

2024年第九届数维杯大学生数学建模挑战赛题目
(请先阅读“数维杯大学生数学建模挑战赛论文格式规范”)

A 题 多源机会信号建模与导航分析

(一) 问题背景

尽管全球卫星定位系统下的定位导航技术已成熟,但考虑到室内、隧道、建筑密集区等复杂环境或全球卫星定位系统被毁失灵等突发场景,会发生全球卫星定位系统拒止情况,无法有效定位导航。因此,需要发展基于新型信号的自主定位导航方法,机会信号导航是目前一种可行的自主导航技术。机会信号是指存在于空间域中的各类无线电信号,具有不同的频段。在多个发射源发射多种机会信号(机会信号中均带有发射源位置信息、发射时间信息)的场景下,考虑接收飞行器的自主导航解算问题,即:飞行器根据接收到的机会信号信息,通过飞行器机载设备,实时计算飞行器自身的三维空间位置。

根据机会信号蕴含的信息来分类,可以将机会信号分为五类:达到时间信息(TOA)、到达时间差信息(TDOA)、多普勒频率差信息(DFD)、到达角度信息(AOA)、接收强度指标信息(RSSI)。五类机会信号的具体信息含义如下:

(1) 达到时间信息 TOA: 信号传输时间,即飞行器接收信号时间与信号发射时间的差。

(2) 到达时间差信息 TDOA: 同一信号从两个发射源(同时发射)到达接收端的时间差。

(3) 多普勒频率差信息 DFD: 同一信号从两个发射源发射,由

于飞行器与信号源具有相对速度，接收信号会产生频率变化，进而产生信号频率差，具体计算方式如下

多普勒频率差信息

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{发射信号的频率}}{\text{信号传播速度}} \\ &\cdot (\text{发射源 1 对应的频率变化比率} \\ &- \text{发射源 2 对应的频率变化比率}) \end{aligned}$$

其中

发射源对应的频率变化比率

$$= \frac{\text{发射源相对接收源的速度向量} \cdot \text{发射源相对接收源的位移向量}}{\text{发射源与接收源的距离}}$$

(4) 到达角度信息 AOA：接收源可得到发射源信号的相对角度信息，如图 1 所示（发射源与接收源连线在 xOy 平面投影线段与 x 轴正方向的夹角，发射源与接收源连线与 z 轴负方向的夹角 β ）。为了简化处理，图 1 中的坐标系为地面惯性系，到达角度信息为角度的正切值，即 $\tan \alpha$ 与 $\tan \beta$ 。

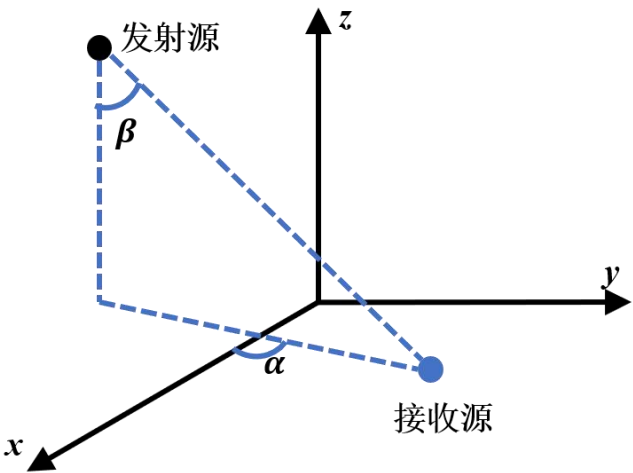


图 1 到达角度信息示意图

(5) 接收强度指标信息 RSSI：通过对比标称距离下的标称信号强度，可以获得接收信号的强度指标信息，具体计算方式如下

接收强度指标信息

$$= \text{标称信号强度} - 10 \cdot \text{信道衰减系数} \cdot \lg\left(\frac{\text{发射源与接收源相对距离}}{\text{标称距离}}\right)$$

现有一例飞行器在空中做动态飞行，以 0.01 秒的采样间隔时间接收到不同种类的机会信号，发射源数据、机会信号参数和接收到的机会信号具体数据见附件 1。

(二) 题目数据

参见附件 1。

(三) 需要解决的问题

1. 结合题目信息与数据，建立机会信号的数学表达式。同时，针对每一类机会信号，讨论能够唯一确定飞行器位置的最少机会信号个数。

2. 根据附件 1 的接收情况 1 数据，不考虑数据偏差的情况下（认为所有数据可信），请设计飞行器实时位置的估计方法，并给出飞行器 0 秒至 10 秒的导航定位结果（实时的位置估计值）。

3. 在附件 1 的接收情况 1 数据中，某些机会信号可能有较大的偏差，请建立机会信号的实时筛选方法，筛选出偏差较大的机会信号。

根据建立的机会信号筛选方法，给出此时飞行器 0 秒至 10 秒的导航定位情况。

4. 机会信号的偏差可以分为两种，一种是随机性偏差(零均值)，一种是常值飘移。请建立评价判断方法，并依据所提出方法，判断接收情况 2 中的机会信号的随机性偏差程度以及常值飘移量。设计合理的机会信号筛选方法，给出接收情况 2 下的飞行器 0 秒至 10 秒的定位结果。

赛题声明：赛题仅用于 2024 年第九届数维杯数学建模挑战赛参赛选手使用，未经数维杯竞赛组委会授权，严禁任何形式的篡改、编辑及其他用途，一经发现，应承担相关责任。