



文章编号:1671-251X(2018)09-0015-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018030080

综采工作面“三机”运动仿真研究

韩菲娟^{1,2}, 任芳^{1,2}, 杨兆建^{1,2}, 谢嘉成^{1,2}

(1. 太原理工大学 机械工程学院, 山西 太原 030024;
2. 煤矿综采装备山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要:针对目前综采工作面“三机”运动仿真研究较少涉及单机部件联动过程、不能详细展现单机运动状态的问题,结合虚拟仿真技术建立“三机”几何模型,在对“三机”姿态进行解析的基础上,在 Unity3D 平台下通过脚本组件,运用面向对象的编程思想,真实还原采煤机摇臂升降及割煤动作,液压支架降柱、移架、推溜等动作,以及刮板输送机弯曲运动。测试结果表明,所建立的模型能够清晰、完全地展现“三机”构造、运行原理及单机运动情况。

关键词:综采工作面;无人化工作面;“三机”;采煤机;液压支架;刮板输送机;运动仿真;姿态解析
中图分类号:TD634 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180816.1059.002.html>

Simulation research on motion of three machines on fully mechanized coal mining face

HAN Feijuan^{1,2}, REN Fang^{1,2}, YANG Zhaojian^{1,2}, XIE Jiacheng^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
2. Shanxi Key Laboratory of Fully Mechanized Coal Mining Equipment, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of problems that current simulation research on motion of three machines on fully mechanized mining face could not display single-machine motion state in detail, and linkage process of a single unit was rarely involved, geometric model of three machines were established using virtual machine technology. On the basis of attitude analysis, under the Unity3D platform and through script component, object-oriented programming ideas was applied, motions of single machine were restored including rocker arm lifting, coal cutting action of shearer, descending column, moving frame, pushing of conveyer, and bending movement of scraper conveyor. The test results show that the established model can clearly and completely show the structure and operation principle of the three machines and the motion of single machine.

Key words: fully mechanized coal mining face; unmanned coal mining face; three machines; shearer; hydraulic support; scraper conveyor; motion simulation; attitude analysis

收稿日期:2018-03-25;修回日期:2018-07-19;责任编辑:胡娴。

基金项目:国家自然科学基金项目(51475318)。

作者简介:韩菲娟(1991—),女,山西运城人,硕士研究生,主要研究方向为机械设备的虚拟现实设计,E-mail:1451251786@qq.com。通信作者:任芳(1967—),女,山西汾阳人,副教授,博士研究生,研究方向为机械系统动态监测、诊断与维护及机械设备的虚拟现实设计,E-mail:renfang@tyut.edu.cn。

引用格式:韩菲娟,任芳,杨兆建,等.综采工作面“三机”运动仿真研究[J].工矿自动化,2018,44(9):15-19.

HAN Feijuan, REN Fang, YANG Zhaojian, et al. Simulation research on motion of three machines on fully mechanized coal mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(9): 15-19.

0 引言

随着智能技术的快速发展,虚拟现实技术被广泛应用于各行各业,近年来逐步被应用到煤矿开采行业^[1]。国外如英国诺丁汉大学、德国柏林工业大学等在采矿工程模拟、技术培训、事故分析、风险评估等方面进行了研究^[2],但其开发的系统价格昂贵,且不适合我国实际情况。目前国内在煤矿智能化生产方面的研究越来越多,如翟东寒等^[3]通过 JavaScript 编写程序设置各零部件运动关系,在 GUI 界面中实现用户与模型的交互;崔科飞等^[4]实现了液压支架实时监测和控制;李昊等^[5]实现了对综采工作面生产场景中采煤机、液压支架、刮板输送机等设备实时状态信息的采集、显示、预警及反向控制等功能;李建忠^[6]开发出的基于 PC 机的煤矿井下虚拟现实系统展现了矿井环境、采场各种设备、采煤工艺、覆岩垮落等状况,但对“三机”运动状态研究不详细^[7]。

目前对单机运动中各部件联动过程的研究较少,没有真实展现可弯曲刮板输送机在推溜时弯曲运动的情况。针对该问题,本文建立了综采工作面“三机”的单机运动仿真模型,真实展现采煤过程中“三机”各自的运动情况,对进一步实现综采工作面安全生产、少人或无人化生产具有重要意义。

