

П. С. Романов, д-р техн. наук, проф., e-mail: romanov_p_s@mail.ru,
Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Московский политехнический университет", г. Коломна,
И. П. Романова, канд. техн. наук, доц., e-mail: i-p-romanova@yandex.ru,
ФГБОУ ВО "Московский государственный университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)", Москва

Методический аппарат принятия решения интеллектуальной системой управления мобильного робота при сборе ягод

Рассмотрена одна из задач управления интеллектуальным мобильным роботом сельскохозяйственного назначения — задача выбора порядка применения робота для сбора ягоды. Разработан методический аппарат выбора принятия решения интеллектуальной системой управления мобильного робота при лингвистической оценке вариантов решения по порядку применения робота для сбора ягоды. Данный аппарат может быть реализован при разработке программного обеспечения не только при управлении интеллектуальными мобильными роботами сбора ягоды, но и при управлении роботами иного назначения.

Ключевые слова: мобильный робот, искусственный интеллект, интеллектуальная система управления, принятие решений, лингвистическая оценка вариантов решения, метод установления отношения порядка на нечетких оценках, сбор ягоды

Введение

Мобильная робототехника в настоящее время представляет эффективный инструмент решения задач, где существует угроза жизни и здоровью человека, присутствуют экономические и технологические ограничения. Также мобильные роботы применяют и в обычных условиях для выполнения тяжелых или длительных монотонных работ, а также в качестве внутрицехового транспорта, на автоматизированных складах, при проведении земляных работ [1—6].

Сегодня с помощью мобильных роботов в сельском хозяйстве решается ряд задач: вождение тракторов, комбайнов и другой сельхозтехники; применение в теплицах для работ по подготовке почвы, высеву семян, опрыскиванию химикатами, сбору готовой продукции (рассады, овощей, фруктов), ее сортировке и укладке в тару; разгрузка, погрузка, хранение и распределение сельхозпродукции на складах, в пунктах агропромышленной логистики [1, 7].

При создании мобильных роботов активно применяются технологии искусственного интеллекта (ИИ): нечеткая логика, искусственные нейронные и нейронечеткие сети, искусственные иммунные системы, генетические алгоритмы, роевой интеллект. Такие роботы называют интеллектуальными роботами. В них реализуются следующие функции: обработка сенсорной информации; оценка внешней ситуации; принятие адекватных решений по выбору целей поведения, планированию путей их дости-

жения; реализация этих планов путем управления движением робота [1, 2, 6—14].

Если беспилотные комбайны уже эффективно убирают урожай картофеля и зерновых, то с ягодами, овощами и фруктами ситуация более сложная. Необходимо научить машины бережно и без повреждений кожуры собирать такой урожай. Сбор урожая ягод садовой земляники — самый трудоемкий процесс в общей технологии возделывания этой ценной культуры. Сегодня производительность труда при ручном сборе ягод невелика — от 4 до 15 кг/ч; для крупных ягод со средним весом 15 г — 13 кг/ч, для ягод со средним весом 7 г — 7 кг/ч. На уборку урожая с одной сотки планируют от 7 до 20 чел/ч. На крупных плантациях необходимо заранее знать, на какое количество рабочей силы можно рассчитывать на пиковые 2...3 недели в июне—июле. Как свидетельствует зарубежный и отечественный опыт, механизация этого процесса возможна [15—17].

Несколько компаний осуществляют поиск решения данной задачи. Так, испанская компания Agrobot предлагает для ее решения опытный робот SW6010. Он работает полностью в автономном режиме и способен самостоятельно ориентироваться в пространстве. Машина в режиме реального времени использует технологии искусственного интеллекта для оценки зрелости ягод. Робот также оснащен сенсорами для оценки цвета плода и его товарного вида. Сенсоры проводят анализ ягод и записывают информацию о каждом плоде.

Когда робот завершает уборку ряда, он останавливается и передает данные оператору. За три дня один робот Agrobot может собрать садовую землянику с 800 соток [18].

Необходимо уточнить, что указанный робот тестировался на плантации в Калифорнии в идеальных для выращивания и сбора ягод условиях. Климат в центральной России является умеренно-континентальным. Лето в средней полосе России теплое, умеренно влажное, с преобладанием переменной облачной погоды. Поэтому часто сбор ягод на полях с открытым грунтом проходит в неблагоприятных условиях, обусловленных, в первую очередь, наличием дождливых дней в период сбора ягод. Кроме того, сбор ягод ограничен сроком их созревания, который не превышает нескольких недель. Решение прикладных задач, связанных со сбором ягод автономным роботом в таких условиях, относят к задачам с низкой степенью организованности внешней среды и недостаточной априорной информации о ней.

Таким образом, имеет место неопределенность и нечеткость задач, которые должны быть решены системой управления мобильным роботом, предназначенным для сбора ягод на полях с открытым грунтом. Это предполагает необходимость применения для управления роботом технологий ИИ, т.е. он должен оснащаться интеллектуальной системой управления (ИСУ).

Цель данного исследования — разработка методического аппарата принятия решения ИСУ мобильного робота по порядку его применения для сбора ягод, когда варианты решений оцениваются лингвистически.

Постановка задачи. В дождливую погоду сбор ягод обычно не проводят, что снижает массу собранного урожая и, соответственно, прибыль от его продажи. Но надо учитывать, что при сборе ягод на 1 день позже их созревания в дождливую погоду, теряется до 30 % (в результате порчи ягод из-за серой гнили, слизней, лягушек), на 2 дня позже — до 60 % урожая. Кроме того, ягода переходит из пересылочной спелости в полную [16].

В сухую и теплую погоду можно собрать интеллектуальным мобильным роботом все ягоды. Но если нет возможности собрать все ягоды из-за прогнозируемого дождя, то можно собрать наиболее крупные ягоды со всей плантации. Выигрыш состоит в том, что крупные стандартные ягоды, пригодные для потребления в свежем виде, стоят примерно в 4 раза дороже ягод, идущих на переработку. Проигрыш заключается в том, что не собранная вовремя ягода сгниет и может быть съедена вредителями.

