

## **АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ФЕРМЫ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ШАМПИНЬОНОВ**

А. Г. Зотин, А. В. Носов, Е. Ю. Золотарева

*Предлагается решение по автоматизации технологии культивирования растений в искусственных условиях, в том числе в коммерческих проектах. Теоретической основой полученных результатов являются разработки в области технического зрения и обнаружения воздействия деструктивных факторов на растения. Предложены алгоритмические и технические средства, позволяющие повысить эффективность традиционных методов выращивания.*

*Ключевые слова: автоматизированная ферма, выращивание шампиньонов, сегментация, анализ изображений, автоматическое управление.*

Автоматизация сельскохозяйственного производства всегда была перспективным направлением. В России данный вопрос стоит давно и решается не так быстро, как хотелось. Существует множество зарубежных дорогостоящих систем управления для фермерских хозяйств, которые пока недоступны нашим аграриям. Мы хотим предложить менее затратный вариант с новой технологией анализа изображений растений, и рассмотрим его на простом примере автоматизированной фермы по выращиванию шампиньонов.

Выращивание грибов шампиньонов является легким для изучения и исследования процессом, поскольку шампиньоны могут расти в темноте на обычном компосте. Принимая во внимание нетребовательность шампиньонов в постоянном специализированном уходе, становится возможным выполнение автоматизации их выращивания. Это позволит сократить количество обслуживающего персонала, что, в свою очередь, приведет к снижению себестоимости готовой продукции.

Автоматизированная система выращивания шампиньонов состоит из аппаратного и программного комплекса, задачами которого являются: создание и поддержка микроклимата для максимально эффективного выращивания грибов, управление режимом полива и сбор урожая.

Аппаратный комплекс - это шкаф, внутри которого расположены: датчик температуры, датчик влажности, лотки с компостом и манипулятор, на котором закреплены видеочамера и нож для среза грибов. Задачами аппаратного комплекса является: измерение и установка заданного температурного режима в ферме, срез и полив грибов.

Для реализации систем полива, сбора урожая и мониторинга состояния грибов применяется манипулятор, основанный на использовании прецизионных направляющих, шаровинтовых пар, шаговых двигателей и имеющий три степени свободы. Рабочий орган манипулятора состоит из фото- или видеочамеры, распылителя для увлажнения, а также устройства сбора и транспортировки урожая. Перемещаясь в пространстве между лотками, камера манипулятора получает снимки почвы и передает их компьютеру, где управляющая программа определяет размеры и положения грибов. Для точного позиционирования манипулятора в нужное положение существует две карты: карта, основанная на изображении грибов, полученных с чамеры, и карта механического перемещения манипулятора. При позиционировании манипулятора происходит перевод координат изображения в соответствующие координаты карты манипулятора, в результате чего определяется вектор смещения по необходимому направлению.

С заданной периодичностью, с датчиков поступают данные на модуль ввода управляющей программы. После получения данных с датчиков и чамеры модуль анализа обрабатывает полученную информацию и передает результат анализа модулю принятия решения.

Для измерения показателей среды, таких как температура и уровень влажности, предлагается использовать термодатчик *ds18b20* и датчик влажности *HCN-1000-001*. Предлагаемая система орошения состоит из емкости с водой, помпы, трубки и распылителя, закрепленного на манипуляторе.

## АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ФЕРМЫ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ШАМПИНЬОНОВ

Для отображения информации о состоянии фермы и управления ею предлагается использовать сенсорный дисплей. Основными данными, пригодными для отображения, являются: текущая влажность, температура, количество грибов на ферме и примерная оценка массы грибов.

Управлением аппаратной частью, а также посредником взаимодействия аппаратной части с человеком является программный

комплекс, представляющий собой совокупность взаимосвязанных модулей (рисунок 1).

Видеопоток с камеры и информация с датчиков поступают в модуль сбора данных и записываются в «историю» состояния фермы, для мониторинга. После чего эти данные передаются в модуль анализа, где анализируется состояние микроклимата и оценивается примерный объем грибов.

