(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2020 年 12 月 17 日 (17.12.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/248399 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 7/08 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/104261

(22) 国际申请日: 2019 年 9 月 4 日 (04.09.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910497201.X 2019年6月10日 (10.06.2019) CN

(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

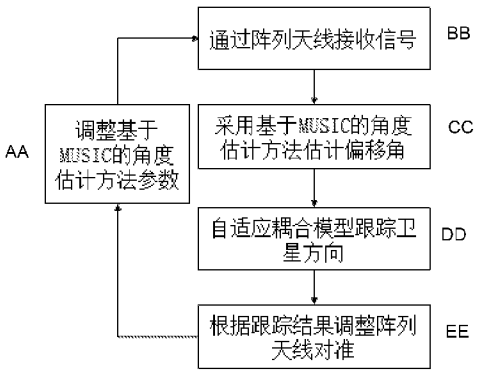
(72) 发明人: 宋春毅(SONG, Chunyi); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 陈钦(CHEN, Qin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 徐钰颖(XU, Yuying); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 徐志伟(XU, Zhiwei); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司(HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区玉古路147号黄鸿年科技综合大楼215室/贾玉霞, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(54) **Title:** ADAPTIVE SATELLITE ALIGNMENT METHOD FOR LOW EARTH ORBIT SATELLITE COMMUNICATION NETWORK

(54) 发明名称: 一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法



AA Adjust parameter of MUSIC-based angle estimation procedure
BB Receive signal via array antenna
CC Use MUSIC-based angle estimation procedure to estimate offset angle
DD Use adaptive coupling model to track direction of satellite
EE Adjust alignment of array antenna according to tracking result

图 1

(57) **Abstract:** Disclosed is an adaptive satellite alignment method for a low earth orbit satellite communication network. The method comprises: receiving a signal via an array antenna, and using a MUSIC-based angle estimation procedure to estimate an offset angle between the array antenna and a beam of a satellite; using an adaptive coupling model to track the direction of the satellite on the basis of the estimated offset angle; tracking and aligning the direction of the antenna according to a characteristic parameter extracted during the satellite tracking process; and adjusting, according to the obtained characteristic parameter, a parameter of the MUSIC-based angle estimation procedure. The above steps are then repeated so as to achieve real-time estimation of the offset angle and real-time tracking and alignment of the direction of the antenna. The satellite alignment method effectively improves the speed and accuracy of dynamically estimating the offset angle, thereby improving the speed and accuracy of antenna alignment.

WO 2020/248399 A1

[见续页]

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：本发明公开了一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法，该方法首先通过阵列天线接收信号，采用基于MUSIC的角度估计方法来估计阵列天线与卫星波束的偏移角；然后基于估计的偏移角，使用自适应耦合模型进行对卫星方向的跟踪，并根据跟踪过程中提取的特征参数，实现天线方向跟踪对准；最后根据得到的特征参数，调整基于MUSIC的角度估计方法中的参数，重复以上步骤，实现偏移角的实时估计和天线方向的实时跟踪对准。该对星方法有效提升了动态偏移角估计的速度和精度，从而提升了天线对准的速度和精度。

一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法

技术领域

本发明涉及卫星通信领域，尤其涉及一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法。

背景技术

卫星通信是当代社会信息传输的重要手段，然而随着时代的发展，当代社会对通信的需求日益增长，通信的两端场景也越发复杂。近年来，我国开始布局建设基于低轨移动卫星的全球通信网络，低轨宽带卫星网络提供大带宽、灵活可配、抗干扰、低时延、高可靠性的通信能力,可以促进通信发展，目前各国都积极地投身到低轨卫星发展浪潮中，低轨卫星网络在5G 通信、物联网等领域都得到了广泛研究。

