# 基于无权值向量的EMD(*n*,*m*)嵌入模型及其在图像密写上的应用

## 张洋,邵利平\*,任平安

(陕西师范大学计算机科学学院西安 710119)   
(slpmaster@163.com)

摘要:传统EMD嵌入方法通常只能利用1为起始的连续组合数和0作为秘密信息表达范围，同时也仅能给出有限的几种EMD嵌入方法，对于简单EMD、EMD-2和EMD-3，只能通过*n*个载体数据中调整1个、2个和*n*个来嵌入1个秘密信息，不仅限制了秘密信息的表达范围也限制了EMD的适用面.针对以上问题，结合无权值向量，提出了一种EMD(*n*,*m*)嵌入模型，所提模型通过计算*n*个载体数据中最多调整*m*个数据的秘密信息组合来形成嵌密元素调整表，通过选取嵌密元素调整表行来对载体数据进行调整以嵌入秘密像素信息.为进一步提高安全性，给出了一种基于EMD(*n*,*m*)的数字图像密写方法，首先将载体图像扫描为1维序列，通过用户密钥结合混沌映射来随机指派嵌密元素数量和最多调整的嵌密元素数量并生成秘密信息组合数和嵌密元素调整表；然后依据嵌密元素数量和秘密组合数分别从载体元素序列和2进制秘密信息序列截取载体元素和2进制秘密信息比特；最后通过对秘密信息比特所映射的置乱嵌密元素调整表行来对截取的载体元素进行调整以嵌入秘密信息.理论和实验表明，与传统的EMD嵌入方法相比，改进的EMD(*n*,*m*)模型避免了权值向量设置的有限性所导致的嵌入容量受限,并可最大化嵌入容量提高EMD嵌入方法的适用面，同时可通过与载体和密钥相关的嵌入提取环节来进一步增强嵌入信息的安全性.

### 关键词:EMD; 无权值向量; 嵌密元素调整表; EMD(*n*,*m*)模型;数字图像密写; 嵌入容量;图像信息安全 中图法分类号:TP309.7

#### Non-weight VectorBased EMD(*n*,*m*) Model and Its Application in Image Steganography

##### Zhang Yang, Shao Liping\*, and Ren Ping’an

(School of Computer Science, Shannxi Normal University, Xi’an710119)

**Abstract**:Traditional EMD methodsonly use 0 and the continuousfigurecombinationsfrom 1 as the expression range of secret information. There are only several limited kinds ofEMD methods such as simple EMD, EMD-2, EMD-3, these embedding methods can only adjust 1,2 or all at most for *n* carrier data to embed one secret information which limit not only expression range of secret information but also EMD’s application. To address these problems, an EMD model EMD(*n*,*m*) based on non-weight vector was proposed. This model firstlyformed the embeddingadjustment table of secret information by calculating all*m* out of *n* carrier datacombinations and then selected one row from the embeddingadjustment table of secret information to embed the corresponding secret information. To further increase security, this paper also proposed an imagesteganographymethod based on EMD (*n*, *m*)model.First this method scanned each carrier into 1D sequence and randomly generated *m* out of *n* carrier data combinations to form the embeddingadjustment table by user key and chaotic map. Second this method truncated all carrier sequence elementsand secret information bits respectively according to the carrier number and the number of secret information combinations. Finally secret information was embedded by adjusting carrier elements according to the mapped row by secret information of the scrambled embedding adjustment table. Theory and experiments show, bycompared with traditional EMD methods, the improved EMD (*n*, *m*) model avoids the limited embedding capacity brought bythe limited scope of the weight vector and it can maximize the application of the EMD method and alsofurther enhance the embedding safety by adding carrier and user key related the embedding- extraction procedures.

###### **Key words:**EMD;non-weight vector;the embedding adjustment table of secret information;EMD(*n*,*m*) model; digital image steganography; embedding capacity; image information security.

（方正书宋10磅）(正文开始双栏排版)

1. **引言**

近年来, 伴随着计算机和网络技术的发展, 越来越多的图像在网络中传输, 在给用户提供方便的同时, 也带来了一系列的安全隐患. 对图像的不当使用和恶意篡改, 不仅会涉及个人隐私, 也会给社会带来严重的负面影响.

