

基于机器视觉的羊体体尺测量

江 杰, 周丽娜*, 李 刚

(内蒙古科技大学 信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

(*通信作者电子邮箱 zlcandy1230@163.com)

摘 要: 体尺参数是评价羊生长状况的重要指标, 如何实现其无应激测量是羊养殖过程中亟需解决的重要问题。引入机器视觉相关方法, 运用基于灰度的背景差分法, 结合色度不变性原理, 从复杂环境中检测羊体, 并借助栅格法, 提取羊体上轮廓包络线; 采用 D-P 算法和海伦-秦九韶公式对轮廓序列进行分析, 获取包络线最大曲率点, 并以此作为羊体臀部测点; 在此基础上, 采用四点法求取羊体的其他 3 个测点, 结合空间分辨率, 得出羊体的体尺参数, 实现无接触测量。实验结果表明, 所提方法可以有效从复杂环境中提取出羊体; 羊体臀部测点可以有效稳定地确定, 羊体身高可稳定获取; 由于环境光线的复杂性, 肩胛点的确定仍存在一些问題。

关键词: 体尺测量; 背景差分法; 阴影抑制; 测点提取; 机器视觉

中图分类号: TP391.413 **文献标志码:** A

Sheep body size measurement based on computer vision

JIANG Jie, ZHOU Lina*, LI Gang

(School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Nei Mongol 014010, China)

Abstract: Body size parameters are important indicators to evaluate the growth status of sheep. How to achieve the measurement with non-stress instrument is an urgent and important problem that needs to be resolved in the breeding process of sheep. This paper introduced corresponding machine vision methods to measure the parameters. Sheep body in complex environment was detected by gray-based background subtraction method and chromaticity invariance principle. By virtue of grid method, the contour envelope of sheep body was extracted. After analyzing the contour sequence with D-P algorithm and Helen-Qin Jiushao formula, the point with maximum curvature in the contour was acquired. The point was chosen as the measurement point at the hip of sheep. Based on the above information, the other three measurement points were attained using four-point method and combining the spatial resolution, the body size parameters of sheep body were acquired. And the contactless measurement was achieved. The experimental results show that, the proposed method can effectively extract sheep body in complex environment; the measurement point at hip of sheep can be stably determined and the height of sheep can be stably attained. Due to the complexity of the ambient light, there still exists some problems when determining the shoulder points.

Key words: body size measurement; background subtraction method; shadow suppression; measuring point extraction; machine vision

0 引言

内蒙古地区是羊的主要生长地区, 有着鲜嫩的青草和适合羊群生长的大草原; 同时, 随着社会的不断发展, 人们的生活水平在不断提高, 对羊肉的需求量大幅增长。因此, 对羊生长状况的评价显得极为重要, 羊体体尺是评价羊生长状况的一个主要参数, 在选种、肉质评价和饲养管理方面也是一个重要的指标^[1]。

传统的羊体体尺测量主要是通过手杖、皮尺进行直接测量, 这种测量方法工作量大, 而且直接接触羊体, 会使羊产生应激反应, 对羊的生长发育会有一定的影响。而机器视觉技术的发展, 为动物的测量提供了一种新型的工具。通过摄像头获取视频及图像数据, 利用一系列的图像处理手段, 可以实

现目标物尺寸和面积等的研究。这种方法对羊体没有直接接触, 不会对羊的生长产生影响。

近年来, 各领域的研究人员已经开始使用机器视觉技术及图像技术测量动植物对象的尺寸及面积。谭鹤群等^[2]利用机器视觉和数字图像处理技术建立白鲢体长方向截面积分布模型; 徐建瑜等^[3]利用机器视觉技术测量出鱼体侧面积, 并将面积与质量进行数据拟合建立模型, 评价鱼的质量; 朱伟兴等^[4]针对固定区域监控猪体目标的活动, 提出一种基于边缘像素模型的前景帧检测算法, 可用于猪体图像识别; 刘同海等^[5]利用机器视觉技术对猪体体尺的测点进行了提取, 提出了采用包络算法去除头尾部分, 进行测点提取的方法。基于机器视觉的猪体体尺测量, 国外有很多学者进行了研究, 值得本文借鉴^[6-9]。

