



(21) 申请号 202210342518.8

(22) 申请日 2022.04.02

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114740468 A

(43) 申请公布日 2022.07.12

(73) 专利权人 中国电子科技集团公司第三十八研究所

地址 230088 安徽省合肥市高新技术开发区香樟大道199号

(72) 发明人 靳学明 胡元奎 冯威 徐龙
周利华 范鹏飞 李科选 方佳
张莉

(74) 专利代理机构 合肥市浩智运专利代理事务
所(普通合伙) 34124

专利代理师 郑浩

(51) Int. Cl.

G01S 13/89 (2006.01)

G01S 7/40 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103323822 A, 2013.09.25

CN 103941242 A, 2014.07.23

CN 110609273 A, 2019.12.24

CN 113176571 A, 2021.07.27

DE 102020008040 A1, 2021.11.25

US 2006187497 A1, 2006.08.24

李财品.地球同步轨道SAR典型工作模式成像算法研究.CNKI博士学位论文电子期刊.2020, 全文.

Nasimuddin.A Wide-Beam Circularly Polarized Asymmetric-Microstrip Antenna.IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION.2015,全文.

王鼎;张莉;吴瑛.改进的阵列幅相差和阵元位置误差自校正算法.数据采集与处理.2008, (第02期),全文.

审查员 刘明进

权利要求书2页 说明书5页 附图5页

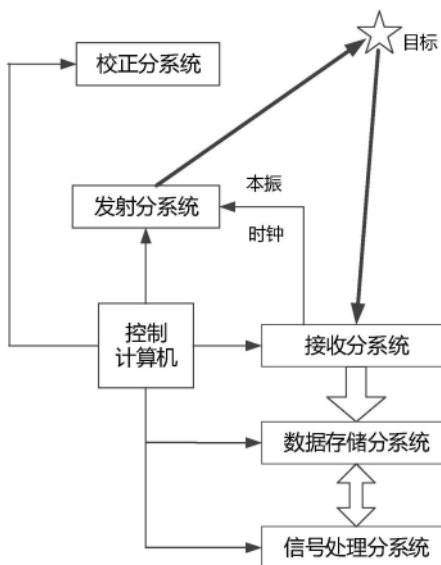
(54) 发明名称

一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统

(57) 摘要

一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,属于雷达成像技术领域,解决现有雷达成像时间长、无法实现同时多目标成像的问题;通过校正信号处理得到通道时延误差值、通道相位误差值和优化处理后的阵元位置精确值;将校正工作模式中得到的通道时延误差值、通道相位误差值进行补偿,然后再经过成像信号发射、成像信号接收与采集、通道增益均衡、通道时延误差校正、通道相位误差校正、瞬时成像,最终获得目标图像;采用宽波束凝视体制,实现同时多目标观测;采用大口径接收阵列,实现对运动目标的瞬时高分辨成像;采用稀布阵列体制,在保证成像性能的前提下,有效降低系统设备量和成本,在军事和民用领域均有良好的应用

前景。



1. 一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,包括:发射分系统、校正分系统、接收分系统、数据存储分系统、信号处理分系统和控制计算机;所述的发射分系统用于实现宽带波形的产生、混频、放大和发射;所述的校正分系统用于实现校正信号的产生和发射;所述的接收分系统用于实现校正信号和目标散射回波信号的接收、低噪声放大、下变频、滤波和采样后输出数字I/Q信号;所述数据存储分系统用于将接收机分系统输出的数字信号存储在高速大容量存储板卡中;所述信号处理分系统用于对数据存储分系统中的数字信号进行系统校正处理和瞬时成像处理;所述的控制计算机用于生成时序、命令控制信号,实现对发射分系统、校正分系统、接收分系统、数据存储分系统和信号处理分系统的控制和调度;

所述的雷达系统采用宽波束凝视体制,实现同时多目标观测;同时采用稀疏布阵的方式构建大口径接收天线,从而保证系统的瞬时成像能力;包括两种工作模式:校正工作模式和成像工作模式;

校正工作模式的流程为:雷达开机、配置系统参数、校正信号发射、校正信号接收、信号采集和处理,根据已知的阵元位置测量值,通过校正信号处理得到通道时延误差值、通道相位误差值和优化处理后的阵元位置精确值;所述的校正信号采用码分、频分、时分以及随机频点相结合的方式设计;