针对数字图像信息安全, 人们已提出了多种方法, 如：①将明文图像转换为密文图像的数字图像加密技术；②将秘密信息隐藏于非相关载体中的数字图像隐写技术；③给图像添加版权认证标识, 对图像的真实性和完整性, 来源者和使用者进行认证的数字图像水印技术；④结合现有技术特点对图像的真实性和完整性进行甄别的数字图像盲取证技术以及⑤将机密图像拆分为影子图像, 利用部分分发影子图像重构秘密图像的数字图像信息分存技术.

其中, 数字图像隐写技术是利用数字图像的冗余和人类视觉的掩蔽特性, 来将秘密信息隐藏于非相关的图像载体中, 从而进行隐蔽通信, 使得非法攻击者难以从海量的公开传输图像中提取出隐蔽的秘密信息信息, 从而最大程度地保障传输中的机密信息的安全.

针对数字图像隐写, 人们已经提出了多种数字图像密写嵌入方法. 例如致力于提升秘密信息嵌入容量的BPCS方法[1]和PVD方法[2]以及致力于提高图像视觉质量的EALSBMR方法等.

现有的图像密写方法通常分为2类, 空域密写方法和变换域密写方法. 比较典型的变换域密写方法主要有F3密写, F4密写和F5密写方法等, 它们都是载体图像DCT变换后, 在量化后的非零DCT系数上嵌密, 但由于量化后的DCT系数中零值较多, 因此秘密信息嵌入量极低. 相对于变换域密写方法, 空域密写方法不仅能提供较大的嵌入容量, 也能较大地保持嵌密图像的视觉质量.

最早期的空域密写方法为LSB密写嵌入方法[3], 即用秘密信息替换载体图像的最低比特位, 由于载体图像最低比特位全部携带秘密信息, 而图像的最低比特位对图像视觉质量影响极小, 因此LSB密写秘密信息的嵌入量大, 密写图像视觉质量高, 但秘密信息易改变低位信息比特的统计特性, 因此安全性不高. 对LSB密写方法的改进, 引入了LSBM方法[4], 即LSB匹配方法, 相对于LSB密写方法, LSB匹配方法的策略是, 当秘密信息和载体图像的最低比特位相同时不做改变, 否则随机的对载体图像像素值加减1, 由于像素值整体增加或减少的概率相等, 因此可抵抗简单LSB密写分析方法, 但其秘密信息的嵌入容量相比于LSB密写并未实质地提高. 为减轻对载体的影响, 后续又提出了LSBMR密写方法[5], 即即LSB匹配重访方法, 其原理是在两个连续的像素中最多只对其中一个加减1从而嵌入2比特秘密信息, 由于LSBMR方法不是直接用秘密信息替换载体图像的最低比特位, 且明显降低了对载体图像的修改率, 因此, LSBMR方法在提高密写图像质量的基础上提高了其安全性. 为了进一步提高图像的嵌入质量, EALSBMR方法[6]被提出, 即边缘自适应LSB匹配重访方法, 可根据秘密信息长度和载体图像自身平滑程度自适应的嵌入秘密信息, 优先选择图像较粗糙区域进行嵌入, 避免了对载体图像平滑区域的修改, 因此EALSBMR密写方法下的密写图像图像质量较之LSBMR更好.

LSBMR方法最独特的地方是对两个载体数据中至多改变一个便可嵌入两比特秘密信息. 这也为后面进行更大容量嵌入的EMD方法提供了很多借鉴.

