УДК: 004.032.261

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНОГО ТИПА И 3D НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ ДЛЯ РОИН РТС Р-300/04**

**Бочаров В.Ж., Бурковский В.Л.**

*Российская Федерация, г. Воронеж, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»*

*В данной статье рассматривается модернизация системы управления и протокола обмена данными для робототехнического комплекса. Объектом управления является дистанционно управляемый робот ROIN RTS R-300/04. В техническом задании на разработку этой машины выдвигаются высокие требования к ее производительности и надежности. Стандартная система управления роботом ROIN RTS R-300/04 не обладает достаточной отказоустойчивостью. Основными недостатками системы управления ROIN являются: пропускная способность радиоканала, плохая помехозащищенность линии связи с блоком управления шасси, низкая энергоэффективность, а также невозможность расширения функциональных возможностей для использования сложных гидравлических навесных устройств.*

*Для решения поставленных задач была предложена концепция модульной системы управления, согласно которой вся система управления делится на функциональные блоки, обеспечивающие локальное управление любым роботизированным оборудованием, а также разработан регулятор мощности на основе 3D нейроконтроллера. Все блоки подключены к общей информационно-командной сети. Каждый блок получает команду в определенном формате и в ответ передает информацию о своем состоянии. Таким образом, сложные задачи управления как бы распределяются между блоками, а основной блок в любой момент времени получает информацию о состоянии каждой из подсистем робота, что значительно облегчает диагностику и устранение неисправностей. Чтобы избежать помех при передаче данных между блоками, мы используем интерфейс RS485, а также строим линии передачи данных на основе кабелей витой пары и увеличиваем скорость передачи данных с 9600 до 115200 бод.*

*Разработанная система управления была собрана и установлена на серийный РОИН РТС Р-300/04 модернизированный робот показал значительно лучшие результаты: время безотказной работы всей системы со 100 часов достигло 500 часов. Количество неисправностей, вызванных неисправностями системы управления, было сведено к минимуму. Модернизированный робот успешно используется УГМК при демонтаже конвертеров и огнеупорной кладки металлургических агрегатов на горловинах агрегата.*

***Ключевые слова:*** *система управления, регулятор мощности, 3Dнейроконтроллер*

В современном мире роботы все активнее применяются для проведения сложных и опасных работ. Задачи, которые при проведении этих работ, ставятся перед робототехническими комплексами выдвигают новые требования к системам управления и связи.В рамках данной статьи рассмотрим разработку новой системы управления и протокола обмена данными, который применятся для передачи данных внутри системы управления и между робототехническим комплексом и пультом дистанционного управления. В качестве объекта управления рассмотрим дистанционно управляемого робота РОИН РТС Р-300/04, разработанный компанией АО МГК «Интехрос» для медеплавильного комбината АО «Святогор».В рамках технического задания на разработку данной машины выдвигались достаточно высокие требования к ее производительности и надежности: робот должен отрабатывать смены по 12 часов, используя различное навесное оборудование в сложных условиях высокой запыленности и экстремального перепада температур от -40 до +2000С. Для достижения таких показателей гидравлическая система робота была значительно переработана и оснащена большим количеством датчиков: давления, температуры и уровня гидравлической жидкости, а в качестве силовой установки применен дизельный двигатель Kubotaмощностью 50 кВт.

Система управления, которая изначально была установлена на роботе РОИН РТС Р-300/04 обладает рядом особенностей, которые мы сейчас рассмотрим. В общем виде она состоит из четырех модулей: системы управления стрелой робота, системой управления аутригерами и ходовой частью робота, а также системой управления силовой установкой и системой дистанционного управления, с помощью пульта.



Рис. 1Структурная схема системы управления

 Из представленных подсистем лишь 3 оснащены микроконтроллерами: пульт дистанционного управления, управление стрелой и подсистема управления аутригерами и ходовой частью. Обмен данными по радиоканалу осуществляется с помощью радио модуля HOPERFRFM 22b. Из-за особенностей радио модуля скорость передачи данных серьезно ограничена, а размер кадра, передаваемого через радиоканал, не превышает 20 байт. Данные от машины к пульту управления и от пульта управления к машинепередаются в заранее установленном виде — пакетами.

 Управление гидравликой осуществляется с помощью силовых ключей, установленных вместе на «плате ключей» для стрелы РОИН Р-300 и гидравликой аутригеров и ходовой части с помощью «блока управления ходовкой».Серьезным недостатком является применение обычного интерфейса UART для связи между блока управления стрелой и блока управления ходовкой. Эта линия связи достаточно уязвима для различного рода помех. В качестве протокола связи используется MODBUSRTU. Из-за слабой помехозащищённости линии связи скорость обмена данными составляет всего 9600 бит/сек. Управление силовой установкой осуществляется с помощью релейной схемы, подключенной проводными линиями к цифровым выходам подсистемы управления стрелой. Общая логика работы системы управления заключается в считывании нажатий кнопок и отслеживания отклонений джойстиков на дистанционном пульте управления. Далее собранные данные передаются по радиоканалу. Получив данные по радиоканалу, подсистема управления стрелой с помощью сложной системы условий формирует выходные сигналы для силовых ключей, а также передает принятый по радио пакет далее блоку управления ходовкой. Блок управления ходовкой и аутригерами применяет аналогичную сложную систему условий для включения или выключения силовых ключей. Общая пропорциональность управления достигается с помощью широтно-импульсной модуляции и специальных блоков EDM– 3112M. РОИН РТС-Р 300 оснащен двумя дискретными датчиками: датчиком температуры гидравлической жидкости, который срабатывает при достижении температуры 450С и датчик аварийного уровня масла в гидравлическом баке. Другое дополнительное оборудование подключить к штатной системе управления невозможно.

 Модернизация системы управления необходима для достижения показателей, заложенных в техническом задании, описанном выше. Эксплуатационная практика показала, что существующая система управления не обладает достаточной отказоустойчивостью. Слабыми местами существующей системы управления оказались: пропускная способность радиоканала, плохая помехозащищенность линии связи с блоком управления ходовкой, а также невозможность расширения функциональных возможностей для использования сложного навесного оборудования (мульчер, гидроножницы, буры и молоты повышенной производительности).

 Для решения поставленных задач была предложена модульная концепция системы управления: вся система управления делится на функциональные модули, обеспечивающие локальное управление каким-либо оборудованием робота. Каждый блок оснащен однотипным микроконтроллером STM32F103RCT6. Все блоки связаны в единую информационно-командную сеть. Каждый блок получает команду в определенном формате и в ответ передает информацию о своем состоянии. Таким образом сложные задачи управления как бы размазываются между блоками, а главный блок в любой момент времени получает информацию о состоянии каждой из подсистем робота, что значительно облегчает диагностику и устранение неисправностей. Чтобы избежать помех при передачи данных между блоками вместо обычного UART необходимо использовать интерфейс RS485, а линии передачи данных строить на основе витой пары (витая пара снижает наводки и помехи как от линий передачи данных, так и от силовой электроники). Так как с введением модульного принципа увеличивается количество блоков системы управления, а значит и информации, которую нужно передавать имеет смысл увеличить скорость передачи данных с 9600 до 115200 бит/сек.

Чтобы еще больше снизить возможные коллизии при передаче данных имеет смысл оснастить блоки внешними кварцевыми резонаторами с частотой не менее 11,0592 МГц. Еще одним положительным эффектом этого решения станет повышение стабильности работы блоков, т.к. внешние кварцевые резонаторы менее восприимчивы к колебаниям температуры окружающей среды.

Для системы управления РОИН РТС Р-300/04 были разработаны следующие блоки:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Название | Описание |
| 1 | CPU 1R(M)-4RS485 | Главный блок, к которому через 4 интерфейса RS485 подключаются все остальные блоки системы управления. Осуществляет прием команд управления и передачу данных о состоянии машины с помощью радиомодема большой мощности MBee868-2.0 на пульт дистанционного управления.  |
| 2 | 12PDO (0x2000) | Блок управления силовой нагрузкой. Обеспечивает дискретное управление нагрузкой до 12 независимых каналов. |
| 3 | 4PAO (0x3000) | Блок управления пропорциональной нагрузкой. Имеет 4 независимых канала для широтно-импульсной модуляции.. |
| 4 | 8RELE (0x2200) | Блок управления силовыми реле. 8 независимых реле.  |
| 5 | 8PDO4AI (0x9100) | Блок управления смешанной нагрузкой. Обеспечивает дискретное управление нагрузкой до 8 независимых каналов. Блок имеет 4 независимых аналоговых входа. |
| 6 | 8AI8DI2FDI (0x4000) | Блока контроля входных сигналов. Блок имеет 8 независимых аналоговых входа. 8 независимых дискретных цифровых входов. 2 независимых высокочастотных цифровых входа, оценивающих частоту сигнала на входе. |

Собрав систему управления из модулей, необходимо установить форматы передачи данных между всеми элементами системы управления. Рассмотрение протокола передачи данных имеет смысл начать с пакета данных, который содержит команды управления от пульта дистанционного управления, передается по радиоканалу на главный блок управления.

Радиоканал между пультом дистанционного управления и главным блоком системы управления CPU 1R(M)-4RS485 с точки зрения микроконтроллеров, установленных на этом оборудовании, представляет собой полнодуплексный UARTс параметрами 115200-N-8-1. Пульт управления передает пакет данных длиной 26 байт, но в отличие от старой системы управления, не состоящий из данных о нажатии кнопок и отклонений джойстиков, а состоящий из команд с номерами дискретных гидравлических распределителей и другой дискретной нагрузки. Команды передаются позиционным битом. ШИМ сигнал, задаваемый джойстиками пульта дистанционного управления также сводится в этот пакет. После формирования пакета происходит формирования контрольной суммы для всех данных в пакете по алгоритму контрольной суммы Modbus-RTU.

Гидравлика 8 байт Доп. команды 8 байт. ШИМ 8 байт.CRC16

|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_|

В ответ на данный пакет от пульта дистанционного управления главный блок системы управления передает пакеты с данными от каждого из блоков системы управления по очереди. Таким образом пакет команд всегда имеет один и тот же формат, а меняется лишь пакет с данными от главного блока к пульту дистанционного управления.

Получив пакет команд, главный блок системы управления сопоставляет принятые данные с таблицами команд и формирует пакеты для передачи к остальным блокам управления.

 Пакеты данных, которые передаются от главного блока к остальным блокам системы управления и наоборот также имеют установленный формат, описанный в таблице ниже. При наличии на одной линии более чем одного однотипного блока адрес блока задается с помощью младшего байта в поле «адрес».

Высокопроизводительные робототехнические комплексы, как объекты управления, требуют вдумчивого и основательного подхода при разработке систем управления. Необходимо учитывать большое количество факторов, в том числе и энергоэффективность исполнительных элементов робота. Особенно актуален вопрос энергоэффективности для автономных робототехнических комплексов.

Энергоэффективность — это в первую очередь рациональное использование доступных ресурсов. Чтобы система управления РТК стала энергоэффективной и при этом не снижала производительность исполнительных органов робота, необходимо производить прогнозирование энергопотребления в процессе функционирования и вносить коррективы в управляющие сигналы.

 Для решаемой задачи по разработке системы управления одним из приоритетных вопрос – это обеспечение бесперебойной и энергоэффективной работы машины в течение 12 часовой рабочей смены. В первом приближении это вполне достижимый показатель, но лишь при функционировании РТС Р-300 в слабонагруженных режимах. Следовательно робот необходимо оснастить регулятором мощности. Из-за особенностей эксплуатации регулятор должен учитывать большое количество различных параметров: текущий режим работы, характеристики применяемого оборудования и т.д., в том числе и стиль управления оператора.

 Исходя из этого была предложена и проработана идея синтеза регулятора мощности на основе 3Dнейронной сети. На входной слой нейронной сети, представляющий собой полноценную нейронную сеть подаются параметры со всех датчиков машины, а также информация о типе применяемого оборудования, а уже нейроконтроллер контролирует мощность, выдаваемую силовой установкой.

Входные сигналы проходят через нейронные сети регулятора мощности, где получают соответствующие веса, на которые будут умножены и переданы в обобщающую нейронную сеть. Где мы получим взвешенную сумму коэффициентов энергоэффективности, с которыми и дальше будет работать нейронная сеть этого слоя.

$$x\_{1}w\_{1}+ x\_{2}w\_{2}+…+x\_{N}w\_{N}= \sum\_{i=1}^{N}x\_{i}w\_{i}$$

Введение дополнительных слоев нейронных сетей в систему регулятора мощности позволит расширить функциональные возможности системы управления и откроет новые пути к увеличению энергоэффективности. Например, внедрение технического зрения и нейронной сети фассетного типа даст возможность РТК перемещать в пространстве исполнительные механизмы наиболее рациональным и безопасным маршрутом.

Таким образом мы можем оценить и прогнозировать энергопотребление РТК и вносить поправки в управляющие сигналы для исполнительных механизмов.



Рис. 2 Обобщенная структурная схема 3D нейронной сети регулятора мощности РТК



Рис.3 Структурная схема включения 3Dнейроконтроллера регулятора мощности в систему управления

Мы рассмотрели общий принцип построения новой системы управления, блоки из которых она строится и разработали протокол обмена данными внутри системы. Имея все эти данные можно сформировать новую структурную схему системы управления РОИН РТС Р-300/04.



Рис. 4 Структурная схема новой системы управления

Модернизированная система управления была собрана и установлена на серийный РОИН РТС Р-300/04. После монтажа и подключения новой системы управления был проведен полный перечень приемо-сдаточных мероприятий. Модернизированный робот показал значительно лучшие результаты: наработка на отказ со 100 часов достигла 500 часов. Количество неисправностей по причине сбоев системы управления было сведено к минимуму. Модернизированный РОИН успешно функционирует со всей номенклатурой навесного оборудования выпускаемого компанией АО МГК «Интехрос». Робот используется компанией УГМК при демонтаже на горловинах конвертеров настылей, которые образуются при конвертировании медных штейнов, а также при демонтаже огнеупорной кладки металлургических агрегатов. Раньше эти работы выполнялись с помощью ручной силы и кранового оборудования, а также пневматического ударного инструмента.

Список литературы

1. Бочаров В. Ж., Бурковский В. Л. Система нейроуправления на основе 3d-сети в условиях робототехнического комплекса специального назначения //Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т. 13. – №. 3.
2. Бочаров В. Ж., Бурковский В. Л. Управление робототехническим комплексом в экстремальных условиях функционирования на основе нечетких нейронных сетей //Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12. – №. 6.
3. Bocharov V. et al. Analysis of Resource Availability of Production Enterprise Based on Fuzzy Neural Network //Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics" Zavalishin's Readings". – Springer, Singapore, 2020. – С. 459-467.

**Бочаров Владимир Жанович**, аспирант Воронежского государственного технического университета, инженер-конструктор АО МГК «Интехрос», 89507723804,dr.bocharoff@yandex.ru

**Бурковский Виктор Леонидович**, доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, заведующий кафедрой электропривода, автоматики и управления в технических системах, 89107383918,bvl@vorstu.ru

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**MODULAR CONTROL SYSTEM AND 3D NEURAL NETWORK POWER CONTROLLER FOR ROIN RTS R-300/04**

**Bocharov V. Zh., Burkovsky V. L.**

*Voronezh, Voronezh state technical University, Russian Federation»*

*This article discusses the development of a new control system and data exchange Protocol for a robotic complex. The object of control is a remote-controlled robot ROIN RTS R-300/04. The technical specification for the development of this machine sets high requirements for its performance and reliability. The standard ROIN RTS R-300/04 robot control system does not have sufficient fault tolerance. The main disadvantages of the ROIN control system are: the bandwidth of the radio channel, poor noise immunity of the communication line with the chassis control unit, low energy efficiency, and the inability to expand the functionality for using complex hydraulic attachments.*

*To solve these tasks, the concept of a modular control system was proposed, according to which the entire control system is divided into functional blocks that provide local control of any robotic equipment, and a power controller based on a 3D neurocontroller was developed. All blocks are connected to a common information and command network. Each block receives a command in a specific format and sends information about its state in response. Thus, complex control tasks are distributed among the blocks, and the main block receives information about the state of each of the robot's subsystems at any time, which greatly facilitates diagnostics and Troubleshooting. To avoid interference when transmitting data between blocks, we use the RS485 interface, as well as build data lines based on twisted pair cables and increase the data transfer rate from 9600 to 115200 baud.*

*The developed control system was assembled and installed on the serial ROIN RTS R-300/04 the upgraded robot showed significantly better results: the uptime of the entire system from 100 hours reached 500 hours. The number of failures caused by control system failures was kept to a minimum. The upgraded robot is successfully used by UMMC when dismantling converters and refractory masonry of metallurgical units on the unit necks.*

***Keywords:*** *control system, power controller, 3D neurocontroller*

Bibliografy

1. Bocharov V. Zh., burkovsky V. L. the system of neurocontrol on the basis of a 3d network in the conditions of a special-purpose robotic complex //Bulletin of the Voronezh state technical University. - 2017. - Vol. 13. - no. 3.

2. Bocharov V. Zh., burkovsky V. L. Management of a robotic complex in extreme operating conditions based on fuzzy neural networks //Bulletin of the Voronezh state technical University, 2016, Vol. 12, no. 6.

3. Bocharov V. et al. Analysis of Resource Availability of Production Enterprise Based on Fuzzy Neural Network / / Proceedings of the 15th International Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings". – Springer, Singapore, 2020. - Pp. 459-467.

**Vladimir Zhanovich Bocharov,** postgraduate student of Voronezh state technical University, design engineer of Intechros MGK JSC, 89507723804, dr.bocharoff@yandex.ru

**Burkovsky Viktor Leonidovich**, doctor of technical Sciences, Professor, Voronezh state technical University, head of the Department of electric drive, automation and control in technical systems, 89107383918, bvl@vorstu.ru