成像工作模式的流程为:首先将校正工作模式中得到的通道时延误差值、通道相位误差值进行补偿,然后再经过成像信号发射、成像信号接收与采集、通道增益均衡、通道时延误差校正、通道相位误差校正、瞬时成像,最终获得目标图像。

2. 根据权利要求1所述的一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,所述的发射分系统包括:波形产生模块、混频器、发射机和宽波束发射天线;所述的波形产生模块用于生成工作在基带的宽带探测波形,即线性调频信号;所述的混频器用于将波形产生模块生成的基带波形调制到工作载频上得到射频信号;所述的发射机用于将混频器生成的射频信号进行功率放大后输出;所述的宽波束发射天线用于将发射机输出的大功率射频信号以凝视方式辐射到成像区域。

3. 根据权利要求2所述的一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,所述的校正分系统包括:校正信号产生器和校正天线,所述的校正信号产生器用于产生校正信号并输出;所述的校正天线用于将所述校正信号产生器生成的校正信号辐射到接收天线阵列区域。

4. 根据权利要求3所述的一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,所述的接收分系统包括:接收天线阵列、低噪声放大器组和多通道接收机;所述的接收天线阵列用于接收校正分系统辐射的校正信号和目标散射的回波信号;所述的低噪声放大器组用于将接收天线阵列输出的射频信号进行低噪声放大后输出;所述的多通道接收机用于将低噪声放大器组输出的射频信号进行下变频、滤波、采样后输出数字信号。

5. 根据权利要求1所述的一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,所述的控制计算机与发射分系统、接收分系统、校正分系统、数据存储分系统和信号处理分系统连接的控制信号接口为网络接口。

6. 根据权利要求2所述的一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,所述的波形产生模块与接收分系统连接的时钟接口为标准射频接口。

7.根据权利要求2所述的一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,其特征在于,所述的混频器与接收分系统连接的本振接口为标准射频接口。

一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统

技术领域

[0001] 本发明属于雷达成像技术领域,涉及一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统。

背景技术

[0002] 不同于光学成像,雷达成像属于主动成像技术,因此能够全天时、全天候工作。此外,由于电磁波还具备一定的穿透能力,因此某些雷达还能够对隐蔽目标进行穿透成像。这些技术优势使得雷达成像技术发展迅速,不仅在军事领域发挥了重要作用,也广泛应用于地理测绘、资源勘查、灾情监测、精细农业等诸多民用领域。

[0003] 现有技术中,申请公布号为CN105974386A、申请公布日为2016年9月28日的中国发明专利申请《一种多基地雷达多目标成像定位方法》将多目标空间定位看做是三维成像,通过将多个接收机回波信号的幅度信息投影到三维图像空间,再从图像空间提取目标从而实现目标定位功能,解决了数据关联问题。公开日期为2006年3月的文献《空间多目标跟踪及精确成像的天基毫米波雷达》(张云华,中科院空间科学与应用研究中心,电光系统)介绍了空间多目标跟踪及精确成像的天基毫米波雷达的系统设计,给出了运用时-频分析方法和图像处理方法进行运动补偿的算法成像模拟结果;但是该文献将雷达波束在预定范围内扫描,此时雷达为窄带信号,不具备成像功能,只有目标在波束范围内进行跟踪锁定,且在保证波束长时间持续照射情况下,雷达采用步进频宽带信号可实现目标成像;采用窄带波束,可通过电扫实现大空域覆盖,但不能实现单波束同时大空域覆盖,也不能实现宽空域多目标瞬时成像。同时天基毫米波实孔径雷达的功率孔径积受硬件、成本限制,距离、空域覆盖范围有限,成本较高,成像分辨率受其孔径限制。公开日期为2019年12月的文献《稀疏阵列天基雷达系统分析和运动目标成像探测技术研究》(潘洁,中国科学院大学)所采用的雷达体制为基于稀疏阵的MIMO体制和综合脉冲孔径体制,发射单元发射正交波形,因为波束在空间上不相干,所以作用距离有限。而且,天基稀疏阵列雷达的功率孔径积受硬件、成本限制,不能实现远距离目标的二维高分辨率成像;且文中的基于稀疏阵列的天基SAR成像依靠长时间信号积累,不能做到瞬时成像。

[0004] 传统的雷达成像技术主要包括实孔径成像和合成孔径成像两大类。一般来说,不论是实孔径成像还是合成孔径成像,距离向都是通过对大带宽信号进行匹配滤波处理实现高分辨。对方位向而言,实孔径雷达是指依靠真实存在的大口径天线所产生的极窄波束获得方位向分辨能力;而合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)和逆合成孔径雷达(Inverse Synthetic Aperture Radar, ISAR)则是利用雷达与目标之间的相互运动形成大口径的虚拟阵列,进而实现方位向高分辨成像。然而,传统雷达成像技术具有一些固有的技术缺陷。譬如:受限系统成本,实孔径雷达通常难以获得远距离目标的二维高分辨率图像。而SAR和ISAR通常依靠较长时间的相干积累才能获得二维高分辨率图像,因此无法实现“瞬时成像”。此外,ISAR通常只能对单个目标进行成像,不具备同时多目标成像能力。

发明内容

[0005] 本发明目的在于设计一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,以解决现有雷达成像时间长、无法实现同时多目标成像的问题。

[0006] 本发明通过以下技术方案解决上述技术问题:

[0007] 一种宽波束凝视体制稀疏阵同时多目标瞬时成像雷达系统,包括:发射分系统、校正分系统、接收分系统、数据存储分系统、信号处理分系统和控制计算机;所述的发射分系统用于实现宽带波形的产生、混频、放大和发射;所述的校正分系统用于实现校正信号的产生和发射;所述的接收分系统用于实现校正信号和目标散射回波信号的接收、低噪声放大、下变频、滤波和采样后输出数字I/Q信号;所述数据存储分系统用于将接收机分系统输出的数字信号存储在高速大容量存储板卡中;所述信号处理分系统用于对数据存储分系统中的数字信号进行系统校正处理和瞬时成像处理;所述的控制计算机用于生成时序、命令控制信号,实现对发射分系统、校正分系统、接收分系统、数据存储分系统和信号处理分系统的控制和调度;

[0008] 所述的雷达系统采用宽波束凝视体制,实现同时多目标观测;同时采用稀疏布阵的方式构建大口径接收天线,保证了系统的瞬时成像能力;其包括两种工作模式:校正工作模式和成像工作模式;

[0009] 校正工作模式的流程为:雷达开机、配置系统参数、校正信号发射、校正信号接收、信号采集和处理,根据已知的阵元位置测量值,通过校正信号处理得到通道时延误差值、通道相位误差值和优化处理后的阵元位置精确值;所述的校正信号采用码分、频分、时分以及随机频点相结合的方式进行设计;

[0010] 成像工作模式的流程为:首先将校正工作模式中得到的通道时延误差值、通道相位误差值进行补偿,然后再经过成像信号发射、成像信号接收与采集、通道增益均衡、通道时延误差校正、通道相位误差校正、瞬时成像,最终获得目标图像。

[0011] 对于传统的成像雷达来说,实孔径雷达是指依靠真实存在的大口径天线所产生的极窄波束从而获得方位分辨能力,但其成本极高,并且实现同时宽空域覆盖难度大;SAR和ISAR通常依靠较长时间的相干积累才能获得二维高分辨率图像,因此无法实现“瞬时成像”,并且对雷达与目标的相互运动要求限制雷达作用距离,影响其远距离成像功能。另外,ISAR通常只能对单个目标进行成像,不具备同时多目标成像能力。本发明的技术方案综合了宽波束以及大口径稀疏阵列体制特点,能够同时实现运动目标瞬时高分辨成像(得益于大口径)、多目标观测(得益于宽波束),具有低成本,低设备量(得益于稀布阵列)的优点。

[0012] 进一步地,所述的发射分系统包括:波形产生模块、混频器、发射机和宽波束发射天线;所述的波形产生模块用于生成工作在基带的宽带探测波形,即线性调频信号;所述的混频器用于将波形产生模块生成的基带波形调制到工作载频上得到射频信号;所述的发射机用于将混频器生成的射频信号进行功率放大后输出;所述的宽波束发射天线用于将发射机输出的大功率射频信号以凝视方式辐射到成像区域。

[0013] 进一步地,所述的校正分系统包括:校正信号产生器和校正天线,所述的校正信号产生器用于产生校正信号并输出;所述的校正天线用于将所述校正信号产生器生成的校正信号辐射到接收天线阵列区域。

