

# 种子动态图像匹配与拼接技术研究

李伟 林家春 毛恩荣

(中国农业大学工学院,北京 100083)

**摘要** 在基于机器视觉的多排种动态检测技术研究中,鉴于播种后种子动态图像的匹配与拼接精度是个需要解决的难题,为此从系统实时性要求出发,在运用模式识别技术进行检测的实践基础上,阐述了检测系统的构建原理,分析了影响图像拼接精度的因素,进而提出了基于标记的图像匹配与拼接方法、重叠区域设置技术等,从而为试验台自动检测奠定了基础。该理论分析经过大量试验验证表明,该方法应用于检测试验台中,检测误差小于等于 $\pm 2\text{mm}$ ,可满足系统实时检测技术要求。

**关键词** 种子粒距检测 动态图像拼接 重叠区域标记 模式识别

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2004)05-0578-06

## A Study on Matching and Joining Techniques of Dynamical Image of Seeds

LI Wei, LIN Jia-chun, MAO En-rong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract** While research on the new multi-seeder dynamical testing technology based on image techniques, one of the most important problems is the matching and joining of the serial dynamical images of seed kernels. In this paper, a useful method is introduced to solve this problem. Based on the theory of pattern recognition, this method successfully meets the requirement of real-time test. The theory of the building of a testing system is explained, factors that influence the precision of image joining is analyzed and methods used to join the serial images is proposed. A universal test-bed system is expounded that can be used to test the performance of precision seeders, grain drills and seeding monomer. This test bed, which is automatically controlled, can measure the seed kernels interval correctly and reliably. Experiments show that theory and method are practical, speedy and reliable. The requirement of real-time test is satisfied. The test error of the system is within 2mm.

**Keywords** seed kernels interval testing, dynamical image joining, overlapped area marking, pattern recognition

### 1 引言

目前国内外进行播种机性能检测主要是以光电检测手段为主,即通过记录两粒种子落下的时间间隔和播种机地轮前进的速度来计算种子落地后的间距,这属于间接测量,但它不能直接反映播种机运行情况<sup>[1~3]</sup>,而基于机器视觉的多排种动态检测试验技术则是一种用于精密播种机、谷物条播机和播种单体、排种器播种均匀性的检测技术,它可实现种子粒距的准确、可靠测量以及试验台操

作的自动化控制,并可为播种机械产品的科研与生产提供科学、有效的分析方法与手段,因此提高了我国在种植领域的自动化检测水平。

这种基于机器视觉的动态图像实时处理技术,一个重要的问题是由于种子这类粒状物,播种时的规律性较差,因此目标物体在图像中的位置是不确定的。据统计,目前国内播种机合格率不高,如播种均匀度只达到70%左右,很多播种机会出现漏播,致使需要局部重播,而重播后的种子分布又极无规律性。本文研究的检测系统,其原理是通过检测播种后种子粒距的均匀度来检测播种机质量,所以在高

基金项目:农业部种子工程资助项目(200KY001)

收稿日期:2003-08-20;改回日期:2003-12-05

速运动的传送带上,不仅要动态序列图像中的种子目标进行准确区域划分及定位,还要对序列图像进行精确拼接,同时还需考虑去除大量冗余图像信息和处理有效图像面积,减少计算机存储、计算量,从而提高处理速度,以满足实时检测的需要<sup>[4,5]</sup>。

模式识别技术是通过构造自动处理某些信息的机器系统,以代替人工来完成分类与辨识的任务<sup>[6,7]</sup>。基于特征的模式识别与匹配技术,是通过采集的图像进行大量的统计分析来抽出图像中的主要特征,并将它作为识别的依据<sup>[6]</sup>。在本研究的序列图像中,是先通过标记的形式确定一系列等间距的特征点,然后通过每一帧中特征点的匹配来建立各帧图像中种子目标的位置关系,以达到运动图像跟踪、动态图像拼接、重叠区域标记、种子目标快速识别的目的。

## 2 检测系统构建

检测系统的结构如图1所示,其播种机或播种单体(排种器)静止安装在橡胶带上方,并在调速电机拖动下,橡胶带相对播种机做水平运动,种箱内的种子经排种器、排种管掉落在胶带上,胶带上涂有润滑油,以使种子与胶带不发生相对位移。检测试验时,胶带在通过测量系统摄像头时,摄像头实时采集视野内的图像,然后经软件对图像进行处理和分析来实现对种子粒距的测量,而系统程序同时对胶带移动速度、排种器转速等实施协调控制,以完成全程自动检测<sup>[8]</sup>。检测试验台长16m,宽1.9m,传送带移动速度在0.5m/s~3.0m/s范围内无级变速,3台摄像机并行工作,同时完成3台播种机播种精度的实时检测,每个播种机播种250粒,3行共750粒,其粒间距30mm~250mm不等。

系统采用彩色三分量独立采集技术,即选用一

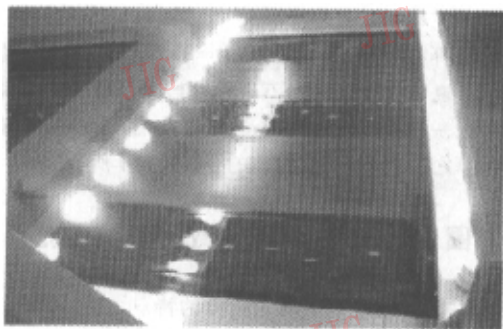


图1 检测系统构建

块支持RGB三分量视频信号独立采集的彩色图像卡,将3个同步的黑白独立视频源作为图像卡的3个标准R、G、B分量输入,并按照 $8 \times 3 = 24\text{bit}$ 方式完成数据的存储。图像分辨率为 $768 \times 576$ 像素阵式,单帧图像大小为 $270\text{mm} \times 200\text{mm}$ 。

## 3 标记匹配与图像拼接原理

序列图像检测的一个关键问题就是各帧图像之间的拼接,因为图像匹配是否准确对测量的精度有着重要的影响。本系统采用了在胶带的取像边缘上预制等间隔为20mm,直径分别为10mm和6mm的圆标记,并用此标记作为前后两帧图像匹配时的特征点(如图2所示)。该标记制作方法是:先在胶带上腐蚀出深度为3mm,直径为10mm和6mm等间距的凹坑,然后用黄色油漆填充,并与胶带平面找平,但要保证在试验台运动过程中,标记与漆面不被损坏,实验表明,该标记设计合理,不仅对制作精度要求不高,且能保证大量高速实验的精度要求。

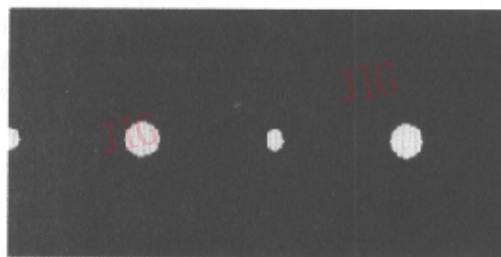


图2 预制标记点

图3中,位于图像中心线附近的椭圆代表种子,图像下方的不同大小间隔的小圆圈代表标记。匹配基于如下原理:图3(a)所示是计算机所采集的两帧相邻图像,匹配时,首先对图像进行预处理、分割,然后进行边界两粒种子间距的测量,即如图3(b)一样将相邻两帧图像拼接起来,但这样计算量相当大,因为要搬动大量的像素,算法也比较繁杂。采用的另一种匹配方法如图3(c)所示,即先分别在两帧图像中查找同样大小的完整标记,然后计算标记形心的像素坐标,在第1帧图像中像素取到此就结束,在第2帧图像中从同样标记的形心开始取像素,再将两个标记点匹配在一起,就相当于将两帧图像拼接起来,这样就免去了图像拼接要做的大量搬动像素的工作,也能达到图像拼接的效果。

