СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 007:681.512.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ НАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СОПОСТАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОНОМ

С. М. Ларионов, магистрант РГРТУ; sergej.larionov.94@mail.ru
А. А. Селяев, к.т.н., доцент кафедры АИТУ РГРТУ; sel56@yandex.ru

Рассматривается задача определения положения объекта в последовательности изображений в сложных условиях наблюдения. ***Цель работы****: модификация метода сопоставления с эталоном для случая возможного частичного искажения объекта наблюдения и для случая присутствия в зоне поиска области фона, схожей с объектом интереса по яркости. В результате исследования были получены соответствующие методы решения поставленной задачи. Предлагается способ классификации точек объекта на искажённые и неискажённые. Производится оценка максимально допустимой степени искажения объекта интереса. Рассматривается модифицированная критериальная функция, учитывающая перепады яркости на сравниваемых изображениях. Приводятся результаты экспериментальных исследований предложенных алгоритмов. Даются практические рекомендации по их использованию.*

Ключевые слова: *определение положения объекта, метод сопоставления с эталоном, сложные условия наблюдения, объект, неоднородный фон, критериальная функция, частичное заслонение объекта, градиент яркости.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2017-59-1-99-105

Введение

В последнее время активно развиваются системы, направленные на анализ и обработку информации, представленной в виде изображений и видеопоследовательностей. Подобные системы имеют широкий спектр практического применения: от автоматизации технологических процессов и робототехники до медицинской диагностики и интеллектуализации дорожного движения.

Развитие оптики и вычислительной техники способствует повсеместному внедрению машинного зрения. Поэтому создание новых и совершенствование уже имеющихся методов и алгоритмов обработки изображений играет важную роль для многих современных отраслей науки и техники. Одной из наиболее часто встречающихся задач технического зрения является определение положения движущегося объекта в последовательности кадров. Для решения данной задачи широко применяется метод сопоставления с эталоном [1]. Этот метод основан на использовании априорной информации об объекте интереса, а именно – на использовании эталонного изображения искомого объекта, которое формируется предварительно либо оператором, либо при помощи алгоритмов обнаружения объектов. Так как в большинстве случаев необходимо определять координаты объекта интереса в масштабе реального времени, то чаще всего поиск области текущего кадра, соответствующей положению объекта, проводится не по всему изображению, а по некоторой его части, называемой зоной поиска, исходя из того факта, что скорость объекта конечна и его положение за время между кадрами не может измениться кардинальным образом. Сущность рассматриваемого метода определения положения движущегося объекта заключается в поточечном сравнении эталона и каждого участка зоны поиска, совпадающего по размеру с эталоном. В качестве положения искомого объекта будет принят участок зоны поиска, наиболее схожий с объектом в

смысле выбранного критерия. С математической точки зрения процесс определения координат объекта слежения сводится к нахождению экстремума некоторой критериальной функции. На практике зачастую используют разностную критериальную функцию вида [2, 3]:

$$F_1(\alpha,\beta)=\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{l}\left|Z(\alpha+i,\beta+j)-E(i,j)\right|, \quad (1)$$

где $F_1(\alpha, \beta)$ – значение критериальной функции для области с координатами (α, β) изображения Z зоны поиска; $Z(\alpha+i, \beta+j)$ – значение яркости точки изображения Z зоны поиска с координатами $\alpha+i$ и $\beta+j$; $E(i, j)$ – значение яркости точки с координатами i и j эталонного изображения E искомого объекта; $k \times l$ – число точек эталонного изображения E.

Однако при нахождении координат объекта во многих случаях возникает ряд проблем, связанных, например, с поворотом, масштабированием, частичным или полным заслонением объекта наблюдения, также негативное влияние оказывают ошибки пространственной дискретизации изображения, флуктуация атмосферы, неоднородность фона и различного рода шумовые явления [4].

Теоретические исследования

В процессе движения объект на короткий промежуток времени может быть частично искажён (из-за вспышек, дыма, атмосферных осадков и т.п.) или частично скрыт за каким-либо препятствием. Например, если в качестве объекта наблюдения выступает автомобиль, движущийся по автотрассе, то препятствиями могут служить фонарные столбы, баннеры, деревья, пешеходы, другие автомобили. Вследствие такого заслонения эталон временно перестанет соответствовать текущему изображению объекта, поэтому применение традиционного метода сопоставления с эталоном (1) может привести к неточному определению местоположения объекта.

