

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.42



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-123-129

Оригинальная статья/ Original article

О способах установки координат указателя мыши в случае альтернативных вариантов построения человеко-компьютерного взаимодействия

П.В. Пересунько

Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является сравнение и обобщение разных способов бесконтактной установки координат указателя мыши компьютера. **Метод.** Для создания бесконтактного интерфейса человек-машина используются технологии компьютерного зрения для выделения управляющей точки на кадре видеокамеры, с помощью которых перемещается курсор компьютера на мониторе пользователя. Использованы общелогические методы научного исследования, а именно – обобщение. Проведен анализ рассмотренных систем управления координатами курсора с выделением общих частей для дальнейшего обобщения и описания формул установки координат курсора мыши компьютера. Для анализа были взяты научные работы с абсолютным позиционированием курсора компьютера и работы с контролем сдвига положения курсора относительно его координат на предыдущем кадре. **Результат.** В результате анализа были указаны сильные и слабые стороны каждого из рассматриваемых подходов. В абсолютном позиционировании требуется меньше времени для установки курсора в нужную позицию. Определено, что контроль сдвига курсора не такой требовательный к точности расчета координат управляющей точки. Приведены формулы, с помощью которых обобщаются способы перемещения курсора компьютера. **Вывод.** Предложенный подход к расчету новых координат указателя мыши позволяет реализовать в программной системе оба представленных подхода позиционирования курсора компьютера, так как каждый из них имеет преимущества в зависимости от конкретной ситуации.

Ключевые слова: управление курсором мыши; вспомогательные технологии; взаимодействие человек-компьютер; взаимодействие человек-машина; компьютерное зрение

Для цитирования: П.В. Пересунько. О способах установки координат указателя мыши в случае альтернативных вариантов построения человеко-компьютерного взаимодействия. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4):123-129. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-123-129

On methods of setting the coordinates of the mouse pointer in the case of alternative options for constructing human-computer interaction

P.V. Peresunko

Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to compare and generalize different methods of contactless setting of computer mouse pointer coordinates. **Method.** To create a contactless human-machine interface, computer vision technologies are used to select a control point on a video camera frame, with the help of which the computer cursor is moved on the user's monitor. General logical methods of scientific research, namely, generalization, are used. An analysis of the considered cursor coordinate control systems is carried out with the allocation of common parts for further generalization and description of formulas for setting the coordinates of the computer mouse cursor. Scientific works with absolute positioning of the computer cursor and works with control of the cursor position shift relative to its coordinates on the previous frame

were taken for analysis. **Result.** As a result of the analysis, strengths and weaknesses of each of the approaches under consideration were indicated. Absolute positioning requires less time to set the cursor to the desired position. It is determined that cursor shift control is not so demanding on the accuracy of calculating the coordinates of the control point. Formulas are given that generalize the methods of moving the computer cursor. **Conclusion.** The proposed approach to calculating new coordinates of the mouse pointer allows implementing both presented approaches to positioning the computer cursor in the software system, since each of them has advantages depending on the specific situation.

Keywords: mouse cursor control; assistive technologies; human-computer interaction; human-machine interaction; computer vision

For citation: P.V. Peresunko. On methods of setting the coordinates of the mouse pointer in the case of alternative options for constructing human-computer interaction. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024;51(4):123-129. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-123-129

Введение. В современном мире персональный компьютер активно внедрился в жизнь человека. Помимо широко распространенных сценариев использования компьютера, таких как работа, развлекательный досуг, доставка различных товаров, он используется в целях реабилитации пациентов. С помощью него возможно реализовать биологическую обратную связь, например, с помощью управления указателем мыши. В свою очередь управление указателем мыши можно использовать для геймификация процесса реабилитации пациентов. Например, он управляется теми движениями, которые необходимо выполнять для восстановления пациента. Но кроме геймификации, альтернативные способы управления указателем мыши могут быть использованы в том случае, если применение стандартных способов манипуляции курсора, например с помощью компьютерной мыши, джойстика, компьютерного планшета, трекбола, невозможно.

