
ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ———

Обнаружение компонент агрофитоценозов на изображении

П.А.Чочиа

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, Москва, Россия Поступила в редколлегию 01.03.2022

Аннотация—Технология точного земледелия предполагает дифференцированное внесение удобрений и средств химической защиты сельскохозяйственных растений. Для реализации координатного применения соответствующих средств воздействия необходимо обнаружение культурной и сорной частей агрофитоценозов на фоне почвы, которое может быть выполнено путем оперативного дистанционного распознавания видеоинформации. Задачей настоящей работы является разработка алгоритмов анализа и преобразования крупномасштабных изображений сельскохозяйственных посевов для целей пространственной локализации сорной и культурной компонент агрофитоценозов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агрофитоценоз, выделение объектов, цветовая трансформация, контурно-ограниченное сглаживание.

DOI: 10.53921/18195822_2022_22_1_18

1. ВВЕДЕНИЕ

Агрофитоценоз — растительное сообщество, создаваемое человеком путём посева или посадки возделываемых растений. В его состав входят различные составляющие, но с позиции анализа изображений интерес представляют произрастающие на поверхности почвы культурная компонента (КК), содержащая целевые посевные растения, и сорная компонента (СК), т.е. сорные растения. СК представляет собой нежелательную, но, увы, неотъемлемую часть агрофитоценозов, оказывающую отрицательное влияние на уровень урожайности. Борьба с СК является важной задачей в сельском хозяйстве, поскольку она конкурирует с КК и приводит к снижению урожайности последней.

Одним из важнейших направлений точного (дифференцированного) земледелия является борьба с сорной растительностью на сельскохозяйственных полях. Это требует разработки технологии управления СК, заключающейся в точном координатном применении средств химической защиты сельскохозяйственных растений (т.е. ядохимикатов) с целью минимизации затрат на их применение и снижения объемов их попадания в объекты окружающей среды. Важнейшей технологий при этом является "точное земледелие", иногда также называемое "прецизионное земледелие" (precision agriculture). Точное земледелие — это управление продуктивностью посевов с учётом вариабельности среды обитания растений [1]. Концепция точного земледелия особенно применима к управлению СК, поскольку ее распределение неоднородно на пространстве сельскохозяйственного посева [2,3]. Основной проблемой при этом является различение сорной и культурной компонент. Таким образом, автоматический анализ СК представляет собой перспективную область исследований с большим потенциалом применения соответствующих результатов в точном земледелии. Задачей настоящей работы является разработка алгоритмов предварительной обработки крупномасштабных изображений сельскохозяйственных посевов для целей идентификации и пространственной локализации сорной и культурной компонент агрофитоценозов.

КОНТУРНО-ОГРАНИЧЕННОЕ СГЛАЖИВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Основная проблема различения сорной и культурной компонент заключается в том, что их цветовые характеристики весьма близки. Отвечающие им области в цветовом пространстве, соответствующие тем или иным интересующим растениям, практически совпадают — наиболее существенной является одна и та же область зеленого цвета. К сожалению, на реальных изображениях точность получаемых цветовых данных невысока, поскольку значительное влияние на цвет оказывают: а) изменения освещения из-за погодных условий и времени суток; б) тени как от других растений, так и собственные; в) часто неизвестные характеристики реальных устройств регистрации; г) другие возможные причины.

2. ДИАПАЗОН ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ

Рост растений происходит за счет фотосинтеза — химического процесса образования органических соединений из диоксида углерода и воды при использовании энергии света и при участии фотосинтетических пигментов. Интенсивность роста в значительной степени определяется количеством падающего внешнего излучения [4], однако спектр поглощения света растениями, необходимый для осуществления реакции фотосинтеза, неравномерен. Часть излучения отражается и формирует видимый цвет растения [5,6]; это излучение и может улавливаться регистрирующими приборами.

Согласно закону сохранения энергии, при освещении любых объектов выполняется следующее физическое соотношение:

$$k_d(\lambda) + k_a(\lambda) + k_t(\lambda) + k_r(\lambda) = 1, \tag{1}$$

где $k_d(\lambda)$, $k_a(\lambda)$, $k_t(\lambda)$ и $k_r(\lambda)$ — коэффициенты рассеяния, поглощения, пропускания и отражения (dispersion, absorption, transmission, reflection) соответственно, а λ — длина волны освещения. Растения можно считать непрозрачными, т.е. $k_t(\lambda) \approx 0$; коэффициент отражения света от поверхности растения почти не зависит от λ и сравнительно мал по сравнению со значением $k_a(\lambda)$. Таким образом, значениями $k_t(\lambda)$ и $k_r(\lambda)$ можно пренебречь и с достаточной точностью упростить выражение (1) до следующего:

$$k_d(\lambda) \approx 1 - k_a(\lambda). \tag{2}$$

Это означает, что регистрируемый спектр агрофитоценозов является дополнительным по отношению к их спектру поглощения.

