

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ ОНТОЛОГИЙ

INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES BASED ON ADAPTIVE ONTOLOGIES

Ye. Gusak

Summary. The article is devoted to the prospects of using intelligent technologies for decision-making in the process of functioning of agricultural enterprises. A special emphasis is made on adaptive ontologies, their capabilities, and prospects of application. On a practical example the features of building the architecture of adaptive ontology and the choice of data sources are described. The key points of using fuzzy logic in decision-making systems are also outlined.

Keywords: ontology, analysis, decision, data, structure.

Гусак Егор Владимирович

Аспирант, Волгоградский Государственный
Аграрный Университет
ierence.common@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению перспектив использования интеллектуальных технологий для принятия решений в процессе функционирования сельскохозяйственных предприятий. Отдельный акцент сделан на адаптивных онтологиях, их возможностях и перспективах применения. На практическом примере описаны особенности построения архитектуры адаптивной онтологии и подход к формированию источников данных. Также обозначены ключевые моменты использования нечеткой логики в адаптивных онтологиях.

Ключевые слова: онтология, анализ, решение, данные, структура.

Согласно прогнозам ООН и Всемирного банка, в 2050 г. численность населения Земли достигнет 9,8 млрд чел. и продолжит увеличиваться до тех пор, пока к 2100 году не достигнет отметки 11,3 млрд чел. [1]. При этом следует отметить, что существует прямая зависимость между ростом численности населения и увеличением потребности в производстве продуктов питания. Рост населения планеты и расширение урбанизации в значительной степени увеличивают риски дефицита продовольствия из-за увеличения объемов потребления и спроса на сельскохозяйственные продукты, поскольку сельскохозяйственные угодья заменяются инфраструктурой и зданиями. Помимо этого, существует множество препятствий для успешного развития и функционирования предприятий АПК, приводящих к снижению урожайности, таких как засоленность почвы и наводнения. Также значительное давление на производительность предприятий оказывает изменение климата, вредители, сорняки и болезни, которые развивают устойчивость к пестицидам, а законодательные ограничения сокращают доступные варианты для борьбы с ними.

С учетом отмеченного, для устранения комплекса угроз и рисков фермерам требуются основанные на фактических данных рекомендации для принятия оптимальных решений. Однако, из-за сложности и неопределенности сельскохозяйственной экономики традиционным системам поддержки принятия решений зачастую сложно эффективно реагировать на постоянно меняющиеся

требования рынка, погодные условия и политические корректировки, что приводит к низкой эффективности сельскохозяйственного производства и нестабильным доходам фермеров. Также это затрудняет совместное создание ценностей в потребительской цепочке создания стоимости, препятствуя удовлетворению общих интересов и устойчивому развитию отрасли [2].

Возможным вариантом решения задачи в данном случае является внедрение систем поддержки принятия решений с использованием передовых интеллектуальных технологий на основе онтологий. Это подход, который объединяет в виде формальных онтологий знания о конкретном случае и знания о предметной области с целью повышения эффективности и объясняющей способности системы.

Таким образом, вышеприведенные обстоятельства предопределили выбор темы данной статьи.

Описанию и классификации методов интеллектуального анализа данных, охватывающих три аспекта: типы знаний, типы анализа и типы архитектуры, а также особенностям их применения в различных исследовательских и практических областях, посвятили свои труды Баюк О.В., Лозикова И.О., Ворожцова Т.Н., Peter Baumann, Vlad Merticariu.

Возможности использования комбинации технологий искусственного интеллекта, адаптивной онтологии

и методов поддержки групповых решений для облегчения извлечения знаний о региональных и сезонных факторах, влияющих на эффективность сельского хозяйства, представлены в публикациях Якушева В.В., Ломакина В.С., Часовских С.В., Alan Fern, Margaret Burnett, Joseph Davidson.

Высоко оценивая накопленное научное наследие, широкий спектр вопросов в данной предметной плоскости остается открытым. Несмотря на то, что сегодня есть примеры успешного использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве (ИСПР), которые пользуются популярностью на практике, многие из них страдают от схожих недостатков проектирования, которые ограничивают их внедрение. К этим недостаткам относится отсутствие надежности, гибкости в единицах измерения и сложность исправления ошибок, когда в систему вводятся данные.

С учетом изложенного цель статьи заключается в изучении особенностей использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений на сельскохозяйственных предприятиях на основе адаптивных онтологий.

Онтология представляет собой формальную, четкую спецификацию общей концептуализации, где «концептуализация» относится к абстрактной модели некоторых явлений, которые могут быть идентифицированы

по ее соответствующим и явно определенным условиям и ограничениям [3]. ИСПР используют онтологию для представления и извлечения знаний. Преимуществом такого подхода является способность объяснять сложные логические взаимосвязи между вещами и понятиями в области знаний, а также логические рассуждения.

В сельском хозяйстве ИСПР на основе адаптивных онтологий объединяют многочисленные источники данных, такие как данные датчиков, визуальные данные и данные об окружающей среде в единую онтологическую структуру, что в итоге улучшает информационную базу, поддерживающую принятие комплексных решений, благодаря использованию существующих онтологических ресурсов для учета различных аспектов сельскохозяйственных операций, обеспечивая тем самым более целостный и обоснованный подход к управлению предприятиями.

В целом с теоретической точки зрения процесс функционирования ИСПР на основе адаптивных онтологий включает в себя ряд взаимосвязанных шагов, общая схема которых представлена на рис. 1. Как свидетельствует рис. 1 схема функционирования ИСПР включает в себя следующие этапы: разработка базовой онтологии; определение первоначальных весов онтологии (например, на основе широкого спектра методов интеллектуального анализа данных, в частности k-средних). Если он-



Рис. 1. Схема функционирования ИСПР на основе адаптивных онтологий

тология получается не полной, то ее необходимо пере-строить и провести оптимизацию. После этого следует распространить веса на всю онтологию и применить со-ответствующую метрику для разработки окончательного решения.

Когда онтология полностью построена, все ее веса определены и настроены, в таком случае функционирование ИСПР заключается в применении соответствующих метрик и принятии управленческих решений на основе их значений.

Особенности использования ИСПР на основе адаптивных онтологий в сельском хозяйстве рассмотрим на примере разработки системы, которая будет объединять компьютерное зрение, глубокое обучение и семантические веб-технологии для эффективного управления сельскохозяйственными знаниями. Система позволит интегрировать традиционные данные наблюдений и данные датчиков в единый граф знаний, доступный через язык запросов, предназначенный для поиска и манипулирования сведениями, хранящимися в графе.

Например, система знаний онтологии о сельскохозяйственных вредителях может быть описана пятерной формой $DP = \langle D, V, C, B, M' \rangle$, где $D = \{D_1, D_2, \dots, D_L\}$ представляет собой непустое конечное множество всех болезней во всех иерархиях системы, $M = \{M_1, M_2, \dots, M_L\}$ является непустым конечным множеством всех симптомов во всех иерархиях системы, $C \subseteq D * M = \{C_1, C_2, \dots, C_T\}$ — множество причинных отображений из D в M , $B \subseteq M * D = \{B_1, B_2, \dots, B_L\}$ — множество причинных отображений из M в D , и $M' \subseteq M$ — это множество наблюдаемых симптомов.

Итак, ИСПР разрабатывается таким образом, чтобы ее можно было адаптировать к различным культурам и условиям окружающей среды, предоставляя точные рекомендации, учитывающие конкретные условия. Система охватывает такие аспекты, как анализ семян, управление почвой, ирригация, борьба с вредителями и анализ продукции. Кроме того, она позволит повысить точность рекомендаций и будет помогать фермерам оптимизировать каждый этап выращивания сельскохозяйственных культур благодаря использованию множества источников данных. Помимо этого, свойства адаптивной онтологии позволяют ИСПР приспосабливаться к различным полевым условиям и типам данных, что даст возможность ей быть универсальным инструментом для современного сельского хозяйства.

На рисунке 2 показано, что разработка предложенной ИСПР включает в себя три этапа: сбор данных, представление знаний, а также выбор и поиск данных.

Эти этапы обеспечивают эффективную обработку собранной информации для выработки соответствующих рекомендаций.

В таблице 1 представлена примерная структура источников данных для онтологии моделируемой ИСПР.

Особенностью, предложенной на рис. 2 системы и отличительной характеристикой адаптивной онтологии, является возможность использования нечеткой логики описания. В последнее время отмечается, что классические онтологии и их языки не подходят для работы с нечеткими и неточными знаниями, которые являются основополагающими для нескольких областей реального мира, в число которых входит сельское хозяйство



Рис. 2. Архитектура ИСПР на основе адаптивной онтологии

Таблица 1.
Структура источников данных для построения онтологии ИСПР в сельском хозяйстве

Класс	Описание
Ирригационная система	Описывает системы, используемые для орошения в АПК
Ирригационный анализ	Анализ эффективности планирования и осуществления орошения
Параметры воды	Параметры, связанные с качеством и доступностью воды
Источники воды	Различные источники воды, используемые для орошения
Анализ вредителей	Анализ, связанный с обнаружением и борьбой с вредителями
Текстура семян	Оценка качества текстуры семян
Семенной профиль	Профиль и характеристика семян
Анализ почвы	Оценка свойств и качества почвы
Вредители	Продукты, используемые для борьбы с вредителями
Методы	Методы борьбы с вредителями

[4]. Для решения этой проблемы как раз и предлагается использовать нечеткую логику. Адаптивные онтологии и нечеткая логика их описания для ИСПР могут работать с вероятностными неопределенностями и нечеткостью.

