

基于图像像素间空间信息的加权模糊阈值分割算法

于 勇¹ 郑 姣² 郭希娟²¹(燕山大学体育学院 河北 秦皇岛 066004)²(燕山大学信息科学与工程学院 河北 秦皇岛 066004)

摘 要 模糊理论对处理模糊不确定性的事件具有得天独厚的优势,而阈值分割算法是一种简单有效的算法,因此基于模糊理论的阈值分割在图像分割领域中得到广泛的应用。但是多数的阈值分割算法对于灰度图像的处理往往仅利用图像的灰度水平值而未考虑像素的空间邻域信息,大大地增加了灰度图像的目标和背景的误分比率。针对此问题提出一种引入空间信息的加权模糊阈值分割算法,在考虑像素的灰度水平值的同时,将像素与其邻域像素的空间关系作为权重来共同对该像素作用,设计出新的模糊分割函数。实验证明该算法具有较好的稳定性和鲁棒性,对多数图像的梯度的灰度直方图接近单峰的图像和灰度峰值分布距离较远、两峰数量悬殊的双峰图像,均能得到很好的分割效果。

关键词 模糊阈值分割 空间信息 图像分割

中图分类号 TP301

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2013.03.072

WEIGHTED FUZZY THRESHOLD SEGMENTATION ALGORITHM BASED
ON IMAGE PIXELS SPATIAL INFORMATIONYu Yong¹ Zheng Jiao² Guo Xijuan²¹(College of Physical Education, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, Hebei, China)²(College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, Hebei, China)

Abstract Fuzzy theory has unique predominance in dealing with the events with fuzzy and uncertainties, and the threshold segmentation method is a simple and effective algorithm, therefore the fuzzy theory-based threshold segmentation has been widely applied in image segmentation field. However, when processing gray images, most of the threshold segmentation algorithms usually just utilise the gray level of the image but does not take into consideration the spatial neighbourhood information of pixels, this greatly increases the false rate of segmenting the target from the background of gray image. In response to the problem addressed above, in this article we present a weighted fuzzy threshold segmentation algorithm with the spatial information introduced, while considering the gray level of pixels, spatial relationship of the pixel and its neighbouring pixel will be taken as the weight to jointly act on the pixel, thus a new fuzzy segmentation function is designed. Experimental result shows that this algorithm has good stability and robustness. It can achieve pretty good segmentation effects on most of the images, either the images with close-to-unimodal gray histogram of gradient or the twin-peak images with farther distribution distance of gray peak and in great disparity of number of each peak.

Keywords Fuzzy threshold segmentation Spatial information Image segmentation

0 引言

图像分割^[1]是低级计算机视觉中最基本最重要的研究内容;是成功进行图像分析理解与描述的关键技术之一;也是计算机视觉领域低层次视觉中的主要问题,在图像工程中占据重要的位置。

阈值分割算法是一种实现简单有效的分割算法,一般是利用图像的一维灰度的分布特征,寻找灰度分布两波峰中间的波谷将图像分割开。

文献[2]提出最大类间方差法,该算法被认为是阈值分割中的经典算法,然而这种分割方法对直方图分布比较狭窄或分布不呈双峰特征的图像往往会造成错误的分割。

文献[3]认为梯度图像的灰度分布多呈典型的单峰,传统阈值分割方法对于这种图像的分割并不是很好。

文献[4]指出简单的阈值分割方法对分布比较狭窄或分布不呈双峰特征的图像往往会造成错误的分割。

而正由于图像在成像过程中受各种因素的影响,使得要分割的目标与背景之间一般都带有一定的相似性和不确定性,因此基于模糊系统理论分割技术是得到了相当广泛的应用。

但是多数的运用模糊理论模糊系统理论分割技术只是利用图像像素中的灰度值信息,忽略图像像素间的空间信息的影响,往往使得分割不是很准确。

收稿日期:2012-05-29。于勇,教授,主研领域:图像处理。郑姣,硕士生。郭希娟,教授。

文献[5]提出的阈值分割算法的仅仅利用灰度值信息设计了隶属度函数,虽然计算简单,但是它忽略了图像像素的空间信息关系的影响。

文献[6]提出了基于人脑内部结构的有关图像的先验知识为图像中各像素建立了一个空间关系树,以人眼的视觉习惯为评价标准,有效地减少了图像分割的错误率。由此可见,空间像素的信息关系具有重要意义。

本文针对现存的这些问题提出了一种结合模糊理论的阈值分割算法,该算法首先对于图像进行预处理并利用 Otsu 算法进行预分割,然后综合运用图像像素的灰度值信息与空间信息设计隶属度函数,最后据文献[5]定义的模糊距离评判标准来求解阈值最优解。本文将此模糊阈值算法同文献[5]提出的阈值算法和 Fdm^[7]算法作比较分析,实验证明本文对于图像梯度的灰度直方图呈单峰和度图呈单峰分布并且适用于峰与峰之间数量相差悬殊,分布相距较远的非典型双峰,具有较好的分割效果。

1 模糊阈值分割算法

1.1 灰度值信息计算

1.1.1 背景类和前景类均值的计算

首先对图像进行高斯滤波的平滑,再利用 Roberts 交叉梯度算子^[8]获取梯度图像。然后利用 Otsu 算法进行预分割,得出初始阈值 T 。

计算图像的灰度直方图 $hist$ 并利用 T 将整个梯度图像分为两类,小于等于 T 的一类我们称作背景,大于 T 称为前景类,在此基础上可以得到背景类的均值 μ_0 的计算公式:

$$\mu_0 = \frac{\sum_{x(i,j,f_y) \in W_{(i,j)}^{(f=T)}} x(i,j,f_y) \times hist(x(i,j,f_y))}{\sum_{x(i,j,f_y) \in W_{(i,j)}^{(f=T)}} hist(x(i,j,f_y))} \quad (1)$$

同样也可以用如下的公式计算前景类的平均值 μ_1 :

$$\mu_1 = \frac{\sum_{x(i,j,f_y) \in W_{(i,j)}^{(f=255)}} x(i,j,f_y) \times hist(x(i,j,f_y))}{\sum_{x(i,j,f_y) \in W_{(i,j)}^{(f=255)}} hist(x(i,j,f_y))} \quad (2)$$

式(1)、式(2)中的 $x(i,j,f_y)$ 是代表图像中的位于 (i,j) 位置的像素值是 f_y ; $hist(x(i,j,f_y))$ 是统计位于 (i,j) 位置的像素值为 f_y 的像素个数。

1.1.2 灰度值信息的模糊隶属度函数的计算

文献[9]中提出了利用 Gamma 概率分布密度函数决定模糊集 X 的隶属函数,将灰阶为 L ,大小为 $M \times N$ 的图像看作一个模糊集合, $0 \leq \mu_g(x(i,j,f_y)) \leq 1$; 其形式如下:

$$\mu(x(i,j,f_y)) = \exp(-c \cdot |x(i,j,f_y) - \mu_0|) \quad \text{当 } x(i,j,f_y) \leq t \quad (3)$$

$$\mu(x(i,j,f_y)) = \exp(-c \cdot |x(i,j,f_y) - \mu_1|) \quad \text{当 } x(i,j,f_y) > t \quad (4)$$

其中 c 为归一化因子,即灰度值最大值与最小值差的倒数; t 为给定阈值; μ_0 与 μ_1 分别为小于阈值 t 与大于阈值 t 部分的均值; $\mu(x(i,j,f_y))$ 为灰度值为 f_y 的隶属度。

由于文献[9]提出的函数涉及指数运算,较为复杂,我们给

出了计算相对简洁的隶属度函数。

该函数是计算图像像素的灰度信息的模糊隶属度;通过扫描图像的每一个像素的灰度信息,统计出灰度值最大值和灰度最小值;假定阈值 T ,利用式(1)和式(2)求解出的均值,再取出每个像素的灰度信息值;结合式(5)与式(6)计算出相应图像像素的灰度信息的模糊隶属度,其形式如下:

$$\mu_{g1}(x(i,j,f_y)) = 1 - c \cdot |x(i,j,f_y) - \mu_0| \quad (5)$$

$$\mu_{g2}(x(i,j,f_y)) = 1 - c \cdot |x(i,j,f_y) - \mu_1| \quad (6)$$

其中 T 为假定的阈值; $x(i,j,f_y)^{(f_{max})}$ 为图像像素的最大灰度值, $x(i,j,f_y)^{(f_{min})}$ 为图像像素的最小灰度值; c 为归一化因子,即为 $x(i,j,f_y)^{(f_{max})}$ 与 $x(i,j,f_y)^{(f_{min})}$ 差的倒数(最大灰度值与最小灰度值不相等); $0 \leq \mu_{gi}(x(i,j,f_y)) \leq 1, i = 1, 2$ 。

1.2 空间信息计算

1.2.1 空间邻域像素间相似度的计算

该函数是计算窗口邻域内的像素与中心像素之间的相似度,对于 $\forall x(m,n,f_{mn}) \in W_{(i,j)}$ 都有如下计算式:

$$\begin{aligned} w(x(i,j,f_y), x(m,n,f_{mn})) &= 1 - |x(i,j,f_y) - x(m,n,f_{mn})|_\sigma \\ &= 1 - \sum_{t=1}^{t=n} \sigma^{(t)} |x(i,j,f_y)^{(t)} - x(m,n,f_{mn})^{(t)}| \\ &= 1 - \sum_{t=1}^{t=n} \sigma^{(t)} |x(i,j,f_y)^{(t)} - x(m,n,f_{mn})^{(t)}| \\ &= 1 - (1/2 \times d1(x(i,j,f_y), x(m,n,f_{mn})) \times h + 1/2 \times \\ &\quad d2(x(i,j,f_y), x(m,n,f_{mn})) \times c) \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $W_{(i,j)}$ 表示以像素 $x(i,j,f_y)$ 为中心的窗口范围,本文选取的是八邻域的窗口范围, $x(m,n,f_{mn})$ 表示该窗口范围内的像素, $w(x(i,j,f_y), x(m,n,f_{mn}))$ 表示窗口邻域内的像素与中心像素之间的相似度权重, $\sigma^{(t)}$ 为相似度测度的第 t 个测度的总测度中的权重,在本文中采取了中心像素与邻域的几何距离和灰度值的欧几里德距离两个测度,权重均为 $1/2$; n 为相似度测度的个数; $|x(i,j,f_y)^{(t)} - x(m,n,f_{mn})^{(t)}|$ 表示像素间的第 t 个相似性测度的相似程度; h 为邻域内与中心像素的最大的几何距离 $1/\sqrt{2}$; c 为归一化因子。

1.2.2 空间信息的模糊隶属度计算

该函数是计算图像像素的空间信息的隶属度;首先统计中心像素邻域内像素的灰度值小于等于 T 的像素的相似度如式(7),再求和,计算如式(8),同样计算窗口邻域内像素的灰度值大于 T 的像素相似度之和,如式(9)所示;最后根据式(10)和式(11)做归一化处理,将空间信息转化到 $(0,1)$ 范围内。

$$\mu_{nsun1} = \sum_{s=0}^{s=n1} w(x(i,j,f_y), x(m,n,f_{mn})) \quad (8)$$

$$\mu_{nsun2} = \sum_{s=0}^{s=n2} w(x(i,j,f_y), x(m,n,f_{mn})) \quad (9)$$

$$\mu_{n1} = \frac{\mu_{nsun1} \times n1}{1 + \mu_{nsun1} \times n1 + \mu_{nsun2} \times n2} \quad (10)$$

$$\mu_{n2} = \frac{\mu_{nsun2} \times n2}{1 + \mu_{nsun1} \times n1 + \mu_{nsun2} \times n2} \quad (11)$$

其中 $n1, n2$ 分别为满足式(8)、式(9)条件下的窗口邻域像素个数。

1.3 像素的总的隶属度函数

该函数是分别计算图像像素大于阈值 T 和小于阈值 T 的总的隶属度之和;首先扫描图像中的每一个像素,分别计算出该像素的灰度信息和空间信息部分,式(12)为统计该像素属于小于

阈值 T 的隶属度;而式(13)为统计该像素属于大于阈值 T 的隶属度。最后比较这两部分大小,若满足式(12)结果 \geq 式(13)结果,则该像素属于小于等于 T 类,反之则属于大于 T 类,计算形式如下:

$$\mu(x(i,j,f_y)) = (\mu_{n1} + \mu_{g1}(x(i,j,f_y)^{(f)}))/2 \quad (12)$$

$$\mu(x(i,j,f_y)) = (\mu_{n2} + \mu_{g2}(x(i,j,f_y)^{(f)}))/2 \quad (13)$$

1.4 最优的阈值获取

文献[5]模糊距离定义:设 A 是定义在区间 $[\mu_{\min}, \mu_{\max}]$ 上的离散模糊集合, $\mu_A(u)$ 是其隶属函数,设:

$$\phi(A) = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} \mu_i}{\mu_{\max} - \mu_{\min}} \quad (14)$$

$$\phi'(A) = \frac{\phi(A)}{\phi(U)} \quad (15)$$

其中, U 是 $[\mu_{\min}, \mu_{\max}]$ 上的有限元素模糊集合且 $\mu(u) = 1 \forall u \in U$ 。

即

$$\phi(U) = \sum_{f=f_{\min}}^{f=f_{\max}} \text{hist}(x(i,j,f_y)^{(f)}) \quad (16)$$

其中, $\text{hist}(x(i,j,f_y)^{(f)})$ 表示图像中像素值为 f 的像素个数。

则定义模糊集合 A 和 B 间的距离为:

$$d(A,B) = \frac{|\phi(A) - \phi(B)|}{1 + \phi'(A) + \phi'(B)} \quad (17)$$

$\phi(A)$ 、 $\phi(B)$ 可以看作模糊集合 A 、 B 中所有元素隶属度和与其隶属度跨度的商, $\phi'(A)$ 、 $\phi'(B)$ 一定时, $d(A,B)$ 随着 $\phi(A)$ 、 $\phi(B)$ 差的绝对值的增大而增大, $\phi'(A)$ 、 $\phi'(B)$ 近似等于集合 A 、 B 所有元素隶属度的平均值, $\phi(A)$ 、 $\phi(B)$ 差的绝对值相同时, $\phi'(A)$ 、 $\phi'(B)$ 越大, $d(A,B)$ 越小。由此可看出 $d(A,B)$ 越大,两个集合的距离就越大,距离值大说明图像对象和背景的区别就越明确,图像会更清晰,因此使两个集合距离最大意味着错分的概率最小。

根据文献[5]定义的模糊距离,求出当目标和背景两个分类对应的最大的模糊距离时的阈值。分割原图像的梯度图像,得到二值图像,遍历此二值图和原图像。记录边缘二值图中灰度值为大于阈值的像素的坐标,取原图像相应坐标的像素值并求和。同时统计像素个数,求平均值,此平均值即为原图像的最优分割阈值。

