

# 基于MATLAB的雾化图像处理及雾化角的测定\*

邓 巍, 丁为民, 柳平增, 张 浩

(南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210031)

[摘 要] 采用计算机图像视觉的方法, 利用MATLAB强大的图像处理功能, 对拍摄的喷雾图像进行了去噪及二值化等初步处理, 提取其边缘图像, 对不规则的喷雾图像边缘进行了最小二乘拟合, 得到了最近似于该边缘的2条相交直线, 二者夹角即为所要求的雾化角。根据最小二乘拟合的定义, 该方法的误差平方和最小, 从而使雾化角的确定精度大大提高。

[关键词] 雾化角; MATLAB; 图像处理; 最小二乘法拟合

[中图分类号] TN 911.73

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)07-0155-05

农药污染已成为世界性问题, 自20世纪六七十年代开始已引起世界发达国家的高度重视。在我国, 由于农药长期大量投入已对农业生态环境构成严重威胁, 其中仅农药污染的农田就达133万hm<sup>2</sup>[1], 同时又造成水资源污染等, 每年因农业污染造成的直接经济损失高达160亿元。造成农药污染的原因除与所使用农药的种类和性质密切相关外, 还与植保机械的关键部件“喷头”的喷洒质量密切相关。

雾化质量是表征喷嘴性能的重要参数, 也决定着实际工艺过程的质量效果。雾化质量是由雾滴群的尺寸分布、平均尺寸、喷雾雾化角以及流量密度分布等特征参数来表征的, 其主要指标有雾化角、雾化粒度。对雾化粒度的研究相对较雾化角成熟, 以往雾化角的确定大都基于约定某点的切线, 由两根切线的夹角求得[2]; 或是在两侧边界对应找4个点, 由每侧2点作直线, 两条直线的夹角即为雾化角[3]。这些方法均有局部性和主观性, 不能根据实际喷雾状况, 最优逼近实际的喷雾角, 且欠缺实时性。

MATLAB是美国Mathworks公司1994年推出的优秀大型科学计算软件, 其优化工具箱中含有一系列优化算法函数, 集应用程序和图形于同一环境[4], 用户可根据需要选择合适的优化函数解决工程实际中的各种优化问题。MATLAB已成为科学计算、系统仿真、信号与图像处理的主流软件[5]。在MATLAB环境下, 所解问题的M语言表述形式与其数学形式相同, 不需要按照传统的方法编程, 犹如

在一张演算纸上排列公式和求解问题一样效率很高, 因此被称为“演算纸式的”科学工程算法语言[6]。

本文介绍了一种基于MATLAB的实时、快速显示并测定喷雾角的测量方法, 以有效避免以往测定方法中的局部性, 从而为喷雾角的准确推求提供了方法上的参考。

## 1 现有的雾化角测量方法

由于从喷嘴喷射出的雾化角及雾化形状受外界因素的影响较大, 如喷射压力和风速等。因此, 喷雾图像不是很规则, 边缘往往不是直线, 因而对喷雾角的计算国家尚无统一的标准。现有的雾化角测定方法有以下几种。

### 1.1 出口雾化角

可将出口雾化角看作喷嘴雾化角的一种近似表示方法, 如图1所示。

图1表明, 在喷嘴的出口作雾化边界的切线, 2根切线的夹角即为出口雾化角( $\alpha$ )。

出口雾化角的数值与理论计算值比较接近, 其理论计算公式为[2]

$$\alpha = 2 \arcsin \left[ \frac{2A\mu}{1 + \sqrt{1 - \varphi}} \right] \quad (1)$$

式中,  $\alpha$  为出口雾化角;  $A$  为喷嘴的几何特性参数,  $A = \frac{1 - \varphi}{\varphi \sqrt{\frac{\varphi}{2}}}$ ;  $\varphi$  为有效出口截面系数,  $\varphi = 1 - (r_w/r_c)^2$ ,

\* [收稿日期] 2005-09-13

[作者简介] 邓 巍(1969-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 副教授, 在读博士, 主要从事图像处理与信息融合研究。

E-mail: njaudwei@126.com

[通讯作者] 丁为民(1957-), 男, 安徽合肥人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业现代设计理论与方法、设施农业及其环境控制研究。

