

结合轮廓和纹理特征的铅笔画自动生成系统*

徐美婷 杨士颖

(上海大学影视艺术技术学院 上海 200072)

摘要:介绍了采用一种轮廓和纹理相结合进行图像处理的方法,采用该方法可以从照片自动生成具有铅笔画效果的非真实感图像。在图像处理过程中首先采用高频提升滤波的方法对图像进行预处理,使得图像能包含更加丰富的轮廓信息,增加图像对比度,然后通过对灰度化之后的图像进行梯度的计算,根据梯度进行像素分类,从而提取出图像轮廓,在提取轮廓阶段设置2个参数分别表示铅笔长度和深度,通过参数的调节,能产生不同效果的轮廓线图。纹理的处理方式是建立一个参数模型的方法对图像进行分层,选取人们所绘制的铅笔画纹理对每一层进行色调渲染,同时不同色调权重会产生不同风格的色调纹理图。通过轮廓和纹理的卷积叠加最终生成素描铅笔画,并且该系统还可以进一步延伸至彩色铅笔画的自动生成。

关键词: 铅笔画;轮廓;纹理;卷积

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Combing the contour and texture for pencil drawing system

Xu Meiting Yang Shiyang

(Institute of Film & TV Arts and Technology, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This system combining the tone and stroke structures to generate non-photo-realistic image with pencil drawing effect. First, process the image with a high lift filter, which making the stroke image contained more information. Then by calculating the gradient of the gray scale, and according to the gradient do some classification. In the outline extraction stage we set two parameters, respectively, the length and depth of the pencil, by adjusting the parameters will produce different effects in the contour diagram. Texture is to build a parametric model approach to stratify the image, select the people drawn pencil texture rendering tone for each layer, but different shades weights will produce different styles of shades textures. The resulting sketch pencil drawing is convolution superimposed contour and texture, and the system can be further extended to colored pencil drawing automatically.

Keywords: pencil drawing; contour extraction; texture rendering; convolution

1 引言

非真实感图像处理最早出现于20世纪80年代,随着图形图像处理技术的发展,各类风格化图片处理软件也应运而生,比如美图秀秀、美颜相机、脸萌等。不少人会拿来制作有趣的头像与朋友分享。而在电影电视中也越来越趋向于采用非真实感图像来增加戏剧性和艺术性,非真实感图像处理越来越成为一种娱乐消遣活动。而在抽象视觉艺术中,铅笔画是非真实感图像绘制的基础。市面上现有的软件中铅笔素描画的效果并不好,所以对于铅笔画的研究工作仍然有待完善。

现有的铅笔画合成方法通常分为两类:基于真实感图像的渲染和基于3D模型的渲染。最早的一种非真实感二

维绘图系统叫做Pencil Sketch^[1],通过用户输入相应的参数,如铅笔力度和方向等,但是这种方法不能自动化,限制了使用。Sousa and Buchanan^[2]实现的系统是建立3D模型去模拟艺术家的绘画风格。Lee等人从3D曲面中提取出轮廓,并通过不断地重复来模拟人类的绘画,有方向的线条就可以形成铅笔画的阴影部分,可是它依赖于光线和3D模型的材质。Mao等人^[4]直接从输入的图像中提取轮廓,然后采用线卷积(LIC)的方法产生纹理。Yamamoto等人^[5]把图像分割成不同范围的强度层。Gao也提出了基于LIC实现铅笔素描画的方法。之后的一些效果基本都是基于前人的基础上去做的相关改进,如文献^[6]首先对输入的图像进行区域分割,然后采用基于区域的噪声图和纹理方向生成铅笔画。文献^[7]在对图像进行了USM锐化预处

收稿日期:2014-11

* 基金项目:上海市自然科学基金(14ZR1415800)、上海市科技公关(14511108400)资助项目

理,使得轮廓边缘信息更丰富。文献[8]在纹理上进行了改进,将锐化后的图像作为 LIC 的输入,使生成的纹理效果更接近手绘。Jiaya Jia 等人^[9]提出了一种轮廓和纹理卷积叠加,自动生成铅笔画的方法。在文献[9]的基础上进行了改进,取得了较好的效果。

2 铅笔画轮廓生成

艺术家绘画的时候,先大致描绘出图像的轮廓,然后再添加相应的阴影增强图像立体感。而数字图像处理中常采用的梯度算子(如 Sobel, Robert, Prewitt, Canny^[10-11]算子)来提取图像的边缘,可是效果不尽人意,如图 1 常用边缘算子检测效果。

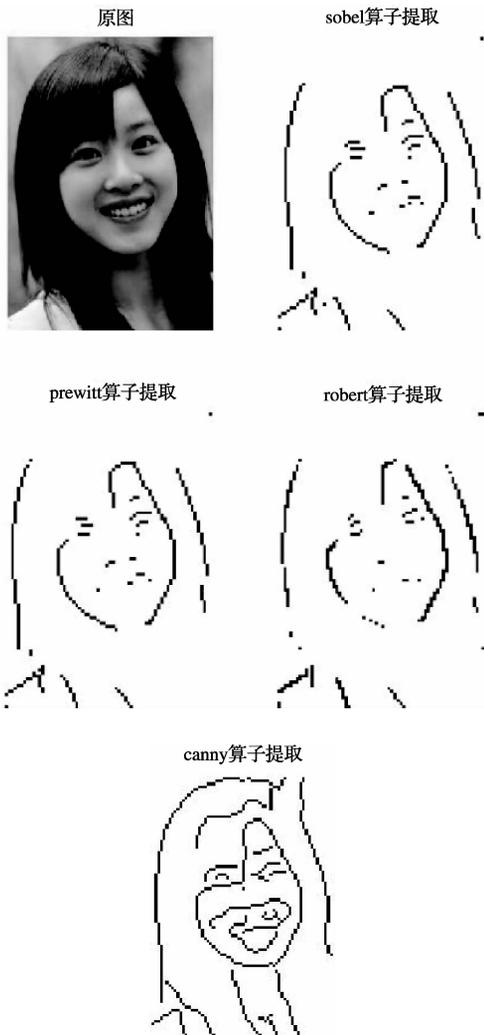


图 1 常用边缘算子检测效果

2.1 图像预处理

铅笔画的预处理主要包括图像灰度化和图像增强两种。灰度化变换就是将彩色图像转化成灰度图,而图像增强的方法有很多种,系统在文献[9]的基础上先用高频提升滤波的方法进行图像预处理。高频部分主要体现了图像的

边缘和细节,图像的模糊正是因为高频成分弱。频率域锐化就是为了增加高频部分,消除图像模糊,突出细节。因此本系统采用高通滤波器保留高频成分,削弱低频成分,再经傅里叶变换逆变换得到边缘锐化。

其计算步骤公式如下,首先将图片模糊化,得到模糊函数 $\bar{f}(x,y)$,然后在原图中,将图像的模糊形式去除:

$$g_{mask}(x,y) = f(x,y) - \bar{f}(x,y) \quad (1)$$

由式(1)可以得到图像的反锐化掩蔽函数 $g_{mask}(x,y)$,然后在原图中叠加反锐化掩蔽函数,从而使得图像更清晰:

$$g(x,y) = f(x,y) + k \cdot g_{mask}(x,y) \quad (2)$$

上式中参数 $k = 1$ 的时候,这个操作被称为反锐化掩蔽。当 $k > 1$ 时候,这个操作被称为高频提升滤波。本系统中取 $k = 2$,实现高频提升滤波的锐化功能,增加高频成分,使边缘信息更丰富。

2.2 轮廓生成

通过观察得出,艺术家们画画的时候会用不同粗细的铅笔,力度或者明暗度的线条来描绘轮廓,并且轮廓图不可能一笔形成,它们是由很多小短线连接而成,如图 2 所示。本系统在这种研究发现的基础上采用像素分类的方法确定某一像素点的方向,长度或宽度,最后用卷积对这些像素点进行连接,从而模仿艺术家们绘画所得轮廓。

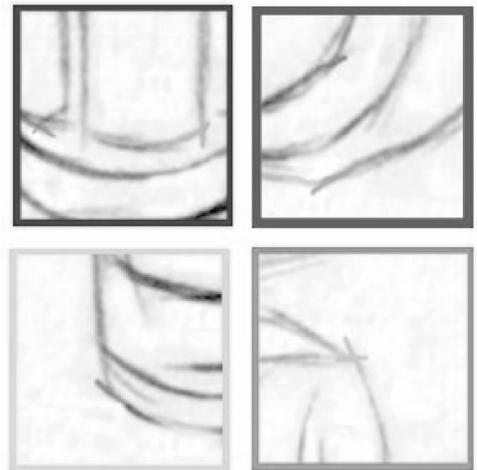


图 2 艺术家们铅笔画轮廓

2.2.1 分类

首先计算灰度图的梯度,如式(3):

$$G = ((\partial_x I)^2 + (\partial_y I)^2)^{1/2} \quad (3)$$

式中: I 为灰度输入图, ∂_x 和 ∂_y 为用前向差分产生的梯度算子。产生铅笔短线,其中的一种方法就是对每个像素进行最大似然估计,比较愚蠢的分类方法就是直接取梯度方向,这样的分类方法会使得图像对噪声敏感。本系统采用的是对局部信息的鲁棒性方法。

