



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109991565 A

(43)申请公布日 2019.07.09

(21)申请号 201910239713.6

(22)申请日 2019.03.27

(71)申请人 中国电子科技集团公司第三十六研究所

地址 314033 浙江省嘉兴市南湖区洪兴路387号

(72)发明人 陆安南 黄凯 尤明懿

(74)专利代理机构 北京天达知识产权代理事务所(普通合伙) 11386

代理人 庞许倩 姬长平

(51)Int.Cl.

G01S 3/14(2006.01)

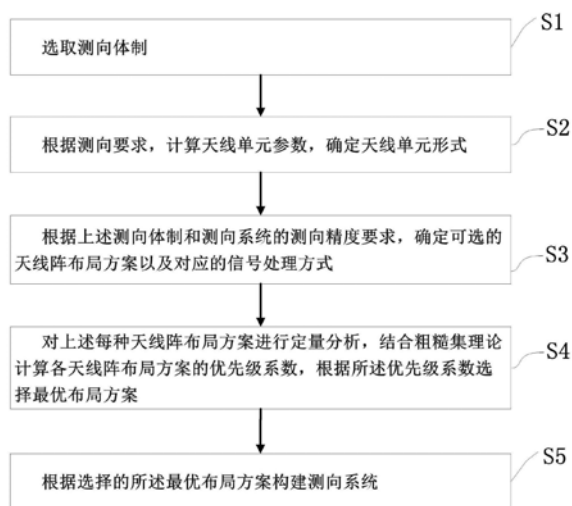
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法,属于测向系统设计技术领域,解决了现有测向系统总体设计过于依赖继承性且未对设计方案进行优化选择的问题。该方法包括如下步骤:选取测向体制;根据测向要求,计算天线单元参数,确定天线单元形式;根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求,确定可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式;对上述每种天线阵布局方案进行定量分析,结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数,根据所述优先级系数选择最优布局方案,根据选择的所述最优布局方案构建测向系统。本发明引入了粗糙集理论进行测向系统设计,对多种可行的设计方案进行优化选择,从而得出满足系统指标、节省成本且可靠性较高的设计方案。



1. 一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,包括如下步骤:
 - 选取测向体制;
 - 根据测向要求,计算天线单元参数,确定天线单元形式;
 - 根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求,确定可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式;
 - 对上述每种天线阵布局方案进行定量分析,结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数,根据所述优先级系数选择最优布局方案;
 - 根据选择的所述最优布局方案构建测向系统。
2. 根据权利要求1所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,所述测向要求包括侦测目标辐射信号类型、侦测目标辐射功率、侦测目标辐射信号频段范围、接收信号信噪比门限、接收信道带宽、测向精度、侦测覆盖范围、侦测距离;
 - 所述天线单元参数包括接收灵敏度、天线增益、波束宽度、工作频段。
3. 根据权利要求2所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,确定天线单元形式,包括如下步骤:
 - 获取接收功率大于所述接收灵敏度的待选天线单元;
 - 确定天线单元所需增益和波束宽度,结合工作频段,选择最合适的天线单元。
4. 根据权利要求2或3所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,所述确定天线单元所需增益和波束宽度,结合工作频段,选择最合适的天线单元,包括如下步骤:
 - 根据侦测目标辐射信号频段范围和侦测距离,确定传播损耗;
 - 根据所述传播损耗,结合侦测目标辐射功率、待选天线单元接收功率,确定待选天线单元的天线增益;
 - 根据待选天线单元的天线增益,确定待选天线单元在水平面与垂直面的波束宽度;
 - 从待选天线单元中,选取所述在水平面与垂直面的波束宽度大于所述侦测覆盖范围、且工作频段大于侦测目标辐射信号频段范围的天线单元,作为所述最合适的天线单元。
5. 根据权利要求1-3之一所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,所述根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求,确定所有可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式,包括如下步骤:
 - 根据所述测向体制,确定可能出现的测向模糊问题;
 - 确定测向系统是进行一维的方位角测向还是二维的方位角与俯仰角测向;
 - 对于一维的方位角测向,采用在装载平台上布设线阵,作为可选的天线阵布局方案;通过控制线阵基线长度保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,通过在线阵基线的两端阵元之间增加一个阵元构成短基线,控制短基线长度解相位模糊;
 - 对于二维的方位角与俯仰角测向,采用两个相互正交的天线阵列或均匀圆阵,作为可选的天线阵布局方案;对于两个相互正交的天线阵列,通过控制长基线保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,通过控制短基线解相位模糊;对于均匀圆阵,通过增大圆阵半径保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,设置圆阵的阵元数等于5或大于7解相位模糊。
6. 根据权利要求5所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,对于一维

