

声呐接收系统中的坐标变换技术

钱炳兴

(中国科学院东海研究站 上海·200032)

本文论述了在声呐接收系统中把极坐标变换到直角坐标的原理和电子技术。首先对这种变换技术的理论根据作了分析,然后给出了实现这种理论的电路框图,最后叙述了这种坐标变换电路的工作原理。

1 引言

声呐接收基阵在海洋空间搜索目标信号时,信号处理系统都是以极坐标方式把接收到的回波信号记录在存储器中。但是显示目标信号的监视器却需要用直角坐标来工作,这就要求在电子技术上寻找一种变换技术,能够快速、正确地把以极坐标表示的数据变换到以直角坐标表示的数据。变换方式有两大类,一类是采用计算机技术,在软件上进行变换;另一类是采用坐标变换电路。实践表明,后一类方法虽然硬件工作量多,但变换速度快,可以满足数据的实时处理的要求。本文介绍的以 ROM 技术和坐标计数器为核心构成的坐标变换电路,具有构思独特,设计巧妙,工作可靠的特点。

2 坐标变换电路的基本理论

声呐以 $\Delta\theta$ 的步进角度在海洋空间中快速水平扫描目标时,一般采用极坐标,并且以船首的方位为 0° ,因此为了使得容易进行坐标变换,如图 1 所示,把直角坐标的 y 轴与极坐标的方位 0° 相重合,4 个象限的分布也示于图 1 中。将 R, θ 从 y 轴开始沿顺时针方向旋转,则直角坐标与极坐标之间的对应关系为

$$x = R \sin \theta \quad (1), \quad y = R \cos \theta \quad (2)$$

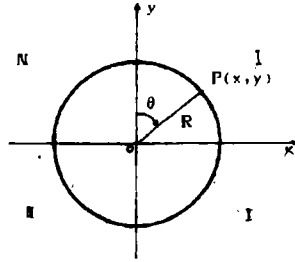


图 1

(1)和(2)式只适用于利用计算机计算,不适用于坐标变换电路,必须将 x, y 的表达式作进一步演化。

如图 2 所示,在以半径为 R 的圆周上,任选一点 P_{n-1} ,半径 R 与 y 轴的夹角为 θ_{n-1} ,则相应直角坐标为 $x_{n-1} = R \sin \theta_{n-1}, y_{n-1} = R \cos \theta_{n-1}$ 。然后将 P_{n-1} 点沿顺时针方向从 θ_{n-1} 移至 θ_n 的 P_n 点,这时得到一组新坐标为 $x_n = R \sin \theta_n, y_n = R \cos \theta_n$ 。根据 P_{n-1} 和 P_n 点的直角坐标关系式就可以求出坐标增量 Δx_n 和 Δy_n 为

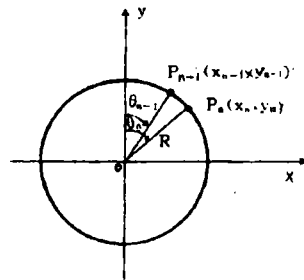


图 2

$$\Delta x_n = R(\sin\theta_n - \sin\theta_{n-1}) \quad (3)$$

$$\Delta y_n = R(\cos\theta_n - \cos\theta_{n-1}) \quad (4)$$

则 P_n 点的坐标 x_n 和 y_n 可用下式表示。

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x_n \quad (5)$$

$$y_n = y_{n-1} + \Delta y_n \quad (6)$$

式中 $n=1, 2, 3, \dots$ 为当前所求点序号, 而 $n-1$ 表示前一点的序号。从(3)~(6)式可以看出, 只要知道前一点 P_{n-1} 的座标、 θ_{n-1} 和当前所求点 P_n 的方位 θ_n 以及半径 R 就可以求得 P_n 点的座标 x_n 和 y_n 。实际上这是一种递推计算法, 它是从 $\theta=0^\circ$ 为起点, 因为这点的直角座标是已知的, 即 $x_0=0, y_0=R$ 。这样沿着圆周一点接一点地递推计算下去, 就可以把每点的座标从极座标变换到直角座标。

根据以上分析, 只要求出 $\Delta x_n, \Delta y_n$, 利用(5)、(6)两式求解 x_n, y_n 就是一件轻而易举的事, 而且(5)、(6)两式适合于设计电子线路。现在矛盾集中在如何在电路上求解 Δx_n 和 Δy_n , 因此必须进一步研究(3)、(4)两式的规律性。

对(3)、(4)两式利用三角函数的和差化积公式, 并利用 $\Delta\theta = \theta_n - \theta_{n-1}$ 这一关系, 则有

$$\Delta x_n = 2R \sin \frac{\Delta\theta}{2} \cos(\theta_n - \frac{\Delta\theta}{2}) \quad (7)$$

$$\Delta y_n = -2R \sin \frac{\Delta\theta}{2} \sin(\theta_n - \frac{\Delta\theta}{2}) \quad (8)$$

在(7)、(8)两式中, 半径 R 和 $\Delta\theta$ 可视作常数, 因为声呐扫描的步进角 $\Delta\theta$ 是固定不变的, 在某一特定的扫描圆周上, 半径 R 是一个已知数。这样公式(7)、(8)仅随 $\cos(\theta_n - \frac{\Delta\theta}{2})$ 和 $\sin(\theta_n - \frac{\Delta\theta}{2})$ 变化。众所周知, 正弦和余弦函数都是周期为 2π 的周期函数。假设在一个圆周上采样 512 点, 则有 512 组 $\Delta x_n, \Delta y_n$ 数据, 并且要求沿半径方向扫描 416 周, 如图 3 所示, 这样共有 512×416 组数据, 如果在电路上用 ROM 存储数据, 每组 $\Delta x, \Delta y$ 占用一个字节, 则共需 208K 字节的存储器。其实正弦和余弦之间具有一定的规律性, 从下面分析可知只需 26K 字节 ROM 容量就可以保存 $\Delta x_n, \Delta y_n$ 的数据。

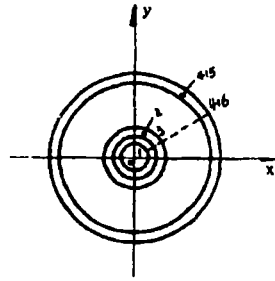


图 3

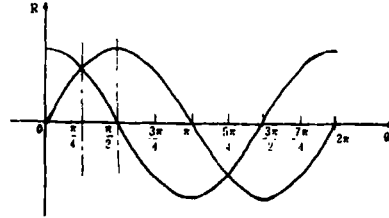


图 4

把 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 的曲线描绘于图 4 中。仔细观察图 4, 可以看出这样一种规律: θ 在 $0 \sim \pi/4$ 变化, $\sin\theta$ 的值在 $0 \sim \sqrt{2}/2$, $\cos\theta$ 的值为 $1 \sim \sqrt{2}/2$; θ 在 $\pi/4 \sim \pi/2$ 变化, $\sin\theta$ 的值正好等于 $\cos\theta$ 在 $\pi/4 \sim 0$ 范围内的值, 而 $\cos\theta$ 的值正好等于 $\sin\theta$ 在 $\pi/4 \sim 0$ 范围内的值。如果我们把 $\pi/4$ 的地方视作一根轴线, 则轴线右边的 $\sin\theta$ 与左边的 $\cos\theta$ 曲线是关于这根轴的轴对称曲线。反过来轴线右边 $\cos\theta$ 与左边的 $\sin\theta$ 曲线也是关于这根轴的轴对称曲线。

将一个圆周等分为 8 个区域, 每 1 扇区覆盖 $\pi/4$, 则每 1 区域内的 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 的函数值变化列于表 1 中。表 1 数据证明了 1 个事实: 任 1 $\pi/4$ 区域内的 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 的绝对值都可以用 $0 \sim \pi/4$ 范围内 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 的绝对值表示。由于 $\Delta x_n, \Delta y_n$ 仅仅随 $\cos(\theta_n - \Delta\theta/2)$ 和 $\sin(\theta_n - \Delta\theta/2)$ 变化, 所以它们具有与 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 相同的特性, 这样在设计电路时只需在 ROM 中储存 $0 \sim \pi/4$ 范围内的 $\Delta x_n, \Delta y_n$ 数据, 这就大大地减少了 ROM 容量, 简化了电路。

直角座标的增量 Δx_n 和 Δy_n 是带有正负

表 1

θ 角范围 函数形式 数值	$0 \sim \frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{4} \sim \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} \sim \frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4} \sim \pi$	$\pi \sim \frac{5\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{4} \sim \frac{3\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{2} \sim \frac{7\pi}{4}$	$\frac{7\pi}{4} \sim 2\pi$
$\cos\theta$	$1 \sim \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sim 0$	$0 \sim -\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2} \sim -1$	$-1 \sim -\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2} \sim 0$	$0 \sim \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sim 1$
$\sin\theta$	$0 \sim \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sim 1$	$1 \sim \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sim 0$	$0 \sim -\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2} \sim -1$	$-1 \sim -\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2} \sim 0$