В ряде случаев эффективным может быть формирование эталонного изображения с помощью экспоненциального фильтра с переменным коэффициентом сглаживания μ [5], когда при существенных изменениях изображения объекта стараются быстрее обновлять его эталонное изображение. Однако и такой подход не всегда оказывается работоспособным.

Согласно предлагаемой модификации рассмотренного выше метода при вычислении критериальной функции вида (1) не используются те пары точек изображений Z и E, которые существенно отличаются друг от друга. Для этого находится разность f_{ij} между значением яркости точки зоны поиска Z в текущем кадре и значением яркости соответствующей точки эталонного изображения E по формуле:

$$f_{ij}=\left|Z(\alpha+i,\beta+j)-E(i,j)\right|. \quad (2)$$

Если эта разность оказывается больше некоторой пороговой величины T, то она не учитывается при вычислении критериальной функции. При этом количество исключенных пар точек не должно быть велико и превышать некоторой величины N. В противном случае решение о соответствии двух изображений может быть принято по слишком малым частям изображений и приводить к неправильным результатам.

В связи с исключением из рассмотрения ряда пар точек возникает необходимость нормировки используемой критериальной функции по числу анализируемых пар точек. Иначе возможна ситуация, когда минимальное значение критериальной функции будет соответствовать большому количеству отбрасываемых пар точек, а не позиции наилучшего совмещения эталонного изображения E искомого объекта и изображения Z зоны поиска в текущем кадре. Обозначим как R число исключённых пар точек, причем, как следует из выше сказанного, $R \le N$.

Тогда выражение для критериальной функции рассматриваемого модифицированного метода сопоставления с эталоном примет следующий вид:

$$F_2(\alpha,\beta)=\frac{\sum_{(i,j)\in A} f_{ij}}{k\times l-R},\ A=\{(i,j): f_{ij}\le T\},\ R\le N. \quad (3)$$

Так как значение яркости одной и той же точки объекта от кадра к кадру может отличаться по причине шумовых воздействий, то очевидно, что порог T необходимо выбирать исходя из величины шума на изображениях последовательности, чтобы избежать исключения из рассмотрения точек, подверженных помехам, но не заслонённых.

Также в описываемом методе предлагается применить межкадровое усреднение посредством экспоненциальной фильтрации для эталонного изображения E искомого объекта [6]. Причем, подразумевается, что усреднению подвергаются только те точки, которые для текущего кадра были классифицированы как не заслоненные. Тогда применительно к модифицированному методу (3) для всех точек эталона с координатами (i, j), для которых выполняется условие, что $f_{ij} < T$, будет проведена экспоненциальная фильтрация согласно выражению:

$$E_r(i,j)= \quad (4)$$
$$=\mu\cdot E_{r-1}(i,j)+(1-\mu)\cdot Z_r(\alpha*+i,\beta*+j),$$

где r – номер кадра обрабатываемой видеопоследовательности; (α^*, β^*) – координаты объекта, найденные на изображении r-го кадра видеопоследовательности; $E_{r-1}(i,j)$, $E_r(i,j)$ – значение яркости точки с координатами (i,j) эталонного изображения объекта для $(r-1)$-го и r-го кадров видеопоследовательности соответственно; $Z_r(\alpha^*+i, \beta^*+j)$ – значение яркости точки с координатами (α^*+i, β^*+j) области, принимаемой за искомое положение объекта в r-м кадре видеопоследовательности; μ – коэффициент экспоненциального сглаживания, причем $\mu \in [0, 1]$.

Стоит отметить, что использование экспоненциальной фильтрации позволяет добиться более точных результатов нахождения координат объекта интереса. За счет усреднения значений яркостей точек объекта межкадровое сглаживание в некоторой мере нивелирует эффекты пространственной дискретизации и подавляет шумы, присутствующие на изображении, то есть рассматриваемый метод становится более устойчивым. А так как экспоненциальный фильтр позволяет в определённой степени помнить предысторию изменений изображения объекта, то единичные случаи неточного определения положения объекта в меньшей степени влияют на дальнейшие результаты локализации объекта, то есть повышается помехоустойчивость алгоритма [6].

Ещё одной проблемой, часто встречающейся при определении положения движущегося объекта на неоднородном фоне, является наличие в зоне поиска помимо объекта интереса некоторого фонового участка, схожего по яркости с объектом. Использование метода сопоставления с эталоном (1) для такого случая зачастую приводит к ошибочным результатам при определении местоположения объекта наблюдения.

