

文章编号:1005-0523(2013)02-0071-07

车载红外视频图像快速彩色化技术研究

范德营, 蒋先刚, 丘贇立, 熊 娟

(华东交通大学基础科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要:为了实时高效地对车载红外视频图像进行彩色化处理,提出了一种在Lab颜色空间基于调色板的分类彩色化方法。对增强和融合处理后的红外图像采用K均值聚类方法得到聚类中心,再利用Fisher评价函数获得分类界限以对红外视频图像进行图块景物分割,在Lab颜色空间中采用分类彩色化方法对各类别景物赋予适当的色彩。试验结果表明,采用调色板的分类彩色化方法具有更高的效率,得到的图像色彩符合人眼的视觉特性且便于夜间红外图像的彩色化实现。

关键词:K均值聚类;Fisher评价函数;Lab颜色空间;调色板;分类彩色化

中图分类号:TP391.4

文献标志码:A

红外夜视图像不仅能显示路面及周边物体的温度分布信息,而且进一步增强了人类在黑暗中观察景物的能力,而彩色化处理后的红外视频图像更符合人眼视觉特性,有利于增强其对图像中具体细节的分辨能力。红外图像彩色化的方法主要有基于图像灰度彩色编码的伪彩色融合方法和彩色空间映射法^[1],目前对红外图像彩色化的研究也出现了很多优化方法,但针对于车载红外视频图像彩色化的效率必须满足车辆高速行驶过程中图像的实时性的研究仍有欠缺。本文针对红外图像的特点,采用了增强、融合、分割、分类、着色的步骤对视频图像进行彩色化处理,根据事先创建的车辆行驶在不同环境下的彩色图像调色板,结合车载红外视频图像景物类型相对应调色板的色彩在Lab颜色空间进行分类彩色化将大大提高彩色化处理的效率,研究中考虑到对红外图像彩色化的过程效率的分析与比较,对图像彩色化的相关技术进行了比较性实验和改进。

1 红外图像的预处理

1.1 红外图像细节增强

由于场景中的各物体与背景的温度分布差异相对较小,因此红外图像的整体灰度分布低且比较集中而局限在很小的范围内,采用细节增强的处理能够使红外图像显示出更多细节。直方图均衡化的图像增强方法,可以使原始图像直方图中较大概率率的灰度级分散而较小概率率的灰度级压缩,从而在灰度级范围不变的条件下实现增强图像整体对比度的效果。但直接采用直方图均衡化方法对图像进行增强处理时,少量灰度值相近的像素点组成的小目标极易丢失,解决这一问题可以采取基于局部处理的自适应直方图均衡化方法^[2],利用滑动窗口在图像上的平移实现对有限范围内的局部图像进行增强处理,可有效地提高低对比度图像的质量。局部直方图均衡化方法的步骤如下:

- 1) 将红外图像分成一系列大小均匀、互不重叠的子图像块。

收稿日期:2013-01-15

基金项目:国家自然科学基金项目(61262031)

作者简介:范德营(1988—),男,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理与模式识别。

2) 利用下式对各子图像块进行均衡化处理:

$$S_k = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad k=0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (1)$$

式中: S 为均衡化处理后的灰度值; $p_r(r)$ 为图像灰度为 r 的概率密度函数; r 为处理前的灰度值; n 为子图像的总像素; n_j 表示灰度级为 j 的像素点的个数; L 为图像灰度级数。

3) 采用双线性内插的方法融合相邻的子图像来消除人为造成的边缘信息, 这样经过插值处理后的坐标 (x, y) 处像素值为

$$f'(x, y) = (1-p)(1-q)f(x, y) + (1-p)qf(x, y+1) + p(1-q)f(x+1, y) + pqf(x+1, y+1) \quad (2)$$

式中: $f(x, y)$, $f(x+1, y)$, $f(x, y+1)$ 和 $f(x+1, y+1)$ 分别为其增强后图像对应坐标的像素值; p, q 为常系数值。经过细节增强处理后, 路面和周围背景的边缘更加清晰, 再对增强后的图像采用中值平滑滤波进行降噪处理就能更好地保持图像的细节。

