УДК 004.896

МЕТОДИКА НЕЧЕТКОГО СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОПРОВОДОВ

Голубкин И.А.[1], Кочкин Г.А.[1]

[1]*ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия (414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16), e-mail: golubkin@inbox.ru*

В статье рассмотрена разработанная методика управления движением мобильного колесного диагностического робота в газопроводной сети. Разработана стратегия ситуационного управления роботизированным комплексом с трехопорной лучеобразной кинематикой. В качестве модели управления использована нечеткая модель «ситуация – стратегия управления – действие», которая была модифицирована для решения представленной задачи. Данная модель содержит набор эталонных нечетких ситуаций, описывающих возможные состояния мобильного робота. Описана последовательность действий, которую необходимо провести, чтобы построить ситуационную модель управления роботом для проведения дефектоскопии газопроводов. Методика ситуационного управления включает три основных этапа: получение сенсорных данных, принятие решений, выдача управляющих воздействий. Данная методика подходит для решения сложной задачи управления диагностическими роботами разных размеров в условиях изменения физических параметров газопровода, учитывая все возможные прецеденты.

Ключевые слова: мобильные роботы, система управления роботом, сенсорная подсистема, нечеткие множества, обследование газопроводов, колесные роботы, ситуационное управление.

TECHNIQUE OF FUZZY SITUATIONAL CONTROL OF THE MOBILE ROBOT FOR GAS PIPELINES INSPECTION

Golubkin I.A.[1], Kochkin G.A.[1]

[1] *The Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia (414056, Astrakhan, street Taticheva, 16), e-mail: golubkin@inbox.ru*

Designed control technique of mobile wheel robot for gas pipeline inspection is presented in this paper. We created control strategy of robotic device with scheme that three sets of wheeled leg mechanism are circumferentially spaced out. It was used fuzzy model «situation – control strategy – action», this model was modified. The model contains the set of master fuzzy situations, which describe all possible mobile robot states. It was described the sequence of actions for creation of fuzzy situation control of the mobile robot for gas pipeline inspection. The method of situational control includes three basic stages: reception of touch data, decision-making, delivery of operating influences. This method suits for decision of difficult control task in variable conditions of gas pipeline in consideration of possible precedents.

Key words: mobile robots, control system of the robot, touch subsystem, fuzzy sets, gas pipeline inspection, wheel robots, situational control.

Введение

Задачи управления роботами, когда работа должна осуществляться в заранее известной среде функционирования, успешно решаются с применением методов теории конечных автоматов [1], сетей Петри [8] и другие представлений дискретной математики [6]. В случаях, когда возможно составить решаемые дифференциальные уравнения, в использовании данных методов и методик, основанных на искусственном интеллекте, нет необходимости.

Значительно сложнее управлять роботами, работающими в экстремальных условиях, в заранее неизвестной обстановке [10]. Например, при спасательных операциях, при обезвреживании взрывоопасных предметов, во время дистанционно выполняемых хирургических

операций. Здесь все движения робота задаются непосредственно человеком-оператором. К перечисленным сферам применения следует отнести и движение робота в трубопроводах или газопроводах, если точные параметры труб заранее неизвестны.

Цель исследования

Целью данной работы является разработка методики ситуационного управления роботом для решения задач движения мобильного диагностического робота в газопроводной сети.

Применение мобильных роботов в данном процессе позволит осуществлять диагностику без вскрытия трубопроводов, что существенно облегчит работу технических специалистов [3]. Конструкция рассматриваемого робота для перемещения диагностических устройств представляет собой роботизированный комплекс с трехопорной лучеобразной кинематикой [2]. Основным достоинством данной конструкции является возможность преодоления наклонных и вертикальных участков трубопроводов.

Формирование нечеткой ситуации

Базовым понятием нечеткого ситуационного управления является термин «ситуация управления». Главная функция ситуации состоит в выработке правил, по которым будут определяться последовательности управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

На основе данных, поступающих от сенсорной подсистемы мобильного робота [4], производится формирование нечетких ситуаций, которые представляют собой набор значений признаков, описывающих состояние объекта управления в некоторый момент времени. Признаки представляют собой набор внутренних характеристик самого диагностического робота и характеристики трубопровода. Для верного определения важных признаков необходимо учесть трудности (прецеденты), которые предстоит преодолевать мобильному роботу в процессе его функционирования внутри трубопровода. Данные прецеденты выявлены и рассмотрены в работах [5; 9].

Для составления нечетких ситуаций процесса проведения внутритрубной диагностики мобильным колесным роботом используются следующие признаки:

1. y_1 – угол наклона трубопровода относительно горизонтали. <*”Наклон трубопровода”*,T_1, D_1>;

T_1={*”сильно вверх”,”вверх”,”горизонт”,”вниз”,”сильно вниз”*};

D_1={-90°, -80°, -70°… 80°, 90°}.

Учитывая то, что при значениях «Вниз» и «Вверх», так же как и «Сильно вниз» и «Сильно вверх» роботу необходимо прикладывать аналогичные усилия упора в стенку трубопровода, то число термов возможно сократить до трех: ”горизонт”(T_1^1),”вниз”(T_2^1),”сильно вниз”(T_3^1).

2. y_2 – внутренний диаметр трубопровода. <*”Диаметр трубопровода”*,T_2, D_2>;

T_2={*”малый”,”средний”,”большой”*};

$D_2=\{d_{роб.min}\ldots d_{роб.max}\}$;

где $d_{роб.min}$ – робот в максимально сжатом положении, $d_{роб.max}$ – робот в максимально разжатом положении.

3. y_3 – направление движения робота в трубопроводе. <*”Целеуказание”*,T_3 >;

T_3={*”влево”,”вправо”, ”прямо”,”вверх”,”вниз”* }.

4. y_4 – радиус поворота трубопровода. <*”Радиус поворота”*,T_4, D_4>;

T_4={*”малый”,”большой”,”очень большой”*}, $D_4=\{r_{роб.min}\ldots\infty\}$,

где $r_{роб.min}$ – минимально возможный радиус поворота, который робот способен преодолеть, радиус поворота равен ∞ на прямолинейном участке трубопровода.

5. y_5 – скорость вращения 1-го колесного модуля робота.

<*”Скорость 1–го колесного модуля”*,T_5, D_5>;

T_5={*”малая”,”средняя”,”большая”*};

$D_5=\{v_{min}\ldots v_{max}\}$;

где v_{min} – минимальная скорость вращения;

v_{max} – максимальная скорость вращения.

6. y_6 – скорость вращения 2-го колесного модуля робота.

<*”Скорость 2–го колесного модуля”*,T_6, D_6>;

T_6={*”малая”,”средняя”,”большая”*}, $D_6=\{v_{min}\ldots v_{max}\}$.

7. y_7 – скорость вращения 3-го колесного модуля робота.

<*”Скорость 3–го колесного модуля”*,T_7, D_7>;

T_7={*”малая”,”средняя”,”большая”*}, $D_7=\{v_{min}\ldots v_{max}\}$.

8. y_8 – ориентация колесных роботов относительно вертикали.<*”Ориентация”*,T_8, D_8>;

T_8={*”малый”,”средний”,”большой”*}, $D_8=\{0^o\ldots 360^o\}$.

В случае значения T_8={*”малый”*} принимается, что колесный модуль 1 находится сверху, при T_8={*”средний”*} – колесный модуль 3 сверху, а при T_8={*”большой”*} – колесный модуль 2.

Приведем принцип формирования нечетких ситуаций. Нечеткой ситуацией называется нечеткое множество второго уровня [7]:

$$\tilde{s}=\{\langle\mu_s(y_i)/y_i\rangle\},\ y_i\in Y, \qquad (1)$$

где $\mu_s(y_i)=\{\mu_{\mu_s}(T_j^i)/T_j^i\},\ j\in L, i\in J$.

