

УДК 004.932.2

DOI: 10.17223/00213411/64/2-2/96

К.В. СМЕРНОВ¹, Б.А. ФАУСТОВ¹, И.Л. ФАУСТОВА²

МЕТОД ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА

Несмотря на существование большого количества методов и алгоритмов обработки изображений, отвечающих различным целям, остается актуальной задача разработки новых подходов. Рассмотрен метод, который можно применять для определения оптического потока радионуклидных изображений. Приведено обоснование метода и математическая формализация, показаны примеры использования алгоритмов на тестовых изображениях.

Ключевые слова: поле скоростей, оптический поток, обработка изображений.

Введение

Изучение методов обработки и анализа изображений является в настоящее время актуальной задачей, так как эти методы применяются в самых различных информационных и технических системах. Существует большое количество методов и алгоритмов обработки изображений, отвечающих различным целям, таким, как восстановление изображений, улучшение их качества, определение движения на изображениях, распознавание и классификация и т.д. Для радионуклидных изображений важны все перечисленные виды обработки, в частности анализ изображений, основанный на построении поля скоростей или поля перемещений. Несмотря на большое количество методов обработки изображений, остается актуальной задача разработки новых подходов. В [1] сделан подробный обзор локальных и глобальных методов.

В данной работе рассмотрен метод, который можно применять для определения оптического потока радионуклидных изображений. Поле скоростей – одна из форм представления движения объектов на изображении, при котором каждой точке изображения ставится в соответствие вектор скорости, отвечающий соответствующей точке на объекте. В работе приведено обоснование метода и математическая формализация, показаны примеры использования алгоритмов на тестовых изображениях.

Метод оптического потока

Чтобы выделить исходные концепции, которые лежат в основе выбора метода, пригодного для решения задачи распознавания движения объектов на изображении, в нашем случае необходимо проанализировать радионуклидные изображения. Как и в общем случае задачи распознавания, можно использовать внешнюю геометрическую похожесть одного и того же объекта на разных изображениях, при этом чем меньше изменений произошло между моментами, запечатленными на них, тем проще выделить один и тот же объект. Поэтому в самом простом случае за основу можно принять неизменность цвета объекта в течение времени. Если учесть, что яркость изображений может быть различна ввиду качества цветопередачи или изменения мощности регистрируемого излучения, можно принимать во внимание неизменность градиента цвета. В более общем случае яркость изображения может быть неравномерной, поэтому стоит рассмотреть постоянство второй производной цвета, выраженное в форме матрицы Гессе, ее определителя гессиана или следа лапласиана.

Приведенных параметров недостаточно для построения алгоритма, так как они связывают точки одного изображения с точками другого, основываясь только на их цвете, при этом нет упорядоченности, которая бы разрешала неоднозначность: в случае, если точке на одном изображении будут соответствовать несколько точек другого. Одно из предположений, которое позволяет частично решить эту проблему, является предположение гладкости потока. Это отвечает неразрывности двигающихся тел, они не могут резко изменять свое строение, но могут менять размеры и форму.

Постановка задачи и алгоритм построения оптического потока

Приведем подробное описание семейства методов на примере предположений постоянства яркости и гладкости потока, затем сформулируем результаты для случая замены предположения постоянства яркости на постоянство гессияна [2]. Будем рассматривать изображения, цвет каждой точки которого кодируется одним числом яркости $I_i(x)$, где вектор $x = (x_1, x_2, t)$ включает координату и время. Предположение постоянства яркости формулируется в виде задачи минимизации

$$I_z = I(x + u) - I(x) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где вектор $u = x'_t = (u_1, u_2, 1)$ отвечает полю скоростей, которое является параметром минимизации. Чтобы это выполнялось для всех точек изображения, будем рассматривать задачу минимизации для интеграла

$$E_1 = \int_{\Omega} [I(x + y) - I(x)]^2 dx. \quad (2)$$

Добавим предположение гладкости потока

$$E = \int_{\Omega} [I(x + y) - I(x)]^2 dx + \alpha \int_{\Omega} (\|\nabla u_1\|^2 + \|\nabla u_2\|^2) dx. \quad (3)$$

Здесь α – коэффициент различия важности для наших двух предположений. Знак ∇ обозначает градиент, далее Δ будет символом лапласиана. Для решения задачи минимизации составим систему уравнений Эйлера – Лагранжа:

$$I_z \nabla I(x + u) - \alpha \begin{pmatrix} \Delta & u_1 \\ \Delta & u_2 \end{pmatrix} = 0. \quad (4)$$

Приведем это выражение к системе линейных уравнений. Построим итерационную схему. Введем вектор $du^k = (u_1^k, u_2^k, 1)^T$.

$$I_z^{k+1} \nabla I(x + u^k) - \alpha \begin{pmatrix} \Delta & u_1^{k+1} \\ \Delta & u_2^{k+1} \end{pmatrix} = 0. \quad (5)$$

Для решения системы используем обратную итерационную схему. Лапласиан раскроем с помощью его интерполяции через значение потока, полученного на предыдущем шаге [3]. Линейную часть получим из I_z^{k+1} с помощью формулы Тейлора. Тогда

$$I_z^{k+1} \approx I_z^k + I_{x_1}^k du_1^k + I_{x_2}^k du_2^k. \quad (6)$$

При этом $u_1^{k+1} = u_1^k + du_1^k$, $u_2^{k+1} = u_2^k + du_2^k$.

Таким образом,

$$\left(I_z^k + I_{x_1}^k du_1^k + I_{x_2}^k du_2^k \right) \nabla I(x + u^k) - \alpha \begin{pmatrix} \Delta & (u_1^{k+1}) \\ \Delta & (u_2^{k+1}) \end{pmatrix} = 0. \quad (7)$$

Получили линейную систему относительно u^k , решать которую можно различными методами [4], например с помощью последовательных приближений, по следующей схеме:

$$\left(I_z^k + du^{k,l+1} + \nabla I^k \right) \nabla I(x + u^{k,l}) - \alpha \begin{pmatrix} \Delta & (u_1^k + du_1^{k,l+1}) \\ \Delta & (u_2^k + du_2^{k,l+1}) \end{pmatrix} = 0. \quad (8)$$

При использовании предположений постоянства гессияна и гладкости потока результат будет иметь вид

$$\sum_{i,j=1}^2 \nabla I_{x_i x_j}^k \left[I_{x_i x_j}^{k,l+1} + \left(\nabla I_{x_i x_j}^k \right)^T du^{k,l+1} \right] - \alpha \begin{pmatrix} \Delta & (u_1^k + du_1^{k,l+1}) \\ \Delta & (u_2^k + du_2^{k,l+1}) \end{pmatrix} = 0.$$

Здесь нижние индексы $x_i x_j$ обозначают частные производные.

Примеры применения метода оптического потока

На рис. 1 и 2 даны результаты работы приведенных алгоритмов для постоянства цвета и его гессииана. При этом видно, что правильная картина в обоих случаях достигается только в отдельных областях, причем их расположение зависит от алгоритма. Заметно, что оба потока выделяют места, отвечающие положениям границ на изображении. Это может являться одним из способов использования данного метода.

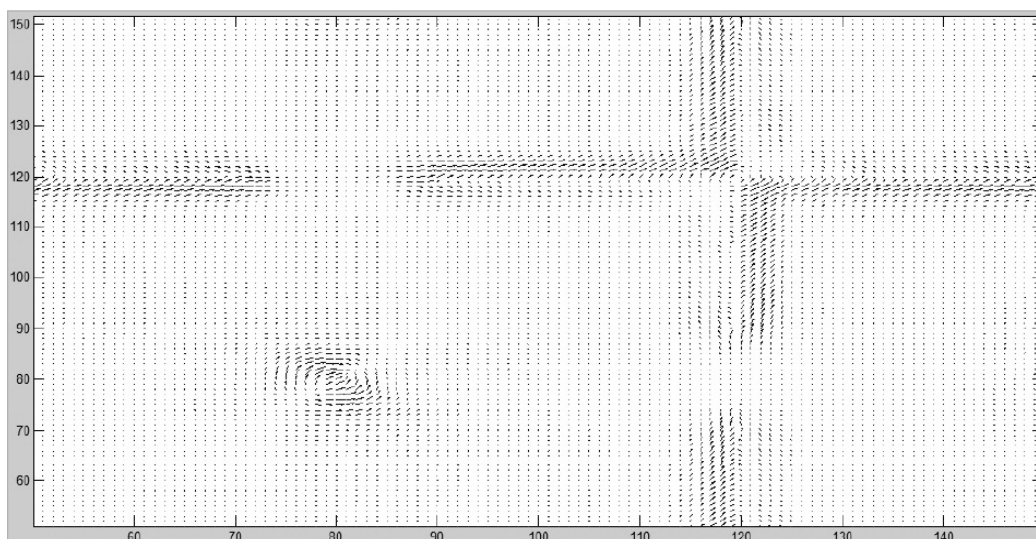


Рис. 1. Поток, рассчитанный из предположения постоянства яркости

При рассмотрении других изображений можно выделить дополнительные нюансы, одним из которых является возможность зависимости результата от начального приближения потока. Это достаточно просто представить на примере шахматной доски. При наличии дискретной информации о поступательном движении доски можно определить ее скорость с точностью до слагаемого, которое можно прибавлять к скорости любое целое число раз. Это носит название апертурной проблемы.

