**1. 多基站+角度CRB**

**1.1 信号模型**

考虑一个包含个基站，一个目标监控终端，个用户、和一个感知目标的多基站通信感知场景，每个基站装备有根发送天线，目标监控终端配置根接收天线，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，，表示感知目标到目标监控终端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。表示目标复增益矩阵，其中与感知目标的雷达截射面积和第个基站发送信号经过目标反射到达目标监控终端的路径损耗有关。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。令：

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：

令：

那么：

关于的Fisher信息为：

那么：

关于的Fisher信息为：

关于的Fisher信息为：

关于的Fisher信息为：

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：

令：

那么：

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**

在满足SINR约束的条件下，最小化角度估计的CRB，即：

**1.5 解决算法**

使用SDP的方法，令，那么原问题变为：

由于秩约束的存在，上述问题是一个非凸的问题，为了求解该问题，对秩约束进行松弛：

此时的问题是一个凸问题，可以利用CVX软件获得全局最优数值解。假设得到的解为：，那么下列解：

是秩一的最优解。下面证明该结论，令，首先证明，设任意向量，那么有：

上述不等关系来自柯西施瓦茨不等式，因此可证。又有，因此可以证明是问题的最优解。