

语义指向性特征聚类的图像检索算法研究

文政颖, 李运娣

(河南工程学院 计算机学院, 河南 郑州 451191)

摘要:在大型多媒体数据库中,需要进行图像检索实现感兴趣图像的准确索引和多媒体数据库的准确访问。传统方法采用关联信息人工标注方法进行图像检索,随着数据库中图像信息的增大,标注检索效率较低。为提高大型多媒体数据库中图像检索的效率和精度,提出了一种基于语义指向性特征聚类的图像检索算法。该算法通过图像向量量化编码实现图像压缩,对图像中的文本信息点进行频域特征点归类,对出现重叠文本的图像帧序列进行向量量化分解,提取梯度差异信息特征,实现语义指向性特征聚类,将窗口中梯度最大值进行自适应加权,提取量化编码压缩图像的语义特征信息,采用模糊 C 均值聚类算法对提取的语义特征进行分类标注,由此实现大型多媒体数据库中图像的准确检索和调度。仿真结果表明,该算法的图像检索准确度较高,图像帧差为零,输出图像的峰值信噪比优于传统方法,展示了较好的图像检索能力。

关键词:语义;聚类;图像检索;向量量化

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)04-0083-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.04.019

Investigation on Image Retrieval Algorithm with Semantic Directed Feature Clustering

WEN Zheng-ying, LI Yun-di

(School of Computer, Henan University of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: In large multimedia database, it is necessary to carry out the image retrieval to realize the accurate index of the interested image and correct access of the multimedia database. Traditional methods take the manually labeling method of association information for image retrieval, and with the increase of the image information in database, the efficiency is low. In order to improve the efficiency and precision of image retrieval in large multimedia database, an image retrieval algorithm is proposed based on semantic directed feature clustering. The algorithm uses vector quantization for image compression, and the frequency domain feature point of text information in the image are classified. The text image frame sequence is taken with vector quantization decomposition, extraction of feature of gradient difference information, realization of the feature clustering of semantic orientation, adaptive weighting of the maximum gradient in the window. Semantic feature information of the quantization coding compression image is extracted, and fuzzy C-means clustering algorithm is used to extract semantic features labeling, realizing the exact matching and scheduling of large multimedia database. Simulation results show that the accuracy of the algorithm for image retrieval is improved, and image frame difference is zero, and output image PSNR is more than traditional methods, which has good image retrieval performance.

Key words: semantic; clustering; image retrieval; vector quantization

0 引言

随着计算机网络信息技术的快速发展,信息的载体不再局限于文本信息,大量富含了声音、视频和图像的多媒体信息作为未来信息存储和传输的主要载体,记录了人们生产和生活的各类数据信息。在当今大数据时代,大量的多媒体信息通过网络多媒体数据库进

行信息存储和数据传输,多媒体数据库中存储有海量的音视频和图像等信息,而图像检索是实现大型多媒体数据准确访问和信息索引的基础。在大型多媒体数据库中,需要进行图像检索实现感兴趣图像的准确索引和多媒体数据库的准确访问。因此,研究大型多媒体数据库中的图像检索算法,在进行多媒体数据库访

收稿日期:2016-04-27

修回日期:2016-08-10

网络出版时间:2017-02-17

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(15A520055)

作者简介:文政颖(1979-),女,硕士,副教授,研究方向为图像处理与计算机应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170217.1632.064.html>

