

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9397/2023.2.08

УДК 004.354.3

А.В. КозинПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Российская Федерация**СЕНСОРНОЕ УСТРОЙСТВО ВВОДА ИНФОРМАЦИИ
НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Сенсорные экраны и панели являются неотъемлемой частью нашей жизни. Буквально везде происходит их активное внедрение на замену различным кнопочным, рычажным, вращательным устройствам управления. Однако не во всех случаях возможно применение существующих решений сенсорных экранов ввиду их хрупкости, недостаточной герметичности или же отсутствия вандалоустойчивости. **Цель исследования:** рассмотреть основные виды сенсорных устройств ввода информации, проанализировать их положительные и отрицательные стороны, а также предложить новое исполнение сенсорного экрана, обеспечивающего работоспособность в агрессивных условиях. **Методы:** с помощью программного обеспечения COMSOL 6.1 провести моделирование предлагаемой системы и эксперимент в реальных условиях с дальнейшим оценением результата посредством сравнения. **Результаты:** разработаны модель и экспериментальный образец сенсорного экрана, представляющего из себя металлическую монолитную конструкцию. Принцип работы предложенной системы ввода информации основан на регистрации акустических волн, создаваемых при касательном контакте пользователя с панелью. Такой принцип обусловлен тем, что при касании создается звуковая волна, распространяющаяся по поверхности материала, и достаточно нескольких микрофонов (в статье рассматривается ситуация с тремя микрофонами) для регистрации этой волны, а по полученным данным с микрофонов можно локализовать место контакта. **Практическая значимость:** результаты будут использованы для дальнейшего исследования локализации звуковой волны по поверхности твердого тела в ситуации с несколькими касаниями, а также в ситуации с возможными внешними воздействиями, такими как вибрация или отражение, и поиска более точных методов локализации источника звука в твердых поверхностях.

Ключевые слова: система ввода информации, сенсорный экран, взаимодействие человека и машины, звук, ударная волна, локализация.

A.V. Kozin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

SENSORY INFORMATION INPUT DEVICE BASED ON ACOUSTIC MEASURING DEVICES

Touch screens and panels are an integral part of our lives. Practically everywhere there are actively introduced to replace various push-button, lever-type, rotary control devices. However, not in all cases it is possible to use existing touch screen solutions due to their fragility, insufficient tightness or vandal resistance. **The purpose of the study:** to consider the main types of touch input devices, analyze their positive and negative sides, as well as to propose a new version of the touch screen that ensures performance in aggressive conditions. **Methods:** using the COMSOL 6.1 software to simulate the proposed system and conduct an experiment in real conditions with further evaluation of the result by means of equalization. **Results:** a model and an experimental sample of a touch screen, which is a metal monolithic structure, has been developed. The principle of operation of the proposed information input system is based on the registration of acoustic waves generated by tangential contact of the user with the panel. This principle is due to the fact that when touching, a sound wave is created that propagates over the surface of the material and it is believed that several microphones are enough (the article discusses the situation with three microphones) to register this wave, and according to the data obtained from the microphones, it is possible to localize the place of contact. **Practical significance:** the results will be used to further study the localization of the sound wave on the surface of a solid body in a situation with multiple touches, a situation with possible external influences, such as vibration or reflections, and to search for more accurate methods of localization of the sound source in solid surfaces.

Keywords: information input system, touch screen, human-machine interaction, sound, shock wave, localization.

Введение

Сенсорные экраны стали основным интерфейсом ввода информации для мобильных телефонов, планшетов, ПК общего назначения, терминалов и других устройств [1–4]. Постепенно заменяя более традиционные методы, такие как кнопки, компьютерные мыши и ввод с механической клавиатуры, сенсорные устройства стали все более активно применяться. Однако существуют агрессивные среды, например, запыленные или влажные помещения, улицы и неблагополучные районы. Большинство существующих решений исполнения устройств ввода информации, использующих сенсорный экран в таких условиях, являются дорогостоящими и требуют особого дизайна с использованием специальных материалов, что накладывает ограничения на универсальность и надежность [5, 6]. Предлагается система, основанная на локализации акустического контакта пользователя с панелью, в которой несколько микрофонов используются для регистрации звуковой волны, распространяющейся через материал поверхности. Достаточно

использовать несколько микрофонов [7–9], чтобы локализовать контакт с достаточной точностью, что делает систему дешевле, проще, надежнее и более универсальной.

1. Существующие технологии сенсорных экранов

В настоящее время существуют различные типы сенсорных экранов. Большинство из них используют одну из следующих технологий для определения точного места контакта с поверхностью экрана.

Принцип работы резистивного сенсорного экрана [10, 11] основан на подаче напряжения на резистивную матрицу и измерении сопротивления в точке касания экрана устройством ввода, ручкой или пальцем. Изменение диэлектрической проницаемости резистивного делителя указывает на точку касания на сенсорном экране.

Конструкция матричных сенсорных экранов [12, 13], которые иногда называют цифровыми, очень похожа на конструкцию резистивных. При касании экрана лицевая панель деформируется, а вертикальная полоса электродов касается горизонтальной. Пересечение считывает микропроцессор. Расположение всех электродов в плоскости известно, и поэтому пересечение замкнутых электродов однозначно определяет точку контакта экрана

У поверхностно-ёмкостных сенсорных экранов [13–15] как с матричным, так и с резистивным сенсорным экраном имеются два слоя из горизонтальных и вертикальных линий, однако в данном случае используются конденсаторы. Работу данного типа экранов можно сравнить с некоторым конденсатором, одной обкладкой которого является сам электрод, а другой – любой проводящий ток предмет, изменяющий емкость электродов.

