

基于空间域的图像噪声检测技术

余燕飞*, 郑 焯, 王 嵩, 李 伟, 袁 婧, 孙志军

(中国科学技术大学 信息科学技术学院, 合肥 230027)

(* 通信作者电子邮箱 yanfei@mail.ustc.edu.cn)

摘 要: 图像质量检测技术可以代替人工巡检的方式对视频质量进行自动检测, 对监控系统中视频图像出现的异常进行准确分析、判断和报警, 以保障规模不断扩大的网络视频监控系统的正常运行。基于空间域的图像噪声检测技术, 利用图像的邻域信息特征与各类噪声异常在空间域上的轮廓和方向分布, 并结合 OpenCV 图像处理技术, 实现对噪点、雪花和条纹异常的检测。空间域噪声检测算法, 与人的视觉感知相一致, 可以用于监控视频的实时检测。

关键词: 视频质量检测; 图像噪声; 空间域; 噪点; 雪花; 条纹

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Image noise detection technology based on spatial domain

YU Yan-fei*, ZHENG Quan, WANG Song, LI Wei, YUAN Jing, SUN Zhi-jun

(School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230027, China)

Abstract: Image quality detection technology can automatically detect the image abnormality in order to replace manual inspection methods for the monitoring system. It can accurately analyze abnormalities of the video, and alarm the system in order to ensure normal running of the expanding network video surveillance system. Noise detection technology based on the spatial domain uses the image information of the field characteristics, profiles and orientation distributions of various kinds of abnormal noise in spatial domain, and takes advantage of OpenCV-based image processing technology achieving detection of noise points, snowflakes and stripes. The noise detection algorithm in spatial domain proposed, is consistent with human visual perception and can be used to monitor video for real-time detection.

Key words: video quality detection; image noise; spatial domain; noise point; snowflake; stripe

0 引言

与传统的模拟监控相比, 数字化网络视频监控具有许多优点: 便于计算机处理, 适合远距离传输, 提高了图像的质量和监控效率, 使系统易于管理和维护^[1-2]。但随着监控摄像机数量的不断增加, 如何及时了解前端视频设备的运行情况, 以及保障视频监控系统正常运行已成为迫切问题。在视频采集、视频压缩、信道编码、传输误差和视频解码等常规的视频信息处理过程中, 都可能会产生一些失真, 引起图像质量的损伤, 视频图像会出现信号缺失、模糊、噪点、雪花、条纹、视频偏色、视频抖动等常见异常。由于图像质量的优劣对于提高服务质量具有重要意义, 因此如何以人类的视觉感知来评价视频质量是一个逐渐引起广泛关注的问题。最有效的方式就是通过人类的主观感知, 直接来检测视频质量。但随着监控规模的逐渐扩大, 采用人工巡检的方式工作量变得很大, 而且效率低。所以, 实现视频质量的自动化检测, 是一个很有现实意义的研究方向。

目前, 为了维护监控系统的正常运行, 常用的方法依然是人工检测, 而已有的视频质量客观检测方法基本上都是以某种方式检测目标视频与原视频序列之间的差异, 不能用于网络视频监控系统的实时监测^[3-4]。

传统的检测方法都是基于视频信息的统计特征, 例如有研究者提出了基于自然图像矩阵统计和视觉变动的检测模型, 统计在小波域中的视频信号。这种模型利用视频序列中的运动信息来检测视频的质量^[5]。另外一种方法是检测目标视频与原视频序列每个像素通道值的绝对差, 然后采用各种统计方法将其转换为检测质量的评估指标。最常用的方法有计算像素值的均方误差值 (Mean Squared Error, MSE)、信噪比 (Signal to Noise Ratio, SNR)、峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)、Czekanowski 距离、Minkowski 距离等^[6]。这些方法最主要的缺点是它们和主观视频质量的相关性不强, 不能很好地反映人的视觉感受。

近年来, 研究与主观视频质量具有很好相关性的客观视频质量检测方法成为了热点^[7]。与直接比较像素通道值的方法不同, 这些客观视频质量检测方法是在研究人类视觉系统特性的基础上, 从视频序列中提取结构性信息, 然后对这种结构性信息进行检测。例如针对一对数字视频序列, 计算视觉感知之间的差异程度, 这个度量是基于离散余弦变换。它集成了早期视觉处理的多个方面, 包括光适应、亮度、色差通道、时空过滤、空间频率通道, 以及概率总和等^[8]。还有人提出视频序列的质量指标, 这些指标是通过捕捉视频序列中的空间扭曲并量化, 对失真类型进行了初步划分。而且这些质