方位角测向,或者二维的方位角与俯仰角测向采用两个相互正交的天线阵列时,控制短基线长度小于侦测目标辐射信号波长的1/2解相位模糊。

7. 根据权利要求1-3、6之一所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,所述对上述每种天线阵布局方案进行定量分析,结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数,根据所述优先级系数选择最优布局方案,包括如下步骤:

选取代表测向系统天线阵布局方案优劣的参数;

对上述参数建立参数权重评分集;

根据粗糙集理论,将所述参数权重评分集转换为参数权重粗糙集;

根据所述参数权重粗糙集,建立各天线阵布局方案的归一化加权评分粗糙集矩阵;

根据所述归一化加权评分粗糙集矩阵,获得各方案的优先级系数;

根据所述各方案的优先级系数,选择优先级系数最小的方案,作为最优布局方案。

8. 根据权利要求7所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,所述参数包括精度要求、正确解模糊能力、覆盖范围、测向时间、结构、可靠性、成本、技术成熟度。

9. 根据权利要求8所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,所述参数权重粗糙集中,参数j的权重粗糙集 $RN(w_j)$ 表示为,

$$RN(w_j) = [w_j^L, w_j^U] = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kL}, \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right]$$

式中, w_j 表示参数j的权重, w_j^k 表示评分单元k对参数j的重要性评分结果, w_j^{kL} 和 w_j^{kU} 分别表示 w_j^k 粗糙集上下界,N表示评分单元个数;

所述归一化加权评分粗糙集矩阵中,参数j的权重的归一化的粗糙集 $RN_n(w_j)$ 表示为

$$RN_n(w_j) = [w_j^{L'}, w_j^{U'}] = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kL}, \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right] / \max_j \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right)$$

10. 根据权利要求9所述的基于粗糙集理论的测向系统构建方法,其特征在于,方案i的优先级系数表示为

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, \dots, M$$

其中

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=P, \dots, T} (v_{ij}^U - v^+(j))^2 \right]^{1/2}$$

$$d_i^- = \left[\sum_{j=P, \dots, T} (v_{ij}^L - v^-(j))^2 \right]^{1/2}$$

$$v^+(j) = \min_{i=1, \dots, M} (v_{ij}^L)$$

$$v^-(j) = \max_{i=1, \dots, M} (v_{ij}^U)$$

$$v_{ij}^L = w_j^{L'} \cdot x_{ij}^{L'}$$

$$v_{ij}^U = w_j^{U'} \cdot x_{ij}^{U'}$$

$$x_{ij}^{L'} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kL} \quad \left/ \quad \max_{i=1, \dots, M; j=P, \dots, T} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU}$$

$$x_{ij}^{U'} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU} \quad \left/ \quad \max_{i=1, \dots, M; j=P, \dots, T} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU}$$

式中, M 表示天线阵布局方案总个数, x_{ij}^k 表示评分单元 k 对方案 i 的参数 j 是否满足指标的评分结果, P, \dots, T 表示代表测向系统天线阵布局方案优劣的参数, x_{ij}^{kL} 和 x_{ij}^{kU} 分别表示 w_{ij}^k 粗糙集上下界。

一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及测向系统设计技术领域,尤其涉及一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法。

背景技术

[0002] 对侦测目标的辐射源测向,可以获得辐射源的方位信息。据此,可以初步判断敌方通信电台的部署或重要通信枢纽、通信节点的分布情况,并形成敌方兵力态势,对来波方向实施干扰,甚至引导火力打击。

[0003] 目前,现有测向系统总体构建通常是沿用之前的构建方案,稍作修改以满足当前测向系统的主要指标,构建过程中主观性较强,没有一套准则从测向系统指标、成本、可靠性等方面全面评估方案的优劣性,并且未进行多种构建方案的优化选择,因此,通常并非是最优测向系统构建方案,不能同时满足精确测向、节省成本、可靠性高等的设计要求。并且,现有测向系统总体构建对设计人员的实践经验要求较高,无形中提高了测向系统总体设计的门槛,不利于技术的推广应用。

发明内容

[0004] 鉴于上述的分析,本发明实施例旨在提供一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法,用以解决现有测向系统总体设计过于依赖继承性且未对设计方案进行优化选择,不能同时满足精确测向、节省成本、可靠性高的问题。

[0005] 一方面,本发明实施例提供了一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法,包括如下步骤:

[0006] 选取测向体制;

[0007] 根据测向要求,计算天线单元参数,确定天线单元形式;

[0008] 根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求,确定可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式;

[0009] 对上述每种天线阵布局方案进行定量分析,结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数,根据所述优先级系数选择最优布局方案;

[0010] 根据选择的所述最优布局方案构建测向系统。

[0011] 上述技术方案的有益效果如下:根据选取的测向体制,进行天线阵布局以及对应的信号处理,全面地分析了多种可行的构建方案(天线阵布局方案),并给出各方案的优先级系数,从而能够更加直观地获得最优天线系统布局。