[0014] 进一步地,所述的接收分系统包括:接收天线阵列、低噪声放大器组和多通道接收

机;所述的接收天线阵列用于接收校正分系统辐射的校正信号和目标散射的回波信号;所述的低噪声放大器组用于将接收天线阵列输出的射频信号进行低噪声放大后输出;所述的多通道接收机用于将低噪声放大器组输出的射频信号进行下变频、滤波、采样后输出数字信号。

[0015] 进一步地,所述的控制计算机与发射分系统、接收分系统、校正分系统、数据存储分系统和信号处理分系统连接的控制信号接口为网络接口。

[0016] 进一步地,所述的波形产生模块与接收分系统连接的时钟接口为标准射频接口。

[0017] 进一步地,所述的混频器与接收分系统连接的本振接口为标准射频接口。

[0018] 本发明的优点在于:

[0019] 本发明所述的雷达系统,采用宽波束凝视体制,可以实现同时多目标观测;采用大口径接收阵列,可以实现对运动目标的瞬时高分辨成像;采用稀布阵列体制,在保证成像性能的前提下,有效降低了系统设备量和成本;在军事和民用领域均有良好的应用前景。

附图说明

[0020] 图1为本发明实施例的基于稀布阵列的瞬时成像雷达系统结构示意图;

[0021] 图2为本发明实施例的发射分系统的组成结构示意图;

[0022] 图3为本发明实施例的校正分系统的组成结构示意图;

[0023] 图4为本发明实施例的接收分系统的组成结构示意图;

[0024] 图5为本发明实施例的校正工作模式的流程图;

[0025] 图6为本发明实施例的成像工作模式的流程图;

[0026] 图7为本发明实施例的基于微波光子稳相传输的稀疏阵列校准系统结构示意图。

具体实施方式

[0027] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 下面结合说明书附图以及具体的实施例对本发明的技术方案作进一步描述:

[0029] 实施例一

[0030] 如图1所示,一种同时多目标瞬时成像雷达系统,包括发射分系统、接收分系统、校正分系统、数据存储分系统、信号处理分系统和控制计算机。

[0031] 如图2所示,发射分系统用于实现宽带波形的产生、混频、放大和发射等功能。所述发射分系统包括:波形产生模块、混频器、发射机和宽波束发射天线。波形产生模块在控制计算机和接收分系统产生的时钟信号的控制下实现宽带波形产生,控制信号接口为网络接口,时钟信号接口为标准射频接口。混频器将宽带波形调制到工作载频并输出射频信号,其本振信号接口为标准射频接口。发射机实现射频信号的功率放大。宽波束发射天线将功率放大后的射频信号辐射到成像区域,保证同时多目标探测能力。

[0032] 如图3所示,校正分系统用于实现校正信号的产生和发射等功能。所述的校正分系统包括校正信号产生器和校正天线。校正信号产生器产生校正信号并输出。校正天线将校

正信号辐射到接收天线阵列区域。

[0033] 如图4所示,接收分系统用于实现校正信号和目标散射回波信号的接收、低噪声放大、下变频、滤波和采样后输出数字I/Q信号。所述的接收分系统包括:接收天线阵列、低噪声放大器组和多通道接收机。接收天线阵列实现校正信号和目标散射回波信号的接收。低噪声放大器组实现对接收信号的低噪声放大。多通道接收机实现将所述低噪声放大器组输出的射频信号进行下变频、滤波、采样后输出数字I/Q信号。

[0034] 所述同时多目标瞬时成像雷达系统主要有两种工作模式:校正工作模式和成像工作模式。

[0035] 如图5所示,校正工作模式的流程为:系统开机、系统参数配置、校正信号发射、校正信号接收与采集和校正信号处理。结合前期已知的阵元位置测量值,通过校正信号处理可以得到通道时延误差值、通道相位误差值和优化处理后的阵元位置精确值。

[0036] 如图6所示,成像工作模式的流程为:成像信号发射、成像信号接收与采集、通道增益均衡、通道时延误差校正、通道相位误差校正、瞬时成像,最终获得目标图像。其中,通道时延误差校正、通道相位误差校正和瞬时成像需要结合所述校正工作模式输出的通道时延误差值、通道相位误差值和阵元位置精确值。

[0037] 在系统搭建初期,各个阵元的位置坐标会通过全站仪或激光跟踪仪测量得到粗略值,之后还需测量其精确坐标,以及各个通道的时延及相位误差,这一步就是校正模式。得到精确时延及相位误差后,在信号处理程序中,需将时延及相位误差补偿掉,再进行成像处理。其中时延及相位误差计算属于校正过程中的内容。在得到时延之后,只需在信号处理过程中,将每个阵元的时延补偿即可。

