

基于带权值无向图的视频隐写分析

达婷^{1,2}, 李芝棠^{1,2,3}

(1. 华中科技大学 计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430074;

2. 下一代互联网接入系统国家工程实验室, 湖北 武汉 430074; 3. 华中科技大学 网络中心, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 针对视频帧的时域特性, 提出一种以帧间相关性构建带权值无向图的视频隐写分析方法。首先, 分别计算待检测视频每帧亮度的灰度共生矩阵, 把得出的 8 维特征作为该帧的特征向量。再以视频帧为节点, 用帧间特征向量的欧氏距离作为节点间的权值, 构造出表示帧间相关性的带权值无向图。根据嵌入信息后帧间相关性发生改变的特性来判断视频中是否有秘密信息嵌入。实验结果表明, 用带权值无向图的方法可以快速准确地地区分载密视频和原始视频, 并且有较高的正确率。

关键词: 隐写分析; 无向图; 共生矩阵; 相关性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)Z1-0027-04

Video steganalysis scheme based on weighted undirected graph

DA Ting^{1,2}, LI Zhi-tang^{1,2,3}

(1. School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Access System, Wuhan 430074, China;

3. Network Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A new steganalysis scheme based on taking the inter-frame correlation as the undirected graph weights was proposed utilizing the temporal correlation among video frames. First, getting the eigenvector of every video frame brightness by calculating its gray-level co-occurrence matrix, the eigenvector is an eight-dimensional vector. Then, computing the weights of each video frame by using the euclidean distance algorithm. The weighted undirected graph which representing the correlations between each frame is constructed. Finally, according to the change of correlations between the frames after embedding information determine whether the video is embedded confidential information. Experimental results show that the method using weighted undirected graph can quickly discriminate stego video and the original video, and have a high accuracy rate.

Key words: steganalysis; undirected graph; co-occurrence matrix; correlation

1 引言

近年来, 随着网络通信技术及信息处理技术的发展, 视频隐写分析作为一种新的信息安全技术得到了较快的发展。自“9.11”事件以来, 利用公共信息网络, 以图像、语音、视频等多种数字媒体数据为载体进行秘密通信, 从事破坏社会稳定、危害社会安全的非法活动已经引起各国政府和公众的广泛关注。作为与数字隐写相对抗的技术, 隐写分

析研究针对数字隐写的攻击技术, 通过对数字媒体数据或隐写工具与方法进行分析来判断和检测秘密信息的存在性、评估秘密信息数据量, 进而提取、还原或破坏隐藏的 secret 信息, 以保障国家信息网络安全。视频压缩编码技术和网络流媒体业务的发展使视频的应用范围越来越广。因此, 作为常见的数字媒体形式, 视频由于其所具有的数据量大、内容丰富以及统计特性复杂等特点, 必定会成为数字隐写的一种重要载体。同时, 也正是由于视

收稿日期: 2014-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272407)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (61272407)

频作为数字隐写载体的必然性,使得有必要开展视频隐写分析技术的研究^[1]。

隐写分析按照其作用域来分类,可以分为空间域分析和变换域分析两类;按照技术特点来分类,可分为基于标识特征的分析 and 基于统计特征的分析两类;按照是否针对具体方法来分类,可分为专用隐写分析和通用隐写分析两类。目前,视频隐写分析的研究主要针对特定的隐写算法。针对视频扩频嵌入对时空相关性的影响,Xu 等人^[2]为了有效检测经扩频隐写的视频片段中秘密信息的存在,提出了一种基于时空相关性的隐写分析方法。Liu 等人^[3]根据视频序列时域特性,提出了一种应用帧间共谋策略的视频隐写分析方法。Sun 等人^[4]提出了一种基于运动估计的视频隐写检测算法,提取反映视频时变特性的运动矢量场作为隐写检测的特征,然后使用支持向量机分类器进行秘密信息的检测。目前,大多数隐写分析方法忽略了视频的两大特性——时间相关性与空间相关性之间的联系,视频中的每帧像素之间、帧与帧间的相关性都能很好地反映不同视频的宏观差异性。

由于嵌入的秘密信息独立于载体数据导致嵌入秘密信息后载体数据间的相关性必然发生变化^[5]。本文提出一种将两大相关性相结合的思想,用图论的方法构造基于帧间的带权值无向图,以视频的帧转换为图论中的节点,用灰度共生矩阵得到的 8 维纹理特征向量的欧式距离作为节点间的权值,根据嵌入信息后视频帧间的相关性发生改变的特性来判断视频中是否有秘密信息嵌入。

2 共生矩阵的模型建立

视频中的每一帧可以看做一张图像,所以视频看做由一张张图像组成的,自然地,图像一般是连续平稳的,图像的相邻像素之间具有很强的相关性。但是由于嵌入的秘密信息独立于载体图像,因此当秘密信息嵌入图像后会降低图像像素间的相关性。本文将共生矩阵应用到视频帧的亮度分量(Y)中,使用共生矩阵挖掘像素之间的相关性。

灰度共生矩阵就是一种通过研究灰度的空间相关特性来描述纹理特征的常用方法。传统的直方图方法只能反映数据的一阶统计信息不能体现数据间的相关性。由于纹理是由灰度分布在空间位置上反复出现而形成的,因而在图像(帧)空间中相隔某距离的两像素之间会存在一定的灰度关系,即

图像(帧)中灰度的空间相关特性。Haralick 等人用灰度共生矩阵提取了 14 种特征值^[6],其中 8 种灰度共生矩阵特征是能力较强的参数,分别为能量均值(a_1)和标准差(b_1)、熵的均值(a_2)和标准差(b_2)、惯性矩的均值(a_3)和标准差(b_3)、相关的均值(a_4)和标准差(b_4)^[7]。

研究表明由于人眼对亮度的敏感程度不如色度,因而通常选择在亮度块中嵌入秘密信息。所以本文研究的共生矩阵应用于视频帧的亮度分量(Y)中。

共生矩阵的具体步骤如下。

1) 为了减少计算量,对原始图像灰度级压缩,以减小图像的灰度级,将图像量化成 16 级进行直方图规定化(一般规定化后的图像的灰度级为 16)。

2) 计算 4 个共生矩阵,取距离为 1,角度分别为 0° 、 45° 、 90° 、 135° ,得到的共生矩阵分别用 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 表示。

3) 共生矩阵归一化。

4) 对共生矩阵计算能量、熵、惯性矩、相关 4 个纹理特征参数。

5) 求能量、熵、惯性矩、相关的均值和标准差作为 8 维纹理特征 ($a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, a_4, b_4$)。

描述变量间关系的数学方法很多,但用得较广的大体可分为两类,一是相似或相关系数;二是距离^[8]。本文使用欧式距离来表示帧与帧间的相关性。

欧式范数(也称 2-范数/Euclid 范数)的定义为

$$\|x\|_2 = \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in C^n \quad (1)$$

首先分别将得到两帧的 8 维纹理特征构成 2 个向量 (P_1, P_2),再使用两向量的欧式距离来表示帧与帧间的相关性。欧式范数指欧式空间上 2 个向量矩阵的距离。用欧氏距离来表示两帧间的相关性,可以很好地反映两帧之间综合特征的相似性。

将得到的两帧 8 维纹理特征构成 2 个向量 P_1 、 P_2 ,向量 P_1 、 P_2 的定义为

$$P_1 = [a_1^1 \ b_1^1 \ a_2^1 \ b_2^1 \ a_3^1 \ b_3^1 \ a_4^1 \ b_4^1] \quad (2)$$

$$P_2 = [a_1^2 \ b_1^2 \ a_2^2 \ b_2^2 \ a_3^2 \ b_3^2 \ a_4^2 \ b_4^2] \quad (3)$$

然后计算向量 P_1 、 P_2 差的 2-范数,即得到帧与帧之间的欧氏距离 P ,即 P 为两帧间的相关性。欧式距离 P 的定义为

$$\|P\|_2 = \left(\sum |P_1 - P_2|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

3 帧间的带权值无向图模型建立

在视频中，不仅像素与像素之间具有很强的相关性，由于视频帧的时域特性，帧与帧之间的相关性是视频中最重要的特征之一。以帧作为节点，用帧间的相关性（欧氏距离）作为无向图的权值，构建视频的带权值无向图并进行隐写分析与检测。将两大相关性（像素与像素、帧与帧）相结合，使这些特征更有利于揭示视频间的宏观差异性。本文利用嵌入秘密信息前后视频帧间的相关性发生改变的特性，通过嵌入前后的无向图节点间权值的变化特征来确定视频是否含有秘密信息。

用数字(1,2,3,...)分别表示序列图像的帧序号。视频的种类较多、信息量大，本文讨论的视频类型为秘密信息只嵌入非相邻的 I 帧中，即从第 1 帧开始，每奇数个的 I 帧中嵌入秘密信息，每偶数个的 I 帧不嵌入秘密信息。为了确定无向图的最佳节点（帧）数，对不同节点数的无向图（4 种节点的无向图举例如图 1 所示）进行实验对比分析，得出节点数为 3 的无向图可以大大减小其他节点大于 3 的无向图所带来的冗余，并且能快速有效地得出 3 个相邻节点（帧）间的权值大小。