[0012] 基于上述方法的进一步改进,所述测向要求包括侦测目标辐射信号类型、侦测目标辐射功率、侦测目标辐射信号频段范围、接收信号信噪比门限、接收信道带宽、测向精度、侦测覆盖范围、侦测距离;

[0013] 所述天线单元参数包括接收灵敏度、天线增益、波束宽度、工作频段。

[0014] 上述进一步改进方案的有益效果是:定量地给出测向系统在总体设计过程中主

要考虑的测向指标要求(测向要求),以及根据该指标要求 需要分析的天线单元参数,利于指标的分配与天线单元的选取。

[0015] 进一步,所述确定天线单元形式,包括如下步骤:

[0016] 获取接收功率大于所述接收灵敏度的待选天线单元;

[0017] 确定天线单元所需增益和波束宽度,结合工作频段,选择最合适的 天线单元。

[0018] 上述进一步改进方案的有益效果是:根据测向系统的测向要求,将 测向指标进行分配,定量地计算出天线单元所需的增益以及波束宽度,从而使得天线单元的选择更具有依据性。

[0019] 进一步,所述确定天线单元所需增益和波束宽度,结合工作频段, 选择最合适的天线单元,包括如下步骤:

[0020] 根据侦测目标辐射信号频段范围和侦测距离,确定传播损耗;

[0021] 根据所述传播损耗,结合侦测目标辐射功率、待选天线单元接收功 率,确定待选天线单元的天线增益;

[0022] 根据待选天线单元的天线增益,确定待选天线单元在水平面与垂直 面的波束宽度;

[0023] 从待选天线单元中,选取所述在水平面与垂直面的波束宽度大于所 述侦测覆盖范围、且工作频段大于侦测目标辐射信号频段范围的天线单 元,作为所述最合适的天线单元。

[0024] 上述进一步改进方案的有益效果是:使得计算出的波束宽度符合物 理理论,贴合实际情况,从而使得天线单元的选择更准确。

[0025] 进一步,所述根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求,确定 所有可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式,包括如下步骤:

[0026] 根据所述测向体制,确定可能出现的测向模糊问题;

[0027] 确定测向系统是进行一维的方位角测向还是二维的方位角与俯仰角 测向;

[0028] 对于一维的方位角测向,采用在装载平台上布设线阵,作为可选的 天线阵布局方案;通过控制线阵基线长度保证测向精度,针对可能出现 的测向模糊问题,通过在线阵基线的两端阵元之间增加一个阵元构成短 基线,控制短基线长度解相位模糊;

[0029] 对于二维的方位角与俯仰角测向,采用两个相互正交的天线阵列或 均匀圆阵,作为可选的天线阵布局方案;对于两个相互正交的天线阵列, 通过控制长基线保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,通过控 制短基线解相位模糊;对于均匀圆阵,通过增大圆阵半径保证测向精度, 针对可能出现的测向模糊问题,设置圆阵的阵元数等于5或大于7 解相 位模糊。

[0030] 上述进一步改进方案的有益效果是:具体分析了多种可行的天线布 局形式,不再是单一沿用之前的设计方案,从而降低了测向系统总体设 计的门槛,使得选择的设计方案更优。

[0031] 优选地,对于一维方位角测向,或者二维的方位角与俯仰角测向采 用两个相互正交的天线阵列时,控制短基线长度小于侦测目标辐射信号 波长的 $1/2$ 解相位模糊。

[0032] 上述进一步改进方案的有益效果是:通过大量试验总结出的经验, 直接应用,能够缩短设计周期。

[0033] 进一步,所述对上述每个天线阵布局方案进行定量分析,结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数,根据所述优先级系数选择最优布局方案,包括如下步骤:

[0034] 选取代表测向系统天线阵布局方案优劣的参数;

[0035] 对上述参数建立参数权重评分集;

[0036] 根据粗糙集理论,将所述参数权重评分集转换为参数权重粗糙集;

[0037] 根据所述参数权重粗糙集,建立各天线阵布局方案的归一化加权评分粗糙集矩阵;

[0038] 根据所述归一化加权评分粗糙集矩阵,获得各方案的优先级系数;

[0039] 根据所述各方案的优先级系数,选择优先级系数最小的方案,作为最优布局方案。

[0040] 上述进一步改进方案的有益效果是:建立评分制度,从而定量地计算出各设计方案的优先级系数,可直观显示各设计方案的优缺点。

[0041] 进一步,所述参数包括精度要求、正确解模糊能力、覆盖范围、测向时间、结构、可靠性、成本、技术成熟度。

[0042] 上述进一步改进方案的有益效果是:上述各参数覆盖了测向系统设计方案中需要考虑的主要因素,从而能够全面且有效地分析各种可行的设计方案。

[0043] 进一步,所述参数权重粗糙集中,参数j的权重粗糙集 $RN(w_j)$ 表示为,

$$[0044] \quad RN(w_j) = [w_j^L, w_j^U] = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kL}, \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right]$$

