



(10) 授权公告号 CN 119005012 B

(45) 授权公告日 2025. 01. 21

(21) 申请号 202411471585.5

(22) 申请日 2024.10.22

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119005012 A

(43) 申请公布日 2024.11.22

(73) 专利权人 中国电子科技集团公司第五十四研究所

地址 050081 河北省石家庄市中山西路589号中国电子科技集团公司第五十四研究所航天专业部

(72) 发明人 闫超军 陈韬亦 陈金勇 王士成
尚希杰 彭会湘 林晓勇 岳群彬
张栋 李淳泽(74) 专利代理机构 河北东尚律师事务所 13124
专利代理师 王文庆

(51) Int.Cl.

G06F 30/27 (2020.01)

G01S 13/90 (2006.01)

G01S 13/95 (2006.01)

G01S 19/39 (2010.01)

G01S 13/06 (2006.01)

G01S 13/58 (2006.01)

G01S 13/62 (2006.01)

G06F 18/10 (2023.01)

G06F 18/21 (2023.01)

G06F 18/2431 (2023.01)

G06N 3/0442 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 118673400 A, 2024.09.20

CN 118709748 A, 2024.09.27

审查员 郭玉洁

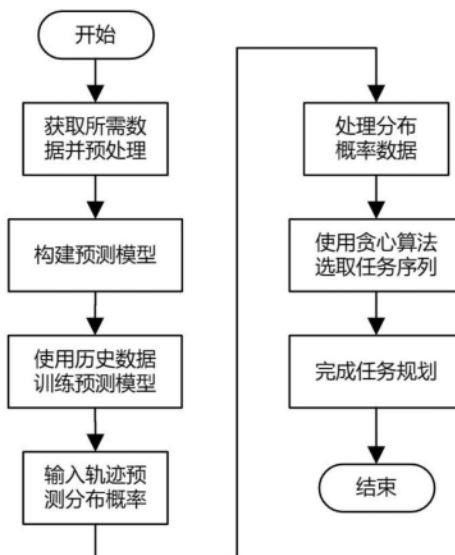
权利要求书4页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,属于卫星任务规划技术领域。该方法包括观测目标历史轨迹获取、数据预处理、预测模型搭建、模型训练及验证、预测数据处理、基于贪心算法的任务规划等步骤。本发明在地球同步轨道合成孔径雷达卫星的环境下使用了轨迹预测的方法,提升了任务规划的效率及可靠性。



1. 一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,用于生成观测任务序列,每个观测任务通过卫星雷达的一个波位观测波位覆盖区内的所有观测目标;其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:获取用户观测需求,包括观测时段、观测范围和观测目标,根据观测范围计算卫星雷达的各个波位,获取各观测目标的目标类别、目标个体、历史轨迹、目标观测价值、目标观测难度;

步骤2:设定每个观测任务的时长上限为所有观测目标所需各波位照射时长的最大值 T ,设定0.5秒为基本时长,总观测任务的总时长为用户需求观测时段时长 T_{max} ,每个观测任务的观测时间区间以基本时长为步长划分为时段,共 $2T$ 段;

步骤3:构建基于门控循环单元的轨迹概率预测模型,对模型进行训练,获得训练好的轨迹概率预测模型;其中,轨迹概率预测模型以目标的历史轨迹的数据为输入,以目标的预测轨迹数据为中间输出,以观测目标在每一时段、每一波位的分布概率为最终输出,轨迹概率预测模型包括输入层、GRU隐藏层、中间输出层和最终输出层,轨迹概率预测模型的输入层接收输入数据,即多个时间步的信息向量组,GRU隐藏层的激活函数为tanh函数,循环Dropout比率在0.2至0.5之间,中间输出层生成中间向量组,最终输出层为具有Softmax激活函数的Dense层;

步骤4:设定观测任务序号 $a = 1$;

步骤5:将各观测目标的历史轨迹整理为输入数据,分别输入训练好的轨迹概率预测模型,计算得到每一观测目标在第 a 个观测任务期间每一时段、每一波位的分布概率 $P_{x_p}(a, b, t)$,其中, b 为波位编号, t 为观测时间序列中时段的编号, p 为目标类别 X 中的某一目标个体;

步骤6:针对第 a 个观测任务,计算不同时段各波位的平均期望观测价值;

步骤7:基于贪心算法逐步选取平均期望观测价值最高的波位和任务观测时长,逐个确定各观测任务,输出观测任务序列,完成任务规划。

2. 根据权利要求1所述的一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,其特征在于,步骤1中,所述目标类别根据目标最小可辨别种类进行分类;所述目标观测价值包括每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值 $ObjectValue_i$,其中 i 为每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值编号,共计 I 类。

3. 根据权利要求2所述的一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,其特征在于,步骤3中,对模型进行训练的具体方式为:

获取目标的历史轨迹,将轨迹中每一时刻的目标坐标映射为波位编号;

将轨迹中每一时刻的时刻值 $time$ 、目标坐标 (x, y) 、目标坐标对应的波位编号 b 、目标速度 $speed$ 合并为当前时刻目标的信息向量 $V(x, y, time, b, speed)$;

对于轨迹中的每一时刻,将该时刻及该时刻之前的所有信息向量作为一组训练数据的输入数据,将该时刻后的所有信息向量作为该组训练数据的中间输出层的输出数据,由此得到多组训练数据;

使用上述训练数据对轨迹概率预测模型进行训练,轨迹概率预测模型采用Adam优化器,损失函数为分类交叉熵损失函数,当损失在预设次数内不再下降时,停止训练,得到训练好的轨迹概率预测模型。

4. 根据权利要求3所述的一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,其特征在于,步骤6的具体方式为:

步骤601:生成目标类别 X 中目标个体的观测概率矩阵 $E_X(a, b, t)$; 其中 $E_X(a, b, t)$ 为以 $P_{X_p}(a, b, t) \cdot P_X(t_0)$ 为对角线元素的对角矩阵, $P_X(t_0)$ 为观测成功率函数,用于计算在标准波位照射时长 t_0 下,在第 b 号波位发现目标类别 X 中目标的概率;

步骤602:建立历史价值均衡函数 $f_0(l)$:

$$f_0(l) = \exp(k_f l + b_f);$$

其中, k_f 为小于0的系数, b_f 为常数;

步骤603:计算目标个体观测概率的价值修正矩阵:

$$E_{X_0}(a, b, t) = E_X(a, b, t) - \sum_{r=0}^{a-1} f_0(a-r) \cdot E_X(r);$$

其中, $E_X(r)$ 为第 r 个观测任务中目标类别 X 的观测概率对角矩阵,特别的, $E_X(0)$ 为零矩阵;

步骤604:生成 C_Y^m 种含有 m 个1,其他元素全为0的对角矩阵 E_k ; 其中, Y 为目标类别 X 中目标个体的总数, $m=1, 2, 3 \dots Y$, k 为对角矩阵的编号;

步骤605:计算 m 个目标个体的观测概率期望函数:

$$Probability(a, b, t, x, m) = \sum_{k=1}^{C_Y^m} |E_k \cdot E_{X_0}(a, b, t) + (E - E_k) \cdot (E - E_{X_0}(a, b, t))|,$$

其中, E 为单位对角矩阵;

步骤606:计算第 a 个观测任务中,第 b 号波位、时段 t 下第 i 种目标观测价值 $ObjectValue_i$ 的观测概率期望函数 $Probability_i(a, b, t)$:

$$Probability_i(a, b, t) = \prod_{x=1}^X \sum_{m=x}^Y Probability_i(a, b, t, x, m);$$

其中, x 表示目标类别的编号, $i \in [1, I]$;

步骤607:计算第 a 个观测任务中,第 b 号波位在时段 t 的期望观测价值函数 $Value(a, b, t) = \sum_{i=1}^I ObjectValue_i \cdot Probability_i(a, b, t)$;

步骤608:计算第 a 个观测任务中,第 b 号波位在时段 t 的平均期望观测价值函数 $AverageValue(a, b, t) = Value(a, b, t)/t$;

步骤609:生成第 a 个观测任务的平均期望观测价值矩阵 E_a , E_a 为 B 行 $2T$ 列矩阵, B 为波位的总数, $2T$ 为观测时间序列中的时段总数, E_a 中第 b 行第 t 列的元素为 $E_a(b, t) = AverageValue(a, b, t)$ 。

5. 根据权利要求4所述的一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,其特征在于,步骤601中,观测成功率函数 $P_X(t_0)$ 为:

$$P_X(t_0) = \begin{cases} k_x t_0 & \text{if } X = x, 0 < t_0 < \frac{1}{k_x}; \\ 1 & \text{if } X = x, \frac{1}{k_x} < t_0 \end{cases};$$

其中, k_x 为观测目标类别为 x 时目标观测难度系数, t_0 为第 b 号波位在时段 t 的标准波位照射时长, 计算方式为:

$$t_0 = f(t, b) = k_b t;$$

其中, k_b 为 b 波位对星下点标准波位等效照射的映射系数。

6. 根据权利要求5所述的一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法, 其特征在于, 步骤7的具体方式为:

步骤701: 选取平均期望观测价值矩阵 E_a 中最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a , 生成候选第 a 个观测任务, 计算 $E_X(a)$;

步骤702: 若 $a = 1$, 则执行步骤710至步骤711, 否则继续步骤703;

步骤703: 若 $AverageValue_0(a) \geq \mu \cdot AverageValue_0(a - 1)$, 则执行步骤704至步骤705, 否则, 执行步骤709至步骤711; 其中 μ 为修正阈值, $\mu > 1$;

步骤704: 仅在步骤704中, 令历史价值均衡函数 $f_0(1)$ 为0; 重新计算平均期望观测价值矩阵 E_a , 选取 E_a 中的最大值 $AverageValue_0(a)$;

步骤705: 若 $AverageValue_0(a) > AverageValue_0(a - 1)$, 则执行步骤706至步骤711; 否则, 执行步骤709至步骤711;

步骤706: 选取 E_a 中 $AverageValue_0(a)$ 所在时段 t_a , 令 $t_a = t_a + 1$, 选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $E_a(b_a, t_a)$, 令 $AverageValue_0(a) = E_a(b_a, t_a)$; 选取 E_{a-1} 中 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在时段 t_{a-1} , 令 $t_{a-1} = t_{a-1} - 1$, 选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$, 令 $AverageValue_0(a - 1) = E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$;

步骤707: 当 $t_a < 2T$ 且 $t_{a-1} > 1$ 时, 若 $AverageValue_0(a) \geq AverageValue_0(a - 1)$, 则重复步骤706; 否则, 令 $t_{a-1} = t_{a-1} + 1$, 选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} , 生成候选第 $a - 1$ 个观测任务, 计算 $E_X(a - 1)$, 令 $t_a = t_a - 1$, 选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a , 生成候选第 a 个观测任务, 计算 $E_X(a)$;

步骤708: 当 $t_a = 2T$ 或 $t_{a-1} = 1$ 时, 选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} , 生成候选第 $a - 1$ 个观测任务, 计算 $E_X(a - 1)$, 选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a , 生成候选第 a 个观测任务, 计算 $E_X(a)$;

步骤709: 输出候选第 $a - 1$ 个观测任务为第 $a - 1$ 个观测任务, 该观测任务的波位为

b_{a-1} ,总时长为基本时长的 t_{a-1} 倍;

步骤710:计算剩余时间 $T_{remain} = T_{remain} - 0.5t_a$,其中初始剩余时间 $T_{remain} = T_{max}$;

步骤711:若 $T_{remain} \geq T, a = a + 1$,重复执行步骤5至步骤7;否则,执行步骤712至步骤713;

步骤712:输出候选第 a 个观测任务为第 a 个观测任务,该观测任务的波位为 b_a ,总时长为基本时长的 t_a 倍;

步骤713:将所有观测任务组成观测任务序列,完成任务规划。

一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法

技术领域

[0001] 本发明涉及卫星控制技术领域,具体涉及卫星任务规划,特别地涉及一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法。

背景技术

[0002] 合成孔径雷达(SAR)卫星相较于光学卫星具有全天时全天候高分辨率对地观测能力,因此合成孔径雷达卫星对自然灾害有着更快的反应能力。2023年8月陆地探测四号01星作为世界首颗地球同步轨道SAR卫星顺利进入工作轨道,可有效满足灾害应急监测需求。自然灾害发生后,通过观测受灾地区车辆、船舶、飞行器等交通工具的运动信息,外界可以及时掌握受灾群众与救援人员的移动、调度情况,提升救援效率。此外在多目标观测任务中,当不同目标有较强的相关性时,同时多个相关目标的价值往往比单独计算每一个目标价值总和还要高。

