

Достоверность поиска по шаблону фрагмента на изображении с использованием множества управляемых процедур

Л.Ш. Биктимиров^а, А.Г. Ташлинский^а

^а Ульяновский государственный технический университет, 432027, ул. Северный Венец, 32, Ульяновск, Россия

Аннотация

Исследована эффективность поиска по шаблону фрагмента на изображении с помощью множества управляемых псевдоградиентных процедур, рабочие области которых покрывают исследуемое изображение. Управление процедурами направлено на сокращение вычислительных затрат и основано на анализе функции штрафа процедур и предоставлении приоритета выполнения очередной итерации процедуре с минимальным штрафом. Считается, что искомым фрагмент принадлежит области, в которой процедура первой достигла заданного порогового числа итераций. Если априорно неизвестно присутствуют ли на исследуемом изображении искомые фрагменты, требуется проверка гипотезы об их отсутствии. При отклонении гипотезы производится поиск областей расположения фрагментов. В предположении наличия фрагментов с использованием функции штрафа и порогового числа итераций лидирующей процедуры найдены вероятности их пропуска. При этом решение рассмотрено для одного и нескольких искомым фрагментов.

Ключевые слова: цифровое изображение; поиск фрагмента; пропуск фрагмента; псевдоградиентная процедура; вероятность; ошибки первого и второго рода.

1. Введение

Одной из задач обработки цифровых изображений является поиск по эталону соответствующего ему фрагмента или нескольких идентичных фрагментов изображения [1-4]. Один из классов алгоритмов поиска базируется на использовании псевдоградиентных процедур (ПП) [5,6]. Однако ПП имеют относительно небольшой рабочий диапазон поиска [7], что приводит к необходимости разбиения изображений больших размеров на множество областей, в каждой из которых работает своя процедура. При этом возникает задача определения областей, в которых находятся искомые фрагменты.

При поиске фрагмента всегда существует некоторая вероятность его пропуска. Если все процедуры поиска находятся в одинаковых условиях и выполняют равное число итераций, то вероятность пропуска фрагмента зависит от принятого критерия выбора. Например, в качестве критерия может быть использовано лучшее значение оценки целевой функции качества оценивания на конечной итерации. Но такой подход обеспечивает низкую достоверность выбора, поскольку оценка целевой функции находится по локальной выборке небольшого объема. Кроме того, число областей поиска может достигать десятков тысяч [8,9], поэтому доведение всех процедур до числа итераций, обеспечивающего высокую достоверность поиска, требует больших вычислительных затрат. Для увеличения достоверности можно дополнительно использовать более надежные критерии выбора, которые используют оценки, полученные ПП на конечной итерации, например, максимум коэффициента корреляции между шаблоном искомого фрагмента и предполагаемой областью его расположения на изображении [10]. Однако это ещё больше увеличивает объем вычислений.

Для сокращения вычислительных затрат в [11] предложен алгоритм управления множеством ПП, в котором на каждом шаге приоритет выполнения очередной итерации предоставляется процедуре, имеющей наилучшее значение некоторой функции штрафа (ФС) X [12]. При этом под «шагом алгоритма» понимается совокупность операций, включающая: выполнение процедурой с наилучшей ФС очередной итерации, расчет нового значения ФС и нахождение процедуры с наилучшей ФС. В качестве искомой области (той, в которой гипотетически находится фрагмент) выбирается область, в которой работает процедура, первой достигшая заданного порогового числа итераций T . При поиске $k > 1$ фрагментов – соответственно выбираются k областей, в которых процедуры первыми достигли порогового числа итераций. В дальнейшем под вероятностью ошибочного выбора области понимается вероятность ошибки, вызванная только описанным принципом управления множеством процедур.

В общем случае априорно неизвестно, существуют в исследуемых областях искомые фрагменты. Соответственно процедура поиска в том или ином виде должна содержать проверку гипотезы об их отсутствии. При проверке гипотезы об отсутствии фрагмента могут быть допущены ошибки первого $P^{(1)}$ и второго $P^{(2)}$ рода. Тогда, если априорная вероятность наличия фрагмента в исследуемых областях P_ϕ , то решение о присутствии фрагмента принимается с вероятностью

$$P_\phi(1 - P^{(2)}) + (1 - P_\phi)P^{(1)},$$

а об отсутствии - с вероятностью

$$P_\phi P^{(2)} + (1 - P_\phi)(1 - P^{(1)}).$$

Задача проверки гипотезы об отсутствии фрагмента и статистический критерий ее выполнения рассмотрены в работе [13]. Если гипотеза отклоняется, производится выбор области расположения фрагмента. При этом вероятность

ошибки выбора области расположения фрагмента после отклонения гипотезы с заданной вероятностью ошибки второго рода:

$$P = P_{\Phi} P_{ош} + (1 - P_{\Phi}) P^{(2)}, \tag{1}$$

где $P_{ош}$ - условная вероятность ошибки выбора фрагмента при его наличии.