Надо учитывать, что после дождя должно пройти определенное время для того, чтобы ягода высохла. Сбор мокрой ягоды снижает ее качество.

Зная прогноз погоды на определенный период времени, ИСУ робота должна оценить время, которое у робота есть на сбор ягод до начала дождя, и длительность дождливой погоды. Затем принять один из вариантов решения:

- собирать всю ягоду с какой-то части своего участка за доступное время, если дождя не будет и сбор можно будет продолжить на следующий день;
- собирать только лучшие крупные ягоды, если дождь будет затяжной и ягоды будет нельзя собирать несколько дней;
- собирать крупные и средние ягоды, если дождь будет идти до половины суток или одни сутки, а потом погода будет сухая и солнечная и ягода высохнет. За это время сгниет и будет съедено 10 % урожая ягод.

Кроме погодных условий, прибыль от собранной ягоды зависит от урожайности ягод на данной плантации. При известной урожайности выгоднее собирать, прежде всего, крупную ягоду, так как стоимость крупных ягод примерно в 1,5 раза больше, чем средних и в 4 раза больше, чем мелких, идущих на переработку для консервного производства [16, 17].

Погодные условия оказывают влияние и на скорость созревания ягод садовой земляники. Если наблюдается продолжительный период сухой и теплой погоды, то это идеальные условия для сбора ягоды. Но если стоит солнечная сухая и жаркая погода, то ягода созревает очень быстро, и сбор ягод надо проводить оперативно, чтобы ягода не пропала. Сухая погода уменьшает риск гниения ягод и поедания ее слизнями.

Таким образом, при известной урожайности данного сорта садовой земляники прибыль от собранной ягоды зависит, прежде всего, от погодных условий и продолжительности хорошей погоды, от оперативности сбора ягоды, от массы собираемой ягоды. Также прибыль будет зависеть от технических характеристик мобильного робота, прежде всего, его производительности. Например, как указывалось ранее, один робот Agrobot может собрать садовую землянику с 800 соток в хороших условиях за 3 дня. Надо отметить, что производительность может меняться в зависимости от места нахождения участка, сорта ягоды, его урожайности в этот год и т.п. Все это влияет на порядок применения мобильного робота при сборе ягод.

Задачу можно сформулировать следующим образом: интеллектуальной системе управления мобильного робота необходимо найти

наилучший вариант порядка его применения для сбора ягод, обеспечивающий наибольшую прибыль от этого сбора.

При этом мобильный робот должен быть оснащен трехуровневой интеллектуальной системой управления. Она должна принимать решения в зависимости от уровня определенности, полноты и точности информации о ситуации и ее оценки: на первом уровне принимаются решения по однозначным ситуациям, на втором — по неоднозначным четким ситуациям, на третьем — по неоднозначным нечетким ситуациям [6, 19].

Это позволит эффективно решать не только задачу сбора ягод, но и другие возлагаемые на робота задачи, например, автономного перемещения по полю, оценку цвета плода и его товарного вида, сортировку ягод, удаление сорняков и т.п. Кроме того, ИСУ улучшит функциональные характеристики системы управления как мобильным роботом в целом, так и отдельных ее подсистем.

Методический аппарат принятия решения ИСУ мобильного робота по порядку его применения для сбора ягод

Сбор ягод зависит от погодных условий, сроков и скорости созревания ягоды и других условий и относится к неоднозначным четким ситуациям. Решение будет принимать ИСУ мобильного робота на втором ее уровне. При этом варианты решений оцениваются лингвистически. Поскольку возможные варианты решения оцениваются лингвистически, то наиболее эффективным методом является метод, описанный в работе [20]. Он основан на установлении отношения порядка на нечетких оценках, которое определяется через вероятностные оценки для их четких эквивалентов. Суть метода заключается в следующем.

Пусть требуется принять решение при лингвистических оценках вариантов. Имеется $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — множество вариантов решений, соответствующих данной ситуации; $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ — множество исходов, причем исход s_i обусловлен альтернативой (вариантом) a_i ; $K(s_i) = \{K_1(s_i), K_2(s_i), \dots, K_m(s_i)\}$ — лингвистическая векторная оценка исхода s_i ; $K_q(s_i)$ — лингвистическая оценка (нечеткое число) исхода по q -му критерию. Введем нечеткое отношение порядка \geq на множестве лингвистических векторных оценок $K = \{K(s_1), \dots, K(s_n)\}$. Для этого определим функцию принадлежности нечеткого отношения следующим образом: $\mu_{\geq}: K \times K \rightarrow [0, 1]$.

Обозначим $\mu_{\geq}\{K_q(s_i), K_q(s_j)\}$ через $\mu_{\geq}^q(s_i, s_j)$. Вычислить значение этой функции для нечетких чисел $K_q(s_i)$ и $K_q(s_j)$ можно по формуле

$$\mu_{\geq}(A, B) = 1 - \mu_{<}(A, B) = \mu_{>}(A, B) + \mu_{=}(A, B), \quad (1)$$

где A и B — нечеткие числа; $\mu_{>}$ — нечеткое отношение порядка типа "больше" на множестве нечетких чисел.

