

Anthropomorphic Control System for Robotic Complexes

Maksim V. Davydov, Nadia S. Davydova, Anatoly N. Osipov
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus
Email: davydov-mv@bsuir.by, amalteay@rambler.ru, osipov@bsuir.by

Abstract—The paper considers the problems of formation, expansion and control of motor actions in the human body in terms of Anokhin's theory of functional systems and Bernstein's multi-level system of construction of movements. Based on the structure chart of functional control system of motor actions in the human body, an anthropomorphic control system intended for robotics complexes has been proposed. The system includes 5 control levels and features a number of advantages compared to conventional control systems of technical objects.

Keywords—*anthropomorphic*, *control system*, *robotic complexes*, *nervous system*.

I. INTRODUCTION

Nowadays, one of the mainstreams in the evolution of technical systems is the development of robots and robotics complexes [1-2]. The areas of their applications are constantly expanding: space technologies [3], military and industrial applications [4-8], medicine [9-10], social activities, security systems [11], smart house, etc. At the same time modern robotic systems increasingly become more complex, for instance, implementation of the standard of industrial internet of things [12-13] results in a tendency of integration of individual robots into intelligent robotic production lines. All these factors cause significantly increasing complexity of hardware and software modules intended for the control of robots or robotic complexes. A number of papers are dedicated to the development of hardware and software modules of control systems for robots [14 - 18]. This paper considers the model of control system built by analogy with the activities of human central nervous system.

II. CONTROL SYSTEM OF MOTOR ACTIONS IN THE HUMAN BODY

The process of formation, expansion and control of motor actions in the human body can be considered in the context of Anokhin's theory of functional systems [19-21] and Bernstein's multi-level system of construction of movements [22-24]. Different structures of nervous system organized hierarchically participate in planning, conversion, and performing motoric program, i.e. control system of motoric actions presents a multi-level system [25]. The more complicated (to be specific: more intelligent, more objective) is motoric problem, the higher levels of nervous system are involved in solving the problem and the realization of appropriate movements.

Hierarchy of the levels of construction of movements is as follows [22-26]:

- 1) Level A presents the level of paleokinetic regulations. Level A regulates muscular tonus and is also responsible for muscular irritability, therefore this level participates, together with other levels, in the organization of any movement. Signals from muscle proprioceptors (information on muscle stretch and tension) as well as from the organs of equilibrium (information on acceleration, deceleration, changes in body position) are transferred to this level [25, 26].
- 2) Level B presents the level of synergies and patterns. The level ensures the following functions: extensive muscle synergies, i.e. the ability to perform highly coordinated movements of entire body with many tens of muscles involved; the ability to perform movements proportionally and consistently in time; correct alternation of muscle contractions and extremity movements; the ability to perform patterns and high repeatability of movements. This level is also responsible for various motoric skills [25]. The level of synergies and patterns plays the most important part in the automation of motoric skills. This level processes the afferent signals from musculo-articular receptors (information on the values of articular angles, velocities of movements in the joints, forces and directions of pressures on muscles and deep tissues of extremities and trunk) as well as from the organs of equilibrium [26].
- 3) Level C presents the level of spatial field. Level C ensures target movements in space: locomotions, sportive movements, accurate purposeful movements, overcoming resistance, throwing and shock movements, imitative movements [25]. Signals from visual, auditory, and tactile receptors as well as from the organs of equilibrium are transferred to this level. Therefore, the movements adapted to spatial properties of objects such as shapes, positions, lengths or weight are constructed using this level.
- 4) Level D presents the level of object-related actions. The level ensures the execution of successive movements which all work together to solve this or that motoric task. Level D is characterized by objectivity, chain structure, and adaptive variability of the actions. Such actions as tool using, handling objects, all common and everyday movements, etc. fall into this level. Specific character of the movements of this level is that they match the object logic. They represent actions rather than movements; moving components are not fixed for such movements while final object-related result is only determined. The way the action

performed or the set of motoric actions is indifferent towards this level [22].