Рассмотрим вероятность $P_{ош}$ ошибки выбора области изображения, содержащей фрагмент, в предположении его наличия на исследуемом изображении, а также вероятность ошибки правильного выбора $k > 1$ областей при наличии на изображении k идентичных фрагментов, например, несколько изображений одинаковых объектов (технических, биологических и др.). Учитывая, что задачи поиска одного и нескольких фрагментов имеют свою специфику, рассмотрим их отдельно.

2. Вероятность ошибки при поиске одного фрагмента

Пусть изображение (или его часть), на котором ищется фрагмент, разбито на N областей, среди которых только одна содержит искомый фрагмент. Найдем вероятность $P_{ош}$ ошибки идентификации этой области. При этом будем считать, что целевая функция качества работы и ФШ ППП заданы. Значение ФШ X для процедуры, работающей в области с фрагментом обозначим через « x^+ », а в области без фрагмента – через « x^- ».

Если областей только две, то область без фрагмента будет выбрана, если T -й итерации первой достигнет работающая в ней процедура, т.е. $x_T^- < x^+$, где x_T^- - значение ФШ этой процедуры на T -й итерации. При этом вторая процедура может выполнить от 1 до $(T - 1)$ -й итерации. Тогда, если значение ФШ на T -й итерации составило величину x_0 , для ошибочного выбора необходимо одновременное выполнение двух событий: ФШ процедуры в области с фрагментом должна превысить x_0 , а в области без фрагмента соответствовать x_0 . В предположении независимости этих событий, вероятность ошибочного выбора составит:

$$P_{ош} = \int_{x_0}^{\infty} w(x_T^+) dx \int_0^{x_0} w(x_T^-) dx$$

Однако априорно значение x_0 неизвестно и вероятность ошибочного выбора в общем случае - это вероятность того, что на T -й итерации $x_T^+ > x_T^-$:

$$P_{ош} = \int_0^{\infty} w(x_T^-) (1 - F(x_T^+)) dx = \int_0^{\infty} w(x_T^+) F(x_T^-) dx, \tag{2}$$

где $F(x_T) = \int_0^x w(x_T) dx$ - интегральная функция распределения.

Заметим, что плотности распределения вероятностей $w(x^+)$ и $w(x^-)$ зависят от начального приближения [14] параметров поиска, оцениваемых процедурой, и в этом смысле также носят условный характер. Если считать, что для процедуры, работающей в области с фрагментом, начальное приближение параметров дает наилучшую сходимость в рабочем диапазоне процедуры, то $P_{ош}$ будет соответствовать верхней границе вероятности ошибки выбора фрагмента.

При N областях разбиения изображения в предположении независимости ФШ процедур с учетом (2) получаем:

$$P_{ош} = \int_0^{\infty} w(x_T^+) \left(1 - (1 - F(x_T^-))^{N-1} \right) dx. \tag{3}$$

Принятое ограничение о независимости ФШ не является жестким, поскольку отсчеты областей без фрагмента мало коррелированы с отсчетами изображения фрагмента.

3. Вероятность ошибки при выборе нескольких областей

Выше рассмотрена ситуация, когда в качестве искомой области выбиралась та, в которой работающая в ней процедура первой достигла заданного порогового числа T итераций. При этом обеспечение малых вероятностей ошибки поиска фрагмента при большом отношении шум/сигнал требует задания большого значения порогового числа итераций. Снизить вероятность ошибки выбора фрагмента при меньшем T можно, если выбирать не одну, а несколько областей, в которых процедуры достигли порогового числа итераций. При этом увеличивается вероятность того, что среди выбранных областей присутствует область с фрагментом (но еще не вероятность правильного выбора фрагмента).