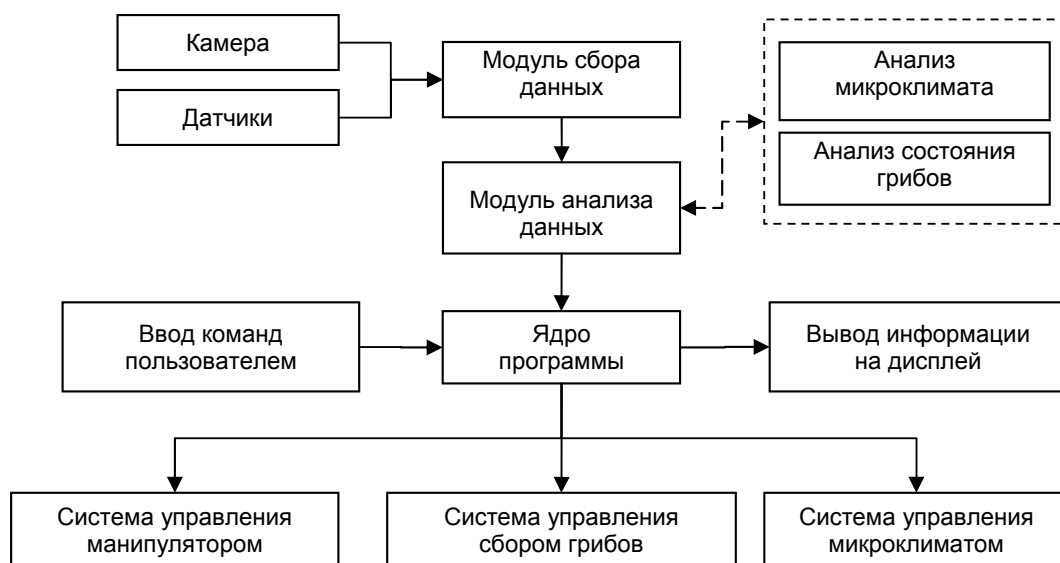


Рисунок 1 – Модульная структура программного комплекса фермы

Эти данные и команды, поступающие от пользователя, передаются в ядро программного комплекса для дальнейшего принятия решения. Система управления манипулятором является базовым инструментом для автоматизации фермы, манипулятор необходим как при сборе данных (перемещение камеры на необходимый регион для получения снимка), так и при срезе грибов и их поливе. Поэтому управление манипулятором должно включать: перемещение манипулятора в указанный регион, управление положением ножа, управление конвейером для транспортировки грибов, включение и выключение распылителя. Системы управления микроклиматом и сбора грибов – подсистемы, выполняющие соответствующие функции.

Очень важную роль играет модуль анализа данных. Для поддержания микроклимата достаточно отслеживать уровень влажности и своевременно производить полив грибов, контролировать изменение температуры в ферме. В случае с анализом состояния грибов возникают задачи машинного зрения и распознавания образов.

Для каждого региона, где растут грибы, камера должна делать снимок с определенной частотой и отслеживать его изменение с течением времени. Задачи машинного зрения заключается в следующем: на изображении найти все грибы, оценить примерную массу и объем грибов, найти соответствующие грибы на предыдущих снимках, проанализировать жизненный период каждого гриба, принять решение о готовности конкретного гриба к срезу. Однако выполнение анализа состояния грибов представляет некоторые трудности, связанные с непостоянством формы и размеров грибов, при этом возможно влияние внешних факторов на качество входных данных. В связи с этим анализ состояния грибов является основной алгоритмической задачей, для решения которой предлагается использовать технологии обработки изображения, позволяющие выполнить локализацию грибов и анализ их параметров.

В предлагаемой системе модуль сбора данных собирает различные данные с датчиков и с камеры. Следует отметить, что качество данных, получаемых с камеры, сильно зависит от степени освещенности и качества

используемой матрицы в самой камере. В связи с этим, при подготовке видеоданных для анализа (сегментации изображения кадра и маркировки объектов) целесообразно подавлять шумы. При этом необходимо, чтобы фильтры шумоподавления оказывали минимальное воздействие на границы изображения гриба. Возможно использовать адаптивный фильтр на основе яркостных карт, предполагающий использование различных видов пространственных фильтров. При этом адаптивность выбора заключается в подборе фильтра и конфигурации его ядра на основе перепадов в яркостных картах. В качестве базовых решено использовать: медианный фильтр, фильтр Гаусса [5], *2D Cleaner Filter by Jim Casaburi*.

