

Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载 与增量补偿系统*

王晓雷[†] 李智磊 翟宏琛 王明伟

(南开大学现代光学研究所, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

(2009 年 11 月 9 日收到; 2010 年 1 月 11 日收到修改稿)

提出一种基于光学原理的 Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统, 并给出一种隐秘信息的加载方式, 可实现光学图像信息隐藏. 宿主图像经过随机相位调制后进行 Fourier 变换得到频率域的随机谱, 在此随机谱上加载隐秘信息, 同时, 系统对由隐秘信息的加入所产生的影响进行补偿. 利用该系统所得到的载体图像未经正确的密钥-随机相位-调制时, 隐秘信息将弥散在载体图像的 Fourier 频率域空间, 具有较好的不可检测性. 此外, 即使攻击者知道隐秘信息的存在甚至知道隐藏方法, 但在不知道密钥的情况下, 依然无法破解隐秘信息的内容, 并且很难在不严重破坏图像质量的情况下消除隐秘信息. 而在隐秘信息的提取过程中, 不需要原始图像以及与原始图像或隐秘信息相关的附加信息的参与. 模拟实验验证了该系统的可行性, 也给出了对 Gauss 型噪声和椒盐噪声的鲁棒性.

关键词: Fourier 变换, 随机相位, 增量共轭, 图像信息隐藏技术

PACC: 4230K, 4230V, 4240F

1. 引 言

不可感知性、不可检测性和安全性是对图像信息隐藏系统的重要要求. 不可感知性是指隐藏信息的存在无法被人类的视觉系统察觉到; 不可检测性进一步要求隐藏信息的存在也不可或者很难被计算机分析出来; 安全性是指即使攻击者知道隐藏信息的存在甚至知道隐藏信息嵌入的算法, 但在不知道密钥的情况下仍然无法破解隐藏信息的内容. 另一方面, 我们也希望在接收端可以对载体图像进行盲检测, 即提取隐秘信息时, 不需要宿主图像的参与. 此外, 如果密钥与宿主图像或隐秘信息无关, 那么在实际传输时就只需要传输包含了隐秘信息的载体图像, 而无需其他附加信息, 这样会使隐秘信息的传输更不易被察觉.

在图像信息隐藏技术研究中, 基于数字方法实现的方式与基于光学方法实现的方式相比, 前者因不受光学元件的限制而具有更强的灵活性, 一般较

易于满足上述要求. 但是基于光学原理, 采用光学方法或者数字、光学相结合的方法构成的信息隐藏系统很难全部兼顾上述要求. 如文献[1, 2]很容易通过频谱分析检测出隐秘信息的存在并被移除. 文献[3]将双随机相位加密应用到信息隐藏之中, 增强了系统的安全性, 但是在保证载体图像质量与保证隐秘图像质量之间难以调和. 一般我们认为经过处理的图像的峰值信噪比(PSNR)值应在 30—35 以上才具有较好的质量且不易被人眼察觉到改变, 而在该方法中, 若使载体图像 PSNR 值达到 30 以上, 恢复出的隐秘图像的 PSNR 值将降至 20 以下, 质量严重下降. 在以文献[4—9]为代表的图像隐藏技术研究中, 载体图像的质量与能够提取出的隐秘信息的完整程度都得以保证, 但在提取隐秘信息时需要与宿主图像或隐秘信息有关联的密钥. 如文献[4—7]中作为密钥的随机相位是在隐秘信息与相息图间进行迭代时产生, 与隐秘信息相关联; 而文献[8, 9]中作为密钥的随机相位是在宿主图像与隐秘图像间迭代时产生, 它同时与宿主图像以及隐秘信息

* 国家自然科学基金(批准号:10904079, 60838001)和高等学校博士学科点专项科研基金(批准号:20090031120041, 20070055029)资助的课题.

[†] E-mail: wangxiaolei@nankai.edu.cn

相关联. 这种提取时所需密钥与宿主图像或隐秘图像相关联的图像隐藏方法非常适合于版权认证、身份识别等方面的应用, 但对于以不引起攻击者注意为主要目标的隐写术方面的应用, 这些方法由于在传输载体图像的同时还需要传输密钥, 增加了引起攻击者注意的可能性, 因此不再适用.