在某个位置上,每隔 45° 进行分割,可以分成 8 个参考方向,分割段用 $\{L_i | i = 0, \dots, 7\}$ 表示,设置参数 width 表

示铅笔长度, width 和 $\{L_i\}$ 之间的关系表示为: $L_i = \text{zeros}(\text{width}, \text{width})$ 。

则某个方向上的梯度响应就表示为式(4):

$$G_i = L_i G \tag{4}$$

选择所有方向上的最大响应映射进行分类, 如式(5):

$$C_i(p) = \begin{cases} G(p), & \text{argmin}_i \{G_i(p)\} = i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \tag{5}$$

P 是索引像素, C_i 是 i 方向上的幅度映射。 C 和 G 的关系为式(6):

$$\sum_{i=1}^8 C_i = G \tag{6}$$

2.2.2 轮廓提取

考虑到映射集 $\{C_i\}$, 对每个像素上产生短线条也用卷积操作, 如式(7):

$$S' = \sum_{i=1}^8 (L_i \otimes C_i) \tag{7}$$

设置参数 depth 表示深度, 数值越大, 则铅笔颜色越浅: $S_1 = S' / \text{depth}$ 。最后的铅笔草图 S 是通过对象素值 S_1 进行反相得到, 并且映射范围为 $[0, 1]$ 。

2.3 轮廓提取实验对比图

图3中左图为文献[9]提取出来的轮廓信息图, 右图为本系统提取出来的轮廓信息图, 可以看出本系统保留了更多的轮廓信息, 尤其对于风景图等轮廓提取更有效。参数 depth 和 width 的调节会产生不同效果的轮廓线图, 如图4所示。

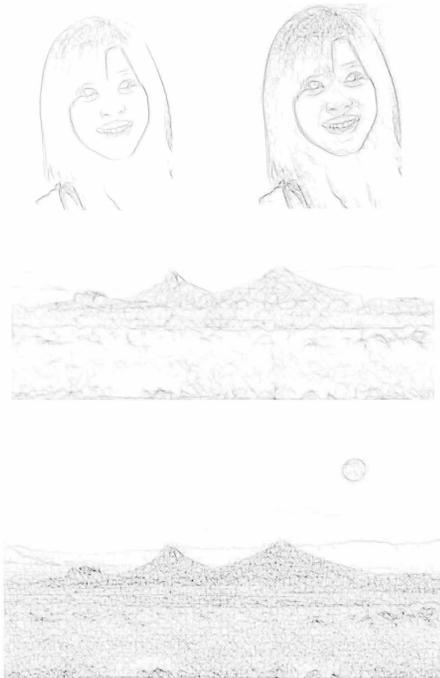


图3 轮廓提取



图4 不同 width:depth 参数设置

图4 不同 width:depth 参数设置

3 色调纹理图生成

3.1 色调映射图的产生

系统建立了一个参数模型去进行铅笔画的色调分配, 根据色调参数值分成明亮层, 温和层, 黑暗层。艺术家们通常在明亮层不画阴影或者采用极少的阴影去表现, 用比较厚重的线条去描绘黑暗层的阴影, 温和层则是丰富图像信息。参数模型公式如式(8):

$$p(v) = \frac{1}{Z} \sum_{i=3}^3 \omega_i p_i(v) \tag{8}$$

式中: v 是色调参数值, $p(v)$ 是铅笔画像素的概率, Z 是归一化因子, 能使得 $\int_0^1 p(v) dv = 1$ 。 $p_i(v)$ 代表的是3个的铅笔像素概率层。对于1个图像, 设置2个参数值 T_1 和 T_2 ($0 < T_1 < T_2 < 255$), 这2个参数值将图像划分为3部分, 即明亮层、温和层、深色层。如果 $0 < I(x, y) < T_1$, 则像素 (x, y) 属于黑暗层, 如果 $T_1 < I(x, y) < T_2$, 则像素 (x, y) 属于温和层, 剩下范围内则归类至明亮层。 μ_d 和 σ_d 分别代表黑暗层的均值和标准偏差, μ_b 和 σ_b 分别代表明亮层的均值和标准偏差, μ_b 设置成 255。 ω_i 是每一层像素数量的加权值, 整合深色层、明亮层、温和层的色调权重。

$$(Bright) p_1(v) = \frac{1}{\sigma_b} e^{-(255-v)/\sigma_b} (0 \leq v \leq 255)$$

$$(Mild) p_2(v) = \begin{cases} \frac{1}{T_2 - T_1}, & T_1 \leq v \leq T_2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$(Dark) p_3(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} e^{-(v-\mu_d)^2/2\sigma_d^2} (0 \leq v \leq 255) \tag{9}$$

以上分别代表白层,温和层和深色层,其中参数是通过艺术家们所画的铅笔画学习得到的, T_1 、 T_2 分别取105、225。 μ_d 和 σ_d 取90和11。每一层的权重可以通过调节来设置,即 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 ,默认的是11、37、52,然后再进行叠加,通过色调权重的调节可以形成不同风格的铅笔画。

3.2 铅笔纹理渲染

纹理的模拟是非常困难的,艺术家们是通过在同一个地方反复的涂画形成阴影,本系统模仿这种方法,采用指数组合的方式, $H(x)^{\beta(x)} \approx J(x)$,用 J 表示最后的色调映射图。对输入的纹理图片 H 反复 β 次,形成色调映射图中对应的局部纹理。 β 越大就表示阴影重复越多。其中纹理图片 H 是对真实纹理图片 H_1 和 H_2 叠加求平均生成,如图5所示纹理选择。

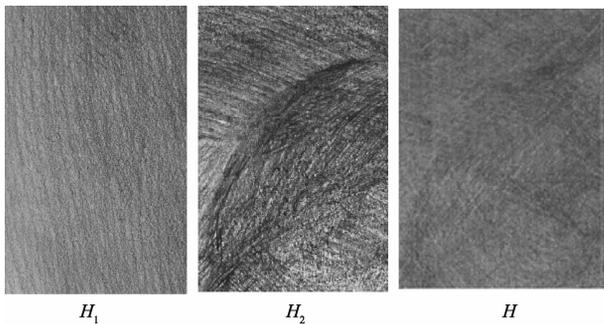


图5 纹理选择

$$\beta^* = \arg \min_{\beta} |\beta \ln H - \ln J|_2^2 + \lambda |\nabla \beta|_2^2 \quad (10)$$

最终的铅笔色调纹理图为式(11):

$$T = H^{\beta^*} \quad (11)$$

3.3 铅笔画生成

最终的铅笔画生成为轮廓和色调阴影的卷积而成。同时本系统添加了一个具有铅笔画纹理的画布,采用纹理贴图生成同样的方法自动调整画布大小,这样的效果是不会让自动生成的铅笔画大量留白,增强图



图6 铅笔画画布

像立体效果。同时通过大量实验验证,画布效果的添加使得生成的彩色铅笔画颜色不会失真过度,画布如图6所示。

3.4 彩色铅笔画生成

在进行分层的时候,只是将亮度通道进行了改变。将生成的 R 铅笔画作为YUV空间的Y通道,重新映射到RGB空间。就可以得到彩色铅笔画。

4 实验结果

采用 Intel Core 处理器,2 G 内存,32 位操作系统的硬件设施,在 MATLAB2010b 的编程环境下构造了铅笔画自动生成系统,图片来源于前期建立的素材库。系统的操作界面如图7所示,图8为系统不同色调权重生成的不同铅笔画效果图对比,图9分别为铅笔画常用算法 LIC 生成效果图与美图秀秀软件生成效果图和本系统生成效果图对比。图10给出了部分实验效果图。



