

报告

一维 LFM 脉冲压缩峰值位置问题及解决

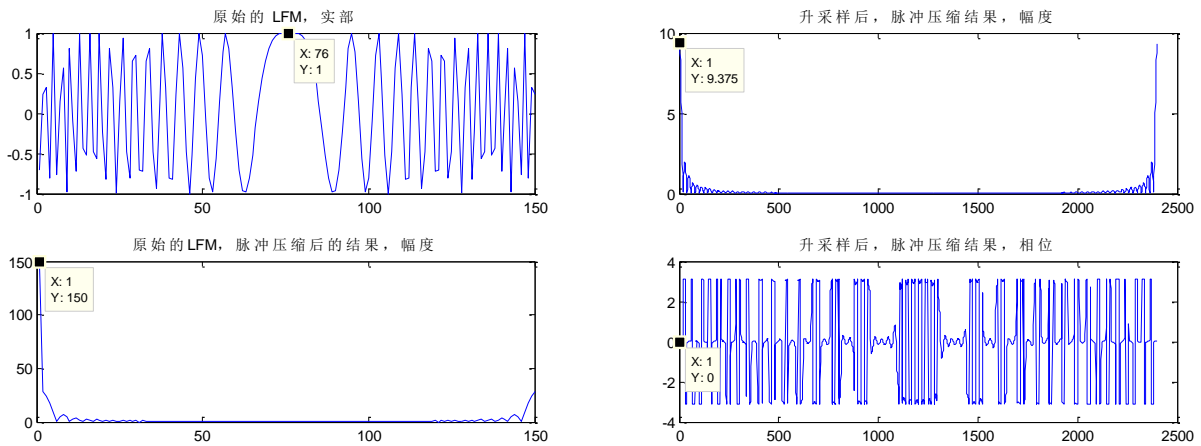
2015.01.12

一、 $N_{rg} = N_r$ 时，一维 LFM 的脉压峰值问题

1. 一些关键的设置：

```
tr = (-Nr/2 : (Nr/2-1))/Fr;
s_ref = w_range_ref.*exp((1j*pi*Kr).*(t_ref).^2); % 复制（发射）脉冲，未加窗。
S_ref = fft(s_ref,[],2); % 复制脉冲的距离傅里叶变换，零频在两端。
H_range = conj(S_ref); % 距离向匹配滤波器，零频在两端。
```

由此得到的脉压结果如下：



(1) 脉冲压缩前后对比
(上图是 LFM，下图是脉冲压缩结果)

(2) 升采样后，脉冲压缩的幅度和相位
(上图幅度，下图相位)

图 1.1 普通的脉冲压缩

上述结果是我在之前的报告《2015.01.10.一维 LFM 信号生成及处理中的一些问题》中使用的方法，已经验证其幅度和相位都能符合理论分析要求。特点是峰值点被压至了脉冲起点处（图 1.1 中即为第 1 个点），而我的目的是得到峰值被压至脉冲中心（甚至任意点）的结果。下面就将对此展开研究。