如前所述, 本文针对现有基于光学原理的图像信息隐藏技术, 特别是图像隐写术的不足, 提出了一种基于光学原理的 Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统, 对其原理进行了理论推导和分析, 并给出了一种隐秘信息的加载方式, 该系统可应用于光学图像信息隐藏. 模拟实验验证了该系统的可行性, 也给出了对 Gauss 型噪声和椒盐噪声的鲁棒性分析.

2. 基于 Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统的图像隐藏技术原理

宿主图像经过随机相位调制之后进行 Fourier 变换, 可得到一个包含宿主信息的随机谱, 在这个随机谱上嵌入隐秘信息, 而把调制用的随机相位作为密钥. 在这种情况下, 即使解密者知道隐秘信息的嵌入方式, 但在不知道密钥的情况下, 依然无法破解隐秘信息. 进一步, 解密者在不知道密钥的情况下, 甚至无法得知隐秘信息的嵌入位置, 也就无法实施有针对性的攻击策略.

实现上述功能的一个困难是, 当在随机谱里嵌入隐秘信息之后, 不再能保证经过反 Fourier 变换和反调制之后所得到的图像只包含实部, 即此时的载体图像是由包含相位信息的复数构成. 而通常用于接收和传输的图像是没有相位信息的, 因此在接收和传输载体图像的过程中就会丢失这些相位信息. 考虑到这部分丢失的相位信息正是由隐秘信息的嵌入所产生, 可知在这一过程中隐秘信息将遭到严重破坏.

为此, 本文先给出一种加载隐秘信息并对其进行补偿的系统, 可令得到的载体图像只有实部且包含全部隐秘信息. 针对该隐秘信息加载与增量补偿的系统, 再提出一种在随机谱上嵌入隐秘信息的具体方式. 整个系统原理上可以通过光学系统来实现.

2.1. Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统原理

考虑对一个没有经过随机相位调制的宿主图像直接进行 Fourier 变换, 得到的频谱是中心共轭对称的. 如果对该频谱的改动也是中心共轭对称的话, 则再次 Fourier 变换还原所得到的图像是仅包含实部的. 文献[1]提出的信息隐藏方法实际上就运用了这一原理: 对频谱进行高频滤波, 之后在频谱的高频区域嵌入中心共轭对称的隐藏信息, 整个过程对频谱的改动是中心共轭对称的, 所以可以得到仅为实数的载体图像而不损失隐秘信息.

在本文的信息隐藏系统里, 宿主图像需要进行随机相位调制. 假设空间域的宿主图像强度分布为 $I(x, y)$, 其透过率函数为 $U_0(x, y) = \sqrt{I(x, y)}$, 即单位强度平面波穿过宿主图像可得复振幅为 $U_0(x, y) \cdot \exp(i\omega t)$ 的光场分布, 在以下的分析中省略时间因子 $\exp(i\omega t)$. 首先, $U_0(x, y)$ 乘以一个随机相位板 $M(x, y) = \exp[i \cdot 2\pi r(x, y)]$ 对其进行随机相位调制, 其中 $r(x, y)$ 为在区间 $[0, 1]$ 均匀分布的随机函数, 则调制后的空间域复振幅分布

$$U_M(x, y) = U_0(x, y) \exp[i \cdot 2\pi r(x, y)]. \quad (1)$$

对 $U_M(x, y)$ 做 Fourier 变换, 得到 Fourier 频率域随机谱复振幅分布

$$F_M(u, v) = \mathcal{F}\{U_M(x, y)\}. \quad (2)$$

将隐秘信息以特定方式加入到 $F_M(u, v)$ 中, 得到 $F_{M, \text{info}}(u, v)$, 具体加入方式将在 2.2 节介绍. 设加入隐秘信息后 Fourier 频率域随机谱的复振幅增量为 $dF(u, v)$, 则

$$dF(u, v) = F_{M, \text{info}}(u, v) - F_M(u, v). \quad (3)$$

将(1)和(2)式代入(3)式, 得到加入隐秘信息之后的宿主图像在 Fourier 频率域的复振幅分布为

$$F_{M, \text{info}}(u, v) = \mathcal{F}\{U_0(x, y) \exp[i \cdot 2\pi r(x, y)]\} + dF(u, v). \quad (4)$$

