

引用格式:宋洪良,唐小明. 雷达同步信号参数提取及重构技术[J]. 电光与控制,2017,24(8):71-75. SONG H L, TANG X M. Radar synchronization signal extraction and reconstruction[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(8):71-75.

雷达同步信号参数提取及重构技术

宋洪良, 唐小明

(海军航空大学,山东 烟台 264001)

摘要: 对双基地雷达系统的同步方式进行了研究与改进,提出利用 GPS 秒脉冲时间信息将发射机同步信号参数化的方法,接收机通过参数重构同步信号进行回波信号的接收处理。该方法避免了从直达波中获取信息,也提高了发射机的共享性,使任何一部接收机都可共用一部发射机。通过对导航雷达 JMA2254 的实验,实现了无直达波雷达参数重构,达到了预期的实验效果。

关键词: 双基地雷达; 同步信号; 参数化; 重构

中图分类号: TN959.72 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2017.08.015

Radar Synchronization Signal Extraction and Reconstruction

SONG Hong-liang, TANG Xiao-ming

(Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: The synchronous mode of bistatic radar system is studied, and a method is proposed to parameterize the transmitter synchronization signal by using the GPS second pulse time information. The receiver can receive the echo signal by the reconstructed synchronization signal with the parameters. This method avoids obtaining information from the direct wave, and can improve the sharing of the transmitter, thus any one of the receivers can share the same transmitter. Through experiments to navigation radar JMA2254, radar parameter reconstruction with no direct wave is realized, which achieve the desired experimental results.

Key words: bistatic radar; synchronization signal; parameterization; reconstruction

0 引言

雷达作为战场上的一种重要武器,是获取控制信息的主要手段,在战场上起着至关重要的作用。常规单基地雷达由于其收发集于一体,随着科学技术的发展,其面临着“四大威胁”,即电子干扰、超低空突防、反辐射导弹和隐身武器,因此,拥有抗四大威胁能力的收发分离双基地雷达开始引起人们的关注^[1]。相比单基地雷达,双基地雷达利用空间分开的测量站进行信息融合,具有很多优点^[2]: 1)高精度的目标位置估值; 2)用多普勒方法估计目标速度和加速度矢量的可能性; 3)提高目标分辨能力; 4)提高目标处理能力; 5)提高抗干扰能力; 6)提高生存能力和可靠性。虽然双基地雷达系统在性能上有很大优势,但由于其需要进行同步,系统相对比较复杂。现将双基地雷达发射机端的同步信号,包括触发脉冲、方位脉冲以及船首脉冲等,

借鉴卫星两行参数进行定位的原理,将同步信号参数化。通过几个关键参数的获取,在接收机端重构出与发射机端一样的同步信号,这样可以大大提高双基地雷达的应用范围。

1 常规双基地雷达工作原理

1.1 双基地雷达测距测相

双基地雷达主要有发射机、接收机和同步系统组成^[3],其工作原理如图 1 所示,与单基地雷达相比,除了收发分离,最大的区别就是需要进行同步。

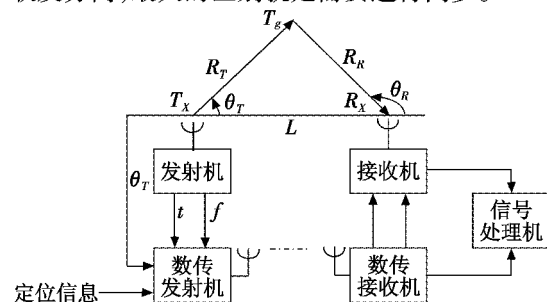


图 1 双基地雷达工作原理

Fig. 1 Working principle of bistatic radar

收稿日期:2016-08-08

修回日期:2016-09-06

作者简介:宋洪良(1990—),男,浙江绍兴人,硕士生,研究方向为雷达探测技术。

双基地雷达在工作时主要有以下几个重要参数:收发单元距离 L ; 回波和直达波经过的路程差 $R_D = R_T + R_R - L$; 发射角 θ_T ; 接收角 θ_R 。

1) 若已知 L, R_D 和 θ_T , 则由三角形定理和几何关系可知

$$R_R^2 = R_T^2 + L^2 - 2R_T L \cos \theta_T \quad (1)$$

$$\frac{\sin \theta_T}{R_R} = \frac{\sin(\pi - \theta_R)}{R_T} = \frac{\sin \theta_R}{R_T} \quad (2)$$

将 $R_T = R_D - R_R + L$ 代入式(1)、式(2)得

$$R_R = \frac{(R_D + L)^2 + L^2 - 2L(R_D + L) \cos \theta_T}{2(R_D + L - L \cos \theta_T)} \quad (3)$$

$$R_T = R_D - R_R + L \quad (4)$$

$$\theta_R = \arcsin\left(\frac{R_T \sin \theta_T}{R_R}\right) \quad (5)$$

2) 若已知 L, R_D 和 θ_R , 则由三角形定理和几何关系可知

$$R_T^2 = R_R^2 + L^2 - 2R_R L \cos \theta_R \quad (6)$$

$$\frac{\sin \theta_T}{R_R} = \frac{\sin(\pi - \theta_R)}{R_T} = \frac{\sin \theta_R}{R_T} \quad (7)$$

将 $R_T = R_D - R_R + L$ 代入式(6)、式(7)得

$$R_R = \frac{R_D^2 + 2LR_D}{2(R_D + L + L \cos \theta_R)} \quad (8)$$

$$R_T = R_D - R_R + L \quad (9)$$

$$\theta_T = \arcsin\left(\frac{R_R \sin \theta_R}{R_T}\right) \quad (10)$$

3) 若已知 L, θ_T 和 θ_R , 则由三角形定理和几何关系可知

$$\frac{L}{\sin(\theta_R - \theta_T)} = \frac{R_R}{\sin \theta_T} = \frac{R_T}{\sin \theta_R} \quad (11)$$

则可得

$$R_R = \frac{L \sin \theta_T}{\sin(\theta_R - \theta_T)} \quad (12)$$

$$R_T = \frac{L \sin \theta_R}{\sin(\theta_R - \theta_T)} \quad (13)$$

4) 若已知 θ_T, θ_R 和 R_D , 则由三角形定理和几何关系可知

$$\frac{L}{\sin(\theta_R - \theta_T)} = \frac{R_R}{\sin \theta_T} = \frac{R_T}{\sin \theta_R} \quad (14)$$

将 $R_T = R_D - R_R + L$ 代入式(14)得

$$R_R = \frac{R_D \sin \theta_T}{\sin \theta_R + \sin \theta_T - \sin(\theta_R - \theta_T)} \quad (15)$$

$$R_T = \frac{R_D \sin \theta_R}{\sin \theta_R + \sin \theta_T - \sin(\theta_R - \theta_T)} \quad (16)$$

为了保证接收机收到的回波信号是指定接收机发出的辐射信号, 在收发端需要进行时间、空间以及相位的同步^[4]。

1.2 双基地雷达同步方式

双基地雷达根据同步信号来源不同一般分为合作式和非合作式两种。

合作式双基地雷达的发射站产生雷达脉冲信号, 通过高功率放大器和天线发送脉冲信号, 同时通过直接路径发送参考信号、复制脉冲和其他辅助数据到接收站, 建立收发站时间、相位以及空间同步, 由控制计算机产生控制时序, 接收站形成同时多波束或宽波束接收目标散射信号。不足是收发单元是固定配对的。

非合作式双基地雷达的辐射源是不受接收站控制的。接收站接收直接路径信号与散射路径信号, 通过测量直接路径信号与散射路径信号的多普勒频移差异, 估算出目标双基地多普勒频移值, 双基地直接路径信号经时间延迟与散射路径信号时域对齐后进行相关检测, 通过积累器提高信号信噪比后再进行检测。不足是同步信息不稳定, 易受到干扰。