Функционирование алгоритма можно представить в виде трех основных этапов. На первом этапе в каждой точке обработки на основе карты яркостной разницы производится первичный подбор типа фильтра (одномерный или двумерный) и задание начальных условий. При существующей возможности изначально задается максимальный размер фильтра. В ходе исследований показано, что за максимальный можно принять размер, равный девяти. На втором этапе производится задание параметров начальной маски фильтрации, в ходе чего в соответствии с установленными пороговыми значениями происходит уменьшение размера. Для двумерной фильтрации возможно уменьшение локальных размеров (горизонтального и вертикального). В дальнейшем на основе значений элементов карт яркостной разницы и в зависимости от глобального уровня значений для рассматриваемой области осуществляется выбор фильтра. Для наилучшего подавления шумов для каждого фильтра устанавливаются пороговые ограничения на область применения, и подстраивается структура маски. На третьем этапе производится непосредственное применение выбранного фильтра с заданными параметрами. Таким образом, разные параметры фильтрации позволят сделать наибольшее сглаживание и при этом не повредить границы объектов.

Для восстановления баланса белого у полученного изображения, решено использовать метод «серого мира» [4], функционирование которого основано на предположении о том, что сумма всех цветов на изображении естественной сцены дает серый цвет. Таким образом, для выполнения корректировки баланса белого необходимо посчитать среднюю интенсивность  $Avg$  по всем каналам цветовой

модели и выполнить коррекцию в соответствии с формулой (1):

$$I_{new} = I \cdot \frac{Avg}{I_{avg}}, \quad (1)$$

где  $I_{new}$ ,  $I$  – новые и оригинальные значения интенсивности канала в обрабатываемой точке соответственно,  $I_{avg}$  – среднее значение интенсивности канала.

В случае если изображение с камеры имеет недостаточный контраст или небольшой диапазон изменения яркости, то возможно улучшение качества изображения при помощи алгоритма *Retinex* [3] и его модификаций [4]. Алгоритм *MSR (Multi-Scale Retinex)* сжимает динамический диапазон изображения с сохранением локального контраста в плохо и ярко освещенных областях. Классический многомерный *MSR*-алгоритм является взвешенной суммой одномерных *SSR*-алгоритмов (*Single-Scale Retinex*) для различных масштабов. Одномерная выходная функция  $i$ -го цветового канала  $R_i(x,y)$  вычисляется по формуле (2):

$$R_i(x, y, \sigma) = \log \frac{I_i(x, y)}{G(x, y, \sigma) * I_i(x, y)}, \quad (2)$$

где  $I_i(x,y)$  – входная функция  $i$ -го цветового канала по координатам  $x$  и  $y$ ;  $y$  – масштабный коэффициент; знак «\*» обозначает свертку функций;  $G(x,y,y)$  – гауссиан.

Тогда результирующая выходная функция  $i$ -го цветового канала  $RM_i(x,y,w,y)$  определяется по формуле (3):

$$RM_i(x, y, w, \sigma) = \sum_{n=1}^N w_n R_i(x, y, \sigma_n), \quad (3)$$

где  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  – весовой вектор одномерных выходных функций  $i$ -го цветового канала  $R_i(x,y,y)$ ;  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ ,  $n=1, 2, \dots, N$  – вектор масштабов одномерных выходных функций.

Для выполнения непосредственной оценки состояния грибов необходимо провести анализ изображения, в ходе которого надо локализовать гриб, и проанализировать его параметры. Для этого в модуле анализ состояния грибов производится сегментация изображения с дальнейшим выделением объектов. Для выполнения сегментации на начальном этапе применяется адаптивная сегментация [1], с подстройкой порога на основе локального и глобального пороговых значений [2]. В ходе сегментации формируется бинарная маска, на которой белыми пятнами будут отображены найденные грибы, черным – земля. После выполнения сегментации для повышения эффективности работы

## АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ФЕРМЫ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ШАМПИНЬОНОВ

системы и подавления объектов шума решено использовать морфологическую обработку, представляющую собой поэлементную обработку изображения с применением двух базовых морфологических операций – расширения и сужения.