E-mail: wm.ding@jlonline.com

其中,  $r_{\text{满}}$  为空气涡半径,  $r_c$  为喷嘴出口外圆半径;  $\mu$

为喷嘴的流量系数,  $\mu = \varphi \sqrt{\frac{\varphi}{2 - \varphi}}$

由以上论述可见, 采用此种方法确定喷嘴雾化角很困难, 因其涉及很多参数, 而且不是从全局考虑喷射范围。

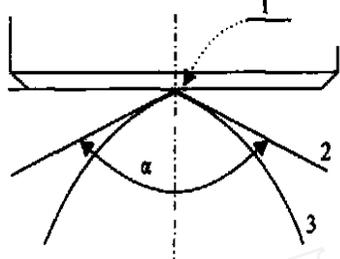


图 1 出口雾化角的确定

1. 喷雾出口; 2. 出口点切线; 3. 射流边界

Fig. 1 Detemination of the exit spray angle

1. Exit of nozzle; 2. Exit point tangent; 3. Jet flow's edge

由图 2 可见, 条件雾化角的计算公式为:

$$\alpha_c = 2 \arctan \frac{y}{x} \quad (2)$$

条件雾化角是喷嘴雾化角的另一种近似表示方法。对于此种方法, 由于其只是通过 3 个点来确定雾化角, 如果这几个点测量不准, 会使雾化角计算误差较大, 且测量这几个点的方法也较为复杂。

### 1.3 根据射流边界有明显直线部分测定雾化角

如图 3 所示, 喷头喷出的射流往往是不规则的图形。在射流边缘, 找到有明显界线的直线部分, 作其切线, 两侧射流直线部分切线的夹角即为雾化角。很显然, 要找到射流边界的直线部分很困难, 也无明显的界定, 势必会引起很大的误差。

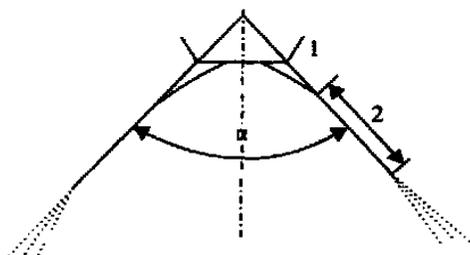


图 3 根据射流直线部分确定的雾化角

1. 喷头; 2. 射流边界明显的直线部分

Fig. 3 Detemination of spray angle according to the line part of the jet flow's edge

1. Nozzle; 2. Obvious straight line part of the jet flow's edge

### 1.2 条件雾化角

在离喷嘴一定距离处, 作 1 条垂直于雾化中心线  $l_2$  的垂线  $l_1$ , 或以喷嘴出口中心为圆心作一圆弧, 其与喷雾边界有 2 个交点, 将这 2 点和喷嘴中心相连, 2 连线的夹角即为条件雾化角(图 2), 在距离喷嘴  $X_{\text{mm}}$  处测得的条件雾化角用  $\alpha$  表示<sup>[3]</sup>。

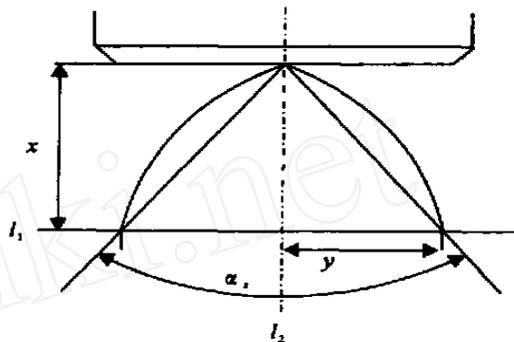


图 2 条件雾化角的确定

Fig. 2 Detemination of the condition spray angle

由以上雾化角的测量方法可以看出, 影响雾化角的因素很多, 所以建立经验公式的难度很大, 也很难说明哪一种方法能更精确地测量雾化角。

## 2 基于 MATLAB 的雾化角图像确定方法

由于现有雾化角测量方法所得结果的误差均较大, 为此可以根据误差平方和最小的原则, 采用最小二乘拟合的方法, 用直线拟合最接近雾化射流的边缘曲线, 两条拟合直线的夹角即为所要得到的雾化角。

### 2.1 图像采集

常用的图像采集方法主要有以下 3 种:

2.1.1 用数码相机拍摄静态图片 这种方法比较简单, 图像清晰度较高, 移动性强; 缺点是获得的图像容易倾斜, 畸变; 或因光照不均匀而出现阴影等现象, 使图像的预处理较为困难。

2.1.2 用数字摄像机采集动态图像 一般是把数字摄像机(摄像头)固定在支架上, 通过图像采集卡把数字影像输入计算机, 通过计算机观察动态图像, 根据需要采集静态图像。这种方法采集速度和传输速度快, 图像较小。可以通过在不同角度放置光源来消除阴影, 比较具有可塑性, 通过支架的调节还能消除图像畸变, 图像质量较高。但这种方法存在光照不

均匀的问题, 而且还需图像尺寸的标准参照。

2.1.3 用扫描仪扫描图像 采用这种方法得到的图像分辨率高, 图像不会发生畸变, 光照均匀; 图像的尺寸信息直接包含在图像文件中, 可以直接应用而无需矫正。但分辨率过高对形态参数的估计并无帮助, 反而影响处理速度。

在实际应用中, 可根据需要及这3种方法的不同特点, 选用不同的图像采集方法<sup>[7]</sup>。本研究采用数码相机获取图像, 读入MATLAB后未经处理的真彩色图像(RGB)如图4所示。

## 2.2 图像处理

图像处理是为了更有效地研究和分析图像, 即把给定的图像及已分割的图像区域用更简单明确的数值、符号或图形来表示, 而这些数值、符号或图形是按一定的概念和公式从原图像中提取出来的, 其反映了原图像的重要信息及其主要特性<sup>[5]</sup>。目前常用的图像处理有: 图像类型转换、图像裁减、图像变换、图像增强、图像分割、特征提取等。

2.2.1 图像去噪处理 本实例中利用MATLAB小波分析图像用户界面(GUI)的工具对图像进行去噪处理。

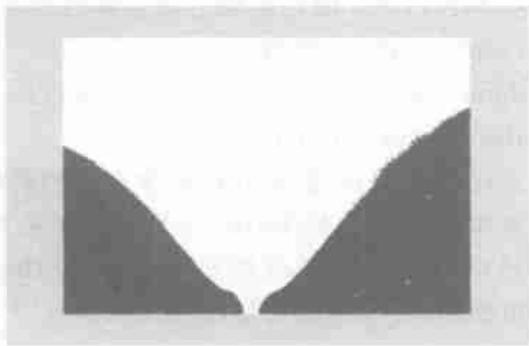


图4 读入MATLAB后未经处理的真彩色图像  
Fig. 4 Unprocessed RGB image read in MATLAB

2.2.3 边缘提取 为了得到喷雾射流边缘曲线, 必须对二值图像BW进行边缘提取。

边缘检测技术对于处理数字图像非常重要, 因为边缘是所要提取目标和背景的分界线, 提取出边缘才能将目标和背景区分开。在图像中, 边界表明一个特征区域的终结和另一个特征区域的开始, 边界所分开区域的内部特征或属性是一致的, 而不同区域内部的特征或属性是不同的, 边缘的检测正是利用物体和背景在某种图像特性上的差异来实现的, 这些差异包括灰度、颜色或纹理特征等。

(1) 在MATLAB命令窗口输入“wavemenu”, 打开小波分析的图像用户界面窗口。

(2) 单击小波分析的图像用户界面窗口中的Wavelet 2-D按钮。在Wavelet 2-D的用户界面窗口中选择File菜单里的Load Image命令读入图像。同时还可在此界面的右上角的选择项中, 选择分析用的小波基函数以及分解的层数。

(3) 单击De-noise按钮。在新产生的窗口中可选择阈值处理的方法, 还可手动设定阈值, 这样就可以一边修改阈值, 一边观察去噪效果, 直到去噪效果满意为止。

2.2.2 图像类型转换 用数码相机或摄像机拍到的图像均为真彩色图像。在此种雾化角测定方法中, 要求两边界夹角, 需要提取两边射流线(边缘提取), 因此必须把RGB图像转换成二值图像BW。首先用数码相机或CCD摄像头扫描获得喷雾图像, 并将数字图像信号通过USB接口传至计算机, 利用MATLAB的图像处理功能将图像转换成二值图像(语句为: BW = im2bw(RGB, 0.4))。转换后的二值图像如图5所示。

