

数字拓片关键技术解析

朱晓丽^{1,2,3} 吴中福¹ 李颖⁴

(重庆大学计算机学院 重庆 400044)¹ (重庆大学艺术学院 重庆 400044)²

(西南大学美术学院 重庆 400715)³ (第三军医大学基础医学部 重庆 400038)⁴

摘 要 数字拓片是弘扬和传承拓片艺术的一种新途径。在制作数字拓片的过程中,如何解决石刻图像光照不均匀问题及如何解决黑色背景问题,生成既能充分表现目标形态又能很好体现细节和符合拓片基本特征的理想图像,是数字拓片的关键所在。通过实例详细分析了确立数字拓片关键技术的依据,并以实验结果说明,运用这些关键技术使上述问题得到了较好的解决,使生成的数字拓片效果较理想。

关键词 数字拓片,均值滤波,局部阈值,图像融合

Analysis of Digital Rubbings Key Technology

ZHU Xiao-li^{1,2,3} WU Zhong-fu¹ LI Ying⁴

(College of Computer Science of Chongqing University, Chongqing 400044, China)¹

(College of Art of Chongqing University, Chongqing 400044, China)²

(College of Fine Arts of Southwest University, Chongqing 400715, China)³

(College of Medicine of Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)⁴

Abstract Digital rubbing is a new approach to inherit rubbings art. The key of digital rubbings is how to solve the uneven illumination of stone images and black background, to generate ideal images that can not only full reflect target images and details, but also have the basic characteristics of the rubbings in the process of making digital rubbings. Through specific examples, this paper analyzed the basis for confirming the key technology of digital rubbings. The experiment results show that these key technologies have solved the above problems properly and produced ideal digital rubbings.

Keywords Digital rubbing, Average filtering, Partial threshold, Image fusion

1 引言

拓片作为我国特有的传统艺术形式,是中华文化的艺术瑰宝之一,具有很高的审美价值和历史文化价值。数字拓片是利用计算机图像处理技术,对浮雕物(如石刻)本体的数字照片进行图像处理,获得具有传统拓片视觉特征的数字图像。数字拓片研究的主要目的和任务是探索如何利用计算机技术制作数字拓片,以解决拓片传统制作方法带来的诸多问题,如制作拓片与文物保护之间的矛盾、手工方式的费时耗力、高浮雕物拓片的变形等。同时,数字拓片的研究还在于以一种新的思想与观念去探索拓片艺术的弘扬、发展及利用,通过将计算机技术引入到中国传统拓片的制作领域,推动拓片艺术的创新与发展,使数字拓片成为传统拓片艺术的一种有益和必要的补充和发展^[1,2]。

数字拓片关键技术并非凭空拟定,它是以拓片图像的典型特征为基本依据,并经过反复比对实验后确定下来的。通过对传统手工拓片图像(如图 1 所示)及拓片制作工艺进行研究,我们总结出“数字拓片”应该实现的基本图像特征为:①具

有强烈反差的黑白图像(二值图像),且有特殊的亮度对比关系,主要体现在目标石刻图像部分是用黑色的像素值表示,而背景则为白色;②拓片图像黑色区域内呈现丰富的、大小不等的颗粒状肌理,使拓片呈现出特殊的艺术美感;③黑、白两种颜色的分布规律总是遵循拓片图像中的黑色为浮雕物(石刻)的凸起部位,白色则为浮雕物(石刻)的凹陷部位,也就是说石刻中凸起的部分是用黑色像素表示,凹陷部分则用白色像素表示,凹与凸之间形成强烈的对比;④具有平面性和均匀性(与光照条件无关,因而也没有光照不均导致的明暗差异、无阴影)。