Степень истинности $\mu_{>}(A, B)$ нечеткого высказывания $A < B$ определим как вероятность того, что точное значение нечеткого числа A будет меньше точного значения нечеткого числа B :

$$\mu_{<}(A, B) = P(pv(A) < pv(B)),$$

где $pv(A)$ — четкое значение нечеткого числа A . Таким образом,

$$\mu_{<}(A, B) = \sum_{i=1}^{n-1} P(pv(A) = x_i \ \& \ pv(B) > x_i).$$

Естественно считать, что случайные величины, построенные на нечетких числах A и B , независимы. Тогда

$$\begin{aligned} P(pv(A) = x_i \ \& \ pv(B) > x_i) &= \\ &= P(pv(A) = x_i)P(pv(B) > x_i) = \\ &= v_A(x_i)(1 - P(pv(B) \leq x_i)) = \\ &= v_A(x_i)(1 - P(pv(B) < x_{i+1})), \quad i \in N_{n-1}, \end{aligned}$$

и значит

$$\mu_{<}(A, B) = \sum_{i=1}^{n-1} (v_A(x_i)(1 - w_B(x_{i+1}))), \quad (2)$$

где $v_E(x)$ — вероятность того, что в качестве точного значения числа E используется величина x ; $w_E(x)$ — вероятность того, что в качестве точного значения нечеткого числа E используется величина $y < x$:

$$w_E(x) = \sum_{\substack{y \in S_E \\ y < x}} v_E(y), \quad (3)$$

где $v_E(x) = \mu_E(x) \left[\sum_{y \in S_E} \mu_E(y) \right]^{-1}$; $\mu_E(x)$ — функция принадлежности.

Функцию μ_{\geq} определим следующим образом:

$$\mu_{\geq}[K(s_i), K(s_j)] = \underset{q \in N}{*} \mu_{\geq}^q(s_i, s_j),$$

где $*$ — знак обобщенной операции.

Тогда, поскольку между множеством вариантов и исходов имеет место взаимно однозначное соответствие, нечеткое отношение предпочтения на множестве вариантов определится функцией принадлежности $\mu_{\geq}^F: A \times A \rightarrow [0, 1]$, которая может быть определена по формуле

**Алгоритм принятия решения ИСУ
мобильного робота по порядку его применения
для сбора ягод при лингвистической оценке
вариантов решения**

$$\mu_{\geq}^F(a_i, a_j) = \mu_{\geq}[K(s_i), K(s_j)].$$

Для случая четкого векторного критерия:

$$K(a_i) \geq K(a_j) \Leftrightarrow (\forall q \in N) (K_q(s_i) \geq K_q(s_j));$$

$$a_i \geq a_j \Leftrightarrow K(a_i) \geq K(a_j),$$

из выражения для μ_{\geq}^F можно получить матрицу парных сравнений вариантов по предпочтению $\Phi = \|\mu_{ij}^F\|_{n \times n}$, где $\mu_{ij}^F = \mu_{\geq}^F(a_i, a_j)$.

Решение задачи ранжирования вариантов предлагается провести на основе матрицы Φ .

1. Пусть I_j — множество индексов такое, что $I_j = N_n \setminus \{j\}$, $j \in N_n$. Определим нечеткое отношение предпочтения между вариантом a_j и всеми остальными вариантами с помощью функции принадлежности:

$$\mu_{\geq}^F(a_j; \{a_i\}, i \in I_j) = \underset{i \in I_j}{*} \mu_{ji}, \quad j \in N_n.$$

Тогда решение задачи ранжирования вариантов будет описываться соотношениями:

$$\begin{aligned} r_j < r_k &\Leftrightarrow \mu_{\geq}^F(a_j; \{a_i\}, i \in I_j) > \mu_{\geq}^F(a_k; \{a_i\}, i \in I_k), \\ r_j = r_k &\Leftrightarrow \mu_{\geq}^F(a_j; \{a_i\}, i \in I_j) = \mu_{\geq}^F(a_k; \{a_i\}, i \in I_k), \end{aligned} \quad (4)$$

где r_j — ранг варианта.

Самый низший ранг имеет наиболее предпочтительный вариант. В случае, когда матрица Φ не позволяет провести ранжирование вариантов (матрица Φ такова, что значительная часть степеней принадлежности или все они равны нулю), предлагается воспользоваться следующей процедурой. Определяются ранги вариантов, для которых величины μ_{\geq}^F оказались не равными нулю. Полагается, что индексы этих вариантов принадлежат множеству I_* . Формируется матрица размерностью $l \times l$, где $l = |N_n \setminus I_*|$, с учетом лишь тех вариантов, индексы которых принадлежат множеству $N_n \setminus I_*$. Затем вновь применяется соотношение (4) с учетом номера рангов, уже использованных на предыдущем шаге.

2. Во второй процедуре решения задачи используется ранжирование вариантов на основе матрицы парных сравнений. Данная процедура состоит в отыскании собственного вектора $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ матрицы Φ , соответствующего положительному собственному числу λ этой матрицы, путем решения уравнения $\Phi\mu = \lambda\mu$. Если решение уравнения существует, то вектор μ положителен. Решение задачи ранжирования в данном случае описывается соотношениями:

$$r_j < r_k \Leftrightarrow \mu_j > \mu_k; \quad r_j = r_k \Leftrightarrow \mu_j = \mu_k.$$

Наилучшим признается вариант, получивший наименьший ранг.

Таким образом, на втором уровне ИСУ мобильного робота при лингвистической оценке вариантов решения задача выбора формулируется следующим образом.

Математическая постановка задачи. Имеются $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — варианты решений; $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ — исходы; $a_i \Rightarrow s_i, i = \overline{1, n}$; $K(s) = \{K_1(s), \dots, K_q(s), \dots, K_m(s)\}, q \in N = \overline{1, m}$ — лингвистическая оценка s_i . Требуется найти наилучший вариант.

При этом многокритериальный выбор предлагается проводить по следующему алгоритму.

1. Вычислить функцию принадлежности $\mu_{\leq}(K_q(s_i), K_q(s_j))$.

2. Вычислить функции принадлежности нечеткого отношения порядка \geq на множестве лингвистических векторных оценок $K = \{K(s_1), \dots, K(s_n)\}$ $\mu_{\geq} : K \times K \rightarrow [0, 1]$ для $\forall q \in N$: $\mu_{\geq}(K_q(s_i), K_q(s_j)) = 1 - \mu_{\leq}(K_q(s_i), K_q(s_j))$, где $i, j = \overline{1, n}$.