与现有的基于地球同步卫星的动中通通信系统相比，基于低轨卫星的卫星通信系统的收发两端同时保持运动，因此将之定义为“动动通”通信系统。在动动通网络中，运动终端与低轨卫星的多维耦合运动使得运动终端的阵列天线与卫星波束的偏移角呈现复杂的动态特性，两者的波束频繁偏离对准方向，这就意味着波束对准的速度和精度对网络容量有显著影响。传统对星算法通过机械扫描天线来实现，通过机械伺服机构控制天线方向，比较不同方向下的接收信号强度，从而估计卫星方向；现有的运动终端对星系统一般采用开环跟踪与闭环跟踪相结合的方式来进行对星，但也不能够进行完全理想化的补偿。

发明内容

本发明的目的在与针对现有技术的不足，提供一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法，具体技术方案如下：

一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

S1：初始化自适应耦合模型的局部层和全局层的所有跟踪特征参数；

S2：通过阵列天线接收信号，采用基于 MUSIC 的角度估计方法来估计阵列天线与卫星波束的偏移角；

S3：基于估计的偏移角，使用自适应耦合模型进行对卫星方向的跟踪，并根据跟踪过程中提取的特征参数，实现天线方向跟踪对准；

S4：根据 S3 得到的特征参数，调整基于 MUSIC 的角度估计方法中的参数，返回到 S2，实现偏移角的实时估计和天线方向的实时跟踪对准。

进一步地，所述 S1 具体为：

将阵列天线的搜索范围φ的初值设定为整个空域，并且设定采样点数的初值 n；初始化自

适应耦合模型的局部层和全局层的所有跟踪特征参数，将卫星方向的方位角A(t)和俯仰角E(t)及它们对应的角速度的跟踪值作为 t 时刻状态矩阵X_t的参数，设定跟踪间隔ΔT，以 t=0 时刻作为跟踪开始时间，将 t=0 时刻的观测值Y_t作为状态矩阵初值；设定局部层分层长度 N，将观测值$[Y_t, Y_{t-1}, \ldots, Y_{t-N+1}]$作为 t 时刻的局部层分层特征，设定特征参数跟踪误差 P、过程误差 Q 和观测误差 R 的初值，且跟踪误差 P 的初值和观测误差 R 的初值相等。

进一步地，所述 S2 通过以下子步骤来实现：

S2.1：对空域进行划分，确定阵列天线波束方向后，以φ为搜索范围，在波束方向周围通过波束成形对每个空间区域进行螺旋空间扫描；

S2.2:在完成一次空间扫描后，在搜索到最大接收信号功率的扫描方向上得到接收信号X(t)；

S2.3:计算接收信号X(t)的协方差矩阵值R_{XX}，而后采用下式对其进行特征值分解，从中获得信号子空间U_S与噪声子空间U_N

$$R_{XX} = U\sum U^T = U_S\sum_S U_S^T + U_N\sum_N U_N^T \quad (1)$$

其中，$\sum_S$和$\sum_N$分别为两者子空间的特征值,T 为转置；

S2.4:在噪声子空间U_N中，通过下式得到偏移角

$$\theta_{MUSIC} = \arg\max_{\theta}\left[\frac{1}{\alpha(\theta)^T \cdot U_N \cdot U_N^T \alpha(\theta)}\right] \quad (3)$$

其中，$\alpha(\theta) = [a_1, a_2, \ldots, a_K]^T$为相位信息；$\theta_{MUSIC}$即为使得右侧函数取最大值时的$\theta$值。

S2.5:通过步骤 S2.1 到 S2.4 得到方位角上的偏移角θ_A和俯仰角上的偏移角θ_E，并通过阵列天线参数得到天线方向的方位角A(t)和俯仰角E(t)的值，然后根据下式得到 t 时刻的观测值Y_t