图 1 泸县宋墓石刻手工拓片及局部肌理

到稿日期:2009-08-25 返修日期:2009-10-07

朱晓丽 博士生,主要研究方向为传统视觉艺术与数字图像处理;吴中福 教授,博士生导师;李颖 研究员,主要研究方向为数字图像处理、三维重建、虚拟现实。

通过分析拓片图像的典型特征,初步确定将石刻图像制作成“数字拓片”所必需的基本方法为二值化和色度反转,如图2所示。

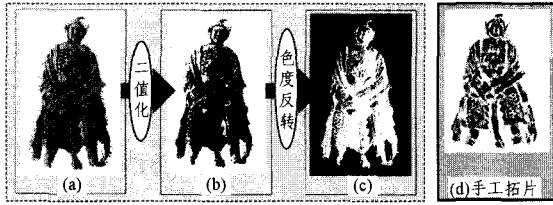


图2 简单二值化图像与手工拓片对比

运用简单“二值化”方法(阈值为0.5)对图2(a)进行处理后,获得黑白颗粒组成的图2(b),该图像在色调特征方面就由原来的连续色调变成了非连续色调,从而具有拓片图像的肌理感。然而此时图2(b)凹黑凸白的特征与拓片图像凸黑凹白的特征恰好相反。通过“色度反转”处理将黑、白二色互换,即原来的黑色变为白色、白色变为黑色,使其符合拓片图像的黑白分布规律,效果如图2(c)所示。

将图2(c)与手工拓片图2(d)进行对比后发现,初步得到的数字拓片图2(c)只是简单趋近于拓片图像特征,它仍然存在两个问题:

(1)由于石刻图像在采集和传输过程中不可避免会产生噪声及光照不均的影响,而使用一个固定的全局阈值^[3]对整个石刻图像进行二值化处理时,由于不能兼顾图像各部分的具体情况而导致所得数字拓片图像质量不高:图像中光线较强的区域在二值化处理后能勉强表现其纹理,而光线较弱或处于阴影区域的部分由于和背景像素的灰度值接近,在二值化时将其判别为背景,导致图像中大量的纹理细节丢失。可见,要获得理想的数字拓片,就必须解决石刻图像的光照不均匀问题。

(2)在目标图像与背景的黑白对比关系上,图2(c)的黑色背景与手工拓片图2(d)的白色背景不相符。因此,要获得理想的数字拓片,还必须解决背景问题,使其变为白色背景。

本文将对这两个关键技术及其选择过程做逐一分析。首先介绍解决不均匀光照问题的均值滤波与局部自适应二值化方法,然后介绍目标与背景图像融合以去除黑色背景的方法,最后介绍如何通过非线性对比度拉伸的预处理操作来保护目标图像的边缘像素,以改善图像质量。

2 “均值滤波+局部阈值法”消除光照不均

面对石刻图像光照不均匀的复杂情况,同时为避免丢失制作数字拓片所需的有用图像信息,在充分考虑石刻图像局部区域特征的情况下,选用局部阈值法对图像进行二值化处理。此方法与全局阈值不同,具有局部自适应性,尤其适用于尺寸较大的复杂图像。通过将原始石刻图像分成几个互不重叠的矩形子图像区域,分别求出每个子区域的最优分割阈值,然后按照相应阈值对图像不同部分分别进行二值化处理。由于局部自适应阈值法会使处理后的图像在不同子图像的边界处形成灰度的不连续分布,因此将它与均值滤波技术相结合来消除灰度的不连续性。均值滤波是典型的线性滤波算法,它能根据石刻图像各个子区域的亮度差异实现图像局部区域的平均运算功能^[4]。此方法能够很好地解决石刻图像光照不均匀的问题,如图3所示。

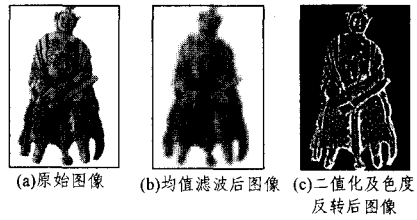


图3 均值滤波+局部阈值法消除光照不均

算法具体步骤如下。

1)均值滤波:用式(1)修改每个像素的值。

$$\hat{I}(x,y) = \frac{1}{m \times n} \sum_{s,k \in S_{xy}} I(s,k) \quad (1)$$

其中, $I(x,y)$ 代表坐标为 (x,y) 的像素值, S_{xy} 表示点 (x,y) 为中心、尺寸为 $m \times n$ 的矩形子图像区域的坐标组, $\hat{I}(x,y)$ 代表均值滤波后的像素值。

$$2) I'(x,y) = I(x,y) - \hat{I}(x,y) - C \quad (2)$$

$I'(x,y)$ 代表原像素值和邻域像素均值的差异, C 为较小的正常系数(本文中为0.03)。

$$3) P(x,y) = \begin{cases} 0, & I'(x,y) \leq T \\ 1, & I'(x,y) > T \end{cases} \quad (3)$$

