

УДК 631.133.6

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-5-33-37

МЕТОДИКА И АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ ВЕГЕТАЦИИ

Воронков И.В.,
руководитель ИТ-проектов

Инженерный центр «ГЕОМИР», Олимпийский проспект 50, г. Мытищи, Московская область, 141006, Российская Федерация, e-mail: ivoronkov@geomir.ru

В последнее время помимо традиционных методов сплошного или выборочного осмотра посевов применяют инструментальные средства мониторинга, в частности видео- и фотокамеры, установленные на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Основные преимущества использования комплексов мониторинга на основе БПЛА – отсутствие механического воздействия на посевы и высокая производительность при проведении съемок. Однако в ходе сплошного контроля больших площадей посевов (десятки тысяч гектаров), особенно на ранних стадиях их вегетации, возникает проблема оперативного получения результатов анализа съемок. Отметим, что для ее решения целесообразно разработать автоматизированные методы выявления проблемных зон и их геопривязки. Определили, что для подсчета количества всходов и расстояния между ними необходимо применять методы распознавания изображений, основанные на анализе спектральных характеристик растений. Выявили, что методика выделения сигналов от растений основана на сравнении измеренных значений с заданными, после чего проводится построение рядов с использованием алгоритма аппроксимации кусочно-линейной функции. На основе полученной информации рассчитали статистические показатели, характеризующие качество выполнения работ. Провели экспериментальные исследования по отработке методики комплекса аппаратно-программных средств на посевах кукурузы в Краснодарском крае. Дали сравнительную оценку замера в ручном и автоматическом режиме с помощью разработанного программного обеспечения для распознавания и подсчетов всходов. Разница в результатах составляет 3-5 процентов.

Ключевые слова: посевы, дистанционный мониторинг, распознавание изображений, аппаратно-программные средства.

■ **Для цитирования:** Воронков И.В. Методика и аппаратно-программные средства для мониторинга состояния посевов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №5. С. 33-37.

METHODS, HARDWARE AND SOFTWARE FOR MONITORING CROPS CONDITION ON EARLY STAGES OF VEGETATION

Voronkov I.V.,
IT-projects manager

Engineering center GEOMIR, Olympisky prospekt, Mytishchi, Moscow region, 141006, Russian Federation, e-mail: ivoronkov@geomir.ru

Lately, in addition to traditional methods of screening or selective crops inspection, instrumental means of monitoring, namely installed on unmanned aerial vehicles (UAV) video and photo-cameras, started to be implemented. The main advantage of conducting monitoring via UAV is that it does not mechanically affects plants and maintains high productivity during the surveying. However, during screening inspection of large crops areas (tens of thousands of hectares), especially on the early stages of vegetation, a problem of receiving the surveying analysis results promptly emerges. To solve this problem it is necessary to develop automated methods of identification and geo-referencing of the problematic zones. To count the amount of shoots and measure distance between them it is necessary to use the methods of images recognition based on the plants' spectral characteristics analysis. The methodology of plants signals selection is based on the comparison of measured values with specified values; after that compilation of series using algorithm of approximation of slopes. Basing on the gathered information, statistical indicators characterizing the qualities of completion of the work were estimated. Experimental researches of the hardware and software methodology development were conducted using maize crops in the Krasnodar Territory. Comparative assessment of the measurement in manual and automatic regime using the developed software for shoots recognition and counting was conducted. The results difference equals 3-5 percent.

Keywords: Crops; Remote sensing; Images recognition; Hardware and software.

For citation: Voronkov I.V. Methods, hardware and software for monitoring crops condition on early stages of vegetation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 5: 33-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-5-33-37. (In Russian).

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие технологий дистанционного контроля объема и качества выполняемых сельскохозяйственными машинами полевых операций. В частности, находят применение космические и воздушные средства наблюдения, регистрирующие состояние посевов с помощью фото-, видео- и прочей аппаратуры [1-4]. Визуальный анализ результатов съемок из космоса и с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляет собой достаточно трудоемкий и, в случае необходимости просмотра большого количества снимков или многочасового видео, длительный процесс [5-12].

Кроме того, следует иметь в виду, что исследование состояния всходов должно быть проведено оперативно, так как надо успеть использовать его результаты для принятия решений о качестве работы посевного агрегата и целесообразности его использования, а также о мерах по улучшению состояния выявленных проблемных участков посевов (дополнительный сев, обработка СЗР, подкормка и т.п.) [13-15].

