

阻力矩,只考虑装甲车以速度 v 进行转向(以左转为例)行驶.为了方便观察,以俯视的角度绘制示意图.其中 $Center(x_0, y_0)$ 是装甲车转弯轨迹圆的圆心, $CurPos(x, z)$ 是装甲车的当前所处的位置, $Dir(x_d, z_d)$ 是当前的行驶方向, $AimPos(x', z')$ 是装甲车目标位置, $Dir'(x'_d, z'_d)$ 是装甲车到达目标位置时的行驶方向.

如图7所示,可求得两点之间的弧长(即装甲车的运动轨迹的长度)为 $v\Delta t$, 两点之间的距离(即弧对应的弦长)为 $\sqrt{(x' - x)^2 + (z' - z)^2}$ 可以由相关的公式求出装甲车的转弯半径和对应的角度.公式为:

$$v\Delta t = R\theta/2 \tag{8}$$

$$\sqrt{(x' - x)^2 + (z' - z)^2} = 2R \sin(\theta/2) \tag{9}$$

在水平面上的转弯不需要进行姿态上的调整.

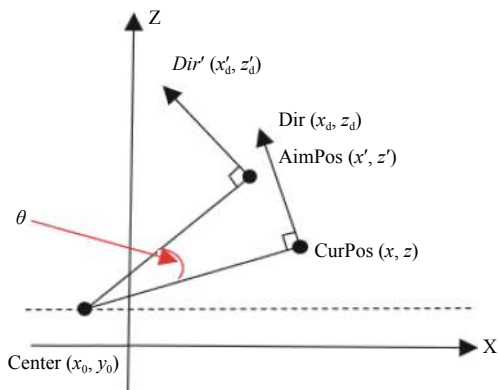


图7 水平地面转弯

3) 比较复杂的情况是在坡路上转弯

装甲车在坡路上转弯,会涉及到俯仰、偏航和翻滚三个自由度的变化.取装甲车两边履带所在平面的方向向量的方向为装甲车的速度方向.假定装甲车在上坡路上向左转弯俯仰自由度在减小的同时,翻滚自由度在增大(右履带要比左履带高).两者的改变量是相同的,所以翻滚自由度是不需要考虑的.在已知装甲车行驶速度的前提下,讨论偏航角和俯仰角之间的关系.

如图8所示 A 是开始转向时速度的方向, A' 是 A 在地面上的投影, B 是转向后的方向, B' 是 B 在地面上的投影. $\angle AOA'$ 是开始转向时的俯仰角 $\angle BOB'$ 是转向后的俯仰角, $\angle A'OB'$ 是偏航角,可以得到俯仰角和偏航角之间的关系为:

$$\angle BOB' = \angle AOB * \angle AOA' / 90^\circ \tag{10}$$

装甲车的受力和地形是影响其自身姿态的最主要原因,自身姿态的改变体现在俯仰角、翻滚角、偏航角的变化.通过对装甲车在不同地形上的受力分析以及装甲车的当前状态,利用公式计算出俯仰角、翻滚角、偏航角的变化,从而达到调整自身姿态的目的.

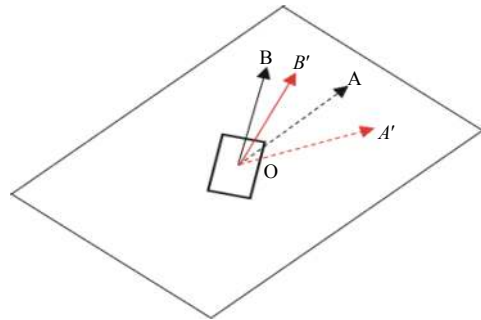


图8 坡道转弯

1.3 地形场景构建以及驾驶视角

为了尽可能的模拟真实的装甲车的行驶环境,检验装甲车辆运动姿态与虚拟地形表面的契合度,本系统选取某靶场的真实地形作为虚拟训练场景的地形来源.采用靶场真实地形的 DEM 数据作为真实地形环境生成的依据,同时从该靶场航拍影像数据中提取地形的真实纹理数据,动态铺设虚拟环境的地形表面纹理,有效避免了遥感影像贴图随缩放而发生失真现象的产生.

驾驶者可以从第一视角和第三视角去观察装甲车的运动形态和自身姿态.



图9 第一视角图

使用 Unity3D 引擎在装甲车模型内部放置摄像机,方向是装甲车的正前方,该摄像机的视野就是第一视角的视野.

