



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-10

УДК634.7:62-791.2:535.6

МЕТОД НЕИНВАЗИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ*

А.Ф. АЛЕЙНИКОВ^{1,2}, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
630501, Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск,

²Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
e-mail: fti2009@yandex.ru

Обоснована актуальность ранней неповреждающей диагностики грибных, вирусных и бактериальных болезней земляники садовой. Приведены внешние признаки грибных болезней. На основе литературных данных проанализированы существующие оптические методы ранней диагностики культурных растений. Установлено, что методы подсчета пикселей изображения в пространстве цветовых каналов красного, зеленого и синего цвета предпочтительней других оптических методов обнаружения грибных болезней земляники. Это объясняется тем, что грибные болезни создают специфические цветные пятна. Их распределение на поверхности растения может быть идентифицировано в колориметрической системе CIE Lab. Представлена совокупность приемов нового метода ранней диагностики земляники садовой с использованием технических и программных средств к смартфону. Практическое осуществление метода не требует больших затрат, так как он может быть реализован в виде программного приложения в смартфоне на базе операционной системы Android. Данное приложение будет обеспечивать операции получения качественных изображений листа растения, сегментацию, расчет количества и удельной площади цветковых пятен на контуре листа, работу с базой данных образцовых изображений растений с грибными болезнями. Классификация грибных болезней и прогнозирование их развития будут осуществляться с помощью искусственной нейронной сети. Предлагаемый метод позволит определить болезни листьев растений земляники садовой, прогнозировать их развитие и установить возможные границы распространения на выбранной плантации.

Ключевые слова: земляника садовая, грибная болезнь, ранняя диагностика, смартфон, компьютерное зрение, искусственная нейронная сеть

Земляника садовая из-за ее бесспорного преимущества по сравнению с другими ягодными культурами достаточно широко распространена в мире. Земляника обладает обильным биохимическим составом, высокими вкусовыми качествами, большой питательностью, ценными лечебными свойствами и ярким привлекательным видом. В общемировом производстве ягод ее доля составляет свыше 70%. [1]. Однако почки, листья, корни, ягоды земляники поврежда-

ют более 20 видов возбудителей болезней и более 10 видов вредителей. Культуру поражают свыше 30 грибных, вирусных и бактериальных болезней [2]. Большинство болезней (около 80%) вызывается грибами [3]. Широко распространены мучнистая роса, серая гниль, белая, фитофторозная, черная, бурая плодовые гнили, белая, бурая, угловатая пятнистости [1]. При развитии грибных болезней резко (до 60–70%) снижается урожайность ягод [4]. Кроме того, при пораже-

* Работа поддержана бюджетным проектом СФНЦА СО РАН № 0778-2018-0003.

нии болезнями растение сильно ослабляется – вплоть до полной его гибели.

В настоящее время в Российской Федерации наблюдение за развитием болезней растений в течение дня – необходимая трудоемкая процедура при мониторинге не только плантаций ягод, но и любых сельскохозяйственных угодий. Постоянное и внимательное наблюдение экспертов (макроскопический анализ) – это традиционный подход, применяемый на практике для выявления и идентификации болезней растений. Однако выявить грибные болезни на ранней стадии их развития, несмотря на характерные изменения цвета и формы пораженных участков, эксперту не всегда удается. Своевременная информация о здоровье растений и начале болезней может способствовать контролю заболеваний посредством надлежащих стратегий управления. В связи с этим ран-

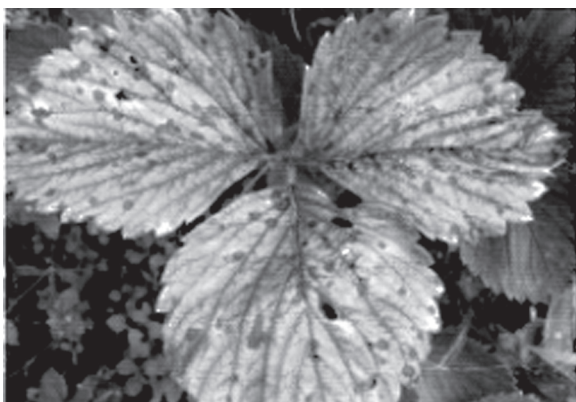
няя неинвазивная диагностика грибных болезней весьма актуальна, в том числе и при производстве земляники садовой.

При выращивании ремонтантной земляники садовой и земляники крупноплодной (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) на территории сада СибФТИ СФНЦА РАН отмечены белая (рамуляриоз), бурая и угловая пятнистости земляники [5].

Первые признаки при заражении земляники садовой белой пятнистостью (гриб *Ramularia tulasnei* Sass.) – многочисленные небольшие красно-бурые пятна округлой и угловатой формы (рис. 1) [2].

Бурая пятнистость поражает в первую очередь листья земляники, нередко повреждаются соцветия и ягоды. Особенности этой болезни – крупные темно-пурпурные пятна неправильной формы, ограниченные жилками листа (рис. 2) [2]. Заражение грибом

а



б

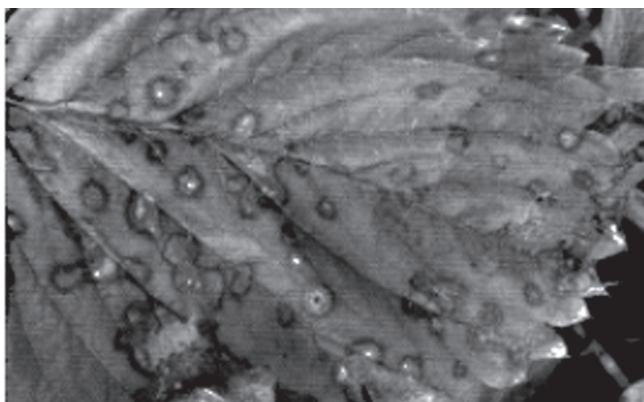


Рис. 1. Белая пятнистость на листьях земляники: а – пораженный лист; б – перезимовавший лист
Fig. 1. Leaf spot on the strawberry leaves: а – affected leaf; б – overwintered leaf

а



б

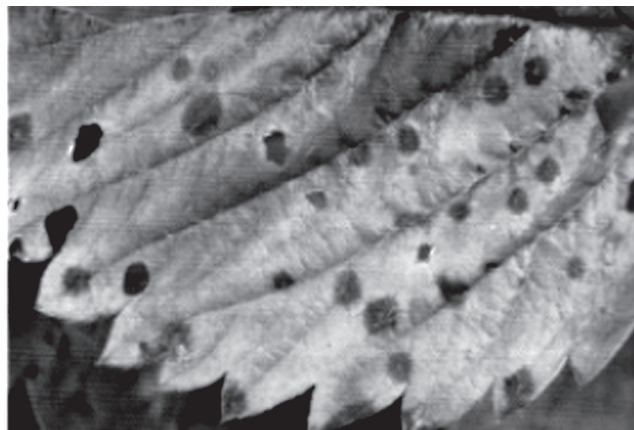


Рис. 2. Бурая пятнистость на листьях земляники: а – появление первых пятен; б – развитие болезни
Fig. 2. Brown spot on strawberry leaves: а – first spots; б – development of the disease

Marssonina potentillae Desm. листьев бурой пятнистостью происходит главным образом с нижней стороны. По мере развития болезни с верхней стороны листа возникают черные блестящие мелкие тела гриба.