收稿日期: 2011-12-09; 修回日期: 2012-02-20。

基金项目: 国家 863 计划项目 (2009AA01A340); 国家发改委 CNGI 课题 (CNGI-09-03-14); 安徽省教育厅高校自然科学研究项目。

作者简介: 余燕飞 (1987-), 男, 内蒙古固阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络传播系统与控制; 郑焯 (1970-), 男, 安徽合肥人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 网络传播系统与控制、网络多媒体、媒体内容分发; 王嵩 (1975-), 男, 安徽六安人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 计算机网络、媒体内容分发; 李伟 (1986-), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络传播系统与控制; 袁婧 (1988-), 女, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络传播系统与控制; 孙志军 (1986-), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络传播系统与控制。

量评测指标与主观感知质量相关,即已经考虑到了人类感知扭曲^[9]。虽然这些检测技术可以用于视频质量检测,给出了视频质量的相关指标,但不适用于数字化网络监控系统:一方面,这些检测需要提供正常的原始视频序列作为检测的参考数据,这在网络监控所需的实时监测应用中是不可能的;另一方面它们不能对视频质量检测中具体的异常种类做出准确的判断,无法帮助网络视频监控系统有针对性地排查故障。

本文提出的视频质量检测技术,首先直接截取目标视频的帧,然后借助 OpenCV 图像处理技术^[10],获取图像的像素点分布信息,设计针对不同类型异常的检测算法,实现对图像异常的自动检测。噪声的最大特点是其灰度值与其局部邻域像素点的灰度值差别较大,但是图像中的边缘信息也具有这样的特征。在相邻像素点通道值相差较大的情况下,为了有效区别是正常的边缘像素点还是图像噪声区域,就需要分析不同类型的噪声与正常图像边缘的差别所在^[11]。本文介绍的噪点、雪花和条纹3种异常检测算法是基于领域的噪声检测^[12]。结合不同种类异常图像的噪声区域的轮廓和像素点分布特征,判断图像是否出现噪声异常。最后,以图像异常检测结果反映目标视频的质量,完成对视频监控系统的实时监测。

1 视频质量检测方案

本文提出的视频质量检测采用图像异常检测方案,其软件架构如图1所示。首先截取监控视频的帧,然后利用 OpenCV 图像处理技术读取图像的像素信息,该模块完成图像的底层处理和相关计算,作为图像异常检测的预处理步骤。异常检测模块包含信号缺失、噪点、雪花、条纹、模糊、亮度、偏色和抖动等,每种异常检测都是独立的处理函数。

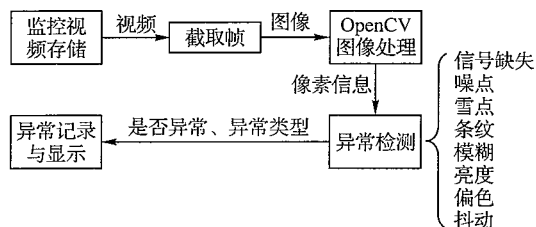


图1 视频质量检测软件架构

本文主要介绍噪点、雪花和条纹这3种图像异常的检测算法。这3种异常检测都基于图像空间域的像素点通道值信息。检测结果采用异常程度函数来显示,它对噪声、雪花和条纹异常的检测都适用,其表达式如下:

$$abnorm_level = \left(\frac{count}{pixel_num} \right) \times k \quad (1)$$

其中: $abnorm_level$ 表示异常程度; $count$ 表示噪声统计数,是各类异常检测时计数器的返回值; $pixel_num$ 表示图像像素点个数,即 OpenCV 的 $IplImage$ 结构体的元素 $imageSize$; 常数 k 用来简化异常程度返回值,结合各类噪声异常根据样本测试设定。

