坐标在 Kinect 的三维空间坐标系中构建向量，通过计算向量夹角就可知道右臂关节处的各个角度，包括右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度。对计算结果进行保存；

[0050] (4)将角度信息进行融合，组成一个数据包，加上数据包头和校验和，通过无线串口发送给机器人，用于机械臂控制。

[0051] 具体流程如下：(1) 关节坐标双指数滤波算法原理及流程

[0052] 本发明采用双指数平滑滤波算法。t 表示时间， $\{x_t\}$ 表示原始数据序列， $\{s_t\}$ 表示 t 时刻双指数平滑结果， $\{b_t\}$ 表示 t 时刻数据序列趋势的最优估计， F_{t+m} 表示 x 在 t+m 时刻的最优估计，m 为预测因子，且 $m > 0$ ，双指数平滑滤波算法具体公式如下：

$$[0053] \quad s_1 = x_0 \quad (1)$$

$$[0054] \quad b_1 = x_1 - x_0 \quad (2)$$

$$[0055] \quad s_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) (s_{t-1} + b_{t-1}), t > 1 \quad (3)$$

$$[0056] \quad b_t = \beta (s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta) b_{t-1}, t > 1 \quad (4)$$

[0057] $F_{t+m}=s_t+mb_t$ (5) 其中 α 表示数据平滑因子,且 $0<\alpha<1$, β 表示趋势平滑因子,且 $0<\beta<1$ 。定义 $F_1=s_0+b_0$,这样 x 在所有时刻的值都可按照公式估计出来。参照图 1,以右臂肘关节坐标平滑为例,其他关节坐标平滑类似,具体平滑实现步骤如下:

[0058] 步骤 1:初始化多个参数。

[0059] 数据平滑因子 α 初始化为 0.5,趋势平滑因子 β 初始化为 0.25,预测因子 m 初始化为 0.5, s_n 表示右肘关节坐标平滑输出,始化为 $(0,0,0)$, b_n 表示右肘关节坐标趋势最优估计,初始化为 $(0,0,0)$, F_{n+1} 表示右肘关节坐标最终结果最优估计,初始化为 $(0,0,0)$, v_n 表示当前从 Kinect 获取的右肘关节坐标,初始化为 $(0,0,0)$, n 表示计数变量,每获取一次右肘关节的坐标, n 加 1,定义为整型变量,初始化 $n=0$ 。

[0060] 步骤 2:

[0061] 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_0 ,进入第一次迭代 $n=0$,趋势预测 b_0 赋值为 0,平滑输出 s_0 赋值为当前右肘关节坐标 v_0 ,右肘关节坐标最终输出 $F_1=s_0+b_0$, n 加 1。

[0062] 步骤 3:

[0063] 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_1 ,进入第二次迭代 $n=1$,平滑输出 s_1 赋值为当前右肘关节坐标 v_1 和上次右肘关节 v_0 的平均值,即 $s_1 = \frac{v_1+v_0}{2}$,趋势预测 $b_1=(s_1-s_0)\beta$,右肘关节坐标最终输出 $F_2=s_1+mb_1$, n 加 1。

[0064] 步骤 4:

[0065] 从 Kinect 获取右肘关节坐标 v_2 ,进入第三次迭代 $n=2$,平滑输出 s_2 按照公式 $s_n = \alpha v_n + (1-\alpha)(s_{n-1}+b_{n-1})$ 计算,趋势预测 b_2 按照公式 $b_n = \beta(s_n - s_{n-1}) + (1-\beta)b_{n-1}$ 计算,右肘关节坐标最终输出按照公式 $F_{n+1}=s_n+mb_n$ 计算, n 加 1。

[0066] 步骤 5:从 Kinect 获取下一右肘关节坐标 v_n 重复步骤 4,迭代计数变量 n 不断的加 1,由于 n 为整型变量,所以不断的加 1 最终使 n 溢出清零,又回到步骤 2 重新迭代,因此,随着 Kinect 前方的人右手臂运动,就能够实现对右肘关节坐标的不断平滑。

[0067] (2) 手臂关节角度计算方法

[0068] Kinect 坐标系参照图 2,右手臂几何示意图参照图 3。在 Kinect 坐标系下获得分别代表右臀关节点 H、右肩关节点 S、右肘关节点 E、右腕关节点 W 和右手 T 的三维空间坐标 (x, y, z) ,首先经过双指数平滑处理,然后构建向量,根据三维向量夹角计算公式,设 $\vec{a}=(x_1, y_1, z_1)$, $\vec{b}=(x_2, y_2, z_2)$,则向量 \vec{a} 和 \vec{b} 的夹角余弦为

$$\cos\langle\vec{a},\vec{b}\rangle = \frac{(x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2)}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}}, \text{ 其夹角 } \theta = \arccos \frac{(x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2)}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}}, \text{ 最}$$

后计算手臂各个关节角度。a、右肩关节处角度计算右肩关节处的角度即图 2 中的角 A,以右肩关节 S 为中心,向量 $\overline{SH}=(x_h-x_s, y_h-y_s, z_h-z_s)$, $\overline{SE}=(x_e-x_s, y_e-y_s, z_e-z_s)$,右肩关节

$$\text{处角度 } \angle A = \arccos \frac{[(x_h-x_s) \cdot (x_e-x_s) + (y_h-y_s) \cdot (y_e-y_s) + (z_h-z_s) \cdot (z_e-z_s)]}{\sqrt{(x_h-x_s)^2 + (y_h-y_s)^2 + (z_h-z_s)^2} \cdot \sqrt{(x_e-x_s)^2 + (y_e-y_s)^2 + (z_e-z_s)^2}}。$$

[0069] b、右肘关节处角度计算

[0070] 右肘关节处的角度即图 2 中的角 B,以右肘关节 E 为中心,向量

$\overline{ES} = (x_s - x_e, y_s - y_e, z_s - z_e)$, $\overline{EW} = (x_w - x_e, y_w - y_e, z_w - z_e)$, 右肘关节处角度

$$\angle B = \arccos \frac{[(x_s - x_e) \cdot (x_w - x_e) + (y_s - y_e) \cdot (y_w - y_e) + (z_s - z_e) \cdot (z_w - z_e)]}{\sqrt{(x_s - x_e)^2 + (y_s - y_e)^2 + (z_s - z_e)^2} \cdot \sqrt{(x_w - x_e)^2 + (y_w - y_e)^2 + (z_w - z_e)^2}} \circ$$

[0071] c、右腕关节处角度计算

[0072] 右腕关节处的角度即图 2 中的角 C, 以右腕关节 W 为中心, 向量

$\overline{WT} = (x_t - x_w, y_t - y_w, z_t - z_w)$, $\overline{WE} = (x_e - x_w, y_e - y_w, z_e - z_w)$, 右腕关节处角度

$$\angle C = \arccos \frac{[(x_t - x_w) \cdot (x_e - x_w) + (y_t - y_w) \cdot (y_e - y_w) + (z_t - z_w) \cdot (z_e - z_w)]}{\sqrt{(x_t - x_w)^2 + (y_t - y_w)^2 + (z_t - z_w)^2} \cdot \sqrt{(x_e - x_w)^2 + (y_e - y_w)^2 + (z_e - z_w)^2}} \circ$$

[0073] 具体步骤:

[0074] 步骤 1:

[0075] 定义全局变量 A、B、C 分别表示右肩关节处角度、右肘关节处角度、右腕关节处角度, 均初始化为 0。

[0076] 步骤 2:

[0077] 获取平滑后的右臀关节坐标 H(x_h, y_h, z_h)、右肩关节坐标 S(x_s, y_s, z_s)、右肘关节坐标 E(x_e, y_e, z_e)、右腕关节坐标 W(x_w, y_w, z_w) 和右手坐标 T(x_t, y_t, z_t)。依据上述向量计算公式分别计算出向量 \overline{SH} , \overline{SE} , \overline{ES} , \overline{EW} , \overline{WT} , \overline{WE} 。

[0078] 步骤 3:

[0079] 依据上述右肩关节处角度 A 的计算公式计算出 $\angle A$, 同理计算出右肘关节处 $\angle B$ 、右腕关节处 $\angle C$, 将计算结果对应保存在全局变量 A、B、C 中。将角度信息组成一个数据包, 加上数据包头和校验和, 通过无线串口发送给机器人, 返回步骤 2。

[0080] (3) 机械臂运动控制

[0081] 机械臂的几何示意图参考图 4, 其主控器采用 MC9S12XS128 微控制器。机械臂各个关节的运动采用伺服舵机控制, 1 号舵机表示右肩关节、2 号舵机表示右肘关节、3 号舵机表示右腕关节, 当手臂贴着身躯时, 机械臂和图中 0° 参考线重合。机械臂运动控制具体步骤如下:

[0082] 步骤 1:

[0083] MC9S12XS128 基本模块初始化, 包括时钟、PWM、串口通信和中断。

[0084] 步骤 2:

[0085] 等待上位机发送的机械臂角度信息数据包到达, 数据包到达后以中断的方式通知主控器, 主控器读取整个数据包后计算校验和, 如果和上位机发送的校验和相同, 则该数据包有效, 对数据包进行解析, 读取机械臂各个关节的角度值, 否则该数据包无效, 原机械臂各个关节的角度值保持不变。

[0086] 步骤 3:

[0087] 将读取到的机械臂各个关节角度值转化为相应的 PWM 信号, 控制机械臂运动, 返回步骤 2。

[0088] 按照上述步骤不断地重复, 就可实现机械臂对手臂动作的跟踪, 整个机械臂控制

的原理框图参考图 5。实验中,机械臂能够平稳地跟踪手臂运动,没有抖动现象,证明了上述的滤波算法及手臂角度计算方法正确且有效。

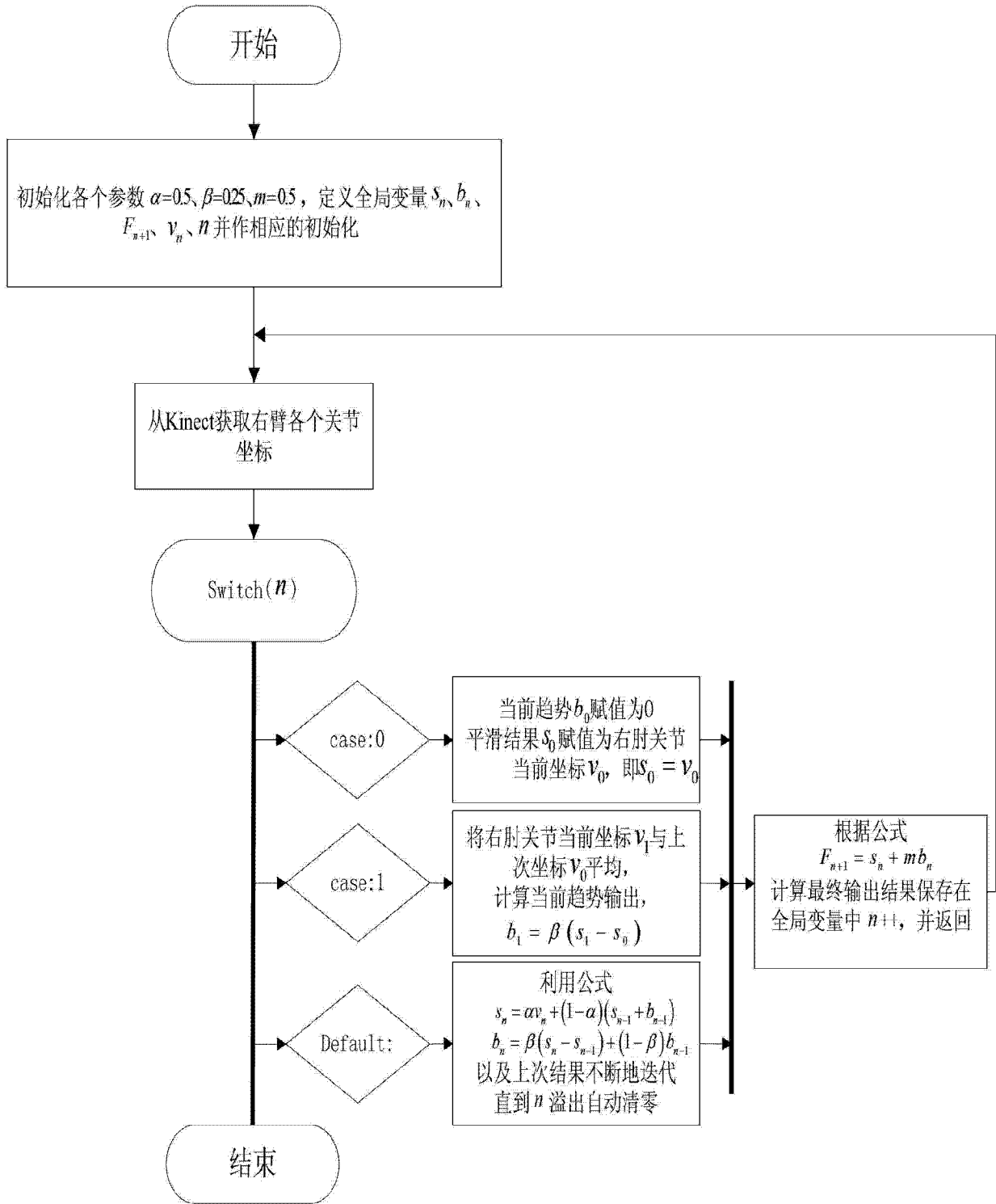


图 1

