

④
⑧ 364-368

实时电子图像消旋系统

徐正伟 王军宁 吴成柯

TN919.8

(西安电子科技大学通信工程学院, 陕西, 西安, 710071)

摘要 给出一种用数字图像处理方法实现的实时图像消旋系统的硬件结构及其与之相适应的快速算法, 实验及实际应用结果表明, 用这种方法实现的图像消旋系统不但能克服原有光学消旋系统的不足, 而且还具有体积小、成本低、可靠性高等优点。

关键词 红外图像消旋系统, 实时图像旋转, 光学图像处理。

引言

在许多光学瞄准器、红外吊舱系统以及测量定标系统中, 时常要对光学探测器所获取的目标图像进行实时反旋转变换, 消除由于探测器的姿态变化而引起的图像旋转, 恢复图像的稳定状态, 以便人眼观看以及对目标图像的自动识别跟踪。

目前都使用光学系统来完成上述图像消旋^[2], 通过光学镜头的作用, 将进入探测器前的光学图像信号绕某一中心旋转一个角度, 即当一幅端正图像旋转了某一角度变成倾斜图像后, 根据该倾斜角度, 光学图像消旋系统能将图像端正过来。由于光的作用很快, 消旋过程不会造成图像信号的时延。同时光学图像消旋是在探测器的成像之前完成, 它不会减小探测器的视场。但光学图像消旋却存在一些严重不足: (1) 对精度较高的光学图像消旋系统, 要求很高的加工精度, 实现起来比较困难, 特别对红外成像系统, 实现难度更大。(2) 光学图像消旋系统是光学镜头在伺服结构的作用下完成的, 其角度分辨率很低, 角度瞬时变化率也不能太高。(3) 经光学图像消旋以后, 首先得到的是镜像图像, 还必须用专门的镜头来消除镜像, 这样增加了系统的体积和重量。(4) 经光学图像消旋以后, 减弱了到达探测器镜头的光学图像信号的能量, 降低了所获取图像的信噪比, 增加目标信号检测的难度。

随着数字信号处理和集成电路技术的发展, 用数字图像处理方法来实现图像消旋已成为可能。用它来取代现有的光学图像消旋系统, 不但能克服光学图像消旋系统的上述不足, 而且还具有体积小, 成本低, 可靠性高等优点。

1 实时电子图像消旋算法

图像消旋算法的本质是图像的旋转计算, 图像旋转是全局运算, 只能以一场图像为单位来进行旋转变换, 对 PAL 制的电视信号来说, 场频为 50Hz, 旋转变换所引起的图像延迟时间是 20ms。在实际使用中, 20ms 延迟时间是可以容许的。

在实时电子消旋系统中,图像分辨率是 $512 \times 256 \times 8\text{bit}$,是用 10MHz 的时钟对每场电视信号进行采样得到的,这就意味着必须在 100ns 时间内完成一个像素的 x 和 y 坐标旋转变换.假定给定数字图像 $f(x,y)$,其中 $x=0,1,2,\dots,511,y=0,1,2,\dots,255$.如果 $f(x,y)$ 绕点 (x_0,y_0) 旋转角度 θ 后得到图像 $f(x',y')$,那么 (x,y) 和 (x',y') 之间应存在如下关系:

$$\begin{cases} x' = (x-x_0)\cos\theta - (y-y_0)\sin\theta + x_0, \\ y' = (x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta + y_0. \end{cases} \quad (1)$$

根据式(1),由原图像 $f(x,y)$ 可计算旋转 θ 前后的图像 $f(x',y')$,但是考虑到 $\cos\theta$ 和 $\sin\theta$ 都是小于 1 的浮点数,坐标值却是整数,由于计算结果的取整,从而会造成若干个 (x,y) 坐标点旋转变换到同一个 (x',y') 坐标点,同时在图像 $f(x',y')$ 中,有些坐标点 (x',y') 在 $f(x,y)$ 中没有对应点 (x,y) ,得到的旋转图像存在所谓“空洞”.为了解决这个问题,可以采取插值法以及放大-旋转-抽点的方法^[2],这两种方法精度较高,但运算复杂,不适合硬件实现.为此我们采用另一种比较简单的方法.先给定旋转图像 $f(x',y')$ 中的坐标点 (x',y') ,求其在原图像 $f(x,y)$ 中的对应点坐标 (x,y) ,这样对给定的任意坐标 (x',y') ,除非其对应原图像中的点坐标超出坐标值范围,否则在原图像中都可以计算得到一个对应点,因此可以避免在旋转图像中出现“空洞”.根据式(1),得到由坐标 (x',y') 计算 (x,y) 的公式

$$\begin{cases} x = (x'-x_0)\cos\theta - (y'-y_0)\sin\theta + x_0, \\ y = (x'-x_0)\sin\theta + (y'-y_0)\cos\theta + y_0. \end{cases} \quad (2)$$

在标准的 PAL 制电视信号中,每场包含 312.5 行,其中正程为 288 行,而每行周期为 $64\mu\text{s}$,其中正程为 $52\mu\text{s}$,这样一个 $52\mu\text{s} \times 288$ 行的电视画面所表示的实际空间尺寸的宽高比为 4:3.为了得到 512×256 的数字图像,我们采用了 10MHz 的时钟对 288 行中的 256 行采样,每行采 512 个点,那么每行有 $0.1\mu\text{s} \times 512 = 51.2\mu\text{s}$ 的画面被采样.对这种分辨率的图像,同一行中相邻两个像素点和任意相邻两行之间的间隔所表示实际空间距离比不是 1:1,而是

$$\lambda = \frac{51.2/512 \times 4 \times 1/512}{256/288 \times 3 \times 1/256} = 0.783.$$

为了避免引起画面的非线性失真,必须先把 x 和 y 的单位坐标比调整到 1:1,然后利用旋转公式进行计算,最后把旋转后图像的坐标比调回到原来的比例,综合上述变换,最终得到变换公式

$$\begin{cases} x = x' \cos\theta + \frac{1}{\lambda} y' \sin\theta - x_0 \cos\theta - \frac{1}{\lambda} y_0 \sin\theta + x_0, \\ y = -\lambda x' \sin\theta + y' \cos\theta + \lambda x_0 \sin\theta - y_0 \cos\theta + y_0. \end{cases} \quad (3)$$

式(3)是乘积累加运算,所以采用乘积累加器来完成上述运算比较方便.但是,即使对速率比较高的专用硬件乘积累加器来说,要在 100ns 时间内完成 5 次乘积累加也是比较困难的,所以必须对式(3)进行适当的变换.令

$$\begin{cases} \Psi_x = -x_0 \cos\theta - \frac{1}{\lambda} y_0 \sin\theta + x_0, \\ \Psi_y = \lambda x_0 \sin\theta - y_0 \cos\theta + y_0, \end{cases} \quad (4)$$

则

$$\begin{cases} x = x' \cos \theta + \frac{1}{\lambda} y' \sin \theta + \Psi_x, \\ y = -\lambda x' \sin \theta + y' \cos \theta + \Psi_y. \end{cases} \quad (5)$$

旋转中心 (x_0, y_0) 是由探测器本身决定的,在系统正常运行过程中,一般不会轻易改变,而 θ 值在一场时间内不允许变换,所以在完成一场图像的旋转过程中, Ψ_x 和 Ψ_y 是常数,可以在场消稳时间内一次计算好,而每一像素点的旋转坐标可以按式(5)计算,这样每一坐标点的乘积累加次数减少到3次.

按式(5),从旋转后图像坐标 (x', y') 求其在原图像中的坐标 (x, y) ,而 (x', y') 坐标是按顺序给出的.对同一行内相邻的两象素点 (x', y') 和 $(x' + 1, y')$,如果 (x', y') 的对应原点是 (x, y) ,则 $(x' + 1, y')$ 对应的原点坐标是 $(x + \cos \theta, y - \lambda \sin \theta)$,所以对应于同一行内相邻两点,只要得到前一象素点坐标,后一象素点坐标计算只需1次乘积累加运算.同理,对相邻两行的同一列处的两象素坐标 (x', y') 和 $(x', y' + 1)$,如果 (x', y') 的对应原点是 (x, y) ,则 $(x', y' + 1)$ 对应的原点坐标是 $(x + \frac{1}{\lambda}, y + \cos \theta)$,所以对应于同一列处的相邻两行,只要得到前一象素点坐标,后一象素坐标计算也只需1次乘积累加运算.

用乘积累加器实现上述递推关系时,只需在每行消隐期完成 $(x + \frac{1}{\lambda} \sin \theta)$ 和 $(y + \cos \theta)$ 计算,而每行的正程期,对512个象素时钟,行地址 x 每时钟累加 $\cos \theta$,列地址每时钟累加 $-\lambda \sin \theta$.

2 系统的硬件结构^[1,3,4]

按照上一节所给出的图像实时旋转算法,我们可以用两片TRW公司的16位高速硬件乘积累加器TRW2210来分别实现图像旋转时的 x 和 y 坐标计算.系统的硬件结构如图1所示.

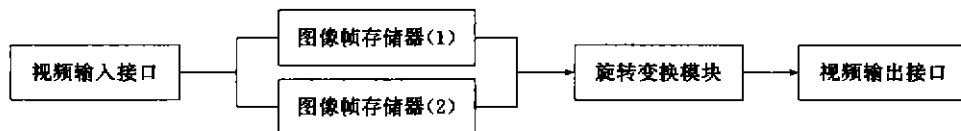


图1 实时系统的硬件结构框图

Fig. 1 Hardware block diagram of the real-time electrical system for canceling image rotation

视频输入接口包括A/D变换器、同步分离器、同步时钟产生器和输入地址产生器. A/D变换器把输入的模拟电视信号转换成每像素8bit的数字图像信号.为达到每场 $512 \times 256 \times 8$ bit的分辨率要求,必须采用采样频率大于10MHz的8bit视频A/D变换器.同步分离器从全电视信号中分离出行场同步,用作图像集时的定位信号.为了得到边缘光滑的数字图像信号,必须提供一个受行同步脉冲锁定的10MHz时钟信号作为系统的工作时钟.而地址产生器用来产生图像存储所需要的地址信号.

视频输出接口包括D/A变换器、视频合成器和白化处理电路. D/A变换器把得到的旋转以后的数字图像变成模拟信号,以便在视频合成器和同步信号一起合成全电视信号,用于显示以及进一步的处理.对于一幅方的图像,旋转某一角度后得到图像的外轮廓就可能不是方的,而且由于数字运算所带来的影响,必然造成图像四周外轮廓不光滑,严重影响视觉

效果.白化处理的目的是对旋转图像的边缘进行裁剪,使图像的边缘成为一个圆,圆内的图像保留,而圆外的图像全部消隐.白化处理必然会减少视场,为了使视场的损失达到最小,该圆必然是图像外轮廓的内切圆.不难证明该内切圆只与图像旋转中心位置 (x_0, y_0) 有关,而与旋转角度无关.旋转中心 (x_0, y_0) 越偏离图像中心,视场损失越大.前面说过,在系统正常工作过程中,旋转中心 (x_0, y_0) 是不变的,只有系统校正时才可能改变.为了实时地完成白化处理,可以在系统电复位时,用一片普通单片机来完成内切圆的计算,圆外和圆内的点分别用 0 和 1 来表示,并把该结果保存在一个存储器中.根据信息,图像实时消旋过程中,就可以直接完成白化处理,避免了由于内切圆的实时计算而对系统硬件提出更高要求.

为了使图像的实时采集和实时旋转能够同时进行,系统中采用了两个帧存储体,每一个帧存储体刚好能存储 1 幅 $512 \times 256 \times 8\text{bit}$ 的图像,即其容量为 128k 字节,两个帧存体交替工作,分别按顺序地址存储来自 A/D 变换器的图像数据和按旋转地址给视频输出接口提供旋转后的数字图像信号.

旋转地址产生器是按照上一节提出的快速消旋算法,用两片乘积累加器来产生旋转地址.为了简化电路的复杂性,旋转地址计算中所需要的各种三角函数值固化在 EPROM 中,旋转地址计算时,只须通过查表的方式直接得到所需要的各种三角函数值以及 λ 系数与三角函数的乘积值.式(4)共使用 3 种三角函数 $\cos\theta$ 、 $-\lambda\sin\theta$ 和 $-1/\lambda\sin\theta$,如果角度最小分辨率为 0.2° ,那么可能用到的三角函数值为 $360/0.2 \times 3 = 5400$ 个,所以可以用 2 片 8kbit 的 EPROM 来分别存储 5400 个三角函数的 16 位二进制值.图 2 给出了旋转地址产生器内部框图.用 11 根角度数据线和 2 根三角函数种类选择线作为 EPROM 地址线来读取三角函数值,将该三角函数值和平移量锁存器中的旋转中心一起送入乘积累加器 TRW2210,在时序控制器的作用下,中间运算结果保存在外部锁存器中,而计算得到的有效的 8 位列地址和 9 位行地址直接输出到帧存储器,以便按照旋转地址来读取帧存储器中的图像.

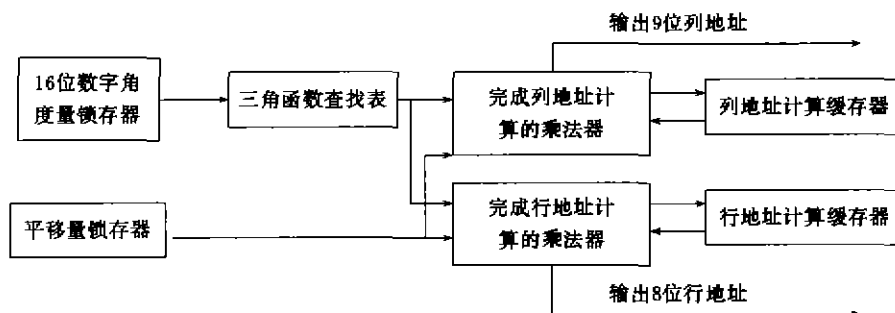


图 2 旋转地址产生器结构框图

Fig. 2 Block diagram of the rotation address generator

3 系统的实现

在系统实现过程中,我们采用了模块化和功能化设计技术,而且系统具有自检测功能,便于系统的调试和维护.

系统实现后,我们对各种红外和可见光图像进行实验及实际应用,图 4 是用我们的电子

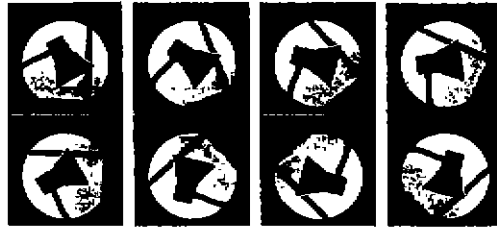


图3 对一个固定场景进行不同角度旋转构成的图像序列

Fig. 3 An image sequence obtained from the same image which rotates at different angles

图像消旋系统对一个固定场景旋转不同角度构成的一个图像序列. 实测结果表明, 由消旋产生的图像时延小于 20ms, 所引起的像素位置误差小于一个像素. 该系统还具有体积小, 重量轻, 性能稳定可靠的优点, 可用于各种瞄准和测标系统.

REFERENCES

- 1 Hennessy J L. *IEEE Trans. on Computers*, 1984, 33(12): 1221~1246
- 2 赵 桦, 等. *光学学报* (ZHAI H, et al. *Acta Optica Sinica*), 1995, 15(6): 734~737
- 3 Huang T S, et al. *Image Sequence Analysis*, Spring-Verlag, Berlin and New York, 1981
- 4 徐正伟, 陆心如, 吴成柯. *模式识别与人工智能* (XU Z W, LU X R, WU C K. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*), 1991, 4(3): 34~40

REAL TIME ELECTRICAL SYSTEM FOR CANCELING IMAGE ROTATION

XU Zheng-Wei WANG Jun-Ning WU Cheng-Ke

(Institute of Communication Engineering, Xidian University, Xi'an, Shanxi 710071, China)

Abstract A hardware structure and its corresponding fast algorithm of electrical system were given for canceling image rotation based on the digital image processing. The experimental results and applications in practice show that the electrical system not only overcomes the shortcomings of the present optical system, but also has advantages of small volume, low cost and high reliability.

Key words system for canceling infrared image rotation, real-time image rotation, optical image processing.