

撒布预知下 GA 对动态 WSN 寿命稳定性分析

王雪飞

(黄山学院 信息工程学院, 安徽 黄山 245011)

摘要:在静态 Wireless Sensor Networks(WSN)寿命预知算法基础上,进一步研究动态 WSN 寿命的预知算法,从结构上提出寿命预知的映射图,给出了只与最佳邻居数选择相关的映射函数,得出 WSN 随机撒布分布寿命预知的算法,并从节能的角度用遗传算法(GA, Genetic Algorithm),对动态网络频繁更新所导致的寿命减少问题进行了优化,提出了解决动态 WSN 的普适节能算法。仿真证实了上述问题的有效性。

关键词:最佳邻居数; WSN; 撒布分布; WSN 寿命预知函数; 遗传算法; 适应因子

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)09-0197-05

Analysis for Adaptability of MWSN's Longevity
by GA of Bestrew Distributing

WANG Xue-fei

(School of Info. Eng., Huangshan Univ., Huangshan 245011, China)

Abstract: Based on the arithmetic of longevity prediction for WSN(wireless sensor networks), the arithmetic for MWSN has been further studied, and the mapped chart has been put forward from structure angle, and the mapping function which only related to best neighbor number has been given, thereby getting the arithmetic of longevity prediction by random distributing. Moreover, the longevity has been shorted because of the frequent update of dynamic networks, so from energy-saving angle, the influence has been optimized by genetic algorithm, and the universal energy-saving algorithm which solve the problems of MWSN has been proposed. Simulation experiment at-tests to above questions' validity.

Key words: best neighbor number; WSN; bestrew distributing; predicting longevity function; genetic algorithm; adaptable gene

0 引言

WSN(Wireless Sensor Networks)能量控制协议与算法内容丰富,从不同的角度对 WSN 的能量控制进行了研究,如 COMPOW^[1]、T-MAC^[2]等,从部分层或节点的能量控制出发,完成对网络的能量控制;如 STEM^[3]、ASCENT^[4]协议等,从节点与网络的单一角度,提出对 WSN 能量控制;文献[5]认为在 WSN 的节点与分布式最小能量算法中,节点节能与整体能耗虽然较低,但不能顾及节点与整体网络的能量情况;文献[6]从节点密度已知下对 WSN 的寿命进行了预知算法的研究,认为具有分布结构的 WSN,是具备寿命预知算法的条件。

节点的分布密度决定 WSN 的寿命,在静态与动态(移动)WSN 的预知分布中获得仿真与实验验证^[6];

在不同密度的节点随机撒布 WSN 中,由于数据的瓶颈引起路由的频繁切换等,对一些节点过度的消耗,引起网络的分离与重整,严重影响了网络寿命。文中使用遗传算法对 WSN 能量控制过程的优化,并明显延长了随机撒布 WSN 寿命。

1 静态 WSN 网络寿命的理论分析

1.1 同构网络下影响网络寿命因素分析

考虑一个同构节点组成的 WSN,并引入四个参数:网络活跃节点平均能量 E^{net} ,节点能量 E^{node} ,网络活跃节点平均功率 P^{net} ,节点功率 P^{node} ,对有 n 个活跃(工作)节点组成的网络,有以下表述存在:

$$E^{\text{net}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^{\text{node}}}{n} \quad (1)$$

网络活跃节点平均功率 P^{net} ,若休眠(停止)状态有 K 个节点,则活跃节点功率总和与总节点数量 $n+k$ 的商为平均功率:

收稿日期:2007-12-29

基金项目:安徽省教育基金项目(kj20076342zc)

作者简介:王雪飞(1963-),男,安徽芜湖人,实验师,研究方向为嵌入式低功耗集成传感器、WSN。

$$P_{\text{net}} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j^{\text{node}} + j = \sum_{j=1}^k P_j^{\text{dominant}}}{n+k} \quad (2)$$

其中,休眠节点发射功率 $P_j^{\text{dominant}} \approx 0$,则网络平均功率可以表示为:

$$P_{\text{net}} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j^{\text{node}}}{n+k} \quad (3)$$

比较式(1)、(3), $P_{\text{net}} \leq P^{\text{node}}$, 网络的平均功率比节点功率要小。

引入网络寿命与节点寿命:

$$T_{\text{net}} = \frac{E_{\text{net}}}{P_{\text{net}}} \quad (4)$$

$$T_{\text{node}} = \frac{E_{\text{node}}}{P_{\text{node}}} \quad (5)$$

WSN 初始阶段的 $E_{\text{net}} = E_{\text{node}}$, $P_{\text{net}} \leq P_{\text{node}}$

显然存在 $T_{\text{net}} \geq T_{\text{node}}$, 当节点休眠较多且均匀分布时,网络寿命超过节点寿命。

1.2 网络寿命的量化

由于节点的同构性,且认为能量不足则优等休眠规则始终存在。因此有网络的总能量可以表示为:

$$E^{\text{all}} = E_{\text{net}} * (n+k)$$

网络总消耗功率为:

$$P^{\text{all}} = \sum_{i=1}^n P_i^{\text{node}}$$

其中休眠节点能耗为 0,则网络寿命表达如下:

$$T_{\text{net}} = \frac{E_{\text{net}} * (n+k)}{\sum_{i=1}^n P_i^{\text{node}}} \quad (6)$$

$$\text{或 } T_{\text{net}} = \frac{(n+k) * \sum_{i=1}^n E_i^{\text{node}}}{n * \sum_{i=1}^n P_i^{\text{node}}} \quad (7)$$

$$T_{\text{net}} = (1+k/n) * E^{\text{all}} / P^{\text{all}} \quad (8)$$

引入网络寿命期望值

$$T^{\text{all}} = E^{\text{all}} / P^{\text{all}} \quad (9)$$

基于活跃节点的 WSN 寿命期望值 T^{all} 是动态的,与网络的实际寿命 T_{net} 之间存在如下关系:

$$T_{\text{net}} = (1+k/n) * T^{\text{all}} \quad (10)$$

由上可见,网络寿命由二部分组成:休眠节点数量 k 与活跃节点网络寿命期望值 T^{all} 。

引入休眠系数 $\beta = k/n \leq 1$, 则

$$T_{\text{net}} = (1+\beta) * T^{\text{all}} \quad (11)$$

当休眠节点较多时,网络寿命有效延长。如图 1 所示。

$$\Delta T = T_{\text{net}} - T^{\text{all}} = \beta * T^{\text{all}} \quad (12)$$

蓝牙组成的 PICONET,这个比例范围是 $\eta = 0 \sim 31$,预期寿命延长十分明显。

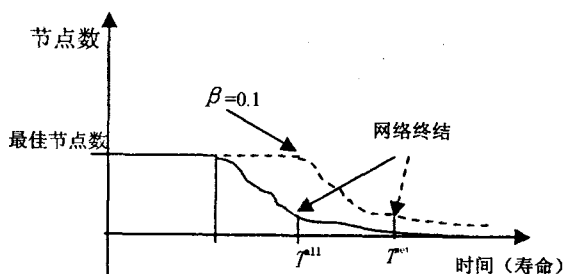


图 1 网络寿命延长示意图

1.3 节点密度的网络期望寿命分析

考虑 WSN 的节点分布函数为 P , 相对于分布面积 S 存在以下关系

$$P = p * ds$$

其中, p 是分布密度。则期望存在一个

$$T_{\text{net}} = p * T^{\text{all}} \quad (13)$$

且 β 与 p 之间存在一个映射关系。

分布密度 p 是休眠系数 β 的映射。

● 均匀分布。

物理节点分布密度 p_x 为面积的线性值,转变为活跃节点的邻居数,其中活跃节点的最佳邻居数或活跃邻居节点数为 λ 。

当物理节点密度 p_x 大于或等于最佳邻居数时,其密度函数表现为每节点最佳邻居数。

一跳(hop)内的节点(node)密度 λ ,是在节点邻居表中出现的邻居数,组成网络节点密度。密度的分布,依公式(10)得出:

$$p_x = \begin{cases} \beta = k/n & n_{\text{上限}} \geq p_x \geq n_0 \\ n & \text{other} \end{cases} \quad (14)$$

或在节点密度 λ 较大时

$$p_x = \begin{cases} \lambda_0 & n_{\text{上限}} \geq p_x \geq n_0 \\ \lambda (= 0) & \text{other} \end{cases} \quad (15)$$

如图 2 所示, λ_0 是一个对应最佳邻居数的常量。

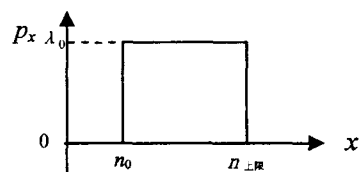


图 2 基于同构的 p_x 分布

由最佳节点数 n_0 得出对应在 $n_{\text{上限}}$ (节点可管理节点数) 之内,网络密度 λ_0 为常量,而邻居数小于最佳节点数 n_0 区域存在一个密度不确定范围,由有限个离散数形成密度变量 λ ,这个密度变量对应为邻居数从一个不为零的节点数到最佳节点的映射过渡。但在均匀同构的几何网络中,这个区域可以认为不存在或 $\lambda = 0$ 。这样获得与公式(10)对应的基于 p_x 的网络寿命:

$$T_{\text{net}} = \sum_{i=0}^k (1+\lambda_i) T^{\text{all}} \quad (16)$$

$$\text{或 } T^{\text{net}} = \int_{t=0}^k (1 + \lambda) d\lambda * T^{\text{all}} \quad (17)$$

其中, $0 \leq \lambda_i \leq n_{\text{上限}}/n_0$ 。

可见,网络寿命 T^{net} 在均匀分布中是寿命可预知的。

● 对数的正态分布。

所谓对数正态分布是指变量 x 的概率密度的分布函数 $f(x)$ 满足下面的关系:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad x > 0 \quad (18)$$

μ 是变量 x 的对数的平均值, σ 是变量 x 的对数的标准差; $f(x)$ 就是变量 x 出现于 $x - 0.5$ 到 $x + 0.5$ 范围的概率密度,如图 3 所示。

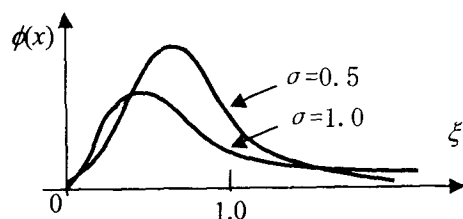


图 3 正态分布(概率密度)

在正态分布中,邻居表节点数为 0 到最佳节点数的分布密度 λ (如上述 other 区),仍然是不稳定的,这部分 WSN 形成寿命的特点与大于最佳节点形成区域不同。在 WSN 的这种分布上形成了两个寿命结构:

(1) 节点可管理活跃节点数大于最佳节点(邻居数)的区域,这部分区域的寿命: $(1 + \beta) * T^{\text{all}}$,如图 4 所示。

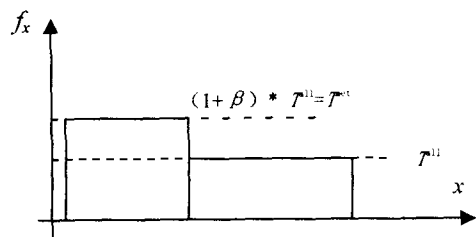


图 4 正态分布的 $f(x)$ 映射图

(2) 节点可管理活跃节点数小于等于最佳节点(邻居数)区域的寿命,这部分寿命等于节点(node)的寿命 T^{node} 。

理想的 WSN 路由中,节能策略应该是自适应的,研究中发现,边缘网络在基于分组节能策略下,功率消耗比骨干网的节点小得多,理由是它的空闲时间与休眠状态约是骨干网中节点的 1.2 至 3 倍(蓝牙网络)[7]。

● 抛撒分布。

WSN 的应用中,节点的抛撒分布下寿命预知是一个重要应用方向。

抛撒概率的实验统计方式为:在 100×100 个方框上,通过从一个角度或多个角度向一个区域抛撒约 10000 粒“黄豆”方式,并绘成分布图形,获取抛撒方式下分布函数。

通过实验,整理出以下三个典型的概率分布模型:

1) 正态抛撒的分布(垂直方向)。

正态抛撒是传感器布局的主要方法,抛撒下存在如图 5 的结构:统计结果表现出正态分布,在密集模式(节点物理密度大于 λ)下,这个分布产生了二个比较重要尾(边)分布,如图 5 所示,这一点在 WSN 的分布研究中十分重要。图 6 为构成网络的最佳邻居数对应的映射。图 5 的尾部分布形成的边缘最佳邻居网络,为这一类撒布的特征。

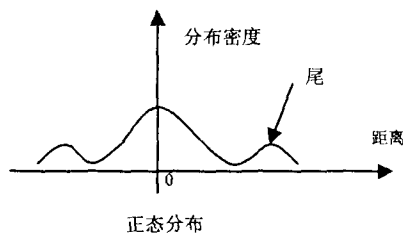


图 5 正态撒布分布

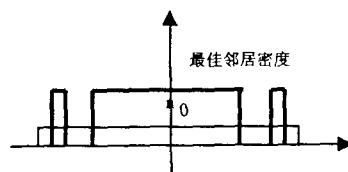


图 6 抛撒正态分布对应不同邻居数 n_0 、 n_k 的 p_x 映射图

2) 斜抛抛撒分布。

斜抛抛撒分布表现出偏态的正态分布,同时在稀疏模式下表现出较大的分布摄动,密集模式下的这一结构表现稳定,如图 7 所示是斜抛撒 45 度(细线)与向下 30 度(粗线)时的二个统计分布。

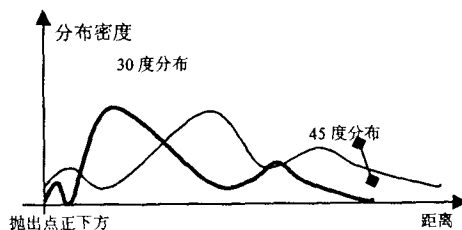


图 7 斜抛抛撒下偏正态分布

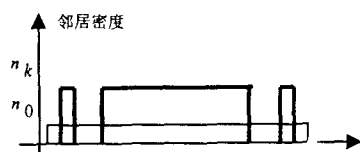


图 8 不同邻居数 n_0 、 n_k 的 p_x 映射图

由图 8 可以看出,确定最佳邻居数为 $n_0 n_k$ 时,网

络呈现两种不同的关系。当最佳邻居为 n_k (较大) 时, 映射分布出现撒布特征 (参考图 6); 当最佳邻居为 n_0 (较小) 时, 呈现同构网络特征 (参考图 4)。选择合适的 n_k 的大小就屏蔽了斜抛的角度问题, 使得寿命 p_x 映射图可以预知而不必考虑撒布的角度。

另一方面, 尾分布的特征确定了边缘网络寿命, 这里存在一个新的结构性选择——边缘算法。这在用作规模较大的 WSN 边缘识别与分布识别中, 具有很大的利用价值。

可见, 抛撒模式与节点分布无关, 仅与节点邻居数相关, 所有映射分布符合公式 (16) 要求。

2 遗传算法对动态抛撒 WSN 寿命分析修正

2.1 能量控制下的遗传算法

遗传算法使用交换与变异系数, 对合理的参数序列进行代际运算, 完成优化并生成后代。

考虑一个参数序列 $\{M = n + k, F, s, pc, pm\}$, 其中:

M ——WSN 的活跃节点总数;

F ——节点的活跃邻居数 λ 或参数 β , 活跃节点不足最佳邻居节点数时, 禁止休眠;

s ——休眠邻居节点数 k 的休眠时平均功率 P^{sleep} ; 当活跃节点功率 $P^{\text{node}} \leq P^{\text{sleep}}$ 时, 唤醒;

pc ——节点更新数或限值, 对一个节点应该不能小于最佳邻居数, 对网络这个值约为小于 (变异系数) 10%;

pm ——能量算子作用值或 $P^{\text{net}} \leq P^{\text{node}}$, 当节点的条件达到作用值或 $P^{\text{net}} \geq P^{\text{node}}$ 时, 节点休眠。

算法原理如下:

初始化, 完成所有参数的计算, 并给出初值 {初始总节点数, 活跃邻居数, 休眠时节点平均功率, 节点更新值标号, 休眠条件值 $P^{\text{net}}/P^{\text{node}}$ };

* 对每一个节点而言, 当 $P^{\text{net}} \geq P^{\text{node}}$ 时节点标识自己的更新标志, 并置为 1, 高于自己的邻居发出通告, 并开启定时器;

* 邻居节点接到报文后, 确定自己的活跃邻居数可以保持大于或等于最佳邻居数, 则发出同意报文, 否则沉默并丢弃报文;

* 对存在大于 50% (或 99%) 的回复报文时, 启动休眠程序 (交叉系数), 否则定时器到中止本进程;

* 确定本节点管理的休眠节点功率 $P^{\text{node}} \leq P^{\text{sleep}}$ 则唤醒休眠节点, 并复制自己邻居表给唤醒节点, 本节点转为休眠; 否则转下一步;

* 查询更新标识节点总数, 且小于 10% M , 则向全网发出休眠标识, 同时发出邻居通告, 休眠; 否则停

止休眠, 进入能量控制管理程序, 关闭相应功能。

2.2 节点处理能力与能量控制分析

在移动 WSN 中, 结合上述的能量控制体系, 引入了二个报文格式: 休眠通告与邻居回复, 并启用一个定时器用于控制休眠通告的自动确定。在这种模式下, WSN 的能量控制结构是由遗传算法确定优化的。单个 WSN 的节点主要存在三种状态: 节点的邻居数小于最佳邻居数、大于等于最佳邻居数、具有休眠节点且存在邻居节点数大于最佳邻居数; 而保持通信的标志是大于等于最佳邻居数, 这时的节点处于通信节点所需要的状态, 设定为网络节点, 其它节点为濒临死亡节点。

引入遗传算法不会增加运算复杂度。考虑到一次发射与接收相当于 800 次的运算指令^[8], 对应常用的 MPU (节点处理器), 对应消耗时间见表 1。

表 1 常用 MPU 运算指令消耗时间

频率 指令长 时长	12M	40M	150M
800 条指令	67 μ s	20 μ s	5.3 μ s
400 条指令	34 μ s	10 μ s	2.7 μ s

而相应的一次发射与接收所需要的时长为 100 微秒级 (蓝牙), 在这个范围内, 指令运算是可以进行的。而对上述的程序指令设计中, 指令长度在 400 行指令以内 (汇编级), 所需指令数远小于 800 条指令。

在算法所需要的数据处理中, 存在三个报文 (休眠报文、邻居回复报文、广播报文与一个参数表 ($P^{\text{net}}/P^{\text{node}}$ 、 $P^{\text{node}}/P^{\text{sleep}}$ 、最佳邻居数 / 邻居数、回复报文数 / 邻居数 (50% ~ 99%)、当前更新节点标识数 / M (小于 10%)), 一个定时器, 其中的定时器的选择按照应用场景确定, 一般以 RTT 为参照, 在多个 RTT 内完成定时器工作。其中报文是稍带完成的。

由于 WSN 动态的节点角色频繁更新的数量受限, 因此保证了网络稳定性的同时, 提高了网络的寿命。

3 仿真实验

在 OPNET 上仿真以下二个问题:

(1) 基于节点分布的映射 p_x , 从三个分布: 均匀分布、偏态正态分布、斜抛抛撒分布进行了仿真, 图 9 是斜抛抛撒分布结果, 主要条件是小功率一跳内的通信连通率、与高密度下通信连通的仿真; 并且在 ABR 路由基础上进行测试, 在对最佳邻居数选择上, 映射成立并节能效果明显, 如图 9 所示 (clock 为网络时钟或寿命)。

(2) 遗传算法下抛撒分布的节能修正仿真, 在网络

重整中表现出较好的节能特性,但在静态网络中节能效果较差,如图 10 所示(二个节点各为 4 台笔记本的网络,以每十分钟二次整合与退出)。

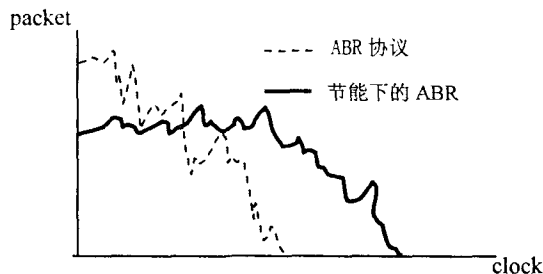


图 9 ABR 协议节能与无节能下网络寿命仿真

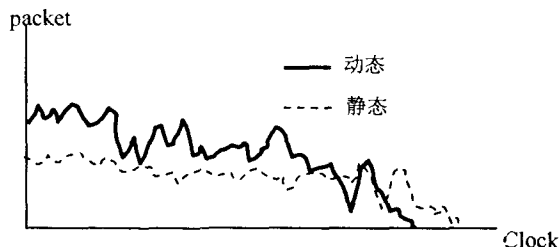


图 10 动态与静态网络 GA 节能寿命仿真

参考文献:

- [1] Narayanaswamy S, Kawadia V. Power control in Ad-hoc networks: theory, architecture, algorithm and implementation of the COMPOW protocols[C]//Proceedings of the European Wireless Conference - Next Generation Wireless Networks: Technologies, Protocols, Services and Applications. Florence, Italy: [s. n.], 2002: 156 - 162.
- [2] van Dam T, Langendoen K. An Adaptive Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. New York, NY, USA: ACM Press, 2003: 171 - 180.
- [3] Schurgers C, Tsiatsis V, Ganeriwal S, et al. Topology Management for Sensor Networks: Exploiting Latency and Density[C]//Proc 3rd ACM Int'l Symp on Mobile Ad Hoc Networking & Computing. Lausanne, Switzerland: [s. n.], 2002: 135 - 145.
- [4] Cerpa A, Estrin D. Ascent: Adaptive self-configuring sensor networks topologies[C]//In: Proc 11th Joint Conf on IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM). New York, NY: [s. n.], 2002.
- [5] Li Qun, Aslam J A, Rus D. Distributed Energy, Conserving Routing Protocols[C]//HICSS - Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference. [s. l.]: [s. n.], 2003.
- [6] 王雪飞. 节点密度对自组织传感网络寿命的定量分析[J]. 传感器世界, 2005(11): 29 - 35.
- [7] 王雪飞. 自组织传感器网的节点节能与网络节能策略[J]. 计算机应用, 2006(21): 143 - 146.
- [8] Szewczyk R, Ferencz A. Energy implications of network sensor designs[EB/OL]. 2003. <http://www.cs.berkeley.edu/~szewczyk/cs252/paper.pdf>.
- [9] Hedetniemi S, Liestman A. A survey of gossiping and broadcasting in communication networks[J]. Networks, 1988, 18(4): 319 - 349.

4 结束语

基于遗传算法的抛撒 WSN 寿命预知分析,给出了网络寿命预知的 p_x 分布模型,认为:

(1) 在节点密度由邻居数决定,抛撒的 WSN 的寿命预知模型是与抛撒角度无关,且清晰地建立了 WSN 的寿命预期算法;

(2) 在预知的 p_x 分布模型中,遗传算法比较好地解决了动态传感器网络的能量控制与休眠造成的网络 QoS 下降问题,并延长 WSN 的寿命;

(3) 在高密度的传感器网布局中,休眠系数 β 只有在 $n_{\text{上限}} \geq p_x \geq n_0$ 时,才能使网络寿命最大化,过高的密度与过低的密度,反而降低网络寿命。

(上接第 196 页)

tion”)将这个三维坐标传给 VRML 中的节点 view-point1,将新的值赋给该视图的 position 域,从而达到改变当前视点的效果。

3 结束语

在虚拟场景中交互漫游是实用虚拟现实系统所必需的主要功能之一。由用户交互控制视点的方式主要用于交互地实时地改变视点的漫游;由计算机自动控制视点的方式主要应用于无用户干预的预先设定好的路径上漫游。同样,用 EAI 实现二维平面图和三维场景图的交互漫游也是一个虚拟现实系统的重要组成部分。文中对虚拟小区系统实现中用到的几种交互方式

进行了详细的讨论并给出了具体的实现,这对其它虚拟现实系统漫游的实现有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 赛博科技工作室. VRML 与 Java 编程技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [2] 冯相忠,高禹,王萍. 用 VRML 构建基于 Internet 的虚拟小区建筑环境[J]. 计算机应用, 2005, 25(s): 274 - 275.
- [3] 王汝传,姚旭敏,王海艳,等. 基于 java 和 VRML 虚拟场景通讯方式的研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(7): 986 - 990.
- [4] 张茂军. 虚拟现实系统[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [5] 李海庆,殷国富,胡瑞飞. 基于 X3D 的虚拟场景交互架构的实现方法研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 383 - 393.