

尊敬的审稿专家：

我们非常感谢您对此文章提出的意见和建议。根据这些意见和建议，我们对原稿进行了细致的修改，并将修改部分用红色字体标注。详细修改如下：

1、摘要部分对于本文的工作描述紊乱，具体地，在介绍系统后为什么又讨论了目标跟随算法、数据融合算法、路径规划算法的设计，与系统直接的逻辑关系是什么？其次，对于数据融合算法的创新性在哪，为什么不考虑其他卡尔曼滤波算法，如 EKF，UKF 等；路径规划算法的创新在哪，仅对比其他规划算法使其创新性低；速度比值为什么保留如此多的位数？本文算法的实时性如何，请讨论。

在修改稿的摘要中，添加了“机器人实现功能需要硬件与软件的结合”一句话，并分别用“在硬件方面”和“而软件方面”引出关于系统和算法的简述，以体现并列逻辑，即系统和算法都是完整的机器人的组成部分。

算法方面的创新性不在于算法本身，而在于使用了这个算法。在现有的、关于捡球机器人比较完整的设计方案的文献中，均未同时提及方向修正（原稿为目标跟随，但为了体现算法的功能，改名为方向修正）、数据融合和路径规划，但机器人为了实现捡球功能，至少高效地捡球，是离不开这些算法的。相关内容已在修改稿的引言部分进行了更详细地论述。

需要数据融合的系统是线性的，使用 KF 能够满足机器人的需求，而 EKF 和 UKF 等更复杂的算法通常是为非线性系统设计的，没有必要应用于线性系统。该部分已在修改稿的“数据融合算法”部分进行了论述。

在修改稿中，已将所有数据所保留的位数进行了更改，大部分保留了 2 位。

在修改稿的实验部分，添加了关于实时性的实验。在本文所涉及的算法中，神经网络和卡尔曼滤波对计算资源的需求较高，该实验通过测试这两个算法的时间开销来验证实时性，结果表明具有很高的实时性。

2、英文摘要部分需要修改，存在语法和表述问题，请作者仔细核对；

感谢您的仔细检查，在修改稿中，已经重写英文摘要，修改了存在问题的语句。

3、前言部分，需要重点描述本文工作的创新性，请逐条描述；

在修改稿的前言部分已罗列主要创新点，并从对现有方案的缺点分析开始到前言结束这一部分添加了更多关于这些创新点直接或间接的说明。简单来说，包括采用旋转刷式收球机制、设计了发球系统和与之搭配的“人”字形存球轨道、通过非线性 PID 算法控制车体前往每一个球体附近和通过遗传算法确定收球顺序。

4、文章作图欠缺，如图 7，图 8，模糊且布局存在问题，图 15 的起始点在哪，等等；

在修改稿中，对原稿中图 7 到图 9 进行重新绘制，并重新排版，使其更加清晰明了；重新进行了原稿中图 15 对应的实验并重新绘制图像，添加了图例并标记了起点；此外，对图 2 进行了修改，使图中的字体更大，且更加紧凑。

5. 通过神经网络优化 PID 参数后的结果如何，实际实验中的运动平滑性与优化的 PID 参数之间存在什么影响；全局定位的误差是多少，在仿真环境中确定的算法移植到控制系统中需要有哪些额外的调整；数据融合中，实验中卡尔曼滤波的最终超参是多少？

该机器人中的 PID 参数不是固定的，而是通过神经网络实时计算的，神经网络的输入有两个数据，分别为此时此刻球体相对于机器人的方位和上一时刻机器人的角速度，输出有三

个数据，分别为 P, I, D 三个环节的参数，而 PID 的输出为此刻机器人需要达到的角速度，故本文中优化的对象不是 PID 的参数，而是神经网络的参数。在修改稿的方向修正算法部分进行了相关论述。

从仿真环境移植到实物上时，方向修正算法无需做调整。机器人收球的前提是能够向球体方向运动，但机器人的运动方向不可能每时每刻都朝向目标球体的方向，例如该球体在机器人的侧面时，所以机器人需要转向，一种简单的方案是原地旋转，但因为没有线速度所以效率较低，考虑使机器人同时具有线速度和角速度，此时机器人能够在靠近球体的同时修正方向，这就是方向修正算法的作用。方向修正算法的输入为球体相对于机器人的方位，输出则为此刻机器人需要达到的角速度，至于如何使机器人达到该角速度，即如何控制电机，则不属于该算法的功能，更一般地，该算法不需要考虑硬件特性，只需要在仿真环境中训练神经网络时对角速度和角加速度等物理变量的最大值进行限制即可，故从仿真环境移植到实物上时，方向修正算法无需做调整。在修改稿的方向修正算法部分进行了相关论述。

根据上一段的论述，由于方向修正算法不直接与底层硬件进行交互，所以该算法的“平滑性”只需考虑理论情况即可，在修改稿的实验中添加了非线性 PID 模拟实验，用于展示其在模拟中具有很高的平滑性。

在修改稿中，添加了全局定位系统误差测试的实验，该实验目的在于验证该误差实际有多大，包含机器人的位置误差和球体的位置误差。

在修改稿中，添加了表 3，用于说明数据融合部分中所有参数和变量的含义和取值。

6、结论部分需要对未来的工作进行展望；

在修改稿的结论部分，列出了 3 个展望，简单来说，分别为更高效的路径规划算法、优化存球系统和发球系统的设计方案和降低全局定位系统的误差。