对(4)式的结果进行反 Fourier 变换并去除随机相位的影响, 从而得到加入隐秘信息后的空域宿主图像复振幅分布. 在上述的整个过程中, 隐秘信息对空域宿主图像复振幅分布的影响为

$$\begin{aligned} dU_{\text{info}}(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}\{F_{M, \text{info}}(u, v)\} \\ &\quad \times \exp[-i \cdot 2\pi r(x, y)] - U_0(x, y) \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{dF(u, v)\} \exp[-i \cdot 2\pi r(x, y)]. \end{aligned} \quad (5)$$

(5)式中, $dU_{\text{info}}(x, y)$ 通常包含相位信息, 因此

需要对该系统进行补偿,以使最终对宿主图像复振幅分布的改变仅包含实数.

由于 $dU_{\text{info}}(x,y)$ 表示加入的隐秘信息对空域宿主图像的影响,因此现在考虑这种影响在 Fourier 频率域的表现,即对 (5) 式进行 Fourier 变换. 设 $dF_{\text{eff}}(u,v) = \mathcal{F}\{dU_{\text{info}}(x,y)\}$, 则

$$\begin{aligned} dF_{\text{eff}}(u,v) &= \mathcal{F}\{dU_{\text{info}}(x,y)\} \\ &= dF(u,v) \otimes \\ &\quad \mathcal{F}\{\exp[-i \cdot 2\pi r(x,y)]\}. \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 式的物理含义是,对于经过随机相位 $\exp[i \cdot 2\pi r(x,y)]$ 调制的空间域复振幅分布,当在其 Fourier 频率域施加增量为 $dF(u,v)$ 的改动时,此改动等效于该空间域复振幅分布不经随机相位调制而直接在其 Fourier 频率域施加增量为 $dF_{\text{eff}}(u,v)$ 的改动. 换言之,隐秘信息和随机相位调制以卷积的形式包含在了频率域增量 $dF_{\text{eff}}(u,v)$ 中. 这样,根据前面的分析可知,欲使隐秘信息对空间域复振幅的改变只包含实部,只需在等效的 Fourier 频率域进行补偿,即施加与 $dF_{\text{eff}}(u,v)$ 中心共轭对称的改动即可. 记这一补偿增量为 $\varepsilon_{\text{eff}}(u,v)$, 有

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{eff}}(u,v) &= [dF_{\text{eff}}(u,v)]^{\text{H}} \\ &= [dF(u,v)]^{\text{H}} \otimes \mathcal{F}\{\exp[i \cdot 2\pi r(x,y)]\}, \end{aligned} \quad (7)$$

其中, $[\cdot]^{\text{H}}$ 表示对函数进行中心共轭对称变换.

于是,在未经随机相位调制的空间域,对应的补偿增量为

$$dU_{\text{comp}}(x,y) = \mathcal{F}^{-1}\{\varepsilon_{\text{eff}}(u,v)\}$$

$$\begin{aligned} &= \mathcal{F}^{-1}\{[dF(u,v)]^{\text{H}}\} \\ &\quad \times \exp[i \cdot 2\pi r(x,y)]. \end{aligned} \quad (8)$$

比较 (8) 与 (5) 式可知

$$dU_{\text{comp}}(x,y) = dU_{\text{info}}^*(x,y), \quad (9)$$

即隐秘信息与相应的补偿对宿主图像空间域复振幅分布产生的增量互相共轭. 实际操作时,可先得到隐秘信息对宿主图像空间域复振幅分布产生的增量,然后再求共轭来得到补偿增量.