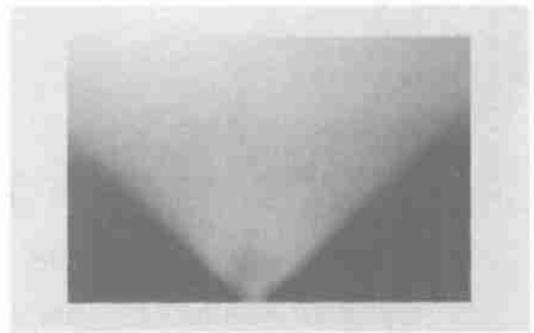


图5 RGB图像转换后的二值图像BW  
Fig. 5 Two-value image (BW) transformed from RGB image

由于噪声和模糊的存在, 检测到的边界可能会变宽或在某些点处发生间断, 因此边界检测包括两个基本内容: 首先抽取反映出灰度变化的边缘点, 然后剔除某些边界点或填补边界间断点, 并将这些边缘连接成完整的线<sup>[5]</sup>。这可以由MATLAB图像处理工具箱提供的edge函数来实现。

由于目的是要计算雾化角, 因此本研究并未使用现成的edge函数, 而是应用MATLAB提供的M语言编程方法, 编写了提取边界点的程序, 然后基于这些提取出来的边界点进行直线拟合。编写的程序

如下:

```

j= 0; % 纵坐标循环变量
for i= 150 10 800; % 横坐标循环变量
    q= find(BW (i, )= = 1); % 第 i 行的边界纵作标矩阵
    if~ isempty(q); % 判断是否找到边界点
        j= j+ 1;
        [q1, q2]= size(q); % q1, q2 分别是 q 矩阵横坐标和纵坐标的个数
        e0(j, )= [i q(1) q(q2)];
        % i 是边界点的横坐标; q(1) 是第 1 条边界曲线纵坐标; q(q2) 是第 2 条边界曲线纵坐标; e0 是由 i, q(1), q(q2) 组成的矩阵
    end
end
end

```

提取的喷雾图像边缘曲线及其拟合直线如图 6 所示。

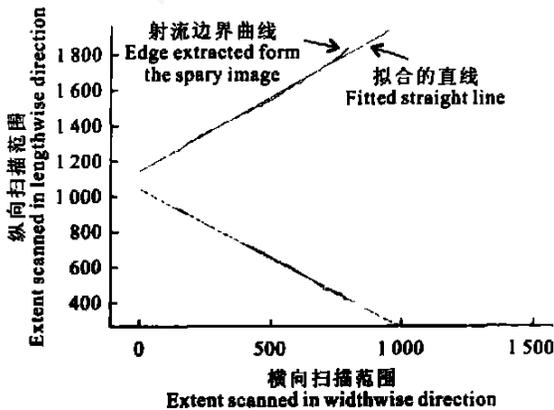


图 6 提取的喷雾图像边缘曲线及其拟合直线

Fig. 6 Edges extracted from the spray image and its fitted straight lines

### 2.3 数据拟合及雾化角的推求

2.3.1 数据拟合 在实际工程应用中,经常需要得到一条光滑的数据曲线或直线,而实际上只能测得一些分散的数据。在许多情况下,需要利用这些不连续点,运用最小二乘法等算法,用多项式或其他已知函数生成一个新的多项式或已知函数对已知的数据点进行逼近,实际最常用的曲线拟合是多项式曲线拟合<sup>[8]</sup>。

在 MATLAB 中,用函数 polyfit( )对一组数据进行定阶数的多项式拟合,调用方式为: p= polyfit(x, y, n),用最小二乘法对输入的数据 x 和 y 用 n 阶多项式进行逼近,其中 x, y 分别为已知数据的横

坐标和纵坐标; n 为拟合多项式的阶数。函数返回多项式的系数,为一个长度为 n+ 1 的向量。

对于测定雾化角而言,只需将两侧射流线都拟合成直线即可,则 n 取 1。用 M 语言编写的拟合程序如下:

```

p1= polyfit(e0( , 1), e0( , 2), 1); % p1 是左边界曲线的拟合直线系数
p2= polyfit(e0( , 1), e0( , 3), 1); % p2 是右边界曲线的拟合直线系数
x= 0 1000; % 横向扫描点
y1= polyval(p1, x); % 左边界拟合所得直线的值范围
y2= polyval(p2, x); % 右边界拟合所得直线的值范围
plot(x, y1, x, y2); % 画出拟合直线