当检测的播种机为精播机时,可利用街区距离

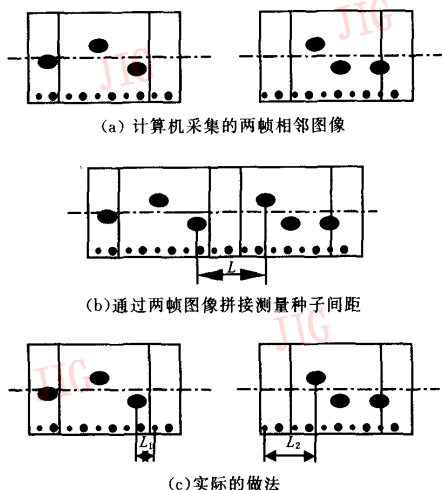


图3 标记匹配与图像拼接原理

公式求相邻两幅图像的种子间距 $L^{[9]}$ ,设前一帧图像重叠区前的最后一粒种子在水平方向的投影坐标为 $x_p$ ,前一帧图像中与后一帧图像重叠区的第1个完整标记在水平方向的投影坐标为 $x_{n_1}$ ,后一帧图像与前一帧图像重叠区的第1个完整标记在水平方向的投影坐标为 $x_{n_2}$ ,后一帧图像重叠区之后的第1粒种子形心在水平方向的投影坐标为 $x_q$ ,则种子间距计算公式如下:

$$L = L_1 + L_2 = |x_{n_1} - x_p| + |x_q - x_{n_2}| \quad (1)$$

当检测的播种机为条播机时,则首先将图像在水平方向划分为等大小的区块,然后测量该区块内种子的粒数。此时图像的拼接方法与检测精密播种机原理是一样的,都需要找到重叠区域的第1个完整标记,并以此标记作为图像拼接的基准。

算法实现步骤如下:

- ① 搜寻前一帧图像中重叠区域的完整标记,并提取其位置和大小特征;
- ② 搜寻后一帧图像中相同重叠区域的完整标记,并提取其位置和大小特征;
- ③ 判断前后两帧图像重叠区的第1个完整标记的特征是否匹配;
- ④ 取后一帧图像重叠区的第2个标记与前一帧图像重叠区的第1个标记进行匹配,如果匹配,则执行步骤6;
- ⑤ 取后一帧图像重叠区的第1个标记与前一帧图像重叠区的第2个标记进行匹配,如果匹配,则执行步骤6;

⑥ 由式(1)求粒距。

由于在上述标记匹配的算法中考虑了工作台运动速度变化的影响,因此只要工作台瞬时运动速度变化误差在20ms内使胶带移动的距离变化不超过一个标记点,即10mm,则上述匹配算法都将满足精度要求。试验结果表明,胶带的移动速度偏差为 $E = V \times 0.8\%$ ,其中 $V$ 代表胶带移动速度,胶带实际移动速度的变化范围为 $(V - E) \sim (V + E)$ 。例如:当 $V = 0.5 \text{ m/s}$ 时:胶带实际移动速度允许变化范围为 $0.4375 \text{ m/s} \sim 0.504 \text{ m/s}$ ,当 $V = 3.0 \text{ m/s}$ 时:胶带移动速度允许变化范围为 $3.025 \text{ m/s} \sim 2.625 \text{ m/s}$ 。图像匹配后,实验表明拼接精度可精确到0.5mm。

#### 4 像素数量绝对差值匹配准则

基于标记点特征的图像匹配方法是:对于分割后的二值图像,首先,找出前一帧图像中的标记 $P_k$ 与后一帧图像中的标记 $P_{k+1}$ ,并提取其特征,然后通过特征匹配判断这两个标记是否为同一标记,这里用的特征为标记的大小。

标记的大小特征,用其面积表示,计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$A = \sum_{i=p}^u \sum_{j=q}^v B[i, j] \quad (2)$$

其中 $A$ 为标记的大小, $B[i, j]$ 为图像中的点 $(i, j)$ 的像素值, $(p, q)$ 为标记左上角像素在图像中的位置, $(u, v)$ 为标记右下角像素在图像中的位置。匹配方法为:设 $A_k$ 为已识别的前一帧图像的标记的大小, $A_{k+1}$ 为后一帧图像的标记的大小,并记 $d$ 为两个标记的特征差值,这里的特征即为标记的大小,则其计算公式如下

$$d = |A_k - A_{k+1}| \quad (3)$$

选择特征差 $d$ 的阈值为 $T = 8$ ,判断准则如下:若 $d > T$ ,说明特征不一致,不是同一个标记;若 $d \leq T$ ,说明特征一致,是同一标记。 $d$ 相当于将两个标记块作异或运算之后值为1的像素点的个数如图4所示。

#### 5 图像匹配中重叠区域的设置方法

根据播种过程中动态图像的特点,必须设置一定的采集重叠区,才能通过重叠区内标记的查询与匹配来达到两帧图像的严格拼接。

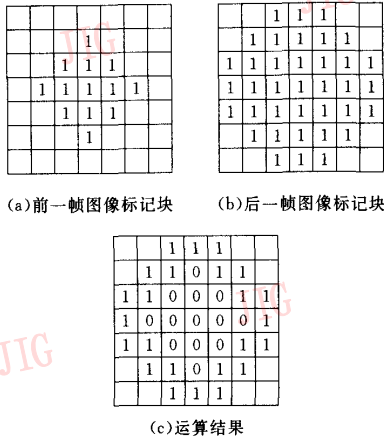


图 4 图像运算示例

重叠区域设置原则是:

(1) 在上一帧图像重叠区域出现的第 1 个完整标记,必须在下一帧图像重叠区域以完整标记的形式出现,二者才能进行匹配。

(2) 为了使处理数据量不过大,采集帧数应尽量少,但要保证有最小重叠面积,且重叠区内只能有唯一匹配的完整标记。

(3) 在保证拼接精度的前提下,可通过减小重叠区,以降低数据存储量。

5.1 重叠区域对存储数据量的影响

由以上分析可知,设置较大的重叠区有利于标记的查询,并可以极大程度地降低因工作台运动速度变化带来的拼接误差,但是这样将带来图像采集数量的增加,而加大处理工作量。根据检验要求,每台播种机播种 250 粒,其粒间距为 30mm~250mm,传送带移动长度 7500mm~62500mm,一幅图像的取像范围 270mm×200mm,理论上,在零重叠区的条件下,采集 28 帧~232 帧即可。根据拼接的需要,如重叠区域加大,则采集帧数要增多。以  $V=0.5\text{m/s}$  为例,其采集数据量见表 1。

表 1 采集数据量表 ( $V=0.5\text{m/s}$ )

重叠区宽度 (mm)	帧间隔 (帧)	采集时间间隔 (s)	采集图像总帧数	
			粒间距 (30mm)	粒间距 (250mm)
0	26	0.52	28	232
40	23	0.46	33	272
50	21	0.42	35	285
60	20	0.40	36	298
70	19	0.38	38	315

由表 1 可见,随着重叠区增加和采集帧数的增

加,一帧图像所占内存为  $768 \times (576/2) \times 3 \div 1024 \div 1024 = 0.64\text{M}$ ,当粒间距为 250mm 时,最大需内存  $315 \times 0.64\text{M} = 202\text{M}$ 。显然合理地设置帧间隔及重叠区宽度是非常必要的。

5.2 传送带移动速度变化对拼接精度的影响

本系统运动图像采集方案是:摄像机静止不动,被测种子随工作台运动,但工作台瞬时运动速度变化对图像拼接精度及重叠区的设置带来较大影响。实验系统是由电动机经变频器调速控制,经 PLC 控制单元形成闭环的速度控制系统,经大量实验监测,传送带瞬时移动速度偏差为  $E=V \times 0.8\%$ ,考虑安全情况,设定速度偏差为  $E=V \times 1.0\%$ 。下面分析传送带极限移动速度对拼接精度的影响。

设传送带移动速度(简称带速)为  $V$ ,最大速度偏差为  $E_{\max}$ ,采集单帧图像时间  $t=0.02\text{s}$ ,帧间隔为  $I$ ,则实际每采集 1 帧图像的时间间隔为  $T_I=(I+1) \cdot t$ ,在该时间内胶带最大移动量  $\delta_{\max}=E_{\max} \cdot T_I$ 。

显然,因为传送带移动速度越慢,帧间隔越大,两帧图像之间位置差越大,其标记定位与匹配可能产生的误差也越大,所以重叠区相对要增大。为了保证在重叠区域内至少有一个完整的标记,理论上重叠区域的宽度不少于 28mm(即标记的中心距再分别加上大小标记的半径  $S_{\min}=20+5+3=28\text{mm}$ )就可满足要求,但实际上由于图像采集时,每帧图像的边界是不定的,所以为了使测量更加可靠,根据不同的胶带移动速度及采集图像的分割极限情况来调整重叠区域宽度与帧间隔尤为必要。

