

面向 AR 虚实士兵对抗训练的分布式感知技术

袁滄天¹ 张景刚² 李蔚清³ 苏智勇¹

(1. 南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094;

2. 中国人民解放军第六一零八工厂, 江苏 徐州 221006;

3. 南京理工大学计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 基于 AR 的虚实士兵对抗训练, 可以很好地解决当前军事训练人员调动繁琐、前期准备工作量大、成本高以及不够灵活等问题。为了提高 AR 对抗训练的实用性, 针对 AR 环境中虚实士兵相互感知的问题, 基于高层体系结构(HLA), 提出了一种面向 AR 虚实士兵对抗训练系统的分布式感知技术。首先基于 HLA 设计虚实融合的联邦体系架构, 通过 MEMS 惯性传感器获取的真实士兵动作捕捉数据实时驱动虚拟化身运动, 利用发布订阅机制实现虚实士兵状态和行为信息的实时更新和相互感知。最后, 设计一个原型系统用以验证上述方法的可行性。实验结果表明, 分布式感知技术能够很好地解决 AR 对抗训练系统中虚实士兵相互感知问题。

关键词: 军事仿真; 高层体系结构; 动作捕捉; 虚实感知; 增强现实

中图分类号: TP391.9 文献标识码: B

The Perception Technology in AR Confrontation System for Virtual and Real Force

YUAN Han - tian¹ ZHANG Jing - gang² LI Wei - qing³ SU Zhi - yong¹

(1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China;

2. No. 6108 Factory of the Chinese People's Liberation Army, Xuzhou Jiangsu 221006, China;

3. School of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China)

ABSTRACT: AR-based virtual and real soldier confrontation training can solve the problems such as the tedious deployment of military training personnel, large amount of preparation work in the early stage, high cost, and inflexibility. To improve the practicability of AR training, and to realize the mutual perception of virtual and real soldiers in AR environment, a distributed sensing technology for AR counterfeit and actual soldier confrontation training system based on high-level architecture (HLA) has been proposed. Firstly, the virtual reality fusion federal architecture was designed based on high-level architecture (HLA). After that, the real avatar movement data captured by MEMS inertial sensors was used to drive the virtual avatar movement in real time. Then, the publish-subscribe mechanism was used to realize the status of actual and actual soldiers Real-time updates and mutual perception. Finally, to prove the feasibility of this method, a prototype system was designed. Experiments show that the distributed sensing technology proposed in this paper can well solve the mutual perception problem of the actual soldiers in the AR countermeasure training system.

KEYWORDS: Military simulation; High level architecture (HLA); Motion capture; Perception between virtual and real; Augmented reality (AR)

1 引言

开展军事对抗训练是提高部队实战能力重要手段之一,对于建立一支高水平的部队具有重要意义。单纯的实兵对抗训练,存在协调难度大、安全风险高、消耗大、成本高、难以常态化等缺点^[1]。而计算机模拟训练虽然有易协调、安全风险低、经济、可控等优势,但由于训练环境与真实环境相差较大,训练的真实感难以得到保证^[2]。使用 AR 技术进行虚实对抗训练,可以兼顾训练真实感与经济性安全性,于是 AR 虚实士兵对抗系统应运而生。

美军在 20 世纪 70 年代就开始研究军事仿真训练系统,到目前已开发出多个 AR 军事训练系统。目前美军开发的 AR 军事训练系统有 战场增强现实系统(Battlefield Augmented Reality System, BARS)^[1],该项目包括穿戴式增强现实系统和三维交互命令环境,能够实现指挥中心与各个战斗员之间的战略和战术信息传输,可作为多人使用的分布式增强现实系统。ULTRA-Vis 是一个美国国防部高级研究计划管理局研究项目^[3],旨在开发一种能提供增强战场态势感知功能的轻量化低功耗单兵穿戴设备,以提高单兵作战能力。陆军步兵训练系统(DSTS)^[4],包括可穿戴计算机系统、人体传感器、具备光学瞄准镜的仿真武器以及触觉反馈垫。但是上述的几个 AR 军事训练系统,都只是将 AR 作为训练的辅助,仅为实兵提供位置显示等辅助功能,不能生成虚拟士兵,无法实现虚实士兵之间的对抗。