使用 Unity3D 引擎在距离装甲车中心一定距离处放置摄像机,该摄像机可以在以装甲车中心为圆心,以距离为半径的球面上运动,方向始终朝向装甲车,该摄

像机的视野就是第三视角的视野。



图 10 第三视角图

2 试验与分析

利用 Python 绘制如下坡道, 在这个坡道上实验计算装甲车行驶时模型的可行性。

装甲车在坡道上做直线行驶时, 俯仰角和车辆位置之间的关系

表 1 坡道直行, 位置与俯仰角的关系

车辆位置 (X)	俯仰角 (角度)
0.2	56.15
0.4	52.77
0.6	47.29
0.8	39.92
1.0	30.96
1.2	20.76
1.4	9.74
1.6	-1.63
1.8	-13.02
2.0	-23.84

利用图 11 中的坡道作为装甲车坡道转弯时的模型. 假定装甲车的初始位置是 0.9, 装甲车左转行驶, 其偏航角、俯仰角和翻滚角之间的关系。

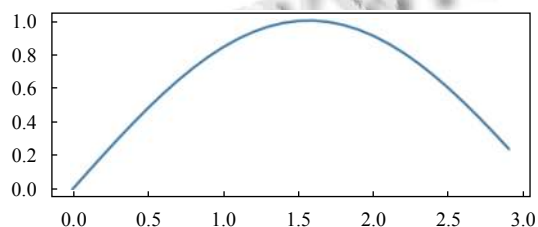


图 11 坡道模型图

采用上述算法对装甲车自身姿态进行调整结果如下:

在装甲车运动的过程中, 如果不能对装甲车自身的姿态做出及时的调整, 会出现装甲车悬空或嵌入地

面的情况, 本文通过对装甲车受力分析以及对装甲车当前速度、位置等信息的分析, 进而对影响装甲车自身姿态的三个变量进行计算, 达到调整装甲车自身姿态的目的. 可以看到在这三种形态下, 装甲车自身的姿态都能随着地形的起伏变化做出相应的调整, 使得装甲车的履带紧贴地面。

表 2 坡道转弯, 偏航角、俯仰角与翻滚角之间的关系

偏航角	俯仰角	翻滚角
9.0	32.53	9.08
18.0	30.15	17.42
27.0	28.03	24.60
36.0	25.72	30.63
45.0	22.91	35.82
54.0	19.45	40.51
63.0	15.33	44.97
72.0	10.63	49.40
81.0	5.48	53.92
90.0	0.00	58.61



图 12 直行上坡图



图 13 坡道左转图 (上坡)



图 14 坡道左转图 (下坡)

3 结论

在装甲车辆模拟驾驶仿真中, 实时调整装甲车的姿态是重要组成部分. 通过分析地形特点和装甲车运动的动力学模型本文给出了装甲车在坡道上直线行驶和转弯行驶的模型, 通过对模型的仿真和数据的分析验证了模型的可行性. 本文对三维地形下装甲车的运动姿态做了数据分析, 后续将研究不同地形下装甲车的运动所带来的触感进行深入研究.

参考文献

- 1 陈定方, 罗亚波. 虚拟设计. 北京: 机械工业出版社, 2002. 1-2.
- 2 王艾萍, 范士海, 王润岗. 装甲车辆运动姿态实时仿真系统设计及实现. 火力指挥控制, 2013, 38(8): 111-114, 118.
- 3 蒋庆全. 虚拟现实技术的军事应用. 现代防御技术, 2001, 29(2): 44-49. [doi: 10.3969/j.issn.1009-086X.2001.02.011]
- 4 万刚, 夏青, 武志强. 虚拟视景仿真中实体行为建模技术的研究. 测绘学院学报, 2002, 19(3): 214-216. [doi: 10.3969/j.issn.1673-6338.2002.03.018]
- 5 彭晓军, 史美萍, 贺汉根. 虚拟环境中装甲车辆运动仿真的研究. 计算机仿真, 2004, 21(2): 28-31. [doi: 10.3969/j.issn.1006-9348.2004.02.009]
- 6 欧阳冠军, 范晋伟, 王宇心, 等. 虚拟视景中的装甲车辆运动仿真算法研究. 计算机仿真, 2007, 24(12): 94-96, 104. [doi: 10.3969/j.issn.1006-9348.2007.12.025]
- 7 李东. 虚拟环境中装甲车辆运动仿真的研究. 华人时刊, 2014, (6): 170. [doi: 10.3969/j.issn.1006-0278.2014.06.131]
- 8 黄高, 王宇, 王思维. 装甲车虚拟现实驾驶训练系统技术的研究. 军民两用技术与产品, 2016, (8): 62. [doi: 10.3969/j.issn.1009-8119.2016.08.060]
- 9 冯广斌, 侯玉杰, 孙华刚. 装甲车传动装置换挡缓冲调压仿真. 计算机仿真, 2018, 35(11): 7-11. [doi: 10.3969/j.issn.1006-9348.2018.11.004]
- 10 应小昆, 杜增辉, 曲强, 等. 装甲车三维装配工艺设计与仿真及现场可视化技术. 新技术新工艺, 2017, (12): 71-77.
- 11 孙伟, 赵耀, 刘林. 无人履带装甲车双流传动系统研究计算与仿真. 机械工程师, 2015, (10): 24-26. [doi: 10.3969/j.issn.1002-2333.2015.10.013]
- 12 梅尔霍夫 W, 哈克巴尔 E M. 履带车辆行驶力学. 韩雪梅, 译. 北京: 国防工业出版社, 1989.