[0003] 在通信系统遭受破坏时,由灾区内部发送灾区情况信息变得格外低效且困难,因此通过SAR卫星全天时全天候对灾区进行观测就格外重要。如何利用有限的卫星资源实现观测的最高价值是卫星任务规划面临的重要问题。得益于移动设备的普及,目标轨迹预测问题可以利用大量历史数据进行学习。利用神经网络模型对移动目标轨迹进行预测处理,可以对卫星任务规划起到很强的辅助作用,进而充分利用卫星资源。

[0004] 因此,目前亟需一种地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,能够在面对自然灾害时,快速规划观测任务。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于填补现有技术的空白,提供一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,实现对地球同步轨道合成孔径雷达卫星的快速任务规划。

[0006] 本发明采用的技术方案为:

[0007] 一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,用于生成观测任务序列,每个观测任务通过卫星雷达的一个波位观测波位覆盖区内的所有观测目标;包括以下步骤:

[0008] 步骤1:获取用户观测需求,包括观测时段、观测范围和观测目标,根据观测范围计算卫星雷达的各个波位,获取各观测目标的目标类别、目标个体、历史轨迹、目标观测价值、目标观测难度;

[0009] 步骤2:设定每个观测任务的时长上限为所有观测目标所需各波位照射时长的最大值 T ,设定0.5秒为基本时长,总观测任务的总时长为用户需求观测时段时长 T_{max} ,每个观测任务的观测时间区间以基本时长为步长划分为时段,共 $2T$ 段;

[0010] 步骤3:构建基于门控循环单元的轨迹概率预测模型,对模型进行训练,获得训练好的轨迹概率预测模型;

[0011] 步骤4:设定观测任务序号 $a = 1$;

[0012] 步骤5:将各观测目标的历史轨迹整理为输入数据,分别输入训练好的轨迹概率预测模型,计算得到每一观测目标在第 a 个观测任务期间每一时段、每一波位的分布概率 $P_{X_p}(a, b, t)$,其中, b 为波位编号, t 为观测时间序列中时段的编号, p 为目标类别 X 中的某一目标个体;

[0013] 步骤6:针对第 a 个观测任务,计算不同时段各波位的平均期望观测价值;

[0014] 步骤7:基于贪心算法逐步选取平均期望观测价值最高的波位和任务观测时长,逐个确定各观测任务,输出观测任务序列,完成任务规划。

[0015] 进一步地,步骤1中,所述目标类别根据目标最小可辨别种类进行分类;所述目标观测价值包括每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值 $ObjectValue_i$,其中 i 为每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值编号,共计 I 类。

[0016] 进一步地,步骤3中,轨迹概率预测模型以目标的历史轨迹的数据为输入,以目标的预测轨迹数据为中间输出,以观测目标在每一时段、每一波位的分布概率为最终输出,轨迹概率预测模型包括输入层、GRU隐藏层、中间输出层和最终输出层,轨迹概率预测模型的输入层接收输入数据,即多个时间步的信息向量组,GRU隐藏层的激活函数为tanh函数,循环Dropout比率在0.2至0.5之间,中间输出层生成中间向量组,最终输出层为具有 Softmax 激活函数的Dense 层。

[0017] 进一步地,步骤3中,对模型进行训练的具体方式为:

[0018] 获取目标的历史轨迹,将轨迹中每一时刻的目标坐标映射为波位编号;

[0019] 将轨迹中每一时刻的时刻值 $time$ 、目标坐标 (x, y) 、目标坐标对应的波位编号 b 、目标速度 $speed$ 合并为当前时刻目标的信息向量 $V(x, y, time, b, speed)$;

[0020] 对于轨迹中的每一时刻,将该时刻及该时刻之前的所有信息向量作为一组训练数据的输入数据,将该时刻后的所有信息向量作为该组训练数据的中间输出层的输出数据,由此得到多组训练数据;

[0021] 使用上述训练数据对轨迹概率预测模型进行训练,轨迹概率预测模型采用Adam优化器,损失函数为分类交叉熵损失函数,当损失在预设次数内不再下降时,停止训练,得到训练好的轨迹概率预测模型。

[0022] 进一步地,步骤6的具体方式为:

[0023] 步骤601:生成目标类别 X 中目标个体的观测概率矩阵 $E_X(a, b, t)$;其中 $E_X(a, b, t)$ 为以 $P_{X_p}(a, b, t) \cdot P_X(t_0)$ 为对角线元素的对角矩阵, $P_X(t_0)$ 为观测成功率函数,用于计算在标准波位照射时长 t_0 下,在第 b 号波位发现目标类别 X 中目标的概率;

[0024] 步骤602:建立历史价值均衡函数 $f_0(l)$:

$$[0025] \quad f_0(l) = \exp(k_f l + b_f)$$

[0026] 其中, k_f 为小于0的系数, b_f 为常数;

[0027] 步骤603:计算目标个体观测概率的价值修正矩阵:

[0028] $E_{X_0}(a, b, t) = E_X(a, b, t) - \sum_{r=0}^{a-1} f_0(a-r) \cdot E_X(r)$

[0029] 其中, $E_X(r)$ 为第 r 个观测任务中目标类别 X 的观测概率对角矩阵, 特别的, $E_X(0)$ 为零矩阵;

[0030] 步骤604: 生成 C_Y^m 种含有 m 个1, 其他元素全为0的对角矩阵 E_k ; 其中, Y 为目标类别 X 中目标个体的总数, $m=1, 2, 3 \dots Y$, k 为对角矩阵的编号;

[0031] 步骤605: 计算 m 个目标个体的观测概率期望函数:

[0032] $Probability(a, b, t, x, m) = \sum_{k=1}^{C_Y^m} |E_k \cdot E_{X_0}(a, b, t) + (E - E_k) \cdot (E - E_{X_0}(a, b, t))|$,

[0033] 其中, E 为单位对角矩阵;

[0034] 步骤606: 计算第 a 个观测任务中, 第 b 号波位、时段 t 下第 i 种目标观测价值 $ObjectValue_i$ 的观测概率期望函数 $Probability_i(a, b, t)$:

[0035] $Probability_i(a, b, t) = \prod_{x=1}^X \sum_{m=x}^Y Probability_i(a, b, t, x, m)$;

[0036] 其中, x 表示目标类别的编号, $i \in [1, I]$;

[0037] 步骤607: 计算第 a 个观测任务中, 第 b 号波位在时段 t 的期望观测价值函数 $Value(a, b, t) = \sum_{i=1}^I ObjectValue_i \cdot Probability_i(a, b, t)$;