Известны критерии, позволяющие идентифицировать фрагмент с низкой вероятностью ошибки, например, уже упомянутый во введении, максимум коэффициента корреляции, вычисленный по всему фрагменту, или экстремумы теоретико-информационных мер сходства изображений [15]. Однако такие критерии требуют значительных

вычислительных затрат и при разбиении изображения на большое число областей поиска в условиях ограниченности вычислительных ресурсов мало приемлемы. Но к небольшому числу областей, например к двум, применение таких критериев вполне допустимо. Учитывая сказанное, найдем вероятность того, что фрагмент находится среди n областей, в которых закрепленные за областями процедуры первыми достигли заданного числа итераций.

Если считать локальные выборки отсчетов, используемые для оценки значений целевой функции всех процедур независимыми, а за случайное событие принять лучшее значение ФШ у процедуры в области без фрагмента, то поставленную задачу можно свести к схеме Бернулли. Тогда для вероятности $P_{ou}^{(n)}$ пропуска области с фрагментом при выборе n областей с процедурами, первыми достигшими порогового числа итераций, с использованием биномиального закона распределения можно записать:

$$P_{ou}^{(n)} = \int_0^{\infty} w(x_T^+) \sum_{i=n}^{N-1} C_i^{N-1} F(x_T^-) (1 - F(x_T^-))^{N-i-1} dx, \quad (4)$$

где C_i^{N-1} - число сочетаний из $(N-1)$ по i . Заметим, что поскольку число выбираемых областей, как правило, много меньше общего числа областей разбиения изображения ($n \ll N$), при расчетах целесообразно использовать выражение:

$$P_{ou}^{(n)} = \int_0^{\infty} w(x_T^+) \left(1 - \sum_{i=0}^{n-1} C_i^{N-1} F(x_T^-) (1 - F(x_T^-))^{N-i-1} \right) dx. \quad (5)$$

На рис. 1 для примера приведены графики зависимости вероятности $P_{ou}^{(n)}$ пропуска искомого фрагмента от номера итерации при выборе на опорном изображении одной (сплошные кривые) и двух (пунктирные кривые) областей. Расчет проведен для ПГП релейного типа, рабочий диапазон которых требует разбиения двух изображений разного размера соответственно на 36 (кривые 1 и 2) и 625 областей (кривые 3 и 4). Начальные параметры рассогласования соответствовали параллельному сдвиг в 6 шагов сетки отсчетов и углу поворота в 20 градусов.

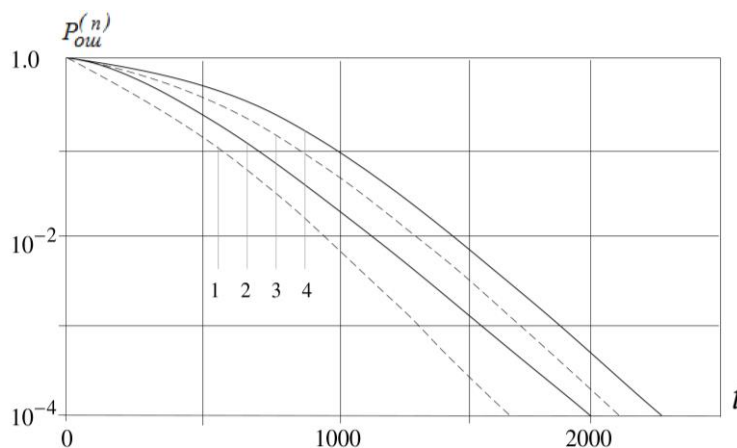


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки пропуска искомого фрагмента от числа итераций при выборе одной и двух областей.

При расчетах использовалось соотношение (5), в котором значение выражения:

$$\sum_{i=0}^{n-1} C_i^{N-1} F(x_T^-) (1 - F(x_T^-))^{N-i-1}$$

находилась как отношение неполной $B_q(N-n, n) = \int_0^q x^{N-n-1} (1-x)^{n-1} dx$ и полной $B(N-n, n) = \int_0^1 x^{N-n-1} (1-x)^{n-1} dx$ бета-функций [16], где $q = 1 - F_{PT}(\psi)$. Тогда, при представлении полной бета-функции через гамма-функции [17]:

$$B(N-n, n) = \frac{\Gamma(N-n)\Gamma(n)}{\Gamma(N)},$$

получаем

$$P_{N-1}\{0 \leq i \leq n-1\} = \frac{\Gamma(N) \int_0^q x^{N-n-1} (1-x)^{n-1} dx}{\Gamma(N-n)\Gamma(n)}.$$

Из графиков видно, что при $n=2$ вероятность $P_{ош}^{(n)}$ существенно ниже. Так, при $N=36$ и $T=1000$ вероятность ошибки выбора по отношению к ситуации $n=1$ снижается примерно в 5.5 раз, а при 2000 итераций – в 9 раз. При этом, конечно, возрастают и вычислительные затраты.

