

Критерий перезахвата на ложный объект при корреляционном методе сопровождения

Ефимов Андрей Сергеевич, Козлитин Иван Алексеевич
 ЗАО «Научно-технический центр «ЭЛИНС», Зеленоград, Россия
 dvveller@gmail.com, kozlitin@elins.ru

Аннотация

Для корреляционного алгоритма сопровождения предложен метод обнаружения перезахвата на ложный объект. Метод основан на анализе зависимости коэффициента корреляции объекта и эталона от номера кадра при сопровождении. Суть метода состоит в обнаружении на этой зависимости участков особого вида, соответствующих перезахвату.

Ключевые слова: Сопровождение, Обнаружение, Корреляция, Критерий срыва сопровождения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для любого метода слежения за объектом практически важно иметь критерий срыва сопровождения. В случае обнаружения срыва сопровождения можно переключиться на другой метод или перейти к экстраполяции.

Выделим две основные причины срыва сопровождения:

1. Исчезновение объекта из поля зрения, либо падение его контраста ниже некоторого критического уровня;
2. Перезахват на ложный объект.

При срыве сопровождения первого типа факт срыва может быть обнаружен путем сопоставления изображения в строке с адаптивной моделью фона. При срыве второго типа такой способ работает плохо из-за того, что перезахват обычно происходит на сложном фоне, адекватную модель которого построить затруднительно.

В случае, когда метод сопровождения предусматривает отделение объекта от фона, решение о срыве сопровождения принимается исходя из результата сопоставления области изображения, предположительно принадлежащей объекту, с адаптивной моделью объекта, построенной ранее. Если же метод сопровождения не предусматривает такого разделения фона и объекта, то такой подход непосредственно неприменим.

Практически важным примером подобного алгоритма является корреляционный метод сопровождения с обновляемым эталоном. Единственной непосредственно доступной характеристикой качества слежения для этого алгоритма является коэффициент корреляции объекта и эталона, известный для каждого кадра видеопоследовательности. Существенно, что вычисление этого коэффициента не требует никаких дополнительных вычислительных операций.

В данной работе путем анализа временной зависимости коэффициента корреляции от времени удалось выработать критерий перезахвата на ложный объект.

2. КОРРЕЛЯЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ

Суть этого метода состоит в поиске на изображении участка наиболее коррелированного с эталоном, создаваемом при захвате объекта. Поскольку объект обычно меняется со временем, то и эталон также должен постепенно меняться, подстраиваясь под объект. Обычно эталон обновляется по следующему правилу:

$$E_n = (1 - \alpha)E_{n-1} + \alpha I_n, \quad (1)$$

где E_n - эталон на n -ом шаге, I_n - изображение объекта на n -ом шаге и α - коэффициент обновления эталона. Значение α подбирается исходя из скорости изменения объекта, за которым осуществляется слежение, и находится в диапазоне от 0 до 0.1.

3. АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ ОТ ВРЕМЕНИ

Типичная зависимость коэффициента корреляции от времени приведена на рис. 1. В процессе нормального сопровождения коэффициент корреляции ρ меняется достаточно случайно. В момент времени t_0 происходит перезахват. На графике наблюдается резкий спад коэффициента корреляции, за которым следует нарастание этого коэффициента по кривой определенной формы. Начальный участок зашумлен, но затем ρ начинает возрастать плавно. Скорость нарастания зависит от α .

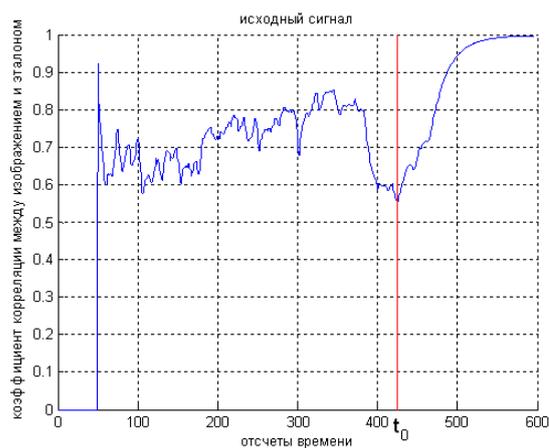


Рис. 1 Зависимость коэффициента корреляции от времени. Красной чертой показан момент времени, в который происходит перезахват.

Зависимость коэффициента корреляции от времени после перезахвата можно определить аналитически. Пусть E_0 - эталон в момент перезахвата, I - часть изображения, на которую произошел перезахват, тогда $I_n = I$ для всех n .