将宿主图像复振幅分布、隐秘信息引起的增量及相应的补偿引起的增量作复振幅相加运算,就得到了只有实部且包含全部隐藏信息的复振幅分布

$$\begin{aligned} U_{\text{carrier}}(x,y) &= U_0(x,y) + dU_{\text{info}}(x,y) \\ &\quad + dU_{\text{comp}}(x,y). \end{aligned} \quad (10)$$

根据 (4) 式的分析,宿主图像复振幅分布与隐秘信息引起的增量之和 $U_{\text{semi}}(x,y) = U_0(x,y) + dU_{\text{info}}(x,y)$ 可通过对 $F_{M,\text{info}}(u,v)$ 进行逆 Fourier 变换及随机相位反调制得到,因此 (10) 式化为

$$U_{\text{carrier}}(x,y) = U_{\text{semi}}(x,y) + dU_{\text{info}}^*(x,y), \quad (11)$$

其中,

$$\begin{aligned} U_{\text{semi}}(x,y) &= \mathcal{F}^{-1}\{F_{M,\text{info}}(u,v)\} \\ &\quad \times \exp[-i \cdot 2\pi r(x,y)]. \end{aligned} \quad (12)$$

最终,由 $U_{\text{carrier}}(x,y)$ 得到的光强分布就是可用于存储和传输的载体图像,即

$$I_{\text{carrier}} = |U_{\text{carrier}}(x,y)|^2. \quad (13)$$

在这一过程中随机相位分布 $M(x,y)$ 是密钥.

(11) 式表明,根据本方法得到的最终载体图像,由加载了隐秘信息的空间域复振幅分布与隐秘

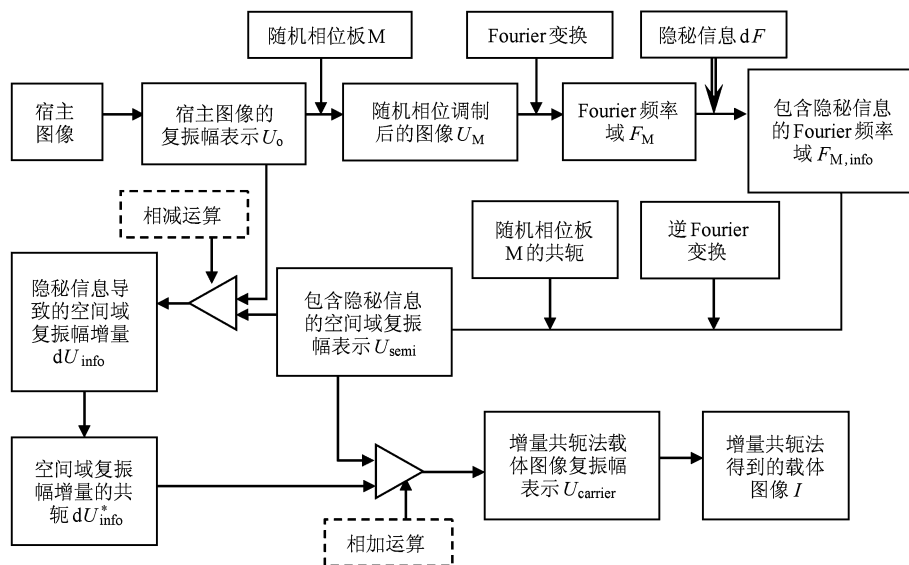


图 1 Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统示意图

信息导致的空间域复振幅增量共轭相加所获得,因此上述所描述的整个过程可以用图 1 来表示.其中,首先通过相位调制、Fourier 变换以及隐秘信息加载得到包含隐秘信息的空间域复振幅表示 U_{semi} ,然后获得隐秘信息导致的空间域复振幅增量共轭 dU_{info}^* ,并最终获得载体图像 U_{carrier} .

在隐秘信息的提取过程中,先将载体图像 I_{carrier} 转换成透过率函数形式 $U_{\text{carrier}}(x, y)$,令 $U_{\text{carrier}}(x, y)$ 乘上与隐藏过程相同的随机相位板 $M(x, y)$,再做 Fourier 变换得到包含隐藏信息的 Fourier 频率域复振幅分布 $F_{\text{carrier}}(u, v)$,从 $F_{\text{carrier}}(u, v)$ 中可以提取隐藏信息,具体的提取方式根据嵌入的方式不同而不同.值得注意的是,用于提取的 Fourier 频率域复振幅分布 $F_{\text{carrier}}(u, v)$ 与仅包含有用的隐藏信息的 Fourier 频率域复振幅分布 $F_{M, \text{info}}(u, v)$ 并不相同,它们之间的差值由补偿增量引起,这一补偿增量在该 Fourier 变换频率域的分布为

$$\begin{aligned} \varepsilon(u, v) &= \mathcal{F}\{\mathcal{F}^{-1}\{\varepsilon_{\text{eff}}(u, v)\} \exp[i \cdot 2\pi r(x, y)]\} \\ &= [dF(u, v)]^H \otimes \mathcal{F}\{\exp[2i \cdot 2\pi r(x, y)]\}. \end{aligned} \quad (14)$$

由于 $r(x, y)$ 是一个均匀随机函数, $\varepsilon(u, v)$ 的能量将弥散在整个变换域空间,对于单独的每一点的影响都较小,在向 Fourier 频率域嵌入信息时,采取有一定容差能力的嵌入方式可以避免这些影响,从而在提取过程中获得正确的隐藏信息.

以上提出的 Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统可在计算机上实现.同时,由于该系统基于光学原理,其功能包括相位调制、Fourier 变换、光学共轭和复振幅相加减等,这些均可采用光学方法实现,因此该系统具有在光学系统中实现的独特优势.

2.2. Fourier 频率域随机谱上的隐秘信息嵌入方式

如 2.1 节所述,由于 $\varepsilon(u, v)$ 会对嵌入的信息造成一定的干扰,选取的嵌入方式应具有一定的容差能力.在此前提下,同时兼顾到光学上的可操作性,我们采用的嵌入方式具体如下.

用有意义的线条图形(如线条文字)对 Fourier 频率域 $F_M(u, v)$ 进行遮挡,从而在 Fourier 频率域形成与线条图形相同形状的黑线.提取时选取适当的强度阈值,将低于阈值的点提取出来做(数字)图形识别以获得隐藏信息.值得注意的是,线条图形本身的含义、摆放的位置及旋转角度都可以成为隐藏

信息的编码方式.采用这种嵌入方式时,Fourier 频率域 $F_M(u, v)$ 上原有的暗点以及 $\varepsilon(u, v)$ 造成的干扰,会使图形的提取平面存在噪声,且有可能造成目标图形较为破碎,所以在图形识别方法的选取上应作相应考虑.在我们之前的研究^[10]中,提出过一个可行的识别方法,能够解决这一问题,本文的实验中,我们采用的也是这一方法.

考虑到在 Fourier 频率域随机谱 $F_M(u, v)$ 上光强大的点会包含更多的宿主图像信息,而我们提出的这种嵌入方式会对 $F_M(u, v)$ 上所有需要遮挡的点无论光强大小都进行遮挡,这对载体图像的质量会造成较大影响,为保证载体图像的质量,嵌入的图形不宜过多.

3. 模拟实验

我们对这一信息隐藏系统进行了计算机模拟实验.实验中采用的宿主图像如图 2 所示,像素数量为 1024×768 ;图 3 是用于编码信息的线条图形,尺寸为 10×16 ,最远的两点距离为 17 像素.考虑到该实验系统可编码位置的最小间隔为 1 像素,可编码的角度数约为 $[17\pi] = 53$,因此理论上,该实验系统可编码的最大信息量约为 $[3\text{lb}[(1024 - 17) \times (768 \div 3 - 17) \times 53]] = 70$ bits.在实际应用时,位置、角度的编码间隔应大于系统允许的最小间隔,以使系统具有一定的容差能力.当位置间隔为 3 像素、角度间隔为 3 个最小间隔时,此实验系统可编码的信息量为 56 bits.