Возбудителем угловатой пятнистости (зитоз) является гриб *Zythia fragariae* Laib. Он вызывает красноватые округлые пятна на листьях, затем пятна увеличиваются и приобретают неправильную угловатую форму (рис. 3) [2].

В мировой практике для раннего неинвазивного обнаружения грибных болезней растений используют разнообразные оптические методы. В частности, в настоящее время представляет большой интерес видимое спектральное (400–700 нм) зондирование растений [5, 6].

В работе [6] на первом этапе предлагают получать данные со всех спектральных каналов средств космического зондирования для решения комплексной задачи определения групп сорняков, болезней и вредителей и их классификации, используя вегетационные индексы. При этом предложен подход, основанный на классической теории информации Шеннона. На втором этапе используют байесовскую процедуру классификации с последовательным вводом информации каналов зондирования и уточняют виды классов в этих группах. Авторы работы утверждают о высокой эффективности, работоспособности и надежности предлагаемых методов и созданного на их основе программно-технического комплекса.

Использование более широкого спектрального зондирования с получением мультиспектрального изображения (разделение длины волн на многочисленные полосы) и гиперспектрального изображения (более точное спектральное разрешение) позволяет с большой достоверностью выявить и классифицировать разнообразные болезни растений [7–9]. Например, полученное гиперспектральное изображение листа сахарной свеклы эффективно использовалось для мелкокомасштабного анализа симптомов, вызванных ее различными заболеваниями [10].

Для диагностики болезней растений распространены методы прецизионного компьютерного зрения [11, 12], основы которого описаны в работах [13–15].

Метод подсчета пикселей изображения в пространстве цветовых каналов красного, зеленого и синего цвета (R, G, B), который ранее использовали в РФ для оценки качества мяса [16–18], широко применяют в развитых странах для диагностики заболевания растений. Например, метод подсчета пикселей изображения RGB и дополнительной оценки эффективности фотосинтеза использовали для раннего прогнозирования вспышки болезни в листе капусты в работе [11], сравнивая схемы регистрации пиксельных изображений с применением метода штрафных функций с точным сопоставлением их вероятностей. В данном случае применены два метода – наибольшего правдоподобия и сопоставления надежных точек (рис. 4).

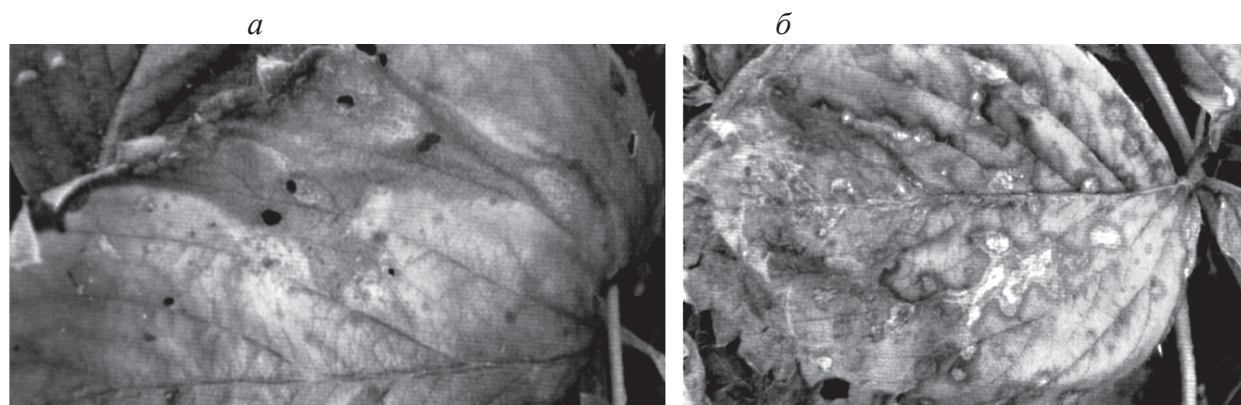


Рис. 3. Угловатая пятнистость на листьях земляники: а – поражение листа; б – перезимовавший лист
Fig. 3. Angular leaf spot on the strawberry leaves: a – affected leaf; b – overwintered leaf

