

УДК 004-93

А.А. Егоров

**ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НЕЧЕТКОЙ  
КЛАСТЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ  
ЯРКОСТИ И КОНТРАСТА**

*Анотація. Розглянуто вплив методики автоматизованого підвищення яскравості та контрасту на чутливість алгоритму гібридної нечіткої кластеризації sFCM, за допомогою якого виконувалась бінаризація RGB зображень залізничних вагонів з метою подальшого розпізнавання реєстраційних символів.*

**Введение.** В настоящее время одной из актуальных практических задач является подготовка регистрационных символов для использования в автоматизированных системах учета транспортных потоков в режиме реального времени, например, номеров железнодорожных вагонов, автомобилей, контейнеров и т.п. На вход системы подаются RGB изображения реального объекта, которые получены в результате съемки стационарной цифровой камерой, при этом известно, что цвета и форма объектов, местоположение, цвет, размер и количество регистрационных символов может варьироваться. Следует также отметить, что распознаваемые символы могут располагаться в низкоконтрастных областях снимка, цвет символов или фона может быть искажен («загрязненные» номера).

Данная задача является многоплановой, при этом важными являются такие этапы, как повышение яркости и контраста, которые во многом определяют точность выполнения сегментации в процессе бинаризации, предполагающей выделение регистрационных символов.

**Актуальность исследований.** Т.к. предварительное перед бинаризацией повышение яркости и контраста должно производиться в автоматизированном режиме, то возникает необходимость использования методов с малым количеством управляющих параметров, которые не требуют «ручной» подстройки под каждое обрабатываемое изображение. При этом применяемые методы должны

---

© Егоров А.А., 2010

быть адаптивны, чтобы учитывать характеристики как изображения в целом, так и отдельных его участков, что необходимо для обработки низкоконтрастных областей на снимке. При повышении яркости следует учитывать, что метод должен в автоматизированном режиме определять необходимость своего срабатывания, а также осуществлять пропорциональное ее повышение.

Учитывая вышеописанные особенности, большинство существующих методов (гамма-коррекция, эквализация гистограмм, СЛАНЕ и т.п.) оказываются непригодными для решения поставленной задачи. Это связано как с наличием управляющих параметров, требующих подбора в «ручном» режиме, так и с неспособностью в результате повышения контраста обеспечить выделение регистрационных номеров при последующей кластеризации с использованием малого числа кластеров.

В работе [1] был описан метод адаптивного контрастирования, который удовлетворял большинству из выдвинутых требований. Однако он имел некоторые недостатки, среди которых основным является существенное завышение яркости изображения. Среди его недостатков также можно выделить получение неоднородного фона в большинстве случаев.

**Постановка задачи.** В данной статье предлагается методика автоматизированного повышения яркости и контраста, являющаяся эволюционным развитием метода адаптивного контрастирования, которая позволяет устранить его основной недостаток.

**Результаты исследований.** Для повышения яркости и контраста в предлагаемой в данной работе методике используются следующие алгоритмы, которые могут быть применены для широкого класса фотографических изображений.

Метод адаптивного повышения яркости и контраста полутоновых изображений обеспечивает автоматизированное принятие решения о необходимости повышения яркости. Суть алгоритма заключается в пропорциональном повышении яркости изображения, которое достигается благодаря использованию степенных преобразований и статистических характеристик как изображения в целом, так и каждого его окна. Метод состоит из двух шагов.

На первом шаге производится автоматизированная оценка яркости ( $V$ ) исходного изображения, которая выполняется следующим образом:

$$V = \sum_{j=1}^{N_w} \left( (I)^{1-v_j} - (I)^{\frac{\bar{i}_j+1}{2}} \right), \quad (1)$$

$$I = \frac{(\bar{I} + 0.5)}{2}, \quad (2)$$

где  $\bar{i}_j$  – средняя яркость  $j$ -го окна;  $N_w$  – количество окон, которое зависит от размеров окна и изображения, причем, для повышения точности оценки размер окна рекомендуется выбирать  $3 \times 3$  пикселей;  $\bar{I}$  – средний уровень яркости изображения, а  $v_j$  – оценка яркости  $j$ -го окна, вычисление которой происходит следующим образом:

если количество пикселей  $N_{i1}$   $j$ -го окна, яркость которых не меньше, чем  $i_j$ , больше 0 и  $i_j^1 \neq 0$ , то  $v_j$  вычисляется по следующим формулам:

$$v_j = (i_j) \left( 1 - \operatorname{sgn}(i_j^1 - i_j^2) * \frac{\min(i_j^1, i_j^2) * \bar{i}_j}{\max(i_j^1, i_j^2)} \right)^{1 + \operatorname{sgn}(i_j^1 - i_j^2) * \bar{i}_j}, \quad (3)$$

$$i_j = \frac{\bar{i}_j + \bar{I}}{2}, \quad (4)$$

$$i_j^1 = \bar{i}_j * \left( 1 - \frac{N_{i1}}{N_p} \right), \quad (5)$$

$$i_j^2 = \bar{i}_j * \frac{N_{i1}}{N_p}, \quad (6)$$

где  $N_p$  – количество пикселей окна.

если  $N_{i1} > 0$  и  $i_j^1 = 0$ , то  $v_j$  определяется следующим образом:

$$v_j = (i_j)^{1 + \bar{i}_j}, \quad (7)$$

если  $N_{i1} = 0$ , то вычисление  $v_j$  происходит по следующей формуле:

$$v_j = (i_j)^{1 - \bar{i}_j}, \quad (8)$$

Если значение  $V \geq 0$ , то повышение яркости для данного изображения не выполняется.

На втором этапе применения метода для каждого окна исходного изображения осуществляется повышение яркости и контраста, для чего каждый его пиксель подвергается следующему преобразованию:

$$w_{x,y}^2 = \left( w_{x,y}^1 \right)^{1 - (w_{x,y}^1)^{p_{x,y}^1}}, \quad (9)$$

где  $p_{x,y}^1$  вычисляется по следующим формулам:

$$p_{x,y}^1 = 1 - w_{x,y}^1 + \operatorname{sgn}(d_2) * (d_1)^{1 + \operatorname{sgn}(d_2) * (w_{x,y}^1)^{1 + \operatorname{sgn}(d_2) * d_1}}, \quad (10)$$

$$d_1 = |d_2|^{1 - |d_2|}, \quad (11)$$

$$d_2 = \left( \bar{I} \right)^{1 - \frac{\bar{I} + \bar{i} + 0.5}{3}} - \left( \bar{i} \right)^{1 - \frac{\bar{I} + \bar{i} + 0.5}{3}} + D_I, \quad (12)$$

$$D_I = 0.5^{I-1} - \bar{I}^{-1-I} + V, \quad (13)$$

где  $I$  вычисляется по формуле (2).

Метод адаптивного пространственного контрастирования обеспечивает повышение контраста на определенных участках исходного изображения, сохраняя при этом уровень интенсивности его высококонтрастных фрагментов, что достигается благодаря использованию степенных преобразований и статистических характеристик, как каждого окна, так и изображения в целом. Метод состоит из трех шагов.

На первом шаге каждое окно входного изображения подвергается следующему преобразованию:

$$w_{x,y}^2 = \left( w_{x,y}^1 \right)^{(1 - k_{x,y}) * w_{x,y}^1}, \quad (14)$$

где  $k_{x,y}$  вычисляется следующим образом:

$$k_{x,y} = 10 \left( \lg \left( \frac{\bar{i}}{i} \right) + w_{x,y}^1 - \bar{i} \right) \quad (15)$$

В результате выполнения преобразования (14) для каждого пикселя текущего окна происходит сдвиг его уровня яркости к значениям 1 либо 0 в зависимости от коэффициента  $k_{x,y}$ , который вычисляется на основе интенсивности пикселя и среднего значения интенсивности окна, что и обеспечивает повышение контраста. Однако, возможны ситуации, когда это преобразование приводит к чрезмерному сдвигу интенсивности пикселя.

Для компенсации возможного негативного влияния преобразования (14) и предназначен второй шаг, который заключается в применении следующего преобразования к текущему окну изображения:

$$w_{x,y}^3 = (w_{x,y}^2)^{p_{x,y}^1}, \quad (16)$$

где  $p_{x,y}^1$  вычисляется по следующим формулам:

$$p_{x,y}^1 = (p_{x,y}^2)^{p_{x,y}^2}, \quad (17)$$

$$p_{x,y}^2 = \left| \left( 1 - w_{x,y}^2 \right)^{\bar{i}} + \text{sgn}(\bar{i} - 0.5 * \max_{w_2}) * \left( \bar{i} - 0.5 * \max_{w_2} \right) \right|, \quad (18)$$

где  $\max_{w_2}$  – максимальное значение яркости в окне  $w^2$ .

Последний шаг предложенного алгоритма позволяет осуществить управляемую коррекцию уровня интенсивности пикселей полученного изображения с использованием статистических характеристик текущего окна и изображения в целом, для осуществления которой текущее окно подвергается такому преобразованию:

$$w_{x,y}^4 = (w_{x,y}^3)^{\left( P_a + (\bar{i})^{w_{x,y}^3} \right)}, \quad (19)$$

причем  $P_a$  вычисляется по следующей формуле:

$$P_a = (1 - \bar{I})^{\bar{i}} + P_{\text{add}}, \quad (20)$$

где  $P_{\text{add}}$  – выбираемое эмпирически значение, позволяющее управлять уровнем яркости получаемого изображения. Это значение может выбираться на основе автоматизированной оценки яркости. Следует отметить, что отрицательные значения параметра  $P_{\text{add}}$  приводят к повышению яркости выходного изображения, а положительные – к уменьшению.

Метод адаптивной гистограммной коррекции осуществляет расширение диапазона яркости изображения, которое основано на использовании его гистограммы, что приводит к повышению контраста, а также обеспечивает некоторое повышение его яркости. Метод состоит из трех этапов.

Если выполняется условие:

$$\min_0 \neq \max_0, \quad (21)$$

где  $\min_0$  и  $\max_0$  – значения минимального и максимального уровня яркости текущего окна, что говорит о его неоднородности, то над гистограммой этого окна выполняется преобразование, обеспечивающее пропорциональное повышение яркости всех его пикселей, что также приводит к одновременному повышению контраста:

$$h_j^2 = \left(h_j^1\right)^{1-\operatorname{sgn}(h_j^1-i_h^1)*(d_j)^{d_j}}, \quad (22)$$

где  $h_j^1$ ,  $h_j^2$  – это элементы вектора уровней интенсивности, содержащихся в гистограмме текущего окна входного и выходного для этого этапа изображений, соответственно; значения  $d_j$  и  $i_h$  вычисляются по следующим формулам:

$$d_j = \frac{|h_j^1 - i_h^1|^{1-|h_j^1-i_h^1|}}{\max(i_h^1, 1-i_h^1)^{1-\max(i_h^1, 1-i_h^1)}}, \quad (23)$$

$$i_h = \left(\bar{i}_h\right)^{1-\operatorname{sgn}(d_1)*|d_1|^{|d_1|}}, \quad (24)$$

$$d_1 = 0.5^{1-i} - 0.5^i, \quad (25)$$

где  $\bar{i}_h$  – среднее по вектору  $h^1$ , а  $i = (0.5 + \bar{i})/2$ . Если же условие (21)

не выполняется, то вектор  $h^2$  формируется следующим образом:

$$h_j^2 = h_j^1 - \min_1 + \min_0, \quad (26)$$

где значение  $\min_1$  в случае, когда выполняется условие:

$$\min_0 \neq 0, \quad (27)$$

вычисляется по следующим формулам:

$$\min_1 = \left(\min_0\right)^{1+(d_{\min})^{(\min_0)^{d_{\min}}}}, \quad (28)$$

$$d_{\min} = \frac{|\bar{i} - \min_0|^{1-|\bar{i}-\min_0|}}{i_{\max}}, \quad (29)$$

$$i_{\max} = \max(\bar{i}, 1-\bar{i})^{1-\max(\bar{i}, 1-\bar{i})} \quad (30)$$

В случае, когда условие (27) не выполняется, то  $\min_1 = 0$ .

