

基于体感技术的游戏重构框架的应用研究

凌财进

(河源职业技术学院 电子与信息工程学院, 广东 河源 517000)

摘要: 为满足体感游戏市场需求, 降低 3D 游戏前期投入风险, 文章提出通过开发中间件模块对游戏开发过程进行简单改造, 实现 3D 游戏向体感游戏平滑过渡的过程; 先是简单介绍了体感技术的原理和工作过程, 接着结合 Kinect 硬件系统提出了 3D 游戏到体感游戏重构框架 (3D-MS 重构框架), 然后设计和实现了中间件模块, 并对现有 3D 游戏的提出具体改进策略和方法; 最后以《神龙》游戏为案例进行了重构和实验测试, 实验表明 3D-MS 重构框架是可行的, 采用中间件技术可平滑、快速实现从 3D 游戏到体感游戏, 比直接改造游戏的效率高 2.2 倍, 同时能提高游戏的人机互动效果。

关键词: 体感技术; 体感交互; 游戏开发; 游戏重构

Applied Research on Game Reconstruction Framework Based on Somatosensory Technology

Ling Caijin

(College of EIE, Heyuan Polytechnic, Heyuan 517000, China)

Abstract: To meet the somatosensory game market demand and to reduce the risk of 3D games pre-investment, the article proposes a simple transformation of the game development process through the development of middleware module, and realizes the smooth transition of 3D game to somatosensory game. Firstly, the principle and working process of somatosensory technology are introduced, and then a 3D game to somatosensory game reconstruction framework (3D-MS reconstruction framework) is proposed in combination with Kinect hardware system. Then, the middleware module is designed and implemented; the game specific improvement strategies and methods are proposed. Finally, the game of Dragon is reconstructed and experimentally tested. The experiment shows that the 3D-MS reconstruction framework is feasible. The middleware technology can be used to realize the game smoothly and quickly from 3D game to somatosensory game, 2.2 times more efficient than without 3D-MS framework, while improving the game man-machine interaction effect.

Keywords: somatosensory technology; somatosensory interaction; game development; game reconstruction

0 前言

3D 游戏是近十年来对原 2D 游戏的重要补充, 其生动逼真的效果, 在相当长的时间里获益不菲, 同时, 使得游戏公司投入了大量的资金。近年体感新技术推出, 使得 3D 游戏人数增长减缓, 前途渐渐变得不明朗, 给游戏投资公司造成了极大的压力。另一方面, 体感游戏相比传统的游戏, 具有更加丰富的人机交互方式, 及其所带来的离开电脑和控制设备的, 近似于在真实生活空间中的互动操作, 可以为游戏玩家带来更强的真实感和操控感, 大大提升了游戏的操作性和可玩性, 也因此深受玩家的喜爱。由于目前市场上基于体感技术的游戏作品较少, 导致市场上体感游戏资源供不应求, 游戏玩家因此感到遗憾。

本文的研究是从游戏开发的角度对现有的 3D 游戏进行重构和扩展, 开发中间件模块, 实现 3D 游戏低成本、快速地向体感游戏切换, 一定程度上满足游戏玩家的需求, 同时保障了游戏公司的前期投入。

1 体感技术

1.1 国内外研究情况

体感技术是目前人机交互领域出现的一种新兴技术, 又称为动作感应控制技术。机器通过某些感觉通道和动作通道 (输入方式: 姿势、视线、表情、语音、手写等) 方式对交互者 (用户) 的动作进行识别、解析, 并按照预定感测模式对相应动作在机器端做出反馈。体感技术的实现主要包括体感硬件设备和体感软件系统两部分构成。通常硬件和软件是由同一厂商提供, 目前主要有 Microsoft, Nintendo 和 Sony 等国际公司, 国内主要有小霸王、外星科技、小米等公司和品牌。早期的体感技术主要依靠各种硬件捕捉设备去完成; 随着技术的发展, 现在借助激光等技术已经小型化或集成在摄像头实现。

新体感技术的出现, 给人机交互接口带来便利, 尤其在游戏开发和虚拟现实等方面, 成为人机交互发展的新趋势。相比早期的鼠标、键盘, 以及后来的配戴型的各种硬件设备, 新体感技术完全不需要玩家携带任何捕捉设备便可进行便捷的交互, 提升了操作的自由度, 增强了整体的沉浸感, 从而提高了体感交互的实用性和娱乐性。

