

A Dual-Band Receiving Approach Based on Six-Port

Hongfeng Zhang

School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang
Email: 954329171@qq.com

Received: May 20th, 2015; accepted: Jun. 2nd, 2015; published: Jun. 9th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper introduces a two-frequency signal receiving method based on the six-port. Using a suitable calibration method can down convert two different RF signals at the same time; these two RF signals can be with different modulation mode, different bandwidth and different standards of RF signals. This paper deduces the mathematical model of this method, and this method is verified by the performance simulation of 16QAM and 64QAM signal demodulation. The bit error rate (BER) and error vector magnitude (EVM entry) obtained from simulation show that the method has a better signal demodulation performance. Compared with the conventional dual-band receiver, six-port circuit is easy to MMIC integrated, the bandwidth is wider, there is no redundant frequency conversion, and it can be used in many radio applications.

Keywords

Six-Port Network, Six-Port Circuit, Dual-Band Demodulation, Calibration Methods

一种基于六端口的双频接收方法

张洪峰

杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州
Email: 954329171@qq.com

收稿日期: 2015年5月20日; 录用日期: 2015年6月2日; 发布日期: 2015年6月9日

摘要

介绍了一种基于六端口的双频信号接收方法。在射频六端口网络工作的频率范围内，使用一个合适的校准方法可以同时下变频两个射频信号，这两个射频信号可以是不同调制方式、不同带宽、不同标准的射频信号。文中推导了该方法的数学模型，并通过实验仿真验证了该方法对16QAM和64QAM信号的解调性能，仿真得到的误比特率(BER)和误差矢量幅度(EVM)表明该方法具有较好的信号解调性能。与传统的双频接收机相比，六端口电路易于MMIC集成，支持的带宽更宽，没有多余的下变频支路，可以用在多种无线电应用中。

关键词

六端口网络，六端口电路，双频解调，校准方法

1. 引言

传统的同步双频接收机拥有两个接收结构，这大大增加了成本、体积、功耗、结构的复杂度[1]-[3]。一些文献[4]提出同步接收机单通道下变频方法，因其工作在固定频带，从而限制了软件无线电的功能应用，多模式多频带收发器以提高单通信系统通信能力成为研究的一个热点[1]。射频六端口网络[5]可以将射频信号直接变换到基带信号，使A/D器件只需工作在基带频率，因此在软件无线电中拥有广泛的应用前景[6]。该文介绍了一种基于六端口解调技术的接收方法，实现同步双频、多标准的软件无线电应用。在六端口电路的设计的频带之内，接收机能够在一个较宽的频带上实现信号的解调。

2. 射频六端口网络

射频六端口网络[7]-[9]一般由3个正交耦合器和1个威尔金森功分器组成，有2个输入端口和4个输出端口，端口1输入本地参考载波信号，端口2输入接收的射频信号，这两个信号在端口3、4、5、6端口进行检波、低通滤波、A/D转换后，利用 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 可估算得到射频信号的基带I、Q路信息。表示如下：

$$I = \sum_{i=3}^6 \alpha_i P_i \quad (1)$$

$$Q = \sum_{i=3}^6 \beta_i P_i \quad (2)$$

其中 α_i, β_i 是六端口的校准常量； I 、 Q 是射频信号的同相向量和正交向量； P_i ， $i=3,4,5,6$ 为4个二极管检波器的输出功率。

3. 接收机结构模型

同步双频六端口接收机结构如图1所示。射频输入两个射频信号(RF1 + RF2)，参考载波输入信号(LO1 + LO2)，精心设定参考载波，便可接收到射频RF1和射频RF2信号，并经过DSP运算处理恢复出各自包含的I、Q信号。

由于波形相关器电路是宽带的，而二极管检波器有带宽限制[12]。要使同步双频六端口接收机正常工作，那么就要避免二极管检波输出的基带信号频谱的重叠。为了解决这个问题，设计载波满足如下条件：