2. 改变 s_{ref} 的参数，这就相当于改变了生成的匹配滤波器，就可以得到峰值点被压至任意位置的结果。

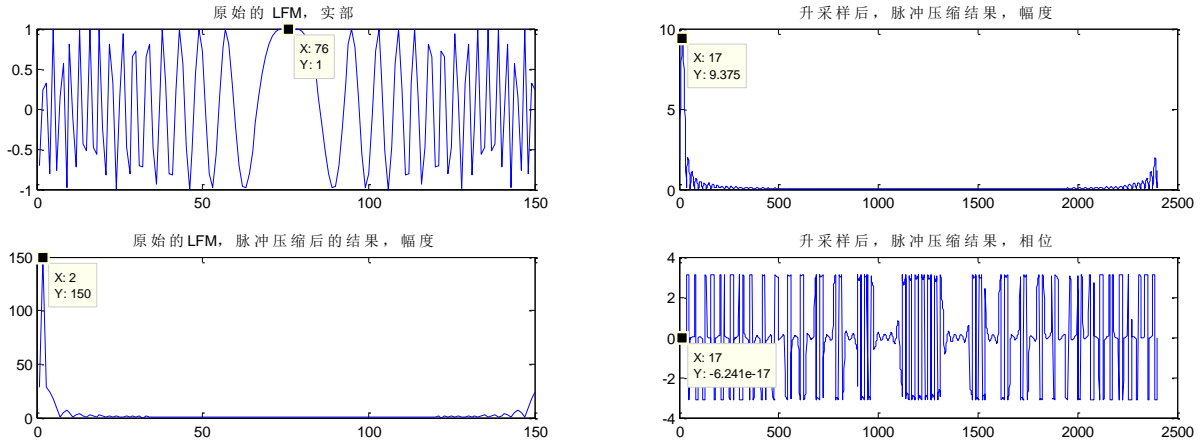
生成匹配滤波器的程序如下，注意其中加粗的部分：

```
s_ref = w_range_ref.*exp((1j*pi*Kr).*(t_ref).^2); % 复制（发射）脉冲，未加窗。
s_ref = circshift ( s_ref , [0 -1] ); % 这里对原来的 s_ref 向左循环移动一位
S_ref = fft(s_ref,[],2); % 复制脉冲的距离傅里叶变换，零频在两端。
H_range = conj(S_ref); % 距离向匹配滤波器，零频在两端。
```

关键一点在于：

`s_ref = circshift(s_ref, [0 -1]);` % 这里对原来的 `s_ref` 向左循环移动一位

之前的理论分析已经说明了其原理，下面直接给出仿真结果：



(1) 脉冲压缩前后对比
(上图是 LFM, 下图是脉冲压缩结果)

(2) 升采样后, 脉冲压缩的幅度和相位
(上图幅度, 下图相位)

图 1.2 修改 MF 生成方式后的脉冲压缩

注意到，这里的峰值点被压至了第 2 点处（升采样后是第 17 点，因为进行了 16 倍升采样，所以 $2 \rightarrow 1 + (2-1) \times 16 = 17$ ，即第 2 点对应升采样后的第 17 点）。这是因为我在生成 MF 时，首先对复制脉冲进行了左循环移位（采用循环移位是考虑到周期延拓这一点；另外，只进行了一位的左循环移位），然后再对移位后的复制脉冲进行 FFT 并取复共轭，来得到频域的 MF。这样的脉压结果就对应于原始 LFM 脉冲的第 2 点（由于 MATLAB 的下标从 1 开始，因此峰值就位于第 2 点）。

这样，我按照以下设置：

$$s_{ref}^{\#} = \text{circshift}(s_{ref}, [0, -N])$$

$$s_{ref} = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \exp\{j\pi K t^2\}$$

s_{ref} 代表和原始 LFM 一样的复制脉冲；

而 $s_{ref}^{\#}$ 则表示对 s_{ref} 移位后的，接下来用于生成 MF 的脉冲。

由此，我就可以得到峰值点位于 $(1+N)$ 的脉冲压缩结果。

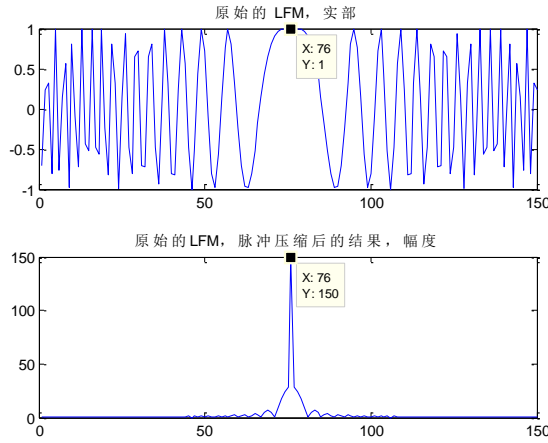
如果想令脉冲压缩峰值点位于脉冲中心，可以有以下两种方式来移动 s_{ref} ：

$$\text{a) } s_{ref}^{\#1} = \text{circshift}\left(s_{ref}, \left[0, -\frac{N_r}{2}\right]\right);$$

