

УДК 004.896

**З.В. Нагоев, М.И. Анчëков****СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОСТОЙЧИВОСТЬЮ ОДНООСНОГО РОБОТА-САПЕРА**

*На примере одноосного мобильного робота рассматривается решение задачи динамического управления остойчивостью с помощью нейросетевого устройства управления. Применение схемы обучения без учителя на основе адаптивного нейросетевого критика позволяет достичь снижения числа нарушений стабилизированного состояния кабины в единицу времени.*

*Мультиагентные системы; нейронные сети; адаптивное управление.*

**Z.V. Nagoev, M.I. Anchekov****ONE-AXIS SAPPER ROBOT STABILITY CONTROL SYSTEM**

*The decision of dynamic stabilization problem with the help of neural network controller for an example of mobile single-axed robot is considered. Applying the teacher free learning scheme based on adaptive neural network critic results in decrease of stabilization breaks per given time.*

*Multiagent systems; neural networks; adaptive control.*

**Введение.** В работе рассматривается применение одноосного транспортного средства (ОТС) в качестве мобильной платформы для мультиагентной группировки роботов-саперов (РС). Управление остойчивостью (УО) ОТС, снабженного возможностью возвратно-поступательного перемещения (ВПП) кабины по отношению к колесной базе вдоль курсового направления, предложенное в [1], [2], осуществляется при помощи изменения режимов работы привода ВПП кабины. Целью работы является создание системы УО одноосного РС, обеспечивающей автоматическую стабилизацию кабины. Основной задачей исследования является разработка адаптивных методов автоматического программного УО по данным датчиков положения кабины и гироскопов. *Остойчивостью* ОТС назовем его способность возвращаться в положение равновесия после прекращения действия внешних сил, нарушивших это положение. Недостатками ОТС являются некомпенсированный реактивный момент на кабине и потеря управляемости при перемене режимов движения.

**1. Задача адаптивного нейросетевого УО ОТС.** По основным характеристикам ОТС с динамическим УО объединяет лучшие признаки колесных и шагающих устройств [4]. Отрицательная обратная динамическая связь позволяет уменьшить чувствительность к изменениям различных параметров и к влиянию нагрузки, а также значительно изменить динамические характеристики системы и предотвратить маятниковое раскачивание кабины. Проблема состоит в том, что невозможно заранее предвидеть все варианты нагружения и эксплуатационные состояния робота.

Для решения этой проблемы необходимо разработать такую схему подбора закона УО, при которой сам робот анализирует возникающие нарушения стабилизации и принимает решение о необходимости дополнительного обучения – коррекции закона управления.

**2. Система УО робота-сапера.** С целью решения задачи была разработана система управления (СУ) одноосным РС (рис. 1).

Схема адаптивного нейросетевого устройства управления приведена на рис. 2. Оно состоит из нейронной сети (НС) контроллера, непосредственно генерирующей закон УО, и НС-критика, обеспечивающей адаптивную подстройку закона управ-

ления. Контроллер и критик являются трехслойными НС прямого распространения. На вход контроллера поступают следующие значения:  $\omega_i$  – текущее значение угловой скорости каретки,  $\varphi_i$  – текущее значение угла наклона каретки по отношению к горизонту,  $\omega_d$  – желаемое значение угловой скорости,  $\varphi_d$  – желаемое значение угла наклона каретки по отношению к горизонту,  $\rho_i$  – текущее положение каретки относительно рамы,  $q_i$  – переменная, описывающая состояния двигателей. Значения  $q_i$  описывают состояния трех двигателей в момент времени непосредственно перед принятием решения об управляющем воздействии контроллера в различных стартовых условиях. Остальные входы контроллера являются измеряемыми параметрами. Драйвер модуля управления внешними нагрузками (МУВН) получает их значения в асинхронном режиме, обеспечивает барьерную синхронизацию, нормирование в диапазон от 0,1 до 0,9 и подачу на вход контроллера в равные такты времени.



Рис. 1. Одноосный РС

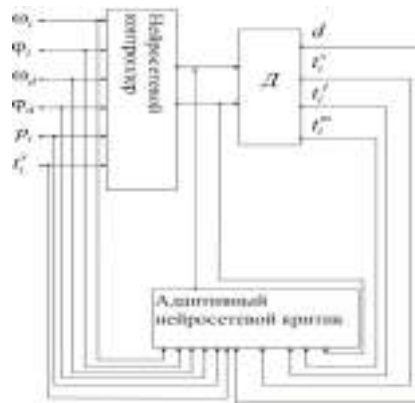


Рис. 2. Схема подключения НС контроллера и АК

Для обозначения входа НС-контроллера на  $i$ -м шаге времени мы будем также пользоваться символом  $X_i = (\omega_i, \varphi_i, \rho_i, \omega_i^d, \varphi_i^d, q_i)$ ,  $x_i \in [0,1;0,9]$ . Для выполнения некоторых задач РС потребуется изменение угла наклона каретки относительно горизонта в направлении продольной оси. Поэтому значения  $\omega_d$  и  $\varphi_d$  также подаются на вход устройства управления.

На выход контроллер выдает следующие значения:  $d \in \{-1;0;1\}$  – значение переключателя состояний двигателя управления остойчивостью (ДУО),  $t_i^s$  – время старта ДУО,  $t_i^f$  – время окончания работы ДУО,  $t_i^m$  – предполагаемое время смены режима движения кабины. При этом выполняются соотношения:  $t_i > t_i^s$ ,  $t_i^f > t_i^s$ ,  $t_i^m \geq t_i^s$ , где  $t_i$  – время формирования выхода контроллера (текущее время).

Далее эти значения передаются на вход НС-критика и параллельно с этим – драйверу МУВН.

Обозначим вектор выходов НС-контроллера на  $i$ -м шаге времени символом  $Y_i = (t_i^s, t_i^f, t_i^m, d)$ ,  $y_i \in [0,1;0,9]$ . Так как обучающая выборка в различные моменты работы системы либо пуста, либо не полна, НС-контроллер не может быть обучен по классической схеме обучения. Применение нейросетевого адаптивного критика (АК), ускоряет процесс обучения за счет построения нейросетевой моде-

ли самого этого процесса. АК представляет собой трехслойную НС прямого пространства, которая связана с НС-контроллером. На вход НС-критика на  $i$ -м шаге подается вектор:  $X_i^c = (X_i, Y_i, t_i^b)$ , где  $t_i^b \in [0.1; 0.9]$  – это время, когда в соответствии с измерениями датчиков произошло нарушение стабилизированного состояния (НСС) кабины ОТС.

Если  $t_i^m$  – время, когда по предположению контроллера системе потребуется сгенерировать новое управляющее воздействие, то  $t_i^b$  – это фактическое время такого нарушения. Контроллер инициализирован случайными весами. Следовательно, возможны различные варианты соотношения времен  $t_i^m$  и  $t_i^b$  (рис. 3).

На выходе НС-критика на  $i$ -м шаге получаем вектор выходов  $Y_i^c = (\Delta t_i^s, \Delta t_i^f, \Delta t_i^m, d^c)$ ,  $y_i^c \in [0,1; 0,9]$ , где  $d^c$  – режим переключения ДУО, рекомендуемый критиком,  $\Delta t_i^s$  – приращение критика по  $t_i^s$ ,  $\Delta t_i^f$  – приращение критика по  $t_i^f$ ,  $\Delta t_i^m$  – приращение критика по  $t_i^m$ . Эти значения используются в качестве корректировок выходов контроллера:  $t_{i+1}^s = t_i^s + \Delta t_i^s$ ,  $t_{i+1}^f = t_i^f + \Delta t_i^f$ ,  $t_{i+1}^m = t_i^m + \Delta t_i^m$ .

Блок-схема алгоритма обучения контроллера с помощью АК приведена на рис. 4.

Далее схема применяется на устройстве (на блок-схеме  $D$ ). Как только датчики регистрируют НСС кабины, фиксируется время  $t_i^b$ . Если время НСС больше предполагаемого времени смены режима управления (рис. 3), то это означает, что контроллер недооценил продолжительность пребывания машины в стабилизированном состоянии после текущего управляющего воздействия. В этом случае необходимо откорректировать выходной вектор, обучить контроллер и вернуть управление СУ верхнего уровня.

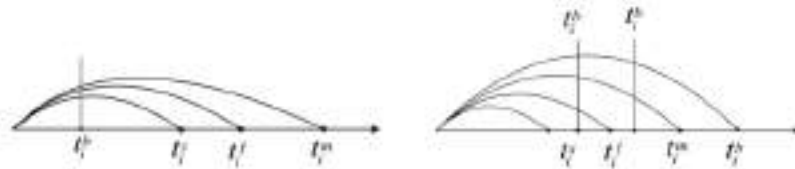


Рис. 3. Соотношения времени событий в системе

Если время НСС лежит между временем старта и временем окончания работы двигателя, необходимо также переинициализировать выходы, обучить сеть и вернуть управление наверх. Если нарушение произошло раньше времени старта, тогда необходимо запустить прямой проход критика. После прямого прохода корректировки критика прибавляются к выходам контроллера. Эксперименты на прототипе одноосного РС показали, что в результате обучения контроллера по описанной схеме наблюдается снижение числа нарушений стабилизированного состояния кабины в единицу времени.

**Заключение.** Разработан адаптивный метод автоматического программного ОУ ОТС по данным датчиков положения кабины и гироскопов.

Реализуемая в данном методе схема адаптивного подбора закона УО позволяет роботу самостоятельно анализировать возникающие нарушения стабилизации, принимать решения о необходимости дополнительного обучения и решения о корректирующих воздействиях.

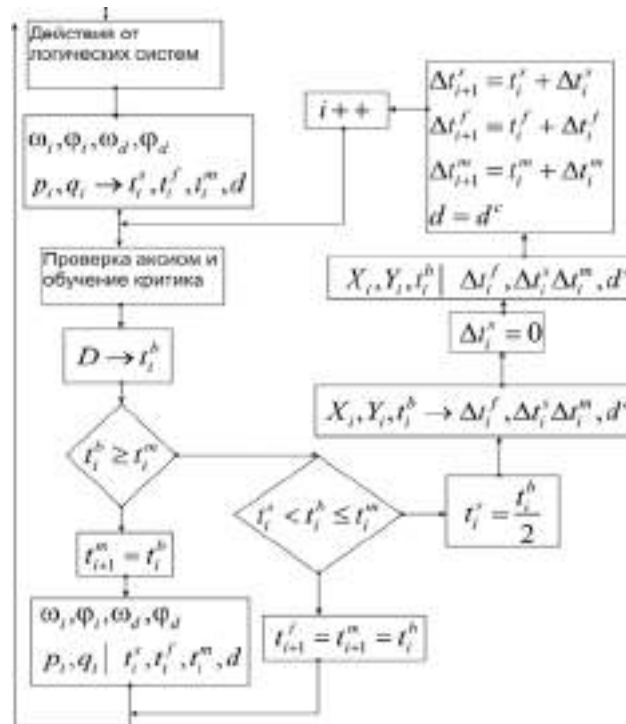


Рис. 4. Схема обучения НС-контроллера

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беккер. Введение в теорию местность-машина. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
2. Патент РФ на изобретение «Одноосного вездехода» № 2102272.
3. Патент РФ на изобретение «Двухколенный двухколесный велосипед с плавающей кабиной» № 2090429.
4. Алхасов Р.М. Моделирование и адаптивное управление нетрадиционными транспортными средствами с одноосным шасси: дисс. на соиск. уч. ст. к.ф.-м.н. – Нальчик, 2000.
5. Свидетельство №2102272 на изобретение "Одноосный вездеход". Патентообладатели: Хамуков Ю.Х., Озов Р.М.

**Нагоев Залимхан Вячеславович**

Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН.  
 E-mail: zaliman@mail.ru  
 360000, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.  
 Тел.: 88662426552.

**Анчёков Мурат Инусович**

**Nagoev ZalimKhan Vjatcheslavovich**

Institute for Computer Sciences and Regional Management Problems of Kabardino-Balkarian RAS Scientific Center.  
 E-mail: alemao@mail.ru.  
 37A, I. Armand street, Nalchik, Cabradino-Balkarian Republic, Russia.  
 Phone: 88662426552.

**Anchekov Mourat Inusovich**