

Разработка цифрового двойника посевов растений на основе принципов эмерджентного интеллекта

П.О. Скобелев
Самарский Государственный
Технический Университет
Самара, Россия
petr.skobelev@gmail.com

А.С. Табачинский
Самарский Федеральный Научный
Центр
Самара, Россия
tabachinski.as@samgtu.ru

Е.В. Симонова
Самарский национальный
исследовательский университет
Самара, Россия
simonova.elena.v@gmail.com

О.И. Горянин
Самарский Федеральный Научный
Центр
Самара, Россия
gorjanin.oleg@mail.ru

Ю.Н. Журавель
АО «Ракетно-космический центр
«Прогресс»
Самара, Россия
ntsomz_5@mail.ru

Г.Н. Мятлов
Самарский Государственный
Технический Университет
Самара, Россия
miatov@mail.ru

В.В. Ермаков
Самарский Государственный
Технический Университет
Самара, Россия
wasiliyermakow@gmail.com

Аннотация—Цель разработки интеллектуального цифрового двойника растений (ИЦДР) – повышение эффективности точного земледелия (по месту и времени), прогноз урожая на каждом поле, планирование агрономических операций на стадиях роста и развития растений, выработка рекомендаций по управлению посевами. Подход к разработке ИЦДР, предложенный авторами ранее, описан в предыдущих статьях. В настоящей статье развита методология создания ИЦДР на принципах эмерджентного интеллекта, согласно которым модель растения можно рассматривать как множество взаимодействующих частей или подсистем органов и тканей, обеспечивающих физиологические и биохимические циклы. Каждая стадия развития растения может быть декомпозирована в самостоятельную подсистему взаимодействия частей растения на различных уровнях рассмотрения. Развитие методологии позволяет улучшить точность моделирования реального растения, а также упростить масштабирование системы при разработке новых онтологических моделей культур. Предлагается реализация интеллектуального цифрового двойника растений как многоуровневой сложной адаптивной системы, основанной на использовании онтологий и мультиагентных технологий. При этом разработка моделей взаимодействия агентов частей и подсистем растений позволит обеспечить более точное планирование каждой стадии развития растений.

Ключевые слова— точное земледелие, эмерджентный интеллект, модель роста и развития растения, цифровой двойник, мультиагентная технология, база знаний, онтология

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время особое значение для развития точного земледелия и повышения урожайности сельскохозяйственных культур приобретают ЦД посевов растений, что требует создания компьютерных моделей живых организмов, интегрирующих полипредметные знания о развитии растений [1-3].

В настоящей статье предлагается разрабатывать ИЦДР для точного земледелия на принципах

«Эмерджентного Интеллекта» (ЭИ) [4], позволяющих создавать модель растения как сложную адаптивную систему на основе формализации знаний предметной области, поведение которой рассматривается как процесс согласованного коллективного принятия решений агентом растения «в целом» и агентами частей растения в ходе планирования стадий роста и развития посевов растений и оценки урожайности. ИЦДР строится на основе баз знаний и мультиагентных технологий [5, 6].

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Анализ подходов, применяемых для разработки ЦДР, показывает, что традиционные математические подходы дают слишком общее решение и не рассматривают индивидуальные особенности сортов культур, локальной погоды, почвенного плодородия, систем обработки почвы и защиты растений от болезней, вредителей и сорняков, а машинное обучение – не отражает специфику внутренних функциональных, причинно-следственных связей, определяющих развитие растений, и не учитывает климатические изменения, вследствие которых предыдущие многолетние накопленные данные о погоде и развитии растений оказываются неактуальными.

В этой связи в настоящем исследовании предлагается разрабатывать ЦДР для точного земледелия на принципах ЭИ, согласно которым компьютерная модель растения рассматривается как сложная адаптивная система, сочетающая кибер-физические и интеллектуальные технологии, в частности, онтологии для формализации и представления знаний предметной области и мультиагентные технологии для моделирования процессов согласованного принятия решений растением. Предлагаемый ЭИ подход имеет конечной целью создание такой самоорганизующейся модели растения, поведение которой определяется взаимодействием ее «целостности» и относительно автономных «частей» или «элементов», способных воспринимать состояние внешней среды, принимать

самостоятельные решения и согласовывать эти решения между собой с учетом имеющихся целей, предпочтений и ограничений [4].

Прогнозируемую урожайность и сроки наступления и завершения фенофаз предлагается определять на основе выделения лимитирующего фактора, ограничивающего по доступным ресурсам рост и развитие растений на каждой стадии.