$$f_{LO1} = f_{RF1}; f_{IF} = f_{RF2} - f_{LO2} > (BW_{RF1} + BW_{RF2})/2$$

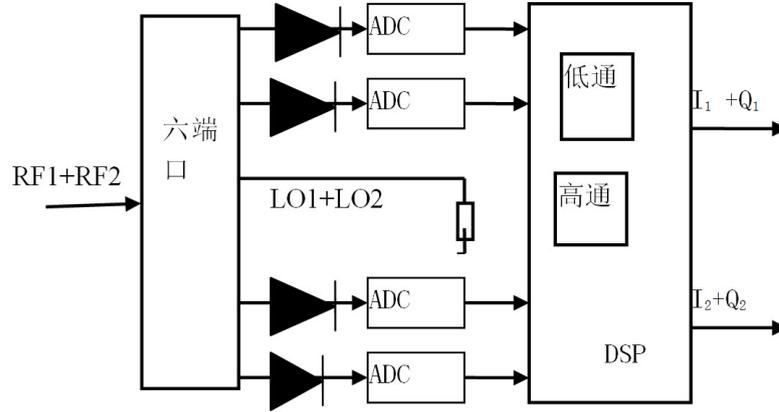


Figure 1. Six-port receiver structure
图 1. 六端口接收机结构

其中, f_{LO1} 参考载波 LO1 的载波频率, f_{RF1} 为射频 RF1 的载波频率, BW_{RF1} 与 BW_{RF2} 分别为两射频的带宽。为了方便描述, 第二个载波信号表示成 LO3, 其载频 f_{LO3} 。以突出选取的参考载波并不等于 RF2 的频率。设六端口输入的射频信号和本振信号的向量表示如下:

$$a_{LO1} = \frac{1}{\sqrt{2}} |a_{LO1}| e^{j(\omega_1 t + \phi_{LO1})}; a_{LO3} = \frac{1}{\sqrt{2}} |a_{LO3}| e^{j(\omega_3 t + \phi_{LO3})}; S_{i1} = |S_{i1}| e^{j\theta_{i1}}; S_{i2} = |S_{i2}| e^{j\theta_{i2}}$$

$$a_{RF1} = \frac{1}{\sqrt{2}} |a_{RF1}| \sqrt{I_1^2 + Q_1^2} e^{j(\omega_1 t + \theta_{RF1})}; a_{RF2} = \frac{1}{\sqrt{2}} |a_{RF2}| \sqrt{I_2^2 + Q_2^2} e^{j(\omega_2 t + \theta_{RF2})}$$

二极管检波器的输出端口功率 P 可写成:

$$P_i = |S_{i1} (a_{LO1} + a_{LO3}) + S_{i2} (a_{RF1} + a_{RF2})|^2, i = 3, 4, 5, 6. \quad (3)$$

其中 S_{ij} 为六端口网络的 S 参数, 由此可以得到式(4)式(5):

$$P_3 - P_4 = \alpha_{11} I_1 - (\alpha_{12} + \alpha_{13}) Q_1 + \alpha_{14} (1 + \alpha_{15} \sin(\Delta\omega t_{23})) I_2 - \alpha_{16} (1 + \alpha_{17} \cos(\Delta\omega t_{23})) Q_2 \quad (4)$$

$$P_5 - P_6 = (\alpha_{11} + \alpha_{21}) I_1 + \alpha_{12} Q_1 + \alpha_{14} (1 + \alpha_{15} \sin(\Delta\omega t_{23})) I_2 + \alpha_{16} (1 + \alpha_{17} \cos(\Delta\omega t_{23})) Q_2 \quad (5)$$

其中 α_{ij} 为常数, $\Delta\omega_{23} = \omega_2 t - \omega_3 t$ 。式(4)和式(5)表明二极管输出有两个频带, 一个是基带, 另一个频带的中心频率为 $f_{RF2} - f_{LO2}$ 。

提取出式(4)、式(5)中的高通成分(加上划线), 经下变频处理后, 用检波器输出的 4 个功率 P 线性表示成矩阵形式如下

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{P_3} & \overline{P_4} & \overline{P_5} & \overline{P_6} \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

其中 a_{ij} 为 I_2 、 Q_2 的校准常数, 理想情况下为 ± 1 , 由选取的校准方法确定。

同样, 提取式(4)(5)中的低通成分(下划线)并下变频处理后的基带写成矩阵形式如下

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ Q_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} & b_{17} & b_{18} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} & b_{27} & b_{28} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{P_3} & \underline{P_4} & \underline{P_5} & \underline{P_6} & \overline{P_3} & \overline{P_4} & \overline{P_5} & \overline{P_6} \end{bmatrix}^T \quad (7)$$

这里 b_{ij} 为 I_1 、 Q_1 的校准常数, 同样由选取的校准方法确定。

校准包括计算从检波器输出功率恢复射频的基带所需要的校验常数。在文献[10][11]中提到了几种校准方法。文章采用线性化校准方法仿真验证。

在数字通信系统中，误差矢量幅度(EVM)是一个常用的衡量信号解调质量的指标[12]。可以用式(11)表示，如下：

$$EVM = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X_{r,n} - X_{i,n}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X_{i,n}|^2}} \quad (8)$$

其中， $X_{r,n}$ 为正常接收到的第 n 个符号， $X_{i,n}$ 为第 n 个符号理想的星座的点， N 为计算的符号数。

4. 计算机仿真结果

使用 ADS 软件和 Matlab 软件联合仿真，设两输入射频信号分别为 3.0 GHz 的 16QAM 信号和 2.5 GHz 的 64QAM 信号的叠加，以 2 M/s 的采样率传送 20,000 个符号。参考载波 LO1 与 LO2 的频率分别为 3 GHz 与 2.492 MHz (相比 RF2 的频率偏移了 8 MHz)。与此同时，输入射频信号功率为 0 dBm，参考载波功率 3 dBm。经过二极管检波后，理论上两个频谱，一个为基带，另一个的中心频率为 8 MHz。

对 16QAM 和 64QAM 的信号进行测试中。用前 2500 个符号用于训练序列，来估计校准常数，以校准常数计算得到接收到的信号。图 2 与图 3 分别是 RF1 和 RF2 发送的信号和接收信号的星座图。

从图 2 和图 3 中可以看出，接收信号的星座图和发送信号的星座图基本重合，具有较低的幅度误差，说明在双频的解调中，六端口结电路同样具有较高的解调性能。经过测定，使用线性校准方法后，测得 64QAM 的误差矢量幅度(EVM)为 1.9%，16QAM 的 EVM 为 1.8%。

图 4 与图 5 分别是接收速率为 2 Mbps 时 16QAM 的误比特率与 64QAM 的误比特率曲线图。

对于 64QAM 的信号解调中，在信噪比为 12 dB 时，实际的 BER 和理论值接近，在信噪比为 14 dB 时，实际的 BER 与理论值相差了一个数量级，在信噪比为 18 dB 时，实际的 BER 与理论值相差两个数量级。而对于 16QAM 信号的解调时，在信噪比达到 10 dB 时，实际的 BER 与理论的 BER 相差一个数量级。因此，文中提出的同步双频的解调方法对 16QAM 和 64QAM 调制形式的信号具有良好的解调功能，误比特率 BER 也接近理论值。

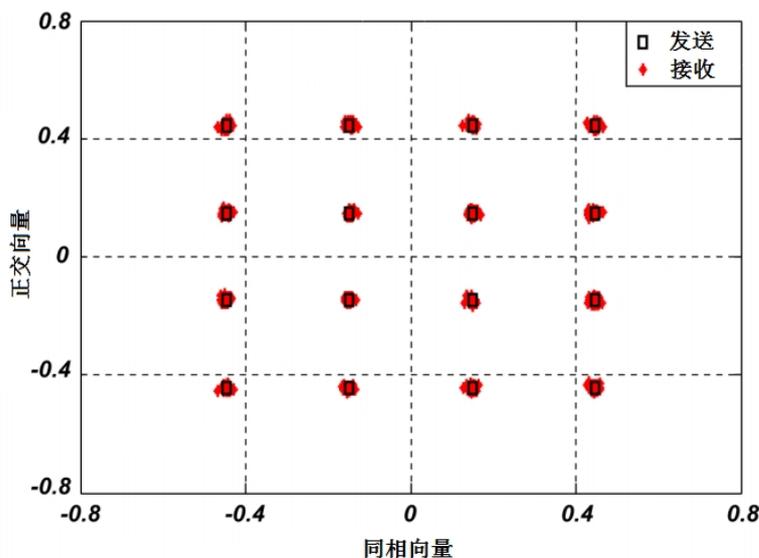


Figure 2. Transmitted and received 16QAM signal constellation

图 2. 发送与接收的 16QAM 信号星座图

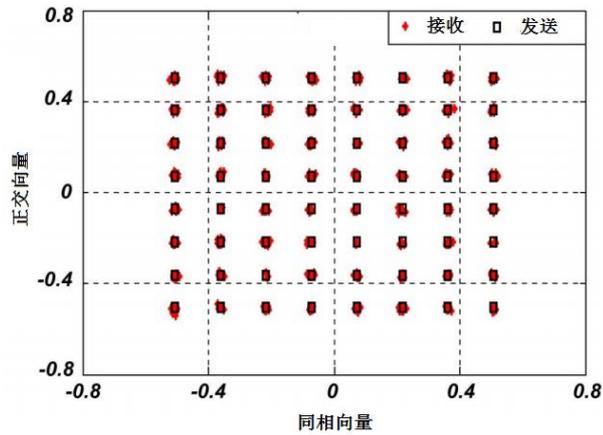


Figure 3. Transmitted and received 64QAM signal constellation

图 3. 发送与接收的 64QAM 信号星座图

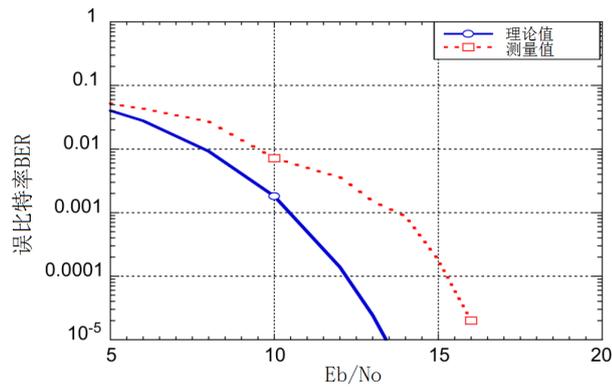


Figure 4. 16QAM bit error ratio (BER)