[0045] 式中, w_j 表示参数j的权重, w_j^k 表示评分单元k对参数j的重要性评分结果, w_j^{kL} 和 w_j^{kU} 分别表示 w_j^k 粗糙集上下界,N表示评分单元个数;

[0046] 所述归一化加权评分粗糙集矩阵中,参数j的权重的归一化的粗糙集 $RN_n(w_j)$ 表示为

$$[0047] \quad RN_n(w_j) = [w_j^{L'}, w_j^{U'}] = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kL}, \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right] / \max_j \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right)$$

[0048] 上述进一步改进方案的有益效果是:通过预设评分规则获得各参数的评分结果,结合粗糙集理论,确定各参数的权重,针对不同的测向系统的主要指标,各参数具有不同的权重,使得参数的选取更加合理。

[0049] 进一步,方案i的优先级系数表示为

$$[0050] \quad CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, \dots, M$$

[0051] 其中

$$[0052] \quad d_i^+ = \left[\sum_{j=P, \dots, T} (v_{ij}^U - v^+(j))^2 \right]^{1/2}$$

$$[0053] \quad d_i^- = \left[\sum_{j=P, \dots, T} (v_{ij}^L - v^-(j))^2 \right]^{1/2}$$

$$[0054] \quad v^+(j) = \min_{i=1, \dots, M} (v_{ij}^L)$$

$$[0055] \quad v^-(j) = \max_{i=1, \dots, M} (v_{ij}^U)$$

$$[0056] \quad v_{ij}^L = w_j^{L'} \cdot x_{ij}^{L'}$$

$$[0057] \quad v_{ij}^U = w_j^{U'} \cdot x_{ij}^{U'}$$

$$[0058] \quad x_{ij}^{L'} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kL} / \max_{i=1, \dots, M; j=P, \dots, T} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU}$$

$$[0059] \quad x_{ij}^{U'} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU} / \max_{i=1, \dots, M; j=P, \dots, T} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU}$$

[0060] 式中, M表示天线阵布局方案总个数, x_{ij}^k 表示评分单元k对方案i的参数j是否满足指标的评分结果, P, ..., T表示代表测向系统天线阵布局方案优劣的参数, x_{ij}^{kL} 和 x_{ij}^{kU} 分别表示 w_{ij}^k 粗糙集上下界。

[0061] 上述进一步改进方案的有益效果是:通过粗糙集理论计算出各种可行方案的优先级系数,使得挑选出的设计方案更加合理,在满足测向系统主要指标的同时,能够达到节省成本且可靠性高的设计要求。

[0062] 本发明中,上述各技术方案之间还可以相互组合,以实现更多的优选组合方案。本发明的其他特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分优点可从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过说明书以及附图中所特别指出的内容中来实现和获得。

附图说明

[0063] 附图仅用于示出具体实施例的目的,而并不认为是对本发明的限制,在整个附图中,相同的参考符号表示相同的部件。

[0064] 图1为本发明实施例1基于粗糙集理论的测向系统构建方法的步骤示意图;

[0065] 图2为本发明实施例二一维的方位角测向的天线阵布局方案。

具体实施方式

[0066] 下面结合附图来具体描述本发明的优选实施例,其中,附图构成本申请一部分,并与本发明的实施例一起用于阐释本发明的原理,并非用于限定本发明的范围。

[0067] 实施例1

[0068] 本发明的一个具体实施例,公开了一种基于粗糙集理论的测向系统构建方法,如图1所示,包括如下步骤:

[0069] S1. 选取测向体制。具体地,可根据测向系统的类型和测向要求,选取最合适的测

向体制。

[0070] S2. 根据测向要求, 计算天线单元参数, 确定天线单元形式。具体地, 可根据上述测向体制, 结合测向系统的主要技术指标, 确定天线单元参数, 根据所述参数选择最适合的天线单元。

[0071] S3. 根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求, 确定可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式。

[0072] S4. 对上述每种天线阵布局方案进行定量分析, 结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数, 根据所述优先级系数选择最优布局方案。

[0073] S5. 根据选择的所述最优布局方案构建测向系统。

[0074] 与现有技术相比, 本实施例提供的测向系统构建方法是基于粗糙集理论, 从多种参数出发去考量各种可行的设计方案, 从而直观地得到各设计方案的优缺点, 使得最终挑选出的设计方案(天线以及天线布局方案)更加合理性。

[0075] 实施例2

[0076] 在实施例1的基础上进行改进, 步骤S1选取测向体制, 可进一步细化为如下步骤:

[0077] S11. 确定测向系统的类型, 所述类型为地面固定测向站、车载测向系统、机载测向系统、舰载测向系统、星载测向系统中的一种;