4. Вероятность ошибки при поиске нескольких идентичных фрагментов

Рассмотрим вероятность пропуска хотя одной из областей расположения фрагментов при поиске на изображении местоположения $k > 1$ одинаковых фрагментов. В этом случае до заданного порогового числа T итераций нужно доводить как минимум k процедур. Как и раньше будем считать, что присутствие фрагментов на изображении известно.

В частности, при $n=k$, используя аналогию с (3) можно записать вероятность того, что все k процедур, первыми выполнившие T итераций, будут соответствовать областям, содержащим фрагменты:

$$P^{(k)} = 1 - P_{ош}^{(k)} = 1 - \int_0^{\infty} w_k(x_T^+) \left(1 - (1 - F(x_T^-))^{N-1} \right) dx, \quad (6)$$

где $w_k(x_T^-)$ - в этом случае имеет смысл плотности распределения вероятностей наибольшего из k значений ФШ процедур, работающих в областях, содержащих фрагменты.

Для уменьшения вероятности пропуска фрагментов число выбираемых областей может быть больше числа искомым фрагментов ($n > k$). В этом случае вероятность $P_{ош}^{(k)}$ пропуска j из k областей с фрагментами, учитывая соотношение (4) и условие единственности фрагмента для каждой области, определяется выражением:

$$P_{ош}^{(k)} = \int_0^{\infty} w_k(x_T^+) \left(1 - \sum_{i=0}^n C_i^{N-k} F(x_T^+) (1 - F(x_T^-))^{N-k-i} \right) dx, \quad (7)$$

где $w_k(x_T^+) = C_j^k w(x_T^-) \frac{(1 - F(x_T^+))^{j-1} F^{k-j-1}(x_T^+)}{jk - j^2} (j - kF(x_T^+))$ - плотность распределения вероятностей j -го ранжированного по возрастанию значения ФШ k процедур, работающих в областях с фрагментами; $i = \overline{1, k}$.

5. Заключение

Один из классов алгоритмов поиска по шаблону фрагмента на изображении базируется на использовании ППП. Однако такие процедуры имеют относительно небольшой рабочий диапазон поиска, что приводит к необходимости разбиения изображения на множество областей, в каждой из которых работает своя процедура. Возникает задача определения областей, в которой находятся искомые фрагменты. Если все процедуры поиска находятся в одинаковых условиях и выполняют равное число итераций, то это требует больших вычислительных затрат. Для их сокращения можно использовать алгоритм управления множеством ППП [12], в котором на каждом шаге алгоритма приоритет выполнения очередной итерации предоставляется процедуре, имеющей наилучшее значение некоторой ФШ. В качестве искомым областей (где гипотетически находятся фрагменты) выбираются области, в которых работают процедуры, первыми достигшие заданного порогового числа итераций.

Если априорно неизвестно присутствуют ли на исследуемом изображении искомые фрагменты, требуется проверить гипотезу об отсутствии фрагментов при заданных вероятностях ошибок первого или второго рода. Эта задача и статистический критерий выполнения гипотезы рассмотрены в работах [13,18]. При отклонении гипотезы производится выбор областей расположения фрагментов. При этом вероятность ошибки выбора областей расположения фрагментов является условной вероятностью и, например, с заданной вероятностью ошибки второго рода в общем случае определяется выражением (1).

Вероятность ошибки выбора в предположении наличия на исследуемом изображении искомым фрагментов зависит от их числа. Если ищется один фрагмент и в области фрагмента работает только одна процедура, то вероятность ошибочного выбора области, содержащей фрагмент, определяется выражением (3). Для уменьшения ошибки правильного выбора области можно выбирать не одну, а несколько областей (в предположении последующего использования дополнительного критерия для выбора из них одной области). При этом вероятность того, что среди выбранных областей содержится искомая область, определяется соотношением (5).