Для решения данной проблемы предлагается помимо матриц яркостей точек также использовать информацию о перепадах яркости на сравниваемых изображениях, то есть включить в выражение для критериальной функции разность значений модуля градиента для каждой анализируемой пары точек согласно следующей формуле:

$$F_3(\alpha,\beta) = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{l}\left[\frac{1}{I_{\max}} I(i,j) + \frac{1}{G_{\max}} G(i,j)\right]; \quad (5)$$

$$I(i,j) = \left|\left(Z(\alpha+i, \beta+j) - E(i,j)\right)\right|, \quad (6)$$

$$G(i,j) = \left|\left(Z'(\alpha+i, \beta+j) - E'(i,j)\right)\right|, \quad (7)$$

где $I(i,j)$ – модуль разности значений яркости соответствующих точек изображения Z зоны поиска и эталона E; $G(i,j)$ – модуль разности значений модуля градиента соответствующих точек изображения Z зоны поиска и эталона E; $Z'(\alpha+i, \beta+j)$ – значение модуля градиента яркости изображения Z в точке с координатами $\alpha+i$ и $\beta+j$; $E'(i,j)$ – значение модуля градиента яркости эталонного изображения E в точке с координатами i и j; $I_{\max}$ – максимально возможное значение яркости точки; $G_{\max}$ – максимально возможное значение модуля яркости в точке.

Так как значения $G(i,j)$ могут варьироваться в пределах, отличных от диапазона изменения значений $I(i,j)$, в выражение (5) вводятся нормирующие коэффициенты $1/I_{\max}$ и $1/G_{\max}$, для того чтобы в критериальной функции F_3 и яркость, и модуль градиента имели одинаковый «вес». Для вычисления же самого модуля градиента могут быть использованы дискретные оценки производных яркости изображения, вычисленные по двум взаимно перпендикулярным направлениям, например, при помощи оператора Собеля [7].

Таким образом, согласно модифицированному алгоритму (5) в качестве дополнительного признака точек изображений, используемого при сопоставлении анализируемой области зоны поиска с эталоном, будет учитываться информация о перепадах яркости, то есть о границах, присутствующих на сравниваемых изображениях.

Экспериментальные исследования

Моделирование полученных модификаций алгоритма определения положения объекта, основанного на сопоставлении с эталоном, проводилось в среде разработки Matlab с использованием специализированного пакета для обработки сигналов и изображений Image Processing Toolbox.

На рисунке 1 представлен кадр тестовой видеопоследовательности. Внешняя сплошная рамка указывает на зону поиска, внутренняя сплошная рамка – на область кадра, найденную традиционным алгоритмом (1), пунктирная рамка – на истинное положение объекта интереса. Как можно увидеть из данного рисунка, алгоритм не справляется с задачей определения координат объекта при его частичном заслонении. Отсутствие возможности обнаружения заслонённых точек привело к накоплению ошибки и постепенному «уплыванию» объекта из эталона из-за применения экспоненциального фильтра к заслонённым точкам. Как следствие, мы наблюдаем грубые ошибки в определении положения объекта интереса.

На рисунке 2 представлены результаты работы модифицированного алгоритма (3) для того же самого кадра: справа тёмной внутренней рамкой указано положение объекта, найденное при использовании критериальной функции F_2, слева – результат классификации точек эталона

(объекта) на искажённые/заслонённые (темные точки) и не искажённые (светлые точки) согласно выражению (2). Правильность определения координат объекта интереса подтверждена визуальным наблюдением. В большинстве случаев шум, искажающий изображение, можно считать случайной нормальной величиной с дисперсией σ^2, которую можно оценить. Поэтому предлагается выставить порог $T = C\sigma$, где C – некоторый коэффициент.

Рисунок 1 – Визуализация результатов применения метода сопоставления с эталоном (1) для случая реального заслонения

Рисунок 2 – Визуализация результатов применения модифицированного метода сопоставления с эталоном (3) для случая реального заслонения

Для экспериментальных исследований модифицированного метода сопоставления с эталоном (3) на изображения реальной видеопоследовательности были наложены искусственные препятствия в виде вертикальной и горизонтальной полос, имеющих пересечение на пути следования объекта интереса. При испытаниях алгоритма изменению подвергались толщина накладываемых линий, то есть степень заслонения, их яркость и значение дисперсии шума на обрабатываемых изображениях. На рисунках 3-4 приведены результаты применения модифицированного метода сопоставления с эталоном (3) для тестовых последовательностей изображений с искусственными заслонениями.