При данных предположениях возможности определения потока ограничиваются визуальными возможностями восприятия движения в каждой отдельной точке. В приведенном примере это достаточно хорошо заметно: вдоль полос с постоянным цветом нельзя определить движение, так как ничего не известно о движении прямой вдоль самой себя.

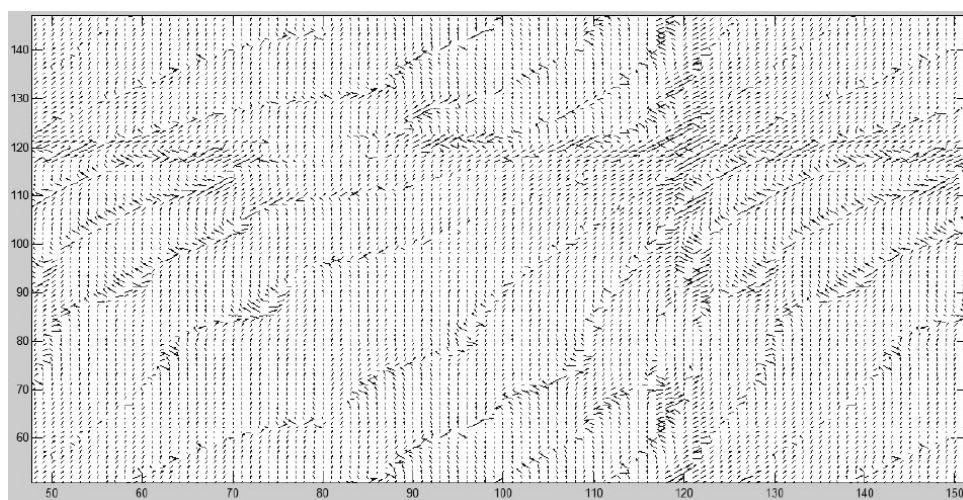


Рис. 2. Поток, рассчитанный из предположения постоянства гессииана яркости

Заключение

В данной работе рассмотрен метод, который можно применять для определения оптического потока радионуклидных изображений. Этот алгоритм можно использовать в других приложениях, но необходимо учитывать специфику каждого отдельного случая. В целом, чем больше известно о свойствах движения и объектах на начальном этапе, тем точнее будет работать алгоритм оптического потока радионуклидных изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bruhn A., Weickert J., and Schnorr C. // Int. J. Comp. Vision. – 2005. – V. 61. – No. 3. – P. 211–231.
2. Papenberg N. et al. // Int. J. Comp. Vision. – 2006. – V. 67. – No. 2. – P. 141–158.
3. Horn B.K.P. and Schunck B.G. // Artificial Intelligence. – 1981. – No. 17. – P. 185–203.
4. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 840 с.

Поступила в редакцию 20.10.2020.

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

² Северский технологический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Северск, Россия

Смирнов Константин Валерьевич, аспирант СПбГУ, e-mail: constcoh@gmail.com;

Фаустов Богдан Андреевич, аспирант СПбГУ, e-mail: bogfaust@gmail.com;

Фаустова Инна Леонтьевна, к.ф.-м.н., доцент СТИ НИЯУ «МИФИ», e-mail: infaust@rambler.ru.

K.V. SMIRNOV¹, B.A. FAUSTOV¹, I.L. FAUSTOVA²

OPTICAL FLOW METHOD

There are a large number of methods and algorithms for image processing that meet different purposes. Despite the large number of image processing methods, the task of developing new approaches remains relevant. In this paper we consider a method which can be applied to determine the optical flow on radionuclide images. The article provides the substantiation of the method and mathematical formalization, shows examples of the use of algorithms on test images.

Keywords: *velocity field, optical flow, image processing.*

¹ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

² Seversk Technological Institute National Research Nuclear University «MEPHI», Seversk, Russia

Smirnov Konstantin Valer'yevich, Postgraduate Student SPbU, e-mail: constcoh@gmail.com;

Faustov Bogdan Andreyevich, Postgraduate Student SPbU, e-mail: bogfaust@gmail.com;

Faustova Inna Leontievna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent STI NRNU «MEPHI», e-mail: infaust@rambler.ru.