多普勒中心频率（Fdc）估计方法研究

由于SAR平台与目标的相对运动，接收信号经历了多普勒频移。这一多普勒频移存在于解调后的接收信号中，与脉冲带宽相比频移很小，距离向难以察觉。但是，当沿方位向观测时，多普勒频域就很明显了。多普勒中心（Fdc）是多普勒频移的一个重要参数。在实测数据处理中，如果能估计出准确的多普勒中心频率（Fdc）对于后边的去模糊以及信号处理等都很重要。

# 1 Fdc特性及估计方法的提出

多普勒中心频率（Fdc）对信号的影响是在信号后加了一个一次项，表现在频域上相当于对原始信号进行了搬移。下边，用线性调频信号（LFM）对Fdc 对信号的影响进行分析。采用的线性调频信号为：



在式1.1中，K是线性调频率。然后再加上多普勒中心频率（Fdc）的影响：



在上式中，取=0.9K。其仿真结果如下：



图1.1 线性调频信号

从上图中可以看到，线性调频信号的频率从中间向两边逐渐增大，当把多普勒中心频率导致的一阶相加到信号后，其变化为下图：



图1.2 加Fdc一阶相后的信号

从图1.2可以明显看到，当对1.1的线性调频信号加上Fdc的影响后，信号发生了搬移，其频率变化最小的时刻不在是中间时刻。

基于上边分析的Fdc对信号波形的影响，为了消除Fdc的影响，估计出准确的Fdc，然后进行方位向去模糊。从图1.1可以看出，当没有Fdc的影响时，线性调频信号在中间时刻变化频率最小。

Fdc估计方法的核心思想是：基于给的一定范围Fdc，进行去模糊操作，然后判断是否是最准确的Fdc，从而得到准确的Fdc值。





在式1.3中，w是门限值，代表离中心时刻的距离大小。

对图1.2的信号进行去模糊操作为：



上式中，使用的是估计的，由上边的分析可知，如果估计的是准确的，则在中间时刻是信号频率变化最小，反之不成立。

采用正确的Fdc对进行去模糊操作，得到，然后对求其一阶微分，其分布如下图所示：



图1.3 加Fdc一阶相后的信号

从上图可以看到，当采用正确的Fdc进行去模糊后，信号的一阶微分在中心点出最小，是一个近似的线性分布，只要能得到中心点区域的最小值对应得Fdc，也就得到了最准确的Fdc。

# 2 fdt及fdtt对信号的影响

从第一节分析来看，Fdc对信号的影响是在频域有一个搬移。在实际信号处理中，信号还存在三阶相fdt，四阶相fdtt，下面分析其对信号的影响。

 (2.1)

  (2.2)

公式(2.1)和(2.2)的信号波形如下图所示：



图2.1 加Fdt三阶相后的信号



图2.2 加Fdtt四阶相后的信号

放大信号的中间时刻，发现线性调频信号的特性没有变，中间点依然是变化频率最小的。但是，信号中间时刻被压缩了。

为了验证提出的Fdc估计方法，对线性调频信号加入fdc的一阶相，fdt的三阶相，fdtt的四阶相，其信号形式为：

 (2.3)

去模糊即利用理论计算的Fdc值消掉一阶相后，其信号图为：



图2.3 公式2.3信号消掉fdc一阶相

当放大图2.3的信号后，会发现中间点区域依然是变化频率最小的，所以符合我们第一节分析的Fdc估计条件。这时候，我们理论计算出的Fdc值为1e6。当求其一阶一阶微分为：



图2.4 去模糊后的信号一阶微分

从上图可以明显看到，在中间点时刻，一阶微分值是最小的。下边利用第一节提出的Fdc估计方法，取Fdc估计区间为[500000:10000:1500000]。其Z(fdc)为：



图2.5 Z(fdc)函数

从上图可以看到，Z(fdc)函数的最小值点对应的fdc值，就是估计的准确的Fdc值。

# 3多个LFM混叠验证

在实际情况中，还可能出现多个线性调频信号混叠的情况，下边将对这种情况进行分析。信号形式为：

  (3.1)

上式中，A代表幅度。其信号波形为：



图3.1 多个LFM信号混叠

当对上边的信号进行去模糊后：



图3.2 去模糊后的信号



图3.2 信号的一阶微分

# 4 加入高斯白噪声的方法验证



图4.1 高斯白噪声信号



图4.2 LFM加入高斯白噪声



图4.3 带有fdc影响



图4.4 去模糊后的信号一阶微分

从上图可以看到，我们提出的Fdc估计方法在有高斯白噪声影响的情况下，依然成立。

# 5 双基SAR的Fdc估计

采用双基SAR平台得到的原始回波如下图所示：



图5.1 原始回波



图5.2 原始回波频域图

从图5.2可以明显看出，原始回波频域在方位向产生了一个搬移。如果采用正确的Fdc进行方位向去模糊，可得到：



图5.3 方位去模糊后的频域

然后对其进行距离压缩和距离徙动校正，得到下图：



图5.4 RCMC后的信号

对距离徙动校正（RCMC）后的信号，取一个距离门的信号如下图：



图5.5 取一个距离门的信号

对5.5的信号求一阶微分为：



图5.6 一阶微分

从图5.6看出，当估计Fdc的值是准确的，准确值为719.13，则其一阶微分在中间点处最小，现在便历Fdc的范围取[600,850]，中间区域门限取10，得到函数Z(fdc)如图4.7：



图5.7 Z(fdc)

从上图可以明显看出来，函数Z(fdc)具有最小值点，其最小值对应得Fdc值就是待估计的Fdc。可以看到，可以准确的估计出Fdc的值。