[0078] S12. 基于测向系统的类型, 确定测向系统的频段范围和信号类型; S13. 根据上述频段范围和信号类型, 结合测向系统的其他测向要求, 选取最合适的测向体制。所述其他测向要求, 可为侦测目标、装载平台、频段范围、测向精度、测向灵敏度、测向时间、测向分辨力、覆盖区域、侦测距离、信号类型中的至少一种。

[0079] 优选地, 步骤S13中, 当不考虑测向系统的其他测向要求时, 根据频段范围和信号类型选取最合适的测向体制, 可进一步细化为如下步骤:

[0080] S131. 根据频段范围, 判断侦测目标辐射信号属于短波信号、超短波信号还是微波信号; 对于短波信号, 采用艾德考克阵列的瓦特森-瓦特测向体制; 对于超短波信号, 采用相位干涉仪测向、多普勒测向、阵列处理测向体制中的至少一种; 对于微波信号, 采用多波束比幅测向、干涉仪测向与阵列处理测向中体制的至少一种。

[0081] S132. 根据信号类型, 判断判断侦测目标辐射信号属于单一信号还是多信号; 对于单一信号, 采用幅度响应型最大幅度法测向体制; 对于测向精度要求较高的单一信号, 采用相位干涉仪测向体制; 对于多信号, 采用空间谱估计测向体制或高分辨率阵列信号处理技术。

[0082] 具体地, 对于地面固定测向站, 工作频段是短波及以下波段, 可采用幅度响应型的和差比较法测向。该体制可以减少天线阵元数目, 降低天线阵的复杂度, 并能够解决天线极坐标方向图旋转问题。

[0083] 对于车载测向系统, 工作频段一般是超短波频段, 可采用圆阵的相位干涉仪测向体制; 如果是短波频段, 则采用瓦特森-瓦特测向体制。

[0084] 对于机载测向系统, 工作频段是超短波频段, 可采用干涉仪测向体制或比幅测向体制。干涉仪测向体制具有测向精度高、处理速度快、能对短持续信号测向、且能够使用任意阵型的天线等优点。该体制适应于需要根据具体情况对天线阵灵活配置的场景。此外, 也可采用比幅测向体制, 即机头和机尾分别装备高增益的窄波束的抛物面天线。根据抛物

面天线的定向扫描所接收到的幅度信息,利用比幅测向体制获取目标的方位。

[0085] 对于舰载测向系统,侦测目标辐射信号属于多信号,需要对360°方位内进行测向,可采用圆阵的相位干涉仪测向体制或空间谱估计测向体制。

[0086] 对于星载测向系统,低轨卫星可采用相位干涉仪测向体制或空间谱估计算法,高轨卫星可采用多波束比幅测向体制。

[0087] 优选地,步骤S2中,所述测向要求包括侦测目标辐射信号类型、侦测目标辐射功率、侦测目标辐射信号频段范围、接收信号信噪比门限、接收信道带宽、测向精度、侦测覆盖范围、侦测距离。对应地,所述天线单元参数包括接收灵敏度、天线增益、波束宽度、工作频段。测向要求也可包括装载平台、测向分辨力、采样点数等其他指标。

[0088] 其中,接收灵敏度(单位dBm)可表示为

$$[0089] \quad S_i = -174 + N_F + 10 \log_{10} B_e + \text{SNR} \quad (1)$$

[0090] 式中, N_F 为噪声系数,dB;SNR为所需信噪比门限,dB; B_e 为接收信道带宽,Hz。

[0091] 若实际接收到的信号达不到信噪比门限值,可以使用多次累积测量,或增加FFT采样点数,提高信噪比。

[0092] 优选地,步骤S2中确定天线单元形式,可进一步细化为如下步骤:

[0093] S21. 获取接收功率大于所述接收灵敏度的待选天线单元;

[0094] S22. 确定天线单元所需增益和波束宽度,结合工作频段,选择最合适的天线单元。

[0095] 优选地,步骤S22可进一步细化为如下步骤:

[0096] S221. 根据侦测目标辐射信号频段范围和侦测距离,确定传播损耗。具体地,电磁波在自由空间传播的能量损耗(传播损耗)按以下公式计算

$$[0097] \quad L_f = 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} R + 32.45 \quad (2)$$

[0098] 式中, f 表示侦测目标辐射信号频段范围,MHz; R 表示侦测距离,km。

[0099] S222. 根据所述传播损耗,结合侦测目标辐射功率、待选天线单元接收功率,确定待选天线单元的天线增益。例如,对于升空平台,待选天线单元的天线单元的天线增益(dB)按以下公式计算

$$[0100] \quad G_r = P_r + L_f + L - P_t \quad (3)$$

[0101] 式中, P_r 表示待选天线单元接收功率,dBm; P_t 表示侦测目标辐射功率,dBm; L 表示除传播损耗外的其他损耗,dB; L_f 表示电磁波在自由空间传播的能量损耗。

