

一种多系统兼容卫星导航抗窄带干扰专用芯片设计

张帆, 张琦, 胡霄, 操炜鼎, 舒钰

(中国电子科技集团第二十研究所 导航事业部, 西安 710068)

摘要: 卫星导航信号由于其自身特点, 经过长距离传输到达地面信号功率十分微弱, 所以很容易受到外来同频窄带信号干扰。主要介绍了一种满足北斗、GPS 多系统兼容的卫星导航抗窄带专用芯片的设计方案。其采用模数转换、抗干扰处理集成单颗芯片设计架构, 可直接替换原有卫星导航终端的 A/D 芯片, 实现抗窄带干扰功能; 并着重对抗干扰算法的多系统兼容设计、低功耗干扰检测技术进行了介绍; 经流片测试, 该芯片抗北斗 B1、B3 频点和 GPS L1 频点窄带干扰干信比大于 60dB, 北斗 S 频点抗窄带干扰干信比大于 55dB, 双路同时工作最大功耗小于 260mW, 可有效满足手持、车载、弹载等小型低功耗卫星导航终端的应用需求。

关键词: 抗窄带干扰; 芯片; 多系统

中图分类号: TN91 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8110(2015)06-0043-05

A Multi-constellations Compatibly Anti-narrowband-jamming ASIC Design on Satellite Navigation

ZHANG Fan, ZHANG Qi, HU Xiao, CAO Wei-ding, SHU Yu

(Xi'an Navigation Technology Research Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: In view of the characteristics of its own, the power of satellite navigation signal is very weak when it reaches the ground after long distance travel. It is vulnerable to be interfered by the same-frequency narrowband signal. The paper shows a design scheme which can satisfy a kind of multi-constellations such as Beidou, GPS, compatibly anti-narrowband-jamming ASIC. It also shows a scheme which integrates A/D conversion, anti-interference processing into a signal chip. It is feasible to directly replace the original A/D chip of terminals and realize the function of anti-jamming. The paper shows an algorithm that can adapt to the different systems of satellite navigation. At the same time, a kind of accurate, low power jamming detection strategy is put forward. It can start anti-jamming processing in due course and hold the lowest power consumption when the chip is at work. Thus, it can meet the needs of the small, low power consumption satellite terminals such as the handheld devices, on-board equipment and so on. After the test, the chip can realize the anti-jamming, which indicates JSR (jamming to signal ratio) above 60dB, at B1, B3 frequency points of Beidou and L1 frequency point of GPS, and realize anti-narrowband-jamming, which indicates JSR above 55dB, at S frequency point of Beidou. The largest power consumption is less than 260mW, when the chip can make dual work at the same time.

Key words: Anti-narrowband jamming; Chip; Multi-constellations

0 引言

导航卫星系统的卫星距地面接收机的距离达 2 万 km 以上 (GEO 卫星在 3 万 km 以上), 同时卫星发射功率只有几十瓦, 所以卫星导航信号到达地

面时非常微弱, 以我国北斗二卫星导航系统信号为例, 1268.52MHz 的 B3 频点信号到达地球表面时, 其最小信号电平约为 -130dBm (比接收机热噪声电平还要低 30dB 左右)。该信号功率相当于

收稿日期: 2015 - 04 - 13; 修订日期: 2015 - 07 - 05。

作者简介: 张帆 (1985 -), 男, 硕士, 主要从事集成电路设计方面的研究。

10万 km 处 30W 的灯泡发出的光的大小^[1]。所以卫星导航接收机极易受低功率同频射频干扰的影响，因此必须具备一定的抗干扰能力。

阻塞式干扰是最为常见的一种干扰。它有多种干扰体制，常见的干扰包括单频（或窄带）连续波干扰和各种类型的宽带干扰等。其中窄带干扰广泛存在于日常生活中，如调幅电台发射机的谐波或商业广播发射机的谐波、故意的连续波干扰机或调频电台发射机的谐波、故意的连续波干扰机或频段附近的非调制发射机的载波^[2]。现有抗干扰主要采用 A/D+FPGA 实现，其实现功耗比较大，同时布线面积大，成本高，不利于进行大规模应用。本文详细阐述了一款卫星导航抗干扰专用芯片的设计方案，可有效解决小型卫星导航终端抗窄带干扰问题。

1 芯片功能

1.1 架构设计

卫星导航抗干扰专用芯片采用“ A/D+抗干扰”的架构，图 1 为芯片结构功能框图，主要包括双路模数转换、自适应抗干扰处理、干扰检测和输出滤波等功能模块，其中模数转换模块将卫星导航系统中的模拟中频信号量化为数字中频信

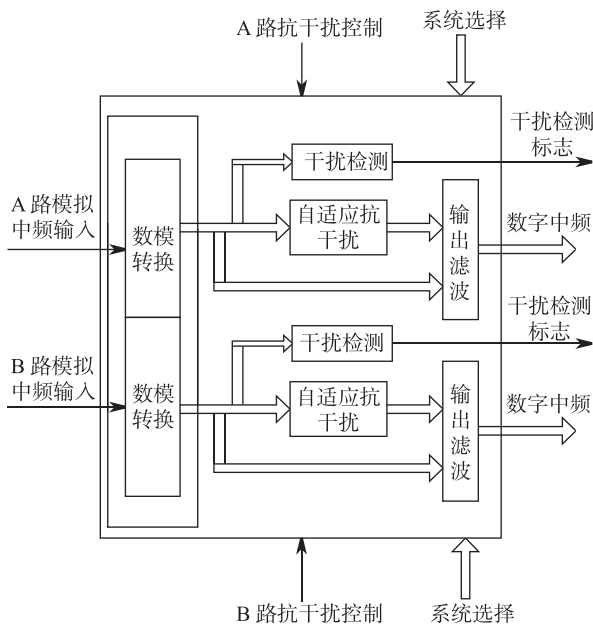


图 1 卫星导航抗干扰专用芯片结构功能框图

Fig. 1 Satellite navigation anti-jamming ASIC structure

号，若此处的数字中频信号包含干扰信息，经自适应抗干扰处理后，可在数字域滤除干扰，最终经输出滤波器实现数字中频信号输出。芯片内部同时集成了干扰检测模块，可有效识别信号中是否存在干扰信息，在不存在干扰的情况下，通过控制关闭芯片的抗干扰处理，有效降低芯片的工作功耗。本芯片可替换原有卫星导航终端中的模数转换模块，使其具备抗窄带干扰能力，如图 2 所示。

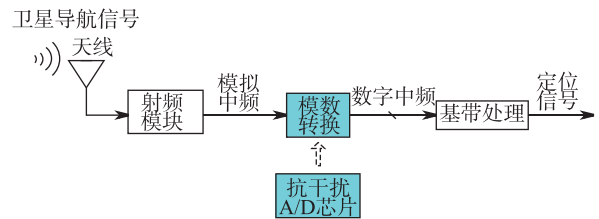


图 2 芯片应用方式

Fig. 2 Chip application mode

1.2 多系统兼容抗干扰处理设计

为使卫星导航抗干扰专用芯片适用于多种卫星导航系统，必须选择对卫星导航信号形式不敏感的抗干扰处理方式，本文采用自适应滤波技术应用于抗干扰芯片设计，它是一种中频域的处理方法，对小信号包络变化、输入速率不敏感，处理速率对各个卫星系统中频的最大频率分量满足奈奎斯特采样定律，能确保信号完整不失真的采样处理，对不同的卫星系统有良好的适应性。由于不同的导航系统其工作带宽不同，为补偿中频数字处理带来的噪底损失，本芯片设计针对不同的系统带宽添加可配置带通滤波器，滤除更多带外噪声，从而达到多系统兼容的目的。

自适应滤波算法的基本思想是根据干扰信号的变化，调整系统的冲激响应以达到均方差最小的准则，它的特点在于不需要预知干扰和噪声的统计特性，即使噪声的统计特性是非先验甚至时变的，也能自动调节迭代满足最佳滤波的要求，具有自我“调节”和“跟踪”能力，更符合实际应用特性。

自适应滤波的基本方法是通过比较输出序列 y_k 和期望输出序列 d_k ，用误差信号 e_k 去控制权向量 W 使其逼近 W^* ，达到用 $E[e_k^2]$ 逼近 $E[e_k^2]_{\min}$ 的目的，其原理图如图 3 所示。

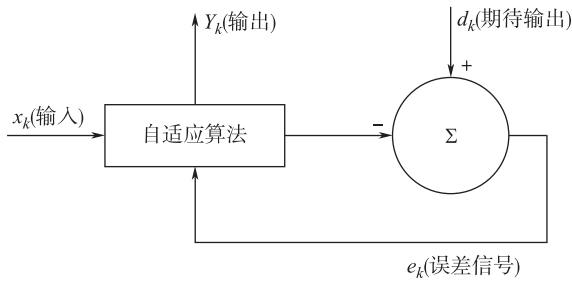


图3 自适应抗干扰原理图

Fig.3 Schematic of adaptive anti-interference

最小均方误差 (LMS) 为一种较好的兼顾速度和精度的自适应算法得到广泛采用, 其基本运算过程为^[3]:

$$W_k + 1 = W_k - \mu \nabla_{k\xi} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} e_k &= d_k - X_k^T W = d_k - W^T X_k \\ \nabla_{k\xi} &= \nabla[e_k^2] = -2e_k X_k \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

则由式 (1)、式 (2) 得到

$$E[W_{k+1}] = (I - 2\mu R)E[W_k] + 2\mu P \quad (3)$$

本文采用的 LMS 算法具有理想的陷波特性, 如图4所示, 它在输入信号频带内只在大信号频率

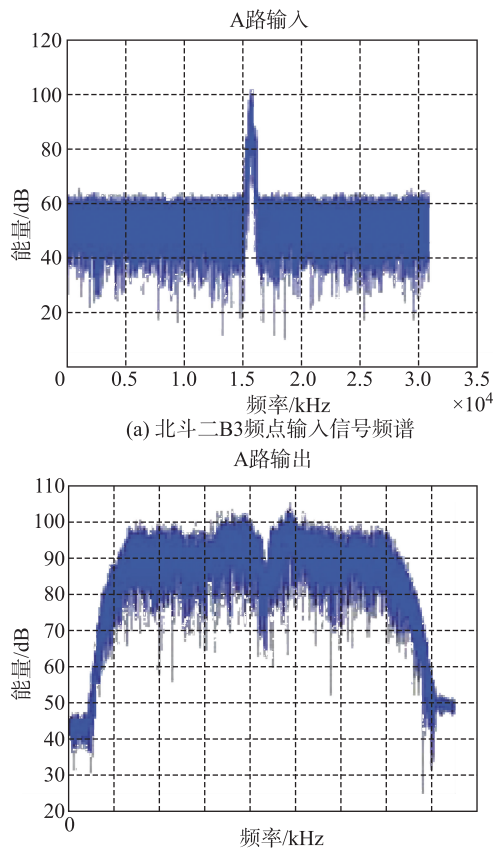


图4 抗干扰处理频域响应

Fig.4 Anti-jamming frequency response

大信号处形成陷波, 在离开大信号的区域会很快进入平坦, 这种特性对频带造成的损伤较小, 保证抗干扰处理后接收机仍能正确地解算出卫星导航信息。

1.3 多系统兼容抗干扰处理设计

卫星导航系统的干扰检测算法非常多, 根据信号处理域的不同, 分为基于时域的干扰检测算法和基于频域的干扰检测算法。基于时域的干扰检测性能的好坏直接受到设定的门限值影响, 而且对外界未知的干扰和噪声非常敏感, 使时域干扰检测方法的准确度大大降低。本文采用基于 FFT 的频域干扰检测技术, 对接收到的中频数字信号进行 FFT 变换, 转换为频域信号, 在频域计算检测统计量, 并设定干扰门限值为 $\theta * a$, 由判决器对检测统计量和干扰门限值进行比较, 输出干扰存在性信息。该算法大大降低了算法实现功耗和复杂度, 提高了干扰检测的准确度^[4]。其架构如图5所示。