$$Y_t = \begin{bmatrix} A(t) + \theta_A \\ E(t) + \theta_E \end{bmatrix}。$$

进一步地，所述 S3 通过以下子步骤来实现：

S3.1：根据 t-1 时刻的状态X_{t-1}以及运动情况预测 t 时刻的状态矩阵$X_{t|t-1}$，有

$$X_{t|t-1} = FX_{t-1} \quad (2)$$

其中，F为根据运动情况得到的过程矩阵；

S3.2:根据 t-1 时刻的跟踪误差P_{t-1}以及运动情况预测 t 时刻的跟踪误差$P_{t|t-1}$

$$P_{t|t-1} = FP_{t-1}F^T + Q \quad (3)$$

其中，T为转置；

S3.3:根据所述的$X_{t|t-1}$和所述的Y_t得到当前时刻的状态矩阵的估计值X_t，并改变天线波

束方向，进行天线对准；

$$X_t = X_{t|t-1} + K_t(\mathrm{Y}_t - HX_{t|t-1}) \tag{4}$$

其中，$K_t = (HP_{t|t-1}H^T + R)$，

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

S3.4：根据下式得到当前时刻的跟踪误差的估计值P_t

$$P_t = (I - K_tH)P_{t|t-1} \tag{5}$$

S3.5：在满足以下三个条件的基础上求解最小化损失函数$L_a(\mathrm{n},\varphi)$，得到采样点数 n、扫描范围φ和观测误差R_t；

①$\mathrm{T(n)}\varphi \leq T_{all}$；

②$\varphi \geq \mathrm{c\bar{b}\Delta T}$；

③$\hat{\sigma}_R^2 = \hat{f}(n)$；

其中，$\hat{\sigma}_R^2$为观测误差 R 的方差，$\hat{f}(n)$是偏移角估计算法检测精度与采样点数 n 的拟合变化曲线，T(n)是采样时长，T_{all}是单次扫描总时长，c 是可设定常数；

S3.6：当 t<N 时，再次初始化特征参数跟踪误差 P、过程误差 Q 和观测误差 R；当 t≥N 时，通过加权线性拟合的方法来估计 Q，即首先通过最小化线性损失函数$L_s(\bar{a},\bar{b})$估计线性参数$\bar{a},\bar{b}$，然后进行线性拟合近似，最后估计 Q 的方差$\hat{\sigma}_F^2$。

进一步地，所述 S4 通过以下子步骤来实现：

S4.1：将所述的 S3.5 得到的采样点数 n、扫描范围φ赋值给 t+1 时刻的 MUSIC 算法的采样点数 n、扫描范围φ；

S4.2：令 t=t+1，返回 S2。

本发明的有益效果如下：

低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法，聚焦研究阵列天线与低轨卫星的波束对准技术，着眼于降低多维耦合运动导致的偏移角估计误差，有效提升了动态偏移角估计的速度和精度，从而提升了天线对准的速度和精度，能够实现实时地天线和卫星的对准。

附图说明

图 1 是低轨移动卫星通信网络的自适应对星算法设计流程图。

图 2 是本发明的对星方法、基于 MUSIC 的角度估计的对星方法、基于自适应耦合模型的对星方法的绝对均值和信噪比的关系图；

图 3 是本发明的对星方法、基于 MUSIC 的角度估计的对星方法、基于自适应耦合模型的对星方法的均方误差和信噪比的关系图。

具体实施方式

下面根据附图和优选实施例详细描述本发明，本发明的目的和效果将变得更加明白，以下结合附图和实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法，如图 1 所示，该方法包括以下步骤：

S1：初始化自适应耦合模型的局部层和全局层的所有跟踪特征参数；

将阵列天线的搜索范围φ的初值设定为整个空域，并且设定采样点数的初值 n；初始化自适应耦合模型的局部层和全局层的所有跟踪特征参数，将卫星方向的方位角$\mathrm{A(t)}$和俯仰角$\mathrm{E(t)}$及它们对应的角速度的跟踪值作为 t 时刻状态矩阵X_t的参数，设定跟踪间隔$\Delta\mathrm{T}$,以 t=0 时刻作为跟踪开始时间，将 t=0 时刻的观测值Y_t作为状态矩阵初值；设定局部层分层长度 N，将观测值$[\mathrm{Y}_t,\mathrm{Y}_{t-1},\ldots,\mathrm{Y}_{t-N+1}]$作为 t 时刻的局部层分层特征，设定特征参数跟踪误差 P、过程误差 Q 和观测误差 R 的初值，且跟踪误差 P 的初值和观测误差 R 的初值相等；