收稿日期: 2013-09-29; 修回日期: 2013-12-02。 基金项目: 内蒙古科技大学创新基金资助项目(81130129)。

作者简介: 江杰(1959-), 男, 内蒙古包头人, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 智能信息处理、人机交互、网络; 周丽娜(1988-), 女, 内蒙古乌兰察布人, 硕士研究生, 主要研究方向: 机器视觉、图像处理; 李刚(1983-), 男, 重庆人, 硕士, 主要研究方向: 图像处理、机器视觉、导航技术、通信技术。

1 问题的引出

使用机器视觉和数字图像处理技术测量动物的尺寸面积有着不可替代的优势,但是,研究初期也会随之出现一些难以解决的问题。在室外条件下测量羊体体尺,环境中存在很多干扰,背景也很复杂,想要准确地将羊体完整的从背景中分离出来存在很大的困难。

对羊体的体尺进行测量,关键问题是寻找测点,测点的定位是否准确对体尺测量的准确性影响很大。羊是一个活动的物体,放在笼中会前后移动,头部可能低下或者抬高,当羊将头低下时,肩胛的测点可能会移位,对测点位置的提取有一定影响,可能会导致测点提取不准确。同时,测量时羊需要关在笼中,笼子的栏杆会遮挡羊体,这也对分割和测点的提取存在很大的影响。

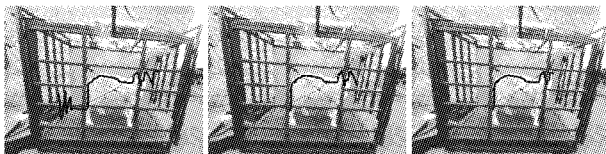
2 羊体体尺测点提取算法分析

羊体体尺测量的测点是指通过羊体正面图像,计算羊的身高、体长等二维物理体尺数据的端点。根据传统的尺寸计量方式,长度为臀部点至肩胛点的距离,高度为肩胛点至地的距离。在实验中发现,由于羊的姿态是动态的,加之摄像机前方有栏杆的遮挡,肩胛点的稳定性远不如臀部点的稳定性,因此,本文羊体的身高采用臀部点至地面的距离。本文在对羊体图像与背景图像进行差分计算的基础上,通过阈值分割和二值化,得到羊体的图像,去除噪声干扰之后得出羊体轮廓,进行体尺计算^[10-12]。

2.1 获取包络线

运用背景差分法去除背景获得羊体轮廓后,羊体的体特征就可以明显地观察到,为了获取测量羊体体尺所需的测点位置,首先需要得到羊体的轮廓线。本文运用栅格法寻找上轮廓线,针对每一列,采用从上往下扫描的方法获取第一个点,通过这一步,可以得到上轮廓线的位置序列。为了方便观察,将曲线画在原始图像上,如图1(a)中黑线所示。

在目标提取过程中,不可避免地存在干扰,因此所获取的轮廓并不能完好地表示羊体轮廓,如图1(a)中黑色轮廓线的左右部分。这就需要把不是描述轮廓线的左右部分去掉。本文采用的方法是从左往右扫描,如果前后扫描的点之间的 X 方向距离大于20,并且先前获取的点的个数小于20,则认为先前获取的点是无效点;从右往左扫描,如果前后扫描的点之间的 X 方向距离大于20,并且先前获取的点的个数小于20,则认为先前获取的点是无效点。通过以上的方法,即可去掉左右两段无效的序列^[13],效果如图1(b)黑色线所示。采用贝塞尔曲线进行拟合能够把羊的轮廓曲线平滑化,效果如图1(c)黑色线所示。



(a) 扫描法获取的轮廓

(b) 去掉无效序列后的图像

(c) 曲线拟合后图像

图1 获取包络线

2.2 计算曲率

获取羊体的包络线后,通过观察发现,臀部位置的曲率最

大,因此可以采用D-P算法和海伦-秦九绍公式寻找臀部测点,同时臀部的位置与羊的移动关系较小,曲率不会发生很大的变化。

经过平滑后的轮廓线仍然具有不连续性,取以轮廓点 $p(i)$ 为重心、半径为 R 的支撑区域计算曲率角,以进一步减小图像数字化及噪声的影响^[14-16]。考察轮廓上任一点 $p(i)$ 与其前后半径为 R 的各点构成的支撑区域:

$$S(i) = \{p(i) = [x(j), y(j)]; j = i - R, i - R + 1, \dots, i, \dots, i + R - 1, i + R\} \quad (1)$$