为了达到虚实士兵对抗的目的,需要保证系统的真实感,实现虚实感知与交互,所以,虚实感知技术是保证系统实用性的关键^{[2][5][6]}。针对当前 AR 军事训练系统在交互真实感、虚实士兵相互感知能力方面的不足,本文提出一种基于 HLA 的虚实士兵分布式感知架构,利用 MEMS 传感器采集实兵动作数据并驱动其虚拟化身的运动,基于发布订阅机制解决虚实士兵之间的信息交互,最终实现虚实士兵之间位置、状态和交互动作的相互感知,从而提升当前 AR 军事训练系统的交互真实感和实用性。

2 系统的总体架构

AR 虚实士兵对抗系统的结构基于 HLA 设计,其结构如图 1 所示,由导调控制系统、数据管理系统、战场数据采集系统以及虚实士兵感知系统组成,各部分之间通过运行支撑环

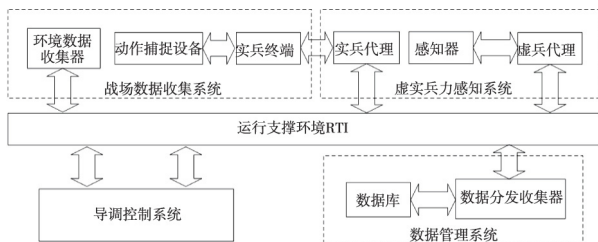


图 1 AR 虚实士兵对抗系统结构图

境 RTI 连接。

虚实士兵感知系统主要负责融合虚拟士兵与现实士兵,使虚兵与实兵能够通过系统形成感知与交互。该部分包括感知器、虚兵代理以及实兵代理。虚实士兵之间可以通过代理使用 RTI 的更新反射机制,实现对相互位置及状态的感知,该部分将在第 4 章作具体描述。而感知器为计算机生成兵力,负责对实兵的动作进行识别,并使虚兵做出相应的反应,由于该部分不是本文研究内容,在此不作详细描述。

导调控制系统主要用于对于整个仿真训练的控制。通过导调控制系统,演练指挥部可以制定训练计划,限定演练条件、添加或删除参加演练的作战单位、监控训练过程,以及对整个训练进行调度。

数据管理系统用于训练数据的记录与提取,主要包括一个数据库以及一个数据分发收集器。数据分发收集器以联邦成员的身份加入 RTI,负责连接数据库与 RTI。

战场数据采集系统主要用于收集真实士兵以及武器的位置、姿态、动作信息。主要为真人动作捕捉系统,该系统是实现虚实感知的重要手段之一。通过动作捕捉系统对人体的运动数据进行采集,以实现虚兵对实兵的位置、状态的感知。这一部分内容将在第 3 章有详细叙述。

以上各个部分之间通过 RTI 进行连接,各节点生成一个代理以联邦成员的身份加入联邦,上层仿真应用与 RTI 之间利用一个仿真中间件进行连接^[7]。仿真开始时,中间件生成一个联邦成员加入联邦,而后再根据联邦文件确定联邦中所定义的对象类与交互类,并读取配置文件以确定本节点的发布订购关系,调用 RTI 的接口函数完成发布订阅的初始化。仿真开始后,上层应用调用中间件的接口函数,中间件执行上层应用的命令,调用 RTI 的接口函数完成操作,实现各个应用之间的数据交换。结束仿真后各节点退出联邦并销毁联邦。

3 MEMS 实兵动作捕捉技术

动作捕捉技术是实现虚实感知的重要手段之一,在本文中采用 MEMS 动作捕捉系统。该系统利用安装在人体的主要关节部位的 MEMS 传感器对人体的运动数据进行采集,并将数据传递给终端设备处理,从而获取人体的运动姿态数据,用来驱动实兵在 AR 环境中的虚拟化身,实现虚实感知与交互。

3.1 MEMS 动作捕捉系统介绍

MEMS 传感器具有低成本、测量精度高、体积小、便于携带的特点,由三轴加速度计、三轴陀螺仪和三轴磁强计组成,能够测得加速度、倾角、旋转等运动数据。当人体穿戴 MEMS 传感器设备运动时,关节运动的区域和范围都不会受到设备的限制,能够克服光学器件设备遮挡的问题的,在人体的动作捕捉系统中具有重要的应用。

