

# 基于特征像素相关性的虚假图像盲检测算法

张菲菲<sup>1</sup> 荆涛<sup>1</sup> 李兴华<sup>1</sup> 卢燕飞<sup>1</sup> 张继虎<sup>2</sup>

(1. 北京交通大学电子信息工程学院多媒体教研室, 北京 100044; 2. 国防科工委信息中心, 北京 100048)

**摘要:** 复制粘贴型 (Copy-Move) 篡改方式是把数字图像中一部分区域进行复制并粘贴到同一幅图像的另一个区域, 以达到去除图像中某一重要内容的目的, 是一种简单而有效的图像篡改技术。本文针对这种篡改方式, 提出了一种利用图像特征像素间的相关性检测篡改图像的盲检测方法, 为去除图像中少量噪声, 降低算法的复杂度, 本文对图像进行双树复小波变换 (DTCWT), 之后对图像块进行最大类间方差阈值计算和二值化处理, 最后计算各个图像块的相关性。实验结果表明, 本文提出的篡改认证方法能有效地对抗噪声对认证的影响, 对一般的噪声 (高斯噪声、低频滤波) 具有很好的鲁棒性。

**关键词:** 盲检测; 特征像素相关性; 阈值选择; 双树复小波变换

**中图分类号:** TP309 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2010)10-1567-06

## Blind Detection of Digital Forgeries Using Correlation of the feature pixel

ZHANG Fei-fei<sup>1</sup> JING Tao<sup>1</sup> LI Xing-hua<sup>1</sup> LU Yan-fei<sup>1</sup> ZHANG Ji-hu<sup>2</sup>

(1. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044; China;

2. Information Center of COSTIND, Beijing 100048; China)

**Abstract:** Copy and paste-type form (Copy-Move) of tampering with the digital image is that copies the part of the region and pastes it into another area with an image. This way is in order to achieve the removal of the important contents of an image. It is a simple and effective technology of the image tampering. In response to this distorted way, this paper presents a blind detection method that detects the correlation of the image feature pixel. In order to remove the little noises and reduce the computational complexity, this paper also use the DTCWT accuracy in the image, then calculates the threshold of the image blocks, the last calculate the correlation of the image blocks. The experimental result indicates that tampering authentication method proposed in this paper can effectively combat the impact of noise on the certification; this approach has the good robust to the general noise such as Gaussian noise and low frequency filter.

**Key words:** Blind Detection; Correlation of feature pixel; Threshold Selection; Dual tree complex wavelet transform

## 1 引言

图像作为信息的重要载体, 广泛的应用到社会的各个方面。随着社会朝着信息化的方向发展, 低成本、高性能及有快捷操作界面的图像处理软件也得到很大的推广和应用, 利用诸如 Photoshop 等图像编辑软件, 用户可以对图像进行拼接、合成、效果处理等各种编辑处理。这使得数字图像无法可靠地应用在法庭判决、医疗措施制定等需要保证图像真实性的场合。例如,

2006 年 CCTV 评选出的年度十大新闻图片, 一经公布, 其中的名为《青藏铁路为野生动物开辟生命通道》的图片被网友指出存在篡改疑点。后经调查, 图片拍摄者承认该图确系使用 Photoshop 处理合成的。如图 1 所示。

因此, 如何对图像进行检测, 判断图像是否为真实自然的图像显得非常重要。而图像取证技术可以检测图像的真实性和可信性。因此, 图像取证技术目前已成为信息安全领域中一个新兴且极为重要的研究方向。



图1 CCTV2006年度十大新闻图片  
《青藏铁路为野生动物开辟生命通道》

目前国内外针对数字图像认证主要有两大类方法:主动图像认证和被动图像认证。主动图像认证主要包括图像水印技术、图像数字签名技术等,其主要思想是事先在图像中嵌入保护信息得到认证结果。但需要事先在图像中嵌入信息,适用于对图像的版权保护等领域<sup>[1]</sup>。

被动图像认证是新兴的热门课题,目前已取得一定成果。例如, Jessica Fridrich 对图像的复制粘贴( Copy-Move 简单的拷贝图像即将一部分背景复制粘贴到另外一个区域去)篡改进行取证检测<sup>[2,3]</sup>,算法是采用量化 DCT 系数模糊匹配法对图像进行检测,但该算法对图像中的噪声非常敏感,对有 JPEG 压缩图像或者被噪声污染的图像不能进行有效的检测。文献[4]中提出的算法是针对图像复制一粘贴后复制块经过旋转、镜像以及缩放等操作进行检测,但这个算法检测不出经过 JPEG 压缩的图像和彩色图像。Sevinc Bayram 提出的算法是采用提取图像边界的方法检测 Copy-Move 型篡改图像<sup>[5]</sup>,这个方法对经过压缩、旋转、缩放等篡改方式都有效;文献[6]提出的算法是通过提取彩色图像特征值,可以检测出经过复制粘贴的彩色图像。这种方法能有效地对抗多种区域复制的后处理操作,包括高斯噪声、JPEG 压缩以及他们的混合操作。

本文针对复制粘贴(copy-move)型图像篡改,由于那些复制的部分来自同一幅图像,图像的动态范围、图像调色板、图像的噪声成分以及图像的相关性和图像的被复制部分都是一致的,这样可以利用图像间的像素相关性检测篡改区域。因此,本文提出的算法是通过计算图像块间的相关性对自然图像进行检测。最常用的是相关匹配法:传统相关匹配算法、诸如序贯相似检测算法相关匹配法(SSDA)<sup>[7]</sup>、多分辨率塔形结构算法(MPSA)<sup>[8]</sup>以及基于 MCD(Maximum Close Distance)距离<sup>[9]</sup>的相关匹配法等等。这几种算法计算量主要耗失在对图像的像素点遍历上。事实上,经过阈值分割

和二值化后的图像,一般图像对匹配位置的判断是不起任何作用的,可以进一步将其舍弃,而与复制块相似的背景物和噪声是图像匹配的主要障碍。如果能将像素点遍历转换成若干匹配区域的 MCD 判别,那么计算量会大为降低,因此本文提出一种基于特征像素间相关性的虚假图像盲检测算法。

## 2 盲检测算法的关键问题

本文首先简要介绍图像相关性的概念。一幅图像各个部分的相关性很小,如果对图像进行本图像内的复制粘贴操作后,图像中这两个部分的相关性是一致的<sup>[10-11]</sup>。为了混淆人们的视觉,篡改者会加入少量噪声,以进行模糊化处理。基于这种理论,本文提出了一种算法,基本思想是首先提取图像灰度值,以得到比较精确的灰度值数据,然后对图像进行阈值分割,最后进行相关性计算,从计算结果中识别真假图像。

### 2.1 图像灰度值的提取

为了得到精确的阈值,去除图像灰度值中的少量噪声,本文对图像灰度值数据进行再提取,其中使用二维双树复小波变换。双树复小波变换具有的优点有:近似平移不变性、良好的方向选择性、有限的冗余、较高的计算效率和较好的重构效果。

下面简单介绍双树复小波变换(DTCWT)原理。Kingsbury 提出了在同一个数据上,用两个独立的小波变换平行作用完成复数小波变换<sup>[12-13]</sup>,即  $\psi(t)$  由公式(1)计算。

$$\psi(t) = \psi_h(t) + i\psi_g(t) \quad (1)$$

其中  $\psi_h(t)$ ,  $\psi_g(t)$  均是实数值小波。

二维双树复小波变换,因为有  $\psi(x, y) = \psi(x)\psi(y)$ , 所以若  $\psi(t)$  是复数,则有

$$\begin{aligned} \psi(x, y) &= [\psi_h(x) + i\psi_g(x)][\psi_h(y) + i\psi_g(y)] \\ &= \psi_h(x)\psi_h(y) - \psi_g(x)\psi_g(y) \\ &\quad + i[\psi_g(x)\psi_h(y) + \psi_h(x)\psi_g(y)] \end{aligned} \quad (2)$$

二维双树复小波变换如图2所示<sup>[14-15]</sup>。双树复小波变换可通过一对滤波器组同时作用在输入数据上实现。它包含两个平行的小波树,即树 A(Tree A)和树 B(Tree B)两个分支,并行的实现实部和虚部运算。其中上部分树 A 的叠加滤波器组表示复数小波变换的实部,下部分树 B 的叠加滤波器组表示复数小波变换的虚部。 $h_0(n)$ ,  $h_1(n)$  表示共轭正交滤波器对,  $g_0(n)$ ,  $g_1(n)$  表示共轭积分滤波器对,  $\downarrow 2$  表示隔点取样。与

滤波器对  $h_0(n), h_1(n)$  相对应的实数值尺度函数  $\varphi_h(t)$  和小波函数  $\psi_h(t)$  定义如下:

$$\begin{aligned} \varphi_h(t) &= \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \varphi_h(2t - n), \\ \psi_h(t) &= \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \varphi_h(2t - n) \end{aligned} \quad (3)$$

而与滤波器对  $g_0(n), g_1(n)$  相应的实数值尺度函数  $\varphi_g(t)$  和小波函数  $\psi_g(t)$  定义如下:

$$\begin{aligned} \varphi_g(t) &= \sqrt{2} \sum_n g_0(n) \varphi_g(2t - n), \\ \psi_g(t) &= \sqrt{2} \sum_n g_1(n) \varphi_g(2t - n) \end{aligned} \quad (4)$$

图 2 中, 每级分解后得到 2 个低频带分别记做  $A(j+1, 1)$  和  $A(j+1, 2)$  (低频部分用于产生下一个尺度上的低频和高频部分), 同时得到 6 个方向 ( $\pm 15^\circ, \pm 45^\circ, \pm 75^\circ$ ) 的高频子带  $D(j+1, m), m = 1 \dots 6$ 。无论二维双树复小波变换的分解树有多深, 其总体冗余都为 4:1。

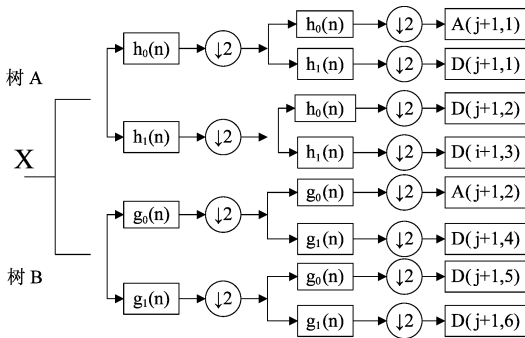


图 2 二维双树复小波变换

上述得到的低频逼近子带数据即为经过双树复小波变换后提取的图像精确灰度值。通过对这些灰度值进行阈值选择, 求得阈值, 并利用该阈值和某些初始化的参数, 进行相关性计算。

### 2.2 阈值选择

阈值分割<sup>[16]</sup>是一种基于区域的图像分割技术, 其基本原理是: 通过设定不同的特征阈值, 把图像像素点分为若干类, 常用的特征包括: 直接来自原始图像的灰度或彩色特征; 由原始灰度或彩色值变换得到的特征。设原始图像为  $f(x, y)$ , 按照一定的准则在  $f(x, y)$  中找到特征值  $T$ , 将图像分割成两个部分, 分割后的图像为:

$$g(x, y) = \begin{cases} b_0, & f(x, y) < T \\ b_1, & f(x, y) \geq T \end{cases} \quad (5)$$

阈值法图像分割方法分为全局阈值法和局部阈值法。全局阈值法<sup>[17]</sup>指利用全局信息对整幅图像求出

最优分割阈值, 可以是单阈值, 也可以是多阈值。局部阈值法是把原始的整幅图像分为若干个图像块, 再对每个图像块用全局阈值法分别求出最优分割阈值。阈值分割法的结果很大程度上依赖于阈值的选择, 因此该方法的关键是如何选择合适的阈值。

本文采用最大类间方差法进行阈值选取, 它具有计算简单、稳定有效等优点。其思路是将图像直方图在某一阈值处分割成两组, 当分成的两组的方差为最大值时, 得到阈值。因为方差是灰度分布均匀性的一种量度, 方差值越大, 说明构成图像的两部分差别越大, 当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小, 因此使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

本文选取图像格式是  $256 * 256$ , 则图像的灰度级范围是  $0, 1, 2, \dots, 255$ , 设灰度级  $i$  的像素点个数为  $m_i$ ,

图像的像素点的总数为  $M = \sum_0^{L-1} m_i$ , 则灰度级  $i$  的出现

概率  $p_i$  定义为  $p_i = \frac{m_i}{M}$ , 且  $\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$ 。阈值  $t$  把图像像素分成  $C_0 = (0, 1, \dots, t)$  和  $C_1 = (t + 1, t + 2, \dots, L - 1)$  两类。则方差为:

$$\begin{aligned} \sigma_T^2(t) &= \sigma_\omega^2 + \sigma_\mu^2 = (\omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2) \\ &+ (\omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2) \end{aligned} \quad (6)$$

其中,  $\sigma_\omega^2(t)$  为类间方差,  $\sigma_\mu^2(t)$  为类内方差,  $\omega_0$  为  $C_0$  类出现概率,  $\omega_1$  为  $C_1$  类出现概率,  $\mu_0$  为  $C_0$  类的均值,  $\mu_1$  为  $C_1$  类的均值,  $\sigma_0^2$  为  $C_0$  类方差,  $\sigma_1^2$  为  $C_1$  类方差。根据两类方差的比值即可算出阈值。

### 3 盲检测算法描述

根据上面的描述, 提出了以下算法。该算法流程如图 3 所示:

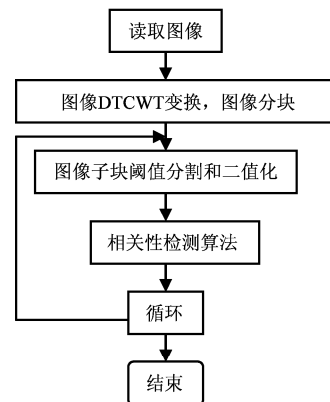


图 3 算法流程图

### 步骤1: 图像预处理

对图像进行双树复小波变换,并将图像分块

对输入图像进行2.1节所述的双树复小波变换,得到二维的精确灰度值。图像经DTCWT后对应各子频带的值为相应的小波系数,根据小波图像各子频带的重要性,本文采用低频逼近子带作为图像的特征值。将提取到得特征值 $Y1(M \times N)$ 划分为 $(M/b) \times (N/b)$ 个不重叠的大小为 $b \times b$ 的小块 $P_i(0 < i < (M/b) \times (N/b))$ 。

### 步骤2: 图像块二值化

对图像 $P_i$ 和 $P_j(i \neq j, 0 < i < (M/b) \times (N/b), 0 < j < (M/b) \times (N/b))$ 进行预处理,完成阈值分割和二值化

阈值是本文的关键参数之一,它直接影响检测的精确度。本文采用基于最大类间方差法对图像子块计算最优阈值。根据2.2节中公式(6)求的图像子块两个类的方差,则阈值 $t$ 的等价判决准则函数:

$$\eta(t) = \frac{\sigma_w^2}{\sigma_\omega^2} = \frac{\omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2}{\omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2} \quad (7)$$

其中, $\omega_0$ 为 $C_0$ 类出现概率, $\omega_1$ 为 $C_1$ 类出现概率, $\mu_0$ 为 $C_0$ 类的均值, $\mu_1$ 为 $C_1$ 类的均值, $\sigma_0^2$ 为 $C_0$ 类方差, $\sigma_1^2$ 为 $C_1$ 类方差。通过等价判决准则的最大值得到最优阈值: $t^* = \operatorname{argmax} \eta(t)$ 。即阈值 $t$ 将图像子块分成两部分,使得两类总方差取得最大值的 $t$ ,即为最佳分割阈值。

### 步骤3: 提取特征像素值

以图像子块中第一像素为原点建立直角坐标系,在图像子块 $P_i$ 中选取特征像素点,假定其灰度值为 $R$ 。统计 $X$ 坐标轴上各个坐标值图像灰度值等于 $R$ 的像素点个数,取像素点个数最多的坐标值,记为 $X_{\max}$ ,同理对应 $Y$ 坐标轴得到 $Y_{\max}$ ;统计图像子图 $P_j$ 中 $X$ 坐标轴上各个坐标上图像灰度值等于 $R$ 的像素点个数,取其中不小于 $X_{\max}$ 的坐标值,得到一个 $X$ 坐标向量 $[X_i | i = 1, 2, \dots, I]$ ,同理可以得到 $Y$ 坐标向量 $[Y_j | j = 1, 2, \dots, J]$ ,两个向量元素构成的组合有 $I \times J$ 个。