[0102] 此外,如果已知测向系统的接收功率,也可根据传播损耗、侦测目标辐射功率,结合天线阵布局方案估计天线单元所需增益。需注意,测向系统中的增益,指的是天线增益。

[0103] S223. 根据待选天线单元的天线增益,确定待选天线单元在水平面与垂直面的波束宽度。具体地,对于一般天线,天线增益与波束宽度的关系式为

$$[0104] \quad G_r = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{32000}{\theta_{3\text{dB},E} \cdot \theta_{3\text{dB},H}} \right) \quad (4)$$

[0105] 式中, $\theta_{3\text{dB},E}$ 与 $\theta_{3\text{dB},H}$ 分别表示天线在水平面与垂直面的半波束宽度。

[0106] S224. 从待选天线单元中,选取所述在水平面与垂直面的波束宽度(半波束宽度的两倍)大于所述侦测覆盖范围、且工作频段大于侦测目标辐射信号频段范围的天线单

元,作为所述最合适的天线单元。

[0107] 优选地,步骤S3根据上述测向体制和测向系统的测向精度要求,确定可选的天线阵布局方案以及对应的信号处理方式,可进一步细化为如下步骤:

[0108] S31.根据所述测向体制,确定可能出现的测向模糊问题。

[0109] S32.确定测向系统是进行一维的方位角测向还是二维的方位角与俯仰角测向。

[0110] S33.对于一维的方位角测向,采用在装载平台上布设线阵,作为可选的天线阵布局方案;通过控制线阵基线长度保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,通过在线阵基线的两端阵元之间增加一个阵元构成短基线,控制短基线长度解相位模糊,如图2所示。具体地,控制短基线长度小于侦测目标辐射信号波长的1/2解相位模糊。

[0111] 具体地,对于一维方位角测向,当选择相位响应型测向体制时,相位差可通过如下公式计算

$$[0112] \quad \varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \alpha \quad (5)$$

[0113] 式中,d表示线阵基线长度, α 表示目标辐射源入射的一维方位角, λ 为目标辐射源辐射信号波长。

[0114] 对上述相位差 φ 求偏导可得

$$[0115] \quad \sigma_{\alpha} = \frac{\lambda \cdot \sigma_{\varphi}}{2\pi d \cos \alpha} \quad (6)$$

[0116] 式中, σ_{α} 表示方位角测向误差, σ_{φ} 表示相位差测量误差。

[0117] 可知,随着基线长度d的增加,测向误差 σ_{α} 随之减小,从而提高了测向精度。

[0118] 由于测向系统接收到的相位差 $\varphi \in [-\pi, \pi]$ 之间,但是若线阵基线长度过长使得 $d > \lambda/2$, $|\varphi| > \pi$ 会被强制到折叠到 $[-\pi, \pi]$ 之间,此时就会出现相位模糊。因此,可通过在线阵长基线两天线阵元之间增加一个阵元构成短基线,使得短基线长度小于 $\lambda/2$,则可解相位模糊。

[0119] S34.对于二维的方位角与俯仰角测向,采用两个相互正交的天线阵列或均匀圆阵,作为可选的天线阵布局方案。对于两个相互正交的天线阵列,通过控制长基线保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,通过控制短基线解相位模糊;具体地,控制短基线长度小于侦测目标辐射信号波长的1/2解相位模糊。对于均匀圆阵,通过增大圆阵半径保证测向精度,针对可能出现的测向模糊问题,设置圆阵的阵元数等于5或大于7解相位模糊。因为当圆阵的阵元数等于5或大于7时,不会出现相位模糊。

[0120] 但当圆阵的半径波长比较大时,更易出现错误解模糊情况。为了正确解模糊,可以选用均匀圆阵不同基线的相位差,例如,相邻基线,长基线,以阵元1为顶点的基线、全基线等,也可采用两通道切换分时测量各基线相位差,虽然增加了测向时间,但相较于多通道同时测量各基线相位差,具有较高的正确解模糊能力。

[0121] 所有的天线布局都需要考虑安装平台的限制,有时会因安装平台的限制,在牺牲系统测向精度的情况下,缩小天线阵的孔径,因此可以考虑增加累积测量次数。

[0122] 优选地,步骤S4对上述每种天线阵布局方案进行定量分析,结合粗糙集理论计算各天线阵布局方案的优先级系数,根据所述优先级系数选择最优布局方案,可进一步细化

为如下步骤:

[0123] S41. 选取代表测向系统天线阵布局方案优劣的参数。所述参数包括 精度要求、正确解模糊能力、覆盖范围、测向时间、结构、可靠性、成本、技术成熟度。

[0124] S42. 对上述参数建立参数权重评分集。具体地,通过评分单元(专家)打分建立参数权重评分集。分值确定原则可见表1。

[0125] 表1参数重要性评分原则

[0126]