基于上述两种方式存在的不足, 本文提出一种既可以针对不同接收机, 又可以减小干扰和误差的方法。

2 雷达参数重构算法

雷达参数重构算法主要是基于 GPS 秒脉冲时戳定位功能, 利用时间信息对发射机的同步信号进行参数化, 从而在接收机端利用参数进行同步信号的匹配重构, 接收回波信息并进行图像显示。图 2 是雷达参数重构的算法。

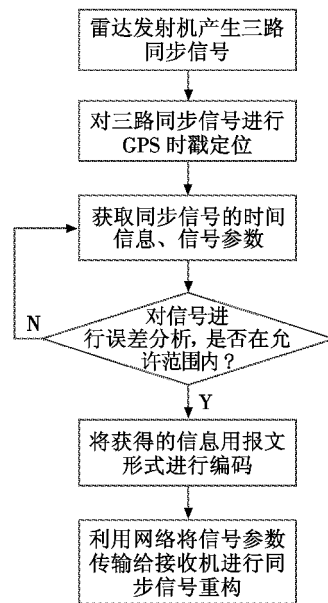


图 2 雷达参数重构算法

Fig. 2 Radar parameters reconstruction algorithm

2.1 GPS 时戳定位

GPS 定位和授时主要采用测距法, 即利用 4 颗卫星

同时进行距离测量,并解算出目标的位置^[5-6]。原理如图 3 所示。

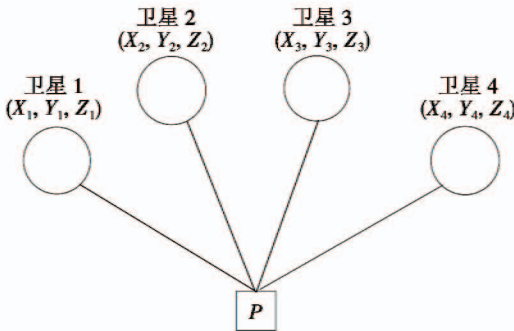


图 3 GPS 定位原理

Fig. 3 GPS positioning principle

设 T 时刻在目标位置 P 处用 GPS 接收机同时测得 4 颗卫星 1,2,3,4 到 P 点处的距离分别为 S_1, S_2, S_3, S_4 , 4 颗卫星的坐标分别为 $(X_i, Y_i, Z_i), i = 1, 2, 3, 4$, 则 P 点的坐标和时间 T 可通过式(17)得出。

$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2} = c(T - T_1) \\ S_2 = \sqrt{(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2} = c(T - T_2) \\ S_3 = \sqrt{(X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2} = c(T - T_3) \\ S_4 = \sqrt{(X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2} = c(T - T_4) \end{cases} \quad (17)$$

式中: $T_i, i = 1, 2, 3, 4$ 为各卫星的时间; T 为用户接收机的时间; c 为光速; (X, Y, Z) 是坐标, 用来定位, T 用来定时^[7]。

本文在基于第一种 GPS 数据格式的基础上获取时戳信息。时戳长度为 4 字节, 具体信息意义如表 1 所示。

表 1 时戳数据位意义

Table 1 Significance of time stamp data bit

	位置		
	1	2~3	4~32
意义	时间戳信息有效标志	时间刻度	以时间刻度为单位的计数

1) 时间刻度分为 4 种: 00 表示时间刻度为 6.25 ns, 01 表示时间刻度为 12.5 ns, 10 表示时间刻度为 20 ns, 11 表示时间刻度为 50 ns。

2) 4~32 位表示以时间刻度为单位的计数, 例如时间刻度为 10 时, 计数为 5000, 则表示秒时间为 $5000 \times 20 \text{ ns} = 100 \mu\text{s}$ 。