对异常程度返回值 $abnorm_level$ 进行归一化运算^[13],本文采用了线性函数转换函数,其表达式如下:

$$y = \frac{x - MinValue}{MaxValue - MinValue} \quad (2)$$

其中: x, y 分别为转换前、后的异常程度表示值, $MaxValue$ 、 $MinValue$ 分别为样本的该类异常最大值和最小值。归一化后, y 的值在 $0 \sim 1$; 0 表示没有异常, 1 表示异常极其严重,数值越大表示异常越严重。

2 算法设计与实现

2.1 噪点检测

2.1.1 噪点异常分析

图像噪点在空间域中体现为某个像素点与周围像素点的通道值相差很大,在视觉感知上体现为很多细小的噪声点分布在图像上,影响人的视觉感受^[14],如图2所示。



图2 噪点异常示例图

如图3(a)所示,根据像素点的邻域信息判断是否出现噪点异常,相关公式如下:

$$L_p(c) = \sum_{k=1}^N |x_0(c) - x_k(c)| \quad (3)$$

其中: $L_p(c)$ 是噪点向量和, c 表示虚线边框像素点围起来的 3×3 区域, $x_0(c)$ 表示中心像素点通道值, $x_k(c)$ 表示中心像素点邻近像素点通道值,此时 N 取8。如果 $L_p(c)$ 大于某个阈值,可以判定区域 c 的中心像素点为噪声点,如黑色示意的像素点B。而如果是边缘像素点,如图3(b)所示,则 $L_p(c)$ 的值要远小于设定阈值。

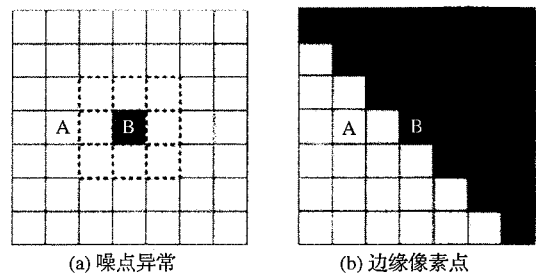


图3 噪点分析示意图

2.1.2 噪点检测算法

在检测一个像素点是否为噪点异常时,需要排除边缘像素点的情况。根据以上分析,得到图像质量检测的噪点异常检测算法,见算法1。

算法1 噪点异常检测算法。

BEGIN

 装载图像;

 转化为灰度图像;

 while 逐行扫描灰度图像{

 读取像素点 A 的通道值为 $pixel[i][j]$;

 读取 A 后第 2 个像素点 B 的通道值为 $pixel[i][j+2]$;

 使 $d = abs(pixel[i][j] - pixel[i][j+2])$;

 if ($d > d_threshold$) {

 计算 A 的噪点向量和 $L1$;

 计算 B 的噪点向量和 $L2$;

 if ($L1 > L2$ 且 $L1 > L1_threshold$) {

 A 为噪点,噪点计数器 count 加 1;

 扫描后跳 3 个像素点;

 }

 else if ($L1 \leq L2$ 且 $L2 > L2_threshold$) {

 B 为噪点,噪点计数器 count 加 1;

 扫描后跳 3 个像素点;

 }

 }

 }

```

    }
}
计算噪点异常程度, 并进行归一化运算;
输出结果, 判断图像是否有噪点异常;
END

```

2.2 雪花检测

2.2.1 雪花异常分析

图像雪花在空间域中体现为灰度图像的某个区域的像素点与周围像素点的通道值相差较大, 在视觉感知上体现为很多雪花状噪声分布在图像上, 影响人的视觉感受^[15], 如图 4 所示。



图 4 雪花异常图例

如图 5 所示, 根据像素点邻域信息判断是否出现雪花异常, 相关公式如下:

$$avg_m(f) = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} x_k(f) \quad (4)$$

$$L_m(c) = \sum_{k=1}^{N_2} |avg_m(f) - x_k(c)| \quad (5)$$

式(4)中: $avg_m(f)$ 是雪花区域是像素点的平均通道值, f 是以像素点 B 为第二行第一列像素点的 3×3 区域, $x_k(f)$ 该区域各像素点通道值, 此时 N_1 取 9。式(5)中: $L_m(c)$ 是雪花向量和, c 是表示虚线边框像素点围起来的 7×7 区域, $x_k(c)$ 表示虚线边框像素点, 此时 N_2 取 24。