Существуют разные альтернативные варианты управления курсором компьютера [1]. В общем случае их можно разделить на контактные, бесконтактные и гибридные способы. К контактным относятся управление с помощью электромиограммы [2], электропальтографии [3] (искусственное небо с электродами), оптико-светодиодного сенсора, установленного в ротовую область [4], джойстик для управления ртом [5]. Преимуществом таких способов является физический контакт пользователя с управляющим устройством, что может дать ему ощущение контроля над компьютером. Но минусом подобных систем является их покупка в специализированных магазинах, проблемы логистического характера, а также возможность их поломки. Бесконтактные же способы используют, как правило, периферийные устройства ввода, которые уже есть в большинстве ноутбуках, или их можно купить в обычных компьютерных магазинах. Этими устройствами ввода являются веб-камера и микрофон. К гибридному способу относится окулография [6], которая, как правило, реализована в виде шлема с видеокамерами, с помощью которых отслеживается положение зрачков для перемещения курсора. С одной стороны, пользователь не осуществляет непосредственного контакта с датчиками, однако для увеличения точности распознавания направления взгляда видеокамеры размещаются вблизи глаз.

В данной статье под управлением курсором рассматриваются методы для установки координат курсора мыши. Для эмуляции нажатия левой кнопки мыши может использоваться другой признак, например, в [7] использовалось расстояние между верхней и нижней губой, или эмуляция нажатия левой кнопки мыши происходит в том случае, если курсор не выходит за границы области вокруг курсора в течение определенного времени задержки. Размер области и время задержки являются параметрами системы. Итого, цель данного исследования – сравнить и обобщить разные системы установки координат указателя мыши компьютера.

Постановка задачи. Видеокамера подключена к компьютеру, на котором будет происходить контроль координаты курсора. Она направлена на оператора, в поле зрения видеокамеры попадает управляющий курсором объект. На рис.1.а слева изображена рука пользователя и видеокамера, управляющим объектом является ногтевая фаланга указательного пальца. На рис.1.б слева изображен кадр видеокамеры с прямоугольником активной области, где происходит считывание координаты объекта. Справа изображен монитор пользователя с курсором. При перемещении руки влево курсор тоже двигается влево. В данном случае необходимо в режиме реального времени установить курсор компьютера на координаты $(x_s(t), y_s(t))$ на мониторе в зависимости от координат управляющей точки (УТ) на кадре с видеокамеры, где $x_s = 0, \dots, N_s - 1, y_s = 0, \dots, M_s - 1, N_s$ – количество пикселей монитора в ширину, M_s – количество пикселей монитора в высоту. В качестве УТ выступает координата объекта на кадре видеокамеры.



Рис. 1. а) управление координатами курсора с помощью видеокамеры, вид сбоку; б) слева – кадр с видеокамеры, управляющий объект – ногтевая фаланга указательного пальца, вид спереди, справа – монитор пользователя

Fig. 1. a) control of cursor coordinates using a video camera, side view; b) on the left – a frame from a video camera, the control object is the nail phalanx of the index finger, front view, on the right – the user's monitor

Методы исследования. В абсолютном позиционировании курсора врач устанавливает прямоугольную область перемещения УТ на кадре верхним левым углом с координатами (x_1, y_1) и нижним правым углом с координатами (x_2, y_2) . Тогда координата $x_s(t)$ курсора на экране по оси абсцисс в момент времени t определяется формулой

$$x_s(t) = \begin{cases} 0, & x_m(t) \leq x_1 \\ \left[\frac{x_m(t) - x_1}{x_2 - x_1 + 1} N_s \right], & x_1 < x_m(t) < x_2 \\ N_s - 1, & x_m(t) \geq x_2 \end{cases}$$

где $x_m(t)$ – положение маркера по оси абсцисс в момент времени t ,
 x_1 – координаты левого края прямоугольника активной области,
 x_2 – координаты правого края прямоугольника активной области,
 N_s – количество пикселей монитора по оси абсцисс.

