

基于实时流媒体服务的多源应用层组播系统

程德强, 钱建生

(中国矿业大学信息与电气工程学院, 徐州 221008)

摘要: 针对矿区网络大容量视频信号传输, 通过在现有网路中部署流媒体服务节点, 构建基于实时流媒体服务的多源应用层组播系统, 并提出一种基于度和延时约束的路由算法, 进行组播树节点的管理和优化。该系统实现简单、路由健壮性高, 与传统 C/S 模式视频监控监控系统相比, 在同等网络状况和运行环境下, 传输视频流的网络丢包率降低 50% 以上。

关键词: 应用层组播; 流媒体; 多源

Multi-source Application Level Multicast System Based on Real-time Stream Media Service

CHENG De-qiang, QIAN Jian-sheng

(Department of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)

【Abstract】 In order to transmit real-time video in mining Intranet reliably, a multi-source application level multicast system is proposed by deploying stream service nodes in current network. A delay-bounded and degree-bounded routing algorithm is used to manage and optimize the nodes in the multicast tree. The validity of the system is verified by practical performances. Compared to the average frame loss rates of the traditional C/S video-monitoring system, those of the proposed multicast system decreases above 50%.

【Key words】 Application Level Multicast(ALM); stream media; multi-source

1 概述

当前, 数字视频监控系统中由于形象直观、可视化强, 在矿区安全监控中得到大量应用。在传统 C/S 模式的矿区视频监控系统中, 每个接收端都要与视频编码源维持一个数据通道, 当大量并发用户对同一路视频访问时, 视频编码源要分发多个相同数据拷贝, 一方面大量占用视频编码缓存, 加重了编码源负载; 另一方面在编码源附近网络中存在大量视频冗余数据包, 降低了网络传输效率, 易造成矿区其他检测监控数据流的阻塞甚至网络瘫痪, 严重影响了矿井的安全生产。对于矿区大容量的视频传输, IP 组播是一种有效的解决方法, 但需要网络中的设备支持组播协议, 并存在可扩展、网络管理和拥塞控制等屏障^[1-2]。应用层组播(Application Level Multicast, ALM)把组播服务从网络设备转移到成员主机上, 数据路由、复制、转发功能都由成员主机完成, 主机之间建立一个叠加在网络之上的逻辑功能性网络, 克服了 IP 组播的弊端^[1]。

根据数据拓扑和控制拓扑构建的先后顺序, 应用层组播系统主要分为 3 类: 树优先, 网状优先和隐式系统^[2-3]。树优先 ALM 控制开销小、扩展性好, 但一般不限制树的深度, 其较长的数据传输路径容易产生较大的传输延迟; 网状优先 ALM 可靠性高, 但控制开销大, 适合小型组播网络应用; 隐式系统 ALM 虽然对以上 2 个方面的缺点有所改进, 但其实现比较复杂, 如 NICE^[1] 网络。

基于以上分析, 本文针对煤矿网络结构中存在异构网、监控现场网络质量差和干扰因素多的特点, 同时为了减低网络维护开销和保证系统扩展性, 在现有 C/S 视频监控系统及网络设施的基础上, 通过在接收端和视频编码源之间部署流

媒体服务节点, 构建树优先应用层组播系统, 考虑到视频数据的延时敏感性和组播路由的稳定性, 限定组播树的深度, 并提出一种基于度和延时约束的路由算法, 实现利用矿区现有网络资源构建实时流媒体的应用层组播系统。

2 应用层组播系统设计

2.1 系统模型

根据矿区网络和视频流媒体系统的工作特点, 本文固定了组播树的深度, 构建了一个 3 层结构的流媒体应用层组播系统。矿区各接收节点分散, 为了避免传输路径过长而产生较大延时, 也为了减少组播体系中的控制开销, 选择了树型组播结构。由于并发接收节点相对较少, 因此固定组播树为 3 层, 一方面便于实现集中控制, 简化路由算法, 提高数据传输效率; 另一方面可避免因接收节点频繁加入、退出或节点失效而造成的树路由分裂, 提高了组播树的健壮性。其结构如图 1 所示, 系统由编码层、分发控制层和解码显示层组成。编码层主要由视频源集群组成, 完成视频的实时编码和网络发送。分发控制层主要由会话控制器(Rendezvous Point, RP)和流媒体服务器(Media Server, MS)组成, 其中, RP 负责整个系统节点信息的维护、视频源集群和分发层 MS 节点信息的实时更新、新加入节点的接入权限控制; MS 负责视频流的分发控制。为了提高数据分发的效率和稳定性, 流媒体服务器事先部署在网络中。解码显示层各节点是树型组

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70533050); 中国矿业大学青年科研基金资助项目(0C4464)

作者简介: 程德强(1979 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 视频信息传输控制, 内容检索; 钱建生, 教授、博士生导师

收稿日期: 2007-06-22 **E-mail:** cdqcumt@126.com

播网络的叶节点,其动态不稳定并不影响组播体系,叶节点的频繁加入、退出或节点失效并不会造成树路由的分裂。各节点实时接收视频流,并解码显示,同时实时检测组播树负载,动态优化组播数据链路,在保证视频质量的前提下,均衡网络负载,避免网络拥塞。