Для текущего окна входного для этого этапа изображения в случае выполнения условия  $r > 1$ , где  $r$  вычисляется следующим образом:

$$r = \frac{\mathbf{max}_1 - \mathbf{min}_1}{h_{\max}^2 - h_1^2}, \quad (31)$$

где  $h_{\max}^2$  и  $h_1^2$  – первый и последний элементы вектора  $h^2$ , а значение  $\mathbf{max}_1$ , в случае, когда выполняется условие  $\mathbf{max}_0 \neq 1$ , вычисляется так:

$$\mathbf{max}_1 = (\mathbf{max}_0)^{1 - (d_{\max})^{(\mathbf{max}_0)^{d_{\max}}}}, \quad (32)$$

$$d_{\max} = \frac{|\bar{i} - \mathbf{max}_0|^{1 - |\bar{i} - \mathbf{max}_0|}}{i_{\max}}, \quad (33)$$

а в противном случае  $\mathbf{max}_1 = 1$ , производится масштабированное расширение гистограммы этого окна по следующей формуле:

$$h_j^3 = h_j^2 * r^2 - \frac{h_1^2 * (r^2 - 1)}{2}, \quad (34)$$

где  $h_j^2$ ,  $h_j^3$  – это элементы вектора уровней интенсивности, содержащихся в гистограмме текущего окна входного и выходного для этого этапа изображений, соответственно.

Все уровни яркости пикселей текущего окна меняются на соответствующие им уровни яркости, содержащиеся в векторе  $h^3$  (или  $h^2$ , если второй шаг был пропущен), в результате чего и формируется выходное изображение.

Следует отметить, что в предложенном методе выполняется двухшаговое расширение диапазона уровней яркости текущего окна: пропорциональное повышение уровней яркости с использованием степенных преобразований и, в случае необходимости, дальнейшее расширение диапазона уровней яркости за счет масштабирующего преобразования.

Методика автоматизированного повышения яркости и контраста, предлагаемая в данной работе, включает следующие этапы.

Если входное изображение является цветным, то выполняется переход к полутоновому изображению путем вычисления среднего между средним и максимальным значениями по цветовым каналам

для каждого пикселя и отображение значений яркости на отрезок  $[0..1]$ .

К полученному после предыдущего этапа изображению применяется метод адаптивной гистограммной коррекции, причем размерность окна выбирается  $8 \times 8$  пикселей.

Применяется метод адаптивного повышения яркости и контраста полутоновых изображений. Размерность окна при этом должна быть сопоставима с размером самого мелкого текста, который необходимо будет впоследствии распознавать и выбирается эмпирически.

Если на предыдущем шагу было выполнено повышение яркости и контраста, то для полученного после предыдущего шага изображения применяется метод адаптивного пространственного контрастирования (повышение контраста производится независимо от значения автоматизированной оценки его уровня  $u$  обрабатываемого изображения), при этом размерность окна выбирается  $3 \times 3$  пикселя, а параметр  $P_{add} = P_{add}^2$ , причем значение  $P_{add}^2$  вычисляется по формуле:

$$P_{add}^2 = |P_{add}^1|^{1-|P_{add}^1|}, \quad (35)$$

$$P_{add}^1 = |P_{add}^0| + I^{1-\bar{I}} - I^I, \quad (36)$$

где  $I$  вычисляется по формуле (2), а  $P_{add}^0$  вычисляется так:

$$P_{add}^0 = \sum_{j=1}^{N_w} v_j, \quad (37)$$

где значение  $v_j$  вычисляется по формуле (3) для изображения, полученного после выполнения второго шага.

Если же повышение яркости и контраста на предыдущем шагу не выполнялось, то дальнейшая обработка изображения производится следующим образом:

Применяется метод адаптивной гистограммной коррекции, причем размерность окна зависит от обрабатываемых изображений и выбирается эмпирически на основе размера самого маленького текста, который впоследствии должен быть распознан.

К полученному после выполнения предыдущего шага изображению применяется метод адаптивного пространственного контрастирования (повышение контраста производится независимо от значения автоматизированной оценки его уровня  $u$  обрабатываемого



изображения), при этом размерность окна выбирается 3x3 пикселя, а параметр  $P_{add} = P_{add}^1$ , причем  $P_{add}^1$  вычисляется следующим образом:

$$P_{add}^1 = -|P_{add}^0|^{1-|P_{add}^0|}, \quad (38)$$

где  $P_{add}^0$  вычисляется по формуле (37), причем автоматизированная оценка яркости при этом выполняется для изображения, полученного после выполнения второго шага.

Экспериментальные результаты были получены на примере обработки RGB снимков железнодорожных вагонов размерностью 1600x1200 пикселей, примеры которых представлены на рис. 1. Изображение, представленное на рис. 1 а, содержит практически неразличимый регистрационный номер, расположенный в левом нижнем углу. У изображения на рис. 1 б несколько цифр регистрационного номера, нанесенного крупными символами, слабо различимы из-за искажения цвета фона, что вызвано просыпанным цементом. Таким образом, это изображение содержит так называемый «загрязненный» номер.

Повышение яркости и контраста производилось при помощи:

предложенной в этой работе методики, причем размеры окон в адаптивных методах, применяемых на этапах 3 и 5, были выбраны 15x15 и 36x36 пикселей, соответственно;

метода адаптивного контрастирования, причем размеры окон для каждого из его этапов были выбраны 15x15, 3x3 и 9x9 пикселей, соответственно, а параметр  $P_{add} = -0.05$ .

На рис. 2 а, 2 б представлены результаты повышения яркости и контраста снимка на рис. 1. а при помощи предложенной в данной работе методики и метода адаптивного контрастирования, соответственно. Следует отметить четкое выделение крупных и мелких (в нижнем левом углу снимка) регистрационных символов на изображении, что обеспечивают оба рассмотренных подхода. Однако в случае применения предложенной в данной работе методики отсутствует чрезмерное повышение яркости (в правой и верхней частях снимка) и неоднородный фон.

Бинаризация изображений выполнялась с помощью алгоритма гибридной нечеткой кластеризации sFCM [2], причем были выбраны следующие значения управляющих параметров: количество нечетких кластеров  $c = 3$  (т.к. регистрационные символы могут иметь

различный цвет в пределах одного снимка), параметр  $m = 2$ , пороговое значение  $\varepsilon = 10^{-5}$ , максимальное количество шагов обучения – 2, параметр  $N = 2$ ; для увеличения количества кластеров использовался метод пропорционального распределения [3], получение исходного числа нечетких кластеров после применения карты Кохонена осуществлялось путем выбора с кластеров с максимальным количеством относящихся к ним (имеющих минимальное Евклидово расстояние) экземпляров исходных данных.



а

б

Рисунок 1 - Исходные цветные изображения: а – без «загрязнений» регистрационных символов; б – с «загрязнениями» регистрационных символов



а

б

Рисунок 2 - Повышение яркости и контраста изображения на рис. 1 а: а – предложенной в данной работе методикой; б – методом адаптивного контрастирования

Результаты нечеткой кластеризации изображений на рис. 2 приведены на рис. 3, 4. Все регистрационные символы в обоих случаях были четко выделены.



Рисунок 3 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 2 а

На рис. 5 а, 5 б представлены результаты повышения яркости и контраста снимка на рис 1. б при помощи предложенной в данной работе методики и метода адаптивного контрастирования, соответственно. Применение предложенной в данной работе методике за счет выполнения пропорционального повышения яркости позволило четче выделить «загрязненный» номер, по сравнению с методом адаптивного контрастирования.

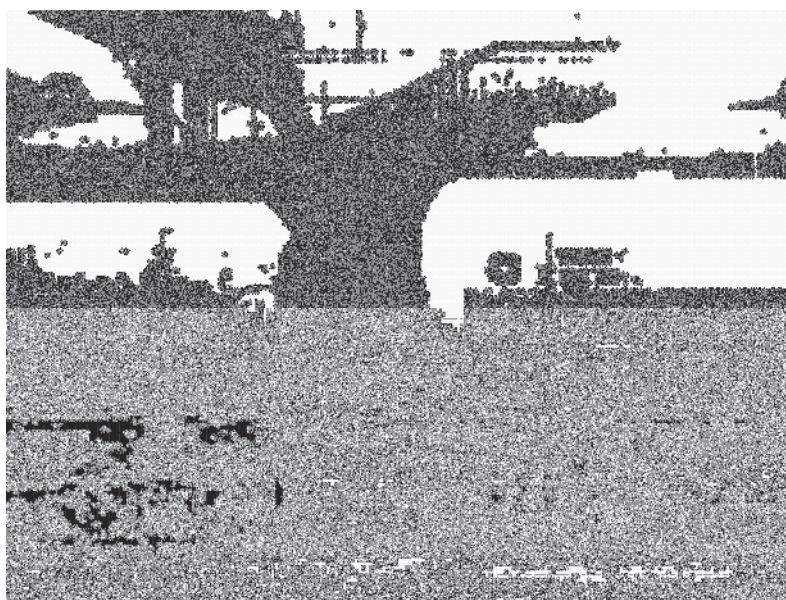


Рисунок 4 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 2 б

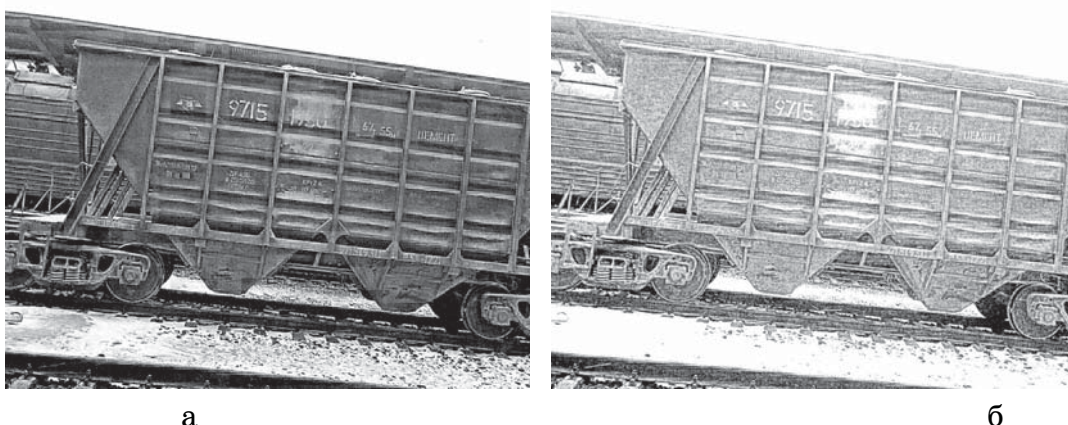


Рисунок 5 - Повышение яркости и контраста изображения на рис. 1 б: а – предложенной в данной работе методикой; б – методом адаптивного контрастирования

Результаты нечеткой кластеризации изображений на рис. 5 приведены на рис. 6, 7. Следует отметить, более четкое выделение регистрационных символов «загрязненного номера» в результате бинаризации изображения, полученного после применения предложенной в данной работе методики (рис. 6). В то же время в результате бинаризации изображения, полученного после применения метода адаптивного контрастирования (рис. 7) различима только первая половина «загрязненного» номера, которая не подверглась искажению.



Рисунок 6 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 5 а



Рисунок 7 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 5 б

**Выводы.** Предложенная методика автоматизированной модификации яркости и контраста позволяет повысить чувствительность кластеризации, применяемой в процессе бинаризации изображения. Достоинствами методики является осуществление пропорционального повышения яркости, необходимость которого определяется на основе ее автоматизированной оценки и получение более однородного фона. Среди недостатков методики следует выделить ее большую вычислительную сложность по сравнению с методом адаптивного контрастирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А. Метод адаптивного контрастирования мультиспектральных изображений для повышения достоверности нечеткой кластеризации / Егоров А.А. // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 306 – 314.
2. Ахметшина Л.Г. Сегментация низко контрастных изображений алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM / Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. // Системні технології. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 2 (55). – С. 34 – 40.
3. Егоров А.А. Повышение чувствительности гибридной нечеткой кластеризации на основе формирования центроидов пропорционально расстояниям в q-мерном пространстве / Егоров А.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – 2009. – Вип. 24. – С. 193 – 198.