

K波段辐射计的超宽带多通道接收机设计与实现

谢 衍, 陈敬熊, 苗俊刚

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100191)

摘要: K波段微波高光谱辐射计应用于大气探测方向,能够在高湿度条件下改善大气温湿度廓线精度。为解决传统辐射计接收机未考虑在微波高光谱条件下频谱测量时间和系统复杂度增加的问题,设计与实现了一种用于K波段微波高光谱辐射计的超宽带多通道线性接收机。通过结合传统微波辐射计接收机的数项优点,改进的接收机结构拥有良好的宽带谱特性、高线性度和短频谱测量时间。在18~26 GHz频率范围内,接收机的实测频率增益为77~80 dB、噪声系数为2.1~3.2 dB、线性度为0.999~0.9999和频谱测量时间平均为5.8 ms。实测结果表明,设计的高频谱分辨率接收机适合K波段微波高光谱辐射计在大气遥感和快速天气变化观测中应用。

关键词: 微波高光谱技术; 微波辐射计接收机; 频谱分辨率; 超宽带

中图分类号: V271.4; TP732.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2014)04-0048-04

Design and Implementation of an Ultra-Wideband Multichannel Receiver for K-Band Radiometer

XIE Yan, CHEN Jing-xiong, MIAO Jun-gang

(School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: When used in atmospheric probing, a K-band hyperspectral microwave radiometer can improve the accuracy of temperature and moisture profiling under high humidity condition. But the measuring time is longer and system complexity of traditional radiometer receiver is relatively larger under hyperspectral microwave condition. An ultra-wideband multichannel linear receiver was designed. By combining several advantages of traditional microwave radiometer receiver, the proposed receiver architecture has good wideband performance, high linearity, and short measuring time. At 18 to 26 GHz RF, the performance of measured receiver has a power gain of 77 to 80 dB, a noise factor of 2.1 to 3.2 dB, a linearity of 0.999 to 0.9999, and a multichannel measuring time of 5.8 ms. The measurement results show that the proposed receiver is suitable for K-band hyperspectral microwave radiometer applications.

Key words: hyperspectral microwave technology; microwave radiometer receiver; spectral resolution; ultra-wideband

0 引言

国内某高校微波工程实验室研制出了一种地基K波段微波高光谱辐射计,它能够测量18~26 GHz频率范围内连续的大气辐射谱线,并用于反演水汽廓线。传统多通道微波辐射计一般选用超外差接收机和多通道直接检波接收机这两种接收机结构。K波段微波高

光谱辐射计需要获得工作频段内连续的大气辐射谱线^[1-3],接收机通道数量远多于传统微波辐射计接收机。若选用超外差接收机结构,系统扫描时间长,不利于观测快速的天气变化^[4-6];若选用多通道直接检波接收机结构,系统复杂度高,不利于微波辐射计的研制和运载^[7-9]。

本文所设计超宽带80通道接收机采用了一种改进的二级接收机结构,结合了传统辐射计接收机的几项优点:第一级是超外差接收机结构,通过切换下变频信号进行第一次频段粗分,频段划分按时间顺序串行实现,通过射频频端通道的复用,降低了系统的复杂度;第二级是多通道直接检波接收机结构,通过滤波器

收稿日期:2013-06-13

修回日期:2013-07-01

基金项目:国家自然科学基金(41105007)

作者简介:谢 衍(1987—),男,江西南昌人,博士生,研究方向为微波遥感,微波辐射计。

组进行第二次频段细分,频段划分同时并行实现,减少了频谱扫描时间。

1 K波段微波高光谱辐射计

K波段微波高光谱辐射计是一种主要应用于气象部门的地基微波辐射计,与星载微波辐射计相比,地基微波辐射计的优势在于对于低对流层具有更高的探测精度,可以实现更多的探测通道,并且能够对局部区域实现连续不间断的观测。微波高光谱条件下的所测大气亮温与传统微波辐射计的差别在于更多的频谱通道数量和更宽的大气谱线测量带宽。K波段微波高光谱辐射计能够全自动和全天时地提供K波段高频谱分辨率大气亮温分布,并据此反演从地表到10 km大气层的水汽垂直廓线,辐射计的80个观察通道如图1所示。

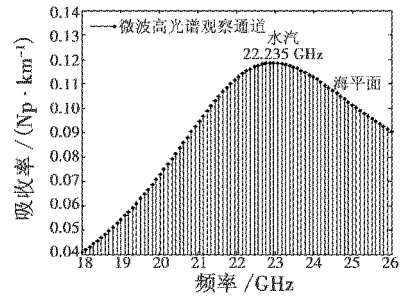


图1 K波段微波高光谱辐射计的80个观察通道
Fig. 1 Eighty channels of the K-band hyperspectral microwave radiometer

2 超宽带多通道接收机设计

为了满足频谱通道多、频谱扫描时间短和系统复杂度低等系统需求,K波段微波高光谱辐射计采用了一种改进的级联接收机结构,如图2所示。

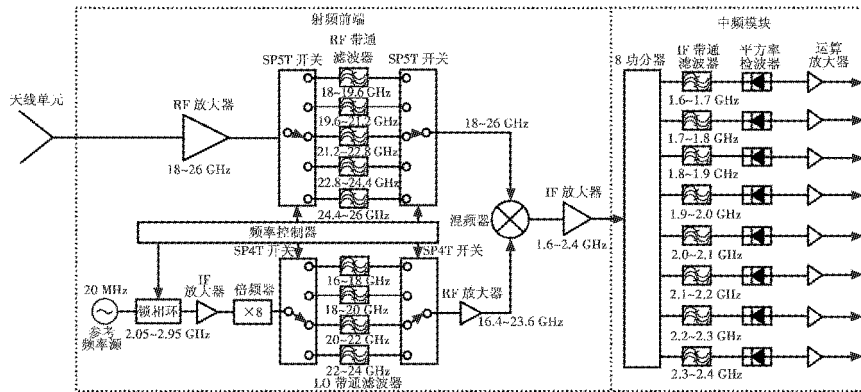


图2 K波段微波高光谱辐射计接收机的结构图

Fig. 2 Block diagram of the K-band hyperspectral microwave radiometer receiver

K波段微波高光谱辐射计的接收机由射频(RF)前端和中频(IF)模块所组成,其中,80个频谱通道为10个射频通道乘以8个中频通道。

射频前端采用单边带超外差接收机结构,通过切换下变频信号进行第一次频段粗分。18~26 GHz的天线信号经过RF放大器放大后,划分为10个RF频段并下变频到1.6~2.4 GHz的IF频段。10个RF频段分别为:18~18.8 GHz、18.8~19.6 GHz、19.6~20.4 GHz、20.4~21.2 GHz、21.2~22 GHz、22~22.8 GHz、22.8~23.6 GHz、23.6~24.4 GHz、24.4~25.2 GHz、25.2~26 GHz。这10个RF频段按时序串行划分,由不同的本振(LO)频率所决定。射频前端选择了较高的IF频率,从而能够通过RF带通滤波器获得60 dB以上的镜像抑制比。本射频前端的结构设计中,每两个相邻RF频段共用一个RF带通滤波器,减少了射频前端的复杂度。IF信号经过IF放大器放大后输出至中频模块。

中频模块采用多通道直接检波接收机结构,避免使用K波段滤波器进行频段细分的同时,使得100 MHz带

宽内的频率选择度优于0.5%。8路威尔金森功分器将1.6~2.4 GHz的IF信号划分为8个通道,划分为8个IF频段并输入至IF带通滤波器组中。8个IF频段分别为:1.6~1.7 GHz、1.7~1.8 GHz、1.8~1.9 GHz、1.9~2.0 GHz、2.0~2.1 GHz、2.1~2.2 GHz、2.2~2.3 GHz、2.3~2.4 GHz。这8个IF频段同时并行划分,由IF带通滤波器的截止频率所决定。8个IF频段被平方率检波器和运算放大器检波放大,从而输出与信号功率呈线性关系的检波电压^[10]。辐射计接收机单元安装于恒温单元内,保证接收机增益起伏能够满足辐射计灵敏度的需求。

根据上述接收机结构所实现的K波段高频谱分辨率接收机如图3和图4所示。接收机安装在一个温度为5℃、温度起伏为0.1℃的恒温单元中,用于减少系统随机噪声。射频前端的第一级是RF放大器(K波段低噪声放大器LNA),用于负责辐射计射频信号的放大,并对接收机噪声系数起主要作用^[11]。每个K波段低噪声放大器(LNA芯片)在18~26 GHz频率范围内提供了16 dB的功率增益和2.4 dB的噪声系数。在K

