

## СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В.К. Абросимов, В.В. Елисеев (ООО «Робопроб»)

*Рассматривается подход к решению типовых задач точного земледелия с использованием сервис-ориентированной архитектуры построения взаимодействия робототехнических средств наземных роботов и беспилотных летательных аппаратов. Предполагается, что информационные возможности и функциональность роботов представляются в виде сервисов, доступных другим роботам. Приводится пример решения наземными и воздушными роботами задач мониторинга поля, засеянного зерновой культурой, с использованием предлагаемого подхода.*

*Ключевые слова: робот, сельское хозяйство, точное земледелие, мониторинг, сервис-ориентированная архитектура, сервис.*

### Введение

В настоящее время мировое сельскохозяйственное производство характеризуется активной роботизацией сельскохозяйственного труда. Эти процессы направлены на повышение эффективности, снижение себестоимости, улучшение качественных показателей прогнозирования роста растений, анализ болезней растений, обнаружение вредителей, снижение экологической нагрузки и повышение безопасности сельскохозяйственного производства. По данным портала Robotrends.ru, объем мирового рынка сельскохозяйственных роботов к 2024 г. превысит 25 млрд. долл. США. Производство агроботов в ближайшие годы предположительно возрастет в десятки раз. На агроботов возлагаются задачи составления цифровых карт полей с определением формы и границ, автономного или полуавтономного передвижения по заданным или выбираемым полевым маршрутам без вреда для растений и почвы, взятия проб почвы, борьбы с сорняками и вредителями, дозированного внесения удобрений в режиме реального времени и т.д. Для решения этих задач используется информация от датчиков полей о характеристиках полей — неоднородностях, температуре, влажности, скорости и направлении ветра и др. [1].

Одним из основных процессов, в которых целесообразно задействовать агроботов, считается процесс мониторинга сельхозземель как на земле, так и с воздуха. Он включает следующие фазы: оценка текущей полевой ситуации, формирование предупреждения о возникновении угрожающих урожаю состояний полей и растений, требующих принятия решений, проведение необходимых мероприятий по внесению удобрений, борьбе с сорняками и вредителями, а на завершающей фазе мониторинга — контроль эффективности проведенных работ.

Однако несистемность подходов к встраиванию интеллектуальных решений в процессы сельскохозяйственного производства может привести и уже приводит к существенному отставанию России по эффективности. Примером может служить отношение российских агропроизводителей к концепции точного земледелия, реализация которой непосредственно связана с робототехникой. Наличие значительных площадей обрабатываемой земли, налаженные бизнес-процессы ее обработки, традиционные методы внесения удобрений,

борьбы с вредителями, десятилетиями нерешаемые иные проблемы, экстенсивные способы ведения сельского хозяйства снижают интерес агропроизводителей к такой инновации и, как следствие, интерес к развитию сельскохозяйственной робототехники. Возможно по этой причине задача создания комплексных интеллектуальных решений с использованием робототехники по критерию «эффективность-стоимость» для сельского хозяйства пока еще даже не сформулирована.

### Информационные и функциональные возможности агроботов как сервисы

Каждый робот, разрабатываемый или используемый для решения задач сельского хозяйства, обладает как функциональными, так и информационными возможностями.

Функциональные возможности наземных агроботов определяются способностями перемещаться по заданному маршруту с задействованием навесного оборудования и остановками в необходимых местах поля. Стремление к автономности требует учета физической неоднородности полей (камни, склоны, овраги и др.). Здесь развитие осуществляется по пути установки на агробота мощных систем технического зрения, что, к сожалению, существенно удорожает решение. Менее затратным подходом является предварительное изучение маршрута агробота, например, с использованием данных с беспилотных летательных аппаратов и последующей корректировкой маршрута, если на нем могут возникнуть препятствия.

Информационные возможности наземных агроботов также определяются системой технического зрения. Видеокартинка, предназначенная главным образом для определения препятствий на маршруте, одновременно может использоваться для накопления информации о поле, посевах, сорняках, вредителях и др. по пути следования устройства. Этому способствует практическое решение к настоящему времени задач точного позиционирования наземных агроботов [2] до нескольких (1,5...2) сантиметров. Решение этой задачи может быть обеспечено уточнением данных систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС (точность не хуже 0,5...2 метров) системами локальной навигации, использующими различные физические принципы (сотовую связь, инфракрасное и ультразвуковое излучение и др.) [3].

На агроботах наземного типа могут устанавливаться различные виды навесного оборудования — отбора проб земли, дифференцированного внесения удобрений, борьбы с сорняками и вредителями и др. Отметим, что современное навесное оборудование по существу также работает, основываясь на данных, поступающих от датчиков. Так, например, в одном из решений компании Amazone по борьбе с сорняками система задействует форсунку навесного оборудования на применение гербицидов при попадании в поле обзора датчика сорняка высотой 50 см. При обнаружении же переросшего сорняка расход гербицида автоматически увеличивается. Возможность работы по информации датчиков и по командам от датчиков существенно расширяет возможность использования агроботов.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) могут рассматриваться как агроботы воздушного типа. Класс задач, которые может выполнять БПЛА в интересах сельского хозяйства, обширен и многократно описан. Процессы использования БПЛА несложны: взлет, полет по заданному маршруту, зависание в определенных точках (при необходимости посадка на землю) и возврат на исходные позиции. На БПЛА также могут устанавливаться как информационные, так и функциональные средства (например, полив и опрыскивание отдельных полевых зон, биологическая защита растений), но приоритет пока все же остается за информационными функциями с мультиспектральной съемкой в интересах распознавания ситуации на поле, определением вегетационных индексов урожаев, болезней растений, наличия вредителей.