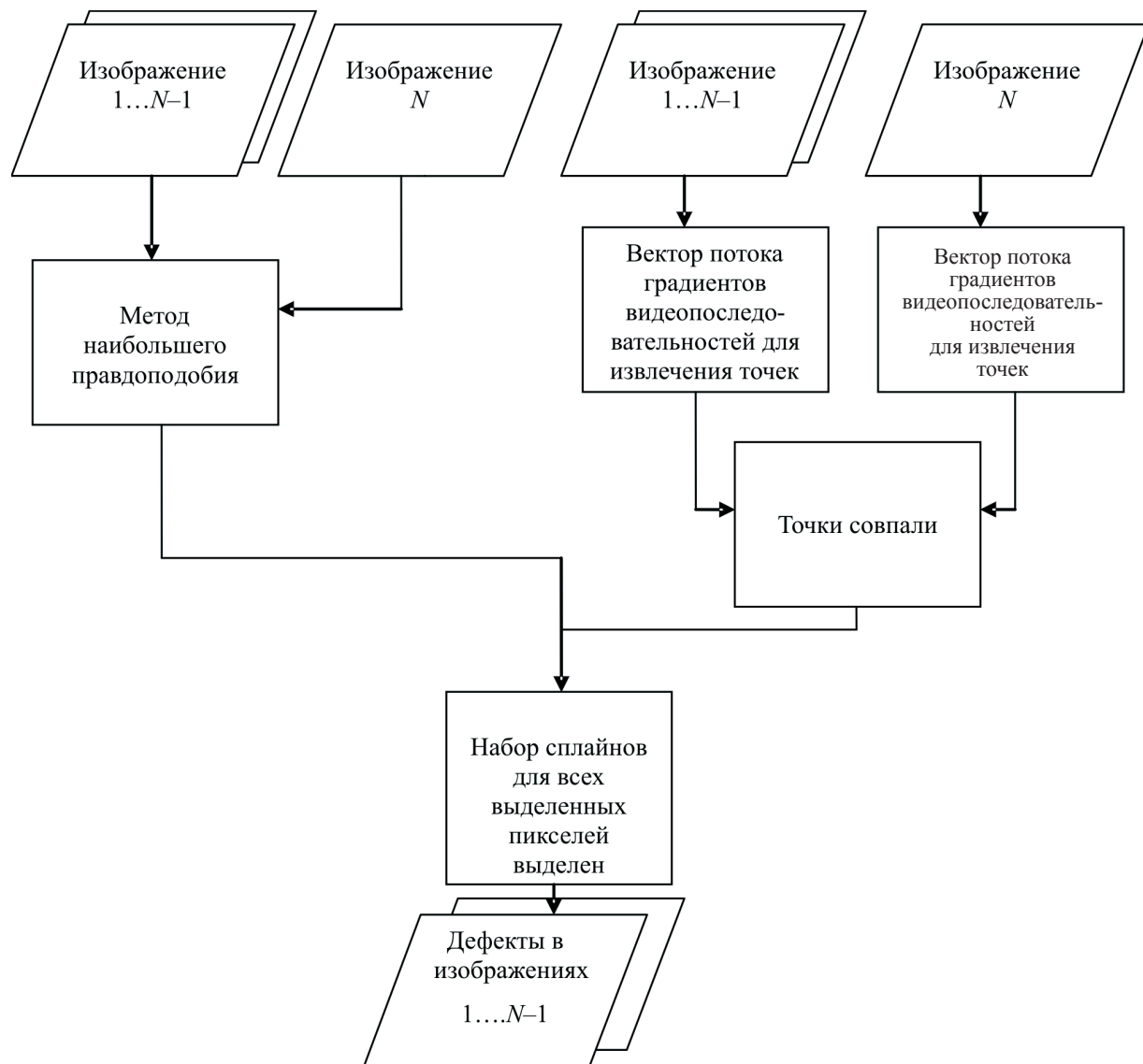


Рис. 4. Блок-схема этапов обработки изображений по двум методам
 Fig. 4. Block scheme of image processing by two methods

Сущность метода правдоподобия такова [11]. Пусть X – дискретная случайная величина, которая в результате n испытаний приняла значения $x_1, x_2, \dots, x_n$. Допустим, что при заданном виде закона распределения величины X неизвестен параметр λ , которым определяется этот закон распределения. Требуется найти его точечную оценку. Вероятность того, что в результате испытания величина X примет значение x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), обозначим через $p = p(x_i; \lambda)$. Функцией правдоподобия дискретной случайной величины X называют функцию $Y(x_1, x_2, \dots, x_n; \lambda) = p(x_1; \lambda) p(x_2; \lambda), \dots, p(x_n; \lambda)$ аргумента λ . В качестве точечной оценки параметра λ принимают такое его значение $\lambda^* = \lambda^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$, при

котором функция правдоподобия достигает максимума. Оценку λ^* называют оценкой наибольшего правдоподобия.

Биотический стресс, вызываемый живыми организмами (грибами), ухудшает процесс фотосинтеза растения. При этом увеличивается флуоресценция хлорофилла и выделяется больше тепла с объекта исследований. В данном случае считается, что одного изображения за один момент недостаточно, чтобы обнаружить и идентифицировать тип стресса. Дополнительная информация может быть собрана с использованием различных типов датчиков (например, флуоресценции, RGB, инфракрасного излучения). Следует учесть, что симптомы

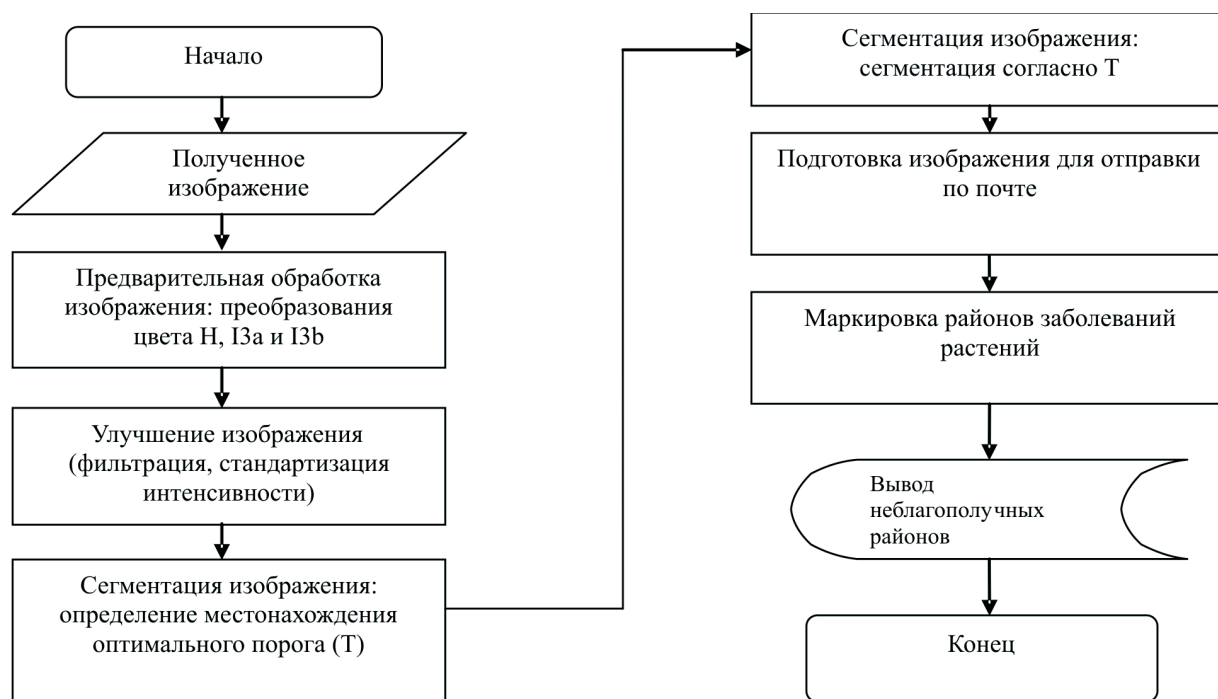


Рис. 5. Алгоритм обработки изображений, позволяющий автоматически идентифицировать визуальные симптомы болезни растений

Fig. 5. Algorithm of image processing that enables to automatically identify visual symptoms of plant diseases

стресса обнаруживаются с помощью этих специфических датчиков, когда исследователь не видит указанных симптомов [19].

Рассматриваемый метод позволяет судить о реакции на взаимодействующие факторы (например, изменения засухоустойчивости после холодной обработки). Однако для количественного исследования требуется регистрация изображений для разных систем камер в течение времени. Для выравнивания изображения двух разных камер на уровне пикселей необходимо знание об аффинном преобразовании (перевод, вращение и масштабирование). Кроме того, нужно знать особенности искажения изображения камеры/объектива (например, искажения ствола плодового дерева). Регистрация возможна только в том случае, если перспективное преобразование между двумя системами визуализации относительно невелико. Желательно, чтобы данные системы располагались в идентичных местах и использовались две одинаковых камеры с набором фильтров. Этот метод достоверен в условиях перекрытия листьев во время роста растений.

В работе [20] рассмотрен алгоритм, позволяющий автоматизированно идентифицировать визуальные симптомы болезней растений. Разработанный алгоритм обработки начинается с преобразования изображения RGB больного растения или шаблона листа. Шаблоны соответствуют набору данных о заболевании растений, представляемых экспертом. Преобразованное изображение затем сегментируется путем анализа распределения интенсивностей в гистограмме (рис. 5).

Использование текстурных признаков позволяет обнаружить пораженные листья и провести классификацию болезней листьев растений [21]. Широко используются приемы сегментации изображений пораженных болезнями участков растений [22–25].

Система множественного классификатора на основе опорных машинных векторов SVM (MCS) с цветовыми, текстурными и формальными характеристиками предназначена для систематизации различных болезней листьев пшеницы [26]. Эта система обеспечила высокую (по сравнению с другими методами распознавания) достоверность определения болезни – до 96,16%.

Следует заметить, что в технологиях распознавания изображений, как правило, используют искусственные нейронные сети (ИНС), например с применением фильтра Габора (для вычисления набора признаков цвета, формы и др.) [27]. Большое значение для проблем классификации и распознавания изображений имеет анализ текстуры листа растений. В работе [28] предложены ИНС с быстрым алгоритмом для расчета параметров текстуры методом контролируемого обучения и методом максимального правдоподобия для классификации болезней. Следует заметить, что все методы обработки изображений для ранней диагностики заболеваний растений, включающие применение ИНС, очень разнообразны [29–36]. Например, в работе [29] обнаружение и классификацию болезней листьев злаков осуществляют с использованием сегментации на основе *K*-оснований и классификации на основе ИНС. Болезни хлопка классифицируют по изображениям на основе нечеткой функции [36].

Анализ существующих методов показал следующее.

Методы спектрального космического зондирования способствуют полномасштабной реализации ранней диагностики различных болезней культурных растений. Однако они требуют огромного объема гиперспектральных данных о посевах и применения специальных космических аппаратов. Развитие этого направления в РФ и его применение на практике является перспективой для сельскохозяйственных производителей.

Применение мультиспектральных изображений для осуществления ранней диагностики болезней растений требует дорогостоящего и сложного оборудования (беспилотных летательных аппаратов – дронов, высокочувствительных гиперспектральных камер и др.), а также разработки специального алгоритмического и программного обеспечения для конкретного вида болезней растений. Это требует больших затрат даже для крупных отечественных производственных компаний страны по производству плодов и ягод.

Методы технического зрения предпочтительней рассмотренных выше ранних методов обнаружения болезней растений по следующим причинам.

Во-первых, грибные болезни создают специфические цветные пятна и их распределение на поверхности растения. Например, при гельминтоспориозе формируются ярко-желтые пятна на листьях, которые со временем увеличиваются в размерах. Рассмотренные выше пятнистости садовой земляники имеют индивидуальные цветовые оттенки (красноватые, ржаво-бурые, оливковые и т.п.). Цвет характеризуется тремя основными понятиями: насыщенностью, яркостью и тоном. В колориметрической системе CIE Lab каждый цвет описан тремя числами, обозначающими его положение в трехмерной сфере («L» – указывает на уровень яркости цвета; значения «a» и «b» характеризует его оттенок) [13]. В центре сферы расположены нейтральные цвета. При перемещении от центра к краю их насыщенность меняется, но сам оттенок не затрагивается. Например, характерный цвет для листа растений зеленый остается зеленым, но становится более ярким, т.е. насыщенным. Таким образом, с помощью методов компьютерного зрения возможно выделение неразличимых для специалиста оттенков и осуществление ранней диагностики грибных заболеваний растений.

Во-вторых, реализацию метода технического зрения относительно легко осуществить и довести до конкретного потребителя. Известно, что портативная электронная техника является неотъемлемым спутником жизни современных людей, что объясняется ее многофункциональностью. Например, все выпускаемые смартфоны наделены функциями телефона, карманного персонального компьютера, музыкального плеера и фотоаппарата. Смартфон способен заменить источник света, пульт управления для различной электротехники, строительный уровень, GPS-навигатор и др. Портативная электронная техника развивается путем создания специальных программных приложений для удовлетворения потребностей

людей в различных областях их деятельности. Перспективное направление – использование смартфонов в качестве средств измерений и диагностики [37]. В настоящее время в мире разрабатывают и уже используют смартфоны в качестве «диагностического центра» индивидуального здоровья путем его превращения в тонометр, термометр, глюкометр, электрокардиограф и другие медицинские приборы и устройства. Смартфон обладает всеми необходимыми средствами и возможностями для реализации методов технического компьютерного зрения для ранней диагностики грибных заболеваний [38].

На рассмотрение предлагается новый метод ранней диагностики грибных заболеваний на базе смартфона с операционной системы Android (рис. 6).

Смартфон уже оснащен источником света (фотовспышка); приемником для получения изображения и его сегментов (фотокамера); у него есть значительный потенциал для создания различных баз данных (например, «эталонных» цветных пятен пораженных грибными болезнями листьев) и установки всевозможных приложений для обработки

и сегментации изображений, в том числе и ИНС с алгоритмом и программой обучения. Например, основное требование к осветителю (при использовании метода RGB) – возможность создать равномерный световой поток для подсветки образцов в течение эксперимента [13, 14]. Для этого необходимо всю операцию получения изображения осуществлять на одном и том же расстоянии от объектива камеры до поверхности объекта. Это требование можно выполнить установкой уже существующих на рынке приложений к смартфону. Даже самая дешевая и распространенная среди пользователей смартфонов программа-дальномер Smart Measure Pro позволяет при помощи камеры смартфона измерять расстояние до объекта, а также определять его высоту, ширину и площадь [39, 40]. Для этого нужно лишь выбрать один из режимов и навести фокус камеры на объект. В данном случае можно рекомендовать режим Smart Ruler (расстояние до объекта не более 0,5 м.). Дополнительной мерой по обеспечению качества светового потока при фотографировании может стать применение специальных гаджетов – съемных фильтров для объектива

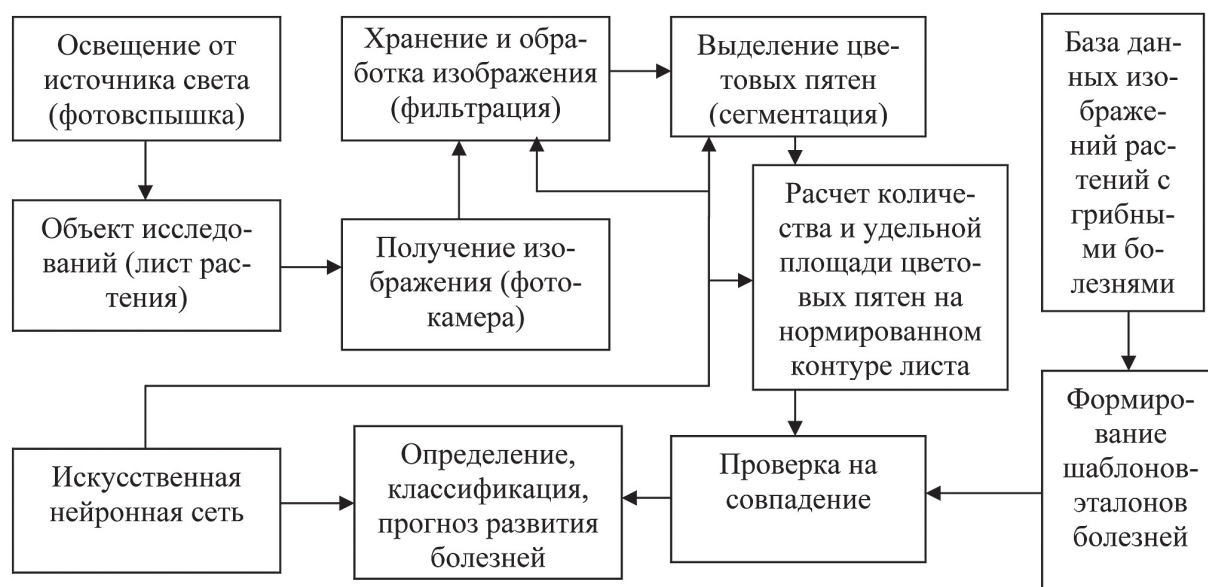


Рис. 6. Упрощенная структура приемов, реализующих предлагаемый метод ранней диагностики грибных болезней

Fig. 6. Simplified structure of approaches implementing the proposed method of early diagnostics of fungal diseases

камеры смартфона. Для фильтрации уже полученного цветового рисунка с целью упрощения сегментации цвета пятен предлагается использовать имеющиеся опции для кадрирования и повышения качества изображения фотографий (отбеливание, винтаж, синева и т.п.).

Для реализации метода необходимо разработать специальное программное приложение для осуществления всех его приемов по управлению и обработке данных. Основная сложность при реализации этого приложения – осуществление классификации и прогнозирования грибных болезней земляники с помощью ИНС.

В связи с этим на начальной стадии разработки необходимо [41–43]:

- тщательно проанализировать основные архитектуры ИНС, используемые для прогнозирования развития грибных болезней по распознаванию информативных участков изображений поверхности исследуемого объекта;

- обосновать выбор операционной среды для реализации комплекса программного приложения для обработки изображений поверхности растительной ткани в смартфоне;

- разработать обобщенную структурную схему комплекса и описать основные режимы его работы;

- выбрать основной массив входной информации для работы комплекса;

- разработать и создать рабочий вариант основных режимов работы комплекса;

- осуществить тестирование работы комплекса и провести первоначальную оценку качества прогнозирования и др.

Предлагаемый метод ранней диагностики болезней растений путем цифровой обработки изображений с применением специализированных приложений для смартфона с целью установления конкретных значений комплекса цветовых характеристик, соответствующих стадиям развития болезней растений, позволит осуществить:

- обнаружение болезней листьев растений, стеблей и плодов;

- установление площади пораженного болезнью участка;

- распознавание цвета пораженного участка;

- определение размеров и формы пораженных болезнью листьев, плодов растений и их локального распределения;

- прогнозирование и установление границ распространения болезни.

Новый метод и разработанное на его основе программно-алгоритмическое обеспечение можно реализовать в доступном, широко распространенном «анализаторе цвета» – смартфоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Линник Т.А.** Повышение эффективности способов размножения сортов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), характеризующихся низкой усообразующей способностью: дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 2014. – 141 с.
2. **Трейвас Л.Ю., Каштанова О.Ф.** Болезни и вредители плодовых растений: атлас-определитель; изд. 3-е, исп. и доп. – М.: ООО «Фитон XXI», 2016. – 352 с.
3. **Диагностика болезней растений.** – [Электронный ресурс]: URL: <http://www.activestudy.info/diagnostika-boleznej-rastenij/>
4. **Maas I.L.** Compendium of strawberry diseases // Am. Phytopathol. Soc., St. Paul. 1984. – 138 p.
5. **Петрук В.А., Боровикова Т.В., Аполиinarieва И.К.** Интродукция сортов земляники крупноплодной в условиях лесостепи Западной Сибири // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2016. – № 6. – С. 40–46.
6. **Михайленко И.М., Воронков И.В.** Методы обнаружения сорняков, болезней и вредителей растений по данным дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 3. – С. 72–83.
7. **Polder G., van der Heijden G.W., van Doorn J., Baltissen T.A.** Automatic detection of tulip breaking virus (TBV) in tulip fields using machine vision // Biosyst. Eng. – 2014. – Т. 117. – Р. 35–42.
8. **Moshou D., Bravo C., Oberti R., West J., Bodria L., McCartney A., Ramon H.** Plant disease detection based on data fusion of hyper-spectral and multispectral fluorescence imaging using Kohonen maps // Real-Time Imaging. – 2005. – N 11 (2). – Р. 75–83.

9. **Rumpf T., Mahlein A.K., Steiner U., Oerke E.C., Dehne H.W., Pflüger L.** Early detection and classification of plant diseases with support vector machines based on hyperspectral reflectance // *Comput. Electron. Agric.* – 2010. – N 74 (1). – P. 91–99.
10. **Mahlein A.K., Steiner U., Hillnhütter C., Dehne H.W., Oerke E.C.** Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases // *Plant Methods.* – 2012. – N 8 (1). – P. 3.
11. **Rong Zhou, Shun 'chi Kaneko, Fumio Tanaka et al.** Disease detection of Cercospora Leaf Spot in sugar beet by robust template matching // *Computers and Electronics in Agriculture.* – 2014. – Vol. 108. – P. 58–70.
12. **Polder G., van der Heijden G., Jalink H., Snel J.F.H.** Correcting and matching time sequence images of plant leaves using penalized likelihood warping and robust point matching. // *Comput. Electron. Agric.* – 2007. – Vol. 55 (1). – P. 1–15.
13. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
14. **Пальчикова И.Г., Алейников А.Ф., Чугуй Ю.В., Воробьев В.В., Ярушин Т.В., Сартаков В.Ю., Макашев Ю.Д., Швыдков А.Н.** Портативный анализатор цвета поверхности образцов биологической ткани // *Сиб. науч. вестн.* – 2013. – № 17. – С. 171–175.
15. **Пальчикова И.Г., Алейников А.Ф., Воробьев В.В., Ярушин Т.В., Сартаков В.Ю., Макашев Ю.Д., Смирнов Е.С.** Анализатор цветовых характеристик поверхностей // *Судебная экспертиза: российский и международный опыт: материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 21–22 мая 2014 г.).* – Волгоград: ВА МВД России, 2014. – С. 368–372.
16. **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Обидин Ю.В., Смирнов Е.С., Глянченко В.С., Чугуй Ю.В.** Цифровая видеосистема для определения и анализа цветовых характеристик мясного сырья // *Сиб. вестн. с.-х. науки.* – 2013. – № 1. – С. 78–88.
17. **Пальчикова И.Г., Обидин Ю.В., Смирнов Е.С., Алейников А.Ф., Чугуй Ю.В.** Программное обеспечение экспериментальной установки для измерения цветовых характеристик мяса // *Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина.* – 2013. – С. 343–346.
18. **Пальчикова И.Г., Алейников А.Ф., Смирнов Е.С., Чугуй Ю.В., Швыдков А.Н., Ницневская К.Н., Сартаков В.Ю., Ярушин Т.В.** Портативный цветовой анализатор качественных изменений мяса птицы // *Достижения науки и техники в АПК.* – 2015. – № 9. – С. 80–83.
19. **Chaerle L., Van der Straeten D.** Imaging techniques and the early detection of plant stress // *Trends Plant Sci.* – 2000. – Vol. 5 (11). – P. 595–601.
20. **Camargo A., Smith J.S.** An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms // *Biosyst. Eng.* – 2009. – Vol. 102 – P. 9–21.
21. **Arivazhagan S., NewlinShebiah R., Ananthi S., Vishnu Varthini S.** Detection of unhealthy region of plant leaves and classification of plant leaf diseases using texture features // *Agric. Eng. Int.: CIGRJ.* – 2013. – Vol. 15 (1). – P. 211–217.
22. **Camargo A., Smith J.S.** An image processing based algorithm to automatically identify crop disease visual symptoms // *Biosyst. Eng.* – 2009. – Vol. 102 (1). – P. 9–21.
23. **Chaudhary Piyush, Chaudhari Anand K., Cheeran A.N., Godara Sharda.** Color transform based approach for disease spot detection on crop leaf // *Int. JComput. Sci. Telecommun.* – 2012. – Vol. 3 (6). – P. 65–70.
24. **Tushar H. Jaware, Ravindra D. Badgujar, Prashant G. Patil.** Crop disease detection using image segmentation, National Conference on Advances in Communication and Computing World (Dhulia, Maharashtra, India) // *J. of Science and Technology.* – 2012. – P. 190–194.
25. **Sanjay B. Dhaygude, Nitin P. Kumbhar.** Agricultural plant Leaf Disease Detection Using Image Processing // *International J. of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, S & S Publication* – 2013. – Vol. 2, Is. 1. – P. 599–602.
26. **Tian Y., Zhao C., Lu S., Guo X.** SVM-based multiple classifier system for recognition of wheat leaf diseases. In: *World Automation Congress (WAC 2012).* Puerto Vallarta, Mexico. – 2012. – P. 189–193.

27. **Anand H. Kulkarni, Ashwin Patil R.K.** Applying image processing technique to detect plant diseases // *International J. of Modern Engineering Research*. – 2012. – Vol. 2, Is. 5. – P. 3661–3664.
28. **Argenti F., Alparone L., Benelli G.** Fast algorithms for texture analysis using co-occurrence matrices // *Radar and Signal Processing, IEE Proceedings*. – 1990. – Vol. 137, N 6, Is. 6. – P. 443–448.
29. **Al-Bashish D., Braik M., Bani-Ahmad S.** Detection and classification of leaf diseases using K-means-based segmentation and neural networks based classification // *Inform. Technol. J.P.* – 2011. – Vol. 10. – P. 267–275.
30. **Al-Hiary H., Bani-Ahmad S., Reyalat M., Braik M., AlRahamneh Z.** Fast and accurate detection and classification of crop diseases // *Int. J. Comput.* – 2011. – Appl. 17. – P. 31–38.
31. **Kiran R., Ujwalla G.** An overview of the research on crop leaves disease detection using image processing techniques // *IOSR J. Comput. Eng. (IOSR-JCE)*. – 2014. – Vol. 16 (1). – P. 10–16.
32. **Revathi P., Hemalatha M.** Classification of Cotton Leaf Spot Diseases Using Image Processing Edge Detection Techniques // *IEEE International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology (Tiruchirappalli, Tamilnadu, India)*. – 2012. – P. 169–173.
33. **Yan-Cheng Zhang, Han-Ping Mao, Bo Hu, Ming-Xi Li.** Feature Selection of Cotton Disease leaves Image Based on Fuzzy feature Selection Techniques // *Proceedings of the 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (Beijing, China, Nov.)*. – 2007. – P. 124–129.
34. **Menukaewjinda A., Kumsawat P., Attakitmongkol K., Srikaew A.** Grape leaf disease detection from color imagery using hybrid intelligent system // *Proceedings of electrical Engineering/electronics, Computer, Telecommunications and Information technology (ECTI-CON)*. – 2008. – Vol. 1. – P. 513–516
35. **Hai Guang Wang, Guanlin Li, Zhanhong Ma, Xiaolong Li.** Image Recognition of Plant Diseases Based on Principal Component Analysis and Neural // *Networks, 8th International Conference on Natural Computation (Chongqing, China)*. – 2012 – P. 246–251.
36. **Mokhled S., Al-Tarawneh.** An Empirical Investigation of Olive Leave Spot Disease Using Auto-Cropping Segmentation and Fuzzy C-Means Classification // *World Applied Sciences Journal*. – 2013. – Vol. 23, N. 9. – P. 1207–1211.
37. **Petrellis Nikos.** A Smart Phone Image Processing Application for Plant Disease Diagnosis // *6th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*. – May 04–06. – 2017.
38. **Алейников А.Ф., Барилло Д.В.** Определение качества продуктов с помощью смартфона // *Пища, экология, качество: тр. XIV междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 8–10 ноября 2017 г.)*. – Новосибирск: Золотой колос, 2017. – С. 36–40.
39. **Логинов В.** Обзор полезных приложений для смартфонов и планшетов. – [Электронный ресурс]: URL :https://www.dgl.ru/articles/obzor-poleznyh-prilozheniy-dlya-smartfonov-i-planshetov-vse-svoe-noshu-s-soboy_5632.html
40. **Dashuai Gao, Jianhui Lin, Jiangbin Yu, Yurui Sunand Schulze P.** Correction of leaf area measurement based on Android smartphone orientation sensor // *International Agricultural Engineering J.* – 2017. – Vol. 26 (1). – P. 186–192
41. **Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И., Гребенникова И.Г., Чанышев Д.И., Голышев Д.Н.** Программно-алгоритмические средства и искусственные нейронные сети в селекции растений: науч.-метод. реком. – Новосибирск, 2008. – 26 с..
42. **Чанышев Д.И., Алейников А.Ф.** Прогнозирование качества пищевого сырья на ранних стадиях его производства // *Сиб. науч. вестн.* – 2016. – № 20. – С. 124–127.
43. **Stergiou C., Siganos D.** Neural Networks [Electronic resource]: URL: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html

REFERENCES

1. **Linnik T.A.** Povyshenie effektivnosti sposobov razmnozheniya sortov zemlyaniki sadovoi (Fragaria × ananassa Duch.), kharakterizuyushchikhsya nizkoi usoobrazuyushchei sposobnost'yu: dis. ... kand. s.-kh. nauk. – M., 2014. – 141 s.
2. **Treivas L.Yu., Kashtanova O.F.** Bolezni i vrediteli plodovykh rastenii: atlas-opredelitel'; izd. 3-e, isp. i dop. – M.: ООО «Fiton XXI», 2016. – 352 s.

3. **Diagnostika** boleznei rastenii. – [Elektronnyi resurs]: URL: <http://www.activestudy.info/diagnostika-boleznej-rastenij/>
4. **Maas I.L.** Compendium of strawberry diseases // *Am. Phytopathol. Soc., St. Paul.* 1984. – 138 p.
5. **Petruk V.A., Borovikova T.V., Apolinar'eva I.K.** Introduktsiya sortov zemlyaniki krupnoplodnoi v usloviyakh lesostepi Zapadnoi Sibiri // *Sib. vestn. s.-kh. nauki.* – 2016. – № 6. – S. 40–46.
6. **Mikhailenko I.M., Voronkov I.V.** Metody obnaruzheniya sornyakov, boleznei i vrediteli rastenii po dannym distantsionnogo zondirovaniya // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* – 2016. – T. 13, № 3. – S. 72–83.
7. **Polder G., van der Heijden G.W., van Doorn J., Baltissen T.A.** Automatic detection of tulip breaking virus (TBV) in tulip fields using machine vision // *Biosyst. Eng.* – 2014. – T. 117. – P. 35–42.
8. **Moshou D., Bravo C., Oberti R., West J., Bodria L., McCartney A., Ramon H.** Plant disease detection based on data fusion of hyper-spectral and multispectral fluorescence imaging using Kohonen maps // *Real-Time Imaging.* – 2005. – N 11 (2). – P. 75–83.
9. **Rumpf T., Mahlein A.K., Steiner U., Oerke E.C., Dehne H.W., Plümer L.** Early detection and classification of plant diseases with support vector machines based on hyperspectral reflectance // *Comput. Electron. Agric.* – 2010. – N 74 (1). – P. 91–99.
10. **Mahlein A.K., Steiner U., Hillnhütter C., Dehne H.W., Oerke E.C.** Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases // *Plant Methods.* – 2012. – N 8 (1). – P. 3.
11. **Rong Zhou, Shun 'chi Kaneko, Fumio Tanaka et al.** Disease detection of Cercospora Leaf Spot in sugar beet by robust template matching // *Computers and Electronics in Agriculture.* – 2014. – Vol. 108. – P. 58–70.
12. **Polder G., van der Heijden G., Jalink H., Snel J.F.H.** Correcting and matching time sequence images of plant leaves using penalized likelihood warping and robust point matching. // *Comput. Electron. Agric.* – 2007. – Vol. 55 (1). – P. 1–15.
13. **Gonsales R., Vuds R.** Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii. – M.: Tekhnosfera, 2012. – 1104 s.
14. **Pal'chikova I.G., Aleinikov A.F., Chugui Yu.V., Vorob'ev V.V., Yarushin T.V., Sartakov V.Yu., Makashev Yu.D., Shvydkov A.N.** Portativnyi analizator tsveta poverkhnosti obraztsov biologicheskoi tkani // *Sib. nauch. vestn.* – 2013. – N 17. – S. 171–175.
15. **Pal'chikova I.G., Aleinikov A.F., Vorob'ev V.V., Yarushin T.V., Sartakov V.Yu., Makashev Yu.D., Smirnov E.S.** Analizator tsvetovykh kharakteristik poverkhnosti // *Sudebnaya ekspertiza: rossiiskii i mezhdunarodnyi opyt: materialy 2-i mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Volgograd, 21–22 maya 2014 g.).* – Volgograd: VA MVD Rossii, 2014. – S. 368–372.
16. **Aleinikov A.F., Pal'chikova I.G., Obidin Yu. V., Smirnov E.S., Glyanenko V.S., Chugui Yu.V.** Tsifrovaya videosistema dlya opredeleniya i analiza tsvetovykh kharakteristik myasnogo syr'ya // *Sib. vestn. s.-kh. nauki.* – 2013. – № 1. – S. 78–88.
17. **Pal'chikova I.G., Obidin Yu.V., Smirnov E.S., Aleinikov A.F., Chugui Yu.V.** Programmnoe obespechenie eksperimental'noi ustanovki dlya izmereniya tsvetovykh kharakteristik myasa // *Sistema tekhnologii i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: sb. nauch. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoi 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoi mekhaniki V.P. Goryachkina.* – 2013. – S. 343–346.
18. **Pal'chikova I.G., Aleinikov A.F., Smirnov E.S., Chugui Yu.V., Shvydkov A.N., Nitsievskaya K.N., Sartakov V.Yu., Yarushin T.V.** Portativnyi tsvetovoi analizator kachestvennykh izmenenii myasa ptitsy // *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK.* – 2015. – N 9. – S. 80–83.
19. **Chaerle L., Van der Straeten D.** Imaging techniques and the early detection of plant stress // *Trends Plant Sci.* – 2000. – Vol. 5 (11). – P. 595–601.
20. **Camargo A., Smith J.S.** An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms // *Biosyst. Eng.* – 2009. – Vol. 102 – P. 9–21.
21. **Arivazhagan S., NewlinShebiah R., Ananthi S., Vishnu Varthini S.** Detection of unhealthy region of plant leaves and classification of plant leaf diseases using texture features // *Agric. Eng. Int.: CIGRJ.* – 2013. – Vol. 15 (1). – P. 211–217.
22. **Camargo A., Smith J.S.** An image processing based algorithm to automatically identify crop disease visual symptoms // *Biosyst. Eng.* – 2009. – Vol. 102 (1). – P. 9–21.

23. **Chaudhary Piyush, Chaudhari Anand K., Cheeran A.N., Godara Sharda.** Color transform based approach for disease spot detection on crop leaf // *Int. J.Comput. Sci. Telecommun.* – 2012. – Vol. 3 (6). – P. 65–70.
24. **Tushar H. Jaware, Ravindra D. Badgujar, Prashant G. Patil.** Crop disease detection using image segmentation, National Conference on Advances in Communication and Computing World(Dhulia, Maharashtra, India) // *J. of Science and Technology.* – 2012. – P. 190–194.
25. **Sanjay B. Dhaygude, Nitin P. Kumbhar.** Agricultural plant Leaf Disease Detection Using Image Processing // *International J. of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, S & S Publication – 2013. – Vol. 2, Is. 1. – P. 599–602.
26. **Tian Y., Zhao C., Lu S., Guo X.** SVM-based multiple classifier system for recognition of wheat leaf diseases. In: *World Automation Congress (WAC 2012).* Puerto Vallarta, Mexico. – 2012. – P. 189–193.
27. **Anand H. Kulkarni, Ashwin Patil R.K.** Applying image processing technique to detect plant diseases // *International J. of Modern Engineering Research.* – 2012. – Vol. 2. – Is. 5. – P. 3661–3664.
28. **Argenti F., Alparone L., Benelli G.** Fast algorithms for texture analysis using co-occurrence matrices // *Radar and Signal Processing, IEE Proceedings.* – 1990. – N 6. – Vol. 137. – Is. 6. – P. 443–448.
29. **Al-Bashish D., Braik M., Bani-Ahmad S.** Detection and classification of leaf diseases using K-means-based segmentation and neural networks based classification // *Inform. Technol. J.P.* – 2011. – Vol. 10. – P. 267–275.
30. **Al-Hiary H., Bani-Ahmad S., Reyalat M., Braik M., AlRahamneh Z.** Fast and accurate detection and classification of crop diseases // *Int. J. Comput.* – 2011. – Appl. 17. – P.31–38.
31. **Kiran R., Ujwalla G.** An overview of the research on crop leaves disease detection using image processing techniques// *IOSR J. Comput. Eng. (IOSR-JCE).* – 2014. – Vol. 16 (1). – P. 10–16.
32. **Revathi P., Hemalatha M.** Classification of Cotton Leaf Spot Diseases Using Image Processing Edge Detection Techniques // *IEEE International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology (Tiruchirappalli, Tamilnadu, India).* – 2012. – P. 169–173.
33. **Yan-Cheng Zhang, Han-Ping Mao, Bo Hu, Ming-Xi Li.** Feature Selection of Cotton Disease leaves Image Based on Fuzzy feature Selection Techniques // *Proceedings of the 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (Beijing, China, Nov.).* – 2007. – P. 124–129.
34. **Menukaewjinda A., Kumsawat P., Attakitmongkol K., Srikaew A.** Grape leaf disease detection from color imagery using hybrid intelligent system // *Proceedings of electrical Engineering/electronics, Computer, Telecommunications and Information technology (ECTI-CON).* – 2008. – Vol. 1. – P. 513–516
35. **Haiguang Wang, Guanlin Li, Zhanhong Ma, Xiaolong Li.** Image Recognition of Plant Diseases Based on Principal Component Analysis and Neural // *Networks, 8th International Conference on Natural Computation(Chongqing, China).* – 2012 – P. 246–251.
36. **Mokhled S., Al-Tarawneh.** An Empirical Investigation of Olive Leave Spot Disease Using Auto-Cropping Segmentation and Fuzzy C-Means Classification // *World Applied Sciences Journal.* – 2013. – Vol. 23 – N. 9. – P. 1207–1211.
37. **Petrellis Nikos.** A Smart Phone Image Processing Application for Plant Disease Diagnosis // *6th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST).* – May 04–06. – 2017.
38. **Aleinikov A.F., Barillo D.V.** Opredelenie kachestva produktov s pomoshch'yu smartfona // *Pishcha, ekologiya, kachestvo: tr. XIV mezhdunar. nauch.-prak. Konf. (Novosibirsk, 8–10 noyabrya 2017 g.).* – Novosibirsk: Zolotoi kolos, 2017. – S. 36–40.
39. **Loginov V.** Obzor poleznykh prilozhenii dlya smartfonov i planshetov. – [Elektronnyi resurs]: https://www.dgl.ru/articles/obzor-poleznyh-prilozheniy-dlya-smartfonov-i-planshetov-vse-svoe-noshu-s-soboy_5632.html
41. **Aleinikov A.F., Stepochkin P.I., Grebennikova I.G., Chanyshev D.I., Golyshev D. N.** Programmno-algoritmicheskie sredstva i iskusstvennyye neironnye seti v selektsii rastenii: nauch.-metod. rekom. – Novosibirsk, 2008–26 s.
42. **Chanyshev D.I., Aleinikov A.F.** Prognozirovanie kachestva pishchevogo syr'ya na rannikh stadiyakh ego proizvodstva // *Sib. nauch. vestn.* – 2016. – N 20. – S. 124–127.
43. **Stergiou C., Siganos D.** Neural Networks [Electronic resource]: URL: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html

METHOD OF NON-INVASIVE DETERMINATION OF FUNGAL DISEASES OF COMMON GARDEN STRAWBERRY

A.F. ALEINIKOV^{1,2}, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head Researcher

*¹Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia;*

*²Novosibirsk State Technical University,
20, Karl Marx Ave, Novosibirsk, 630073, Russia
e-mail: fti2009@yandex.ru*

The relevance of early undamaging diagnosis of fungal, viral and bacterial diseases of common garden strawberry is proved. External symptoms of fungal diseases are given. On the basis of literature data, the existing optical methods of early diagnostics of cultivated plants are analyzed. It is established that the methods of pixel calculation of the image in the space of color channels of red, green and blue colors are more preferable than other optical methods for detection of strawberry fungal diseases. This results from the fact that fungal diseases create specific color spots and their distribution on the surface of a plant can be easily identified in the colorimetric CIE Lab system. The work presents a number of approaches to the new method of early diagnostics of common garden strawberry fungal diseases with use of technical means and software developed for the smartphone. Implementation of the method does not require big expenses as it is done in the form of the software application in the smartphone on the basis of the Android operating system. This application will enable to obtain high quality images of a leaf of a plant, it will also provide segmentation and calculation of the quantity and the specific area of color spots on a contour of a leaf. Moreover, it will work with the database of model images of plants with fungal diseases. Classification of fungal diseases and forecasting of their development will be carried out by means of artificial neural network. The proposed method will allow to determine diseases of common garden strawberry leaves, to predict their development and to establish possible borders of distribution on the chosen plantation.

Keywords: common garden strawberry, fungal disease, early diagnostics, smartphone, computer sight, artificial neural network

Поступила в редакцию 02.03.2018