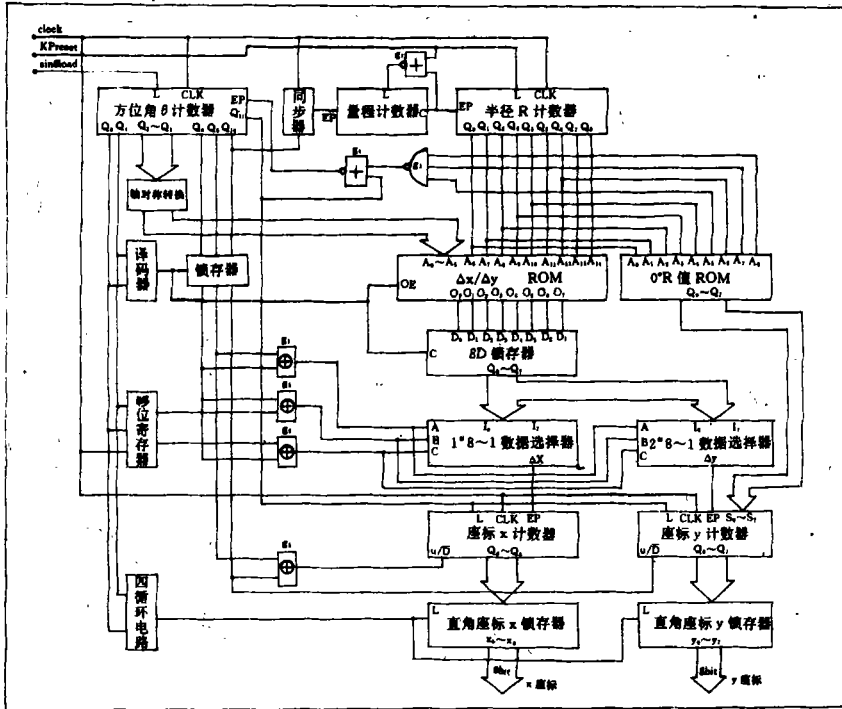


图 5

符号的量,它随所处的象限而变化,变化情况列于表 2 中。由此可见,在设计座标变换电路时,必须配合 Δx_n 、 Δy_n 存储器 ROM 再设计一个 Δx_n 、 Δy_n 的正负符号判别电路。

表 2

变 化 量	象 限			
	I	II	III	IV
Δx_n	+	-	-	+
Δy_n	-	-	+	+

通过上述对座标变换基本理论的研究,找到了设计座标变换电路的数学公式和设计原理。要设计一个完整的座标变换电路,还必须

声学技术

须解决 $\pi/4$ 轴对称转换技术,座标变换后图像显示的均匀性等问题,这将结合电路设计再作讨论。

3 座标变换电路的原理性方框图

根据上述讨论结果而设计的座标变换电路的原理性方框图如图 5 所示,它主要由以下几部分组成:方位角 θ 计数器;半径 R 计数器; $\Delta x/\Delta y$ ROM; Δx 、 Δy 的正负符号判别电路; $\pi/4$ 轴对称转换电路; $0^\circ R$ 值 ROM,直角座标 x 、 y 计数器及 x 、 y 值的选取和锁存电路。下面结合电路框图叙述各部分的设计思想和工作原理。

图5所示电路对应一个垂直分辨率240、水平分辨率320的彩色监视器。相应极坐标方位角分辨率 $\Delta\theta=0.703125^\circ$,在1个量程范围内,声呐扫描400周,若满量程为400米,则沿半径方向每间隔1米扫描1周。