1 技术路线

基于虚拟仿真技术建立三维可视化模拟平台,展现综采工作面“三机”的单机运动情况、机械构造等。主要设计目标:① 建立虚拟模型并进行渲染,增强真实感^[8]。② 基于面向对象编程思想,在 Unity3D 平台内运用脚本插件控制综采工作面“三机”单机运动,展现“三机”运动原理。技术路线如图 1 所示。第 1 条路线:先用 3D 建模软件 UG 建模,通过中间软件 3DMAX 转换格式并导入虚拟仿真引擎 Unity3D 中,最后生成仿真环境;第 2 条路线:结合单机运动原理,在 Unity3D 平台内运用脚本插件进行运动仿真。

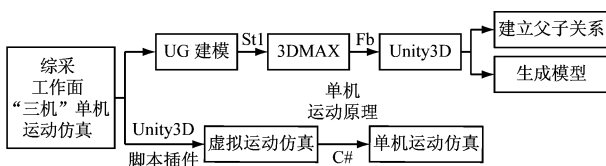


图 1 技术路线

Fig. 1 Technology road

单机运动仿真可反映动态实体的活动变化,其中脚本编程使用 FixedUpdate() 函数,Unity3D 项

目中设置系统运行速度为 50 帧/s,即程序运行 1 帧用时 0.02 s^[9]。

2 “三机”模型的建立

几何建模:以实验室综采工作面“三机”为研究对象,通过 UG 建立三维模型,并对关键运动点添加销轴。采煤机型号为 MG 250/600,液压支架型号为 ZZ4000/18/38,刮板输送机型号为 SGZ 764-630。

模型导入:按照技术路线图,将 UG 模型通过 3DMAX 转换格式导入 Unity3D 平台内并对模型进行渲染,如图 2 所示。

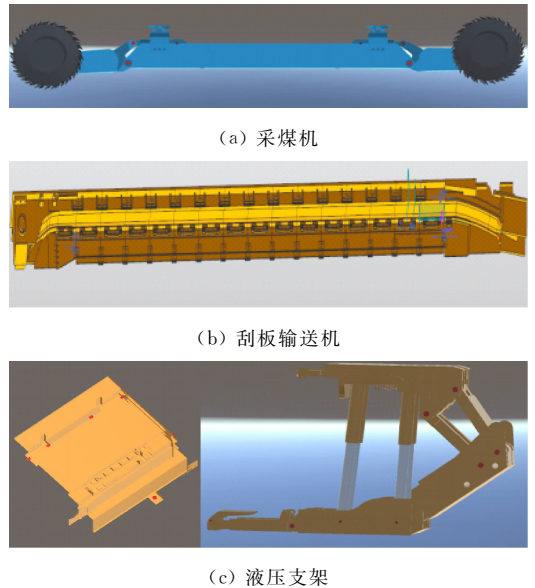


图 2 综采工作面“三机”单机模型

Fig. 2 Model of single machine on fully mechanized working face

父子关系的建立:通过为对象建立父子关系,可对整个物体进行更好的控制与操作。子对象继承了父对象的数据,且可单独编辑操作^[10]。以刮板输送机为例,按其运动情况建立父子关系,如图 3 所示。

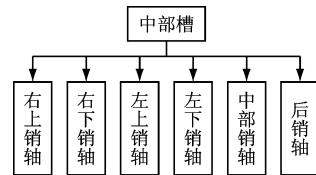


图 3 刮板输送机父子关系

Fig. 3 Parent-child relationship of scraper conveyor

3 采煤机运动仿真

采煤机在端头升降摇臂,正向运行割煤至端尾后反向升降摇臂,再反向行走割煤。其中调高油缸与摇臂协同,仿真过程中给摇臂一升降角度,按解析关系控制油缸的运动^[11]。

3.1 采煤机姿态解析

3.1.1 摇臂升降角的确定

最大采高 m_{\max} 计算公式:

$$m_{\max} = h - E/2 + L \sin a_{\max} + F/2 \quad (1)$$

最大卧底深度 X_{\max} 计算公式:

$$X_{\max} = h - E/2 - L \sin b_{\max} - F/2 \quad (2)$$

式中: h 为采煤机高度; E 为机身箱体厚度; L 为摇臂长度; a_{\max} 为摇臂上升最大摆角; b_{\max} 为摇臂下降最大摆角; F 为滚筒直径。

