

文章编号: 1005-8451 (2010) 05-0051-03

精确识别地铁 ASK 信号低频频率的新方法

许镭溪¹, 王 焱¹, 李晓梅²

(1. 北京大成通号轨道交通设备有限公司, 北京 100044;

2. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100088)

摘要: 地铁 ASK 低频信号由于频率间隔较小, 在进行高精度检测时需要采样时间较长, 且计算量很大, 计算时间较长, 导致识别时间无法满足要求。为解决实时高精度提取地铁 ASK 信号低频信息的问题, 提出一种从频域进行频谱分析检测可兼容不同占空比信号的新方法, 该方法将 ZFFT 技术, 频率能量重心校正技术结合, 有效降低了算法的计算复杂度, 仿真和实地测试结果均符合技术要求。

关键词: 幅移键控; 快速傅氏变换; 数字信号处理器

中图分类号: U231.7

文献标识码: A

New method of low frequency to recognize accurately ASK signal at metro

XU Rong-hao¹, WANG Yan¹, LI Xiao-mei²

(1. Beijing Dacheng Comm-signal Railway Transit Equipment LTD., Beijing 100044, China;

2. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunication, Beijing 100088, China)

Abstract: Accurate recognition of railway ASK signal was difficult because the sample and calculation time was too long for the small frequency interval. In order to solve this problem, we proposed a method which could extract the frequency from spectrum. The method combined the ZFFT method and energy centrobatic spectrum correcting technology to reduce the computational complexity. The simulation and field test result were all in line with technical requirements.

Key words: ASK(Amplitude shift keying); FFT; DSP

随着现代轨道交通的发展, 控制所需的信息量增大, 对列车的控制信息质量提出了更高的要求, 而控制信息的可靠工作是以高质量、高精度的检测手段来保证的, 因而研究地铁信号的高精度检测方法以适应现代化轨道交通发展具有重要意义。

1 地铁 ASK 信号及频率精确识别难点

1.1 地铁 ASK 信号

地铁信号不仅是保证行车安全、提高运输效率的重要设备, 而且是指挥行车、实现地铁自动控制与远程控制的重要手段。应用于某城市地铁线路的控制信号为 ASK 调制信号, 包括列车速度限制 ATP 信号, 标志车载线路是否故障的 TD 信号, 标志是否有车驶入本段轨道的 FCH 信号和开门信号 4 种。4 种信号的信号定义如表 1。

从表 1 中可以看到, 4 种信号的载频均不相同, 在同一载频下, ATP 信号的低频频率相隔较小, 最

表 1 地铁 ASK 信号定义

	ATP 信号	TD 信号	CH 信号	开门信号
载频频率(Hz)	20 K, 21 K	13.5 K, 15 K	14.25 K	18.5 K
低频频率(Hz)	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 41, 54, 63, 72, 78	112	97	42, 52, 64
占空比	1:1	3:1	1:1	1:1

小相差 3 Hz, 信号精确识别的任务就是将发送信号的载频和低频分别进行识别, 再与上面的信号进行比对, 以进行进一步对列车的控制。

1.2 频率精确识别的难点

由于快速傅立叶变换的抗干扰能力强和可实现性好, 实践经验也比较成熟, 列车控制信号的频谱估计普遍采用经典谱估计法, 对于载频信号的识别, 由于频谱间隔, 直接使用 FFT 来进行频谱估计即可, 但是对于低频信号, 频率间隔很小, 而 FFT 算法本身具有的一些缺点, 影响了频谱分辨率和检测精度。

要进行谱分析, 就必须要将信号截短才能进行, 而频率分辨率和时域截短时间的关系为

$$\Delta f = \frac{1}{T}, \text{ 其中 } \Delta f \text{ 为频率分辨率, } T \text{ 为时域截短}$$

收稿日期: 2009-08-11

作者简介: 许镭溪, 助理工程师; 王 焱, 高级工程师。

时间。由此式可以看出,计算频谱的时域截短时间即点数越多,频率分辨率越细。但是如果延长时域截短时间,加大点数的话,时域采样所需时间增大,计算复杂度也会随之上升,使得信号输出的延时时间增大,有可能不能满足系统对于延时时间的要求。

对照表1,两个低频的最小间隔为3 Hz,要想将低频信息分辨开,如果使用短时傅立叶变化方法的话,频率分辨率需要小于1.5 Hz,由 $\Delta f = \frac{1}{T}$ 计算可知时域截短时间为 $T = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{1.5\text{Hz}} = \frac{2}{3}\text{s}$,采样频率如果使用48 kHz的话就需要32 768点的FFT运算,在这种情况下,运算量很大,延时时间较长。

2 低频信号的检测算法

2.1 ZFFT算法

2.1.1 算法提出

FFT的难点在于当信号的频谱用DFT逼近时,只能观测到($k=0,1,2\cdots$)的频率点频谱,为了观测得到被遮拦的频谱,必须提高频率分辨率,要提高频率分辨率就必须增加FFT的长度,增加长度需要DSP有更大的数据存储空间,并会使处理数据的时间增长,影响系统的实时性。

考虑到本次所要解调的信号是窄带信号的特点,不需要将整个频段都采用高分辨率,只需将对提取信号有帮助的频段做局部放大即可,也就是用Zoom FFT算法实现。ZFFT算法在特定的频段对频谱做局部放大,对信号做复调制和低通滤波后,对局部进行重采样,增加特定频段的分辨率,从谱线的间隔就能得到低频信号的频率大小。

2.1.2 算法原理

对于信号 $x_0(t)$,信号的最高频率为 f'_m ,在时间长度 t'_p 内作 M 点采样,采样周期为 T_s ,以 M 点FFT计算 $x_0(t)$ 的频率分辨率为 $\Delta f'$,现在要以 D 倍的分辨率 $\Delta f = \Delta f'/D$ 来观察 $x_0(t)$,其频谱的中心频率为 $f_0 = l_0 \Delta f$,带宽为 $B = M \Delta f$ 。若此时保持采样率 f_s 不变,则信号的时间记录长度应为原来的 D 倍,采样点数 $N = Dt'_p/T_s = DM$ 。

对 $x_0(t)$ 做正交调制得:

$$\begin{aligned} x(n) &= x_0(n) \cos(2\pi n l_0 / N) - j x_0(n) \sin(2\pi n l_0 / N) \\ &= x_0(n) e^{-j 2\pi n l_0 / N} = x_0(n) W_N^{n l_0} \end{aligned}$$

所以 $x_0(n)$ 和 $x(n)$ 的频谱为:

$$X_0(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_0(n) W_N^{nk} \quad K=0,1,2,\cdots,N-1$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} = \sum_{n=0}^{N-1} x_0(n) W_N^{n(k+l_0)} = X_0(k+l_0)$$

由上两式可以看到,正交调制后,信号频谱左移 $l_0 \Delta f$,则 f_0 被移到零频处。信号的最高频率为 $M \Delta f / 2$,因此对该段重新采样的采样率为 $f'_s = M \Delta f$,比原信号的采样率降低了 N/M 倍。由于时间长度不变,用 M 点FFT计算得到的频率分辨率和 N 点计算得到的频率分辨率是相同的^[3]。处理流程图如图1。

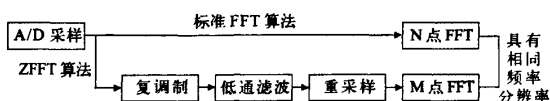


图1 ZFFT算法处理流程图

对某城市地铁信号的低频识别,在用FFT算法识别出载频频率之后,低频模块利用此载频使用ZFFT算法进行计算,可减少FFT运算的点数。

2.2 频谱能量重心校正

在使用了ZFFT后虽然能够减少运算量,但由于低频频率间隔较小,要精确识别所需计算的点数很多,还是不能满足铁路安全对于延时时间的要求,所以我们在使用ZFFT计算出放大的频谱之后再行频谱能量重心校正,可以进一步减少前一步所要进行的FFT计算的点数。

2.2.1 算法原理

以汉宁窗的校正为例,设图2中所示的频谱的主瓣函数为:

$$Y(x) = A \frac{\sin^2[\pi(x-x_0)]}{4\pi^2(x-x_0)^2[1-(x-x_0)^2]}, \quad x_0 \text{ 和 } A \text{ 分别}$$

为分析信号的频率和幅值。 Y_0 为主瓣内谱线最大值。当 $n \rightarrow \infty$ 时(n 为自然数),根据Hanning窗的能量重心特性有:

$$\sum_{i=-n}^n Y_i \cdot (x-x_0+i) = 0$$

化简得:

$$\sum_{i=-n}^n Y_i \cdot (x-x_0+i) = \sum_{i=-n}^n Y_i \cdot (x+i) - \sum_{i=-n}^n Y_i \cdot x_0 = 0$$

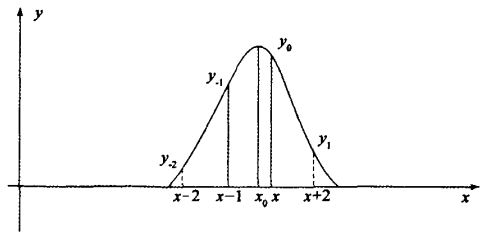


图2 汉宁窗频谱图

根据上式即可求得主瓣的中心：

$$x_0 = \frac{\sum_{i=-n}^n Y_i \cdot (x+i)}{\sum_{i=-n}^n Y_i}$$

即为加 Hanning 窗时单谐波信号谱分析的频率精确校正公式。设采样频率为 f_s ，做谱点数为 N ，主瓣内峰值的谱线号为 m ， Y_i 为功率谱第 i 条谱线值， x_0 为主瓣重心，则由上式就能得到能量校正法校正频率的通用公式：

$$x_0 = \frac{\sum_{i=-n}^n Y_i \cdot (m+i) f_s / N}{\sum_{i=-n}^n Y_i}$$

2.2.2 算法应用

能量重心频谱校正法，就是要找出所有 FFT 功率谱线的“重心位置”，该重心位置所对应的频率就是信号频率的估计值。而对输入序列“加窗”后再求 FFT 可能把能量集中在少数几根谱线上，根据所要检测信号的实际特点，利用主谱线及左右各两根共 5 根谱线来对信号的频率位置进行校正。若假设 FFT 谱线 $X(k)$ 在 $k=m$ 处取得幅度最大值，则其频率估计表达式为：

$$f = \frac{\sum_{k=m-2}^{m+2} k |X(k)|^2}{\sum_{k=m-2}^{m+2} |X(k)|^2} \Delta f$$

2.3 低频信号检测流程

检测流程见图 3。

3 实验结果

我们使用某公司的 TMS320C6713DSP 来进行算法移植，在直接使用 FFT 来进行低频信息提取的情况下，识别 ATP 信号总的延时时间达到

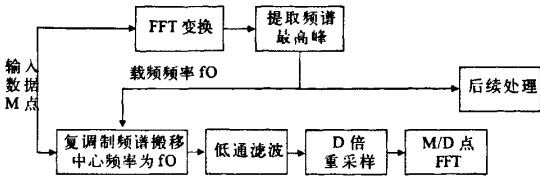


图3 低频信号检测流程图

1 000 ms 以上，使用 ZFFT 结合频率重心校正法，并在实际环境中进行测试。

在实验室环境下，从计算机中输出产生的理想信号和加入噪声的信号，输入 DSP 开发板中进行性能测试，结果如表 2。

表2 实验结果

延时时间（采样 + 运算）	
ATP 信号	439 ms
TD 信号	220 ms
开门信号	225 ms
CH 信号	219 ms

在实验室进行连续 10 h 的观察和数据记录，在噪声的信噪比大于 30 dB 的情况下，识别结果都完全正确。在实际搭建的地铁信号系统环境中进行测试，延时时间和正确率都能够达到技术要求。

从上面的实验结果可以看到，使用 ZFFT 算法有机结合频率重心校正能够有效降低算法复杂度，降低延时时间，算法正确率也很高，满足实际技术需求。

4 结束语

本文中提出的从频域使用 ZFFT 结合频率能量重心校正进行频谱分析检测技术，能够有效解决在信号识别过程中直接使用 FFT 计算复杂度高的问题，并且可兼容不同占空比信号，经移植入 DSP 中进行实现，实验室仿真和实地测试结果均符合技术要求，系统稳定具有较高的应用价值。

参考文献：

[1] 黄翔东, 何宇清, 李长滨. 一种检测铁路 2FSK 信号频率的新方法[J]. 天津大学学报, 2007, 40 (9).
[2] 门爱东, 苏菲, 王雷, 等. 数字信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 83-219.
[3] 谢丹锋. FSK 信号高分辨率检测方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2005.