- 5) Level E presents the sense level. The level ensures symbolic actions (speech and writing); movement chains united not by an object but by an abstract task; movements which depict object-related action; object-related actions for which the object does not represent direct target but serves as means to reproduce abstract not subject-related relations within it or using it [24, 25].

As a rule, several levels are simultaneously involved in the management of complex movements: the one the movement under consideration is based (called master) and all underlying levels. Formally, the same movement can be organized on different master levels. At that, master level of movement organization is determined by the sense, or by the task, of the movement.

Understanding of multi-level system of regulation of movements makes it possible not only to form motoric skills but to correct them as well as to identify brain disorders and diseases [24].

Thus, after having summarized theoretical information on natural physiological mechanisms of the formation of motoric acts [21–23], concepts of velocity corrections based on the analysis of sensory data as well as multi-level organization of the control system of motoric actions [24, 25] we can propose structural chart of the functional system which organizes the process of planning, execution, control, and correction of motoric program as well as integrates various systems of the organism into a single structure (see Figure 1).

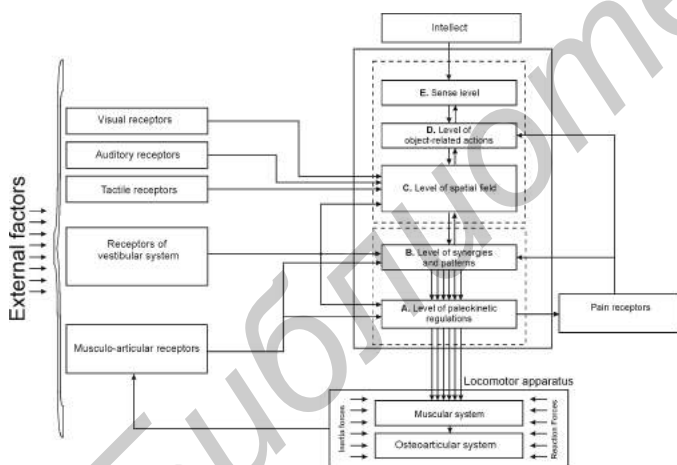


Figure 1. Structure Chart of Functional Control System of Motor Actions in the Human Body

III. CONTROL SYSTEM OF ROBOTICS COMPLEX

Further, based on the developed structure chart the multi-level block diagram of the control system of robotic complex has been developed using anthropomorphic concept of construction of hierarchical technical system [27, 28] (see Figure 2).

The chart includes the following control levels:

- 1) Level A: drivers of actuators. The level ensures the control of an actuator, for instance, stepping or asynchronous motor, servo-motor, pneumatic or hydraulic circuit, etc. The drivers can be equipped with various control inputs: analog current or voltage signals, digital codes, or complex digital protocol. Generally, driver receives diagnostics information from the actuator: consumed current, encoder signal, movement in progress, etc. In order to ensure high accuracy of the movements the drivers can also take into consideration the spatial data: signals from position sensors, accelerometers, gyroscopes. The driver also forms the information signal containing diagnostic data on current status of the actuators.
- 2) Level B: controller of instruction formation. This controller presents a control unit with a group of actuators connected by means of the drivers; control signals for the drivers are generated by the controller. Furthermore, elementary motoric patterns already stored in the controller memory are ready for the group of actuator. Input data of the control unit are as follows 1) information on the movement which is necessary at the current point in time (level C); 2) data from position sensors, accelerometers, gyroscopes, etc. which makes it possible to control complex movements performed by a group of actuators; 3) information on the status of terminal actuators; this information generated by the diagnostics unit is taken into consideration when forming control actions. Technically, this control level can be realized using high-performance microcontrollers (for instance, STM32 ARM Cortex) or programmable logic controllers.
- 3) Level C: Subsystem of environment analysis and formation of the algorithm for accomplishing current task. This system is intended for building algorithm of functioning of all actuators when accomplishing the current task. Information generated by the subsystem of task analysis (level D) presents input data of this subsystem. The subsystem processes the data on positions and movements of the actuators and their statuses (information received from level B), current position of the system in space relative to other objects (data from optical and ultrasonic sensors as well as limit switches) to form general algorithm of the movement and further outputs the information on the movement which is necessary at the current point in time to level B.
- 4) Level D: subsystem of task analysis (semantic system). General, in some cases unformalized task transferred from an operator or from another technical system through man-machine interface or machine-machine interface presents input data of this subsystem. This subsystem is intended for general analysis of the task, its decomposition and formation of the general plan of actions to accomplish the task. At that, technical conditions of actuator systems (data outputted by the diagnostics units of technical systems) as well as current position and state of the environment (information from level c) shall be taken into consideration.

- 5) Level E: man-machine interface/machine-machine interface. This level is used to convert the instructions from an operator or any other technical system into the format "understandable" for semantic system.

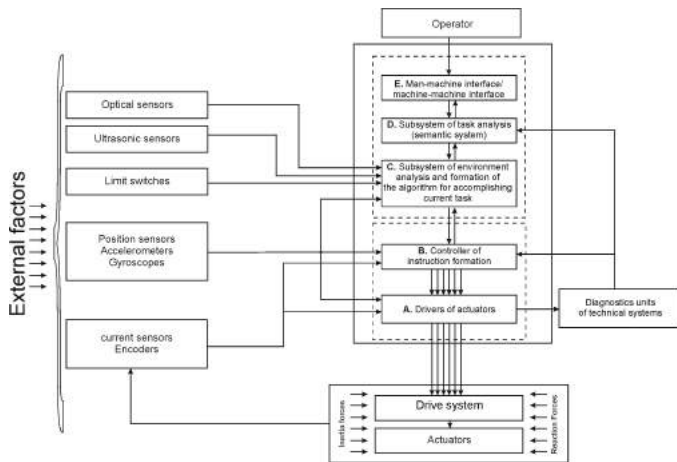


Figure 2. Block Diagram of Control System of Robotics Complex

As a rule, levels C, D, and E are realized by means of hardware. In the simplest case, they can be realized using single-board computers (Raspberry Pi, Red Pitaya, ZedBoard) while high-performance professional computers can be used for more advanced systems.

IV. CONCLUSION

Proposed control structure features a number of advantages:

- 1) Hierarchical levels of control systems differentiate the control functions appreciably. Thus, the development of such systems can be parallelized;
- 2) Later on, it is quite easy to upgrade the entire system through simple modifications of each level separately;
- 3) The system under consideration can be used not only to control one robotic complex but can be scaled as well to control a group of robotic complexes or an entire robot-controlled factory (within 6th technological paradigm).

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the assistance of prof. V. Golenkov and prof. V. Kulchitsky.

REFERENCES

[1] The report of CEMI of the Russian Academy of Sciences. 2015. "Revolutionary Technologies: Perspective Directions for the Robotics Development" The Program OF Presidium of the Russian Academy of Sciences. "Analysis and Forecast of Long-term Scientific and Technological Development Trends Russia and the Globe". (In Russian).

[2] Komkov N.I., Bondareva N.N. The Perspectives and the Conditions of the Robotics Development in Russia. MIR [World] (Modernization Innovation Research). 2016; 7 (2(26)):8-21. (In Russian).

[3] Huang P. et al. Dynamics and configuration control of the maneuvering-net space robot system //Advances in Space Research. – 2015. – T. 55. – No 4. – с. 1004-1014.

[4] Dulnev P.A. To a Question about Arms and a Military Technology of Land Forces Robotization//Bulletin of Academy of Military Sciences. – 2015 – No. 1(50). (In Russian)

[5] Rubtsov I.V. Current Situation and Perspectives of Development for Ground Military and Special Robotics//Izvestiya Southern Federal University. Engineering Sciences. – 2013. – No 3 (140). (In Russian)

[6] Kuss A. et al. Manufacturing knowledge for industrial robot systems: Review and synthesis of model architecture //Automation Science and Engineering (CASE), 2016 IEEE International Conference on. – IEEE, 2016. – P. 348-354.

[7] Kaltsoukalas K., Makris S., Chryssolouris G. On generating the motion of industrial robot manipulators //Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2015. – V. 32. – P. 65-71.

[8] Li J. et al. A design pattern for industrial robot: user-customized configuration engineering //Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2015. – V. 31. – P. 30-39.

[9] Kraus P., Geiger R. Robot system for medical surgeries : USA Patent D768219 – 2016.

[10] Joubair A. et al. Absolute accuracy analysis and improvement of a hybrid 6-DOF medical robot //Industrial Robot: An International Journal. – 2015. – V. 42. – No 1. – P. 44-53.

[11] Liu J. N. K., Wang M., Feng B. iBotGuard: an Internet-based intelligent robot security system using invariant face recognition against intruder //IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). – 2005. – V. 35. – No 1. – P. 97-105.

[12] Atzori L., Iera A., Morabito G. The internet of things: A survey //Computer networks. – 2010. – V. 54. – No 15. – P. 2787-2805.

[13] Sadeghi A. R., Wachsmann C., Waidner M. Security and privacy challenges in industrial internet of things //Proceedings of the 52nd Annual Design Automation Conference. – ACM, 2015. – P. 54.

[14] Evgrafov V.V., Pavlovsky V.V., Pavlovsky V.E. Dynamics, Control, and Simulation of Robots with Differential Drive. / Journal of Computer and Systems Sciences International. 2007. V. 46. No 5. P. 836-841.

[15] Глазкова Л.В., Панченко А.В., Павловский В.Е. Динамика, моделирование и управление колесным робобуером // Нелинейная динамика. – 2012. – Т. 8, No 4. – с. 679–687

[16] Павловский В.Е., Павловский В.В. Модульная микроконтроллерная система управления роботами РОБОКОН-1 // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2012. No 86. 32 с.

[17] Прокопович Г. А. Нейросетевая модель для реализации поисковых движений мобильного робота. – 2013.

[18] Прокопович, Г.А. Способ управления манипулятором робота на основе гетеро-ассоциативной искусственной нейронной сети / Г.А. Прокопович // Электроника Инфо (рецензируемый раздел). – 2014. - No 6 (108). – С. 36-39.

[19] Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – 1973.

[20] Анохин П. К. Системные механизмы высшей нервной деятельности: избранные труды. – Наука, 1979.

[21] Умрюхин, Е.А. Информационная модель системной организации деятельности мозга / Е.А. Умрюхин // Мозг: теоретические и клинические аспекты / В.И. Покровский [и др.]; под ред. В.И. Покровского. – М., 2003. – С. 277–296.

[22] Бернштейн, Н.А. Физиология движений и активность / Н.А. Бернштейн. – М.: Изд. Моск. ун-та, 1992. – 193 с.

[23] Бернштейн, Н.А. Современные искания физиологии нервно-го процесса / Н.А. Бернштейн ; под ред. И.М. Фейгенберга, И.Е. Сироткиной. – М.: Смысл, 2003. – 330 с.

[24] Бернштейн, Н.А. О ловкости и ее развитии / Н.А. Бернштейн. – М.: «Физкультура и спорт», 1991. – 193 с.

[25] Покровский, В.М. Физиология человека / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 2003. – 656 с.

[26] Соколова, Е.Е. Уровни построения движений по Н.А. Бернштейну / Е.Е. Соколова // Общая психология: в 7 т. / под ред. Б.С. Братуся. – Т. 1: Введение в психологию / Е.Е. Соколова. – М., 2007. – С. 292–295.

[27] Бажин С. А., Васильевский А. С., Лапшин К. В. Стратегия проектирования антропоморфных систем //Информационно-управляющие системы. – 2012. – No 5 (60).

[28] D. Mesarovic, D. Macko, and Y. Takahara. Theory of

АНТРОПОМОРФНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Давыдов М.В., Давыдова Н.С., Осипов А.Н.

В статье рассмотрены вопросы формирования, пространства и контроля двигательного действия в организме человека с позиции теории функциональных систем Анохина и теории уровневой организации движений Бернштейна. Иерархия уровней построения движений

- 1) Уровень «А» – уровень палеокинетических регуляций. Уровень «А» регулирует мышечный тонус, а также отвечает за возбудимость мышц, поэтому данный уровень участвует в организации любого движения совместно с другими уровнями.
- 2) Уровень «В» – уровень синергий и штампов. Данный уровень обеспечивает следующие функции: обширные мышечные синергии, т.е. способность вести высокослаженные движения всего тела, вовлекающие в согласованную работу многие десятки мышц; способность стройно и налажено вести движение во времени, обеспечение правильного чередования сокращения мышц и движения конечностей; способность к штампам, чеканной повторяемости движений. Этот уровень отвечает также за автоматизацию различных двигательных навыков.
- 3) Уровень «С» – уровень пространственного поля. Уровень «С» обеспечивает целевые перемещения в пространстве: локомоции, спортивные перемещения, точные, целенаправленные движения, преодоление сопротивлений, метательные и ударные движения, раздражительные движения.
- 4) Уровень «D» – уровень предметных действий. Данный уровень обеспечивает выполнение последовательных движений, которые все вместе решают ту или другую двигательную задачу. Для уровня «D» характерна предметность, цепное строение и приспособительная изменчивость действий. К нему относятся все орудийные действия, манипуляции с предметами, все бытовые движения и т.п.
- 5) Уровень «Е» – смысловой уровень. Данный уровень обеспечивает символические действия (речь и письмо); двигательные цепи, объединенные не предметом, а отвлеченным заданием; движения, изображающие предметное действие; предметные действия, для которых предмет является не непосредственным объектом, а средством для воспроизведения в нем или с его помощью абстрагированных, непредметных соотношений.

На основе структурной схемы функциональной системы управления двигательной активностью в организме человека предложена антропоморфная система

управления роботехническим комплексом. Данная система включает 5 уровней управления:

- 1) Уровень А – Драйверы исполнительных устройств. Данный уровень обеспечивает управление конечным исполнительным устройством, например шаговым или асинхронным двигателем, сервоприводом, пневмо- или гидроприводом и т.д. Драйверы могут иметь различные информационные входы управления – аналоговый сигнал тока или напряжения, цифровой код, сложный цифровой протокол. Как правило на драйвер поступает диагностическая информация от исполнительного устройства: потребление тока, сигнал энкодера, наличие перемещения и т.д.
- 2) Уровень В – Контроллер формирования команд. Данный контроллер представляет собой блок управления, к которому посредством драйверов подключена группа исполнительных устройств, для которых контроллер генерирует требуемые управляющие сигналы. Кроме того в памяти данного блока уже хранятся простейшие двигательные паттерны для групп исполнительных устройств.
- 3) Уровень С – Подсистема анализа окружающей обстановки и формирования алгоритма решения текущей задачи. Данная система предназначена для построения алгоритма работы всех исполнительных устройств при решении текущей задачи.
- 4) Уровень D – Подсистема анализа целей (семантическая система). Входными данными этой системы являются общая, в некоторых случаях неформализованная задача, поступающая от оператора либо другой технической системы посредством интерфейса человек-машина либо машина-машина.
- 5) Уровень Е – Интерфейс человек-машина/машина-машина. Данный уровень служит для преобразования команд оператора либо другой технической системы в формат «понятный» семантической системе.

Предложенная структура управления обладает рядом достоинств:

- 1) Уровни иерархии системы управления хорошо разграничивают функции управления. Таким образом, разработку подобной системы легко распараллелить.
- 2) В последствии, достаточно просто выполнять модернизацию системы путем модернизации каждого уровня управления по-отдельности.
- 3) Данная система управления может применяться не только для управления одним роботехническим комплексом, она может масштабироваться с целью управления группой роботехнических комплексов или целым роботизированным предприятием (при введении шестого технологического уклада).