

МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

**А. Н. Вальвачев, В. В. Демидчик, В. В. Краснопрошин,
А. А. Михальченко**

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

*e-mail: van_955@mail.ru, dzemidchik@bsu.by, krasnoproshin@bsu.by,
strrife@gmail.com*

Рассматриваются возможности использования последних достижений в обработке изображений в таких областях, как биоинформатика и феномика для мониторинга развития растений, а также описываются актуальные практические проблемы.

Ключевые слова: феномика; анализ изображений; распознавание образов.

MONITORING OF PLANT DEVELOPMENT BASED ON THE ALGORITHMS OF IMAGE ANALYSIS

**A. N. Valvachev, V. V. Demidchik, V. V. Krasnoproshin,
A. A. Mikhalchenko**

The Belarusian State University

Minsk, Belarus

This research focuses on opportunities of using the latest developments in the image analysis sphere in such spheres as bioinformatics, phenomics for plant development monitoring, as well as other practical problems are described.

Keywords: phenomics; image analysis; image recognition.

ВВЕДЕНИЕ

Феномика – это область биоинформатики [1], связанная с измерением феномов – физических и биохимических черт организмов, отражающих динамику изменений в ответ на генетические мутации и влияние окружающей среды [2]. Не только в феномике, но в экологии и ботанике в целом одной из главных целей исследования является изучение фенотипов организмов в различных экосистемах, будь то естественные экосистемы или лабораторные. В ходе наблюдения делаются снимки с фотокамер, производится их анализ и измерения характеристик растений. Результаты измерений сохраняются в базе данных для дальнейшего анализа, который сводится к сравнению измерений в течение определенного промежутка времени.

Исследовательские платформы по фенотипированию активно создавались во всем мире с 1990-х г. В большом феномном комплексе количество исследуемых образцов различных видов может исчисляться миллионами, каждый из которых подвер-

гается большому числу измерений. Наиболее узким местом в этом процессе является точность и скорость оценки результата, например, уровня жизнеспособности растения. Решение этой проблемы осуществляется путем построения специализированных систем мониторинга, включающих динамическую сцену фотографирования и программы для обработки результатов, оценки объекта наблюдения, принятия соответствующего решения и хранения результатов [3, 4].

В условиях быстрого изменения климата, сокращения площадей лесов, опустынивания важнейшей проблемой биоинформатики является построение систем, осуществляющих мониторинг выращиваемых ростков и саженцев для селекции наиболее устойчивых сельскохозяйственных культур и восстановления лесов.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Существует несколько коммерческих решений в области феномики – например, платформа Scanalyzer компании LemnaTec, представляющая парник с конвейерами, на которых растения автоматически перемещаются перед стереоскопическими камерами. Scanalyzer, управляемая сложным проприетарным ПО, является самой распространенной системой фенотипирования в мире. Конкурентом Scanalyzer является система компании Optimalog, использующая парники и роботизированные руки, располагающие датчики и перемещающие камеры.

Однако все эти комплексы крайне дороги и сложны в эксплуатации, поэтому для белорусских ботанических учреждений необходимы более экономичные системы, ориентированные на решение важных прикладных задач.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть в почве контейнеров питомника посажены n саженцев сосны (P_1, \dots, P_n), которым обеспечен определенный полив (w), температура (t) и внесение удобрений (f). Время (T) нахождения саженцев в питомнике определяется достижение ими заданной высоты (h). Шансы достичь определенного уровня развития P_i также зависят от его генотипа (g). Если растение еще не находится в терминальной стадии, однако его состояние ухудшилось, необходимо использовать специальные химические удобрения, чтобы помочь ему выжить (это важно в случае с дорогостоящими ростками). Каждое растение имеет QR-код для автоматической идентификации.

Требуется разработать систему (sys), обеспечивающую мониторинг саженцев в целях оценки уровня жизнеспособности (L) саженца, принятия соответствующих решений и их отправку персоналу питомника. Цель – указание персоналу питомника о необходимости добавки удобрений или устранение нежизнеспособных саженцев.

Решение включает два основных этапа: построение сцены мониторинга и разработка алгоритма для распознавания состояния растения и принятия соответствующего решения.

СЦЕНА МОНИТОРИНГА

Для организации мониторинга предлагается вариант сцены, включающей обслуживающий персонал, контейнеры с саженцами и мобильное устройство для получения цифровых фотографий саженцев с двух сторон и верхнего плана, каналы связи и сервер для обработки и хранения результатов. Камеры перемещаются по линии на фиксированной для данного типа растений высоте (s), регулярно получая три снимка са-

женца, которые вместе со временем фотографирования, QR-кодом и значениями w, t, f пересылаются на сервер, где по алгоритму (L) вычисляется уровень жизнеспособности, формируется управляющее решение и результат заносится в базу данных (рис. 1).

