

# 基于复调制的 ZFFT 算法在轨道电路信号检测中的应用

李国庆, 武晓春

(兰州交通大学 自动化与电气工程学院, 兰州 730070)

**摘要:** 随着铁路列车速度不断提高, 轨道电路信号面临的干扰也越来越复杂, 如何更加准确的检测出轨道电路信号参数成为了越来越重要的课题; 由于轨道电路移频信号采用频率参数传递控制信息, 因此通过提高信号频谱分辨率的思路来提高信号的可靠性, 结合基于复调制的细化快速傅立叶变换 (zoom fast fourier transform, ZFFT) 算法在信号频谱局部细化领域的优势, 考虑轨道电路信号在频域范围内的分布特性, 针对轨道电路信号 (FSK 信号) 的可靠检测提出了基于复调制的 ZFFT 算法, 该算法通过将信号频谱中感兴趣的局部频段进行精细化处理, 来提高频谱的分辨率; 并通过仿真进行验证, 仿真结果表明此方法检测到的移频信号低频满足误差标准, 提高了轨道电路信号检测的可靠性。

**关键词:** 轨道电路信号; 谱分析; 复调制; 精细化

## Application of ZFFT Algorithm Based on Multiple Modulation in Detection of Track Circuit Signal

Li Guoqing, Wu Xiaochun

(College of Automation & Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** With the continuous improvement of the train speed, the interference of the track circuit signal is also more and more complex, how to more accurately detect the parameters of track circuit signal is becoming a more and more important issue. Due to the track circuit frequency shift signal passes control information by frequency parameters. Therefore, through improving spectrum resolutions to improve the signal reliability, combining the advantage of Zoom Fast Fourier Transform (ZFFT) algorithm based on multiple modulation in the field of signal spectrum refinement, thinking distribution feature of track circuit signal in the frequency domain, the ZFFT algorithm based on multiple modulation is put forward for the credible detection of track circuit signal (FSK signal), this algorithm refines the interesting local signal spectrum in the whole signal spectrum, to improve the spectral resolution power. And verifying by simulation, the simulation results show that the low frequency detected of the frequency shift signal is satisfied with the error standard, and the reliability of the signal detection is improved.

**Keywords:** track circuit signal; spectrum analysis; multiple modulation; refinement

## 0 引言

当前我国铁路干线主要采用 ZPW-2000 无绝缘轨道电路<sup>[1]</sup>, 传输的轨道电路信号是相位连续的移频键控信号, 通过信号的频率参数来传递信息<sup>[2]</sup>, 对 ZPW-2000 轨道电路信号频率参数的正确检测是保证行车安全行驶的重要保证。随着车速的提高和行车密度的增加, 依靠传统的方法去检测和维护轨道电路设备已无法及时发现故障隐患并立即修复, 不能适应高密度列车运行的需要。因此, 需要有可靠性好、精度高的检测方法完成对铁路移频信号的检测。

欠采样技术在对信号检测中有着广泛的应用<sup>[3]</sup>, 但本身存

在一定的限制。例如, 在采样时, 必须满足关系式  $T = NT_s$ , 其中  $T$  是信号周期,  $T_s$  是采样时间间隔,  $N$  为周期的采样点数, 而且采样时所截取的信号区段时间必须是信号周期的整数倍, 否则其 FFT 结果会发生混乱, 产生频谱泄漏。而且对于频谱分辨率的要求也有限制。

在对轨道电路移频信号进行检测时, 为了检测到可靠的控制信息, 要求信号的频谱必须满足一定的分辨率。根据采样频率  $f_s$ , 采样点数  $N$  以及频谱分辨率  $\Delta f$  的关系式  $\Delta f = f_s/N$ , 可知通常提高分辨率的方法是降低采样频率  $f_s$  和增加采样点数  $N$ , 但在实际中这两种方法都不可取。因此提出只对需要观测的载频 ±40 Hz 频带范围内的信号频谱进行细化处理<sup>[4-5]</sup>。由于基于复调制的 ZFFT 算法在信号频谱局部细化处理中, 在分析精度、计算效率、分辨率、灵活性等方面都有着显著的优势, 提出将其应用于轨道电路信号的检测中的思路。

## 1 基于复调制的 ZFFT 算法的基本原理

复调制 ZFFT 算法主要思路是在对信号进行检测时, 我们有时只对信号整个信号频谱中的一小段感兴趣, 需要细致的观

收稿日期: 2015-07-24; 修回日期: 2015-08-25。

基金项目: 国家自然科学基金地区项目 (61164010)。

作者简介: 李国庆 (1989-), 男, 甘肃平凉人, 硕士研究生, 主要从事轨道电路信号干扰防护方向的研究。

武晓春 (1973-), 女, 河北邯郸人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事信号处理方向的研究。