EMD方法，即全方向扩展方法, 是对载体进行微小修改以进行大容量嵌入的一种有效的嵌入方法, 由于EMD嵌入方法第载体的视觉质量影响较小，且能进行大容量的嵌入，目前已得到了普遍重视。

经典的EMD方法是通过对*n*个载体数据最多加减1个1来嵌入一个进制的数，由于在嵌入时只对*n*个载体数据中的1个数据进行加减1调整，因此具备较高的视觉嵌入质量。但经典的EMD方法只对1个载体数据进行调整嵌入，导致嵌入容量十分有限。为提高EMD方法的嵌入容量，文献[8]中给出了EMD-2方法，即对*n*个载体数据最多进行2个加减1而嵌入一个更大进制的数，其基本思路是

文献[12-13]将经典的EMD方法的基向量由拓展为，其中，通过对*n*个载体数据最大调整量为加减2，从而可组合出0到范围内所有值，将EMD和EMD-2算法的嵌入容量XXX提高为XXX。同文献12相类似，文献[13]将*n*个载体数据中的元素调整量由变为，通过基向量的组合，来组合出0到范围内所有值，（文献[12-13]汇总）

同上述文献【】不同，文献[11]给出了基于矩阵的MEMD嵌入方法，通过构造规模特殊矩阵且满足矩阵元素所在的任意一个规模的矩阵小块包含中的所有元素，从而可将像素对作为位置坐标，按坐标调整最小原则改变像素对值来嵌入1个进制的数，相对于传统的EMD和EMD-2算法，在对2个像素的调整上，MEMD嵌入方法具有较大的嵌入容量，但MEMD方法很难拓展为多个像素，一方面高维矩阵的构造规则较为复杂，在计算机中难以有效得存储，而另一方面，通常仅能取3和4，否则会对嵌入载体产生较大影响，从而降低安全性。（模型）

牛雪静的那篇放在这个地方

为了进一步提高

现存的与EMD相关的密写方法主在提高嵌入容量:

如文献[8]中的EMD-2方法和2-EMD方法, EMD-2方法允许对*n*个载体数据最多进行2个加减1而嵌入一个更大进制的数, 2-EMD方法即连续用两次EMD方法可嵌入一个进制的数, 相比于EMD方法, EMD-2方法和2-EMD方法更大程度的提高了秘密信息嵌入容量;结合标准的EMD算法，

文献[10]将2*k*+1个连续像素和第*k*个像素构成2*k*个像素分组，对每个分组采用EMD方法嵌入1个5进制数，为避免调整第*k*个像素，需对分组的其他像素进行调整，会对载体视觉质量造成较大影响，从而降低密写的安全性（组合）。

通过对*n*个载体数据最多加减1来嵌入一个进制的数. 现存的与EMD相关的密写方法主在提高嵌入容量:如文献[8]中的EMD-2方法和2-EMD方法, EMD-2方法允许对*n*个载体数据最多进行2个加减1而嵌入一个更大进制的数, 2-EMD方法即连续用两次EMD方法可嵌入一个进制的数, 相比于EMD方法, EMD-2方法和2-EMD方法更大程度的提高了秘密信息嵌入容量;结合标准的EMD算法，文献[9]将对像素调整的EMD嵌入方法转换为对像素低位比特位的调整嵌入，由于低位可供使用的比特位数量十分有限，因此所能提高的嵌入容量十分有限。（组合）

文献[12]将经典的EMD方法的基向量由拓展为，其中，通过对*n*个载体数据最大调整量为加减2，从而可组合出0到范围内所有值，将EMD和EMD-2算法的嵌入容量XXX提高为XXX。同文献12相类似，文献[13]将*n*个载体数据中的元素调整量由变为，通过基向量的组合，来组合出0到范围内所有值，（文献[12-13]汇总）

EMD算法是一种大容量的密写嵌入方法，通过对EMD方法的有效组合，可提供更大的嵌入容量，例如。。。。，但现有的EMD方法仅有有限的几种嵌入模型，例如。。。会带来什么问题？