[0038] 采用满足宽波束空域覆盖要求的稀疏阵列布阵方法,在保证成像分辨力的前提下尽可能的减少阵列规模,降低研制成本,及对收发阵列稀疏优化设计。为实现对飞行目标的一次快速成像,本系统需要在目标移动不超过四分之一波长的时间内完成信号采集,为实现系统的快速采样,采用码分、频分、时分以及随机频点相结合的信号波形设计。稀疏阵成像对各通道相位一致性要求高,为了实现瞬时成像,需要通过系统标校获得通道相对时延误差、通道相对相位误差和阵元的相对精确位置,综合等间隔稀疏、随机稀疏等方法,利用遗传算法等优化算法对天线阵列进行稀疏布阵优化,在获得足够成像效果的同时达到最大稀疏度,有效节省系统的成本。

[0039] 相对于集中式阵列体制,稀疏阵列的孔径一般较大,因此标校信号的传输距离很远。在远距离传输的条件下,保持标校信号的幅相一致性和稳定性是阵列通道误差校正的关键。如果采用射频电缆传输标校信号,传输距离损耗难以接受,且相位一致性难以保证。如果采用传统的光纤链路传输标校信号,则电-光、光-电转换造成的幅相误差不容忽视,且外部环境变化引起的相位抖动影响严重。如图7所示,本系统利用微波光子稳相传输链路远距离传输标校信号,保证馈入分布式接收阵列通道前端的标校信号的幅度和相位一致;对接收到的标校信号进行处理,估计各个通道之间的相对幅度、相位和时延误差,即通道幅度误差标定、通道相位误差标定和通道时延误差标定。

[0040] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者

替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

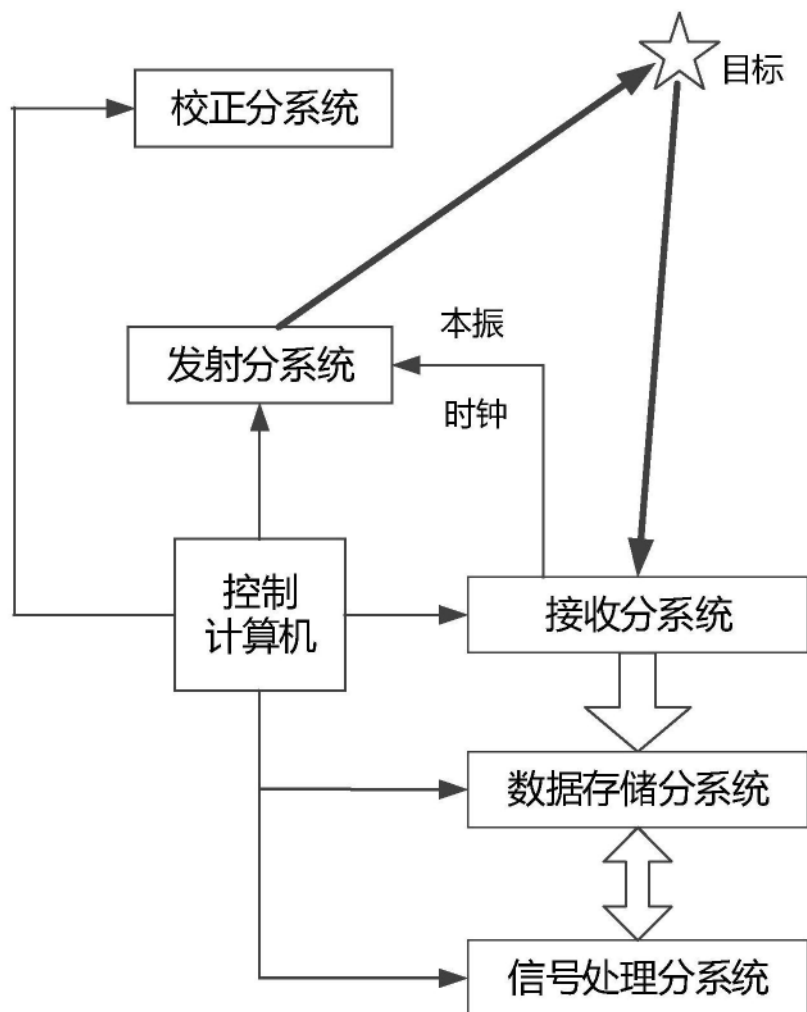


图1

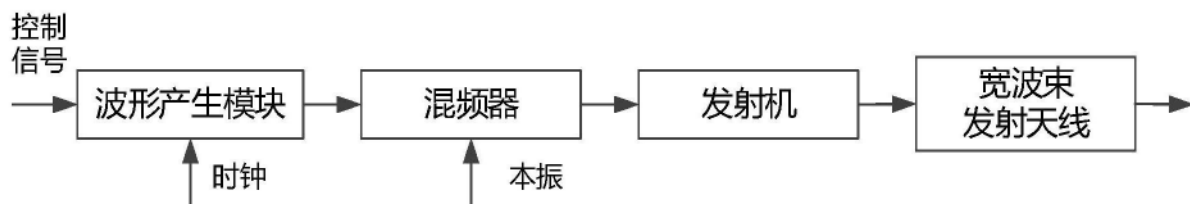


图2

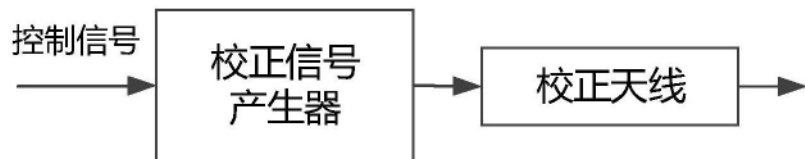


图3

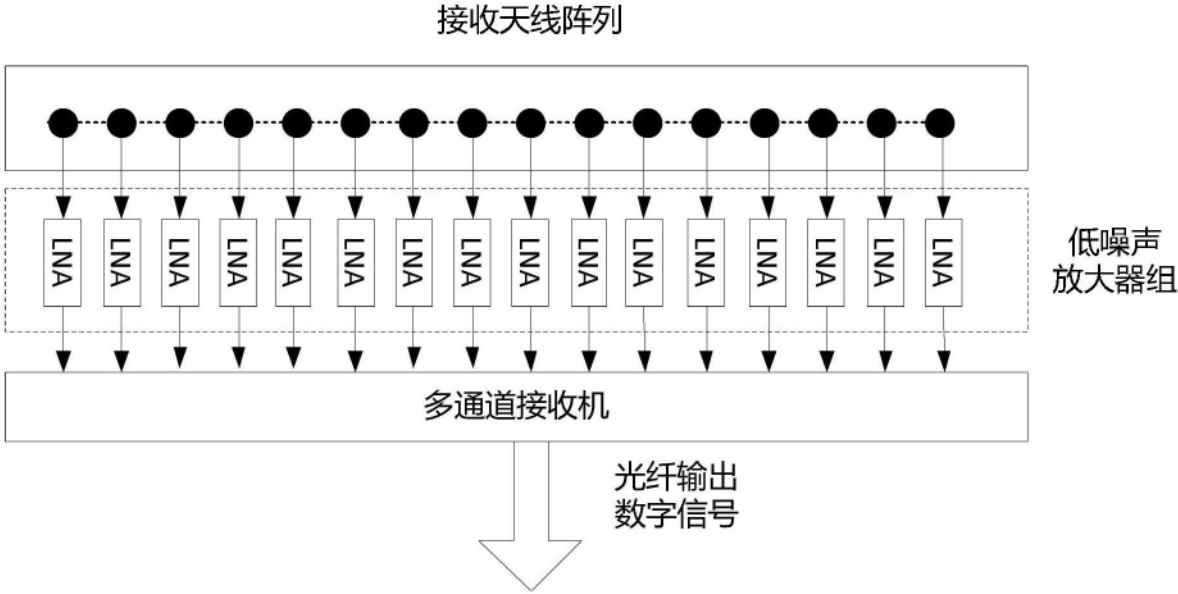


图4

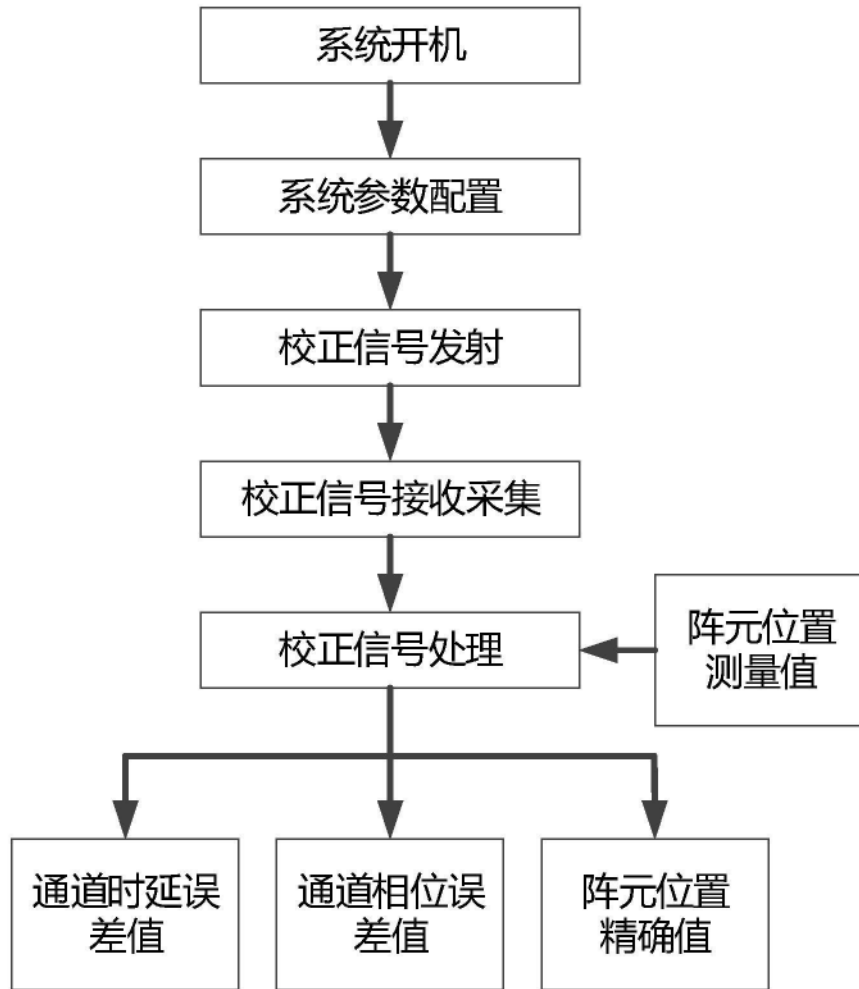


图5

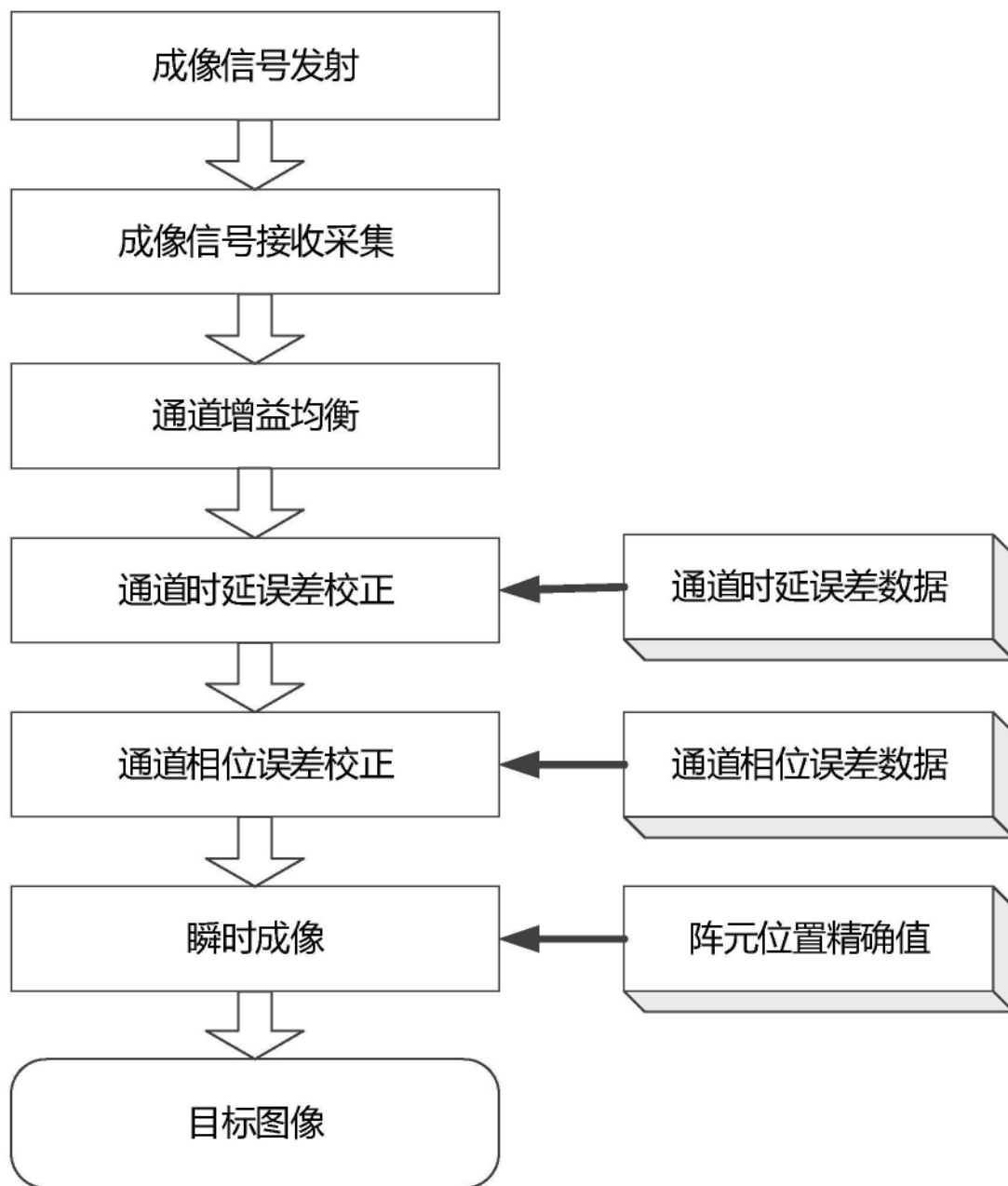


图6

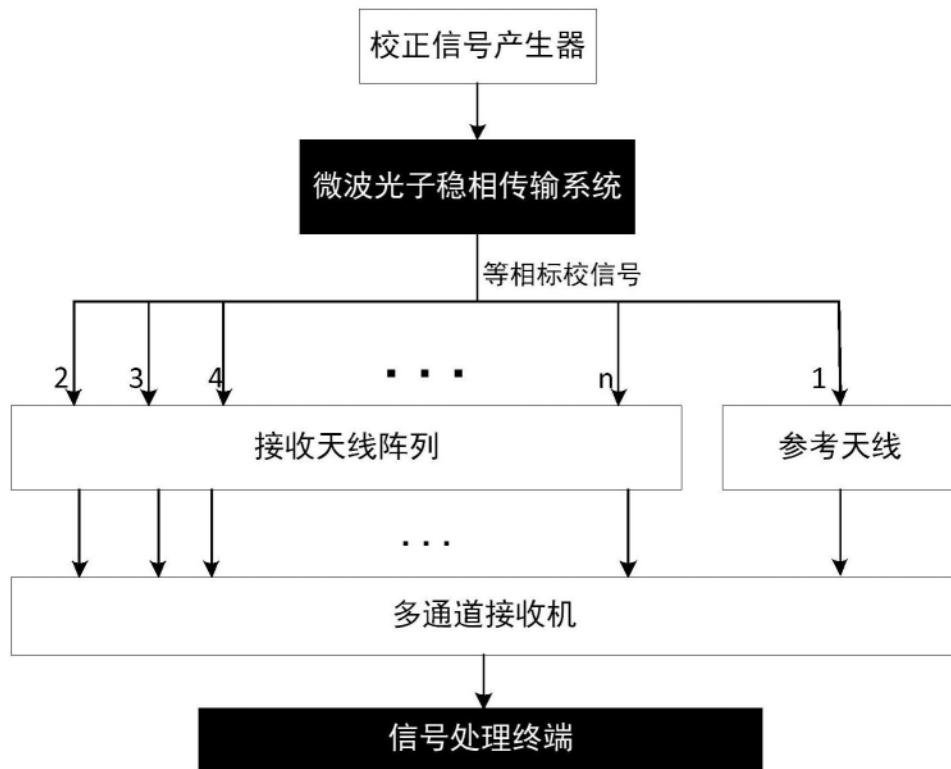


图7