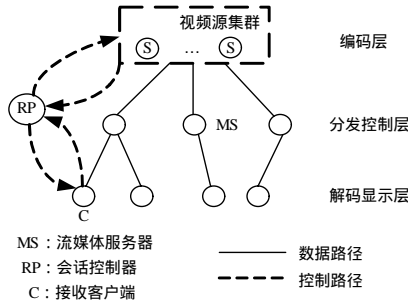


图1 矿区多源应用层组播系统模型

2.2 应用层组播机制

在组播树中,接收客户端首先发送某通道视频信号连接请求到RP进行权限认证,RP根据路由算法,返回分发控制层中“最近”的流媒体服务器作为接收客户端的父节点,使得客户端直接加入组播树。同时,RP在当前流媒体服务中搜索是否存在接收客户端请求的视频信息,如已存在,则直接通过父节点连接相应的流媒体服务器,构成视频传输通道;否则,父节点直接连接编码层视频源。

在矿区视频监控中,视频编码器就近接入现场局域网,然后通过交换设备进入煤矿工业以太网,一般工况现场局域网带宽资源有限,并且须接入其他检测信号;流媒体服务器则直接接入煤矿工业以太光纤高速主干网络。通过以上数据传输机制,对于同一视频源信号始终保持分发控制层和编码层之间仅有一份数据拷贝;如果同时有多个接收客户端访问同一个视频源信号,则直接从流媒体服务器分发,避免由于并发访问导致在工况现场局域网中对同一视频源的冗余复制,减少对监控现场低速网络的冲击;而流媒体服务器处在网络资源富裕的高速网上,可实现最大限度的高速视频转发,在保证图像质量的同时避免网络阻塞。

2.3 系统实现

矿区多源应用层组播系统结构如图2所示。

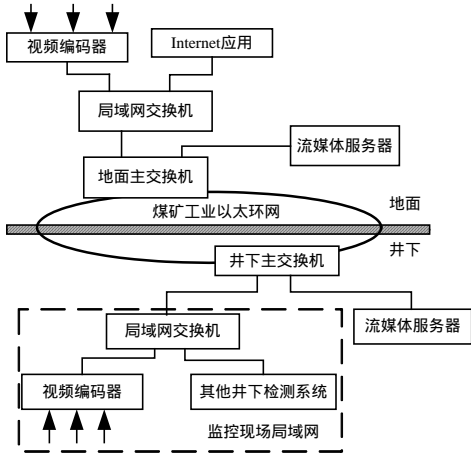


图2 矿区多源应用层组播系统网络结构

3 基于度和延时约束的路由算法

在组播树中,视频源信号经过分发控制层MS分发给客户节点,其数据转发能力直接影响组播树数据的可靠传输。

不同的MS分布在网络中的不同位置,其处理能力和所在网络的接入带宽不同,为了保证客户接收节点(为便于分析,以下简称节点)可靠地接收实时视频数据,本文通过组播路由协议减少网络数据传输延时,同时均衡网络负载。

3.1 节点的加入

MS与各节点的连接通过单播实现,其与节点相连的最大分支数称为MS的度,令 $Degree(m)$ 表示序号为 m 的MS的度。MS与节点已建立的分支数称为MS的约束,令 $Restrain(m)$ 表示序号为 m 的MS的约束,表示当前MS的资源占用情况,则其可用分支数为

$$Deg_{available}(m) = Degree(m) - Restrain(m)$$

节点加入可用分支数最大的MS,以此保证网络负载均衡。

实时的流媒体视频数据具有延时敏感性。本系统采用节点与对应MS的RTT度量链路的传输延时,其反映了当前端到端网络状况。令 $RTT_n(m)$ 表示 n 节点与序号为 m 的MS之间的链路延时。

新节点加入组播树时,在考虑负载均衡和网络延时的情况下,选择“最近”的MS作为父节点,因此, n 节点与序号为 m 的MS的距离定义如下:

$$Dis_n(m) = w_1 Deg_{available}^*(m) + w_2 RTT_n^*(m)$$

其中, $Deg_{available}^*(m)$ 是序号为 m 的MS的可用分支归一化值:

$$Deg_{available}^*(m) = \frac{Deg_{available}(m)}{Degree(m)}$$

$RTT_n^*(m)$ 为 n 节点与序号为 m 的MS之间的链路延时归一化值:

$$RTT_n^*(m) = \frac{RTT_n(m) - \min\{RTT_n\}}{\max\{RTT_n\} - \min\{RTT_n\}}$$

$\max\{RTT_n\}$ 和 $\min\{RTT_n\}$ 分别为 n 节点到组播树MS延时的最大值和最小值; w_1 和 w_2 分别为MS可用分支和RTT延时权重,满足以下条件: $0 < w_1 < 1$, $0 < w_2 < 1$,且 $w_1 + w_2 = 1$ 。在实际应用中,可根据现场需要选择不同的权重,如对图像传输延时要求较高,并且MS能力足够强,则可增大 w_2 。

节点加入算法Join_Algorithm如下:

(1)向会话控制器发送JOIN报文,通过权限认证后,得到当前MS的信息列表。

(2)节点向当前MS发送PROBE探测报文,得到各MS的距离以及视频源信息。

(3)以最近的MS为父节点加入组播树,并在会话控制器注册。

3.2 节点的维护

会话控制维持组播树中各节点的状态,为了实时更新RP的信息,各节点需要周期发送REFRESH报文至RP,对于连续多次不发送REFRESH报文的节点视为失效节点(ungraceful leaving node),并停止向其发送视频数据。失效节点重新激活后,若想接收数据,则重新执行Join_Algorithm命令;对于节点的正常退出,则须向RP发送LEAVING报文。因为本文的应用层组播体系中接收节点全部处在第3层,所以接收节点频繁的加入、退出或节点失效并不会造成树路由分裂。如果失效节点为MS,则其子节点重新执行Join_Algorithm命令来获取视频数据。在特殊情况下,为了防止会话控制器失效,可利用备份主机,并且备份主机和会话控制器之间周期同步信息,当一台失效时,自动切换到备份主机。

(下转第228页)