S2：通过阵列天线接收信号，采用基于 MUSIC 的角度估计方法来估计阵列天线波束与卫星波束的偏移角；

S2.1：对空域进行划分，确定阵列天线波束方向后，以φ为搜索范围，在波束方向周围通过波束成形对每个空间区域进行螺旋空间扫描；

S2.2:在完成一次空间扫描后，在搜索到最大接收信号功率的扫描方向上得到接收信号$\mathrm{X(t)}$；

S2.3:计算接收信号$\mathrm{X(t)}$的协方差矩阵值R_{XX}，而后采用下式对其进行特征值分解，从中获得信号子空间U_S与噪声子空间U_N

$$\mathrm{R}_{XX}=\mathrm{U}\sum\mathrm{U}^T=\mathrm{U}_S\sum_S\mathrm{U}_S^T+\mathrm{U}_N\sum_N\mathrm{U}_N^T \tag{1}$$

其中，$\sum_S$和$\sum_N$分别为两者子空间的特征值,T 为转置；

S2.4:在噪声子空间U_N中，通过下式得到偏移角

$$\theta_{MUSIC}=\underset{\theta}{\arg max}\left[\frac{1}{\alpha(\theta)^T\cdot\mathrm{U}_N\cdot U_N^T\alpha(\theta)}\right] \tag{2}$$

其中，$\alpha(\theta)=[a_1,a_2,\ldots,a_K]^T$为相位信息；$\theta_{MUSIC}$即为使得右侧函数取最大值时的$\theta$值。

S2.5:通过步骤S2.1到S2.4得到方位角上的偏移角θ_A和俯仰角上的偏移角θ_E，并通过阵列天线参数得到天线方向的方位角A(t)和俯仰角E(t)的值，然后根据下式得到t时刻的观测值Y_t

$$Y_t = \begin{bmatrix} A(t) + \theta_A \\ E(t) + \theta_E \end{bmatrix} \tag{3}$$

S3：基于估计的偏移角，使用自适应耦合模型进行对卫星方向的跟踪，并根据跟踪过程中提取的特征参数，实现天线方向跟踪对准；

自适应耦合模型将运动跟踪问题中的特征参数通过局部层和全局层分别表征，使用局部层来跟踪船舶运动导致的短周期快速变化特征，使用全局层对卫星运动特征进行持续跟踪，从而实现多维运动的解耦。

S3.1：根据t-1时刻的状态X_{t-1}以及运动情况预测t时刻的状态矩阵$X_{t|t-1}$，有

$$X_{t|t-1} = FX_{t-1} \tag{4}$$

其中，F为根据运动情况得到的过程矩阵；

S3.2:根据t-1时刻的跟踪误差P_{t-1}以及运动情况预测t时刻的跟踪误差$P_{t|t-1}$

$$P_{t|t-1} = FP_{t-1}F^T + Q \tag{5}$$

其中，T为转置；

S3.3:根据所述的$X_{t|t-1}$和所述的Y_t得到当前时刻的状态矩阵的估计值X_t，并改变天线波束方向，进行天线对准；

$$X_t = X_{t|t-1} + K_t(Y_t - HX_{t|t-1}) \tag{6}$$

其中，$K_t = (HP_{t|t-1}H^T + R)$，

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

S3.4：根据下式得到当前时刻的跟踪误差的估计值P_t

$$P_t = (I - K_tH)P_{t|t-1} \tag{7}$$

S3.5：在满足以下三个条件的基础上求解最小化损失函数$L_a(n,\varphi)$，得到采样点数n、扫描范围φ和观测误差R_t；

①$T(n)\varphi \leq T_{all}$；

②$\varphi \geq c\bar{b}\Delta T$；

③$\hat{\sigma}_R^2 = \hat{f}(n)$；

其中，$\hat{\sigma}_R^2$为观测误差 R 的方差，$\hat{f}(n)$是偏移角估计算法检测精度与采样点数 n 的拟合变化曲线，T(n)是采样时长，T_{all}是单次扫描总时长，c 是可设定常数；

