

УДК 004.896

Применение геометрических преобразований для анаморфирования изображений

Канев А.И., специалист

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы обработки информации и управления»*

Научный руководитель: Терехов В.И., к.т.н, доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

terekchow@bmstu.ru

Известно, что одним из способов быстрого анализа и принятия обоснованного варианта решения для широкого спектра практических задач является визуальное представление лицу, принимающему решение (ЛПР) необходимой для этого информации. Эта информация должна учитывать различные факторы и характеристики исследуемого процесса или явления и носить, в основном, визуальный характер - в виде визуальных информационных образов с тем, чтобы ее восприятие и обработка привела к резкому сокращению времени ее анализа и, соответственно, времени принятия обоснованного варианта решения[1].

В качестве одного из методов анализа исходных данных и принятия обоснованного варианта решения на основе визуализации актуальной информации, предлагается использовать метод анаморфирования [2], относящийся к когнитивной компьютерной графике.

В основе метода анаморфирования лежит понятие анаморфозы, которая определяется как переход от одного визуального образа, построенного на основе евклидовой метрики, к другому визуальному образу, в основе которого лежит метрика рассматриваемого процесса или явления на основе выбранного показателя. При этом важным преимуществом метода анаморфирования является то, что он позволяет визуализировать сложные и неочевидные распределения показателей, которые необходимо учитывать при принятии решения.

Сущность метода анаморфирования состоит в том, что исходный визуальный образ, преобразуется (анаморфируется) на основе выбранных показателей в двумерный визуальный образ. При этом внутренняя структура визуального образа изменяется таким образом, что распределение выбранных показателей становится равномерным, при сохранении топологического подобия с исходным визуальным образом.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество численных методов построения анаморфоз, каждый из которых обладает рядом достоинств и недостатков.

Один из первых численных методов построения анаморфоз был предложен У. Тоблером[2]. В этом алгоритме предполагается, что площадная фигура разбита на четырехугольные области. Для каждого четырехугольника выбирается такой сдвиг вершин, который приводит его к четырехугольнику требуемой площади. При этом вектора сдвига выбираются таким образом, что они параллельны биссектрисам координатных углов, т. е. имеют вид (a, a) или $(a, -a)$. Для каждой вершины решетки на каждом шаге вектор сдвига определяется как сумма четырех векторов соответствующих примыкающим к ней ячейкам. В соответствии с найденными векторами осуществляется сдвиг всех вершин. Необходимо следить за отсутствием нарушений целостности изображения (наложения соседних ячеек друг на друга). После того, как вычислены новые площади ячеек, шаг повторяется. Процесс заканчивается, когда отклонение полученной плотности распределения рассматриваемого показателя от постоянной становится меньше заранее заданной величины ε .

Достоинства этого алгоритма состоят в его простоте и отсутствии преимуществ одних ячеек по отношению к другим. Однако он имеет и очевидные недостатки. Во-первых, результат существенно зависит от выбора направлений координатных осей. Во-вторых, итерационный процесс обладает медленной сходимостью, т.к. на каждом шаге вектор сдвига вершины определяется только по четырем примыкающим к ней четырехугольникам. Поэтому наличие ячейки с высокой плотностью рассматриваемого показателя будет «почувствовано» вершиной (в смысле ее смещения) только после числа шагов, равного количеству ячеек между вершиной и указанной ячейкой.

Метод треугольников разработан в Московском государственном университете им. Ломоносова [3]. Площадная фигура предполагается триангулированной, т. е. покрытой множеством треугольников таким образом, что различные треугольники не пересекают друг друга и могут иметь либо общую сторону, либо общую вершину. Для каждого из треугольников вычисляется плотность ρ_i распределения рассматриваемого показателя. Выбирается показатель f , определенный для каждой вершины сети и характеризующий различия в плотностях распределения рассматриваемого явления для треугольников, примыкающих к этой вершине

При численной реализации метода выбирается случайная j -я вершина сети треугольников. Определяется область плоскости, содержащая рассматриваемую вершину

и такая, что сдвиг вершины в любую ее точку не нарушает взаимного расположения прилегающих треугольников. Эта область выбирается в виде круга, радиус которого определяется по специальной формуле. В пределах круга выбирается новое положение вершины, для которого значение показателя f по возможности минимально. Это положение определяется с помощью метода Монте-Карло, т.е. метода случайного поиска. После переноса вершины в найденную точку вычисляются новые плотности распределения рассматриваемого показателя для всех примыкающих треугольников. После этого процедура повторяется для следующей случайным образом выбранной вершины и т.д. до тех пор, пока разность плотностей распределения рассматриваемого показателя не станет меньше заранее выбранной величины.

Очевидными достоинствами метода являются: простота, независимость от выбора какой-либо системы координат, сохранение топологического подобия с оригиналом. Основной недостаток метода состоит в существенной зависимости результата от случайных выборов, при его реализации: в порядке обработки вершин, в случайном поиске нового положения выбранной вершины.