3. Минимизировать это отношение $\mu_{\geq}[K(s_i), K(s_j)] = \min_{q \in N} \mu_{\geq}^q(K_q(s_i), K_q(s_j))$.

4. Вычислить отношение предпочтения на множестве вариантов

$$\mu_{\geq}^F : A \times A \rightarrow [0, 1]: \mu_{\geq}^F(a_i, a_j) = \mu_{\geq}[K(s_i), K(s_j)].$$

5. Провести ранжирование вариантов $a_i \geq a_j \Leftrightarrow K(a_i) \geq K(a_j)$ и получить матрицу парных сравнений вариантов по предпочтению $\Phi = \|\mu_{\geq}^F(a_i, a_j)\|$.

6. Сравнить отношение предпочтительности варианта с остальными:

$$\begin{aligned} r_j < r_k &\Leftrightarrow \mu_{\geq}^F(a_j; \{a_i\}, i \in I_j) > \mu_{\geq}^F(a_k; \{a_i\}, i \in I_k); \\ r_j = r_k &\Leftrightarrow \mu_{\geq}^F(a_j; \{a_i\}, i \in I_j) = \mu_{\geq}^F(a_k; \{a_i\}, i \in I_k). \end{aligned}$$

Получить решение. Наилучшим вариантом считается тот, у которого ранг минимальный, т.е. $r_j = \min$.

Результаты решения

ИСУ мобильного робота, предназначенного для сбора ягод, типа Agrobot необходимо выбрать один из вариантов порядка применения робота для сбора ягод в зависимости от условий сбора. Размер плантации — 800 соток. Производительность робота: при сборе крупных ягод — 800 соток приблизительно 0,5...1 день, крупных и средних — за 1...2 дня; всех ягод — за 2...3 дня.

Условие задачи. Пусть требуется принять решение при лингвистических оценках вариантов. Имеются $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — множество вариантов решений, соответствующих данной ситуации; $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ — множество исходов, причем исход s_i обусловлен альтернативой (вариантом) a_i ; $K(s_i) = \{K_1(s_i), K_2(s_i), \dots, K_m(s_i)\}$ — лингвистическая векторная оценка исхода s_i ; $K_q(s_i)$ — лингвистическая оценка (нечеткое число) исхода по q -му критерию.

Пусть имеются три возможных варианта решения:

- a_1 — собирать только крупные ягоды при плохих условиях сбора за 3/4 дня;
- a_2 — собирать крупные и средние ягоды при удовлетворительных условиях за 1,5 дня;
- a_3 — собирать ягоды всех размеров, включая мелкие при хороших условиях сбора за 3 дня.

Плохие условия сбора: ожидается затяжной дождь, и ягоды будет нельзя собирать несколько дней, ягода будет созревать во время дождя медленнее, масса ее несколько увеличится, но качество ягод может снизиться, время на сбор ягод до дождя — не более 0,5 суток.

Удовлетворительные условия сбора: ожидается дождь, он будет идти от 0,5 до 1 суток, потом погода будет сухая и солнечная, и ягода высохнет, ягода начнет созревать быстрее после дождя, масса будет нормальной, все время на сбор ягод с учетом скорости созревания — 1,5...2 суток;

Хорошие условия сбора: наличие солнечной сухой погоды на длительный период времени, сбор ягод можно продолжать в последующие дни, но скорость созревания будет большая, масса ягод может снизиться, все время на сбор ягод с учетом скорости созревания 3 суток.

Допустим, что через 1...2 суток ожидается затяжной дождь, т.е. сбор ягод нужно провести в течение 1...2 дней.

Надо отметить, что в базу знаний ИСУ робота могут быть заложены различные варианты, число, которое необходимо выбрать для какой-то конкретной задачи, может определяться программными средствами.

Следовательно, $A = \{a_j\}$ ($j = \overline{1,3}$) — варианты решений. Оценки исходов $S = \{s_1, s_2, s_3\}$ для каждого $j = \overline{1,3}$ определены по трем критериям K_i , $i = 1, 2, 3$, только лингвистически (они заложены в базу знаний ИСУ). В качестве показателей критериев взяты:

- для K_1 — оперативность уборки ягод (вероятность своевременной уборки урожая за короткое время). Время сбора не должно превышать 2 суток ($K_1 \leq 2$ суток);
- для K_2 — вероятность получения сбора максимальной массы ягод при хорошем качестве ($K_2 = 0,8$);

- для K_3 — вероятность наличия хороших условий для сбора ягод (наличие солнечной сухой погоды на длительный период времени) ($K_3 \geq 0,7$).

Векторный критерий имеет вид: $K(a) = \{K_i(a_1), K_i(a_2), K_i(a_3)\}$.

Допустим, что через 1...2 суток ожидается затяжной дождь, т.е. сбор ягод нужно провести в течение 1...2 суток.

Необходимо найти наилучший вариант порядка применения мобильного робота для сбора ягод, обеспечивающий наибольшую прибыль от сбора ягод.

Исходя из условий определим задачу следующего вида:

$$K(a) = \{K_i(a_1), K_i(a_2), K_i(a_3)\} \rightarrow \max_{a \in A}$$

Тогда векторный лингвистический критерий для вариантов представим в виде матрицы:

$$K = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & K_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} OB & C & OB \\ C & B & H \\ H & OB & OH \end{matrix} \right\| \end{matrix},$$

где *ОЧЕНЬ НИЗКИЙ*: $OH = \{1,0/1;0,8/2;0,2/3\}$;

НИЗКИЙ: $H = \{0,8/1;0,9/2;0,5/3;0,2/4\}$;

СРЕДНИЙ: $C = \{0,3/3;0,7/4;1,0/5;0,8/6;0,2/7\}$;

ВЫСОКИЙ: $B = \{0,2/7;0,5/8;0,9/9;0,8/10\}$;

ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ: $OB = \{0,2/8;0,8/9;1,0/10\}$.

