

DSP 大作业报告

——北斗扩频信号捕获

暮月

2020 年 12 月 31 日

1 信号捕获原理

简化后的扩频信号为：

$$s_i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_i(t - n \cdot NT_c) \quad (1)$$

$$c_i(t) = \sum_{n=0}^{N-1} b_i[n]p(t - nT_c) \quad (2)$$

即不断循环发送伪随机序列 c_i ，长度 10230。由于码速率 10.23Mcps，即每 1ms 发送一遍序列。

经信道传输后的基带信号为：

$$S(t) = \sum_{i \in V} A_i s_i(t - \tau_i) + w(t) \quad (3)$$

出于简便处理，将 $w(t)$ 视为零均值高斯白噪声，并考虑基带信号以 NT_c 为周期循环叠加，即：

$$\begin{aligned} S((t))_{NT_c} &= K \sum_{i \in V} A_i s_i((t - \tau_i))_{NT_c} + \sum_{j=0}^{K-1} w_j((t))_{NT_c} \\ &\approx K \sum_{i \in V} A_i c_i((t - \tau_i))_{NT_c} \end{aligned} \quad (4)$$

由于零均值高斯白噪声互相独立，故经 K 次叠加后噪声的功率放大 K 倍，而码的功率放大为 K^2 倍，或者从时域考虑叠加多次后趋于均值 0。故可以使用这种方法进行去噪。

注意到叠加后的信号基本只由互相基本正交的伪随机序列码组成，故只需要对信号和 63 个码做时域相关，即可得到是否存在该序列和时延。但由于信号使用 51.15MHz 进行采样，故需要先对伪随机序列进行升采样，再进行相关运算。

2 设计思路

根据上一节所描述的信号捕获原理，可以得到如图 1 所示的信号捕获流程。

由于实验的信号采样率 51.15MHz，码速率 10.23Mcps，恰好为 5 倍的关系，故可以凭借先验信息对码序列进行 5 倍的理想升采样。即对 $[1, -1]$ 可以升采样为 $[1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1]$ 。

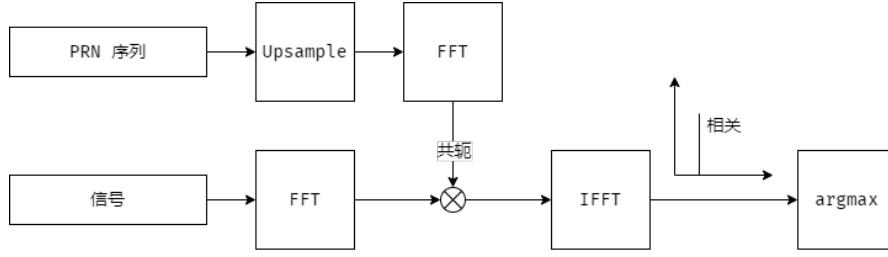


图 1: 信号捕获流程

流程中还使用 FFT 对信号进行处理，在频域进行相乘的操作来代替时域的相关，以减小计算复杂度。需指出的是，图 1 中的“信号”是截取的信号片段经过周期叠加后的序列，具体截取长度根据需要可以进行调整。由上节的分析，欲得到信噪比更大的结果需要截取更长的片段进行周期叠加，但这种方法会增大系统的时延。在下节中将看到，对于本实验截取 10 个周期便可以得到足够好的结果，即系统除了计算的时延外仅需延时 10ms 以采样得到足够的数据进行处理。

对于图 1 所描述的捕获流程，记 n 种 PRN 序列长度 N ，信号长度 $5kN$ ，只需 $5nN + 5N$ 个复数的存储空间即可 (可以直接使用计算结果覆盖信号存储的空间)。而完全在时域计算相关需 $5nN + 5N + 10N$ (使用 $10N$ 个复数的空间存储时域相关结果)。同时 FFT 可以极大地减小计算的时间复杂度，时域计算 $5N$ 点两序列相关的复数乘法复杂度 $O(N^2)$ ，而经过 FFT 后计算的复杂度为 $O(N \log N)$ (频域乘法为 $O(N)$)。故这种方法的时间复杂度和空间复杂度都优于时域直接计算相关。