После применения морфологической обработки выполняется выделение объектов, при помощи однопроходного алгоритма, основанного на линейной маркировке найденных фрагментов с последующим занесением связей в таблицу обнаруженных объектов. Работа алгоритма заключается в следующем. При прохождении поискового маркировочного окна (рисунок 2) по изображению (центральным является «нулевой» элемент) назначение маркера происходит при попадании нулевого элемента в зону объекта, при этом выполняется проверка связей текущего элемента в порядке от 1 до 4. При обнаружении в ячейках маркировочного окна назначенного маркера в таблице связности задается связь с элементом, который обладает наименьшим значением маркера, и все данные о связи переходят к элементу, с которым установилась связь. В случае, когда в ячейке 4 появляется один, не связанный элемент объекта и в ячейках 1, 2 или 3 присутствует маркировка, то элементу в ячейке 4 назначается маркер как у текущего ядра, и он и удаляется из таблицы связности. Таблица связности имеет следующую организацию: номер маркера; связность с другими областями; пространственные границы объекта; количество элементов объекта.

3	2	1
4	0	

Рисунок 2 – Вид маркировочного окна

Базу знаний, используемую в модуле анализа данных, было решено организовать на основе логической модели, а для её хранения использовать XML файлы.

Программный комплекс, реализующий алгоритмы, предназначен для работы под управлением операционной системы Linux. Выбор ОС обусловлен бесплатностью и стабильностью работы. В ходе проведенного тестирования в зависимости от типа видеосистемы была определена наилучшая последовательность адаптивной фильтрации изображения на основе яркостных карт: медианный фильтр для малых отклонений (менее

15% на области апертуры); фильтр Гаусса для средних отклонений (от 15 до 35% на области апертуры); *2D Cleaner* для значительных отклонений (от 35% и выше на области апертуры). Применение предварительной обработки позволяет повысить точность сегментации в среднем на 3-8%. Показано также, что применение морфологической обработки позволяет повысить точность оценки параметров грибов на 2-5%.

Спроектированная ферма имеет ряд преимуществ над имеющимися фермами по выращиванию шампиньонов: автоматический контроль микроклимата и точность работы механизма сбора урожая позволяет сократить издержки производства, по предварительным оценкам для обеспечения функционирования предлагаемой фермы достаточно двух человек. На основе проведенных НИР и прикладных исследований мы планируем разработать программное обеспечение (набор программ, автоматизирующих различные технологические процессы выращивания сельскохозяйственной продукции в искусственных условиях) и аппаратное решение, наиболее эффективно использующее предложенное программное обеспечение. При этом планируется с помощью предлагаемой технологии достичь снижения риска воздействия негативных факторов при выращивании растений на 18-30%, что в денежном измерении, к примеру, по технологии выращивания шампиньонов может дать 3,89-6,48 р. на 1 кг продукции (при средней цене в супермаркетах Красноярск в 216 р. за кг).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зотин, А.Г. Применение мультиспектральной сегментации в задачах автоматизированного мониторинга растений / А.Г. Зотин, В.В. Золотарев, Е.Ю. Золотарева, А.В. Носов // Сборник статей Двенадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности». / под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 111-113.
2. Зотин, А.Г. Анализ пригодности методов сегментации для локализации объектов на основе цветовых и структурных признаков / А.Г. Зотин, А.В. Носов, Д.В. Бузаев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. – Вып. 1(41). Красноярск, 2012. – С. 23–28.
3. Choi, D.H. Color image enhancement based on single-scale retinex with a JND-based nonlinear filter./ D.H. Choi, I.H. Jang, M.H. Kim, N.C. Kim // In Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Syst., New Orleans, USA, 2007. – pp. 3948-3951.

4. Lam E.Y. Combining gray world and retinex theory for automatic white balance in digital photography, // Procs. 9th Int. Symp. on Consumer Electronics, Macau, Hong Kong, 2005 pp134-139.

5. I.T. Young, L.J. van Vliet Recursive implementation of the Gaussian filter // Signal Processing, vol. 44. – Elsevier, 1995. – pp.139-151.

**Зотин А.Г.**, к.т.н., доцент кафедры информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», тел.: 8(391)291-92-41. E-mail: zotinkrs@gmail.com;

**Носов А.В.**, магистрант кафедры информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», тел.: 8(391) 291-92-41. E-mail: alexander@nosov.org;

**Золотарева Е.Ю.**, аспирант кафедры прикладной математики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», тел.: 8(391)291-91-42. E-mail: utka.82@mail.ru.