

АЛГОРИТМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.В. Воронин

aleksandr_voronin909@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Обозначена актуальная проблема контроля сельскохозяйственных посадок, для решения которой предлагается использовать групповых роботов. Рассмотрена задача обнаружения угнетенных участков растений с помощью гетерогенных роботов. Разработана функциональная схема агрономной системы и алгоритм распознавания, решающий поставленную задачу в несколько этапов. Для распознавания выбран метод гиперспектральной съемки. Определена и обоснована подходящая стратегия группового управления. Описан процесс мониторинга с помощью беспилотного летательного аппарата, названы его преимущества и недостатки. Приведено описание алгоритма распознавания цвета. Предложенный алгоритм разработан в среде MATLAB.

Ключевые слова

Гиперспектральное изображение, беспилотный летательный аппарат, NDVI, аэрофотосъемка, техническое зрение, гетерогенные роботы, групповое управление, децентрализованный способ управления

Поступила в редакцию 30.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Проблема контроля и обслуживания сельскохозяйственных посадок в настоящее время очень актуальна. Но площади посевных полей не всегда позволяют выполнять эти задачи быстро. Автономные робототехнические системы могут значительно ускорить и облегчить все процессы обслуживания.

Автоматизация процессов обслуживания сельхозугодий связана с вопросом о групповом взаимодействии роботов. Роботы способны выполнять различные операции: обработку почвы, ее удобрение, посев, посадку и т. д. Благодаря использованию таких роботов возрастает производительность на фоне повышения рентабельности, что обеспечит снижение себестоимости продукции.

Постановка задачи. Главными задачами является создание функциональной схемы агрономной системы, разработка алгоритма распознавания угнетенных участков полей и создание программного обеспечения, реализующего алгоритм.

Разработка функциональной схемы агрономной системы. Гетерогенные роботы — это роботы, функционирующие в разных средах, например, воздух-земля, воздух-вода и т. д. Использование гетерогенных робототехнических систем (РТС) позволяет оптимизировать решение практически любых задач. Для задачи сбора урожая необходимо наличие минимум двух РТС: роботизированного комбайна и беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На рис. 1 изображена оригинальная функциональная схема системы.

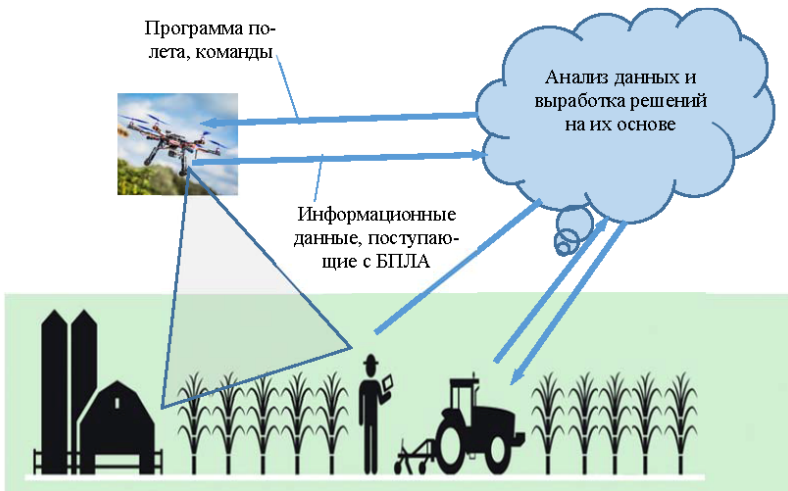


Рис. 1. Разработанная функциональная схема агрономной системы

Групповые роботы осуществляют взаимодействие с окружающей средой и обмениваются информацией по общему каналу. Затем в центре обработки данных (ЦОД) с помощью программного обеспечения информация обрабатывается, и формируются «приказы» дальнейших действий роботов. Также информация направляется на рабочее место агронома или на его портативное устройство [1].

Предложенная агрономная система поможет решить следующие задачи:

- 1) составить карту местности;
- 2) обнаружить больные участки полей;
- 3) собрать урожай.

Стратегии группового управления. Задача группового управления заключается в отыскании и реализации определенных действий каждого отдельного робота группы, которые приводят к оптимальному, с точки зрения некоторого критерия, достижению общей групповой цели. При решении задач группового управления важным является выбор стратегии управления РТК.

На рис. 2 представлено древо стратегий, предложенное российским ученым И.А. Каляевым [2]. Остановим свой выбор на децентрализованном коллективном управлении.

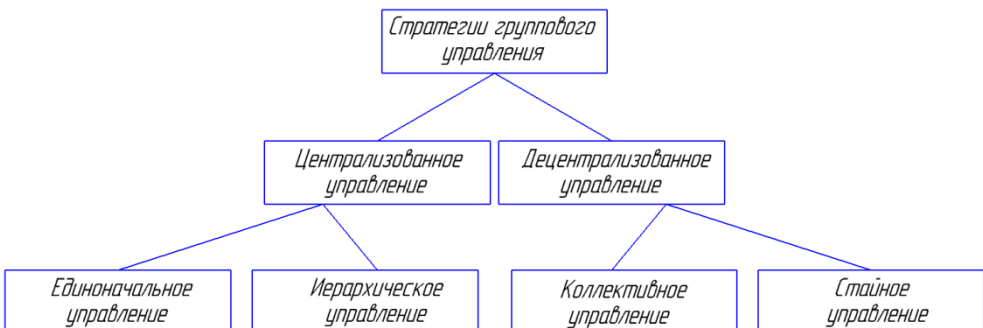


Рис. 2. Древо стратегий

Децентрализованный подход к управлению предполагает отсутствие командного центра, на котором производится основная масса вычислений, как следствие, каждый агент является абсолютно самостоятельным и действующим на основании встроенной программы и поступающей информации из окружающей среды, а также агентов, находящихся по соседству.

На практике децентрализованное управление реализуется следующим образом: аппараты с заранее заложенной в них программой и оснащённые необходимыми сенсорами, датчиками и устройствами для осуществления связи друг с другом, запускаются в зону выполнения миссии. Во время миссии группа агентов действует автономно. Входной информацией для агента является информация, получаемая им со своих сенсоров и от агентов-соседей. Используя это, каждый агент при помощи встроенной программы вырабатывает принятие решения о дальнейших действиях.

Использование принципов децентрализованного управления группой роботов обеспечивает:

- высокую отказоустойчивость системы, а выход из строя любого из роботов не приводит к выходу из строя группы в целом;
- возможность практически неограниченного увеличения числа роботов в группе путем их подключения к каналу связи;
- снижение вычислительной нагрузки на устройство управления отдельного робота, что в свою очередь упрощает проблему обеспечения режима реального времени при управлении группой роботов.

В настоящее время применение принципов децентрализованного управления является одним из перспективных направлений развития практики использования роботов при выполнении различных операций. По этой причине в настоящей работе рассматривается именно децентрализованный подход [3].

Выразим принцип децентрализованного подхода в виде структурной схемы, изображенной на рис. 3.

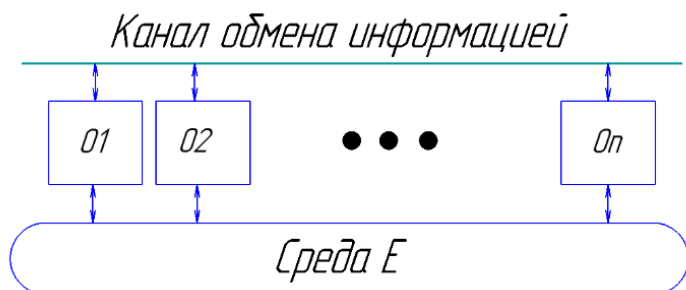


Рис. 3. Принцип децентрализованного подхода

Мониторинг с помощью БПЛА. Ведение сельского хозяйства без достаточного объема качественных данных становится проблематичным. Последствия такой ситуации могут привести к очаговым пустотам, потере урожая и

проч. В таком случае требуются оперативный контроль, что может предоставить только беспилотная аэрофотосъемка. Большинство оценок, производимых в подобных ситуациях, делаются на земле при помощи выезде на поля экспертной группы.

Однако в таком положении невозможно оценить весь масштаб происшествия. Поэтому для ускорения процесса необходимо использовать аэрофотосъемку. Воздушная съемка осуществляется с помощью БПЛА, оснащенного камерой, работающей в видимом и тепловом диапазонах.

Использование БПЛА позволяет решить ряд задач, среди которых:

- 1) обследование и инвентаризация земель;
- 2) составление ортофотоплана;
- 3) оперативное создание карт вегетационных индексов (NDVI);
- 4) контроль агротехнических мероприятий.

БПЛА запускается, взлетает и садится по заранее определенному маршруту. Пролетая по такому маршруту, выполняет цифровую съемку местности. Результатом съемки являются снимки высокого разрешения на запрограммированных точках по GPS координатам. Выполнив аэрофотосъемочный маршрут, БПЛА приземляется в ту же точку, откуда взлетел. Каждый снимок включает полный набор цифровой информации: географические координаты центральной точки снимка, высота съемки, полный набор телеметрических данных для переноса и использования в общепринятых ГИС-системах. Аэрофотосъемка с БПЛА может заменить спутниковые снимки высокого разрешения для сельского хозяйства.

Существует спутниковая съемка, однако съемка БПЛА обладает множеством преимуществ:

- возможность спектральной съемки, способной обеспечить снимки с разрешением 5 см на пиксель;
- обработка полученных данных может быть выполнена как централизованно (в ЦОД), так и на рабочем месте агронома;
- площадь посевов, обслуживаемая одним БПЛА, составляет от 30 тыс. га (когда БПЛА является основным источником данных) до 100 тыс. га (когда БПЛА дополняет спутниковые данные). При этом облачность не препятствует проведению съемки.

Среди недостатков данного вида съемки отметим:

- высокую стоимость работы;
- невысокое разрешение снимков;
- периодичность проведения;
- время размещения материалов на серверах может составлять всего 1-2 недели.

Рассмотрим алгоритм сбора урожая с помощью наземного комбайна и БПЛА. Беспилотники для сельского хозяйства могут решить многие вопросы быстрее и дешевле, чем спутники. Задача сельскохозяйственной съёмки — по-

казать фермерам то, что они не могут увидеть с поверхности земли, а временные рамки в данном случае особенно важны. При проведении регулярных аэрофотосъемок сельскохозяйственных земель ежедневно или еженедельно и при их постобработке в специализированном программном обеспечении (ПО) можно проследить динамику изменений в пределах одного и того же поля, а также соотнести данные с продуктивностью земельных угодий.

Контроль посадок с использованием снимков может внести качественные изменения в мониторинг сельскохозяйственных работ и сократить затраты на удобрения и воду.

Разработка алгоритма системы технического зрения. Одним из основных направлений исследований данного исследования является разработка алгоритма технического зрения, необходимого для группового управления.

Задача алгоритма — распознавать угнетенные и больные участки полей, а также получать координаты участка. Для решения данной задачи был использован метод гиперспектральной съемки.

Гиперспектральное изображение — это трехмерный массив (куб) данных, который включает в себя пространственную информацию (в формате $2D$) об объекте, дополненную спектральной информацией (в формате $1D$) по каждой пространственной координате [4]. Гиперспектральный датчик исследует объект, используя большую часть электромагнитного спектра, что позволяет распознать материалы и свойства исследуемого объекта. Гиперспектральная съемка позволяет исследовать весь электромагнитный спектр.

Результаты гиперспектральной аэрофотосъемки позволяют обнаружить изменения до проявлений в видимом спектре и могут использоваться для решения таких сложных задач, как:

- 1) выявление отдельно стоящих древостоев в общей лесной массе;
- 2) поиск угнетенных деревьев и подверженных влиянию заболеваниями либо зараженных жуком короедом и др.;
- 3) снижение плодородия почв на основе данных интенсивности роста зеленой биомассы;
- 4) заболачивание прибрежных зон зеленой растительностью;
- 5) поиск молодой малоинтенсивной растительности на местах сильных лесных и полевых пожаров. В некоторых случаях методы авиационной гиперспектральной съемки позволяют выполнить полный анализ лесного покрова с выделением местоположения отдельных деревьев и кустарников.

Нормализованный разностный вегетационный индекс. Гиперспектральная съемка позволяет рассчитать нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI. Это количественный показатель плотности и состояния растительности, который является разностью значений отражения в ближнем инфракрасном и красном спектрах, разделенной на их сумму. В результате значения индекса меняются от -1 до 1 , при этом 1 — это наибольшее

значение биомассы (хорошее состояние), а -1 — угнетенное состояние или отсутствие растительности [5].

Формулу расчета нормализованного разностного вегетационного индекса запишем в следующем виде:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

здесь NIR — коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра; RED — коэффициент отражения в красной области спектра.

Индекс NDVI позволяет визуализировать проблемные участки полей (рис. 4).

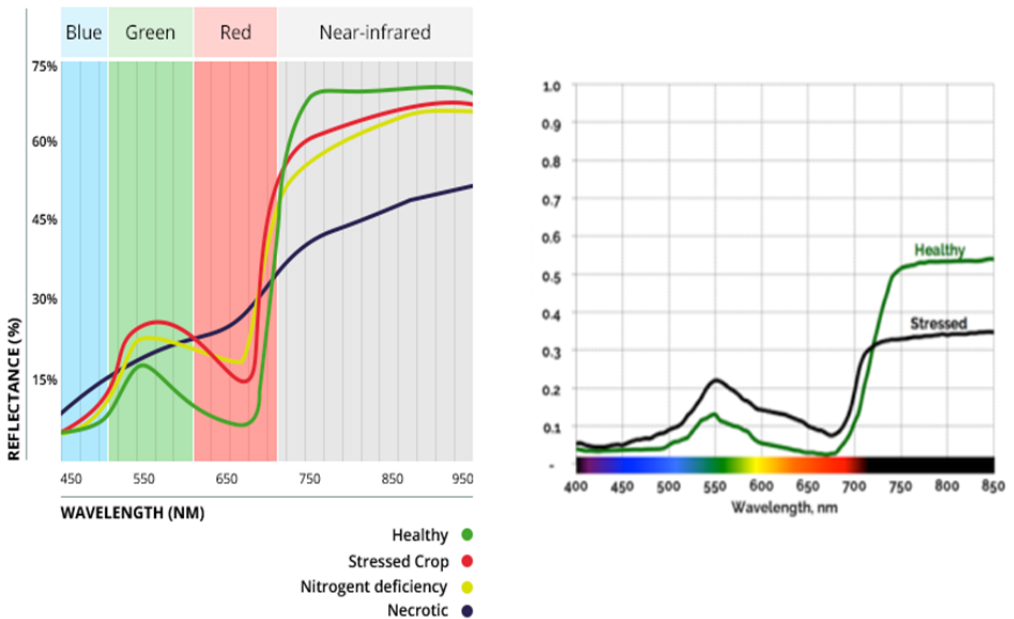


Рис. 4. Визуализация проблемных участков полей с помощью NDVI

Алгоритм распознавания угнетенных участков. Обработка изображения проходит в несколько этапов. Для чего программа разделена на функции, каждая из которых получает в качестве входных данных результат работы предыдущих функций и производит собственную обработку [6].

Далее рассмотрим этапы алгоритма распознавания цвета.

1. Предобработка изображения (фильтрация).
2. Выделение составляющих изображения R, G, B.
3. Инициализация порогов каждого цветового диапазона.
4. Формирование маски интересующего цвета.
5. Выделение интересующей области.
6. Получение координат выделенного участка.

Ниже представлено непосредственное описание самого распознавания цвета. Алгоритм распознавания цвета заключается в определении контрастности пикселей маски искомого цвета (должна быть больше пороговых значений) и контрастности пикселей второстепенных масок (меньше пороговых значений).

Для разработки программного обеспечения выбрана программа математического моделирования MATLAB, поскольку обладает достаточным количеством математических пакетов, позволяющих решать большое количество разнообразных задач.

На рисунках 5–7 изображена работа алгоритма поэтапно.

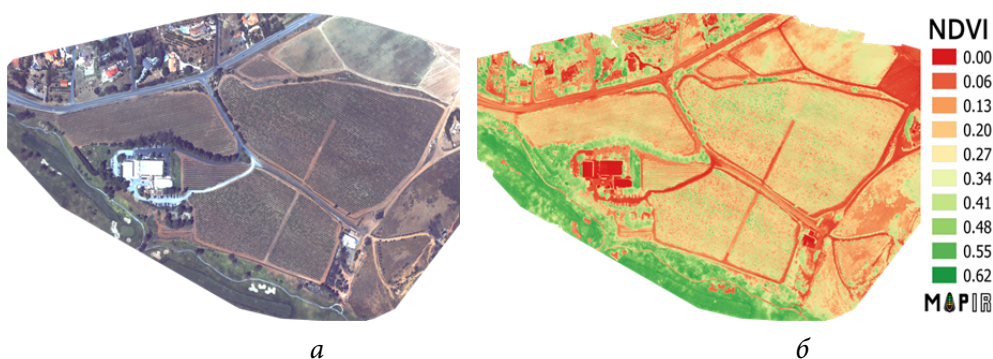


Рис. 5. Исходное (а) и гиперспектральное (б) изображения

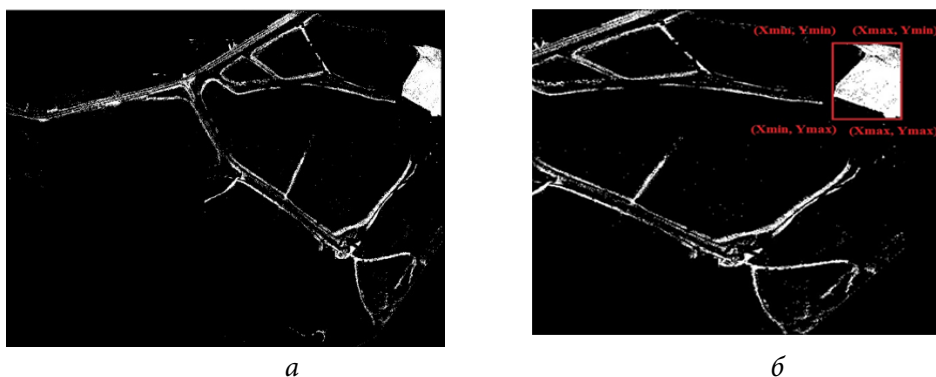


Рис. 6. Выделение искомого сегмента: маска пикселей искомого (а) и искомый сегмент (б)



Рис. 7. Скриншоты экрана на этапе вывода результатов: состояние участка (слева) и координаты выделенного участка (справа)

Выводы. Разработана функциональная схема агрономной системы в среде математического моделирования MATLAB. Доказана корректность предложенного алгоритма распознавания угнетенных участков полей и разработано программное обеспечение, реализующее этот алгоритм.

Литература

- [1] Назиров Р.Р., ред. Техническое зрение в системах управления. *Сборник трудов научно-технической конференции*. Москва, 14–16 марта 2012 г., Москва, ИКИ РАН, 2012. 296 с.
- [2] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустин С.Г. *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов*. Москва, Физматлит, 2009. 280 с.
- [3] Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Финаев В.И., Гайдук А.Р., Шаповалов И.О., Соловьев В.В., Белоглазов Д.А., Титов А.Е. *Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах*. Москва, Физматлит, 2015, с. 9–274.
- [4] *Лазерный портал*. URL: <http://www.laserportal.ru/> (дата обращения 25.02.2017).
- [5] *NDVI — теория и практика*. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 25.02.2017).
- [6] Карпов В.Э. *Коллективное поведение роботов. Желанное и действительное*. URL: <https://refdb.ru/look/2480670.html> (дата обращения 25.02.2017).

Воронин Александр Валентинович — студент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — В.И. Рубцов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», Москва, Российская Федерация.

A MACHINE VISION ALGORITHM FOR AN AGRICULTURAL UNMANNED AERIAL VEHICLE

A.V. Voronin

aleksandr_voronin909@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study presents a pressing issue of monitoring agricultural crops and suggests solving it by using a group of robots. We consider the problem of detecting regions of faded plants with the help of heterogeneous robots. We developed a functional flow block diagram of an agricultural system and a detection algorithm that solves the problem posed in several steps. We chose a hyperspectral imaging method for recognition. We selected and validated a suitable strategy of group control. The article describes the process of monitoring crops with the help of an UAV, highlights its advantages and disadvantages. We also supply a description of the colour recognition algorithm. We used the MATLAB environment to develop our algorithm.

Keywords

Hyperspectral imaging, UAV, NDVI, aerial photography, machine vision, heterogeneous robots, group control, decentralised method

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Nazirov R.R., ed. *Tekhnicheskoe zrenie v sistemakh upravleniya. Sbornik trudov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Computer vision in control systems. Proc. Sci.-Tech. Conf.]. Moscow, 14–16 March 2012, Moscow, IKI RAN publ., 2012. 296 p.
- [2] Kalyaev I.A., Gayduk A.R., Kapustin S.G. *Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniya v gruppakh robotov* [Models and algorithms of group control in robot groups]. Moscow, Fizmatlit publ., 2009. 280 p.
- [3] Beloglazov D.A., Gayduk A.R., Kosenko E.Yu., Medvedev M.Yu., Pshikhopov V.Ch., Solov'yev V.V., Titov A.E., Finaev V.I., Shapovalov I.O. *Grupповое управление подвижными объектами в неопределенных средах* [Group control on moving objects in uncertain environments]. Moscow, Fizmatlit publ., 2015, pp. 9–274.
- [4] Lazernyy portal [Laser portal]. Available at: <http://www.laserportal.ru/> (accessed 20 February 2017).
- [5] NDVI – teoriya i praktika [NDVI – theory and practice]. Available at: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (accessed 24 February 2017).
- [6] Karpov V.E. *Kollektivnoe povedenie robotov. Zhelaemoe i deystvitel'noe* [Robots group behavior. Desired and the actual]. Available at: <https://refdb.ru/look/2480670.html> (accessed 25.02.2017).

Voronin A.V. — student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — V.I. Rubtsov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Moscow, Russian Federation.