波段 LNA 后的 pin 二极管开关拥有 1.5 ms 的开关时间和 0.8 dB 插损。RF 带通滤波器选用了微带耦合线带通滤波器,具有 7% 的带宽比和 0.2 dB 的平坦度。混频器则选择了无源双平衡混频器,在 18 ~ 26 GHz 内具有 10 ~ 13 dB 的变频损耗。混频后的中频信号经过 IF 放大器放大到 -20 dBm 后输入至中频模块。中频模块的 8 个通道采用相同的结构。中频信号经过功分、滤波和衰减后被调整至平方率检波器的动态范围以内并检波输出。检波输出信号经运算放大器放大后送入辐射计采集控制单元。

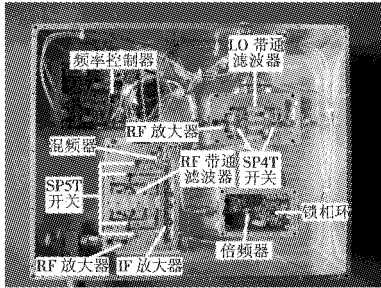


图3 接收机射频前端

Fig. 3 RF front-end of the receiver

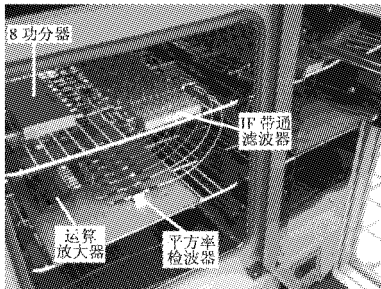


图4 接收机中频模块

Fig. 4 IF section of the receiver

3 实测结果分析

为了评估 K 波段高频谱分辨率接收机的性能,使用频谱仪和矢量网络分析仪对接收机进行了实测,如图 5 所示。在 18 ~ 26 GHz 内的宽带频率范围内,接收机平均拥有 79 dB 功率增益(PG)、2.6 dB 噪声系数(NF)和大于 60 dB 的镜像抑制比(IRR)。

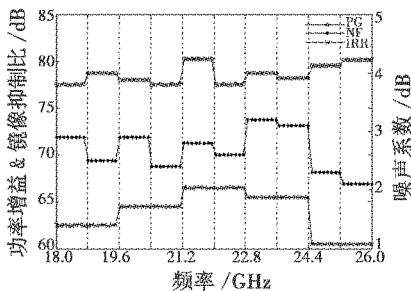


图5 K 波段高频谱分辨率接收机的功率增益(PG)、噪声系数(NF)和镜像抑制比(IRR)

Fig. 5 Measured PG, NF and IRR of K-band receiver

辐射计接收机 80 个频谱通道输入信号功率和输出电压的线性度如图 6 所示。在 18 ~ 26 GHz 的频率范围内,接收机线性度大于 0.9994。考虑到由平方率检波器产生了电压与输入功率正比关系,线性度主要取决于中频模块的 8 个平方率检波器。所以图中的曲线以 8 个线性度为一个周期,与功率增益等其他参数不同。

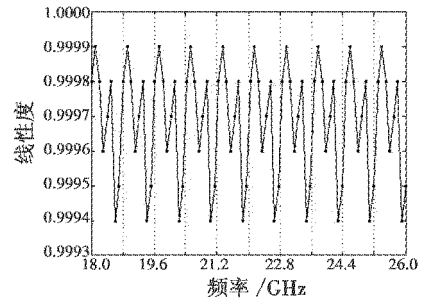


图6 K 波段高频谱分辨率接收机 80 个频谱通道的实测线性度

Fig. 6 Measured linearity performance of K-band receiver with eighty channels

为了观测快速的天气变化,第 2 节从接收机结构的角度考虑了 80 个通道的测量时间。利用 K 波段微波高光谱辐射计对大气的实测进行接收机测量时间估算,通过对 80 个频谱通道连续测量 104 次,并记录总测量时间后进行平均,测试过程安排在北京时间 2011 年 9 月 2 日下午 15 点 18 分,在 18 ~ 26 GHz 范围内的频谱测量时间为 5.8 ms。K 波段微波高光谱辐射计扫描 180° 范围内天空仰角,角度分辨率为 0.1°。此时,K 波段微波高光谱辐射计所需的天空总扫描时间为 10.5 s,对高光谱辐射计来说适用于观测快速的天气变化。

4 结论

本文设计并实现了一种用于 K 波段微波高光谱辐射计的超宽带高频谱分辨率接收机。通过结合传统微波辐射计接收机的数项优点,改进的二级接收机结构拥有良好的宽带谱特性、高线性度和短频谱测量时间。在 18 ~ 26 GHz 频率范围内,接收机的实测频率增益为 77 ~ 80 dB、噪声系数为 2.1 ~ 3.2 dB、线性度为 0.999 ~ 0.9999 和频谱测量时间平均为 5.8 ms。根据实测结果,本文设计的高频谱分辨率接收机适合 K 波段微波高光谱辐射计在大气遥感和快速天气变化观测中应用。

参考文献

[1] 常进,陶午沙,粘永健,等. 基于双向预测的高光谱图像无损压缩[J]. 电光与控制,2010,17(10):65-67,89. CHANG J, TAO W S, ZHAN Y J, et al. Lossless compression for hyperspectral images based on bi-direction pre-

diction[J]. Electronics Optics & Control, 2010, 17(10): 65-67, 89.

[2] SMITH W L. Atmospheric soundings from satellites—false expectation or the key to improved weather prediction[J]. The Royal Meteorological Society, 1991, 117(498): 267-297.

[3] BLACKWELL W J, LESLIE R V, PIEPER M L, et al. Hyperspectral microwave atmospheric sounding [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(1): 128-142.

[4] JANSSEN M A. A new instrument for the determination of radio path delay due to atmospheric water vapor[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1985, 23(4): 485-490.

[5] STRAUB C, MURK A, KAMPFER N, et al. Development of a 22 GHz correlating radiometer for the observation of stratospheric water vapor [C]//Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment, 2008:1-4.

[6] EL-SHARKAWY A M, SOTIRIADIS P P, BOTTOMLEY P A, et al. A new RF radiometer for absolute noninvasive temperature sensing in biomedical applications [C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2007:329-332.

[7] TANNER A B. Development of a high stability water vapor radiometer[J]. Radio Science, 1998, 33(2): 449-462.

[8] TARONCÍ J M, CAMPS A, PULIDO J A. K-band radiometer designed for academic purposes; Intercomparison of performances as total power, dicke or noise injection radiometers [C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007:2927-2930.

[9] BLACKWELL W J, GALBRAITH C, HANCOCK T, et al. Design and analysis of a hyperspectral microwave receiver subsystem [C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2012:3435-3438.

[10] AMADUZZI L, TINTI M. Low cost components radiometer implementation for human microwave electromagnetic field emission detection [J]. Progress in Electromagnetics Research Letters, 2011, 23:9-18.

[11] KLEMETSEN O, BIRKELUND Y, JACOBSEN S K, et al. Design of medical radiometer front-end for improved performance [J]. Progress in Electromagnetics Research B, 2011, 27:289-306.

(上接第47页)

[8] NYGARD K E, CHANDLER P R, PACTHER M. Dynamic network flow optimization models for air vehicle resource allocation [C]//Proceedings of the American Control Conference, 2001:1853-1858.

[9] SCHUMACHER C, CHANDLER P. UAV task assignment with timing constraints via mixed-integer linear programming [C]//AIAA Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit, AIAA-2004-6410, Chicago, Illinois, 2004, doi:10.2514/6.2004-6410.

[10] DARRAH M, NILAND W, STOLARIK B. UAV cooperative task assignments for a SEAD mission using genetic algorithms [C]//AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, AIAA-2006-6456, Keystone, Colorado 2006, doi:10.2514/6.2006-6456.

[11] ALIGHANBARI M, HOW J P. Robust decentralized task assignment for cooperative UAVs [C]//AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Keystone, Colorado, 21-24 August 2006, doi:10.2514/6.2006-6454.

[12] SUJIT P B, GEORGE J M, BEARD R W. Multiple UAV coalition formation [C]//Proceedings of the American Control Conference, Seattle, Washington, 2008:2010-2015.

[13] LAVALLE S M. 规划算法 [M]. 张庆雅, 孙东, 等译. 北京:清华大学出版社, 2010:595-597.

LAVALLE S M. Planning algorithms [M]. Translated by ZHANG Q Y, SUN D, et al. Beijing: Tsinghua University Press, 2010:595-597.

[14] KINGSTON D B, SCHUMACHER C J. Time-dependent cooperative assignment [C]//Proceedings of the American Control Conference, Portland, Oregon, 2005, 6:4084-4089.

[15] YAMAUCHI B. A frontier-based approach for autonomous exploration [C]//Computational Intelligence in Robotics and Automation, 1997:146-151.

本刊国内邮发代号为 36 - 693 欢迎订阅