

雷达 PPI 光栅扫描显示系统设计及实现*

于慧颖, 鲁敏, 雍少为

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 :介绍一种基于微机的雷达 PPI 光栅扫描显示系统的设计与实现。研究了坐标快速转换、数据实时采集等关键技术,提出了优化查表法坐标转换方法以及回波数据的实时采集方案,很好满足了 PPI 光栅扫描显示系统中高速率、低存储量以及实时性的要求。研究成果已成功应用于某型号雷达 PPI 显示系统中。

关键词 :PPI 显示;雷达显控;光栅扫描;坐标转换

中图分类号 :TN95 **文献标识码** :A

Design and Realization of PPI Signal Raster Scan Radar Display System

YU Hui-ying, LU Min, YONG Shao-wei

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :The design and realization of PPI signal raster scan radar display system was introduced, and the key technologies of coordinates conversion and data real-time acquisition were analyzed too. An optimal table look-up method and a real-time data acquisition technical scheme were proposed. The methods were successfully used in a PPI signal raster scan radar display system on active service, and well fulfilled the high-speed, low-memory, and real-time requirements of raster scan radar.

Key words :PPI; radar display and control; raster scan; coordinates conversion

传统雷达 PPI 显示器显示目标回波信号是借助显示器内部荧光材料的余辉效应,通过电子束扫描线圆周扫过屏幕所留下的逐渐消隐的余辉来捕捉判断目标,在实现上往往采用大量的专用处理电路来实现各种显示方式,硬件实现结构复杂,缺乏灵活性和通用性。随着计算机技术、图形图像处理技术、数字信号处理技术及模式识别技术的发展,产生了利用通用微机进行 PPI 信号数字处理、显示、存储及自动目标识别等的需求^[1]。利用通用微机,能够以较低的成本实现灵活强大的信号和信息处理功能,满足多样化的数据和信息显示需求。

通用微机显示器的扫描方式为光栅扫描(直角坐标),而雷达回波信号一般为极坐标形式,因而要使雷达回波信号在微机的光栅扫描显示器上显示,必须解决坐标的转换问题。而雷达回波的数据采样速率往往很高,坐标转换运算极为频繁,为达到实时处理,要求转换运算速度很高。因此雷达 PPI 光栅扫描显示应用中的一个关键问题就是极坐标到直角坐标的映射问题。同时,如何保证数据采集的完整性和实时性是雷达显控以及相关信号处理的基本前提^[5]。

1 PPI 显示坐标转换原理及实现方法

一般,雷达回波信号采用极坐标体制,以距离和方位(ρ, θ)表示目标位置,而光栅显示器采用屏幕坐标系,以直角坐标(x, y)表示目标位置。如图 1 所示,极坐标转换成直角坐标基本关系如下。

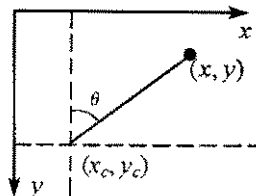


图 1 坐标转换基本原理

Fig.1 The principle of coordinates conversion

* 收稿日期:2006-07-17

基金项目:国家部委基金资助项目

作者简介:于慧颖(1978—),女,讲师,硕士生。

$$\begin{cases} x = x_c + \rho \cos\theta \\ y = y_c - \rho \sin\theta \end{cases} \quad (1)$$

其中 (x_c, y_c) 为显示中心值。实际应用中,常用的坐标转换方法有以下几种:

1.1 直接算法、累加法及计数法

直接算法实现极坐标到直角坐标转换过程是根据坐标转换的基本原理,预先计算和存储不同方位角的 $\sin\theta, \cos\theta$ 值,每一点的坐标变换经过两次与距离 ρ 的乘法,求得结果再与显示中心坐标值 (x_c, y_c) 求和,得到最终结果值 (x, y) 。在实际应用中该方法一般采用硬件实现,也称为 MAC 法。

累加法^[2]是对 MAC 法的一种改进算法,它根据每个方位角上的坐标点具有单调性,若相邻点距离为 ρ_0 ,则在每个方位角上 (x, y) 可看成是对中心值 (x_c, y_c) 和 $\rho_0 \sin\theta, \rho_0 \cos\theta$ 进行 n 次累加的结果。

$$\begin{cases} x = x_c + \sum_n \rho_0 \cos\theta \\ y = y_c - \sum_n \rho_0 \sin\theta \end{cases} \quad (2)$$

由于加法比乘法实现简单,所以累加法比起直接算法计算量明显减少。但由于计算过程是对有一定计算误差 $\rho_0 \sin\theta, \rho_0 \cos\theta$ 的值进行累加得到的结果,因此每个方位角上逐点误差累积。

计数法^[3]是对累加法进行进一步的分析,屏幕坐标 (x, y) 都是整数,且在同一方位角上,每个点坐标与上一点的屏幕坐标的变化量只有 0 和 1 两个值。根据这一特性,可以将各点对应的进位信息预先计算存储。这种方法在适当增加存储空间的前提下,进一步减少了实时计算,速度得以加快,并且可以通过改变某些点的进位信息,对累积误差进行修正。