$P(x,y)$ 为算法修改后的像素值, T 为阈值。 $P(x,y)$ 小于该阈值时取值为0,否则为1。

如前所述,此方法用局部区域内各像素灰度的加权均值来替代域中心像素值,从而删除每个小区域中色调变化平缓的部分而保留灰度变化最大的部分。从图4(a)原始图像的RGB三维显示中可以看出,像素值比较密集,二值化难以区分前景和背景;图4(b)是原始图像减去均值滤波后的差异图像三维显示,其像素的分布相对松散,有利于目标和背景的区别。也就是说,由于整体像素值之间的差异得到增加,对于原始图像的像素集合而言就相当于一个阈值曲面,更便于二值化处理。图3(c)显示出经过本方法得到的二值图像使阴影消失而纹理变得更突出,满足了拓片的平面性特征。

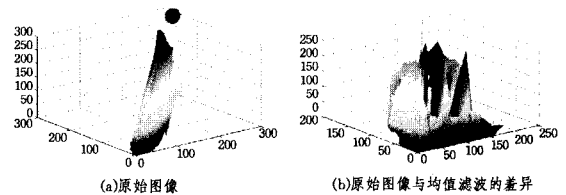


图4 滤波前后图像的三维显示

子图像区域的大小随图像目标的大小而定。当目标较小时,选择较小的区域尺度;目标较大时,选择较大的区域尺度。不同的区域大小取值会直接影响所得数字拓片图像的效果。当取值越小,图像平滑效果越弱,数字拓片颗粒越小;相反,当取值越大,图像平滑效果越强,数字拓片颗粒越粗。图5分别展示了设置3种不同大小区域所得的图像效果。在以拓片图像特征为参照并经过若干对比实验后发现,区域大小分别为 10×10 和 150×150 时所得的数字拓片图像在颗粒特征上均有缺陷:前者保留细节过多,后者则损失细节过多,而且两者的画面形象特征不明显;当区域大小为 80×80 时,数字拓片图像颗粒特征突出且符合一般手工拓片的肌理美感,画面形象特征鲜明。因此,通过研究我们将矩形子图像区域中的 m, n 取值默认为80。

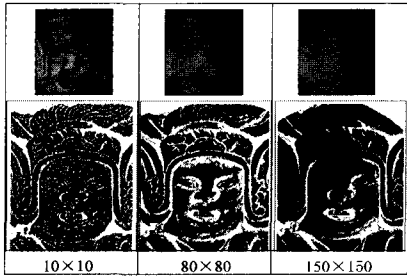


图5 区域大小取不同参数值所得数字拓片图像效果比较

3 “图像融合”去除黑色背景

前面我们通过均值滤波与局部阈值法解决了因石刻图像光照不均匀导致的纹理细节大量丢失的问题,得到的数字拓片图像纹理清晰、均匀,如图3(c)所示。接下来要解决的问题是对背景的处理,即如何去除背景的黑色。本文选用的方法是首先制作一个目标模板,然后用图像融合的方法将该目标模板与先前得到的数字拓片图像相融合。

图像融合亦即图像合成^[5],通过特定的算法对两幅或多幅大小、类型均相同的图像做加运算而获得一幅新图像。图像融合可以增强单一图像中不明显的某些特征,也可以利用其他图像来弥补和替代图像的丢失信息。根据图像融合的思想,将目标和背景作为两幅单独的图像分别处理感兴趣的区域以求取预期效果,最后将两幅图像融合在一起,通过此方法达到去除图像黑色背景的目的。

3.1 用图像分割法求取目标模板

传统的图像分割通常分为阈值分割和边缘检测两大类。阈值分割法^[6]就是简单地用一个或几个阈值将图像的灰度直方图分成几个类,认为图像中灰度值在同一个灰度类的像素属于同一个物体。阈值分割法的关键在于阈值的选取,缺陷在于它仅考虑了图像的灰度信息,而忽略了图像中的空间信息。对于图像中灰度差异不明显或各物像灰度值范围有较大重叠的情况,运用阈值分割法很难得到令人满意的处理结果。边缘检测法^[7,8]试图通过检测包含不同区域的边缘来解决图像分割问题,基于不同区域之间边缘上的像素灰度值变化往往比较剧烈。这类方法大多是基于局部信息的,一般利用图像一阶导数的极大值或二阶导数的过零点信息来作为判断边缘点的依据。本文选用了局部和全局相结合的分割法来求取目标模板。

