

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 681.51; 625.19; 620.22

ДИСТАНЦИОННО ВОССТАНАВЛИВАЕМЫЕ СЕНСОРНЫЕ СМАРТ-СТРУКТУРЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

И.Л. Борисенков¹, Г.И. Леонович^{1,2}, А.И. Данилин²,
К.Е. Воронов², А.М. Телегин²

¹Секция прикладных проблем при Президиуме РАН, г. Москва

²«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: мобильные робототехнические комплексы, живучесть, сенсорная смарт-структура, дистанционное восстановление.

Применяемые способы и средства дистанционного управления бортовыми системами мобильных робототехнических комплексов (МРТК) условно разделяют по степени автономности комплекса на две основных категории [1, 2]:

- с низкой степенью автономности: различные варианты непрерывной индивидуальной, групповой и сетевой связи с оператором или базовой платформой с применением беспроводных (радиооптических, тепловых, акустических), проводных оптоволоконных и комбинированных каналов связи;

- с высокой степенью автономности (введение в память больших объемов информации, самообучение и автоконтроль бортовых систем и т.д.): одно- или многократное (периодическое) использование различных способов и каналов связи, в том числе для автономного подключения к спутниковым и иным навигационным и связным системам.

Степень автономности МРТК предопределяет объем и направления интеллектуализации автоматизированного управления комплексом и его составляющими, включая сенсорную структуру. В результате воздействия внешних и внутренних факторов бортовые системы могут прийти в частично неработоспособное состояние с сохранением наиболее важных функций, к которым относятся мониторинг состояния и определение значения ряда параметров целевого объекта, собственных систем и окружающей среды. Причем, полное или вариативное дистанционное поддержание рабочего состояния бортовых сенсорных систем с применением различных форм интеллектуализации инициирует получение

необходимого объема информации для эффективного решения таких задач, как:

- установление местонахождения неисправных аппаратов;
- выявление отказавших узлов и оценка возможности их автономного и дистанционного восстановления;
- дистанционное полное или частичное восстановление материалов и структур, работоспособности узлов и агрегатов;
- формирование требований к перспективным дистанционно восстанавливаемым сенсорным смарт-структурам и МРТК в целом.

Сенсорная смарт-структура (ССС) в наиболее распространенной интерпретации представляет собой распределённую самоорганизующуюся сеть множества сенсорных модулей (датчиков и исполнительных устройств), объединённых между собой посредством радиосети [3]. Типовой многопараметрический сенсорный модуль содержит источник, приемник или преобразователь энергии, контроллер, пассивные датчики, не требующие питания, пассивные датчики с подпиткой от собственного источника питания, интеллектуальные датчики с подпиткой, генераторные датчики и др. [4]. Последние достижения в области нано- и микросистемной техники позволяют создавать сенсорные узлы на одном чипе, размеры которого зависят от типов сенсоров, функционального наполнения, энергозависимости и др., и могут не превышать единицы микрометров (e-CUBES) [5].

Применительно к МРТК, как к сетевой структуре, для обеспечения высокого уровня его живучести ССС должна обладать следующими свойствами и функциями:

- дистанционное управление структурой и локальная связь между сенсорными модулями по всем доступным типам физических каналов с дублированием и группированием в различных комбинациях;
- самодиагностика сенсорных модулей и ССС в целом с периодическим запросом данных по командной радиолинии и с автоматическим выводом критических данных на базовую станцию;
- максимальное использование смарт-материалов с функцией само- или дистанционно восстановления при создании сенсорных модулей и каналов связи между ними;
- использование систем самообучения, сервисов виртуальной и дополненной реальности при проведении дистанционных восстановительных мероприятий;
- дистанционный перевод комплекса в полный или частично пассивный режим и др.

На рисунке 1 приведен фрагмент дистанционно управляемой динамической ССС на основе проводных и волоконно-оптических датчиков. К общей шине подключены продублированные модемы, контроллеры,

интеррогатор, источники питания, память. Такая структура характерна для аморфных роботов, содержащих «мягкие органы», которые сопряжены с соответствующими датчиками [2, 3].

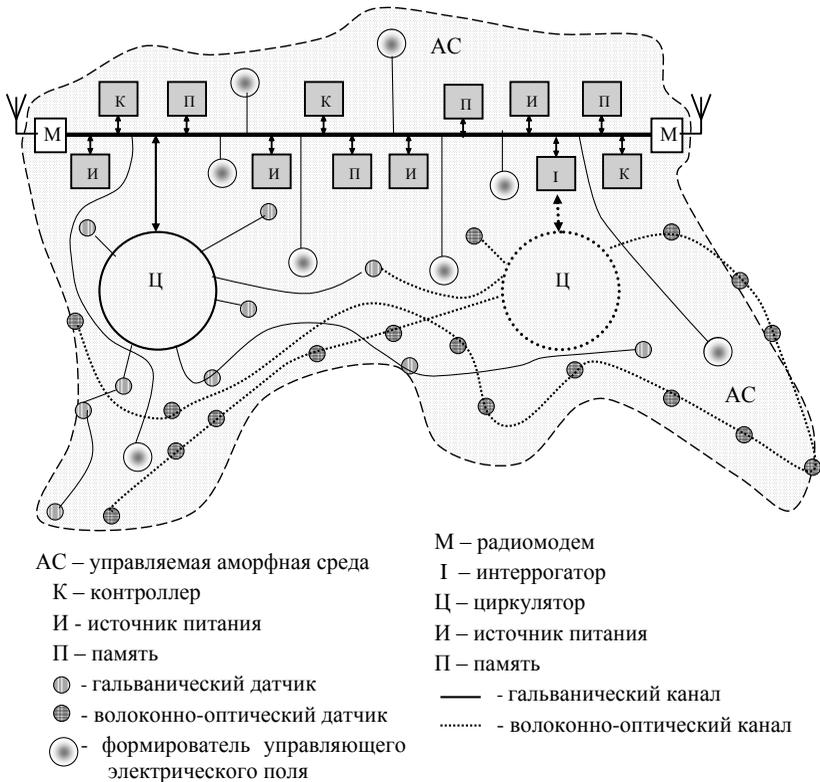


Рисунок 1 – Фрагмент дистанционно управляемой сенсорной смарт-структуры в составе мобильного робота

Аморфные материалы обеспечивают роботам эффективное преодоление или адаптацию к препятствиям, полное или частичное восстановление при дефектах, работу в динамических средах, участие в адаптивных перенацеливаемых мультиагентных системах и др. Поскольку сенсорная система содержит дискретные элементы (датчики, каналы передачи данных и энергии), то они или инкапсулируются или располагаются на поверхностях «щупалец». При этом предполагается использование капсул с газами и жидкостями, применяемыми при неразрушающем контроле или восстановлении наблюдаемого объекта [6].

Способы и алгоритмы управления структурой и восстановления сенсорных сетей, которые применимы для МРТК, достаточно подробно описаны в [1-3] и в технической литературе по беспроводным сенсорным сетям. Вместе с тем, так как приведенная на рис. 1 ССС входит в аппарат аморфного типа с высокой степенью проникновения и сохранения живучести в труднодоступных местах и в экстремальных условиях, это предполагает использование в качестве сенсоров и каналов передачи данных новых типов управляемых полимеров, сплавов и композитов. К таким материалам относится, например, диэлектрический эластомер (ДЭМ) который способен сохранять работоспособность в широком спектре эксплуатационных факторов [7-9]. ДЭМ-преобразователь состоит из тонких электроизоляционных эластомерных мембран, покрытых на противоположных сторонах соответствующими электродами. Коэффициент деформации достигает $K_d=4\div 12$, коэффициент изменения жесткости $K_{жс}=30\div 45$, отношение развиваемой силы к собственному весу $K_f=15\div 20$. Уже сейчас ДЭМ применяют в приводах, тензодатчиках и сборщиках-преобразователях механической энергии. Разработаны упругие и вязкоупругие модели для многослойного унимоформного ДЭМ с плоскими и изогнутыми видами деформации. Изделия из ДЭМ обладают свойством самоконтроля и управления деформацией за счет передачи отклика с электродов на контроллер, вычисляющий параметры воздействующего на эластомер электрического поля. Такие материалы способны функционировать в управляемой гидрогелиевой среде, что позволяет формировать локальную сенсорную микросеть, обслуживающую определенный сектор структуры («щупальце»). В частности, в [10] продемонстрирована инкапсулированная в гельморфная титановая проволока, которая объединяет несколько датчиков с контроллером и сохраняет постоянную электрическую проводимость при растяжении в 3-5 раз.

Таким образом, дистанционное управление значительно расширяет перечень и вариативность оперативных способов и средств восстановления сенсорных смарт-структур, что в свою очередь способствует существенному повышению живучести перспективных МРТК.

Список использованных источников

1. Robots underpinning future NATO operations – <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjZh535gtvvAhVCEncKHSq5DJIQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2F>
2. <https://idstch.com/military/darpas-underminer-to-develop-tunneling-robots-and-concepts-for-underground-operations-for-emerging-tunnel-warfare/>
3. ПНСТ 421—2020. Информационные технологии. Сети сенсорные. Типовая архитектура сенсорных сетей. Часть 4 - модели сущностей. – https://allgosts.ru/35/110/pnst_421-2020.

4. Автономные многопараметрические сенсорные модули /Г.И. Леонович, и др. //Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. (г. Самара, 15-17 мая 2018 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева. - 2018. - С. 24-26.
5. 3-D-integrated micro/nano modules for easily adapted applications – <https://cordis.europa.eu/project/id/026461/pl>.
6. Napp N., Nagpal R. Robotic construction of arbitrary shapes with amorphous materials. 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Page(s):438 – 444. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/6906893/citations?tabFilter=papers>.
7. Kadooka, K., Imamura, H., Taya, M. Experimentally verified model of viscoelastic behavior of multilayer unimorph dielectric elastomer actuators, Smart Material and Structures 25 105028, 2016.
8. Standards for dielectric elastomer transducers. – <https://core.ac.uk/download/pdf/80261549.pdf>.
9. Self-sensing of dielectric elastomer tubular actuator with feedback control validation/ Shengbin Wang // Smart Materials and Structures, 2020, Volume 29, Number 7 – <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-665X/ab914b>.
10. Qiao Z., Parks J. Applications of Highly Stretchable and Tough Hydrogels/Polymers. 2019, 11(11), 1773. – <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/11/1773/htm>.

УДК 621.396.43

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ ТРОПОСФЕРНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Д.В. Лучин

Филиал ФГУП НИИР — СониИР, г. Самара

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, тропосферная радиосвязь.

Системы тропосферной радиосвязи получили максимальное развитие в СССР и США во второй половине 20 века. Так в СССР с 1966 года началось возведение сети станций стратегической тропосферной радиорелейной линии связи (ТРРЛ) «Север». Строительство продолжалось до 1970 года, всего было возведено 46 станций. ТРРЛ «Север» исправно служила вплоть до 1990-х. Однако развитие спутниковой связи и развал СССР привели к тому, что станции начали одну за другой консервировать — по сути, закрывать. Последняя из «Горизонт-М» прекратила свою работу в 2003 году. Всего в СССР было создано более 2-х десятков тропосферных станций для различных нужд. Аналогичная участь постигла не только