2 算法描述与分析

2.1 算法整体描述

```
fuzzythreshold()
Input: image;
Output: 最优阈值 T 和其分割的二值效果图
Begin:
Step1: //预处理,选择阈值 T,将图像分为 A, B 两类
preprocessing;
choose T;
(A, B) = DivideImagetwo(T);
Step2: ComputeAverage(); //计算出 A, B 两类均值
Step3: while( image[i, j]) //遍历图像中所有的像素点
{
//分别计算两类的灰度信息隶属度
```

```
( gray1, gray2 ) = ComputeGrayinf();
//计算出该像素隶属空间信息隶属度
(space1, space2) = ComputeSpaceinf();
//计算隶属于两类的总的隶属度
sum1 = gray1 + space1;
//计算分别隶属于两类的总的隶属度
sum2 = gray2 + space2;
If( sum1 >= sum2 )
Image[i, j] 属于 A; //该像素属于 A 类
else
Image[i, j] 属于 B; //该像素属于 B 类
Step4: dis = Findmaxdis(); //根据式(17)记录对应阈值 T 时的距离
Step5: T = T + 1, 返回到 step1, until T >= k; //k 为 T 取值的上限 255
Step6:
//当模糊距离取到最大值时对应的阈值 T 即为最优阈值
(T, maxdis) = max(dis);
Step7:
//利用 1.4 节的相关步骤对将灰度图像进行分割
DivideGradientImagetwo(T); //分割梯度图像
//统计梯度图像中阈值大于 T 像素坐标位置
CountCoordinate(T);
//利用坐标求取原图像相应位置的灰度值的平均值
t = AverageCoordinate();
DivideImagetwo(t);
end;
```

2.2 灰度信息隶属度的计算的核心代码描述

ComputeGrayinf():该函数是计算图像像素的灰度信息的模糊隶属度。

```
Input: image(grayvalue(i, j)); //像素灰度值
Output: gray //图像像素的灰度信息隶属度值
Begin:
Step1: count = hist(image(i, j)); //求出图像的灰度直方图
Step2: average = ComputeAverage(); //据式(1)和式(2)
Step3: max = Find(image); //找出灰度值最大与最小值,归一化
min = Find(image);
c = 1/(max - min);
Step4: grayinf = 1 - c * |image(i, j) - average| //计算隶属度值
end;
```

2.3 空间信息隶属度计算的核心代码描述

ComputeSpaceinf():该函数是计算图像像素的空间信息的隶属度。

```
Input: image(i, j, grayvalue); //图像位置和的像素灰度值
Output: space //灰度图像像素的空间隶属度
Begin:
Step1: choose x; //x 为中心像素
Step2: while(y) //y 为中心像素的八邻域像素
{
if( grayvalue(y) <= T ) //grayvalue(y) 为 y 的灰度值
{
sum1 += ComputeSimilar(x, y); //根据式(7)
n1 ++; //八邻域满足条件的像素的个数
}
else
{
sum2 += ComputeSimilar(x, y);
```

```
n2 ++; //八邻域满足条件的像素的个数
|
|
|
getnextNeig(x); //获取下个邻域点
|
|
Step3:space1=(sum1*n1)/(sum1*n1+sum2*n2);
//计算隶属度
space2=(sum2*n2)/(sum1*n1+sum2*n2);
end;
```

3 实验结果与验证

实验是在 VS 2008 环境下进行的,Pentium 2.5GHz CPU, 2GB 内存的微处理器上进行的,利用 C 语言与开源代码 opencv 进行的编程。

为了验证本文算法的有效性,我们对多幅图像进行了处理,均得到了较满意的效果。实验图片数据大小为 256×256,水平分辨率为 71DPI,垂直分辨率 71DPI,24 位深度。若图片过大,数据量过大,会影响程序的运行效率。

我们对本文提出的算法、文献[5]提出的阈值分割算法和 Fdm 算法进行了比较,在这里选择两幅实际图像,分别应用新提出算法(New)、文献[5]提出的阈值算法(Old)和 Fdm 算法对两幅图像进行分割,同时也有理想状态下的分割比较图(Ideal),它是经过多次二值图像分割选择的最佳阈值,选取的邻域窗口 $W_{(i,j)}$ 为八邻域,以中心像素邻域周围八个像素组成,得到三个阈值分割算法的实验结果对比如表 1 所示。

表 1 算法分割阈值实验数据表

原图像	阈值分割算法	分割得到阈值	图片大小
图 1(a)	New	165	256×256
图 1(a)	Old	156	256×256
图 1(a)	Fdm	185	256×256
图 1(a)	Ideal	172	256×256
图 3(a)	New	183	256×256
图 3(a)	Old	158	256×256
图 3(a)	Fdm	255	256×256
图 3(a)	Ideal	178	256×256

图 1 中(a)、(b)、(c)分别为人头图像的原图、灰度直方图和理想状态下的分割图像,从其灰度直方图(b)可以看出该图分布成双峰且两峰相距较远,两峰的数量相差悬殊的特点。

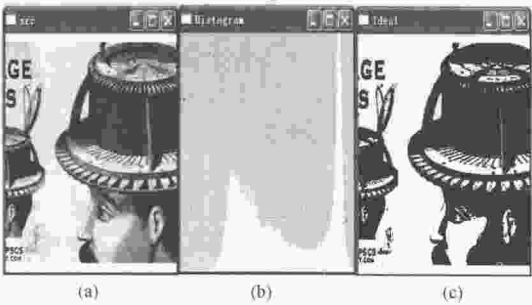


图 1 人头图原图像、灰度直方图、理想分割结果

图 2(d)、(e)、(f)分别为本文图像算法、模糊阈值分割算法、Fdm 算法对人头图像的分割结果图;通过表 1 和视觉效果上对比可以得到本文提出的算法较文献[5]提出算法更能对该类型图进行正确的分割,Fdm 对于这类图像有过分割的缺点。

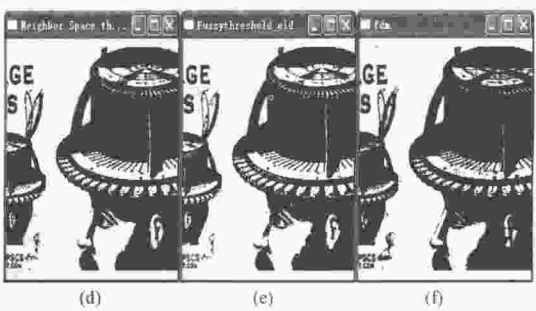


图 2 人头图本文算法分割、模糊阈值分割、Fdm 分割结果示意图

图 3 中(a)、(b)、(c)分别为假山图像的原图、灰度直方图和理想状态下的分割图像,从其灰度直方图(b)可以看出该图分布几近单峰的特点。

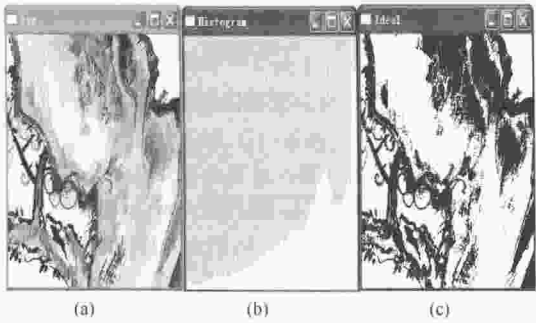


图 3 假山图原图像、灰度直方图、理想分割结果

图 4(d)、(e)、(f)分别为本文图像算法、模糊阈值分割算法、Fdm 算法对假山图像的分割结果图;从分割效果图以及表 1 的对比,可以看出本文算法效果优于文献[5]的阈值算法,而 Fdm 算法不能进行该类图像的分割。

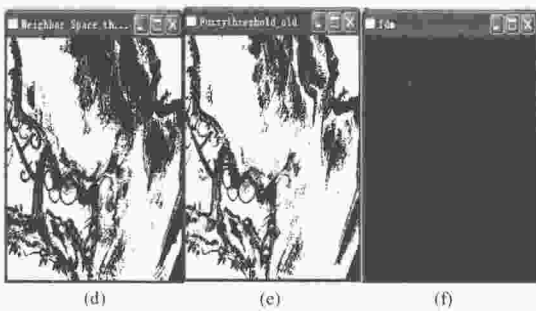


图 4 假山图本文算法分割结果、模糊阈值分割、Fdm 分割结果示意图

4 结 语

本文针对图像的模糊阈值分割算法研究现状,提出了基于空间信息的加权和灰度值信息的隶属度函数,并基于它设计了分割算法,实验表明该算法具有较强的稳定性和鲁棒性,对图像梯度图的灰度直方图接近单峰分布并且适用于峰与峰之间数量相差悬殊、分布相距较远的非典型双峰,具有较好的分割效果。

参 考 文 献

[1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001.
[2] Otsu N. A threshold selection method from gray level histograms[J]. IEEE Trans. Systems Man Cybern, 1979, 9:62-66.
[3] 刘平,陈斌,阮波. 基于边缘信息的图像阈值化分割方法[J]. 计算机应用,2004,24(9).

好对流程图画面做相应调整,如:批量更改画面的底色、泵或阀门形状、字体大小,批量增加或删除画面中显示的点,批量替换符合某一特征的宏等。另外,为了便于对流程图画面进行检索和管理,需要从流程图中提取各种信息,如点名称、宏号、子窗口号、点组号等。

实例 3 查找宏语句中包含以字符串 OCB 开头的点名的宏,获取该宏语句中的 X、Y 坐标及点名信息,利用这些信息重构新的宏语句

正则表达式:

```
Macro (\d{1,5}) (\d{1,5}) (\d{1,5}) (. * \OCB. * \r\n) (. * \r\n) {1,3} ? (? = Macro|BACKGROUND| \r\n)
```

说明:以 Macro 字符串开头,第一个(\d{1,5})表示由 1 至 5 个数字组成的宏号,第二个(\d{1,5})表示由 1 至 5 个数字组成的 X 坐标,第三个(\d{1,5})表示由 1 至 5 个数字组成的 Y 坐标,(. * \OCB. * \r\n)表示包含 OCB 的任意字符串,(. * \r\n) {1,3} ? 表示由任意字符串组成的 1 至 3 行字符串且优先匹配较短的字符串,(? = Macro|BACKGROUND| \r\n)表示以 Macro 或 BACKGROUND 或回车符结尾。

实例 4 从流程图中提取用到的点名

正则表达式: \[(^\\s\\r\\n) * \\)

说明:\\表示反斜杠符,\\s\\r\\n表示除反斜杠符、空格符、回车符之外的任意字符串。

3.5 控制逻辑图组态中的应用

为了便于对控制逻辑图和其中的算法进行检索和管理,需要从逻辑图中提取各种信息,如点名称、逻辑描述、算法名称、逻辑图名称、逻辑图号、控制器任务区等。

实例 5 从 Src 文件中提取以 MOD 字符串结尾的打包点名

正则表达式:

```
PTR_VALUE \ $ P1 \ $ I\d{3} \[ ([w] + - MOD)
```

说明:PTR_VALUE \ \$ P1 \ \$ I 表示以 PTR_VALUE \ \$ P1 \ \$ I 开头,\d{3} \ 表示 3 个连续的数字后面紧跟一个空格和一个 \ 符号,([w] + - MOD) 表示以 MOD 字符串结尾的任意长度的字符串。

实例 6 从 Src 文件中提取逻辑图名称、页号和控制号

正则表达式:

```
PTR_VALUE \ $ P3 \ $ A116X4 "(. * )" PTR_VALUE \ $ P3 \ $ A88X8 "(. * )" PTR_VALUE \ $ P3 \ $ A48X40 "(. * )"
```

说明:PTR_VALUE \ \$ P3 \ \$ A116X4 表示字符串 PTR_VALUE \ \$ P3 \ \$ A116X4,"(. *)"表示以"号"开头并以"号"结尾的任意长度的字符串,| 表示逻辑或,| 符之后的正则表达式与其之前的正则表达式的意义类似,说明从略。

