

# 基于普适计算的虚拟场景自适应网络发布研究

杨悟道<sup>1</sup>, 顾倩颐<sup>1,2+</sup>

(1. 四川师范大学 计算机科学学院, 四川 成都 610101;

2. 四川师范大学 可视化计算与虚拟现实四川省重点实验室, 四川 成都 610068)

**摘要:** 针对移动设备访问三维虚拟场景受到网络带宽和终端计算能力的制约, 使得在线利用虚拟现实进行移动学习效率不高, 基于此提出了基于普适计算的自适应优化选择技术。对三维实体进行本体语义描述, 建立相应的优化模型。在此基础上通过 WURFL 对手持移动设备进行采样获取设备参数, 对参数进行分析从而建立普适规则, 利用普适计算进行自适应优化选择。测试结果表明, 经过自适应选择后手持移动设备获取三维虚拟场景资源的速度和效率得到明显提高。

**关键词:** 虚拟现实; 移动学习; 普适计算; 本体; 语义; 自适应

**中图法分类号:** TP202+.7 **文献标识号:** A **文章编号:** 1000-7024 (2012) 05-2078-06

## Virtual scene adaptive network released research based on pervasive computing

YANG Wu-dao<sup>1</sup>, GU Qian-yi<sup>1,2+</sup>

(1. School of Computer Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China;

2. Visual Computing and Virtual Reality Key Laboratory of Sichuan Province,

Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China)

**Abstract:** For mobile devices to access three-dimensional virtual scene by the network bandwidth and computing power constraints of the terminal, making use of virtual reality for online mobile learning is not efficient, based on this proposed adaptive optimization of pervasive computing based selection techniques. First three-dimensional entity ontology semantic description, the establishment of appropriate optimization model. On this basis, by WURFL sampling of handheld mobile devices to get device parameters, the parameters are analyzed to establish universal rules, and finally to optimize the use of pervasive computing for adaptive selection. After using this method, test results show that the adaptive selection through handheld mobile devices to obtain three-dimensional virtual scene of resources is significantly improved speed and efficiency.

**Key words:** virtual reality; mobile learning; pervasive computing; ontology; semantic; adaptation

## 0 引言

移动学习作为一种新型便捷的学习方式, 逐渐被人们所认识和接受。由于受到网络带宽的制约和智能移动设备计算能力的局限性, 用户不能够快速高效的获取虚拟现实资源, 导致用户难以实时的利用虚拟现实进行移动学习。

当前, 大部分虚拟场景发布系统都是针对在已有资源基础上进行优化。显然, 这种优化性能没有一定的普适性且效率不高, 这种优化方案不能针对变化的带宽环境及不同的设备做出快速反应。基于此我们提出在发布系统端,

根据建立好的普适规则做自适应优化选择。经过试验后, 针对在变化中的网络带宽条件下来自不同移动设备方面的请求, 访问 3D 资源的效率和速度有显著提高。

## 1 相关研究工作

目前, 国内的一些研究者提出过采用递进传输模式<sup>[1]</sup>进行基于 Web 的交互式三维发布系统。这种方式提出的模式可运用在基于 Browser/Server 访问方式中。一部分移动手持设备可在理想网络带宽环境下通过 Mozilla 浏览器安装相关插件对 3D 虚拟现实资源访问。但存在问题是模式比

收稿日期: 2011-10-12; 修订日期: 2011-12-15

基金项目: 全国教育科学规划项目国家青年基金项目 (CCA100176); 可视化计算与虚拟现实四川省重点实验室开放课题基金项目 (Y2010N01)

作者简介: 杨悟道 (1982-), 男, 云南昆明人, 硕士研究生, 研究方向为可视化计算与虚拟现实; +通讯作者: 顾倩颐 (1977-), 男, 四川成都人, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实技术。E-mail: qianyi@yaho.com

较固定, 没有普片适应的算法对资源进行优化。针对三维场景建模缺乏领域含义的问题, 有人提出一种基于语义的三维场景概念关系建模方法<sup>[2]</sup>, 但该方法只针对如何通过语义规则建立三维场景。为了节省宝贵的网络带宽资源, 需要对三维网格模型数据进行压缩<sup>[3]</sup>, 有人提出了通过渲染流水线技术对 3D 图形进行优化<sup>[4]</sup>的方案模型, 但该方案只是嵌入到手机客户端做优化, 而我们解决的问题是根据客户端请求在服务器端进行优化选择, 再将优化后的目标资源发回客户端。Ioan Marius Bilasco 等人提出基于语义规则的三维场景自适应技术, 即 DSEAM model<sup>[5]</sup>模型。该模型是描述 3D 实体建立语义规则, 根据语义规则完成自适应, 但该模型不能够针对移动设备请求资源时做出实时的自适应响应。

## 2 基于普适计算的自适应整体框架设计

### 2.1 关键技术分析

我们在整个发布框架中利用了 WURFL、X3D 以及 RDF 等关键技术。普适计算可以构建多服务思想, 从而解决发布系统的自适应功能。WURFL 在普适计算当中非常有用, 它利用了多服务 (multiserving)<sup>[6]</sup>的概念。我们首先采样客户机信息, 然后通过 WURFL 提供的一种表达无线设备功能的 XML 格式<sup>[6]</sup>来实现多服务的支持, 从而完成普适计算。

VRML 是一个非常封闭的信息表达标准<sup>[7]</sup>, 第二代 VRML 的升级语言 X3D 是基于平台无关性和可扩展性以及所生成文件体积小等优点<sup>[8]</sup>。由于 X3D 是可扩展的, 应用者能够根据不同需要对 X3D 进行功能取舍<sup>[8]</sup>, 因此我们对 X3D 内部的 XML 格式文件进行解析提取其中三维特征值。随着本体论的发展, 人们逐渐将其从哲学领域移植到计算机领域中来<sup>[2]</sup>, 我们根据解析后的特征值可以建立本体语义模型。RDF 是一种资源描述框架, 所描述的网络资源符合 W3C 标准。RDF 可以通过 XML 文档来描述, 这样可以用其来定义本体语义模型然后再进行三维图像建模。

### 2.2 整体流程分析

我们可以利用 Luca Passani (Italy) 开发的 WURFL<sup>[6]</sup>获取 http user agent 值进而对移动设备进行参数采集。手持设备发出 Request 之后通过 WURFL 相关类对 wurfl.xml 进行查找与之相匹配的移动设备从而获得参数, 而后利用普适计算技术做自适应选择。

关键步骤: ①手持移动设备参数采样。②参数分析。③普适计算。④做优化选择。如图 1 所示。

图 1 中我们可以看到本体语义模型和优化方案模型是独立于关键步骤的, 所以我们先建立本体语义模型和优化方案模型, 在本体语义模型和优化方案模型基础上进行核心步骤④, 进而完成优化选择。

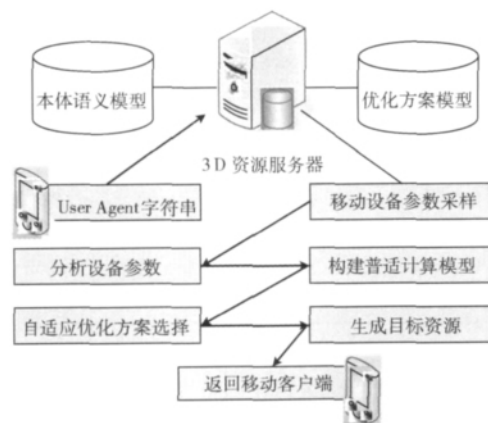


图 1 整体框架流程

## 3 X3D 解析、建立 3D 本体语义规则及优化模型

### 3.1 X3D 文件的关键数据提取

由于 X3D 原文件的内部由 XML 格式构成, 只要将 X3D 源文件读取即可通过相应的解析函数提取关键信息即可。XML 通常有两种解析方法 DOM 和 SAX。基于 DOM 的方法解析前会一次性把 XML 标签读到内存, 对于文件信息量大的 XML 文件会降低查询效率加大服务器负担。SAX 是基于事件触发进行解析, 触及到标签或在处理文档的 DTD 或 Schema 时触发一次事件。我们采用 SAX 对 X3D 内容的 XML 文件进行解析。解析流程如图 2 所示。

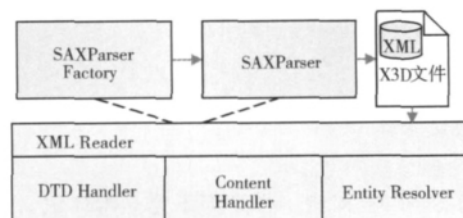


图 2 用 SAX 解析 XML

解析后编译环境会打印出解析结果, 如表 1 所示。

表 1 系统打印出解析结果

Time	pid	tag	Message
09-26 09:35:42	I	234	System <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
09-26 09:35:42	I	234	System -----begin-----
09-26 09:35:42	I	234	System bboxCenter=4 4 4
09-26 09:35:42	I	234	System bboxSize=-1 -1 -1
09-26 09:35:42	I	234	System containerField=children
09-26 09:35:42	I	234	System ambientIntensity=0.4
09-26 09:35:42	I	234	System dimensionality=2 2 9
09-26 09:35:42	I	234	System shininess=0.2
09-26 09:35:42	I	234	System specularColor=0.8 0.8 0.8
:			

解析后提取表 1 重要结果, 参数如表 2 所示。

表 2 解析结果重要数据提取

名称	解析返回值			含义
bboxCenter	4	4	4	中位点
bboxSize	-1	-1	-1	半径大小
dimensionality	2	2	9	维度
Shininess	0.2			高光
specularColor	0.8	0.8	0.8	反光

获取表 2 的解析结果后我们可进行关键点捕获。对三维图形的关键点捕获, 我们采取边缘探测的办法。Canny 边缘探测 [Canny1986] 是根据高斯卷积 (Gaussian convolution)<sup>[9]</sup> 对平滑面进行计算, 然后找到梯度和倾斜度进行边缘探测。

定义 1  $G_x G_y G_z$  为某个点在  $x, y, z$  这 3 个轴的卷积核点 (convolution kernels)<sup>[9]</sup>。由高斯卷积得到

$$G_x = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -\epsilon & -\epsilon \\ +\epsilon & +\epsilon \end{bmatrix} G_y = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} +\epsilon & -\epsilon \\ +\epsilon & -\epsilon \end{bmatrix} G_z = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} +\epsilon & -\epsilon \\ -\epsilon & +\epsilon \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中可将解析结果带入变量  $\epsilon$  中。出现平率比较高的隆起点代表轮廓边缘, 那么探测到的结果向量集为

$$|G_{i,j}| = \sqrt{G_x(i,j)^2 + G_y(i,j)^2 + G_z(i,j)^2} \quad (2)$$

向量角

$$\theta_{i,j} = \arctan\left(\frac{G_y(i,j)}{G_x(i,j)}\right) \quad (3)$$

$$\bar{\theta}_{i,j} = \arctan\left(\frac{G_z(i,j)}{G_y(i,j)}\right) \quad (4)$$

$$\bar{\theta}'_{i,j} = \arctan\left(\frac{G_z(i,j)}{G_x(i,j)}\right) \quad (5)$$

我们实现以上探测工作是为了建立本体语义模型做准备。

### 3.2 3D 实体本体语义模型建立

三维场景由概念模型表示。我们已经探测到了卷积核点和向量角, 这样就可以把场景整体和组成元素、关系、属性之间的关系<sup>[2]</sup>用概念模型描述。我们建立语义模型关键是对整体概念元素的相互关系进行分析, 然后采用语义推导<sup>[2]</sup>方式进行语义描述。

#### 3.2.1 构成元素关系实体分析

为了有效构建本体语义模型, 我们需要对实体相关元素的动作进行关系表达, 表 3 列出元素关系分析。

表 3 部分介绍了场景单个或多个元素的关系模型, 我们可以根据以上关系模型建立本体库<sup>[2]</sup>。从而专业三维设计人员可根据现实概念模型依照上述关系添加所需的概念关系。依据概念模型最终可以推导出三维建模过程中的定位、旋转等建模操作集合<sup>[2]</sup>。

表 3 元素关系实体

相关性	谓词逻辑	实现含义
单元 素定位	距离坐标点 (<场景实体 >, (<实数>, <实数 >, <实数>)) 轴旋转 (<场景实体> (<挂线 1 >   <挂线 2>   ...   <挂 线 8>) >)	实体距离中心点位置 实体按照方向围绕中 心轴旋转度
两个 元素定位	空间位置关系 (<场景元 素名>, <场景元素名>, 相邻) 朝向关系 (<场景 元素名>, <场景元素名 >, 相对)	元素 A 在指定的 B 侧 面, 确定两元素距离 元素 A 在元素 B 相对
三个及 以上定位	(<场景元素名>, <距离 >, <距离>, <距离>)	元素 A, B, C 距离
概念 连接定位	连动旋转 连动摆放 连动组合	实体 AB 连动绕轴旋转 实体 A 在 B 上并连动 实体 AB 连动相互组合

#### 3.2.2 通过语义推导建立描述库

可以采用语义推导方式<sup>[2]</sup>建立模型。我们一同采取建立推导规则, 并遵循推导规则的语法和文法<sup>[2]</sup>。

定义 2 记  $RA \subset R, RA$  表示联动并旋转, 其中  $R$  表示连动关系,  $E$  为实体集合。

定义 3 记  $RB \subset R, RB$  表示连动并摆放。

定义 4 记  $RC \subset R, RC$  表示连动并组合。

实体与实体之间由以上规则定义会产生连动动作, 这样可以由该关系推导出新的实体。推导如下:

(1) 单个实体时通过该关系产生的新实体:

$$\forall a \in E, \vec{r} \in RA, \vec{ar} \Rightarrow c, c \in E.$$

同理:  $\vec{r} \in RB, \vec{ar} \Rightarrow c', c' \in E$

$$\vec{r} \in RC, \vec{ar} \Rightarrow c'', c'' \in E$$

(2) 多个实体时通过该关系产生的新实体:

$$\forall a \in E, \forall b \in E, \vec{r} \in RA, \vec{ar} \Rightarrow c, c \in E.$$

同理:  $\vec{r} \in RB, \vec{ar} \Rightarrow c', c' \in E.$

$$\vec{r} \in RC, \vec{ar} \Rightarrow c'', c'' \in E.$$

有了新实体后我们可以利用 RDF 建立关系常量库。

#### 3.2.3 利用 RDF 建立关系常量库

在建模过程中我们通过关系描述库来描述建模过程中的实体方位和定位细节。通过关系数据格式可以用 XML 格式有效的描述本体语义规则, 这里我们采用 RDF<sup>[2]</sup>进行本体描述。

#### 3.3 优化模型

关系常量库建立好后我们采用 MLAOI<sup>[10]</sup>优化模型方案。窗体顶端 MLAOI 区域的两个边的所能探测到的斜坡度是一个常数, 所以在 MLAOI 区域中很容易判断哪些元素与两条边相交。判决后, 其中的元素重叠在 MLAOI 区域中并且和元素间相交的两个边位于 MLAOI 区域, 于是在每个 MLAOI 区域我们能确定的是重叠的元素。最后,

在每个区域的重叠元素可以删减降维。窗体底端优化重叠模型<sup>[10]</sup>如下

$$D1 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + r^2 \quad (6)$$

$$D1 = (x - x_0)^2 + (y - (y_0 - c))^2 + r^2 \quad (7)$$

$$D2 = D1 + 2c(y - y_0) + c^2 \quad (8)$$

$$D1(P2) = D1(P1) + 2d(y - y_0) + d^2 \quad (9)$$

#### 4 采样数据建立样本向量集

##### 4.1 采集样本数据结构定义

定义 5 Server 端接收样本集合  $\bar{E}(\gamma, \delta, \xi, \Phi, \rho \in \Omega)$ 。

定义 6  $\gamma, \delta, \xi, \Phi, \rho$  分别为某个设备的参数向量。

定义 7  $\bar{E} \subset \sum_{i=1}^n \Omega (1 \leq n \leq 100)$  为设备向量的样本集  $\Omega$  设备向量集。相关设备参数向量如表 4 所示。

表 4 设备的参数向量说明  
(实验以 samsung I9003 客户端为例)

向量	参数返回值	含义
$\gamma$	Linux; U; Android2.2.2...	Device System
$\delta$	S5PC110 1GHz	CPU TYPE
$\xi$	2Gb ROM+2Gb RAM	系统内存参数
$\Phi$	480×800 WVGA	设备分辨率
$\rho$	121.95 Kbps	客户端带宽速率

##### 4.2 连接器反映函数模型

当某个设备请求资源时, 客户端和服务端就构成一个连接器。一个连接器是用来连接两个组件。<sup>[11]</sup>我们这里考虑的是不同客户端请求(实验假设 5 台客户端)那么我们需要为不同类型的客户端请求定制具有普片意义的响应模型。

对于某种联动我们定义为一个函数。我们定义连接器为  $\omega$ , 连接组件为 X 和 Y。这里 X 为客户端组件; Y 为服务器端组件。

定义 8  $\omega(X, Y)$  响应函数, 连接动作完成后得到函数计算结果。 $\omega$  是根据  $\rho$  值保持恒定。

经过一组联动动作完成, 由  $\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_n$  构成反应向量

$$V = \begin{bmatrix} \bar{\omega}_1 \\ \bar{\omega}_2 \\ \vdots \\ \bar{\omega}_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

定义 9 静态联动集  $h(V, V, \dots, V)$ 。静态联动集是在理想带宽状态下  $\rho$  值保持恒定。

同一种类型的请求过程可能有 N 次, 但是网络带宽和请求速度是一个变化因子, 经过不断采样又可以得到一个向量集合。

定义 10  $\bar{\omega}(X, Y)$  响应函数, 连接动作完成的同时结果受到  $\rho$  值影响。计算

$$\bar{\omega}_i = \bar{\omega}_i - \sum_{k=1}^{i-1} \frac{\bar{\omega}_i \cdot \bar{\omega}_k}{\bar{\omega}_k^2} \bar{\omega}_k (1 \leq i \leq 10) \quad (11)$$

再根据  $\rho$  变化因子, 向量经过正交变化后得到一个新的向量基  $\hat{V} = [\bar{\omega}_1 \quad \bar{\omega}_2 \quad \dots \quad \bar{\omega}_i]$ 。 $\hat{V}$  便是由连接反应函数得到的静态联动向量集。

##### 4.3 随 $\rho$ 值变化时的定量分析

随着反应时间和网络带宽的变化, 由  $\hat{V}$  可以看出我们很难通过定性分析来判断某种范式最优<sup>[11]</sup>。

定义 11 动态联动集  $\lambda(\hat{V}, \dots, \hat{V})$ 。动态联动集是在带宽变化过程中  $\rho$  值趋于某个变化范围。

静态变化容易处理, 关键是如何找到动态变化的普适范围, 从而建立普适计算模型。在一个时间范围内把 n 个连接器取得的值作为一个  $\hat{V}$ , 那么  $\hat{V}_i (1 \leq i \leq n)$ 。由此测量到 k 个变化数据  $[\hat{V}_{i1}, \hat{V}_{i2}, \dots, \hat{V}_{ik}]$ 。把所有测量到的数据组成一个矩阵

$$\bar{V} = \begin{bmatrix} \hat{V}_{11} & \hat{V}_{12} & \dots & \hat{V}_{14} \\ \hat{V}_{21} & \hat{V}_{22} & \dots & \hat{V}_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{V}_{i1} & \hat{V}_{i2} & \dots & \hat{V}_{ik} \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中:  $\bar{V}$ ——受  $\rho$  变化得到的反应向量, 其中列代表某个测量的时刻, 行代表每一个连接器。每个数据项  $\hat{V}$  表示在 k 个连接器在 i 个时刻的连接动作。

由测量数据的均值的平方和<sup>[11]</sup>, 将  $\bar{V}$  带入得到

$$\bar{V}' = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{V}_{ik} \right]^2 \quad (13)$$

式中:  $\bar{V}'$ ——样本动态联动向量集。由此我们用此联动模型可以建立所需要的普适规则。

#### 5 基于普适规则的优化选择

普适规则建立如下: 前面已经提到  $\bar{V}'$  为样本联动集。那么这里根据本体描述库我们有如下定义。

定义 12  $\text{mode1}(\bar{V}', c), c \in E$ 。单个实体时的普适规则 mode1。

定义 13  $\text{mode2}(\bar{V}', c'), c' \in E$ 。两个实体时的普适规则 mode2。

定义 14  $\text{mode3}(\bar{V}', c''), c'' \in E$ 。多个实体时的普适规则 mode3。

有了以上定义通过 XML 实现普适规则描述, 通过此 XML 描述文档从而利用 WURFL 进行多服务选择<sup>[6]</sup>。根据 DSEAM model<sup>[5]</sup>所述, 我们已经对 3D 实体建立了本体语义描述; 完成了对 3D 实体的边缘探测; 建立了本体语义模型等工作。现在我们可以对 3D 虚拟场景对象按照普适规则描述进行自适应选择。图 3 是基于普适规则对优化模型进行选择的流程。

图 3 可以看出经过选择优化后, 要执行一个场景传输

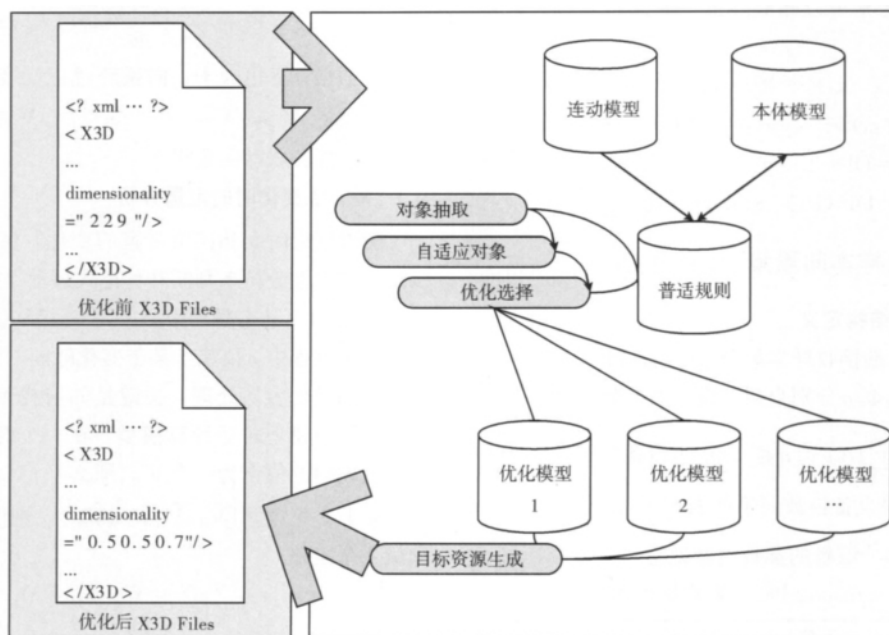


图3 选择框架

过程，进行自适应选择后会自动生成一个新的 X3DFile。

## 6 实验测试与结果分析

实验过程由提取目标资源特征值、测试访问速度等组成。

### 6.1 客户端请求目标文件生成

通过手机客户端请求服务器资源经过计算生成新的 X3D 目标资源。生成后的新 X3DFile 参数如表 5 所示。

表5 优化后 X3D 返回值 (以 samsung I9003)

名称	解析返回值			含义
bboxCenter	4	4	4	中位点
bboxSize	-1	-1	-1	半径大小
dimensionality	0.5	0.5	0.7	维度
Shininess		0.1		高光
specularColor	0.3	0.3	0.3	反光

### 6.2 测试优化后压缩比与接收速率

通过 5 部手机作为客户端，请求服务器后得到资源的响应时间与 3D 压缩比数据如表 6 所示。

表6 优化后压缩比与响应时间关系

设备名称	网络带宽	3D 压缩比	优化后响应时间
samsung I9003	512kb/s	0.2	4s
Nokia5800d-1	256kb/s	0.3	3s
SH8128U	128kb/s	0.5	2s
HTC S (510e)	103kb/s	0.6	2s
Nokia5800d-1	56kb/s	0.3	3s

表7 传统优化响应时间与自适应选择后响应时间

设备名称	网络带宽	传统响应时间	自适应响应时间
samsung I9003	512kb/s	6s	4s
Nokia5800d-1	256kb/s	5s	3s
SH8128U	128kb/s	2.5s	2s
HTC S (510e)	103kb/s	3s	2s
Nokia5800d-1	256kb/s	5s	3s

由表 6 可以看出网络带宽越低，图像压缩比越高。经过测试由表 7 数据分析所示，自适应所耗时间比传统优化时间少。表 6 也反映图像压缩比与响应时间成反比，这说明网络带宽相对较低时压缩比越高，同时响应时所花时间就越少，响应速度就越快，如图 4 所示。

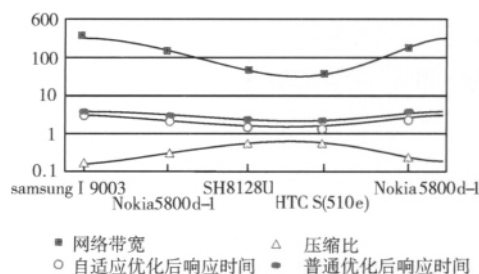


图4 基于带宽变化时压缩比与响应时间的关系

经过测试随着网络带宽  $\rho$  的变化，经过优化选择后比普通优化后所消耗时间更少。可以看出随着网络带宽的变化，压缩比与响应所花时间成反比关系，这表明图像压缩比越高接收速度越快。

## 7 结束语

发布系统的建立是一个系统工程, 由实验可以看出手持设备的变化率中影响因子最大的是网络带宽  $\rho$  值。在网络带宽较低时, 由于经过我们的普适计算优化选择依然能够实现快速获取 3D 资源。今后的研究工作就是提高普适模型的自适应性能, 使其在  $\rho$  变化范围不断扩大的同时, 压缩比与访问速度的相似度达到最大, 这样服务器通过自适应训练便能够最大化适应不同终端请求的需要。我们的这项研究可以广泛运用到移动学习领域, 在今后的研究工作中会更多参与到实际教育教学领域中。

## 参考文献:

- [1] ZHAO Xue-wei, SHEN Xu-kun, QI Yue. Interactive web 3D publishing system [J]. Computer Engineering, 2007, 33 (22): 243-248 (in Chinese). [赵学伟, 沈旭昆, 齐越. 基于 Web 的交互式三维发布系统 [J]. 计算机工程, 2007, 33 (22): 243-248.]
- [2] WU Yi-er. Research on semantic-based conceptual modeling for three dimension scene construction [D]. Shanghai: Shanghai Jiao-tong University, 2010 (in Chinese). [吴益尔. 基于语义的概念层次三维场景建模研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.]
- [3] ZHU Wei-peng, LUO Xiao-nan, LIANG Yun. Error resilient coding of 3D graphicmodels for ubiquitousmultimedia services [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2011, 50 (3): 1-7 (in Chinese). [朱为鹏, 罗笑南, 梁云. 普适计算环境下三维模型的错误保护编码 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2011, 50 (3): 1-7.]
- [4] SHI Yi-fan, YI Fan, WANG Li-ming, et al. Implementation of mobile 3D in embedded Java [J]. Computer Engineering, 2007, 33 (10): 184-206 (in Chinese). [时亦芃, 亦芃, 王利明, 陈章龙, 等. 嵌入式 Java 的 Mobile 3D [J]. 计算机工程, 2007, 33 (10): 184-206.]
- [5] Ioan Marius Bilasco, Marlène Villanova-Oliver, Jérôme Gensel, et al. Semantic-based rules for 3D scene adaptation [C]. Perugia, Italy: Proceedings of Web3D Symposium, 2007: 97-100.
- [6] ErmannFranco, NewWURFLJavaAPI [DB/OL]. <http://wurfl.sourceforge.net/njava/index.php>, 2011.
- [7] TIAN Mao-yi, ZHANG Yan, LU Xiu-shan, et al. Java3D-based three-dimensional landscape of web publishing [J]. Science of Surveying and Mapping, 2006, 31 (4): 115-116 (in Chinese). [田茂义, 张燕, 卢秀山, 等. 基于 Java3D 的三维景观网络发布 [J]. 测绘科学, 2006, 31 (4): 115-116.]
- [8] LIU Shang-qing, GU Yao-lin. Construction of advanced virtual scene based on X3D [J]. Computer Engineering and Design, 2011, 27 (2): 303-306 (in Chinese). [刘尚勤, 顾耀林. 基于 X3D 构建高效的虚拟场景 [J]. 计算机工程与设计, 2011, 27 (2): 303-306.]
- [9] Quillet Jean-Charles, Gwenola Thomas, Xavier, et al. Using expressive rendering for remote visualization of large city models [C]. Columbia, Maryland: Proceedings of Web 3D Symposium, 2006: 27-35.
- [10] WANG Wei, JIA Jinyuan. An incremental SMLAOI algorithm for progressive downloading large scale WebVR scenes [C]. Darmstadt, Germany: Proceedings of Web3D Symposium, 2009: 55-60.
- [11] HAN Song-qiao. Software adaptability study for mobile environments in pervasive computing [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008 (in Chinese). [韩松乔. 普适计算中面向移动的软件自适应性研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.]