### 步骤4: 计算像素相关性

取步骤3中坐标向量 $X1$ 和 $Y1$ ,计算 $\Delta X = X1 - X_{\max}$ , $\Delta Y = Y1 - Y_{\max}$ ,将图像子图 $P_j$ 的坐标做变换,使得 $X' = X + \Delta X$ , $Y' = Y + \Delta Y$ ,得到图像块 $P_i$ 上的匹配区域 $(X', Y')$ 。遍历所有的 $I \times J$ 个组合,得到 $I \times J$ 个匹配区域。计算各匹配区域的MCD(Maximum Close Distance)距离,即

$$D(A, B) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Q(A_{i,j}, B_{i,j}) \quad (8)$$

$$Q(A_{i,j}, B_{i,j}) = \begin{cases} 1, & \text{当 } |A_{i,j} - B_{i,j}| < T \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

选取MCD的最大值所对应的区域就是图像匹配的结果。最后遍历所有的图像块,找到图像中所有的匹配区域。

## 4 实验结果

实验仿真用到的篡改图像是由Photoshop处理得到的灰度图像。如图4中所示,图(a)为原始Lina图像,图(b)为将图像中背景复制一部分到其他背景中,背景的显著纹理很难从视觉觉察这些重复内容。图像(c)是将图像分成 $8 \times 8$ 的块后采用本文方法的检测结果,图像(d)将图像分成 $16 \times 16$ 的块后采用本文方法的检测结果。由图(c)和(d)可以看出,分块越大,漏检的概率就增大。为方便检测结果的对比显示,用黑色表示篡改过的部分。为了测试稳健性,对篡改后图像叠加高斯噪声(PSNR=35.6dB)、 $3 \times 3$ 高斯低通滤波(PSNR=34.5dB)等处理,检测情况如下图(e)和图(f)所示。



图4 lina篡改图像检测结果

图 5 是电影《龙凤斗》图像,使用 Photoshop 篡改图像后检测其真实性的。图(a)是《龙凤斗》的原始图像,图(b)是截取一部分原始图像后得到的图像;图(c)是对图(b)篡改后的图像,图像中刘德华的胡子部分是截取自他脸部的一部分区域。(d)图是篡改后检测出的结果。为方便显示检测结果,将篡改过的部分改成黑色。为了测试稳健性,对篡改后图像叠加高斯噪声(PSNR=35.6)、3\*3 高斯低通滤波(PSNR=34.5)等处理,检测情况如下(e)图和(f)图所示。从图可以看出,本论文提出的方法可以准确的找到篡改部分。



图 5 篡改图像检测结果

通过实验可知,对于图像块的划分,分块越大,在同一阈值  $t$  前提下漏检的可能性也越大;与之相对应,分块划分过小,检测的准确性虽然提高了,但降低了检测的速度,同时可能会出现大量的虚警现象。另外,阈值的选择是本文重要的评价指标,它选择的正确与否直接影响检测结果的精度。本文算法在抵抗噪声干扰

方面有一定的稳健性,而这种干扰在图像的传播过程中是不可避免的。在本文中,选用双树复小波变换后的低频逼近自带作为图像减少像素值后的数据进行操作,由于低频逼近子带的大小是原图像大小的一半,因此采用双树复小波变换对图像降维可以降低计算复杂度。

## 5 结论

本文提出了一种利用图像特征像素间的相关性检测篡改图像的盲检测方法,针对用户在对图像进行篡改时加入噪声等操作,本文采用双树复小波变换对图像灰度值进行再提取,降低了计算复杂度。由本文列举图中可以看出,该算法可以从计算数据上比较准确的定位出篡改区域。当伪造者把图像中的部分内容复制到同一幅图像的不同位置或另一幅图像时,往往要经过旋转或缩放等几何操作以获得合适的大小和方向,针对此类篡改如果利用本文方法,并结合双树复小波变换的多尺度分析特点可能会取得较好的检测结果,这还有待于进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 丁晋品,蒋铃鸽,何晨.一种针对 LSB 嵌入方式水印的改进的全盲检测方案.高技术通讯,2007,7(17):681-685.
- [2] Jan Lukas, Jessica Fridrich. Estimation of Primary Quantization Matrix in Double Compressed JPEG Images. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003,53(2):120-137.
- [3] Jessica Fridrich, David Soukal, Jan Lukas. Detection of Copy-Move Forgery in Digital Image. Department of Computer Science SUNY Binghamton, Binghamton, NY, 2005.
- [4] 王睿,方勇.基于不变矩的 copy-move 型篡改图像盲检测算法.中国图像图形报,2008,13(10):1938-1941.
- [5] Sevinc Bayram, Husrev Taha Sencar, Nasir Memon. An Efficient and Robust Method For Detecting Copy-Move Forgery. IEEE ICASSP, 2009:1053-1056.
- [6] 骆伟祺,黄继武,丘国平.鲁棒的区域复制图像篡改检测技术.计算机学报,2007,30(11):1998-2007.
- [7] 黄飞,李德华,姚迅.基于相关匹配及自适应模板更新的目标跟踪新方法,计算机工程,2007,33(16):147-149.
- [8] 沈慧玲,戴本祁.一种基于序贯相似性检测算法(SSDA)的加速算法,光电技术应用,2006,21(4):60-63.
- [9] 姜凯,陈海霞,汤建华.一种快速图像匹配算法的设计与实现,计算机工程与应用,2004,40(11):87-89.
- [10] Jing Zhang, Zhanlei Feng, Yuting Su. A New Approach for Detecting Copy-Move Forgery in Digital Images. IEEE ICCS, 2008:362-366.
- [11] 魏为民,王朔中,唐振军.一类数字图像篡改的被动认证.东南大学学报(自然科学版),2007,37(1):58-61.
- [12] Feng Xiaohui, Wang Weining. DTCWT-based dynamic textures for visual speech recognition. IEEE Asia-Pacific

Conference on Circuits and Systems, 2009:497-500.

- [ 13 ] 周伟华, 王鑫, 罗斌. SAR 图像降噪的双树复小波变换相位保持算法. 第十二届全国图像图形学学术会议, 2005:651-654.
- [ 14 ] Shahid Mohd, Gupta Sumana. Novel masks for multimodality image using DTCWT. IEEE Region 10 Conference, 2007, 10( 13 ):1-5.
- [ 15 ] Guang Yang, Kexiong Chen, Maiyu Zhou. Study on Statistics Iterative Thresholding Segmentation Based on Aviation Image. SNPD, 2007, 187-188.
- [ 16 ] Li X, Ramachandran R, He M. Comparing different thresholding algorithms for segmenting auroras. ITCC, 2004, 2( 2 ):594-601.
- [ 17 ] Hai-Tao Fang, De-Shuang Huang. Wavelet de-noising by means of trimmed thresholding. Intelligent Control and Automation, 2004, 2:1621-1624.

#### 作者简介



张菲菲 (1986-), 女, 硕士研究生, 北京交通大学电子信息工程学院多媒体实验室, 主要研究方向包括多媒体信号处理及网络应用。

E-mail:08120103@bjtu.edu.cn



荆涛 (1969-), 男, 教授, 北京交通大学科学技术处, 主要研究领域为现代通信理论、IP 多媒体通信、视频信息处理与网络业务等。

E-mail:tjing@bjtu.edu.cn



李兴华 (1967-), 男, 副教授, 北京交通大学电子信息工程学院多媒体实验室, 研究方向为无线视频通信, 数字图像等。

E-mail:xhli@bjtu.edu.cn



卢燕飞 (1971-), 男, 高级工程师, 北京交通大学电子信息工程学院多媒体实验室, 研究方向包括多媒体信号处理及网络应用。E-mail:yflu@bjtu.edu.cn



张继虎, 工程师, 国防科工委信息中心副主任, 主要研究方向为单片机与嵌入式系统, 计算机网络, 信息安全等。