由采煤机型号可知上述各参数,代入式(1)和式(2)可得摇臂升降角范围为 $-10 \sim 37^\circ$ 。

3.1.2 姿态解析模型

采煤机姿态解析模型如图4所示。

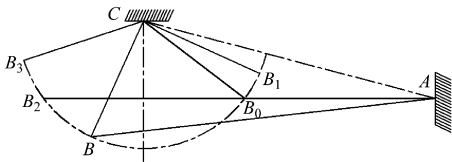


图4 采煤机姿态解析模型

Fig. 4 Attitude analysis model of shearer

站在采煤区面向综采工作面“三机”,以左摇臂为研究对象, C 点为摇臂销轴, A 点为调高油缸销轴, B 点为活塞销轴。当摇臂分别处在初始位置、最低点、最高点时,活塞销轴分别处于 B_0, B_1, B_2 处。随着摇臂的升降,活塞销轴以固定长度 CB 为半径、 C 点为圆心旋转。

通过分析可知, $\angle B_0CB$ 为摇臂摆角,记为 c ; $\angle B_0AB$ 为调高油缸摆角,记为 d 。当 B 处于 $B_0 \rightarrow B_1$ 段时,左摇臂降,记 $c < 0, d < 0$; 处于 $B_0 \rightarrow B_2$ 段时,左摇臂升,记 $c > 0, d > 0$; 处于 $B_2 \rightarrow B_3$ 段时,左摇臂升,记 $c > 0, d < 0$ 。给定摇臂摆角 c , 要得到调高油缸运行轨迹,需求出 d 和 AB 。在 $\triangle ABC$ 中应用余弦定理得

$$AB^2 = BC^2 + AC^2 - 2BC \cdot AC \cdot \cos(c + \angle 1) \quad (3)$$

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 - 2AB \cdot AC \cdot \cos(d + \angle 2) \quad (4)$$

由式(3)、式(4)可得到调高油缸随摇臂升降而摆动的角度 d 及伸长量 $|AB - AB_0|$ 。

3.2 采煤机运动实现

采煤机运动通过 JiShen.cs 脚本组件控制。所有动作可分解为平移与旋转 2 种基本类型,直接调用 Unity3D 提供的 Transform 组件中的平移函数 Translate() 和旋转函数 Rotate() 实现平移与旋转运动^[12]。采煤机运动逻辑见表 1。

具体的运动实现过程如下:

表 1 采煤机运动逻辑

Table 1 Motion logic of shearer

判断条件	采煤机动作
if(右摇臂升角 $< 37^\circ$)	摇臂右升左降
else if(右摇臂升角 $> 37^\circ$ && 采煤机坐标 $<$ 端尾标)	采煤机正向移动
else if(采煤机坐标 $=$ 端尾标 && 左摇臂升角 $< 37^\circ$)	摇臂反向升降
else if(左摇臂升角 $> 37^\circ$ && 采煤机坐标 $>$ 初始坐标)	采煤机反向移动

(1) 采煤机摇臂通过绕销轴旋转实现升降,通过摇臂升降角变量控制摇臂升降至指定位置。在此过程中,调高油缸将摇臂升降角作为自变量,代入姿态解析公式(式(3)、式(4))中得到活塞旋转角与位移量,再分阶段控制摇臂运动。

(2) 采煤机调用移动函数实现运行割煤。

(3) 在 FixedUpdate() 函数中,按表 1 的逻辑关系,运用 if 语句调用各动作指令,形成采煤机连贯运动。

4 液压支架运动仿真

4.1 姿态解析

液压支架支护方式为即时支护,其动作包括收护帮板 \rightarrow 降柱 \rightarrow 拉架 \rightarrow 升柱 \rightarrow 伸护帮板 \rightarrow 推溜。升降柱过程中液压支架整体做协同运动。根据文献[8]给定后连杆倾角,得到前连杆、掩护梁、顶梁及立柱的旋转角度及伸长量。