Рассмотрим сенсорные экраны на поверхностно-акустических волнах [16, 17]. Специальный контроллер генерирует высокочастотный электрический сигнал и посылает его на пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП). ПЭП преобразуют этот сигнал в поверхностно акустические волны (ПАВ) и посылают их по поверхности. Отражающие датчики отражают эти волны и далее отраженные волны принимаются соответствующими датчиками и отправляются в ПЭП, которые, в свою очередь, принимают их и преобразуют в электрический сигнал, который затем анализируется контроллером. При касании экрана пальцем часть энергии акустических волн поглощается. Приемники фиксируют это изменение, а микроконтроллер вычисляет положение точки касания.

Работа инфракрасного (ИК) сенсорного экрана [18–20] заключается в том, что по его двум сторонам размещены LED-светодиоды, которые формируют невидимую сеть, по двум противоположным сторонам размещены фотоприемники. При контакте с экраном лучи преломляются и микроконтроллер фиксирует точку изменения, рассчитывая тем самым место касания.

В оптических экранах [18] принцип работы похож на работу ИК сенсорных экранов за исключением того, что в этом случае ИК-лучи распространяются непосредственно на границе стеклянной панели и воздушного пространства. При прикосновении к экрану лучи преломляются, и микроконтроллером фиксируется точка преломления света, соответствующая точке контакта с панелью.

Тензометрические сенсорные экраны [21] полностью аналогичны поверхностно-ёмкостным сенсорным экранам, реагируют на изменение формы экрана, однако получаемый результат точки контакта имеет меньшую точность чем поверхностно-ёмкостный аналог.

Сенсорные экраны DST [22] представляют собой тип устройств, использующий технологию дисперсионных волн. Контакт с экраном инициирует объёмные изгибные акустические колебания. В углах подложки находятся пьезоэлектрические преобразователи, трансформирующие энергию вибрации в электрические сигналы. По разности фаз, приходящих из углов колебаний, микроконтроллер определяет положение точки касания.

Сравнение методов и видов сенсорных экранов

Наименование	Резистивные	Матричные	Ёмкостные	ПАВ	ИК	Оптические	Тензометрические	DST	Индукционные
Распознавание любого касания	Да	Да	Только тела проводящие электричество	Только тела поглощающие акустические волны	Да	Да	Да	Да	Только специальное перо
Измерение силы нажатия	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Да	Нет	Да
Точность показаний	Высокая	Низкая	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Низкая	Высокая	Высокая
Срок жизни в млн нажатий	35	35	200	50	∞	∞	–	∞	∞
Защита от грязи и жидкостей	Да	Да	Да	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да
Устойчивость к вандализму	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет
Основное применение	Персональная электроника	Персональная электроника	Терминалы для помещений	Терминалы для помещений	Терминалы для помещений	Терминалы для помещений	Терминалы для улиц	Терминалы для помещений	Персональная электроника

В случае с индукционными сенсорными экранами [22] индукционная система в сенсорной панели производит возбуждение резонансного контура в наконечнике стилуса, а затем определяет координаты расположения контура стилуса относительно опорных точек возбуждающей индукционной системы панели.

Все перечисленные методы и технологии имеют некоторые недостатки, представленные в таблице.

2. Распространение звука в твердых телах и его возможная локализация

1. Распространение звуковой волны через твердый материал и локализация звука с использованием временной задержки.

Касание создает ударную волну, представляющую собой звуковую волну, которая распространяется по твердому материалу предлагаемой системы.

Скорость распространения звуковой волны $V_{\text{прод}}$ разная для каждого материала и рассчитывается по формуле [23]:

$$V_{\text{прод}} = \sqrt{\frac{k}{\sigma}} \cdot \sqrt{\frac{1-\sigma}{1+\sigma}} \cdot \frac{1}{2\sigma}, \quad (1)$$

где k – модуль Юнга, σ – коэффициент Пуассона.

Распространяясь по поверхности предлагаемой системы, звук обнаруживается микрофонами с разным временем, и эта временная задержка пропорциональна расстоянию от места удара до положения микрофона. Таким образом, расстояние до микрофона может быть рассчитано как:

$$d = t \cdot c, \quad (2)$$

где d – расстояние от микрофона до точки касания, t – время, за которое звук прошел расстояние от точки удара до микрофона, c – скорость звука в материале.

Используя расстояние от трех микрофонов, можно рассчитать точное расположение касания, как, например, показано на рис. 1.

2. Локализация звука через соотношение громкости.

Микрофоны, расположенные ближе к источнику звуковой волны, принимают звук не только раньше по времени. Эти микрофоны имеют меньшее пиковое значение амплитуды волны (громкость), чем микрофоны, расположенные дальше источника звука.