图 5 为以标记 1 作为正确拼接标记的分析,即标记 1 为前后两帧图像的重叠区域内第 1 个完整标记。

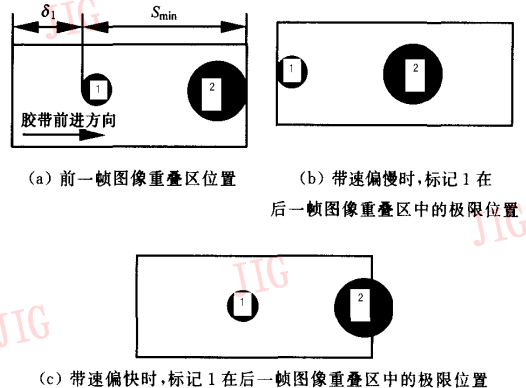
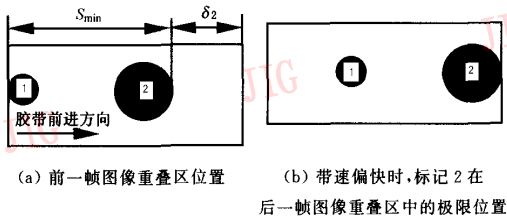


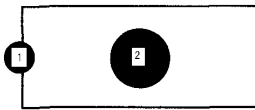
图 5 以标记 1 为匹配标志的极限图

图 5(a) 为前一帧图像的重叠区位置图, 其中标记 1 到图像边缘的距离为  $\delta_1$ ; 图 5(b) 表示胶带的实际移动速度偏慢时匹配标志极限位置, 为了保证标记 1 仍然完整, 应使  $\delta_1 \geq \delta_{\max}$ ; 图 5(c) 表示胶带的实际移动速度偏快时匹配标志极限位置, 这种情形下, 带速允许变动的范围为  $(S_{\min} - 6)$  mm。

图 6 为以标记 2 作为正确拼接标记的分析, 即标记 2 为前后两帧图像的重叠区域内第 1 个完整标记。图 6(a) 为前一帧图像的重叠区位置图, 其中标记 2 到图像边缘的距离为  $\delta_2$ ; 图 6(b) 表示胶带的实际移动速度偏快时匹配标志极限位置, 为了保证标记 2 仍然完整, 应使  $\delta_2 \geq \delta_{\max}$ ; 图 6(c) 表示胶带的实际移动速度偏慢时匹配标志极限位置, 这种情形下, 带速允许变动的范围为  $(S_{\min} - 10)$  mm。



(a) 前一帧图像重叠区位置 (b) 带速偏快时, 标记 2 在后一帧图像重叠区中的极限位置



(c) 带速偏慢时, 标记 2 在后一帧图像重叠区中的极限位置

图 6 以标记 2 为匹配标志的极限图

可见, 实际重叠区域宽度为

$$\hat{S} = S_{\min} + \delta_{\max} + \Delta \quad (3)$$

其中,  $\hat{S}$  为实际重叠区宽度,  $\delta_{\max}$  为带速变化引起的胶带位移变化的最大值,  $\Delta$  为提高拼接精度而根据经验增加的宽度。

又根据图像采集原理, 帧间隔计算公式如下:

$$I = \frac{270 - \hat{S}}{V \times t} - 1 \quad (4)$$

其中  $I$  为帧间隔(帧),  $V$  为胶带移动速度(m/s),  $\hat{S}$  为实际重叠区宽度(mm),  $t$  为一时间常数 20ms。

通过以上分析, 综合考虑不同影响因素, 合理优化带速  $V$ , 帧间隔  $I$ , 重叠区宽度  $S$  是本文研究的重要工作之一, 本文采用按传送带速度, 粒间距、帧间隔来自动设置重叠区宽度的方法。目前本系统选择的重叠区宽度为 48mm~70mm, 实验结果达到图像

拼接要求, 较好地解决了动态序列图像的拼接问题。表 2 为预设重叠区域宽度为 70mm 时的胶带移动速度、帧间隔及实际重叠区情况。

表 2 胶带移动速度、帧间隔及实际重叠区情况表  
(预设重叠区域 70mm 时)

速度 (m/s)	帧间隔 (帧)	前重叠区 (像素坐标)	后重叠区 (像素坐标)
0.1	99	204	563
0.5	19	204	563
1.0	9	204	563
1.5	5	261	506
2.0	4	204	563
2.5	3	204	563
3.0	2	261	506

## 6 检测结果

为检验该检测系统的可重复性与检测精度, 还使用该系统对同一组种子进行了两次种子粒距测量实验, 并与手工测量结果进行了比较。表 3 为传送带移动速度为 0.5m/s 时, 种子粒距的一组测量结果对比数据。

表 3 粒距检测结果及误差对比

序号	人工检测 结果 (mm)	系统检测 结果 1 (mm)	绝对 误差 (mm)	系统检测 结果 2 (mm)	绝对误 差 (mm)	相对 误差 (%)
1	26.90	27.07	-0.17	27.07	-0.17	0
2	91.00	90.352	0.65	90.352	0.65	0
3	120.90	120.586	0.31	120.938	-0.04	34
4	7.50	6.68	0.82	7.031	0.47	35
5	124.80	124.102	0.70	124.102	0.70	0
6	115.50	115.313	0.19	115.313	0.19	0
7	73.00	73.477	-0.48	73.125	-0.13	35
8	54.80	53.789	0.86	54.141	0.66	20
9	45.50	45.352	0.15	45.352	0.15	0
10	90.50	90.352	0.15	90	0.50	35

## 7 结论

(1) 本文研究的基于特征的标记匹配与图像拼接技术, 其处理数据简洁高效, 实用性强, 拼接精度在 0.5mm 范围内。

(2) 运动图像拼接中重叠区域宽度是保证拼接精度的重要因素, 它受传送带运动速度变化的影响, 同时影响数据处理的总量及实时检测速度, 本系统选择间隔为 20mm, 直径分别为 10mm 和 6mm 的圆标记, 重叠区域宽度 48mm~70mm, 实验证明, 设置

合理,能满足检测要求。

(3)推导的两个重叠区域宽度计算公式,经过大量试验验证,具有可靠性。

(4)文中给出的理论分析与方法,已应用于检测试验台中,能满足实时检测技术要求,并符合 GB/T6973-1986,GB/T9478-1988 标准,检测误差在 ±2mm 之内。

### 参 考 文 献

- 1 丁至成,吴建军. 单片机排种均匀度检测系统得研究与实验[J]. 农业工程学报,1996,12(2):36~39.
- 2 史智兴. 精播机排种性能检测系统及关键技术研究[D]. 北京: 中国农业大学,2002:6~12.
- 3 胡少兴,马成林,张爱武等. 近距离多目标(种子)检测中摄像机关系统的标定方法[J]. 中国图象图形学报,2002,7(2):155~159.
- 4 Rigney M P, Kranzler G A. Machine vision for grading southern pine seedlings[J]. Transaction of the ASAE,1988,31(2):642~646.
- 5 应义斌,傅滨忠,蒋亦元等. 机器视觉技术在农业生产自动化中的应用[J]. 农业工程学报,1999,15(3):198~202.
- 6 章毓晋. 图象处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,1999:43~213.
- 7 阮秋琦. 数字图象处理学[M]. 北京:电子工业出版社,2001:481~496.

- 8 李伟,林家春,谭豫之等. 基于图象处理技术的种子粒距检测方法研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):165~168.
- 9 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2000(4):26~47.



李 伟 1956 年生,教授,中国农业大学车辆工程专业在读博士研究生。主要研究领域为计算机视觉检测技术,发表论文 12 篇。



林家春 1979 年生,中国农业大学车辆工程专业在读博士研究生。主要研究领域为计算机视觉检测技术,发表论文 5 篇。



毛恩荣 1961 年生,教授,中国农业大学车辆工程专业博士研究生。主要研究领域为车辆视觉导航技术,发表论文 12 篇。

### 更 正

2004 年第 3 期“炮管内表面磨损图像的检测技术研究”一文作者像片排版有误,现更正如下:



郑 军