算法步骤如下。

(1)用前述的式(1)进行均值滤波。

(2)对比度拉伸: $I''(x, y) = \frac{\hat{I}(x, y) - \hat{I}_{\min}}{\hat{I}_{\max} - \hat{I}_{\min}} \times 255, \hat{I}(x, y)$

为图像 (x, y) 位置的像素值, \hat{I}_{\min} 为图像中最小像素值, \hat{I}_{\max} 为图像中最大像素值, $I''(x, y)$ 为经公式计算后 (x, y) 位置的像素值。

(3)用Otsu法求解最佳阈值 T^* :

$$C_0 = \{0, 1, \dots, t\}$$

$$C_1 = \{t+1, t+2, \dots, l-1\}$$

$$p_i = n_i / N, (p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{l-1} p_i = 1)$$

$$\omega_0 = P_r(C_0) = \sum_{i=0}^t p_i = \omega(t)$$

$$\omega_1 = P_r(C_1) = \sum_{i=t+1}^{l-1} p_i = 1 - \omega(t)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t i p_i / \omega_0$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{l-1} i p_i / \omega_1$$

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0)^2 p_i / \omega_0$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{l-1} (i - \mu_1)^2 p_i / \omega_1$$

$$\sigma_w^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2$$

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_B^2 + \sigma_w^2$$

$$T^* = I''_{\max(\sigma_B^2 / \sigma_T^2)}(x, y)$$

其中, t 为随机选择的灰度值。作为阈值,它将所有的灰度值划分为 C_0 和 C_1 两类, l 为灰度的最大取值, p_i 为每个灰度出现的概率, N 为像素总数, n_i 为灰度 i 的像素数; $\omega_0, \omega_1, \mu_0, \mu_1, \sigma_0^2, \sigma_1^2$ 分别为 C_0 和 C_1 两类的概率、均值和方差; $\sigma_w^2, \sigma_B^2, \sigma_T^2$ 分别为类内方差、类间方差和总的方差; T^* 为选取的最佳阈值的灰度值。

$$(4) \text{二值化: } I^b(x, y) = \begin{cases} 0, & I''(x, y) \leq T^* \\ 1, & I''(x, y) > T^* \end{cases}$$

$I''(x, y)$ 为经对比度拉伸后 (x, y) 位置的像素值, T^* 为Otsu算法求得的阈值。如果像素值小于等于 T^* , 则将该像素值置为 0, 否则为 1。

图6较为直观地展现了上述算法步骤求取目标模板的过程,主要涉及均值滤波、对比度拉伸、Otsu二值化^[9]等。首先通过均值滤波平滑图像局部细小的差异;然后进行对比度拉伸,以增强目标石刻与背景的亮度反差;然后用Otsu方法计算出最佳阈值(界限值),并按照该阈值将图像二值化,即图像中凡是灰度值大于该阈值的像素就被处理成白色,凡是灰度值小于该阈值的像素就被处理成黑色,便有效地提取出目标石刻图像的轮廓及形状,获得目标模板。

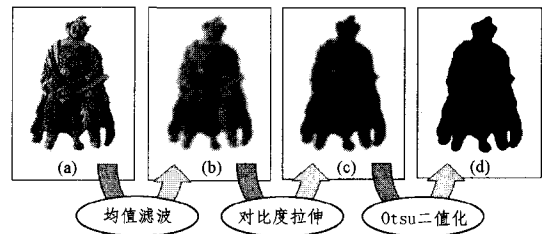


图6 求取目标模板的过程示意

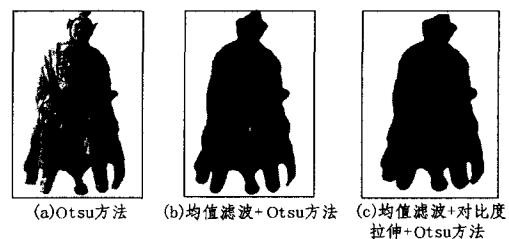


图7 目标图像分割

求取目标模板所需步骤的依据如图7所示。从图7(a)可以看出如不进行均值滤波而直接采用Otsu方法,图像则仍然保留了大量的局部细节。图7(b)是在均值滤波后再进行Otsu二值化处理后的结果,图中的大量细节被去掉了,但仍残留了少许白点,说明目标和背景的亮度差异还不够大,还存

在误判的情况。因此,在对均值滤波处理后的图像采用 Otsu 方法之前,先对它进行对比度拉伸,便获得了较为理想的目标模板,如图 7(c)所示。

3.2 图像融合去除黑色背景

前面已经将目标图像和背景图像分别进行了处理,现可按照以下公式融合这两幅图像:

$$I(x,y) = \sum_{x=1, y=1}^{m+n} (I^a(x,y) + I^b(x,y))$$

其中, $I(x,y)$ 是融合后的像素值, $I^a(x,y)$, $I^b(x,y)$ 分别代表坐标为 (x,y) 的目标图像和背景图像的像素值。

图 8(a)和图 8(b)在执行图像融合处理后,把图 8(b)目标模板叠加到图 8(a)上,从而获得一幅去除了黑色背景的数字拓片新图像,如图 8(c)所示。可以看到,该图像纹理清晰,且满足白色背景特征。

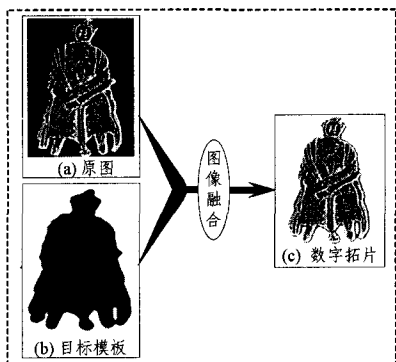


图 8 目标和背景图像的融合

4 非线性对比度拉伸

通过前面的算法步骤,已能够生成基本符合要求的数字拓片,但是仍然有美中不足的地方。我们注意到图 8(c)中的外边缘图像显得很生硬。这是由于边缘像素和石刻图像的像素值比较接近,在进行均值滤波时将边缘像素值修改成了该像素邻域的均值,因此产生了边缘模糊的情况,二值化后边缘信息像素有丢失,与模板叠加后最外层边缘是模板边缘,它将目标图像生硬地包围起来。

为了获得符合拓片图像特征的边缘效果,避免在均值滤波时发生边缘像素的误判,就需要采取有效措施将边缘像素保护起来。我们采用的方法是在石刻图像进行第一次均值滤波处理前,先对其进行预处理,即通过非线性对比度拉伸来扩大目标和背景的对比度,其效果为图像背景变为黑色。

非线性对比度拉伸可以有选择地拉伸某段灰度以满足特殊需要。通过分析原始图像的直方图(如图 9(a)所示)发现,图像在灰度值大约为 235 处有明显截断(代表区分目标和背景的阈值),将原始图像按照以下公式做非线性的对比度拉伸:

$$\hat{f}(x,y) = \begin{cases} f(x,y), & f(x,y) \leq 230 \\ 0, & f(x,y) > 230 \end{cases}$$

其中, $f(x,y)$ 为坐标是 (x,y) 的原始图像像素值, $\hat{f}(x,y)$ 为修改后的像素值,此处取阈值为 230(略小于 235)更有利于目标和背景的区别。

如图 9(b)所示,石刻图像在进行了非线性对比度拉伸后背景变成了黑色。再按照第 2 节所述方法,对该图像进行均值滤波及局部自适应阈值处理后得到一幅新图像(如图 9(c)

所示),在目标图像的边缘形成了一圈白色像素将目标边缘保护起来。边缘白色像素的宽度与进行均值滤波时所取的区域大小有关:区域越大,白色像素带就越宽;反之,就越窄。

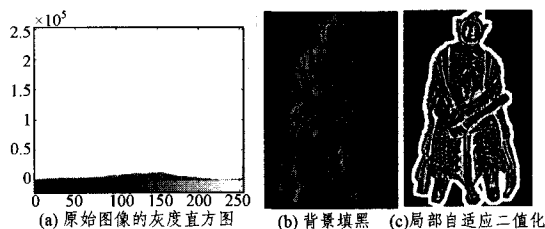


图 9 预处理保护边缘像素

将该图像与其对应的目标模板进行图像融合后得到数字拓片图像的边缘像素得以保护,使图像效果更加理想(如图 10(c)所示)。

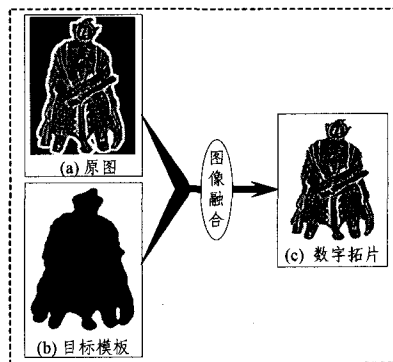


图 10 图像融合去除黑色背景

需要指出的是,由于石刻图像在经过非线性对比度拉伸后,背景变成了黑色,因此在求取目标模板时要在原有步骤基础上增加色度反转的步骤,以获得正确黑白关系的目标模板,如图 11 所示。

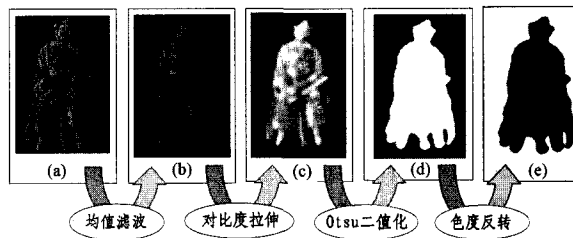


图 11 背景填黑后目标模板求取过程示意

结束语 如何解决光照不均及去除黑色背景,是数字拓片研究的两个难点。本文通过详细的实例对数字拓片的关键技术进行了解析。实验结果表明,本算法能将石刻图像生成比较满意的数字拓片。数字拓片的研究,体现了一种以崭新的方法来关注和探索我国文化遗产的保护工作。我们希望数字拓片研究工作的开展能为新技术条件下的文物保护工作起到抛砖引玉的作用。

参考文献

- [1] 朱晓丽,吴中福. 基于 photoshop 实现浮雕图像“数字拓片”的技术研究[J]. 计算机科学,2008(12)
- [2] 朱晓丽,吴中福,李颖. 基于 MATLAB 实现石刻浮雕图像“数字拓片”技术的研究[J]. 计算机科学,2009(2)
- [3] 四维科技,胡晓峰,赵辉. 图像处理与识别实用案例精选[M]. 北京:人民邮电出版社,2004

(下转第 298 页)

$\max\{R_{kp}, R_{\min}\}$ 。

情况 2: $p > p_{thresh}$ 。此时视频质量已严重影响,需降低码率,同时又要考虑平滑性,调整:

$$R_{i+1} = \max\{\min\{R_{kp}, (1 - \sqrt{p - p_{thresh}}) \times R_i\}, R_{\min}\}$$

并记下此刻的 R_i 为 R_{con} 。

情况 3: $p = 0$ 。经过拥塞调整后,视频流码率降低,丢包率减小。丢包率又为 0 时,服务器端又将增大编码码率。调整:

$$R_{i+1} = \begin{cases} \frac{R_{con} + R_i}{2} & (R_i < 0.9R_{con}) \\ \min\{R_i + \alpha_2 \times (R_{\max} - R_{\min}), R_{\max}\} & (R_i \geq 0.9R_{con}) \end{cases}$$

其中, $0 < \alpha_2 \leq 1$ 为常量。算法思想是先将码率增长至接近 R_{con} ,若此时丢包率仍然为 0,则保持一定速度缓慢增长。若又出现丢包率大于 0 的情况,则采用前两种情况处理。

3 系统测试结果与分析

本流媒体服务器在嵌入式 Linux 环境下开发,客户端可使用 VLC 播放器来进行测试,在实验室局域网内建立连接,网络状况采用开源软件 nistnet^[10]进行模拟。本系统中, R_{\max} 为 2Mbps, R_{\min} 为 64kbps, α_1 和 α_2 分别取值 0.1 和 0.01, p_{thresh} 为 0.04。客户端与服务器建立连接后,不断接收到视频流并解码播放,并且服务器端每隔 2 秒收到一个来自客户端的 RR 包。通过 nistnet 模拟网络状况,同时观察客户端视频,发现画面流畅,且画面质量随网络带宽变化及时变化。服务器端通过串口打印出每次改变。取其中一段数据加以分析,如图 3 所示。

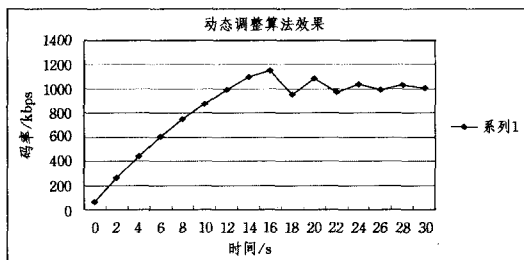


图 3 动态调整算法效果图

从图 3 可以看出,本系统能够实时地监测网络的状况,进而有效调整视频流的码率,提高客户端观看视频的质量。

结束语 本文针对网络视频监控,在现有算法 AIMD 和 TFRC 的基础上,提出了适用于实时流媒体的基于 RTCP 反馈信息的自适应动态 QoS 机制,实现了流媒体服务器根据网络状况自动调整编码码率进行传输,使客户端观看到实时流畅的画面。

参考文献

- [1] Tsai Chengfa, Tsai Chunwei. A new approach for solving large traveling salesman problem using evolutionary ant rules[C]// Proc. of International Joint Conference on Neural Network, New Jersey: IEEE Press, 2002: 1540-1545
- [2] 梁丰,翁格奇. AIMD 拥塞控制算法分析[J]. 计算机工程与应用, 2004, 1: 173-174
- [3] 王光阳,徐昌彪,陈前斌. TFRC 与 TCP 流数之比对协议间公平性影响的研究[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(11): 16-18
- [4] Handley M, Floyd S, Padhye J, et al. TCP Friendly Rate Control (TFRC); Protocol Specification[S]. IETF RFC 3448. 2003
- [5] Floyd S, Handley M, et al. Equation-based Congestion Control for Unicast Applications: The Extended Version[C]. 2000
- [6] Padhye J, Firoiu V, Towsley D, et al. Modeling TCP Throughput: A Simple Model and Its Empirical Validation[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(2): 133-145
- [7] Schulzrinne H, Rao A, Lanphier R. Real Time Streaming Protocol[S]. RFC 2326. 1998
- [8] RTP: A Transport Protocol for Real-Time Application[S]. RFC 3550-2003
- [9] Sisalem D, Schulzrinne H, Emanuel F. The Direct Adjustment Algorithm: A TCP-Friendly Adaptation Scheme[R]. Berlin: Fraunhofer, GMD-FOKUS, 1997
- [10] Carson M, Santay D. Nistnet, a Linux-based network emulation tool[J]. Computer Communication Review (ACM SIGCOMM), 2003, 33(3): 111-126
- [11] 肖卫初,陈伟宏. 监控系统中的多摄像头协同算法[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2008, 22(4): 117-123

(上接第 288 页)

- [4] Fisher S P B, Walker A, Wolfart E. Adaptive thresholding[M]. Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, 1994
- [5] 苏金明,王永利. MATLAB 图形图像(上)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
- [6] Weszka J S. A survey of threshold selection techniques[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1978, 7(2)
- [7] Haralick R M. Digital step edges from zero crossing of second

directional derivatives[M]. Readings in Computer Vision: Issues, Problems, Principles, and Paradigms, 1987

- [8] Nalwa V S, Binford T O. On detecting edges[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6)
- [9] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms[J]. Automatica, 1975(11)
- [10] 罗南超,向昌成. 基于低频边缘特征和能量的多聚焦图像融合方法[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2009, 23(8): 168-171

(上接第 295 页)

参考文献

- [1] 叶俊勇. 人脸检测与识别方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002
- [2] Sobottka K, Pitas I. A novel method for automatic face segmentation, facial feature extraction and tracking[J]. Signal Processing: Image Communication, 2008, 12(3): 263-281
- [3] Craw I, Ellis H, Lehman J R. Automatic extraction of face-features[J]. Pattern Recognition Letters, 1987, 5(2): 183-187

- [4] Govindaraju V. Locating human faces in photographs[J]. International Journal of Computer Vision, 2006, 19(2): 129-146
- [5] Wang J, Tan T. A new face detection method based on shape information[J]. Pattern Recognition Letters, 21(6/7): 463-471
- [6] 闫文秀,裴建岗,孙颖,等. 基于 Gabor 滤波器和改进 BP 神经网络的人脸检测方法[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2009, 23(4): 98-102