В качестве эталонных были приняты значения координат объекта наблюдения, полученные в результате применения метода сопоставления с эталоном (1) на изображениях тех же последовательностей, но без вводимых заслонений.

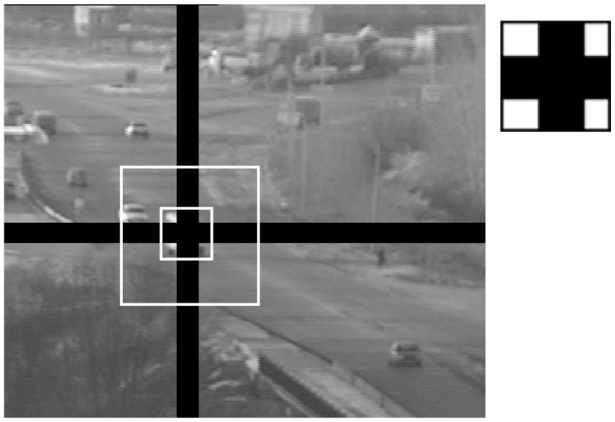

Рисунок 3 – Визуализация результатов применения модифицированного метода сопоставления с эталоном (3) для случая искусственного заслонения (темные линии)

Рисунок 4 – Визуализация результатов применения модифицированного метода сопоставления с эталоном (3) для случая искусственного заслонения (светлые линии)

Таблица 1 – Результаты испытаний алгоритма (1)

S, %	ε_{max}, пикс.	$M\{\varepsilon\}$, пикс.	$D\{\varepsilon\}$, пикс.	K, %
3	1	0,0800	$1{,}3061 \cdot 10^{-4}$	92
5	1	0,6203	0,0036	38
8	2	1,1216	0,0265	26
11	Потеря объекта наблюдения			

Таблица 2 – Результаты испытаний алгоритма (3)

S, %	ε_{max}, пикс.	$M\{\varepsilon\}$, пикс.	$D\{\varepsilon\}$, пикс.	K, %
19	1	0,0400	$3{,}2653 \cdot 10^{-5}$	96
28	1	0,0447	$3{,}2653 \cdot 10^{-5}$	94
40	1	0,2408	0,0012	70
46	1	0,2209	$9{,}8776 \cdot 10^{-4}$	72
56	1	0,3200	0,0021	60
63	1	0,1709	0,0180	68
68	1	0,1523	0,0180	70
69	потеря объекта наблюдения			

В таблице 1 и таблице 2 введены следующие обозначения: S – степень искажения/заслонения

(число искажённых/заслонённых точек) объекта (т.е. участка изображения размером с эталон E), выраженная в процентах от общего числа точек объекта (эталона); ε_{max} – максимальное значение ошибки ε определения положения объекта (рассогласование эталонных и найденных координат), выраженное в пикселях (пикс.); $M\{\varepsilon\}$ – математическое ожидание ошибки определения положения объекта; $D\{\varepsilon\}$ – дисперсия ошибки ε определения положения объекта; K – число кадров, для которых $\varepsilon = 0$, выраженное в процентах от общего числа кадров обрабатываемой последовательности.

Таким образом, представленный модифицированный алгоритм позволяет определить координаты объекта наблюдения при его частичном заслонении за счёт исключения из рассмотрения заслонённых или искажённых точек объекта.

При формировании эталона в большинстве случаев пытаются включить в него только точки объекта. Тогда, если в зоне поиска имеется неподвижный участок фона, схожий по яркости с объектом, зачастую происходит потеря объекта интереса. Для тестовых испытаний разработанного модифицированного метода (3) был смоделирован крайний случай, когда в эталон E входят только точки, относящиеся к объекту. Результаты применения классического метода сопоставления с эталоном (1) приведены на рисунке 5.