为了更准确地排除边缘像素点的误检, 如图 5(c) 所示, 如果像素点 B 周围是边缘像素点, 则这些差值中有的比较小, 代表了在黑色区域到对应虚线边框像素点方向存在边缘特征, 如式(6):

$$d_k(m) = |x_k(m) - avg_m(f)| \quad (6)$$

其中: $k = 1, 2, \dots, 9$, $d_k(m)$ 是边缘像素点向量, $avg_m(f)$ 是 3×3 雪花区域 f 平均通道值, m 是雪花区域上方一排 9 个虚线框像素点, $x_k(m)$ 表示 m 区域像素点的通道值。

如果 $L_m(c)$ 大于某个阈值, 且 $d_k(m)$ 的取值都小于某个阈值, 则可以判定此处出现雪花异常, 如图 5 中由 7 个、9 个或 13 个黑色像素点组成的区域。

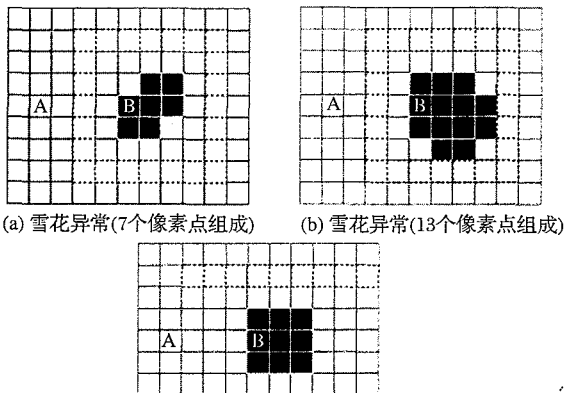


图 5 雪花分析示意图

2.2.2 雪花检测算法

对雪花异常的分析可知, 雪花多为 6 ~ 15 个像素点的集中区域, 在检测一个区域的像素点是否为雪花异常时, 需计算该区域像素点的平均通道值与邻域像素点通道值差, 并排除是噪点和边缘像素点的情况。根据以上分析, 得到图像质量检测的雪花异常检测算法, 见算法 2。

算法 2 雪花异常检测算法。

```

BEGIN
  装载图像;
  转化为灰度图像;
  while 隔行扫描灰度图像{
    读取像素点 A 的通道值为 pixel[i][j];
    读取 A 后第 4 个像素点 B 的通道值为 pixel[i][j+4];
    使 d = abs(pixel[i][j] - pixel[i][j+4]);
    if (d > d_threshold) {
      计算 A、B 所在 3×3 区域像素点平均通道值 avg1、avg2;
      计算 A、B 所在 7×7 区域雪花距离向量和 L1、L2;
      计算 A、B 的后一位像素点的噪点向量和 l1、l2;
      计算 A、B 的后一位像素点与其上第 3 排 9 个像素点的通道值差 DxA[9]、DxB[9];
      if (L1 > L2 且 L1 > L1_threshold 且 l1 < l1_threshold 且
          dxA[9] 各元素 < dx_threshold) {
        A 处为雪花, 雪花计数器 count 加 1;
        扫描后跳 10 个像素点;
      }
      else if (L1 < = L2 且 L2 > L2_threshold 且 l2 < l2_threshold
          且 dxB[9] 各元素 < dx_threshold) {
        B 处为雪花, 雪花计数器 count 加 1;
        扫描后跳 10 个像素点;
      }
    }
  }
  计算雪花异常程度, 并进行归一化运算;
  输出结果, 判断图像是否有雪花异常;
END

```

2.3 条纹检测

2.3.1 条纹异常分析

图像条纹在空间域中体现为方向性条纹区域的像素点与周围像素点的通道值相差较大, 在视觉感知上体现为很多带状噪声分布在图像上, 影响人的视觉感受^[16], 如图 6 所示。原图像有时为彩色条纹异常, 但其灰度图像却没有条纹异常, 所以除检测原图像的灰度图像外, 需将原图像分割为 R、B、G 单通道图像进行检测^[17], 如图 7 所示。



