

基于 DCT 域相关性的非对称 JPEG 隐写

毛炳华 王子驰 张新鹏

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200444)

摘 要 目前用于 JPEG 隐写的失真代价函数对同一 DCT 系数的加一与减一操作分配相同的代价值。但由于 JPEG 图像中 DCT 域的相关性,加一与减一修改对图像内容的影响不同,因此其对应的代价值也理应不同。文中基于 DCT 域相关性,提出了一种适用于 JPEG 隐写的通用代价值优化方法,主要考虑 JPEG 图像中相邻 DCT 块相同位置上系数的相关性。利用八邻域块中相同位置的 DCT 系数求平均的方法给出当前 DCT 系数的预测值。对现有的 JPEG 失真代价函数,按照向预测值靠拢的原则区分加一和减一的代价值。经过调整的代价值能引导隐写修改后的 DCT 系数最大程度地向预测值靠拢,增强 DCT 域相关性,从而提高隐写的安全性。该方法可以与任何现有的 JPEG 隐写失真代价函数结合使用。实验表明,所提方法几乎不增加原始算法的时间复杂度,同时能有效提高现有 JPEG 隐写方法的安全性,可使当前隐写分析工具的测试误差平均提升 2.4%。

关键词 隐写, JPEG 图像, 失真代价, 八邻域

中图法分类号 TP309 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.01.030

Asymmetric JPEG Steganography Based on Correlation in DCT Domain

MAO Bing-hua WANG Zi-chi ZHANG Xin-peng

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract The current distortion functions used for JPEG steganography allocate a same embedding cost for ± 1 embedding change. However, due to the correlation of DCT domain in JPEG images, the effects of ± 1 to modifying the content of the image are different, so the corresponding embedding cost should also be different. Based on the DCT correlation concept, a universal cost-value optimization method suitable for JPEG steganography was proposed in this paper, which mainly considers the correlation of the coefficients in the same position of adjacent DCT blocks in the JPEG image. The current DCT coefficients are predicted by averaging the DCT coefficients of the same position in the eight neighborhood blocks. For the existing JPEG distortion function, the embedding cost for ± 1 is differentiated by the principle of moving closer to the predicted value. The adjusted embedding cost can guide the stego-modified DCT coefficients to move closer to the predicted value and enhance the correlation of the DCT domain to improve steganographic security. This method can be used in combination with any existing JPEG distortion function. Experimental results show that this method can increase the security of the existing JPEG steganography by 2.4% of test error on average without increasing the time complexity of the original algorithm.

Keywords Steganography, JPEG images, Distortion cost, Eight neighborhoods

1 引言

隐写是在不引起注意的情况下通过轻微修改将秘密信息嵌入到原始载体数据中的技术^[1-3]。早期的隐写主要通过设计高效的编码算法在相同嵌入量下尽可能减少对载体数据的修改,即提高嵌入效率,如矩阵编码^[4]、F5 隐写^[5]、nsF5 隐写^[6]、EMD 编码^[7]以及 ZZW 编码^[8]等。然而,由于自然图像的内容具有空间相关性,相比于平滑区域的修改,纹理复杂区域更容易隐藏修改痕迹。因此,仅仅提高嵌入效率还不能保证隐写的安全性。2011 年, Fridrich 团队提出了 STC (Syn-

drome Trellis Coding) 编码^[9], 其可与任何一种加性失真代价函数结合起来构造隐写方法。隐写者用自定义的失真代价函数度量独立修改每个载体元素的风险, 之后利用 STC 编码在最小化加性失真的条件下嵌入秘密信息。由于 STC 编码在给定失真代价函数下的编码效率已十分逼近理论极限, 因此隐写的重心由编码算法的设计转为失真代价函数的设计及优化。

目前已有许多优秀的失真代价函数, 如 HUGO^[10], WOW^[11], HILL^[12], MVGG^[13]等, 然而这些代价函数均只能用于空域图像的隐写。JPEG 图像是当前应用最为广泛的数