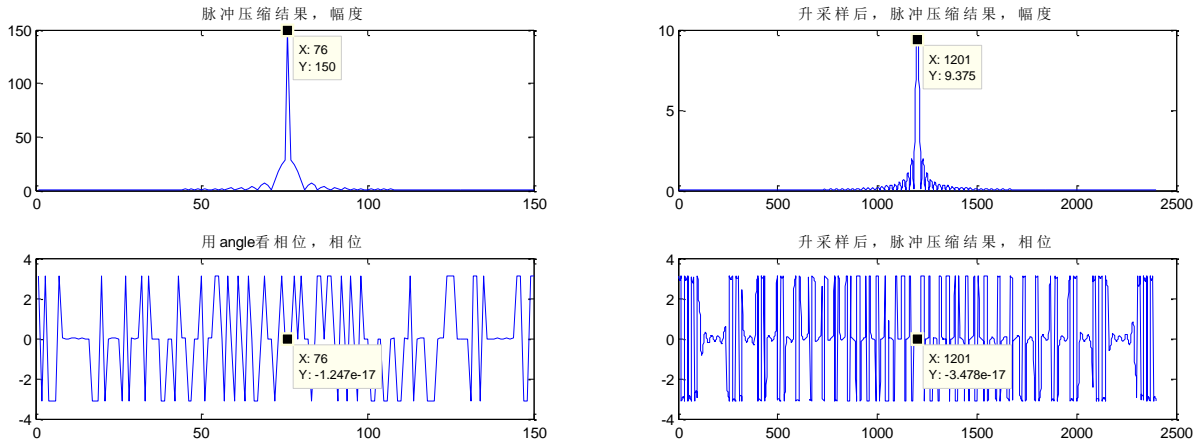
$$\text{b) } s_{ref}^{\#2} = \text{fftshift}(s_{ref});$$

对于要压至脉冲中心（此时 N_r 是偶数），可以有以上两种方式，且 b) 更简单，但是如果
要压至任意点处，还是要使用 a) 这种方式。

我们将峰值点压至脉冲中心，仿真结果如下：



(1) 脉冲压缩前后对比（上图是 LFM，下图是脉冲压缩结果）



(2) 升采样前，脉冲压缩的幅度和相位

(3) 升采样后，脉冲压缩的幅度和相位

（上图幅度，下图相位）

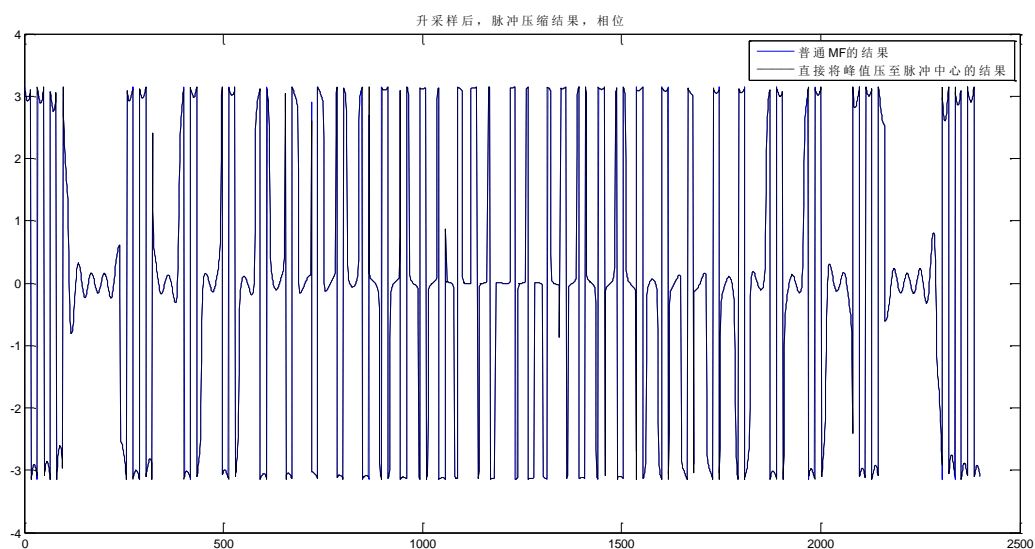
图 1.3 修改 MF 生成方式，使得峰值点被压至脉冲中心

脉冲中心点位于： $\frac{N_r}{2} + 1 = 76$ ；

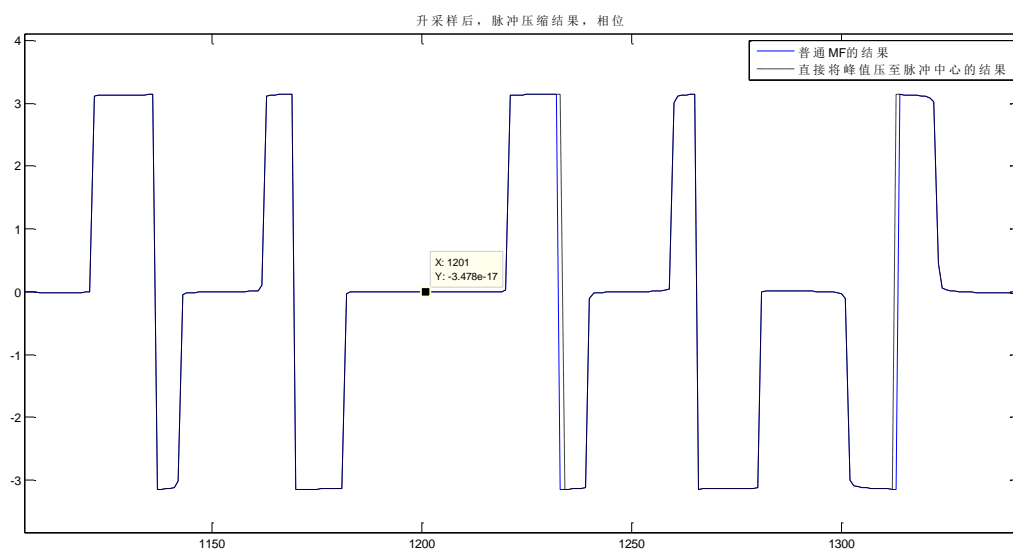
同样，升采样后的点由此计算： $1 + \left(\left(\frac{N_r}{2} + 1\right) - 1\right) \times 16 = 1 + 75 \times 16 = 1201$ ；

这样，我们就得到了我们想要的结果。

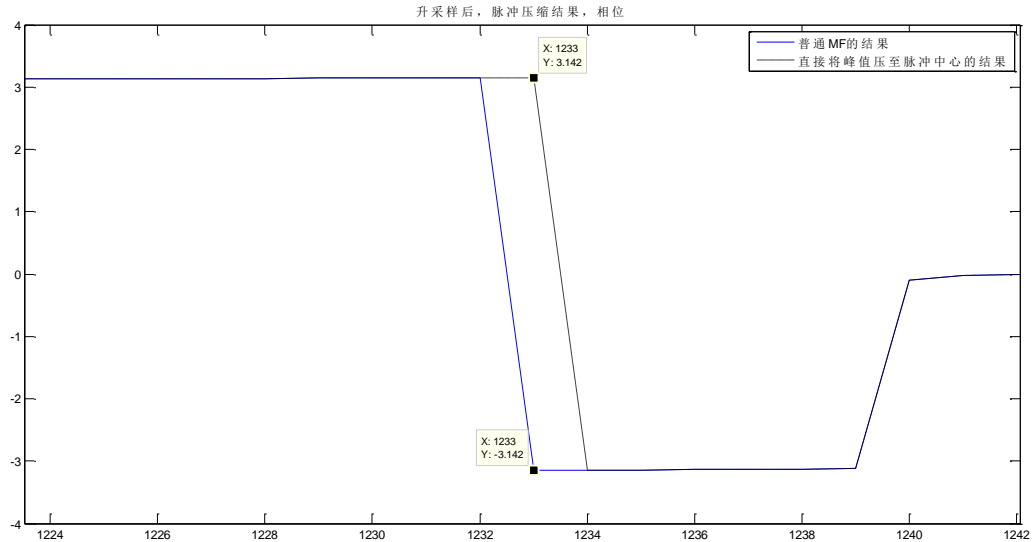
此外，我们还要考察一下这样操作后对相位会不会有什么影响。考察的方式是：使用普通的脉压方式得到脉冲压缩结果（此时峰值点位于脉冲起点），我们可以对其进行 `fftshift` 将其移动到脉冲中心，然后将该结果与这里的直接将峰值压至脉冲中心处的相位相比较。为了比较的准确性，都在进行 16 倍升采样后进行。



(1) 整体效果



(2) 局部放大



(3) 某一条不同的下降沿

图 1.4 对比两种处理方式的相位结果（16 倍升采样后）

图 1.4 显示，两种结果的相位几乎完全相同，只在某些上升沿或者下降沿处，有一点差别：当某一种方式得到的相位点还处于下降沿的上沿时，另一种方式得到的相位点恰好已经位于了下降沿的下沿。这点微小的差别我认为是没有关系的。暂时忽略它。

这样两种方式的脉压结果可以认为是没有差异的。因此以后我们都可以采用这样的方式将峰值点压至任意点处。

二、 $N_{rg} > N_r$ 时，一维 LFM 的脉压峰值问题（此时尤其注意补零的问题）

讨论了上面的情况后，还有一种情况需要讨论，这就是当 $N_{rg} > N_r$ 时，一维 LFM 的脉压峰值问题。这里的思路与上面 $N_{rg} = N_r$ 时完全相同，但是有一点不一样：当 $N_{rg} > N_r$ 时，生成 MF 的复制脉冲需要补零。那么如何选择补零位置？不同选择是否有影响？这就是该部分要解决的问题了。

1. 原始的脉压（此时峰值点被压至脉冲起点）

```
tr = (-Nrg/2 : (Nrg/2-1))/Fr; % 距离时间轴
s_ref = w_range_ref.*exp((1j*pi*Kr).*((t_ref).^2)); % 复制（发射）脉冲，未加窗。
s_ref = [s_ref,zeros(1,Nrg-Nr)]; % 对复制脉冲，末端补零。
S_ref = fft(s_ref,[],2); % 复制脉冲的距离傅里叶变换，零频在两端。
H_range = conj(S_ref); % 距离向匹配滤波器，零频在两端。
```

仿真结果如下：

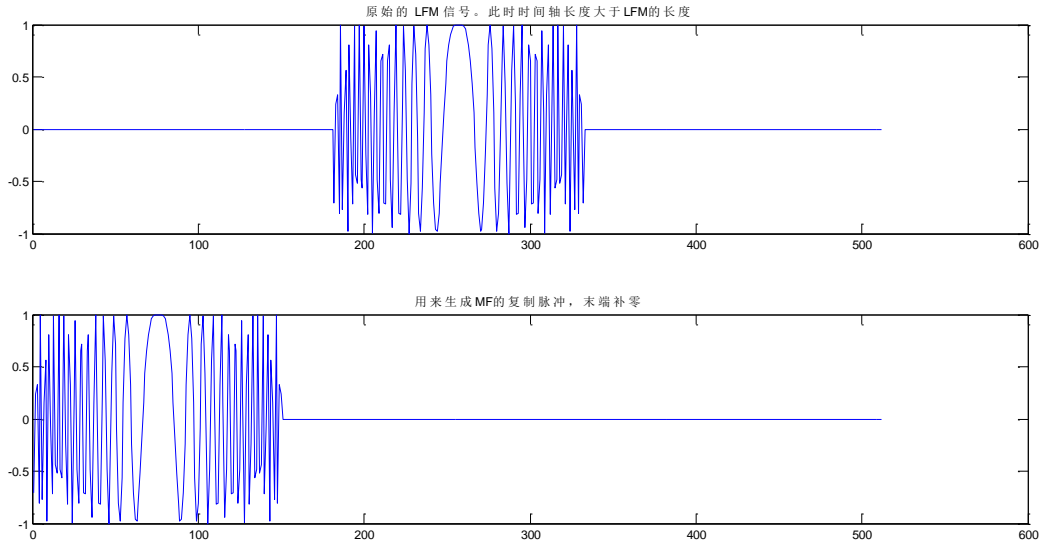


图 2.1 上图是原始的 LFM ($N_{rg} > N_r$), 下图是用来生成 MF 的复制脉冲 (末端补零)

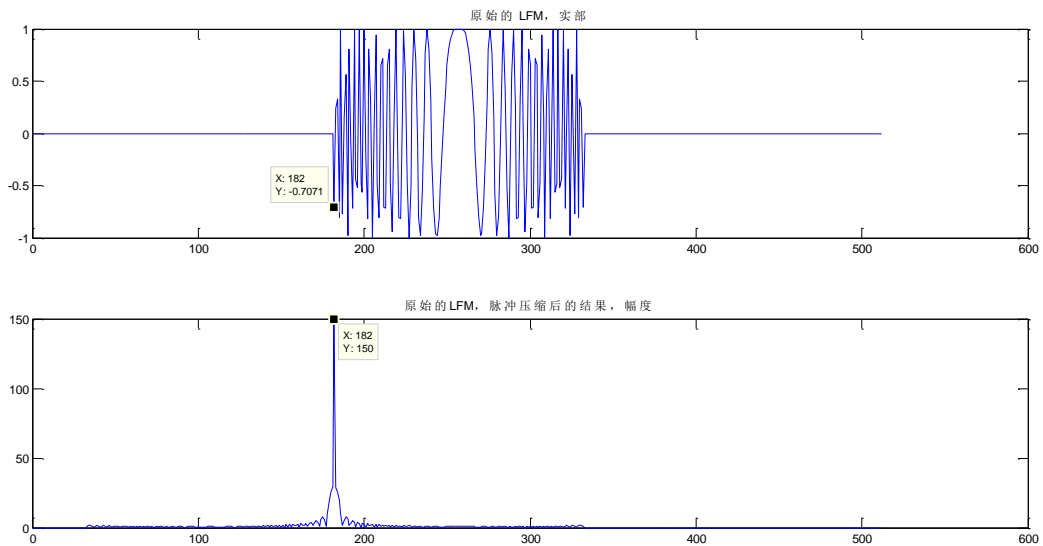


图 2.2 脉冲压缩结果 (上图是原始的 LFM, 下图是脉冲压缩结果)

图 2.2 的结果显示, 峰值点被压至脉冲起点 (更准确的说是被压至 LFM 信号的起点。因为脉冲起点是第 1 个点, 而 LFM 信号的第 1 个点是第 182 个点, 这里是将峰值压至 LFM 信号的第 1 个点)。

现在我要让峰值点被压至 LFM 信号的第 2 个点 (即整个脉冲的第 183 个点)。仿照之前的方法, 有:

```
s_ref = w_range_ref.*exp((1j*pi*Kr).*((t_ref).^2)); % 复制 (发射) 脉冲, 未加窗。
s_ref = [s_ref,zeros(1,Nrg-Nr)]; % 对复制脉冲, 末端补零。
s_ref = circshift ( s_ref , [0 -1] ) ;
% 通过对 s_ref 附加一个任意的延迟, 使得峰值点被压在任意位置
```

```
S_ref = fft(s_ref,[],2); % 复制脉冲的距离傅里叶变换，零频在两端。
H_range = conj(S_ref); % 距离向匹配滤波器，零频在两端。
```

注意这里的补零方式，是先对原来的 s_{ref} 进行了补零，然后才进行循环移位操作的。具体原因（理论分析）见随后的手写笔记。

（同样，从周期延拓来考虑）

仿真结果如下：

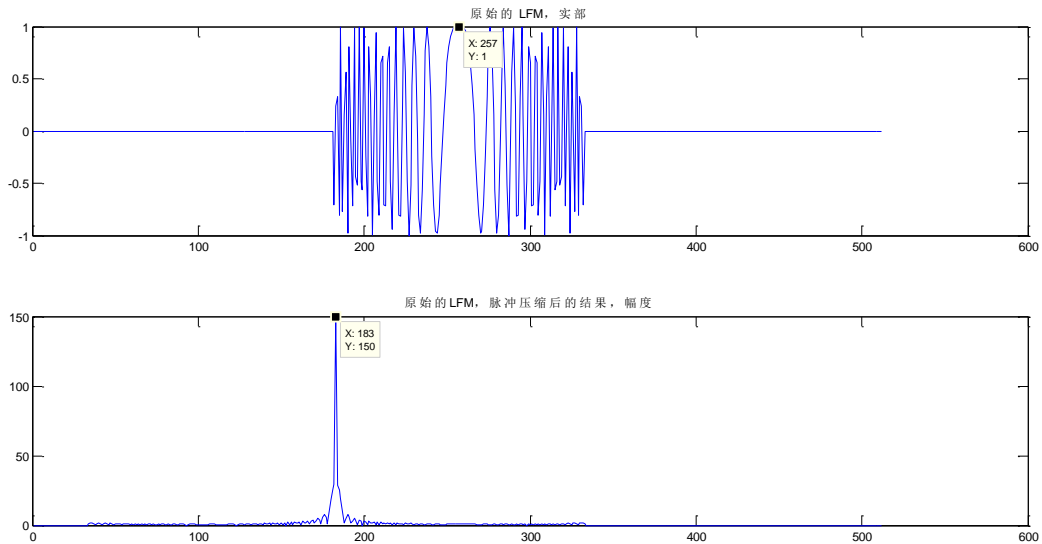


图 2.3 将峰值点压至第 183 点（LFM 信号的第 2 个点）

如果我要将峰值点压至脉冲中心，可以用下面的方法：

a) 方法一：

```
s_ref = [s_ref,zeros(1,Nrg-Nr)]; % 对复制脉冲，末端补零。
s_ref = circshift ( s_ref , [0 -Nr/2] );
```

该方法和上面是完全一致的（我将其称为通用的方法），只是将 -1 改为 $-Nr/2$ ，对应于要将峰值点压至脉冲中心时需要移动的大小。

b) 方法二：

```
s_ref = fftshift(s_ref);
s_ref = [s_ref(1:length(s_ref)/2),zeros(1,Nrg-Nr),s_ref(length(s_ref)/2+1:end)];
```

该方法只适用于将峰值点压至脉冲中心时。因为首先将原来的 s_{ref} 进行了 `fftshift`，然后在 `fftshift` 后的结果中心处进行了补零。这个结果就等同于先对 s_{ref} 进行了末端补零，然后再向左循环移位 $Nr/2$ （方法一）。因此方法一才是通用的方法，可以使我们将峰值点压至任意我们想要的位置。

将峰值点压至 LFM 信号的中心，仿真结果如下

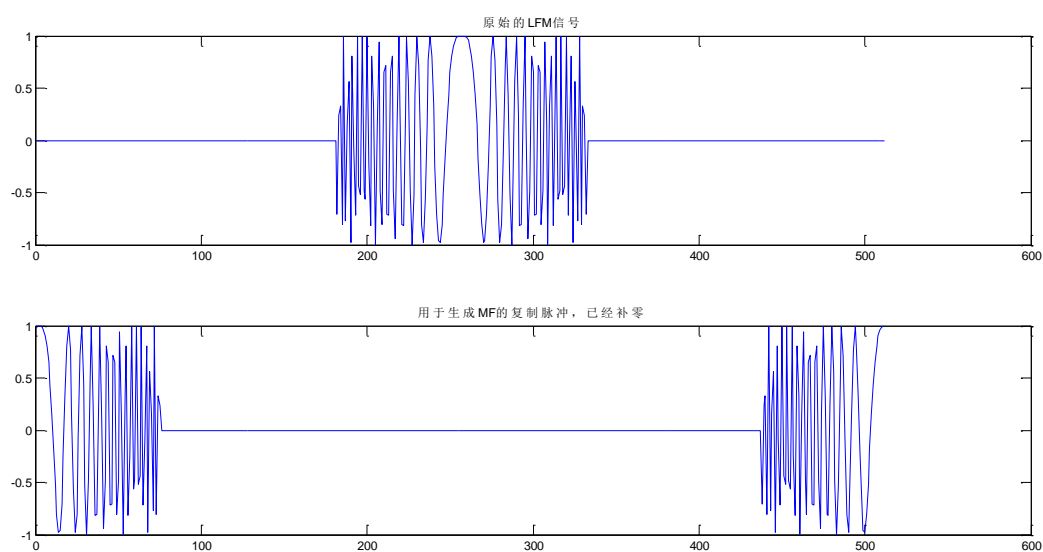


图 2.4 上图是原始的 LFM 信号，下图是用来生成 MF 的复制脉冲（已补零）

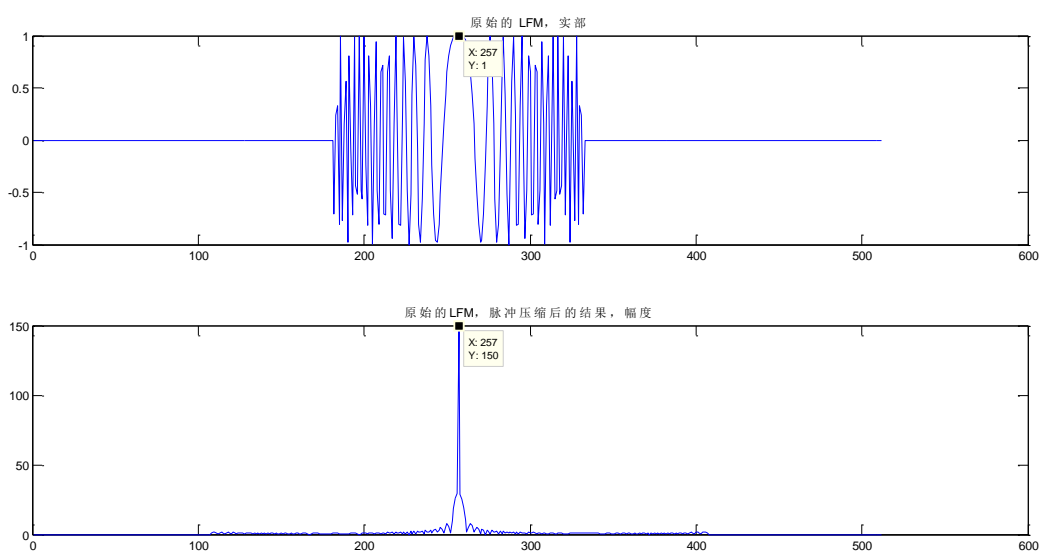


图 2.5 脉冲压缩结果（将峰值点压至 LFM 信号的中心）

至此，我们就基本解决了采样该种方式生成 MF（复制脉冲，补零 DFT，再取复共轭）并进行脉冲压缩，并让峰值点压至我们想要的任意位置等相关问题。单点的一维 LFM 问题基本得到完美（及完善）解决。

WD

2015 年 1 月 12 日 19:10 p.m.