图 4. 16QAM 误比特率

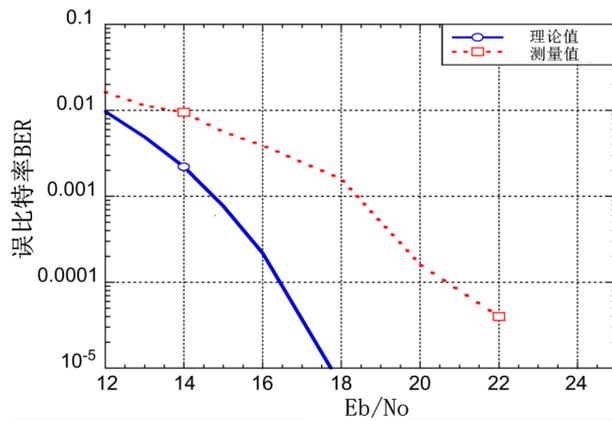


Figure 5. 64QAM bit error ratio

图 5. 64QAM 误比特率

5. 结束语

提出了一种新颖的基于六端口技术的同步双频接收机信号解调的结构。一方面，通过建模分析，并且软件仿真验证了载频 2.5 GHz 和 3 GHz 的两个调制方式分别为 64QAM 和 16QAM 的射频信号的解调性

能。星座图和误比特率曲线反映了其对信号的解调具有良好的性能。另一方面,该结构只需要极少数的校准常量,表现出较强的线性特性。在软件无线电快速发展的今天,该六端口双频解调接收可作为一个不错的射频前端。

参考文献 (References)

- [1] Hashemi, H. and Hajimiri, A. (2002) Concurrent multiband low-noise amplifiers theory design and applications. *IEEE Transactions Microwave Theory Technique*, **50**, 288-301.
- [2] Wang, Y.J., Jeon, S. and Babakhani, A. (2008) A 6 to 18 GHz tunable concurrent dual-band receiver front end for scalable phased arrays in 130 nm CMOS. *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, Piscataway, 343-346.
- [3] He, Q., Liu, Y.-A., Li, S.-L., Yu, C.-P., et al. (2011) The concurrent dual-band receiver architecture with one mixer. *The 3rd Pacific-Asia Conference Circuits Communication and System (PACCS)*, Wuhan, 17-18 July 2011, 1-4.
- [4] 胡晓 (2007) 六端口直接 QPSK 调制器. In: 2007 年全国微波毫米波会议论文集, 电子工业出版社, 北京, 1469-1471.
- [5] 张兰, 王兵, 冯科锦 (2005) 射频六端口网络在软件无线电中的应用. *通信学报*, **9**, 79-84.
- [6] 吴利楠, 张旭春 (2010) 六端口技术的发展与应用. *电讯技术*, **5**, 108-113.
- [7] Bugo, T., Klippenstein, B., Saizew, M., et al. (2010) Dual band receiver using passive six port down conversion technique suitable for multi standards and SDR applications. *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference*, Yokohama, 7-10 December 2010, 1312-1315.
- [8] Owais, J.Ö., Karlsson, M., Serban, A., et al. (2011) Direct carrier six port modulator using a technique to suppress carrier leakage. *IEEE Transactions Microwave Theory Technique*, **3**, 741-747.
- [9] De la Morena-Álvarez-Palencia, C. and Burgos-García, M. (2011) Four-octave six-port receiver and its calibration for broadband communications and software defined radios. *Progress in Electromagnetics Research*, **116**, 1-21.
- [10] Hasan, A. and Helaoui, M. (2012) Novel modeling and calibration approach for multiport receivers mitigating system imperfections and hardware impairments. *IEEE Transactions Microwave Theory Technique*, **60**, 2644-2653.
- [11] Gomes, H., Testera, A.R., Carvalho, N.B., et al. (2011) Diode power probe measurements of wireless signals. *IEEE Transactions on Microwave Theory Technique*, **59**, 987-997.
- [12] de la Morena-Álvarez-Palencia, C. and Burgos-García, M. (2010) Broadband RF front-end based on the six-port network architecture for software defined radio. *IEEE Military Communications Conference, 2010-MILCOM*, San Jose, 31 October 2010-3 November 2010, 2137-2142.