$P(i)$ 前后两个区域各点的几何中心点 $p^f(i)$ 、 $p^b(i)$ 分别为:

$$\begin{cases} p^f(i) = [x^f(i), y^f(i)] = \left[\frac{\sum_{j=i-R}^{i-1} x(j)/R, \sum_{j=i-R}^{i-1} y(j)/R \right] \\ p^b(i) = [x^b(i), y^b(i)] = \left[\frac{\sum_{j=i+1}^{i+R} x(j)/R, \sum_{j=i+1}^{i+R} y(j)/R \right] \end{cases} \quad (2)$$

$p^f(i)$ 与 $p(i)$ 及 $p(i)$ 与 $p^b(i)$ 构成向量的方向角分别为:

$$\begin{cases} \theta^f(i) = \arctan[(y(i) - y^f(i))/(x(i) - x^f(i))] \\ \theta^b(i) = \arctan[(y(i) - y^b(i))/(x(i) - x^b(i))] \end{cases} \quad (3)$$

利用式(3)中的 $\theta^f(i)$ 、 $\theta^b(i)$ 定义曲率角为:

$$\theta(i) = \theta^b(i) - \theta^f(i) \quad (4)$$

曲率角 $\theta(i)$ 的大小与轮廓点的曲率成正比,即当 $\theta(i)$ 越大,曲率也越大;反之亦然。设定当满足

$$\theta(i) > T_1 \quad (5)$$

时,将 $p(i)$ 标志位候选角点。若将轮廓点近似看作两直线的交点,则 $\theta(i)$ 即为两直线段的夹角,由式(5)可以得到一系列的候选角点,通过非极大抑制可筛选出真正的交点,即只有当下式成立时,候选角点 $p(i)$ 才成为角点:

$$\theta(i) = \max_{j=i \pm R} \theta(j)$$

其中参数的选取要适当,经过实验,当 $T_1 < 0.6$ 时, R 在6~20取值,结果都令人满意。

经过以上的曲率计算,可以准确地找到臀部曲率最大点,把这个最大点作为羊体体尺测量的一个臀部测点。

2.3 确定测点

测点的确定使用四点法,臀部测点确定后,从臀部点向下搜索,从上往下,在一个邻域内(40)搜索后脚点,从后脚点往右搜索,在一个邻域内(40)搜索前脚点,从前脚点向上在一个邻域内(40)搜索,获取肩胛点。由臀部测点和后脚点可以得到羊体的身高,由臀部测点和肩胛点可以得到羊体的体长。为了更加直观地观察获取的4个测点的位置是否合理,将测点画在原图中进行观察,如图2十字花所示为4个测点的位置。



图2 测点的确定

3 实验结果分析

3.1 数据采集与处理平台

本实验所用图像于2013年6月自然光照条件下,摄于内蒙古包头市某牧场。实验所用图像采集器件为CCD广角摄像机,采集到的图像大小为640像素×480像素,坐标系为图像坐标系。实验装置是自制装置,羊笼正前方放置一个摄像头,羊笼上方放置一个摄像头,前方的摄像头用于拍摄羊体侧面效果图像,用于计算羊体的体长与身高,上方的摄像头用于拍摄羊体背部图像,用于计算羊的体宽。本文主要针对羊的体长与身高做计算。羊体测量装置如图3所示,图3为前摄像头拍摄的装置全貌。

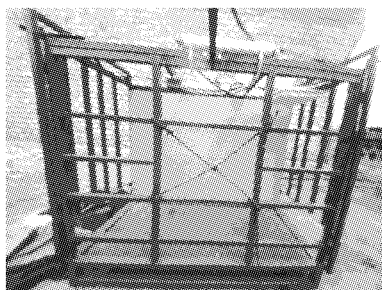


图3 羊体尺寸测量装置

本实验的数据处理平台采用Microsoft Visual Studio 2008,同时采用OpenCV辅助数据处理。

3.2 背景差分法分割羊体

3.2.1 获取背景图

本实验的图像采集由人工控制,当羊笼中没有羊的时候,人工采集一张图像作为背景模型;自动门打开时,将羊赶入笼中,人工采集一张位置合适的羊的图像作为前景模型。如图4(a)所示为背景模型,图4(b)所示为前景模型。