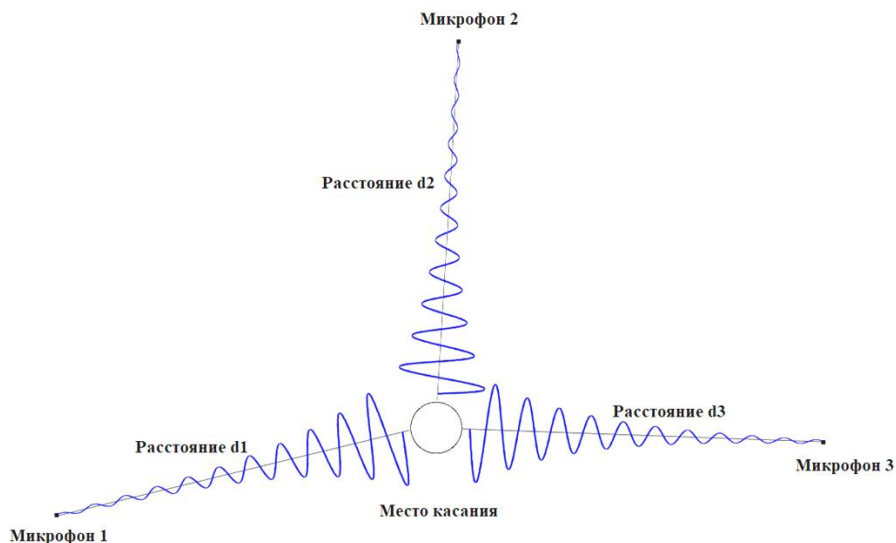


Рис. 1. Локализация акустического сигнала

3. Предлагаемый метод

Исходя из предыдущих исследований [24, 25], предлагается использовать три микрофона. При касательном контакте пользователя с устройством ввода информации образуется ударная волна, которая распространяется по поверхности сенсорной панели. Микрофоны, расположенные во внутренней части панели, регистрируют колебания, образованные от удара. Далее показания микрофонов передаются в микроконтроллер и там обрабатываются. Рассчитываются относительная временная задержка и относительная громкость.

Чтобы определить временную задержку между двумя сигналами и их громкость, используется функция взаимной корреляции, определяемая следующим образом [26]:

$$(f \cdot g)(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \overline{f(t)} \cdot g(t + \tau) dt, \quad (3)$$

где $f(t)$ и $g(t)$ – сигналы с микрофонов, $\overline{f(t)}$ – комплексное сопряжение $f(t)$, τ – смещение.

Временную задержку можно определить как момент времени t , в который функция взаимной корреляции принимает максимальное значение. Само значение пропорционально громкости каждого из сигналов. Затем, зная смещение между микрофонами, вычисляем среднее

смещение и относительную временную задержку, определённую как временную задержку на каждом микрофоне минус средняя задержка:

$$o_i = t_i - \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i, \quad (4)$$

где o_i – относительная временная задержка, t_i – временная задержка.

При постоянном первом сигнале значение пика функции взаимной корреляции пропорционально громкости второго сигнала. Используя это, вычисляются суммарная громкость и относительная громкость, определяемая как громкость на каждом микрофоне, поделенная на суммарную громкость:

$$V_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}, \quad (5)$$

где V_i – относительная громкость, a_i – громкость на каждом микрофоне.

Для сравнения между различными акустическими данными определяется вектор относительного смещения по времени: $o = [o_1, \dots, o_n]^T$ и вектор относительной громкости: $V = [V_1, \dots, V_n]^T$. Возможность использования предлагаемого метода будет рассмотрена на компьютерной модели в 4-й главе и экспериментальной модели в 5-м подразделе статьи.

4. Моделирование сенсорного акустического устройства ввода информации

Система представляет собой монолитную конструкцию с размерами: 200 мм в ширину, 300 мм в длину, 100 мм в высоту, внутренне полую, с толщиной стенок 30 мм, к внутренней части которой будут прикреплены три микрофона, как показано на рис. 2, где цифрами обозначены: микрофон 1, микрофон 2, микрофон 3 и место касания 4 соответственно.

При касательном контакте с акустической панелью образовывается ударная волна, распространяющаяся по поверхности, как показано на рис. 3. Касание произошло по координатам D (72; 142) относительно лицевой стороны панели, координаты микрофонов 1, 2, 3 – M₁ (48,75; 60), M₂ (48,75; 220), M₃ (146,25; 128) соответственно. Моделирование системы выполнено с помощью программы COMSOL 6.1 [27]. Задаваемые физические параметры модели показаны на рис. 4.

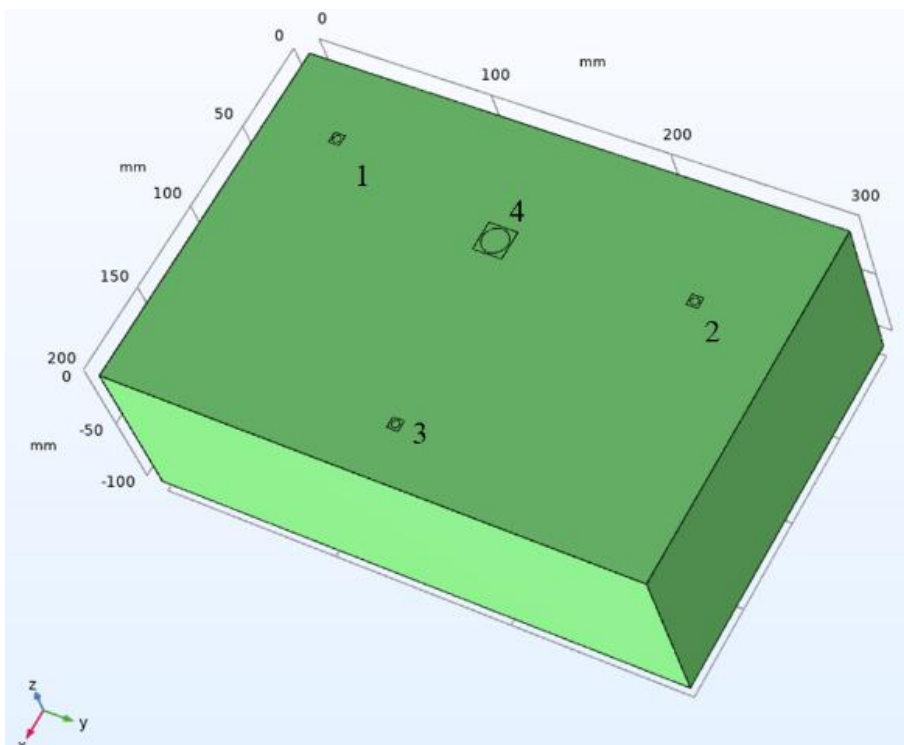


Рис. 2. Модель системы

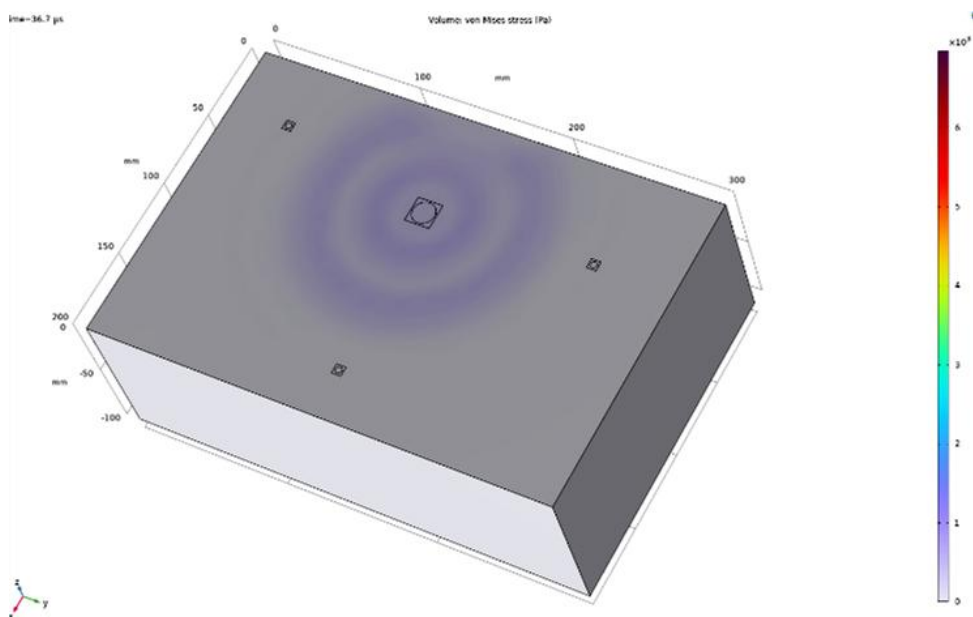


Рис. 3. Распространение звуковой волны по модели системы

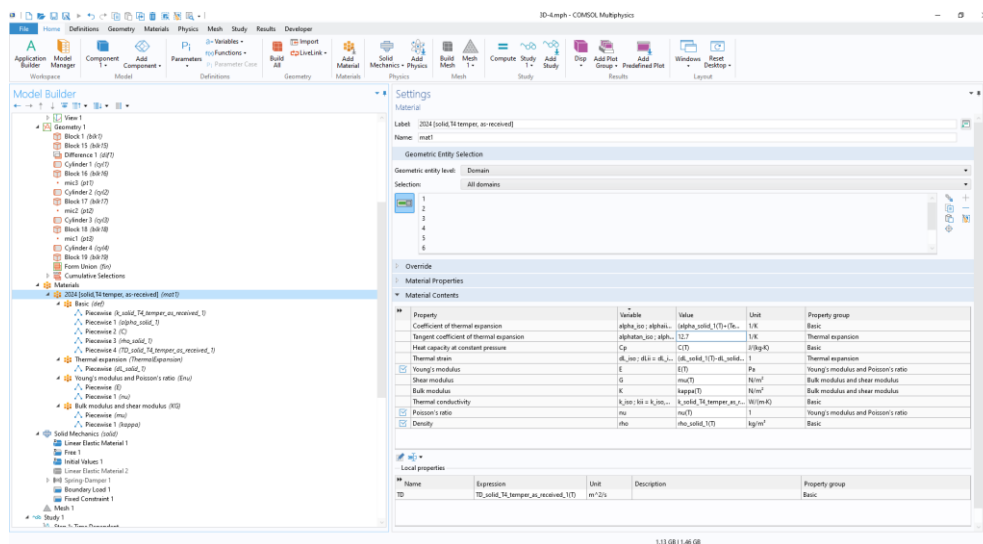


Рис. 4. Физические параметры системы

При моделировании использовались безэховая среда, одиночное касание по центру между тремя микрофонами. Для модели было принято, что время длительности касания $t_{\text{кас}} = 20$ мкс, а его пиковое значение происходило в момент времени $t_{\text{макс}} = 20$ мкс.

Микрофоны регистрируют колебания, вызванные звуковой волной с разным временем, что называется задержкой по времени, и разной амплитудой сигнала, что называется разницей по силе сигнала, графики которых можно увидеть на рис. 5.

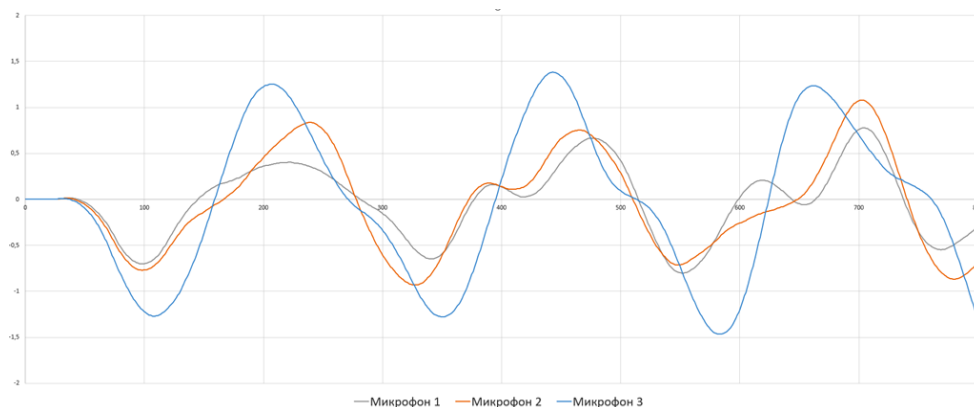


Рис. 5. Сигналы, зарегистрированные микрофонами 1, 2 и 3

На полученном графике нас интересует пиковое значение первой полуволны синусоиды, изображенное на рис. 6, так как последующие значения относятся к звуковой волне, отраженной от границ модели.

Регистрация максимального значения звуковой волны 1-м, 2-м и 3-м микрофоном произошла в момент времени $t_1 = 45$ мкс, $t_2 = 43,4$ мкс, $t_3 = 40,5$ мкс соответственно.

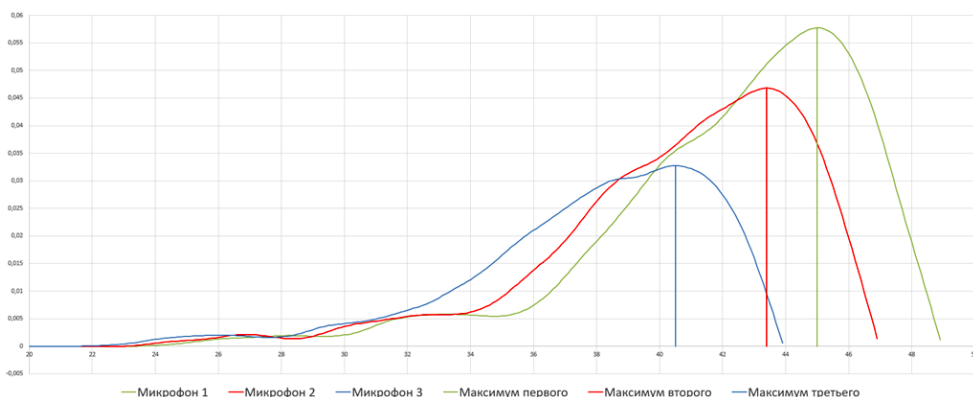


Рис. 6. Первая полуволна микрофонов 1, 2 и 3

Полученные результаты моделирования системы удовлетворяют расчетным значениям, что подтверждает теорию о возможности использования предлагаемого метода для сенсорного устройства ввода информации.

5. Экспериментальная модель системы

Для проверки возможности реализации системы на практике был проведен эксперимент. При эксперименте использовалось одиночное касание по центру между тремя микрофонами. Для экспериментальной модели была выбрана алюминиевая коробочка габаритами: 200 мм в ширину, 300 мм в длину, 70 мм в высоту, внутренне полая, с толщиной стенок 30 мм, к внутренней части которой прикреплены с помощью специального воска 3 микрофона. Координаты микрофонов и касания полностью соответствуют модели, примерная длительность касания $t_{\text{кас}} = 85$ мс, а его пиковое значение происходило в момент времени $t_{\text{макс}} = 900$ мкс.

Касание производилось по координате D (72;142) относительно лицевой стороны панели, с примерной длительностью $t_{\text{кас}} = 85$ мс. Координаты микрофонов 1, 2, 3 в соответствии с панелью – M1(48,75;60), M2(48,75;220), M3(146,25;128) соответственно. Полученные графики можно увидеть на рис. 7.

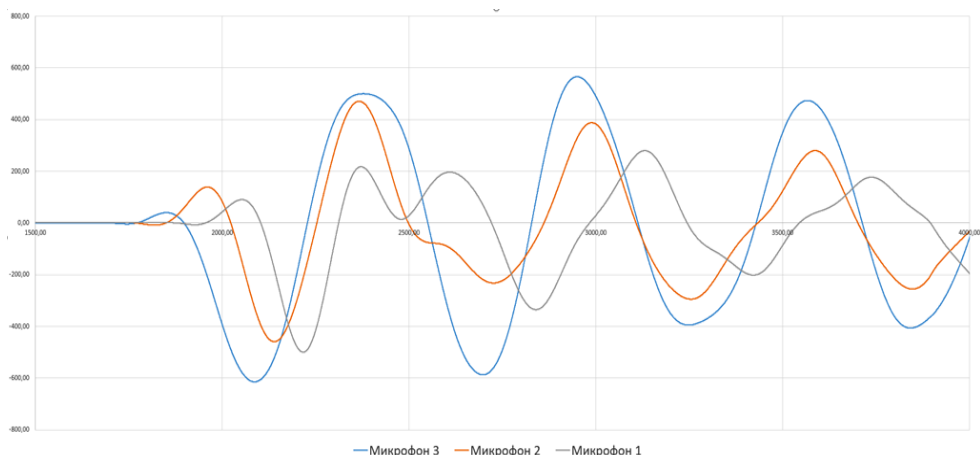


Рис. 7. Сигналы, зарегистрированные микрофонами 1, 2 и 3

На полученном графике нас интересует пиковое значение первой полуволны синусоиды, так как последующие значения относятся к волне, отраженной от стенок экспериментальной модели. На рис. 8 можно увидеть, что 3-й микрофон первым регистрирует звуковую волну, следующим микрофоном, который регистрирует звуковую волну, является микрофон 2, микрофон 1 последним регистрирует звуковую волну. Временная задержка между 3-м и 2-м микрофоном $t_{31}=109,4$, временная задержка между 3-м и 1-м микрофоном $t_{3-1}=201,6$.

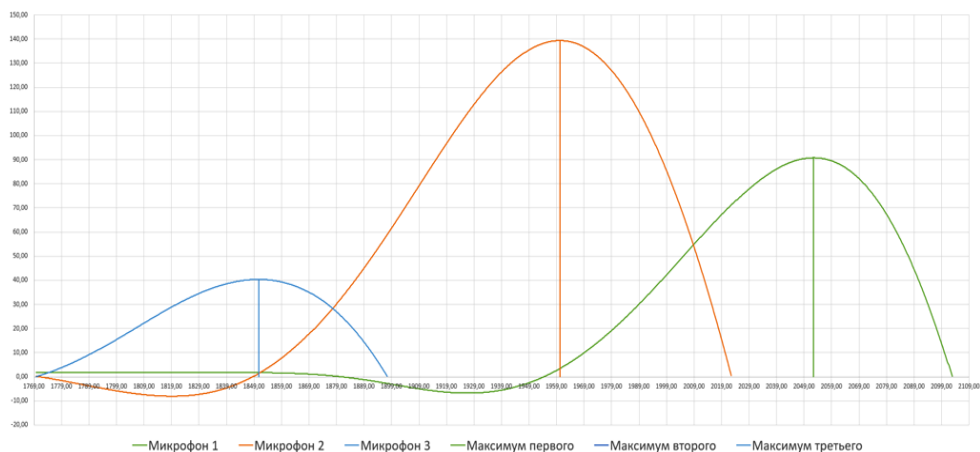


Рис. 8. Первая полуволна синусоиды, зарегистрированная микрофонами

Полученные результаты при эксперименте в реальных условиях удовлетворяют расчетным значениям и результатам моделирования. Наличие небольшой расходимости результатов можно объяснить сле-

дующим образом: при эксперименте микрофоны были закреплены на специальный воск, который увеличивал коэффициент задержки передачи волны; материалы, использующиеся при моделировании и эксперименте, различались (в реальных условиях добиться идеального материала, как при моделировании, практически невозможно); погрешность оборудования различалась: при моделировании данные с микрофонов высчитывались математически, в реальных условиях данные с микрофонов имели потери и наводку на проводах при передаче сигналов.

Заключение

В статье рассмотрены существующие системы и методы сенсорных экранов и выделены их положительные и отрицательные стороны. Опираясь на условия долговечности, вандалоустойчивости и точности, была предложена новая система устройства ввода информации. Предлагаемая система основывается на вводе информации при касательном контакте и распространении акустических волн по поверхности системы, следующих после касания. Рассмотрен ее теоретический аспект, проведено моделирование работы системы и сравнение полученных данных с экспериментальными.

Полученные результаты компьютерной и экспериментальной модели удовлетворяют расчетным и моделируемым значениям. Дальнейшая работа заключается в рассмотрении ситуации с несколькими касаниями, ситуации с возможными внешними воздействиями и в поиске более точных методов локализации источника звука в твердых поверхностях.

Библиографический список

1. Evaluation of executive functions of children with down syndrome and zika virus using touch screen device: Cognitive evaluation of toddlers by touch-screen / De Oliveira Braga Filho M. [et al.] // 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). – IEEE, 2020. – P. 379–386. DOI: 10.1109/CogInfoCom50765.2020.923791
2. Singh G. Touch screen driving: A novel and efficient design for automation // 2014 World Automation Congress (WAC). – IEEE, 2014. – P. 634–638. DOI: 10.1109/WAC.2014.6936074
3. Avutu S.R., Bhatia D., Reddy B.V. Design of touch screen based robot with obstacle detection module for autonomous path navigation //

TENCON 2017-2017 IEEE Region 10 Conference. – IEEE, 2017. – P. 2127–2131. DOI: 10.1109/TENCON.2017.8228212

4. Turn any display into a touch screen using infrared optical technique / J.R. Liang [et al.] // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 13033–13040. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2812756

5. Белых С. Zypos-проеекционно-емкостные сенсорные экраны для вандалоустойчивых платежных терминалов // Компоненты и технологии. – 2011. – № 8 (121). – С. 17–19.

6. Жданкин В. Плоскопанельные жидкокристаллические дисплеи повышенной яркости // Современные технологии автоматизации. – 2004. – № 2. – С. 6–18.

7. Benesty J., Chen J., Huang Y. Microphone Array Signal Processing. – Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008. – Vol. 1. – С. 245.

8. Алдошина И.А. Амбисоник – трехмерная система пространственного звука // Шоу-Мастер. – 2005. – № 3. – С. 1–10.

9. Мокрецов А. В. Погрешность определения угла местоположения источника звука микрофонной системой с алгоритмом пространственно-временной обработки сигнала // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 21. – № 3. – С. 52–54.

10. Гаврилюк С. Советы по контроллерам сенсорных экранов // Компоненты и технологии. – 2004. – № 37. – С. 60–65.

11. Штрапенин Г., Мишан М. Интегральные контроллеры сенсорных экранов Texas Instruments // Компоненты и технологии. – 2007. – № 74. – С. 64–68.

12. Самарин А. Современные технологии Multi-touch сенсорных экранов // Компоненты и технологии. – 2008. – № 79. – С. 99–106.

13. Глотова И.Ю. Сенсорные экраны // Актуальные проблемы энергетики. – 2017. – С. 857–862.

14. Cannon B., Brennan C. Electrostatic simulation methodology for capacitive touch-screen panels // 25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/CICT 2014). – IET, 2014. – P. 216–220. DOI: 10.1049/cp.2014.0688

15. Sparse touch sensing for capacitive touch screens / C. Luo [et al.] // 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2012. – P. 2545–2548. DOI: 10.1109/ICASSP.2012.6288435

16. Рябов А.Р. Экран на поверхностно-акустических волнах // Материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов

и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, 2017. – Т. 1. – С. 145–146.

17. Touchscreen based on acoustic pulse recognition with piezoelectric polymer sensors / S. Reis [et al.] // 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. – IEEE, 2010. – P. 516–520. DOI: 10.1109/ISIE.2010.5637672

18. Подмарева Е.В., Бычкова М.Ю., Шарунова О.М. Технологии изготовления сенсорных экранов интерактивных столов // Робототехника и системный анализ: создание и исследование информационных моделей. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2016. – Т. 2. – С. 53–60.

19. Research on infrared signal processing circuit of large size infrared touch screen with interference rejection / Y. Liu [et al.] // 2020 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC). – IEEE, 2020. – P. 1–5. DOI: 10.1109/ICSPCC50002.2020.9259547

20. Varshney S., Jain N., Singh S. SmartTouch: A cost-effective infrared based imaging touch screen // 2013 Sixth International Conference on Contemporary Computing (IC3). – IEEE, 2013. – P. 219–224. DOI: 10.1109/IC3.2013.6612194

21. Сенсорный экран [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сенсорный_экран#Тензометрические_сенсорные_экраны (дата обращения: 06.03.2023).

22. Сенсорный экран: метод. указания к лаборатор. работе по дисциплинам «Документ. службы и термин. устройства телекоммуникаций» и «Термин. устройства мультимедиа» для студентов специальностей 1-45 01 03 «Сети телекоммуникаций», 1-45 01 05 «Системы распределения мультимедиа. информации» всех форм обучения / сост. И.И. Сиротко, П.А. Шпунгин. – Минск: Изд-во Белорусского гос. ун-та информатики и радиоэлектроники, 2011. – 24 с.

23. Скорость звука в твердых материалах [Электронный ресурс]. URL: <http://weldworld.ru/theory/summary/skorost-zvuka/skorost-zvuka-v-tverdyh-materialah.html> (дата обращения: 06.03.23).

24. Contact Spot on a Display Surface / A. Kozin [et al.] // 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – IEEE, 2022. – P. 349–351. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755516

25. Iakubchik I., Iakubchik A., Nakamura Y. Acoustic determination of contact on the exterior surface of the robot // 2021 IEEE Conference of Russian

Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – IEEE, 2021. – P. 387–389. DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396486

26. Ершов Р.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Вычислительно-эффективный алгоритм оценки временной задержки широкополосных сигналов // Известия Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2014. – Т. 16. – № 4–2. – С. 384–387.

27 Акустика – Численные акустические и вибрационные расчёты различных устройств и систем [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comsol.ru/acoustics-module> (дата обращения: 06.03.2023).

References

1. De Oliveira Braga Filho M. et al. Evaluation of executive functions of children with down syndrome and zika virus using touch screen device: Cognitive evaluation of toddlers by touch-screen. *11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. IEEE, 2020, pp. 379-386. DOI: 10.1109/CogInfoCom50765.2020.923791

2. Singh G. Touch screen driving: A novel and efficient design for automation. *2014 World Automation Congress (WAC)*. IEEE, 2014, pp. 634-638. DOI: 10.1109/WAC.2014.6936074

3. Avutu S.R., Bhatia D., Reddy B.V. Design of touch screen based robot with obstacle detection module for autonomous path navigation. *TENCON 2017-2017 IEEE Region 10 Conference*. IEEE, 2017, pp. 2127-2131. DOI: 10.1109/TENCON.2017.8228212

4. Liang J.R. et al. Turn any display into a touch screen using infrared optical technique. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 13033-13040. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2812756

5. Belykh S. Zypos-proektsionno-emkostnye censorednyye ekrany dlia vandaloustoichivnykh platelynykh terminalov [Zypos-projection-capacitive touchscreens for vandal-proof payment terminals]. *Komponenty i tekhnologii*, 2011, no. 8 (121), pp. 17-19.

6. Zhdankin V. Ploskopanel'nye zhidkokristallicheskie displei povyshennoi iarkosti [Flat-panel liquid crystal displays of increased brightness]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii*, 2004, no. 2, pp. 6-18.

7. Benesty J., Chen J., Huang Y. *Microphone Array Signal Processing*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008, vol. 1, 245 p.

8. Aldoshina I.A. Ambisonik - trekhmernaya sistema prostranstvennogo zvuka [Ambisonik - three-dimensional system of spatial sound]. *Shou-Master*, 2005, no. 3, pp. 1-10.

9. Mokretsov A. V. Pogreshnost' opredeleniia ugla mestopolozheniia istochnika zvuka mikrofonnoi sistemoi s algoritmom prostranstvenno-vremennoi obrabotki signala [Error in determining the angle of the sound source location by a microphone system with a spatio-temporal signal processing algorithm]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 52-54.
10. Gavriliuk S. Sovety po kontrolleram sensorykh ekranov [Tips on touch screen controllers]. *Komponenty i tekhnologii*, 2004, no. 37, pp. 60-65.
11. Shtrapenin G., Mishan M. Integral'nye kontrollery sensorykh ekranov Texas Instruments [Integrated touch screen controllers Texas Instruments]. *Komponenty i tekhnologii*, 2007, no. 74, pp. 64-68.
12. Samarin A. Sovremennye tekhnologii Multi-touch sensorykh ekranov [Modern technologies of Multi-touch touch screens]. *Komponenty i tekhnologii*, 2008, no. 79, pp. 99-106.
13. Glotova I.Iu. Sensornye ekrany [Touch screens]. *Aktual'nye problemy energetiki*, 2017, pp. 857-862.
14. Cannon B., Brennan C. Electrostatic simulation methodology for capacitive touch-screen panels. *25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/CICT 2014)*. IET, 2014, pp. 216-220. DOI: 10.1049/cp.2014.0688
15. Luo C. et al. Sparse touch sensing for capacitive touch screens. *2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2012, pp. 2545-2548. DOI: 10.1109/ICASSP.2012.6288435
16. Riabov A.R. Ekran na poverkhnostno-akusticheskikh volnakh [Screen on surface acoustic waves]. *Materialy XIII Vserossiiskoi. nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme "Umnik"*. Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, 2017, vol. 1, pp. 145-146.
17. Reis S. et al. Touchscreen based on acoustic pulse recognition with piezoelectric polymer sensors. *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. IEEE, 2010, pp. 516-520. DOI: 10.1109/ISIE.2010.5637672
18. Podmareva E.V., Bychkova M.Iu., Sharunova O.M. Tekhnologii izgotovleniia sensorykh ekranov interaktivnykh stolov [Technologies for manufacturing touch screens of interactive tables]. *Robototekhnika i sistemnyi analiz: sozдание i issledovanie informatsionnykh modelei*. Penza: Penzenskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 2016, vol. 2, pp. 53-60.

19. Liu Y. et al. Research on infrared signal processing circuit of large size infrared touch screen with interference rejection. *2020 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)*. IEEE, 2020, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICSPCC50002.2020.9259547

20. Varshney S., Jain N., Singh S. SmartTouch: A cost-effective infrared based imaging touch screen. *2013 Sixth International Conference on Contemporary Computing (IC3)*. IEEE, 2013, pp. 219-224. DOI: 10.1109/IC3.2013.6612194

21. Sensornyi ekran [Touch screen], available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сенсорный_экран#Тензометрические_сенсорные_экраны (accessed 06 March 2023).

22. Sirotko I.I., Shpungin P.A. Sensornyi ekran: metodicheskie ukazaniia k laboratornoi rabote po distsiplinam “Dokument. sluzhby i termin. ustroistva telekommunikatsii” i “Termin. ustroistva mul'timedia” dlia studentov spetsial'nostei 1-45 01 03 “Seti telekommunikatsii”, 1-45 01 05 “Sistemy raspredeleniia mul'timedia. Informatsii” vsexh form obucheniia [Sirotko I.I., Shpungin P.A. Touch screen: guidelines for laboratory work in the disciplines “Document. services and term. telecommunications devices” and “Term. multimedia devices” for students of specialties 1-45 01 03 “Telecommunications networks”, 1-45 01 05 “Multimedia distribution systems. Information” of all forms of education]. Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet informatiki i radioelektroniki, 2011, 24 p.

23. Skorost' zvuka v tverdykh materialakh [The speed of sound in solid materials], available at: <http://weldworld.ru/theory/summary/skorost-zvuka/skorost-zvuka-v-tverdyh-materialah.html> (accessed 06 March 23).

24. Kozin A. et al. Contact Spot on a Display Surface. *2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*. IEEE, 2022, pp. 349-351. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755516

25. Iakubchik I., Iakubchik A., Nakamura Y. Acoustic determination of contact on the exterior surface of the robot. *2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*. IEEE, 2021, pp. 387-389. DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396486

26. Ershov R.A., Morozov O.A., Fidel'man V.R. Vychislitel'no-effektivnyi algoritm otsenki vremennoi zaderzhki shirokopolosnykh signalov [Computationally efficient algorithm for estimating the time delay

of broadband signals]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 4-2, pp. 384-387.

27 Akustika - Chislennye akusticheskie i vibratsionnye raschety razlichnykh ustroystv i sistem [Acoustics - Numerical acoustic and vibration calculations of various devices and systems], available at: <https://www.comsol.ru/acoustics-module> (accessed 06 March 2023).

Сведения об авторе

Козин Алексей Владимирович (Пермь, Российская Федерация) – аспирант, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kozin.at16@gmail.com).

About the author

Aleksej V. Kozin (Perm, Russian Federation) – Graduate Student, Assistant Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: kozin.at16@gmail.com).

Поступила: 24.04.2023. Одобрена: 19.05.2023. Принята к публикации: 01.09.2023.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта «Умник-ИИ 2021».

Конфликт интересов по отношению к статье отсутствует.

Вклад авторов. Публикация полностью подготовлена одним автором.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:
Козин, А.В. Сенсорное устройство ввода информации на основе акустических измерительных устройств / А.В. Козин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 46. – С. 178–195. DOI: 10.15593/2224-9397/2023.2.08

Please cite this article in English as:

Kozin A.V. Sensory information input device based on acoustic measuring devices. *Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Electrotechnics, information technologies, control systems*, 2023, no. 46, pp. 178-195. DOI: 10.15593/2224-9397/2023.2.08