[0038] 步骤608: 计算第 a 个观测任务中, 第 b 号波位在时段 t 的平均期望观测价值函数 $AverageValue(a, b, t) = Value(a, b, t)/t$;

[0039] 步骤609: 生成第 a 个观测任务的平均期望观测价值矩阵 E_a , E_a 为 B 行 $2T$ 列矩阵, B 为波位的总数, $2T$ 为观测时间序列中的时段总数, E_a 中第 b 行第 t 列的元素为 $E_a(b, t) = AverageValue(a, b, t)$ 。

[0040] 进一步地, 步骤601中, 观测成功率函数 $P_X(t_0)$ 为:

$$[0041] \quad P_X(t_0) = \begin{cases} k_x t_0 & \text{if } X = x, 0 < t_0 < \frac{1}{k_x} \\ 1 & \text{if } X = x, \frac{1}{k_x} < t_0 \end{cases}$$

[0042] 其中, k_x 为观测目标类别为 x 时目标观测难度系数, t_0 为第 b 号波位在时段 t 的标准波位照射时长, 计算方式为:

[0043] $t_0 = f(t, b) = k_b t$

[0044] 其中, k_b 为 b 波位对星下点标准波位等效照射的映射系数。

[0045] 进一步地, 步骤7的具体方式为:

[0046] 步骤701: 选取平均期望观测价值矩阵 E_a 中最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a , 生成候选第 a 个观测任务, 计算 $E_X(a)$;

[0047] 步骤702: 若 $a = 1$, 执行步骤710至步骤711, 否则继续步骤703;

[0048] 步骤703: 若 $AverageValue_0(a) \geq \mu \cdot AverageValue_0(a-1)$, 则执行步骤704至步骤705, 否则, 执行步骤709至步骤711; 其中 μ 为修正阈值, $\mu > 1$;

[0049] 步骤704: 仅在步骤704中, 令历史价值均衡函数 $f_0(1)$ 为0; 重新计算平均期望观测

价值矩阵 E_a ,选取 E_a 中的最大值 $AverageValue_0(a)$;

[0050] 步骤705:若 $AverageValue_0(a) > AverageValue_0(a-1)$,则执行步骤706至步骤711;否则,执行步骤709至步骤711;

[0051] 步骤706:选取 E_a 中 $AverageValue_0(a)$ 所在时段 t_a ,令 $t_a = t_a + 1$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $E_a(b_a, t_a)$,令 $AverageValue_0(a) = E_a(b_a, t_a)$;选取 E_{a-1} 中 $AverageValue_0(a-1)$ 所在时段 t_{a-1} ,令 $t_{a-1} = t_{a-1} - 1$,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$,令 $AverageValue_0(a-1) = E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$;

[0052] 步骤707:当 $t_a < 2T$ 且 $t_{a-1} > 1$ 时,若

$AverageValue_0(a) \geq AverageValue_0(a-1)$,则重复步骤706;否则,令 $t_{a-1} = t_{a-1} + 1$,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a-1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} ,生成候选第 $a-1$ 个观测任务,计算 $E_X(a-1)$,令 $t_a = t_a - 1$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$;

[0053] 步骤708:当 $t_a = 2T$ 或 $t_{a-1} = 1$ 时,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a-1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} ,生成候选第 $a-1$ 个观测任务,计算 $E_X(a-1)$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$;

[0054] 步骤709:输出候选第 $a-1$ 个观测任务为第 $a-1$ 个观测任务,该观测任务的波位为 b_{a-1} ,总时长为基本时长的 t_{a-1} 倍;

[0055] 步骤710:计算剩余时间 $T_{remain} = T_{remain} - 0.5t_a$,其中初始剩余时间 $T_{remain} = T_{max}$;

[0056] 步骤711:若 $T_{remain} \geq T$, $a = a + 1$,重复执行步骤5至步骤7;否则,执行步骤712至步骤713;

[0057] 步骤712:输出候选第 a 个观测任务为第 a 个观测任务,该观测任务的波位为 b_a ,总时长为基本时长的 t_a 倍;

[0058] 步骤713:将所有观测任务组成观测任务序列,完成任务规划。

[0059] 本发明的有益效果在于:

[0060] 1、本发明在地球同步轨道合成孔径雷达卫星的环境下使用了轨迹预测的方法,提升了任务规划的效率及可靠性。

[0061] 2、通过构建基于门控循环单元(GRU)的轨迹概率预测模型,能够更准确地预测目标的轨迹,从而优化观测任务的分配,最大化卫星资源的利用率。

[0062] 3、在多目标观测任务中,通过计算相关目标的联合增益观测价值,能够实现多目标观测的价值最大化,比单独观测每个目标的价值总和更高,提升观测任务的整体效益。

[0063] 4、在自然灾害发生后,依靠SAR卫星全天时全天候的观测能力,快速准确地规划卫星观测任务,可以及时获取灾区的详细信息,辅助救援调度,提升救援效率,更好地保障受

灾群众的生命财产安全。

附图说明

- [0064] 图1为本发明实施例的流程图；
 [0065] 图2为本发明处理概率数据计算价值期望的示意图；
 [0066] 图3为本发明基于贪心算法生成任务序列的示意图。

具体实施方式

[0067] 下面结合附图和实施例对本发明的具体实施方式作进一步详细的说明。

[0068] 一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,用于生成观测任务序列,每个观测任务通过卫星雷达的一个波位观测波位覆盖区内的所有观测目标;包括以下步骤:

[0069] 步骤1:获取用户观测需求,包括观测时段、观测范围和观测目标,根据观测范围计算卫星雷达的各个波位,获取各观测目标的目标类别、目标个体、历史轨迹、目标观测价值、目标观测难度;所述目标类别根据目标最小可辨别种类进行分类;所述目标观测价值包括每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值 $ObjectValue_i$,其中 i 为每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值编号,共计 I 类。

[0070] 步骤2:设定每个观测任务的时长上限为所有观测目标所需各波位照射时长的最大值 T ,设定0.5秒为基本时长,总观测任务的总时长为用户需求观测时段时长 T_{max} ,每个观测任务的观测时间区间以基本时长为步长划分为时段,共 $2T$ 段;

[0071] 步骤3:构建基于门控循环单元的轨迹概率预测模型,对模型进行训练,获得训练好的轨迹概率预测模型;轨迹概率预测模型以目标的历史轨迹的数据为输入,以目标的预测轨迹数据为中间输出,以观测目标在每一时段、每一波位的分布概率为最终输出,轨迹概率预测模型包括输入层、GRU隐藏层、中间输出层和最终输出层,轨迹概率预测模型的输入层接收输入数据,即多个时间步的信息向量组,GRU隐藏层的激活函数为tanh函数,循环Dropout比率在0.2至0.5之间,中间输出层生成中间向量组,最终输出层为具有 Softmax 激活函数的Dense 层。对模型进行训练的具体方式为:

[0072] 获取目标的历史轨迹,将轨迹中每一时刻的目标坐标映射为波位编号;

[0073] 将轨迹中每一时刻的时刻值 $time$ 、目标坐标 (x, y) 、目标坐标对应的波位编号 b 、目标速度 $speed$ 合并为当前时刻目标的信息向量 $V(x, y, time, b, speed)$;

[0074] 对于轨迹中的每一时刻,将该时刻及该时刻之前的所有信息向量作为一组训练数据的输入数据,将该时刻后的所有信息向量作为该组训练数据的中间输出层的输出数据,由此得到多组训练数据;

[0075] 使用上述训练数据对轨迹概率预测模型进行训练,轨迹概率预测模型采用Adam优化器,损失函数为分类交叉熵损失函数,当损失在预设次数内不再下降时,停止训练,得到训练好的轨迹概率预测模型。

[0076] 步骤4:设定观测任务序号 $a = 1$;

[0077] 步骤5:将各观测目标的历史轨迹整理为输入数据,分别输入训练好的轨迹概率预测模型,计算得到每一观测目标在第 a 个观测任务期间每一时段、每一波位的分布概率 $P_{X_p}(a, b, t)$,其中, b 为波位编号, t 为观测时间序列中时段的编号, p 为目标类别 X 中的某一目标个体;

[0078] 步骤6:针对第 a 个观测任务,计算不同时段各波位的平均期望观测价值;具体方式为:

[0079] 步骤601:生成目标类别 X 中目标个体的观测概率矩阵 $E_X(a, b, t)$;其中 $E_X(a, b, t)$ 为以 $P_{X_p}(a, b, t) \cdot P_X(t_0)$ 为对角线元素的对角矩阵, $P_X(t_0)$ 为观测成功率函数,用于计算在标准波位照射时长 t_0 下,发现目标类别 X 中目标的概率;

[0080] 步骤602:建立历史价值均衡函数 $f_0(l)$:

[0081] $f_0(l) = \exp(k_f l + b_f)$

[0082] 其中, k_f 为小于0的系数, b_f 为常数;

[0083] 步骤603:计算目标个体观测概率的价值修正矩阵:

$$[0084] \quad E_{X_0}(a, b, t) = E_X(a, b, t) - \sum_{r=0}^{a-1} f_0(a-r) \cdot E_X(r)$$

[0085] 其中, $E_X(r)$ 为第 r 个观测任务中目标类别 X 的观测概率对角矩阵,特别的, $E_X(0)$ 为零矩阵;

[0086] 步骤604:生成 C_Y^m 种含有 m 个1,其他元素全为0的对角矩阵 E_k ;其中, Y 为目标类别 X 中目标个体的总数, $m=1, 2, 3 \dots Y$, k 为对角矩阵的编号;

[0087] 步骤605:计算 m 个目标个体的观测概率期望函数:

$$[0088] \quad Probability(a, b, t, x, m) = \sum_{k=1}^{C_Y^m} |E_k \cdot E_{X_0}(a, b, t) + (E - E_k) \cdot (E - E_{X_0}(a, b, t))|,$$

[0089] 其中, E 为单位对角矩阵;

[0090] 步骤606:计算第 a 个观测任务中,第 b 号波位、时段 t 下第 i 种目标观测价值 $ObjectValue_i$ 的观测概率期望函数 $Probability_i(a, b, t)$:

$$[0091] \quad Probability_i(a, b, t) = \prod_{x=1}^X \sum_{m=x}^Y Probability_i(a, b, t, x, m);$$

[0092] 其中, x 表示目标类别的编号, $i \in [1, I]$;

[0093] 步骤607:计算第 a 个观测任务中,第 b 号波位在时段 t 的期望观测价值函数 $Value(a, b, t) = \sum_{i=1}^I ObjectValue_i \cdot Probability_i(a, b, t)$;

[0094] 步骤608:计算第 a 个观测任务中,第 b 号波位在时段 t 的平均期望观测价值函数 $AverageValue(a, b, t) = Value(a, b, t)/t$;

[0095] 步骤609:生成第 a 个观测任务的平均期望观测价值矩阵 E_a , E_a 为 B 行 $2T$ 列矩阵, B 为波位的总数, $2T$ 为观测时间序列中的时段总数, E_a 中第 b 行第 t 列的元素为 $E_a(b, t) = AverageValue(a, b, t)$ 。

[0096] 进一步地,步骤601中,观测成功率函数 $P_X(t_0)$ 为:

$$[0097] \quad P_X(t_0) = \begin{cases} k_x t_0 & \text{if } X = x, 0 < t_0 < \frac{1}{k_x} \\ 1 & \text{if } X = x, \frac{1}{k_x} < t_0 \end{cases}$$

[0098] 其中, k_x 为观测目标类别为 x 时目标观测难度系数, t_0 为第 b 号波位在时段 t 的标准波位照射时长,计算方式为:

$$[0099] \quad t_0 = f(t, b) = k_b t$$

[0100] 其中, k_b 为 b 波位对星下点标准波位等效照射的映射系数。

[0101] 步骤7:基于贪心算法逐步选取平均期望观测价值最高的波位和任务观测时长,逐个确定各观测任务,输出观测任务序列,完成任务规划;具体方式为:

[0102] 步骤701:选取平均期望观测价值矩阵 E_a 中最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$;

[0103] 步骤702:若 $a = 1$,执行步骤710至步骤711,否则继续步骤703;

[0104] 步骤703:若 $AverageValue_0(a) \geq \mu \cdot AverageValue_0(a - 1)$,则执行步骤704 至步骤705,否则,执行步骤709至步骤711;其中 μ 为修正阈值, $\mu > 1$;

[0105] 步骤704:本步骤中令历史价值均衡函数 $f_0(1)$ 为0,重新计算平均期望观测价值矩阵 E_a ,选取 E_a 中的最大值 $AverageValue_0(a)$;

[0106] 步骤705:若 $AverageValue_0(a) > AverageValue_0(a - 1)$,则执行步骤706至步骤711;否则,执行步骤709至步骤711;