经典的EMD嵌入方法，例如。。。都是建立在权值向量组合的基础上，会带来哪些问题，同以上文献不同，本文引入了无权值向量。。。。好处在哪里

文献[12]中相比于经典EMD算法将基向量变为3的倍数,且对载体数据的修改变为最多改变2个而嵌入一个进制的数，即和文献[13]中将对载体数据的修改变为最多改变个嵌入一个进制的数异曲同工,即通过提高载体数据的修改率提升嵌入容量。文献[14]将的载体图像扩展为的图像后，在原始像素上按照经典EMD方法两次嵌入秘密信息，并利用扩展得到的其余像素值恢复载体图像，虽提高了嵌入容量，但载体图像的尺寸明显改变，容易引起密写分析者的怀疑。（组合）文献[15]结合经典EMD方法和哈夫曼编码,将一个秘密信息字符进行哈夫曼编码后转为5比特01序列,并将转换后的序列分为2比特一组和3比特一组,两组序列继而转为两个十进制数,并嵌入随机选取的连续2个和3个载体像素中，此方法对秘密信息压缩虽然整体减少了对载体像素的修改且提高了嵌入率,但存在全1秘密信息序列对应的十进制数需要两次才能嵌入的缺陷.（组合）

文献[16], 在每个载体数据的每一位都可能改变的基础上嵌入一个进制的数, 带来更大的嵌入容量.

但现有的EMD嵌入方法还存在着很多问题, 还有很多提升空间, 主要表现在：

1) 传统的EMD方法通常采用特定的权值向量, 以*n*个载体数据进行调整嵌入的EMD方法为例, 对于简单EMD方法, 其嵌入的权值向量为；对于EMD-2方法, 当*n*=2时, 其嵌入的权值向量设定为(1, 3), 当*n*>2时, 其嵌入的基向量设定为；对于EMD-*n*方法, 其嵌入的权值向量被设定为3的幂次. 而特定的嵌入策略降低了密写的安全性, 若知道对应的密写方法和获取对应的密写载体, 则可从中容易地提取嵌入的秘密信息.

2)传统的EMD嵌入方法通常只能利用权值向量进行组合形成的1为起始的连续组合数以及0即不进行调整来作为秘密信息的表达范围, 这使得权值向量不能进行充分有效的组合, 从而限制了秘密信息的表达范围, 使得嵌入容量十分有限. 对于EMD-2方法, 其嵌入的容量通常达不到其嵌入的理论值.

对于传统的简单EMD方法和MED-*n*方法, 尽管能达到该调整范围内的最大的嵌入容量, 但传统的EMD方法仅能提供有限的几种调整方案, 例如对*n*个载体数据仅调整1个的简单EMD方法, 对*n*个载体数据仅调整2个的EMD-2方法和对*n*个载体数据调整*n*个载体数据的EMD-*n*方法, 由此严重制约EMD方法的适用面, 使得EMD方法不能在图像视觉嵌入质量和嵌入容量上进行较好地折中.

1. **EMD(*n*,*m*)模型引言**

**2.1**EMD经典模型

EMD算法基本模型一致, 包括*n*个载体数据组成的向量, 基向量, 取模参数*X*, 秘密信息为*d*, 以及由定义的函数*f*, 如式(1),

 (1)

根据*f*与*d*的关系式修改对应的从而嵌入秘密信息. EMD算法中, , 因此, EMD算法原理：*n*个载体数据中最多一个加减1从而嵌入一个进制的数. 假设待嵌入的秘密信息为*d*, 若, 则不改变, 否则记*s*为式(2)：

 (2)

根据*s*与*n*的关系将对载体数据的改变分为以下两种情况, 如式(3)：

(3)



EMD算法处理溢出时的情况：将要溢出的数向欲溢出的反方向改变1后重新在新的数据上嵌密.

**2.2**EMD(*n*,*m*)算法

由于EMD算法中基向量必须生成连续正整数, 因此基向量组合情况有限, 组合出的非连续正整数未得到利用, 因此限制了可嵌入的秘密信息序列长度, 本文提出EMD(*n*, *m*)算法无基向量且可充分利用嵌密元素个数和最多可改变发的嵌密元素个数生成秘密信息组合数和嵌密元素调整表, 根据秘密信息组合数求得可嵌入的秘密信息序列长度, 进而转换为十进制数*d*, 取嵌密元素调整表的第*d*行和载体元素序列进行设定的计算即可得到嵌密元素序列, 根据嵌密元素序列和载体元素序列的差值序列即可得到秘密信息. EMD(*n*, *m*)充分利用嵌密元素个数和最多可改变发的嵌密元素个数的组合情况, 达到最大嵌入容量.