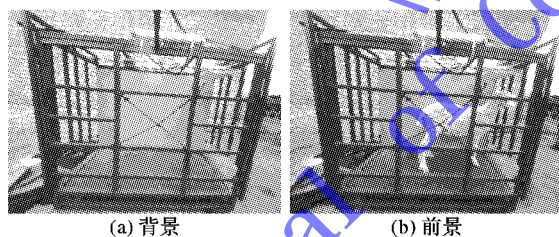


图4 羊体

3.2.2 背景差分法

背景差分法的基本思想是将当前帧图像像素值与事先存储或者实时得到的背景图像对应像素值相减,若差值大于某一阈值,则判定该像素点属于目标物体;否则判定此像素点属于场景背景,经过阈值分割处理并二值化后得到了的前景掩膜直接给出了目标物体的位置、大小、形状等信息,其缺点是容易受光线、天气等外界条件变化的影响^[17-18]。

将采集到的背景与前景图像进行灰度化处理,对应像素分别作差分运算,然后阈值化即可。设 A 是前景图像, B 是采集到的背景图像,则前景点需满足:

$$|A(x,y) - B(x,y)| > T(x,y) \quad (6)$$

其中: (x,y) 是像素点的坐标, T 是阈值。

3.2.3 阈值分割

对差分后的图像经过平滑处理后,需要确定背景差分法的阈值。本实验采用的阈值分割法是Otsu法。Otsu法又称

大律法或最大类间方差法,一直被认为是阈值自动选择的最优方法。该方法计算简单,在一定条件下不受图像对比度和亮度变化的影响,因而在一些实时图像处理系统中得到了广泛的应用。采用背景差分法和Otsu法分割得到的图像如图5所示,可以看出,自然环境对图像分割存在干扰。



图5 背景差分法分割羊体

3.3 噪声去除

图像噪声是在图像采集、传输过程中由于镜头、光电转换器件等内部因素及外界光、电等因素随即影响所造成。从图5可以看出,羊体下方有大片的干扰,可能是光照因素造成的,在整幅图像中还随机存在一些零星干扰,可能是背景不稳定造成的^[19]。

3.3.1 膨胀和腐蚀

在这里首先采用形态学图像处理对结果进行去噪修复,形态学图像处理中,膨胀和腐蚀是较常用的修复方法。膨胀最简单的应用之一是将裂缝桥接起来,从图5可以看出,羊体位置有很多不连续的团块存在,膨胀可以将已间断的团块连接起来。而腐蚀的一种最简单的用途是从二值图像中消除不相关的细节,结果中一些不必要的零星噪声可以通过腐蚀进行消除。

3.3.2 获取重心

从上文结果分析,大部分的团块都集中在羊体附近,远处小的团块是本文分析时不关注的部分,可以去除。因此,根据团块的分布,计算出团块分布的重心点。采集到的图像大小为640像素×480像素,而羊体最大只占到210像素×180像素。以重心为中心,将宽为300像素,高为200像素的区域保留,剩余区域的全部团块去除。经过处理之后,结果如图6所示。



图6 噪声去除后图像

3.3.3 阴影抑制

由于光线的影响,前景目标运动的时候会有一定的阴影随之运动,所以,如图6所示,羊体下侧有大块阴影跟随。这样会使分割出来的羊体面积比实际的大,若以此作为后续工作的依据,势必会造成很大的误差。对于孤立噪声,可以采用数学形态学中的膨胀、腐蚀运算来消除因噪声产生的虚假目

标,然而,对于运动物体检测中普遍存在的阴影仍然无法消除,为此必须显式地检测出运动阴影,避免错误分析运动对象。

在阴影检测领域,主要有两种类型方法:基于模型的方法和基于阴影属性的方法,本文采用基于阴影属性的方法。基于阴影属性的方法是通过使用阴影在几何、亮度和颜色方面的属性检测阴影。比较有效的方法是在HSI空间下进行,检测时,相对背景区域来说,阴影的色调 H 通常不会发生变化,对于饱和度 S 来说,阴影具有比较低的值,同背景的差异为负,但是,阴影的亮度值 I 会发生较大的变化,这是判别阴影的重要参数^[20-21]。

基于上述分析,分别提取前景图与背景图的亮度通道图像,当前景像素亮度值比背景像素亮度值低于一定阈值时,则认为该像素点可能为阴影。经过大量的实验观察,将该阈值确定为10时的抑制效果最明显。经过阴影抑制后的图像如图7所示。



图7 阴影抑制后图像

3.4 确定测点

采用上文所述的测点提取法,对分割所得的羊体进行测点的提取,如图8所示,十字花就是确定的4个测点。根据规范的羊体身高和体长的规定,羊的身高为髻甲最高点到地平面的距离,体长为髻甲到臀部的距离。由此可见,本文寻找到的4个测点可以准确描述羊体的体尺。



图8 羊体测点

4 体尺计算

4.1 空间分辨率的确定

摄影测量学中,成像过程涉及世界坐标系 $O_wX_wY_wZ_w$,摄像机坐标系 $O_cX_cY_cZ_c$,像平面物理坐标系 O_1XY (单位为mm)和图像坐标系 OUV (单位为像素)4个坐标系。在羊体体尺测量中,主要涉及像平面物理坐标系 O_1XY 和图像坐标系 OUV 两个坐标系,如图9所示。空间分辨率的确定,就是确定这两个坐标系的关系,即确定视频图像上的两个像素点的距离所代表的羊体体尺的实际尺寸。

在图9中,定义直角坐标系 OUV ,每一个像素点左边(u ,

v)分别是该像素在数组中的列数和行数。所以,(u, v)是以像素为单位的图像坐标系的坐标。 OUV 坐标系只表示像素的列数与行数,并没有用物理量纲表示出该像素的位置,需要再建立以物理单位为基础的物理图像坐标系。该坐标系以图像内的某一点 O_1 为原点, X 轴与 Y 轴分别与轴平行。在 O_1XY 坐标系中,原点 O_1 定义在摄像机光轴与图像平面的交点,该点一般位于图像中心处。若 O_1 在 OUV 坐标系中的坐标点为(u_0, v_0),每一个像素在 X 轴与 Y 轴方向上的物理尺寸为 dx, dy ,则图像中任一个像素在两个坐标系下的坐标有如下关系:

$$\begin{cases} u = \frac{x}{dx} + u_0 \\ v = \frac{y}{dy} + v_0 \end{cases} \quad (7)$$

在实际应用中,通常摄像机的分辨率和羊体监控区域可以预先确定。通过式(8)可以预先确定空间分辨率:

$$R = l/Rl \text{ 或 } R = h/Rh \quad (8)$$

其中: R 为物理空间的分辨率(单位m/s); l 为物理空间的长度(单位m); h 为物理监控场的宽度(单位m); Rl/Rh 为图像的分辨率(单位为像素)。

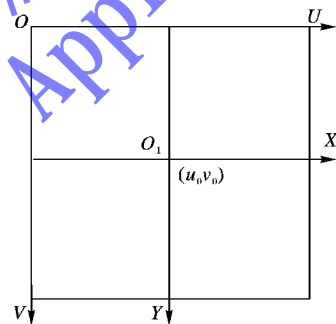


图9 图像坐标系与像平面物理坐标系之间的关系

4.2 体尺的确定

按照规范的羊体体尺的计算准则,如图8所示的4个测点不包含羊体的头部和尾部,测点的位置满足规定。羊体体尺测点提取的坐标值如表1所示。

表1 测点坐标值

测点位置	测点坐标值	
	X	Y
臀部	323	233
后蹄	320	363
前蹄	426	363
肩部	436	248

如表1所示的坐标点,由于测点的坐标值是以标准图像坐标系为准的,也即坐标值是像素点的个数,为了计算出羊体真正的长度,需要考虑空间分辨率。为此,通过一系列的实验标定,计算出分辨率系数是3.2。

根据以上分析,羊体体尺计算公式表示为:

$$\text{身高} = |p_h, p_b| \times 3.2$$

$$\text{体长} = |p_h, p_s| \times 3.2$$

其中: p_h 为臀部坐标点, p_b 为后蹄坐标点, p_s 为肩部坐标点。

图中羊的身高为臀部测点和后蹄测点间的距离再乘分辨率系数3.2,结果为438.75 mm;羊的体长为臀部测点与肩部测点的距离乘上分辨率系数3.2,结果为384.2 mm。