实际进行 GPS 时戳定位时, 时间信息主要通过如下报文格式进行发送: 0DOABE + 识别号 + 计数 + 时间戳。其中, 0DOABE 是信息头, 也叫报头, 主要用来标识 GPS 时间戳报文, 通过检测该报头从而找到 GPS 时间戳信息; 识别号是用来区别同步信号类型, 用 1 个字

节表示, 01 表示 GPS 时间秒信息, 02 表示船首信号, 03 表示方位信号, 04 表示触发信号; 计数分别是相对应的三路同步信号的计数, 用 2 个字节表示; 时间戳是对应的同步信号的时间精度的计数, 时间精度取 20 ns, 用 4 个字节表示。对于识别号为 01 的 GPS 时间秒信息, 后面的数据分别表示时间的日、月、年、时、分、秒, 各用 1 个字节表示。

2.2 触发脉冲同步

触发脉冲是用来同步视频信号, 确定回波的起始, 控制每次采样的开始。因此, 在发射机端对触发脉冲进行采集之后需要进行参数化处理, 才能在接收端进行触发脉冲重构, 从而采集回波信息^[8]。

以导航雷达 JMA2254 为实验对象, 该雷达虽然是收发一体的单基地雷达, 但本文通过对其发射和接收模块分别进行改进, 模拟双基地雷达的发射和接收单元。由其发射单元性能参数可知, 其触发周期为固定周期交替触发, 不同的量程固定周期不同。具体触发周期如表 2 所示。

表 2 触发脉冲周期表

Table 2 Period of trigger pulse

	量程/n mile				
	0.5	1.5	3	6	12
周期 1/ms	0.380	0.380	0.570	1.140	1.140
周期 2/ms	0.506	0.506	0.760	1.520	1.520

对于同一固定触发周期, 也不是完全稳定的, 相邻周期之间存在一定的波动。以 0.5 n mile 为例, 对同一固定周期进行误差分析, 结果如图 4 所示。最大波动范围为 100 ns, 而最小固定周期为 0.380 ms, 误差范围为 $\Delta = 100 \text{ ns} / 0.380 \text{ ms} = 0.026\%$, 测距误差为 $c * t / 2 = 15 \text{ m}$, 其波动误差在允许范围内, 可以认为周期是固定的。

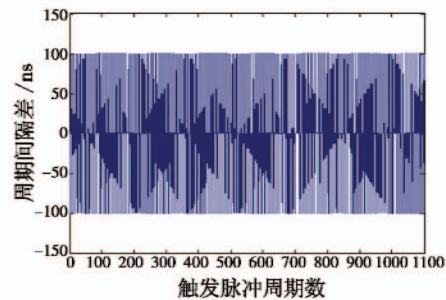


图 4 触发脉冲周期变化幅度

Fig. 4 Periodic variation of trigger pulse amplitude

在对触发脉冲进行参数化时, 由于周期是固定的, 故只需给出一个触发脉冲的初始时间, 再给予相应的周期, 即可在远端重构出触发脉冲, 通过不断更新参数, 保证周期波动在可控范围内, 则在接收机端可重构出一样的触发脉冲, 引入的误差很小。图 5 是触发脉