本文中采用 9 轴 MEMS 惯性传感器。系统在工作时,PC 机发送命令给传感器,完成 PC 与硬件之间的握手过程。PC

接收传感器发过来的数据,通过数据融合算法计算出人体的姿态数据,直到动作捕捉软件主动断开通信,传感器才停止工作^{[8][9]}。

本文中的动作捕捉系统采用 17 个 MEMS 传感器对真人运动数据进行采集,包括头部、两个大臂、两个小臂、两只手、两条大腿、两条小腿、两只脚、腰部和脊椎,如图 2 所示。在系统中,运动数据用四元数表示,同时由于四元数无法直观的反应出人体运动姿态,所以该也保留了用欧拉角反应运动数据,以根据情况自由选择。

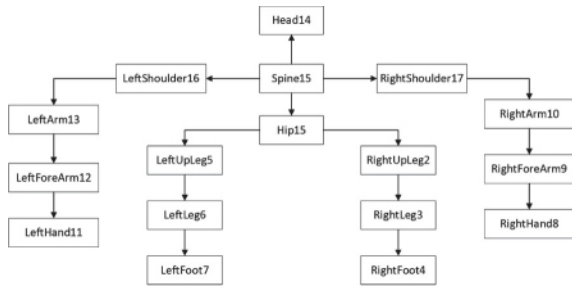


图 2 人体骨骼模型的简单示意图

3.2 互补滤波

由于 MEMS 传感器所采集到的数据为加速度、角加速度以及磁阻。其中,测得的加速度主要用来感知重力加速度的方向与大小,磁阻用来得到地球磁场的方向。通过适量观测法,利用重力加速度方向与地球磁场方向可以确定出传感器的姿态;另外,通过对角速度积分也可以计算出传感器的旋转角度。但是矢量观察法仅在低速和有限的范围内是有效的,而角速度积分法只能在短时间内有效,所以为了获得尽可能真实的姿态,在这里使用互补滤波的方法对矢量观察法与角速度积分法计算出的结果进行融合^[10]。

互补滤波系统中的两个滤波器在频域上互补。实际使用互补滤波方案时,通常选用一阶滤波器,其表达式为

$$F(t) = \frac{1}{\tau s + 1} m(t) + \frac{\tau}{\tau s + 1} n(t) \quad (1)$$

式中 $m(t)$ 为矢量观察法输出的姿态, $n(t)$ 为角速度积分得到的姿态, τ 为时间常数。这样,只有周期大于 τ 的 $m(t)$ 信号以及周期小于 τ 的 $n(t)$ 信号才能通过滤波器,从而能够实现数据融合的互补。

3.3 人体运动位置解算

因为不同人关节的长度不同,所以需要对不同的骨架模型设置不同的长度以提高动作捕捉精度,本节将对不同的骨架模型进行关节位置计算^[10]。

基于人体运动的绝对姿态的位置解算问题,可以转化为求解局部坐标系到全局坐标系的转换问题。假设根节点 Hip 的起始坐标为 $P_{Hip}(0, 0, UpLegLength, LegLength)$,其中 $UpLegLength$ 和 $LegLength$ 分别表示大腿和小腿的长度,将两者之和作为 Hip 的高度。由于最初规定大腿骨骼沿着局部坐标

系的 Y 轴生长,则在父节点局部坐标系下的平移向量可以定义为 $axisLen$,沿着 Y 轴平移骨骼长度的距离,即可得子节点相对于父节点的平移坐标 lv 。

$$\begin{cases} axisLen = (0, HipWidth/2, 0) \\ lv = axisLen * R_{Hip} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $HipWidth$ 表示根节点髋骨关节的宽度, R_{Hip} 为 $LeftHip$ 的旋转矩阵。

由于左大腿根的骨骼长度为髋骨关节宽度的一半,那么 $LeftHip$ 关节的坐标可以表示为

$$P_{LeftHip} = P_{Hip} + lv \quad (3)$$

推广到一般的形式,子节点位置的全局坐标就是父节点位置的全局坐标加上子节点相对于父节点的平移坐标表示为

$$P_{Child} = P_{Parent} + lv \quad (4)$$

根据上述的求解方法,归纳步骤如下:

Step1: 已知根节点 Hip 的坐标为 P_{Hip} 及姿态旋转矩阵 R_{Hip} ;

Step2: 对于人体骨骼采用深度优先遍历方法,首先访问根节点 Hip ,访问过之后对其做个标记;然后依次从 Hip 出发搜索 Hip 的每个相邻节点 W 。若 W 没有被访问过,那么判断节点 W 对应的骨骼是沿着哪个轴向生长。如果沿着 X 轴生长,则 $axisLen = (Length, 0, 0)$;如果沿着 Y 轴生长,则 $axisLen = (0, Length, 0)$;如果沿着 Z 轴生长,则 $axisLen = (0, 0, Length)$,其中 $Length$ 表示骨骼的长度;

Step3: 再根据式上述公式求出节点 W 的坐标,然后将 W 作为新的出发点继续进行深度优先搜索,直至所有和源点 Hip 有可达路径的节点均已被访问过为止,按照上述方式求出该路径上所有节点的三维坐标。如果还有未被访问的节点,那么继续选择一个还未被访问的节点作为新的源点重复上述实验过程,直至所有节点均被访问为止。每条路径上的每个节点的全局坐标,即为人体关节的位置坐标。

4 虚实感知技术

为了实现虚拟士兵与现实士兵能够在同一个系统中进行对抗训练,需要是虚实士兵能够相互感知,并产生交互。即,使用接收到的数据反映出虚兵或者士兵的状态。

4.1 虚实感知实现

为了通过 RTI 的发布订阅机制实现虚实士兵之间的相互感知,需要定义 3 个对象类和 5 个交互类以及各成员之间的发布订阅关系,如表 1 与表 2 所示,表中 P 表示只发布, S 表示只订阅, PS 表示既发布又订阅。

表 1 联邦 Simulation Federation 中对象类的发布订购关系

| 对象类\成员 | 虚兵 | 实兵 | 导演台 | 数据库 |
|----------|----|----|-----|-----|
| Soldier | PS | PS | S | S |
| Tank | S | S | P | S |
| Building | S | S | P | S |

表2 联邦 Simulation Federation 中交互类的发布订购关系

| 交互类\成员 | 虚兵 | 实兵 | 导演台 | 数据库 |
|-----------|----|----|-----|-----|
| Shoot | PS | PS | S | S |
| Explosion | S | S | P | S |
| Damage | PS | PS | PS | S |
| Start | S | S | P | S |
| End | S | S | P | S |

在系统中,虚实感知主要通过对象类的发布与订阅实现。这里以 Soldier 类为例,在 Soldier 类中定义一些属性,如表3所示,其中 Vector3 为自定义数据类型,是由3个 float 类型的数据组成的向量。

表3 对象类 Soldier 中各属性

| 属性名称 | 数据类型 | 属性意义 |
|----------------|---------|-----------|
| Name | string | 士兵名称 |
| Life | int | 生命值 |
| Position1 | Vector3 | 骨骼1的位置 |
| Rotate1 | Vector3 | 骨骼1的朝向 |
| | | |
| Position17 | Vector3 | 骨骼17的位置 |
| Rotate17 | Vector3 | 骨骼17的朝向 |
| Weapon | int | 武器型号 |
| WeaponPosition | Vector3 | 武器位置 |
| WeaponRotate | Vector3 | 武器朝向 |
| RealOrVisual | int | 该实例为实兵或虚兵 |

在系统运行过程中,系统各个部分之间通过 RTI 来传递数据。仿真开始时,各终端作为一个联邦成员加入联邦,并通过联邦通信。当终端加入联邦时,向联邦申请注册一个新 Soldier 类的对象实例,联邦通知其它终端有新实例注册,各成员在收到消息后会在本地生成一个相应的实兵模型。之后若该实例的属性值有改变,终端将会向联邦发送属性更新,联邦在收到属性更新后将会将通知其它终端,各成员在收到更新后,用接收到的数据更新本地模型的状态。仿真结束后,实兵终端删除该实例,并退出仿真,其它终端收到删除实例消息,删除本地的模型。