Энергетические спектры поглощения базовых пигментов растений исследованы и хорошо известны. Основное влияние на них оказывают пигменты хлорофилла, имеющие пики поглощения в диапазонах 400–500 нм и 650–700 нм, а также вспомогательные пигменты из семейства светособирающих фикобилипротеинов. Во многих исследованиях спектры основных пигментов суммируют, формируя "универсальный спектр" поглощения, форма которого, для диапазона видимого света, показана на Рис. 1.

Из приведенного на Рис. 1 графика видно, что интересующий нас диапазон спектра рассеяния зеленых растений находится в промежутке 480–630 нм. Это позволит при проведении анализа повысить чувствительность анализатора по отношению к объектам сцены с цветом, попадающим в данный диапазон, за счет соответствующего снижения чувствительности в отношении объектов другого цвета.

3. ВЫБОР ПРОСТРАНСТВА АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ

Для идентификации и распознавания агрофитоценозов на крупномасштабных изображениях с диапазоном разрешений 0,1–1 мм требуется выделять профили растений относительно



Рис. 1. Усредненный график распределения коэффициентов поглощения света зеленой растительностью.

фона (почвы) с целью последующего распознавания. Такому выделению более всего мешает наличие теней, по форме похожих на профили самих растений и нарушающих их видимую структуру, а также взаимные перекрытия растений.

Путем решения проблемы теней может быть переход из обычного представления RGB (Red-Green-Blue) в иное цветовое пространство. Наиболее подходящим для этого представляется пространство BHS (Brightness-Hue-Saturation) [7], которое позволяет разделить цветовую и яркостную информацию и анализировать нужную из них. Преобразование пространства RGB в BHS описывается следующими формулами. Пусть $\{r, g, b\}$ — координаты точки в исходном пространстве RGB и пусть $u = \min(r, g, b)$. Тогда

$$B = \sqrt{(r^2 + g^2 + b^2)/3}$$

$$H = \begin{cases} (2\pi/3)(b-u)/(g+b-2u) + \pi/3, & \text{если } u = r \\ (2\pi/3)(r-u)/(b+r-2u) + \pi, & \text{если } u = g \\ (2\pi/3)(g-u)/(r+g-2u) + (5\pi/3), & \text{если } u = b \end{cases}$$

$$S = 1 - u/(r+g+b)$$
(3)

Получаемые подпространства B, H и S составляют, соответственно, яркостное и два цветовых пространства признаков.

Пример разложения типичного цветного изображения на компоненты яркости, цветности и насыщенности (*BHS*) показан на Рис. 2.



Рис. 2. Преобразование *RGB*–изображения (а) в компоненты яркости (б), цветности (в) и насыщенности (г).

Обычные цветовые R, G, B-компоненты изображения агрофитоценозов по виду и характеристикам весьма похожи на яркостную компоненту, представленную на Рис. 2,6. Все они содержат информацию о тенях, что мешает отделению растительности от почвы. Свободной от

рисунка теней является только лишь компонента цветности, отображенная на Рис. 2, в. Таким образом, подход, в котором обнаружение агрофитоценозов основано на анализе компоненты цветности (Рис. 2, в), дает возможность устранить мешающие распознаванию тени.

Задача локализации и морфологической идентификации компонент агрофитоценозов близка проблеме сегментации и существенно связана с вопросом локализации областей изображения. Анализ имеющихся данных показывает, что компоненты *Hue* и *Saturation* изображений агрофитоценозов характеризуются высокой зашумленностью. Кроме того, в случае наиболее распространенного трансформационного JPEG–сжатия с потерями, на данных компонентах наблюдается весьма заметная блочная структура. Решение задачи локализации объектов изображения требует снижения уровня помех и повышения резкости их контуров. Для устранения указанных выше искажений в процесс обработки были включены процедура подавления блочной структуры, а также контурно-ограниченное сглаживание, алгоритмы которых приводятся ниже.

4. ПОДАВЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ЈРЕС-СЖАТИЯ СИГНАЛА

В большинстве изображений, используемых для анализа агрофитоценозов, применяется трансформационное сжатие с потерями по стандарту JPEG. Оно состоит в том, что *RGB*сигнал первоначально трансформируется в так называемый формат YC_bC_r : яркостную Y и две цветоразностные компоненты — синюю C_b и красную C_r . Массивы C_b и C_r пространственно прореживаются вдвое, что сразу ухудшает разрешение цветовой информации. Компоненты разбиваются на блоки 8 × 8 элементов, которые подвергаются дискретному косинусному преобразованию, квантованию (при котором собственно и происходит потеря информации), диагональной линейной развертке и сжатию методом Хаффмана [8].

Известно, что при JPEG-кодировании наиболее сильно искажаются цветоразностные каналы [9], поскольку, во-первых, они подвергаются дополнительному пространственному сжатию, а во-вторых, в них происходит более грубое квантование. В результате, при последующем преобразовании сжатого сигнала в формат BHS, яркостная компонента (B) искажается сравнительно слабо, а основная доля искажений приходится на компоненты цветности (H) и насыщенности (S).

Для диагностики и подавления возникающих блочных искажений сигнала используется следующий алгоритм. При анализе подсчитываются средние значения модулей разностей соседних элементов компонент цветности и насыщенности по вертикали и горизонтали в пределах квадрата кодирования 8 × 8 элементов:

$$D_{v}(k) = \sum_{n=0}^{N} \sum_{m=0}^{M/8} |x(8m+k,n) - x(8m+k+1,n)| / ([M/8]N),$$
$$D_{h}(k) = \sum_{m=0}^{M} \sum_{n=0}^{N/8} |x(m,8n+k) - x(m,8n+k+1)| / (M[N/8]).$$

Здесь M и N — размеры изображения, $0 \le k < 8$, x(m, n) — значение элемента в точке (m, n), a $[\cdot]$ — оператор взятия целой части. Затем находятся средние значения модулей разностей внутренних элементов квадратов:

$$D_{inn} = \sum_{i=0}^{6} (D_v(i) + D_h(i)/14$$

и модулей разностей внешних элементов между соседними квадратами:

$$D_{out} = (D_v(7) + D_h(7)/2)$$

ЧОЧИА

Пара значений D_{inn} компонент цветности и насыщенности суммируется, как и пара значений D_{out} . Если разница сумм ($\sum D_{out} - \sum D_{inn}$) превышает задаваемый порог, то считается, что имеются искажения JPEG-сжатия и производится сглаживание перепадов на границах квадратов 8 × 8 элементов следующим алгоритмом.

Для всех элементов (m) столбцов с номерами n и n+1 такими, что n = 8k-1, выполняется следующая операция сглаживания вертикальных перепадов:

$$\begin{aligned} x'(m,n) &= 2x(m,n)/3 + x(m,n+1)/3; \\ x'(m,n+1) &= x(m,n)/3 + 2x(m,n+1)/3. \end{aligned}$$

Аналогично для всех элементов (n) строк с номерами m и m + 1 такими, что m = 8k - 1, выполняется операция сглаживания горизонтальных перепадов:

$$\begin{aligned} x'(m,n) &= 2x(m,n)/3 + x(m+1,n)/3; \\ x'(m+1,n) &= x(m,n)/3 + 2x(m+1,n)/3. \end{aligned}$$
 (5)

Данное преобразование пусть не полностью, но заметно снижает резкие границы, возникающие при JPEG–сжатии между квадратами 8 × 8 элементов.

5. ЦВЕТОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Как уже отмечалось выше, на реальных изображениях точность данных невысока, поэтому опираться на конкретные значения цветовых параметров агрофитоценозов некорректно. Для наших исследований существенно более важен контраст растений по отношению к почве. В разделе 2 указано, что интересующий диапазон спектра рассеяния зеленых растений находится в промежутке 480–630 нм. Это соответствует интервалу значений цветности 45–140 в стандартном диапазоне его представления 0–255 градаций.



Рис. 3. а, в) крупномасштабные изображения агрофитоценозов; б, г) распределения значений в канале цветности (*Hue*) данных изображений.

КОНТУРНО-ОГРАНИЧЕННОЕ СГЛАЖИВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

На Рис. 3 показаны типичные примеры изображений компонент агрофитоценозов, сделанные с детализацией на поверхности объекта около 0,4 мм. на элемент изображения, а также распределения значений компоненты цветности (*H*). Графики распределения весьма похожи. На каждом имеются два пика — высокий в области значений 60–90, отражающий цветность подстилающей поверхности, и малый — вблизи значения 120, соответствующий зеленому цвету растений. Причем наличие тени (Рис. 3,в) не оказывает заметного влияния на график распределения цветности (Рис. 3,г).

Для анализа агрофитоценозов представляется полезным увеличение цветовых расстояний в интересующей (зеленой) области спектра за счет сжатия остальных, малоинформативных его участков. Такое нелинейное преобразование позволяет "растянуть" область цветового диапазона, соответствующую интересующим деталям и повысить точность их распознавания.

5.1. Этапы алгоритма трансформации цветового пространства

- Вычисляется распределение вероятностей P(x) значений компоненты цветности (H).
- Значения P(x) вне интервала [30,160] обнуляются, а оставшиеся нормируются: $\sum P(x) = 1$.
- Находятся значения L и R такие, что $\sum_{0}^{L} P(x) = 0, 1$ и $\sum_{R}^{255} P(x) = 0, 01$.

— По значениям L и R строится монотонно-возрастающая кусочно-линейная функция f(x) такая, что f(R) - f(L) = 0, 9, а вне отрезка [L, R] ее производная одинакова.

- Производится сглаживание изломов функции f(x) операцией локального среднего.
- Выполняется преобразование значений сигнала цветности по функции f(x):

$$x'(m,n) = f(x(m,n)).$$
 (6)

Результаты преобразования компоненты цветности изображений Рис. 3,а и 3,в показаны на Рис. 4, а распределения полученных значений — на Рис. 5.



Рис. 4. Компоненты цветности изображений на Рис. 3,а и 3,в после трансформации.



Рис. 5. Распределения значений компонент цветности на Рис. 4,а и 4,в (сравнить с графиками на Рис. 3,6 и 3,г).

ЧОЧИА

Преобразованная компонента цветности остается весьма зашумленной, и на ней далеко не полностью подавлены блочные дефекты, вызванные JPEG–сжатием сигнала. Для устранения указанных искажений используется контурно-ограниченное сглаживание, позволяющее для анализа использовать одно, а для преобразования — другое изображение.

6. СГЛАЖИВАНИЕ, СОХРАНЯЮЩЕЕ СТРУКТУРУ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Во многих работах изображение рассматривается как сумма *структурной* и *текстурной* составляющих. Предполагается, что структурная часть содержит основную яркостную и контурную информацию, несущую информацию о протяженных областях и контурных перепадов между ними [8], а текстурная — разностную информацию. Согласно такому подходу сглаживание сигнала трактуется как удаление текстурной составляющей [10–13]. Такая интерпретация весьма близка модели изображения [14], описывающей двумерный сигнал изображения f(z), $z = \{z_v, z_h\}$, как сумму компонент

$$f(z) = s(z) + t(z) + \xi(z),$$
(7)

где s(z) — кусочно-гладкая структурная компонента, задающая значения протяженных объектов и контурные перепады, а t(z) и $\xi(z)$ — текстурная и шумовая составляющие. Сглаживание сводится к разделению сигнала f(z) на компоненты s(z) и $t(z) + \xi(z)$.

Проблема сглаживания с сохранением границ объектов состоит в выборе множества точек, по которым производится усреднение. Согласно модели изображения [14], такое множество должно быть пространственно лимитировано границами области, содержащей целевую точку. Как показано в [15,16], критерием для ограничения области усреднения должна быть не разница в значениях точек, а их принадлежность одной и той же связной области изображения [17,18]. Вопрос принадлежности точек одной области решается введением показателя их *сходства* [19]. Критерием здесь является наличие или отсутствие контурных перепадов между точками [20,21]. Таким образом, ключевым этапом сглаживания является формирование *карты контурных перепадов*, несущей информацию о линиях разделения областей.

6.1. Коэффициент сходства

Изображение f(z) рассматривается как поверхность в пространстве координат $\{z\}$ с градиентом $g(z) = \operatorname{sqrt}\{g_v(z)^2 + g_h(z)^2\}$, где $g_v(z)$ и $g_h(z)$ — градиенты в вертикальном и горизонтальном направлениях. Коэффициент сходства пары точек x и y, опосредованный к отрезку [x, y], их соединяющему, определяется как скалярная величина A[x, y], $(0 \le A \le 1)$, зависящая от градиентов функции f(z) на отрезке $z \in [x, y]$ и максимальная при $f(z) = \operatorname{const.}$ Значение A[x, y] зададим как произведение отдельных коэффициентов сходств a_n $(0 \le a_n \le 1)$ на последовательных n участках отрезка [x, y]:

$$A[x,y] = a_1 \cdot a_2 \cdot \ldots \cdot a_N. \tag{8}$$

Коэффициент сходства A[x, y] по смыслу соответствует коэффициенту пропускания среды на участке [x, y], а зависимость (8) совпадает с законом ослабления света при его прохождении в поглощающей среде. В дискретном пространстве можно говорить о коэффициенте сходства в точке a(z), удовлетворяющем соотношению:

$$A[x, z] = a(z)A[x, z - 1], \qquad z \in [x, y].$$

Зададим значение a(z) следующим образом:

$$a(z) = 1 - g(z)/g_{Max}, \qquad z \in [x, y],$$

где g_{Max} — максимально допустимый уровень для значений градиента g(z).

КОНТУРНО-ОГРАНИЧЕННОЕ СГЛАЖИВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

6.2. Сглаживание на основе коэффициента сходства

Сглаживание состоит в нахождения значения кусочно-гладкой компоненты s(z) в (7). Для каждой точки изображения, в момент анализа являющейся *целевой* и обозначаемой через 0, осуществляется локальный анализ по окружающему ее фрагменту Ω задаваемой формы. Точку 0 будем называть *центральной точкой*.

Для снижения влияния удаленных точек вводится весовая функция $q(d) = q(d(0, z)), z \in \Omega$, где d = d(0, z) — расстояние от центральной точки 0 до точки z. В качестве таковой удобно взять Гауссову функцию: $q(d) = \exp\{-d^2/2\delta^2\}$. Весовой коэффициент w(z) точки задается как произведение коэффициента сходства и весовой функции:

$$w(z) = A(0, z)q(d(0, z)).$$
(9)

Вклад окрестности dz точки z в общую сумму составляет f(z)w(z)dz. Суммарный вес элементов фрагмента Ω , окружающего центральную точку, равен

$$W(\Omega) = \sum_{z \in \Omega} w(z).$$
⁽¹⁰⁾

Сглаженное значение s(0), записываемое в точку 0, вычисляется как:

$$S(0) = \sum_{z \in \Omega} f(z)w(z)/W(\Omega).$$
(11)

Существенное и важное отличие рассмотренного метода сглаживания на основе коэффициента сходства от других методов состоит в том, что значения w(z) в (9) и $W(\Omega)$ в (10) могут вычисляться по одному изображению, а сглаживаемым сигналом f(z) в (11) может быть другое изображение. В нашей задаче для анализа и вычисления значений w(z) и $W(\Omega)$ используется яркостная компонента, обладающая минимальными искажениями, а сглаживанию подвергается компонента цветности (*Hue*) изображения.

7. ПРОЦЕДУРА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ

Полная процедура обработки изображений и выделения сорных и культурных компонентов агрофитоценозов состоит из следующих операций:

а) преобразование изображения в формат BHS (3);

б) подавление искажений JPEG–сжатия (4) и (5);

в) цветовая трансформация (6) канала цветности (*Hue*);

г) контурно-ограниченное сглаживание (11).

Важным является то, что коэффициенты сходства A[x, y] в (8) и вычисляемые на их основе значения w(z) и $W(\Omega)$ в (9) и (10) вычисляются по яркостному каналу (*Brightness*), в котором искажения, вызываемые сжатием, минимальны. Сглаживанию же подвергается сигнал $f_H(z)$ в канале цветности (*Hue*).

Примеры преобразования изображений агрофитоценозов описанным выше способом показаны на Рис. 6.

8. РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработана процедура обработки изображений сельскохозяйственных посевов, позволяющая выделять сорные и культурные компоненты агрофитоценозов на фоне почвы.

Для формирования информации, свободной от влияния теневого фактора, предложено использовать компоненту цветности *BHS*-разложения изображения.

ЧОЧИА

Предложен простой алгоритм подавления блочных искажений в компонентах цветности и насыщенности, которые вызываются JPEG-сжатием изображения.

Разработан алгоритм цветовой трансформации, повышающий контраст объектов сцены с цветом, соответствующим спектру рассеяния зеленых растений, и подавляющий неинформационные объекты.

Разработан алгоритм контурно-ограниченного сглаживания, сохраняющего структуру изображения, позволяющий использовать для анализа одну цветовую компоненту изображения, а для преобразования — другую его компоненту.



Рис. 6. Примеры выделения сорных и культурных компонентов агрофитоценозов: а, в — исходные изображения, б, г — результаты их преобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture): учебно-практическое пособие / ред. Шпаар Д., Захаренко А.В., Якушев В.П. СПб. : Пушкин, 2009. 397 с.
- Clay S. A., Lems G. J., Clay D. E., Forcella F., Ellsbury M.M., Carlson C.G. Sampling weed spatial variability on a fieldwide scale // Weed Science, vol. 47, no. 6, 1999, pp. 674–681.
- Thornton P. K., Fawcett R. H., Dent J. B., Perkins T. J. Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control // Crop Protection, vol. 9, no. 5, 1990, pp. 337–342.
- 4. Якушкина Н.И. Физиология растений. М.: Просвещение, 1980. 305 с.
- 5. Спектры отражения природных объектов база данных. URL: https://gis-lab.info/projects/spectra/.
- Vegetation Spectral Library. URL: https://web.archive.org/web/20121107002447/http://spectrallibrary.utep.edu/.

- 7. Plataniotis K.N., Venetsanopoulos A.N. Color image processing and applications. Berlin-Heidelberg: Springer, 2000.
- 8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
- 9. Тимбай Е.И. Применение корректирующего фильтра для повышения качества изображений, сжатых методом JPEG // Компьютерная оптика, 2011, т. 35, № 4, С. 513–518.
- Karacan L., Erdemy E., Erdem A. Structure-Preserving Image Smoothing via Region Covariances // ACM Transactions on Graphics, 2013, vol. 32, no. 6, pp. 176:1–176:11.
- Al-nasrawi M., Deng G., Thai B. Edge-aware smoothing through adaptive interpolation // Signal, Image and Video Processing, 2018, vol. 12, pp. 347–354.
- Jeon J., Lee H., Kang H., Lee S. Scale-aware Structure-Preserving Texture Filtering // Computer Graphics Forum, Eurographs Association & John Wiley, Chichester: GBR, 2016, vol. 35, no. 7, pp. 77–86.
- Xu L., Yan Q., Xia Y., Jia J. Structure extraction from texture via relative total variation // ACM Transactions on Graphics (TOG), 2012, vol. 31, no. 6, pp. 139:1–139:10.
- Чочиа П. А. Двухмасштабная модель изображения // Кодирование и обработка изображений. М.: Наука, 1988, С. 69–87.
- Чочиа П. А. Сглаживание изображения при сохранении контуров // Кодирование и обработка изображений. — М.: Наука, 1988, С. 87–98.
- 16. Чочиа П. А. Методы обработки видеоинформации на основе двухмасштабной модели изображения. Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 308 с.
- Hsiao Y.-T., Chuang C.-L., Jiang J.-A., Chien Ch.-Ch. A Contour based Image Segmentation Algorithm using Morphological Edge Detection // IEEE Int. Conf. on Systems, Man, Cybernetics, 2005, Hawaii, pp. 2962–2967.
- Abubakar F. M. A study of region-based and contour based image segmentation // Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ), 2012, vol. 3, no. 6, pp. 15–22.
- 19. Chochia P. A. Contour-Constrained Image Smoothing Preserving Its Structure // Journal of Communications Technology and Electronics, 2021, vol. 66, no. 6, pp. 769–777..
- Gong X.-Y., Su H., Xu D., Zhang Z.-T., Shen F., Yang H. B. An Overview of Contour Detection Approaches // International Journal of Automation and Computing (IJAC), 2018, vol. 15, no. 6, pp. 656–672.
- Papari G., Petkov N. Edge and line oriented contour detection: State of the art // Image and Vision Computing, 2011, vol. 29, pp. 79–103

Detection of agrophytocenosis components in the image

P.A. Chochia

Precision agriculture technology involves differentiated application of artificial fertilizers and chemical protection of agricultural plants. To implement the coordinate application of the appropriate means of influence, it is necessary to detect the cultural and weedy parts of agrophytocenoses against the background of the soil, which can be performed by operational remote recognition of video information. The objective of this work is to develop algorithms for the analysis and processing of large-scale images of agricultural crops for the purposes of spatial localization of the weed and cultural components of agrophytocenoses.

KEYWORDS: agrophytocenosis, object selection, color transformation, contour-limited smoothing.