Для этого частного случая равенство (1) можно записать следующим образом:

$$\mathbf{E}_n = (\mathbf{E}_0 - \mathbf{I})(1 - \alpha)^n + \mathbf{I}. \quad (2)$$

Можно показать, что в этом случае коэффициент корреляции \mathbf{E}_n и \mathbf{I} вычисляется по формуле

$$\rho(\mathbf{E}_n, \mathbf{I}) = \rho((\mathbf{E}_0 - \mathbf{I})(1 - \alpha)^n + \mathbf{I}, \mathbf{I}) = \left(1 + \frac{(1 - \rho^2(\mathbf{E}_0, \mathbf{I}))(1 - \alpha)^{2n}}{\left(\rho(\mathbf{E}_0, \mathbf{I})(1 - \alpha)^n + \frac{\sigma_I}{\sigma_{E_0}}(1 - (1 - \alpha)^n) \right)^2} \right)^{-1/2}, \quad (3)$$

где σ_I - стандартное отклонение ложного объекта, σ_{E_n} - стандартное отклонение эталона на n -ном кадре.

В реальности на изображении присутствует шум, поэтому более правильно писать $\mathbf{I}_n = \mathbf{I} + \Phi_n$, где Φ_n - добавка, обусловленная шумом. Будем считать, что шум некоррелирован с изображением и шумовые добавки к разным кадрам некоррелированы между собой. Тогда с учетом шума формула (3) записывается следующим образом:

$$\rho_n = \rho(\mathbf{E}_n, \mathbf{I}_n) = \left(1 + \frac{(1 - (\rho_0 / \rho_\infty)^2)(1 - \alpha)^{2n}}{\left((\rho_0 / \rho_\infty)(1 - \alpha)^n + k(1 - (1 - \alpha)^n) \right)^2} \right)^{-1/2}, \quad (4)$$

где $k = \sigma_I / \sigma_{E_0}$, $\rho_0 = \rho(\mathbf{E}_0, \mathbf{I}_0)$, а ρ_∞ - масштабный коэффициент, имеющий смысл коэффициента корреляции при $n \rightarrow \infty$. Вследствие шума всегда $\rho_\infty < 1$.

4. ОБНАРУЖЕНИЕ ПЕРЕЗАХВАТА

Задача обнаружения перезахвата сводится к поиску на графике коэффициента корреляции от времени зависимости вида (4). Эту задачу можно свести к проблеме обнаружения на графике участка прямой с угловым коэффициентом $-\ln(1 - \alpha)$. Для этого необходимо разрешить (4) относительно $(1 - \alpha)^{-n}$ и прологарифмировать обе части полученного равенства. В итоге получим

$$-n \ln(1 - \alpha) = \ln \left[1 + \frac{1}{k} \frac{(1 - (\rho_0 / \rho_\infty)^2)^{1/2}}{(\rho_\infty / \rho_n)^2 - 1} - \frac{\rho_0}{k \rho_\infty} \right]. \quad (5)$$

Обозначим $\gamma = -\ln(1 - \alpha)$ и y_n равным правой части (5), тогда

$$y_n = \gamma n \quad (6)$$

Искомый угловой коэффициент γ прямой (6) можно получить с помощью линейной регрессии в скользящем окне. В нашей реализации мы взяли длину окна равной $1/\alpha$. Формулы для углового коэффициента γ и его стандартного отклонения σ_γ при использовании процедуры линейной регрессии можно найти, например, в [1]. Параметры ρ_0 , $k = \sigma_I / \sigma_{E_0}$ вычисляются по первому кадру, попавшему в окно. Значение ρ_∞ - по кадру, непосредственно следующему за последним кадром, попавшим в окно.

Заметим, что правая часть (5) не всегда может быть вычислена, а лишь при условии $\rho_n < \rho_\infty$ (предполагается, что $\rho_0 < \rho_\infty$, поскольку по смыслу задачи зависимость должна быть возрастающей). Будем считать набор входных данных y_n корректным, если условие $\rho_n < \rho_\infty$ выполняется для всех элементов скользящего окна.

Введем две гипотезы:

$$H_0: \gamma = \gamma^* = -\ln(1 - \alpha) \text{ - перезахват;}$$

$H_1: \gamma = 0$ или набор y_n для расчета γ некорректен (при некотором n нарушается условие $\rho_n < \rho_\infty$) - нормальное сопровождение.