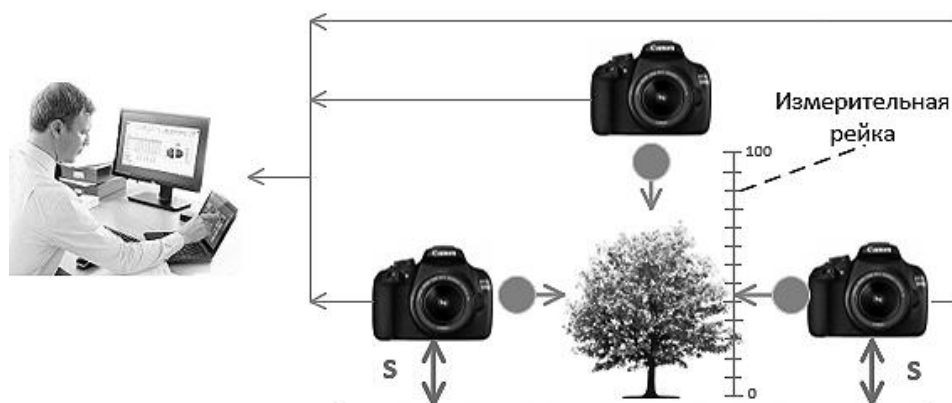


Рис. 1. Сцена мониторинга

В некоторых случаях используется пять камер, но принцип сцены сохраняется.

АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА

После получения исходного изображения и чтения QR-кода с контейнера (чтобы получить начальную информацию о растении и идентифицировать его) весь процесс можно разбить на следующие этапы:

1. Изображения растений отделяются от фона и сохраняются в отдельной базе данных. Так как ткани растений не отражают синий свет, в качестве фона при съемке целесообразно использовать синий спандекс (рис. 2).

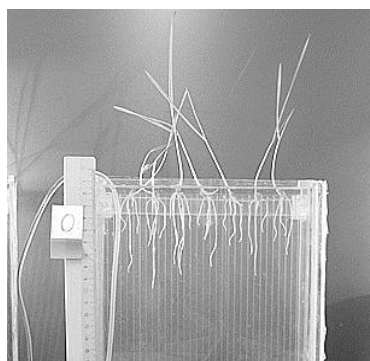


Рис. 2. Пример исходного графического образа растения

2. По маркерам, расположенным по углам контейнера, определяется пространственное преобразование, отражающее положение камеры.

3. При помощи алгоритмов обработки изображения и на основании различий их спектральных свойств, фрагменты-стебли (не фотосинтезирующие органы) отделяются от листьев (фотосинтезирующие органы). Выделяются ведущие линии растений, по которым саженцы отделяются друг от друга для анализа (рис. 3).

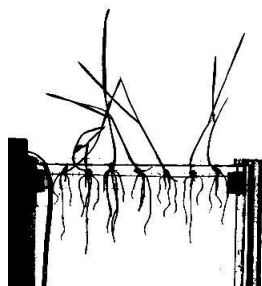


Рис. 3. Пример обработанного изображения (бинарная маска)

4. Для каждого образца определяется процент оттенков коричневого и зеленого в его RGB-спектре в целях выделения проблемных фрагментов растений.

5. Строятся модели усредненных изменений гистограмм, относящихся к смерти, выживанию или укоренению растений. Они будут использоваться для распознавания этих процессов в будущем.

6. Определяются пространственные характеристики растения. Это возможно, так как на основании информации о размере контейнера, полученной с QR-кода, и пространственном преобразовании, определяющем позицию камеры (полученном на шаге 2), составляется система уравнений для определения размеров растения.

7. Определение состояния растения в зависимости от цветовых и количественных характеристик спектра.

8. Формирование решения, т. е. рекомендаций о внесении дополнительных удобрений или удалении растения из контейнера.

Алгоритм анализа спектра будет усовершенствоваться по мере накопления опыта в целях более точной оценки состояния растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дано краткое описание проблем феномики растений, рассмотрены основные проблемы и трудности их решения. Сформулирована одна из актуальных прикладных задач феномики – мониторинг саженцев. Предложена сцена решения, обеспечивающая получение исходных данных (графических образов) и алгоритм мониторинга для оценки состояния растения и формирования соответствующего решения для персонала питомника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Lesk A. Introduction to Bioinformatics. Oxford Press, 2014. P. 60–79.
2. Terra G. Fenômica e identificação de QTLs para caracteres de raiz em arroz: Metodologia de fenotipagem de raízes em plantas. Novas Edições Acadêmicas, 2016. P. 22–36.
3. Krasnoproshin V., Obratsov V., Vissia H. Knowledge Formalization Decision Support Systems // Proceedings of 11-th Int. Conf. PRIP'2011, Minsk, 2011. P. 342–346.
4. Compeau P., Pevzner P. Bioinformatics Algorithms Active Learning Publishers, 2015. P. 211–240.