S3.6：当 t<N 时，再次初始化特征参数跟踪误差 P、过程误差 Q 和观测误差 R；当 t≥N 时，通过加权线性拟合的方法来估计 Q，即首先通过最小化线性损失函数$L_s(\bar{a},\bar{b})$估计线性参数$\bar{a},\bar{b}$，然后进行线性拟合近似，最后估计 Q 的方差$\hat{\sigma}_F^2$。

S4：根据 S3 得到的特征参数，调整基于 MUSIC 的角度估计方法中的参数，返回到 S2，实现偏移角的实时估计和天线方向的实时跟踪对准。

S4.1：将所述的 S3.5 得到的采样点数 n、扫描范围φ赋值给 t+1 时刻的 MUSIC 算法的采样点数 n、扫描范围φ；

S4.2：令 t=t+1，返回 S2。

图 2 和 3 分别为是本发明的对星方法、基于 MUSIC 的角度估计的对星方法、基于自适应耦合模型的对星方法等三种方法的绝对均值、均方误差和信噪比的关系图，从图 2 和图 3 可以看出，本发明的对星方法与另外两种方法相比，精度更高，稳定性更好。

本领域普通技术人员可以理解，以上所述仅为发明的优选实例而已，并不用于限制发明，尽管参照前述实例对发明进行了详细的说明，对于本领域的技术人员来说，其依然可以对前述各实例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。凡在发明的精神和原则之内，所做的修改、等同替换等均应包含在发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种低轨移动卫星通信网络的自适应对星方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

S1：初始化自适应耦合模型的局部层和全局层的所有跟踪特征参数；

S2：通过阵列天线接收信号，采用基于 MUSIC 的角度估计方法来估计阵列天线与卫星波束的偏移角；

S3：基于估计的偏移角，使用自适应耦合模型进行对卫星方向的跟踪，并根据跟踪过程中提取的特征参数，实现天线方向跟踪对准；

S4：根据 S3 得到的特征参数，调整基于 MUSIC 的角度估计方法中的参数，返回到 S2，实现偏移角的实时估计和天线方向的实时跟踪对准。

2. 根据权利要求 1 所述的自适应对星方法，其特征在于，所述 S1 具体为：

将阵列天线的搜索范围φ的初值设定为整个空域，并且设定采样点数的初值 n；初始化自适应耦合模型的局部层和全局层的所有跟踪特征参数，将卫星方向的方位角$\mathrm{A(t)}$和俯仰角$\mathrm{E(t)}$及它们对应的角速度的跟踪值作为 t 时刻状态矩阵X_t的参数，设定跟踪间隔$\Delta\mathrm{T}$,以 t=0 时刻作为跟踪开始时间，将 t=0 时刻的观测值Y_t作为状态矩阵初值；设定局部层分层长度 N，将观测值$[\mathrm{Y}_t,\mathrm{Y}_{t-1},\ldots,\mathrm{Y}_{t-N+1}]$作为 t 时刻的局部层分层特征，设定特征参数跟踪误差 P、过程误差 Q 和观测误差 R 的初值，且跟踪误差 P 的初值和观测误差 R 的初值相等。

3.根据权利要求 2 所述的自适应对星方法,其特征在于,所述 S2 通过以下子步骤来实现：

S2.1：对空域进行划分，确定阵列天线的波束方向后，以φ为搜索范围，在波束方向周围通过波束成形对每个空间区域进行螺旋空间扫描；

S2.2:在完成一次空间扫描后，在搜索到最大接收信号功率的扫描方向上得到接收信号$\mathrm{X(t)}$；

S2.3:计算接收信号$\mathrm{X(t)}$的协方差矩阵值R_{XX}，而后采用下式对其进行特征值分解，从中获得信号子空间U_S与噪声子空间U_N

$$\mathrm{R}_{XX}=\mathrm{U}\sum\mathrm{U}^T=\mathrm{U}_S\sum_S\mathrm{U}_S^T+\mathrm{U}_N\sum_N\mathrm{U}_N^T \tag{1}$$