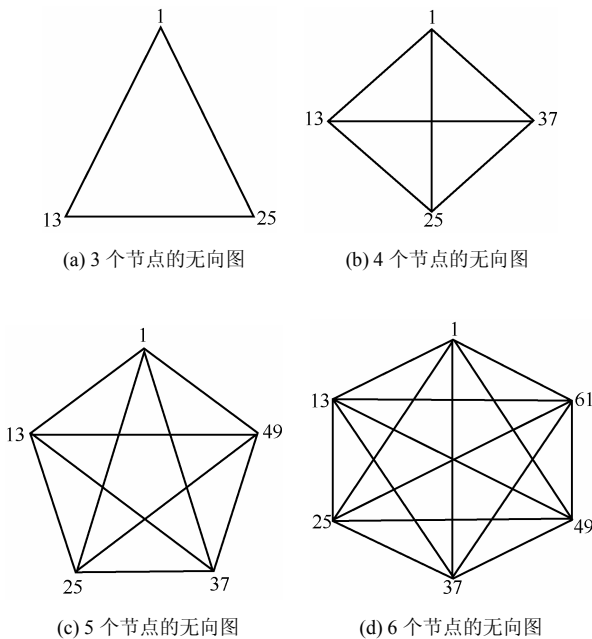


图 1 4 种节点的无向图举例

MPEG 编码的视频序列的帧有 3 种类型：I 帧、P 帧、B 帧。视频帧按一定顺序周期性地排列。本文主要讨论以下典型帧序列（GOP, group of pictures), $GOP=12$)

$$I_1^1 B_2^1 P_3^1 B_4^1 P_5^1 B_6^1 P_7^1 B_8^1 P_9^1 B_{10}^1 P_{11}^1 B_{12}^1 I_1^2 B_2^2 P_3^2 B_4^2 P_5^2 \dots$$

由于选择节点数越多，所造成的无向图的计算量越大，得到的数据越复杂，而且 3 个节点的无向图能很好地体现视频嵌入帧与嵌入帧、嵌入帧与非嵌入帧之间相关性的关系。综合实验研究最终决定选择无向图的节点数为 3（无向图最小的节点数），即选择连续相邻的 3 个 I 帧作为无向图的节点。每次从视频中选择连续相邻的 3 个 I 帧，然后依次滑动循环产生。这样做的好处有两点：第一，计算复杂度降到最低；第二，避免了讨论更多非相邻 I 帧之间的相关性。

当选定无向图的节点（帧）数后，无向图能揭示节点（帧）间的相关性，在嵌入秘密信息前无向图 3 个节点（帧）中两两节点间的权值因为视频帧的多样性而没有规律性，在嵌入秘密信息后会降低视频帧间的相关性，且嵌入帧与嵌入帧之间的相关性破坏程度远高于嵌入帧与非嵌入帧。选择的无向图的节点为连续的 3 个相邻 I 帧，在嵌入秘密信息后的视频中，非相邻 I 帧之间的相关性大于其余相邻 I 帧之间的相关性，即嵌入帧与嵌入帧之间的相关性远小于嵌入帧与非嵌入帧的相关性，在无向图中体现为非相邻 I 帧的节点在 3 个节点之间权值呈现最小。所以无向图中第一与第三节点间的权值是否最小是判断非相邻帧是否有秘密信息嵌入的依据，即利用这一特性判断该视频是否有秘密信息嵌入。

如图 2 所示，选取连续相邻 3 个 I 帧分别为第 25 帧、37 帧、49 帧为例，根据视频的非相邻 I 帧嵌入秘密信息的要求（25 帧与 49 帧嵌入秘密信息，

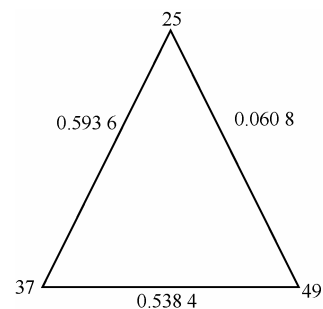


图 2 3 个节点的带权值无向图举例

37 帧未嵌入秘密信息), 实验结果发现第一与第三节点间的权值最小, 25 帧与 49 帧在嵌入秘密信息后的相关性大小 (0.060 8) 远远小于 25 帧与 37 帧 (0.593 6)、37 帧与 49 帧 (0.538 4) 的相关性, 即嵌入帧与嵌入帧间的相关性远小于嵌入帧与非嵌入帧间的相关性。

4 实验结果

在实验中, 利用 MPEG 视频文件的编解码库 FFMPEG 软件作为实验平台, 采用标准测试序列 akiyo、deadline 等 yuv 视频作为测试序列。FFMPEG 是一个开源免费的项目, 提供录制、转换及流化音视频的完整解决方案。

本文选取了从网上下载的不同类型的 10 个视频序列, 分别选取各个视频的前 200 帧的亮度分量, 得到 2 000 帧的亮度分量。将得到的视频序列作为实验载体序列, 对 10 个视频按实验要求的 0%、25%、75%、100%的嵌入率将秘密信息嵌入到视频帧中, 并进行分类实验。实验结果如表 1 所示。

表 1 不同嵌入比率载密视频序列的本文方法检测正确率

嵌入率	正确率	虚警率
1	0.987 5	0.012 6
0.75	0.975	0.025 6
0.5	0.95	0.052 6
0.25	0.812 5	0.230 7
0	0.8	0.25

实验表明, 本文提出的隐写分析方法在嵌入率较高时, 检测正确率接近 100%, 随着嵌入率的增加, 检测正确率也逐渐上升。在嵌入率为 0.5 时, 正确率仍保持在 95%以上。所以本文提出的算法检测正确率较高, 并且有利于做进一步的分析与研究。

5 结束语

本文提出的基于带权值无向图的图论视频隐写分析方法, 融合了共生矩阵的方法, 将两大相关性(帧与帧之间、像素与像素之间)相结合——利用共生矩阵反映像素间的相关性, 带权值无向图反应帧间的相关性, 两者相结合能更好地揭示视频间的宏观差异性。实验结果表明, 本文提出的方法能快速准确地地区分载密视频和原始视频, 并且检测正确率较高, 有较大的发展空间, 有利于针对算法做

进一步的改进与研究。下一步的工作主要针对低嵌入率的视频做出改进优化隐写分析方法, 使检测的正确率得到进一步提高。

参考文献:

- [1] 徐长勇. 视频数字隐写与隐写分析技术研究[D]. 解放军信息工程大学, 2009.
XU C Y. Research on Video Steganography and Video Steganalysis[D]. The PLA Information Engineering University, 2009.
- [2] 徐长勇, 平西建. 基于时空相关性的视频隐写分析[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(9):1331-1337.
XU C Y, PING X J. Video Steganalysis based on spatial-temporal correlation[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(9):1331-1337.
- [3] 刘钺, 刘粉林, 杨春芳. 基于帧间共谋的视频隐写分析[J]. 通信学报, 2009, 30(4): 41-49, 59.
LIU B, LIU F L, YANG C F. Video steganalysis scheme based on inter-frame collusion[J]. Journal on Communications, 2009, 30(4): 41-49, 59.
- [4] 孙怡峰, 刘粉林. 基于运动估计的视频隐写检测算法[J]. 模式识别与人工智能, 2010, (6): 759-765.
SUN Y F, LIU F L. Digital video steganalysis algorithm based on motion estimation[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010, (6):759-765.
- [5] 邓倩岚, 林家骏. 基于共生矩阵的图像隐写分析算法[J]. 微计算机信息, 2009, (34): 6-8.
DENG Q L, LIN J J. Image steganalysis based on co-occurrence matrix[J]. Microcomputer Information, 2009, (34): 6-8.
- [6] LU C S, CHUNG P C, CHEN C F. Unsupervised texture segmentation via wavelet transform[J]. Pattern Recognition, 1997, 30:729-742.
- [7] 郭德军, 宋蛰存. 基于灰度共生矩阵的纹理图像分类研究[J]. 林业机械与木工设备, 2005, (7): 21-23.
GUO D J, SONG Z C. A Study on texture image classifying based on gray-level co-occurrence matrix[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2005, (7): 21-23.
- [8] 曹建农, 李德仁, 关泽群. 基于可分解马尔科夫网的视频图像检测方法研究[J]. 光学学报, 2005, 25(3): 312-318.
CAO J N, LI D R, GUAN Z Q. Study on approach of detection for video image based on decomposable Markov network[J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(3):312-318.

作者简介:



达婷 (1992-), 女, 甘肃陇南人, 华中科技大学硕士生, 主要研究方向为网络与信息安全等。

李芝棠 (1951-), 男, 湖北监利人, 华中科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机系统结构、网络与信息安全、P2P 网络。