1.2 体感的技术原理

体感技术的工作原理和工作过程其实也是挺简单的, 通过身体动作与数字设备及环境进行交互, 根据用户的动作来接收各种指令并执行。其核心技术在于其先进的数字设备和光学设备, 数字设备可以更加精准有效的视觉系统去观察现实世界,

收稿日期: 2017-06-26; 修回日期: 2017-07-11。

基金项目: 广东省教育科学“十二五”规划教育信息课题; 广东省教育教学改革项目 (201401232)。

作者简介: 凌财进 (1983-), 男, 广东河源人, 硕士, 讲师, 主要从事虚拟现实、游戏开发和物联网安全等方向的研究。

先进的光学等传感器可以全方位的采集环境信息，使得数字设备具有智慧的大脑去精准决断和应用，体感技术的基本工作原理和过程如图 1 所示。

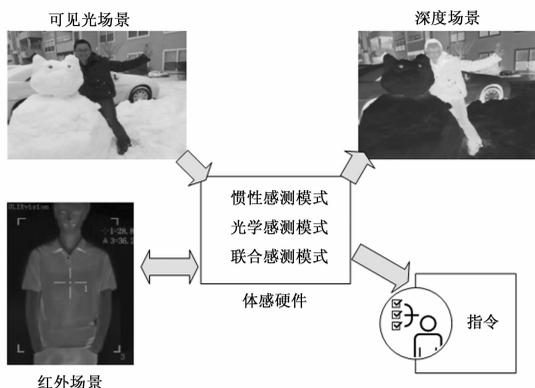


图 1 体感技术工作原理

根据体感发生机制的不同，体感技术主要可分为三大类：惯性感测模式、光学感测模式和联合感测模式。考虑到平台的普遍性、硬件平台集成的便捷性和价格的可接受性，本文选择以光学感测模式的 Kinect 为体感硬件进行研究的，通过光学传感器获取人体影像的动作，在游戏中的内容中呈现和互动。

1.3 体感开发技术对比

与其他体感游戏的实现一样，基于 Kinect 的体感游戏主要包括体感硬件设备和体感软件系统两部分构成。体感软件系统主要由体感游戏和硬件驱动两部分构成，体感游戏的实现通常有多种选择，在此我们针对主要的软件开发框架和具体的软件开发技术的对比，以便我们的开发更加合理，应用推广更加方便^[1]。

目前，基于 Kinect 体感游戏有多种实现方式。其中，主要的两种常用的方式，分别是 Kinect SDK 和 OpenNI 软件开发框架，这两种开发框架都有各自的优缺点。对比如下表所示：

表 1 Kinect 体感游戏主要技术框架对比

比较项目	Kinect SDK	OpenNI
框架开源	不支持	支持
支持音频	支持	不支持,可扩展
支持马达	支持	不支持,可扩展
对持多台 Kinect 设备	对持	额外设置和枚举
商业用途	不支持	支持
单独对手跟踪	不支持	支持
手势识别系统	不支持	支持
深度图和彩色图自动对齐	不支持	支持
关节数据不包括旋转角	不支持	支持
CPU 资源消耗	大	小
操作系统	仅限 Windows	全面支持
支持 U3D	不支持	支持

由于本研究是改造传统的 3D 游戏项目为体感游戏，Unity 几乎占据了整个 3D 游戏的市场；此外，从商业用途和操作系统支持等，以及从原有系统扩展便利性考虑，以便对原有模块和接口进一步封装和灵活调用等方面考虑，我们选择了后者。

2 游戏重构框架

一般来说体感游戏两部分构成，分别是：游戏软件、体感硬件和硬件驱动程序。为节省前期投资，本研究提出通过对传统 3D 游戏进行重构，增加中间件的方式快捷开发，开发体感硬件和软件接口的方式，实现传统 3D 游戏向体感游戏高效转化，我们称之为 3D 游戏体感重构框架（3-Dimensional Games to Motion Sensing Games Reconstitution Framework，简称：3D-MS 重构框架）。

