

Research on On-Line Image Acquisition Techniques of Conveyor Belt Based on Machine Vision*

Hada Li, Changyun Miao, Yanli Yang

School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: lihada21@qq.com

Received: Oct. 14th, 2013; revised: Oct. 17th, 2013; accepted: Oct. 22nd, 2013

Copyright © 2013 Hada Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Mine conveyor belt has problems of fast speed, short distance and large field of view, and it is difficult to collect image information. Focusing on these problems, this paper proposes a method of using a single linear array CCD camera to collect the image of conveyor belt. When using this method, the field angle of the image capturing is large and each collection point only needs one camera. So that the transmission system is to facilitate the network, the network transmission requirements are low, and the image processing is simple and easy to implement. Under the theory of optical engineering, scheme of collecting the whole image of the conveyor belt by using a single linear array CCD camera was provided and the lighting system was specially designed. Belt image acquisition system on a conveyor belt was built in the laboratory and a large number of experiments were carried out. The experiments show that this system can collect high quality conveyor belt image information, and also can provide foundation for the development of the on-line image acquisition system of conveyor belt based on machine vision.

Keywords: Conveyor Belt; Line Scan Camera; Lighting System

基于机器视觉的输送带图像在线采集技术的研究*

李哈达, 苗长云, 杨彦利

天津工业大学电子与信息工程学院, 天津
Email: lihada21@qq.com

收稿日期: 2013年10月14日; 修回日期: 2013年10月17日; 录用日期: 2013年10月22日

摘要: 由于基于机器视觉输送带检测中输送带运动速度快、上下输送带间隔距离近(物距小)、采集范围大(视场大), 造成图像信息采集困难。本文提出了利用单个线阵 CCD 相机输送带图像的采集方法, 该方法采集图像的视场角大, 每个采集点只需要一个相机, 网络传输方便, 对网络传输要求低, 图像处理简单, 易于实现; 利用工程光学理论, 设计了单个相机的输送带图像在线采集系统, 并对照明系统进行了设计。在实验室搭建了基于机器视觉的单个线阵 CCD 相机的输送带图像采集系统, 进行了实验研究, 结果表明该系统可实现高质量的输送带图像的采集, 为研制基于机器视觉的输送带在线监测系统提供了基础。

关键词: 输送带; 线阵相机; 光源系统

1. 引言

带式输送机运输是我国现代化大生产尤其是煤

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 51274150); 天津市自然科学基金重点项目(No.12JCZDJC27800)。

矿的主要运输方式之一。输送带是带式输送机牵引和运载的重要部件, 工作过程中, 输送带经常会出现表面损伤和撕裂等故障, 严重危及安全生产。为了避免输送带安全事故的发生, 需要对输送带运行状况进行

在线检测。

输送带运动速度快，一般在 2.15 m/s~6 m/s；上、下输送带之间的距离近，一般在 40 cm 到 60 cm 之间；输送带的宽度大，范围为 1 米~2.2 米。利用相机采集上输送带图像时，只能安装在上、下皮带之间，存在拍摄距离近，物距小；采集范围大，视场大；上输送带存在弧度的问题，需要大视场角，输送带图像在线采集是实现基于机器视觉的输送带在线监测的难题。

澳大利亚 CBM 公司提出了在一种使用三个相机来采集输送带图像的监测方案，每个相机配备一个激光器来提供光源。该方法每个监测点都需要三个相机，采集的数据量大，需要多个网络接口，网络传输不方便，对网络传输要求高，图像处理复杂。

本文提出了利用单个线阵 CCD 相机输送带图像的采集方法，该方法采集图像的视场角大，每个采集点只需要一个相机，网络传输方便，对网络传输要求低，图像处理简单，易于实现；利用工程光学理论，设计了单个相机的输送带图像在线采集系统，并对照明系统进行了设计。在实验室搭建了基于机器视觉的单个线阵 CCD 相机的输送带图像采集系统，进行了实验研究，结果表明该系统可实现高质量的输送带图像的采集，为研制基于机器视觉的输送带在线监测系统提供了基础。

2. 输送带图像采集系统设计

输送带表面图像采集系统的示意图如图 1 所示，是由线阵 CCD 相机和异型光源组成。工作过程是当高亮度的线形光源发射的光线照射在输送带表面时产生漫反射光，漫反射光的光强与输送带表面特性有关，线阵 CCD 相机通过线扫描感应漫反射光，每次扫描摄取与运行方向垂直的输送带的一行图像，通过将多行数据合成一帧图像来实现输送带图像的采集。

2.1. 相机的选择

按照像素排列方式的不同，工业 CCD 相机分为线阵 CCD 和面阵 CCD 两种。线阵 CCD 相机一般结构简单，成本较低，每次采集一行图像信息，分辨率可以达到很高。不过，线阵 CCD 需要将多行图像信息合成才能得到二维图像，其成像过程受到扫描运动精度的影响，若要使线阵 CCD 相机采集高质量的图像，还需要精准的控制系統。面阵 CCD 相机虽然可

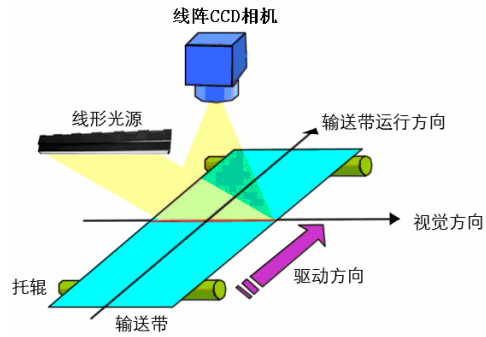


Figure 1. The schematic conveyor surface image of acquisition process
图 1. 输送带表面图像采集过程示意图

以直接获取二维图像信息，但由于每行像元个数的限制，其分辨率一般不如线阵 CCD 相机。

虽然面阵 CCD 相机可以直接生成二维图像，但对于快速运动的物体，会产生像移，使图像变的模糊。根据像移距离的大小可以计算出可以接受的物体移动的速度，运动的被测物体在相机成像示意图如图 2 所示。图 2 中， θ 表示物体运动的方向与像平面的夹角， d 表示在一个曝光时间内物体实际运动的距离， Z 表示被测物体到相机的距离， f 表示相机的焦距， l 表示在一个曝光时间内像在 CCD 靶面上面移动的距离， q 、 m 表示如图所示的长度。

根据图 2 中的几何关系，得到：

$$\frac{d \sin \theta}{m} = \frac{f}{l+q} \quad (1)$$

$$\frac{\sqrt{(d \sin \theta)^2 + m^2}}{Z} = \frac{l}{f} \quad (2)$$

由公式(1)和(2)消去 m ，得到：

$$d = \frac{lZ}{f \sin \theta \sqrt{\frac{(l+q)^2}{f^2} + 1}} \quad (3)$$

假设 S_x 是 CCD 水平方向的象元尺寸，则可得到被测物体的运动速度 $v^{[1]}$ ：

$$v = \frac{d}{T} = \frac{lZS_x}{f \sin \theta \sqrt{\frac{(l+q)^2}{f^2} S_x + 1}} \quad (4)$$

根据式(4)可以计算出面阵 CCD 能够成像的物体最高移动速度。经计算并配合实验，对于近距离并且运动速度约为 6 m/s 的输送带，面阵 CCD 相机不适合

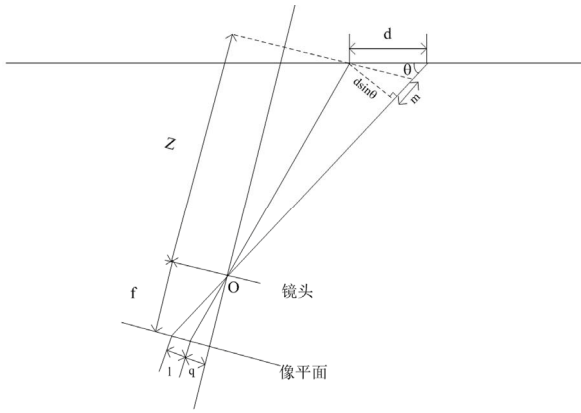


Figure 2. The measured moving object in the camera image schematic
图 2. 移动被测物体在相机成像示意图

本系统的图像采集。

相比较于面阵 CCD 相机，线阵 CCD 相机更适合一维运动的物体。对于线阵 CCD 相机，需要根据输送带监测系统的实际情况来选择相机的参数，其中像素 p 和行频 f' 是两个关键的参数，其表达式为

$$R_w \cdot p = L \quad (5)$$

$$R_L \cdot f' = v \quad (6)$$

式中 R_w 和 R_L 分别表示输送带宽度方向分辨率和运动方向分辨率， L 表示输送带的宽度， v 表示输送带的运行速度。对于速度为 6 m/s、宽度为 1.2 m 的输送带，若要求图像分辨率不低于 $1.0 \times 1.0 \text{ mm}$ 的要求，可计算出线阵 CCD 的像素 $p \geq 1200$ ， $f' \geq 6 \text{ kHz}$

2.2. 镜头的选择

相机是否能够实现整个输送带图像的采集重点之一在于镜头。这里首先对输送带建立模型，然后来分析对镜头的选择要求来寻找合适的镜头。着重根据视场角和景深来选择镜头，下面针对输送带图像采集来计算这两个参数。

输送带图像采集系统的简易数学模型如下图 3 所示，其中皮带的宽度 W 约为 1.2 m，上皮带弯曲部分的弧度的垂直高度 Δh 约为 0.18 m。

在图 3(a)所示，假设相机与水平方向的夹角为 β ，相机与输送带的垂直距离为 h ，相机拍摄到的输送带最近点为 d_1 ，最远点为 $(d_1 + \Delta d)$ 。在图 3(b)中，弯曲后的皮带宽度约为 $0.96W$ ， n 是输送带弯曲部分的宽度，假设视场角为 α ，则有：

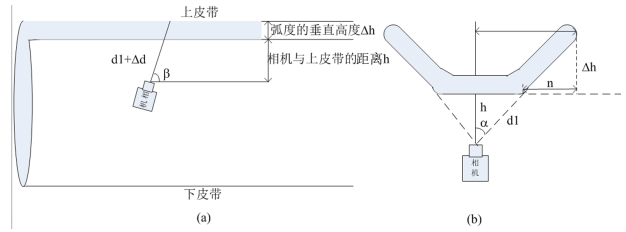


Figure 3. Simple mathematical models of conveyor acquisition system
图 3. 输送带采集系统简易数学模型

$$\sin \alpha = \frac{0.46W - n}{d_1} \quad (7)$$

$$\tan \alpha = \frac{n}{\Delta h} \quad (8)$$

将(7)(8)合并消去 n ，得到：

$$\sin \alpha = \frac{0.46W - \Delta h \cdot \tan \alpha}{d_1} \quad (9)$$

经过整理得到：

$$\tan \alpha = \frac{0.46W}{h + \Delta h} \quad (10)$$

由(10)式可以看出，视角的大小与 h 有关，即视角的大小由物距所决定，在实际情况中， h 约为 20 cm 左右，可以算出视角 α 应该大于 50° ，由于存在角度 β ，所以在实验时，视场角 α 还应该大一些。镜头的视场角应该大于视角的两倍，即大于 100° 。

假设用于拍摄输送带的像素为 b_v ，则 $b_v = bw / [2 \times (d_1 + \Delta d) \times \tan(\gamma/2)]$ ；最远点分辨率为 $R_1 = w/b_v$ ，最近点分辨率为 $R_2 = [wd_1 / (d_1 + \Delta d)] / b_v$ ，倾斜处的分辨率 $R_3 = R_1 / \sin \delta$ 。将参数带入式中计算后，得到的拍摄图像分辨率是可以达到要求的。另外，当分辨率为 1 mm 时，假定线阵 CCD 的像元尺寸为 $14 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$ ，镜头离拍摄的皮带距离为 20 cm，则垂轴放大率为^[2]：

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{l'}{l} = -28 \text{ mm} \div 1000 \text{ mm} = -0.028$$

根据高斯公式：

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$$

其中 l 表示物方主点到轴上物点的距离，即为物距； l' 表示像方主点到轴上像点的距离，即为像距。计算可

得焦距为： $f' \approx 5.6 \text{ mm}$ 。如果要成像清晰，镜头的分辨率应该大于接受面的分辨率，即： $N \geq N'$ ^[3]。其中根据瑞利准则，镜头的理论分辨率为

$$N = 1 \div \sigma = D \div (1.22\lambda f')$$

当采用白光照明时，取 $\lambda = 555 \text{ nm}$ ，带入上式得：

$$N = 1475 \frac{D}{f'} (\text{线对/mm})$$

$N' = 1 \div 28 \text{ um} = 35.71 \text{ 线对}$ ， $N > N'$ ，计算出镜头的光圈数应为：

$$\frac{f'}{D} < 41.3$$

再由景深公式可得远景深度 Δ_1 ，与近景深度 Δ_2 ：

$$\Delta_1 = \frac{P\varepsilon D}{2a\Omega - \varepsilon D}$$

$$\Delta_2 = \frac{P\varepsilon D}{2a\Omega + \varepsilon D}$$

式中， $2a$ 为入瞳直径； P 为对准平面到相机的距离； Ω 为摄像系统的放大倍率。在本系统中，近景深度约为 $\Delta_2 = 18 \text{ mm}$ 。根据以上各个参数的要求，本文选择了一款鱼眼镜头。

2.3. 光源的设计

光源的设计是图像采集系统的重要组成部分。随着光源光谱成分的变化，以及光源强度分布随时间等的变化，CCD 传感器输出的图像信号也发生变化。如果光源的设计不理想，成像的质量不好，会引起后续图像处理的复杂度显著上升。因此，恰当的选择光源是获得理想图像信号的关键。

大视场、大孔径图像采集系统的视场中心的照度，一般可以用下式来表达^[3]：

$$E_0 = \pi F \sin^2 U' = \frac{1}{4} \pi L \frac{D^2}{f'^2} \times \frac{\beta_p^2}{(\beta_p - \beta)^2}$$

式中， β_p 为光瞳的垂轴放大率； β 为物象的垂轴放大率； F 为物体的亮度； τ 为系统的透射率。轴外像点的照度与像方视场角 ω' 有关，它与视场中心的照度有以下关系^[4]：

$$E = E_0 \cos^4 \omega'$$

在本系统中，镜头的视场角约为 140° 左右，根据上式可以计算出来，在皮带边缘的照度仅为在中心照度的 34.4%，并且还存在着皮带的弯曲，边缘的照度将会更低。线阵 CCD 相机在成像的时候，如果采用一般的光源的话，很难得到质量较好的图像信息，因为越接近视场的边缘照度就越会下降，在曝光的时候，要么边缘曝光不足，要么中心曝光过度，得不到高质量的输送带图像信息。

由于输送带的上皮带通常呈槽形且向上弯曲，本文所设计的多段线形光源组合应该与皮带成弯曲形状相似的弧形，并且应该能使线性光源的位置在水平方向和竖直方向可以旋转一定的角度。

因此，本系统的光源设计应该是多段的并且每段都可以调节亮度和角度的。

3. 实验

根据上面的设计，在实验室搭建了一个输送带图像在线采集系统。在此采用了五段光源联合照明^[5]，分别将这些线性光源按照不同的角度和亮度组成一个系统来为相机提供照明。

对于一般机器视觉系统，其照明方式有三种^[6]：前向照明、背向照明和结构式照明。本系统采用了前向照明的方式，按照前面的推导与计算得出的参数采购了相应的相机与镜头，搭建了整个光源系统，配合实验室的输送带系统，对输送带表面图像信息进行采集系统进行了实验。在实验的过程中不断调整相机的位置、相机的角度、镜头参数以及光源位置、角度、亮度等。最终得到了理想的输送带表面图像信息。采集的图像信息如下图 4 所示。在图中可以看出来采集到的输送带表面图像信息纹理清晰，基本达到了我们的需求。



Figure 4. A surface image of conveyor
图 4. 采集的一帧输送带表面图像

4. 结论

本文研究了基于机器视觉的输送带采集图像技术, 实现了用一台 CCD 相机对输送带一个截面的检测, 这样不仅大大的简化了整个采集系统, 减少了相机数量, 为后面的数据传输和图像处理减轻了压力。通过计算选择了线阵 CCD 相机, 并对光源系统进行了独特的设计。在实验室搭建了输送带视觉监测系统实验平台, 进行了大量的试验, 找到相机与光源最佳的角度和位置, 得到了高质量的输送带图像信息。

参考文献 (References)

- [1] Lin, H. (2005) Vehicle speed detection and identification from a single motion blurred image. *Proceedings of the Seventh IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, **1**, 461-467.
- [2] 王庆友 (2003) 图像传感器应用技术. 电子工业出版社, 北京.
- [3] 郁道银, 谈恒英 (2011) 工程光学. 机械工业出版社, 北京.
- [4] 韩军, 刘钧 (2012) 工程光学[M]. 国防工业出版社, .
- [5] 杨彦利, 苗长云, 亢伉 (2012) 基于机器视觉的矿用输送带在线监测技术. *矿山机械*, **40**, 52-55.
- [6] Franz, P. and Paul, O.L. (2003) Image acquisition techniques for automatic visual inspection of metallic surfaces. *NDT&E International*, **36**, 609-617.