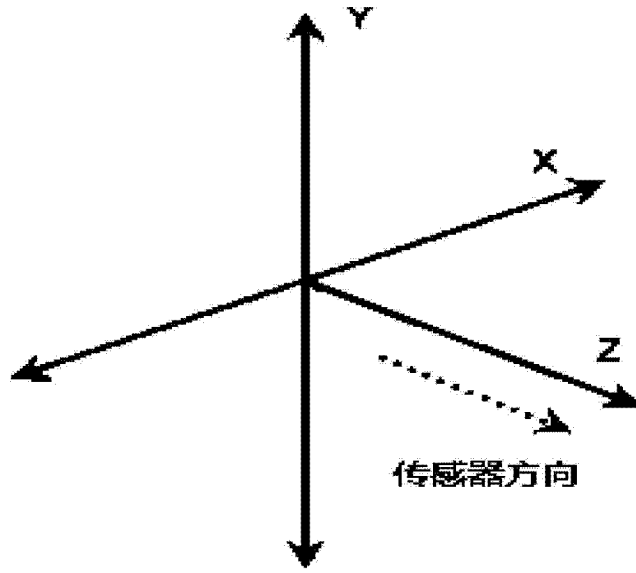


图 2

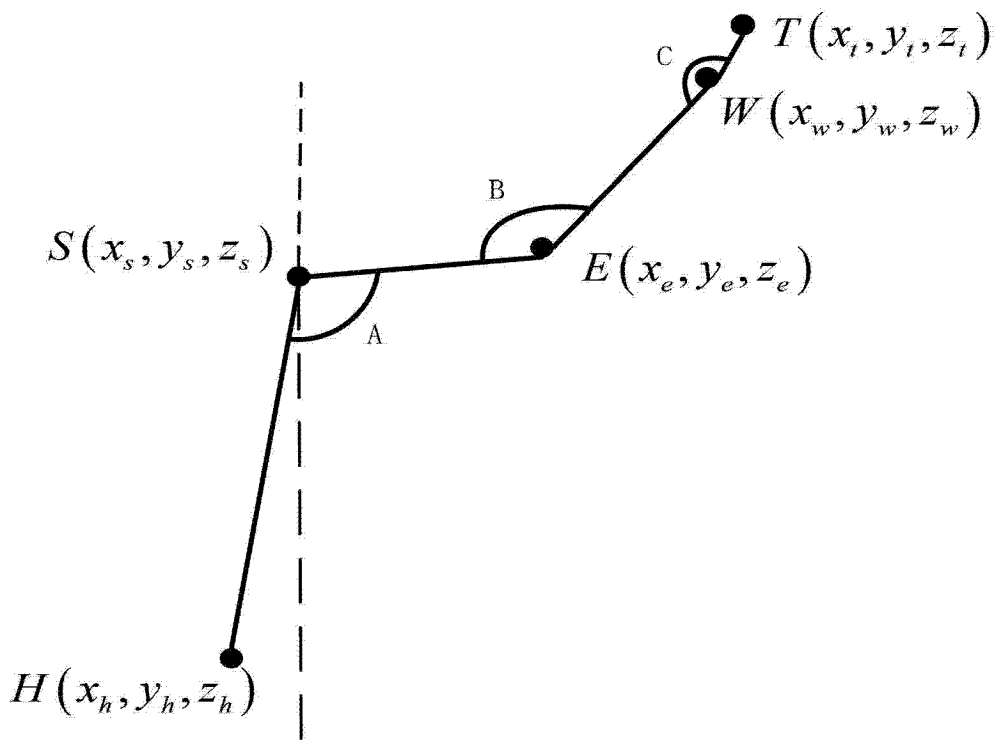


图 3

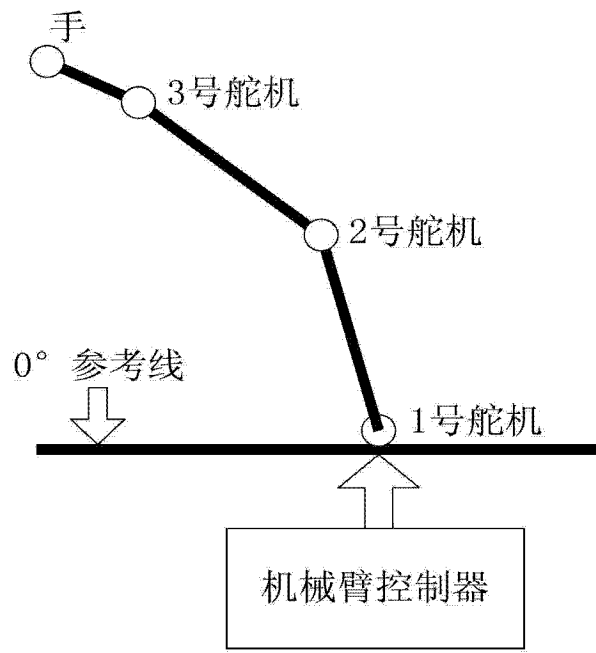


图 4

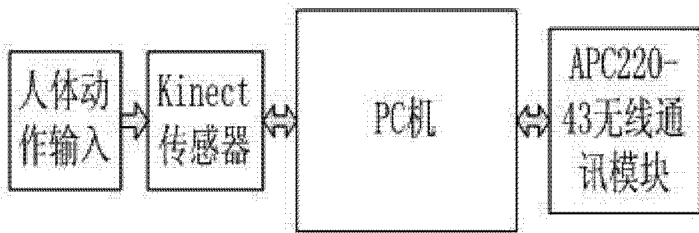


图 5a

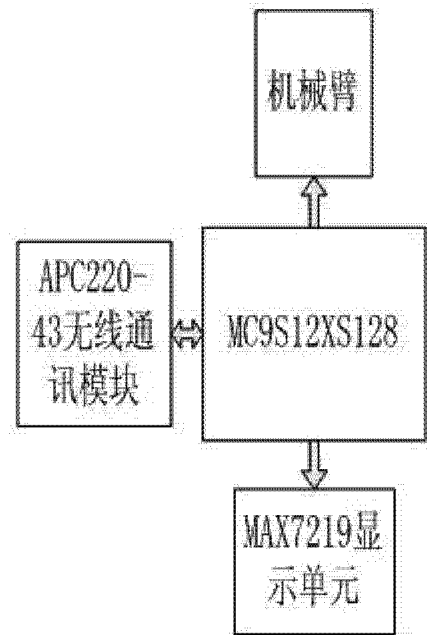


图 5b