图7 铅笔画自动生成系统界面

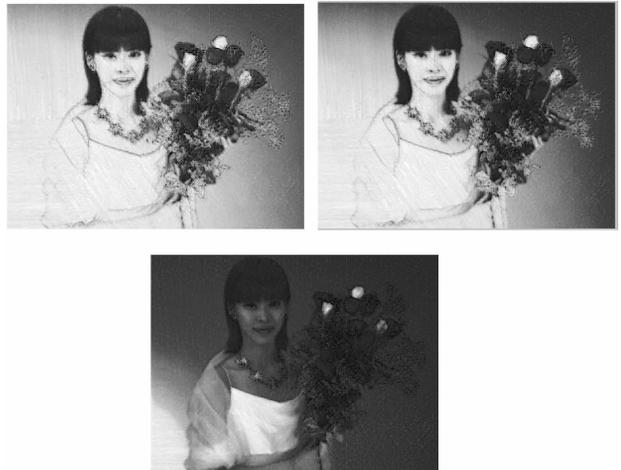


图8 不同色调权重产生的铅笔画效果
(52 : 37 : 11; 42 : 29 : 29; 2 : 2 : 76)



图 9 不同方法的对比实验

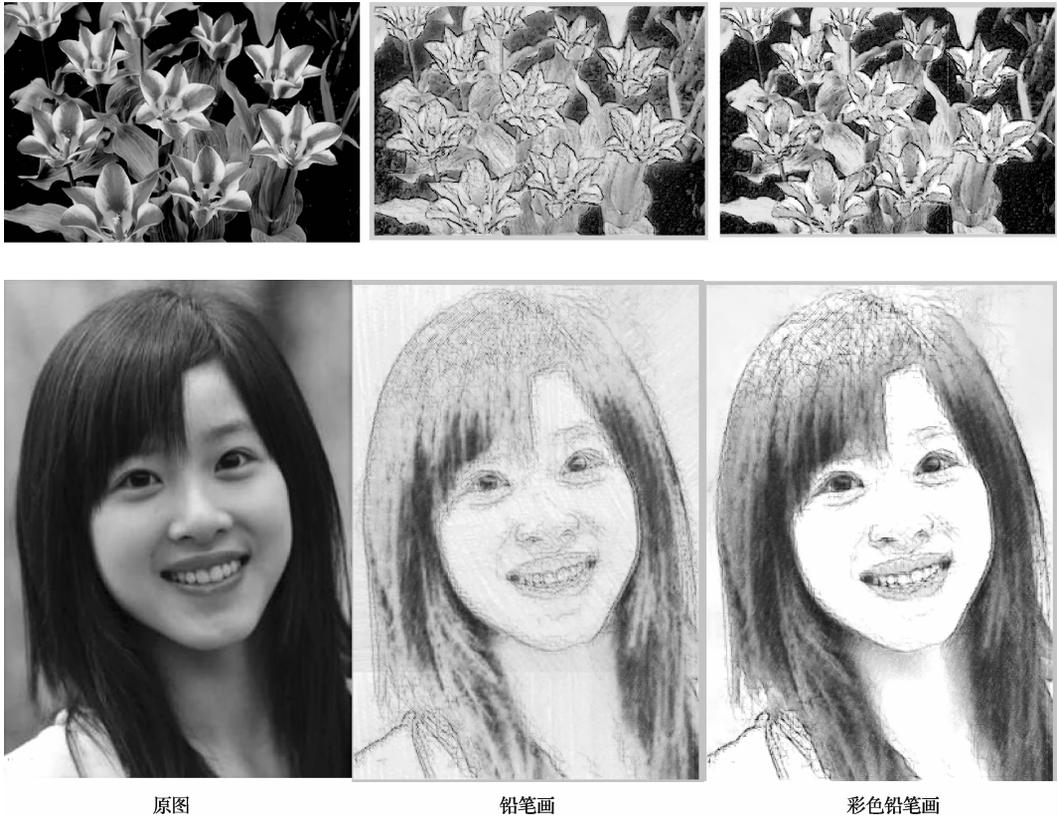


图 10 原图、铅笔画、彩色铅笔画效果

5 结 论

通过纵向和横向的对比实验表明,本系统自动生成的素描画更接近于手绘画。在图像处理过程中采用高频提

升滤波的方法对图像进行预处理,使得图像能包含更加丰富的轮廓信息,增加图像对比度。在提取轮廓阶段设置的 2 个参数能产生不同效果的轮廓线图。通过建立一个参数模型的方法对图像进行分层,选取人们所绘制的铅笔画纹

理对每一层进行色调渲染。通过轮廓和纹理的卷积叠加最终生成素描铅笔画,并且将系统进一步延伸到了彩色铅笔画的自动生成。光照因素始终是非真实感图像研究的重点,未来工作是进一步研究光照对铅笔画自动生成带来的影响。