参数权重评分等级	重要性等级
1,2,3	不重要的
4,5,6	一般的
7,8	重要的
9,10	非常重要的

[0127] S43. 根据粗糙集理论,将所述参数权重评分集转换为参数权重粗糙集。所述参数权重粗糙集中,参数j的权重粗糙集 $RN(w_j)$ 表示为

$$[0128] \quad RN(w_j) = [w_j^L, w_j^U] = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kL}, \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right] \quad (7)$$

[0129] 式中, w_j 表示参数j的权重, w_j^k 表示评分单元(或专家)k对参数j的重要性评分结果, w_j^{kL} 和 w_j^{kU} 分别表示 w_j^k 粗糙集上下界,N表示评分单元个数(或方案评审小组中的专家人数)。

[0130] 具体地, w_j^k 的分值则需要根据测向系统的主要指标要求来考虑,例如若是星载测向系统,由于卫星上安装空间有限且难以维修,设计方案 的“结构”、“可靠性”、“技术成熟度”参数相较于其他参数需要具有更高的权值,即评分单元(专家)对这三个参数重要性给出更高的分值;而对于安装在地面的测向系统,天线阵列可以根据测向系统的主要指标要求设计成基线阵,则此时设计方案的“结构”参数相较于其他的参数具有 较低的权值;若测向系统侦测目标是猝发信号,则此时设计方案的“测向 时间”、“覆盖范围”需要更高的权值。

[0131] S44. 根据所述参数权重粗糙集,建立各天线阵布局方案的归一化加权评分粗糙集矩阵;所述归一化加权评分粗糙集矩阵中,参数j的权重的 归一化的粗糙集 $RN_n(w_j)$ 表示为

$$[0132] \quad RN_n(w_j) = [w_j^{L'}, w_j^{U'}] = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kL}, \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right] / \max_j \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_j^{kU} \right) \quad (8)$$

[0133] S45. 根据所述归一化加权评分粗糙集矩阵,获得各方案的优先级系数。方案i的优先级系数可表示为

$$[0134] \quad CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, \dots, M \quad (9)$$

[0135] 其中

$$[0136] \quad d_i^+ = \left[\sum_{j=P, \dots, T} (v_{ij}^U - v^+(j))^2 \right]^{1/2}$$

$$[0137] \quad d_i^- = \left[\sum_{j=P, \dots, T} (v_{ij}^L - v^-(j))^2 \right]^{1/2}$$

$$[0138] \quad v^+(j) = \min_{i=1, \dots, M} (v_{ij}^L)$$

$$[0139] \quad v^-(j) = \max_{i=1, \dots, M} (v_{ij}^U)$$

$$[0140] \quad v_{ij}^L = w_j^{L'} \cdot x_{ij}^{L'}$$

$$[0141] \quad v_{ij}^U = w_j^{U'} \cdot x_{ij}^{U'}$$

$$[0142] \quad x_{ij}^{L'} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kL} \Bigg/ \max_{i=1, \dots, M; j=P, \dots, T} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU}$$

$$[0143] \quad x_{ij}^{U'} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU} \Bigg/ \max_{i=1, \dots, M; j=P, \dots, T} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^{kU}$$

[0144] 式中, M表示天线阵布局方案总个数, x_{ij}^k 表示评分单元(专家)k对方案i的参数j是否满足指标的评分结果, P, ..., T表示代表测向系统天线阵布局方案优劣的参数, x_{ij}^{kL} 和 x_{ij}^{kU} 分别表示 w_{ij}^k 粗糙集上下界。

[0145] S46. 根据所述各方案的优先级系数, 选择优先级系数最小的方案, 作为最优布局方案。

[0146] 对于步骤S5, 可结合选出的上述最优布局方案, 再进行信号接收机、测向处理机、显控等硬件设备的选择。

[0147] 与实施例1相比, 本实施例提供的测向系统构建方法具体分析了不同情形下可选取的测向体制, 且根据测向系统的主要技术指标要求对天线单元及其布局给出了详细的推导过程。对影响设计方案的精度要求、正确解模糊能力、覆盖范围、测向时间、结构、可靠性、成本、技术成熟度等各参数, 确定其相应的权值。基于粗糙集理论定量地计算出各设计方案的优先级系数, 最终得出最优设计方案。

[0148] 本领域技术人员可以理解, 实现上述实施例方法的全部或部分流程, 可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成, 所述的程序可存储于计算机可读存储介质中。其中, 所述计算机可读存储介质为磁盘、光盘、只读存储记忆体或随机存储记忆体等。

[0149] 以上所述, 仅为本发明较佳的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 可轻易想到的变化或替换, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。

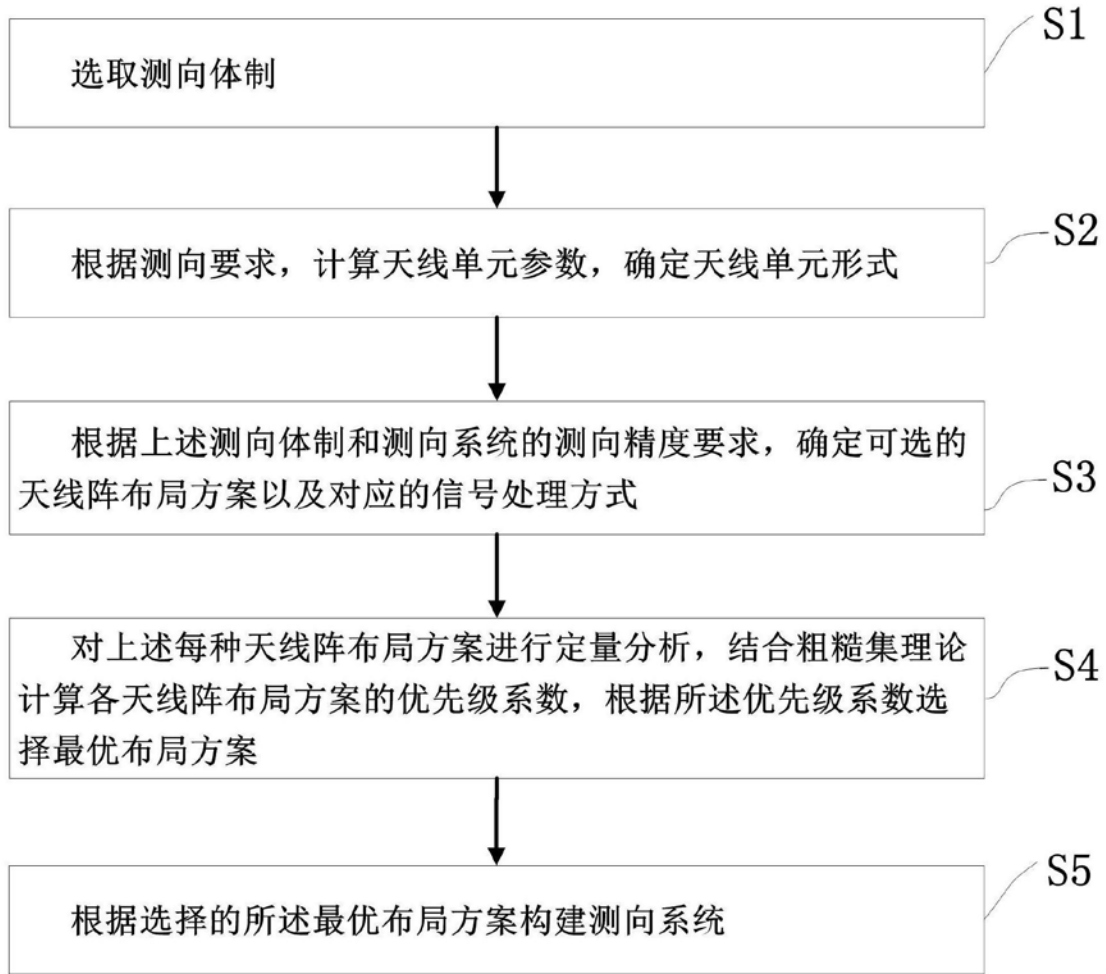


图1

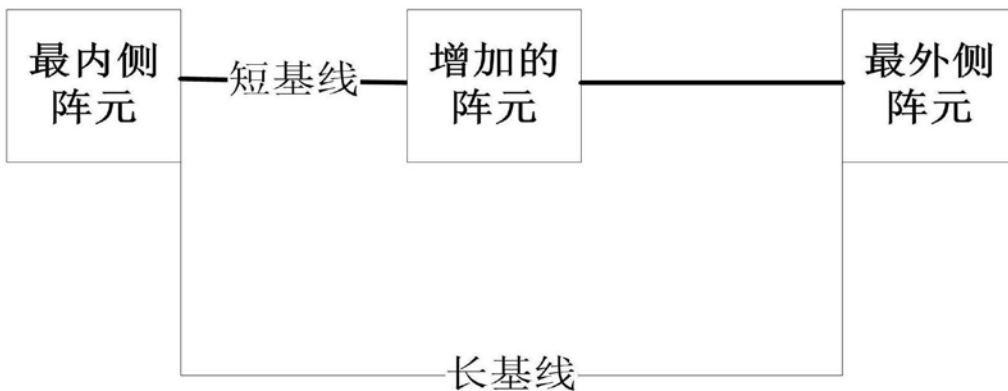


图2