实例 7 从 SVG 文件中提取逻辑图名称、页号和控制号

正则表达式:

```
cb-sheet-title = "(. * )" cb-sheet-number = "(. * )" cb-drop-id = "(. * )"
```

说明:以字符串 cb-sheet-title = " 开头,以字符串" 结尾,. * 表示不包含换行符的任意字符串,| 之后意义类似,说明从略。

4 结 语

正则表达式作为一种智能模式匹配规则,具有强大的文本

查找和替换功能,在网页解析、信息抽取、文本挖掘领域得到广泛的应用。他山之石可以攻玉,本文把正则表达式引入控制系统组态工程的各个环节,如点数据库组态、工艺流程图组态、控制逻辑图组态等,用各种实例证实了其在提高工作效率和质量方面起到的重要作用。

虽然正则表达式功能强大,但是熟练掌握和应用正则表达式并非易事。为此,本文把控制系统组态工程中常用的基于正则表达式的匹配规则编制成 Excel 插件,集成于 Excel 环境中。组态人员只需从正则表达式匹配规则列表中选择相应的匹配规则即可解决组态过程中的各种文本查找和替换问题。大大降低了组态人员使用正则表达式的门槛,从而使正则表达式在控制系统组态工程中得到广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] 潘世永,郑萍,李英.集散控制系统(DCS)的发展及展望[J].自动化与仪器仪表,2003(4).
- [2] 王立奉,夏德海,等.集散型控制系统 DCS 大未来[OL].2009. http://www.iianews.com/ca/_01-ABC0000000000118980.shtml.
- [3] Meltz G, Morey M, Glenn H. Formation of Bragg gratings in optical filter by a transverse holographic method[J]. Opt. Lett., 1989, 14(3): 82-85.
- [4] 华能国际电力股份有限公司.热工控制系统运行维护手册(Ovation 控制系统)[M].中国电力出版社,2008:1-2.
- [5] 张雄,管宇群.DCS 系统组态工程中的缺陷及 IO 清单标准化[J].华东电力,2010(3).
- [6] 王聪生.GBT50549.1《电厂标识系统(KKS)》标识规则[S].

(上接第 277 页)

- [4] 刘锁兰.基于模糊理论的图像分割区域法研究[D].南京理工大学,2008.
- [5] Guo Xijuan, Zhang Huanhuan, Chang Zheng. Image thresholding algorithm based on image gradient and fuzzy set distance[J]. ICIC Express Letters, 2010, 3(4): 1059-1063.
- [6] Geoffroy Fouquier, Jamal Atif, Isabelle Bloch. Sequential model-based segmentation and recognition of image structures driven by visual features and spatial relations[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2012, 116: 146-165.
- [7] Chaira T, Ray A K. Segmentation using fuzzy divergence[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(12): 1837-1844.
- [8] 冈萨雷斯,等.数字图像处理[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [9] Chaira T, Ray A K. Segmentation using fuzzy divergence[J]. Pattern Recognition Letters, 2003(24): 1837-1844.

(上接第 318 页)

- [7] 张博.基于内容安全的中文网页过滤系统[D].西安电子科技大学,2006.
- [8] 朱焯行,等.基于内容审查过滤的网络安全研究[J].计算机应用研究,2006,24(10):130-132.
- [9] 陈阳贵,袁卫忠,谢俊元.基于自然语言处理的 Web 内容过滤模型[J].计算机应用研究,2001(7):125-128.
- [10] Alain Mayer, Avishai Wool, Ziskind Fang E. A firewall analysis engine[J]. Proc. of IEEE Symp. on Security and Privacy, 2000, 44(3): 177-187.
- [11] 张颖江,陈驰.WEB 内容过滤方法的研究与应用[J].武汉科技学院学报,2005(18).