问和调度中具有重要意义,相关的算法研究受到重视。

图像的**优化检索**是进行多媒体数据库访问和调度的基础,图像检索也是实现**视频检索的第一步**,通过图像检索为视频访问和检索提供准确的索引和标注。传统的图像检索方法主要有**人工标注法**、**文本检测法**、**图像编码法**和**图像纹理信息特征提取方法**^[1-3]等。其中人工标注法是通过人工方法进行图像中文字和图像信息的自动标注,该方法可靠简单,但是效率不高^[4]。文本检测法是通过提取拍摄的图像和视频中的文本信息,通过**关键词索引方法实现图像检索**。该算法在进行图像检索中具有高效性,但是在进行图像索引时受到叠加文本的干扰较大,尤其是对视频图像中的叠加文本的自动识别能力不高,导致检索精度不高^[5]。图像编码法是通过图像向量量化编码实现图像检索,随着信息编码技术的发展,该技术成为图像索引的一个重要工具。采用**量化编码**算法进行图像检索保留图像的边缘和细节,但是算法的计算开销较大,图像检索的实时性不好。另外,文献[6]提出一种基于**建模离散点 Delaunay 断层分割和纹理信息特征提取的图像检索和视觉重构方法**,在三角网约束曲面中进行计算机视觉特征提取和亚像素特征匹配,实现**计算机视觉重构和建模**,提高了图像检索精度,但是该方法在受到不规则噪点的干扰下,视觉重构和检索的抗干扰性不好,准确度不高。

针对上述问题,提出一种**基于语义指向性特征聚类的图像检索算法**。对图像进行向量量化编码实现图像压缩,提取量化编码压缩图像的语义特征信息,采用**模糊 C 均值聚类算法**对提取的语义特征进行分类标注,由此实现大型多媒体数据库中图像的准确检索和信息索引,最后通过仿真进行了性能测试,验证了算法的有效性。

1 预备知识和图像向量量化编码

1.1 图像检索预备知识描述及算法设计原理

在大型多媒体数据库中,为了实现感兴趣目标图像的准确检索和访问,需要对目标图像进行**信息特征提取和分类识别**。为了实现图像检索,需要把大型多媒体数据库中的图像分成 3×3 拓扑结构,设置 4 个图像检索输入通道,分别为**水平方向**、**垂直方向**、**左对角线方向**以及**右对角线方向**。采用 p_1 、 p_2 和 p_3 分别代表图像检索通道中的输入像素节点,以近邻点为中心构建图像的向量量化特征编码模型,把 p_2 当作图像检索的**语义特征引导轮廓演化聚类中心**,初始化水平集函数 φ ,得到用单个检索节点适应度的相位滑动平均窗口。把 4 个检索通道的语义检索图像按横向和竖向进行分解,提取图像在四个检索通道中的梯度图,得到输

入向量值分别为 x_1, x_2, x_3 和 x_4 , 表示为:

$$\begin{cases} x_1 = p_1 - m \\ x_2 = p_2 - m \\ x_3 = p_3 - m \\ x_4 = m \end{cases} \quad (1)$$

其中, m 为边缘特征的像素灰度值中值,定义域为 Ω 的大型多媒体数据库待检索图像 $I(x, y)$ 被边缘轮廓曲线 C 划分为具有不同语义特征的区域 R_1 和 R_2 , 其中一个为图像中的文本区域,一个为图像的背景区域。在曲线长度约束下,得到一个 $C-V$ 模型拟合下的图像检索的区域分布函数:

$$E^{\text{cv}}(c_1, c_2) = \mu \cdot \text{Length}(C) + \nu \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) + \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} |I - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |I - c_2|^2 dx dy \quad (2)$$

其中, c_1 和 c_2 分别表示大型多媒体数据库中图像的目标区域和背景区域的局部二值拟合特征系数; $\text{Length}(C)$ 表示待检索图像的边缘轮廓的归一化长度; $\text{Area}(\text{inside}(C))$ 表示轮廓曲线的梯度模; μ, ν, λ_1 和 λ_2 表示各检索语义特征自适应修正权重系数,均为大于 0 的常数。

以上述图像检索的区域分布函数为目标函数进行优化求解,在各个图像检索通道方向进行语义指向性特征提取,结合数据聚类算法进行图像的分类检索,根据上述算法原理进行算法设计。

1.2 图像向量量化编码预处理

为了实现对大型多媒体数据库中的图像信息的准确检索,需要对图像进行向量量化编码实现图像的特征压缩和编码输出。文中采用 LBG 算法进行向量量化编码, LBG 算法是 Y. Linde 等提出的^[7-8],利用图像的梯度信息特征进行梯度图分解,通过自组织特征映射调整邻域内的码矢来实现图像量化编码。算法的实现过程描述为:输入的图像像素特征向量 $x(t)$, 表示为一组宽带严平稳的非线性实践训练序列,先找出图像的边缘融合向量量化谱中心,采用特征空间分裂法产生一个初始码书 A_0 ,得到整幅图像的边缘融合向量码书 A_0 中的元素分组,以像素点 j 为中心查找轮廓波域的灰度直方图得到新的码书,进而把新码书作为图像的梯度方向序列进行量化编码。步骤如下:

(1) 初始化:给定图像边缘融合级数 N , 初始化图像的语义特征阈值 ε , 给定图像的边缘像素训练序列 $\{x_j\}$, $j=0, 1, \dots, m-1$, 在某个初始 N 级码元 $A_0 = \{y_i\}$, $i=1, 2, \dots, N$ 内进行特征分解。令 $n=0, D_{-1} = \infty$ 。

(2) 计算图像的干扰信息参量估计值 $\hat{A}_n = \{y_i\}$, i

$= 1, 2, \dots, N$, 找到像素特征向量的训练序列 $\{x_j\}$ ($j = 0, 1, \dots, m-1$) 关于 \hat{A}_n 的码矢响应概率 $P(\hat{A}_n) = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, 得到图像语义指向性检索的最佳码书 $s_i = \{x_j: d(x_j, y_i) \leq d(x_j, y_l)\}$, 对任意 $l = 0, 1, \dots, N$, 计算输入节点的平均失真:

$$D_n = D(\{P(\hat{A}_n, \hat{A}_n)\}) = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{m-1} \min_{y \in A_n} d(x_j, y) \quad (3)$$

(3) 在域特征点中, 如果 $(D_{n-1} - D_n)/D_n \leq \varepsilon$, 停止检索图像的帧间预测, 此时图像每一帧的输出码元 \hat{A}_n 为最终码本; 否则继续。

(4) 对图像中的文本信息点进行域特征点归类, 进行文本特征聚类空间划分, 对出现重叠文本的图像帧序列进行向量量化分解, 得到新的码书 $x(P(\hat{A}_n)) = \{x(s_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, N$, 使得每次编码均后输出的图像对叠加文本的干扰失真最小。进而计算压缩后平均每个像素点的均方误差 $\hat{x}(s_j)$, 表示为当前向量空间的语义特征聚类中心, 即

$$\hat{x}(s_j) = \frac{1}{\|s_j\|} \sum_{x_i \in s_j} x_i \quad (4)$$

其中, $\|s_j\|$ 表示 s_j 中训练样本向量的个数。

(5) 在域特征点关联区间内, 存在 $\hat{A}_{n+1} = \hat{x}(s_j)$, 令 $n = m + 1$, 转步骤(2)。

通过上述算法设计, 实现大型多媒体数据库中的图像向量量化编码, 根据编码输出进行语义指向性特征聚类处理, 实现图像检索。

2 语义指向性特征聚类及算法改进实现

2.1 图像的语义指向性特征提取

在上述图像向量量化编码的基础上, 进行图像检索算法优化设计。据分析得知, 传统方法采用关联信息人工标注方法进行图像检索, 随着数据库中图像信息的增大, 标注检索效率降低。为了克服传统方法的弊端, 文中提出一种基于语义指向性特征聚类的图像检索算法。

对数据的图像量化编码信息进行特征提取和特征压缩处理, 提取量化编码压缩图像的语义特征信息, 采用模糊 C 均值聚类算法对提取的语义特征进行分类标注^[9-10], 进行图像检索。首先构建图像语义指向性特征数据采集模型, 在对大型多媒体数据库访问中, 对大型多媒体数据库中的一幅 RGB 彩色图像通过语义状态特征信息进行图像边缘特征提取。其中, 对图像输出的向量量化编码进行语义指向性特征提取的过程描述为: 假设图像检索区域中文本模块的输入特征信息时间序列为 $x(t)$, $t = 0, 1, \dots, n-1$, 对图像的量化编

码信息的定位区间描述为:

$$u = [u_1, u_2, \dots, u_N] \in R^{mN} \quad (5)$$

在上述语义信息实体模型中, 在横向和竖向两个梯度方向对图像的像素点样本进行自组织神经网络训练, 进行模糊规则下推理, 求得最大梯度差像素:

$$AVG_x = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m |G_x(x, y)| \quad (6)$$

其中, m, n 分别是大型多媒体数据库中的图像向量量化的梯度特征差异图的高度和宽度。

提取梯度特征差异信息中的语义指向性波束函数, 对窗口中梯度最大值进行自适应加权, 得到输出的加权向量为:

$$x(t) = (x_0(t), x_1(t), \dots, x_{k-1}(t))^T \quad (7)$$

采用一个 $1 \times N$ 的窗口来遍历被检索图像的非文本像素集合, 确定窗口大小 N , 对于所确定的疑似文本像素输入检测函数 $x(t)$, 经过阈值判决, 计算其与所有输出像素特征窗口加权向量 ω_j 的空间距离, 表示为:

$$d_j = \sum_{i=0}^{k-1} (x_i(t) - \omega_{ij}(t))^2, j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

其中, ω_j 为检索图像的纵向的最大梯度差加权系数, 表示为:

$$\omega_j = (\omega_{0j}, \omega_{1j}, \dots, \omega_{k-1,j})^T \quad (9)$$

通过对图像中的有用文本进行语义指向性特征提取, 各自判决的文本像素为 TL_x 、 TL_y , 文本像素的判决式为:

$$TL_x(x, y) = \begin{cases} \text{Text}, & \text{if } (GD_x(x, y) > T_x) \\ \text{NonText}, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

设多媒体数据库中与语义信息相关的图像类别总数为 m , 在最小窗口距离下计算信息索引的指向性聚焦特征 N_{j*} , 其中网络节点的最小距离为:

$$d_{j*} = \min_{0 \leq j \leq N-1} \{d_j\} \quad (11)$$

由于把图像分成 3×3 拓扑结构, 结合图的向量量化编码输出, 设图像所属类别的对象集合 $F_m(x, y)$ 为第 m 帧 (x, y) 处的像素灰度值, 由此得到输出的语义指向性特征为:

$$\hat{x}(k/k) = \sum_j \hat{x}^i(k/k) u_j(k) \quad (12)$$

$$P(k/k) = \sum_j u_j(k/k) \{P^i(k/k) + [\hat{x}^i(k/k) - \hat{x}(k/k)] [\hat{x}^i(k/k) - \hat{x}(k/k)]^T\} \quad (13)$$

其中, \hat{x} 为信息索引的边缘轮廓参量估计值; $u_j(k)$ 为图像的信息融合属性集合; u_j 为语义特征信息流的自相关函数; P^i 为图像检索的概率密度函数。

通过上述分析, 实现了图像的语义指向性特征提取。

2.2 FCM 特征聚类及图像检索算法实现

在语义特征提取的基础上,对输出的语义指向性特征提取结果进行数据聚类处理,采用模糊 C 均值(Fuzzy C-Means, FCM)聚类算法进行特征数据聚类^[11-13]。假设输入的大型多媒体数据库中待检索图像的语义指向性特征数据为一个有限数据集:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset R^s \quad (14)$$

图像经过 LGB 向量量化编码后输出的语义特征集合中含有 n 个聚类特征样本,其中样本 $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ 的隶属度属性矢量为:

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{is})^T \quad (15)$$

利用输出的语义指向性特征的均匀遍历特性在特征空间进行数据聚类中心的搜索^[14-15],有限的语义特征集合 X 分为 c 类,其中 $1 < c < n$ 。在稳态周期点内搜索图像检索的语义指向性特征的模糊聚类中心矩阵为:

$$V = \{v_{ij} | i = 1, 2, \dots, c, j = 1, 2, \dots, s\} \quad (16)$$

其中, V_i 为在纵向的最大梯度差全局搜索下聚类中心的第 i 个矢量。

在聚类中心的辐射半径内,通过连通区的长、宽和面积等参量信息的估计,对图像检索的输出边缘像素点进行边缘密度求解,结果为:

$$\text{MinWH} = \min\{w(cc), h(cc)\} \quad (17)$$

$$\text{Area_Ratio} = \frac{\text{Area}(cc)}{\text{Area}(pic)} \quad (18)$$

结合上述 LGB 编码结果,调整加权得到 N_j 。几何邻域 $NE_{j_s}(t)$,得到图像检索的模糊划分矩阵为:

$$U = \{\mu_{ik} | i = 1, 2, \dots, c, k = 1, 2, \dots, n\} \quad (19)$$

在已知 m 个先验知识筛选模型下,图像检索的初始状态为 $x^i(0) = x^i(0)$ 。由定义,通过 FCM 聚类算法得到图像检索的语义指向性特征聚类目标函数为:

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ik}^m (d_{ik})^2 \quad (20)$$

此时,求得检索目标函数的极值为:

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (21)$$

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^m (\mu_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^m} \quad (22)$$

其中, m 为文本像素图像的权重指数; $(d_{ik})^2$ 为背景人物等图像的样本 x_k 与文本像素样本 V_i 的测度距离,用欧氏距离表示为:

$$(d_{ik})^2 = \|x_k - V_i\|^2 \quad (23)$$

且满足:

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1, k = 1, 2, \dots, n \quad (24)$$

通过上述处理,采用语义指向性特征提取和 FCM 聚类方法,通过对图像中的文本信息分析和特征提取,结合约束条件式(24),经过阈值判决,实现图像优化检索,达到多媒体数据库准确访问和图像索引的目的。

3 仿真实验与结果分析

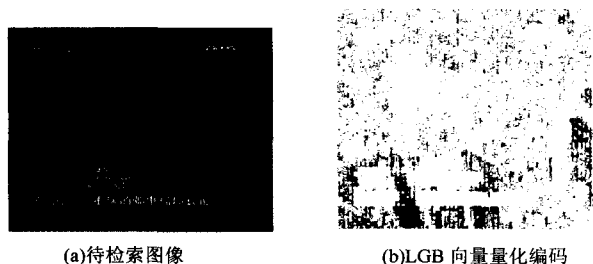
为了测试文中算法在实现大型多媒体数据库中图像检索的应用性能,对其进行仿真。采用 Matlab 仿真软件进行算法编程设计,图像采集来自于大型多媒体网络数据库 DeepWeb2016。网络数据库中存有大量的视频图像信息,检索的目标是通过辨识视频图像帧中的文本信息,实现视频中帧图像的准确定位和索引。仿真实验中,相关参数设定为: $G_{\max} = 30, D = 12, c = 3, NP = 30, F = 0.5, CR = 0.1, m = 2$; 视频帧差序列采集的初始频率 $f_1 = 2.1 \text{ Hz}$, 终止频率 $f_2 = 0.23 \text{ Hz}$, 图像检索中的外界信息干扰强度为 $\text{SNR} = -10 \text{ dB}$, 权重系数 ω 设定为 0.9。另外,为了定量分析图像检索的性能,分别定义信噪比和峰值信噪比为(单位 dB):

$$\text{SNR} = -10 \log_{10} \frac{\sigma^2}{D} \quad (25)$$

$$\text{PSNR} = -10 \log_{10} \frac{255^2}{D} \quad (26)$$

其中, $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2, D = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_0 - x_i)^2, \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i, x_i$ 为图像编码的像素值。

根据上述仿真环境和参数设定,进行图像检索仿真分析,以数据库中一帧含有文本像素的图像为样本进行测试。待检索原始图像和 LGB 编码输出如图 1 所示。



(a)待检索图像

(b)LGB 向量量化编码

图 1 图像采集和编码

通过 LGB 向量量化编码,进行图像特征压缩,以此为基础进行图像的语义指向性特征提取和 FCM 聚焦分析,结果如图 2 所示。

在此基础上,采用模糊 C 均值聚类算法对提取的语义特征进行分类标注,由此实现大型多媒体数据库中图像的准确检索和信息索引。通过语义指向性聚类后图像检索的输出结果如图 3 所示。

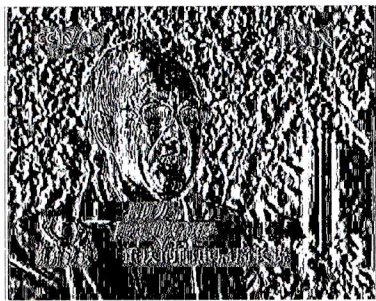


图 2 图像语义指向性特征提取结果



图 3 语义文本标注图像检索输出

由图 3 可见,采用文中算法进行图像检索,通过语义指向性特征提取,能准确检索到待分析图像,无输出帧差。为了验证文中算法的普适性,以简单背景图像、复杂背景图像、英文文本图像和纵向文本图像为例,采用文中算法分别进行检索,得到的输出结果如图 4 所示。



(a)简单背景图像的检索结果



(b)复杂背景图像的检索结果



(c)具有英文文本图像的检索结果



(d)纵向排列文本图像的检索结果

图 4 各类背景下的检索结果

由上述结果可得,采用文中算法进行多媒体数据库的图像检索,无论何种文本背景,通过语义指向性特征聚类,都能得到准确的检索结果输出,展示了较好的普适性。

为了定量分析文中算法的性能,以 PSNR 为测试指标,以其中的一组图像检索为例,采用文中算法和传统算法得到的对比结果如图 5 所示。

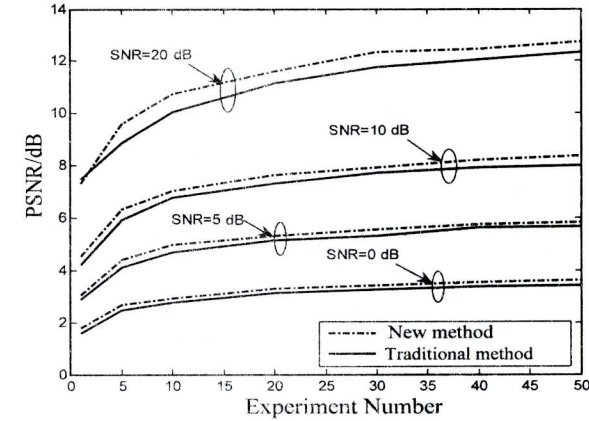


图 5 性能对比测试

从图 5 可见,采用文中算法进行图像检索输出的 PSNR 较高,说明图像检索的精度较好,质量较高,性能优越。

4 结束语

大量的多媒体信息通过网络多媒体数据库进行信息存储和数据传输,多媒体数据库中存储有海量的音视频和图像等信息,需要进行图像检索实现数据库的准确访问和信息调度。为此,提出了一种基于语义指向性特征聚类的图像检索算法。对图像进行向量量化编码实现图像压缩,提取量化编码压缩图像的语义特征信息,采用模糊 C 均值聚类算法对提取的语义特征进行分类标注,由此实现大型多媒体数据库中图像的准确检索和信息索引。实验结果表明,采用该算法的图像检索准确度较高,帧差为零,输出的峰值信噪比较高,性能优越于传统算法。

参考文献:

[1] 章登义,吴文李,欧阳黠霏. 基于语义度量的 RDF 图近似

- 查询[J]. 电子学报, 2015, 43(7): 1320-1328.
- [2] 罗海驰, 李岳阳, 孙俊. 一种基于自适应神经模糊推理系统的图像滤波方法[J]. 计算机科学, 2013, 40(7): 302-306.
- [3] 杜辉. 基于小波变换的彩色图像中快速人脸检测算法[J]. 科技通报, 2012, 28(12): 88-90.
- [4] Chong F T, Heck M J R, Ranganathan P, et al. Data center energy efficiency: improving energy efficiency in data centers beyond technology scaling[J]. IEEE Design & Test, 2014, 31(1): 93-104.
- [5] Wang Lin, Zhang Fa, Aroca J A, et al. GreenDCN: a general framework for achieving energy efficiency in data center networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(1): 4-15.
- [6] Karami E, Dobre O A. Identification of SM-OFDM and AL-OFDM signals based on their second-order cyclostationarity[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015, 64(3): 942-953.
- [7] Mohammadkarimi M, Dobre O A. Blind identification of spatial multiplexing and Alamouti space-time block code via Kolmogorov-Smirnov(K-S) test[J]. IEEE Communications Letters, 2014, 18(10): 1711-1714.
- [8] 王云焯, 李勃, 董蓉, 等. 基于透射率空间与色彩纹理相关性的图像分割[J]. 电子测量技术, 2015, 38(1): 41-46.
- [9] 张宇, 王晓燕. 基于混合灰度差指标的低空目标图像检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(8): 1196-1202.
- [10] 余淮, 杨文. 一种无人机航拍影像快速特征提取与匹配算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(3): 509-516.
- [11] 郭复胜, 高伟. 基于辅助信息的无人机图像批处理三维重建方法[J]. 自动化学报, 2013, 39(6): 834-845.
- [12] 郑海峰. 基于多尺度 Retinex 的超声图像去噪及增强技术[J]. 激光杂志, 2016, 37(3): 71-73.
- [13] 代具亭, 汤心溢, 王世勇, 等. 扫描型红外焦平面探测器图像实时传输系统[J]. 激光与红外, 2016, 46(4): 476-480.
- [14] 冯洋. 基于改进的奇异值分解的红外弱小目标检测[J]. 激光技术, 2016, 40(3): 335-338.
- [15] Achanta R, Shaji A, Smith K, et al. SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(11): 2274-2281.
- +++++
- (上接第 82 页)
- quests over static wireless multihop networks[J]. Computer Networks, 2013, 57(5): 1139-1152.
- [16] Stasi G D, Avallone S, Canonico R. Virtual network embedding in wireless mesh networks through reconfiguration of channels[C]//IEEE international conference on wireless and mobile computing. [s. l.]: IEEE, 2013: 537-544.
- [17] Chowdhury M, Rahman M R, Boutaba R. ViNEYard: Virtual network embedding algorithms with coordinated node and link mapping[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012, 20(1): 206-219.
- [18] Avallone S, D'Elia F P, Ventre G. A new channel, power and rate assignment algorithm for multi-radio wireless mesh networks[J]. Telecommunication Systems, 2012, 51(1): 73-80.
- [19] Avallone S, D'Elia F P, Ventre G. A traffic-aware channel re-assignment algorithm for wireless mesh networks[C]//Wireless conference. [s. l.]: IEEE, 2010: 683-688.
- [20] Luo J, Guo Y, Fu S, et al. Virtual resource allocation based on link interference in cayley wireless data centers[J]. IEEE Transactions on Computers, 2015, 64(10): 3016-3021.
- [21] Lv P, Cai Z, Xu J, et al. Multicast service-oriented virtual network embedding in wireless mesh networks[J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(3): 375-377.
- [22] Lv P, Wang X, Xu M. Virtual access network embedding in wireless mesh networks[J]. Ad Hoc Networks, 2012, 10(7): 1362-1378.
- [23] Hernando G, Pérez S, Cabero J M. Mobility aware distributed embedding of virtual networks[C]//Future network and mobile summit. [s. l.]: [s. n.], 2010: 1-8.
- [24] Chochlidakis G, Friderikos V. Mobility aware virtual network embedding[C]//2015 IEEE international conference on communications. [s. l.]: IEEE, 2015: 5846-5852.
- [25] Chochlidakis G, Friderikos V. Robust virtual network embedding for mobile networks[C]//IEEE international symposium on personal, indoor and mobile radio communication. HK: IEEE, 2015: 1867-1871.
- [26] Esposito F, Chiti F. Distributed consensus-based auctions for wireless virtual network embedding[C]//2015 IEEE international conference on communications. [s. l.]: IEEE, 2015: 472-477.
- [27] Abdelwahab S, Hamdaoui B, Guizani M, et al. Efficient virtual network embedding with backtrack avoidance for dynamic wireless networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(4): 2669-2683.