1.2 红外图像与可见光图像的线性融合

细节增强后的红外图像对比度明显提高, 场景中物体与背景的灰度被拉伸, 噪声也相对减少, 但与可见光图像相比其细节及纹理特征仍不够明显, 直接对其进行彩色化处理效果势必与自然色彩的图像出现偏差, 仍然不能提高驾驶员在恶劣条件下观察景物的能力。应先将红外和可见光图像进行融合处理, 得到既目标突出又细节明显的伪彩色融合图像后再进行彩色化处理, 就可以获得既包含红外图像目标特征又包含可见光图像纹理细节的彩色化图像, 这里采用简单快速的线性融合方法, 将增强后的红外图像与可见光图像进行线性运算^[3], 并将运算的结果分别映射到 RGB 颜色空间 3 个颜色通道上, 红外图像与可见光图像线性融合过程如下:

$$\begin{cases} R = u_1 P_r - u_2 Q_r \\ G = v_1 Q_g - v_2 P_g \\ B = Q_b \end{cases} \quad (3)$$

式中: $R, G, B, P_r, P_g, P_b, Q_r, Q_g, Q_b$ 分别为融合结果图像、红外图像和可见光图像的红绿蓝 3 个分量; u_1, u_2, v_1, v_2 表示融合系数且都为正, 满足 $u_1 + u_2 = 1, v_1 + v_2 = 1$ 。经过融合处理后, R 分量为红外图像与可见光图像的差值, G 分量为可见光图像与红外图像的差值, 也就是说红外图像中灰度值大于可见光图像中灰度值的像素将呈现红色, 而红外图像中灰度值小于可见光图像中灰度值的像素将呈现绿色。融合图像中的目标物体因热辐射呈现红色, 而草地、树木等背景往往是呈现绿色, 这样就比较符合人眼的视觉特性。

1.3 K 均值聚类初始分割

对图像做细节增强和融合处理得到伪彩色融合图像后, 按照其颜色信息采用 K 均值聚类算法对图像各像素点进行聚类分割得到聚类中心^[4], 将颜色相近的像素点划分到同一类中, 然后根据图像的颜色和空间信息, 采用 Fisher 评价函数的阈值分割得到最终的分割结果。红外视频图像中主要包括天空、道路、植被、行人及其他景物, 这里我们将选取初始化聚类中心数设为 5 类, 如图 1 经过 K 均值聚类把图像分割成 5 类颜色信息。运用 K 均值聚类算法对图像进行初始分割过程如下:

1) 选取聚类中心。聚类中心的选取影响着聚类结果的好坏, 文中选择像素颜色值的 k 等分点 (k 等于 5) 作为图像的初始聚类中心对其进行聚类分割, 对于彩色图像 f 和聚类数目 k , 定义各个通道颜色 i 的最小值 m 和最大值 M 为

$$m_i = m(m(f(i, i))), \quad M_i = M(M(f(i, i))) \quad (4)$$

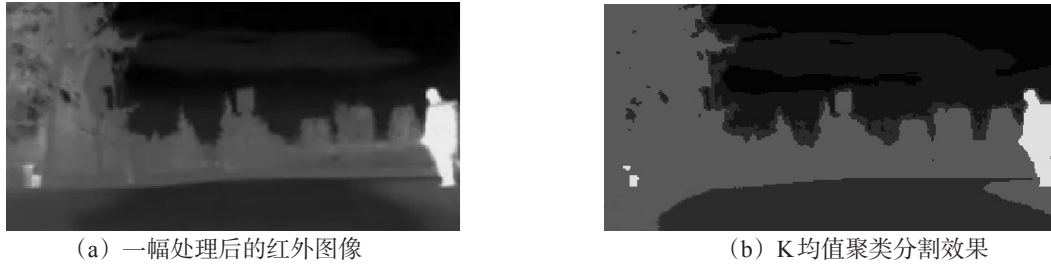
则初始聚类中心 C 为

$$C = [c_{ik}]_{3 \times k} \quad i=1, 2, 3; k=1, \dots, 5 \quad (5)$$

式中: $c_{ik} = m_i + k(M_i - m_i)/6$ 。

2) 对图像进行采样。图像共有 x 乘以 y 个像素点, $f(x, y)$ 是图像阵列在位置 (x, y) 处的像素灰度值, 随机选取图像中部分像素点进行聚类而得到相应的聚类中心。

3) 对采样剩下的像素点按照欧氏距离将其划分到距其最近的聚类中心所对应的类别。



(a) 一幅处理后的红外图像

(b) K均值聚类分割效果

图1 一幅处理后的红外视频图像的K均值聚类分割

Fig.1 The K-means clustering segmentation of an preprocessed infrared video image

1.4 基于Fisher评价函数的阈值分割

Fisher评价函数的阈值分割方法是利用图像像素点的灰度信息进行投影而对图像进行多类分割^[5], 当图像进行 N 类分割时考虑各类的概率分布, 任意两两类间平均距离之和与各类类内方差和之比达到极大时分割效果将会最佳, 则基于Fisher评价函数多阈值图像分割方法的评价准则函数为

$$J(d_1, d_2, \dots, d_{N-1}) = \frac{\sum_{j,i \in [0, N-1]} |w_j(d)h_j(d) - w_i(d)h_i(d)|^2}{\sum_{j=0}^{N-1} w_j(d)\sigma_j^2(d) + \sum_{i=0}^{N-1} w_i(d)\sigma_i^2(d)} \quad (6)$$

式中: w 为各类的概率; h 为其灰度均值; σ 为类内方差; d 为分割阈值。当 $J(d_1, d_2, \dots, d_{N-1})$ 取得最大时所对应的阈值 $d'_1, d'_2, \dots, d'_{N-1}$ 为最佳阈值, 这时图像就被分割成了效果最佳的 N 类。对于每一个像素点 (x, y) 其灰度为 $f(x, y)$, 则多阈值分割的判别式为

$$f_{d'_1, d'_2, \dots, d'_{N-1}}(x, y) = \begin{cases} c_1 & f(x, y) \leq d'_1 \\ c_2 & d'_1 < f(x, y) \leq d'_2 \\ \vdots & \\ c_N & f(x, y) > d'_{N-1} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $c_1, c_2, \dots, c_N$ 是不同景物的聚类中心。在采用Fisher评价函数阈值分割之前, 先对图像进行K均值聚类处理以取得聚类中心, 然后以此聚类中心来限制多阈值分割中阈值的取值范围, 这样可以减少迭代求优的耗时。如图2所示的直方图表示红外视频图像的灰度级分布信息, 直方图中位于波峰的 c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 是不同景物的聚类中心, Fisher评价函数多阈值图像分割得到最佳阈值 d'_1, d'_2, d'_3, d'_4 位于直方图的波谷。

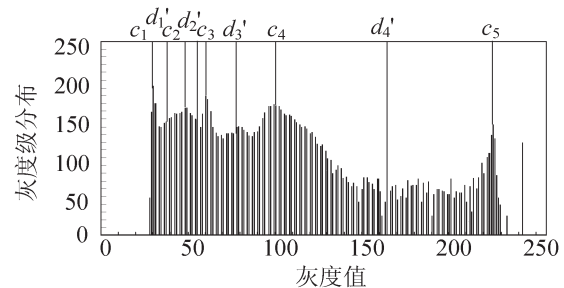


图2 一副红外视频图像的直方图灰度级分布

Fig.2 Gray distribution histogram of an infrared video image

2 红外图像的彩色化

2.1 RGB和Lab颜色空间的转换

传统的RGB颜色空间模型中各通道的相关性较大, 为了实现红外图像的快速彩色化, 应选择一个颜色各分量及亮度与颜色参数间相关性较小的颜色空间。Reinhard等人提出了一种利用非线性的Lab颜色空

间进行图像间颜色迁移的方法^[6],但从RGB空间到Lab空间的相互转换要通过多个复杂的对数变换实现,难以满足红外视频图像彩色化实时处理的需求。

CIE(国际照明委员会)制定的Lab颜色空间模型同样具有如Lab空间类似的特性,自然界中人眼所能看到的所有颜色都可以在Lab空间中表达出来^[7]。Lab颜色空间具有感知上的均匀性,与人们对颜色的感知非常接近,同时其三个通道基本达到正交,RGB颜色空间与Lab颜色空间的相互转换也是比较简单的线性变换,这将大大减少颜色空间转换所占用的时间,经过简化的RGB空间与Lab空间相互转换过程为

$$\left. \begin{aligned} L &= 0.2126 \times R + 0.7125 \times G + 0.0722 \times B \\ a &= 1.4634 \times (0.2213 \times R - 0.3390 \times G + 0.1177 \times B) + 128 \\ b &= 0.6196 \times (0.1949 \times R + 0.6057 \times G - 0.8006 \times B) + 128 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中: L 表示亮度通道; a 表示红色至绿色通道; b 表示蓝色至黄色通道。