1.2 完全查表法^[4]

完全查表法的主要思想是确定以方位角 θ 和距离 ρ 组成的极坐标地址空间与显示存储地址 (x, y) 的直角坐标地址空间的映射关系,并用查找表的方式反映这种映射关系,即 (ρ, θ) 为表的索引 (x, y) 为表的内容。极坐标与对应直角坐标的关系变为地址与内容的映射关系。查找表的内容事先根据坐标转换基本原理经过高精度计算得到,个别位置如需修正,或者要做特殊处理时,可直接定义。

根据完全查表法的原理,整个坐标转换只需要做从存储器取数的操作,没有计算操作,具有极高的速度。完全查表法坐标之间的映射关系是点对点直接定义的,任意一点的显示位置可以事先经过高精度的计算,因此完全查表法同时具有极高的精度。

2 优化查表法

完全查表法具有速度快、速度高、实现简单等优点,适用于基于微机平台的软件坐标运算,但在实际应用中我们发现,完全查表法实现 PPI 显示依然有消耗存储量较大、坐标转换存在漏点等问题。针对完全查表法的这些不足,提出了改进的优化查表法。

2.1 逆向运算解决漏点问题

完全查表法中极坐标点到直角坐标点转换的过程实际上是映射的问题,由于量化采样的问题,显然这种映射不是一一对应的关系,即在距离扫描中心点较近的范围内,直角坐标系点与多个不同方位角的极坐标点对应,而在离扫描中心点较远的范围内,总是存在某些直角坐标点,没有采样到的极坐标点与之对应,因此, PPI 扫描输出存在漏点现象。图 2 是完全查表法实际应用中在距离中心点较远区域出现的漏点截图,图中黑色的点是没有绘制到的点。

为解决这些问题,对于在映射中的漏点,在不增加角密度的前提下,采取逆向计算。同时在不改变量化方式的前提下,对于重复的点,采用比较取大灰度值输出的方法解决回波信息丢失问题。逆向计算是对所有的屏幕直角坐标点计算与它对应的极坐标点 (ρ', θ') ,而不是完全查表法中从极坐标到屏幕坐标的转换。计算所得的极坐标点 (ρ', θ') ,寻找与之最近的采样点 (ρ, θ) ,采用就近量化或插值的方法

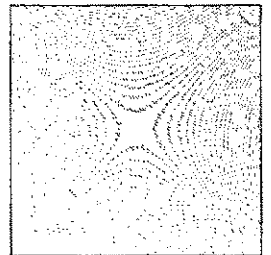


图 2 量化漏点
Fig. 2 The missing points in quantization

来得到该点灰度值,这种插值可以是线性的,也可以是非线性的。

$$\begin{cases} \rho' = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \\ \theta' = \arctan[-(y - y_c)/(x - x_c)] \end{cases} \quad (3)$$

虽然对于不同的显示半径和不同位置的视口,在远离 PPI 显中心的区域,漏点的数目不同,但是对于视口显示区域中的点数是固定的,这样在获得视口在雷达扫描区域的位置和大小时,就可以对屏幕上所有点都获得一定灰度值,达到实时输出。当然,在 PPI 显漫游和改变量程的时候,视口在整个区域上的大小和位置是不断变换的,这样 3 个三元组数据是动态变换的,通过对坐标转换关系的坐标平移,就可以得到新的坐标映射关系,然后对表中各个节点的灰度值重新赋值。这样,在不增加额外资源、不改变时序关系、不影响坐标转换实时速度的情况下,可以实现 PPI 显实时扫描显示。

2.2 利用对称性减少存储量

采用完全查表法,主要在于将坐标映射关系预先存储于链表当中,便于实时查询,减少了在显示输出过程中的坐标转换时间。假设对于 PPI 显示区域为 1024×1024 的窗口,方位量化密度为 4096,则完全查表法中链表要求的存储容量至少为 4M 字节,若考虑不同的量程以及信号处理的要求,对存储量的要求则更大。为了有效地减少查表法的存储量,可以利用直角坐标系中关于坐标轴以及象限平分线的对称性。如图 3 所示,只要预先计算阴影区域($45^\circ \sim 90^\circ$)中的坐标转换对应关系,其他区域的坐标转换对应关系均可由该区域的坐标转换关系简单置换和倒向来获得。

采用这样的以时间换取空间的坐标转换方法,由于置换和倒向的计算仅仅增加了一些判断,时间的增加几乎可以忽略,但对于存储量的要求只是完全查表法的 $1/8$,同时由于链表内容较少,查询效率反而大大提高。