[0107] 步骤706:选取 E_a 中 $AverageValue_0(a)$ 所在时段 t_a ,令 $t_a = t_a + 1$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $E_a(b_a, t_a)$,令 $AverageValue_0(a) = E_a(b_a, t_a)$;选取 E_{a-1} 中 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在时段 t_{a-1} ,令 $t_{a-1} = t_{a-1} - 1$,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$,令 $AverageValue_0(a - 1) = E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$;

[0108] 步骤707:当 $t_a < 2T$ 且 $t_{a-1} > 1$ 时,若

$AverageValue_0(a) \geq AverageValue_0(a - 1)$,则重复步骤706;否则,令 $t_{a-1} = t_{a-1} + 1$,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} ,生成候选第 $a - 1$ 个观测任务,计算 $E_X(a - 1)$,令 $t_a = t_a - 1$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$;

[0109] 步骤708:当 $t_a = 2T$ 或 $t_{a-1} = 1$ 时,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} ,生成候选第 $a - 1$ 个观测任务,计算 $E_X(a - 1)$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$;

[0110] 步骤709:输出候选第 $a - 1$ 个观测任务为第 $a - 1$ 个观测任务,该观测任务的波

位为 b_{a-1} ,总时长为基本时长的 t_{a-1} 倍;

[0111] 步骤710:计算剩余时间 $T_{remain} = T_{remain} - 0.5t_a$,其中初始剩余时间 $T_{remain} = T_{max}$;

[0112] 步骤711:若 $T_{remain} \geq T, a = a + 1$,重复执行步骤5至步骤7;否则,执行步骤712至步骤713;

[0113] 步骤712:输出候选第 a 个观测任务为第 a 个观测任务,该观测任务的波位为 b_a ,总时长为基本时长的 t_a 倍;

[0114] 步骤713:将所有观测任务组成观测任务序列,完成任务规划。

[0115] 下面为一个更具体的例子:

[0116] 一种基于目标轨迹的地球同步轨道SAR卫星任务规划方法,如图1-3所示,具体步骤如下:

[0117] 步骤1:获取用户观测需求,包括观测时段、观测范围和观测目标,根据观测范围计算卫星雷达波位;获取观测任务目标数据列表,所述数据列表中包括:目标类别记为 X 、目标个体记为 (X, Y) 、历史轨迹、目标观测价值、目标观测难度;所述目标类别根据目标最小可辨别种类进行分类;所述目标观测价值包括每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值 $ObjectValue_i$,其中 i 为每一类别的目标的个体观测价值,每一类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值,以及不同类别的不同数量目标之间的联合增益观测价值编号,共计 I 类;

[0118] 步骤2:将任务观测序列记为 a ;将卫星雷达波位记为 b ,总数记为 B ;设定每个观测任务的时长上限为所有观测目标所需各波位照射时长的最大值 T ,设定0.5秒为基本时长,总观测任务的总时长为用户需求观测时段时长 T_{max} ,每个观测任务的观测时间区间以基本时长为步长划分为时段,共 $2T$ 段;

[0119] 步骤3:建立坐标到波位映射函数,建立不同波位观测时间修正函数 $t_0 = f(t, b) = k_b t$,建立观测成功率时间函数

$$P_X(t_0) = \begin{cases} k_x t_0 & \text{if } X = x, 0 < t_0 < \frac{1}{k_x} \\ 1 & \text{if } X = x, \frac{1}{k_x} < t_0 \end{cases}; \text{所述时间修正函数将不同波位的照射时长等}$$

效为星下点标准波位照射时长,所述成功率时间函数为对不同种类目标标准波位中,照射时长和发现目标概率的函数;

[0120] 步骤4:构建基于门控循环单元GRU的轨迹概率预测模型,该模型以目标的历史轨迹的数据为输入,以目标的预测轨迹数据为中间输出,以观测目标在每一时段、每一波位的分布概率为最终输出;例如设置64个隐藏单元,根据需求逐渐增加;输入序列长度设置为可以接受可变长序列;设置GRU隐藏层激活函数为tanh函数,用以适配时序数据;设置循环Dropout比率在0.2至0.5之间,随机禁用20%到50%的神经元用以防止神经网络过拟合,可根据数据量大小调整比率数值;中间输出层生成中间向量组,输出预测信息向量组;最终输出层设置为具有Softmax激活函数的Dense层,将轨迹预测信息向量组转换为目标位置概率分布;设置Adam优化器,以保证模型稳定性,根据需求调整学习率;使用分类交叉熵损失

函数,使模型输出的概率分布更接近真实概率;使用早停技术,在若干次迭代内不再下降,停止训练;

[0121] 步骤5:获取目标历史轨迹并进行预处理,将轨迹中每一时刻的目标坐标映射为波位编号;例如,获取历史任务中真实观测数据集,将目标轨迹坐标通过步骤3中的波位函数映射为波位序号,将每一时刻波位数据与目标信息数据合并为当前时刻目标信息向量 $V(x, y, time, b, speed)$,将轨迹数据缩放到 $[0, 1]$ 或 $[-1, 1]$ 范围以适应模型输入,一个目标每个时刻及该时刻之前的信息向量组作为一组训练数据的输入数据,将该时刻后的信息向量组作为该组训练数据中间输出层的输出数据,得到多组训练数据;

[0122] 步骤6:轨迹概率预测模型训练;使用步骤4中轨迹概率预测模型,基于步骤5中的训练数据集进行训练,当模型满足预设条件时保存当前模型参数,得到训练好的轨迹概率预测模型作为预测模型;

[0123] 步骤7:设定观测任务序号 $a = 1$;

[0124] 步骤8:将任务目标数据和历史轨迹数据分别输入轨迹概率预测模型,计算得到每一目标在第 a 个观测任务期间每一波位每一时段分布的概率,记为 $P_{X_p}(a, b, t)$,其中, b 为波位编号, t 为观测时间序列中时段的编号, p 为目标类别 X 中的某一目标个体;

[0125] 步骤9:针对第 a 个观测任务,逐个计算第 b 号波位,第 i 种观测价值关于不同时段 t 的观测概率期望时间函数 $Probability_i(a, b, t)$;其步骤如下:

[0126] 步骤901:生成 X 类的个体观测概率时间矩阵 $E_X(a, b, t)$;其中 $E_X(a, b, t)$ 为以 $P_{X_p}(a, b, t) \cdot P_X(t_0)$ 为对角线元素的对角矩阵;其中

$$P_X(t_0) = \begin{cases} k_x t_0 & \text{if } X = x, 0 < t_0 < \frac{1}{k_x} \\ 1 & \text{if } X = x, \frac{1}{k_x} < t_0 \end{cases}$$

