

Научные результаты по проекту № 16-19-00044
«Принципы распределения задач между сервисными роботами и
средствами киберфизического интеллектуального пространства
при многомодальном обслуживании пользователей»
в 2016 году

1. Структурно-параметрическая модель киберфизического пространства

1.1. Введение. Проблемы двух научных парадигм, таких как робототехника и окружающее интеллектуальное пространство до недавнего времени решались независимо. В результате многие сложные задачи распознавания образов, невыполнимые на ограниченных вычислительных и информационных ресурсах мобильных робототехнических комплексов, делали невозможным оснащение робота многомодальным пользовательским интерфейсом с функциями речевого диалога. С развитием киберфизических систем, облачной робототехники и применением, так называемого, экологического подхода, где мобильным робототехническим комплексам отводятся только специализированные функции, не решаемые стационарными окружающими устройствами, ситуация в методах взаимодействия и совместной работы человека с роботом кардинально меняется.

Важным моментом в организации функционирования таких кибернетических интеллектуальных пространств является синтез системы распределения задач по многомодальному взаимодействию пользователей с мобильными роботами и другими обеспечивающими устройствами киберфизических систем (КФС).

1.2. Теоретические основы проактивного мониторинга и управления СЛО. В работе [1] поднимается проблема прогнозирования поведения КФС. В системах управления КФС, функционирующих в режиме реального времени, точность и период прогноза становятся критичными. Причем чаще всего прогнозируется время выполнения задач и привлекаемые для их решения ресурсы с использованием метрики минимального/максимального времени выполнения задачи [2].

В работе [3] обсуждается разработка краудсенсорной платформы, использующей мобильные устройства пользователей для оценки социальной динамики и предоставления персонифицированных сервисов. Предложен новый облачный сервис SaaS (Sensing and Actuation as a Service), реализующий для пользователя задачи восприятия и действия посредством мобильных клиентских устройств и облачных ресурсов [4]. Более детально задачи, решаемые мобильными краудсенсорными системами, представлены в обзоре [5].

Обзор основных принципов, моделей и приложений, используемых в киберфизических системах представлен в работе [6]. Проектируемая киберфизическая система по мнению [7] должна удовлетворять трем основным принципам: стабильности, безопасности и систематичности. С решением перечисленных принципов связаны проблемы надежности, согласованности, достоверности работы физических сенсоров, активаторов и вычислительных систем.

В работе [8] рассматривается возможность применения мобильных роботов для создания каскадной коммуникационной сети в труднодоступных местах или в районах проведения спасательных операций, где отсутствует сотовая связь. С применением генетического алгоритма и метода частичной оптимизации роя выполняется расчет координат расположения отдельных роботов и их пиринговые связи с учетом расположения препятствий на местности.

Анализ существующих подходов и технических решений WiFi, ZigBee, RFID для пассивного определения пользователей в офисных помещениях с развернутой сетевой инфраструктурой для радиокommunikаций представлен в [9]. Особенностью предложенного подхода является анализ изменения мощности передаваемых сигналов

между радиоточками вследствие присутствия пользователей на пути распространения сигналов, при этом не используются какие-либо клиентские устройства. Проведена оценка чувствительности системы к внешним факторам, а также сравнение с другими исследовательскими системами [10, 11]. В аналогичном исследовании [12] экспериментально была получена точность локализации до 7 см перемещающихся в комнате 5 человек. Анализ существующих стандартов беспроводной связи, применяемых в киберфизических системах представлен в работе [13].

Несмотря на наличие результатов решения частных задач обеспечения функционирования киберфизических систем, в настоящее время отсутствуют решения по их синтезу для конкретных применений и, как следствие, решение важной задачи обеспечения взаимодействия их элементов. Важным этапом их получения является концептуальное моделирование.

1.3. Технологические основы проактивного мониторинга и управления СлО.

В дальнейшем для определённости будем предполагать, что перед киберфизической системой стоит двойственная задача [14]:

1) создание в заданных областях физического пространства таких условий («информационных полей»), при которых каждый элемент (узел) КФС, находящийся в указанных областях, может определять своё местоположение, обмениваться информацией друг с другом, определять и оценивать состояние внешней среды (пользователя);

2) создание и поддержание в пространстве такой структуры КФС, которая позволит за заданное (либо минимальное) время осуществлять непосредственное вещественное либо энергетическое взаимодействие с пользователем, в ходе которого будет выполняться целевая задача, стоящая перед системой.

Следует подчеркнуть, что задача создания вышеперечисленных условий может ставиться как для всего пространства (глобально), так и для какой-либо его части (локально), на всём заданном интервале времени (непрерывно), либо в какие-то дискретные моменты времени, интервалы времени (дискретно). При этом может дополнительно задаваться набор количественных параметров, характеризующих те или иные условия (информационные поля).

В качестве элементов КФС рассматриваются мобильные робототехнические, мобильные клиентские, встроенные, стационарные и облачные компоненты (рис.1). Их основным подсистемам могут быть поставлены в соответствие четыре процесса (вида функционирования): взаимодействия, функционирования целевых и обеспечивающих технических средств, движения, расхода и (или) пополнения ресурсов.

Из вышеизложенного следует, что для каждого типа элемента КФС должна быть сформулирована цель его функционирования, связанная с процессами взаимодействия с пользователем, с другими элементами (узлами), и определена соответствующая последовательность действий, в ходе которой будет достигнута поставленная цель. Анализ показывает, что в этом случае удобно концептуальное описание указанной деятельности целесообразно проводить с использованием понятия «операция», под которой будем понимать действие или систему действий, объединённых общим замыслом и единой целью [14].

Из анализа рисунка 1. следует, что цель функционирования элемента КФС реализуется в ходе выполнения им операций, связанных с информационным, вещественным и энергетическим обменом с внешней средой и пользователем, другими элементами пространства. Таким образом, операция обмена является основным системообразующим фактором, объединяющим (интегрирующим) различные виды деятельности (движение, работу технических средств, расход ресурса и т.п.). Киберфизическое взаимодействие осуществляется на пяти основных уровнях: сенсорный, сетевой, вычислительный, информационно-управляющий, сервисный.

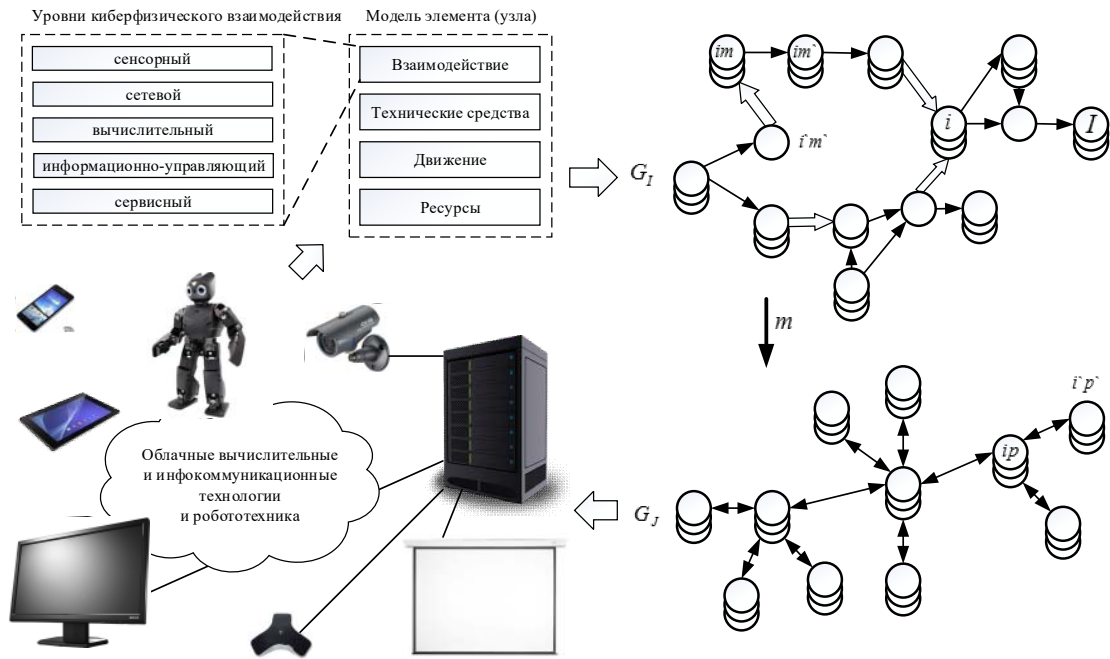


Рис. 1. Концептуальная модель киберфизического пространства

1.4. Постановка и решение задачи распределения функций обработки информации и управления между элементами киберфизического интеллектуального пространства. Для формализации взаимосвязей между различными вариантами построения элементов системы воспользуемся в начале традиционной альтернативно-графовой формализации [17], в рамках которой различные варианты построения элементов системы (либо множества таких элементов) задаются в виде вершин альтернативного графа, а дуги отражают характер взаимосвязей между ними (рис. 1).

Пусть G_J – граф, задающий варианты состава и взаимосвязей возможных узлов КФС; $G_J^* \in G_J$ – подграф, задающий один из возможных вариантов реализации узлов КФС с их взаимосвязями. Вершины графа G_J отождествляются с вариантами построения узлов переработки информации, возможными местами их размещения, комплексами технических средств и т.д. Его дуги отражают взаимосвязи между узлами;

G_I – граф взаимосвязей выполнения альтернативных функций управления системы; $G_I^* \in G_I$ – подграф, задающий один из возможных вариантов реализации функций системы. Вершины графа G_I в зависимости от рассматриваемой задачи отождествляются с процедурами обработки информации, задачами управления и их этапами и т.п. Его дуги отражают уровни киберфизического взаимодействия;

$\mathfrak{R}$ – операция отображения графа G_I на G_J , определяющая распределение выполняемых системой функций по ее узлам;

$n_\eta (\eta = \overline{1, \eta_0})$ – характеристики качества создания и функционирования КФС.

Тогда статическая задача синтеза структуры КФС может быть представлена следующим образом:

$$\text{extr}_{\mathfrak{R}_0} \left\{ \left(G_I^* \in G_I \right) \mathfrak{R}^* \left(G_J^* \in G_J \right) \right\},$$

$$\mathfrak{R}_\eta \left\{ \left(G_I^* \in G_I \right) \mathfrak{R}^* \left(G_J^* \in G_J \right) \right\}, \quad \eta = \overline{1, \eta_0}, \mathfrak{R}^* \in \mathfrak{R}. \quad (1)$$

При распределении задач между узлами КФС возможны два типа отображений $\mathfrak{R}$:

- 1) каждая задача (этап) выполняется лишь в одном из нескольких возможных узлов системы;
- 2) задачи (этапы) выполняются в нескольких узлах системы.

Пусть задано множество задач $(i = \overline{1, I})$ (этапов $m = \overline{1, m_i}$) взаимодействия (сенсорные, сетевые, вычислительные, информационно-управляющие, сервисные) и их вариантов $(k = \overline{1, K})$, множество узлов системы $(j = \overline{1, J})$ и вариантов их построения $(p = \overline{1, P_j})$.

Задача синтеза структуры КФС в данном случае может быть сформулирована следующим образом:

$$F_0(x_{ik}, x_{imn}, x_{imj}, x_{jpt}) \rightarrow \text{opt}, \quad (2)$$

где F_0 – оптимизируемые показатели качества, например, среднее время пребывания задач в системе; при ограничении на затраты функционирования

$$\sum_{i, m, n, j} B_{imnj} x_{imnj} x_{i'm'n'j'} \leq B \quad (3)$$

и загрузку узлов

$$\sum_{i, k, m, n} R_{ikmnt}^{\gamma} x_{ikmnt} \leq R_{jpt}^{\gamma} - P_{jpt}^{\gamma}, \quad j = \overline{1, J}, \quad \gamma = \overline{1, \gamma_0}, \quad (4)$$

где $B_{imnj} = \alpha_{imnj}$, если $imnj = i'm'n'j'$; $B_{imnj} = \beta_{imni'm'n'} \gamma_{j'j'l'l'}$, если $imnj \neq i'm'n'j'$; α_{imnj} – затраты на решение m -го этапа i -й задачи в j -м узле; $\beta_{imni'm'n'}$ – средний поток информации между mn -этапом i -й задачи и $m'n'$ -этапом i' -й задачи в процессе функционирования системы; $\gamma_{j'j'l'l'}$ – затраты на передачу единицы объема информации из узла j в узел j' , оснащенных техническими средствами l -го и l' -го типа соответственно; R_{ikmnt}^{γ} – количество ресурсов γ -го типа в период t , необходимое для выполнения m -го этапа i -й задачи; P_{jpt}^{γ} – ресурсы, необходимые для выполнения оперативных задач;

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{я задача решается } k - \text{м способом;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

– вариант решения задачи;

$$x_{imn} = \begin{cases} 1, & \text{если } m - \text{й этап } i - \text{й задачи выполняется в } n - \text{м способом;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

– вариант решения этапа;

$$x_{imj} = \begin{cases} 1, & \text{если } m - \text{й этап } i - \text{й задачи выполняется в } j - \text{м узле;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

– объем задачи;

$$x_{jpt} = \begin{cases} 1, & \text{если } j - \text{й элемент реализуется } p - \text{м способом;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

– вариант реализации узла;

$$x_{imnj} = \begin{cases} 1, & \text{если } m - \text{й этап } i - \text{й задачи решается в } n - \text{м варианте в } j - \text{м узле;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

– вариант решения задачи, вариант этапа и узел, в котором он выполняется;

$$x_{ikmnt} = \begin{cases} 1, & \text{если } n - \text{й вариант } m - \text{го этапа } i - \text{й задачи, решаемой } k - \text{м способом, выполняется в } j - \text{м узле;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

– вариант решения задачи, способ, вариант этапа и узел, в котором он выполняется.

В более общем случае возможен динамический вариант постановки рассматриваемых задач структурно-функционально-параметрического синтеза КФС и соответствующего киберфизического пространства (КФП), который базируется на разрабатываемой в

настоящее время прикладной теории проактивного мониторинга и управления структурной динамикой сложных организационно-технических объектов [14-16]. В этом случае описанная выше статическая задача и модель синтеза вида (1)-(4) может погружена в более общую постановку задачи многокритериального синтеза таких программ управления функционированием и развитием КФС и КФП. В этом случае в основу описания структурной динамики КФС и КФП должен уже положен динамический альтернативный системный граф (ДАСГ) следующего вида:

$$G_{\chi}^t = \langle X_{\chi}^t, F_{\chi}^t, Z_{\chi}^t \rangle \quad (5)$$

где χ – индекс, характеризующий различные типы структур КФС и КФП, $\chi \in \{\text{Топ, Фун, Тех, ПМО, ИО, Ор}\}$ – множество индексов, соответствующих топологической, функциональной, технической структурам, структурам программно-математического и информационного обеспечения (ПМО, ИО), организационной структуре, $t \in T$ – множество моментов времени; $X_{\chi}^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_{\chi}\}$ – множество элементов, входящих в состав структуры G_{χ}^t (множество вершин ДАСГ) в момент времени t ;

$F_{\chi}^t = \{f_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множество дуг ДАСГ типа G_{χ}^t , отражающих взаимосвязи между его элементами в момент времени t ; $Z_{\chi}^t = \{z_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множество значений параметров, количественно характеризующих взаимосвязь соответствующих элементов ДАСГ.

При таком варианте формализации удастся с единых управленческих позиций формализовать и исследовать весь спектр задач анализа и синтеза КФС и КФП на всех этапах их жизненного цикла (ЖЦ). Формальная модель вида (2) -(4) в этом случае будет использоваться в каждом текущем сечении времени (этапе ЖЦ).

С учетом вышеизложенного в общем задача структурно-функционально-параметрического синтеза КФС и соответствующего КФП может быть сформулирована следующим образом необходимо разработать принципы, подходы, модели, методы, алгоритмы, позволяющие находить такие программы управления функционированием и развитием КФС и КФП $\langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle$, при которых выполняются следующие условия [14]:

$$J_{\theta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{\langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle \in \Delta_g}{extr}, \quad (6)$$

$$\Delta_g = \left\{ \langle U^t, S_{\delta}^{t_f} \rangle \mid R_{\beta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right) \leq \tilde{R}_g; U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^{t_1} \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^{t_2} \circ \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \delta \rangle}^{t_3}; \beta \in \mathbf{B} \right\}, \quad (7)$$

где J_{θ} –показатели, характеризующие качество и эффективность использования основных элементов и подсистем КФС и КФП; U^t — управляющие воздействия, позволяющие синтезировать как структуры КФС и КФП, так и процессы их использования на различных этапах ЖЦ; $q \in Q = \{1, \dots, l\}$ – множество номеров показателей; Δ_g – множество динамических альтернатив (множество структур и параметров КФС и КФП, множество программ их использования) $\tilde{R}_g$ – заданные величины;

Предложенная динамическая интерпретация задач структурно-функционально-параметрического синтеза КФС и соответствующего КФП позволяет для их решения использовать во всей полноте существующий математический аппарат современной теории управления сложными логико-динамическими объектами с перестраиваемой структурой, так и методы и алгоритмы исследования операций [14-16,18].

1.5. Выводы. Решение задачи синтеза оптимальной структуры КФС и КФП с учетом динамики поведения пользователей, элементов системы и технических средств значительно усложняется тем, что определение оптимальных правил функционирования узлов (и соответствующих характеристик качества) может быть выполнено лишь после

того, как становится известен перечень задач, решаемых данным узлом, и оптимальная дисциплина их обслуживания, а в свою очередь распределение задач по узлам зависит от характеристик их обслуживания в узлах.

В дальнейших исследованиях предполагается сформировать перечень задач при многомодальном обслуживании пользователей киберфизического интеллектуального пространства [19-20]. При этом для реализации соответствующей КФС предполагается использовать минимальный состав технических средств: 5 видеокамер, 3 массива микрофонов, 3 мобильных клиентских устройства с различными операционными системами, 2 мобильных робота, сетевое оборудование, активационные исполнительные устройства, сервер для поддержки ресурсоемких вычислений по обработке аудиовизуальных сигналов и анализу внешних информационных ресурсов, необходимых для получения дополнительных данных об обслуживаемых пользователях.

1.6. Литература

1. Beilei Sun Xi Li, Bo Wan, Chao Wang, Xuehai Zhou, Xianglan Chen. Definitions of Predictability for Cyber Physical Systems // Journal of Systems Architecture. 2016. DOI: 10.1016/j.sysarc.2016.01.007.
2. Thiele L. and R. Wilhelm. Design for Timing Predictability // Real-Time Systems. 2004. #28. P.157–177. DOI:10.1007/11561163_14
3. Merlino Giovanni, Arkoulis Stamatis, Distefano Salvatore, Papagianni Chrysa, Puliafito Antonio, Papavassiliou Symeon. Mobile crowdsensing as a service: A platform for applications on top of sensing Clouds // Future Generation Computer Systems. 2016. #56. P.623–639. DOI:10.1016/j.future.2015.09.017
4. S. Distefano, G. Merlino, A. Puliafito. Sensing and actuation as a service: A new development for clouds // Proceedings of the 2012 IEEE 11th International Symposium on Network Computing and Applications, NCA '12, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2012. P.272–275.
5. Ganti R., Ye F., Lei H. Mobile crowdsensing: current state and future challenges // IEEE Communications Magazine. 2011. #49(11). P.32–39. DOI:10.1007/978–3–319–26401–1_25
6. Fei Hua, Yu Lua, Athanasios V. Vasilakos b, Qi Haoc, Rui Maa, Yogendra Patil, Ting Zhanga, Jiang Lua, Xin Li, Neal N. Xiong. Robust Cyber–Physical Systems: Concept, models, and implementation // Future Generation Computer Systems. 2016. Vol.56. P.449–475. DOI:10.1016/j.future.2015.06.006
7. Hahn A., Ashok A., Sridhar S., Govindarasu M. Cyber-physical security testbeds: Architecture, application, and evaluation for smart grid // IEEE Transaction of Smart Grid. 2013. #4(2). P.847–855. DOI:10.1109/TSG.2012.2226919
8. Byung-Cheol Mina, Yongho Kima, Sangjun Leea, Jin-Woo Jungb, Eric T. Matsona. Finding the optimal location and allocation of relay robots for building a rapid end-to-end wireless communication // Ad Hoc Networks. 2016. Vol.39. P.23–44. DOI:10.1016/j.adhoc.2015.12.001
9. Liangyi Gong, Wu Yanga, Zimu Zhou, Dapeng Mana, Haibin Caic, Xiancun Zhou, Zheng Yange. An adaptive wireless passive human detection via fine-grained physical layer information. Ad Hoc Networks Vol. 38. 2016. pp. 38–50. DOI:10.1016/j.adhoc.2015.09.005
10. Kosba A.E., Saeed A., Youssef M. RASID: a robust WLAN device-free passive motion detection system // Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2012. P.180–189.
11. Xiao J., Wu K., Yi Y., Wang L., Ni L. FIMD: fine-grained device-free motion detection // Proceedings of IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2012. P.229–235.
12. Kiran Joshi, Dinesh Bharadia, Manikanta Kotaru, Sachin Katti. WiDeo: Fine-grained Device-free Motion Tracing using RF Backscatter. Proc. of 12th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '15), 2012, pp. 189-204.

13. *Yasin Kabalci*. A survey on smart metering and smart grid communication // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.57. P.302–318. DOI:10.1016/j.rser.2015.12.114

14. *Охмилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

15. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. №5. С.1–15.

16. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Теория и системы управления. 2004. №6. С. 5–16.

17. *Цвиркун А.Д., Акиндиев В.К.* Структура многоуровневых и крупномасштабных систем (синтез и планирование развития). М.: Наука, 1993. 160 с.

18. *Черноусько Ф.Л.* Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов. М.: Наука, 1988. 320 с.

2. Тестовые сценарии апробации предложенной структурно-параметрической модели киберфизического пространства для обслуживания гостей некоторой организации

2.1. Введение

Повсеместное распространение киберфизических систем в настоящее время обусловлено их широкими возможностями для организации интерактивных информационных сред, в том числе корпоративных систем, предоставляющих информационно-навигационные услуги для посетителей. Многомодальные средства коммуникации, предоставляемые киберфизическими системами, значительно превосходят возможности обыкновенных справочных систем и включают взаимодействие с использованием жестов, речи, движения, и т. д., что упрощает работу с системой для неподготовленных пользователей [1-3]. В статье рассматривается применение подобного подхода для организации корпоративной информационно-навигационной облачной системы.

Распространенным способом построения корпоративных информационно-навигационных систем является использование технологии Digital Signage (DS). В отсутствие общепринятого перевода чаще всего данный термин переводится выражением «цифровые вывески». Как правило, данная технология используется для распространения рекламного контента, однако спектр ее возможностей не ограничивается маркетингом, предоставляя широкий потенциал в сфере образования, корпоративных коммуникаций, многопользовательских систем ведения переговоров и т. п. [4, 5]. Далее рассмотрим несколько примеров использования технологии DS в информационных системах различного назначения.

2.2. Анализ систем интеллектуального информационного окружения

Как правило, информационные системы на основе технологии DS состоят из нескольких экранов, объединенных в сеть [6]. Особый интерес представляют технологии управления подобными системами, которые могут использовать как стандартные веб-технологии [7, 8], так и интерактивное взаимодействие с сервисами Интернета вещей [9, 10], пользовательскими устройствами [11], распознавание лица пользователя [12], распознавание жестов и артикуляции [13, 14], и т.п. Рассмотрим подробнее некоторые существующие разработки в данной области.

В работе [15] рассматривается концепция применения технологии DS в области управления энергопотреблением зданий (BEMS). Применение технологий игрофикации в совокупности с системой DS позволяет заинтересовать пользователей в отслеживании потребления ресурсов и экономии электроэнергии. DS используется для визуального

представления данных об энергопотреблении организации в виде структурированной информации, наглядной, легкой для понимания и привлекающей внимание.

В работе [12] предлагается технология взаимодействия систем DS и мобильных устройств пользователей. Подобная интерактивность позволяет пользователям не только потреблять распространяемый системой аудиовизуальный контент, но делает легкодоступной полезную информацию и предоставляет возможности для сохранения данных, удобного перехода по внешним ссылкам в Интернет, интерактивной навигации в здании. Подобные системы показывают хорошую масштабируемость [16], позволяя создавать так называемые экосистемы программного обеспечения – сложные программные платформы, разрабатываемые и поддерживаемые децентрализованно.

Слияние технологий DS с другими системами позволяет создавать киберфизическую интерактивную дополненную реальность [7, 17, 18]. Архитектура программно-конфигурируемой интеллектуальной системы DS на основе технологии Интернета вещей [19] предложена в [11]. Разработанная авторами система основана на использовании коммуникации посредством невидимых датчиков изображения (ISC) – механизма для встраивания данных в видеоизображение с помощью «водяных знаков», незаметных для человеческого глаза, но детектируемых посредством камеры. Система DS взаимодействует с пользователями посредством камеры смартфона и может подключать пользователей к облачной сети, используя динамические протоколы. Работа в интерактивном окружении данной интеллектуальной системы осуществляется одновременно с показом контента, что повышает удобство пользования системой при увеличении числа пользователей.

Еще один шаг вперед сделан в направлении интеграции пользовательских приложений и систем DS в работе [20], где предлагается концепция динамической адаптации аудиовизуального контента к окружению посредством использования публичных приложений, позволяющих участвовать в формировании расписания дисплеев не только администраторам системы, но и пользователям. Такой подход позволяет не только повысить актуальность отображаемой информации, но и повышает персонализацию контента.

2.3. Архитектура информационно-навигационной системы МИНОС для тестирования корпоративного киберфизического интеллектуального пространства

Корпоративная информационно-навигационная система («МИНОС») состоит из четырех составных частей (рис. 1):

1. Система идентификации, выполняющая определение посетителей организации на входе по их ID-картам (для сотрудников) или с помощью распознавания лиц (для других гостей). Эта система также хранит профили посетителей (личные и контактные данные, фотографии), предоставляет посетителям доступ к информационно-навигационным и справочным сервисам через меню.

2. Система информационной поддержки, взаимодействующая с пользователями с помощью стационарных камер и экранов, расположенных в разных местах организации. В ее функции входит трансляция на стационарные экраны различной информации для сотрудников и посетителей (сведения об институте и его деятельности, демонстрация разработок, объявления, приветствия, поздравления) по их запросу и/или в соответствии с расписанием.

3. Система навигации, в функции которой входит предоставление сотрудникам и посетителям справочной информации (расположение посетителя и подразделений организации, карты и модели этажей) по QR-кодам, расположенным в здании. Сервер навигации предоставляет пользователям веб-приложение, с которым они могут взаимодействовать при помощи портативного компьютера или мобильных устройств.

4. Система видеоконференцсвязи, позволяющая посетителям связываться со структурными подразделениями организации [21,22].

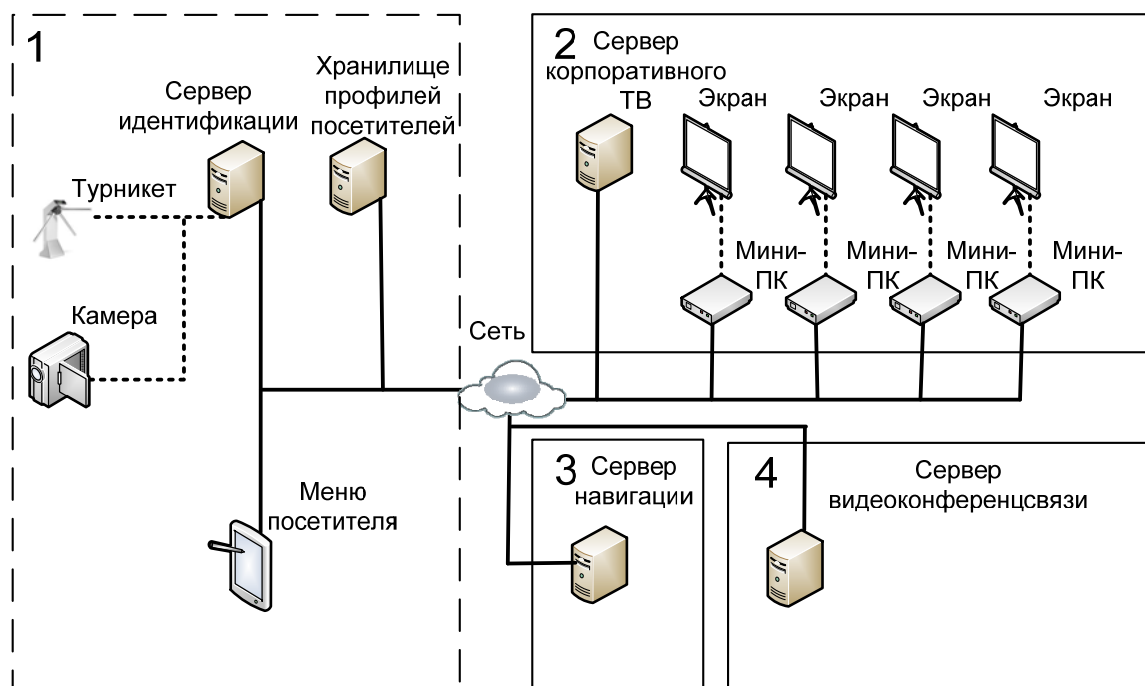


Рис. 1. Архитектура «МИНОС»

На данный момент в СПИИРАН выполнена разработка системы корпоративного телевидения как компонента «МИНОС». Рассмотрим эту систему более подробно. Система корпоративного телевидения обеспечивает трансляцию на стационарные экраны (клиентские системы) информации в соответствии с расписанием, которое обновляется сервером динамически на основе множества активных событий. Под экраном понимается стационарный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для отображения медиаконтента. Он состоит из дисплея и неттопа, подключённого к серверу информационной системы. Для работы монитора на неттоп под управлением ОС Debian или Ubuntu устанавливается контроллер клиентского программного обеспечения, управляющий компонентами, необходимыми для работы «МИНОС» – веб-браузером с поддержкой HTML5, на котором работает клиентское веб-приложение, системой идентификации посетителей и системой управления экраном. Архитектура клиента представлена на рис. 2.

К компонентам серверной части относятся: база данных, хранящая информацию о медиаконтенте, событиях, мониторах и расписаниях; сервер приложений, выполняющий обновление расписаний и формирующий ответы на запросы клиентов; веб-сервер, предоставляющий клиентам информацию через сеть. Архитектура сервера представлена на рис. 3.

Упрощённая диаграмма последовательности, описывающая взаимодействие клиентского веб-приложения и сервера, приведена на рис. 4. Структурными компонентами веб-приложения являются контроллер и модуль представления (Viewer). Контроллер состоит из модулей передачи данных и команд. Он соединяется с сервером, получает информацию о расписании и передаёт её модулю просмотра. Модуль просмотра выполняет предзагрузку медиафайлов и их отображение, а также сообщает контроллеру о готовности воспроизводить следующий файл.

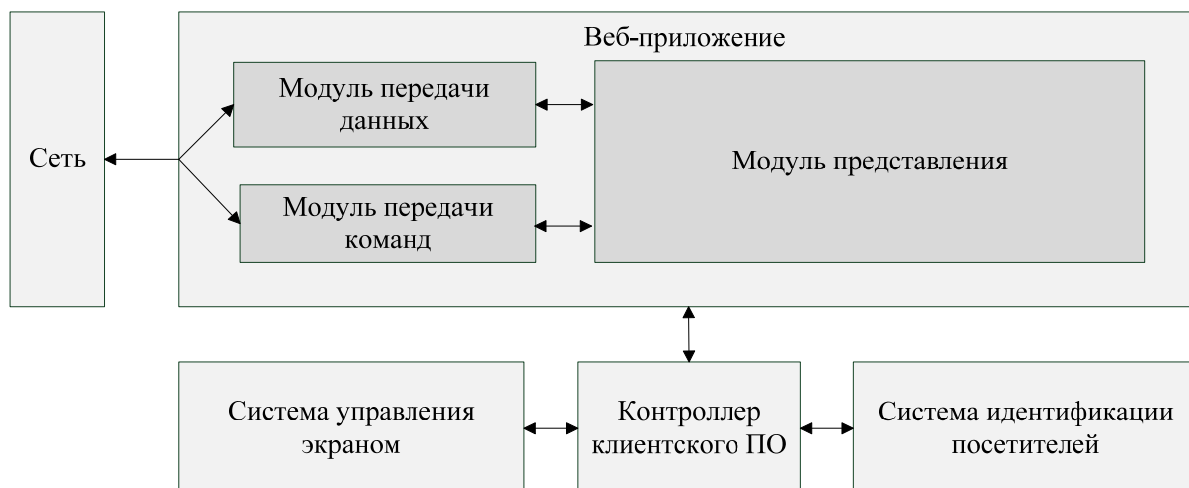


Рис. 2. Архитектура клиента

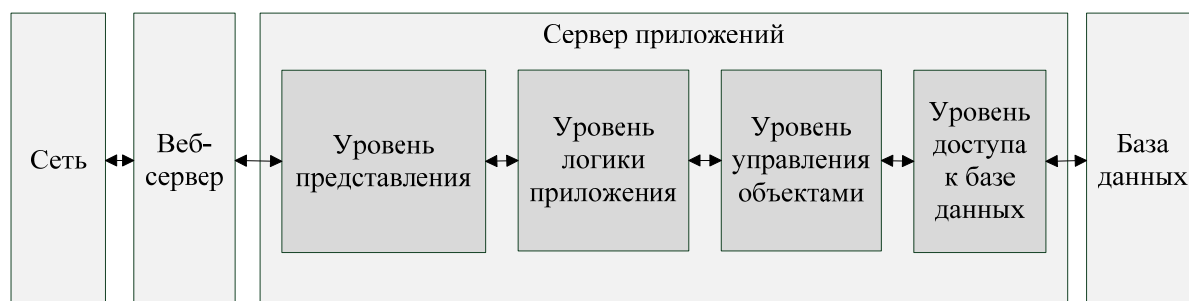


Рис. 3. Архитектура сервера

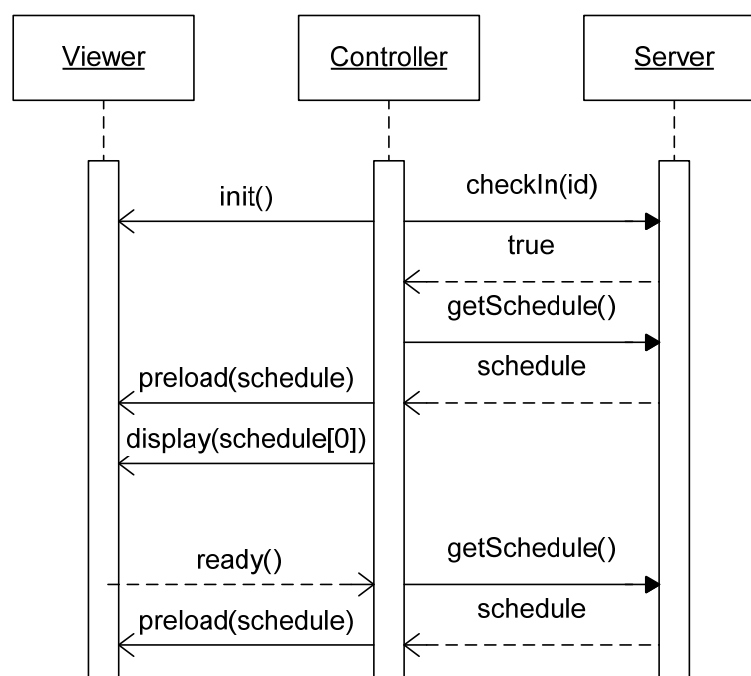


Рис. 4. Диаграмма последовательности для монитора

В системе корпоративного телевидения каждый экран характеризуется идентификатором, описанием, ключом доступа, режимом работы и имеет свое расписание. Экраны можно объединять в группы и управлять всеми экранами группы так же, как и одиночным экраном. Экраны отключены в нерабочее время (отключение

выполняется автоматически) и во время обслуживания (отключение выполняется оператором), в остальное время они включены. Рассматривается также вариант автоматического включения и выключения экранов в зависимости от присутствия пользователей. Для этого применяются технологии компьютерного зрения.

Управление контентом, отображаемым на экране, выполняется с помощью специальных сигналов и событий.

Сигнал – сообщение, отправляемое оператором или системой экрану и предписывающее экрану транслировать определенный контент. Этот способ используется, например, для отображения приветствий сотрудникам организации (в этом случае источником сигнала служит система идентификации посетителей) или трансляции объявлений (объявления создаются вручную оператором).

Событие – объект, который характеризуется состоянием (активно или неактивно), множеством экранов, связанных с событием, и множеством медиафайлов, ассоциированных с ним. Если событие активно, то ассоциированные медиафайлы автоматически добавляются в расписание экранов, связанных с событием. Таким способом выполняется трансляция информации о деятельности организации, проведении конференций и выставок, праздниках и т.д.

Условия активности события задают интервалы времени, в течение которых выполняется трансляция. Для задания интервалов используются обозначения из табл. 1, которые соответствуют наиболее часто используемым параметрам даты и времени и позволяют задать все типовые интервалы. Для задания условий используется инфиксная запись, включающая операции из табл. 2. Примеры условий приведены в табл. 3.

Табл. 1. Обозначения, используемые для задания временных интервалов

Обозначение	Описание	Обозначение	Описание
[D]	День месяца (1...31)	[DY]	День в году (1...366)
[M]	Месяц (1...12)	[DW]	День недели (1-Пн, 2-Вт, ...)
[Y]	Год	[TH]	Час (0...23)
[DM]	Дата в формате ДД.ММ	[TM]	Минута (0...59)
[DMY]	Дата в формате ДД.ММ.ГГГГ	[TS]	Секунда (0...59)

Табл. 2. Операции для задания условий

Операция	Описание	Операция	Описание
=	Равно	>=	Больше или равно
<>	Не равно	AND	Логическое И
<	Меньше	OR	Логическое ИЛИ
>	Больше	NOT	Логическое НЕ
<=	Меньше или равно	IN	Принадлежность множеству

Табл. 3. Примеры условий выполнения событий

Условие	Описание
([DW] IN (1,2,3,4) AND [TH]>=9 AND [TH]<18) OR ([DW]=5 AND [TH]>=9 AND [TH]<17)	Рабочее время (с 9:00 до 18:00 с понедельника по четверг и с 9:00 до 17:00 в пятницу)
[TH] = 13 AND [TM] <= 48	Время обеда (с 13:00 до 13:48)
[DY] = 256	День программиста (256-й день в году)

Условие	Описание
[DM] = '08.02'	День российской науки (8 февраля)

Основной функцией сервера является динамическое формирование расписания медиафайлов для экрана. Расписание представляет собой упорядоченный список (очередь). Новые медиафайлы добавляются в конец очереди по мере того, как медиафайлы из его начала воспроизводятся на экранах и исключаются из очереди.

Алгоритм обновления расписания (т.е. добавления в него N очередных медиафайлов) для экрана M состоит из следующих шагов [23]:

1. Определение общего множества активных событий путем проверки их условий активации.
2. Определение множества активных событий $\{E_M\}$, сопоставленных монитору M .
3. Определение множеств активных событий $\{E_{G_i}\}$, сопоставленных группам мониторов $G_1, G_2, \dots, G_n$, в которых состоит монитор M .
4. Определение полного множества активных событий для монитора:

$$\{E\} = \{E_M\} \cup \{E_{G_1}\} \cup \{E_{G_2}\} \cup \dots \cup \{E_{G_n}\}.$$
5. Исключение из расписания медиафайлов, ассоциированных с событиями, не входящими в множество $\{E\}$.
6. Определение множества медиафайлов $\{F\}$, ассоциированных с множеством $\{E\}$.
7. Упорядочивание множества $\{F\}$ по времени последней активизации (в порядке возрастания).
8. Добавление первых N файлов из множества $\{F\}$ в конец расписания.
9. Обновление времени последней активизации для файлов из множества $\{F\}$.
10. Ожидание следующего запроса на обновление.

Далее рассмотрим более подробно сценарии обслуживания пользователей и функционального тестирования корпоративной информационно-навигационной системы [23, 24].

2.4. Сценарии функционирования системы МИНОС для тестирования разрабатываемых средств киберфизического пространства

Пользователи, взаимодействующие с компонентами «МИНОС», подразделяются на три основные категории: сотрудники института, студенты и гости института (представители делегаций, экскурсанты музея института, одиночные гости, разнорабочие и т.д.) Сценарии использования информационно-навигационной системы представлены в виде диаграммы Use Case на рис. 5.

Взаимодействие системы с посетителем осуществляется с помощью меню, где в зависимости от категории посетителя предлагаются те или иные сервисы. Новые постоянные пользователи должны пройти регистрацию в системе, сдав биометрические данные. Гости института могут обратиться к справочным сервисам, включающим предоставление информации об институте и его структуре, поиск аудиторий и связь с сотрудниками института с помощью системы видеоконференцсвязи [25].

Сотрудники СПИИРАН проходят через турникет, установленный на входе в институт после автоматической идентификации на основе распознавания лица и индивидуального RFID-пропуска. Остальным категориям пользователей предлагается выбрать соответствующий их статусу пункт меню на сенсорном экране и следовать дальнейшим указаниям. Опции, предлагаемые посетителям через меню, включают, помимо предоставления стандартной справочной информации, возможность звонка сотруднику СПИИРАН с помощью системы видеоконференцсвязи, обращения к навигационному сервису для поиска структурного подразделения или аудитории, вызова робота-гида.

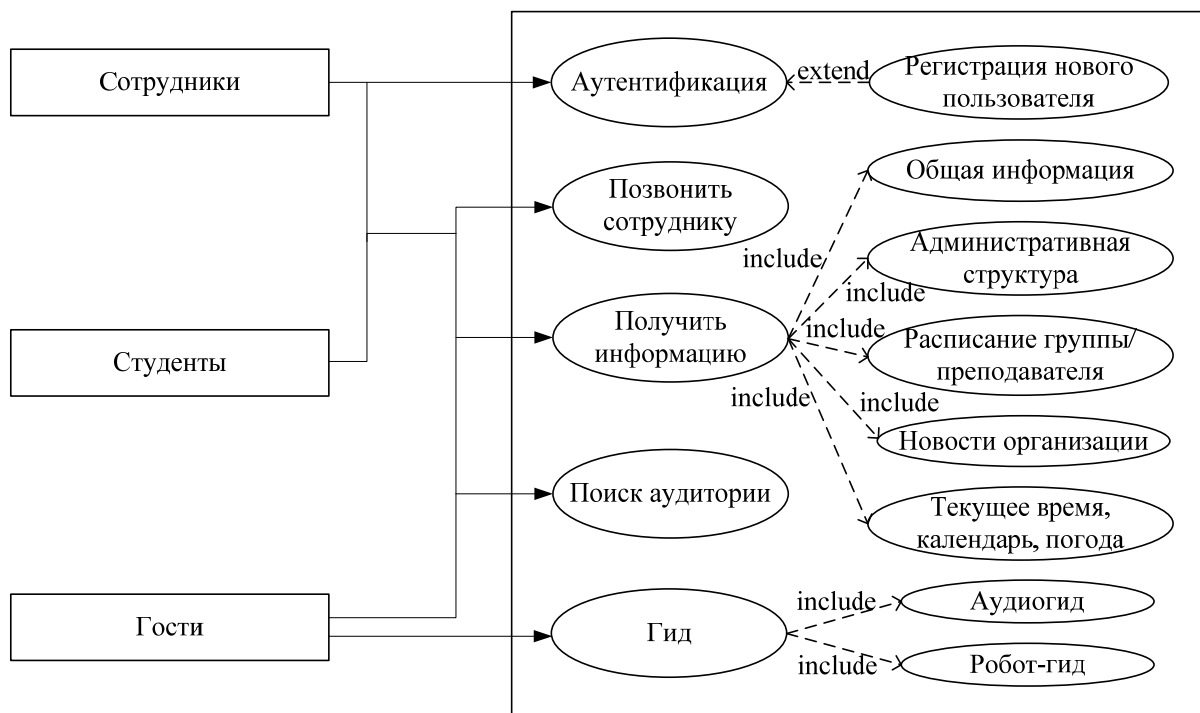


Рисунок 5. Сценарии использования информационно-навигационной системы

Сценарии многомодальных сервисов регистрации сотрудников института и студентов представлены на рис. 6 а) и 6 б) соответственно. Меню, предлагаемое студентам показано на рис. 7 а); меню, предлагаемое представителям делегаций, одиночным гостям и другим посетителям представлено на рис. 7 б).

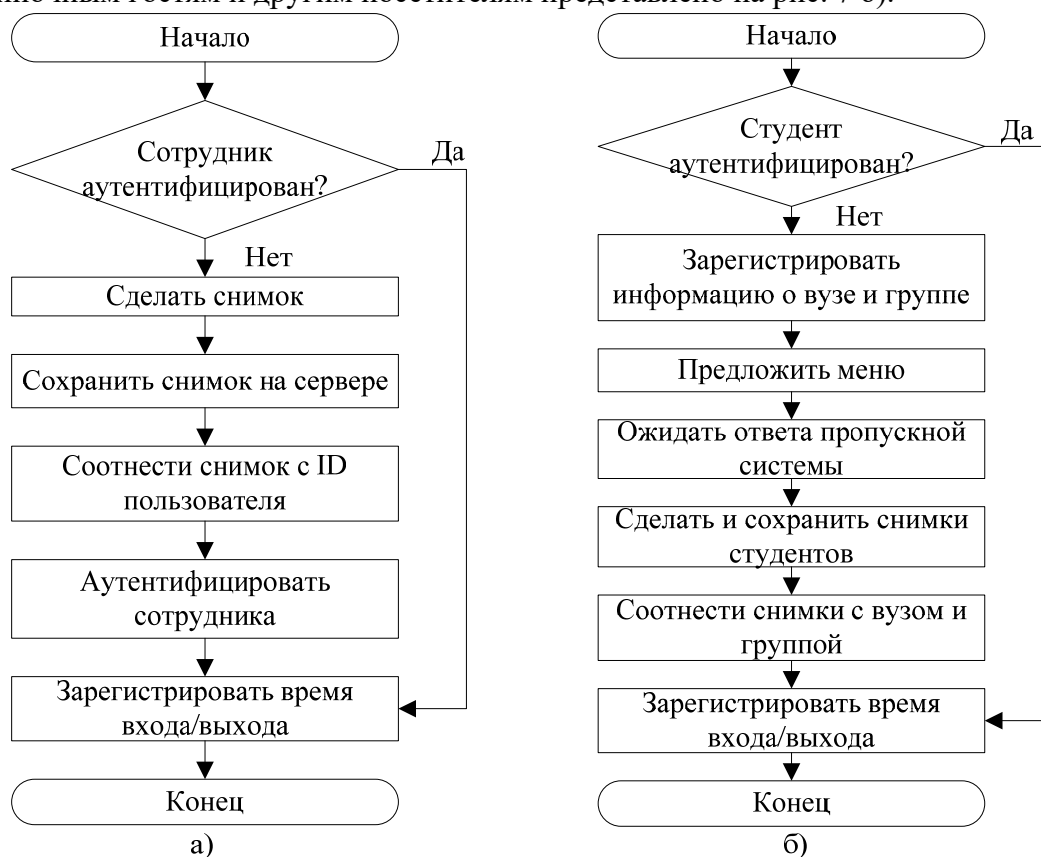


Рис. 6. Сценарии регистрации пользователей: а) сотрудников, б) студентов

Информация о СПИИРАН	Информация о СПИИРАН
Структура СПИИРАН	Структура СПИИРАН
Расписание группы/преподавателя	Демонстрационное видео
Найти аудиторию	Позвонить сотруднику
Позвонить преподавателю	Найти аудиторию
Аудиогид	Аудиогид
Робот-гид	Робот-гид
а)	б)

Рис. 7. Меню для посетителей: а) для студентов, б) для остальных посетителей

В дальнейшем предполагается разработка сценариев взаимодействия посетителей с экранами корпоративного телевидения, что позволит сделать трансляции персонализированными.

2.5. Выводы

В настоящее время система «МИНОС» находится на стадии внедрения. Для реализации необходимой инфраструктуры в СПИИРАН использованы 4 стационарных монитора, 4 неттопа, сетевое оборудование, веб-сервер, сервер базы данных. Разработано клиентское и серверное программное обеспечение для управления системой корпоративного телевидения, реализован веб-интерфейс администратора этой системы. Система корпоративного телевидения использует стандартные сетевые технологии, не привязана к конкретным программно-аппаратным платформам, соответствует критериям расширяемости и переносимости и может использоваться в качестве компонента киберфизической среды в различных организациях.

Дальнейшим направлением разработки является обеспечение интерактивности и персонализации системы корпоративного телевидения путем ее интеграции с системой биометрической и RFID-идентификации пользователей. Для этого клиентские станции будут оснащены камерами и микрофонами. Для каждого сотрудника института, распознанного стационарной камерой, система корпоративного телевидения может отображать объявления, имеющие отношение к этому сотруднику. Предполагается реализовать управление выдачей информации с помощью жестов и речи [26, 27].

Другим направлением развития системы является создание навигационного сервиса, который позволяет посетителю определить его местоположение в институте с помощью сканирования табличек с QR-кодами. Веб-приложение позволяет посетителю ориентироваться в институте, используя портативный компьютер, и получать необходимую справочную информацию.

2.6. Список литературы

1. Ронжин Ан.Л., Ватаманюк И.В., Ронжин Ал.Л. Железны М. Математические методы оценки размытости изображения и распознавания лиц в системе автоматической регистрации участников совещаний // Автоматика и телемеханика. 2015. №11. С.132-144.
2. Глазков С.В., Ронжин А.Л. Контекстно-зависимые методы автоматической генерации многомодальных пользовательских веб-интерфейсов // Труды СПИИРАН. 2012. Вып. 21. С. 170-183.
3. Ронжин А.Л., Карпов А.А., Леонтьева Ан.Б., Костюченко Б.Е. Разработка многомодального информационного киоска // Труды СПИИРАН. 2007. Вып. 5. С. 227-245.

4. Han S. et al. Design of multi-party meeting system for interactive collaboration // 2nd International Conference on Communication Systems Software and Middleware. IEEE. 2007. pp. 1-8.
5. Kelsen K. Unleashing the power of digital signage: content strategies for the 5th screen. CRC Press, 2012.
6. She J. et al. Smart signage: An interactive signage system with multiple displays // Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPSCoM), IEEE International Conference on and IEEE Cyber, Physical and Social Computing. IEEE. 2013. pp. 737-742.
7. Davies N., Clinch S., Alt F. Pervasive displays: understanding the future of digital signage // Synthesis Lectures on Mobile and Pervasive Computing. 2014. vol. 8. no. 1. pp. 1-128.
8. Ahn S. et al. Web-based multi-screen digital signage // IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). IEEE. 2014. pp. 244-245.
9. Hossain M. A. et al. A Symbiotic Digital Signage system based on display to display communication // Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks. IEEE. 2015. pp. 124-128.
10. Hossain M. A. et al. Performance Analysis of Smart Digital Signage System Based on software-defined IoT and Invisible Image Sensor Communication // International Journal of Distributed Sensor Networks. 2016. In Press.
11. Kim E. et al. Efficient contents sharing between digital signage system and mobile terminals // Advanced Communication Technology (ICACT), 15th International Conference on. IEEE. 2013. pp. 1002-1005.
12. Farinella G. M. et al. Face re-identification for digital signage applications // International Workshop on Video Analytics for Audience Measurement in Retail and Digital Signage. Springer International Publishing. 2014. pp. 40-52.
13. Lee Y. T. et al. Design of a low cost interactive digital signage // The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics 2012. IEEE. 2012. pp. 120-124.
14. Hyun W. et al. Study on design and implementation of audience measurement functionalities for digital signage service using Kinect camera // 16th International Conference on Advanced Communication Technology. IEEE. 2014. pp. 597-600.
15. Tyukov A. et al. Digital signage based building energy management system: solution concept // World Applied Sciences Journal. 2013. vol. 24. pp. 183-190.
16. Urli S. et al. Managing a software ecosystem using a multiple software product line: a case study on digital signage systems // 40th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications. IEEE. 2014. pp. 344-351.
17. She J. et al. Smart Signage: A draggable cyber-physical broadcast/multicast media system // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. 2013. vol. 1. no. 2. pp. 232-243.
18. Fu H. Smart signage: a cyber-physical interactive display system for effective advertising. 2013.
19. Perera C., Liu C. H., Jayawardena S. The emerging internet of things marketplace from an industrial perspective: A survey // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. 2015. vol. 3. no. 4. pp. 585-598.
20. Elhart I., Langheinrich M., Memarovic N. Integrating interactive applications with digital signage: Towards a scheduling framework for pervasive displays // Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), IEEE International Conference on. IEEE. 2014. pp. 495-499.
21. Савельев А.И. Оптимизация алгоритмов распределения потоков мультимедийных данных между сервером и клиентом в приложениях видеоконференцсвязи // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 31. С. 61-79.

22. Saveliev A.I., Vatamaniuk I.V., Ronzhin An.L. Architecture of data exchange with minimal client-server interaction at multipoint video conferencing // S. Balandin et al. (Eds.): NEW2AN/ruSMART. 2014. LNCS 8638. pp. 164–176.
23. Левоневский Д.К., Ватаманюк И.В., Савельев А.И., Денисов А.В. Корпоративная информационная система обслуживания пользователей как компонент киберфизического интеллектуального пространства // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 63. № 11.
24. Ронжин А.Л., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. № 1 (162). С. 195-206.
25. Saveliev A.I., Ronzhin A.L. Algorithms and Software Tools for Distribution of Multimedia Data Streams in Client Server Videoconferencing Applications // Pattern Recognition and Image Analysis, Springer. 2015. vol. 25. no. 3. pp. 517-525.
26. Ронжин А.Л., Карпов А.А., Лобанов Б.М., Цирульник Л.И., Йокиш О. Фонетико-морфологическая разметка речевых корпусов для распознавания и синтеза русской речи // Информационно-управляющие системы. СПб.: ГУАП. 2006. Вып. 25. № 6. С. 24-34.
27. Ватаманюк И.В., Ронжин А.Л. Применение методов оценивания размытости цифровых изображений в задаче аудиовизуального мониторинга // Информационно-управляющие системы. СПб.: ГУАП. 2014. № 4. С. 16-23.

3. Разработка конструкции робота Антарес с двухмоторной компоновкой коленного соединения

3.1. Введение. Среди проблемных вопросов наиболее остро стоящих перед разработчиками мобильных роботов общего и специального назначения являются решение вопросов геометрической и опорной проходимости по сильнопересеченной местности, обеспечения автономности движения и управления кинетическим оборудованием роботов [1]. Созданная природой рычажно-шарнирная система передвижения человека и животных наиболее приспособлена для естественной земной поверхности и целесообразна для использования при передвижении антропоморфного робота [2].

Отсутствие единой методологии, математического и программного обеспечения для проектирования рычажно-шарнирных систем антропоморфных роботов вынуждает разработчиков при проектировании каждого конкретного робота создавать свое обеспечение [3-7]. Целью данной статьи является анализ существующих конструктивных решений по построению рычажно-шарнирных механизмов нижних конечностей (ног) антропоморфных роботов и разработка на его основе рациональной конструкции ног для робота Антарес.

3.2. Анализ современных исследований по проектированию конструкций антропоморфных роботов. Одна из простейших конструкций двуногого робота описана в [8]. Он собран из двухмиллиметрового листового алюминия, включает шесть сервоприводов, управляется контроллером EyeBot и имеет вес 1,11 кг. При ходьбе робот достигает скорости 120 м/час при максимальном угле между бедрами 60 градусов. Подобная конструкция робота с шестью сервоприводами применена в [9] для исследования рабочих углов соединений колена, лодыжки, бедра.

Антропоморфный робот серии HanSaRam, регулярно участвующий в футбольной лиге роботов FIRA с 2000 года, обсуждается в работе [10]. Робот HanSaRam версии HSR-VIII имеет 28 приводов, весит 5,5 кг и развивает скорость до 12 см/с.

В работе [11] антропоморфный робот Lola, имеющий конструкцию ног с 7 степенями свободы, весит 55 кг при росте 180 см. Обсуждается проблема устойчивости робота после остановки, а также поэтапное соприкосновение частей ступни с

поверхностью во время ходьбы. Эластичные материалы носка и каблука ступни робота обеспечивают снижение силы удара на конструкцию робота при касании поверхности.

Домашний ассистивный робот с 14 приводами и 16 степенями свободы, представленный в работе [12], имеет антропоморфную конструкцию только верхней части тела и колесную базу. Основное внимание в работе уделено манипуляции предметом двумя руками роботов при перемещении домашних объектов.

Антропоморфный робот SWUMANOID ростом 92 см, использующий в конструкции 24 сервопривода серии Dynamixel, в исследовании [13] разработан для моделирования движений и плавания в воде. Нестабильное качение тела робота в воде осложняет расчет кинематики движений плывущего робота, состоящего из 21 составного конструктивного элемента.

В работе [14] предложена оригинальная программная платформа для моделирования кинематической схемы движения ног антропоморфных роботов, где элементы ног рассматриваются как последовательно соединенные детали, а для решения прямой и обратной задачи движения ног применяются рекурсивные алгоритмы с пониженной вычислительной сложностью.

Для движения по сложным неровным поверхностям, не проходимых для гусеничных или колесных роботов, также ведутся разработки более сложных неантропоморфных конструкций с одной [15], четырьмя [16], шестью [17, 18] и большим числом нижних конечностей [19].

На основе проведенного анализа конструкций антропоморфных роботов наиболее близкими аналогами к разрабатываемому роботу Антарес были определены робот Poppy французской компании INRIA Flowers и робот Darwin-OP компании Trossen Robotis [3] (табл. 1). Рассмотрим этих роботов более подробно.

Детали антропоморфного робота Poppy созданы на основе 3D-печати, что позволило сильно удешевить производство деталей робота и сделало возможным применение менее мощных сервоприводов, однако отобразилось на его устойчивости и стабильности при ходьбе. Робот имеет 25 сервоприводов Dynamixel MX-64 и MX-28 (табл. 2) [20], обеспечивающих беспрепятственное перемещение конечностей с заданной точностью и запасом по прочности, поскольку редукторы выполнены из металла. Робот управляется одноплатным компьютером Raspberry Pi, оснащен 16 силоизмерительными датчиками, 2 HD-камерами, стереомикрофоном и инерционным измерительным устройством. В качестве «лица» у Poppy используется LCD-экран, на который могут выводиться «эмоции» или информация об ошибках.

Таблица 1. Основные характеристики антропоморфных роботов Poppy и Darwin-OP

Характеристика	Poppy	Darwin-OP
Высота, см	84	45,5
Вес, кг	3,5	2,9
Углы перемещений частей тела робота:		
Голеностопный сустав	угол крена отсутствует, а угол тангажа лежит в пределах от 43 градусов вверх, до -45 градусов вниз	
Коленный сустав	рабочий ход от 0 до 130 градусов	
Тазобедренный сустав	вперед составляет от 87 градусов вперед, до 87 назад. Угол отклонения в бок наружу составляет 26 градусов, а внутрь до ближайшей ноги 5 градусов, а конструктивная возможность отклонения ноги составляет 28 градусов	

Сочленение ноги и тела	наружу возможно на 18, а вовнутрь на 5 градусов
------------------------	---

Таблица 2. Основные технические характеристики сервоприводов Dynamixel

Характеристика	MX-64			MX-28		
Рабочее напряжение, В	14,8	12	11,1	14,8	12	11,1
Удерживающий момент, кг×см/Н×м	74/ 7,3	61/ 6	56/ 5,5	31,6/ 3,1	25,5/ 2,5	23,4/ 2,3
Скорость без нагрузки, об/мин	78	63	58	67	55	50
Вес, г	126			72		
Размеры, мм	40.2×61.1×41.0			35.6×50.6×35.5 мм		
Разрешение	0.088°					
Редукция	1/200			1/193		
Углы работы	360 либо непрерывное вращение					
Максимальный ток, А	4.1			1.4		
Ток в режиме ожидания, мА	100					
Рабочие температуры, °C	-5 ~ 80					
Протокол передачи данных	TTL/RS485					
Действительные адреса	254					
Скорость шины	8000bps ~ 3Mbps					
Обратная связь по положению	Да					
Обратная связь по температуре	Да					
Обратная связь по напряжению нагрузки	Да					
Обратная связь по входному напряжению	Да					
ПИД регулятор	Да					
Материал	Металлические редукторы, корпус из инженерного пластика					
Мотор	Maxon RE-MAX					

Модульная конструкция робота помогает исследователю изменять движения любой конечности путем изолирования желаемой конечности от остальной части тела, практически никак не влияя на производительность (рис. 1). Конструкция специально рассчитана на установку дополнительных датчиков и прокладку соединительных проводов. Кроме того, подобный дизайн облегчает периодическое техническое обслуживание робота. Однако центр массы Porru расположен в солнечном сплетении, что негативно сказывается на распределении нагрузки. Робот становится неустойчив и не способен самостоятельно передвигаться (только с поддержкой человека).

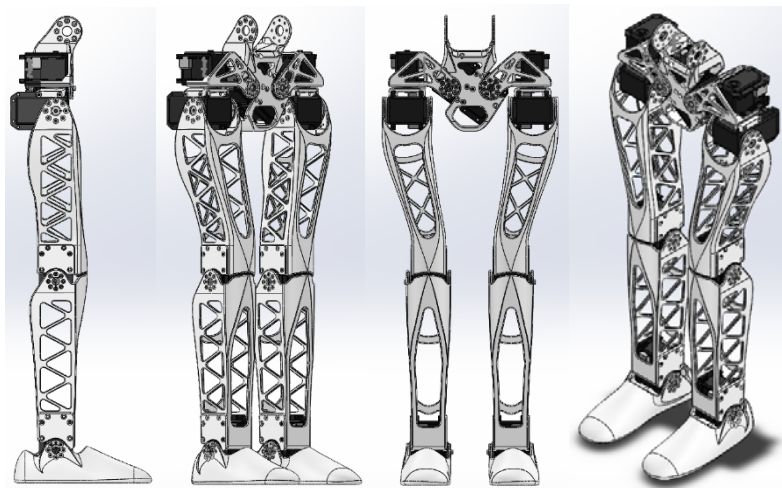


Рис. 1. Трехмерная модель сборки ног робота Порру

Порру обладает аналогичным количеством степеней свободы в тазовой части, распределяя их иным способом, но существенно проигрывает в подвижности в коленном и голеностопном узлах. В узлах ног используется всего 3 двигателя (по одному в голеностопном, коленном и тазобедренном узлах), что негативно сказывается на подвижности робота в целом (рис. 2), если судить по видеоматериалам разработчиков и находящимся в свободном доступе проектным файлам робота.

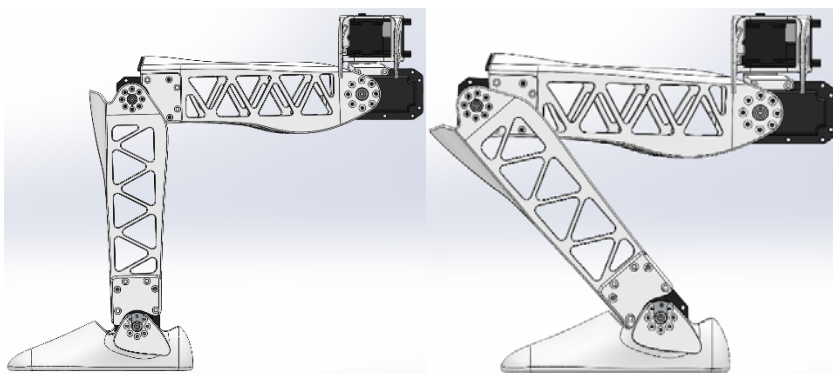


Рис. 2. Функционал узла ноги робота Порру

Робот Darwin-OP (табл. 1) представляет собой робототехническую платформу, предназначенную для научных исследований и разработок в рамках образовательного процесса. DARwin OP обладает высокой производительностью, разнообразным набором сенсорных устройств и высокими динамическими характеристиками. Робот взаимодействует с людьми с помощью динамиков, микрофонов, камер, тактильных сенсоров, светодиодов, рук, телодвижений. Имеет 20 сервопривода фирмы Dynamixel, которые обеспечивают беспрепятственное перемещение конечностей с заданной точностью и запасом по прочности, так как шестерни выполнены из металла. Центр массы расположен в центре таза, обеспечивая оптимальное местоположение для правильного распределения нагрузки и инерции при ходьбе, особенно в конечностях. Модульная конструкция робота помогает исследователю изменять движения любой конечности DARwin OP. Конструкция также рассчитана на установку дополнительных датчиков.

3.3. Разработка конструкции узла ноги антропоморфного робота Антарес. Для создания конструкции Антарес было выделено несколько этапов, связанных с разработкой узлов ноги, руки, торса и головы. Первоочерёдность разработки узла ноги определяется следующими причинами: высокая сложность компоновки деталей данного узла, необходимость данного узла для перемещения робота в пространстве, сложность

просчета конструкции узла в связи с предполагаемой наиболее высокой нагрузкой деталей по отношению ко всем остальным узлам.

Общая конструкция ног включает в себя узел тазового механизма и два идентичных по конструкции узла ног, состоящих из более простых узлов крепления к тазовому механизму, тазобедренного сустава, бедра, колена, голени, голеностопа и стопы. Узлы тазового механизма и ног робота разработаны в соответствии с пропорциями человеческого организма, с поправкой на предполагаемый рост. Их длина составила 510,7 мм. При разработке узлов ног длина голеностопного и бедренного узлов (рис. 3) составила по 20 см (без учета соединений).

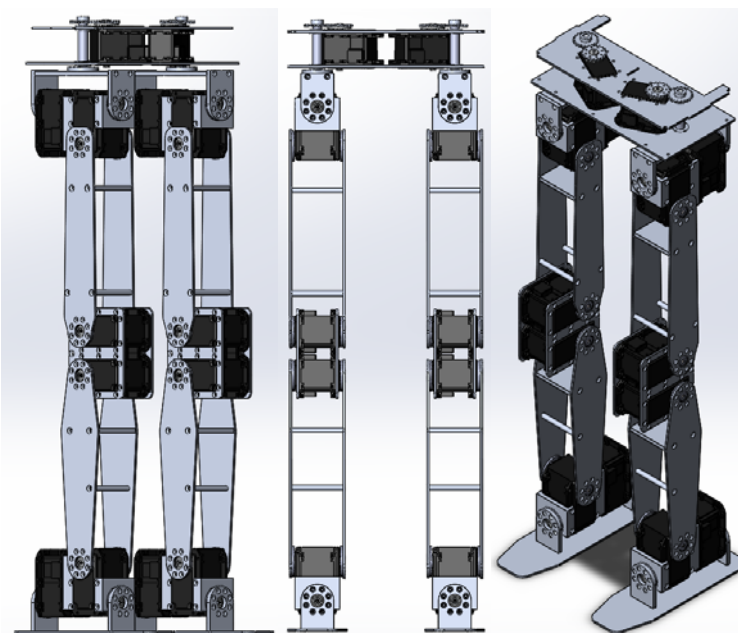


Рис. 3. Общий вид конструкции ног

Так как в кинематике робота данные узлы играют роль плеча рычага, такое конструктивное решение является обоснованным, так как разница в длине достигается за счет соединения голенного узла с узлом голеностопного сустава, в свою очередь соединенным со стопой, в то время как бедренный узел соединяется с узлом тазобедренного сустава, соединяющегося с узлом крепления к тазобедренному механизму.

Для снижения электрической нагрузки на основной аккумулятор робота Антарес в бедренных отделах ног будут установлены вспомогательные аккумуляторы (предусмотрена установочная площадка). Таким образом, предполагается не только снизить нагрузку на главный аккумулятор, но и осуществляться контроль питания сервоприводов, что поможет избежать проблем по электропитанию. Чтобы существенно сэкономить вычислительную мощность главного контроллера и компьютера, расположенных в торсе, в бедренных узлах ног также будут установлены вспомогательные контроллеры, отвечающие за работу всех 6 двигателей, установленных в суставных узлах ног робота. Данная конструкция усложняет расчет кинематики движений робота, но обеспечивает более сложные движения.

На основе использования в колене двухмоторной компоновки (рис. 4) получен отдельный узел ноги, взаимодействующий с соседними узлами бедра и голени, позволяя им быть независимыми друг от друга при сгибе (рис. 5). Помимо этого, использование двухмоторного колена упрощает выбор сервопривода, так как в таком колене нагрузка делится на два отдельных двигателя. Еще одним плюсом данного узла является то, что упрощается разработка конструкции вышеупомянутых узлов бедра и голени.

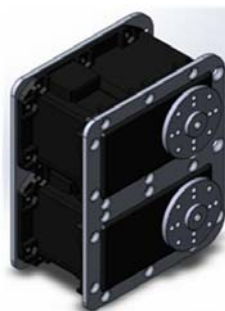


Рис. 4. Двухмоторное колено

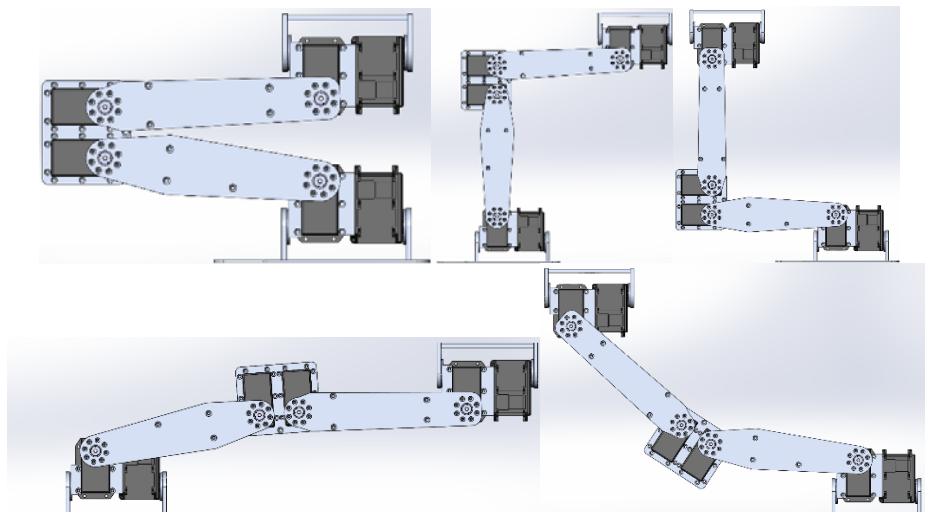


Рис. 5. Возможности функционального использования двухмоторного колена

Основу конструкции ноги робота Антарес составляют соединенные между собой прямые пластины, соединенные стяжками и поперечными пластинами (рис. 6). При производстве деталей использованы листы алюминия толщиной 2, 4 и 10 мм. Для поперечных стяжек применены алюминиевые прутья толщиной 6 мм.

Детали, изготовленные из листа алюминия толщиной 2 мм, составляют основу узлов бедра, голени, стопы и тазового крепления. Детали узлов, выполненные из двухмиллиметрового листа, конструктивно предназначены для: силовых нагрузок; давления сверху.

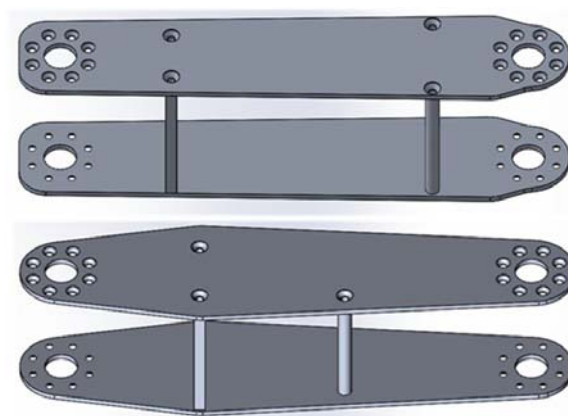


Рис. 6. Сборки голенного и бедренного узлов.

В качестве ребер жесткости, предназначенных для нагрузок на кручение, используются детали, изготовленные из листов алюминия толщиной 4 мм. Из этих

листов сделаны поперечные стойки голени и бедра, а также пластины крепления к тазобедренной пластине (толщиной 4 мм) и пластине стопы. Подразумевается также их использование для размещения внутренних элементов, таких как вспомогательный аккумулятор, контроллера для сервоприводов всего узла ноги. Наряду с поперечными пластинами в конструкции в качестве ребер жесткости использованы алюминиевые прутья. Последние используются только как элементов усиления конструкции.

В голенном узле для достижения достаточно надежной структуры используется более широкая поперечная пластина. Это было необходимо для того, чтобы голеностопный сустав мог использоваться максимально эффективно, для чего требовалось обеспечить голеностопному суставу свободное использование внутреннего пространства голенного узла. Стяжка в данном случае служит не только ребром жесткости, но и ограничителем, чтобы голеностопный узел, работая, не сломался и не привел к поломке других узлов.

Из листов алюминия толщиной 10 мм изготовлен один тип деталей – специальная пластина под подшипник, используемая для сборки узла тазобедренного и голеностопного суставов.

Для двигателей Dynamixel MX-64, используемых в узлах ноги, были изготовлены фланцы, которые необходимы для соединения не связанных между собой частей узлов и отдельных деталей для обеспечения подвижности и устойчивости. Фланцы расположены в специальном гнезде на корпусе двигателя, на подшипнике и закреплены специальной крышкой, которая не допускает развала конструкции при движении и из-за вибраций. Обязательным требованием к подшипнику является высота в 3,5 мм, для соблюдения центровки осевого расположения двигателей в общей конструкции, что важно при движении робота в узле ноги в отдельности.

Тазовый механизм расположен в нижней части торса робота Антарес и предназначен для осевых поворотов ног, а также размещения в нем основного аккумулятора робота Антарес. Конструкция включает в себя две втулки, шестерни с передаточным числом 1:1 и два двигателя Dynamixel MX-28 (табл. 2), две пластины толщиной 2 мм, фланцевые подшипники 8×14 (рис. 7). Выбор менее мощных сервоприводов по сравнению с приводами, используемыми в конструкции других узлов ног, обоснован тем, что для осевых поворотов не требуется большая мощность двигателей.



Рис. 7. Тазовый механизм.

Для снижения электрической нагрузки на основной аккумулятор робота, в бедренных отделах ног будут установлены вспомогательные аккумуляторы, для которых предусмотрена установочная площадка. Таким образом будет не только снижаться нагрузка на главный аккумулятор, но и осуществляться контроль питания сервоприводов, что поможет избежать различных проблем вроде короткого замыкания и тому подобного. Чтобы существенно сэкономить вычислительную мощность главного контроллера и компьютера, расположенных в торсе, в бедренных узлах ног так же будут установлены вспомогательные контроллеры, отвечающие за работу всех 6 двигателей, установленных в суставных узлах ног робота.

Тазобедренный и голеностопные суставы ног выполнены посредством попарного соединения двигателей металлическими вставками, в корпусе двигателей применяется особо прочный пластик или же алюминий, что позволяет выдерживать физические нагрузки, приходящиеся на корпус двигателей во время движения (рис. 8). Попарное соединение двигателей необходимо для экономии места в конструкции, во избежание излишней массивности, что необходимо для обеспечения подвижности и гибкости собранных узлов в частности и сборки узла ноги в целом.

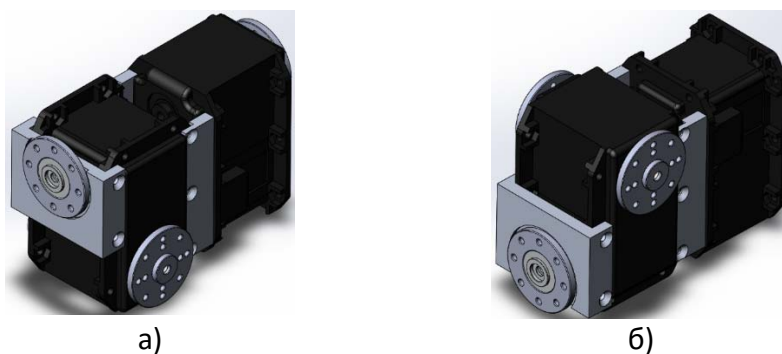


Рис. 8. Узлы суставов: а) тазобедренного; б) голеностопного

Конструкция ноги разработана таким образом, что обеспечивает двигателям большие углы поворота, что дает большую гибкость и пластичность узла по сравнению с приведенными аналогами. При необходимости робот без затруднений сможет встать на шпагат и также без затруднений встать с него, высоко поднять ногу прямо или под углом, согнуть ее в колене, при этом сохраняя по необходимости стопу параллельной полу. Возможны самые различные приседания, а не какое-то конкретно заданное движение, как у аналогов, вплоть до касания тазовым механизмом пола без угрозы поломки узлов тазового механизма или механизмов узлов ног. Голеностопный сустав отдельно от всего остального механизма ноги может поворачивать стопу на 90 градусов как вправо, так и влево. Осевые повороты, доступные за счет узла тазового механизма, доступны в пределах 270 градусов (рис. 9).

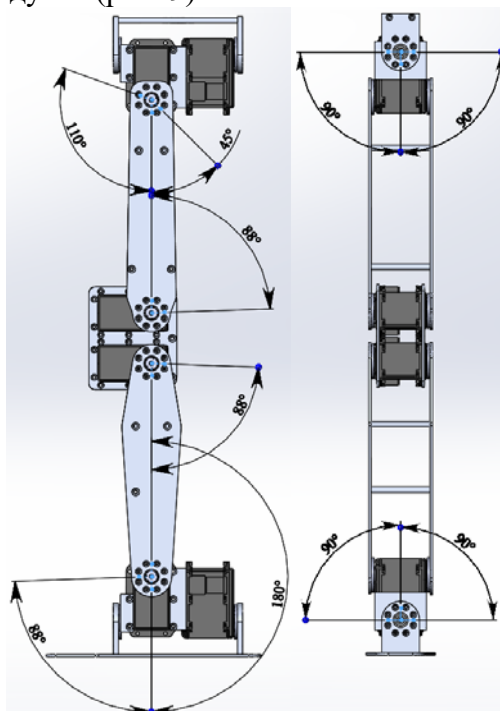


Рис. 9. Углы поворотов ноги

Не считая тазового механизма, отвечающего за осевые повороты ног и являющегося отдельным узлом, в конструкции ног применены сервоприводы Dynamixel MX-64. Каждый Dynamixel имеет уникальный ID для подключения к общей шине данных, поддерживают соединения по TTL, RS485 и прочим, возможность подключения в общую шину управления, имеющиеся функции активации LED или аварийного отключения (Torque-off) могут быть установлены на заданные значения температуры, тока и напряжения. Данные сервоприводы можно настроить двигаться более плавно. Управление сервоприводами Dynamixel может осуществляться с ПК либо микроконтроллера, что является большим плюсом при разработке прототипов.

Без установленных в бедренном узле аккумулятора и контроллера, расчетный вес металлического каркаса, сервоприводов и фланцевых соединений в сумме составил 1,07 кг, из которых 756 г приходится на сервоприводы Dynamixel MX-64. Сборка двух узлов ног и тазового механизма составляет 2,44 кг.

3.4. Выводы. Проведенный анализ антропоморфных роботов показал наличие моделей от 30 см до 180 см с различным числом степеней свободы и кинематическими схемами. Наиболее близкими аналогами к разрабатываемому роботу Антарес были найдены роботы Porru и Darwin-OP. При разработке конструкции ног робота Антарес в колене использована двухмоторная компоновка, обеспечивающая большую мощность узла, независимое взаимодействие с соседними узлами бедра и голени при сгибе. Снижение электрической нагрузки на основной аккумулятор робота достигается за счет использования вспомогательных аккумуляторов в бедренных отделах ног, осуществляющих питание сервоприводов. Непосредственное управление сервоприводами также выполняется посредством вспомогательных контроллеров, отвечающих за работу всех 6 двигателей, установленных в суставных узлах ног робота. Разрабатываемый робот ориентирован на применение в образовательных целях для участия в соревнованиях роботов-футболистов, а также при разработке ассистивных технологий человеко-машинного взаимодействия на основе многомодальных интерфейсов [21-23].

3.5. Литература

1. Кудряшов В.Б., Лапшов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В. Проблемы роботизации ВВТ в части наземной составляющей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 3 (152). – С. 42-57.
2. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е., Яроц В.В., Верейкин А.А., Кулаков Б.Б., Каргинов Л.А. Метод проектирования пространственных древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов // Инженерный вестник. МГТУ Н.Э. Баумана. – 2014. – №11. С. 6-10.
3. Карпенко А.П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования. Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 71 с.
4. Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 19 с.
5. Лапшин В.В. Об устойчивости движения шагающих машин // Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2014. – № 6. С. 319-335.
6. Зельцер А.Г., Верейкин А.А., Гойхман А.В., Савченко А.Г., Жуков А.А., Демченко М.А. Концепция экзоскелета капсульного типа для аварийноспасательных операций // Инженерный вестник. МГТУ Н.Э. Баумана. – 2015. – № 3. С. 14-22.
7. Верейкин А.А., Ковальчук А.К., Каргинов Л.А. Исследование динамики исполнительного механизма экзоскелета нижних конечностей с учётом реакций опорной поверхности // Наука и образование. МГТУ Н.Э. Баумана. – 2014. – № 29. С. 256-278.
8. Warnakulasooriyaa S., Bagheria A., Sherburnb N., Shanmugavel M. Bipedal Walking Robot – A developmental design // Procedia engineering, 41 (2012). P. 1016-1021.
9. Lima S.C., Yeapa G.H. The Locomotion of Bipedal Walking Robot with Six Degree of Freedom // Procedia Engineering, 41 (2012). P. 8-14.

10. Yoo J.K., Lee B.J., Kim. J.H. Recent Progress and Development of the Humanoid Robot Hansaram // Robotics and Autonomous Systems, 57 (2009). P. 973-981.
11. Buschmann T., Lohmeier S., Ulbrich H. Humanoid Robot Lola: Design and Walking Control // Journal of Physiology, 103 (2009). P. 141-148.
12. Mohameda Z., Capi G. Development of a New Mobile Humanoid Robot for Assisting Elderly People // Procedia Engineering, 41 (2012). P. 345- 351.
13. Nakashima M., Tsunoda Y. Improvement of Crawl Stroke for the Swimming Humanoid Robot to Establish an Experimental Platform for Swimming Research // Procedia Engineering, 112 (2015). P. 517-521.
14. Shah S.V., Saha S.K., Dutt J.K. Modular Framework for Dynamic Modeling and Analyses of Legged Robots // Mechanism and Machine Theory, 49 (2012). P. 234-255.
15. Yua X., Fub C., Chen K. Modeling and Control of a Single-legged Robot // Procedia Engineering, 24 (2011). P. 788-792.
16. Potts A.S., Jaime da Cruz J. A Comparison Between Free Motion Planning Algorithms Applied to a Quadruped Robot Leg // IFAC-papersonline, 48-19 (2015). P. 019–024.
17. Rostro-Gonzalez H., Cerna-Garcia P.A., Trejo-Caballero G., Garcia-Capulin C.H., Ibarra-Manzano M.A., Avina-Cervantes J.G., Torres-Huitzil C. A CPG System Based on Spiking Neurons for Hexapod Robot Locomotion // Neurocomputing, 170 (2015). P. 47-54.
18. Pan P.S., Wu C.M. Design of a Hexapod Robot with a Servo Control and a Man-Machine Interface // Robotics and Computer-Integrated manufacturing, 28 (2012). P. 351-358.
19. Vidoni R., Gasparetto A. Efficient Force Distribution and Leg Posture for a Bio-Inspired Spider Robot // Robotics and Autonomous Systems, 59 (2011). P. 142-150.
20. Электронный каталог компаний «ROBOTIS». Режим доступа: http://en.robotis.com/index/product.php?cate_code=101011 (дата обращения: 03.03.16)
21. Ронжин А.Л., Будков В.Ю., Ронжин А.Л. Технологии формирования аудиовизуального интерфейса системы телеконференций // Автоматизация. Современные технологии. 2011. № 5. С. 20-26.
22. Карпов А.А., Ронжин А.Л. Многомодальные интерфейсы в автоматизированных системах управления // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2005. Т. 48. № 7. С. 9-14.
23. Karpov A.A., Ronzhin A.L. Information Enquiry Kiosk with Multimodal User Interface // Pattern Recognition and Image Analysis, Moscow: MAIK Nauka/Interperiodica, Vol. 19, № 3, 2009, P. 546-558.

4. Заявка на патент по способу распределения задач между сервисными роботами и средствами киберфизического интеллектуального пространства при многомодальном обслуживании пользователей

Заявка отправлена в ФИПС, регистрационный № 2016146203 от 24.11.2016. Далее приведен формула изобретения (только п.1.)

1. Способ распределения задач между сервисными роботами и средствами киберфизического интеллектуального пространства при многомодальном обслуживании пользователей, выполняемый сервером приложений, заключающийся в том, что принимают по тракту управления сервера приложений/голосового сервера между сервером приложений и голосовым сервером от голосового сервера индикацию относительно того, что речь была распознана на основе звуковых данных восходящей линии связи, посланных от клиентского устройства на голосовой сервер по тракту звуковых данных между клиентским устройством и голосовым сервером, причем звуковые данные восходящей линии связи представляют фрагмент активной речи пользователя, принятый через голосовую модальность клиентского устройства, при этом

голосовой сервер является отдельным от сервера приложений, и отправляют по тракту управления сервера приложений/клиента между сервером приложений и клиентским устройством на клиентское устройство сообщение, которое включает в себя результат распознавания для речи и которое предписывает клиентскому устройству обновлять визуальное отображение так, чтобы отразить результат распознавания; принимают от клиентского устройства по тракту управления сервера приложений/клиента индикацию относительно того, что клиентское устройство обновило визуальное отображение в соответствии с результатом распознавания, и отправляют сообщение на голосовой сервер по тракту управления сервера приложений/голосового сервера, чтобы указать, что клиентское устройство обновило визуальное отображение; отправляют мультимодальную страницу на клиентское устройство по тракту управления сервера приложений/клиента, при этом мультимодальная страница при ее интерпретации предписывает клиентскому устройству воспроизводить визуальное отображение, которое включает в себя по меньшей мере один элемент отображения, для которого входные данные являются принимаемыми клиентским устройством через визуальную модальность и голосовую модальность; принимают от клиентского устройства по тракту управления сервера приложений/клиента индикацию относительно того, что произошло сгенерированное клиентом событие, которое служит основанием обновления визуального отображения, воспроизводимого на клиентском устройстве, отправляют информацию на клиентское устройство по тракту управления сервера приложений/клиента, чтобы предписать клиентскому устройству обновить визуальное отображение, основываясь на сгенерированном клиентом событии, и отправляют на голосовой сервер по тракту управления сервера приложений/голосового сервера команду, которая включает в себя информацию, указывающую сгенерированное клиентом событие, отличающийся тем, что принимают по тракту управления сервера приложений/сервера жестов между сервером приложений и сервером жестов от сервера жестов индикацию относительно того, что жест был распознан на основе видеоданных восходящей линии связи, посланных от клиентского устройства на сервер жестов по тракту видеоданных между клиентским устройством и сервером жестов, причем видеоданные восходящей линии связи представляют видеосегмент активной манипуляции пользователя, принятый через визуальную модальность клиентского устройства, при этом сервер жестов является отдельным от сервера приложений и голосового сервера, и отправляют по тракту управления сервера приложений/клиента между сервером приложений и клиентским устройством на клиентское устройство сообщение, которое включает в себя результат распознавания жеста и которое предписывает клиентскому устройству обновлять визуальное отображение так, чтобы отразить результат распознавания; принимают от клиентского устройства по тракту управления сервера приложений/клиента индикацию относительно того, что клиентское устройство обновило визуальное отображение в соответствии с результатом распознавания, и отправляют сообщение на сервер жестов по тракту управления сервера приложений/сервера жестов, чтобы указать, что клиентское устройство обновило визуальное отображение; отправляют по тракту управления сервера приложений/робота сервисному роботу сообщение, которое включает в себя результат распознавания для речи и которое предписывает сервисному роботу выполнить соответствующую программу действий; принимают от сервисного робота по тракту управления сервера приложений/робота индикацию относительно того, что сервисный робот выполнил предписанную программу действий в соответствии с результатом распознавания для речи, и отправляют сообщение на голосовой сервер по тракту управления сервера приложений/голосового сервера, чтобы указать, что сервисный робот выполнил предписанную программу действий; отправляют по тракту управления сервера приложений/робота сервисному роботу сообщение, которое включает в себя результат распознавания жеста и которое предписывает сервисному роботу выполнить

соответствующую программу действий; принимают от сервисного робота по тракту управления сервера приложений/робота индикацию относительно того, что сервисный робот выполнил предписанную программу действий в соответствии с результатом распознавания, жеста и отправляют сообщение на сервер жестов по тракту управления сервера приложений/сервера жестов, чтобы указать, что сервисный робот выполнил предписанную программу действий.