**1. 多基站+角度CRB**

**1.1 信号模型**

考虑一个包含个基站，个用户、和一个感知目标的多基站协作通信感知场景，每个基站装备有根发送天线，根接收天线，每个用户装备单个天线，感知时间周期设为。

每个基站都和所有用户通信，任意基站的发送信号均为，其中表示发送给第个用户的维数据，当足够大时，满足。第个基站的数字预编码矩阵设为，那么第个基站的发送信号为：

表示第个天线上的维感知专用信号，当足够大时，满足**。**发送信号需要满足功率约束：

其中。为便于表示，令，，，那么：

相应的功率约束可以表示为：

其中是第到第个对角线元素为1，其余元素均为0的维矩阵，。

**1.2 通信模型**

第个用户接收到的信号可以表示为:

其中表示的第列，表示所有基站到第个用户的信道，表示满足均值为0，方差为的加性高斯白噪声。因此，第个用户接收信号的信干噪比为：

**1.3 感知模型**

所有基站接收到的回波信号可以表示为：

其中，，表示感知目标到第个基站的接收阵列响应函数，，表示第个基站到感知目标的发送阵列响应函数，表示第个基站与感知目标之间的信号离开角。表示目标复振幅，其与感知目标的雷达截射面积有关。表示加性白噪声矩阵，其中的每个元素均是满足均值为0，方差为的高斯随机变量。

令表示待估计参数，其中分别表示的实部和虚部。下面基于回波信号表达式，推导关于估计的Fisher信息矩阵。首先，写出的概率密度函数：

基于上述概率密度函数，关于参数的Fisher信息可以写成：

其中，，表示关于的导数，，表示关于的导数，是第到第个对角线元素为1，其余元素均为0的维矩阵。令：

其中，，，。那么：

关于的Fisher信息可以表示为：

令：

那么：

关于的Fisher信息可以表示为：

那么：

关于的Fisher信息为：

令：

那么：

关于的Fisher信息为：

那么：

关于的Fisher信息为：

综上所述，基于回波信号模型，关于估计的Fisher信息矩阵为：

相应的CRB矩阵为：

**1.4 形成优化问题**

首先，考虑满足SINR约束的条件下，最小化CRB矩阵的迹，即：

满足SINR约束的条件下，最小化CRB矩阵的行列式，即：

满足SINR约束的条件下，最小化CRB矩阵的最大特征值，即：

也可以在满足SINR约束的条件下，最小化其中一个角度估计的CRB（如），即：

**2. 多基站+位置CRB**

**2.1 信号模型**

考虑一个包含个基站，个用户、一个感知目标、和一个目标监控终端的感知移动网络，每个基站装备有根发送天线，每个用户装备单个天线，目标监控终端配置根天线，感知时间周期设为。基站不接收回波信号，由目标监控终端收集目标反射信号。感知目标位置设为，第个基站位置设为，目标监控终端位置设为。

每个基站都和所有用户通信，任意基站的发送信号均为，其中(t)表示发送给第个用户时刻的数据，满足，，和。第个基站的数字预编码矩阵设为，那么第个基站的发送信号为：

发送信号需要满足功率约束：

为便于表示，令，，那么：

**2.2 通信模型**

第个用户接收到的信号可以表示为:

其中表示的第列，表示所有基站到第个用户的信道，表示满足均值为0，方差为的加性高斯白噪声。因此，第个用户接收信号的信干噪比为：

**2.3 感知模型**

目标监控终端收到的等效基带信号为：

其中，表示均值为0，方差为的高斯白噪声向量。令表示待估计参数，其中分别表示的实部和虚部。直接计算关于估计的Fisher信息矩阵是困难的，转而定义，满足：

其中表示关于估计的Fisher信息矩阵，下面计算。

应具有下列结构：



其中。为了求出，首先，写出的概率密度函数：

下面基于，解出:

其中，，并且：

继续推导和的关系：

其中，是的单位阵，表示光速。将表示为：

其中**。**有：

那么关于估计的克拉美罗界矩阵为：

特别地，关于位置估计的克拉美罗界为：

其中：

**2.4 形成优化问题**

首先，考虑满足SINR约束的条件下，最小化CRB矩阵的迹，即：

满足SINR约束的条件下，最小化CRB矩阵的行列式，即：

满足SINR约束的条件下，最小化CRB矩阵的最大特征值，即：