EMD(*n*, *m*)算法中直接给定*n*和*m*, 按式(4)计算*n*个嵌密元素最多改变*m*个嵌密元素所能嵌入的秘密信息组合数,

(4)

式(1)中, 表示*n*个嵌密元素仅改变*i*个元素所对应的组合数, 表示被改变的*i*个元素进行调整的全部情况.

将中的数按顺序用3进制数表示三进制数中的0, 1, 2分别取-1, 0, 1, 将转换后的-1, 0, 1序列中非零元素个数不大于*m*的序列添加到维嵌密元素调整表中. 按式(5)计算应截取的秘密信息的长度,

 (5)

式(5)中, 为剩余秘密信息序列长度, 从载体图像对应的一维序列中取*n*个元素作为载体序列, 取嵌密元素调整表的第*d*行(*tdi*)*n*, 按式(6)计算嵌密元素序列.

 (6)

式(6)中, 为溢出避免函数, 用于避免, , 具体执行的功能如式(7)所示：

 (7)

根据*n*, *m*计算嵌密元素调整表, 取载体图像和嵌密图像对应的*n*个元素, 计算其差值序列, 在中找到此序列对应的行号即为嵌入的秘密信息十进制形式.

**2.3**EMD(*n*, *m*)算法安全性增强策略经典模型

由于EMD(*n*, *m*)算法存在安全隐患即得到载体图像和嵌密图像就可根据嵌密元素个数和最多可改变的嵌密元素个数顺利求出秘密信息, 因此EMD(*n*, *m*)算法的安全性需得到提升.

首先, 动态生成嵌密元素个数和最多可改变的嵌密元素个数, 用户给定系统参数, 初始值和消除暂态效应的迭代次数参数*IT*, 以及嵌密元素数量*n*的最大值*nmax*, 由和按式(6)生成随机数, 抛弃前*IT*个随机数；

(8)

取式(6)连续生成的4个随机数和, 按式(9), 式(10)生成截取的嵌密元素个数和最多可改变的嵌密元素个数,

 (9)

 (10)式(9)和式(10)中, “”’为向下取整函数；其次, 置乱嵌密元素调整表, 按式(11)将第*i*行作为第行,

(11)

式(11)中同余参数的具体生成规则为将按式(12)映射为, 将按式(13)映射为, 将和分别作为式(8)的系统参数和初始值, 将式(8)产生的随机数*R*式(14)量化为, 反复执行式(8)直至和互质, 将作为*a*, 为消除暂态效应, 将式(8)迭代产生的前, 个随机数抛弃.  (12) (13) (14)