参考文献

- [1] VERMEULEN A H, TANNER P P. Pencil Sketch-a pencil-based paint system [C]. Graphics Interface, 1989, 89: 138-143.
- [2] SOUSA M C, BUCHANAN J W. Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D Polygonal Models [C]. Computer Graphics Forum. Blackwell Publishers Ltd, 1999, 18(3): 195-208.
- [3] 郭斯羽, 董红霞, 张翌等. 一种用于植物叶片图像骨架提取的去毛刺方法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(1): 52-56.
- [4] MAO X, NAGASAKA Y, IMAMIYA A. Automatic generation of pencil drawing from 2D images using line integral convolution [C]. CAD/Graphics, 2001, 240-248.
- [5] YAMAMOTO S, MO X, IMAMIYA A. Enhanced LIC pencil filter [C]. Proceedings, International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, 2004. CGIV 2004. IEEE, 2004: 251-256.
- [6] FELZENSZWALB P F, HUTTENLOCHER D P. Efficient graph-based image segmentation [J].

International Journal of Computer Vision, 2004, 59(2): 167-181.

- [7] 冯登超, 陈刚, 吴新颖, 等. 纹理特征提取的不变矩探讨 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(4): 57-59.
- [8] CHEN Z, ZHOU J, GAO X, et al. A novel method for pencil drawing generation in non-photo realistic rendering [M]. Advances in Multimedia Information Processing-PCM 2008. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 931-934.
- [9] LU C, XU L, JIA J. Combining sketch and tone for pencil drawing production [C]. Proceedings of the Symposium on Non-Photo realistic Animation and Rendering. Euro graphics Association, 2012: 65-73.
- [10] 赵振兵, 金思新, 刘亚春. 基于 NSCT 的航拍绝缘子图像边缘提取方法 [J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(9): 2045-2052.
- [11] 宋瑞华, 王宏伟, 薛强飞. 基于优化蚁群算法的图像边缘检测改进算法 [J]. 电子测量技术, 2013, 36(8): 56-60.

作者简介

徐美婷, 1989 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为非真实感图像的自动生成。

E-mail: fancybear01@163.com

杨士颖, 1960 年出生, 硕士生导师。主要研究方向为计算机图像, 数字媒体技术应用。

是德科技推出 PXIe 测量加速器, 测量速度提升百倍

新的能力使功率放大器数字预失真测试成为业界领先

2015 年 5 月 25 日, 北京——是德科技公司 (NYSE: KEYS) 日前宣布推出 PXIeM9451A 测量加速器, 它是一款高性能 FPGA 处理卡, 能够加快功率放大器测试的包络跟踪 (ET) 和数字预失真 (DPD) 表征。使用 M9451A, 工程师能够在几十毫秒内完成闭环/开环 DPD 和包络跟踪测量, 速度提升百倍。

M9451A 现在整合到 RF PA/FEM 表征和测试参考解决方案中, 可以在保持高精度 S 参数、谐波失真、功率和解调测量的同时, 提供更高的测试吞吐量。参考解决方案能够全面表征新一代功率放大器模块, 例如功率放大器、双工器 (PAD)。

参考解决方案中的强大的数字预失真 (DPD) 算法是是德科技与无线设备制造商长期紧密合作的结晶, 以及 Keysight SystemVue 仿真软件和 N7614B Signal Studio 功率放大器测试应用软件为参考解决方案提供了深入的洞察能

力。这使它成为市场上唯一能够针对下一代功率放大器模块, 提供从仿真到制造全程一致性测量的解决方案。

参考解决方案的开源测试脚本实例代码能够帮助工程师快速评测功率放大器测试配置, 缩短首次测量的时间。利用这种新功能, 工程师可以通过数字预失真和包络跟踪技术改善器件性能, 同时缩短测试时间。

Keysight PXI 和 AXIe 模块化产品以及参考解决方案均受益于是德科技可靠的测量科学和校准专业技术。从研发阶段到生产阶段始终提供一致的测量结果, 使客户能够加快设计速度, 更快将产品推向市场。

PAD 正逐渐取代传统的功率放大器体系结构, 因为它们除了能够降低功耗、提升效率和价值之外, 还允许器件设计人员用单一的紧凑型模块替代多个分立元件, 从而节省和优化利用空间。随着新 LTE 网络的实施, 频段数也将逐渐增加, 因此 PAD 正迅速赢得器件设计人员的青睐。