



Электронное научное издание
«Ученые заметки ТОГУ»
2013, Том 4, № 4, С. 1291 – 1297

Свидетельство
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010
<http://ejournal.khstu.ru/>
ejournal@khstu.ru

УДК 681.323(075)

© 2013 г. Г. И. Бахрушина

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ АТАК НА ОСНОВЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Аннотация. Статья посвящена технике цифровых водяных знаков, на основе которых может быть решена проблема защиты авторских прав путем внедрения в изображение информации о ее владельце. В частности, рассматривается проблема моделирования геометрических атак на основе аффинных преобразований. Отмечается, что целью геометрических атак, таких как сдвиг, изменение масштаба и поворот, является нарушение работы декодера.

Ключевые слова: цифровые водяные знаки, геометрические атаки, аффинные преобразования.

G.I.Bahrushina

GEOMETRIC ATTACKS MODELING ON BASIS OF AFFINE TRANSFORMATION

The paper is concerned with the digital watermarking techniques that can solve the copyright protection problem by embedding owner information inside the image. In particular the problems with modeling geometric attacks on basis of affine transformation are considered. It is noted that the goal of the geometric attacks, such as shifting, scaling, rotation, is to force the decoder to fail.

Keywords: digital watermarking, geometric attacks, affine transformation.

Развитие информационных технологий привело к широкому использованию цифровых водяных знаков (ЦВЗ) для защиты от несанкционированного копирования фотографий, DVD фильмов, музыкальных записей в формате mp3. Под ЦВЗ принято понимать специальные метки, встраиваемые в цифровые данные с целью их аутентификации и защиты от нелегального использования.

Для эффективной защиты цифровых данных от их несанкционированного использования ЦВЗ должен обладать следующими основными качествами [1]:

- невидимость;
- помехоустойчивость (устойчивость к искажениям);
- защищенность (стойкость к фальсификации);
- извлекаемость законным владельцем с высокой надежностью;
- устойчивость к преднамеренным и непреднамеренным атакам.

Целью преднамеренной атаки может быть, например, изъятие ЦВЗ из видеоданных [2]. Этот тип атаки реализуется наиболее просто, если при защите, например, DVD фильмов один и тот же ЦВЗ внедряется в каждый кадр видеоданных [2,3]. Поэтому для противодействия этому типу атаки может быть использована менее уязвимая стратегия внедрения ЦВЗ, согласно которой ЦВЗ внедряется только в некоторые кадры, выбор которых производится на основе того или иного критерия [3,4]. Однако в этом случае целью атаки может стать нарушение синхронизации между процессом внедрения ЦВЗ в видеоданные и процессом их извлечения из этих данных. В результате такой атаки ЦВЗ остается невредимым, но сам владелец видеоданных теряет возможность извлечь из них ЦВЗ, чтобы тем самым доказать свои авторские или имущественные права. Наиболее опасными атаками такого рода являются так называемые геометрические атаки в виде сдвига каждого видеокadra вдоль пространственных координатных осей на неопределенное число пикселей, либо в виде поворота каждого видеокadra на неопределенный угол, либо в виде изменения масштаба кадров на неопределенную величину [5].

В отличие от других атак геометрические атаки предназначены для изменения пространственно-углового положения ЦВЗ. Геометрические атаки можно смоделировать с помощью аффинных преобразований (от англ. *affinity* – родство) с неизвестным декодеру параметром. Всего имеется шесть аффинных преобразований: масштабирование, изменение пропорций, повороты, сдвиг и усечение. Эти атаки приводят к потере синхронизации между процедурой внедрения ЦВЗ в изображение и процедурой его извлечения.

Теория аффинных преобразований впервые была рассмотрена Дарбу. В работе представлены общая теория для аффинных преобразований плоскости, а также примеры аффинных преобразований, таких как движение, косое сжатие, гомотетия и другие.

Рассмотрим подробнее аффинные преобразования [6-9].

Преобразование плоскости принято называть аффинным, если:

- оно взаимно-однозначно;
- образом любой прямой является прямая.

Преобразование называется взаимно-однозначным, если

- разные точки переходят в разные;
- в каждую точку переходит какая-либо точка.

В теории аффинных преобразований вводится такое понятие, как однородные координаты. Под ними подразумеваются координаты, обладающие тем свойством, что определяемый ими объект не меняется при умножении всех координат на одно и то же число.