2.1 传统游戏项目

传统 3D 游戏项目是我们的改造对象，假设游戏项目开放源码并且取得版权。通常完整的游戏包括创意、故事、游戏元素、任务系统、游戏规则、游戏智能、界面系统等 10 个方面功能模块构成。游戏玩家在操纵传统游戏时，主要依靠简单的键盘、鼠标、手柄、屏幕等设备^[2]，这种原始的人机交互方式在深度和广度在很大程度上受到限制。当游戏玩家想要引导游戏人物的转身时，操纵者首先需要考虑的问题是控制角色转身的键盘按键或手柄按键的位置，然后挪动手指到达相应的按键，这个过程实际上增加了游戏玩家思维的负担，并且造成思维的踊跃，增加了游戏玩家的反应时间，也极大地影响了游戏玩家的交互体验^[3]。

针对传统游戏，我们认为必须经过重构才能更好地接入中间件，最后转化为体感游戏。游戏智能、游戏操作和游戏界面是我们对传统游戏改造的三大主要任务，也是与体感硬件和游戏玩家有交互的主要游戏模块。

2.2 体感硬件系统

Kinect 体感硬件系统已整合成一个整体，最新版本为 Kinect 2.0，由彩色摄像头、3D 深度红外感应器、麦克风阵列、马达和电路等构成。Kinect 通过其核心模式与用户模式和视频组件与声音组件实现了强大的人机交互方式，为体感游戏提供了可能。

2.3 中间件

中间件是我们整个 3D-MS 框架的核心，也是我们自行设计和开发的主要模块。中间件整合了 Kinect 的驱动程序、开发包、Unity3D 组件包和我们封装的 DLL 类库等。在游戏改造时，中间件模块用作一个第三方软件类库导入到 Unity 开发平台中，随后在应用中即可使用。

基于 Kinect 硬件平台具有更加准确的景深数据流，深度数据流的分析与应用中是中间件的一大任务。中根据景深技术，借助遮罩技术自动剔除非关键的动作，然后把含有关键动作的图像提交给专家系统去判断身体部位并根据前后识别结果（最新版本能识别每个玩家 25 个关节点），并根据骨骼结点生成游戏对象的骨架系统，以准确评估游戏对象实际所处位置和动作。

中间件的第二个重要任务是完成手势检测和序列化。根据体感的深度数据流，结合数据堆的方式实现手势检测和序列化，由于 Kinect 采用的是光学传感器来获取人体动作指令，因此，Kinect 在识别游戏玩家所处的景深方面具有更加精确。

在渲染前，中间件需进行粒子算法和专家系统的学习与训练。

此外，提供类库接入功能和体感信息读取与原游戏的操作信息映射等功能。从 3D-MS 重构框架图可知道，中间件起

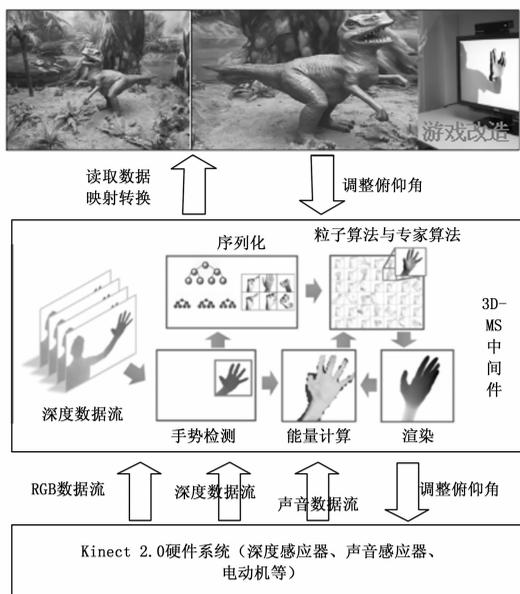


图 2 3D-MS 重构框架

到承上启下的作用，向上需给游戏映射和转换数据，包括位移变化、空间变化和状态等；向下需要从 Kinect 硬件系统的各种传感器中读取数据，包括 RGB 数据流、深度数据流和声音数据流^[4-5]等；中间件另一个重要功能是提供体感游戏开发的接口方法，以及体感数据与游戏动作之间的映射关系，起到提高体感游戏效率，减少游戏的时间和成本，图 2 是整个 3D-MS 重构框架的构成和交互关系图。

3 游戏的重构过程

这一环节，我们主要介绍中间件的实现和游戏的整合。在第二节里面，经过分析比较我们选择 OpenNI 为技术开发框架。OpenNI 负责规范玩家体感的输入和底层硬件的接口，但从 OpenNI 的共享接口到游戏应用的实现，以及体感操作定义和互动都要由游戏开发者自行开发，为减少游戏厂家在这方面的开支，我们编写这样的部件程序，也就是我们中间件。