3. Цифровой двойник растений на принципах эмерджентного интеллекта

Концепция «Эмерджентного интеллекта» была изначально разработана для приближенного решения сложных NP-полных задач адаптивного управления ресурсами в реальном времени, которые плохо решаются традиционными методами классической математики и имеющимися эвристиками. В настоящей работе подход ЭИ используется для управления развитием растений с помощью цифрового двойника. Для создания ИЦДР предлагается использовать следующие принципы ЭИ:

1. Модель роста и развития растений рассматривается как самоорганизующаяся система, в которой план роста и развития растения на каждой стадии строится и адаптивно перестраивается в ходе взаимодействия и согласованного принятия решений растением «как целым» и его относительно автономными «частями» под действием непрерывно изменяющихся факторов внешней среды, что может быть реализовано на основе мультиагентных технологий.

2. Создаваемая модель и метод планирования и моделирования роста и развития электронного (виртуального) посева растений должны быть открыты к пополнению новыми знаниями от агрономов и других специалистов, интегрируемыми в ЦД, что может быть реализовано путем создания онтологий и баз знаний о культуре растений.

Таким образом, ЦДР в предлагаемом подходе должен быть построен как интеллектуальная кибер-физическая система, позволяющая вести адаптивное планирование фаз (стадий) роста и развития растений в сочетании с мониторингом и контролем роста и развития реальных растений, что должно позволять на каждой фенологической стадии самосинхронизировать значения параметров модели ЦДР с соответствующими параметрами роста и развития реальных растений в условиях непрерывно изменяющихся факторов внешней среды. Эти параметры могут считываться с сервера погоды, вручную вноситься агрономами по результатам визуальных осмотров и измерений высоты растений, цвета и размеров листьев, загрузки лабораторных анализов почвы, анализа данных гиперспектральной съемки растений с дронов и т.д.

При этом онтологии должны обеспечить возможность расширения количества рассматриваемых и учитываемых в ЦДР факторов, а мультиагентные технологии – обеспечить адаптивность перестроения планов роста и развития растений и прогноза урожайности по событиям, возникающим в реальном времени. Такими событиями могут быть новые

результаты любых измерений, изменение прогноза погоды и т.п.

4. Выводы

Разработан прототип ИЦДР, который позволяет планировать рост и развитие растений с учетом изменяющихся в реальном времени факторов окружающей среды и моделировать поведение растения в ответ на различные непредвиденные события (жара или холод, обильные осадки или засуха и другие). На следующем этапе ИЦДР в процессе работы будет синхронизироваться с реальными посевами на основе данных от агрономов в конце каждой стадии роста посевов, что разобьет процесс планирования на самозавершенные, связанные между собой этапы и сделает прогноз развития растения более индивидуальным, обоснованным и реалистичным.

Начата работа по сравнению результатов моделирования с реальными данными о посевах, полученными от Самарского НИИСХ, которая будет постепенно приближаться к реальному времени. Важным направлением дальнейшего развития ЦДР является расширение базы знаний предметной области для формализации зависимостей между различными факторами и выработки соответствующих моделей и методов принятия согласованных решений. Кроме того, предлагается дальнейшее развитие модели мира агентов растения для каждой стадии посредством создания моделей взаимодействия агентов частей растения, чтобы обеспечить более точное планирование каждой стадии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования поддержаны грантом Российского Научного Фонда № 22-41-08003, <https://rscf.ru/project/22-41-08003/>.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Barricelli, B. A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications / B. Barricelli, E. Casiraghi, D. Fogli // IEEE Access. – 2019. – Vol.7. – P. 167653-167671.
- [2] Verdouw, C. Digital twins in smart farming / C. Verdouw, B. Tekinerdogana, A. Beulens, S. Wolfert // Agricultural Systems. – 2021. – Vol. 189(103046).
- [3] Mikhailov, D. Using artificial intelligence systems for intensive safe cultivation of crops – short communication / D. Mikhailov, V. Fedorov, M. Mitrokhin // International Journal of Agricultural Technology. – 2021. – Vol. 17(3). – P. 987-990.
- [4] Rzevski, G. Emergent Intelligence in Smart Ecosystems: Conflicts Resolution by Reaching Consensus in Resource Management / G. Rzevski, P. Skobelev, A. Zhilyaev // Mathematics. – 2022. – Vol.10(1923).
- [5] Skobelev, P. Development of crop-simulation multiagent system for smart digital twin of plant / P. Skobelev, A. Tabachinskiy, E. Simonova, O. Goryanin // Proceedings of the VIII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). – 2022. – P. 1-8. – <https://doi.org/10.1109/ITNT55410.2022.9848748>.
- [6] Skobelev, P., Tabachinskiy, A., Simonova, E., Ermakov, V., Goryanin, O., Strizhakov, A. Further advances in models and methods for digital twins of plants / P. Skobelev, A. Tabachinskiy, E. Simonova, V. Ermakov O. Goryanin, A. Strizhakov // Proceedings of the 16th International Conference on Innovation in Intelligent SysTems and Applications (INISTA 2022). – 2022. – P. 1-6. – <https://doi.org/10.1109/INISTA55318.2022.9894246>.