Базовая переменная $X = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$.

Решение задачи. Проведем расчеты в соответствии с предложенным ранее алгоритмом.

1. Вычислим степень предпочтения варианта a_j .

Этап 1. Вычисление функции принадлежности $\mu_{<}(K_q(s_i), K_q(s_i))$ по формулам (2), (3):

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_i(a_1), K_i(a_2), K_i(a_3)) &= \\ &= \sum_{m=1}^n v_{K_i(a_1)}(x_m) \left(1 - \sum_{j=1}^m v_{K_i(a_2)}(x_j) \right) \times \\ &\times \left(1 - \sum_{z=1}^m v_{K_i(a_3)}(z_j) \right). \end{aligned}$$

В соответствии с формулой (3) для различных вариантов имеем:

$$\begin{aligned} v_{K_i(a_1)}(x_m) &= \frac{\mu_{K_i(a_1)}(x_m)}{\sum_{y \in S_{K_i(a_1)}} \mu_{K_i(a_1)}(y)}; \\ v_{K_i(a_2)}(x_m) &= \frac{\mu_{K_i(a_2)}(x_m)}{\sum_{y \in S_{K_i(a_2)}} \mu_{K_i(a_2)}(y)}; \end{aligned}$$

$$v_{K_i(a_j)}(x_m) = \frac{\mu_{K_i(a_j)}(x_m)}{\sum_{y \in S_{K_i(a_j)}} \mu_{K_i(a_j)}(y)},$$

где $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,3}$.

Каждому лингвистическому критерию K_i для варианта a_j соответствует оценка (ОН, Н, С, В, ОВ). Например, для $K_1(a_1)$ — ОВ. Для каждой оценки имеются свои функции принадлежности. Например, $\mu_{K_1(a_1)}(x_1) = 0,2$; $\mu_{K_1(a_1)}(x_2) = 0,8$; $\mu_{K_1(a_1)}(x_3) = 1,0$; и т.д. Следовательно, для всех $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,3}$ с учетом заданных множеств для оценок (ОН, Н, С, В, ОВ) определим $\sum \mu_{K_i(a_j)}$:

$$\begin{aligned} \sum_{y \in S_{K_1(a_1)}} \mu_{K_1(a_1)}(y) &= 0,2 + 0,8 + 1,0 = 2,0; \\ \sum_{y \in S_{K_1(a_2)}} \mu_{K_1(a_2)}(y) &= 0,3 + 0,7 + 1,0 + 0,8 + 0,2 = 3,0; \\ \sum_{y \in S_{K_1(a_3)}} \mu_{K_1(a_3)}(y) &= 0,8 + 0,9 + 0,5 + 0,2 = 2,4; \\ \sum_{y \in S_{K_2(a_1)}} \mu_{K_2(a_1)}(y) &= 0,3 + 0,7 + 1,0 + 0,8 + 0,2 = 3,0; \\ \sum_{y \in S_{K_2(a_2)}} \mu_{K_2(a_2)}(y) &= 0,2 + 0,5 + 0,9 + 0,8 = 2,4; \\ \sum_{y \in S_{K_2(a_3)}} \mu_{K_2(a_3)}(y) &= 0,2 + 0,8 + 1,0 = 2,0; \\ \sum_{y \in S_{K_3(a_1)}} \mu_{K_3(a_1)}(y) &= 0,2 + 0,8 + 1,0 = 2,0; \\ \sum_{y \in S_{K_3(a_2)}} \mu_{K_3(a_2)}(y) &= 0,8 + 0,9 + 0,5 + 0,2 = 2,4; \\ \sum_{y \in S_{K_3(a_3)}} \mu_{K_3(a_3)}(y) &= 1,0 + 0,8 + 0,2 = 2,0. \end{aligned}$$

Таким образом, имеем

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_1(a_1), K_1(a_2), K_1(a_3)) &= \\ &= \frac{0,2}{2,0} \left(1 - \frac{0,3}{3,0}\right) \left(1 - \frac{0,8}{2,4}\right) + \\ &+ \frac{0,8}{2,0} \left(1 - \frac{0,3+0,7}{3,0}\right) \left(1 - \frac{0,8+0,9}{2,4}\right) + \\ &+ \frac{1,0}{2,0} \left(1 - \frac{0,3+0,7+1,0}{3,0}\right) \times \\ &\times \left(1 - \frac{0,8+0,9+0,5}{2,4}\right) = 0,082; \\ \mu_{<}(K_2(a_1), K_2(a_2), K_2(a_3)) &= \\ &= \frac{0,3}{3,0} \left(1 - \frac{0,2}{2,4}\right) \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) + \\ &+ \frac{0,7}{3,0} \left(1 - \frac{0,2+0,5}{2,4}\right) \left(1 - \frac{0,2+0,8}{2,0}\right) + \\ &+ \frac{1,0}{3,0} \left(1 - \frac{0,2+0,5+0,9}{2,4}\right) \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) = 0,165; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_3(a_1), K_3(a_2), K_3(a_3)) &= \\ &= \frac{0,2}{2,0} \left(1 - \frac{0,8}{2,4}\right) \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) + \\ &+ \frac{0,8}{2,0} \left(1 - \frac{1,7}{2,4}\right) \left(1 - \frac{1,8}{2,0}\right) + \\ &+ \frac{1,0}{2,0} \left(1 - \frac{2,2}{2,4}\right) \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) = 0,0045. \end{aligned}$$

Этап 2. Вычисление нечеткого отношения μ_{\geq} :

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(K_i(a_1), K_i(a_2), K_i(a_3)) &= \\ = 1 - \mu_{<}(K_i(a_1), K_i(a_2), K_i(a_3)) &\text{ для всех } i = \overline{1,3}; \\ \mu_{\geq}(K_1(a_1), K_1(a_2), K_1(a_3)) &= 0,918; \\ \mu_{\geq}(K_2(a_1), K_2(a_2), K_2(a_3)) &= 0,835; \\ \mu_{\geq}(K_3(a_1), K_3(a_2), K_3(a_3)) &= 0,955. \end{aligned}$$

Этап 3. Минимизируем отношение μ_{\geq} :

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(K_1(a_1), K_1(a_2), K_1(a_3)) &= \\ = \min_i \mu_{\geq}(K_i(a_1), K_i(a_2), K_i(a_3)) &= \\ = \min_i(0,918; 0,835; 0,955) &= 0,835. \end{aligned}$$

Этап 4. Вычисление отношения предпочтения на множестве вариантов:

$$\mu_{\geq}(a_1, a_2, a_3) = \mu_{\geq}(K(a_1), K(a_2), K(a_3)) = 0,835.$$

Этап 5. Таким образом, степень предпочтения варианта $\mu_{\geq}(a_1) = 0,835$.

2. Вычислим степень предпочтения варианта a_2 .

Этап 1. Вычисление функции принадлежности $\mu_{<}(K_q(s_i), K_q(s_j))$ по формулам (2), (3) с учетом заданных множеств для оценок (ОН, Н, С, В, ОВ) и полученных значений $\sum \mu_{K_i(a_j)}$:

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_1(a_2), K_1(a_1), K_1(a_3)) &= \\ = \frac{0,3}{3,0} \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) \left(1 - \frac{0,8}{2,4}\right) + \frac{0,7}{3,0} \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{1,7}{2,4}\right) + \\ &+ \frac{1,0}{3,0} \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{2,2}{2,4}\right) = 0,094; \\ \mu_{<}(K_2(a_2), K_2(a_1), K_2(a_3)) &= \\ = \frac{0,2}{2,4} \left(1 - \frac{0,3}{3,0}\right) \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) + \frac{0,5}{2,4} \left(1 - \frac{1,0}{3,0}\right) \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) + \\ &+ \frac{1,6}{2,4} \left(1 - \frac{2,0}{3,0}\right) \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) = 0,137; \\ \mu_{<}(K_3(a_2), K_3(a_1), K_3(a_3)) &= \\ = \frac{0,8}{2,4} \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) + \frac{0,9}{2,4} \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) + \\ &+ \frac{0,5}{2,4} \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) = 0,364. \end{aligned}$$

Этап 2. Вычисление нечеткого отношения μ_{\geq} :

$$\begin{aligned} & \mu_{\geq}(K_i(a_2), K_i(a_1), K_i(a_3)) = \\ & = 1 - \mu_{<}(K_i(a_2), K_i(a_1), K_i(a_3)) \text{ для всех } i = \overline{1, 3}. \\ & \mu_{\geq}(K_1(a_2), K_1(a_1), K_1(a_3)) = 0,906; \\ & \mu_{\geq}(K_2(a_2), K_2(a_1), K_2(a_3)) = 0,863; \\ & \mu_{\geq}(K_3(a_2), K_3(a_1), K_3(a_3)) = 0,636. \end{aligned}$$

Этап 3. Минимизируем отношение μ_{\geq} :

$$\begin{aligned} & \mu_{\geq}(K(a_2), K(a_1), K(a_3)) = \\ & = \min_i \mu_{\geq}(K_i(a_2), K_i(a_1), K_i(a_3)) = 0,636. \end{aligned}$$

Этап 4. Вычисление отношения предпочтения на множестве вариантов:

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(a_2, a_1, a_3) &= \mu_{\geq}(K(a_2), K(a_1), K(a_3)) = 0,636, \\ \mu_{\geq}(a_2) &= 0,636. \end{aligned}$$

Этап 5. Сравниваем отношение предпочтительности варианта a_2 с a_1 . Так как $\mu_{\geq}(a_1) > \mu_{\geq}(a_2)$, то $a_1 \succ a_2$.

3. Вычислим степень предпочтения варианта a_3 .

Этап 1. Вычисление функции принадлежности $\mu_{<}(K_q(s_i), K_q(s_i))$ по формулам (2), (3) с учетом заданных множеств для оценок (ОН, Н, С, В, ОВ) и полученных значений $\sum \mu_{K_i(a_j)}$:

$$\begin{aligned} & \mu_{<}(K_1(a_3), K_1(a_1), K_1(a_2)) = \\ & = \frac{0,8}{2,4} \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) \left(1 - \frac{0,3}{3,0}\right) + \frac{0,9}{2,4} \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{1,0}{3,0}\right) + \\ & \quad \frac{0,5}{2,4} \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{2,0}{3,0}\right) = 0,395; \\ & \mu_{<}(K_2(a_3), K_2(a_1), K_2(a_2)) = \\ & = \frac{0,2}{2,0} \left(1 - \frac{0,3}{3,0}\right) \left(1 - \frac{0,2}{2,4}\right) + \frac{0,8}{2,0} \left(1 - \frac{1,0}{3,0}\right) \left(1 - \frac{0,7}{2,4}\right) + \\ & \quad + \frac{1,0}{2,0} \left(1 - \frac{2,0}{3,0}\right) \left(1 - \frac{0,2}{2,4}\right) = 0,327; \\ & \mu_{<}(K_3(a_3), K_3(a_1), K_3(a_2)) = \\ & = \frac{1,0}{2,0} \left(1 - \frac{0,2}{2,0}\right) \left(1 - \frac{0,8}{2,4}\right) + \frac{0,8}{2,0} \left(1 - \frac{1,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{1,7}{2,4}\right) + \\ & \quad \frac{0,2}{2,0} \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) \left(1 - \frac{2,2}{2,4}\right) = 0,358. \end{aligned}$$

Этап 2. Вычисление нечеткого отношения μ_{\geq} :

$$\begin{aligned} & \mu_{\geq}(K_i(a_3), K_i(a_1), K_i(a_2)) = \\ & = 1 - \mu_{<}(K_i(a_3), K_i(a_1), K_i(a_2)) \text{ для всех } i = \overline{1, 3}. \\ & \mu_{\geq}(K_1(a_3), K_1(a_1), K_1(a_2)) = 0,605; \end{aligned}$$

$$\mu_{\geq}(K_2(a_3), K_2(a_1), K_2(a_2)) = 0,673;$$

$$\mu_{\geq}(K_3(a_3), K_3(a_1), K_3(a_2)) = 0,642.$$

Этап 3. Минимизируем отношение μ_{\geq} :

$$\begin{aligned} & \mu_{\geq}(K(a_3), K(a_1), K(a_2)) = \\ & = \min_i \mu_{\geq}(K_i(a_3), K_i(a_1), K_i(a_2)) = 0,605. \end{aligned}$$

Этап 4. Вычисление отношения предпочтения на множестве вариантов:

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(a_3, a_1, a_2) &= \mu_{\geq}(K(a_3), K(a_1), K(a_2)) = 0,636, \\ \mu_{\geq}(a_3) &= 0,605. \end{aligned}$$

Этап 5. Сравниваем отношение предпочтительности варианта a_3 с a_1 . Так как $\mu_{\geq}(a_1) > \mu_{\geq}(a_3)$, то $a_1 \succ a_3$.

Таким образом, вариант a_1 предпочтительнее вариантов a_2 и a_3 . Следовательно, роботу необходимо собирать только крупные ягоды.

Заключение

Установлено, что при известной урожайности данного сорта земляники садовой прибыльность от собранной ягоды зависит от: погодных условий и продолжительности хорошей погоды, оперативности сбора ягоды, массы собираемой ягоды, технических характеристик мобильного робота (его производительности). Ввиду неопределенности и нечеткости задач, которые должны быть решены ИСУ мобильным роботом при сборе ягоды на полях с открытым грунтом, предложено использовать для их решения технологии искусственного интеллекта. Сформулирована постановка задачи и разработан методический аппарат выбора принятия решения ИСУ мобильного робота по порядку применения робота для сбора ягоды. При лингвистической оценке возможных вариантов решения предложено использовать метод, основанный на установлении отношения порядка на нечетких оценках, которое определяется через вероятностные оценки для их четких эквивалентов. В качестве решения задачи выбора порядка применения мобильного робота выбирается вариант с наименьшим рангом из полученного ранжированного ряда возможных вариантов решения. Методический аппарат применен для решения задачи выбора порядка применения мобильного робота типа Agrobot для сбора ягоды. Данный аппарат может быть реализован при разработке программного обеспечения не только при управлении интеллектуальными мобильными роботами сбора ягоды, но и при управлении роботами иного назначения.

Список литературы

1. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. Методический аппарат выбора информационной технологии для управления сельскохозяйственными роботами // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (44). С. 62—68.
2. Каляев И. А., Лохин В. М., Макаров И. М., Манько С. В., Романов М. П., Юревич Е. И. Интеллектуальные роботы / Под общей ред. Е. И. Юревича. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.
3. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П., Галиллин Р. Р. Методика распознавания нечетких ситуаций при управлении сельскохозяйственными мобильными роботами // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (51). С. 106—114.
4. Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P. The selecting of artificial intelligence technology for control of mobile robots // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). IEEE Xplore: 07 January 2019.2019. URL: ieeexplore.ieee.org/document/8602796.
5. Романов П. С., Романова И. П. Математическая модель нечеткого управления портальной автомобильной мойкой // Инженерный вестник Дона. 2018, № 1 (48). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4730.
6. Романов П. С., Романова И. П. Подходы к созданию интеллектуальной системы управления мобильным роботом // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1(48). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4692.
7. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. К вопросу нечеткого управления электроприводами сельскохозяйственных интеллектуальных роботов // Российский электронный научный журнал. 2017. № 4 (26). С. 174—187.
8. Романов П. С., Рязанцев А. И., Антипов А. О., Романова И. П. Нечеткое управление роботизированной дождеваль-

ной машиной типа "Фрегат" // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 (49). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2018/4819.

9. Рыбин И. А., Рубанов В. Г. Математическая модель системы управления мобильного транспортного средства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18. № 5. С. 333—340.

10. Nuno Mendes, Pedro Neto. Indirect adaptive fuzzy control for industrial robots: A solution for contact applications // Expert Systems with Applications. 2015. Vol. 42, Iss. 22. P. 8929—8935.

11. JiaWang Chen, Huangchao Zhu, Lei Zhang, Yuxia Sun. Research on fuzzy control of path tracking for underwater vehicle based on genetic algorithm optimization // Ocean Engineering. 2018. Vol. 156. P. 217—223.

12. Пучков Е. В. Сравнительный анализ алгоритмов обучения искусственной нейронной сети // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2135/.

13. Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzza. Introduction to Autonomous Mobile Robots (Intelligent Robotics and Autonomous Agents series). The MIT Press; Cambridge second edition, 2011. 472 p.

14. Janglová D. Neural networks in mobile robot motion // Cut. Edge Robot. 2005. Vol. 1, N. 1. P. 243—254.

15. URL: <https://mcm.ru/articles/desyat-robotov-dlya-berzhnogo-sbora-urozhaya>.

16. URL: <http://www.activestudy.info/ispolzovanie-yagod-zemlyaniki-mashinnogo-sbora/>.

17. URL: <http://fri-go.ru/sbor-urozhaya-zemlyaniki.html>.

18. URL: <http://mbgazeta.ru/arhiv/v-pole-vyhodit-bespilotnik-agrobot/>.

19. Романов П. С. Модель и функционально-структурная схема интеллектуальной системы управления робототехнической системы // Вестник Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета. Серия: Естественные и технические науки. 2017. № 10. С. 118—130.

20. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.