Цель исследования – разработка методик и аппаратно-программных средств (АПС) и их последующая апробация на реальных посевах для определения количества и координат всходов, а также выявления и геопривязки проблемных зон посевов.

Материалы и методы. Используются модельные и реальные данные (изображения) о посевах на ранней стадии вегетации, а также технические характеристики цифровой фотокамеры и БПЛА, на котором она установлена.

Для подсчета количества всходов, расстояний между ними и между рядами, а также для выделения проблемных зон в посевах применяют методы распознавания изображений, основанные на анализе спектральных характеристик растений [16].

Экспериментальная отработка методик и АПС выполнена в мае 2016 г. на посевах кукурузы в одном из хозяйств Краснодарского края.

Результаты и обсуждение. Для решения задачи распознавания всходов и проблемных зон необходимо выполнение следующих условий:

- разрешение съемочной аппаратуры должно быть достаточным для выделения одного отдельного растения;
- сорная растительность должна располагаться вне рядков со всходами, не перекрывая их;
- в случае расположения сорной растительности в рядках спектральные характеристики сорняков

и посевов не должны совпадать.

Методика выделения сигналов от растений (так для краткости будем называть яркость отраженного от растения света в некотором диапазоне длин электромагнитных волн) основана на сравнении измеренных значений с заданными. Примем, что данная точка на изображении принадлежит растению, если сигнал от нее удовлетворяет неравенству [10]:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i - C_i}{\sigma_i} \right)^2 \leq 1, \quad (1)$$

где i – номер спектрального канала аппаратуры;

S_i – значение сигнала в данной точке i -го канала;

C_i – величина сигнала в центре его распределения в i -ом канале;

σ_i – отклонение сигнала от центра распределения в i -ом канале;

n – общее число спектральных каналов (в исследовании применяли фотоаппаратуру с $n = 3$).

Значение параметров C_i и σ_i заданы.

Следующий этап – выделение связанных объектов, в результате чего определяют все точки изображения, относящиеся к одному растению, либо, если листья соседних растений касаются друг друга, группе («кластеру») растений.

Для привязки кластера связанных объектов к географическим координатам вычисляют его центр:

$$\vec{r} = \frac{\sum_{j=1}^m \vec{r}_j}{m}, \quad (2)$$

где \vec{r} – вектор положения центра объекта;

\vec{r}_j – вектор положения выделенной точки кластера;

j – номер точки в кластере;

m – общее число точек в кластере.

После выделения и геопривязки объектов следует этап построения рядов, основанный на использовании алгоритма аппроксимации кусочно-линейной функцией, отрезки которой вычисляют по методу наименьших квадратов [6].

Начальное приближение направления рядов n задают до начала расчетов. Здесь и далее считаем вектор направления единичным. В качестве опорной точки линии ряда k' выбирают центр кластера, не включенный ранее в другие ряды. С помощью данных векторов строят прямую начального приближения:

$$\vec{r} = \vec{k}' + t\vec{n}; \quad t \in (-\infty, +\infty), \quad (3)$$

где \vec{r} – вектор точки прямой начального приближения, t – свободный параметр.



Далее выполняют следующие операции:

- общая корректировка положения опорной точки линии ряда;
- уточнение начального приближения r ;
- вычисление отрезков кусочно-линейной функции, апробирующих ряд.

В результате получаем полную информацию о количестве и координатах отдельных всходов, либо кластеров всходов, а также о положении рядов посевов. На основе данной информации можно рассчитать статистические показатели, характеризующие качество выполнения посевных работ используемыми для этого сельхозагрегатами (трактор и сеялка).

Для вычисления среднеквадратического отклонения сигналов от линии ряда вычисляют отклонение сигнала кусочно-линейной функции ряда, как минимум, функционала:

$$d_i = \text{sign} \left[(\vec{p}_i - \vec{k}_e) \wedge \vec{n}_e \right] \min \left| \vec{p}_i - (\vec{k}_e + t\vec{n}_e) \right|. \quad (4)$$

С ограничениями:

$$\begin{cases} t = (\vec{p}_i - \vec{k}_e, \vec{n}_e) \\ t \in \left[0, \frac{l}{3} \right] \end{cases}, \quad (5)$$

где p_i – проекция центра кластера на линию ряда (l); k_e – проекция линии ряда на отрезок (e) кусочно-линейной функции ряда; i – номер кластера.