5 结语

为了检测本文提出的羊体分割算法和羊体体尺测量算法的稳定性,随机选取了一些羊进行了分割和测点的提取,实验结果如图10所示。

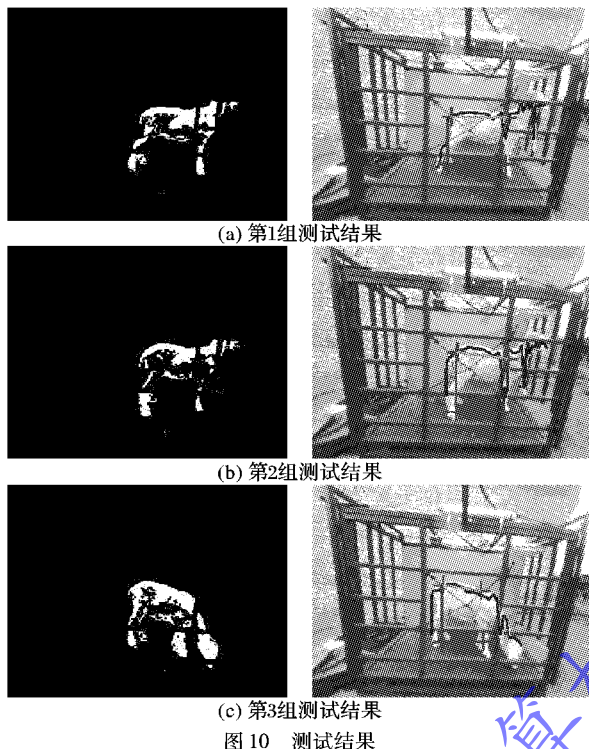


图10 测试结果

由此可见,本文提出的分割算法和测点提取算法,可以满足计算和分析的要求。图像的分割基本可以把羊体分离出来,能保留需要计算的部位。测点提取算法基本可以准确提取计算羊体体尺的4个测点,但是从图中也可以看出,由于栏杆遮挡的影响,上轮廓的寻找会出现一定偏差,从而影响肩胛点的寻找。同时,羊体的姿态也会影响测点位置的确定,图10(c)中可见,当羊的头低下时,肩胛点的选择也会产生误差,因此,这些问题都是进一步需要解决的问题。基本来看,本文算法可以很好地适应复杂的环境,测点的提取稳定性很好。

参考文献:

- [1] DOESCHL A B, GREEN D M, FISHER A V, *et al.* The relationship between body dimensions of living pigs and their carcass composition [J]. *Meat Science*, 2005, 70(2): 229–240.
- [2] LIU W, TAN H, HUANG D, *et al.* Distribution models of mass and sectional area of silver carp along length direction [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(12): 288–292. (刘伟, 谭鹤群, 黄丹, 等. 白鲢质量与截面积沿体长方向分布模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 288–292.)
- [3] WANG W, XU J, LYU Z, *et al.* Weight estimation of under-water cynoglossus semilaevis based on machine vision [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(16): 153–157. (王文静, 徐建瑜, 吕志敏, 等. 基于机器视觉的水下鲜鳙鱼类质量估计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 153–157.)
- [4] ZHU W, JI B, QIN F. Detection of foreground-frame of pig using edge model based on pseudosphere-operator [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(12): 189–194. (朱伟兴, 纪滨, 秦锋. 基于伪球算子边缘模型的猪前景帧检测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 189–194.)
- [5] LIU T, TENG G, FU W, *et al.* Extraction algorithms and applications of pig body size measurement points based on computer vision [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(2): 161–168. (刘同海, 滕光辉, 付为森, 等. 基于机器视觉的猪体体尺测点提取算法与应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 161–168.)
- [6] WHITTEMORE C T, SCHOFIELD C P. A case for size and shape scaling for understanding nutrient use in breeding sows and growing pigs [J]. *Livestock Production Science*, 2000, 65(3): 203–208.
- [7] WHITE R P, SCHOFIELD C P, GREEN D M, *et al.* The effectiveness of a Visual Image Analysis (VIA) system for monitoring the performance of growing/finishing pigs [J]. *Animal Science*, 2004, 78(3): 409–418.
- [8] DOESCHL-WILSON A B, WHITTEMORE C T, KNAP P W, *et al.* Using visual image analysis to describe pig growth in terms of size and shape [J]. *Animal Science*, 2004, 79(4): 415–427.
- [9] BANHAZI T M, TSCHARKE M, FERDOUS W M, *et al.* Using image analysis and statistical modelling to achieve improved pig weight predictions [C]// *Proceedings of the 2009 CIGR International Symposium of the Australian Society for Engineering in Agriculture*. Brisbane, Queensland: Engineers Australia, 2009: 13–16.
- [10] WANG X, WU J, YANG L, *et al.* Regression analysis between body weight and body size of Gannan Tibetan sheep [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2011, 46(5): 7–17. (王欣荣, 吴建平, 杨联, 等. 甘南草地型藏羊体质量与体尺指标的相关性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(5): 7–17.)
- [11] ZHANG F, YAN Y, YANG Z, *et al.* Application of multivariate statistical analysis methods on ovine body size and body weight [J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2012, 27(4): 17–19. (张帆, 颜亨玉, 杨佐君, 等. 多元统计分析方法在羊体质量与体尺研究中的应用[J]. 北京农学院学报, 2012, 27(4): 17–19.)
- [12] BAI J, ZHANG S, PANG Y, *et al.* Principal components analysis on body size of fat-tailed sheep [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(14): 2912–2914. (白俊艳, 张省林, 庞有志, 等. 大尾寒羊体尺指标的主成分分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(14): 2912–2914.)
- [13] FREEDMAN D A. *Statistical model: theory and practice* [M]. Rev. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [14] PARK H, KIM K. An adaptive method for smooth surface approximation to scattered 3D points [J]. *Computer Aided Design*, 1995, 31(10): 261–271.
- [15] HOPPE H, de ROSE T, DUCHAMP T, *et al.* Surface reconstruction from unorganized points [J]. *Computer Graphics*, 1992, 26(2): 71–78.
- [16] BERNARDINI F, MITTLEMAN J, RUSHMEIER H, *et al.* The ball pivoting algorithm for surface reconstruction [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1999, 5(4): 349–359.
- [17] LIU A A, ZHANG Y D, SONG Y, *et al.* Human attention model for semantic scene analysis in movies [C]// *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 1472–1476.

实验结果表明,ZigBee 协调器与终端的传输有效范围为 10~100 m,通过路由与节点之间通信的接力,传输距离与组网范围可以拓展,本文系统搭建的 ZigBee 自主网可以实现城市各地区停车场的正常信息采集工作,可应用于普通城市。

4 结语

系统以 ZigBee 无线射频处理器 CC2530 为核心构建传感节点硬件平台,完成 ZigBee 无线射频单元和 HMC5843 地磁传感器单元设计,将软件工程设计理念应用到系统软件的整个设计和实现中,完成 ZigBee 协议栈和地磁传感器模块的软件分析与设计。

系统特点如下:

1)用新型地磁传感器代替传统的感应线圈,车辆检测器将具备安装尺寸小、灵敏度高、施工量小、使用寿命长、对路面的破坏小等优点。

2)采取嵌入式 ZigBee 无线通信技术,包括硬件印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)、嵌入式软件等部分,其具有的自组网、自恢复、自动寻找最佳路由等特性。

3)按照物联网一体化理念,做到了智能交通系统(Intelligent Transport System, ITS)中无线交通监控系统的一体化,即从硬件部分的片上集成,到嵌入式软件部分的设计、再到监控中心相关上位机部分的设计开发,进而全方位地对现有智能交通系统进行网络化、智能化和一体化的升级。

4)设计交通诱导系统(Traffic Guidance System, TGS)的四级信息发布策略,提出无线 TGS 的设计理念和开发实现方案。将车辆检测和无线通信技术从硬、软件两个方面集成起来,用四级诱导 LCD 来实现城市停车的智能诱导,从而为现代智能交通系统的实现提供了一种行之有效的解决方案。

5)构建网上信息服务平台系统,通过网上信息服务平台,供司机用电脑和手机进入服务平台系统查询交通情况,实现互联网时代的信息共享的实时方便、快捷畅通。

参考文献:

- [1] YANG C, LI Y. Research on traffic congestion of big cities in our country [J]. Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2007, 23(4): 62-64. (杨成国,李英子.我国大城市交通拥堵问题对策研究[J].北京建筑工程学院学报,2007,23(4):62-64.)
- [2] GU Z, TAO H. Decision-making research on city traffic management planning [J]. Hebei Jiaotong Science And Technology, 2005, 2(1): 1-5. (顾政华,陶海波.城市交通管理规划决策方法研究[J].河北交通科技,2005,2(1):1-5.)
- [3] THEODORE T, NIKOLAS G. City size, network structure and traffic congestion [J]. Journal of Urban Economics, 2013, 76(3): 1-14.
- [4] JIANG Y. Research on causes and countermeasures to urban traffic congestion based on game theory [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2007, 26(1): 112-114. (蒋亚磊.基于博弈论的城市交通拥挤成因及对策研究[J].兰州交通大学学报,2007,26(1):112-114.)
- [5] YANG X, XUE K, BAI Y. A study of the structure of parking guidance information system [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2004, 4(1): 93-96. (杨晓光,薛昆,白玉.城市停车诱导信息系统设计[J].交通运输系统工程与信息,2004,4(1):93-96.)
- [6] JIE J. The research on the urban parking guidance system based on the technology of "The Internet of Things"[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011. (顾靖.基于物联网技术的城市停车诱导系统研究[D].北京:北京邮电大学,2011.)
- [7] WANG Z, FAN Y, MAO E. Study on parking guidance system of city [J]. Computer Engineering and Design, 2006, 27(2): 188-194. (王泽河,樊月珍,毛恩荣.先进的城市停车诱导系统的研究[J].计算机工程与设计,2006,27(2):188-194.)
- [8] CHEN G C, LEE S Y. Evaluation of distributed and replicated HLR for location management in PCS network [J]. Journal of Information Science and Engineering, 2003, 19(1): 85-101.
- [9] SU D, WANG L, MA S. Vehicle detection method based on magnetoresistive sensors [J]. Computer and Communications, 2007, 25(3): 9-13. (苏东海,王亮,马寿峰.基于地磁感应的车辆检测方法的研究[J].交通与计算机,2007,25(3):9-13.)
- [10] CHEN Y, CAO Y, WANG L. A method of networking in large area of farm management based on ZigBee technology [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(23): 78-80. (陈勇,曹玉保,王林强.一种基于 ZigBee 技术在大规模农场管理中组网的方法[J].电子设计工程,2012,20(23):78-80.)
- [11] LYU X, WANG Z. Design and realization of ZigBee data transmission module [J]. Journal of Anhui Normal University: Natural Science, 2010, 33(4): 332-336. (吕鑫,王忠. ZigBee 无线数据传输模块的设计与实现[J].安徽师范大学学报:自然科学版,2010,33(4):332-336.)
- [12] LIU C. New wireless transport monitoring system based on ZigBee and geomagnetic sensor [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2011. (刘传瑞.基于 ZigBee 和地磁传感器的新型无线交通监控系统的研究与实现[D].成都:电子科技大学,2011.)
- [13] AKYILDIZ I F, STUNTEBECK E P. Wireless underground sensor networks: research challenges [J]. Ad Hoc Networks, 2006, 4(6): 669-670.
- [14] LI Z, WANG N, HONG T S, et al. Closed-loop drip irrigation control using a hybrid wireless sensor and actuator network [J]. Science China: Information Science, 2011, 54(3): 577-588.
- [15] (上接第 850 页)
- [16] SIAGIAN C, LAURENT I. Biologically inspired mobile robot vision localization [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2009, 25(4): 861-873.
- [17] REN K. Research on image understanding methods of outdoor scene based on machine vision [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011. (任柯燕.基于机器视觉的室外场景图像理解方法研究[D].北京:北京邮电大学,2011.)
- [18] WANG N. Study on shadow detection and removal [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008. (王宁.图像的阴影检测与去除算法研究[D].北京:北京交通大学,2008.)
- [19] WANG J, WANG S. A shadow detection method of color image based on RGB color space [J]. Information Technology, 2002, 26(12): 7-8. (王军利,王树根.一种基于 RGB 彩色空间的影像阴影检测方法[J].信息技术,2002,26(12):7-8.)