

Исследование алгоритма коррекции времени экспозиции для систем технического зрения

П.В. Бабаян¹, О.Н. Буркина¹, В.С. Муравьев¹

¹ Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, ул. Гагарина, 59/1, Рязань, 390005, Россия

Аннотация

Технологии технического зрения используются во многих областях, начиная со стационарных систем видеонаблюдения и заканчивая мобильными роботами с элементами искусственного интеллекта. Способность видеодатчиков автоматически адаптироваться к изменениям освещения крайне важна для сохранения высокого качества изображения, поэтому разработка и исследование алгоритмов коррекции экспозиции является достаточно актуальной задачей. В работе исследуется алгоритм коррекции времени экспозиции, предназначенный для использования в системах технического зрения. Существует три основных способа изменения светочувствительности камеры: управление временем экспозиции камеры, изменение чувствительности матрицы и размера диафрагмы объектива. Каждый из этих подходов по-своему влияет на свойства формируемых изображений и имеет свои преимущества и ограничения применимости. Наиболее простые в реализации подходы основаны на коррекции времени экспозиции. Авторами предложен эвристический алгоритм на основе максимизации энтропии изображения. Приведены результаты моделирования и испытаний алгоритма в реальных условиях. Проводилось сравнение работы при включенном режиме подбора времени экспозиции. По результатам исследований сделан вывод, что предложенный алгоритм обладает лучшим быстродействием при схожем итоговом времени экспозиции, при этом он не обладает большой вычислительной сложностью.

Ключевые слова

Время экспозиции, автоэкспозиция, энтропия, гистограмма изображения.

Research of the Exposure Time Correction Algorithm for Vision Systems

P.V. Babayan¹, O.N. Burkina¹, V.S. Muraviev¹

¹ Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Gagarin St. 59/1, Ryazan, 390005, Russia

Abstract

Computer vision is used in many areas, from stationary video surveillance systems to mobile robots with artificial intelligence. The ability of video sensors to automatically adapt to changes in illumination is significant for high image quality, so the development and research of exposure correction algorithms is an important problem. In the paper an exposure time correction algorithm designed for use in computer vision systems is described. There three main ways to change light sensitivity in video camera is known: controlling the camera's exposure time, changing the sensor sensitivity, and lens aperture size. Each of these approaches affects the properties of the generated images in its own way and has its own advantages and limitations. The most simple to implement approaches are often based on exposure time correction. The authors propose a heuristic algorithm based on image entropy maximization. The results of simulation and testing of the algorithm in real conditions are presented. A comparison has been made with the camera auto exposure mode. Based

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: pvbradio@yandex.ru (П.В. Бабаян); olka-burkina@yandex.ru (О.Н. Буркина); vad.muraviev@yandex.ru (В.С. Муравьев)
ORCID: 0000-0003-4041-3101 (П.В. Бабаян); 0000-0002-1826-7075 (О.Н. Буркина); 0000-0003-4261-859X (В.С. Муравьев)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

on the results of the research, it has been concluded that the proposed algorithm has better performance with a similar final exposure time, while it has a low computational complexity.

Keywords

Exposure time, autoexposure, entropy, image histogram.

1. Введение

В настоящее время технологии технического зрения используются во многих областях, начиная со стационарных систем видеонаблюдения и заканчивая мобильными роботами с элементами искусственного интеллекта. Во многих сферах требуется обеспечивать высокое качество изображения, на формирование которого влияет множество аспектов, к примеру, характеристики видеосенсора и степень сжатия изображения. Успех решения задач обработки и анализа изображений во многом зависит от выбора способа описания объекта и фона. В свою очередь признаковое описание строится на основе функции яркости, поэтому, чем контрастнее и детальнее наблюдаемое изображение, тем более эффективно будет решена поставленная задача. Однако формируемое видеодатчиком изображение постоянно изменяется из-за влияния разного рода факторов. Одним из факторов является степень освещенности наблюдаемой сцены. В реальных видеодатчиках, как правило, требуется постоянно корректировать экспозиционные параметры в зависимости от условий наблюдения.

Способность автоматически адаптироваться к изменениям освещения крайне важна для сохранения высокого качества изображения, и, исходя из этого, разработка и исследование алгоритмов коррекции параметров экспозиции является весьма актуальной задачей.

2. Алгоритмы управления экспозицией

Подробное описание алгоритмов управления экспозицией в коммерческих продуктах не всегда полностью отражено в литературе, однако некоторые детали для камер Nikon указаны в [1]. В этом подходе важным моментом является установка нижней границы выдержки, которую необходимо выбрать таким образом, чтобы изображение не смазывалось при съемке с руки. В автоматическом режиме диафрагма остается открытой до тех пор, пока выдержка не превысит $1/40$ с. При очень малой выдержке диафрагма незначительно закрыта. Если широко открытой диафрагмы недостаточно для достижения порога выдержки, чувствительность в единицах ISO увеличивается.

Управление экспозицией может осуществляться путем деления кадра на некоторое количество блоков и вычисления освещенности (BV) в каждом из них [2]. Такой подход используется многими компаниями (например, Nikon [1] или Canon [3]). Предлагается найти максимальную (BV_{max}) и минимальную (BV_{min}) яркость в каждом блоке и вычислить среднюю освещенность в нижнем (BV_{lower}) и верхнем (BV_{upper}) блоках, а также во всех блоках (BV_{mean}). После этого освещенность сцены может быть описана следующим выражением:

$$BV = a_1 BV_{max} + a_2 BV_{min} + a_3 BV_{mean} + a_4 BV_{upper} + a_5 BV_{lower}. \quad (1)$$

После установки коэффициентов $a_i, i = \overline{1,5}$ можно определить выдержку и размер диафрагмы. Эти коэффициенты задаются во встроенном ПО камеры.

В [4] и [5] предложен и реализован алгоритм автоматической коррекции экспозиции с использованием метода False-position. Алгоритм предназначен для промышленного применения, например, применяется для корректной экспозиции образцов кожи с целью обнаружения их дефектов. В данном подходе учитывается выдержка в соответствии с условиями освещения.

В работе [6] представлен алгоритм автоматической коррекции экспозиции в зависимости от условий освещения. Данный подход определяет условия высококонтрастного освещения и увеличивает динамический диапазон. Алгоритм вычисляет разницу между средним и медианным значениями яркости захваченных изображений и оценивает условия освещения сцены. Контраст уровня освещения определяется как абсолютное значение разности между

средней яркостью и медианой всех пикселей изображения. Если контраст незначителен, то условия освещения считаются нормальными. Но если модуль разности превышает выбранный порог, то требуется дальнейший подбор уровня освещения.

Схожий подход с использованием различий в условиях освещения для обнаружения излишнего контраста освещения сцены представлен в [7]. Авторы предлагают разделять кадр (называемый основной зоной) на небольшие области. Затем требуется вычислить уровень яркости как взвешенную сумму средних яркостей в соседних с текущей областях. Авторы провели эксперименты, показавшие, что метод успешно обнаруживает сцены с недостаточным или высоким уровнем освещенности с малой величиной ошибки.

В литературе вводится понятие экспозиционного числа, которое связывает размер диафрагмы N , время экспозиции t (в секундах) и чувствительность S (в единицах ISO). Формально значение экспозиции может быть определено следующим образом [8-10]:

$$EV_{ISO} = \log_2 \frac{L \cdot S}{\beta} = \log_2 \frac{N^2}{t}, \quad (2)$$

где β – постоянная калибровки экспонометра (часто $\beta = 12,5$), L – яркость сцены, выраженная в кд/м².

Из данного определения следует, что существует три основных способа изменения светочувствительности: управление временем экспозиции, изменение чувствительности матрицы и регулирование размера диафрагмы объектива. Каждый из этих подходов по-своему влияет на свойства формируемых камерой изображений и имеет свои преимущества и ограничения применимости. Наиболее простые в реализации подходы основаны на коррекции времени экспозиции.

3. Описание предлагаемого подхода

В данной работе предлагается эвристический алгоритм, направленный на изменение времени экспозиции, который может применяться на практике в системах технического зрения. Алгоритм не предназначен для применения в высоко динамичных сценах и при резком изменении фоноцелевой обстановки и является развитием подхода, изложенного в [11]. Приведем описание основных этапов предлагаемого подхода.

Алгоритм коррекции времени экспозиции основан на анализе гистограммы яркости изображения, формируемой на каждом кадре. Алгоритм максимизирует энтропию изображения H , вычисляемую следующим образом:

$$H = - \sum_{i=0}^{m-1} p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (3)$$

где m – число уровней яркости, p_i – относительное количество точек, имеющее яркость i .

Работа алгоритма начинается с минимального значения времени экспозиции t_{min} , которое постепенно увеличивается. На каждом кадре с номером n проводится проверка:

- если значение $H_n > H_{n-1}$, то сохраняется направление изменения времени экспозиции,
- если $H_n < H_{n-1}$, то направление изменения меняется на противоположное,
- если $H_n = H_{n-1}$, изменения времени экспозиции не происходит.

Время экспозиции на следующем кадре t_{n+1} вычисляется в соответствии с выражением:

$$t_{n+1} = t_n + h_n \cdot s_n, \quad (4)$$

где h_n – шаг коррекции экспозиции, s_n – знак изменения направления (-1, 0, +1).

Здесь

$$h_n = \max(h_{min}, |h'_n|), \text{ где } h'_n = k_n \ln |H_n - H_{n-1}|, \quad (5)$$

где k_n – коэффициент, h_{min} – минимальный шаг времени экспозиции.

В выражении (5) h_n всегда больше или равен h_{min} для обеспечения роста времени экспозиции даже при небольшом значении модуля межкадровой разности энтропии и предотвращения преждевременного установления процесса коррекции. Следует отметить, что при очень большом и малом времени экспозиции возможны случаи, когда энтропия практически не меняется. Как правило, в этих ситуациях сцена очень сильно затемнена или освещена. Поэтому

дополнительно вычисляется относительное число точек K_z с яркостью близкой к 0 (сцена затемнена) и относительное число точек K_m с яркостью, близкой к максимальной (сцена освещена). Если K_z больше заданной пороговой величины, то время экспозиции принудительно увеличивается по экспоненциальному закону для увеличения скорости настройки. Также если K_m больше пороговой величины, то время экспозиции принудительно уменьшается. Пороги выбираются таким образом, чтобы обе проверки не выполнялись одновременно. Из-за нелинейного роста времени экспозиции при достижении установившегося состояния может наблюдаться колебательный процесс с постоянным изменением направления шага. Для уменьшения степени колебательности процесса коррекции экспозиции после смены знака s_n в текущем кадре по отношению к предыдущему шаг h_n уменьшается в 1,5 – 2 раза.

4. Экспериментальные исследования

Экспериментальная проверка осуществлялась с использованием Ethernet камеры The Imaging Source DMK 33GR0134 на полутонных восьмибитных изображениях. Работа алгоритма проверялась при наблюдении постера, представленного на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример тестовой сцены

Проводилось сравнение предлагаемого алгоритма и включенного на камере режима автоэкспозиции. Камера располагалась внутри помещения, сцена освещалась естественным рассеянным светом без попадания прямых солнечных лучей (сцена 1).

Ниже приведены графики изменения энтропии H_n и итоговые гистограммы изображений p_i для одного из захваченных видеосюжетов при использовании предлагаемого алгоритма (рисунок 2) и при включенном режиме автоматического подбора времени экспозиции (рисунок 3).

Итоговое время экспозиции для предлагаемого алгоритма составило $t = 1,25$ мс, для режима работы камеры с включенной автоэкспозицией – $t = 1,16$ мс.

Проанализировав графики зависимости энтропии H_n от номера кадра n , представленные на рисунках 2 и 3, можно сделать вывод о том, что установившееся значение энтропии и приблизительно равное время экспозиции достигается заметно быстрее при использовании предложенного алгоритма.

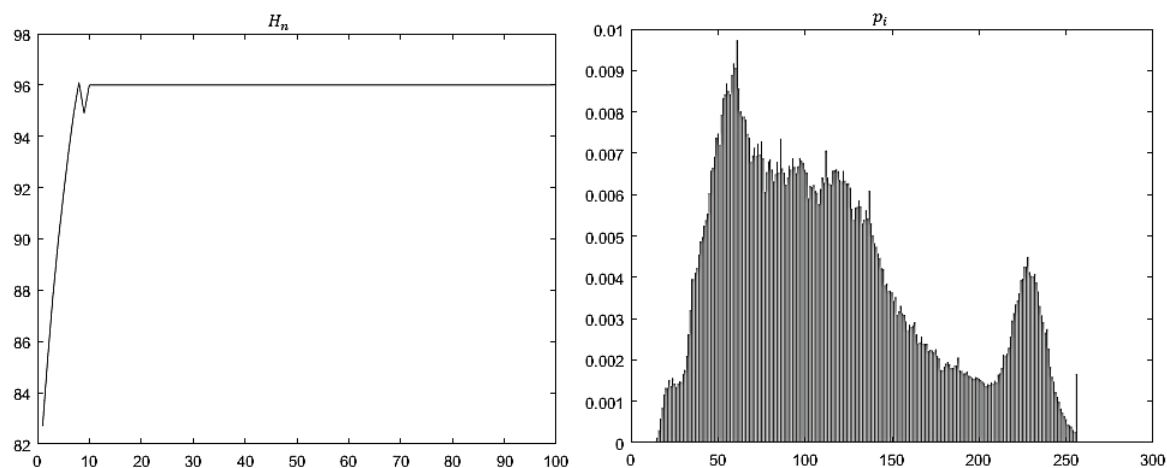


Рисунок 2 – График изменения энтропии H_n (слева) и итоговая гистограмма изображения p_i (справа) при использовании предлагаемого алгоритма для сцены 1

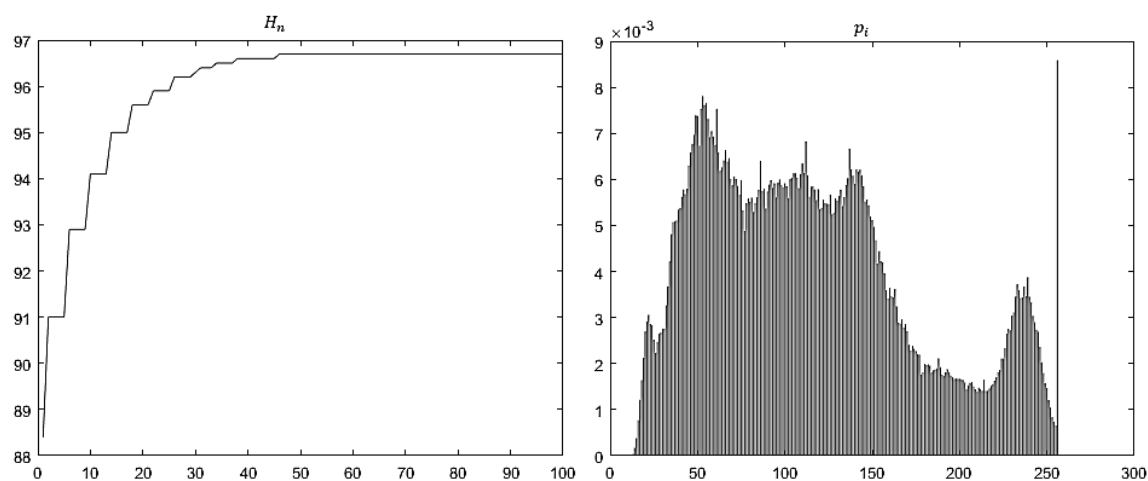


Рисунок 3 – График изменения энтропии H_n (слева) и итоговая гистограмма изображения p_i (справа) при автоматическом подборе времени экспозиции для сцены 1

Затем рассматриваемая сцена искусственно затемнялась (сцена 2), и выполнялась проверка работы описанного алгоритма при этих условиях. Оценивалась энтропия H_n и строилась итоговая гистограмма p_i для захваченного видеосюжета при использовании предлагаемого алгоритма (рисунок 4) и при включенном алгоритме автоматического подбора времени экспозиции (рисунок 5).

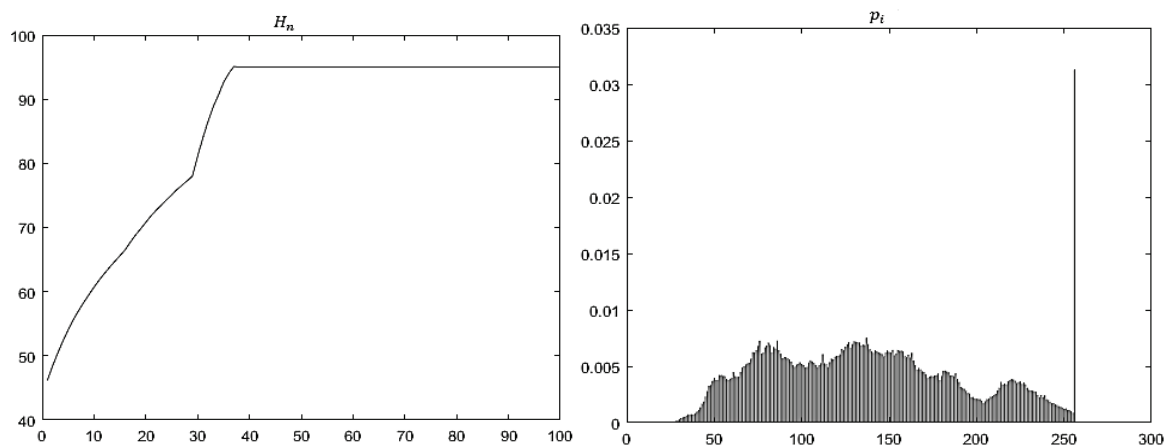


Рисунок 4 – График изменения энтропии H_n (слева) и итоговая гистограмма изображения p_i (справа) при использовании предлагаемого алгоритма для сцены 2

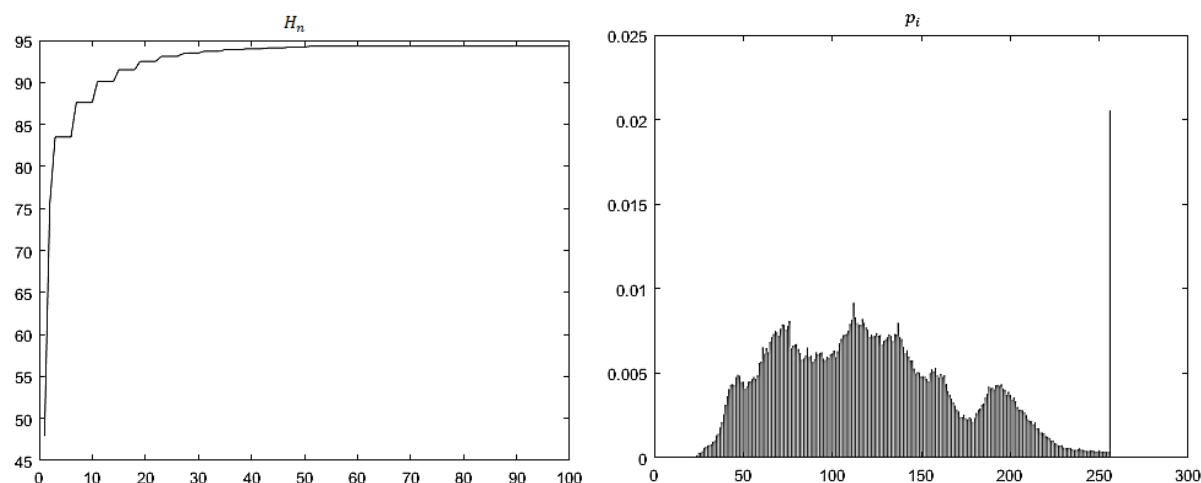


Рисунок 5 – График изменения энтропии H_n (слева) и итоговая гистограмма изображения p_i (справа) при автоматическом подборе времени экспозиции для сцены 2

Итоговое время экспозиции при измененных условиях освещения (затемнении) для предлагаемого алгоритма составило $t = 5,2$ мс, для режима работы камеры с включенной автоэкспозицией – $t = 5,0$ мс. Предложенный алгоритм продемонстрировал несколько лучшее быстродействие. Однако следует отметить, что передача по сети и захват кадра отнимали дополнительное время, а подстройка времени экспозиции на камере происходила с большей частотой дискретизации. Поэтому измеренную скорость работы режима автоэкспозиции следует считать оценкой снизу, и требуемое для настройки число кадров было выше. Таким образом, описанный алгоритм обладает большим высоким быстродействием при схожем итоговом времени экспозиции, при этом он не обладает большой вычислительной сложностью.

5. Список источников

- [1] Thomas Dennis J. Nikon D800 & D800E Digital Field Guide, John Wiley & Sons INC International Concepts, 2012, 304 p.
- [2] Sampat N. et al. System implications of implementing auto-exposure on consumer digital cameras //Sensors, Cameras, and Applications for Digital Photography. SPIE, 1999. Vol. 3650, pp. 100-107.
- [3] Brierley J. Digital Bird Photography-A Comprehensive Tutorial. – Lulu.com, 2005, 70 p.
- [4] Kiran B. R., Vardhan G. A Fast Auto Exposure Algorithm for Industrial Applications Based on False-Position Method //Proceedings of the International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and Applications (FICTA). Springer, Cham, 2014, pp. 509-515.
- [5] Kiran B. R. et al. False position based auto exposure algorithm for properly exposing the leather samples in the leather industries //International Journal of Computer Applications. 2013. Vol. 83.14.
- [6] Vuong Q. K., Yun S. H., Kim S. A new auto exposure and auto white-balance algorithm to detect high dynamic range conditions using CMOS technology //Proceedings of the world congress on engineering and computer science. – San Francisco, USA: IEEE, 2008, pp. 22-24.
- [7] Liang J. Y., Qin Y. J., Hong Z. L. An auto-exposure algorithm for detecting high contrast lighting conditions // 2007 7th International Conference on ASIC. – IEEE, 2007, pp. 725-728.
- [8] O'Malley R., Jones E., Glavin M. Rear-lamp vehicle detection and tracking in low-exposure color video for night conditions // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2010. Vol. 11.2, pp. 453-462.
- [9] O'malley R., Glavin M., Jones E. Vision-based detection and tracking of vehicles to the rear with perspective correction in low-light conditions // IET Intelligent Transport Systems. 2011. Vol. 5.1, pp. 1-10.

- [10] Ray, S.F. Camera Exposure Determination. In: Jacobson, R.E., Ray, S.F., Atteridge, G.G. and Axford, N.R., Eds., The Manual of Photography, Focal Press, Oxford. 2000, pp. 310-318.
- [11] Бабаян П.В., Буркина О.Н., Муравьев В.С. Алгоритм коррекции времени экспозиции для видеокамер в системах анализа изображений// Цифровая обработка сигналов и её применение. DSPA-2022: Доклады 24-ой Международной конференции, Москва, 30 марта – 1 апреля 2022 года. – Москва: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2022. – С. 201-205.