为观测成功率函数,用于计算在标准波位照射

时长 $t_0 = f(t, b) = k_b t$ 下,发现目标类别 X 中目标的概率,其中, k_x 为观测目标类别为 x 时目标观测难度系数, k_b 为 b 波位对星下点标准波位等效照射的映射系数;

[0127] 步骤902:建立历史价值均衡函数 $f_0(l)$:

$$f_0(l) = \exp(k_f l + b_f)$$

[0129] 其中, k_f 为小于0的系数, b_f 为常数;

[0130] 步骤903:计算时间概率的价值修正矩阵:

$$E_{X_0}(a, b, t) = E_X(a, b, t) - \sum_{r=0}^{a-1} f_0(a-r) \cdot E_X(r),$$

[0132] 其中, $E_X(r)$ 为第 r 次观测任务方案中 X 类观测概率对角矩阵,特别的, $E_X(0)$ 为零矩阵;

[0133] 步骤904:生成 C_Y^m 种含有 m 个1,其他元素全为0的对角矩阵 E_k ;其中, Y 为目标类别 X 中目标个体的总数, $m=1, 2, 3, \dots, Y$, k 为对角矩阵的编号;

[0134] 步骤905:计算 m 个个体观测概率期望时间函数:

$$[0135] \quad Probability(a, b, t, x, m) = \sum_{k=1}^{C_Y^m} Probability(a, b, t, x, m, k) = \sum_{k=1}^{C_Y^m} |E_k \cdot E_{X_0}(a, b, t) + (E - E_k) \cdot (E - E_{X_0}(a, b, t))|,$$

[0136] 其中, E 为单位对角矩阵;

[0137] 步骤906: 计算第 a 个观测任务中, 第 b 号波位、时段 t 下第 i 种目标观测价值 $ObjectValue_i$ 的观测概率期望函数 $Probability_i(a, b, t)$:

$$[0138] \quad Probability_i(a, b, t) = \prod_{x=1}^X \sum_{m=x}^Y Probability_i(a, b, t, x, m);$$

[0139] 其中, x 表示目标类别的编号, $i \in [1, I]$;

[0140] 步骤10: 计算第 a 次观测, 第 b 号波位的期望价值时间函数

$$[0141] \quad Value(a, b, t) = \sum_{i=1}^I ObjectValue_i \cdot Probability_i(a, b, t);$$

[0142] 步骤11: 计算第 a 次观测, 第 b 号波位在时段 t 的期望平均价值时间函数 $AverageValue(a, b, t) = Value(a, b, t)/t$;

[0143] 步骤12: 生成第 a 个观测任务的平均期望观测价值矩阵 E_a , E_a 为 B 行 $2T$ 列矩阵, B 为波位的总数, $2T$ 为观测时间序列中的时段总数, E_a 中第 b 行第 t 列的元素为 $E_a(b, t) = AverageValue(a, b, t)$;

[0144] 步骤13: 基于贪心算法逐步选取平均观测价值最高波位和时长生成任务序列; 其步骤如下:

[0145] 步骤1301: 在第 a 次观测中, 选取平均期望观测价值矩阵 E_a 中最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a , 生成候选第 a 个观测任务, 计算 $E_X(a)$;

[0146] 步骤1302: 当 $a = 1$ 时, 执行步骤1310至步骤1311, 否则继续步骤1303;

[0147] 步骤1303: 若 $AverageValue_0(a) \geq \mu \cdot AverageValue_0(a - 1)$, 执行步骤1304 至1305; 否则执行步骤1309至1311; 其中 μ 为修正阈值, $\mu > 1$;

[0148] 步骤1304: 本步骤中令历史价值均衡函数 $f_0(1)$ 为0, 重新计算平均期望观测价值矩阵 E_a , 选取 E_a 中的最大值 $AverageValue_0(a)$;

[0149] 步骤1305: 若 $AverageValue_0(a) > AverageValue_0(a - 1)$, 执行步骤1306至1311; 否则, 执行步骤1309至1311;

[0150] 步骤1306: 选取 E_a 中 $AverageValue_0(a)$ 所在时段 t_a , 令 $t_a = t_a + 1$, 选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $E_a(b_a, t_a)$, 令 $AverageValue_0(a) = E_a(b_a, t_a)$; 选取 E_{a-1} 中 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在时段 t_{a-1} , 令 $t_{a-1} = t_{a-1} - 1$, 选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$, 令 $AverageValue_0(a - 1) = E_{a-1}(b_{a-1}, t_{a-1})$;

[0151] 步骤1307: 当 $t_a < 2T$ 且 $t_{a-1} > 1$ 时, 若

$AverageValue_0(a) \geq AverageValue_0(a - 1)$, 则重复步骤1306; 否则, 令 $t_{a-1} = t_{a-1} + 1$, 选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a - 1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} , 生成候选第 $a - 1$ 个观测任务, 计算 $E_X(a - 1)$, 令 $t_a = t_a - 1$, 选取

E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$

[0152] 步骤1308:当 $t_a = 2T$ 或 $t_{a-1} = 1$ 时,选取 E_{a-1} 中 t_{a-1} 列的最大值 $AverageValue_0(a-1)$ 所在的波位 b_{a-1} 和时段 t_{a-1} ,生成候选第 $a-1$ 个观测任务,计算 $E_X(a-1)$,选取 E_a 中 t_a 列的最大值 $AverageValue_0(a)$ 所在的波位 b_a 和时段 t_a ,生成候选第 a 个观测任务,计算 $E_X(a)$;

[0153] 步骤1309:输出候选第 $a-1$ 个观测任务为第 $a-1$ 个观测任务,该观测任务的波位为 b_{a-1} ,总时长为基本时长的 t_{a-1} 倍;

[0154] 步骤1310:计算剩余时间 $T_{remain} = T_{remain} - 0.5t_a$,其中初始剩余时间 $T_{remain} = T_{max}$;

[0155] 步骤1311:若 $T_{remain} \geq T$, $a = a + 1$,重复执行步骤8至步骤13;否则,执行步骤1312至步骤1313;

[0156] 步骤1312:输出候选第 a 个观测任务为第 a 个观测任务,该观测任务的波位为 b_a ,总时长为基本时长的 t_a 倍;

[0157] 步骤1313:将所有观测任务组成观测任务序列,完成任务规划。

[0158] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,应该理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