P. S. Romanov, Dr. Tech. Sc., Professor, e-mail: romanov_p_s@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9969-3139, Kolomna Institute (branch) of "Moscow Polytechnical University" (Kolomna Institute (branch) of MPU), Moscow district, Kolomna, 408, Russian Federation,

I. P. Romanova, Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, e-mail: i-p-romanova@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5883-9907,

K. G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University) (RAZUMOVSKY MSUTM (FCU)), Moscow, 109004, Russian Federation

Methodological Apparatus of Decision-Making and Intelligent Control of a Mobile Robot while Collecting Berries

The article deals with one of the tasks of intelligent agricultural mobile robot control — the task of selecting the way of application of the robot for picking the berries. One of the most popular berries grown in the European part of Russia is strawberries. Picking accounts to about 53 % of the total labor hours needed in growing strawberries. It is established that with the known yield of this strawberry cultivars, the profit from the picked berries depends on the weather conditions and the duration of good (dry and sunny) weather, on the efficiency of picking berries, on the weight and quality of the picked berries, on the technical characteristics of the mobile robot (its performance). The methodical apparatus of decision-making choice by the intelligent control system of a mobile robot is developed in the linguistic evaluation of the usage options for picking berries. The apparatus relies on a method based on establishing an order relation on fuzzy estimates, which is determined through probabilistic estimates for their clear equivalents. As a solution of this problem, the variant with the lowest rank from the obtained ranked series of possible solutions is chosen. Methodological apparatus applied to the solution of the problem of choosing the order of application of mobile robot the type of Agrobot for picking the berries. This device can be implemented in the development of software not only in the management of intelligent mobile robots picking berries, but also in the management of robots for other purposes.

Keywords: mobile robot; artificial intelligence; intelligent control system; decision — making; linguistic evaluation of solutions; the method of establishing order relations on fuzzy estimates; berry picking

References

1. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** The methodology underlying the choice of information technologies for the control of agricultural robots, *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 4 (44), pp. 62–68 (in Russian).
2. **Kaljaev I. A., Lohin V. M., Makarov I. M., Manko S. V., Romanov M. P., Yurevich E. I.** Intelligent robots, Moscow, Mashinostroenie, 2007, 360 p. (in Russian).
3. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P., Galiullin R. R.** Methods of fuzzy pattern recognition situations in the management of agricultural mobile robots, *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 3(51), pp. 106–114 (in Russian).
4. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** The selecting of artificial intelligence technology for control of mobile robots, *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). IEEE Xplore: 07 January 2019*, 2019, available at: ieeexplore.ieee.org/document/8602796.
5. **Romanov P. S., Romanova I. P.** Mathematical model of fuzzy control portal car wash, *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2018, no. 1 (48), available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4730 (in Russian).
6. **Romanov P. S., Romanova I. P.** Approaches to creating an intelligent control system for a mobile robot, *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2018, no. 1(48), available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4692 (in Russian).
7. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** On the issue of fuzzy control of electric drives of agricultural intelligent robots, *Rossijskij jelektronnyj nauchnyj zhurnal*, 2017, no. 4 (26), pp. 174–187 (in Russian).
8. **Romanov P. S., Ryazantsev A. I., Antipov A. O., Romanova I. P.** Fuzzy control of a robotic sprinkler type machine "Fregat", *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2018, no. 2, available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4819 (in Russian).
9. **Rybin I. A., Rubanov V. G.** Mathematical model of the mobile vehicle control system, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 5, pp. 333–340 (in Russian).
10. **Nuno Mendes, Pedro Neto.** Indirect adaptive fuzzy control for industrial robots: A solution for contact applications, *Expert Systems with Applications*, 2015, vol. 42, iss. 22, pp. 8929–8935.
11. **Jia Wang Chen, Huangchao Zhu, Lei Zhang, Yuxia Sun.** Research on fuzzy control of path tracking for underwater vehicle based on genetic algorithm optimization, *Ocean Engineering*, 2018, vol. 156, pp. 217–223.
12. **Puchkov E. V.** Comparative analysis of artificial neural network learning algorithms, *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, no. 4, available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2135/ (in Russian).
13. **Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzza.** Introduction to Autonomous Mobile Robots (*Intelligent Robotics and Autonomous Agents series*), The MIT Press; Cambridge second edition, 2011, 472 p.
14. **Janglová D.** Neural networks in mobile robot motion, *Cut. Edge Robot*, 2005, vol. 1, no. 1, pp. 243–254.
15. **Available at:** <https://mcm.ru/articles/desyat-robotov-dlya-berezhnogo-sbora-urozhaya>.
16. **Available at:** <http://www.activestudy.info/ispolzovanie-ya-god-zemlyaniki-mashinnogo-sbora/>.
17. **Available at:** <http://fri-go.ru/sbor-urozhaya-zemlyaniki.html>.
18. **Available at:** <http://mbgazeta.ru/arhiv/v-pole-vyhodit-be-spilotnik-agrobot/>.
19. **Romanov P. S.** Model and functional and structural diagram of the intelligent control system of a robotic system, *Vestnik Kolomenskogo instituta (filiala) Moskovskogo politehnicheskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki*, 2017, no. 10, pp. 118–130 (in Russian).
20. **Borisov A. N., Grumberg O. A., Fedorov I. P.** Making decisions based on fuzzy models. Example of use, Riga, Zinatne, 1990, 184 p. (in Russian).

Уважаемые читатели!

В журнале "Информационные технологии" №7, 2020 на стр. 387 по вине редакции допущена опечатка. В сноске 1 вместо слов "Часть 1 опубликована в журнале "Мехатроника, автоматизация, управление", 2020, т. 21, № 6" следует читать "Часть 1 опубликована в журнале "Информационные технологии", 2020, т. 26, № 6".

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ruТехнический редактор *Е. В. Конова*.Корректор *М. Ю. Безменова*.

Сдано в набор 05.06.2020. Подписано в печать 30.07.2020. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ ИТ820. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru