

# 面向机顶盒可扩展的信息发布系统设计与实现

陈 达 刘 新 叶德建

(复旦大学软件学院,上海 201203)

**摘 要** 为提高信息发布系统的发布效率,设计和实现了一个面向机顶盒的信息发布系统,该系统由信息中心、控制服务器群和机顶盒终端3部分组成,该系统通过控制信息与信息数据的分开传输实现可扩展性,并且通过硬件冗余、安全套接字(secure socket layer,SSL)等方法来提高系统的可用性、可靠性。系统还进一步通过优化文件分发算法来提高传输效率。实验测试结果表明,该信息发布系统能在较低硬件配置的情况下,为大量终端提供高质量的信息显示服务。该系统已在上海、山东等地银行、酒店行业中推广使用。

**关键词** 信息显示 信息发布 文件复制

中图法分类号:TN301.6 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1983-04

## STB Based Scalable Information Publication System

CHEN Da, LIU Xin, YE De-jian

(Software School, Fudan University, Shanghai 201203)

**Abstract** The set-top box (STB) based scalable information publication system is designed and implemented to improve publication system efficiency. This system consists of application server, central instances for STB groups and terminals. Separation of control logic and data transmission is used together with hardware redundancy and SSL to improve system scalability, reliability and usability. Data transmission is optimized to support a large number of terminals. Evaluation result shows that this system could provide high-quality information display service at a relative lower hardware cost. This system has been applied in retail stores, restaurants in Shanghai, Beijing and Shandong.

**Keywords** information display, information publication, file replication

## 1 引 言

信息发布系统也被称为信息显示系统,是一种利用电子显示屏展示多种媒体信息的软硬件、终端与管理平台的组合。例如公共场所用于展示天气预报、商品广告、即时新闻等信息的广告系统等。

与传统的流媒体系统不同<sup>[1]</sup>,信息发布系统的部分节目来源并不需要很高的实时性,也不需要观众参与选择,而是由管理员定制、重复播放的广告片段或文字通知。而信息发布系统与传统的平面广告系统相比,具有表现形式多样化、管理即时集中化等

特点,管理平台还可以根据受众的特点,为不同终端组合指定多种布局的多媒体内容,广告效果更好。信息发布系统已成为近年来国内外多家厂商、研究机构研究的热点。

中国某机场航班信息显示系统<sup>[2]</sup>采用了中心服务器与PC子系统模块组合的模式,具有显示效果好、实时性高的特点,但由于PC子系统体积较大、成本较高,因此不易部署。国外领先的Netkey/WebPavement系列信息显示系统是采用机顶盒(set-top box, STB)作为终端<sup>[3]</sup>,而将Web应用作为管理平台,这样不仅成本较低,且控制更为灵活。然而,在终端数量增加、显示内容更新频繁的使用环境下,

基金项目:国家自然科学基金项目(60503044)

收稿日期:2008-06-20;改回日期:2008-07-10

第一作者简介:陈 达(1983~),男,2005年获得复旦大学计算机软件与理论专业学士学位,现为复旦大学软件学院硕士研究生。主要从事流媒体服务器管理系统、信息发布系统方向的研究。E-mail: 052053013@fudan.edu.cn

系统的响应时间迅速上升,用户体验效果显著下降。

针对这些问题,本文提出了一种面向机顶盒可扩展的信息发布系统方案,该方案通过分离信息中心与控制中心职能来提高系统的扩展能力,并通过优化文件传输算法实现了数据文件的高效分发,从而进一步提高了系统的响应能力。

## 2 系统设计与实现

本文的信息发布系统采取集中控制架构,虽具有实现简单、高效的控制流程,但集中控制结构中,由于信息中心节点统筹管理所有终端,容易成为系统性能的瓶颈<sup>[4]</sup>,所以在智能发布系统中,信息中心只处理 STB 配置、节目单、播放控制表等数据量较小的元数据,而对于 STB 交互、心跳记录、媒体文件传输等负载较大的具体监控工作,则交由多个分组控制器处理。

如图 1 所示,信息中心通过网络连接多个分组控制器,而控制器则连接监控本地多个 STB,STB 在获得节目单与媒体文件之后,即自主在指定时间内,以定制布局播放节目。

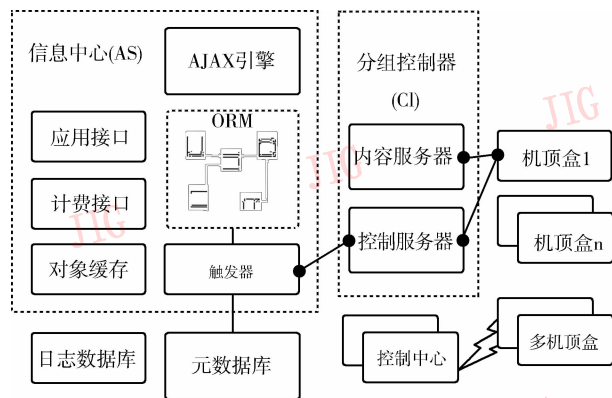


图 1 信息发布系统结构

Fig. 1 Information publication system architecture

STB 以读取节目单作为输入,节目单指明了在某时间段播放的视频、图片、文字列表以及播放布局,STB 硬盘内保存有最近播放的媒体文件缓存,当节目单内出现新媒体文件时,则 STB 就根据最近最少使用的策略(LRU)更新本地媒体文件缓存,当媒体文件准备就绪,且当前时间与节目单符合时,STB 首先在屏幕上绘制布局背景,然后在指定区域,初始化播放控件渲染视频、图片、天气等信息。

控制服务器(CI)响应信息中心指令,并监控多个本地播放终端。为防止非法信号接入,控制服务器还需要通过 SSL 双向认证<sup>[5]</sup>连接 STB。当信息中

心(AS)下达播放指令时,则 CI 从 AS 接口读取元数据库,先生成 XML 格式节目单,然后将节目单推送到 STB 中。CI 同时通过轮询 STB 心跳状态,当 STB 状态变更时,则发送消息通知 AS 处理。

信息发布系统支持实时与非实时两种节目,对于非实时节目,CI 并不需要在节目单更新时立即将媒体文件发送到 STB,而是根据 STB 的负载来安排。在节目播放之前,STB 顺序连接 CI,将媒体文件下载到本地缓存。对于新闻联播、外汇牌价动态等实时节目,CI 仅给出 ClearServer<sup>[1]</sup>上的直播路径,由 STB 即时打开视频流进行播放。

信息中心将系统抽象表示为 CI、STB 组(SG)、播放资源(影片、文本、外汇牌价等)、节目单(PL)、播放任务(T)等对象。系统管理员通过登录信息中心导入的播放资源,先将多个播放资源以及背景排列成为节目单,并且实时预览;然后再将节目单在指定时间关联到 SG 上。

信息中心采用 Hibernate ORM 作为核心数据处理模块,Hibernate 可对关系数据库进行对象封装,由于提供对象缓冲机制减少了数据库查询,因此可提高对象操作效率<sup>[6]</sup>。

Hibernate 可提供对象更新 Interceptor 机制,即当新加入对象或对象属性更新时,Hibernate 会调用 Interceptor 通知相关模块。利用这一机制就可以实现实时的节目单发布,例如:

(1)管理员在信息平台 SG1 的播放日历的某时段上添加第 1 个播放节目  $P_1$  的任务  $T_1$ ;

(2)Hibernate Interceptor 拦截到  $T_1$  的创建操作,即刻将  $T_1$  发送到对应的  $SG_1$  控制服务器上,同时将  $T_1$  写入数据库持久化保存;

(3)控制服务器得到了新的节目表三元组  $\{SG_1, P_1, T_1\}$ ,即可将三元组转化为 XML 描述文件推送到对应多个 STB;

(4)STB 获得了节目单  $P_1$  后,则从  $P_1$  之中就可以获得需要的媒体文件列表,然后 STB 根据本地文件缓存情况从 CI 上下载缺失的媒体文件,当媒体文件下载完成且符合指定播放时间之时,则开始播放新节目单。

## 3 主要技术算法

经研究发现,信息发布系统在发布任务时,系统大部分资源消耗在了传输影片文件的过程中。因此

如何降低文件传输时间就成为提高系统响应能力的主要问题。

### 3.1 文件传输算法

文件传输算法的设计目标是将资源文件尽快分发到所有节点。传统的信息发布系统是采用文件源直接向所有终端推送文件的方式来完成文件发布<sup>[2]</sup>,如图 2 中的传输模式 1 所示,这种方法一方面由于受限于文件源节点的出口带宽,因而传输效率不高,而且目前常见的路由硬件仍然不支持广播传送方式;另一方面,信息发布系统与分布式拓扑类型的 P2P 网络不同,信息发布系统中的文件源即为控制服务器的中心节点,并且网络拓扑在系统部署实施时即可静态确定,因此考虑到机顶盒终端处理能力较弱的特点,本文将调度工作统一放到分区控制中心,由控制中心指挥节点在某时间访问合适的父节点,以获取资源文件。对于类似环境下的分发问题,Cherkasova 等人提出了 FastReplica<sup>[7]</sup>方法(如图 2 传输模式 2 所示),由于 FastReplica 算法需要同一节点在接收  $N - 1$  个节点数据的同时,向这些节点发送自身数据块,因此对节点压力较大。为了解决这些问题,本文设计了较为健壮的 Breed 算法。如图 2 传输模式 3 所示,假定资源文件的大小为  $E$ ,网络的可用带宽为  $B$ 。Breed 算法将资源文件的传输分为  $m$  层,第  $i$  层的节点集合为  $R_i$ ,集合中的节点数目为  $S_i(i = 0, 1, \dots, m)$ 。处于第  $m$  层时,已经获得数据的第  $0, 1, \dots, m$  层的节点向第  $m$  层的  $S_m$  个节点发送文件,其所需时间为

$$t_m = \frac{E \times S_m}{\min(B \times S_m, B \times \sum_{i=0}^{m-1} S_i)} \geq \frac{E}{B} \quad (1)$$

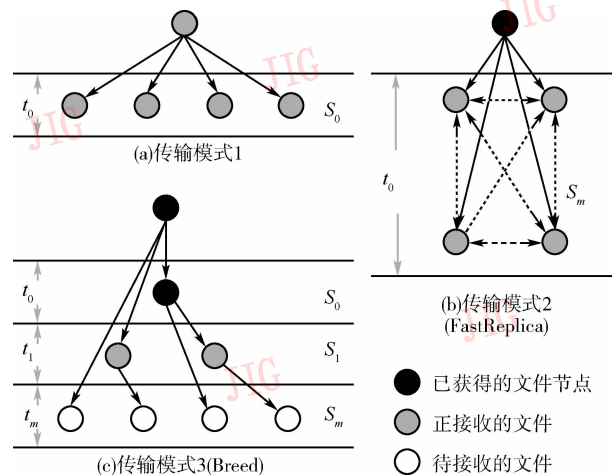


图 2 文件传输模式示例

Fig. 2 File transmission mode illustration

将文件分发到所有  $N$  个节点所需的时间为各层节点所需传输时间之和,即  $T = \sum_{i=0}^m t_i$ ,可见,若

$$S_m = N, \text{ 即传输模式 1, 则所需时间为 } T = \frac{E \times N}{B}.$$

本文在实现中选择  $\sum_{i=0}^{m-1} S_i = S_m$ ,即  $S_m = 2^m$  时(同一时刻发送方与接收方数量相等)的时间

$$T = \frac{E \times \text{ceil}(\ln N)}{B} \quad (2)$$

其中,ceil 函数返回值为不小于给定实数的最小整数。

### 3.2 分发树生成算法

在部署阶段,机顶盒分布拓扑结构如图 3 所示,处于同一子网或相邻的机顶盒被放入同一区域  $f$  中,同一区域的节点互传速率较高,所有区域  $f$  构成了集合  $M$ ,不同区域之间的链路权值用  $w_n$  表示。结合 Breed 传输算法,分发树  $D$  由  $R_0 \sim R_m$  组成。利用初始分发阶段带宽要求不高的特点,需要尽快将文件分发到不同区域中,分发树  $D$  生成算法描述如下:

- (1) 初始时分发树  $D$  仅包含文件源节点  $d_j \in R_j$ ,设当前传输层面为  $j$ ,则  $j = 0$ ;
- (2) 计算出  $D$  内所有节点所属的区域集合  $M_j$ ,找出一不属于  $M_j$  但与  $M_j$  有接壤,且链路权值  $w_i$  最小的  $f_i$ ;
- (3) 若  $f_i$  存在,则选择与  $w_i$  直接相连的节点  $d_i$  加入  $R_j$  与  $D$ ,将  $d_i$  的父节点  $d_p$  设为与  $w_i$  的另一端连接的节点,  $d_i$  的权值加 1;
- (4) 若  $f_i$  不存在,表明所有区域都有了文件源,则随机选择  $d_i$  加入  $R_j$  与  $D$ ,并从  $D$  中选择属于同一区域权值最小的节点作为父节点  $d_p$ ,同时  $d_i$  的权值加 1;
- (5) 若  $S_j = 2^j$ ,则开始计算下一层面,  $j$  加 1,所有节点的权值清 0;
- (6) 若  $D$  内的节点数目为  $N$ ,则算法结束;否则返回步骤 2 继续生成树。

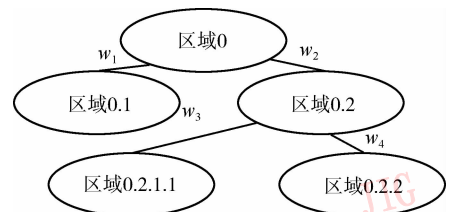


图 3 分发网络结构

Fig. 3 Distribution network topology

### 4 测试结果

为了检验系统的使用效果,笔者在校园局域网环境下,部署实施了信息中心、控制中心以及机顶盒终端模拟程序,终端模拟程序运行在处于 10.130.106.\* (宿舍),10.132.139.\* (实验室),10.132.140.\* (公共机房) 3 个网段上的 13 个不同的主机上,网络环境与客户的网络部署分布类似,并且分别实现了单播 (Unicast)、FastReplica 与 Breed 等 3 种传输模式的显示发布,传输 30min 节目所需时间如图 4 所示。

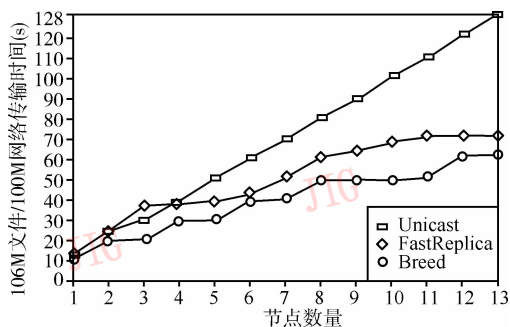


图 4 文件分发时间对比

Fig.4 Time contrast of file replication

由图 4 可以看出,单播模式下的文件分发时间随着节点增长呈线性增加,而 FastReplica、Breed 算法所需要的分发时间则增长幅度较小,且能适应节点数量进一步增长的需求,具有较强的扩展性。

该信息发布系统已于 2007-07、2008-02 成功应用于浦东发展银行与上海宏安瑞士大酒店,笔者在控制服务器上收集记录了 20 个处于内网的终端心跳记录,通过对心跳日志的汇总分析(表 1)可以看到,服

表 1 系统组件性能检测

Tab.1 System resource performance monitoring

终端数	管理员	信息中心	控制服务器	机顶盒 CPU
		CPU 占用率(%)	CPU 占用率(%)	占用率(%)
4	2	<47	<32	~38
8	2	<50	<32	~38
20	4	<50	<34	~39

务器压力相对于终端、管理员数量的增长变化很小,信息中心能够及时响应管理员的监控、统计等元数据管理操作,而机顶盒则可以高质量地下载资源渲染播放内容。

### 5 结 论

对于信息发布显示系统容量逐渐增大的现状,笔者等人研究实现了一种职责清晰的系统架构,不仅提高了系统的可用性,并且通过对文件分发算法的分析优化,实现了较小成本下的信息内容的高质量分发显示。实测结果证明,当节点数量增加时,系统的响应能力并不会显著下降,并具有较强的扩展能力。笔者认为,信息发布系统将向着智能化、多功能化方向发展,而如何进一步增强其在公共网络、无线网络等异构网络下的发布能力,以提供更为灵活多样的服务,则是后继值得投入的研究课题。

### 参考文献 (References)

- Zhu Chen-jie, Ye De-jian. Design and implementation of P2P based live streaming system for STB client [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(10): 1706 ~ 1710. [朱陈洁,叶德建.面向嵌入式机顶盒终端的 P2P 网络电视直播系统设计与实现[J].中国图象图形学报,2007,12(10):1706 ~ 1710.]
- Shi Min, Jin Hui, Tian Xiang-dong. Study on public information display in FIDS [J]. Microcomputer Development, 2004, 14(4): 80 ~ 83. [石敏,金辉,田向东.航班信息显示系统中公共信息显示问题研究[J].微机发展,2004,14(4):80 ~ 83.]
- WebPavement [EB/OL]. <http://www.webpavement.com>.
- Sanjay Ghemawat, Howard Gobioff. The Google File System [EB/OL]. <http://labs.google.com/papers/gfs-sosp2003.pdf>.
- Lara D' Abreo. Migrate Your J2EE Apps from EJB to Hibernate [EB/OL]. <http://www.devx.com/Java/Article/27954>.
- Cherkasova Ludmila, Lee Jangwon. FastReplica: Efficient Large File Distribution within Content Delivery Networks [A]. In: Proceedings of the 4th Usenix Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS) [C], Seattle, Washington, USA, 2003: 1204 ~ 1216.
- Wesley Chou. Inside SSL: The secure sockets layer protocol [J]. IT Professional, 2002, 4(4): 47 ~ 52.