3.1 对现有游戏的重构策略

前面已分析游戏由创意、故事、游戏元素、任务系统、游戏规则、游戏智能、界面系统等 10 个方面构成，如图 2 所示。游戏改造并不是所有都要改造，我们的改造策略主要是兼顾前期的投入和体感效果两方面，因此，我们主要选择了游戏智能、游戏界面和游戏操作三个子系统进行改造。

首先，对游戏智能方面我们的改造策略是重构游戏中游戏角色的操纵方法，增加体感动作映射关系，在行走、跑、跳等方面让玩家感觉他们就是真实存在的人一样。传统的游戏都是让玩家通过键盘和鼠标等操作设备完成游戏角色的行走、跑、跳、攻击等动作，体验游戏乐趣。改造后是通过体感技术这种全新、便捷的人机交互方式，让玩家全身感官得到充分的解放，通过玩家在现实世界中动作来完成游戏角色的行为，轻松完成行走、跑步、跳跃、攻击等动作，这种通过玩家在现实世界中动作来完成游戏角色的行为即时呈现在游戏过程中，而不需要经过大脑进行太多的思索，使得游戏玩家的身体得到前所未有的解脱和自然的体验。系统在开始时，首先获取 PC

机的视频流数据，然后通过摄像头得到人体动作的图像数据，在数据经过缓冲处理、识别之后，将解码后的 RGB 分量相互叠加^[6]，最后通过 DVI 接口将视频数据输出至显示器，同时 FPGA 将控制信号传送给 PC 机，达到控制 PC 机中游戏的目的。

游戏界面方面，改造策略是如何在各种显示设备上向玩家呈现，向游戏玩家展现游戏最佳最精彩的效果。增加多角色多视觉的察看方式，游戏玩家通过屏幕观看自己的设定角色和其他玩家角色，从不同视觉方式上查看。

3.2 中间件模块的实现

框架模型的主要实现思路是通过体感硬件设备、通过骨骼等技术获得游戏玩家的身体信息，把身体作为一种输入设备，然后把身体信息作为游戏的指令参数映射到游戏中，把玩家在现实世界中的行为呈现在游戏当中，并通过屏幕以游戏角色的方式展现出来，游戏玩家通过以“我为中心”这种方式实现与游戏角色的充分交互，中间件实现方法如下：

第一步：安装 OpenNI 框架并导入 kinectWrapper、unitypackage；

第二步：将 OpenNI 连接至 Kinect；

第三步：通过 PrimeSense 编写 OpenNI 驱动程序，应用 NITE 模块重写 OpenNI 方法；

第四步：Unity3D 使用 Xm3D_MS 接口，获取身体信息实现相应的功能实现，对 Kinect 传过来的体感信息和数据进行处理；

第五步：编写控制模型，绑定模型到游戏角色的相应变量中，确保游戏角色和玩家行为节奏同步。

其中，在第四和第五步之间，我们还需要一个数据识别和处理环节，识别和传递游戏玩家身体信息，在此过程中需要用到 kinectWrapper.unitypackage 作为 Unity3d 插件配合实现。此外，接口模块中整合了 KinectNuiInit ()、DisplayDepth ()、DisplayColor ()、DepthWrapper ()、KinectGetDepthImage ()、KinectColorFrameToImage ()、KinectGetSkeleton ()、KinectJudgeTrack ()、KinectDrawSkeleton () 和 KinectNuiUnInit () 等功能，快捷地实现了 Kinect 的初始化、图像获取、游戏玩家分析和跟踪、游戏合成场景的呈现和退出等操作。

通过以上方法，我们借助 Kinect 硬件系统识别游戏者在现实空间中的行走、跑步、跳跃、攻击和受击等游戏动作，实时捕获体感数据并变成指令操控、指挥游戏。

其中，在第五步中，在原 3D 游戏人物模型基础上，通过中间件预设的方法快速绑定骨骼模型，即时把游戏玩家的身体信息传入到体感游戏中的角色中去，此过程包括骨骼和彩色数据的捕捉，通过堆的形式存放数据，根据先进先出的原则进行存储和缓冲，对图像进行叠加和识别，最后转成对应的指令，实时的捕获传递的信号并及时做出反馈，骨骼模型与指令关系流程如图 3 所示。动作识别过程用到了 K-means 聚类算法获取方向单元和骨骼点阵^[7]。

3.3 集成实现

当硬件、中间件安装完毕，游戏进行必要的改造后，还需在 Unity 平台上进行集成。通过库的形式引入中间件到 Unity，然后在游戏界面系统和和游戏智能上附加上写好的 C# 接口骨骼追踪代码（类图）如图 4 所示，代码附加与代码映射界面如

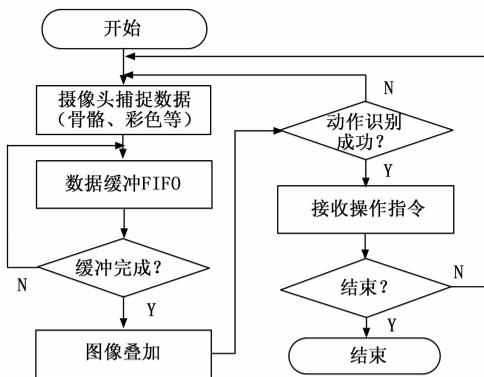


图 3 骨骼模型和指令流程图

图 5 所示，将 Project 窗口的 OpenNI --> OpenNISettings 拖动到 Hierarchy 窗口；在 Hierarchy 窗口选中 soldier，将 Project 窗口的脚本 NISkeletonController 拖到 Inspector 中，完成人物模型的驱动；调用 MSR_NuiDeviceCount 方法来确定传感器数量；接着，使用 new Runtime (index) 方法创建一个新的 Runtime 对象和传递一个参数，实例化一个传感器设备；然后，调用 Runtime.Initialize 方法来初始化设备实例的 NUI (自然用户界面) API；另外，在管理界面调用图像流时，骨骼数据和管理摄像头等方法；体感数据转换成操作指令，执行游戏场景，最后调用 Runtime.Shutdown 完成整个过程。

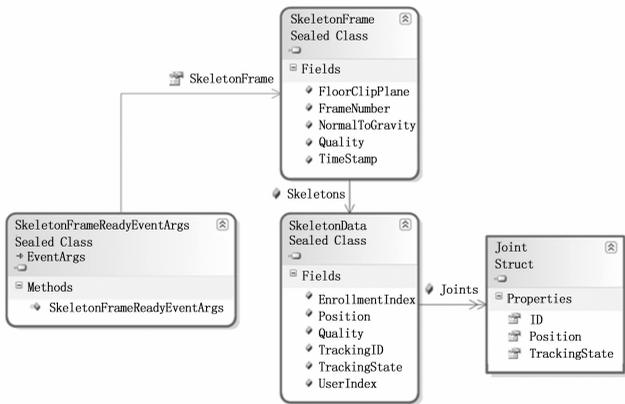


图 4 骨骼追踪代码 (类图)

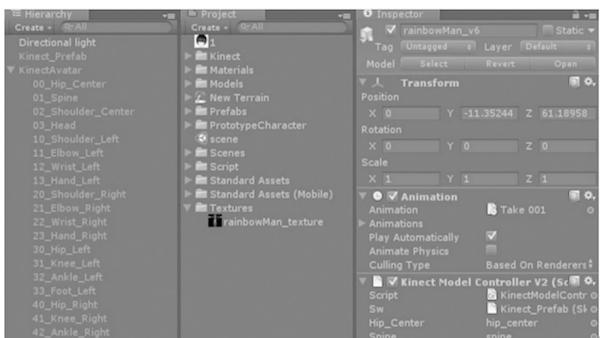


图 5 代码附加与代码映射界面

4 效果测试与实验评估

我们提出游戏 3D-MS 重构框架，并通过整合和抽象的

方式实现了 3D-MS 中间件各类功能和接口，使得中间件快速实现了传统 3D 游戏重构成体感游戏，这种基于体感的游戏为玩家带来一种全新的游戏交互方式，克服了传统游戏仅能依靠键盘、鼠标或手柄这样的简单设备进行人机交互的方式，游戏玩家通过肢体动作，如行走、跑步、跳跃、攻击和受击等就能够与游戏中的虚拟角色实现同步，从而使得玩家为中心的新型游戏形式，我们通过对原三维游戏的升级改造得到新型的体感游戏，在很大程度上消除了虚拟世界与真实世界的距离，充分显示体感游戏的真实性。为测试实验效果，我们邀请了 6 位游戏开发者和 90 位同学作为游戏玩家对中间件使用和体感游戏体验进行评估。

6 位游戏开发者对中间件的实现方式表示认同，认为使用中间件能快速提高体感游戏的开发效率，改造现有的游戏实现体感游戏，在公司快速增加游戏新兴市场的份量起到非常重要作用，尤其为小型游戏公司或游戏作坊提供了超车的快捷渠道。

开始阶段，我们安排 60 位同学分别操纵改造前的《神龙》游戏 (称为传统游戏) 和改造后的《神龙》游戏 (称为体感游戏)。在游戏开始之前，我们对测试成员进行了 1 个小时的训练和试用。最后，对游戏结果和访谈进行记录，同学全体认为体感游戏操作更加方便，更符合人的思考方式，操作游戏不需要太多的思考；其次，他们认为体感游戏让人感觉新鲜，玩起来不觉得累。游戏为人机对战，在传统游戏环节共 48 人取胜，体感游戏环节 52 人获胜。从游戏结果上看，体感游戏并没有取得大幅提升。为了排除可能存在着对游戏故事情节熟悉度的影响，在第二阶段我们另外招聘了 30 位同学，并且改变游戏顺序，培训过程保持一致。先让测试同学操纵体感游戏，然后玩传统游戏，实验中分别为 26 人和 25 人获胜。可见，体感游戏人机交互比传统稍好。

由于中间件是部署在客户端，基本不改变对服务器压力；另外，基于 OpenNI 实现 Kinect 对客户端需求不大。因此，虽然丰富了游戏与玩家之间的互动和体验，但并不会对影响玩家和游戏公司造成很大的压力。

5 总结

本文通过重构传统 3D 游戏和开发中间件的方式，实现传统游戏向体感游戏顺利过度，为重构传统游戏提供一种科学可行的途径。我们通过 Kinect 识别游戏玩家在现实世界中的各种动作等信息，实时捕获体感数据，加强了游戏中玩家的“自我为中心”的体验。这种基于 Kinect 的体感游戏，让玩家通过感知这种客观的空间，重构了主体以往的经验，强化了主体在原有认知上的体验，由此获得不同于传统游戏的全新体验，而这一切的实现不需要游戏从零开始，而是通过 3D-MS 模型来完成。

实验结果表明，3D-MS 游戏重构框架的开发效率是在原有游戏基础的近 2.2 倍；同时，中间件的实现也兼顾了体感游戏玩家的感受，让玩家能享受体感游戏应有的互动和感受，据实验玩家反馈良好，基本达到了我们的目标。在接下来的研究中，一是将加强体感的精度和控制，二是将在框架的中间件模型中引入增强现实技术，使得游戏改造和重构更加省时、便捷的同时，让玩家体验更加人性化。

OUT Y1

AND

该原始指令表程序虽然清晰的反应了图符间的逻辑结构，但是不符合指令表语言的编程规范，因此在后序遍历时加入判断条件，从而得到符合指令表语言编程规范的程序。具体的判断原则的如下所示：

1) 若为触点元件，且为父节点的第一个子节点，则其生成指令的操作码为 LD (若为常闭触点则为 LDI)；

2) 若为触点元件，且不为父节点的第一个子节点，则其生成指令的操作码与父节点的逻辑类型相同，即父节点为“与”节点则为 AND，父节点为“或”节点则为 OR (若为常闭触点则分别为 ANI 或 ORI)；

3) 若为逻辑节点，且为父节点的第一个子节点，则不生成指令 (若没有父节点，即为根节点时也不生成指令)；

4) 若为逻辑节点，且不为父节点的第一个子节点，则其生成指令的操作码与父节点的逻辑类型相同，即父节点为“与”节点则为 ANB，父节点为“或”节点则为 ORB。

根据以上原则对图 4 多叉树进行后序遍历得到的符合编程规范的最终指令表如下所示：

```
LD X0
OR X1
OR X2
AND X3
AND X4
LD X5
AND X6
AND X7
ORB
AND X10
MPS
AND X11
OUT Y0
MPP
AND X12
OUT Y1
```

(上接第 190 页)

参考文献：

[1] 杨东方, 王仕成, 刘华平, 等. 基于 Kinect 系统的场景建模与机器人自主导航 [J]. 机器人, 2012, 34 (5): 581-589.

[2] 刘康. 基于中国京剧身体表演的体感游戏空间构造研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[3] 谢欣, 梁国伟. 基于网络体感游戏空间技术的京剧传播研究 [J]. 文化遗产, 2015 (2): 14-21.

[4] 张毅, 张烁, 罗元, 等. 基于 Kinect 深度图像信息的手势轨迹识别及应用 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (9): 3547-3550.

[5] 马叶涵. 基于 Kinect 的办公健康分析系统的设计与实现 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

[6] 武乾坤, 胡冰, 兰浩. 基于 Android+Kinect 的失能老人自助系统设计与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2017 (4): 135-138.

[7] 陈滨, 时岩. 基于 Kinect 的体感虚拟鼠标研究与开发 [J]. 软件, 2016 (2): 46-49.

[8] 赵磊. 基于 HTML5 和 Kinect 的体感交互游戏关键技术研究

5 结束语

研究分析了梯形图节点元件互相之间的逻辑关系，借助多叉树特殊的数据结构来反应图符之间的逻辑关系并完成梯形图向指令表的转换。在自主开发的梯形图编译软件上成功应用了该梯形图向指令表转换的算法，表明其能够正确地将用户的梯形图程序转换为指令表程序。该算法可用于逻辑复杂梯形图向指令表的转换，即使出现堆栈指令也能同样适用，且梯形图的扫描过程不重复、不遗漏。构建完多叉树之后的遍历过程相较于遍历二叉树等也更为高效。

参考文献：

[1] 李金城. 三菱 FX_{2N} PLC 功能指令应用详解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

[2] 吕俊白, 施敏芳. PLC 梯形图可视化编辑与语句表的自动生成 [J]. 自动化仪表, 2005, 26 (3): 28-30.

[3] 韩雪涛, 韩广兴. 双色图解 PLC 梯形图及语句表 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012.

[4] 阳俊将, 黄道平, 刘少君. 关于 PLC 梯形图到指令表转换算法的研究 [J]. 信息技术, 2012, (6): 75-78.

[5] 未庆超, 蔡启仲. 基于 ARM 的 PLC 编译系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (4): 1225-1229.

[6] 崔小乐, 周卓岑. 可编程控制器的梯形图语言与语句表语言的互换算法 [J]. 微电子学与计算机, 2000 (1): 26-30.

[7] 葛芬, 吴宁. 基于 AOV 图及二叉树的梯形图与指令表互换算法 [J]. 南京航空航天大学学报, 2006, 38 (6): 754-758.

[8] 黄晶晶, 陈文芾. 基于二叉树的 PLC 梯形图转化为指令表的算法 [J]. 现代电子技术, 2010 (4): 125-134.

[9] 傅亮, 胡飞虎. 基于串并联归并的 PLC 梯形图向指令表转换算法 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45 (27): 72-118.

[10] 莫易敏, 章德平. PLC 梯形图转化为指令表算法及实现 [J]. 控制工程, 2006, 13 (6): 573-576.

[11] 石锐, 周雷, 杨正益. 软 PLC 梯形图到语句表转换新策略的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (18): 244-248.

[12] 谭锦洁, 程良鸿, 殷学鹏. 嵌入式 PLC 中梯形图到 AOV 图的映射 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (10): 993-1004.

[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.

[9] 周天彤, 徐飞林, 张旖帆, 等. 基于 unity 和 kinect 的交警手势识别仿真系统的设计和实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5): 156-159.

[10] 张帅, 周恒杰, 等. 基于 Unity3D 和 Kinect 的体感跑酷游戏开发关键技术设计与实现 [J]. 三明学院学报, 2015 (6): 32-36.

[11] 杜坤. 基于 Leap Motion 和 Unity3D 的体感游戏“Survival&Shoot”的开发 [D]. 昆明: 云南大学, 2016.

[12] 徐洋凡. 基于 Kinect 虚拟现实下肢游戏的临床设计及应用 [D]. 广州: 暨南大学, 2016.

[13] 张贵. 体感交互及其游戏的设计与开发 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

[14] 杨竹, 王洪源, 等. Unity3D 中的 Kinect 声源定位与人机交互技术 [J]. 沈阳理工大学学报, 2017 (1): 85-90.

[15] 马建荣, 章苏静, 等. 基于体感技术的亲子互动游戏设计与实现 [J]. 中国电化教育, 2012 (9): 85-88.

[16] 蒋祥飞. 基于 Kinect 的手势识别及其在物流展会中的应用 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.