图 6 条纹异常图例

如图 8 所示, 对于图像中的某个 13×13 像素点区域, 以其中中心像素点 A 为参考, 检测该区域内是否有条纹异常。相关公式如下:

$$L_l(deg) = \sum_{k=1}^{N_{deg}-1} |x_0(l) - x_k(l)| \quad (7)$$

$$L_{st}(deg) = \sum_{k=1}^{N_{deg}} |x_k(l) - x_k(c)| \quad (8)$$

式(7)中: $L_{st}(deg)$ 是同一排像素点通道值差的绝对和,其值越小表示该排通道值相近; l 表示在方向 deg 上包含像素点 A 的一排像素点; $x_0(l)$ 表示像素点 A 的通道值; $x_k(l)$ 表示 l 上除 A 外的其他像素点; N_{deg} 根据方向 deg 取值,如 0° 时取 13, 22.5° 时取 7。

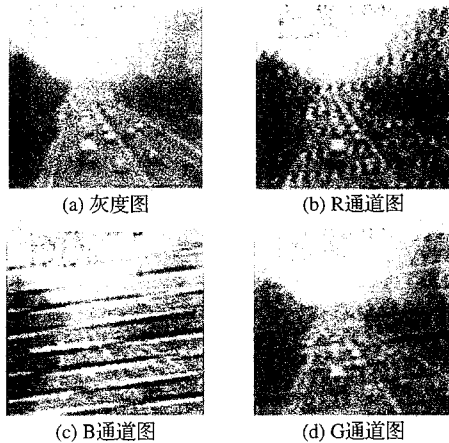


图7 单通道条纹异常图例

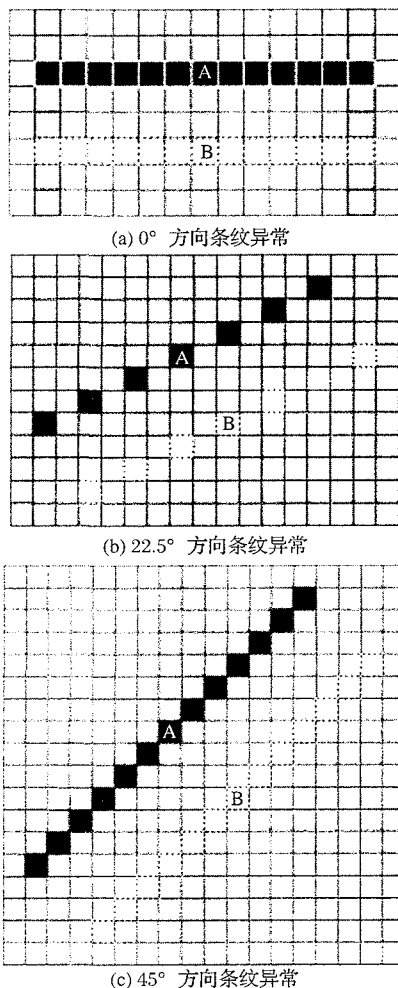


图8 条纹异常示意图

式(8)中, $L_{st}(deg)$ 是条纹向量和, c 表示与 l 平行的一排像素点, $x_k(c)$ 表示 c 上的各个像素点,那么 $L_{st}(deg)$ 表示两排像素点 c 与 l 在对应位置上像素点通道值差的绝对和,其值大于某个阈值可以判定此处出现条纹异常。考虑到条纹异常

的方向性,我们判断 8 个方向的条纹,分别是 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 、 112.5° 、 135° 、 157.5° ,后面 5 个方向上的条纹异常分布和计算方法与前 3 个相似,这种划分可以覆盖几乎所有的条纹异常。

2.3.2 条纹检测算法

根据上节对条纹异常的分析,条纹多为多个像素点组成的带状性的集中区域,在检测一个区域的像素点是否为条纹异常时,需计算该区域像素点的通道值与带状平行邻域像素点通道值的差。由于在图像出现条纹异常时,其产生的带状特征区域分布个数远大于正常图像中的边缘信息分布,所以可以很有效地检测出图像是否有条纹异常。根据以上分析,得到图像质量检测的条纹异常检测算法,见算法 3。