到稿日期:2017-12-18 返修日期:2018-02-10 本文受国家自然科学基金(U1636206,61525203,61502009,61472235),上海市曙光学者计划(14SG36),上海市优秀学术带头人计划(16XD1401200)资助。
毛炳华(1993—),男,硕士生,主要研究方向为图像隐写、社交网络图像加密;王子驰(1992—),男,博士生,主要研究方向为隐写、隐写分析, E-mail:wangzichi@shu.edu.cn(通信作者);张新鹏(1975—),男,教授,博士生导师,CCF 会员,主要研究方向为信息隐藏、图像处理、数字取证。

字图像之一,因此 JPEG 图像的隐写方法的应用范围更广。目前,用于 JPEG 隐写的失真代价函数有 J-UNIWARD^[14], UED^[15],UERD^[16]等。

虽然不断有新的失真代价函数被设计出来并取得安全性上的提升^[17],但其开发成本较大且对已有算法的利用率较低,而仅对某一种算法进行改进的通用性又较差^[18],因此需要设计通用的失真代价函数优化方法。现有的失真代价函数大多对同一元素的加一与减一操作分配相同的代价值,但自然图像具有空间相关性,不同极性的修改对图像内容的影响不同,因此对应的代价值也理应不同。目前,已有针对该问题的空域图像的失真代价函数被提出。文献[19]提出了一种用于区分空域图像隐写加一、减一失真代价的通用方法,利用经过加一、减一的图像起伏值以及图像纹理来调整预先给定的失真代价函数,使得含密图像的像素的起伏程度与周围像素相似,以增强含密图像的抗检测性。目前,对于 JPEG 隐写尚无通用的代价值优化方法。

本文提出了一种通用的 JPEG 隐写失真代价函数优化方法,利用 JPEG 图像八邻域块中相同位置的 DCT 系数求平均的方法求出当前 DCT 系数的预测值,通过调整加一、减一的代价值使当前 DCT 系数在隐写中更大可能地向预测值靠拢,增强 DCT 域的相关性,从而提高隐写的安全性。本方法可以与任何现有的 JPEG 隐写失真代价函数结合使用,且几乎不增加原始算法的时间复杂度。实验表明,所提方法能有效提高现有 JPEG 隐写方法的安全性。

2 方法设计

2.1 DCT 域的相关性

JPEG 图像压缩标准^[20]中,以 8×8 块为单位对空域图像进行离散余弦变换(DCT)及量化。对于一幅大小为 $M \times N$ 的图像,设空域第 (u, v) 个图像块的第 (i, j) 个像素为 $p_{u,v}(i, j)$, $i, j \in \{0, 1, \dots, 7\}$, $u \in \{1, 2, \dots, \lfloor M/8 \rfloor\}$, $v \in \{1, 2, \dots, \lfloor N/8 \rfloor\}$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整,进行 DCT 变换及量化后的系数为 $c_{u,v}(m, n)$, $m, n \in \{0, 1, \dots, 7\}$, 则:

$$\begin{aligned} c_{u,v}(m, n) &= \sum_{i,j=0}^7 f(i, j; m, n) p_{u,v}(i, j) \\ &= \sum_{i,j=0}^7 \left[\frac{\omega(m)\omega(n)}{4} \cos \frac{\pi}{16} m(2i+1) \cdot \right. \\ &\quad \left. \cos \frac{\pi}{16} n(2j+1) p_{u,v}(i, j) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

其中:

$$f(i, j; m, n) = \frac{\omega(m)\omega(n)}{4} \cos \frac{\pi}{16} m(2i+1) \cdot \cos \frac{\pi}{16} n(2j+1) \quad (2)$$

$$\omega(k) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & k=0 \\ 1, & k>0 \end{cases} \quad (3)$$