由Lab空间转换到RGB空间,则由上式的逆变换得到。

2.2 基于Lab空间的分类彩色化方法

红外图像体现的是景物的温度分布,同一景物温度相近灰度也相似,但其纹理信息比较缺乏,在采用Fisher评价函数进行阈值分割得到最佳阈值后,根据景物所处的不同环境,选择不同的适用于不同环境下的彩色源图像,来对景物进行分类彩色化,其具体步骤如下:

1) 选取一幅景物环境相匹配的彩色图像作为源图像并将其转化到Lab空间,同时将经预处理的目标红外图像也由RGB空间转换到Lab空间。

2) 计算源图像与目标图像亮度的均值和标准差,对目标图像的亮度做线性变换,进行亮度归一化,使目标图像的亮度与源图像一致,其变换公式如下:

$$l'_s = \frac{\sigma_t}{\sigma_s} (l_s - \bar{l}_s) + \bar{l}_t \quad (9)$$

式中: l'_s 为变换后的源图像的亮度值; σ_s 为源图像的亮度方差; σ_t 为目标图像的亮度方差; l_s 为源图像的亮度; $\bar{l}_t$ 为目标图像的亮度均值; $\bar{l}_s$ 为源图像的亮度均值。

3) 取各景物样本块,并且计算各样本块中 a 通道均值 $\bar{a}$ 和 b 通道均值 $\bar{b}$, $\bar{a}$; $\bar{b}$ 颜色值将作为红外视频图像对应景物的彩色样本。

4) 按照Fisher评价函数对图像进行多阈值分割得到最佳阈值 $d'_1, d'_2, \dots, d'_{N-1}$ 可确定出 N 类景物。按景物所属类的对应关系将3)中 $\bar{a}$, $\bar{b}$ 的值传递到目标图像对应类像素点的 a , b 颜色通道中,同一色类间的色调和纹理差别通过亮度 l 的变化显示。

5) 最后将目标图像由Lab空间转换回RGB空间就完成了红外图像的彩色化处理。

2.3 基于调色板的改进的分类彩色化方法

上述彩色化方法实质上是在目标图像和源图像的一些相匹配特征上建立合理的映射关系继而将目标图像彩色化的技术。源图像采用24位的真彩色图像能够使彩色化的效果更逼真,但是真彩色的显示需要大量的视频系统内存,而且确定目标图像与源图像对应像素点的匹配关系也需要大量处理时间,这就影响了红外视频图像彩色化的效率。如果采用源图像的调色板来代替源图像,在彩色化过程中直接调用事先创建好的调色板来实现彩色化处理,这样所得图像既具备源图像的基本色彩又会大大提高彩色化的效率。所谓调色板实际上是一个有256个表项组成的RGB颜色表^[8],颜色表的每一项是一个24位的RGB颜色值,调色板时在视频系统内存中存储的不是24位颜色值而是调色板的8位索引号,即对颜色表从0至255进行编号,每一个编号代表其中的一种颜色,8位的索引号与24位的颜色值一一对应。

调色板的颜色分布要与源图像的实际颜色分布相似,如果源图像的色彩比较丰富那么调色板的颜色也相对丰富,创建调色板的方法步骤如下:

1) 创建一个数据结构链表,统计源图像中包含的所有颜色及出现频率并存入链表。

2) 读取链表中每一个颜色像素点的 R , G , B 分量值,分别查找 R , G , B 的最大值 R_M , G_M , B_M 和

最小值 R_m, G_m, B_m , 选择两者之间相差最大的分量作为切割方向, 这里假设 $(G_M - G_m)$ 的值最大, 则确定沿 G 分量方向进行切割。

3) 对链表中 G 分量的值按出现次数进行降序排列。

4) 扫描链表将 G 分量的次数进行累加, 选取其总次数的一半的像素点确定为切割点, 沿垂直 G 方向进行切割获得两个小实体, 同样对这两个小实体进行上述切割, 按上述步骤依次切割下去直到获得 256 个小实体为止。

5) 为了能够更好地反映源图像的颜色信息, 采用加权平均的方法求出每个小实体的中心点的 R, G, B 颜色值, 作为调色板一个表项的颜色值。

根据上述创建调色板的方法, 可以将乡村、城市、森林、沙漠或海边等不同环境下的颜色正确地创建到调色板中, 为满足普遍性可选择同一环境下多幅源图像分别进行创建, 而后将创建出的多个调色板的相似颜色值进行累加, 按出现频率选择次数最多的 256 个颜色值, 求出其平均值装入有着 256 个表项的 RGB 颜色表就得到具有普遍性的调色板。车辆行驶过程中驾驶员可以根据自己的需要在不同的环境中选择相应的调色板进行红外视频图像的彩色化处理, 这将大大减少彩色化处理的计算时间, 能够满足视频彩色化实时性的要求。

3 实验结果与分析

实验系统中开发平台采用 Delphi 7, 计算机的硬件运行环境是 intel 双核 P8700, 2.53 GHz 的 CPU。实验图片采用的是 FLIR 公司提供的车载红外视频图像, 图片的分辨率为 480×240, 源图像采用的是在乡村道路上拍摄的真彩色图像, 实验用的调色板采用适用于乡村环境下的调色板。表 1 是对 10 幅红外图像分别采用不同彩色化方法利用真彩色源图像和调色板进行彩色化处理的平均运算效率的比较, 图 3 是对一幅经过细节增强和融合处理的红外视频图像彩色化处理的结果, 图 3(a) 是采用 $L\alpha\beta$ 空间的分类彩色化方法的彩色效果图像, 图 3(b) 是本文采用 Lab 空间的分类彩色化方法的彩色效果图像, 图 3(c) 是采用 $L\alpha\beta$ 空间基于调色板的分类彩色化方法的彩色效果图像, 图 3(d) 是本文提出的采用 Lab 空间基于调色板的分类彩色化方法的彩色效果图像。

表 1 基于不同彩色化方法的运算效率比较
Tab.1 Efficiency comparison in different methods

彩色化方法	对比方式	源彩色	运行时间/s
Welsh 彩色化方法	基于随机取点	彩色源图	0.387
		调色板	—
	基于遗传算法	彩色源图	0.254
		调色板	—
分类彩色化方法	采用 $L\alpha\beta$ 空间	彩色源图	0.184
		调色板	0.037
	采用 Lab 空间	彩色源图	0.041
		调色板	0.016

从表 1 可以看出分类彩色化方法的效率比 Welsh 彩色化方法^[9]的高, 经过改进后采用调色板技术的基于 Lab 空间分类彩色化方法的效率甚至比基于随机取点的 Welsh 彩色化方法高 20 倍左右, 其运算效率基本可以满足车载红外视频图像实时彩色化的需求。但是从图 3 可以明显看出采用源图像的方法比采用调色板的方法得到的彩色图像场景更加自然真实颜色鲜明, 然而对红外视频的彩色化主要是实时将彩色化图像传输给驾驶员才可以及时避免危险, 采用调色板技术的改进后的分类彩色化方法得到的图像效果基本能够满足驾驶员的视觉要求, 并且其对关键帧的运算时间约为 1.513 s, 关键帧是车辆在行使环境改变时仅需处理的第一帧, 对非关键帧的运算时间约为 0.016 s, 能够满足辅助行驶的需要。