Для задания параллельного переноса матрицы 2×2 недостаточно, его можно за-

дать только с помощью матрицы размера 3×3 . Поэтому матрица преобразования для однородных координат имеет размер 3×3 . Рассмотрим некоторые преобразования в однородных координатах.

Сжатие/растяжение

Это преобразование умножает соответствующие координаты точек на коэффициенты масштабирования по осям: $(x, y) \rightarrow (a_x * x, a_y * y)$. Матрица преобразования запишется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} a_x & 0 & 1 \\ 0 & a_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

где a_x – растяжение по оси x , a_y – растяжение по оси y .

Необходимо заметить, что при отрицательных значениях коэффициентов сжатия/растяжения происходит отражение относительно соответствующих осей. Этот случай можно включить в данное преобразование, а можно вынести в отдельное, отметив, что коэффициенты масштабирования принимают только положительные значения. Процедура сжатия/растяжения иллюстрируется на рис. 1.

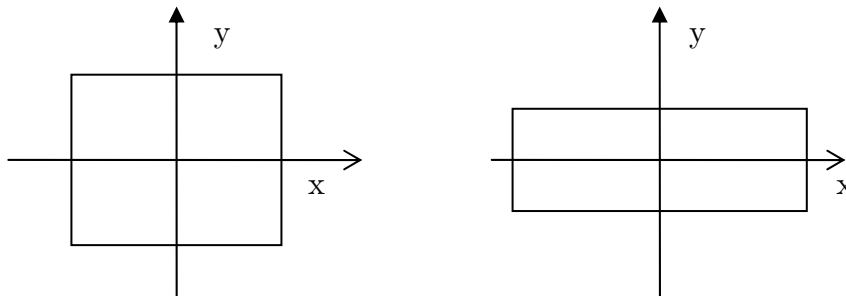


Рис.1. Изображение сжатия/растяжения

Поворот плоскости и его матричное представление

При повороте относительно начала координат для задания вращения используется один угол φ , как показано на рис.2.

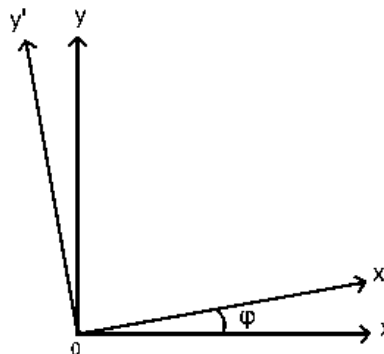


Рис. 2. Поворот плоскости на угол φ

Направление вращения против часовой стрелки рассматривается как положительное. При этом считается, что угол φ находится в интервале $[-\pi; \pi]$. Чтобы получить преобразование координат при повороте, возьмем произвольный вектор r , задаю-

щий некоторую точку. Ее координаты:

$$\begin{aligned}x &= |r| \cos(\alpha); \\ y &= |r| \sin(\alpha).\end{aligned}$$

При повороте на угол φ :

$$\begin{aligned}x' &= |r| \cos(\alpha + \varphi) = |r| (\cos(\alpha) \cos(\varphi) - \sin(\alpha) \sin(\varphi)) = x \cos(\varphi) - y \sin(\varphi); \\ y' &= |r| \sin(\alpha + \varphi) = |r| (\sin(\alpha) \cos(\varphi) + \cos(\alpha) \sin(\varphi)) = x \sin(\varphi) + y \cos(\varphi).\end{aligned}$$

Таким образом, при повороте на угол φ координаты x и y подвергаются преобразованию, записанному выше (см. рис. 3). Данное преобразование координат удобно представить в виде матрицы:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Заметим, что если перемножить две матрицы, задающие повороты на углы α и β , то получится матрица поворота на угол $\alpha + \beta$.

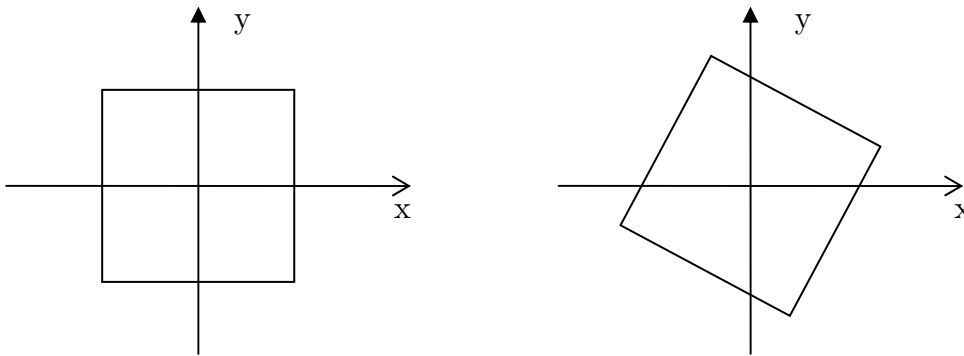


Рис. 3. Поворот матрицы дискретного изображения

В случае аффинных преобразований рассмотренная матрица поворота 2×2 дополняется строкой и столбцом:

$$\begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

При $\varphi = \pi$ эта матрица задает центральную симметрию относительно начала координат, которая является частным случаем поворота. Такую симметрию можно задать с помощью преобразования сжатия/растяжения (допуская отрицательные коэффициенты масштабирования).

Параллельный перенос

Исходный вектор (x, y) переходит в $(x + t_x, y + t_y)$, как показано на рис. 4.

Матрица преобразования запишется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$$

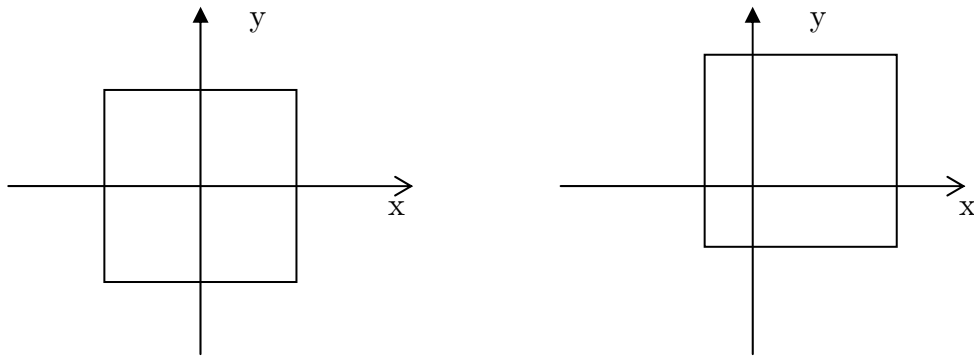


Рис. 4. Параллельный перенос

Отражение

Отражения получаются следующим образом:
отражение относительно оси x :

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

отражение относительно оси y :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

На рис. 5 иллюстрируется процедура отражения.

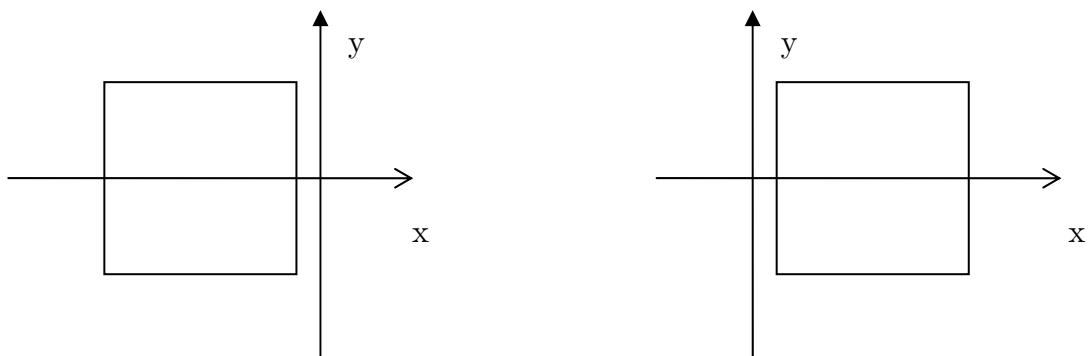


Рис. 5. Отражение

Общий вид аффинного преобразования

Матрица 3×3 , последний столбец которой равен $(0 \ 0 \ 1)^T$, задает аффинное преобразование плоскости:

$$\begin{bmatrix} * & * & 0 \\ * & * & 0 \\ * & * & 1 \end{bmatrix}.$$

По одному из свойств, аффинное преобразование можно записать в виде: $f(x) = x * R + t$, где R – обратимая матрица 2×2 , а t – произвольный вектор. В одно-родных координатах это запишется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}.$$

Если умножить вектор-строку на эту матрицу, получаем результат преобразования:

$$[x \quad y \quad 1] * \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix} = [x' \quad y' \quad 1] + [t_x \quad t_y \quad 1].$$

При этом $[x' \quad y'] = R * [x \quad y]$.