Знак \wedge означает псевдоскалярное произведение:

$$\vec{a} \wedge \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \angle ab. \quad (6)$$

Для полученных значений отклонения от линии ряда вычисляем среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}. \quad (7)$$

Корректное положение сигнала вычисляется по формуле:

$$z_f = z_0 + f\Delta, \quad (8)$$

где z_0 – смещение относительно начала ряда; f – номер корректного положения сигнала (целое число); Δ – предполагаемое расстояние между сигналами (задается пользователем).

Смещение сигнала от начала ряда вычисляется проецированием центра кластера на ближайший отрезок кусочно-линейной функции ряда, параметры t и e вычисляют минимизацией функционала:

$$\min_e \left| \vec{p}_i - (\vec{k}_e + t\vec{n}_e) \right| \quad (9)$$

с ограничениями (5). Формула смещения:

$$z_i = \frac{(e-1)l}{3} + t_i. \quad (10)$$

Отклонение сигнала от заданного корректного положения вычисляют по формуле:

$$z_{\Delta} = \min_f |z_i - z_f| = \Delta \left| \frac{z_i - z_f}{\Delta} - \left[\frac{z_i - z_f}{\Delta} \right] \right|, \quad (11)$$

функция [...] – округление до ближайшего целого.

Так как значение параметра z_0 неизвестно, то решают задачу минимизации функционала методом перебора:

$$\min_{z_0} \left(\frac{\sum_{i=1}^n z_{\Delta i}}{n} \right). \quad (12)$$

Для анализа числа невзошедших растений выделенные объекты привязывают к корректным положениям в ряду (8). Далее проводят подсчет положений, в которых не произошло привязки кластеров.

В конце мая 2016 г. экспериментально исследован комплекс АПС, алгоритмы и программное обеспечение которого основаны на представленной выше методике.

Для проведения съемок использовали БПЛА *Supercam s350* с фотокамерой *Sony A7*.

Параметры посевов:

- культура на поле – подсолнечник;
- площадь одного всхода на земле – 90-100 см²;
- расстояние между центрами всходов в рядке – 14-16 см;
- расстояние между рядками – 70 см.

Посевы были сфотографированы с земли (рис. 1).



Рис. 1. Фотография посевов с земли

Fig. 1. Crop images from the ground

Для съемки с БПЛА были выбраны следующие параметры полета: высота – 150 м, скорость – примерно 80 км/ч. При этом пространственное разрешение по поверхности Земли составило 1,2 см/пиксел (рис. 2).

Для анализа точности автоматического распознавания и подсчета всходов был выбран ряд участков поля. На данных участках подсчитали количество всходов в ручном режиме – по снимку и в автоматическом режиме – с помощью разработанного программного обеспечения для распознавания



Рис. 2. Результаты съемок БПЛА
Fig. 2. Imagery results

и подсчета всходов (таблица). Разница в подсчетах количества всходов составила 3-5%.

Примеры результатов испытаний представлены в таблице.

Таким образом, развитие и применение технологий дистанционного мониторинга посевов позволяет повысить эффективность контроля выполнения посевных работ и других полевых операций.

Количество всходов ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ И РУЧНОМ ПОДСЧЕТЕ, ШТ. NUMBER OF SHOOTS IN CASE OF AUTOMATIC AND MANUAL COUNTING, PCS		Разница, % The difference, %
Автоматический подсчет Automatic counting	Ручной подсчет Manual counting	
1069	1013	5,53
1012	1048	3,56

Представленные в статье метод и АПС автоматизированного контроля количества всходов и качества сева в целом существенно ускоряют процесс обработки данных фотосъемок и помогают оперативно исследовать состояние посевов.

Выводы

Разработаны методики и аппаратно-программные средства определения количества и координат всходов, а также выявления и геопривязки проблемных зон посевов.

Методики апробированы на практике и подтвердили свою высокую точность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоренко В.Ф. Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве: научно-аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2014. 234 с.
2. Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве. Материалы всероссийской научной конференции (с международным участием). Санкт-Петербург, 16-17 сентября 2015 г. СПб.: АФИ, 2015. 196 с.
3. Артюшин А.А., Смирнов И.Г. Научно-техническое обеспечение применения ГЛОНАСС в сельскохозяйственном производстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N1. 8-11.
4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции. Ч.1. М.: ВИМ. 2012. С. 31-44.
5. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированные информационные технологии в производственных процессах растениеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. N4. С. 3-9.
6. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированная система управления посевом и внесением удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N4. С. 9-12.
7. Смирнов И.Г., Марченко Л.А., Личман Г.И., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. N3. С. 10-16.
8. Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Беспилотные технические средства для интеллектуальных технологий в садоводстве // Научно-практические основы ускорения импортозамещения продукции садоводства: Сборник. 2017. С. 257-262.
9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Kolesnikova V.A., Marchenko L.A. Substantiation of parameters of unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system // Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. Sofia, Bulgaria. N5, 2017. С. 168-170.
10. Марченко Л.А., Личман Г.И., Смирнов И.Г., Мочкова Т.В., Колесникова В.А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. N3. С. 17-23.
11. Дуда Р.О., Харт П.Е. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 509 с.
12. Личман Г.И., Колесникова В.А., Марченко Н.М., Марченко А.Н. Разработка алгоритма оценки точности систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS при дифференцированном внесении удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. N2. С. 4-8.
13. Визинтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В. Обработка и анализ изображения в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.



14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 584 с.

15. Norremar M., Griepentrog H.W., Nielsen J., Sogaard H.T. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intrarow mechanical weed control in row crops. *Biosystems engineering*. 2008; Vol. 101; 4: 396-410.

16. Марченко Л.А., Пакшвер С.А., Личман Г.И. Оценка эффективности дифференцированного внесения средств химизации методами инвестиционного анализа // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сборник докладов XI Международной научно-практической конференции. Ч. 2. М.: ВИМ. 2010. С. 731-738.

REFERENCES

1. Fedorenko V.F. Informatsionnye tekhnologii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: nauchno-analiticheskiy obzor [Information technologies in agricultural production: research and analytical overviews]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2014: 234. (In Russian)

2. Earth remote sensing instrumental means use: Materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem). St. Petersburg, 16-17 September 2015. St. Petersburg: AFI, 2015: 196. (In Russian)

3. Artyushin A.A., Smirnov I.G. Scientific and technical support of GLONASS application in agricultural production. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 1: 8-11. (In Russian)

4. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologii i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)

5. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K. Automated information technologies in processes of crop production. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010; 4: 3-9. (In Russian)

6. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya posevom i vneseniyem udobreniy [Automated control system of seeding and fertilizing]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 4: 9-12 (In Russian).

7. Smirnov I.G., Marchenko L.A., Lichman G. I., Mochkova T. V., Spiridonov A.Yu. Unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 10-16. (In Russian)

8. Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Khort D.O. Unmanned technical means for intellectual technologies in horticulture. Nauchno-prakticheskie osnovy uskoreniya importozameshcheniya produktsii sadovodstva: Sbornik. Michurinsk: MGAU, 2017: 257-262. (In Russian)

9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Kolesnikova V.A., Marchenko L.A. Substantiation of parameters of unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system // *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. Sofia, Bulgaria. N5, 2017. С. 168-170.

10. Marchenko L.A., Lichman G. I., Smirnov I.G., Mochkova T. V., Kolesnikova V.A. Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 17-33. (In Russian)

11. Duda R.O., Hart P.E. Pattern classification and scene analysis. Moscow: Mir, 1976: 509. (In Russian)

12. Lichman G.I., Kolesnikova V.A., Marchenko N.M., Marchenko A.N. Algorithm development for assessment of accuracy positioning systems GLONASS/GPS with differentiated application of fertilizers. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 23: 4-8. (In Russian)

13. Vizinter Yu.V., Zheltov S.Yu., Bondarenko A.V., Ososkov M.V., Morzhin A.V. Obrabotka i analiz izobrazheniya v zadachakh mashinnogo zreniya: kurs lektsiy i prakticheskikh zanyatiy [Processing and analysis of image in tasks of computer vision: course of lectures and practical training]. Moscow: Fizmatkniga, 2010: 672. (In Russian)

14. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2005: 584. (In Russian)

15. Norremar M., Griepentrog H.W., Nielsen J., Sogaard H.T. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intrarow mechanical weed control in row crops. *Biosystems engineering*. 2008; Vol. 101; 4: 396-410. (In English)

16. Marchenko L.A., Pakshver S.A., Lichman G.I. Assessment of efficiency of differentiated application of chemicals by methods of investment analysis. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sbornik dokladov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Vol. 2. Moscow: VIM. 2010: 731-738. (In Russian)

Критерии авторства. Автор несет ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The author is responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.