液压支架模型如图 5 所示。其中 L_2 为前连杆, L_3 为后连杆, L_1, L_4 为前后连杆两端的距离; θ 为后连杆倾角, δ 为顶梁倾角, φ 为前后连杆连线与水平面夹角, β 为前连杆倾角, γ 为掩护梁倾角, α 为前立柱夹角, ϵ 为后立柱夹角。

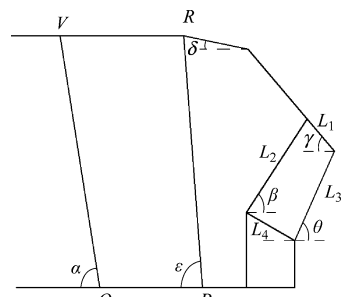


图5 液压支架模型

Fig. 5 Model of hydraulic support

经分析可得

$$L_2 \sin \beta + L_4 \sin \varphi = L_1 \sin \gamma + L_3 \sin \theta \quad (5)$$

$$L_2 \cos \beta + L_1 \cos \gamma = L_4 \cos \varphi + L_3 \cos \theta \quad (6)$$

在四连杆结构中 L_1-L_4 和 φ 已知, θ 给定的情况下, 由式(5)、式(6)可求得 β, γ 。顶梁是掩护梁的子物体, 会随着掩护梁旋转, 应保证顶梁水平反向旋转 $-\gamma$ 。在 Unity 世界坐标系下, 可得点 O, P, V, R 的坐标。经测试可知 V 点的 X, Y 坐标变化, 前立柱杆旋转角度为 $\arctan \frac{Y_{OV}}{X_{OV}}$, 立柱杆伸长量为 $\sqrt{X_{OV}^2 + Y_{OV}^2} - L_{OV}$, 其中, Y_{OV} 为前立柱 OV 运动后在 Y 轴方向的长度, X_{OV} 为前立柱 OV 运动后在 X 轴方向的长度, L_{OV} 为前立柱 OV 原长。

4.2 运动量计算

液压支架运动的本质是油缸运动, 其运动时间为各个动作时间之和。查阅油缸运动时间计算公式^[13]可得各个动作时间, 以降架时间 T_1 为例, 其计算公式为

$$T_1 |_{s} = \frac{nmSk}{Q} \times 10^3 \times 60 \quad (7)$$

式中: n 为同时移架数; m 为立柱数量, $m=4$; S 为立柱有杆腔面积, m^2 ; k 为立柱行程, m ; Q 为流量, L/min 。

移动一架支架所用时间为 $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$, T_1, T_2, T_3, T_4 分别为升架、推溜、移架的时间。将时间转化为帧数控制, 因为系统设置每秒运行 50 帧, 所以运行时间转化为 $50T$ 帧。

4.3 液压支架动作实现

液压支架运动通过 `YeYaZhiJia.cs` 脚本控制, 先建立各个动作的子函数, 再运用条件判断语句将各子函数连接起来, 每个函数的执行条件用该动作运行的帧数来控制。

各动作过程通过调用移动函数 `Translate()` 或旋转函数 `Rotate()` 实现。其中升、降柱时整个支架联动, 代入姿态解析, 得到各部件每帧移动或旋转的量, 进一步实现各自运动。最后在 `FixedUpdate()` 中将各动作按顺序连接起来。

5 刮板输送机运动仿真

5.1 姿态解析

刮板输送机中部槽之间用套环连接, 推溜时形成 2 段大小相等、方向相反的反切弯曲段, 如图 6 所示。给中部槽添加右上、右下、左上、左下 4 个关键点销轴。所有的中部槽分 3 个不同阶段实现弯曲: 第 1 个弯曲段的实现; 中间部分的弯曲; 最后一个弯

