

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039345**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.01.17

(51) Int. Cl. **G06K 9/00** (2006.01)
G01J 3/28 (2006.01)

(21) Номер заявки
201890935

(22) Дата подачи заявки
2016.11.08

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА АЭРОФОТОСНИМКОВ

(31) **62/252,513**

(32) **2015.11.08**

(33) **US**

(43) **2018.11.30**

(86) **PCT/IL2016/051205**

(87) **WO 2017/077543 2017.05.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
АГРОВИНГ ЛТД (IL)

(72) Изобретатель:
Двир Ира, Рабиновиц Бац Ницан (IL)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(56) **US-A1-2014312165**
US-B1-6178253
US-A1-2015186727
US-B1-6567537
US-A1-2015254800
US-A1-2001016053
WO-A1-2014147043
WO-A1-2014147041

(57) Предложен способ и система для получения и анализа мультиспектральных изображений, при этом способ включает запись предварительных мультиспектральных аэрофотоснимков в соответствии с заданными параметрами исследования, с предварительно выбранным разрешением, автоматическое выполнение предварительного анализа на месте или местоположении в поле с использованием крупномасштабного разбиения на пятна записанных изображений в реальном или близком к реальному времени, определение неоднородностей в пределах заданных параметров исследования и представление соответствующих им выходных данных, и определение по результатам предварительного анализа того, следует ли выполнять второй этап получения и анализа изображений с более высоким разрешением, чем предварительно выбранное разрешение. В изобретение также включен способ анализа и идентификации объекта, включающий анализ мультиспектральных изображений с высоким разрешением в соответствии с заданными параметрами объекта, когда обнаружены параметры в пределах заданных параметров объекта, выполнение разбиения на пятна на изображениях, содержащих такие параметры, чтобы идентифицировать пятна, и сравнение объектов, ограниченных этими пятнами, с заданными эталонными параметрами для идентификации объектов, имеющих заданные параметры объекта.

039345 B1

039345 B1

Родственные заявки

Настоящая заявка испрашивает приоритет согласно предварительной заявке на патент США № 62/252 513, поданной 8 ноября, 2015 г.

Область техники

Изобретение относится в целом к получению и анализу изображений и, в частности, к получению и анализу аэрофотоснимков.

Уровень техники

В течение последних десятилетий быстро развивалось авиационное дистанционное зондирование. Дистанционное зондирование используется для различных целей, среди которых цели мониторинга сельскохозяйственной и другой окружающей среды. С быстрым развитием легких летательных аппаратов, таких как радиоуправляемые летательные аппараты, аппараты на воздушной подушке и многие другие типы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в дополнение к доступной цене сверхлегких и легких пилотируемых летательных аппаратов, развивалось дистанционное зондирование, в том числе, получение изображений, и оно доступно даже мелким организациям и фермерам.

Летательные аппараты могут быть управляемыми и пилотируемыми дистанционно. При полете над городом или полем могут быть получены изображения для целей дистанционного зондирования. Полетное задание беспилотных летательных аппаратов, как и пилотируемых аппаратов, оснащенных автопилотом, может быть спланировано заранее для определенных маршрутов в соответствии с целями задания, а также изменено в режиме реального времени, при необходимости.

Программное обеспечение и инструментальные средства NDVI (Normalized Difference of Vegetation Index, нормализованная разность вегетационных индексов), которые являются основным средством дистанционного зондирования в сельском хозяйстве, как и многие инструментальные средства дистанционного зондирования для других целей, помогают организациям и фермерам контролировать состояние окружающей среды и полей/культур. Измерение вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, нормализованный разностный вегетационный индекс) может быть использовано для анализа результатов дистанционного зондирования, как правило, но не обязательно, с космической платформы или летательного аппарата, и оценки того, содержит ли наблюдаемая цель живую естественную растительность.

NDVI и другие инструментальные средства мультиспектрального и гиперспектрального анализа при надлежащем использовании и на основе соответствующего оборудования для получения изображений могут указывать, например, на наличие стай медуз и стай сардин в море, боевых мин неглубоко в земле, наличие металлических предметов на земле, стресс и мощность растительности, сухие/влажные районы, здоровье и болезни лесного хозяйства, наличие вредителей и поголовье скота и т.п. Полученные результаты анализа NDVI и аналогичные инструментальные средства могут быть представлены в виде простого графического показателя (например, растровое изображение).

Однако анализ NDVI и все другие инструментальные средства обычно выполняются в автономном режиме (после сбора данных радиоуправляемым летательным аппаратом/самолетом/спутником), а результирующее изображение или совокупность изображений (ортофотоснимки), которые представляют разные области изображения в разных цветах, доставляются фермеру/пользователю после значительной задержки. Кроме того, для среднего пользователя/фермера выходные изображения этих инструментальных средств не имеют большого значения, поскольку он обычно не является экспертом и не может выполнить необходимые анализы, чтобы полностью понять, что представлено в растровом изображении. Кроме того, в большинстве случаев на основе результатов анализа пользователь отправляется в поле для более пристального рассмотрения, чтобы найти точный характер указанных неоднородностей. Существуют службы, которые анализируют изображения и отправляют отчет фермеру, но обычно эти отчеты подготовлены специалистом-экспертом, который анализирует изображения так же, как врач рассматривает рентгеновскую рентгенограмму, и такие анализы отправляются в тот же день или через несколько дней после получения изображений, и, как указано выше, во многих случаях требуют дополнительного и более детального изучения.

Хорошим примером такой необходимости может служить типичное сельскохозяйственное применение дистанционного зондирования. Если фермеру необходимо провести исследование, чтобы своевременно обнаружить присутствие белокрылок или тлей в культурах, а размер как белокрылок, так и тлей может быть всего 1-2 мм, ясно, что при их поиске невозможно отображать каждый дюйм посевов. Однако могут существовать изменения, которые очевидны в изображениях с низким разрешением (визуальные, гиперспектральные или мультиспектральные изображения), указывающие на то, что определенная область поля, возможно, инфицирована некоторыми не идентифицированными вредителями или болезнями. К сожалению, лучшие спутниковые снимки (например, GeoEye-1) имеют разрешение 1 пиксель на 40 см, что далеко недостаточно для своевременного обнаружения таких вредителей. Аэрофотосъемка с помощью радиоуправляемых летательных аппаратов, например, с 25-миллиметровым объективом на высоте трех метров над землей, может охватывать прямоугольную область 1,6×2,4 м (3,84 квадратных метра). При использовании 10 мегапиксельной камеры, это означает 26 пикселей на квадратный сантиметр. Такие детальные изображения могут обеспечить идентификацию белокрылки, но получение изо-

бражений сотен акров при таком разрешении потребует чрезмерных ресурсов и сделает этот процесс непрактичным.

Соответственно, существует потребность в интеллектуальном способе автоматического анализа и системе поддержки принятия решений, что позволит не только улучшить дистанционное зондирование, но и немедленно или в сжатые сроки предоставить конечным пользователям (организациям/фермерам) результаты анализа и рекомендации, поскольку во многих случаях советы с задержкой могут быть бесполезными, а ущерб от анализа с опозданием может быть необратимым.

Известны компьютерные программы обработки изображений для анализа полученных изображений объекта неизвестной формы и сравнения их с формами в базе данных для идентификации объекта. Метод классификации изображений, основанный на методе глубокой нейронной сети, является одним из наиболее часто используемых методов для этой цели.

В анализе компьютерных изображений известны методы обнаружения пятен для определения в цифровом изображении областей, которые отличаются по свойствам, таким как яркость или цвет, по сравнению с окружающими областями. Неформально пятно представляет собой область изображения, в которой некоторые свойства являются постоянными или приблизительно постоянными; все точки в пятне в каком-то смысле можно считать похожими друг на друга. В методологии разбиения на пятна каждое цифровое изображение состоит из уровней яркости серого, то есть 256 уровней яркости. Каждый пиксель изображения увязывается с одним из этих уровней. В способе разбиения на пятна группируются соседние пиксели одинаковой яркости и представляются на дисплее как дискретный объект или пятно. Другими словами, размер каждого пятна определяется количеством включенных пикселей.

Раскрытие сущности изобретения

В соответствии с настоящим изобретением предложен способ автоматического анализа и система поддержки принятия решений, позволяющая собирать и анализировать данные мультиспектрального изображения, предпочтительно в реальном или близком к реальному времени. В частности, этот способ включает в себя получение исходного изображения и разбиение на пятна в крупном масштабе, составляющем от нескольких сотен до нескольких тысяч пикселей на каждое пятно, для первоначального анализа, чтобы определить, следует ли продолжать получение второго изображения и разбиение на пятна в мелком масштабе, с группированием десятков пикселей на пятно, в соответствии с выбранными критериями, чтобы исследовать неоднородности исходных изображений.

В соответствии с изобретением предложен способ получения и анализа мультиспектральных изображений, который включает в себя запись предварительных мультиспектральных аэрофотоснимков в соответствии с заданными параметрами исследования, с предварительно выбранным разрешением, автоматическое выполнение предварительного анализа на месте или местоположении в поле с использованием крупномасштабного разбиения на пятна записанных изображений в реальном или близком к реальному времени, определение неоднородностей в пределах заданных параметров исследования и представление соответствующих им выходных данных, и определение по результатам предварительного анализа того, следует ли выполнять второй этап получения и анализа изображений с более высоким разрешением, чем предварительно выбранное разрешение.

В соответствии с вариантами реализации изобретения способ также включает в себя увязку данных GPS с обнаруженными неоднородностями, направление устройства для получения изображений в реальном или близком к реальному времени для записи дополнительных изображений по меньшей мере одной из обнаруженных неоднородностей с более высоким разрешением, чем предварительно выбранное разрешение, с использованием связанных данных GPS, и выполнение анализа с использованием мелкомасштабного разбиения на пятна записанных изображений в реальном или близком к реальному времени.

Кроме того, в соответствии с изобретением предложена система для получения и анализа мультиспектральных изображений, которая содержит по меньшей мере одно устройство для записи мультиспектрального изображения, процессор, соединенный с устройством для записи изображения, модуль обработки изображений под управлением процессора, содержащий модуль разбиения на пятна для автоматического анализа записанных изображений путем разбиения на пятна в соответствии с заданными параметрами исследования и обеспечения выходных данных, соответствующих неоднородностям на каждом изображении, вписывающимся в указанные заданные параметры исследования, причем модуль разбиения на пятна способен выполнять как крупномасштабное разбиение на пятна, так и мелкомасштабное разбиение на пятна, и индикатор географического местоположения, приспособленный и выполненный с возможностью обеспечения указания географического местоположения неоднородностей, при этом процессор выполнен с возможностью автоматического определения того, следует ли направлять одно из устройств для записи мультиспектральных изображений в указанное географическое местоположение для записи изображений неоднородностей в ответ на выходные данные.

В соответствии с изобретением также предложен способ анализа и идентификации объекта, включающий анализ мультиспектральных изображений с высоким разрешением в соответствии с заданными параметрами объекта, когда обнаружены параметры в пределах заданных параметров объекта, выполнение разбиения на пятна на изображениях, содержащих такие параметры, чтобы идентифицировать пятна, и сравнение объектов, ограниченных этими пятнами, с заданными эталонными параметрами для иденти-

фикации объектов, имеющих заданные параметры объекта.

Краткое описание чертежей

Настоящее изобретение будет лучше понято и оценено из следующего подробного описания, рассматриваемого в сочетании с графическими материалами, на которых

фиг. 1a представляет пару изображений, снятых с БПЛА, пролетающего над полем насаждений, с использованием подходящих фильтров для получения видимых изображений и изображений в ближней ИК области спектра поля в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения;

фиг. 1b представляет пиксели по фиг. 1a, связанные с выбранными значениями NDVI, наложенные на видимое изображение;

фиг. 1c представляет совокупность наибольших 34 пятен с фиг. 1b, полученных из данной совокупности пикселей;

фиг. 2a представляет пару видимых изображений и изображений в ближней ИК области спектра данного поля насаждений;

фиг. 2b представляет пиксели, связанные с выбранными значениями NDVI, диапазона, полученного из изображений по фиг. 2a;

фиг. 2c представляет совокупность точек, связанных с многоугольниками, имеющими наибольшие значения плотности, с фиг. 2b;

фиг. 3a и 3b иллюстрируют способ, в котором признается обнаружение, согласно одному варианту реализации настоящего изобретения;

фиг. 4a и 4b представляют совокупность обнаруженных SMS вредителей, полученных вследствие выделения мелких пятен, цвета которых ограничены интервалом "близкого" к белому цвета;

фиг. 5a и 5b иллюстрируют высокую корреляцию, отмечающую наличие SMS вредителей;

фиг. 6a, 6b и 6c иллюстрируют отметку обнаружения вредителей, когда критерий корреляции превышает заданное пороговое значение;

фиг. 7a, 7b и 7c иллюстрируют оригинального CMS вредителя, двоичное изображение, полученное вследствие проецирования пикселей наибольших трех пятен оригинального вредителя, и результирующие границы вредителя после обработки, соответственно;

фиг. 8a и 8b иллюстрируют способ обнаружения на базе разбиения пятна CMS;

фиг. 9a представляет типичную кладку (мину) цитрусовой минирующей моли;

фиг. 9b и 9c представляют границы и вычисленные угловые точки изображения по фиг. 9a;

фиг. 10 иллюстрирует использование обработки цветного изображения для усиления цветов в растении, которые связаны с деградацией, и

фиг. 11 представляет иллюстрацию блок-схемы системы, созданной и функционирующей в соответствии с вариантами реализации настоящего изобретения.

Подробное описание сущности изобретения

В настоящем изобретении обеспечен инновационный способ получения и анализа изображений и система поддержки принятия решений, которая обеспечивает лучшее дистанционное зондирование и предоставит конечным пользователям (организациям/фермерам) улучшенное получение изображений, результаты анализа и рекомендации. В частности, способ обеспечивает одно- или двухэтапное получение и анализ мультиспектральных изображений, причем по меньшей мере анализ первого этапа с низким разрешением на большой площади выполняется в реальном или близком к реальному времени. По результатам этого анализа устанавливается, следует ли проводить второй этап получения и анализа мультиспектральных изображений с высоким разрешением на меньшей площади. Анализ может быть выполнен на месте, то есть во время получения каждого изображения или кадра с последующим добавлением географических указаний, или анализ может быть выполнен на геотегированном ортофотоснимке большей площади. Для целей настоящего изобретения анализ в близком к реальному времени для каждого полученного изображения, в частности, при локальном (в поле) анализе, означает не более нескольких секунд (5 с или менее) после сеанса сбора данных, и для создания и анализа геотегированного ортофотоснимка, охватывающего поле в несколько десятков гектаров или более, в режиме близкого к реальному времени означает несколько минут (15 мин или меньше) после сбора данных. Обеспечение процессора на борту летательного аппарата, который записывает мультиспектральные изображения, позволяет анализировать отдельные записанные кадры и идентифицировать представляющие интерес области в режиме реального времени. В соответствии с настоящим изобретением также возможно выполнение такого анализа в реальном времени или близком к реальному времени, если записанные изображения передаются по беспроводной сети к платформе обработки данных (например компьютер) на земле.

Согласно изобретению, анализ изображений с низким разрешением выполняется с использованием разбиения на пятна в крупном масштабе с целью выявления неоднородностей или областей, представляющих интерес. На втором этапе анализа используется разбиение на пятна в мелком масштабе при анализе результатов получения изображений с высоким разрешением, например, для обнаружения и идентификации вредителей. В частности, в изобретении используется получение и анализ мультиспектральных данных, а не только изображений в видимом диапазоне. В соответствии с некоторыми вариантами реализации изобретения определение того, выполнять ли второй этап сбора данных и анализа, произво-

дится автоматически.

Такая автоматическая система поддержки принятия решений будет анализировать полученные изображения, помогать управлению процессом сбора данных, и позволяет получать более подробные изображения отдельных географических областей на основе первоначального анализа предварительно записанных изображений, что позволяет изучать представляющие интерес точки в исследованных областях с разрешением, которое нецелесообразно получать на большей площади. Среди других задач улучшенное получение изображений связано с точным оконтуриванием областей с конкретными заданными свойствами, заранее определенными специалистом, заказавшим исследование, такими как определенный желаемый диапазон значений NDVI или другие критерии.

Настоящее изобретение обеспечивает эффективное решение для автоматического определения областей, связанных с желаемыми значениями NDVI или другими значениями на основе вегетационных индексов, или любыми другими выбранными параметрами, путем обеспечения способа дополнительного эффективного автоматического получения и анализа визуальных и гиперспектральных или мультиспектральных аэрофотоснимков. Это выполняется за счет получения изображений с разрешением, называемым "получение с низким разрешением", достаточным при анализе для обеспечения точного обнаружения пятен, связанные значения которых ограничены требуемым NDVI или другим диапазоном параметров. Это выполняется, как правило, путем автоматического поиска пятен, указывающих на растительность в состоянии какого-либо стресса (например, как показано в значениях NDVI, которые в среднем ниже на 15-20%, чем оптимальное значение NDVI). Стресс может указывать на различные проблемы, касающиеся состояния и здоровья растительности, такие как влагосодержание, мощность, вредители и болезни.

Понятно, что устройство для получения изображений может быть выполнено с возможностью получения мультиспектральных изображений в широкой полосе спектра. В качестве альтернативы или в дополнение, устройство для получения изображений может быть выполнено с возможностью получения изображений во множестве предварительно выбранных полос или цветовых каналов, выбранных в соответствии с объектами, искомыми в исследовании. В любом случае, анализ мультиспектрального изображения будет выполняться с использованием полученных цветовых каналов, выбранных в соответствии с объектами, искомыми в исследовании.

Предпочтительно, в устройстве сбора данных с низким разрешением используется камера с низким искажением, предпочтительно с использованием шарнирного соединения NADIR. Это позволяет обеспечить вид сверху, что минимизирует искажения из-за угла наклона камеры. В качестве альтернативы могут быть использованы другие подходящие устройства для сбора данных с низким разрешением. Предпочтительно устройство для получения изображений оборудовано автоматическим цифровым устройством калибровки, что позволяет обрабатывать отдельно записанные изображения без необходимости в сложном выравнивании цветовых каналов, и избегать необходимости в предварительной обработке, такой как трансформация изображений и коррекция искажений. Примеры подходящего устройства для записи изображений описаны в заявке на патент США № 62/260 272, поданной 26 ноября 2015 г.

Настоящее изобретение позволяет быстро и даже в реальном времени анализировать полученные изображения за счет уникального способа получения изображений и типа файла. Получение мультиспектрального изображения предпочтительно должно выполняться с использованием файла типа (например, JPEG, RAW, TIFF или любого другого формата файла изображения), в то время как мультиспектральные каналы (синий, зеленый, красный, красный край, в ближней ИК области спектра - все или некоторые из них) сохраняются как изображения нескольких каналов рядом друг с другом. Это может быть выполнено наиболее эффективно с использованием нескольких объективов (как описано в заявке на получение изображения, цитируемой выше), используя один датчик, разделенный на отдельные области, хотя изобретение не ограничивается этими примерами. При использовании такой камеры (с несколькими объективами и одним датчиком) различные каналы RGB (Red Green Blue, красный, зеленый, синий) и NIR (Near InfraRed, ближняя ИК область спектра) могут быть сохранены отдельно. Так, например, красный канал может записываться с левой стороны датчика, а канал ближней ИК области спектра может записываться с правой стороны датчика. Кроме того, различные диапазоны зеленого и синего могут быть записаны на разных участках датчика, тогда как все каналы затем сохраняются в одном файле. Такой процесс записи обеспечивает простое разделение до 6 отличных каналов с использованием двух объективов с одним датчиком. Любая сторона может содержать оптимально до трех каналов оттенков красного, зеленого и синего. Такая файловая структура обеспечивает простое и быстрое разделение каналов. Поскольку различные типы красного (650 нм или 710 нм) сохраняются рядом с каналом 850 нм, и таким же образом могут иметься разные узкие синие и зеленые каналы, разделение каналов на RGB и разделение изображения на два (в случае двух объективов), будет создавать все различные каналы. Такой формат файла может представлять собой любой стандартный формат файла RGB, например, JPG, BMP, PNG, TIFF и т.п., тогда как эти файлы ограничены 3 полосами или 3 полосами и гамма-каналом. Поскольку для точного определения представляющих интерес пятен в важных используемых в настоящее время вегетационных индексах используется более двух полос (таких как ARVI - "Atmospherically Resistance Vegetation Index, вегетационный индекс атмосферной устойчивости", в котором используются красно-синий диапа-

зоны и диапазоны в ближней ИК области спектра), такое совместное разделение крайне необходимо для правильной идентификации представляющих интерес пятен.

В настоящем изобретении используются способы обнаружения пятен для обнаружения областей в цифровых изображениях, которые отличаются по свойствам, таким как яркость или цвет, по сравнению с окружающими областями. Такие области или неоднородности указывают на возможные проблемные области, требующие дальнейшего изучения. Обнаружение пятен, связанных с заданными параметрами в обследуемой области, приводит ко второму этапу задания по получению изображений, этапу высокого разрешения. Такое наведение может быть выполнено путем увязки данных GPS с этими пятнами и направления устройства для сбора изображений на БПЛА/радиоуправляемом летательном аппарате/аппарате на воздушной подушке/сверхлегком летательном аппарате и т.п. для получения дополнительных высокодетализированных (более высокого разрешения) изображений представляющих интерес точек (неравномерностей), либо в режиме близкого к реальному времени, реального времени или после обработки. Такое получение подробных изображений может быть выполнено одним и тем же летательным аппаратом и устройством для записи или одним и тем же транспортным средством с использованием другого устройства для записи, или другим летательным аппаратом с устройством записи с более высоким разрешением, или наземным транспортным средством с устройством записи.

После получения высокодетализированных изображений (VIS, гиперспектральных или мультиспектральных изображений) можно анализировать полученные изображения и помогать фермеру в принятии решения о том, какие шаги он должен предпринять, немедленно или в краткосрочной перспективе, или в долгосрочной перспективе. Этот второй этап анализа также выполняется с использованием разбиения на пятна, обычно мелкомасштабного разбиения на пятна.

Другими словами, в настоящем изобретении применен автоматический анализ первых изображений с низким разрешением и последующих изображений с высоким разрешением, чтобы создать полностью автоматическую систему поддержки принятия решений с использованием устройств дистанционного зондирования. Изображения с низким разрешением могут быть получены в результате большой высоты и/или камеры с низким разрешением, и/или короткофокусной аэрофотосъемки. Поскольку более низкое разрешение обеспечивает меньшее количество данных для обработки, сканирование с низким разрешением происходит намного быстрее и эффективнее. Детальные изображения с высоким разрешением могут быть получены путем получения изображений на низкой высоте и/или камеры с высоким разрешением, и/или длиннофокусного получения (переменного фокусного расстояния), или даже получения изображений с земли.

В соответствии с настоящим изобретением для каждого этапа процесса получения изображения используют различные способы, чтобы эффективно использовать устройства записи изображения и выполнять быстрое и практичное сканирование окружающей среды/полей, где это возможно, в режиме реального времени или в близком к реальному времени, наряду с "ориентированием" в изображениях с высоким разрешением на представляющих интерес пятнах и определением, по возможности, точно, их характера в соответствии с заказанным исследованием. В целях для сельского хозяйства, например, в настоящем изобретении реализованы автоматические системы для идентификации вредителей, болезней и мощности растительности, и других аспектов сельскохозяйственных культур.

Важно уточнить, что представляющие интерес пятна определяют заранее, в соответствии с целью конкретного исследования. Если, например, должны быть обнаружены фугасы, то пиксели, отображающие их графическое представление, после соответствующего анализа (с использованием NDVI или любого другого показателя на основе вегетационного индекса или предварительно выбранных параметров) будут определены как представляющие интерес пиксели. Если, например, должен быть обнаружен покров хлопчатника, то пиксели, отображающие белые хлопковые коробочки, будут определены как представляющие интерес пиксели и пятна.

Первый этап одного возможного варианта реализации в соответствии с настоящим изобретением включает в себя получение аэрофотоснимков мультиспектральных изображений с относительно низким разрешением. Такое низкое разрешение может составлять 1 пиксель на 100 квадратных сантиметров (10×10 см) или даже 1 пиксель на квадратный метр или любое другое разрешение, аналогичное записанному спутниками, которое на протяжении многих лет доказывало, что оно адекватно дистанционному зондированию для заказанного исследования. Другими словами, если, например, сельскохозяйственное исследование ориентировано на хлопковый покров, уже известно (как описано в различных публикациях DOA (Министерство Армии США), что получение изображений может осуществляться с высоты нескольких сотен метров с использованием камеры с фокусным расстоянием 50 мм. В таком случае известно, что мультиспектральная камера с четырьмя спектральными полосами (красный, зеленый, синий и ближний инфракрасный) может получить требуемые изображения для представления NDVI.

Второй этап этого примера дистанционного зондирования в сельском хозяйстве, согласно настоящему изобретению, включает в себя анализ, в соответствии с NDVI (и/или одно из инструментальных средств, основанных на нем). Полученные в результате анализа значения могут быть представлены как изображение, в котором представлены области, покрытые хлопчатником, в одном цвете, и не покрытые хлопчатником - в другом цвете. Тот же принцип применяется к большинству сельскохозяйственных ис-

следований, где сухая или нездоровая растительность, или сорняки будут "окрашены" одним цветом, а здоровая растительность будет "окрашена" другим цветом. Эти цветные пиксели просто представляют результаты анализов удобным для пользователя способом, а автоматический анализ использует значения, которые приданы этим пикселям.

Третий этап, согласно настоящему изобретению, включает в себя автоматический подбор пикселей, связанных с заданными параметрами, например значениями NDVI (или любого другого показателя сельскохозяйственного вегетационного индекса) во время анализа изображений в пятнах. Создание таких пятен влечет за собой операцию равномерного квантования, в зависимости от заказанного исследования. В некоторых исследованиях (например, обнаружение белокрылки) незначительное количество пикселей невозможно игнорировать, и даже мелкие пятна имеют значение, в то время как в других исследованиях (например, обнаружение косяка тунцов) важны только крупные пятна. Поскольку NDVI фактически представляет собой синтетическое изображение, то есть каждый пиксель имеет вычисленное значение, взятое из каналов красной и ближней ИК области спектра, перед любым таким созданием пятна отображение NDVI может быть подвергнуто предварительной операции очистки от шумов, позволяющей создавать непрерывные пятна, которые оптимально сохраняют важные особенности полученного изображения.

Этот предварительный анализ используется системным процессором для определения того, требуется ли второй этап получения и анализа изображений, например, если наблюдаются неоднородности и, если их протяженность или размер превышает предварительно выбранное пороговое значение. Если это не так, исследование заканчивается, и эта информация отправляется специалисту, заказавшему исследование. С другой стороны, если будет установлено, что второй этап является оправданным, процессор либо автоматически продолжает исследование, как описано ниже, либо уведомляет специалиста, заказавшего исследование, и ожидает инструкций. В качестве альтернативы анализ изображений после разбиения на пятна может быть выполнен вручную (визуально специалистом), чтобы определить, следует ли перейти ко второму этапу получения.

В случае автоматического получения и анализа четвертый этап включает привязку данных GPS к пятнам, указывающим неоднородности, на которые ориентировано исследование (инфицированные вредителями поля, утечки воды и т.п.). Данные GPS могут быть увязаны с изображениями различными способами. Некоторые камеры снабжены встроенным GPS-датчиком. В других случаях камерами управляют беспроводным способом с помощью рабочего смартфона (как в случае с линзообразной камерой Sony QX1 и камерой Olympus Air A01, которая может добавлять данные GPS с рабочего смартфона или платформы автопилота/обработки данных, прикрепленной к камере). Предпочтительным решением в соответствии с настоящим изобретением, благодаря лучшей точности, является добавление данных GPS от GPS-датчика летательного аппарата, который обычно размещается на верхней части летательного аппарата и подключается к автопилоту или непосредственно к камере (если поддерживается камерой). Синхронизация времени записи изображений и данных GPS имеет большое значение, поскольку летательные аппараты могут быстро перемещаться. Понятно, что каждый кадр может иметь связанные с ним данные GPS, или ортофотоснимок большей области может быть геотегированным.

Другой способ, и самый точный, заключается в создании ортофотоснимка полученных изображений и согласование его с точной картой. Такое согласование, хотя оно медленное и требует довольно объемных вычислений, преодолевает смещение и отклонение из-за искажения объектива, отсутствия спутниковых сигналов и угла наклона транспортного средства при получении изображений.

Пятый этап согласно настоящему изобретению включает в себя автоматическую подготовку к получению высокодетализированных изображений областей, представленных пятнами, представляющими интерес. Устройство для получения изображений (например, бортовая или наземная камера), которая предпочтительно представляет собой мультиспектральную или гиперспектральную камеру, отправляется в географическое местоположение этих пятен, чтобы фиксировать подробные изображения этих местоположений. Некоторыми возможными способами получения высокодетализированных изображений являются использование аппарата на воздушной подушке с низкой высотой полета или вертолета, летящего на высоте нескольких футов/метров над сельскохозяйственной культурой, или отправка наземного робота и/или специалиста для получения изображений с ближайшего возможного расстояния. Другой способ заключается в использовании камеры с более длинным фокусным расстоянием с изменением масштаба изображения. Однако этот метод является довольно дорогостоящим и неэффективным, если требуется гиперспектральное или мультиспектральное высокодетализированное изображение. Точность данных GPS играет важную роль, так как тщательное рассмотрение представляющих интерес пятен может означать, например, получение изображений в виде прямоугольника размером 0,8×1,2 м при 10 мегапикселях, как описано выше.

Следует заметить, что в некоторых исследованиях (например, при обнаружении косяка тунцов) GPS-данные пятна в одном изображении могут быть недостаточными, и траектория должна прогнозироваться на основе ряда последовательных изображений с дополнительным анализом изменений GPS-данных пятен. Такой анализ, рассчитанный с учетом времени обработки и получения, позволит системе следовать за требуемыми, представляющими интерес пятнами, которые не являются неподвижными, и

получать подробные изображения таких пятен в прогнозируемом местоположении.

Шестой этап согласно настоящему изобретению включает автоматическую систематизацию и идентификацию результатов. Систематика или систематическая биология для целей изобретения включает, среди прочего, описание и предоставление классификаций для организмов, ключи для их идентификации и данные об их распределении. Этот этап является довольно сложным этапом, и сам включает несколько подэтапов. Понятно, что автоматическая систематизация и идентификация объектов, описанная ниже, может быть использована для анализа изображений с высоким разрешением, записанных каким-либо образом, а не только с помощью методов автоматического получения изображений и системы, описанных выше.

Во-первых, полученные изображения анализируются в соответствии с типом исследования. Например, идентификация зеленой тли на зеленых листьях сложнее, чем идентификация белокрылки, если полученные изображения имеют только видимый спектр. Тем не менее, добавление изображений в ближней ИК области спектра зеленой тли на зеленых листьях устраняет зеленый камуфляж тли, поскольку зеленая тля не отражает ближний инфракрасный спектр так, как хлорофилл.

Во-вторых, как только обнаружено наличие подозрительных объектов (тли, зеленой тли, червей, кузнечиков и т.п.) фрагменты изображений, содержащие такие объекты, выделяются, как правило, путем вычерчивания прямоугольных квадратов, центрированных в центре масс каждого фрагмента, причем квадраты имеют несколько пикселей в длину. Предпочтительно, чтобы обеспечить лучшую классификацию и идентификацию, каждый фрагмент содержит один объект с минимальным фоновым "шумом". Подозрительные объекты предпочтительно сначала классифицируются путем использования удаленного сервера, содержащего справочную базу данных вредителей, в соответствии с типом исследования. Например, предпочтительный способ классификации вредителей/болезней в сельскохозяйственном исследовании будет включать местоположение, тип культуры и ссылку на банк потенциальных вредителей/болезней, которые имеют отношение к этому конкретному типу культуры. Однако также возможна автоматическая систематизация на платформе для сбора данных. В этом случае платформа для сбора данных будет оснащена внутренней программой, способной идентифицировать вредителя, сравнивая его с небольшим набором данных справочных изображений вредителей, хранящихся в памяти платформы обработки данных. Седьмой этап включает идентификацию подозреваемых (и классифицированных, если они были классифицированы на предыдущем этапе) объектов.

Основополагающий принцип идентификации объектов на этом этапе связан с утверждением о том, что правильное разбиение полученного изображения на изображения ограниченного размера гарантирует с большой вероятностью, что, если подозрительные объекты имеются в детализированном полученном изображении, они, вероятно, будут найдены во фрагментах изображения ограниченного размера.

Размер фрагментов изображений ограниченного размера устанавливается в соответствии с типом исследования, путем сравнения размера изображения с размером пятен, которые, предположительно, представляют объекты, на которые ориентировано исследование. После того как будет подготовлена совокупность таких фрагментов изображений ограниченного размера, которые содержат пятна, процесс идентификации объектов в этой совокупности фрагментов изображений может быть выполнен либо путем отправки совокупности этих фрагментов изображений на удаленный сервер для идентификации, либо путем идентификации объекта на месте посредством активации локального идентификационного кода.

В настоящем изобретении подробно описаны различные способы разбиения изображений и соответствующие методы обнаружения. Обычно выполняется поиск двух типов объектов, объектов, имеющих простую структуру, и объектов, имеющих сложную структуру. Для каждого типа предназначено несколько конкретных методов на основе разбиения изображений.

Восьмой этап, в соответствии с настоящим изобретением, включает отправку результатов анализа адресату (заказчику исследования или поставщику услуг). Результаты включают возможную идентификацию результатов, и они могут также включать рекомендации относительно этапов, которые необходимо выполнить для того, чтобы, например, уничтожить вредителей или потушить пожар, или поставить забор и предупредительные знаки вокруг старых фугасов (в зависимости от исследования). Результаты могут быть отправлены с небольшими фрагментами изображений из облака (Интернет) или даже с летательного аппарата, например, когда платформа обработки данных представляет собой смартфон, оснащенный сотовой связью (например, 3G или 4G). В некоторых возможных вариантах реализации настоящего изобретения фрагменты изображений, местоположение и рекомендации пользователю отправляются через службу обмена мультимедийными сообщениями (MMS) или через службу мгновенного обмена сообщениями (IM), такую как Messenger, WhatsApp, Skype, и т.п.

Подробное описание некоторых из этапов в примерах сельскохозяйственного исследования

Идентификация областей, сопоставленных с конкретными значениями NDVI (и аналогичных показателей)

Предпочтительный процесс будет включать следующие этапы.

1. Запись визуальных и/или гиперспектральных или мультиспектральных изображений из эффективного диапазона (предпочтительно высота от нескольких десятков метров до нескольких сотен метров

и даже больше).

2. Анализ изображений в соответствии с требуемым исследованием (например, сухость, мощность растительности, вредители, болезни и т.п.).

3. Определение представляющих интерес областей в изображениях, которые требуют более подробного изучения путем крупномасштабного разбиения на пятна.

4. Привязка точных данных GPS к представляющим интерес областям.

5. Автоматическое направление одного и того же летательного аппарата или другого транспортного средства с устройством записи изображения в эти области, представляющие интерес, и направление его для получения подробных (более высокого разрешения) изображений в соответствии с типом исследования. Как правило, критериями направления платформы для получения высокой разрешающей способности, будет наличие пятен, которые связаны со значениями NDVI, на 10% или на 20% меньшими оптимального значения NDVI, т.е. индикация "стресса растительности".

Общая цель здесь заключается в том, чтобы автоматически обнаруживать с летательного аппарата изображения с относительно низким разрешением представляющей интерес области, которые связаны с конкретными значениями NDVI (или некоторыми другими инструментальными средствами). Такие представляющие интерес области, могут обычно указывать на стресс/мощность растительности, влажные области, области, покрытые водой, спелые культуры, мощность растительности и т.п. Поскольку отображение NDVI (или другой вегетационный индекс) представляет собой фактически синтетическое изображение, это вызывает чрезвычайно большое количество шумов. Следовательно, может выполняться операция очистки от шумов. В настоящем изобретении предпочтительно используется усовершенствованный алгоритм очистки от шумов, который сохраняет ключевые особенности изображения NDVI. (См., например, "Total Variation Filter" Chambolle 2004). В качестве альтернативы может быть использован любой другой подходящий алгоритм очистки от шумов.

Автоматическое обнаружение таких областей может быть выполнено путем "подбора" в пикселях пятен, которые указывают на отклонение от нормальных значений для требуемого исследования (например, NDVI или EVI, или любой аналогичный показатель), предпочтительно на основе настраиваемого количества и плотности пикселей.

Одним из возможных вариантов реализации процесса с использованием показателя NDVI является следующий.

Входные данные для вычислений представляют собой матрицу значений NDVI в диапазоне от -1 до 1, полученную с помощью мультиспектральной бортовой камеры. Полоса в ближней ИК области спектра и полоса видимого спектра используются для получения значений NDVI, используя формулу $NDVI = (NIR - VIS_{RED}) / (NIR + VIS_{RED})$. Такие полосы NIR и VIS Red могут представлять собой узкие полосы от 20 до 70 нм, причем центр полос составляет 650 и 850 нм.

В одном из возможных вариантов реализации изобретения после применения предварительной операции очистки от шумов на отображении NDVI выполняется поиск пятен, имеющих диапазон требуемых значений NDVI. Пиксели, связанные с требуемыми значениями NDVI, "подбирают", чтобы выявить пятна посредством следующей трехэтапной процедуры:

Этап 1. В предположении, что представляющая интерес область связана с известным диапазоном значений NDVI или другими заранее определенными значениями параметров, алгоритм строит двоичное отображение изображения NDVI, где соответствующие пиксели, связанные с соответствующим диапазоном значений NDVI, установлены равными 1, а остальные пиксели установлены равными 0.

Этап 2. С использованием, например, алгоритма кластерных меток или другого подходящего алгоритма создается совокупность всех возможных пятен (кластеров), связанных с двоичным отображением, полученным на этапе 1. Данный алгоритм основан на алгоритме кластерных меток "Хошена-Копельмана" (1975). В сущности, алгоритм Хошена-Копельмана, который используется в настоящем изобретении, выполняет растровое сканирование двоичного отображения и за один проход находит все пятна в ходе процесса сканирования, и присваивает им текущий индекс.

Также могут быть использованы другие методы построения пятен, такие как различные методы исчерпывающего поиска соседних пикселей, хотя они и влекут вычислительную нагрузку.

Этап 3. Критерий принятия решения для определения данной группы пятен в качестве неоднородности или "области интереса, относящейся к требуемым значениям NDVI", определяется следующим образом:

1. Если количество пикселей, являющихся частью данного одиночного пятна, превышает заданный пороговый параметр.

2. Количество пикселей, являющихся частью совокупности пятен, все из которых ограничены заданным радиусом (из центра масс вышеуказанной совокупности пятен), превышает заданное пороговое значение.

Фиг 1a, 1b и 1c изображают ход выполнения процедуры. Фиг. 1a представляет пару изображений, снятых с БПЛА, пролетающего над полем насаждений, с использованием подходящих фильтров для получения видимых изображений и изображений в ближней ИК области спектра поля. Фиг. 1b представляет пиксели, связанные со значениями NDVI в диапазоне от -0,3 до -0,1 (окрашенные в красный цвет) (за-

данный представляющий интерес диапазон), наложенные на видимое изображение. Эти пиксели отмечают влажные области в поле. Фиг. 1с представляет совокупность из 34 самых больших пятен (каждое пятно, произвольно окрашенное, содержащее количество пикселей, превышающее 200), полученную из этого совокупности пикселей, которая была рассчитана автоматически с использованием алгоритма, описанного выше.

В другом варианте реализации настоящего изобретения обнаружение областей, связанных с предварительно выбранными значениями NDVI, осуществляется посредством следующей процедуры.

Двоичное отображение пикселей, связанных с требуемыми значениями NDVI, разбивается на многоугольники с равными площадями, и вычисляется плотность каждого многоугольника. Затем выбираются многоугольники с большой плотностью для представления центров областей, связанных с требуемыми значениями NDVI.

Фиг. 2а, 2б и 2с представляют ход выполнения процедуры. Фиг. 2а представляет пару видимых изображений и изображений в ближней ИК области спектра данного поля насаждений. Фиг. 2б представляет пиксели, связанные со значениями NDVI в диапазоне от 0,75 до 0,9 (заданный представляющий интерес диапазон), полученные из изображений на фиг. 2а. Фиг. 2с представляет совокупность точек (отмеченных белым цветом), связанных с многоугольниками (фактически блоками размером 4×4), имеющими самые высокие значения плотности. Красные точки левого изображения отображают совокупность всех пикселей, значения NDVI которых находятся в диапазоне от 0,75 до 0,9.

Описанный выше способ может быть реализован посредством системы 10 для получения и анализа мультиспектральных изображений, схематически показанной на фиг. 11. Система 10 содержит по меньшей мере одно устройство 12 записи мультиспектральных изображений и процессор 14, соединенный с устройством записи изображений 12. Предпочтительно процессор имеет двустороннюю связь с пользователем 20 для обмена данными и инструкциями. Процессор управляет модулем 16 обработки изображений, содержащим модуль 18 разбиения на пятна, для автоматического анализа записанных изображений путем разбиения на пятна в соответствии с заранее определенными параметрами исследования, и обеспечения выходных данных, соответствующих неоднородностям на каждом изображении, вписывающимся в заранее определенные параметры исследования. Как описано выше, эти выходные данные могут быть использованы процессором 14 или представлены пользователю 20. Модуль 18 разбиения на пятна может осуществлять как крупномасштабное разбиение на пятна, так и мелкомасштабное разбиение на пятна. Система дополнительно содержит индикатор 22 географического местоположения, приспособленный и выполненный с возможностью обеспечения указания географического местоположения неоднородностей. Хотя индикатор 22 географического местоположения проиллюстрирован в этом варианте реализации как отдельный блок, в соответствии с другими вариантами реализации изобретения он может быть частью устройства 12 записи изображений. Процессор дополнительно выполнен с возможностью автоматического определения того, следует ли направлять одно из устройств записи мультиспектральных изображений в указанное географическое местоположение для записи изображений неоднородностей в ответ на выходные данные.

Настоящее изобретение также относится к способу идентификации объектов на мультиспектральных изображениях. Способ включает анализ мультиспектральных изображений с высоким разрешением в соответствии с заданными параметрами объекта и, когда найдены параметры в пределах заданных параметров объекта, выполнение разбиения на пятна на изображениях, содержащих такие параметры, для идентификации пятен. Объекты, ограниченные этими пятнами, сравниваются с заданными справочными параметрами для идентификации объектов, имеющих заданные параметры объекта. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения перед сравнением объекты классифицируются. Ряд не имеющих ограничительного характера примеров использования этого способа заключается в следующем.

Автоматическая идентификация объектов простой морфологии

Некоторые объекты, выбранные для идентификации, обладают свойством очень простой морфологии (формы и структуры) (далее "SMS, Simple Morphology Structure" - "структура с простой морфологией"), как правило, в виде мелкого пятна. Один полезный метод обнаружения объектов SMS связан с вычислением совокупности очень мелких пятен (от 1 до 15 пикселей), выделением небольшого изображения вокруг каждого мелкого пятна и поиском выбранного объекта на этом изображении. Как правило, такой поиск включает в себя активацию внутренней программы сравнения шаблонов между мелкими пятнами и справочными шаблонами.

Одним из важных вариантов реализации обнаружения объектов SMS является его применение для обнаружения мелких вредителей. Изображения вредителей SMS обычно имеют форму "мелкого пятна", границы которого могут быть приближенно выражены формой эллипса.

Компьютеризированная идентификация вредителей SMS в инфицированных областях основана на следующих предположениях, основанных на наблюдении:

а. Изображения SMS являются геометрически значимыми, обладающими эллипсовидной формой и, как правило, цветовой контраст вредителя SMS относительно его окружения очень резкий.

б. Видимая морфология инфицированного растения, содержит высокую концентрацию "пятен" - вредителей SMS - по сравнению с неинфицированным растением. Таким образом, инфицированное рас-

тение можно отличить от неинфицированного растения, сравнивая "концентрацию пятен" посредством подходящего инструментального средства для обработки изображений.

В настоящем изобретении используются способы автоматического обнаружения вредителей SMS на основе преобразования описанных выше предположений на основе наблюдений в эффективные алгоритмы.

В одном варианте реализации алгоритма этих наблюдений, полученное изображение (видимое изображение или изображение в ближней ИК области спектра, или изображение NDVI, или любое разделение каналов, такое как СМΥΚ (голубой, пурпурный, желтый и черный)), сначала преобразуется в полутоновое изображение, а затем подвергается разбиению на основе пятен по уровню серого. В зависимости от качества изображения, эффективное разбиение на пятна обычно влечет за собой операцию равномерного квантования. Для большинства вариантов применения обычно достаточно 32 значений 25 уровней серого. Двоичное отображение каждого из значений уровня серого подвергается обработке с помощью описанного выше алгоритма кластерных меток Хошена-Копельмана, и, наконец, создается и сохраняется совокупность всех возможных пятен, состоящих из всех значений уровня серого.

Из этой совокупности вычисленных пятен выделяют только мелкие пятна, имеющие размер, меньший порогового количества пикселей (как правило, но, не ограничиваясь этим, размером менее 10 пикселей).

Изображение разбивается на несколько фрагментов изображений равного размера. В каждом фрагменте изображения подсчитывается количество мелких пятен, созданных описанным выше способом. Обнаружение наличия вредителей SMS признается, если количество мелких пятен в данном проценте фрагментов изображений превышает заданное откалиброванное пороговое значение. Такая настройка порогового значения может быть установлена в соответствии с политикой сельскохозяйственного опрыскивания.

В другом варианте реализации алгоритма согласно настоящему изобретению изображение преобразуется в полутоновое изображение и подвергается разбиению на пятна по уровню серого с использованием того же способа, описанного выше. Из совокупности подвергнутых разбиению на пятна выбираются пятна, имеющие очень малый размер (как правило, но не ограничиваясь этим, размером менее 10 пикселей), и регистрируются их центры масс.

Все фрагменты изображений вокруг каждого зарегистрированного центра масс (с длиной от радиуса 15 до, как правило, но, не ограничиваясь этим, менее 50 пикселей) выделяются и сравниваются со справочными изображениями вредителей SMS, обычно имеющими эллиптическую форму, хранящимися в памяти, используя оператор корреляции или запрограммированную функцию классификатора глубокой нейронной сети. Если корреляция превышает заданное пороговое значение, и/или отмечена успешная классификация, признается обнаружение. Фиг. 3а и 3б демонстрируют ход выполнения данного способа. Два полутоновых изображения отображают инфицированное хлопковое поле. Совокупность красных точек, наложенных на изображение на фиг. 3а, показывает центры масс всех мелких пятен, количество пикселей которых меньше 50, что вычислено по способу, описанному выше. В этом примере полутоновое изображение было уменьшено до 32 уровней. Небольшие изображения размером 16×16 пикселей вокруг каждой из этих точек выделялись и сравнивались со справочными изображениями с использованием оператора корреляции. Совокупность красных точек, наложенных на изображение на фиг. 3б, отображает все фрагменты изображений, найденные оператором корреляции.

В другом варианте реализации алгоритма выбор мелких пятен ограничен совокупностью пятен, имеющих цвет, близкий к эталонному цвету, который, как правило, характеризует вредителей SMS, о которых идет речь. В настоящем изобретении расстояние между двумя данными цветами RGB определяется следующим образом:

$$\text{Если } X1 = \{R1, G1, B1\} \text{ и } X2 = \{R2, G2, B2\}$$

то

$$\text{Расстояние } [X1, X2] = \text{Max}\{\text{Abs}[R1-R2], \text{Abs}[G1-G2], \text{Abs}[B1-B2]\};$$

Фиг. 4а и 4б представляют ход выполнения этой процедуры. Фиг. 4а представляет лист, содержащий совокупность вредителей SMS (белый цвет). Фиг. 4б представляет совокупность обнаруженных вредителей SMS (обозначенных пурпурными точками, наложенными на изображение на фиг. 4а) в результате выделения мелких пятен, цвета которых ограничены расстоянием "близко" в определенном выше смысле (в этом примере, меньше, чем 40 единиц цветности) к белому цвету. Понятно, что цвет, выбранный для обозначения вредителей в отображении, сам по себе не имеет смысла, и отображение может быть любого выбранного цвета.

В другом варианте реализации алгоритма анализа обнаружение вредителей SMS выполняется с использованием следующего способа. Полученное полутоновое изображение видимого изображения разбивается на несколько, например, четыре, очень похожие неперекрывающиеся изображения, путем формирования построчного и постолбцового оператора чередования, в результате чего образуются четыре фрагмента изображений, объединение которых точно охватывает исходное изображение. Здесь предполагается, что исходное полутоновое изображение помечено как X, а X1, X2, X3 и X4 являются результи-

рующими фрагментами изображений вследствие применения оператора чередования.

Определение изображения А ("изображения ускорения Х") как: $A=(X1+X4-2*X3)$; дает изображение А, которое усиливает контрасты. Заявлено, что выделение из А совокупности предварительно выбранного количества пикселей, имеющих самые высокие значения яркости, дает совокупность пикселей, которая с очень высокой вероятностью включает вредителей SMS. Небольшие фрагменты изображения вокруг совокупности вычисленных пикселей высокого значения выделяются, а их содержимое сравнивается со справочными изображениями вредителей SMS, хранящимися в памяти. Высокая корреляция будет указывать на наличие вредителей SMS. Фиг. 5а и 5b иллюстрируют этот принцип. Фиг. 5а представляет инфицированный лист, содержащий вредителей SMS, а фиг. 5b представляет совокупность красных точек, наложенных на фиг. 5а. Красные точки представляют собой точки, созданные описанным выше способом, для которых коррелятор идентифицировал соответствующие выделенные небольшие фрагменты изображений как содержащие вредителей SMS.

В другом варианте реализации указанного принципа алгоритма обнаружение вредителей SMS выполняется с использованием следующего способа. Уровень серого видимого изображения или изображения в ближней ИК области спектра обрабатывается с помощью оператора обнаружения края. Из результирующего изображения обнаруженного края выбирается совокупность пикселей, значения интенсивности которых превышают заданное пороговое значение.

Выделяются небольшие фрагменты изображений вокруг этих пикселей, и их содержимое сравнивается с известными справочными изображениями с использованием метода корреляции. Если показатель корреляции превышает заданное пороговое значение, то будет отмечено обнаружение вредителей. Фиг. 6а, 6b и 6с иллюстрируют этот принцип. Фиг. 6а представляет лист, содержащий вредителей SMS (окрашены в белый цвет), фиг. 6b представляет применение обнаружения края, показанное на фиг. 6а, и фиг. 6с представляет совокупность точек (желтых), наложенных на фиг. 6а, что является результатом выделения соответствующих точек из фиг. 6b в соответствии с описанным способом.

В другом варианте реализации указанного принципа алгоритма обнаружение вредителей SMS выполняется с использованием следующего способа. Уровень серого видимого изображения или изображения в ближней ИК области спектра претерпевает двоичную пороговую операцию. Пороговый уровень вычисляется следующим образом: начиная с очень высокого порогового значения (темный кадр) пороговый уровень постепенно уменьшается, так что, если количество белых точек (в результате пороговой операции) превышает заданный уровень, то признается желаемый порог.

Из результирующего изображения выбирается совокупность пикселей, значения интенсивности которых превышают указанное заданное пороговое значение. Выделяются небольшие фрагменты изображений вокруг этих пикселей, и их содержимое сравнивается с известными справочными изображениями с использованием метода корреляции. Если показатель корреляции превышает заданное пороговое значение, то будет отмечено обнаружение вредителей.

Автоматическая идентификация объектов сложной морфологии

Некоторые объекты, идентификация которых требуется, обладают сложной структурой (complex structure, далее CMS). Общий метод обнаружения объектов CMS включает разбиение изображения на пятна, имеющие умеренный размер, в зависимости от конкретной требуемой морфологии объекта. Заявлено, что, если объекты CMS имеются в полученном изображении, они, с большой вероятностью, будут найдены в нескольких изображениях, окружающих такие пятна умеренного размера, как правило, путем передачи этих довольно небольших изображений (обычно ограниченных лишь несколькими десятками пикселей) на удаленный сервер для идентификации, предпочтительно, но не ограничиваясь этим, с использованием метода глубокой нейронной сети. Другой вариант идентификации заключается в активации внутреннего кода (например, описанного ниже), способного идентифицировать объект.

Далее описаны несколько способов идентификации вредителей CMS.

Примерами вредителей CMS являются муха, кузнечик, насекомые и т.п. Наблюдение структур этих вредителей отображает очень сложную морфологию, обнаружение которой обычно требует сложного кода сравнения.

В одном варианте реализации способа обнаружения CMS вредителей полученное изображение (не обязательно видимое и/или в ближней ИК области спектра, и/или NDVI, и/или другое изображение на основе вегетационного индекса) сначала подвергается преобразованию уровня серого и выравниванию гистограммы. Затем изображение подвергается разбиению на пятна с использованием описанного выше алгоритма кластерных меток Хошена-Копельмана.

Выбираются пятна, имеющие количество пикселей от среднего до большого, и выбираются фрагменты изображений, окружающие центры масс этих пятен, имеющие радиус, меньший, чем заданный уровень (как правило, но, не ограничиваясь этим, 32 пикселя).

Каждое из выбранных фрагментов изображений подвергается дополнительному разбиению на пятна, предпочтительно используя 4 значения уровня серого. В качестве альтернативы может быть использовано другое количество значений интенсивности. Вычисленные пятна располагаются с учетом их размера в пикселях. Выделяется выбранное количество, например, первые три крупных пятна, и создается двоичное изображение, содержащее связанные пиксели. В случае если вредитель "записан" в указанном

выделенном фрагменте изображения, и с целью определения морфологических границ, к двоичному отображению, содержащему крупные пятна, применяются два двоичных оператора морфологии: двоичный оператор дилатации и двоичный оператор эрозии. Наконец, вычисляется разность между дилатированным и эродированным изображениями, в результате получается изображение, которое приблизительно фиксирует границы морфологии вредителей.

Фиг. 7a, 7b и 7c демонстрируют ход выполнения данного алгоритма. Каждое изображение на фиг. 7a отображает оригинального вредителя CMS. Каждое изображение на фиг. 7b представляет двоичное изображение, полученное в результате проекции пикселей из трех самых крупных пятен соответствующего изображения на фиг. 7a. Каждое изображение на фиг. 7c представляет результирующие границы соответствующего вредителя по фиг. 7a после применения двоичных операторов эрозии и дилатации. Полученные изображения на фиг. 7c затем сравнивают с изображениями аналогичного типа, например с границами вредителей CMS, с использованием процедуры корреляции и/или процедуры классификации с использованием глубокой нейронной сети или другого метода машинного зрения, такого как прогнозатор и классификатор.

В другом варианте реализации способа обнаружения на основе разбиения на пятна CMS уровень серого видимого изображения или изображения в ближней ИК области спектра, или изображения NDVI, или другого вегетационного индекса подвергается разбиению на пятна (предпочтительно, но, не ограничиваясь этим, 4 уровня интенсивности), и выделяются пятна, имеющие выбранный размер пикселей, например, от 50 до 300 пикселей. Изображение, окружающее каждое такое пятно, выделяется и отправляется на удаленный сервер для классификации по подходящей категории вредителей CMS, используя метод глубокой нейронной сети или другой метод машинного зрения, такой как прогнозатор и классификатор, по сравнению с большим набором данных изображений вредителей, которые использовались в качестве учебной совокупности для классификации вредителей. Фиг. 8a и 8b иллюстрируют этот принцип. Фиг. 8a изображает лист, инфицированный тлей CMS, а фиг. 8b представляет совокупность пятен, размеры которых составляют от 100 до 200 пикселей. Соответствие между вредителями и выделенными пятнами является значимым.

Автоматическая косвенная идентификация объектов

В некоторых случаях, в частности в случае автоматической идентификации вредителей, наличие вредителя может быть обнаружено благодаря его уникальному воздействию на окружение. Другими словами, бывает трудно или невозможно уловить настоящего вредителя в полученных изображениях, но о наличии вредителя можно сделать вывод по состоянию растения. Два таких случая, из многих таких ситуаций, представлены ниже с помощью не имеющих ограничительного характера примеров.

Одним из хороших примеров может служить вредитель, известный как "цитрусовая минирующая моль". Наличие "извилистых" кладок, характерных для этого вредителя, обычно обнаруживается на поверхности листа. Таким образом, обнаружение такой кладки служит доказательством наличия этого вредителя. В настоящем изобретении представлены два алгоритмических метода идентификации этого вредителя:

А. Использование способа автоматической идентификации сложной морфологической структуры, как описано в предыдущем разделе, в котором выделяются изображения вокруг пятен, имеющих относительно большое количество пикселей (обычно от 100 до 700), и содержимое этого изображения сравнивается с различными справочными изображениями, содержащими цитрусовую минирующую моль.

В. Конкретный алгоритм обнаружения цитрусовой минирующей моли описывается следующим образом: Выделяются изображения пятен, имеющих относительно большое количество пикселей. Вычисляются границы вероятных объектов, находящихся на этих изображениях. На каком-либо таком изображении применяется фильтр угла изображения (Image Corner Filter), и подсчитывается количество вычисляемых координат углов. Если количество координат углов превышает заданное пороговое значение, признается обнаружение цитрусовой минирующей моли.

Фиг. 9a, 9b и 9c иллюстрируют этот принцип: фиг. 9a представляет типичную кладку цитрусовой минирующей моли (в окружении желтого цвета), фиг. 9b представляет ее границы, а фиг. 9c представляет результирующие угловые точки, полученные в результате применения фильтра угла (нижняя фигура). Очевидно, существует довольно большое количество таких точек, что указывает на наличие кладки.

Понятно, что внешний вид объекта относительно его фона отличается при рассмотрении в разных спектральных полосах. Согласно вариантам реализации настоящего изобретения это явление может быть использовано для улучшения выделения и идентификации различных объектов, представляющих интерес. Например, мультиспектральное изображение с высоким разрешением может сначала подвергаться обработке цветного изображения, чтобы усилить и выделить внешний вид искомого объекта из остальных объектов изображения. Такая обработка может включать в себя объединение некоторых из исходных мультиспектральных видимых полос и некоторых каналов из цветового пространства CMYK (Cyan Magenta Yellow Key (Black), голубой, пурпурный, желтый и (черный) основные цвета) и/или цветового пространства HLS (Hue Lightness Saturation, оттенок-освещенность-насыщенность), и/или любого другого цветового пространства или пространств. Использование мультиспектральных узких полос в этом изобретении в различных комбинациях между отдельными полосами из цветового пространства RGB,

цветового пространства CMYK, цветового пространства HSL и, возможно, других цветовых пространств, позволяет улучшить выделение искомого объекта из окружающего фона.

После того, как индивидуальный характер внешнего вида заболевания или другой объект исследуется в различных цветовых каналах и матрицах, выбирается арифметическое вычисление, которое усиливает этот вид. Такие комбинации полос могут быть осуществлены с использованием различных средств обработки изображений, таких как Image Difference (дифференцирование изображений), Add<Subtract (сложение<вычитание), Lightest/Darkest (самые светлые/темные) пиксели, настройка изображения и т.п. Такая комбинация может быть выполнена между двумя каналами/матрицами или более, в зависимости от внешнего вида объекта в различных матрицах. Это дает гораздо лучшее выделение объектов из фонового цвета, чем использование только цветового пространства RGB. Дополнительное выделение искомого объекта, как правило, может быть достигнуто путем включения определенной красной полосы 650 нм мультиспектрального спектра. В этом случае ярко выраженный белый цвет указывает на обнаружение объекта. Выполнение перекрестного обнаружения различных цветовых комбинаций может улучшить обнаружение. Различные цветовые комбинации, как описано выше, могут быть предварительно выбраны и приспособлены к конкретным видам вредителей, что увеличивает шансы обнаружения вредителей.

Другой важный пример автоматической косвенной идентификации вредителей в соответствии с этими вариантами реализации настоящего изобретения представлен здесь со ссылкой на явления деградации растений. Деградация растений относится к симптомам воздействия на растения в ответ на инфицирование патогенным организмом. Обычно это связано с коричневым цветом и высыханием листьев. В соответствии с настоящим изобретением автоматический поиск деградации выполняется с использованием полученного мультиспектрального изображения с высоким разрешением. Полученное изображение сначала подвергается цветовой обработке, как описано выше, для усиления и выделения внешнего вида деградации из других объектов изображения. Использование различных комбинаций между отдельными узкими полосами из цветового пространства RGB, цветового пространства CMYK, цветового пространства HST и, возможно, других цветовых пространств, позволяет по существу выделить инфицированные деградирующие листья из окружающего фона. Обычно это зеленая часть листа или коричневый цвет почвы.

Успешная обработка цветного изображения обычно очень четко демонстрирует деградирующую часть, обычно с двумя (или более) ярко выраженными доминирующими цветами. Для удобства их называют основным цветом и дополнительным цветом. Эти значения цвета зависят от выполняемой конкретной обработки цветного изображения. Фиг. 10 иллюстрирует данный пример. Здесь обработка цветного изображения заключалась в том, чтобы установить различие изображений между визуальным изображением, состоящим из каналов RGB, и пурпурным каналом, связанным с цветом CMYK изображения. Лист в центре ясно отображает два цвета - коричневый и пурпурный. Алгоритм автоматического обнаружения деградации сначала выделяет все пиксели, связанные с основным цветом, и применяет разбиение на пятна к этой совокупности. Пятна, имеющие пиксели, связанные с дополнительным цветом в непосредственной близости, признаются связанными с деградацией.

Хотя этот принцип обработки цветного изображения приведен выше со ссылкой на деградацию, должно быть понятно, что его можно использовать во многих различных вариантах применения, либо при поиске различных типов вредителей или болезней, либо мониторинге совершенно других объектов. Важными этапами являются запись мультиспектральных изображений и, после разбиения на пятна, выполнение разделения изображений на различные цветовые пространства и перекрестное обнаружение выбранных цветовых каналов, чтобы привести к выделению искомого объекта из остальной части изображения.

Понятно, что, хотя настоящее изобретение было приведено выше в качестве примера в отношении сельскохозяйственных исследований, оно также применимо ко многим другим ситуациям, в которых необходимо сканировать область на суше или на море, чтобы выявлять местные неоднородности для дополнительного исследования, например, поиск косяков рыб или фугасов, или других неоднородностей поверхности на местах.

Хотя изобретение было описано в отношении ограниченного числа вариантов реализации, должно быть понятно, что может быть выполнено множество вариантов, изменений и других вариантов применения настоящего изобретения. Также должно быть понятно, что изобретение не ограничено приведенным выше просто в качестве примера описанием. Напротив, изобретение ограничено только следующими пунктами формулы изобретения.

Список цитированной литературы

J. Hoshen and R. Kopelman (1976). "Percolation and Cluster Distribution".
Phys. Rev. B. 1(14): 3438-3445

<http://ipe.oxfordjournals.org/content/1/1/9.full>

Дистанционное зондирование изображений в картографии
растительности: обзор

Ссылка на Министерство сельского хозяйства США относительно
дистанционного зондирования и спектральных диапазонов.

www.mdpi.com/2f2072-4292/2F6%2F6%2P5257%2Fpdf&usg=AFQiCNErQY£2iPKfPKwtJYLnXXfB0jWN5KA&sig2=9bMbgR.XFMNgmqlrr2TWqA

An Airborne Multi-spectral Imaging System
Based on Two Consumer-Grade Cameras for Agricultural Remote Sensing

" Систематическая биология (далее называемая просто систематикой) (а) предоставляет научные названия для организмов, (б) описывает их, (в) сохраняет их коллекции, (г) предоставляет классификации для организмов, ключи для их идентификации и данные об их распределении, (е) исследует их эволюционные истории и (ф) рассматривает их адаптацию к окружающей среде."

*** Wikipedia - Systematics

Изображения БПЛА, как описано в US DO A, в лучшем случае используют только пиксель на 0,1 м (10 см), что на 12,5 меньше разрешения, чем описанный выше сценарий, в то время как использование 50-миллиметрового объектива в вышеупомянутом сценарии приведет к трехмбетровой высоте с разрешением x50 по сравнению с лучшим разрешением исследования DOA - более 100 пикселей на квадратный сантиметр!

Чувствительные поля в таком разрешении позволяют идентифицировать тип вредителя и даже дистанционную дифференциацию между тлями и мухами.

Chambolle, A. (2004). "An algorithm for total variation minimization and applications". Journal of Mathematical Imaging and Vision. 20: 89-97.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения и анализа мультиспектральных изображений, содержащий получение мультиспектральных аэрофотоснимков в соответствии с предварительно заданными параметрами исследования с предварительно выбранным разрешением;

автоматическое выполнение предварительного анализа полученных изображений в соответствии с предварительно заданными параметрами исследования и с использованием крупномасштабного разбиения на пятна полученных изображений, содержащих такие параметры исследования, чтобы идентифицировать пятна, в реальном или близком к реальному времени;

определение неоднородностей в анализируемых данных изображения в соответствии с предварительно заданными параметрами исследования и обеспечение соответствующих им выходных данных;

соотнесение данных GPS с обнаруженными неоднородностями и

автоматическое определение по указанным выходным данным того, следует ли выполнять второй этап получения изображений с более высоким разрешением, чем предварительно выбранное разрешение, и анализ с использованием мелкомасштабного разбиения на пятна.

2. Способ по п.1, также включающий

направление устройства для получения изображений для записи дополнительных мультиспектральных изображений по меньшей мере одной из указанных обнаруженных неоднородностей при более высоком разрешении, чем предварительно выбранное разрешение, с использованием соотнесенных данных GPS и

выполнение анализа с использованием мелкомасштабного разбиения на пятна дополнительных мультиспектральных изображений в реальном или близком к реальному времени.

3. Способ по п.2, в котором этап направления включает автоматическое направление устройства для

получения изображений.

4. Способ по п.1 или 2, в котором этап определения включает построение двоичного отображения изображения, где соответствующие пиксели, связанные с предварительно заданным диапазоном значений параметров, установлены равными 1, а остальные пиксели установлены равными 0;

создание совокупности всех возможных пятен, связанных с двоичным отображением, путем растрового сканирования двоичного отображения, обнаружение пятен во время процесса сканирования и присвоение им текущего индекса;

определение групп пятен в качестве неоднородности, когда:

а) количество пикселей, принадлежащих некоторому заданному одиночному пятну, превышает предварительно заданный пороговый параметр или

б) количество пикселей, принадлежащих совокупности пятен, все из которых ограничены некоторым заданным радиусом (из центра масс совокупности пятен), превышает заданное пороговое значение.

5. Способ по п.2, также включающий сравнение морфологии по меньшей мере одной из указанных обнаруженных неоднородностей с морфологией известных объектов.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором указанные мультиспектральные изображения содержат по меньшей мере два изображения, выбранные из группы, включающей видимые изображения и изображения в ближней ИК области спектра.

7. Система для получения и анализа мультиспектральных изображений, содержащая

по меньшей мере одно устройство для получения мультиспектральных изображений;

процессор, соединенный с указанным устройством для получения изображений;

причем процессор управляет модулем обработки изображений, содержащим модуль разбиения на пятна, для автоматического анализа полученных изображений путем разбиения на пятна в соответствии с заранее определенными параметрами исследования и обеспечения выходных данных, соответствующих неоднородностям на каждом изображении, вписывающимся в заранее определенные параметры исследования;

при этом модуль разбиения на пятна может осуществлять как крупномасштабное разбиение на пятна, так и мелкомасштабное разбиение на пятна, и

индикатор географического местоположения, приспособленный и выполненный с возможностью обеспечения указания географического местоположения неоднородностей;

при этом процессор выполнен с возможностью автоматического определения того, следует ли направлять по меньшей мере одно из устройств получения мультиспектральных изображений в указанное географическое местоположение для получения изображений указанных неоднородностей в ответ на указанные выходные данные.

8. Система по п.7, в которой процессор имеет двустороннюю связь с пользователем для обмена данными и инструкциями.

9. Способ идентификации объектов в мультиспектральных изображениях, полученных способом по любому из пп.1-6, содержащий

анализ мультиспектральных изображений с высоким разрешением в соответствии с предварительно заданными параметрами объекта;

когда обнаружены параметры в пределах заданных параметров объекта, выполнение разбиения на пятна на указанных изображениях, содержащих такие параметры, чтобы идентифицировать пятна;

сравнение объектов, ограниченных указанными пятнами, с предварительно заданными эталонными параметрами для идентификации объектов, имеющих указанные параметры объекта.

10. Способ по п.9, также включающий классификацию указанных объектов перед этапом сравнения.

11. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий разбиение полученных изображений на совокупность фрагментов изображений ограниченного размера в соответствии с типом исследования,

сопоставление размера изображений с размером пятен и

идентификацию объектов в совокупности фрагментов изображений с помощью одного из действий:

отправки совокупности указанных фрагментов изображений на удаленный сервер для идентификации или

идентификации объекта на месте посредством активации локального идентификационного кода.

12. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий активацию внутренней программы сопоставления шаблонов между пятнами и справочными шаблонами для обнаружения выбранного объекта со структурой с простой морфологией (SMS) в изображении.

13. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

преобразование изображения в полутоновое изображение, которое подвергают разбиению на основе пятен по уровню серого;

обработку двоичного отображения каждого из значений уровня серого с помощью алгоритма кластерных меток Хошена-Копельмана и создание и сохранение совокупности всех возможных пятен, со-

стоящих из всех значений уровня серого;

выделение из указанной совокупности вычисленных пятен только мелких пятен, имеющих размер, меньший предварительно заданного порогового количества пикселей;

разбиение изображения на несколько фрагментов изображений равного размера;

подсчет количества мелких пятен в каждом фрагменте изображения;

заявление об обнаружении наличия вредителей простой морфологической структуры, если количество мелких пятен в некотором заданном проценте фрагментов изображений превышает предварительно заданное откалиброванное пороговое значение.

14. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

преобразование указанного изображения в полутоновое изображение, которое подвергают разбиению на пятна по уровню серого;

выбор из совокупности пятен, подвергнутых разбиению, пятен, имеющих предварительно заданный очень мелкий размер и регистрацию их центров масс;

выделение фрагментов изображений вокруг каждого зарегистрированного центра масс и

сравнение выделенных фрагментов изображений со справочными изображениями вредителей простой морфологической структуры с использованием метода машинного зрения, и

заявление об обнаружении наличия вредителей простой морфологической структуры, если корреляция превышает предварительно заданное пороговое значение, и/или отмечена успешная классификация.

15. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

выполнение разбиения на пятна мультиспектральных изображений;

выбор мелких пятен, имеющих цвет, близкий к предварительно выбранному эталонному цвету, который как правило характеризует вредителей простой морфологической структуры,

причем расстояние между двумя некоторыми заданными цветами RGB определяют следующим образом:

если $X1=\{R1,G1,B1\}$ и $X2=\{R2,G2,B2\}$, то

Расстояние $[X1,X2]=\text{Max}\{\text{Abs}[R1-R2], \text{Abs}[G1-G2], \text{Abs}[B1-B2]\}$.

16. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

разбиение полученного полутонового изображения X видимого изображения на несколько очень похожих неперекрывающихся изображений путем формирования построчного и постолбцового оператора чередования, в результате чего образуются четыре фрагмента изображений $X1$, $X2$, $X3$ и $X4$, объединение которых точно охватывает исходное изображение;

определение изображения A как изображения ускорения X : $A=(X1+X4-2*X3)$; дает изображение A , которое усиливает контрасты;

выделение из A совокупности предварительно выбранного количества пикселей, имеющих самые высокие значения яркости для получения совокупности пикселей;

выделение небольших фрагментов изображений вокруг совокупности вычисленных пикселей с высоким значением и

сравнение их содержимого со справочными изображениями вредителей простой морфологической структуры, хранящимися в памяти, и

отметку наличия вредителей простой морфологической структуры, если имеется высокая корреляция.

17. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

преобразование видимого изображения или изображения в ближней ИК области спектра в полутоновое изображение;

вызывание обработки уровня серого изображения с помощью оператора обнаружения края;

выбор из результирующего изображения обнаруженного края совокупности пикселей, значения интенсивности которых превышают некоторое заданное пороговое значение;

выделение небольших фрагментов изображений вокруг указанных пикселей;

сравнение содержимого указанных фрагментов изображений с известными справочными изображениями с использованием метода корреляции и

отметку обнаружения вредителей, если показатель корреляции превышает заданное пороговое значение.

18. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

выполнение двоичной пороговой операции на полутоновом изображении видимого изображения или изображения в ближней ИК области спектра;

выбор из результирующего изображения совокупности пикселей, значение интенсивности которых превышает заданное пороговое значение;

выделение небольших фрагментов изображений вокруг указанных пикселей;

сравнение содержимого выделенных небольших фрагментов изображений с известными справочными изображениями с использованием метода корреляции и

отметку обнаружения вредителей простой морфологической структуры, если показатель корреля-

ции превышает заданное пороговое значение.

19. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий выполнение преобразования уровня серого и выравнивание гистограммы на полученном изображении;

выполнение разбиения на пятна на полутоновом изображении;

выбор пятен, имеющих количество пикселей от умеренного до высокого, и выделение фрагментов изображений, окружающих центры масс указанных пятен, имеющих радиус, меньший, чем предварительно выбранный размер;

выполнение дополнительного разбиения на пятна на каждом из выбранных фрагментов изображений;

расположение вычисленных пятен с учетом их размера в пикселях;

выделение выбранного количества больших пятен и создание двоичного изображения, содержащего связанные пиксели;

в случае, когда в выделенном фрагменте изображения "получен" вредитель сложной морфологической структуры, применение к двоичному отображению, содержащему крупные пятна, двух двоичных операторов морфологии: двоичного оператора дилатации и двоичного оператора эрозии;

вычисление разности между дилатированным и эродированным изображениями, в результате чего получается изображение, которое приблизительно фиксирует границы морфологии вредителей, и

сравнение вычисленных границ с сохраненными справочными изображениями границ вредителей сложной морфологической структуры (CMS).

20. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

преобразование видимого изображения или изображения в ближней ИК области спектра в полутоновое изображение;

выполнение разбиения на пятна на полутоновом изображении;

выделение пятен, имеющих выбранный размер пикселей;

выделение изображения, окружающего каждое такое пятно, и

классификацию каждого такого изображения на удаленном сервере по категории вредителей сложной морфологической структуры (CMS) с использованием метода машинного зрения.

21. Способ по любому из пп.9 или п.10, также включающий

выделение изображений пятен, имеющих относительно большое количество пикселей;

вычисление границ вероятных объектов, находящихся в выделенных изображениях;

применение фильтра угла изображения к каждому указанному изображению,

подсчет количества вычисленных координат углов и

если вычисленное количество координат углов превышает некоторое заданное пороговое значение, заявление об обнаружении цитрусовой минирующей моли посредством косвенной идентификации.

22. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

выполнение обработки цветного изображения на мультиспектральных изображениях растения для усиления цветов в растении, которые связаны с деградацией;

выполнение разбиения на пятна для совокупности всех пикселей в изображении, связанных с основным доминирующим цветом, с использованием заданного допуска;

поиск соответствия для обнаруженных пятен основного цвета с пикселями, соотнесенными с дополнительным доминирующим цветом в непосредственной близости к указанному пятну;

заявление о деградирующем листе, если такое соответствие обнаружено.

23. Способ по любому из пп.9 или 10, также включающий

выполнение обработки цветного изображения на мультиспектральном изображении с высоким разрешением для усиления и выделения внешнего вида объекта из остальных объектов в изображении;

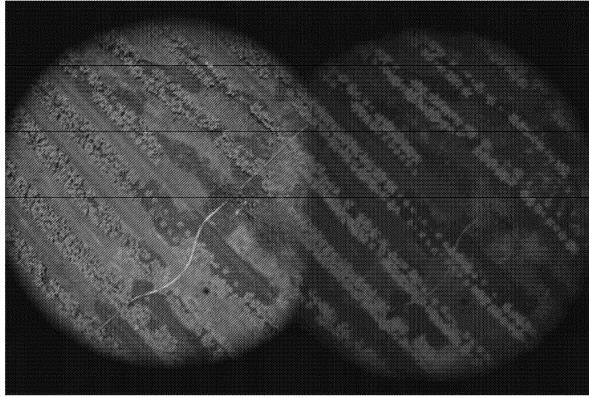
выполнение разбиения на пятна на обработанном изображении;

разделение изображений на цветовые каналы в соответствии по меньшей мере с двумя цветовыми пространствами и

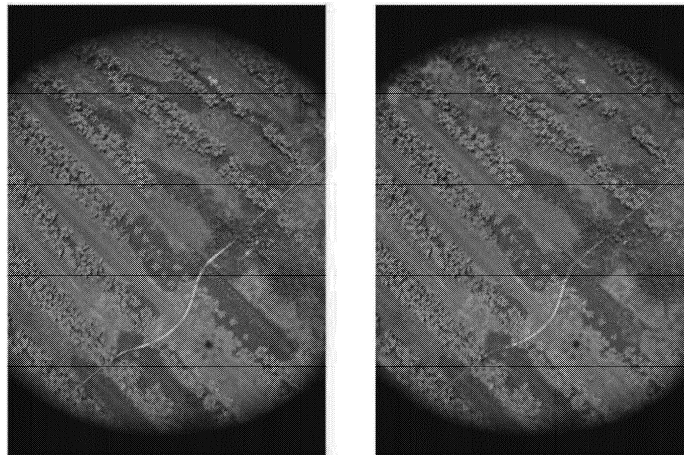
объединение выбранных цветовых каналов по меньшей мере из двух цветовых пространств для усиления внешнего вида объекта.

24. Способ по п.23, также включающий выполнение перекрестного обнаружения различных цветовых комбинаций для улучшения выделения объекта из фонового цвета.

25. Способ по п.23 или 24, в котором этап объединения также включает включение красной полосы на 650 нм мультиспектрального спектра.



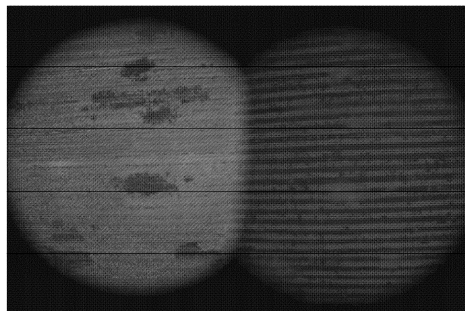
Фиг. 1а



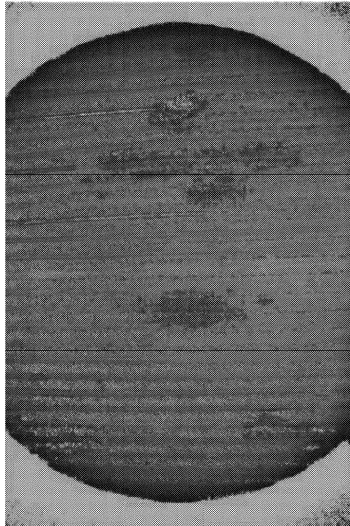
Фиг. 1б



Фиг. 1с



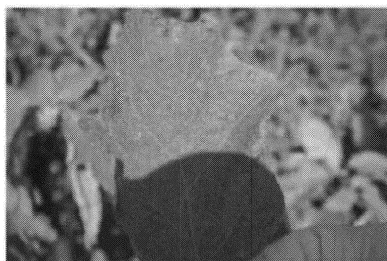
Фиг. 2а



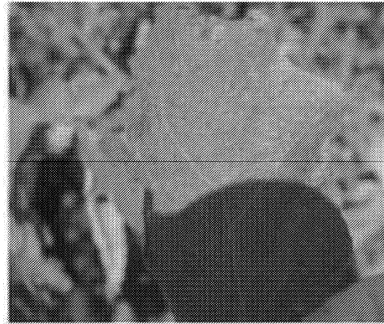
Фиг. 2b



Фиг. 2с



Фиг. 4а



Фиг. 4b



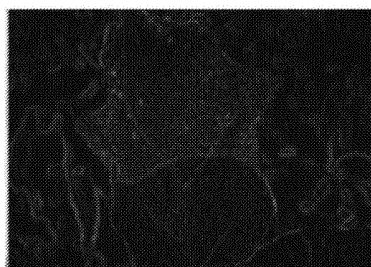
Фиг. 5a



Фиг. 5b



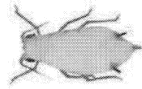
Фиг. 6a



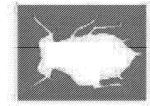
Фиг. 6b



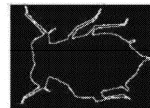
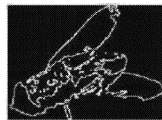
Фиг. 6c



Фиг. 7а



Фиг. 7б



Фиг. 7с



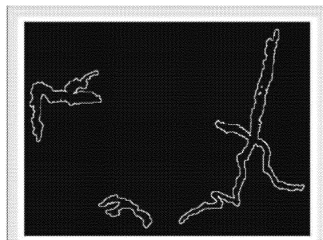
Фиг. 8а



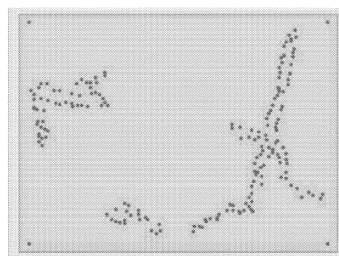
Фиг. 8b



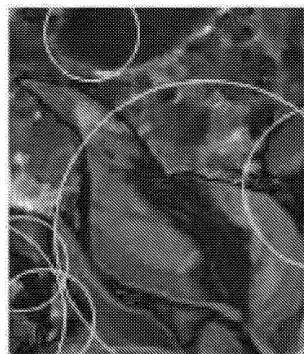
Фиг. 9a



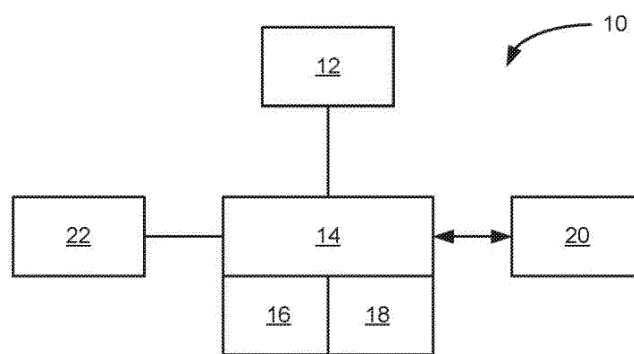
Фиг. 9b



Фиг. 9c



Фиг. 10



Фиг. 11