3 结果分析

使用 10ms 的 Task2 数据，将数据周期叠加后除以 10 进行功率的归一，经过上节所述捕获流程得到 63 个相关波形于图 2，可以看到有四个非常明显的相关峰。

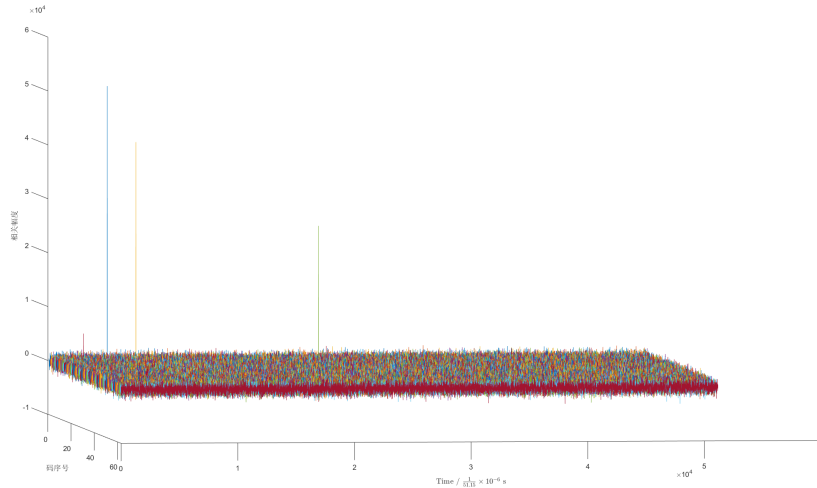


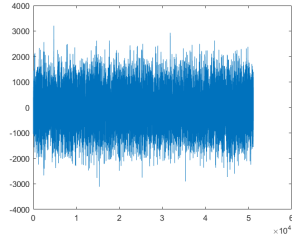
图 2: Task2.dat 与 PRN 码的相关波形

经过对数据的观察后，使用 5000 作为阈值对信号进行初筛，再使用 `max` 函数找出最大值、所在码序号、所在序列位置，并将序列位置转为以 10230 为单位，得到表 1。这便是图 2 中四条相关峰所在的码序列和它们的位置。

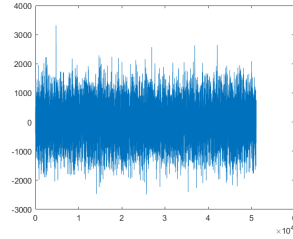
下面研究强度较弱的信号的捕获，图 3 中展示了不同长度信号和 15 号码的相关波形，可以看到图 3(a) 的噪声较大，而使用较长的信号可以将噪声抑制在 2000 及以下。

表 1: 捕获强信号时延

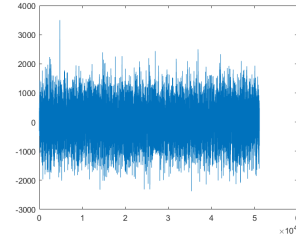
码序号	时延 (码片)
1	1000
3	1451
5	4541
7	474



(a) 1ms 信号



(b) 10ms 信号



(c) 1s 信号

图 3: 不同长度信号与 15 号码的相关波形

故可以降低阈值到 3000 以捕获较弱的卫星信号，同时适当增加时长到 100ms 以提升捕获的精确度。如果信号长度较短，比如 10ms 甚至 1ms，则会多捕获一些信号，但经一一查看认为更有可能是噪声而非信号。而 1000ms 则过长，且并未比 100ms 有明显的提升。故最终认为 100ms 比较合适，捕获到的信号及时延列于表 2。

表 2: 捕获弱信号时延

码序号	时延 (码片)
1	1000
3	1451
5	4541
7	474
15	954
19	6448
27	5509
32	6988
51	9656

在上面的尝试中，仅通过调整信号筛查的阈值和采用的信号长度来捕获弱信号，可能会多捕获一些噪声，可能需尝试对噪声进一步滤除以得到更准确的结果。此外，尝试使用窗函数后发现效果不如当前的直接截断（等效矩形窗）。