其中，$\sum_S$和$\sum_N$分别为两者子空间的特征值,T 为转置；

S2.4:在噪声子空间U_N中，通过下式得到偏移角

$$\theta_{MUSIC}=\underset{\theta}{\arg max}\left[\frac{1}{\alpha(\theta)^T\cdot\mathrm{U}_N\cdot U_N^T\alpha(\theta)}\right] \tag{2}$$

其中，$\alpha(\theta)=[a_1,a_2,\ldots,a_K]^T$为相位信息；$\theta_{MUSIC}$即为使得右侧函数取最大值时的$\theta$值；

S2.5:通过步骤 S2.1 到 S2.4 得到方位角上的偏移角θ_A和俯仰角上的偏移角θ_E，并通过阵

列天线参数得到天线方向的方位角A(t)和俯仰角E(t)的值，然后根据下式得到 t 时刻的观测值 Y_t

$$Y_t = \begin{bmatrix} A(t) + \theta_A \\ E(t) + \theta_E \end{bmatrix} \quad (3)$$

4. 根据权利要求 3 所述的自适应对星方法，其特征在于，所述 S3 通过以下子步骤来实现：

S3.1：根据 t-1 时刻的状态X_{t-1}以及运动情况预测 t 时刻的状态矩阵$X_{t|t-1}$，有

$$X_{t|t-1} = FX_{t-1} \quad (4)$$

其中，F为根据运动情况得到的过程矩阵；

S3.2:根据 t-1 时刻的跟踪误差P_{t-1}以及运动情况预测 t 时刻的跟踪误差$P_{t|t-1}$

$$P_{t|t-1} = FP_{t-1}F^T + Q \quad (5)$$

其中，T为转置；

S3.3:根据所述的$X_{t|t-1}$和所述的Y_t得到当前时刻的状态矩阵的估计值X_t，并改变天线波束方向，进行天线对准；

$$X_t = X_{t|t-1} + K_t(Y_t - HX_{t|t-1}) \quad (6)$$

其中，$K_t = (HP_{t|t-1}H^T + R)$，

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

S3.4：根据下式得到当前时刻的跟踪误差的估计值P_t

$$P_t = (I - K_tH)P_{t|t-1} \quad (7)$$

S3.5：在满足以下三个条件的基础上求解最小化损失函数$L_a(n, \varphi)$，得到采样点数 n、扫描范围φ和观测误差R_t；

①$T(n)\varphi \leq T_{all}$；

②$\varphi \geq c\bar{b}\Delta T$；

③$\hat{\sigma}_R^2 = \hat{f}(n)$；

其中，$\hat{\sigma}_R^2$为观测误差 R 的方差，$\hat{f}(n)$是偏移角估计算法检测精度与采样点数 n 的拟合变化曲线，T(n)是采样时长，T_{all}是单次扫描总时长，c 是可设定常数；

S3.6：当 t<N 时，再次初始化特征参数跟踪误差 P、过程误差 Q 和观测误差 R；当 t≥N 时，通过加权线性拟合的方法来估计 Q，即首先通过最小化线性损失函数$L_s(\bar{a}, \bar{b})$估计线性参

数$\bar{a},\bar{b}$，然后进行线性拟合近似，最后估计 Q 的方差$\hat{\sigma}_F^2$。

5.根据权利要求 4 所述的自适应对星方法，其特征在于，所述 S4 通过以下子步骤来实现：

S4.1：将所述的 S3.5 得到的采样点数 n、扫描范围φ赋值给 t+1 时刻的 MUSIC 算法的采样点数 n、扫描范围φ；

S4.2：令 t=t+1，返回 S2。

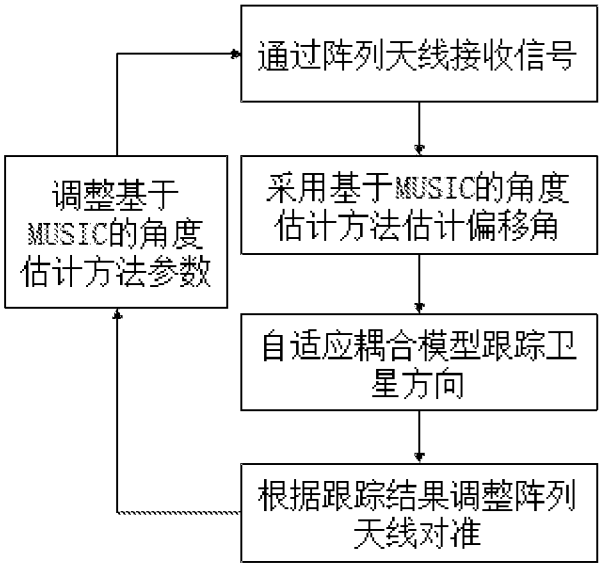

通过阵列天线接收信号
采用基于MUSIC的角度估计方法估计偏移角
自适应耦合模型跟踪卫星方向
根据跟踪结果调整阵列天线对准
调整基于MUSIC的角度估计方法参数

图 1

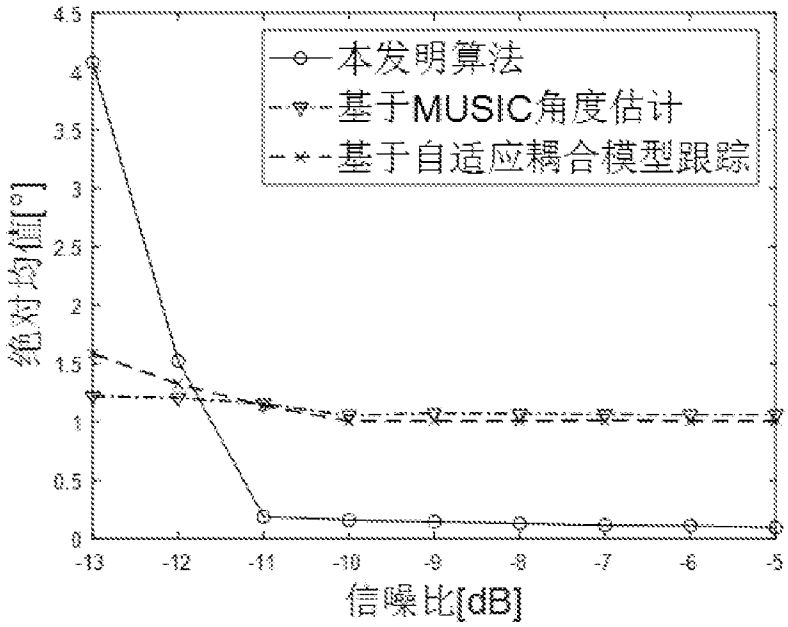

本发明算法
基于MUSIC角度估计
基于自适应耦合模型跟踪
绝对均值[°]
信噪比[dB]
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-13
-12
-11
-10
-9
-8
-7
-6
-5