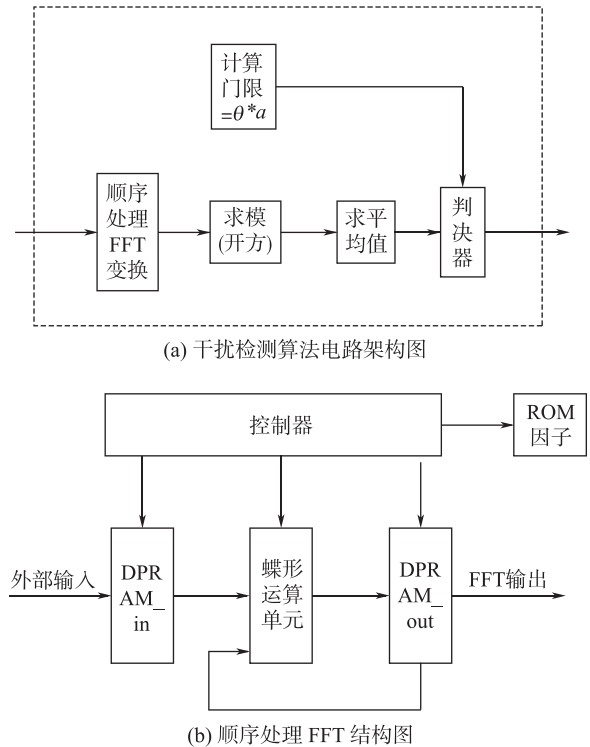


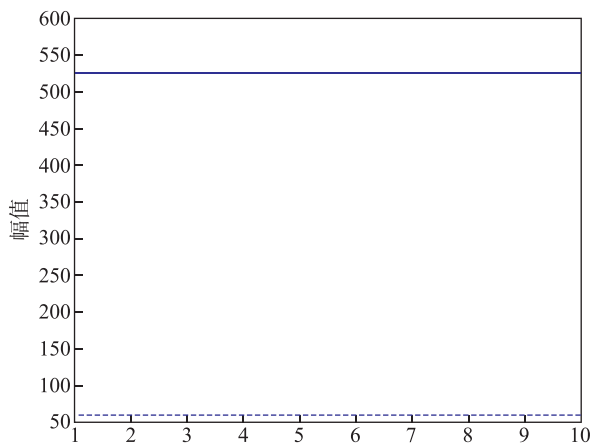
图5 干扰检测算法电路架构图

Fig.5 Interference detection and FFT structure

由图5 (a) 可知, 干扰检测电路架构由 FFT 和干扰检测两部分构成, FFT 的性能对于干扰检测结果有重要影响。本设计所采用的 FFT 结构为基 2

的顺序处理结构，顺序处理结构只使用一个 FFT 蝶形运算单元，分时段进行干扰检测，有效地降低了运算功耗，其电路结构如图 5 (b) 所示。

检测结果如图 6 所示，虚线表示干扰门限，实线表示经 FFT 变换后的信号最大值，在 60dB 干扰时，实线线条高于虚线线条，表示检测到有干扰。



干扰为60dB，虚线表示干扰门限，实线表示接收到信号的最大值

图 6 干扰为 60dB 时干扰检测结果

Fig. 6 When interference is 60 dB, the result of interference detection

2 芯片版图与实物

芯片采用 0.13 μm 的 CMOS 工艺实现；I/O 电压为 3.3V，核心电压为 1.2V，裸片面积为 3.5mm \times 3.5mm，芯片最终版图如图 7 所示，设计

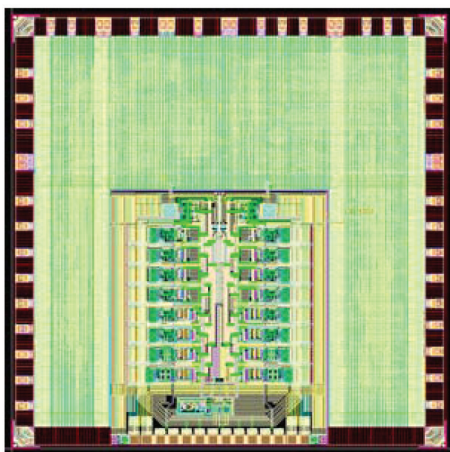


图 7 芯片设计版图

Fig. 7 Chip design layout

最高工作频率为 70MHz。采用 LQFP48 封装，与 AD9288 封装相同，芯片面积为 7mm \times 7mm。抗干扰专用芯片与 AD9288 对比如图 8 所示，二者的结构尺寸和封装形式均相同，可替换卫星导航终端中的 AD9288 芯片，完成模数转换和抗干扰处理功能。

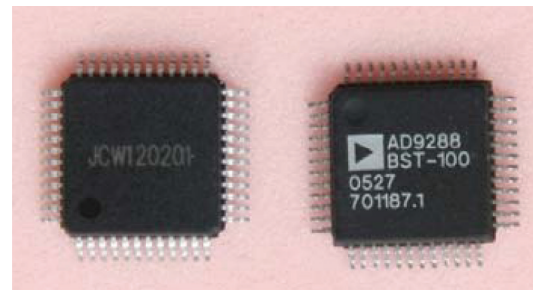


图 8 抗干扰专用芯片与 AD9288

Fig. 8 Anti-interference ASIC and AD9288

3 测试结果

抗干扰专用芯片测试环境如图 9 所示。主要包括信号源、干扰源、合路器、射频通道、抗干扰专用芯片、数字基带。通过合路器将卫星导航信号源和干扰合路输出模拟实际天线在干扰环境中接收到的卫星信号，经射频通道下变频后，由抗干扰专用芯片进行模数转换和抗干扰处理，输出数字中频信号进行基带解算。经测试，本芯片在北斗系统 B3、B1、S 频点、GPS 系统下均能对干扰信号进行处理，有效实现多系统兼容的抗干扰功能，抗干扰能力如表 1 所示。该测试指标是在保证定位精度的情况下测得。

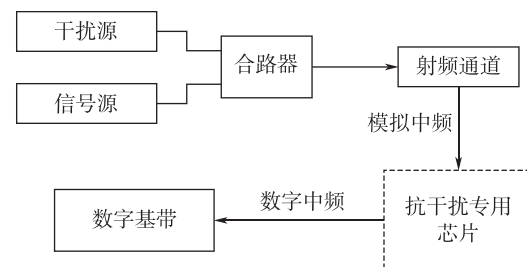


图 9 抗干扰专用芯片测试环境

Fig. 9 ASIC test environment

表1 抗干扰能力

Tab. 1 Anti-interference ability

| 工作系统 | 抗窄带干扰能力 (干信比) /dB |
|----------|-------------------|
| 北斗 B3 频点 | 65 |
| 北斗 B1 频点 | 61 |
| 北斗 S 频点 | 56 |
| GPS | 61 |

4 结束语

本文给出了一款多系统兼容卫星导航抗窄带干扰专用芯片的设计, 针对其处理架构、多系统兼容抗干扰处理、低功耗干扰检测等技术要点进行了详细介绍, 在 $0.13\mu\text{m}$ CMOS 工艺下完成芯片的设计并实现流片, 经测试, 该芯片可实现多系

统兼容的抗干扰功能, 有效解决小型卫星导航终端抗窄带干扰的问题, 并具备低功耗、体积小等特点。本文所实现芯片具有完全自主知识产权, 已在一些卫星导航终端产品上得到了实际的工程应用, 获得了客户的认可, 在卫星导航系统中替代了原有进口产品。

参考文献

- [1] 王李军. GPS 接收机抗干扰若干关键技术研究[D]. 南京理工大学, 2006.
- [2] E D Kaplan, C J Hegarty. GPS 原理与应用 (第二版) [M]. 寇艳江, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008: 181-183.
- [3] Shang Yong, Wu Shunjun, Xiang Haige. Anti-interference LMS algorithm[J]. China Science, 2002, 32 (4): 523-529.
- [4] V I Kostylev. Energy detection of a signal with random amplitude [J]. Proc. IEEE ICC, Jun. 2002, 1606-1610.