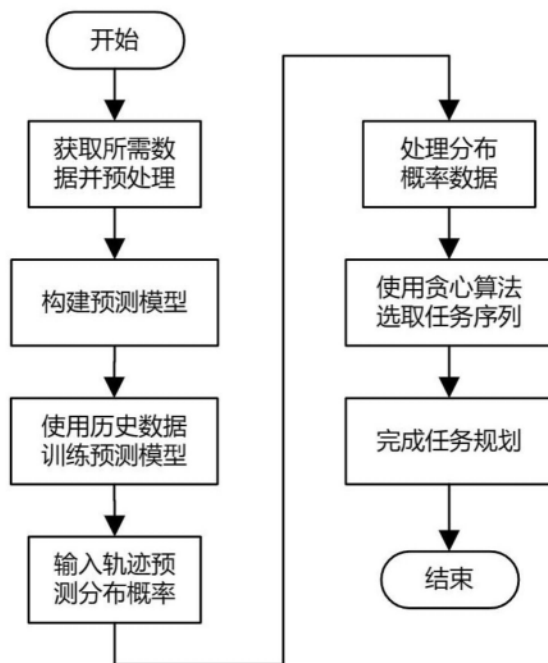


图1

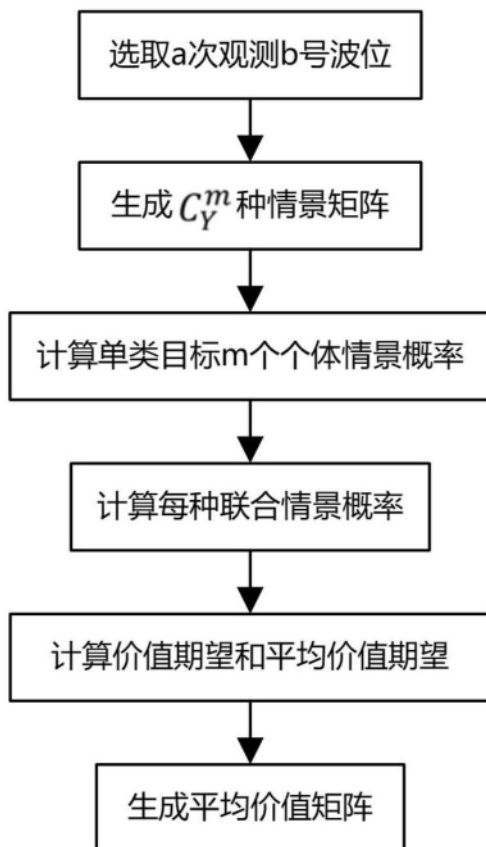


图2

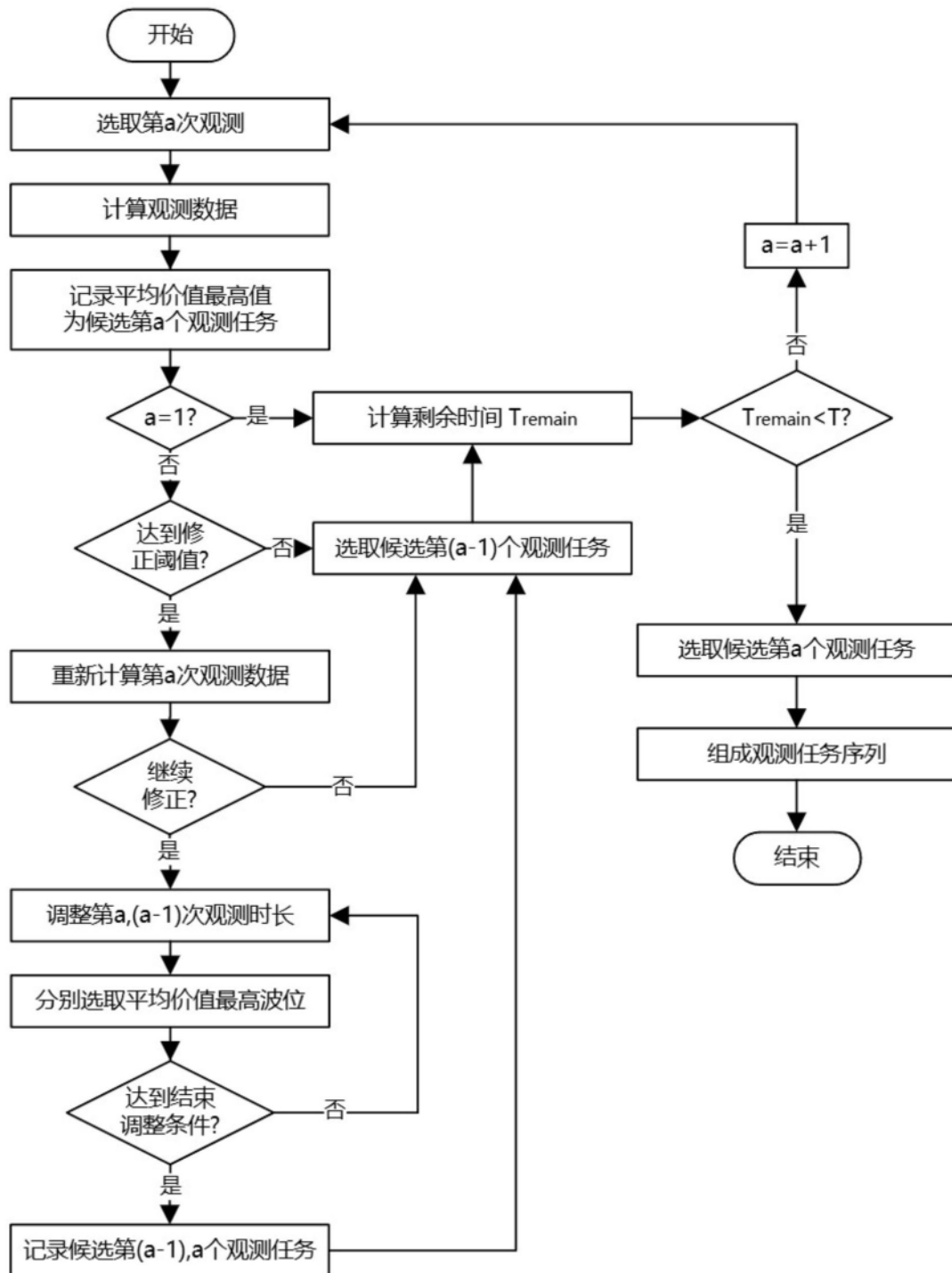


图3