图 2

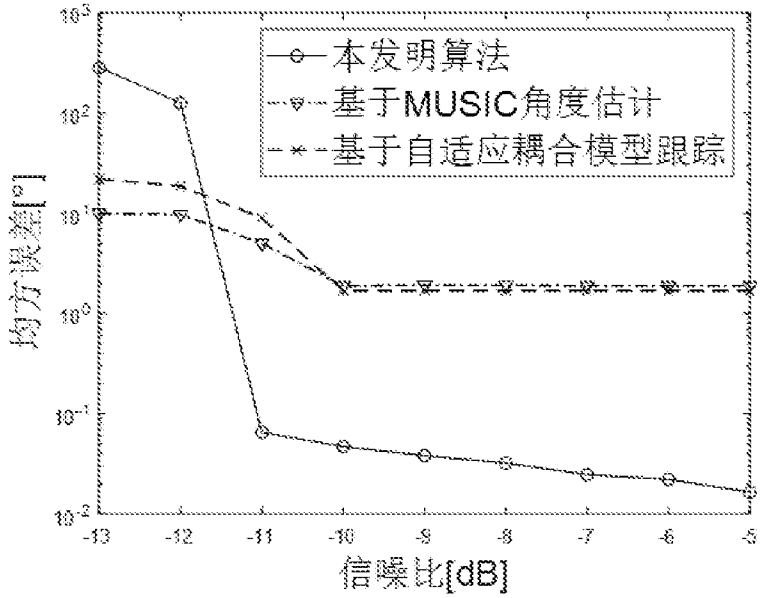

本发明算法
基于MUSIC角度估计
基于自适应耦合模型跟踪
均方根误差[°]
信噪比[dB]
10^{3}
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
-13
-12
-11
-10
-9
-8
-7
-6
-5

图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/104261

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 7/08(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI; CNPAT; WPI; EPODOC: 阵列, 天线, 卫星, 对准, 跟踪, 低轨, 运动, 移动, 偏移角, 仰角, 特征, 参数, 局部, 全局, 角度, 估计, 波束, low rail, MUSIC, array, antenna, satellite, align, tract+, movement, angle, character+, parameter?, global, local, estimate+, beam

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106329122 A (ROCKET FORCE UNIVERSITY OF ENGINEERING) 11 January 2017 (2017-01-11) description, paragraphs 7-63	1-5
A	CN 106772466 A (CHINA XI'AN SATELLITE CONTROL CENTER) 31 May 2017 (2017-05-31) entire document	1-5
A	CN 108493611 A (HWA CREATE CORPORATION LTD.) 04 September 2018 (2018-09-04) entire document	1-5
A	US 2016170019 A1 (BAE SYSTEMS INFORMATION & ELECTRONIC SYSTEMS INTEGRATION INC.) 16 June 2016 (2016-06-16) entire document	1-5
A	US 6191734 B1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 20 February 2001 (2001-02-20) entire document	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 February 2020	**09 March 2020**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/104261

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 106329122 A	11 January 2017	None	
CN 106772466 A	31 May 2017	None	
CN 108493611 A	04 September 2018	None	
US 2016170019 A1	16 June 2016	None	
US 6191734 B1	20 February 2001	KR 20000060658 A	16 October 2000

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/104261

A. 主题的分类

H04B 7/08(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNKI;CNPAT;WPI;EPODOC: 阵列，天线，卫星，对准，跟踪，低轨，运动，移动，偏移角，仰角，特征，参数，局部，全局，角度，估计，波束，low rail, MUSIC, array, antenna, satellite, align, tract+, movement, angle, character+, parameter?, global, local, estimate+, beam

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 106329122 A (中国人民解放军火箭军工程大学) 2017年 1月 11日 (2017-01-11) 说明书第7—63段	1-5
A	CN 106772466 A (中国西安卫星测控中心) 2017年 5月 31日 (2017-05-31) 全文	1-5
A	CN 108493611 A (北京华力创通科技股份有限公司) 2018年 9月 4日 (2018-09-04) 全文	1-5
A	US 2016170019 A1 (BAE SYSTEMS INFORMATION & ELECTRONIC SYSTEMS INTEGRATION INC.) 2016年 6月 16日 (2016-06-16) 全文	1-5
A	US 6191734 B1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 2001年 2月 20日 (2001-02-20) 全文	1-5

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2020年 2月 17日	2020年 3月 9日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 汪德闯 电话号码 86-(10)-53961791

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/104261

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 106329122 A	2017年 1月 11日	无	
CN 106772466 A	2017年 5月 31日	无	
CN 108493611 A	2018年 9月 4日	无	
US 2016170019 A1	2016年 6月 16日	无	
US 6191734 B1	2001年 2月 20日	KR 20000060658 A	2000年 10月 16日