对于上述过程,实兵与虚兵有所不同。其中虚兵的动作数据则是来自于计算机生成兵力系统,而实兵的动作数据来源于动作捕捉系统。当实兵终端接收到虚兵的动作数据时,会在 AR 眼镜中显示出相应的虚兵影像,从而实现实兵对虚兵的感知;而当虚兵终端接收到实兵的动作数据时,由该端的感知器实现虚兵对实兵的感知。

4.2 虚实交互实现

本文中所讨论的交互主要为射击,下面以射击为例描述交互功能的实现。

当虚兵攻击实兵时,首先计算机生成兵力系统给出此次

攻击的参数,并根据参数进行弹道仿真。之后利用碰撞检测判断子弹是否击中实兵在的虚拟化身。若击中目标,则向联邦发送一个交互类,完成一次虚兵对实兵的攻击。

当实兵攻击虚兵与上述过程类似。首先通过实兵武器数据进行弹道仿真,之后判断是否击中目标。若击中目标,则向联邦发送一个交互类,完成实兵对虚兵的攻击。

为了实现上述的交互实现过程,定义两个交互类: Shoot 类与 Damage 类,如表4表5所示。交互类的发送与接收过程与对象类类似,这里就不再描述。

表4 交互类 Shoot 中各参数

| 参数名称 | 数据类型 | 参数意义 |
|--------------|---------|--------|
| Attacker | string | 攻击者 |
| Aim | int | 目标 |
| Position | Vector3 | 射击点的位置 |
| Rotate | Vector3 | 射击点的朝向 |
| InitialSpeed | float | 射击的初速度 |

表5 交互类 Damage 中各参数

| 参数名称 | 数据类型 | 参数意义 |
|-------------|--------|------|
| Attacker | string | 攻击者 |
| Aim | int | 目标 |
| DamageValue | int | 损伤值 |

5 实验

5.1 开发工具及实验环境

为了验证分布式虚实感知技术的可行性,本文基于 Unity3D 和 CERTI 3.5.1 搭建了一个原型验证系统。系统主要包括了穿戴式单兵 AR 对抗装备、无线通信基站、北斗差分基准站、服务器(如图3所示)。其中,无线通信基站负责支撑整个训练场地的高速宽带无线通信网;北斗差分基准站接收北斗卫星信号并做差分计算,将计算后的精确定位信息传输到单兵北斗定位终端;服务器负责系统中大部分的三维绘制和计算工作以及为虚拟交互及能力评估提供各类数据;穿戴式单兵 AR 对抗装备是一个集成式一体化的硬件平台,包括了动作捕捉系统、AR 头显、北斗定位终端、便携式计算机、无线通信某块。

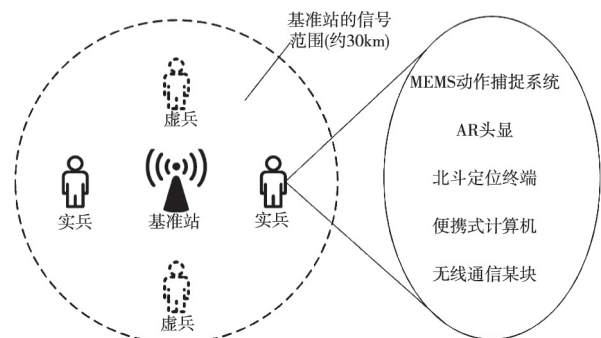


图3 穿戴式单兵 AR 集成北斗定位示意图

无线通信模块和电源。这些设备通过一体化设计和集成化加工工艺,组成一个穿戴式的感知和计算单元。

5.2 MEMS 动作捕捉系统标定

在实验前,需要对 MEMS 系统进行姿态标定,以确定传感器的朝向。这里使用 T Pose 标定与 A Pose 标定^[10],其动作如图 4 所示。T Pose 具体动作为,立正站立,眼睛平视前方,双臂伸平与两肩同高,打开在身体的两侧,掌心向下。A Pose 标定。此时,人体呈立正姿势站立,眼睛平视前方,双臂放在大腿的两侧,掌心贴近大腿。



图 4 MEMS 动作捕捉系统标定示意图

5.3 实验结果

1) 平台性能测试

为了对分布式感知平台的性能进行测试,在实验室中使用 100 台计算机对系统进行模拟。每台计算机运行一个测试程序用以模拟一个客户端,其中每个客户端控制一个虚兵,各个客户端都会向服务器发送自己的属性信息和交互信息,服务器在告知其它的客户端各个士兵的信息,从而保持各个客户端观察到的场景内容和服务器场景保持一致。

在上述测试环境中,100 个节点联机,可正常连接,无掉线现象;测试中,每个节点的收发间隔保持在 40ms 左右,总接收数与发送数相同,丢包率均为 0。实验表明分布式感知平台能够满足系统的性能需求。

2) 虚实感知功能测试

原型系统运行的最终效果如图 5 与图 6 所示。其中,图 5 为系统在 AR 头显中的效果。可以看出,系统可以将虚兵显示在实兵视野之中,使实兵能够感知到虚兵的位置与状态。而图 6 则为此时实兵在 AR 环境中的位置,其中红色框标明的位置为实兵在 AR 环境中的虚拟化身,这表明通过使用动作捕捉系统能够使虚兵在 AR 环境中感知到实兵的存在。

实验运行结果表明,实兵与虚兵能够存在于同一系统中,一同参与仿真训练,实现虚实融合。

6 结论

本文基于 HLA 以及 MEMS 动作捕捉技术设计了一种新型的分布式虚实感知技术。首先,针对 AR 虚实士兵对抗训



图 5 系统实现效果示意图

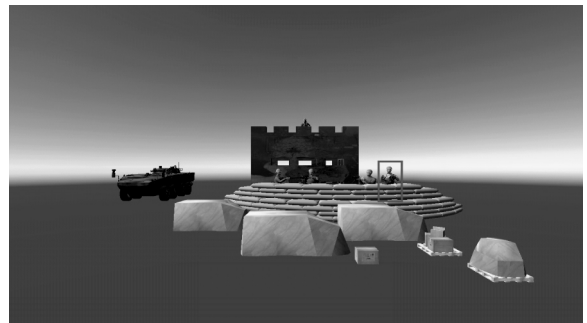


图 6 实兵在 AR 环境中的位置示意图

练系统的需求,研究和设计了分布式虚实感知平台架构;之后,设计和实现了一种基于 MEMS 传感器的动作捕捉系统,实现了单兵动作数据的实时捕捉;然后,设计了系统中所需要的对象类与交互类,并利用 RTI 的更新反射原理实现虚实感知与交互功能;最后,设计并实现一个原型系统,用于测试分布式感知技术的可行性。通过实验可以看出,这种感知技术能够很好地实现虚实感知及虚实交互的功能,满足了未来军事仿真训练的需要,具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 徐宝宇,张宏军. 基于虚实一体的实兵对抗训练系统设计研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2015, 29(3): 52-56.
- [2] 陈玉文. 增强现实技术及其在军事装备和模拟训练中的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2013, 25: 258-262.
- [3] 朱恩成,蒋昊东,高明远. 增强现实在军事模拟训练中的应用研究[C]. 三届中国指挥控制大会论文集(下册). 北京:国防工业出版社, 2015: 954-957.
- [4] 郭威,刘子博,李杰. 虚拟现实技术在军事指挥控制系统中的应用分析[C]. 第六届中国指挥控制大会论文集(下册),北京:电子工业出版社, 2018: 953-957.
- [5] S Julier, et al. BARS: battlefield augmented reality system [C]. Proc 2000 Int Information Systems Technology Panel(IST) NATO Symposium for New International Processing Techniques for Military Systems, 2015.

(下转第 206 页)

为分析本文方法规划的**建筑边缘空间**是否合理,本文将通过判断其合理性,检验本文方法可行性。规划合理性指的是**建筑边缘空间特征信息与功能的匹配程度**,常规情况下,匹配程度越高,则规划合理性越好。将实验数据统计记录,并进行比较,通过实验得到匹配程度对比情况如表4所示。

表4 规划匹配程度对比情况表/%

| 实验次数 | 文献[2]方法 | 文献[3]方法 | 文献[4]方法 | 本文方法 |
|------|---------|---------|---------|------|
| 10 | 73 | 86 | 85 | 94 |
| 20 | 74 | 88 | 84 | 94 |
| 30 | 74 | 89 | 90 | 95 |
| 40 | 75 | 89 | 93 | 96 |
| 50 | 76 | 80 | 84 | 95 |
| 60 | 77 | 80 | 91 | 97 |
| 70 | 87 | 81 | 84 | 95 |
| 80 | 77 | 83 | 89 | 94 |
| 90 | 98 | 85 | 91 | 93 |
| 100 | 89 | 82 | 90 | 96 |