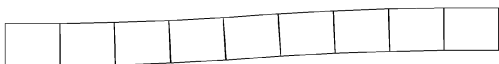


图 6 刮板输送机弯曲段

Fig. 6 Bending section of scraper conveyor

曲段的移直。

对刮板输送机弯曲段进行画图分析, 并查阅资料^[14], 取每个弯曲段的中部槽数为 9。

5.2 刮板输送机动作实现

将虚拟场景中的中部槽编号为 $0 \sim 59$ 。编写 `ChuShi()`、`ZhongJian()`、`MoWei()` 三个子函数来实现刮板输送机运动的 3 个阶段。

(1) `ChuShi()` 函数控制前 9 个中部槽运动, 形成第 1 个弯曲段。控制过程分析如下: 第 1 架支架开始推溜, 推动与其相对应的第 1 个中部槽(编号为 0)向前移动 $1/9$ 个步距。后面中部槽保证前后连接处销轴坐标一致, 后一个中部槽绕父物体旋转即可; 同理, 第 2 架支架推溜时, 第 1 个中部槽再向前移动 $1/9$ 个步距, 后面 8 个与上面运动一致。依次运动, 第 9 架支架推溜后, 第 1 个中部槽前移 0.6 m, 前 9 个中部槽形成了完整的弯曲段。

(2) `ZhongJian()` 函数控制 9 个以后中部槽弯曲, 此时弯曲段已经形成, 其后每个支架推溜时, 支架对应的中部槽从弯曲段摆正, S 弯曲段依次向后推移。

前半部分弯曲段: 前段 5 个中部槽以右下销轴为父物体, 使其右下销轴坐标等于上一个中部槽左下销轴坐标, 同时绕各自父物体右下销轴旋转 1° 。

后半部分弯曲段: 后段 4 个中部槽以右上销轴为父物体, 使其连接处的右上销轴坐标等于上一个中部槽左上销轴坐标, 同时后半段中部槽绕其父物体右上销轴旋转 -1° 。推溜时, 每个中部槽在弯曲段中依次变为上一个中部槽的位置。

前后段中部槽的父子关系不同, 设对编号为 p 的中部槽推溜, 则处于前后段连接处的中部槽编号为 $(p+4)$, 它的下一个位置即为现在处于弯曲段的中部槽 $(p+3)$ 的位置, 从后半段转到前半段, 父物体由右上销轴转换为右下销轴, 旋转角度为 -1° 。

(3) `MoWei()` 函数控制最后一个弯曲段, 依次将中部槽旋转至上一个中部槽在弯曲段中的位置, 直至弯曲段全部移正。最后一个弯曲段中部槽编号 p 的范围为 $50 \sim 59$, 当 p 增大到一定范围时, 后面不再是完整的 8 个中部槽, 部分语句不再运行。

6 测试分析

在综采工作面“三机”场景中点击运行按钮, 程序运行流畅, 单机运动正确, 运行效果如图 7—图 9 所示。采煤机摇臂升到指定位置后, 运行割煤, 到指定点反向升降摇臂, 反向运行割煤。液压支架做出收护帮板—降柱—移架—升柱—伸护帮板等一系列

动作。刮板输送机能够实现弯曲运动。

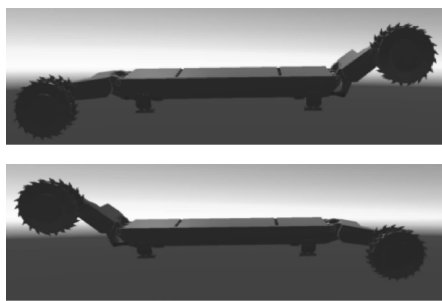
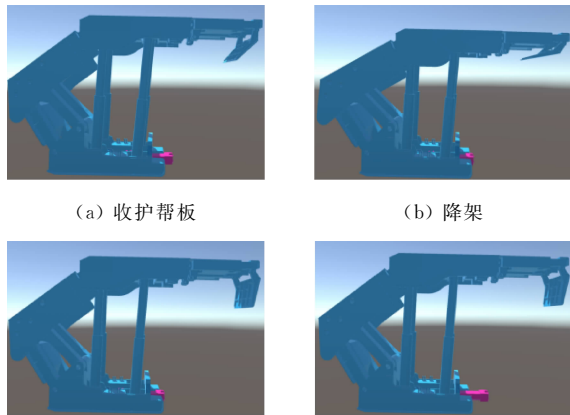


图7 采煤机运行效果

Fig. 7 Operation effect of shearer



(a) 收护帮板

(b) 降架

(c) 移架、升柱、伸护帮板

(d) 推溜

图8 液压支架运行效果

Fig. 8 Operation effect of hydraulic support

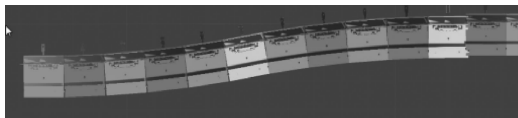


图9 刮板输送机运行效果

Fig. 9 Operation effect of scraper conveyor

7 结语

在对综采工作面“三机”的运动进行姿态解析的基础上,通过 Unity3D 平台实现了单机运动仿真,清晰、完全地展现了“三机”构造及运行原理,为进一步展现综采工作面生产情况、实现可视化监控与智能生产打下基础。

参考文献(References):

- [1] 周刚伟. 虚拟矿井的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2010.
- [2] 赵国梁. 综采工作面安全生产虚拟现实系统关键技术研究[D]. 西安:西安科技大学,2012.
- [3] 翟东寒,郑晓雯,杜少庆,等. 基于 Unity3D 的综采工作面仿真系统研究[J]. 机电产品开发与创新,2014,27(4):75-76.
- ZHAI Donghan, ZHENG Xiaowen, DU Shaoqing, et al. Research on simulation system of integrated

mechanized coal mining face based on Unity3D[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products,2014,27(4):75-76.

- [4] 崔科飞,崔建民. 虚拟仿真技术在监控无人综采工作面的应用[J]. 煤矿机电,2014(3):114-116.
- CUI Kefei, CUI Jianmin. Application of virtual simulation technology in monitoring on fully unmanned mechanized mining face [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2014 (3): 114-116.
- [5] 李昊,陈凯,张晞,等. 综采工作面虚拟现实监控系统设计[J]. 工矿自动化,2016,42(4):15-18.
- LI Hao, CHEN Kai, ZHANG Xi, et al. Design of monitoring and control system based on virtual reality technology on fully-mechanized coal mining face[J]. Industry and Mine Automation,2016,42(4):15-18.
- [6] 李建忠. 综采工作面 PC 机虚拟现实系统的研究[D]. 太原:太原理工大学,2003.
- [7] 李建忠. 综采工作面场景及覆岩垮落的动态虚拟[D]. 太原:太原理工大学,2010.
- [8] 高风瞩,李娟莉,谢嘉成. 基于 Unity3D 的综采工作面全景虚拟现实漫游系统设计[J]. 矿业研究与开发,2017,37(12):68-72.
- GAO Fengzhu, LI Juanli, XIE Jiacheng. Design of the panoramic virtual-reality roaming system of fully mechanized working face based on Unity3D [J]. Mining Research and Development, 2017, 37 (12): 68-72.
- [9] Unity Technologies. Unity 4. x 从入门到精通官方教材[M]. 吴彬,黄赞臻,郭雪峰,等译. 北京:中国铁道出版社,2013.
- [10] 李旺年. 基于虚拟现实技术的综采“三机”联动过程仿真[D]. 西安:西安科技大学,2014.
- [11] 闫海鹏,黄江宁,刘毅. 采煤工艺[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [12] CRAWSHAWS S, DENBY B, MCCLARNON D. The use of virtual reality to simulate room and pillar operations[J]. Coal International, 1997(1): 20-22.
- [13] GAMLIN A, BREEDON P, MEDJDOUB B. Immersive virtual reality simulation deployment in a lean manufacturing environment [C]//International Conference on Interactive Technologies and Games,2014.
- [14] 郗彦辉,刘品强,刘波,等. 刮板输送机弯曲平移时运动及载荷应力分析[J]. 煤矿机械,2009,30(6):93-95.
- QIE Yanhui, LIU Pinqiang, LIU Bo, et al. Load and stress analysis of scraper conveyor advance bendable like snake[J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30 (6): 93-95.