冲进行同步的算法流程。

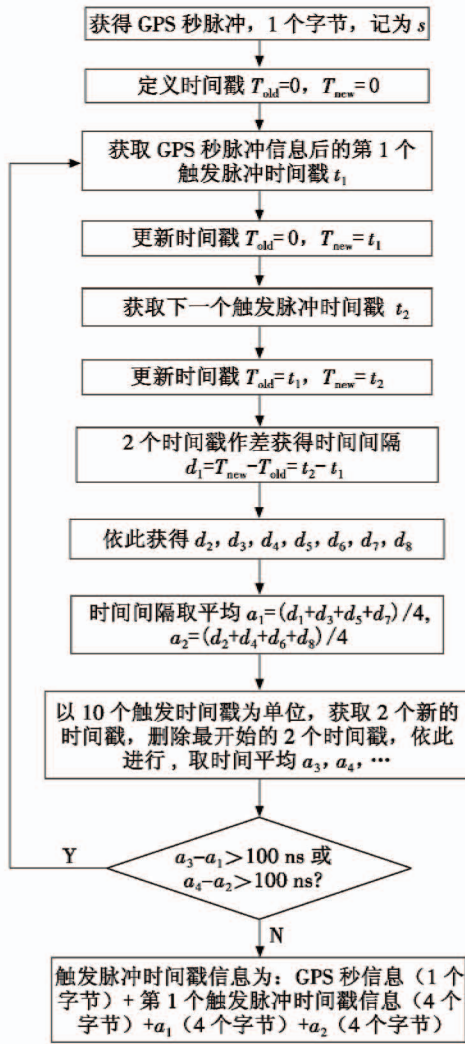


图5 触发脉冲同步算法

Fig.5 Trigger pulse synchronization algorithm

2.3 方位脉冲同步

方位脉冲同步主要是用于确定目标在接收机的具体方位。图6是双基地雷达中发射机发射信号经目标反射回接收机的示意图。

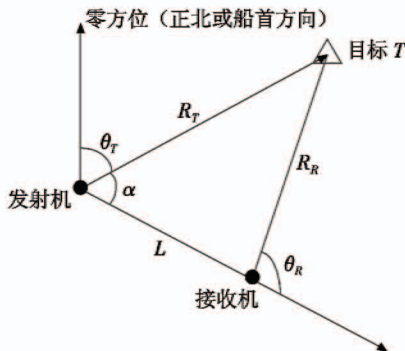


图6 目标与收发端方位关系

Fig.6 Target orientation relationship with the sending and receiving terminals

对方位脉冲进行同步,主要利用方位脉冲的时间信息,理论上方位脉冲和触发脉冲是有先后顺序的,先产生方位脉冲,再产生触发脉冲。现在利用触发脉冲的时间信息去匹配对应的方位脉冲时间信息,离触发最近的方位脉冲就是该触发脉冲的方位。

由图6可知,通过方位脉冲 GPS 时间戳,可以准确知道该方位脉冲是第几个,时间信息是多少,那么发射机的方位角 θ_T 就已知了,再加上发射机和接收机的位置关系^[9-10],确定基线长度 L ,并且通过触发脉冲和回波信号之间的时间差计算出距离和 $R_T + R_R$,那么通过三角形相关知识就可以确定目标在以接收机为中心的坐标系中的位置。

3 同步结果分析

根据上文同步方式的结果,将所有同步信号的信息通过参数的形式进行编码,编码格式为:01 + 时间1 + 02 + 数量2 + 时间2 + 03 + 数量3 + 时间3 + 04 + 数量4 + 时间4 + 周期1 + 周期2。上述编码格式中,01,02,03,04 分别代表 GPS 时间信息、船首脉冲、方位脉冲和触发脉冲。时间1,2,3,4 分别代表 GPS 秒脉冲、以及三路同步信号的时间信息,数量2,3,4 分别代表同步信号的计数,周期1,2 为触发脉冲的周期时间,通过上述参数,接收机端就可重构出发射机端的所有同步信号,以此接收回波,显示图像。

本文利用导航雷达的发射机和接收机进行试验,即双基地雷达中的一种特殊情况,基线长度为零。利用两块电路板对发射机和接收机进行处理,一块负责发射机的同步信号采集、获取时间参数,另一块接收参数,重构同步信号,接收回波信号并显示雷达图像。图7是接收机端利用参数进行重构后所显示的雷达图像。