如表4数据显示,提出方法的匹配程度远远的高于现有三种方法,其最大匹配程度可以达到96%,表明提出方法规划合理性更好。

通过实验结果显示,与现有三种建筑边缘空间规划方法相比较,提出基于对称逆布局合并的**建筑边缘空间规划方法**极大的提升了规划合理性参数,充分说明提出的建筑边缘空间规划方法具备更好的规划性能。

4 结束语

提出建筑边缘空间规划方法极大的提升了匹配程度,充分说明提出的建筑边缘空间规划方法具备更好的规划性能,为人们提供更加舒适的生活环境。但是依然存在着缺陷,需

要进一步研究优化。

参考文献:

- [1] 于宁,卢海军. 关于高层建筑外部边缘空间布局合理规划仿真[J]. 计算机仿真, 2018, 35(8): 184-187.
- [2] 崔赫. 基于视知觉图底关系的建筑外立面形式构成研究[D]. 浙江大学, 2011.
- [3] 张中华,张沛,朱菁,等. 场所理论应用于城市空间设计研究探讨[J]. 现代城市研究, 2010, 12(4): 29-39.
- [4] 夏巍,郑彩云,成钢,等. 人本主义视角下的武汉社区生活圈规划研究[J]. 城市规划, 2018, 42(2): 91-96.
- [5] 刘涟涟,朱凯,陆伟,等. 基于儿童日常游戏行为的既有住区户外开放空间规划研究——以大连市某边缘住区为例[J]. 西部人居环境学刊, 2017, 32(4): 79-85.
- [6] 相恒文,史岩. 基于BIM技术的木质建筑结构柱脚节点受力性能测试研究[J]. 科技通报, 2018, 34(5): 103-107.
- [7] 姜晓琴,闫浩文. 多尺度变换中建筑群空间相似度计算模型[J]. 测绘科学, 2017, 42(8): 8-14.
- [8] 田健,黄晶涛,曾穗平. 基于复合生态平衡的城市边缘区生态安全格局重构——以铜陵东湖地区为例[J]. 中国园林, 2019, 35(2): 92-97.
- [9] 乔雪,卢海军,张道明. 多障碍建筑群图像空间布局智能寻优方法优化[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(14): 55-61.
- [10] 陈波,程行,张丽娜,等. 不同排列方式平屋面建筑群极值风荷载干扰效应影响研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(10): 100-105.

【作者简介】



李雨薇(1991-),女(汉族),河南平顶山人,硕士,助教,主要从事建筑设计、建筑历史遗产保护研究。
贾宁(1992-),女(汉族),河南郑州人,硕士,助教,主要从事建筑史研究。

【作者简介】



袁浩天(1993-),男(汉族),江苏省南京市人,硕士研究生,主要研究领域为计算机仿真。
张景刚(1982-),男(汉族),江苏省徐州市人,硕士,主要研究领域为计算机仿真。
李蔚清(1974-),男(汉族),河南省洛阳市人,工学博士,研究生导师,副研究员,主要研究领域为计算机视觉、计算机图形学、增强现实。

苏智勇(1981-),男(汉族),江苏省泰州市人,工学博士,硕士研究生导师,副教授,主要研究领域为计算机视觉、计算机图形学、增强现实。

(上接第17页)

- [6] R Champney, et al. Augmented Reality Training of Military Tasks: Reactions from Subject Matter Experts[M]. Springer International Publishing, 2015.
- [7] 韩群. 中间件在车载天线跟踪系统仿真中的应用[D]. 南京航空航天大学, 2015.
- [8] 丁君. 基于微惯性传感器的姿态算法研究[D]. 上海交通大学, 2013.
- [9] 徐晨. 基于MEMS传感器与Zigbee网络的人体动作捕捉系统的设计与实现[D]. 电子科技大学, 2013.
- [10] 卢泽辉. 基于MEMS惯性传感器的动作捕捉和人体识别方法研究[D]. 南京理工大学, 2016.