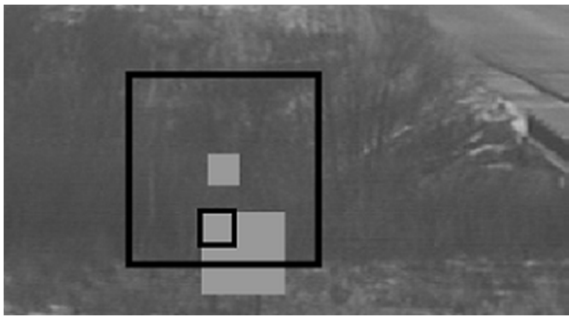

Рисунок 5 – Визуализация результатов применения традиционного метода (1) для случая фона, схожего с объектом, на тестовой последовательности изображений

Ошибки определения координат движущегося объекта в данном случае объясняются тем, что критериальная функция вида (1) имеет несколько близких по величине значений, каждое из которых может быть принято за минимальное под действием тех или иных шумовых явлений.

На рисунке 6 изображён график зависимости двумерной критериальной функции $F_1(\alpha, \beta)$ вида (1) от координат (α, β) анализируемой области для кадра, приведённого на рисунке 5.

Заметим, что функция $F_1(\alpha, \beta)$ имеет один минимум, соответствующий положению объекта наблюдения, и некоторую область минимальных значений, соответствующую участку фона.

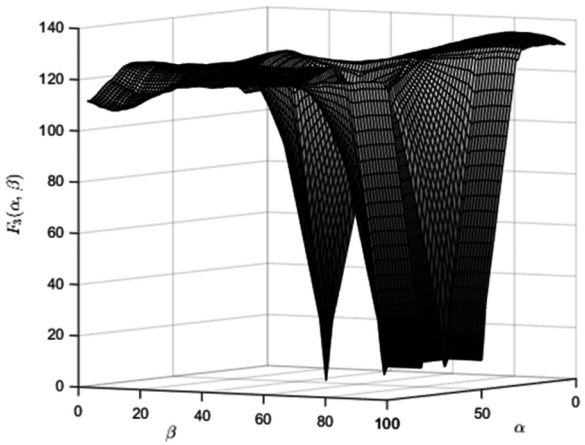

Рисунок 6 – График зависимости двумерной критериальной функции $F_1(\alpha, \beta)$ вида (1)

Использование функции F_3 для описанного случая дает возможность точнее определить положение объекта, так как объект будет иметь более выраженные внешние перепады яркости, чем схожий с ним участок фона. На рисунке 7 изображён график зависимости модифицированной критериальной функции $F_3(\alpha, \beta)$ вида (5) от координат (α, β) анализируемой области для кадра, приведённого на рисунке 5.

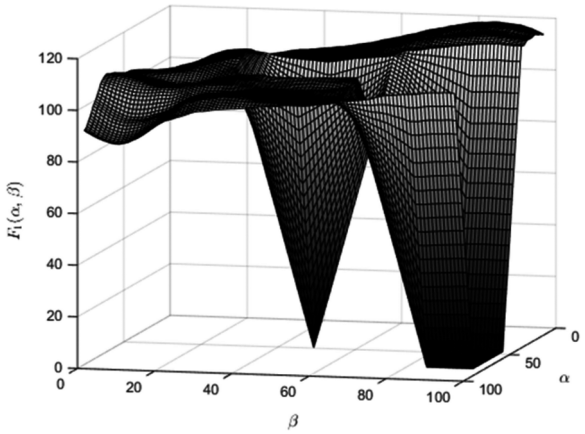

Рисунок 7 – График зависимости двумерной критериальной функции $F_3(\alpha, \beta)$ вида (5)

Как видно из данного графика, модифицированная критериальная функция имеет один глобальный минимум, соответствующий реальному положению тестового объекта наблюдения.

Если эталонное изображение E помимо объекта наблюдения включает в себя и точки фона, то традиционный метод на основе выражения (1) не допускает ошибки при нахождении координат объекта, однако и использование критериальной функция F_3 вида (5) не ухудшает работу рассматриваемого метода сопоставления с эталоном, что проиллюстрировано на рисунке 8.