算法 3 条纹异常检测算法。

```

BEGIN
    装载图像;
    转化为灰度图像,并分割为 R、B、G 单通道图像;
    while 隔 10 行扫描灰度图像和 R、B、G 单通道图像{
        读取像素点 A 的通道值为 pixel[i][j];
        依次判断图像在 8 个方向上是否有异常{
            取 A 周围与待检测方向垂直的方向上,相距 3 个单位的
            像素点 B,读取其通道值为 pixel[m][n];
            使 d = abs(pixel[i][j] - pixel[m][n]);
            if( d > d_threshold ){
                计算 A 与其所在一排像素点通道值差的绝对和 L1;
                计算 A、B 所在两排像素点对应点的通道值差的绝对
                和 L2;
                if( L1 < L1_threshold 且 L2 > L2_threshold ){
                    A 处该方向上有条纹,条纹计数器 count 加 1;
                    扫描后跳 3 个像素点;
                }
            }
        }
    }
    计算条纹异常程度,并进行归一化运算;
    输出结果,判断图像是否有条纹异常;
END
    
```

3 实验分析

本文实验选取了三组图像,分别是正常图像与噪点、雪花、条纹异常图像的对比,如图 9 所示。对这 6 张图像进行异常检测,实验结果如表 1 所示。表中数据表示采用噪点、雪花、条纹检测算法对图像进行检测的返回值,实验设置当噪声检测返回值大于 0.4 表示出现严重异常;小于 0.3 表示没有异常。图 10 给出了实验结果的直观比较。

表 1 异常程度实验结果对比

| 图像 | 噪点检测算法 | 雪花检测算法 | 条纹检测算法 |
|--------|--------|--------|--------|
| 图 9(a) | 0 | 0 | 0.0714 |
| 图 9(b) | 0.7605 | 0.2343 | 0.2270 |
| 图 9(c) | 0 | 0 | 0 |
| 图 9(d) | 0 | 0.5556 | 0 |
| 图 9(e) | 0 | 0 | 0 |
| 图 9(f) | 0 | 0 | 0.5001 |

通过上述实验结果可见,正常图像与噪点、雪花和条纹异常图像的检测结果区分度较大,而且不同类型异常之间并不会产生误检。本文提出空间域噪声检测算法能够准确判断图像是否有噪声异常,并且能够检测出具体的异常类型,检测效果明显。此外,经过大量图像数据测试,本文提出的三种噪声

异常检测算法的准确率整体高于 80%，而且各类异常的检测在几十毫秒内就可以完成，所以在实际应用中也能体现较好的效果。

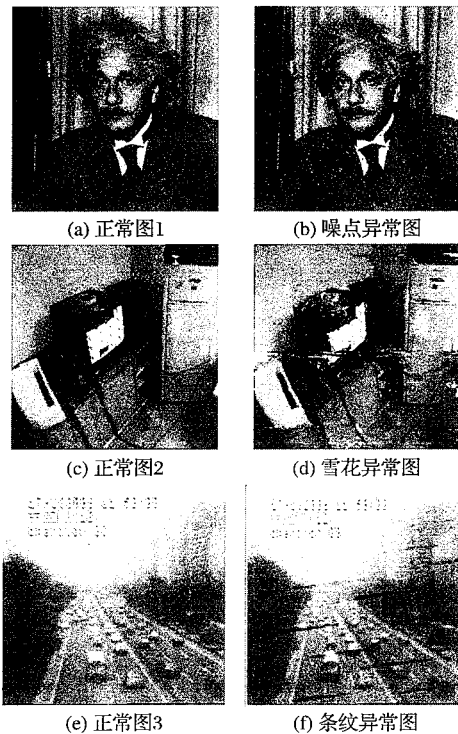


图 9 实验对比

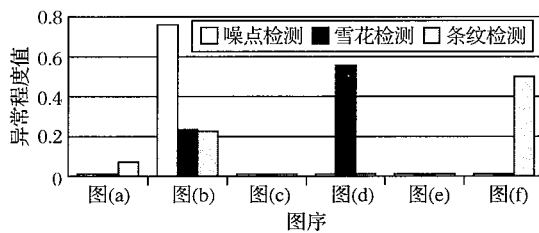


图 10 异常程度实验结果对比

4 结语

本文针对网络视频监控系统的实时监测需求，提出了一种快速、准确的视频质量检测方案。本文从图像空间域出发，对噪声异常像素点在邻域内的形状和分布特征进行分析，结合 OpenCV 图像处理技术，提出了一种基于空间域的图像噪声检测算法，实现了对图像噪点、雪花和条纹异常的检测。在检测图像噪声异常时，针对不同类型噪声的特点，充分考虑了图像正常边缘信息的情况，避免了对边缘像素点的误检，使检测更加准确。通过实验测试，本文提出的图像噪声空间域检测思想在检测图像噪声干扰时，在绝大多数情况下有较好的结果。为了进一步提高检测准确率，仍需要在这三种检测算

法不断优化，并结合对信号缺失、模糊、偏色、抖动、扭曲等异常的检测，实现对视频质量的完全检测。

参考文献：

- [1] WOLF S, PINSON M H. Spatial-temporal distortion metrics for in-service quality monitoring of any digital video system[C]// Proceedings of the International Society for Optical Engineering. Boston: SPIE, 1999, 3845: 266 - 277.
- [2] 宋玉锋, 周泓. 远程数字视频监控系统的设计与实现[J]. 计算机工程, 2002, 28(8): 238 - 239.
- [3] LEE C, CHO S, CHOE J, *et al.* Objective video quality assessment [J]. Optical Engineering, 2006, 45(1): 1 - 11.
- [4] WANG Z, SHEIKH H R, BOVIK A C. The handbook of video databases: Design and applications [M]. Boca Raton, USA: CRC Press, 2003: 1041 - 1078.
- [5] SESHADRINATHAN K, BOVIK A C. Statistical video models and their application to quality assessment[C]// Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics. Austin, TX, USA: National Science Foundation, 2008, 1: 23 - 26.
- [6] 黄文辉, 陆传赞. 数字视频质量客观测试方法的改进和远端测试的实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2005.
- [7] WEBSTER A A, JONES C T, PINSON M H, *et al.* An objective video quality assessment system based on human perception[C]// SPIE Human Vision, Visual Processing and Digital Display IV. Boston: SPIE, 1993: 15 - 26.
- [8] WATSON A B, HU J, MCGOWAN J F. Digital video quality metric based on human vision [J]. Journal of Electronic Imaging, 2001, 10(1): 20 - 29.
- [9] YANG CHUNTING, ZHAO LIAN, LIAO ZAIYI. Objective quality metric based on perception for video[C]// International Conference on Computer Engineering and Technology. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 20 - 23.
- [10] 刘瑞祯. OpenCV 中文网[EB/OL]. [2011-07-20]. <http://www.opencv.org.cn>.
- [11] 刘伟嵬, 颜云辉, 孙宏伟, 等. 一种基于邻域噪声评价法的图像去噪算法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(7): 1033 - 1036.
- [12] FEDOROV R K, SHIGAROV A O. A logical approach to image recognition with spatial constraints [J]. International Journal of Computers, 2011, 5(1): 88 - 95.
- [13] 百度百科. 归一化[EB/OL]. [2011-07-25]. <http://baike.baidu.com/view/829823.htm>.
- [14] 刘西成, 冯燕. 一种基于脉冲噪声检测的图像去噪方法[J]. 计算机仿真, 2007, 24(2): 187 - 190.
- [15] 曹荣, 倪林. 基于开关 3-D 中值滤波的视频序列去噪算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(10): 232 - 234.
- [16] 庞韶宁, 李介谷. 图像方向性的条纹分析方法[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(4): 25 - 29.
- [17] 张弘. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

(上接第 1535 页)

- [8] ELGAMMAL A, DURAIWAMI R, HARWOOD D, *et al.* Background and foreground modeling using nonparametric Kernel density estimation for visual surveillance [J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(7): 1151 - 1163.
- [9] LIU YAZHOU, YAO HONGXUN. Nonparametric background generation [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2007, 18(3): 253 - 263.
- [10] RIDDER C, MUNKELT O, KIRCHNER H. Adaptive background estimation and foreground detection using Kalman-filtering [C]// Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Mechatronics. Istanbul: UNESCO Chair on Mechatronics, 1995: 193 - 199.
- [11] 刘永信, 魏平, 侯朝桢. 视频图像中运动目标检测的快速方法 [J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(5): 163 - 166.
- [12] Wikipedia. CIELUV [EB/OL]. [2011-03-09]. <http://en.wikipedia.org/wiki/CIELUV>.
- [13] DENG Y N, MANJUNATH B S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(8): 800 - 810.