

基于双变换的红外与可见光图像融合增强^{*}

李艳梅^{1,2}, 陈雷霆¹, 饶云波³, 罗建², 周骏¹

(1. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 成都 611731; 2. 西华师范大学 计算机学院, 四川 南充 637002;
3. 电子科技大学 信息与软件工程学院, 成都 610054)

摘要: 通过研究可见光视觉图像与红外图像序列的相关特性及融合处理中存在的问题, 提出一种基于视觉图像预增强处理的曲波与小波双变换融合机制来有效保留边缘信息和图像细节信息。实验结果表明所提出的方法提高了融合图像的视觉感知质量, 为遮挡和伪装目标的检测和定位提供了更为有效的空间环境, 并且融合增强后的图像具有更高的信噪比和更少的人工痕迹, 与当前最新的其他方法相比是一种具有更好融合质量和更高效率的图像/视频融合方法。

关键词: 图像增强; 多频谱图像融合; 双变换; 伪装目标

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)10-3142-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.10.064

Infrared and visual image fusion enhancement by dual-transform

LI Yan-mei^{1,2}, CHEN Lei-ting¹, RAO Yun-bo³, LUO Jian², ZHOU Jun¹

(1. School of Computer Science & Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China; 2. School of Computer Science, China West Normal University, Nanchong Sichuan 637002, China; 3. School of Information & Software Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: This paper proposed a novel method by studying the characteristics of visual, infrared image/video and the problems introduced from the fusion processing. The proposed method enhanced the illumination of the visual image firstly, and then used curvelet and wavelet dual-transform to save the edge information and preserve the details of the visual and the infrared images during the fusion enhancement. Experimental results show that the proposed method enhances human perception for image/video and improves camouflaged target's detection and location in complex environment. It is proved to be a high quality and high efficiency image/video fusion method with the characters of higher PSNR and less artifact compared with the other state-of-the-art methods.

Key words: image enhancement; multispectral image fusion; dual-transform; camouflaged target

0 引言

图像传感器是视频监控中的重要资源,但是单一的传感器在许多应用中并不能完全提供全面的环境和目标视觉信息。正如人要充分利用五官,计算机也需要使用不同传感器捕获的图像、视频的融合结果来获得相似的优势^[1]。红外图像通过热目标红外辐射来控制成像,在一个拥挤的背景中,这类传感器对热目标(如人、动物、车辆等)具有更好的感知,如穿透雾霾和监控森林中的道路、车流和人群等。因此,红外相机所提供的红外频谱不可能出现在可见光视觉帧。但是视觉相机所包含的可见信息(如自然颜色)以及很好的几何特征等信息,红外相机也几乎无法捕获到。因此,融合处理之后的图像/视频结果将提供比任何单一图像/视频源更好的真实场景视觉效果^[2]。

视频融合是一项通过融合来自监控传感器同时捕获的红外视频来增强欠曝光视频脚本的技术^[3]。但是红外图像提供

在黑暗环境中一个更亮和相对低噪声的视图,这对于普通视觉图像很难表达非连续区域,其红外响应与视觉频谱并不匹配。这是因为不同材质反射、热辐射和传感器灵敏度等红外和视觉频谱是不同的。这些表面的响应差异妨碍了人类监视器感知和识别物体的能力;另外,红外频谱缺乏自然颜色。除此之外,红外的颜色表达和相应的亮度校正存在困难,因为红外强度和视觉亮度之间不存在一对一的映射关系。视觉频谱视频则很容易表达自然相对亮度与颜色,但视觉频谱传感器通常在低光照和夜间视觉环境中感知能力低下^[4],为了得到足够的响应,需要使用较长的曝光时间,这在视频应用中不切实际。

本文的研究目标就是融合红外和视觉视频图像来帮助人类监视器识别伪装在背景中的目标以及精确定位目标所在环境位置。伪装指从表面看上去,目标与环境在视觉效果和颜色上有相似的特征,使发现和定位目标变得困难。实验中所使用的视频监控的主要挑战是既打破伪装,又能保持背景的自然颜色与几何特性。红外图像中目标很容易被发现,但却不具有清

收稿日期: 2012-12-10; **修回日期:** 2013-01-28 **基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2007AA01Z322);四川省科技厅基础项目(2010JY0151);四川省科技厅支撑项目(2012GZ0020);四川省教育厅重点资助项目(13ZA0011)

作者简介: 李艳梅(1976-),女,四川宜宾人,副教授,博士,主要研究方向为图形图像处理等(liyanmei76@126.com);陈雷霆(1966-),男,教授,博导,博士,主要研究方向为虚拟现实、计算机图形学等;饶云波(1978-),男,博士,主要研究方向为视频增强等;罗建(1975-),男,副教授,博士研究生,主要研究方向为计算机智能与图像处理;周骏(1977-),男,博士,主要研究方向为三维建模等。

晰的背景信息为目标定位提供方便;而视觉图像具有详细的背景细节但伪装的目标却很难被发现。普通的解决方案为融合两种信息。但是将红外图像与可见光视觉图像直接融合发现,因为红外亮度值较低而具有较小的对比度,会使得原可见光视觉图像中的背景信息部分丢失,阻碍了目标在弱光环境中的定位。因此,本文的研究目标是通过使用红外图像中去伪装的目标信息使伪装目标能在可见光视觉图像中清晰可见,并且保证视觉图像中的有效背景信息充足而不被丢失。

1 红外与视觉图像融合研究

在文献[5]中 Dixon 等人完成了一个有趣的实验,即 SBS 实现监视器一边显示红外视频一边显示视觉视频,许多研究者已经在目标检测和跟踪领域中使用多频谱图像/视频信息融合。文献[6]提出利用红外视频使用双边滤波器来分解 RGB 视频图像实现信息融合。通过融合 RGB 低频信息、红外纹理细节,双边滤波边缘到锐化细节、颜色校正和自然亮度的噪声减除视频图像。但由于需要大的滤波核来去除传感器热噪声而需要大量的处理时间,使得其并不适于实时应用需要。文献[6]提出了将背景和运动目标分离并分别采用不同的策略进行融合处理,其计算开销较小。文献[7]为复杂室外场景伪装目标跟踪建立了一个图模型,该方法也是分别对视觉与红外图进行处理,以获得目标的坐标参数,并未对视频图像本身进行增强处理。也有研究者提出视觉和红外图像的彩色融合算法^[8-12],这些图像融合方法可以扩展到视频,但彩色化进程很慢,并不适合于实时视频图像合成监控。

也有许多研究对单一频谱进行信息融合而不对视频进行融合;同时,许多研究都使用固定相机来捕获多频谱视频,背景几乎是静态的,使得前景目标与背景分离相对容易。测试的场景相机与背景均不固定,还包括丛林中的伪装目标。其目的是帮助人们监控而不是跟踪和检测目标,主要目标是打破目标的伪装并保持背景的自然颜色,需要定位目标。

2 双变换融合增强方法

文献[12]定义了伪装的含义,伪装即使得目标对象与背景颜色相同或相似的环境。因此,想通过颜色参数跟踪目标对象就非常困难^[13]。本文提出一种基于预处理的变换域图像的融合增强方法来提高人类或是机器在伪装条件下实现目标跟踪的能力。其具体处理流程如图 1 所示。所提出方法的性能结果堪与文献[6]中的将前景和背景进行分离并分别进行融合的实时视频监控相媲美,但该方法应用到低照度视频图像序列时,其增强效果不足以满足应用需要。为此,文中的方法通过相应的图像亮度预增强过程,对于受光照影响的低亮度视觉图像,如夜间、丛林低光照及烟雾遮挡图像背景增强及目标跟踪识别提供了更好的可辨识度。

2.1 视觉亮度预增强

对于视觉图像来讲,通过直方图来增强图像是一种常见的简单有效的方法,但通常基于直方图的方法对于在色彩上具有相似性的目标对象伪装图像所起的作用甚微^[11]。因此,可以通过使用红外图像所提供的信息来补偿在可见光视觉图像中所隐藏的目标对象的细节信息。

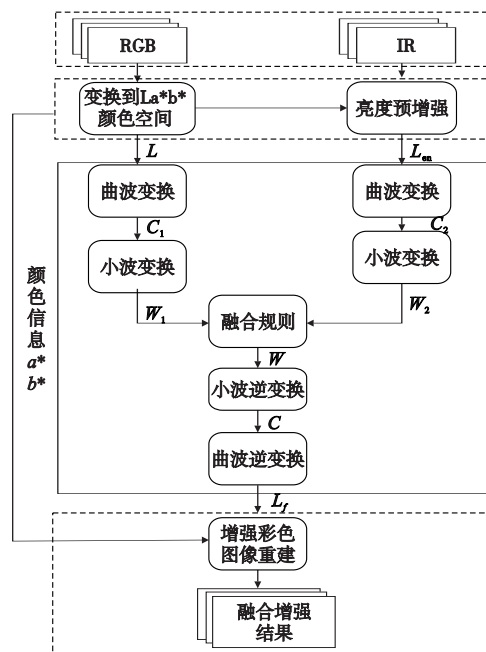


图1 红外与视觉图像/视频增强流程

2.1.1 视觉图像颜色空间变换

为了增强视觉图像,将处理图像变成接近于人类视觉系统对色彩的感知特性的亮度信息与颜色信息分离的独立颜色空间,再对相应的亮度通道进行处理,以增强图像细节并保持自然颜色信息。因此,获取源图像/视频的可见光彩色图像 RGB 和 IR 两种模式的图像后,首先对原可见光视觉图像进行颜色空间变换,完成从 RGB 到 La^*b^* 的转换。 La^*b^* 颜色空间具有彩色特性、感知一致性和设备无关性, La^*b^* 颜色分量由下列方程给出^[14]。首先,由以下公式将 RGB 转换到 XYZ 空间:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.358 & 0.180 \\ 0.213 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

然后,通过以下公式将 XYZ 空间转换到 La^*b^* 空间:

$$L = 116 \cdot h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) \quad (2)$$

$$a^* = 500 \left[h\left(\frac{X}{X_w}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) \right] \quad (3)$$

$$b^* = 200 \left[h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_w}\right) \right] \quad (4)$$

其中: $h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + 16/116 & q \leq 0.008856 \end{cases}$

2.1.2 预增强视觉亮度

为了实现视觉亮度预增强,首先将通过颜色空间变换后获取的视觉图像的亮度值与红外图像的亮度值都规范化到区域 $[0,1]$ 之间,并分别用 L_{vis} 和 L_{ir} 表示。

$$L_{vis} = L / 255 \quad (5)$$

接下来通过使用红外图像的像素亮度值来增强视觉图像的背景亮度值。式(6)实现了视频亮度预增强。

$$\ln L_{en} = E + L_{ir} \ln L_{vis} \quad (6)$$

其中: L_{en} 为预增强后的视觉图像亮度; E 为常量, $E = \ln n$,当数字图像单通道为 8 位时, $n = 255$ 。此操作在整个图像像素空间位置进行。然后在变换域采用一种改进的增强融合方法来实现整个多源数据信息的保留和最终的图像/视频融合增强。

2.2 基于曲波和小波的双变换融合增强

曲波(curvelet)和轮廓波(contourlet)都是基于变换域的新型多尺度分析方法。文献[15]利用轮廓波变换来实现红外与可见光图像融合增强。曲波与小波变换相比,具有更高的逼近精度及更好的稀疏表达特性,更加适合于表达图像的边缘信息,然而,小波变换在表达图像的细节信息上显得更加有用。曲波基的方向结构不能捕获到图像的纹理和角度等细节信息,而小波基在这方面却很在行。为此,两者的结合是实现图像融合增强效果的必然选择。

尽管通过单独使用小波或是曲波变换处理之后的融合结果已经达到了比较令人满意的结果,但仍然存在很大的改进空间,可通过两者配合使用,取长补短,使得融合结果更加完美。文献[10]提出使用两种变换来实现多个曝光图像融合到单一图像的方法。文献[12]研究了两种变换用于红外与可见光融合来增强低亮度视频监控图像的方法。本文使用近似的方法,通过两种变换的结合,并利用红外图像来增强可见图像中被伪装或是被遮挡的目标对象,为后续的目标跟踪识别提供更好的现实环境,更加利于目标定位搜索。

首先将两种源图像都在曲波变换域分解为相应的子图像。通常,这些子图像能通过一定的选择和权值平均规则结合起来。然后,考虑将两种源图像相应的子图像序列作为小波变换要进行融合的输入图像,换言之,利用小波变换来融合基于曲波变换所获得的高频和低频子图像。由此,结构和细节特征在融合阶段都被处理进去了。频率域变换方法和相应的融合规则由式(7)~(9)完成。

此时将经过严格标准的 L_{vis} 和 L_{en} 作为输入源图像进行融合增强。其处理步骤如图1所示,其具体实现如下:

a)颜色空间变换。将可见光图像从RGB颜色空间变换到Lab图像空间。

b)曲波分解。将注册的红外图像和可见光图像的亮度子通道图像 L_{vis} 和 L_{en} 使用简单快速去冗余的二代曲波变换用COT表示,分解得到相应的粗尺度系统即低频系数 C_0 ,及方向细尺度系数即高频方向系数子带图像序列 C_{ij} ,下标 i 为分解的尺度, j 为方向标志,曲波系数为 C_1 和 C_2 。

$$\begin{cases} C_1 = \text{COT}(L) = (C_0^{\text{vis}}; C_{ij}^{\text{vis}}) \\ C_2 = \text{COT}(L_{en}) = (C_0^{\text{IR}}; C_{ij}^{\text{IR}}) \end{cases} \quad (7)$$

c)小波分解。将 C_1 和 C_2 系数对分别使用三级Harr小波变换WAT进一步分解为小波系数对 W_1 和 W_2 ,包含图像主要轮廓能量信息的低频和富含边缘与细节信息的高频部分。其中下标L、H分别为分解后的低频和高频分量。

$$\begin{cases} W_1 = \text{WAT}(C_1) = (W_{\text{LL}}^{\text{vis}}; W_{\text{HH}}^{\text{vis}}) \\ W_2 = \text{WAT}(C_2) = (W_{\text{LL}}^{\text{IR}}; W_{\text{HH}}^{\text{IR}}) \end{cases} \quad (8)$$

d)融合规则。低频系数融合通过使用两种源图像相应系数的均值mean,而高频部分系数融合则采用两种源图像相关细节系数的最大值max; W 为最终融合系数。该融合方法既保持了充分的亮度信息也最大程度地保留了图像的边缘信息。

$$W = \text{fused}(W_1, W_2) = \begin{cases} \text{mean}(W_{\text{LL}}^{\text{vis}}; W_{\text{LL}}^{\text{IR}}) \\ \max(W_{\text{HH}}^{\text{vis}}; W_{\text{HH}}^{\text{IR}}) \end{cases} \quad (9)$$

e)小波逆变换。对系数 W 应用小波逆变换,得到融合后的曲波系数 C 。

f)曲波逆变换。对系数 C 应用曲波逆变换,得到融合增强后的亮度 L_f 。

g)彩色图像重建。将增强后的亮度信息 L_f 与相应的颜色信息 $L^*a^*b^*$ 整合后再变换回RGB颜色空间,得到融合增强后的彩色图像。

3 实验结果与结论

本文所采用的方法通过低照度可见光图像亮度预增强,再利用二代曲波变换和多级小波的双重变换结果来融合红外与可见光视觉图像。在主频为2.0 GHz,内存为2.0 GB的PC机上使用MATLAB 7.0对多幅红外与可见光图像序列对进行了相应的融合实验,其包含通用的权值平均方法、DB4小波变换以及本文所提出的方法来实现大量图像的融合增强处理。以下为大量实验中的两种典型增强处理结果对照。

图2为丛林图像的融合结果。从图中可以看出,所提出方法的融合结果对丛林中可见光图像中被遮挡隐藏的人体目标明确化,同时,视觉图像中的丛林场景信息得到清晰保留,对人体目标具有很好的展示和定位,对密林搜索提供了很好的帮助。



图2 丛林伪装图像融合实验结果

图3为烟雾笼罩图像的融合结果。从图中可以看出所提出方法的融合结果对烟雾中可见光图像中被遮挡的人体目标和具有热感应的火源具有很好的展示和定位效果。这对于公共安防中火灾现场人员救护和灭火都具有很好的帮助。

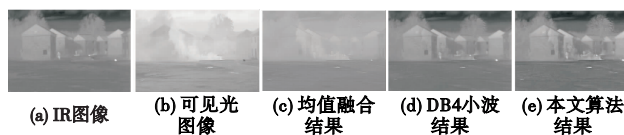


图3 烟雾遮挡图像融合实验结果

表1和2是分别对应于图2和3通过实验所用到的几种方法获取的融合结果图像采用客观图像融合增强参数进行评价的相应结果。

表1 图2中相应图像融合增强算法实验结果客观评价

融合方法	均值	信息熵	互信息	标准差	PSNR
均值融合	78.233 0	6.012 5	1.819 2	23.691 7	51.012 9
DB4 小波	82.012 3	6.523 9	2.014 9	26.035 1	53.419 6
本文方法	95.766 9	7.102 4	2.301 5	32.814 2	58.232 1

表2 图3中相应图像融合增强算法实验结果客观评价

融合方法	均值	信息熵	互信息	标准差	PSNR
均值融合	116.700 2	5.911 2	1.612 4	26.672 0	47.921 1
DB4 小波	116.200 0	6.027 6	2.157 4	26.943 2	49.102 6
本文方法	122.035 1	6.521 3	2.567 1	28.719 4	52.794 4

通过表1和2可以充分表明,两类图像用本文的增强方法所得到的客观评价参数均值、信息熵、互信息、标准差及峰值信噪比PSNR均高于与之对比的当前常见的图像融合增强实验方法,充分显示了所提出的方法在实现图像信息增强方面具有较强的优势。

4 结束语

本文通过对红外图像与可见光图像特征分析,以及采用小波和二代曲波变换来增强图像融合效果时的优劣比较,提出一种基于预处理增强后两种变换相结合的方法,各取所长,合理进行优势互补。通过实验仿真结果对比分析,其客观评价指标和主观视觉效果较其他曲波和小波等频率域方法优越。同时,通过预增强过程处理,说明该方法更加适合于低视度遮挡和伪装目标对象的场景图像背景增强和目标去伪识别跟踪,更有助于目标环境位置的精确定位判断。实验结果表明所提出的方法与当前流行的方法相比,在图像背景和目标增强方面都具有更好的效果,特别是为特殊条件下的视频跟踪识别提供了良好的预增强处理,为其后续处理提供更好的准确性和可识别度。该方法在进一步应用推广过程中,对于实时视频监控融合在效率上的要求,还需要通过不断优化处理来实现实时性目标的需求。

参考文献:

- [1] BENNETT E P, MASON J L, MCMILLAN L. Multispectral bilateral videos fusion [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2007, 16 (5):1185-1194.
- [2] 王睿,王林,袁艳. 基于区域灰度统计信号处理的图像融合方法[J]. *北京航空航天大学学报*, 2011, 40(6):140-144.
- [3] SHAH P, MERCHANT S N, DESAI U B. Fusion of surveillance images in infrared and visible band using curvelet, wavelet and wavelet packet transform[J]. *International Journal of Wavelet Multiresolution and Information Processing*, 2010, 8(2):271-292.
- [4] PAIARES G, De la CRUZ J M. Wavelet-based image fusion tutorial [J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(9):1855-1872.
- [5] DIXON T, LI J, NOYES, *et al.* Scan path assessment of visible and infrared side-by-side and fused video displays[C]//Proc of the 10th International Conference on Information Fusion. 2007:1-8.
- [6] MASINI A, BRANCHILLA F, DIANI M, *et al.* Sight enhancement through video fusion in a surveillance system[C]//Proc of the 14th IEEE International Conference on Image Analysis and Processing. 2007:554-559.
- [7] CHEN S, ZHU W, LEUNG H. Thermal-visual video fusion using probabilistic graphical model for human tracking [C]//Proc of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2007:1926-1929.
- [8] WELSH T, ASHIKHMIN M, MUELLER K. Transferring color to grey-scale images[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2002, 21(3):277-280.
- [9] TOET A. Natural color mapping for multi band night-vision imagery [J]. *Information Fusion*, 2003, 4(3):155-166.
- [10] LI Shu-tao, YANG Bin. Multifocus image fusion by combining curvelet and wavelet transform[J]. *Pattern Recognition Letter*, 2008, 29(9):1295-1301.
- [11] RAO Yun-bo, CHEN Lei-ting. A survey of video enhancement techniques [J]. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2012, 3(1):71-99.
- [12] PARUL S B, CHANDRA S R, SHABBIR N M, *et al.* Context enhancement to reveal a camouflaged target and to assist target localization by fusion of multispectral surveillance videos [J]. *Signal, Image and Video Processing*, 2013, 7(3):537-552.
- [13] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis Machine*, 2003, 25(5):564-575.
- [14] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing[M]. New Jersey:Person Prentice Hall, 2008.
- [15] 马东辉,薛群,柴奇,等. 基于图像信息的红外与可见光图像融合方法研究[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(6):1168-1171.
- [16] (上接第 3141 页)提出 LBMM 并行调度算法。实验结果表明改进的 LBMM 算法通过为用户提供合适的资源,显著缩短了任务的运行时间,有效地提高了视频编码效率。
- [17] BARBOSA D, KITAJIMA J, WEIRA J. Parallelizing MPEG video encoding using multiprocessors[C]//Proc of the XII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. 1999:215-222.
- [18] CHEN Yen-kuang, LI E, ZHOU Xiao-song, *et al.* Implementation of H. 264 encoder and decoder on personal computers[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2006, 17(2):509-532.
- [19] JUNG B, JEON B. Adaptive slice-level parallelism for H. 264/AVC encoding using pre macroblock mode selection[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2008, 19(8):558-572.
- [20] TIAN Zhi-qiang, XUE Jian-ru, HU Wei, *et al.* High performance cluster-based transcoder[C]//Proc of ICCASM. 2010:48-52.
- [21] GUO Jia-ni, BHUYAN L. Load balancing in a cluster-based Web server for multimedia applications [J]. *IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems*, 2006, 17(11):1321-1334.
- [22] GUO Jia-ni, CHEN Fang, BHUYAN L, *et al.* A cluster-based active router architecture supporting video/audio stream transcoding service [C]//Proc of the 17th International Parallel and Distributed Processing Symposium. Washington DC:IEEE Computer Society, 2003.
- [23] SAMBE Y, WATANABE S, YU D, *et al.* Highspeed distributed video transcoding for multiple rates and formats[J]. *IEICE Trans on Information and System*, 2005, E88-D(8):1923-1931.
- [24] SATYANARAYANAN M. Scalable, secure, and highly available distributed file access[J]. *Computer*, 1990, 23(5):9-18.
- [25] KATZ E, BUTLER M, McGRATH R. A scalable HTTP server: the NCSA prototype [J]. *Computer Networks and ISDN Systems*, 1994, 27(2):155-164.
- [26] LI Chang, PENG Gang, GOPALAN K, *et al.* Performance guarantees for cluster-based Internet services [C]//Proc of the 9th International Conference on Parallel and Distributed Systems. 2002:327-332.
- [27] BRAUN T. A comparison of eleven static heuristics for mapping a class of independent tasks onto heterogeneous distributed computing systems[J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2001, 61(6):810-837.
- [28] ZHENG Li-hua, TIAN Ling, ZHANG Jiang-hong. Joint RD model for H. 264/AVC intra frame rate control [J]. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, 2012, 6(15):510-517.
- [29] ZHENG Li-hua, TIAN Ling, ZHANG Jiang-hong. Rate control model analyse and coding complexity optimized selection for H. 264 video coding[J]. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, 2012, 6(21):624-634.