Построим логарифмическое отношение правдоподобия

$$\Lambda(\gamma) = \ln \frac{e^{-\frac{(\gamma - \gamma^*)^2}{2\sigma_\gamma^2}}}{e^{-\frac{\gamma^2}{2\sigma_\gamma^2}}} = \left(\frac{\gamma^*}{\sigma_\gamma} \right)^2 \left(\frac{\gamma}{\gamma^*} - \frac{1}{2} \right). \quad (7)$$

Теперь рассмотрим m последовательных значений γ и построим для них общее логарифмическое отношение правдоподобия следующим образом:

$$\Lambda_m = \sum_{i=1}^m \Lambda(\gamma_i). \quad (8)$$

Теперь сформулируем алгоритм обнаружения. Он состоит из следующих шагов:

1. В процессе сопровождения вычисляем значение (7) и находим такой кадр, для которого $\Lambda(\gamma_i) > 0$.
2. Накапливаем сумму (8), если текущий γ_i таков, что $\Lambda(\gamma_i) > 0$. Если γ_i вычислить нельзя, или не выполняется условие $\Lambda(\gamma_i) > 0$, то переходим к шагу 1.
3. Если текущее значение суммы $\Lambda_i > \eta$, где η - некоторый порог, то принимаем решение об успешном обнаружении перезахвата, иначе повторяем шаг 2.

По сути описанный выше алгоритм реализует метод последовательного анализа [2]. Отличие заключается в сбросе накопления суммы (8) на шаге 2, а также в том, что не используется нижний порог для Λ_i .

Значение порога η подбирается по тестовым примерам, и вопрос о его теоретической оценке пока остается открытым.

Зависимость отношения правдоподобия (7) от времени представлена на рис. 2. Хорошо виден резкий рост (7) примерно через 100 кадров после перезахвата.

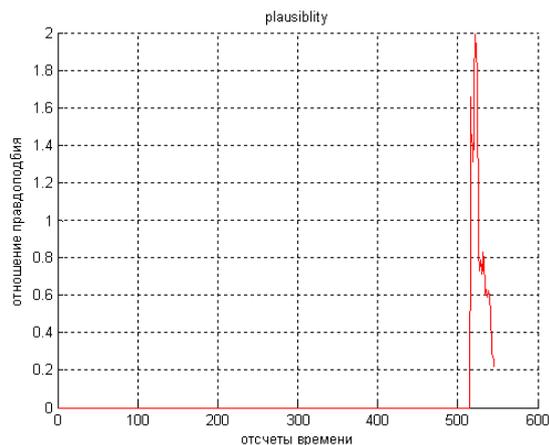


Рис. 2 Зависимость логарифмического отношения правдоподобия (7) от времени.

Величина задержки пропорциональна длине окна, которая, в свою очередь, связана с параметром α . Поэтому задержка может быть существенно уменьшена путем увеличения α .

Замечание. Оказывается, что если в формуле (7) вместо σ_γ взять $(\sigma_\gamma)^t$, где показатель степени $t > 1$ (в нашей реализации $t = 2$), то эффективность обнаружения возрастает (уменьшается число ложных срабатываний при той же вероятности пропуска цели). Ясно, что при такой модификации алгоритма значение порога η должно быть подобрано заново.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность рассмотренного алгоритма обнаружения перезахвата на ложную цель подтверждена тестированием на различных тестовых видеозаписях с существенно отличающейся фоновой-целевой обстановкой.

Наиболее перспективным представляется комбинирование описанного метода обнаружения перезахвата с другими методами обнаружения срыва сопровождения, основанными на использовании адаптивных моделей объекта и фона. Для этого необходимо строить двухстадийные алгоритмы сопровождения, в которых на первой стадии определяются предварительные координаты объекта, а на второй стадии эти координаты используются в корреляционном алгоритме в качестве первого приближения. При такой реализации корреляционная стадия будет достаточно быстрой за счет того, что вместо глобальной минимизации можно использовать локальную.

В двухстадийном алгоритме доступна информация о процессе слежения как с первой, так и со второй (корреляционной) стадии. Это позволит существенно увеличить эффективность обнаружения срыва сопровождения.

Заметим, что координаты, которые будут получаться после второй стадии, можно как использовать в дальнейшем в качестве координат цели, так и не использовать. В последнем случае задачей второй стадии будет исключительно обнаружение перезахвата. В таком варианте алгоритма можно существенно увеличить значение

параметра α , тем самым резко сократив величину задержки обнаружения срыва сопровождения.

6. ССЫЛКИ

- [1] Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. **Введение в математическую статистику**: Учебник. М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 600 с.
- [2] Харкевич А.А. **Борьба с помехами**. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, Москва, 1965.

Об авторах

Ефимов Андрей Сергеевич – инженер-электроник ЗАО НТЦ «ЭЛИНС», студент МИЭТ. Его адрес: dveller@gmail.com

Козлитин Иван Алексеевич – научный сотрудник ЗАО НТЦ «ЭЛИНС», к.ф.-м.н. Его адрес: kozlitin@elins.ru