**4**结语(2个字中间加2个自然空)

参考文献**(References):**

1. Kawaguchi E, Eason R O. Principle and Applications of BPCS-Steganography[J]. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1999, 3528:464-473.
2. Wu D C, Tsai W H. A steganographic method for images by pixel-value differencing[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(9-10):1613-1626.
3. Lie W N, Chang L C. Data hiding in images with adaptive numbers of least significant bits based on the human visual system[C]// International Conference on Image Processing, 1999. ICIP 99. Proceedings. IEEE, 1999:286-290 vol.1.
4. Andrew D. Ker. Improved Detection of LSB Steganography in Grayscale Images[C]// International Conference on Information Hiding. Springer-Verlag, 2004:97-115.
5. Mielikainen J. LSB matching revisited[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2006, 13(5):285-287.
6. Huang F, Zhong Y, Huang J. Improved Algorithm of Edge Adaptive Image Steganography Based on LSB Matching Revisited Algorithm[M]// Digital-Forensics and Watermarking. Springer Berlin Heidelberg, 2014:201-214.
7. Zhang X P, Wang S Z.Efﬁcientsteganographic embedding by exploiting modiﬁcation direction. IEEE Communication Letter, 2006, 10(11):781-783.
8. Kim H J, Kim C, Choi Y, et al. Improved modification direction methods[J]. Computers & Mathematics with Applications, 2010, 60(2):319-325.
9. Lee C F, Chang C C, Wang K H. An improvement of EMD embedding method for large payloads by pixel segmentation strategy[J]. Image & Vision Computing, 2008, 26(12):1670-1676.
10. Wang Z H, The D, Kieu, et al. A novel information concealing method based on exploiting modification direction[J]. Journal of Information Hiding & Multimedia Signal Processing,2010,1(1):1-9.
11. [CC Chang](http://xueshu.baidu.com/s?wd=author%3A%28Chin-Chen%20Chang%29%20&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_f_para=sc_hilight%3Dperson)，[KN Chen](http://xueshu.baidu.com/s?wd=author%3A%28Kuo-Nan%20Chen%29%20&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_f_para=sc_hilight%3Dperson)，[HC Lin](http://xueshu.baidu.com/s?wd=author%3A%28Huang-Ching%20Lin%29%20&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_f_para=sc_hilight%3Dperson).Novel Magic Matrices Generation Method for Secret Messages Embedding[J].International Journal of Computer Sciences and Engineering Systems,2011,3(5):0973-4406
12. Kim C, Shin D, Shin D, et al. Improved Steganographic Embedding Exploiting Modification Direction in Multimedia Communications[J]. Secure & Trust Computing Data Management & Applications, 2010, 186:130-138.
13. Kim C. Data hiding by an improved exploiting modification direction[J]. Multimedia Tools & Applications, 2014, 69(3):569-584.
14. [CF Lee](http://xueshu.baidu.com/s?wd=author%3A%28ChinFeng%20Lee%29%20&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_f_para=sc_hilight%3Dperson)，[KC Chen](http://xueshu.baidu.com/s?wd=author%3A%28KaiChin%20Chen%29%20&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_f_para=sc_hilight%3Dperson), Reversible Data Hiding by Reduplicated Exploiting Modification Direction Method[C],// International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing,2011
15. Ali M. Ahmad/ Ghazali Sulong/ / Mohammed Hazim Alkawaz/ Tanzila Saba, / Ghazali Sulong, / Mohammed Hazim Alkawaz, et al. Data Hiding Based on Improved Exploiting Modification Direction Method and Huffman Coding[J]. Journal of Intelligent Systems, 2014, 23(4):451-459.
16. Niu X, Ma M, Tang R, et al. Image Steganography via Fully Exploiting Modification Direction[J]. International Journal of Software Engineering & Its Applications, 2015, 9(5):243-254.
17. Shen S Y, Huang L H. A data hiding scheme using pixel value differencing and improving exploiting modification directions[J]. Computers & Security, 2015, 48:131-141.
18. Lee C F, Chang C C, Pai P Y, et al. Adjustment hiding method based on exploiting modification direction[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 2015, 33(7):A302.
19. Qin C, Chang C C, Hsu T J. Reversible data hiding scheme based on exploiting modification direction with two steganographic images[J]. Multimedia Tools & Applications, 2015, 74(15):5861-5872.
20. Lee C F, Weng C Y, Chen K C. An efficient reversible data hiding with reduplicated exploiting modification direction using image interpolation and edge detection[J]. Multimedia Tools & Applications, 2016:1-24.

文献[9]将对像素调整的EMD嵌入方法转换为对像素比特位的调整嵌入，即将两个连续像素比特按比特位重要程度重组，利用高位比特分组随机产生的低位比特分组对应的随机向量进行虚拟EMD调整，并通过低位比特分组的比特改变来嵌入秘密信息，由于0和1仅能表示加减1，因此需通过将低位比特分组置为特殊标记来避免不调整虚拟嵌入。

文献[11]构造规模特殊矩阵且满足矩阵元素所在的任意一个规模的矩阵小块包含中的所有元素，从而可将像素对作为位置坐标，按位置调整最小原则改变像素对中值来嵌入1个进制的数。文献[11]通过对两个像素的调整来嵌入1个进制的数，相对于传统的EMD方法，极大提高了嵌入容量，但当取值较大时，会对图像视觉质量造成较大影响，通常仅能取3和4，若将文献[11]中的像素对拓展为多个像素构成的像素对，则不仅矩阵构造规则非常复杂同时也难以在计算机中存储，从而具有不适用性。