Нечеткая логика описания, которая рассматривается в рамках проводимого исследования, называется $ALCB(D)$, и ее выразительности достаточно, чтобы проиллюстрировать разрабатываемый подход.

Нечеткий конкретный домен представляет собой кортеж $D = \langle \Delta^D, \Delta^D \rangle$, где Δ^D — домен типов данных, \cdot^D — отображение, присваивающее элемент Δ^D каждому значению данных, и одномерное нечеткое отношение над Δ^D к каждому одномерному предикату типа данных d . Таким образом, отображение \cdot^D связывает каждый предикат типа данных с функцией из домена Δ^D в $[0, 1]$. Предикаты типа данных d , которые рассматриваются, — это функции принадлежности: трапециевидные $trz(a, b, c, d)$, треугольные $tri(a, b, c)$, левое плечо $ls(a, b)$ и правое плечо $rs(a, b)$:

$$d \rightarrow ls(x, y) | rs(x, y) | tri(x, y, z) | trz(x, y, z, t)$$

$$|\geq_v | \leq_v | =_v | \in_v$$

и $v \in \Delta^D$ и $V \subseteq \Delta^D$.

Теперь рассмотрим следующие обозначения: множество атомарных концептов или имен концептов обозначается как A , множество имен ролей обозначается как R , множество индивидуальных имен обозначается как I . Предполагаем, что роль может быть свойством типа данных или свойством объекта. С помощью конструкторов логики описания концепты строятся из имен концептов A , свойств объектов R и свойств типов данных S . Синтаксическое правило, используемое для построения концептов, следующее:

$$C \rightarrow T | \perp | A | C_1 \sqcap C_2 | C_1 \sqcup C_2 | C | C_1 \rightarrow C_2$$

$$| \exists R.C | \forall R.C | \exists S.d | \forall S.d | \exists R.\{a\}$$

Понятия формы $\{a\}$, содержащие $a \in I$, называются номиналами. В $ALCB(D)$ они могут появляться только в понятиях формы $\exists R.\{a\}$. Нечеткая база знаний адаптивной онтологии $\mathcal{K} = \mathcal{A}, \mathcal{T}$ содержит нечеткий $AVox$ \mathcal{A} с аксиомами об индивидах и нечеткий $TBox$ \mathcal{T} с аксиомами о концептах [5].

Нечеткий $AVox$ включает в себя конечное множество нечетких утверждений следующих типов: (i) утверждения о понятиях в форме $a : C, \alpha$ $\alpha \in (0, 1]$, указывающие, что выражение a является экземпляром понятия C со степенью больше или равной α ; (ii) ролевые утверждения в форме $(a, b) : R, \alpha$ $\alpha \in (0, 1]$ означающие, что пара условий (a, b) является экземпляром решений R со степенью, большей или равной α .

Нечеткий $TBox$ состоит из конечного множества нечетких включений общих понятий, которые являются выражениями вида $C_1 \sqsubseteq C_2, \alpha$ $\alpha \in (0, 1]$ означающими, что степень условия C_1 , подчиненного C_2 , больше или равна α .

Описанные выше представления и соотношения позволяют интегрировать онтологии и онтологические представления для повышения эффективности ИСПР. Например, 24 солнечных условия или события — это природные явления, которые отражают сезонные характеристики сельскохозяйственной деятельности и имеют тесную связь с различными сельскохозяйственными знаниями. Каждое условие представляет собой конкретную временную сущность, которую необходимо объединить в сельскохозяйственную онтологию. Поэтому, исходя из характеристик используемых знаний и метода построения онтологии домена, извлечение общих понятий, таких как время и пространство, из сельскохозяйственной онтологии верхнего уровня необходимо для координации действий в процессе выбора онтологии нижнего уровня и в результате обоснования наиболее рационального решения.

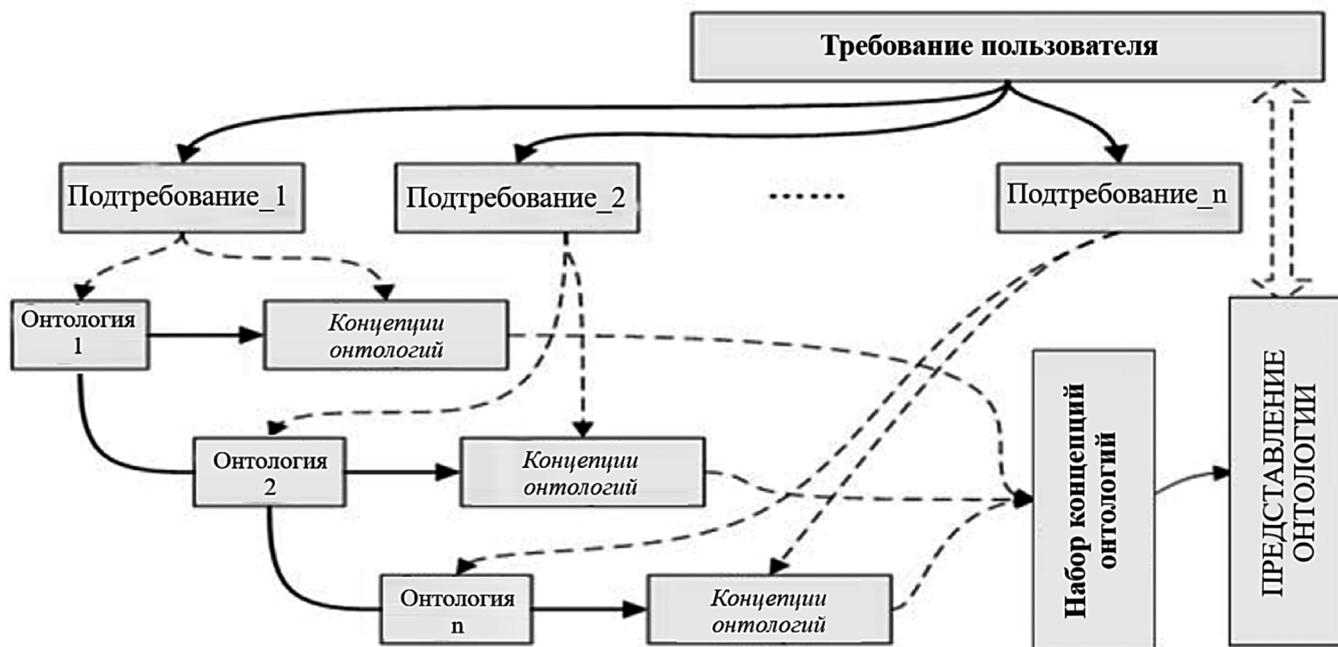


Рис. 3. Блок-схема представления онтологии на основе требований пользователя

Таким образом, в ИСПР поступают требования пользователей, которые затем разделяются на подтребования, согласно более предметным и целевым областям. Далее конкретный набор понятий берется из соответствующей онтологии согласно подтребованиям. После этого выполняется консолидация понятий для устранения противоречий и конфликтов в представлении онтологии. В конечном итоге, онтологическое представление

обеспечивает совместные сервисы интеграции знаний из предметных областей для удовлетворения потребностей пользователей в принятии тех или иных решений (рис. 3).

Итак, в статье рассмотрены теоретические и практические аспекты использования сельскохозяйственными предприятиями ИСПР на основе адаптивных онтологий в современных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Damilola Tobiloba Understanding farmers' engagement and barriers to machine learning-based intelligent agricultural decision support systems // *Agronomy Journal*. 2023. Volume 116, Issue 3. P. 34–39.
2. Кубеков Б.С. Онтологический инжиниринг для представления и управления знаниями: метаструктуры и методы для эффективного управления знанием // *Научный аспект*. 2023. Т. 2. № 5. С. 248–256.
3. Смирнов А.В. Концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений: подход и архитектура платформы // *Информатика и автоматизация*. 2024. Т. 23. № 4. С. 1139–1172.
4. Dirk Lindebaum Big Data, Proxies, Algorithmic Decision-Making, and the Future of Management Theory // *Journal of Management Studies*. 2023. Volume 61, Issue 6. P. 98–107.
5. Shuai Dai Improve the Design Intelligence through Wireless Networks to Increase Agricultural Production in Provincial Countries // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2022, Issue 1. P. 23–29.

© Гусак Егор Владимирович (ierence.common@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»