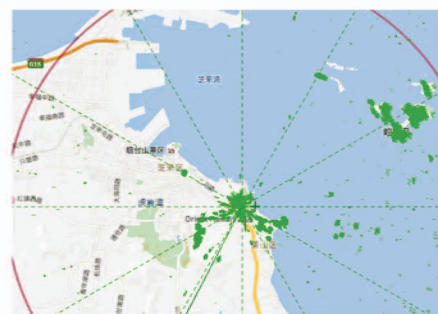


图7 参数重构后的雷达图像

Fig.7 Radar image with parameters reconstructed

从图7中可以看出,利用参数进行重构的效果比较好,与实际地图进行对比具有很好的重合度。

4 总结

通过分析常规双基地雷达同步信号的同步方法,

对于合作式双基地雷达,其针对面过于狭窄,只有匹配的接收机才能接收同步信号;非合作式双基地雷达针对面广,但其信号误差较大,对测量影响很大。基于这两种方式的不足,提出同步信号参数化的方法,既可以满足任何接收机,又具有很小的误差。

对雷达发射机同步信号进行参数化,一方面大大降低了接收机对信号接收的误差,另一方面大大提高了发射机的信息共享程度。对于同一发射机的同步信号,利用参数形式,任何一部在其覆盖范围内的接收机都可以进行同步信号重构,从而完成相应的接收回波及显示图像功能。

由于工程量太大,本文采用一部雷达的发射机和接收机进行特殊情况验证,通过最终结果的分析,同步信号参数化效果明显,很好地完成了接收机接收目标回波以及图像显示的功能。

本文从理论上和在特殊情况下说明并验证了利用参数编码形式对雷达同步信号可以实现重构同步,后续还将进行深入研究实验,使其具有普遍性。本文提出的参数编码同步方法,其应用前景很广,可以为双基地雷达完成同步工作提供一种新的方法,可以不需要发射机和接收机一一配套,只需一部发射机,多部接收机就可达到多部雷达同时工作的目的,大大减少了人力物力,提高了雷达的灵活性与共享性。

参考文献

- [1] 杨振起,张永顺,骆永军. 双(多)基地雷达系统[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [2] CHEMYAK V S. 双(多)基地雷达系统[M]. 周万幸,吴鸣亚,胡明春,译. 北京:电子工业出版社,2011.
- [3] 胡成. 双基地雷达同步技术与同步系统设计[D]. 成都:电子科技大学,2003.
- [4] 宋杰,何友,关键. 非合作双基地雷达测距方法与精度分析[J]. 电子科技大学学报,2009,38(2):169-172,221.
- [5] VYSKOCIL P, SEBESTA J. Relative timing characteristics of GPS timing modules for time synchronization application[C]//IEEE International Workshop on Satellite and Space Communications, 2009:230-234.
- [6] MOSAVI M R, AMIRMOINI H. Single-frequency GPS receivers ionospheric time-delay approximation using radial basis function neural network systems[C]//IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Tokyo, 2009:4592-4595.
- [7] 张治炼. 基于 GPS 授时的本地同步时钟的设计[D]. 成都:电子科技大学,2012.
- [8] POPOV V, WELCH B L. PCI data acquisition card for application in radiation imaging systems[C]//Nuclear Science Symposium IEEE, 2003, 4: 2339-2342.
- [9] 韩忠民. 知经纬度计算两点精确距离[J]. 科技传播, 2011(6):196,174.
- [10] 黎珍惜,黎家勋. 基于经纬度快速计算两点间距离及测量误差[J]. 测绘与空间地理信息,2013,36(11):235-237.

下 期 要 目

一种惯性/卫星容错组合导航系统设计
适用于 MEMS 惯导系统快速传递对准
三维动态不确定 UAV 自主避障算法
飞机悬挂物 FC 网络标准研究与关键技术分析
边攻击下的航线网络抗毁性测度
多电飞机变速变频电力系统建模与仿真
基于 FastSLAM 算法的无人机着陆方法

纯方位小幅机动目标定位跟踪技术研究
基于 Markov 模型的多状态不可修元件可靠性评估
大失准角情形下 UKF 与 CKF 的比较研究
面向雷达和通信一体化应用的阵列天线设计
分布式飞行控制计算机冗余管理与总线协议设计
基于 DSP + FPGA 的仪表着陆机载接收机检测仪
一种落角约束的自适应模糊滑模导引律