```

经最小二乘拟合所得的直线如图 6 所示。因此, 2 条直线的斜率也是已知的。

2.3.2 计算夹角 求 2 条直线夹角时,利用其斜率,通过公式  $\alpha = \arctan \left| \frac{\text{tg } \gamma - \text{tg } \beta}{1 + \text{tg } \gamma \text{tg } \beta} \right|$  (其中,  $\alpha$  为 2 条直线夹角;  $\text{tg } \gamma, \text{tg } \beta$  分别为 2 条直线的斜率),即可求出两侧射流线夹角的度数,即雾化角。

用 MATLAB 语句实现上述运算的程序为:

```

a= p1(1); b= p2(1);
theta= atan(abs((a- b)/(1+ a* b)))
alfa= theta*(180/pi)

```

上述程序中, a 是左边界拟合直线的斜率; b 是右边界拟合直线的斜率; theta 是雾化角的弧度值; atan 是反正切; abs 是求绝对值; alfa 是 theta 所对应的角度,即所求的雾化角; pi 是 MATLAB 中  $\pi$  的表示方法。

## 3 讨论及结束语

所谓最小二乘拟合,就是对于给定一组数据  $\{(x_i, y_i), i= 1, 2, \dots, N\}$ ,希望采用多项式模型对数据组进行描述,且拟合目标是对于形如  $y(x) = f(a, x) = a_1x^n + a_2x^{n-1} + \dots + a_nx + a_{n+1}$  的 n 阶多项式模型,求取参数  $a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1}$  使得误差平方和最小,即: 
$$\chi^2(a) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{y_i - f(a, x_i)}{\Delta y_i} \right)^2$$

因此,本文所提出的方法中,可以用拟合所得直线的最小误差平方和,来衡量采用此方法测定结果的精度。

植保机械喷头的雾化角是衡量雾化质量的主要

指标之一,为了提高分流量测定精度,就必须提高雾化角的测试精度。本文针对以往的雾化角测定办法中较难定量衡量其测量精度的问题,提出了使误差平方和最小的最小二乘拟合,利用MATLAB 工具

箱中现有的最小二乘拟合直线的函数,对两条边界射流线进行拟合,得到最接近实际射流边界的2条直线,进而求得了误差平方和最小的雾化夹角,从而使雾化角的测量精度大大提高。

#### [参考文献]

- [1] 胡宏祥,洪天求,马友华. 农业非点源污染及其防治策略研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(4): 315-317.
- [2] 陈 熙. 环形出口截面的离心喷嘴的简单分析[J]. 力学学报, 1978(4): 332-339.
- [3] 胡传胜,熊洪亮,虞先煌. 喷嘴液滴雾化细度和喷雾角测量装置的研究[J]. 能源研究与信息, 2001, 17(4): 225-231.
- [4] 庞 博,王振清. 基于Matlab 的数据处理与三维模拟[J]. 微型计算机信息, 2004, 20(1): 112-113.
- [5] 孙兆林. MATLAB 6.x 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [6] 朱美玲,赵淳生. 一种万能的数学运算“演算纸”——MATLAB[J]. 振动、测试与诊断, 1995, 15(2): 57-62.
- [7] 张恒敢,杨四军,顾克军. 应用数字图像处理获取小麦籽粒外观特征参数的方法及其Matlab 实现[J]. 江苏农业科学, 2005(1): 28-30.
- [8] 罗成汉,刘小山. 曲线拟合的Matlab 实现[J]. 现代电子技术, 2003(20): 16-20.

## A method of processing the atomization image and detecting the spray angle

DENG Wei, DING Weimin, LIU Ping-zen, ZHANG Hao

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210031, China)

**Abstract:** This paper introduces a computer image vision method. Taking advantage of the powerful image processing function in MATLAB, the atomization image taken by a video camera was pre-processed with de-noise processing and binaryzation processing. And the image edges were extracted. Then the irregular edges of atomization image were fitted to regression lines using the least square fitting function. Two intersected straight lines most approximate to the edges were obtained. The angle between the two lines was just the wanted atomization angle. According to the definition of least square fit, its error sum of squares is the least. Thus, the precision for determining the atomization angle is improved greatly.

**Key words:** atomization angle; MATLAB; image processing; least square fit