实验中,首先将图 2 所示宿主图像的 Fourier 频率域随机谱均分为上中下 3 部分,在每一部分各嵌入一个经过位置、角度编码的线条图形,如图 4 所示.图 5 是图 4 中 3 处包含线条图形区域的局部放大.图 6 是根据本文所述方法所得到的载体图像,它包含全部隐秘信息且仅为实数分布,其 PSNR 值为 37.12.图 7 是用正确的密钥恢复出来的 Fourier 频率谱,3 处编码图形都清晰可见,图 8 是对这些恢复出来的线条图形区域的局部放大.为了测试载体图像对随机密钥的敏感度,分别采用 98% 正确、95% 正确和完全随机猜测的密钥解密载体图像(图 6),所得到的隐秘信息经局部区域放大后,如图 9,10 和 11 所示.可以看出,密钥中即使只存在 2% 的错误,恢复出来的线条图形就已经很难辨识,而当错误率达到 5% 时,就已经完全无法恢复.由此可判断,该

方法具有出色的抗破解能力,即使攻击者知道隐秘信息的存在甚至知道此隐藏方法,但在不知道密钥的情况下,依然无法破解隐秘信息的内容,并且也很难在不严重破坏图像质量的情况下消除隐秘信息.



图 2 宿主图像

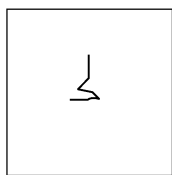


图 3 用于编码的线条图形



图 4 嵌入隐秘信息的 Fourier 频率域随机谱 (边框为人为增加,用以突出图像所在的区域,以下图像的边框作用同此)



图 5 图 4 中三处包含线条图形区域的局部放大



图 6 载体图像

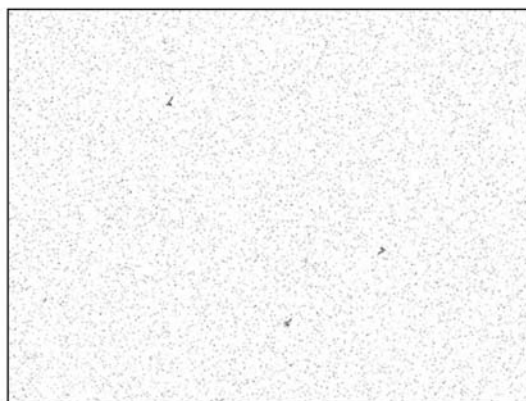


图 7 恢复的 Fourier 变换域频率谱

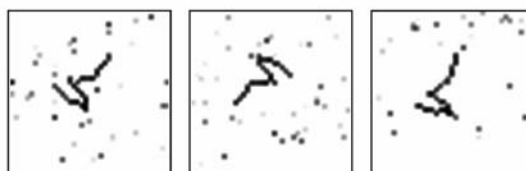


图 8 图 7 中线条图形区域的局部放大

4. 鲁棒性分析

Gauss 型噪声和椒盐噪声是信号传输过程中最常遇到的干扰,我们在模拟实验中对这两种噪声产

生的影响进行了测试.

首先,在载体图像中加入均值为 0、方差为 0.005 的 Gauss 型噪声,为使读者在视觉上有所理解,加入了此强度 Gauss 型噪声的载体图像经放大

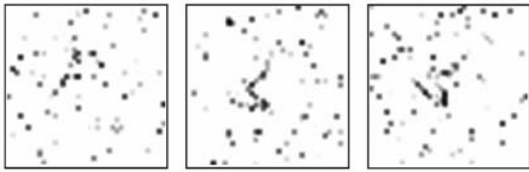


图 9 采用 98% 正确的密钥获得的解密结果

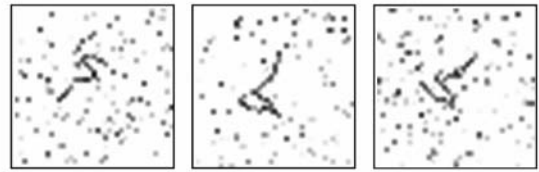


图 13 恢复的线条图形区域

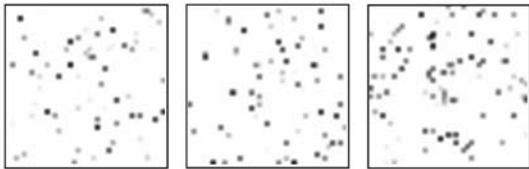


图 10 采用 95% 正确的密钥获得的解密结果

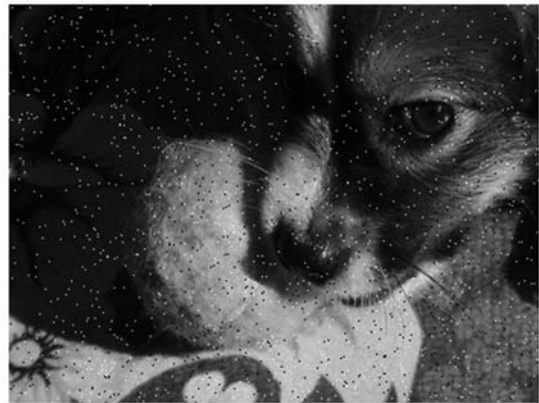


图 14 加入椒盐噪声的局部载体图像

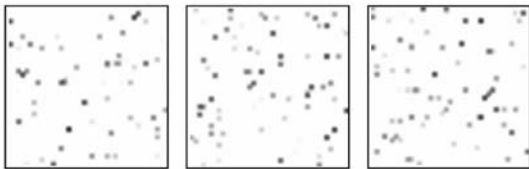


图 11 采用完全随机猜测的密钥获得的解密结果

后,局部图像示于图 12 中. 通过对加入噪声后的载体图像进行解密,恢复出来的 3 个线条图形区域如图 13 所示.

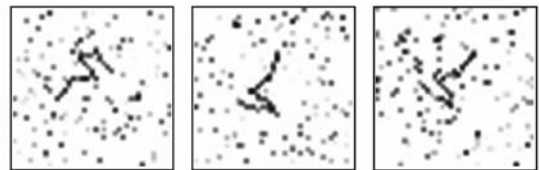


图 15 恢复的线条图形区域



图 12 加入 Gauss 型噪声的局部载体图像

声,对此载体图像进行解密,恢复出的 3 个线条图形区域如图 16 所示.

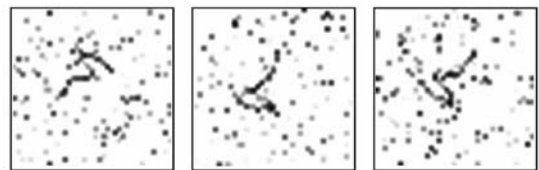


图 16 恢复的线条图形区域

其次,在载体图像中加入密度为 0.02 的椒盐噪声,并将加入了此噪声的载体图像进行局部放大,示于图 14 中. 对加入此噪声的载体图像进行解密,恢复出的 3 个线条图形区域如图 15 所示.

以上 3 组实验结果表明,在本文所提出的载体图像中,当加入不同程度的 Gauss 型和椒盐噪声时,计算机仍能准确识别隐秘信息,因此验证了本方法对 Gauss 型噪声和椒盐噪声具有很好的鲁棒性.

5. 总结与讨论

最后,在载体图像中同时加入均值为 0,方差为 0.002 的 Gauss 型噪声以及密度为 0.01 的椒盐噪

本文提出了一种可用于图像信息隐藏的

Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统,搭载该系统的图像信息隐藏技术可具有较好的不可检测性和安全性.具体地说,载体图像未经正确的密钥-随机相位-调制时,隐秘信息将弥散在载体图像 Fourier 频率域空间,具有较好的不可检测性.同时,即使攻击者知道隐秘信息的位置,甚至知道此隐藏方法,但在不知道密钥的情况下,依然无法破解隐秘信息的内容,甚至无法获知隐秘信息存在的位置,因此很难实施有针对性的攻击,并且也很难在不严重破坏图像质量的情况下消除隐秘信息.提取时,不需要原始图像及与原始图像或隐秘信息相关联的附加信息的参与,所以该方法除了可

用于防伪认证之外还可应用于隐写术.本文同时给出一种将隐秘信息加入该系统的具体嵌入方式,并进行了相应的模拟实验.实验结果验证了该方法的可行性,而针对 Gauss 型噪声和椒盐噪声的测试表明,该方法对这两种噪声具有很好的鲁棒性.

存在的问题是,为保证载体图像的质量以达到较好的不可感知性,嵌入的信息量较少,实验中一幅尺寸为 1024×768 、PSNR 值为 37.12 的载体图像,其包含的有效信息量约为 56 bits.如何在本文提出的 Fourier 频率域随机谱隐秘信息加载与增量补偿系统中实施更有效的隐秘信息嵌入以及光学系统的实现,将会是下一步研究的内容.

-
- [1] Takai N, Mifune Y 2002 *Appl. Opt.* **41** 865
- [2] Peng X, Yu L F, Cai L L 2003 *Opt. Commun.* **226** 155
- [3] Kishk S, Javidi B 2002 *Appl. Opt.* **41** 5462
- [4] Yang X P, Zhai H C, Wang M W 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 847 (in Chinese) [杨晓苹、翟宏琛、王明伟 2008 物理学报 **57** 847]
- [5] Yang X P, Zhai H C, Liang Y M, Sun Y F, Wang M W 2008 *J. Optoelectron. Laser* **19** 111 [杨晓苹、翟宏琛、梁艳梅、孙云峰、王明伟 2008 光电子·激光 **19** 111]
- [6] Gao L J, Yang X P, Li Z L, Wang X L, Zhai H C, Wang M W 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1053 (in Chinese) [高丽娟、杨晓苹、李智磊、王晓雷、翟宏琛、王明伟 2009 物理学报 **58** 1053]
- [7] Yang X P, Gao L J, Wang X L, Zhai H C, Wang M W 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1662 (in Chinese) [杨晓苹、高丽娟、王晓雷、翟宏琛、王明伟 2009 物理学报 **58** 1662]
- [8] Shi Y S, Situ G H, Zhang J J 2006 *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **8** 569
- [9] He M Z, Cai L Z, Liu Q, Wang X C, Meng X F 2005 *Opt. Commun.* **247** 29
- [10] Li Z L, Zhai H C, Wang M W 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3234 (in Chinese) [李智磊、翟宏琛、王明伟 2007 物理学报 **56** 3234]

The system of loading hidden information in random spectrum of Fourier domain and incremental compensation *

Wang Xiao-Lei[†] Li Zhi-Lei Zhai Hong-Chen Wang Ming-Wei

(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Key Laboratory of Optoelectronic Information Science & Technology,
Ministry of Education, Tianjin 300071, China*)

(Received 9 November 2009; revised manuscript received 11 January 2010)

Abstract

The system of loading hidden information in random spectrum of Fourier domain and incremental compensation, which is based on optical principle and can be used in optical image information hiding, is proposed in this paper. A typical method of loading hidden information to the system is also presented. The random spectrum of host image multiplied by random phase mask is obtained by Fourier transform, and the hidden information is embedded in the random spectrum. At the same time, the effects induced by the hidden information can be compensated for by the proposed system. When the carrier image embedded with hidden information is decrypted with incorrect key-random phase mask, the hidden information will spread in the Fourier frequency domain, thus it is impossible to retrieve the hidden information. In addition, even though the attackers know the presence of hidden information and even the hiding method, they still can not decrypt the hidden content without the key, and it is also difficult to removal the hidden information without destroying the carrier image. While in the decryption process, neither the original image nor the information related to the hidden code is necessary. The feasibility of proposed system is demonstrated by simulation experiment and the robustness to the Gauss noise as well as salt and pepper noise is also presented at the end of this paper.

Keywords: Fourier transform, random phase mask, incremental compensation conjugation, image information hiding technique

PACC: 4230K, 4230V, 4240F

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10904079, 60838001) and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant Nos. 20090031120041, 20070055029).

[†] E-mail: wangxiaolei@nankai.edu.cn