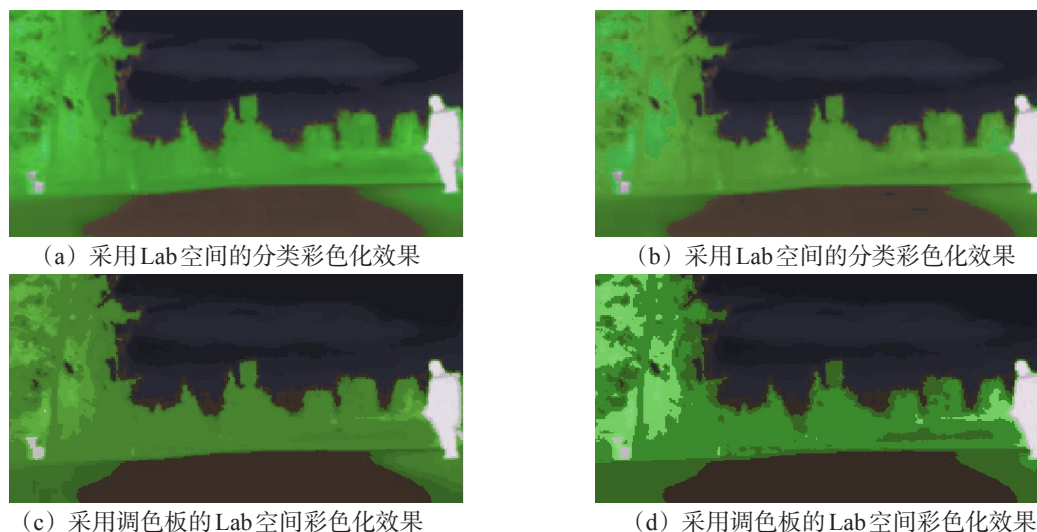


图3 一幅红外视频图像彩色化效果图

Fig.3 The colorized results of an infrared video image

4 结论

提出了一种具有较高实时性的采用在Lab空间基于调色板的车载红外视频图像分类彩色化方法,在对红外图像的细节增强和融合处理后,采用K均值聚类算法对图像进行初始聚类分割得到聚类中心,再基于Fisher评价函数的多阈值图像分割方法得到景物图块的分割阈值,其多颜色类间以彩色均值代之,以亮度差异区别其类内细节。实验分析表明,采用调色板的基于Lab空间的分类彩色化方法具有更高的运算效率,其彩色化效果图像有利于驾驶员及时正确地观察判断。下一步的研究工作重点研究既满足实时性同时能得到效果更好的彩色化图像的技术。

参考文献:

- [1] 金伟其,王岭雪,赵源萌,等. 彩色夜视成像处理算法的新进展[J]. 红外与激光工程,2008,37(1):147-149.
- [2] 刘博. 基于直方图分层映射的图像增强算法研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2008:10.
- [3] 钱小燕,韩磊,王帮峰. 红外与可见光图像快速融合算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(7):1212-1214.
- [4] 李光,王朝英,侯志强. 基于K均值聚类与区域合并的彩色图像分割算法[J]. 计算机应用,2010,30(2):355-356.
- [5] 陈果. 图像阈值分割的Fisher准则函数法[J]. 仪器仪表学报,2003,24(6):564-567.
- [6] REINHARD E, ASHIKHMIN M. Color transfer between images[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5):34-40.
- [7] 陈丽雪,陈昭炯. 基于Lab空间的图像检索算法[J]. 计算机工程,2008,34(13):224-225.
- [8] 支建伟. 一种使用调色板的图像颜色量化设计[J]. 中国有线电视,2004,2(2):61-64.
- [9] 丘赞立,蒋先刚,范德营. 多种搜索算法在医学图片彩色迁移上的应用与分析[J]. 华东交通大学学报,2012,29(3):62-64.

Fast Colorization Technology of Vehicle-Mounted Infrared Video Images

Fan Deying, Jiang Xiangang, Qiu Yunli, Xiong Juan

(School of Basic Science, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper puts forward a color classification method based on color palette technology in the Lab color space so as to carry out efficiently the color processing of vehicle-mounted infrared video images in time. The system firstly applied k-means clustering method to the preprocessed infrared images and obtained the clustering center. Then it segmented the block scenery of infrared video images with classification boundaries obtained by Fisher evaluation function. The appropriate color was thus given to different scenery frames by the color classification method. Experiments show that the proposed color classification method has much higher efficiency which can obtain realistic image color fit for human vision and is convenient for achieving colorization of infrared video images at night.

Key words: K-means clustering; Fisher evaluation function; Lab color space; color palette; classification colorization

(上接第36页)

Finite-element Analysis of Structure Layer Parameters' Effects on SAMI-R Anti-reflection Crack

Liu Shigui, Yu Xin

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Cement-stabilized crushed stone base, widely adopted in asphalt pavement, easily produces dry and temperature crack, causing the cracks to be reflected to surface by the function of load and temperature, thus affecting the pavement performance. The installment of stress absorbing membranes interlayer-rubber (SAMI-R) is an effective way to prevent reflection crack propagation between the base and surface layer. This paper uses ABAQUS to analyze the mechanics of pavement structure. It finds out that increasing thickness of SAMI-R is adverse to the prevention of reflection crack propagation while increasing modulus is favorable, which shows the influence of thickness is more significant than modulus. Meanwhile, increasing the top-layer's thickness and modulus is helpful to control the shear reflection crack but the bottom of top-layer will change pressure into tension when up to a certain degree. Increasing the base thickness and modulus is unfavorable for reflection crack propagation control, although the impact is smaller.

Key words: pavement engineering; SAMI-R; reflection crack; stress intensity factor