

Архитектура системы управления экзоскелета

02, февраль 2015

Жуков А. А.¹, Демченко М. А.¹, Верейкин А. А.^{1,*},
Савченко А. Г.¹, Зельцер А. Г.¹

УДК: 621.865.8, 004.75, 004.896, 62-503.55

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}aaautres@gmail.com

Введение

Огромное количество современных научных исследований посвящено вопросу создания роботизированного экзоскелета [1-12],– технического устройства, позволяющего снять с человека-оператора внешние нагрузки за счёт восприятия их наружным по отношению к человеку каркасом. Экзоскелет принадлежит к классу древовидных исполнительных механизмов, исследованию которых посвящена литература [13, 14]. Особенно активно разрабатывается концепция применения экзоскелетов в зоне ведения боевых действий. Отставание РФ по данному направлению весьма значительно, однако научный задел, накапливаемый в МГТУ им. Н.Э. Баумана, позволит, в случае необходимости, создать центр компетенции в области экстремальной робототехники и в сжатые сроки спроектировать и изготовить реальный образец экзоскелета. Созданию такого научного задела посвящена настоящая работа.

1. Классификация систем управления

На предварительном этапе разработки концепции системы управления (СУ) экзоскелетом на основе проведённого обзора литературных источников, таких как [15-18], были определены различные способы управления экзоскелетом. Для лучшего понимания ситуации, сложившейся в индустрии на данный момент времени, было принято решение составить классификации найденных систем управления в соответствии с наиболее важными признаками.

По способу взаимодействия человек-машина СУ экзоскелетом подразделяются на:

- снятие мозговой активности;
- анализ мышечной активности;
- анализ нейронной активности.

Все эти способы признаны согласующимися с целями настоящего проекта из-за одного объединяющего их фактора – для управления экзоскелетом отсутствует необходимость в использовании контроллеров, а, следовательно, пилот сохраняет возможность использования мелкой моторики.

В соответствии со способом осуществления вычислений были выделены:

- вычисления “внутренними” мощностями;
- вычисления “внешними” мощностями.

Вычисления “внешними” мощностями характеризуются тем, что все основные вычисления происходят на выделенном компьютере, что ограничивает экзоскелет как в автономности, так и в мобильности, поскольку даже для использования облачных вычислений необходимы каналы связи с высокой пропускной способностью, что в современных реалиях невозможно для мест предполагаемого применения экзоскелета. Итак, данный способ не подходит для экзоскелета в силу существенности налагаемых ограничений.

Архитектура системы управления антропоморфным роботом Lola [19], включающей в себя систему внешних вычислений, центральный блок управления с кольцевой топологией сети контроллеров представлена на рис. 1.

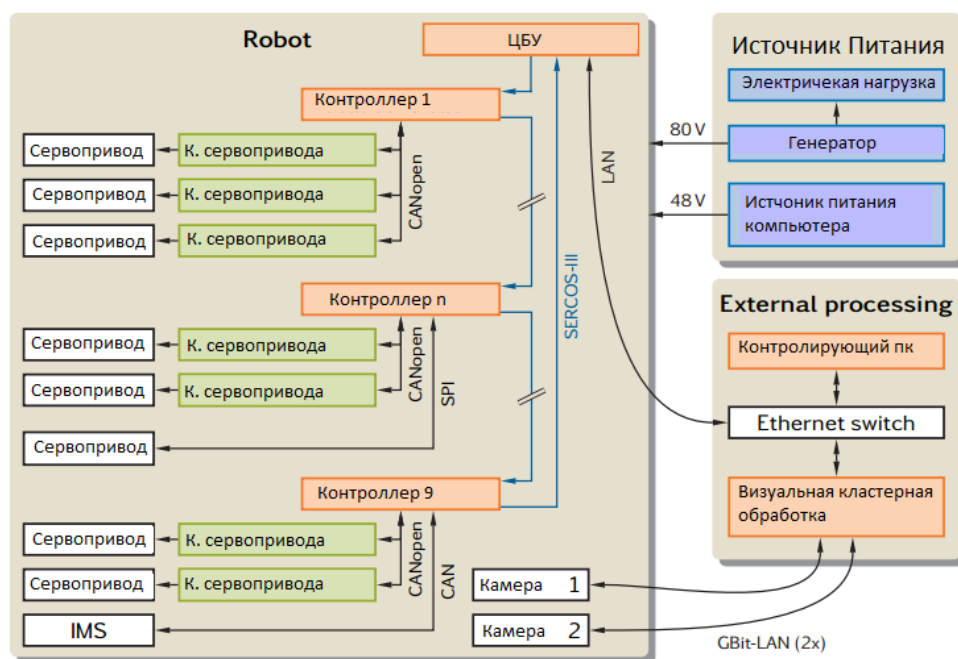


Рис. 1. Архитектура системы управления антропоморфным роботом Lola

Здесь:

CAN (Controller Area Network) – стандарт промышленной сети, ориентированный прежде всего на объединение в единую сеть различных устройств и датчиков;

CANopen – открытый сетевой протокол верхнего уровня для подключения встраиваемых устройств;

SPI (Serial Peripheral Interface) – последовательный синхронный стандарт передачи данных в режиме полного дуплекса, предназначенный для обеспечения сопряжения микроконтроллеров и периферии;

LAN (Local Area Network) – локальная сеть;

IMS (IP Multimedia Subsystem) – спецификация передачи мультимедийного контента в электросвязи на основе протокола IP;

SERCOS-III (Serial Real-time Communication System) – цифровой интерфейс, оптимизированный для связи контроллера с преобразователями частоты, использующий волоконно-оптическое кольцо;

Gbit-LAN (2x) – аналогично LAN, но с пропускной способностью 1 Гбит/с;

Ethernet switch – коммутатор.

2. Концепции системы управления

В качестве фундамента для построения системы управления в большинстве проектов используются операционные системы реального времени (ОСРВ). Данный способ имеет знакомую для многих разработчиков архитектуру и широко распространён в области свободного программного обеспечения. Это обусловлено её преимуществами:

- многозадачность, приоритеты процессов, семафоры;
- пониженная требовательность к вычислительным ресурсам;
- работа практически на любом оборудовании.
- В основу СУ экзоскелета можно положить:
- программы адаптивного управления (ПАУ);
- узконаправленный искусственный интеллект (УИИ).

Рассмотрим каждый из вариантов отдельно.

ПАУ представляет из себя комплекс программ, расположенных непосредственно на экзоскелете, и управляющих всеми имеющимися системами. Принципиальная схема работы ПАУ изображена на рис. 2.

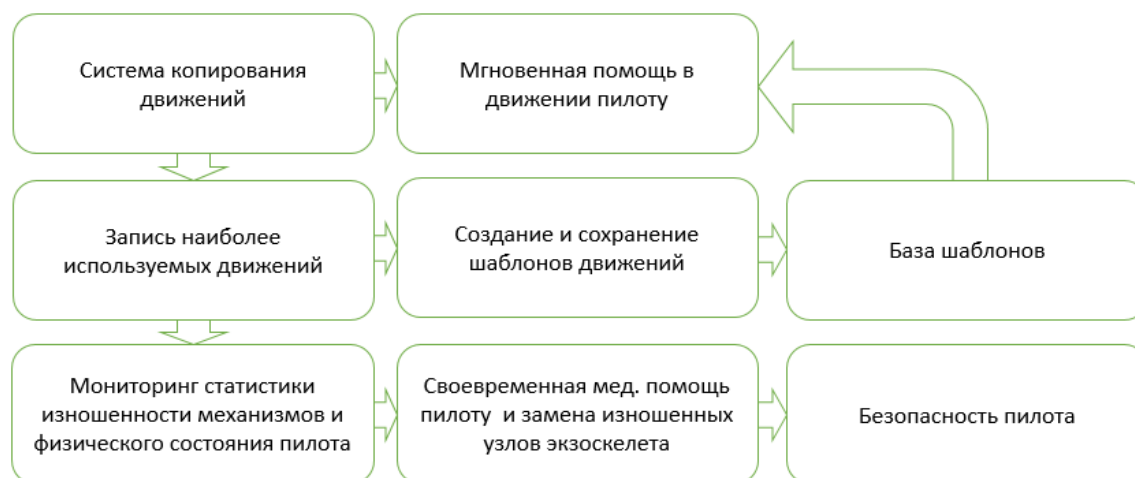


Рис. 2. Принципиальная схема программы адаптивного управления

К положительным чертам концепции относятся:

- простота реализации концепции;
- достаточно простые механизмы реализации копирования движений;
- возможное преимущество в быстродействии.

Однако система не лишена недостатков:

- сложность создания автопилота и самостоятельного движения;
- необходимость наличия дискового пространства для хранения библиотеки движения;
- возможно увеличенное энергопотребление.

УИИ [15] представляет собой совокупность программных средств, способных непрерывно анализировать поступающие данные о движениях пилота и с помощью “адаптивного алгоритма выбора” или алгоритма “проб и ошибок”, составлять полную картину движений человека, а также анализировать их эффективность. Данный процесс можно сравнить с тем как учится ходить ребёнок, он наблюдает, как это делают взрослые, и пытается это повторить, отличие же УИИ от ребёнка состоит в том, что УИИ не стеснён в возможностях попробовать повторить движение.

Жизненный цикл УИИ состоит из двух глобальных сегментов, это сегмент обучения и сегмент эксплуатации. Необходимо отметить, что подсегмент знакомство УИИ может проходить несколько раз, корректируя уже сложившиеся модели движений под нового пилота.

Принципиальная схема работы и связи систем УИИ приведена на рис. 3.

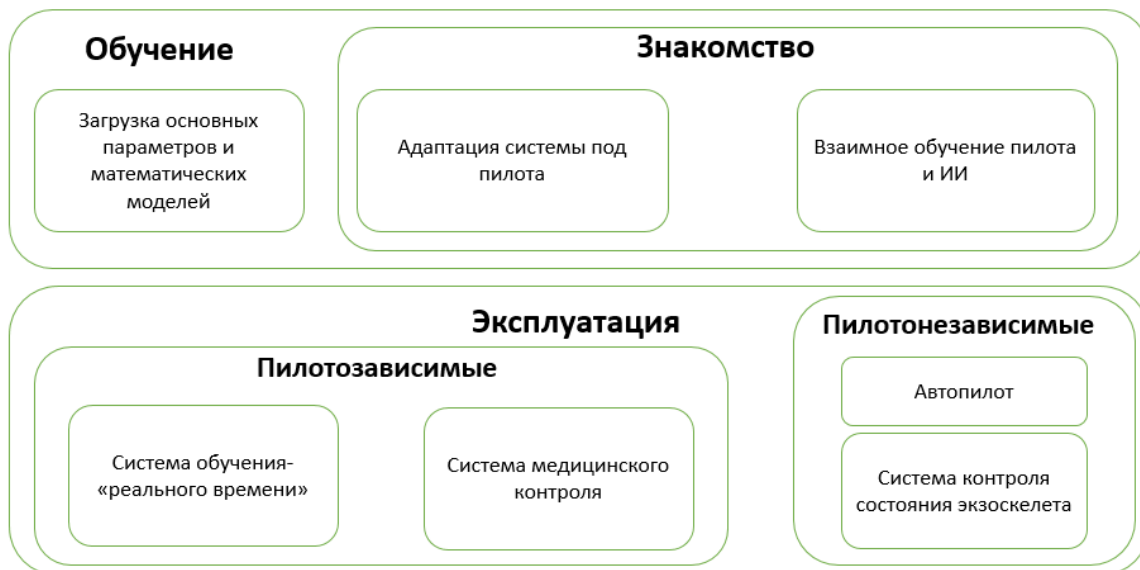


Рис. 3. Принципиальная схема функционирования систем узконаправленного искусственного интеллекта

Преимуществами такого подхода являются:

- автопилот;
- адаптивная помощь пилоту;
- возможность работы без пилота;

- обучаемость;
- приспособляемость;
- групповой интеллект.

Каждой системе управления свойственны недостатки. Таковыми для данной системы являются:

- работа с большими объёмами вычислений;
- сложность реализации концепции на практике;
- возможно пониженное быстродействие;
- возможно повышенное потребление энергии.

Выше были рассмотрены основы системы управления, далее обратимся к такому немаловажному фактору успешности системы управления, как связь компонентов системы друг с другом. На основе проведённого обзора литературных источников [20, 21] была предложена концепция, которая состоит в том, чтобы использовать распространённую архитектуру сетей для создания надёжного и быстрого способа распределения вычислений и связи компонентов системы управления друг с другом. После проведения анализа существующих архитектур сетей, их положительных и отрицательных сторон, был сделан вывод о том, что лучшей конфигурацией сети распределённых вычислений в настоящем проекте будет служить слияние архитектуры под названием “звезда” и архитектуры “каждый с каждым”. Выбор пал именно на эти архитектуры по определяемым причинам, основными из них стали надёжности модели “каждый с каждым” и простоты модели “звезда”.

Далее представлены принципиальные схемы предложенных архитектур на основе пяти вычислительных центров (рис. 4) и основного сервера для архитектуры “звезда” (рис. 5).

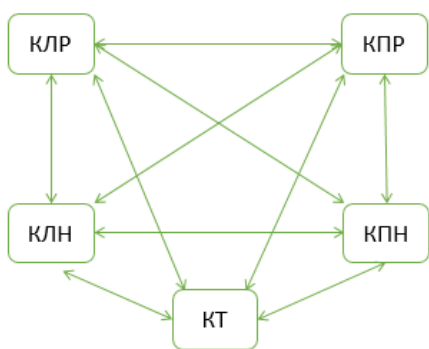


Рис. 4. Принципиальная схема архитектуры “каждый с каждым”

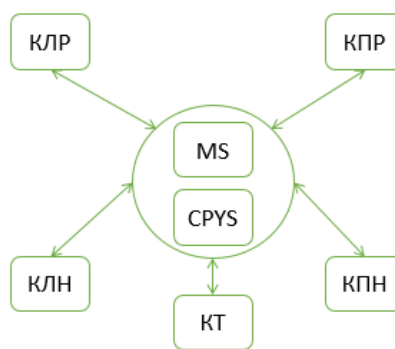


Рис. 5. Принципиальная схема архитектуры “звезда”

Здесь:

КЛР – контроллер левой руки;

КПР – контроллер правой руки;

КПН – контроллер правой ноги;

КЛН – контроллер левой ноги;
КТ – контроллер тела;
MS (Main Server) – основной управляющий блок;
CPYS (Copying Server) – копирующий управляющий блок.

Достоинства предложенного подхода:

- высокая скорость работы с большими информационными потоками за счёт распределения вычислений;
- отказоустойчивость.
- привычная архитектура аналогичная архитектуре «сети»;
- возможность «горячей» замены компонентов;
- основные вычисления ложатся на периферийные устройства.
- Недостатки:
- большая протяжённость несущей информацию проводки;
- возможно повышенное энергопотребление;
- при добавлении элементов в сетькратно увеличивается количество связующей проводки.

Заключение

Проведён анализ существующих систем управления, разработаны и приняты несколько концептуальных решений, выполнен анализ разработанных концепций на предмет их положительных и отрицательных сторон.

В дальнейшем предполагается проверить возможность использования предложенных концепций и реализовать их на практике. Предстоит большая работа по тестирования пропускной способности различных протоколов общения элементов сети, и как следствие, созданию собственного, также на поздних этапах результатом может стать разработка узконаправленных микроконтроллеров.

Итак, можно выделить следующие направления дальнейших исследований:

- тестирование пропускной способности сети на разных протоколах общения, нахождение критических точек.
- создание собственного протокола общения элементов «сети».
- проверка возможности использования предложенных концепций и попытка их реализации.
- разработка узконаправленных, надёжных и эффективных периферийных контроллеров.

Список литературы

1. Верейкин А.А. Расчёт исполнительных гидроцилиндров экзоскелета // Молодёжный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – № 5. – С. 11. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/569290.html> (дата обращения 16.03.15).

2. Верейкин А.А., Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семёнов С.Е., Каргинов Л.А., Кулаков Б.Б., Яроц В.В. Синтез кинематической схемы исполнительного механизма экзоскелета // Актуальные вопросы науки. – 2014. – № XIII. – С. 68-76.
3. Верейкин А.А., Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е. Анализ и выбор кинематической структуры исполнительного механизма экзоскелета // Наука и образование: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. – №7. С. 72-93. DOI: 10.7463/0714.0717676. Режим доступа:
4. <http://technomag.bmstu.ru/doc/717676.html> (дата обращения 16.03.15).
5. Верейкин А.А., Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семёнов С.Е., Каргинов Л.А., Кулаков Б.Б., Яроц В.В. Динамика исполнительного механизма экзоскелета // Техника и технология: новые перспективы развития. – 2014. – № XIII. – С. 5-16.
6. Верейкин А.А., Ковальчук А.К., Каргинов Л.А. Исследование динамики исполнительного механизма экзоскелета нижних конечностей с учётом реакций опорной поверхности // Наука и образование: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 12. – С. 256-278. DOI: 10.7463/0815.9328000. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/745388.html> (дата обращения 16.03.15).
7. Лавровский Э.К., Письменная Е.В. О регулярной ходьбе экзоскелетона нижних конечностей при дефиците управляющих воздействий // Российский журнал биомеханики. – 2014. – Т. 18, № 2. – С. 208-225. Режим доступа: http://vestnik.pstu.ru/biomech/archives/?id=&folder_id=3883 (дата обращения 16.03.15).
8. Vukobratovic M. Active exoskeletal systems and beginning of the development of humanoid robotics // In: Monograph of ANS: Academy of Nonlinear Sciences. Advances in Nonlinear Sciences II – Sciences and Applications. Belgrade , 2008. Vol. 2. P. 329-348.
9. Hanlon M. Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit, United States of America. September, 2010. Режим доступа: www.gizmag.com/raytheon-significantly-progresses-exoskeleton-design/16479 (дата обращения 16.03.15).
10. Kazerooni H., Steger R. The Berkeley Lower Extremity Exoskeletons // ASME Journal of Dynamics Systems, Measurements and Control, V128, pp. 14-25, March 2006. DOI: 10.1115/1.2168164. Режим доступа: <http://bleex.me.berkeley.edu/publications/> (дата обращения 16.03.15).
11. Kazerooni H., Steger R., Huang L. Hybrid Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX) // The International Journal of Robotics Research, vol. 25, № 5-6, May-June 2006, pp. 561-573. DOI: 10.1177/0278364906065505. Режим доступа: <http://bleex.me.berkeley.edu/publications/> (дата обращения 16.03.15).
12. Sankai Y. Hal: Hybrid Assistive Limb based on Cybernics. // Global COE Cybernics, System and Information Engineering, University of Tsukuba. Режим доступа: http://sanlab.kz.tsukuba.ac.jp/sonota/ISSR_Sankai.pdf (дата обращения 16.03.15).
13. Raade J., Amundson K., Kazerooni H. Development of Hydraulic-Electric Power Units for Mobile Robots. Proceedings of IMECE 2005. ASME International Mechanical Engineering

- Congress and Exposition. November 5-11 2005, Orlando, Florida USA. Режим доступа: <http://bleex.me.berkeley.edu/wp-content/uploads/hel-media/Publication/IMECE2005-Power.pdf> (дата обращения 16.03.15).
14. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е. Управление исполнительными системами двуногих шагающих роботов. Теория и алгоритмы / Серия: Двуногие шагающие роботы. Под редакцией А.К. Ковальчука. – М.: МИПК МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 158 с.
 15. Основы теории исполнительных механизмов шагающих роботов // Ковальчук А.К., Кулаков Б.Б., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е., Яроц В.В. – М.: Изд-во Рудомино, 2010. – 167 с.
 16. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект / А.А. Жданов. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2012. – 359 с.: ил. – (Адаптивные интеллектуальные системы).
 17. Воробьев Е.И., Скворчевский А.К., Сергеев А.М. Проблемы создания алгоритмов управления антропоморфными биопротезами рук и ног // Медицина и высокие технологии. – 2012. – №1. – С. 7-12. Режим доступа: http://mvt.msk.ru/makeup/2012_1/02.pdf (дата обращения 16.03.15).
 18. Скворчевский А.К., Воробьев Е.И., Скворчевский К.А. Концепция развития технических средств реабилитации (ТСР) людей с ограниченными физическими возможностями на основе антропоморфных биопротезов рук // Медицина и высокие технологии. – 2012. – №2. – С. 7-22. Режим доступа: http://mvt.msk.ru/makeup/2012_2/02.pdf (дата обращения 16.03.15).
 19. Скворчевский А.К., Воробьев Е.И., Скворчевский К.А., Сергеев А.М., Акентьев А.А., Ковалев Н.С. Технические средства реабилитации (ТСР) на основе антропоморфных биопротезов рук и ног // Информатизация и связь. – 2013. – №4. – С. 43-58.
 20. Lohmeier S. Design and Realization of a Humanoid Robot for Fast and Autonomous Bipedal Locomotion // Dr.-Ing. Dissertation, Technische Universität München. Verlag Dr. Hut München, Germany, 2010. 214 P.
 21. Таненбаум Э., Ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер. – 2003. – 877 с.: ил. – (Серия: Классика Computer Science).
 22. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е издание – СПб.: Питер, 2012. – 960 с. (Серия: Классика Computer Science).