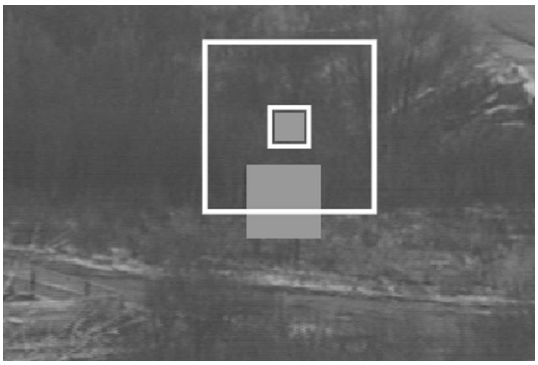

Рисунок 8 – Визуализация результатов применения модифицированного метода (5) для случая фона, схожего с объектом, на тестовой последовательности изображений

Также стоит отметить, что при наличии большого числа внутренних перепадов яркости на изображении объекта (например, автомобиля, приведенного на рисунке 9) метод сопоставления с эталоном вида (5) позволяет более точно определить координаты объекта интереса по сравнению с традиционным разностным методом вида (1), что проиллюстрировано на рисунке 10 и рисунке 11.

Рисунок 9 – Начальный кадр рассматриваемой последовательности

На рисунке 10 внешняя сплошная рамка указывает на зону поиска, внутренняя сплошная рамка – на область кадра, найденную традиционным алгоритмом (1), пунктирная рамка – на реальное положение объекта интереса. Как можно увидеть из данного рисунка, использование критериальной функции F_1 приводит к потере объекта наблюдения на данном кадре.

Проведённые экспериментальные исследования показали, что традиционный метод сопоставления с эталоном (модуль разности) приводит к грубым ошибкам в определении координат при искажении/заслонении объекта. Однако использование модифицированной критериальной функции вида (3) позволяет получить приемлемые результаты при частичном кратковременном искажении/заслонении объекта наблюдения. Предполагается, что в эталонное изображение будет включено минимально возможное количество точек фона, чтобы избежать их классификации как заслонённых, а следовательно, и потери точности определения координат объекта. Применение модифицированного алгоритма становится целесообразным при достаточном контрасте объекта и препятствия, иначе заслонённые точки не будут обнаружены.

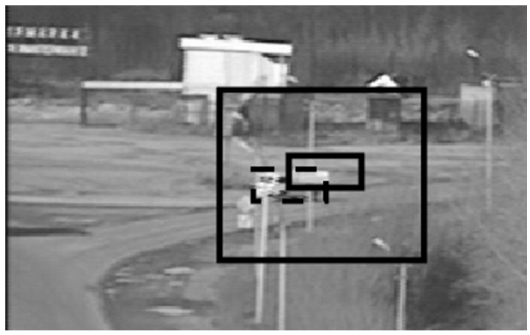

Рисунок 10 – Визуализация результатов применения традиционного метода (1) для случая фона, схожего с объектом, на реальной последовательности изображений

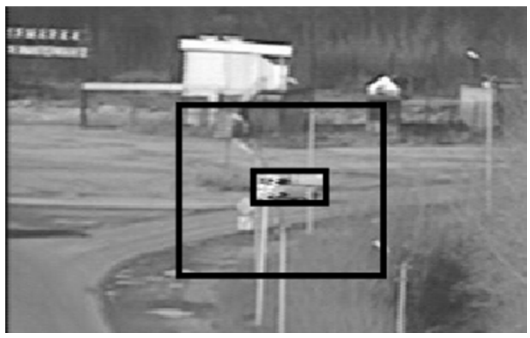

Рисунок 11 – Визуализация результатов применения модифицированного метода (3) для случая фона, схожего с объектом, на реальной последовательности изображений

Выводы

Также из опытов стало понятно, что в случае наличия в зоне поиска элемента сцены, схожего с объектом наблюдения, использование критериальной функции F_1 вида (1) зачастую оказывается неэффективным и приводит к ошибочным результатам. В то же время модифицированная функция F_3 вида (5), учитывающая перепады яркости на сравниваемых изображениях, в общем случае позволяет более точно определить координаты движущегося объекта, а в некоторых ситуациях не допустить потери объекта интереса, что подтверждено экспериментально.

Разработанные модификации метода сопоставления с эталоном могут быть использованы на практике в системах видеоохраны, для навигации и ориентации беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов [8], в системах координации наземных автономных роботов и др.

Исследования выполнены при поддержке гранта ведущим научным школам Российской Федерации НШ-7116.2016.8.

Библиографический список

1. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

2. **Алпатов Б. А., Селяев А. А., Степашкин А. И.** Цифровая обработка изображений в задаче отслеживания движущегося объекта // Известия вузов. Приборостроение. 1985. Т. XXVIII. № 2. – С. 39-43.