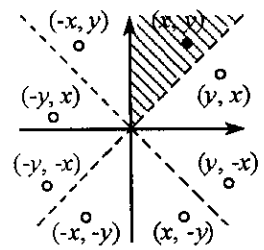


图3 坐标轴及象限平分线的对称性
Fig.3 Symmetry of the coordinate axis and quadrant bisector

3 雷达 PPI 光栅扫描显示系统设计与实现

雷达 PPI 光栅扫描显示系统还有一个重要问题就是雷达回波数据的实时采集。对于雷达显控系统,雷达回波数据不仅需要支持 PPI 全景图像的显示,还必须支持微 B 显轮廓像、A/R 视频图像、相关杂波抑制等数据处理的需要,因此,必须保证雷达回波数据的实时采集应该具有足够的采样率。雷达回波采集卡对模拟视频信号使用 A/D 变换电路进行“硬采样”,控制逻辑则对 A/D 变换之后的数字信号进行“软抽样”获取采样数据。进行数据“软抽样”的目的是为了解决雷达显控中不同量程以及不同距离范围的回波显示对数据采样频率的不一致性。

采集卡控制逻辑的具体结构如图 4 所示,分为方位变换器、频率控制器、抽样逻辑、读数逻辑和控制命令字六个逻辑单元。方位变换器接收数字天线方位信号,进行倒向、正北校正等处理,软件根据天线方位信号获取目标的方位,并且控制天线扫描。频率控制器为 A/D 变换提供硬采样时钟信号,为抽样、存储和读取逻辑单元提供抽样时钟信号,并为方位变换器提供数据锁存时钟信号。当接收到外部触发脉冲信号时,抽样逻辑使用抽样时钟信号锁存“硬采样”数据发送到对应的 RAM 中,存储逻辑则使用抽样时钟信号生成对应的 RAM 的地址,将数据保存到 RAM 缓存中。采集软件通过读数逻辑从 RAM 中读取数据。读数逻辑使用 PCI 总线时钟频率生成 RAM 地址,经过 PCI 接口控制器将 RAM 中的数据读取到 PCI 总线上。控制命令字单元负责接收采集软件发送的控制命令,并且将命令写入相应的逻辑单元中。

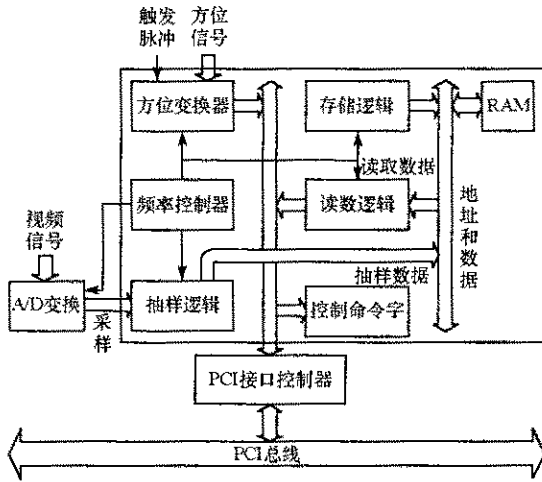


图4 采集卡控制逻辑结构

Fig. 4 The control logic structure of the data acquisition card

4 结论

全数字化显示是雷达终端显示器的必然发展方向。本文介绍的基于通用微机的雷达 PPI 光栅扫描显示技术已经在某型警戒雷达的新型数字化显控终端中得到应用,如图 5 所示。实际应用结果表明,论文中提出的优化查表法坐标转换方法以及回波数据的实时采集方案很好地满足了 PPI 光栅扫描显示系统中高速率、低存储量以及实时性的要求,可以有效地提高雷达显控系统的通用性与适应性,促进雷达回波信号数字化处理技术的实际应用与实现。

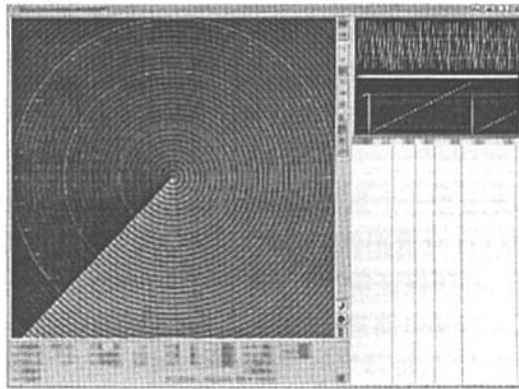


图5 数字化显控终端系统界面

Fig. 5 An interface of the digitized display and control terminal

参考文献:

- [1] 宋锐,张静,等. 基于通用微机的数字化雷达显控终端实现[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(5): 745-748.
- [2] Volder J E. The CORDIC Trigonometric Computing Technique[J]. IRE Transactions on Electronic Computers, 1959(9): 330-334.
- [3] 毕红葵,王红,等. 光栅扫描雷达显示系统关键技术问题解决方案[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(5): 14-19.
- [4] 徐展翼,欧阳宁,等. 高速 PPI 光栅扫描显示系统坐标转换设计与实现[J]. 桂林电子工业学院学报, 2003, 23(1): 57-60.
- [5] Thomas D H, Hayman E E. Raster Scan Radar Display[C]//International Conference Radar-87, 1987.