С математической точки зрения задачи маршрутизации агроботов относятся к классу задач коммивояжера в условиях ограничений. Учитывая NP-трудность задач такого рода особенно для значительного числа точек, в которых должен выполнить свои задачи агробот, це-

лесообразно выбирать для маршрутизации упрощенные методы, основанные например, на «жадных» алгоритмах. Важно при этом учитывать часто выдвигаемые требования периодической повторяемости мониторинга поля в одних и тех же точках. Для выполнения этих условий, как возможное решение, в работе [4] предложены рекуррентные муравьиные алгоритмы маршрутизации, которые применимы как для наземных агроботов, так и для БПЛА.

#### Хореография и оркестровка сервисов агроботов в задаче мониторинга поля

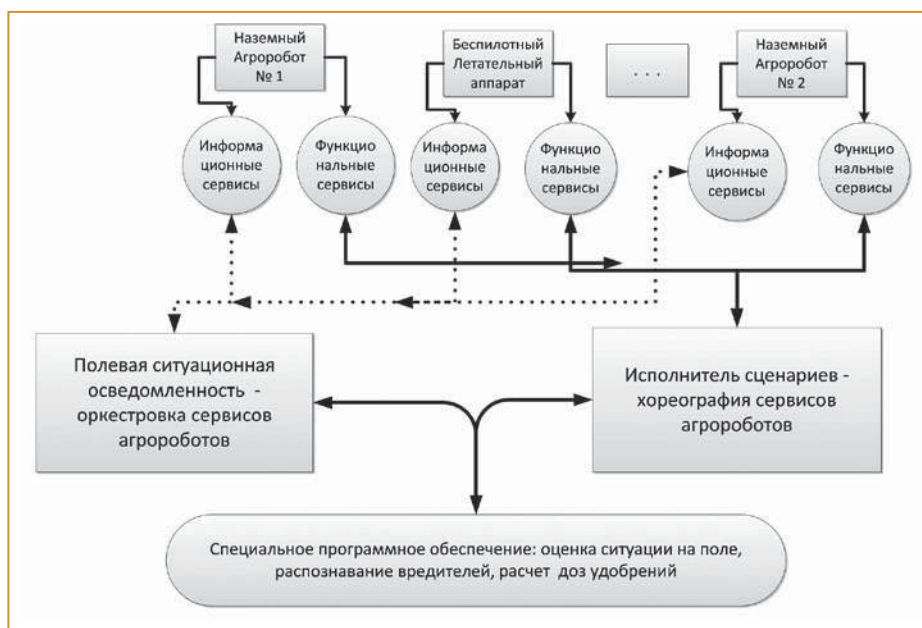
В качестве теоретической основы решения задач точного земледелия различными робототехническими средствами целесообразно использовать сервис-ориентированные архитектуры (SOA) [5]. В SOA функциональность объекта представляется в виде сервиса, доступного другим объектам. Архитектура SOA предполагает единые правила связи объектов, предоставления, обработки, обмена информацией. Для организации взаимодействия сервисов используются понятия «хореографии» и «оркестровки», которые осуществляются по схеме «запрос-ответ» с использованием стандартных протоколов обмена информацией. Хореографией называется последовательность и логика выполнения нескольких процессов, координируемых при помощи сообщений. В рассматриваемых задачах хореография сервисов может использоваться для организации взаимодействия агроботов между собой при последовательном решении задач точного земледелия. Оркестровка сервисов состоит в том, что каждый сервис, реализуя собственную функциональность, может через оркестратора или путем непосредственной связи запросить и использовать другие сервисы как для своего информационного обеспечения, так для активных действий. В рассматриваемых задачах оркестровка сервисов может использоваться для решения задач ситуационной осведомленности, в которых каждый агробот может

запросить другого агробота об использовании его функциональных и информационных сервисов для решения собственных задач, если сам он испытывает проблемы.

Итак, введем исходное предположение о том, что каждый агробот может представляться внешней среде как сервис, описываемый информацией, содержащей стандартизированное описание его функциональности и условий его использования.

Опишем в парадигме SOA общий сценарий периодического мониторинга поля, засеянного зерновой культурой (рисунок).