Аналогичной формулой рассчитывается положение курсора по оси ординат. Подобный способ позиционирования используется во многих исследованиях и программных продуктах, например в MLI. Mouse [8] и Camera Mouse [9]. В последнем указывается чувствительность к перемещению управляющей точки по каждой оси, таким образом задавая размер активной области. В работе [10] тоже предлагается перемещать курсор пропорционально перемещению маркера на видео, что может быть выполнено с помощью предложенной формулы. В работе [11] авторы использовали абсолютное позиционирование курсора, так как в случае медленной обработки кадров на устройстве получалось быстрее перемещать курсор в нужную область. В [12] авторы тоже используют абсолютное позиционирование, активная область совпадает со всем полем зрения камеры.

В [13] авторы использовали абсолютные перемещения курсора в зависимости от угла поворота головы. На рис.2.а показана схема абсолютного позиционирования курсора.

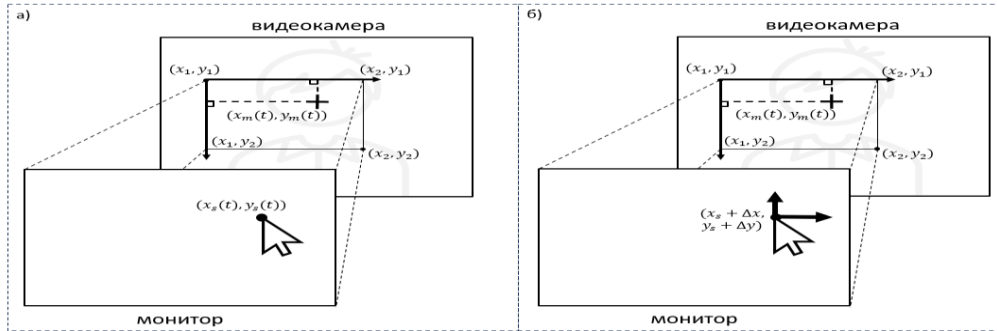


Рис. 2. а) Пример абсолютного управления. На рисунке пользователь задает координаты курсора мыши с помощью носа. б) Курсор мыши перемещается вверх направо на соответствующий сдвиг.

Fig. 2. a) An example of absolute control. In the figure, the user coordinates the mouse cursor using his nose. b) The mouse cursor moves up to the right by the corresponding shift.

Альтернативным вариантом управления координатами курсора является контроль сдвига курсора относительно координаты его положения на прошлом шаге (рис. 2.б). Например, при одномерном перемещении курсора по оси абсцисс новое положение рассчитывается по формуле

$$x_s(t) = x_s(t-1) + [\Delta x_s(t)],$$

где x_s – положение курсора на экране,

Δx_s – размер сдвига.

Например, сдвиг по оси абсцисс может быть рассчитан по формуле

$$\Delta x_s(t) = \begin{cases} -v, & x_m(t) \leq \theta_1, \\ 0, & \theta_1 < x_m(t) < \theta_2, \\ v, & x_m(t) \geq \theta_2, \end{cases}$$

где v – размер сдвига (скорость) передвижения курсора по оси абсцисс, целое число,

θ_1 – порог для движения влево,

θ_2 – порог для движения вправо.

Из минусов такого подхода можно отметить то, что если курсор двигается, то скорость передвижения остается константной вне зависимости от расстояния УТ от центральной точки. Поэтому, если скорость установлена высокая, то пользователю сложно остановиться в необходимой области, а если низкая – то пользователю необходимо много времени для перемещения курсора до нужной области.

Однако, в системе возможны и другие варианты установки зависимости для расчета сдвига, например, как в формуле

$$\Delta x_s(t) = \begin{cases} k(x_m(t) - \theta_1), & x_m(t) \leq \theta_1, \\ 0, & \theta_1 < x_m(t) < \theta_2, \\ k(x_m(t) - \theta_2), & x_m(t) \geq \theta_2, \end{cases}$$

где v_1 и v_2 – размер сдвига и скорость передвижения курсора по оси x^c ,

θ_1 – порог для движения влево,

θ_2 – порог для движения вправо,

k – коэффициент скорости перемещения курсора.

С этой формулой положения УТ от θ_1 до θ_2 не будут влиять на положение курсора, а благодаря линейной функции пользователь сможет перемещать курсор как на короткие расстояния благодаря маленькому сдвигу, так и на большие благодаря возрастающему по модулю значению шага в зависимости от расстояния до θ_1 или θ_2 .

Расчет сдвига позиции курсора тоже активно используется в управлении курсором с помощью компьютерного зрения. В работе [14] определяется направление головы для перемещения курсора с фиксированным по размеру сдвигом. В работах [15, 16] движение тоже происходит в одну из восьми сторон с фиксированным сдвигом. В [17] оценивают направление головы человека, и в зависимости от угла поворота перемещается курсор.

Обсуждение результатов. Итого, имея одинаковый способ расчета положения УТ, в системе могут быть реализованы разные способы позиционирования курсора компьютера, что и реализовано в системе MLI Mouse [8].

Исследования указывают, что при абсолютном позиционировании пользователь способен быстрее переместить курсор на нужную область, например, решать двумерную задачу взаимного постукивания. Кроме этого, такой способ позиционирования является понятным для пользователя, так как устанавливает позицию курсора «как есть», то есть при движении УТ вправо курсор тоже двигается направо, а при остановке передвижения УТ курсор тоже не двигается.

Однако стоит обратить внимание на то, что шумы в распознавании положения УТ сильно влияют на передвижение курсора, например, сдвиг в размере 5% от размера активной области создает сдвиг на 5% от размера экрана. Например, при ширине экрана 1920 это будет 96 пикселей, что слишком много, особенно с кликом с помощью ЛКМ при отсутствии перемещения курсора. В этом случае установка маленькой области для срабатывания нажатия сделает его маловероятным, а увеличение этой области увеличивает количество ложных нажатий.

К преимуществам расчета сдвига позиции курсора можно отнести низкие требования к точности способов определения координат УТ. Как пример, далее указаны случаи без использования компьютерного зрения, у которых количество значений управляющего сигнала для расчета значительно меньше количества пикселей по одной из осей экрана для абсолютного позиционирования курсора. Например, в работе [18] система определяла направление движения с помощью электропалатографии и перемещала курсор в эту сторону с постоянной скоростью. Похожим образом происходит перемещение курсора с помощью языка [19]. В программном обеспечении Vocal Joystick [20] курсор передвигается с помощью звуков, которые издает пользователь. Звуком пользователь устанавливает на направление для перемещения курсора.

Кроме того, на систему не так сильно влияют шумы. Во-первых, если положение УТ из-за ошибок в обнаружении изменяется в области, в которой не происходит движения, курсор в любом случае не двигается. Во-вторых, если курсор уже двигается в какую-то сторону, то незначительный шум может в худшем случае изменить скорость перемещения движения курсора, что не сильно заметно пользователю.

Вывод. Проведенное исследование свидетельствует о необходимости для систем управления указателя мыши с помощью компьютерного зрения в реализации обоих способов установки координат курсора компьютера, так как выбор лучшего подхода зависит от конкретной ситуации. В системах, основанной на управлении курсором с помощью трекирования управляющей точки, можно реализовать оба подхода.

Библиографический список:

1. Пересунько П.В. Обзор методов построения взаимодействия человек - компьютер в задаче управления курсором компьютера // Труды "НПЦАП". Системы и приборы управления. 2022. № 4(62). С. 26–39.
2. Будко Н.А., Медведев М.Ю., Будко А.Ю. Разработка и исследование метода векторного анализа ЭМГ предплечья для построения человеко-машинных интерфейсов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 18–31.
3. Khan M.M., Sherazi H.I., Quain R. Tongue-Supported Human-Computer Interaction systems: a review. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, USA, Chicago, 2014, pp. 1410–1415.

4. IntegraMouse Plus – the mouth controlled mouse. IntegraMouse Plus [сайт]. URL: <https://www.integramouse.com/en/home/> (дата обращения: 21.06.2024).
5. IntegraMouse Plus – the mouth controlled mouse. IntegraMouse Plus [сайт]. URL: <https://www.integramouse.com/en/home/> (дата обращения: 21.06.2024).
6. Rawlani S., Biyani P., Juneja S. Eye Tracking- An Extensive Evaluation of a Contemporary and Ingenious Technology. *International Journal of Computer Applications*, 2018, vol. 179, no. 54. pp. 5–11.
7. Zuniga R., Magee J. Camera Mouse: Dwell vs. Computer Vision-Based Intentional Click Activation // *Universal Access in Human–Computer Interaction. Designing Novel Interactions. UAHCI 2017. Lecture Notes in Computer Science* / Antona, M., Stephanidis, C. (eds). 2017. Vol. 10278. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58703-5_34
8. Peresunko P., Pleshkova E., Semizorova A., Kovalev I. MLI. Mouse: a new computer vision-based cursor control software // *V International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing (MIP: Computing-V-2022) : Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 25 January 2022. Krasnoyarsk : CEUR-WS, 2022. Vol. 3091. P. 60–65. DOI: 10.47813/dnit-mip5/2022-3091-60-65.*
9. Betke M., Gips J., Fleming P. The camera mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities // *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2002. Vol. 10 (1). P. 1–10. DOI: 10.1109/TNSRE.2002.1021581.
10. Varun K.S., Puneeth I., Jacob T. P. Virtual Mouse Implementation using Open CV // *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). Tirunelveli. India. 2019. P. 435–438. DOI: 10.1109/ICOEI.2019.8862764.*
11. Niyazi K., Kumar V., Mahe S., Vyawahare S. Mouse Simulation Using Two Coloured Tapes. *International Journal of Information Sciences and Techniques*, vol. 2, no. 2, pp. 57–63.
12. Park Hojoon. A Method for Controlling Mouse Movement using a Real-Time Camera. 2009. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:18232695> (дата обращения: 21.06.2024).
13. Nabati M., Behrad A. 3D Head pose estimation and camera mouse implementation using a monocular video camera. *Signal, Image and Video Processing*, 2015, vol. 9, pp. 39–44.
14. Song Y., Luo Y., Lin J. Detection of Movements of Head and Mouth to Provide Computer Access for Disabled // *2011 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence. Taiwan. 2011. P. 223–226.*
15. Khan F., Halim B., Rahman A. Computer Vision Based Mouse Control Using Object Detection and Marker Motion Tracking. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2020, vol. 9, iss. 5, pp. 35–45.
16. Salvi M., Kegade Sh., Shinde A., Tekwani B. Cursor manipulation with hand recognition using computer vision. *IT in Industry*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 1455–1456.
17. Fu Y., Huang T. S. hMouse: Head Tracking Driven Virtual Computer Mouse // *2007 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV '07. Austin. TX. USA. 2007. P. 30–30. DOI: 10.1109/WACV.2007.29.*
18. Reyes López, D. Design of an electromyographic mouse / D. Reyes López, C. Cifuentes López // *20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIVA) : сборник научных трудов. – Colombia, Bogota, 2015.*
19. Kim, J. Tongue-operated assistive technology with access to common smartphone applications via Bluetooth link / J. Kim, H. Park, M. Ghovanloo // *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: сборник научных трудов. – USA, San Diego, 2012.*
20. The Vocal Joystick: Evaluation of voice-based cursor control techniques for assistive technology / S. Harada [и др.] // *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. – 2008. – Т. 3, № 1. – С. 22–34.*

References:

1. Peresunko P.V. Review of techniques for developing human - computer interactions in the challenge of computer cursor control. *Products "NPTSAP". Systems and control devices*. 2022; 4(62): 26–39. (In Russ).
2. Budko H.A., Medvedev M.Y., Budko A.Y. Development and research of a method for vector analysis of forearm EMG for the construction of Human-Machine Interfaces. *News of the Southern Federal University. Technical science*. 2021;2:18–31 (In Russ).
3. Khan M.M., Sherazi H.I., Quain R. Tongue-Supported Human-Computer Interaction systems: a review. *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, USA, Chicago, 2014;1410–1415.*
4. IntegraMouse Plus – the mouth controlled mouse. IntegraMouse Plus [сайт]. URL: <https://www.integramouse.com/en/home/> (access date: 21/06/2024).
5. IntegraMouse Plus – the mouth controlled mouse. IntegraMouse Plus [сайт]. URL: <https://www.integramouse.com/en/home/> (access date: 21/06/2024).

6. Rawlani S., Biyani P., Juneja S. Eye Tracking- An Extensive Evaluation of a Contemporary and Ingenious Technology. *International Journal of Computer Applications*, 2018;179(54): 5–11.
7. Zuniga R., Magee J. Camera Mouse: Dwell vs. Computer Vision-Based Intentional Click Activation // Universal Access in Human–Computer Interaction. Designing Novel Interactions. UAHCI 2017. Lecture Notes in Computer Science. Antona, M., Stephanidis, C. (eds). 2017;10278. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58703-5_34
8. Автор, Pleshkova E., Semizorova A., Kovalev I. MLI. Mouse: a new computer vision-based cursor control software. *V International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing (MIP: Computing-V-2022)* : Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 25 January 2022. Krasnoyarsk : CEUR-WS, 2022; 3091: 60–65. DOI: 10.47813/dnit-mip5/2022-3091-60-65.
9. Betke M., Gips J., Fleming P. The camera mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2002; 10 (1): 1-10. DOI: 10.1109/TNSRE.2002.1021581.
10. Varun K.S., Puneeth I., Jacob T. P. Virtual Mouse Implementation using Open CV // 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). Tirunelveli. India. 2019; 435-438. DOI: 10.1109/ICOEI.2019.8862764.
11. Niyazi K., Kumar V., Mahe S., Vyawahare S. Mouse Simulation Using Two Coloured Tapes. *International Journal of Information Sciences and Techniques*, 2: 2: 57–63.
12. Park Hojoon. A Method for Controlling Mouse Movement using a Real-Time Camera. 2009. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:18232695> (access date: 21.06.2024).
13. Nabati M., Behrad A. 3D Head pose estimation and camera mouse implementation using a monocular video camera. *Signal, Image and Video Processing*, 2015; 9: 39–44.
14. Song Y., Luo Y., Lin J. Detection of Movements of Head and Mouth to Provide Computer Access for Disabled // 2011 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence. Taiwan. 2011;223–226.
15. Khan F., Halim B., Rahman A. Computer Vision Based Mouse Control Using Object Detection and Marker Motion Tracking. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2020; 9, (5):pp. 35–45.
16. Salvi M., Kegade Sh., Shinde A., Tekwani B. Cursor manipulation with hand recognition using computer vision. *IT in Industry*, 2021; 9(1):1455–1456.
17. Fu Y., Huang T. S. hMouse: Head Tracking Driven Virtual Computer Mouse // 2007 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV '07. Austin. TX. USA. 2007;30-30. DOI: 10.1109/WACV.2007.29.
18. Reyes López, D. Design of an electromyographic mouse / D. Reyes López, C. Cifuentes López // 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIWA) Colombia, Bogota, 2015.
19. Kim, J. Tongue-operated assistive technology with access to common smartphone applications via Bluetooth link / J. Kim, H. Park, M. Ghovanloo // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. – USA, San Diego, 2012.
20. The Vocal Joystick: Evaluation of voice-based cursor control techniques for assistive technology / S. Harada. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2008; 3(1): 22–34.

Сведения об авторе:

Пересунко Павел Викторович, старший преподаватель научно-учебной лаборатории программного обеспечения кафедры «Программная инженерия», Институт космических и информационных технологий; pvperesunko@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-3708-129X

Information about the author:

Pavel V. Peresunko, Senior Lecturer, Scientific and Educational laboratory of software, Department of Software Engineering, Institute of Space and Information Technologies; pvperesunko@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-3708-129X

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 22.06.2024.

Одобрена после рецензирования / Reviced 30. 07.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 10.10.2024.