Описание нечеткой ситуации приводится в следующем виде:

$\tilde{s}$ = {<< μ_1^1 / ”горизонт”>, < μ_1^2 / ”вниз”>, < μ_1^3 / ”сильно вниз”>/”Наклон трубопровода”>, << μ_2^1 / ”малый”>, < μ_2^2 / ”средний”>, < μ_2^3 / ”большой”>/”Диаметр трубопровода”>, << μ_3^1 / ”влево”>, < μ_3^2 / ”вправо”>, < μ_3^3 / ”прямо”>, < μ_3^4 / ”вверх”>, < μ_3^5 / ”вниз”>/”Целеуказание”>, << μ_4^1 / ”малый”>, < μ_4^2 / ”средний”>, < μ_4^3 / ”очень большой”>/”Радиус поворота”>, << μ_5^1 / ”малая”>, < μ_5^2 / ”средняя”>, < μ_5^3 / ”большая”>/”Скорость 1–го колесного модуля”>, << μ_6^1 / ”малая”>, < μ_6^2 / ”средняя”>, < μ_6^3 / ”большая”>/”Скорость 2–го колесного модуля”>, << μ_7^1 / ”малая”>, < μ_7^2 / ”средняя”>, < μ_7^3 / ”большая”>/”Скорость 3–го колесного модуля”>, << μ_8^1 / ”малый”>, < μ_8^2 / ”средний”>, < μ_8^3 / ”большой”>/”Ориентация”>}.

Описание управляющих решений и способа выбора необходимой последовательности управляющих решений

В разрабатываемой методике управления используется нечеткая модель «ситуация – стратегия управления – действие» [7], которая была модифицирована для решения задачи управления диагностическим роботом. Для мобильного диагностического робота предлагаются следующие управляющие решения:

1. Упор в стенку трубопровода – $\left\langle R_I^1, R_D^1, R_Z^1 \right\rangle$. Терм-множества:

$$R_I^1 = \{R_{I_1}^1, R_{I_2}^1\}, R_D^1 = \{R_{D_1}^1, R_{D_2}^1\}, R_Z^1 = \{R_Z^1\}.$$

В данном выражении, как и в последующих, вводятся следующие условные обозначения: R_I – увеличить, R_D – уменьшить, R_Z – не изменять.

2. Изменение скорости 1-го колесного модуля – $\left\langle R_I^2, R_D^2, R_Z^2 \right\rangle$. Терм-множества:

$$R_I^2 = \{R_{I_1}^2\}, R_D^2 = \{R_{D_1}^2\}, R_Z^2 = \{R_Z^2\}.$$

3. Изменение скорости 2-го колесного модуля – $\left\langle R_I^5, R_D^5, R_Z^5 \right\rangle$. Терм-множества:

$$R_I^3 = \{R_{I_1}^3\}, R_D^3 = \{R_{D_1}^3\}, R_Z^3 = \{R_Z^3\}.$$

4. Изменение скорости 3-го колесного модуля – $\left\langle R_I^4, R_D^4, R_Z^4 \right\rangle$. Терм-множества:

$$R_I^4 = \{R_{I_1}^4\}, R_D^4 = \{R_{D_1}^4\}, R_Z^4 = \{R_Z^4\}.$$

Термы заданы следующим образом: $R_{I_1}^1$ – немного увеличить, $R_{I_2}^1$ – увеличить, $R_{D_1}^1$ – немного уменьшить, $R_{D_2}^1$ – уменьшить, R_Z^1 – не изменять, $R_{I_1}^2$ – немного увеличить, $R_{D_1}^2$ – немного уменьшить, R_Z^2 – не изменять, $R_{I_1}^3$ – немного увеличить, $R_{D_1}^3$ – немного уменьшить, R_Z^3 – не изменять $R_{I_1}^4$ – немного увеличить, $R_{D_1}^4$ – немного уменьшить, R_Z^4 – не изменять.

Используя предлагаемые управляющие решения, разработан способ, согласно которому должен производиться выбор необходимой последовательности решений в зависимости от текущего набора значений восьми признаков.

Максимальные совершенные подмножества, выделенные по отношению порождения управляющих решений, выглядят следующим образом:

$$
\begin{aligned}
X_1 &\left\{\begin{array}{l} X_1^a = \{R_{I_1}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_1^b = \{R_{I_1}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_1^c = \{R_{I_1}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_1^d = \{R_{I_1}^1\} \end{array}\right\} \\
X_2 &\left\{\begin{array}{l} X_2^a = \{R_{I_2}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_2^b = \{R_{I_2}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_2^c = \{R_{I_2}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_2^d = \{R_{I_2}^1\} \end{array}\right\} \\
X_3 &\left\{\begin{array}{l} X_3^a = \{R_{D_1}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_3^b = \{R_{D_1}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_3^c = \{R_{D_1}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_3^d = \{R_{D_1}^1\} \end{array}\right\} \\
X_4 &\left\{\begin{array}{l} X_4^a = \{R_{D_2}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_4^b = \{R_{D_2}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_4^c = \{R_{D_2}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_4^d = \{R_{D_2}^1\} \end{array}\right\} \\
X_5 &\left\{\begin{array}{l} X_5^a = \{R_Z^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_5^b = \{R_Z^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_5^c = \{R_Z^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_5^d = \{R_Z^1\} \end{array}\right\}
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Данные управляющие решения можно сгруппировать на 5 уровней, и поиск необходимого решения будет осуществляться в два этапа: сначала необходимо найти подходящий уровень, а затем внутри уровня выбрать соответствующую входным признакам последовательность управляющих решений.

Предпочтение уровня управляющих решений $X_1, X_2 .... X_5$ рассчитывается с использованием нечетких базовых правил, включающих связь признаков y_1 и y_2 (термы $(T_1^1, T_2^1, T_3^1, T_1^2, T_2^2, T_3^2)$ и уровней управляющих решений $X_1, X_2 .... X_5$. Нечеткие базовые правила и таблицы соответствия приведены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1

Нечеткие базовые правила признака y_1

	T_1^1	T_2^1	T_3^1
T_1^1	X_Z^T	$X_{I_1}^T$	$X_{I_2}^T$
T_2^1	$X_{D_1}^T$	X_Z^T	$X_{I_1}^T$
T_3^1	$X_{D_2}^T$	$X_{D_1}^T$	X_Z^T

Таблица 2

Нечеткие базовые правила признака y_2

	T_1^2	T_2^2	T_3^2
T_1^2	X_Z^R	$X_{I_1}^R$	$X_{I_2}^R$
T_2^2	$X_{D_1}^R$	X_Z^R	$X_{I_1}^R$
T_3^2	$X_{D_2}^R$	$X_{D_1}^R$	X_Z^R

Таблица 3

Таблица соответствия для определения уровня управляющих воздействий

	$X_{I_1}^T$	$X_{I_2}^T$	$X_{D_1}^T$	$X_{D_2}^T$	X_Z^T
$X_{I_1}^R$	X_2	X_2	X_5	X_3	X_1
$X_{I_2}^R$	X_2	X_2	X_1	X_5	X_2
$X_{D_1}^R$	X_5	X_1	X_4	X_4	X_3
$X_{D_2}^R$	X_3	X_5	X_4	X_4	X_4
X_Z^R	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5

Здесь введены следующие обозначения:

$X_{I_1}^T$, $X_{I_1}^R$ – немного увеличить;

$X_{I_2}^T$, $X_{I_2}^R$ – увеличить;

$X_{D_1}^T$, $X_{D_1}^R$ – немного уменьшить;

$X_{D_2}^T$, $X_{D_2}^R$ – уменьшить;

X_Z^T, X_Z^R – не изменять.

После выбора уровня управляющих решений необходимо определить подходящее множество управляющих решений. Поиск осуществляется внутри уровня среди решений, которые условно обозначим как $X_*^a \ldots X_*^d$ (* – номер уровня). Решение выбирается согласно базовым правилам, представленным в таблице 4, которые включают в себя зависимости признаков y_3 («Целеуказание») и y_8 («Ориентация колесных роботов относительно вертикали»).

Таблица 4

Соответствие признаков y_3 и y_8

	T_1^3	T_2^3	T_3^3	T_4^3	T_5^3
T_1^8	X_*^b	X_*^c	X_*^d	X_*^a	X_*^c
T_2^8	X_*^a	X_*^b	X_*^d	X_*^c	X_*^b
T_3^8	X_*^c	X_*^a	X_*^d	X_*^b	X_*^a

Значение управляющих воздействий R_D^2, R_D^3, R_D^4 рассчитывается пропорционально радиусу угла поворота газопровода (признак y_4).

Заключение

Разработанная методика ситуационного управления на нечеткой логике предлагается к применению в системе управления мобильным колесным роботом с трехопорной лучеобразной кинематикой. Укрупненно методика управления изображена на рисунке 1.

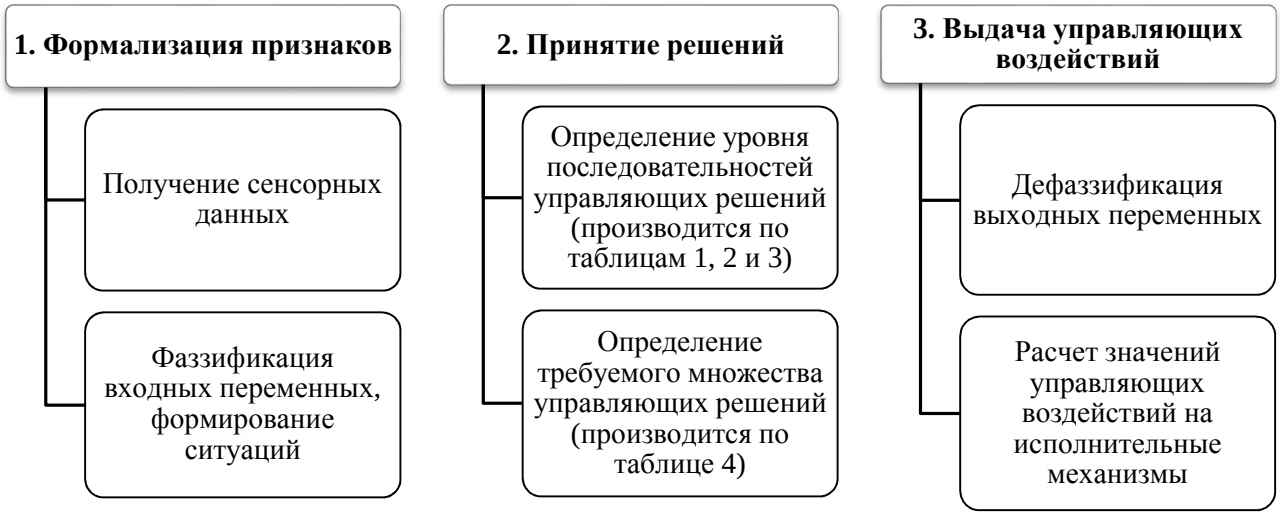

Рисунок 1. Методика ситуационного управления диагностическим роботом

Для настройки системы управления робота, которая будет работать по обозначенной методике, необходимо провести предварительные работы по определению базовых множеств признаков и выходных переменных, зависящих от конкретных физических параметров робота и его технических характеристик (скорости колесных модулей, длина робота, предельные диаметры диагностируемых труб, когда робот находится в максимально сжатом и разжатом положениях). Разработанная методика подходит для решения сложной задачи управления диагностическими роботами разных размеров в условиях изменения параметров газопровода, учитывая все возможные прецеденты.

Список литературы

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. - М. : Физматгиз, 1962. – 476 с.

2. Голубкин И.А., Антонов О.В. Исследование и моделирование процесса проведения дефектоскопии газопроводов мобильным колесным роботом // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. - № 1 (январь). - С. 18-28.

3. Голубкин И.А. Использование мобильных роботов при дефектоскопии внутренней поверхности газопроводов // Наука + молодежь = успех : сборник статей молодых работников ООО «Газпром добыча Астрахань». - Астрахань, 2012. - С. 20-28.

4. Голубкин И.А., Щербатов И.А. Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота // Датчики и системы. – 2010. - № 8 (135), август. – С. 32-35.

5. Голубкин И.А., Щербатов И.А. Теоретико-множественная модель процесса проведения инспекции газопроводов мобильным роботом // Innovative information technologies : materials of the second international scientific-practical conference in Prague. – M. : MIEM NRU HSE, 2013. – Part 3. - P. 127-129.

6. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления : учеб. пособие для вузов. - М. : Наука, 1983. - 336 с.

7. Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.

8. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирования систем : пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 264 с.

9. Golubkin I. & Shcherbatov I. Systems analysis of gas pipeline inspection by mobile robot // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. - Titusville, FL, USA, L&L Publishing, 2013. - Vol. 4 Technical Sciences. - P. 95–96.

10. Protalinskii I.O., Shcherbatov I.A., Shishkin N.D. Optimal Strategy Synthesis for a Group of Mobile Robots with Variable Structure // World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society): 2013. - P. 268-275.

Рецензенты:

Проталинский О.М., д.т.н., профессор кафедры «Прикладная информатика в экономике», ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань.

Попов Г.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань.