

Автоматическая настройка конвейера обработки изображений

Д.И. Колчаев^а, Е.Р. Муратов^а, М.Б. Никифоров^а

^аРязанский государственный радиотехнический университет, 290024, ул. Гагарина, 59/1, Рязань, Россия

Аннотация

Математическую обработку изображений в системах технического зрения реального времени можно условно разделить на два этапа: предварительная обработка (фильтрация, контрастирование, борьба с природными искажениями и т.д.) и окончательная (совмещение, визуализация, решение навигационной задачи и т.д.). Перечисленные задачи могут быть решены многими известными и специально разработанными методами с различной степенью эффективности. В работе предлагается математическая модель критерия и алгоритм автоматической выборки наиболее эффективного метода на каждой ступени конвейера обработки изображений применительно к текущей ситуации на его входе.

Ключевые слова: Конвейер обработки изображений; реальное время; автоматический выбор алгоритмов

1. Введение

В системах технического зрения важный этап занимает предобработка, которая включает в себя контрастирование изображений и компенсацию помех. Так как существующие алгоритмы улучшения дают различные результаты, которые зависят как от обрабатываемого изображения, так и от управляющих параметров, переданных в эти алгоритмы, то возникает необходимость динамического выбора алгоритма в зависимости от сюжета. Совокупность всех вариантов алгоритмов, а так же всех вариантов для управляющих параметров создает множество решений с большой размерностью. Решением этой проблемы является использование автоматической системы выбора алгоритмов улучшения, а так же подбора оптимальных управляющих параметров для серии из t кадров, получаемых из видеопоследовательности [1].

2. Постановка задачи

Пусть множество алгоритмов контрастирования – это A , а множество B – вариации метода компенсации помех, тогда A_i – это i -ый алгоритм контрастирования, а B_j – это j -ая вариация метода компенсации помех. Исходя из этого, прямое произведение множества A на множество B , даст множество M , которое описывает все возможные варианты совместного применения этих алгоритмов. $M = A \times B$. (A_i, B_j) – это один из вариантов выбора, $(A_i, B_j) \in M$. Исходная задача заключается в следующем: из множества M найти такой элемент (A_i, B_j) , при котором показатель качества результирующего изображения будет наилучшим, а показатель шума будет лежать в диапазоне соответствующем алгоритму B_j . Для решаемой задачи имеем $i, j = 0..3$, так как экспериментально были отобраны три алгоритма контрастирования и три варианта использования временной фильтрации шумов.

3. Алгоритм автоматического выбора сочетания методов улучшения изображений и компенсации помех

Алгоритм позволяет найти наилучший вариант обработки путем выбора из набора методов компенсации помех с различными управляющими параметрами и из нескольких алгоритмов контрастирования изображений конкретного сочетания, обеспечивающего наилучший результат с точки зрения некоторого объективного показателя. Оценки результата обработки производятся через каждые t кадров, после накопления последовательности из четырех опорных кадров, где каждому кадру соответствуют наилучшие алгоритмы обработки. Оценивается частота повторений этих алгоритмов, и выбираются те алгоритмы, частота повторения которых наибольшая. Алгоритм позволяет выбрать для каждого кадра наилучший элемент из множества M и занести этот элемент в стек. После того, как стек заполнен и выбран наиболее эффективный алгоритм обработки, он применяется к текущему изображению. Через следующие p кадров элемент, который был помещен в стек первым, выбрасывается, а вершину стека занимает наилучший элемент из множества M , процедура выбора и применения алгоритма повторяется. Стек организован по принципу FILO (First-In-Last-Out).

Основными блоками алгоритма являются блок оценки качества, блок оценки шума.

Интегральный показатель качества (ИПК) вычисляется, как сумма средней яркости, СКО яркости, нормированного показателя контраста, числа информационных уровней и энтропии. Количество градаций яркости характеризует количество различных информационных уровней, присутствующих в изображении, и определяется по гистограмме изображения:

$$G(Z_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } Z_i = 0, \\ 1, & \text{если } Z_i > 0, \end{cases}$$

где Z_i – количество точек, яркость которых равна i .

Одной из существенных характеристик изображения является средняя яркость \bar{L} [2], которая вычисляется по следующей формуле:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^W L_{xy}}{HW},$$

где H, W – высота и ширина изображения, а L_{xy} – яркость элемента текущего изображения с координатами x и y .

Для количественной оценки качества изображений используются также такие объективные характеристики, как СКО (σ) и энтропия (ε). СКО адекватно понятиям локального контраста и, в какой-то мере, четкости. Энтропия – мера количества информации в изображении.

Задача оценки качества изображений носит многокритериальный характер, поэтому вводится аддитивный обобщенный критерий качества F следующего вида:

$$F = \sum_{i=1}^p \beta_i f_i,$$

где β_i – весовые коэффициенты, $\sum_{i=1}^p \beta_i = 1$ – условие нормированности F , f_i – частные нормированные критерии, p – количество частных критериев.

Нормированные частные показатели контраста и числа информационных уровней определяются как:

$$K_n = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{255},$$

$$N_n = \frac{N}{N_{\max}},$$

где $L_{\max} = \max(L_{xy})$, $L_{\min} = \min(L_{xy})$ – максимальное и минимальное значения яркости элементов изображения, N – число информационных уровней отличных от нуля, $N_{\max} = 256$ – максимальное число информационных уровней в цифровых изображениях для визуализации.

Оценка энтропии Шеннона может быть вычислена для любого полутонового (в том числе телевизионного и тепловизионного) изображения. В этом случае вычисляется оценка распределения вероятностей оттенков серого в полутоновом изображении [2]. Расчет энтропии производится на основе гистограммы изображения, для которой распределение частот описывается простым выражением:

$$p_i = \frac{N_i}{HW}, \quad (1)$$

где N_i – число элементов, имеющих i уровень.

Вычисление энтропии изображения производится по формуле:

$$\varepsilon = -\sum_i p_i \log_2(p_i). \quad (2)$$

Для нормирования значения энтропии может быть поделено на коэффициент, равный максимуму энтропии для данного количества уровней. Для полутонового изображения с 256 градациями яркости он будет равен 8. Таким образом, значение энтропии изображения может изменяться от 0 до 1.

Дисперсия изображения вычисляется следующим образом:

$$\sigma^2 = \sum_i p_i (i - \bar{i})^2, \quad (3)$$

где $\bar{i} = \sum_i i p_i$, i – уровень квантования.

Для полутонового изображения вычисляется оценка дисперсии распределения вероятностей оттенков серого. Экспериментальным путем на серии различных изображений установлено, что СКО изменяется в пределах от ≈ 0 до ≈ 100 , тогда средним значением является 50, следовательно σ_n :

$$\sigma_n = \begin{cases} \frac{\sigma}{50}, & \sigma \leq 50, \\ \frac{(100 - \sigma)}{50}, & 50 < \sigma \leq 100, \\ 0, & \sigma > 100. \end{cases}$$

Для средней яркости предпочтительными являются значения принадлежащие середине диапазона, а на границах яркостного диапазона ее значение минимально:

$$\bar{L}_n = \begin{cases} \frac{\bar{L}}{128}, & \bar{L} \leq 107, \\ \frac{(255 - \bar{L})}{128}, & \bar{L} > 147, \\ 1, & \bar{L} \in \{108 \div 147\}. \end{cases}$$

Энтропия достигает максимума при равномерном законе распределения. Энтропия изображения, имеющего диапазон от 0 до 255 градаций яркости, не может превышать 8. Нормированное значение энтропии примет вид: $\varepsilon_n = \frac{\varepsilon}{8}$.

Основную сложность применения частных показателей представляет собой выбор весовых коэффициентов, учитывающих влияние соответствующих частных показателей на обобщенный критерий в целом. Для выбора начальных значений этих коэффициентов используется критерий Фишберна [2, 3]:

$$\beta_i = \frac{2(p-i+1)}{p(p+1)}.$$

Для этого частные критерии разбиваются на группы по приоритетам: (L_n, σ_n) ; (K_n, N_n) и (ε_n) . Весомость вклада СКО в значение интегрального показателя функции качества объясняется смыслом этого показателя: он определяет четкость и в некоторой степени воспринимает сильный шум. Далее показатели выстраиваются по убыванию влияния внутри выделенных приоритетных групп.

С учетом изложенного, интегральный показатель качества (ИПК) яркостной составляющей изображения примет вид:

$$\text{ИПК} = 0,33\bar{L}_n + 0,27\sigma_n + 0,20K_n + 0,13N_n + 0,07\varepsilon_n.$$

Коррекция коэффициентов при частных показателях осуществляется методом экспертных оценок, при этом их сумма должна быть равна единице.

В блоке оценки шума вычисляется мощность шума для всего изображения. Для этого изображение разбивается на окна размером 3x3 и из яркости центрального пикселя вычитается значение яркости соседнего пикселя, который находится по диагонали от центрального, результат вычитания возводится в квадрат и суммируется по всем пикселям изображения.

Описанный алгоритм позволяет автоматически выбирать метод контрастирования, а так же режим компенсации помех. Однако, использование этого алгоритма на видеопоследовательности приводит к появлению участков, где происходит резкий скачек яркости (выбирается другой алгоритм контрастирования), такое событие негативно сказывается на восприятии видеоинформации оператором. Для решений этой проблемы предлагается использовать метод, изложенный ниже.

4. Интерполяционный метод пропорционального применения двух граничных алгоритмов

Предположим, что k это номер кадра видео, на котором произошла смена алгоритма, тогда $k + t = k'$ - это номер следующего кадра на котором будет производиться анализ и выбор алгоритма улучшения, тогда k_T - это текущий кадр видео, причем $k \leq k_T \leq k'$. Обозначим A_k - алгоритм улучшения на k -ом кадре, а $A_{k'}$ - алгоритм улучшения через t кадров после k -ого кадра. Интерполяционный метод заключается в том, что для каждого k_T кадра вычисляется пропорция двух алгоритмов A_k и $A_{k'}$, таким образом, что чем ближе k_T к k' , тем с большим коэффициентом используется результат алгоритма $A_{k'}$ и соответственно с меньшим коэффициентом используется результат алгоритма A_k . Аналогично может возникать обратная ситуация, когда k_T ближе к границе k . Исходя из этого, формула вычисления яркости пикселя результирующего изображения в зависимости от значения k_T имеет следующий вид:

$$I_{x,y} = I_{x,y}^{A_k(k_T)} * \left(1 - \frac{k_T - k}{t}\right) + I_{x,y}^{A_{k'}(k_T)} * \left(\frac{k_T - k}{t}\right), \quad (4)$$

где x, y - координаты пикселя, $I_{x,y}^{A_k(k_m)}$ - буфер с результатом первого алгоритма для текущего кадра, $I_{x,y}^{A_{k'}(k_m)}$ - буфер с результатами второго алгоритма для этого же кадра, $A_k(k_T)$, $A_{k'}(k_T)$ - результаты работы алгоритмов выбранных на k и k' кадрах соответственно, t - количество кадров между моментами в которых происходит автоматический выбор алгоритма.

Такая формула позволяет плавно изменять применяемые алгоритмы без резких всплесков на результирующем изображении, но требует обработки изображения двумя алгоритмами, что снижает результирующую производительность. Алгоритм, основанный на этом методе, начинает работу с получения результатов автоматического выбора для k и k' кадра. Затем для каждого кадра производится обработка двумя алгоритмами A_k и $A_{k'}$, результаты обработки сохраняются в два буфера изображений. Каждый пиксель результирующего изображения формируется по формуле 4. После достижения границы интервала ($k_T = k'$), $A_k = A_{k'}$, а значение $A_{k'}$ получается из выборки автоматом дальнейшего алгоритма улучшения.

5. Результаты работы алгоритма автоматического выбора метода улучшения

На рис. 1 представлены четыре кадра из видеофрагмента и текущий вариант улучшения, выданный алгоритмом автоматического выбора с интервалом $t = 50$ кадров. В данном случае результат автоматического выбора для $k+t$ кадра, отличается от других кадров из этой последовательности. Такой выбор приводит к тому, что если на одном кадре видеофрагмента резко изменилась яркость (например, произошла вспышка света), то улучшение последующих n кадров будет производиться с не эффективно выбранным алгоритмом. Для решения этой проблемы используется стек, содержащий четыре наилучших элемента множества M , которые получаются в результате предварительной работы алгоритма. Когда стек наполнен полностью, выбор алгоритма улучшения производится путем подсчета частот повторений A_i и B_j в данном стеке. Для последовательности на рис. 1 получаются следующие частоты повторений:

$$F(A_2) = 1; F(A_3) = 3; F(B_0) = 4.$$

Таким образом, наилучшим будет являться элемент $(A_3, B_0) \in M$.

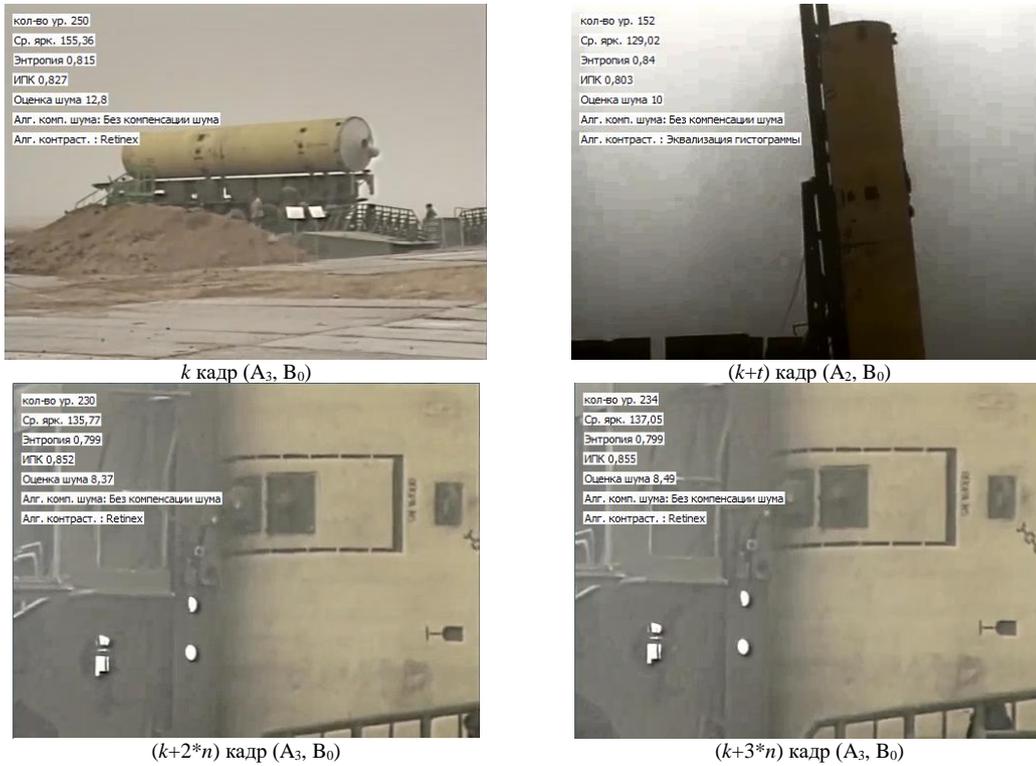


Рис. 1. Результаты оценки четырех кадров.

Рассмотрим те же четыре кадра, но уже с применением стека, результат представлен на рис. 2.



Рис.2. Результат работы алгоритма автоматического выбора с использованием стека.

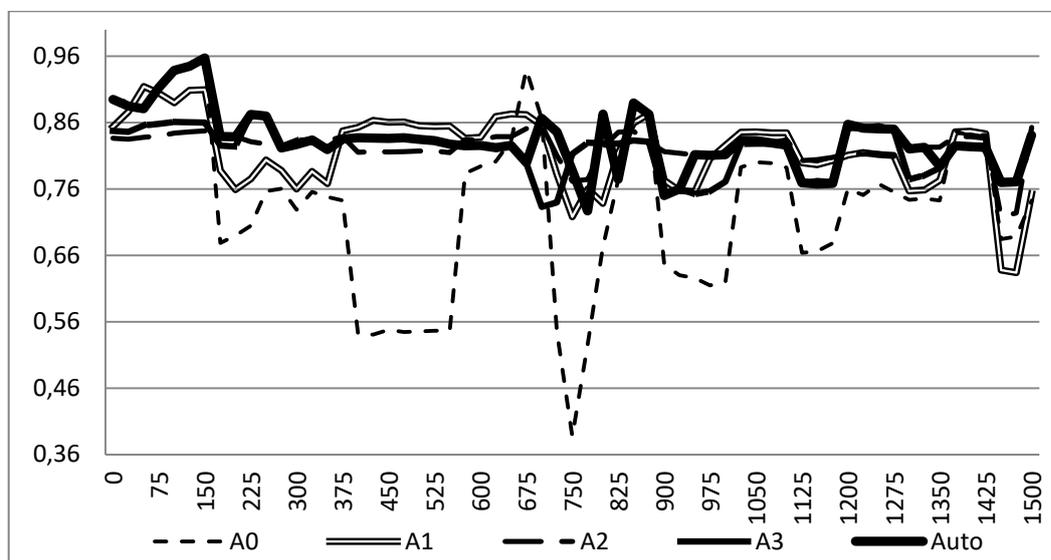


Рис.3. График зависимости ИПК от номера кадра.

Видно, что кадр с номером $(k+t)$ теперь обрабатывается той же последовательностью алгоритмов, что и другие кадры. Это позволяет избежать нежелательного затемнения.

На рис. 3 представлен график зависимости ИПК от номера кадра, где по горизонтали отмечены номера кадров, а по вертикали отмечены значения показателя качества, A0-A3 – алгоритмы контрастирования (A0 – Без контрастирования, A1 – линейное растяжение гистограммы, A2 – эквализация гистограммы [4], A3 – Multi Scale Retinex with Color Restoration [5]), Auto – значения ИПК при автоматическом выборе алгоритмов контрастирования.

На графике можно заметить участки, для которых значение ИПК имеет не наилучшее значение, это объясняется задержкой возникающей из-за того, что используется стек и оценка производится через каждые $t=50$ кадров.

Заключение

Применение предлагаемого алгоритма автоматического выбора метода улучшения позволяет в автоматическом режиме находить наилучшее сочетание методов улучшения изображений. Алгоритм предоставляет возможность изменения как количества используемых методов улучшения, так и самих методов оценки изображения, не вызывая при этом значительных изменений в структуре алгоритма. Это позволяет внедрять как новые алгоритмы улучшения, так и новые методы оценки. Применение стека для накопления результатов обработки и интерполяционного метода пропорционального применения двух граничных алгоритмов позволяют избежать ошибок в выборе наилучших алгоритмов.

Литература

- [1] Елесина, С. И. Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах: монография / С. И. Елесина, Л.Н. Костяшкин, А.А. Логинов, М.Б. Никифоров / под ред. Л. Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. - М.: Радиотехника, 2015. - 208 с.
- [2] Гуров, В.С. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения: монография / под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. - 240с.
- [3] Фишберн, П.С. Теория полезности для принятия решений / под ред. Н. Н. Воробьева. - М.: Наука, 1978. - 352 с.
- [4] Singh, R.P.. Histogram Equalization: A Strong Technique for Image Enhancement / R.P. Singh, M. Dixit // International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition – 2015 – Vol.8, No.8 (2015). – P.345-352.
- [5] Petro, A.B.. Multiscale Retinex / A.B. Petro, C.S. Sbert, J.M. Morel // Image Processing On Line, 4 (2014), P. 71-88.