Таким образом, аффинное преобразование представляется в виде композиции некоторого преобразования, задаваемого матрицей R , и параллельного переноса.

Матрица R определяет новый базис плоскости. Т.е. вектор $(1,0)$ переходит в (R_{11}, R_{21}) , вектор $(0,1)$ переходит в (R_{12}, R_{22}) . Новый базис – это строки матрицы R .

При отражении относительно оси y , базисный вектор по оси ординат сохраняется, а по оси абсцисс переходит в $(-1,0)$. Т.е. матрица R будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Становится очевидным, что кроме вышеперечисленных преобразований, с помощью аффинного преобразования можно получить скос.

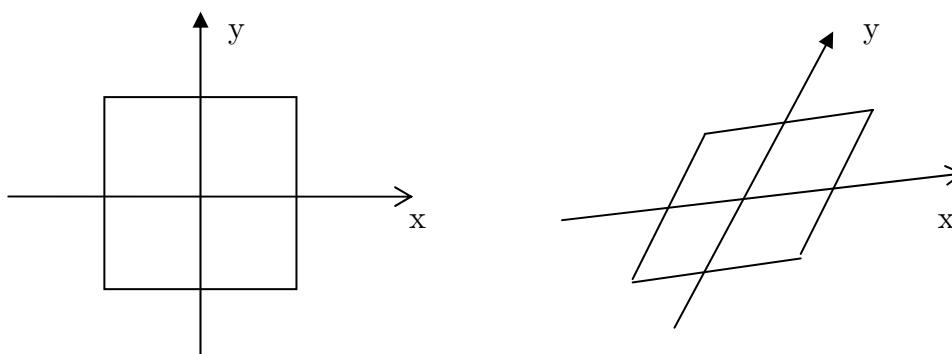


Рис. 6. Скос изображения

Сложные аффинные преобразования можно получить как комбинацию простых (элементарных) преобразований. При этом выбирать простые аффинные преобразования можно разными способами. Например, поворот можно представить как комбинацию

цию масштабирования и сдвига. Тем не менее, для удобства, поворот также считается элементарным преобразованием. Поворот вокруг произвольного вектора представляется как комбинация поворотов вокруг координатных осей.

Таким образом, на основе аффинных преобразований можно моделировать наиболее опасные геометрические атаки на цифровые водяные знаки с целью нарушения работоспособности декодера. Очевидно, что формализация процесса формирования геометрических атак позволяет исследовать различные алгоритмы защиты видеоданных с помощью ЦВЗ на робастность.

В заключение следует отметить, что если обеспечение устойчивости к глобальным геометрическим атакам есть более или менее решенная задача, то обеспечение устойчивости к локальным изменениям изображения является открытым вопросом. Эти атаки основаны на том, что человеческий глаз слабо чувствителен к небольшим локальным изменениям изображения.

Список литературы

- [1] *A guide tour of video watermarking* / G. Doerr, J.L. Dugelay // *Signal processing: Image Commun.*, vol. 18, no. 4, pp 263-285, 2003.
- [2] *Countermeasures for unintentional and intentional video watermarking attacks* / Fredric Deguillaume, Gabriela Csurka, Thierry Pun // *Proc. SPIE Vol. 3971*, p. 346-357, 2000.
- [3] *A Novel approach to collusion-resistant video watermarking* / K. Su, D. Kundur, D. Hatzinakos // *Proc. SPIE Vol. 4675*, p. 491-502, 2002.
- [4] *New Video Watermarking Scheme Resistant to Collusion and Synchronization Attacks* / A. Bahrushin, K. Kim, K. Lopatin, G. Bahrushina and R. Tsoy // *In Proceedings of the 2007 International Conference on Security and Management. SAM'07*, pp. 283-289, 2007.
- [5] *RST invariant digital image watermarking based on log-polar mapping and phase correlation* / Dong Zheng, Jiying Zhao, Abdulmo, Taleb El Saddik // *IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 153-165, 2003.
- [6] Яглом И.М., Ашкингузе В.Г. Идеи и методы аффинной и проективной геометрии. Часть 1. Аффинная геометрия. М.: - Учпедгиз, 1962
- [7] Мухелишвили Н. И., Курс аналитической геометрии, 4 изд., М., 1967.
- [8] Александров П. С., Лекции по аналитической геометрии, М. , 1968.
- [9] Ефимов Н. В., Высшая геометрия, 4 изд., М., 1961.

E-mail: gal_bah@mail.ru