Алгоритм построения анаморфированных изображений лаборатории Лоуренс Беркли [2]. Пусть $\bar{\rho}$ – средняя плотность рассматриваемого показателя по всем площадным фигурам, называемым в дальнейшем – ячейки. На каждом шаге алгоритма выбирается одна из рассматриваемых ячеек. Пусть ρ_A – плотность рассматриваемого показателя в ячейке A , C_A – центр масс этой ячейки. После этого определяется деформация h_A площадной фигуры, которая сохраняет центр C_A , изменяет площадь ячейки A требуемым образом и не меняет площади остальных ячеек. Эта деформация слабо меняет форму выбранной ячейки (если ячейка выпукла, то деформация действует на ней как гомотетия). Формы остальных ячеек меняются более существенно. Эта операция повторяется для второй ячейки, третьей и т. д., вплоть до последней. В результате получается деформация, которая (приблизительно) обладает требуемыми свойствами.

Этот метод позволяет получить анаморфозы хорошего качества. Его реализация относительно проста. Основной недостаток метода состоит в том, что окончательный результат существенно зависит от порядка, в котором берутся ячейки. Помимо этого, результат получается с использованием большого количества шагов, равного количеству вершин рассматриваемых ячеек. При этом на каждом шаге находится площадь только одной из ячеек. Поэтому ошибки, допущенные на каждом шаге, не исправляются позже и накапливаются [3, 4].

Все вышеперечисленные алгоритмы позволяют добиться преобразования изображения произвольного вида, но используют при этом численные методы вычисления, которые на каждом шаге вносят погрешность в выходные данные. Также для их использования необходимо иметь матрицу распределения анализируемого показателя[3, 4]. Но есть множество задач, где не требуется универсальность, вид преобразования заранее известен, поэтому не нужно строить матрицу распределения. А погрешность алгоритма влияет на точность, искажает изображение, затрудняет обратное преобразование.

Одной из таких задач, является определение местоположения и прокладка маршрута на карте. Решению этой задачи помогает растяжение круговой области карты до размеров полусферы. В результате такого преобразования центральная часть изображения значительно увеличивается, а по краям немного уменьшается. Это позволяет подробно изучить интересующий участок, имея при этом возможность видеть связи этой части карты с остальными.

Поэтому был разработан алгоритм, использующий геометрические преобразования для получения анаморфозы изображения. Вид геометрического преобразования зависит от задач, которые решает пользователь. В данной работе приведен вывод формул для двух вариантов алгоритма.

Вывод формул для сферической лупы

Для задания отображения приведены формулы (1) и (2) зависимости координат точек выходного изображения от координат входного. Вычисления проведены для 4-ой четверти декартовой плоскости координат, которая используется для отображения на дисплее.

$$x' = \frac{\sin \left(\left(\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \right) * \frac{\pi}{2R} \right) * (x - x_c) * R}{\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} * \sin \left(\frac{R_1 * \pi}{2R} \right)} + x_c \quad (1)$$

$$y' = \frac{\sin \left(\left(\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \right) * \frac{\pi}{2R} \right) * (y - y_c) * R}{\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} * \sin \left(\frac{R_1 * \pi}{2R} \right)} + y_c \quad (2)$$

где (x_c, y_c) - координаты центра изображения,
 (x, y) – исходные координаты точки, (x', y') - выходные координаты точки (рис.1),

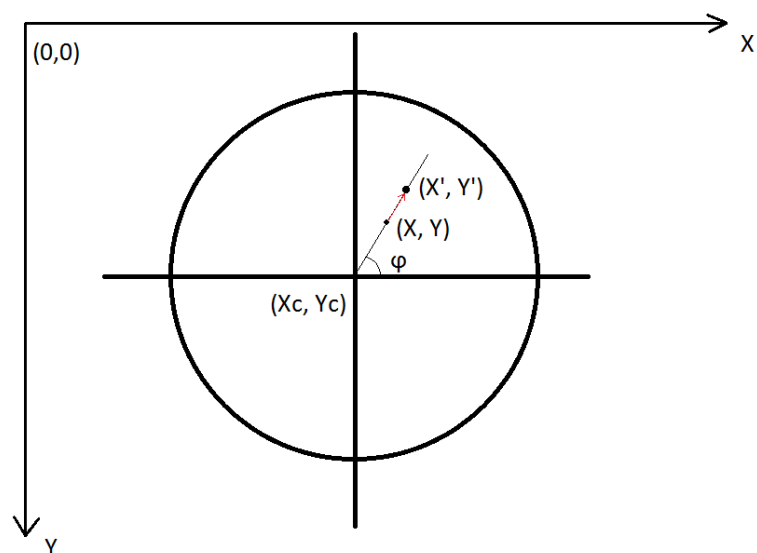


Рис. 1. Координаты точек на плоскости рисунка

R – радиус шара линзы, R_1 – радиус изменяемого участка (рис.2).

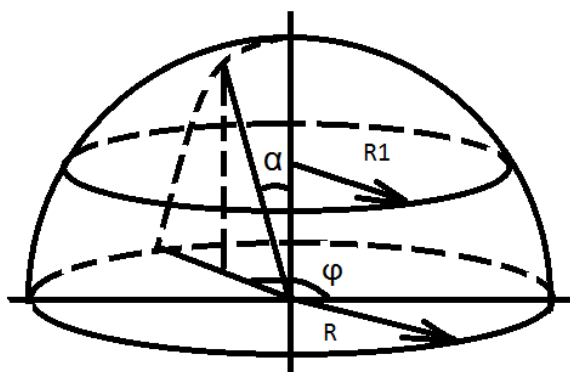


Рис. 2. Исходные данные и углы в сферической системе координат

Поясним формулу для координаты x . Выражение $\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$ – расстояние от исходной точки до центра изображения. Коэффициент $\frac{\pi}{2}$ позволяет растянуть круг исходного изображения до размера шарового слоя.

Деление на радиус сферы R позволяет получить зенитный угол α в радианах. Синус этого угла, умноженный на радиус сферы позволяет получить новое расстояние от точки изображения до его центра.

Выражение $\frac{(x - x_c)}{\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}}$ является косинусом азимутального угла ϕ и необходимо для вычисления координаты x искомой точки.

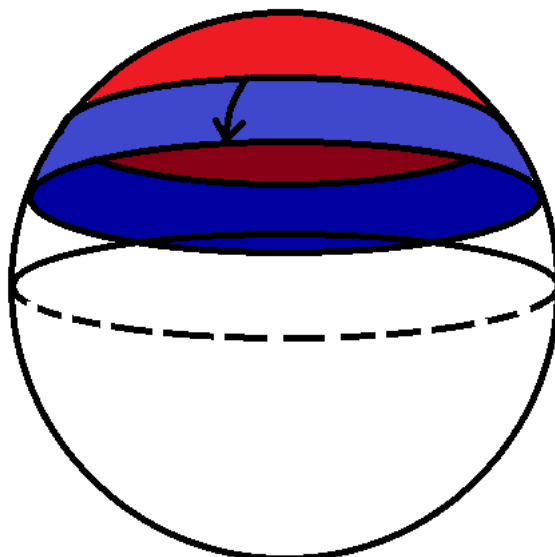


Рис. 3. Увеличение площади изображения за счет растяжения

Нормировочный коэффициент $\sin\left(\frac{R_1 \cdot \pi}{2R}\right)$, необходим для сжатия полученного изображения до размеров исходного круга. Данный коэффициент является значением синуса зенитного угла для крайних точек изображения. Изображение растягивается и выходит за границы, потому что радиус круга меньше, чем радиус сферы, а все точки, которые не находятся на экваторе сферы, смещаются к ее краям.

Аналогичная формула приведена для координаты y (2).

Вывод формул для эллипсоидной лупы

$$x' = \frac{\cos\left(R_1 - \left(\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}\right) * \frac{k}{R_1}\right) * (x - x_c) * R_1}{\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}} + x_c \quad (3)$$

$$y' = \frac{\cos\left(R_1 - \left(\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}\right) * \frac{k}{R_1}\right) * (y - y_c) * R_1}{\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}} + y_c \quad (4),$$

где (x_c, y_c) - координаты центра изображения, (x, y) - исходные координаты точки, (x', y') - выходные координаты точки (рис.1), R_1 - радиус изменяемого участка изображения, k - коэффициент вытянутости эллипса.

Рассмотрим формулу (3). Выражение $\frac{(x - x_c)}{\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}}$ является косинусом азимутального угла ϕ необходимо для вычисления координаты x искомой точки.

Выражение внутри косинуса является углом, обратным к зенитному углу искомой точки.

Коэффициент k позволяет варьировать вытянутость линзы и соответственно разницу в деформации центральной части и краев изображения. При значении $k = \pi/2$ анаморфирование будет осуществляться также, как в первом варианте.

Аналогичная формула приведена для координаты y (4).

Список литературы

1. Глезер В.Д., Цукерман И.И. Информация и зрение. М.: АН СССР, 1961. 347 с.
2. Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Анаморфозы: что это такое? М.: Эдиториал УРСС, 1999. 168 с.
3. Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Создание анаморфированных изображений для географических исследований // Вестник Московского университета, серия география. 1992. № 4. С. 43-52.
4. Терехов В.И. Методы вычислительного интеллекта, применяемые для решения задач инженерного и инженерно-технического обеспечения. Монография. М.: Издательство «Общевойсковая академия ВС РФ», 2010. 253 с.
5. Терехов В.И. Применение когнитивной компьютерной графики в системах поддержки принятия решения должностных лиц органов военного управления. Монография. М.: Издательство «Общевойсковая академия ВС РФ», 2012. 150 с.