DCT 块 $C_{u,v}$ 中的 $c_{u,v}(0, 0)$ 为直流(DC)系数,其余满足 $m+n>0$ 的系数为交流(AC)系数。文献[21]表明:增强 DCT 域的相关性有利于提高 JPEG 图像隐写的安全性,且 JPEG 图像 DCT 系数块间的相关性强于块内不同频率 DCT 系数之间的相关性,而块间的相关性主要通过相同位置的 DCT 系数的相关性来体现,即 $c_{u,v}(m, n)$ 与 $c_{u,v+1}(m, n)$ 的相关性强于 $c_{u,v}(m, n)$ 与 $c_{u,v}(m, n+1)$ 的相关性。如图 1 所示,

两个相邻 DCT 块中,相同符号所对应位置的相关性强于不同符号所对应位置的相关性,因此可以利用相邻块相同位置的 DCT 系数预测出当前的 DCT 系数。由于 DCT 系数块与其八邻域块具有较强的相关性,因此本文利用将八邻域块相同位置 DCT 系数值求平均的方法对当前系数进行预测,这样得到的 DCT 预测值是邻近块相同位置 DCT 系数的总体体现。之后按照向当前 DCT 系数预测值靠拢的原则区分加一、减一的失真代价,在隐写的过程中增强 DCT 域的相关性,从而提高隐写的安全性。

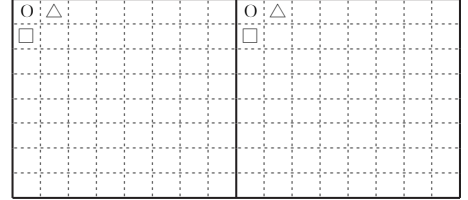


图 1 DCT 域的相关性示例

Fig. 1 Correlation example in DCT domain

2.2 代价值优化

本文方法的流程如图 2 所示。对于一幅给定的 JPEG 载体图像,首先通过现有的 JPEG 失真代价函数计算各 DCT 系数的代价值,同时利用将八邻域块中相同位置的 DCT 系数求平均的方法对当前系数进行预测,得到各 DCT 系数的预测值;然后根据预测值调整各 DCT 系数的代价值,按照向预测值靠拢的原则将加一与减一失真区分开,得到最终的代价值。

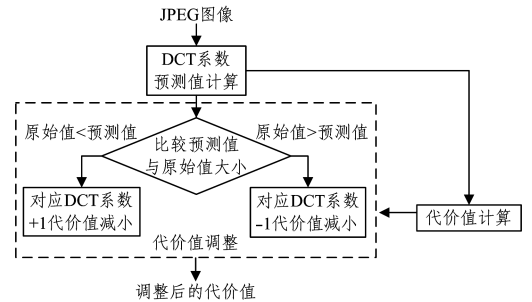


图 2 所提方法的流程

Fig. 2 Sketch of proposed method

设对 $c_{u,v}(m, n)$ 进行加一与减一的代价值分别为 $\rho_{u,v}^+(m, n)$ 和 $\rho_{u,v}^-(m, n)$ 。在目前用于 JPEG 隐写的失真代价函数中, $\rho_{u,v}^+(m, n) = \rho_{u,v}^-(m, n)$, 记为 $\rho_{u,v}(m, n) = \rho_{u,v}^+(m, n) = \rho_{u,v}^-(m, n)$ 。

将 DCT 系数 $c_{u,v}(m, n)$ 的八邻域块相同位置的系数表示为集合 $D \in \{c_{u,v+1}(m, n), c_{u,v-1}(m, n), c_{u+1,v}(m, n), c_{u-1,v}(m, n), c_{u+1,v+1}(m, n), c_{u+1,v-1}(m, n), c_{u-1,v+1}(m, n), c_{u-1,v-1}(m, n)\}$ 。根据式(4),利用集合 D 计算当前系数 $c_{u,v}(m, n)$ 的预测值 $\hat{c}_{u,v}(m, n)$ 。

$$\hat{c}_{u,v}(m, n) = \frac{1}{8} \sum_{c_{a,b}(m, n) \in D} c_{a,b}(m, n) \quad (4)$$

若 DCT 块的 $C_{u,v}$ 位于图像边界,则只考虑集合 D 中存在的邻近块。如图 3 所示, $C_{u,v}$ 只有 3 个邻近块 $C_{u,v+1}$, $C_{u+1,v}$ 和 $C_{u+1,v+1}$, 此时 DCT 系数 $c_{u,v}(m, n)$ 的预测值 $\hat{c}_{u,v}(m, n)$ 为:

$$\hat{c}_{u,v}(m,n)=\frac{c_{u,v+1}(m,n)+c_{u+1,v}(m,n)+c_{u+1,v+1}(m,n)}{3}$$

(5)

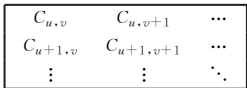


图 3 边界特例说明

Fig. 3 Special case explanation of boundary

将 $c_{u,v}(m,n)$ 与预测值 $\hat{c}_{u,v}(m,n)$ 进行比较,若 $c_{u,v}(m,n) > \hat{c}_{u,v}(m,n)$,为了使隐写后该 DCT 系数向预测值靠拢,从而增强 DCT 域的相关性,倾向于降低 $c_{u,v}(m,n)$ 的值,即在隐写时对该系数的减一修改赋予更大的概率,这意味着降低该 DCT 系数减一修改的代价值;若 $c_{u,v}(m,n) < \hat{c}_{u,v}(m,n)$,则倾向于增大 $c_{u,v}(m,n)$ 的值,即在隐写时对该系数的加一修改赋予更大的概率,这意味着降低该 DCT 系数加一修改的代价值。因此,优化原始代价值 $\rho_{u,v}(m,n)$ 的方法如下所示:

$$\rho_{u,v}^{-}(m,n)=\begin{cases} (1-\alpha) \cdot \rho_{u,v}(m,n), & c_{u,v}(m,n) > \hat{c}_{u,v}(m,n) \\ \rho_{u,v}(m,n), & \text{otherwise} \end{cases}$$

(6)

$$\rho_{u,v}^{+}(m,n)=\begin{cases} (1-\alpha) \cdot \rho_{u,v}(m,n), & c_{u,v}(m,n) < \hat{c}_{u,v}(m,n) \\ \rho_{u,v}(m,n), & \text{otherwise} \end{cases}$$

(7)

其中, α 为缩放系数,其取值将在第 3 节讨论。

依据此原则,对 JPEG 图像的每个 DCT 系数对应的

$\rho_{u,v}^{+}(m,n)$ 和 $\rho_{u,v}^{-}(m,n)$ 进行优化。之后根据优化后的代价值,利用 STC 编码嵌入秘密信息,完成隐写。

3 缩放系数 α 的寻优

本文方法按照向当前 DCT 系数预测值靠拢的原则区分加一和减一的代价值,缩放系数 α 代表了对原始代价值的修改幅度,其取值对方法的性能有着重要影响。我们通过实验观察 α 取值与方法性能的关系,并找到其最佳取值。

实验采用 UCID 图像库^[22]对缩放系数 α 进行寻优,图像库中包含了 1338 幅大小为 384×512 的未经压缩的彩色图像。所有图像均转换为灰度图像,并用质量因子(QF)75 和 95 分别进行 JPEG 压缩,信息嵌入率设置为 0.3bpnzac 与 0.5bpnzac(bit per non-zero AC coefficient: 比特每非零交流系数)。本文中,用于寻优的隐写方法为最具代表性的 JPEG 隐写方法 J-UNIWARD^[14] 和 UERD^[16], α 分别取 0.1, 0.2, 0.3 和 0.4 来对原有的隐写方法进行修正, $\alpha=0$ 时对应原始方法。所有方法均采用三元 STC 嵌入。

隐写分析特征使用 8000 维的 DCTR^[23] 和 17000 维的 GFR^[24],使用集成分类器^[25]训练及测试特征,这里所有的测试误差数据均为独立测试 10 次的平均值。

本文充分考虑不同的隐写方法、隐写分析特征类型、图像质量因子和嵌入率,选取了 5 种不同组合进行测试,实验数据如表 1 所列。对于不同的 α ,求 5 种组合测试误差提升的平均值,结果如表 2 所列。从表 2 可以看出,缩放系数 $\alpha=0.2$ 时分类器测试误差的平均提升幅度最大,因此选择 $\alpha=0.2$ 作为缩放系数最终的值。

表 1 不同组合的测试误差

Table 1 Test error of different cases

隐写方法	特征类型	QF	嵌入率 /bpnzac	缩放系数 α				
				0	0.1	0.2	0.3	0.4
UERD	DCTR	75	0.3	0.3035	0.3181	0.3283	0.3259	0.3201
		95	0.5	0.3054	0.3200	0.3229	0.3148	0.3137
	GFR	75	0.3	0.2384	0.2655	0.2661	0.2638	0.2632
		95	0.5	0.3484	0.3598	0.3656	0.3665	0.3546
J-UNIWARD	DCTR	95	0.5	0.2830	0.3047	0.3185	0.3208	0.3279
	GFR	95	0.5	0.2830	0.3047	0.3185	0.3208	0.3279

表 2 不同缩放系数对应的测试误差提升平均值

Table 2 Corresponding testing error of different scaling coefficients

缩放系数 α	0	0.1	0.2	0.3	0.4
测试误差提升平均值	0	0.01788	0.02454	0.02262	0.02016

4 实验与分析

4.1 实验设置

与缩放系数 α 的寻优相同,实验采用 UCID 图像库。根据代表性文献^[14-16],目前用于 JPEG 图像隐写的图像大多采用 75 与 95 的质量因子压缩来进行实验,而信息嵌入率也通常设置为 0.05bpnzac, 0.1bpnzac, 0.2bpnzac, 0.3bpnzac, 0.4bpnzac 和 0.5bpnzac 6 档。因此实验中所有图像均采用质量因子 75 和 95 分别进行 JPEG 压缩,信息嵌入率也设置为 0.05bpnzac, 0.1bpnzac, 0.2bpnzac, 0.3bpnzac, 0.4bpnzac 和 0.5bpnzac 6 档。用于检验本方案有效性的隐写方法有 J-UNIWARD, UED 和 UERD。所有方法均采用三元 STC 嵌入。实验环境为: Intel i5-6500 CPU, Win10 操作系统, Matlab R2012a。

使用与缩放系数 α 寻优中相同的隐写分析特征 DCTR 和 GFR 以及集成分类器训练及测试特征来检测各隐写方法的安全性。其中,将特征集的一半作为训练集,另一半作为测试集。评价分类性能的指标为测试误差 P_E ,如式(8)所示:

$$P_E = \min(\frac{P_{FA} + P_{MD}}{2})$$

(8)

其中, P_{FA} 与 P_{MD} 分别为虚警率(将载体图像判断为含密图像的概率)与漏检率(将含密图像判断为载体图像的概率)。这里,所有的测试误差数据均为独立测试 10 次的平均值。

4.2 安全性分析

将频域隐写方法 J-UNIWARD, UED 和 UERD 经过本文方法调整后的失真代价函数分别记为 J-UNIWARD-P, UED-P 和 UERD-P。失真代价函数 J-UNIWARD-P, UED-P, UERD-P, 以及 J-UNIWARD, UED, UERD, 在 DCTR 和 GFR 两种特征下的测试误差的具体数值如表 3 所列。可以看出, J-UNIWARD-P, UED-P 与 UERD-P 的性能分别优于 J-UNIWARD, UED 和 UERD, 即经过本文方法调整的失真代价函数在隐写中表现出了更好的安全性,证明了本文方法的有效性。

表 3 对于质量因子为 75 和 95 的 JPEG 图像,本文方法与原始方法在 DCTR 和 GFR 两种特征下的测试误差对比

Table 3 Test error comparison of proposed method and original method on DCTR and GFR when $QF=75$ or 95

质量因子	隐写方法	特征集	嵌入率/bpnzac					
			0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
75	UERD	DCTR	0.4844	0.4601	0.3880	0.3035	0.2243	0.1493
		GFR	0.4735	0.4298	0.3330	0.2384	0.1670	0.1075
	UERD-P	DCTR	0.4852	0.4624	0.3953	0.3283	0.2453	0.1806
		GFR	0.4786	0.4353	0.3522	0.2661	0.1897	0.1345
	UED	DCTR	0.4593	0.4180	0.3190	0.2214	0.1285	0.0628
		GFR	0.4390	0.3694	0.2452	0.1416	0.0798	0.0413
	UED-P	DCTR	0.4572	0.4179	0.3306	0.2343	0.1555	0.0857
		GFR	0.4398	0.3789	0.2651	0.1712	0.1108	0.0652
	J-UNIWARD	DCTR	0.4913	0.4720	0.4112	0.3372	0.2522	0.1620
		GFR	0.4830	0.4469	0.3514	0.2573	0.1664	0.1025
	J-UNIWARD-P	DCTR	0.4909	0.4774	0.4285	0.3606	0.2781	0.1966
		GFR	0.4818	0.4582	0.3753	0.2854	0.2010	0.1369
95	UERD	DCTR	0.5000	0.4930	0.4626	0.4243	0.3723	0.3054
		GFR	0.4916	0.4749	0.4300	0.3728	0.3160	0.2492
	UERD-P	DCTR	0.4976	0.4904	0.4669	0.4285	0.3796	0.3229
		GFR	0.4916	0.4762	0.4379	0.3869	0.3319	0.2661
	UED	DCTR	0.4969	0.4830	0.4535	0.4046	0.3374	0.2499
		GFR	0.4835	0.4625	0.4083	0.3339	0.2588	0.1739
	UED-P	DCTR	0.4942	0.4842	0.4559	0.4084	0.3446	0.2646
		GFR	0.4853	0.4681	0.4116	0.3570	0.2843	0.2073
	J-UNIWARD	DCTR	0.4980	0.4987	0.4815	0.4567	0.4082	0.3484
		GFR	0.4927	0.4881	0.4541	0.4143	0.3510	0.2830
	J-UNIWARD-P	DCTR	0.5008	0.5007	0.4869	0.4616	0.4212	0.3656
		GFR	0.4966	0.4940	0.4655	0.4225	0.3729	0.3185

与原始的 UERD 相比,在 DCTR 特征、嵌入率为 0.5 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 UERD-P 的测试误差提升了 3.13%;在 GFR 特征、嵌入率为 0.3 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 UERD-P 的测试误差提升了 2.77%。与原始的 UED 相比,在 DCTR 特征、嵌入率为 0.4 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 UED-P 的测试误差提升了 2.70%;在 GFR 特征、嵌入率为 0.4 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 UED-P 的测试误差提升了 3.10%。与原始的 J-UNIWARD 相比,在 DCTR 特征、嵌入率为 0.5 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 J-UNIWARD-P 的测试误差提升了 3.46%;在 GFR 特征、嵌入率为 0.4 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 J-UNIWARD-P 的测试误差提升了 3.46%。

对于质量因子为 95 的情况,与原始的 UERD 相比,在 DCTR 特征、嵌入率为 0.5 的情况下,新失真代价函数 UERD-P 的测试误差提升了 1.75%;在 GFR 特征、嵌入率为 0.4 以及质量因子为 95 的情况下,新失真代价函数 UERD-P 的测试误差提升了 1.59%。与原始的 UED 相比,在 DCTR 特征、嵌入率为 0.5 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 UED-P 的测试误差提升了 1.47%;在 GFR 特征、嵌入率为 0.5 以及质量因子为 75 的情况下,新失真代价函数 UED-P 的测试误差提升了 3.34%。与原始的 J-UNIWARD 相比,在 DCTR 特征、嵌入率为 0.5 以及质量因子为 95 的情况下,新失真代价函数 J-UNIWARD-P 的测试误差提升了 1.72%;在 GFR 特征、嵌入率为 0.5 以及质量因子为 95 的情况下,新失真代价函数 J-UNIWARD-P 的测试误差提升了 3.55%。

4.3 时间复杂度分析

表 4 展示了在质量因子 75 和 95 以及嵌入率为 0.3 和 0.5 的条件下, UERD, UERD-P, J-UNIWARD 和 J-UNIWARD-P 隐写算法针对 UCID 图像库中 1338 幅图像的隐写时间总和。

表 4 不同实验条件下的时间复杂度

Table 4 Time complexity of different experimental conditions

(单位:s)

质量因子	隐写方法	嵌入率/bpnzac	
		0.3	0.5
75	UERD	760	768
	UERD-P	822	823
	J-UNIWARD	12989	12631
	J-UNIWARD-P	12889	12618
95	UERD	766	767
	UERD-P	780	788
	J-UNIWARD	12249	12249
	J-UNIWARD-P	12257	12167

从表 4 可以看出,用本文方法优化后的时间复杂度与优化前几乎一致,即本文方法在提升算法安全性的同时,并没有额外增加算法运行的时间成本。

4.4 图像质量分析

表 5 给出了各条件下含密图像质量的对比情况。评价图像质量的指标为峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)。表中的 PSNR 数值为 UCID 图像库中 1338 幅图像经过隐写后(嵌入率为 0.2bpnzac)的 PSNR 平均值。可以看出,经过本方法优化后得到的含密图像与优化前相比,峰值信噪比略有提升,即本文方法在提高隐写安全性的同时也提高了图像质量。

表 5 不同实验条件下的 PSNR

Table 5 PSNR of different experimental conditions

质量因子	隐写方法	PSNR/dB
75	UED	51.506
	UED-P	51.530
	UERD	51.487
	UERD-P	51.494
95	UED	51.535
	UED-P	51.583
	UERD	51.487
	UERD-P	51.508

结束语 本文提出了一种通用的 JPEG 图像自适应隐写失真代价函数优化方法,首先利用将 JPEG 图像八邻域块相同位置的 DCT 系数求平均的方法预测当前的 DCT 系数值,然后调整 DCT 系数的加一、减一失真代价,使得修改后的 DCT 系数在嵌入过程中最大程度地向预测值靠拢。本文方法可以与任何现有的 JPEG 隐写失真代价函数结合使用,具有较高的通用性。实验表明,经本文方法优化后的失真代价函数能显著地增强 JPEG 图像自适应隐写方法的安全性,同时几乎不增加原始算法的时间复杂度。

鉴于本方法在区分加一、减一代价值时使用了统一的缩放系数,而没有考虑到图像块与块之间本身的差异性,我们将进一步研究缩放系数自适应的 JPEG 图像区分加一、减一失真方法,以提升隐写方法的安全性。

参 考 文 献

[1] LI B, TAN S, WANG M, et al. Investigation on Cost Assignment in Spatial Image Steganography[J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2014, 9(8): 1264-1277.

[2] ZHANG X. Behavior Steganography in Social Network[M]// Advances in Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Springer International Publishing, 2017.

[3] WEI Q, YIN Z, WANG Z, et al. Distortion function based on residual blocks for JPEG steganography[J]. Multimedia Tools & Applications, 2017(3): 1-14.

[4] FRIDRICH J, SOUKAL D. Matrix embedding for large payloads [J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2006, 1(3): 390-395.

[5] WESTFELD A. F5—A Steganographic Algorithm[C]// International Workshop on Information Hiding(IHW 2001). DBLP, 2001: 289-302.

[6] FRIDRICH J. Statistically undetectable jpeg steganography: dead ends challenges, and opportunities[C]// The Workshop on Multimedia & Security. DBLP, 2007: 3-14.

[7] ZHANG X, WANG S. Efficient Steganographic Embedding by Exploiting Modification Direction[J]. Communications Letters IEEE, 2006, 10(11): 781-783.

[8] ZHANG W, ZHANG X, WANG S. Maximizing Steganographic Embedding Efficiency by Combining Hamming Codes and Wet Paper Codes[C]// International Workshop on Information Hiding. 2008, 5284: 60-71.

[9] FILLER T, JUDAS J, FRIDRICH J. Minimizing Additive Distortion in Steganography Using Syndrome-Trellis Codes[J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2012, 6(3): 920-935.

[10] BAS P. Using high-dimensional image models to perform highly undetectable steganography[C]// International Workshop on Information Hiding. Springer-Verlag, 2010: 161-177.

[11] HOLUB V, FRIDRICH J. Designing steganographic distortion using directional filters[C]// IEEE International Workshop on Information Forensics and Security. IEEE, 2012: 234-239.

[12] LI B, WANG M, HUANG J, et al. A new cost function for spatial image steganography[C]// IEEE International Conference on Image Processing. IEEE, 2015: 4206-4210.

[13] FRIDRICH J. Content-adaptive pentary steganography using the multivariate generalized Gaussian cover model[C]// Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2015.

[14] VOJTĚCH H, FRIDRICH J. Digital image steganography using universal distortion[C]// ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security. ACM, 2013: 59-68.

[15] GUO L, NI J, SHI Y Q. Uniform Embedding for Efficient JPEG Steganography[J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2014, 9(5): 814-825.

[16] GUO L, NI J, SU W, et al. Using Statistical Image Model for JPEG Steganography: Uniform Embedding Revisited[J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2015, 10(12): 2669-2680.

[17] WANG Z, ZHANG X, YIN Z. Hybrid distortion function for JPEG steganography[J]. Journal of Electronic Imaging, 2016, 25(5): 050501.

[18] SI Y F, WEI L X, ZHANG Y N, et al. Improved Steganography Based on SI-UNIWARD Distortion Function[J]. Computer Science, 2016, 43(5): 108-112. (in Chinese)

司一帆, 魏立线, 张英男, 等. 基于 SI-UNIWARD 失真函数的改进隐写方案[J]. 计算机科学, 2016, 43(5): 108-112

[19] WANG Z, LV J, WEI Q, et al. Distortion Function for Spatial Image Steganography Based on the Polarity of Embedding Change[C]// International Workshop on Digital Watermarking. Springer International Publishing, 2016: 487-493.

[20] PENNEBAKER W B, MITCHELL J L. JPEG Still Image Data Compression Standard[M]. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1992.

[21] WANG Z, YIN Z, ZHANG X. Distortion Function for JPEG Steganography Based on Image Texture and Correlation in DCT Domain[J]. IETE Technical Review, 2017, 34: 1-8.

[22] SCHAEFER G. UCID: an uncompressed color image database [C]// Storage & Retrieval Methods & Applications for Multimedia. DBLP, 2003: 472-480.

[23] HOLUB V, FRIDRICH J. Low-Complexity Features for JPEG Steganalysis Using Undecimated DCT[J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2015, 10(2): 219-228.

[24] SONG X, LIU F, YANG C, et al. Steganalysis of Adaptive JPEG Steganography Using 2D Gabor Filters[C]// ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security. ACM, 2015: 15-23.

[25] KODOVSKY J, FRIDRICH J, HOLUB V. Ensemble Classifiers for Steganalysis of Digital Media[J]. IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2012, 7(2): 432-444.