电路图中共有3个外部控制信号,即扫描起始角同步脉冲 $\sin\theta$ Load,座标原点同步脉冲 kp reset,以及时钟信号 $clock$ 。

极坐标的方位角 θ 计数器在 $\sin\theta$ Load脉冲作用下复零,然后在时钟脉冲 $clock$ 作用下计数。它共有12根输出线 $Q_0\sim Q_{11}$ 。 $Q_2\sim Q_7$ 通过 $\pi/4$ 轴对称转换器后作为 $\Delta x/\Delta y$ ROM的地址 $A_0\sim A_5$ 。对于座标变化量 $\Delta x/\Delta y$ ROM来说, $A_0\sim A_5$ 代表64个存储地址,也就是代表方位角 $\pi/4$ 的覆盖区域。这就是说声呐的步进扫描角增加 0.703125° ,方位地址就增1。当方位角 θ 计数器计至 $Q_2\sim Q_7$ 为全高电平时,对应方位 $\pi/4$,再增一个方位地址则 Q_8 为高电平,这时 Q_8 控制轴对称转换器将 $A_0\sim A_5$ 地址反相,即 $A_0\sim A_5$ 全为高电平,随着方位角继续计数, $A_0\sim A_5$ 由全高向全低变化,对应方位角由 $\pi/4\sim 0$ 变化。这过程中 $\Delta x/\Delta y$ ROM输出的数据时序正好与 $0\sim\pi/4$ 相反,并且 $\Delta x/\Delta y$ 值交换。交换控制由异或门 g_1 完成,它对方位计数器输出 Q_8 和 Q_9 进行异或运算,其输出控制 $8\sim 1$ 数据选择器的地址 A ,地址 A 可称作奇偶地址线。 $\Delta x/\Delta y$ 均为4bit数据,它们1位间隔1位地互相镶嵌在 $8\sim 1$ 数据选择器中。当地址 $A=0$ 时,输出偶数单元,若1号 $8\sim 1$ 数据选择器输出 Δx 值,那么2号 $8\sim 1$ 数据选择器输出 Δy 值;当地址 $A=1$ 时,输出奇数单元,这时1号 $8\sim 1$ 数据选择器输出 Δy 值,2号 $8\sim 1$ 数据选择器输出 Δx 值。输出哪一位数据由异或门 g_5g_6 提供的地址 B/C 决定。方位计数器的 Q_8/Q_9 为高电平时分别表示 $\pi/4/\pi/2$,用 g_1 对这两线进行异或运算去控制 $8\sim 1$ 数据选择器地址 A ,实现了表1中8个区域中 $\Delta x/\Delta y$ 的绝对值用 $0\sim\pi/4$ 范围内的 $\Delta x/\Delta y$ 值来表示的原理。

$\Delta x/\Delta y$ 在对应4个象限中的正负号由方位角计数器的 Q_9/Q_{10} 来决定。 Q_9 的高电平或低电平决定 Δy 的正或负;而 Q_9 和 Q_{10} 经过 g_2 异或运算的结果决定 Δx 的正或负。

方位角计数器计满 360° 时, Q_{11} 为高电平,它一方面通过或非门 g_4 使方位角计数器停止计数,另一方面使座标 x/y 计数器重新置初值。在方位角计数器计到 180° ,即 $A_{10}=1$ 时,同步器工作使量程计数器增1,而量程计数器的输出控制半径 R 的计数状态。量程计数器的进位脉冲和 kp reset脉冲通过或非门 g_7 使量程计数器重新置数。半径 R 计数器共有9根输出线作为 $\Delta x/\Delta y$ ROM的地址 $A_6\sim A_{14}$ 及 $0^\circ R$ 值ROM的地址 $A_0\sim A_8$ 。半径 R 计数器最大可计数512,但根据前面要求只需计至400周,考虑留一点余量则为416周。因此用1个与门 g_3 对其输出译码,当半径 R 计数器计至416时, g_3 输出高电平,通过或非门 g_4 使方位计数器停止计数,等待下1个发射原点同步脉冲 kp reset将方位计数器和半径 R 计数器复位。方位计数器除同半径 R 计数器1个量程结束时复位1次外,每周都要复位1次。

$0^\circ R$ 值ROM专门解决当 $\theta=0^\circ$ 时, $x=0,y=R$ 的问题。 $0^\circ R$ 值ROM输出的8bit数据馈送给直角坐标的 y 计数器,每当 θ 计数至 360° 时,将 R 值装入 y 计数器, x 计数器复零。

方位角计数器的低两位输出 Q_0/Q_1 将步进扫描角 $\Delta\theta$ 分成4等分,即每等分为 0.175781° ,这两位数据有3种用途:(1)译码器对 Q_0/Q_1 进行译码,每隔 $\Delta\theta$ 就输出1个选通脉冲,把方位计数器的 $Q_8\sim Q_{10}$ 数据打入锁存器,允许 $\Delta x/\Delta y$ ROM输出数据并转储在 $8D$ 锁存器中。(2)移位寄存器将 Q_0/Q_1 移相,然后经异或门 g_5g_6 与 Q_8 异或运算后作为两个 $8\sim 1$ 数据选择器的地址 BC ,用于选择奇数或偶数单元的4bit数据 $\Delta x/\Delta y$ 到座标 x/y 计数器的控制端 EP ,计数器是否计数由 $\Delta x/\Delta y$ 的值究竟是高还是低电平决定。

(3) 4 循环电路对 Q_0 、 Q_1 的状态加工处理, 产生 1 个 4 相移位脉冲, 用于选择坐标 x 、 y 计数器的数据锁存于 x 、 y 地址锁存器中。

直角坐标 x 、 y 计数器受 Δx 、 Δy 控制而计数, 在 $\Delta\theta=0.703125^\circ$ 范围内, x 、 y 计数器最多可以计 4 个脉冲, 即每隔 0.175781° 使计数器变化 1 次。前面已经规定极坐标是间隔 $\Delta\theta=0.703125^\circ$ 取 1 个点, 这就要求直角坐标计数器同样每隔 $\Delta\theta$ 送出 1 组 x 、 y 坐标值, 本电路中采用 x 、 y 锁存器保存坐标值, 每隔 $\Delta\theta$ 更新 1 次。那么为什么采用 4 相移位脉冲去对 x 、 y 锁存器提供锁存脉冲呢? 原因很简单, 如果我们固定在某 1 方位上进行变换坐标, 则变换后的直角坐标中的图像会成射线状。电路中采用 4 循环电路产生的锁存脉冲, 每周相对于前 1 周在相位上延迟 $\Delta\theta/4$, 循环 4 周后回到原相位。采用 4 相脉冲循环法锁存 x 、 y 坐标值后, 图像就显得均匀, 不

会呈射线状。

4 结束语

本文讨论的坐标变换技术已应用于渔声声呐中, 其效果是令人满意的。当声呐接收基阵在海洋空间中作全方位扫描时, 接收系统先按极坐标方式把接收到的目标信号写入存储器 RAM, 再通过几种信号处理技术进行数据处理, 最后以坐标变换电路输出的直角坐标值 x 、 y 作为存储器的行地址和列地址, 把目标信号再转存到另 1 组 RAM 中。为了配合彩色监视器工作, 还须采用双图像存储器记录数据, 当 1 组 RAM 写入数据时, 另 1 组 RAM 正在被彩色监视器读出数据显示到荧屏上。上述介绍的坐标变换电路结构简单, 工作稳定, 可以应用于各种不同用途的声呐设计中。

.....

书 讯

《近代超声原理及应用》正式出版

由东南大学袁易全教授主编, 由袁与上海船舶电子设备研究所陈思忠研究员、南京大学冯若教授、章肖融副教授、王兆球副教授、南京林业大学刘宗杰副教授及东南大学郭延芬同志合著, 中科院院士张淑仪教授作序的《近代超声原理及应用》已于 1996 年 3 月由南京大学出版社出版。全书约 80 万字, 共 26 章。上、下册合订, 上册功率超声(前十一章), 下册检测超声(后十五章)。

该书的问世, 反映了当前国内外超声技术的最新发展概况, 是我国超声科技工作者不断取得成果的一种标志。该书根据当前高科技发展的需要, 以功率超声和检测超声为主要内容, 突出其实用性, 涉及国内外近百种超声仪器和技术。首次集中论述了我国功率超声应用, 填补了这一领域的空白。尤其对近代超声高技术分支的声化学和激光超声等进行了较为系统的论述。此外, 对超声马达、空气耦合换能器、距离几何定位及 PVDF 检测传感器也初次在此专著中得到反映。

参与编著的声学专家分别为高等院校和研究机构的科技工作者, 均在各自的领域从事过多年的研究工作, 熟悉、掌握国内外有关领域的研究动态和进展, 且在自身的研究工作中获得多项创新的成果。在撰写过程中, 他们总结国内外的科研成果, 包括自己及本单位研究成果, 荟萃精华, 融汇于本书之中。因此, 本书的出版对我国超声技术与应用的发展起着重要的推动作用。

本文发行由东南大学四系情报室钱振德副教授负责(邮编 210018)。

东南大学 袁易全