Если искомым фрагментов несколько и каждому из них соответствует одна процедура поиска, то вероятность того, что все процедуры, соответствующие областям расположения объектов, первыми выполнят пороговое число итераций, определяется выражением (6). Если же количество выбираемых областей больше числа искомым фрагментов, то вероятность пропуска заданного числа областей с фрагментами определяется выражением (7).

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-01-00276.

Литература

- [1] Ипатов, Ю.А. Моделирование методов обнаружения и пространственной локализации групповых точечных объектов / Ю.А. Ипатов, А.В. Кревецкий // Наука. Технологии. Производство. – 2014. – № 2. – С. 7 – 11.
- [2] Герасимова, Н.И. Поиск фрагмента изображения с использованием нейронной сети Кохонена / Н.И. Герасимова, А.Э. Верхотурова // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов в 2 ч. - Томск: ТПУ. – 2014. – Ч. 1. – С. 68 – 70.
- [3] Николенко, А.А. Локализация характерных фрагментов изображения на основе двумерных вейвлет-фильтров / А.А. Николенко, О.Ю. Бабилунга, В.Н. Зайковский // Вестник НТУ. Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ. – 2011. – № 36. – С. 122 – 127.
- [4] Chambon, S. Dense matching using correlation: new measures that are robust near occlusions / S. Chambon, A. Crouzil // British Machine Vision Conference, Norwich, Great Britain. – 2003. – Vol. 1. – P. 143 – 152. DOI: 10.5244/C.17.15.
- [5] Цыпкин, Я.З. Информационная теория идентификации / Я.З. Цыпкин. - М.: Наука. Физматлит, 1995.- 336 с.
- [6] Zitova, B. Image registration methods: a survey / B. Zitova, J. Flusser // Image and vision computing. - 2003. - V. 21, № 11. - P. 977-1000. DOI:10.1016/S0262-8856(03)00137-9.
- [7] Ташлинский, А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений. - Ульяновск: УлГТУ, 2000. - 131 с.
- [8] Szeliski, R. Image alignment and stitching: A tutorial / R. Szelisk // Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision. – 2006. - Vol. 2, No 1. – P. 1–104. DOI: 10.1561/0600000009.
- [9] Tashlinskii, A.G. Pseudogradient Estimation of Digital Images Interframe Geometrical De-formations / A.G. Tashlinskii. - Vision Systems: Segmentation & Pattern Recognition, 2007. – Vienna, Austria: I Tech Education and Publishing. – P. 465–494. DOI: 10.5772/4975.
- [10] Панкова, Т.Л. Эффективность алгоритмов прецизионного совмещения цифровых изображений / Т.Л. Панкова, А.Л. Резник // Автометрия. - 1991. - № 5. - С. 39-43.
- [11] Ташлинский, А.Г. Структурная оптимизация алгоритмов оценивания параметров геометрических деформаций изображений / А.Г. Ташлинский, Д.С. Муратханов // Приложение к журналу "Физика волновых процессов и радиотехнических систем". - 2001.- С. 102-110.
- [12] Tashlinskii, A.G. Structural Optimization of Pseudogradient Algorithms for Measuring Interframe Image Deformations / A. G. Tashlinskii, and D. S.Muratkhanov // Pattern Recognition and Image Analysis. - 2003. - V. 13. N. 1. - P. 177–178. DOI: 10.1134/S1054661806020088
- [13] Биктимиров, Л.Ш. Оценка вероятности отсутствия искомого фрагмента на изображении для алгоритма с управлением множеством процедур поиска / Л.Ш. Биктимиров, А.Г. Ташлинский // Радиотехника. – 2016. – № 9. – С. 6-10.
- [13] Ташлинский, А.Г. Методика привязки изображений в условиях интенсивных помех / А.Г. Ташлинский, И.Н. Кавевв, С.В. Воронов // Радиотехника. - М: Радиотехника. - 2012.- №9. - С. 45-49.
- [15] Voronov, S.V. Efficiency analysis of information theoretic measures in image registration / S.V. Voronov, A.G. Tashlinskii // Pattern recognition and image analysis. – 2016. – V. 26, No. 3. – P. 502-505. DOI: 10.1134/S1054661816030226
- [16] Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. - М.: Радио и связь, 1989. - 656 с.
- [17] Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк и др. - М.: Наука, 1985. - 640 с.
- [18] Биктимиров, Л.Ш. Критерий проверки гипотезы отсутствия искомого фрагмента на изображении / Л.Ш. Биктимиров, А.Г. Ташлинский // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – С. 137-140.