Наземный агробот №1, выполняющий в процессе мониторинга состояния посевов поиск «тревожных» ситуаций, движется



Хореография сервисов агроботов в процессе мониторинга поля

по полю по заранее определенному маршруту. Мониторинг происходит при помощи установленной на агророботе бортовой информационной аппаратуры (в частном случае, видеоканал). Специальное программное обеспечение (СПО) в формате on-line анализирует видеокартинку. В момент обнаружения и распознавания наличия, например, скопления вредителей в области R, фиксируется местоположение (GPS-координаты) очага заражения, которое передается в СПО. GPS-координаты передаются на контроллер БПЛА, что активизирует его полетное задание. БПЛА взлетает, прибывает в R-область, путем мультиспектральной фотофиксации конкретизирует масштаб угрозы и уточняет область, где необходимо уничтожение вредителей. На основании обработки данных БПЛА в СПО распознается тип вредителей и вырабатывается с учетом текущего местонахождения маршрут наземному агро роботу №2, на котором установлено навесное оборудование по выпуску энтомофагов, паразитирующих на данных вредителях. Агро робот №2 в силу сложной географии поля запрашивает сервис БПЛА по предварительной проверке проходимости намеченного маршрута (здесь реализуется оркестровка сервисов). БПЛА пролетает по маршруту агро робота №2 и подтверждает его проходимость (отсутствие крупных камней, оврагов с крутыми склонами и др.) либо, сообщая о координатах препятствий, инициирует корректировку маршрута. Агро робот №2 движется по безопасному маршруту в R-область и обрабатывает ее энтомофагами. В процессе мониторинга фиксируется агротехническая пауза (например, в несколько дней). По окончании паузы агро робот №1 автоматически отбирает пробы грунта в области R. Полевая станция анализа физико-химического состава почвы фиксирует недостаток азота. По этим данным в СПО рассчитывается количество удобрений, которой необходимо внести в R-область и вырабатываются уставки датчикам удобрений, расположенных на навесном оборудовании агро робота №2. Он перемещается в R-область, вносит удобрения и формирует сигнал агро роботу №1 на дальнейший мониторинг R-области для анализа эффективности проведенных полевых мероприятий.

В настоящее время в компании ООО НТЦ «Робопроб» проводится разработка упрощенного программного обеспечения для решения четырех основных функциональных задач точного земледелия робототехническими средствами на основе технологии SOA: взятие проб почвы, мониторинг ситуации по полю заданного размера и географии, внесение удобрений и энтомофагов для нескольких культур, типовых для средней полосы и юга России. Все сервисы списком регистрируются в специальном реестре сервисов агро роботов, включая интерфейсы, способы их использования и др.; метаданные (текстовые описания возможностей сервисов) — в специальном репозитории сервисов. Разрабатываются единые стандарты описания, единые справочники и классификаторы информации полевой ситуационной осведомленности роботов. Разработка программ осуществляется

*Абросимов Вячеслав Константинович — д-р техн. наук, директор по научной работе,  
Елисеев Владимир Викторович — генеральный директор ООО НТЦ «Робопроб».  
E-mail: info@robotprob.com*

с использованием международных открытых спецификаций и протоколов, метаданных для описания Web-сервисов и браузера в качестве пользовательского интерфейса, в том числе стандарта UDDI для публикации, поиска в реестре и использования сервисов, стандарта WSDL для описания функциональности и интерфейсов Web-сервисов в репозитории, стандарта SOAP в качестве протокола доступа к сервисам. В процессе разработки предполагается также интеграция разрабатываемого СПО с существующими системами сельхозпредприятия посредством специализированных адаптеров.

#### Заключение

Принципы точного земледелия основаны на новых методологических подходах к разработке современных технологий возделывания полевых культур, при которых сельскохозяйственное поле, неоднородное по рельефу, почвенному покрову, содержанию элементов питания и характеристикам ионно-обменных свойств, требует применения на каждом участке адаптированных к данному ландшафту агротехнологий. Внедрение принципов точного земледелия в российских условиях выдвигает необходимость разработки новых подходов к построению таких комплексных процессов со значительной интеллектуальной составляющей. Методы решения традиционных интеллектуальных задач при использовании в системах управления агро роботов должны быть адаптированы к практическим потребностям сельскохозяйственного производства. Реализуемыми будут "заточенные" под конкретные практические задачи решения.

Эффективной теоретической основой построения соответствующих прикладных решений могут стать сервис-ориентированная архитектура с реализацией процессов точного земледелия в виде хореографии сервисов агро роботов, обеспечения ситуационной осведомленности и эффективной групповой работы посредством оркестровки сервисов агро роботов.

#### Список литературы

1. *Елизарова А. В., Елизаров В. В., Устинов Н. Н.* Состояние и перспектива развития мехатронных систем в сельском хозяйстве // Молодой ученый. 2016. № 27. С. 73-75.
2. *Башилов А.М., Лебезов В.Н.* Совместное использование глобального наведения, локального позиционирования и интеллектуального видеонаблюдения в аграрном производстве // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». 2014. № 2. С. 23-26.
3. *Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А.* Ключевые технологии и прогноз развития сельскохозяйственной робототехники // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 6 (21). С. 35-41.
4. *Абросимов В.К.* Коллективы интеллектуальных летательных аппаратов. М.: Наука. 2017. 302 с.
5. *Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA).* М.: КуДиц-Пресс. 2007. 256 с.