3. **Алпатов Б. А., Селяев А. А.** Алгоритм оценки местоположения объекта на двумерном изображении // Известия вузов. Приборостроение. 1988. Т. XXXI. № 5. – С. 3-6.

4. **Можейко В. И., Обухова Н. А., Тимофеев Б. С., Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю.** Телевизионные методы сопровождения объектов в сложных условиях наблюдения // Известия вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 8. – С. 20–29.

5. **Алпатов Б. А., Селяев А. А.** Методы адаптации эталонного изображения объекта в корреляционных следящих устройствах // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2004. № 14. – С. 37-40.

6. **Алпатов Б. А., Бабаян П. В., Балашов О. Е., Степашкин А. И.** Обработка изображений и управление в системах автоматического сопровождения объектов: учеб. пособ. Рязань: РГРТУ, 2011. – 235 с.

7. **Прэтт У.** Цифровая обработка изображений: пер. с англ. Кн. 1. М.: Мир, 1982. – 312 с.

8. **Баклицкий В. К.** Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.

UDC 004.932.2

OBJECT LOCATION DETECTION IN DIFFICULT VISION CONDITIONS BASED ON TEMPLATE MATCHING METHOD

S. M. Larionov, master student, RSREU, Ryazan; sergej.larionov.94@mail.ru
A. A. Selyaev, PhD (technical sciences), associate professor, RSREU, Ryazan; sel56@yandex.ru

The problem of object location detection in image sequence in difficult vision conditions is studied. ***The aim of the work*** *is modification of template matching method in the case of possible partial distortion of viewing object and in the case of presence of background areas, similar by brightness to the viewing object, in region of interest. As a result of study appropriate methods of relevant problem solution are received. Method of the object points sorting by the distorted and undistorted is offered. Maximum permissible degree of distortion/occlusion of interest object is measured. Modified criterion function, that considers brightness variations, is studied. The results of experimental studies of proposed algorithms are given. Practical recommendations on their use are given.*

Key words: *object localization, template matching method, difficult vision conditions, object, non-uniform background, criterion function, partial object occlusion, brightness gradient.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2017-59-1-99-105

References

1. **Gonsales R., Vuds R.** Cifrovaja obrabotka izobrazhenij (Digital image processing), Moscow, Tehnosfera, 2005, 1072 p. (in Russian).

2. **Alpatov B. A., Seljaev A. A., Stepashkin A. I.** Cifrovaja obrabotka izobrazhenij v zadache otslezhivanija dvizhushhegosja objekta (Digital image processing in the problem of tracking a moving object). Izv. vuzov. Priborostroenie. 1985, vol. XXVIII, no. 2, pp. 39-43 (in Russian).

3. **Alpatov B. A., Seljaev A.A.** Algoritm ocenki mestopolozhenija objekta na dvumernom izobrazhenii (Algorithm for evalution of object location on two-demensional image). Izv. vuzov. Priborostroenie. 1988, vol. XXXI, no. 5, pp. 3-6 (in Russian).

4. **Mozhejko V. I., Obuhova N. A., Timofeev B S., Fisenko V. T., Fisenko T. Ju.** Televizionnye metody soprovozhdenija objektov v slozhnyh uslovijah nabljudenija (Television techniques of objects tracking in hard observation conditions). Izvestija vuzov. Priborostroenie. 2009, vol. 52, no. 8, pp. 20-29 (in Russian).

5. **Alpatov B. A., Seljaev A. A.** Metody adaptacii jetalonnogo izobrazhenija objekta v korreljacionnyh sledjashhih ustrojstvah (Object template image adaptation methods in the correlation tracking devices). Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotehnicheskogo universiteta. 2004, no. 14, pp. 37-40 (in Russian).

6. **Alpatov B. A., Babajan P. V., Balashov O. E., Stepashkin A. I.** Obrabotka izobrazhenij i upravlenie v sistemah avtomaticheskogo soprovozhdenija objektov (Image processing and control in objects automatic tracking systems): ucheb. posobie. Rjazan': RGRTU, 2011, 235 p. (in Russian).

7. **Prjett U.** Cifrovaja obrabotka izobrazhenij: per. s angl. (Digital image processing), kn. 1, Moscow, Mir, 1982, 312 p. (in Russian).

8. **Baklickij V. K.** Korreljacionno-jekstremal'nye metody navigacii i navedenija (Correlation-extremum methods of navigation and aiming), Tver', TO «Knizhnyj klub», 2009, 360 p. (in Russian).