

International Culture & Technology Studies

online multimedia journal

Культура и технологии

электронный мультимедийный журнал

Journal Homepage: <http://cat.ifmo.ru>

ISSN 2587-800X

Адрес статьи / To link this article: <http://cat.itmo.ru/ru/2021/v6-i4/316>

Сравнение точности определения пользователем вибрационных сигналов при изменении их резкости и интенсивности

И.Р. Никитенко, А.В. Лавров, А.Ф. Джумагулова

Университет ИТМО, Россия

nikotheflow@yandex.ru, lavrov@itmo.ru, afdjumagulova@itmo.ru

Аннотация. Целью исследования является выявление параметров вибрационных сигналов мобильных устройств, изменение которых наилучшим образом влияет на точность их определения пользователем. Научная новизна заключается в комплексном подходе, включающем в себя изучение природы тактильной обратной связи, анализ структуры вибрационных сигналов, воспроизведящихся с помощью наиболее современных на данный момент типов вибромоторов, создание собственных наборов вибрационных шаблонов, а также проектировании приложения на языке программирования Swift для мобильных устройств под управлением операционной системы iOS с целью проведения серии экспериментов. Было сформулировано две гипотезы, проверки которых были осуществлены с помощью теста знаков. При проведении экспериментов учитывался эффект последовательности, а при расчёте необходимых параметров применялась поправка на множественную проверку гипотез с помощью метода Холма-Бонферони. В результате исследования, в котором суммарно приняло участие 44 респондента, было определено, что для достижения наиболее высокой точности определения вибрационных сигналов пользователем, как для кратковременных, так и для непрерывных сигналов, эффективнее изменять значения интенсивности сигналов, чем резкости.

Ключевые слова: человеко-компьютерное взаимодействие, тактильный отклик, тактильная обратная связь, вибрационный сигнал, вибрационный шаблон, вибрация, вибромотор, осязание, резкость, интенсивность

Введение

Большинство воспринимаемой информации человек получает через органы зрения. Взаимодействие с мобильными устройствами не является исключением — для получения той или иной информации мы смотрим, например, на дисплей смартфона или часов. Но чтобы повысить эффективность взаимодействия с техникой, используются также другие способы восприятия информации, например, осязание. Для этого во многих устройствах используются вибрационные модули для создания тактильной обратной связи. С точки зрения пользовательского опыта и проектирования интерфейсов сфера тактильных ощущений является одной из самых быстрорастущих, но при этом малоизученных по сравнению с другими способами реализации обратной связи. Поскольку в нашу повседневную жизнь все больше входит взаимодействие с

мобильными устройствами, то, какую обратную связь мы получаем, становится все более важным для изучения.

Целью работы является исследование влияния параметров вибрационных сигналов в мобильных устройствах на эффективность человеко-компьютерного взаимодействия и выявление тех из них, изменение которых наиболее точно распознаёт пользователь. В рамках работы подробно рассматривается структура сигналов, которая включает в себя интенсивность, резкость, количество и продолжительность отдельных импульсов, в совокупности образующих единый вибрационный шаблон.

Актуальность исследования обуславливается тем, что большинство людей с ОВЗ (ограниченными возможностями здоровья) в повседневной жизни пользуется смартфонами и другими мобильными устройствами. Вибrotактильная обратная связь позволяет лучше адаптировать мобильные устройства для людей с нарушениями слуха, зрения и передвижения. Существует значительное число исследований, посвященных тактильному отклику, вибрационным сигналам и влиянию их присутствия на пользовательский опыт [1–5].

Среди поставленных нами задач основными стали ознакомление с существующими технологическими решениями и возможностями вибромоторов мобильных устройств, проектирование приложения для мобильной операционной системы iOS на языке программирования Swift, создание собственных наборов вибрационных сигналов, проведение ряда экспериментов на выборке респондентов достаточного объема с учетом эффекта последовательности, формулировка двух основных гипотез, а также их проверка при помощи теста знаков с применением поправки на множественную проверку гипотез с помощью метода Холма-Бонферрони.

1. Общие положения и определения

Технология тактильной обратной связи (англоязычный термин *haptics*) может быть описана множеством определений. Обобщая наиболее распространенные из них, можно сформулировать следующее краткое определение: тактильная обратная связь — это передача своевременной и полезной информации, получаемой с помощью чувств осязания. В рамках работы исследуется передача тактильных сигналов в форме вибрационного отклика, реализуемого в мобильных устройствах с помощью вибромоторов.

1.1. Типы вибромоторов

Вибромотор в технических устройствах является тем компонентом, который создает вибрационный отклик. На сегодняшний день основными являются два типа вибромоторов — вращающийся с эксцентриком (ERM) и линейный (LRA) [6].

Вибромотор с эксцентриком может быть представлен в виде вала и насыженного на него эксцентрика со смещенной массой (диска или сектора диска), либо вращающегося внутри круглого корпуса эксцентрика. Примеры таких вибромоторов приведены на рисунке 1.

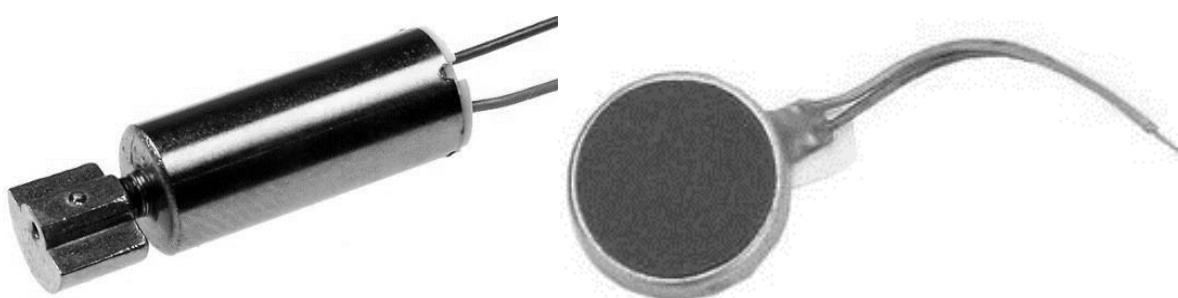


Рис. 1. Вибромоторы с эксцентриком

Вибрация создается за счет возникающего от вращения эксцентрика дисбаланса и передается на корпус устройства, в котором установлен компонент. Преимуществами такого

вибромотора являются низкая цена, легкость управления и высокая сила вибрации. Также для его работы необходим постоянный ток, что позволяет питать моторчик от аккумулятора без необходимости преобразования его в переменный ток. Главные недостатки такого вибромотора — бесконтрольное «дребезжание» устройства и невозможность создания сложных эффектов вибрации (например, имитации прокручивания механического барабана или переключения тумблера). Также эксцентрик не может раскрутиться моментально, из-за чего для набора ощущимой силы вибрации уходит до 200 миллисекунд [7], что в некоторых случаях может оказаться слишком большим. Вследствие этого, также невозможно имитировать короткий, но сильный «толчок».

В корпусе линейных вибромоторов в одной плоскости движется некоторая масса (в виде тяжелой пластинки или цилиндра). С каждой стороны движущегося элемента находятся пружинки, а движение вызывается катушкой, при подаче тока на которую она выступает в роли магнита и перемещает элемент. В качестве примера такого вибромотора на рисунке 2 приведен модуль от компании Apple — Taptic Engine [8].



Рис. 2. Линейный вибромотор Apple Taptic Engine

Линейные вибромоторы также могут быть разных типов. В упомянутом ранее Taptic Engine используется технология X-axis [7]. В этом случае вибромотор расположен по всей ширине корпуса устройства, а движущийся элемент передвигается влево-вправо, что позволяет ощутить одинаковую вибрацию вне зависимости от способа удерживания устройства. В вибромоторах с технологией Z-axis (Y-axis) [7] движение происходит не вдоль экрана, а в его сторону и обратно, из-за чего вибрация в разных частях устройства и при разных способах его удержания может ощущаться по-разному. Они также обладают меньшим размером, а, следовательно, и меньшей мощностью вибрации, в сравнении с компонентами X-axis типа.

Из преимуществ линейных вибромоторов стоит выделить моментальную реакцию — время достижения максимальной силы вибрации составляет менее 50 миллисекунд [7], а также они позволяют контролировать время работы и силы, что, в свою очередь, дает возможность реализовывать разнообразные тактильные эффекты.

1.2. Структура вибрационных сигналов

В мобильной операционной системе iOS версии 13 и выше для создания тактильных шаблонов используется специальный фреймворк — Core Haptics [9]. Он дает возможность добавлять в приложение собственные индивидуальные тактильные отклики, позволяя расширить функциональность и, путем комбинации и совмещения различных сигналов, выйти за пределы системных шаблонов.

Так, имеется два основных строительных блока — два типа сигналов. Это краткосрочный — короткий, почти мгновенный импульс, ощущаемый как касание или постукивание, а также непрерывный, который может продолжаться длительное время и ощущается как устойчивое воздействие [10].

Вибрационный шаблон представляет из себя последовательность сигналов с определенными значениями параметров. Основные из них — резкость и интенсивность, каждая из которых может принимать значение от 0 до 1, а также продолжительность сигнала в секундах,

которая может быть установлена только для непрерывного сигнала. Соответствующее значение резкости помогает передать пользователю ощущение мягкости, округлости и органичности или же четкости, точности и механичности. Интенсивность позволяет управлять силой тактильного сигнала. Визуализация этих параметров приведена на рисунке 3.

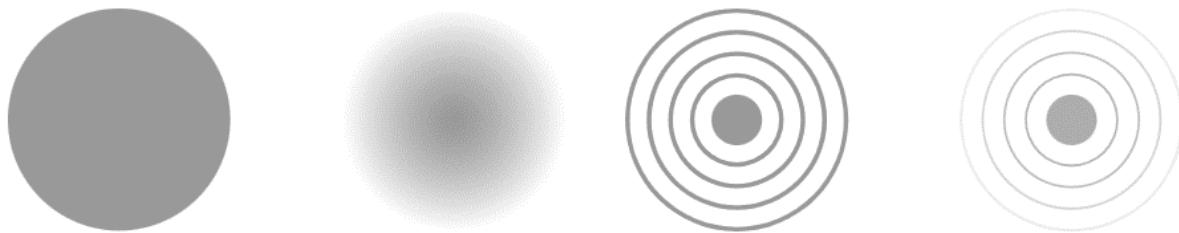


Рис. 3. Визуализация резкости (слева) и интенсивности (справа) вибрационного сигнала.

Возможность изменения перечисленных параметров и составления сигналов в определенном порядке для создания цельного вибрационного шаблона является ключевой для проведения исследования.

2. Планирование дизайна эксперимента и проектирование приложения

Для проведения исследования было принято решение спроектировать приложение для мобильной операционной системы iOS, в котором была бы осуществлена возможность воспроизведения самостоятельно созданных вибрационных сигналов. Таким образом, было разработано четыре набора по десять шаблонов в каждом, отличающиеся между собой значением одной из изучаемых характеристик. Параметры полученных наборов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры наборов вибрационных шаблонов

	Набор 1 «Резкость (кратковременный)»	Набор 2 «Резкость (непрерывный)»	Набор 3 «Интенсивность (кратковременный)»	Набор 4 «Интенсивность (непрерывный)»
Количество шаблонов в наборе	10 шаблонов			
Количество сигналов в шаблоне	3 сигнала			
Продолжительность сигнала	-		100 миллисекунд	
Тип сигнала	Кратковременный		Непрерывный	
Интенсивность сигнала	Однакова у всех шаблонов и равна 1	Принимает значения от 0,1 до 1 с шагом 0,1 (0,1 у первого шаблона, 0,2 у второго и т.д.)	Однакова у всех шаблонов и равна 1	Принимает значения от 0,1 до 1 с шагом 0,1 (0,1 у первого шаблона, 0,2 у второго и т.д.)
Резкость сигнала	Принимает значения от 0,1 до 1 с шагом 0,1 (0,1 у первого шаблона, 0,2 у второго и т.д.)	Однакова у всех шаблонов и равна 1	Принимает значения от 0,1 до 1 с шагом 0,1 (0,1 у первого шаблона, 0,2 у второго и т.д.)	Однакова у всех шаблонов и равна 1

Визуализации шаблонов из каждого набора представлены на рисунках 4–7 (для примера взят четвертый шаблон). Верхний график отображает значение интенсивности, нижний — значение резкости по оси ординат. Ось абсцисс на обоих графиках — время в секундах.

Интерфейс главного экрана разработанного приложения приведен на рисунке 8. При запуске приложения активируется ознакомительный режим, в котором пользователю предлагается протестировать основные методы взаимодействия — воспроизведение и перетаскивание

вибрационных шаблонов. Имеется возможность выбора одного из четырех наборов для отображения, перемешивания шаблонов, а также отображения текущего их расположения в формате последовательности чисел от 1 до 10 (где корректное расположение по возрастанию представляет собой строку «1 2 3 4 5 6 7 8 9 10»).



Рис. 4. Визуализация четвертого шаблона из первого набора (кратковременный сигнал, резкость — 0,4, интенсивность — 1)



Рис. 5. Визуализация четвертого шаблона из второго набора (кратковременный сигнал, резкость — 1, интенсивность — 0,4)

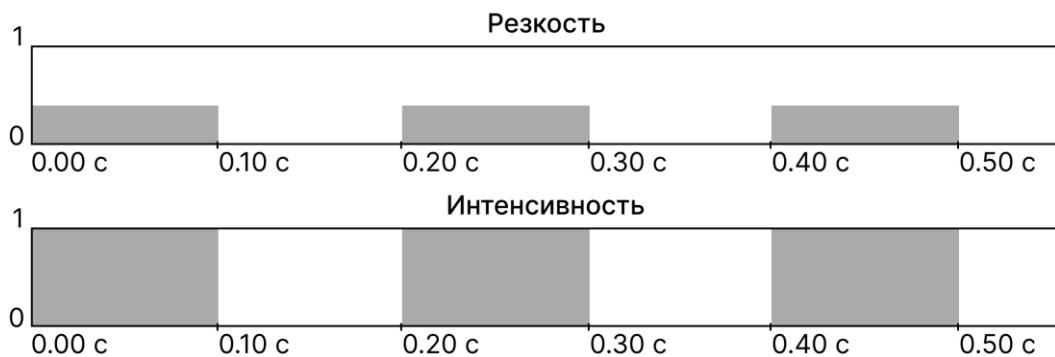


Рис. 6. Визуализация четвертого шаблона из третьего набора (непрерывный сигнал, резкость — 0,4, интенсивность — 1)

По нажатию кнопки «Начать» шаблоны выбранного набора перемешиваются и в текстовый файл фиксируется время начала эксперимента. Респонденту предлагается расположить

шаблоны в порядке возрастания изменяемой в текущем эксперименте характеристики (резкости или интенсивности). По нажатию кнопки «Готово», фиксируется время окончания эксперимента и отображается результат респондента. Эксперимент повторяется для каждого из наборов. Таким образом, по каждому из респондентов записываются его пол и возраст, а также приложением фиксируется время выполнения экспериментов и полученный результат, что дает возможность определить как точность выполнения задания в целом, так и степень корректности определения каждого шаблона по отдельности.

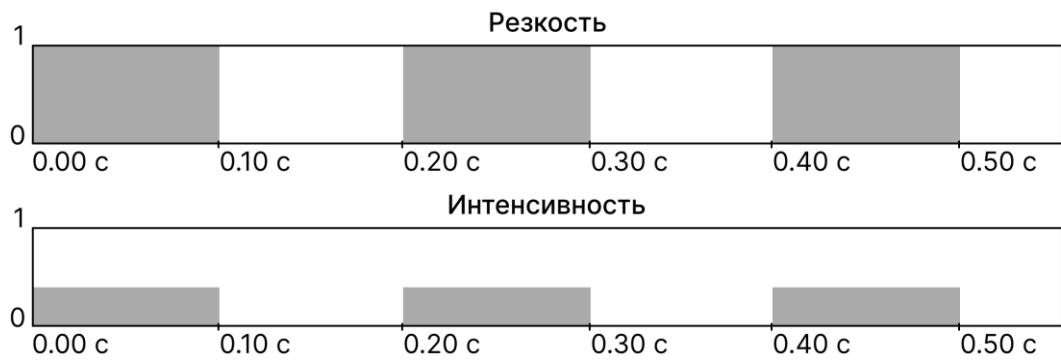


Рис. 7. Визуализация четвертого шаблона из четвертого набора (непрерывный сигнал, резкость — 1, интенсивность — 0,4)

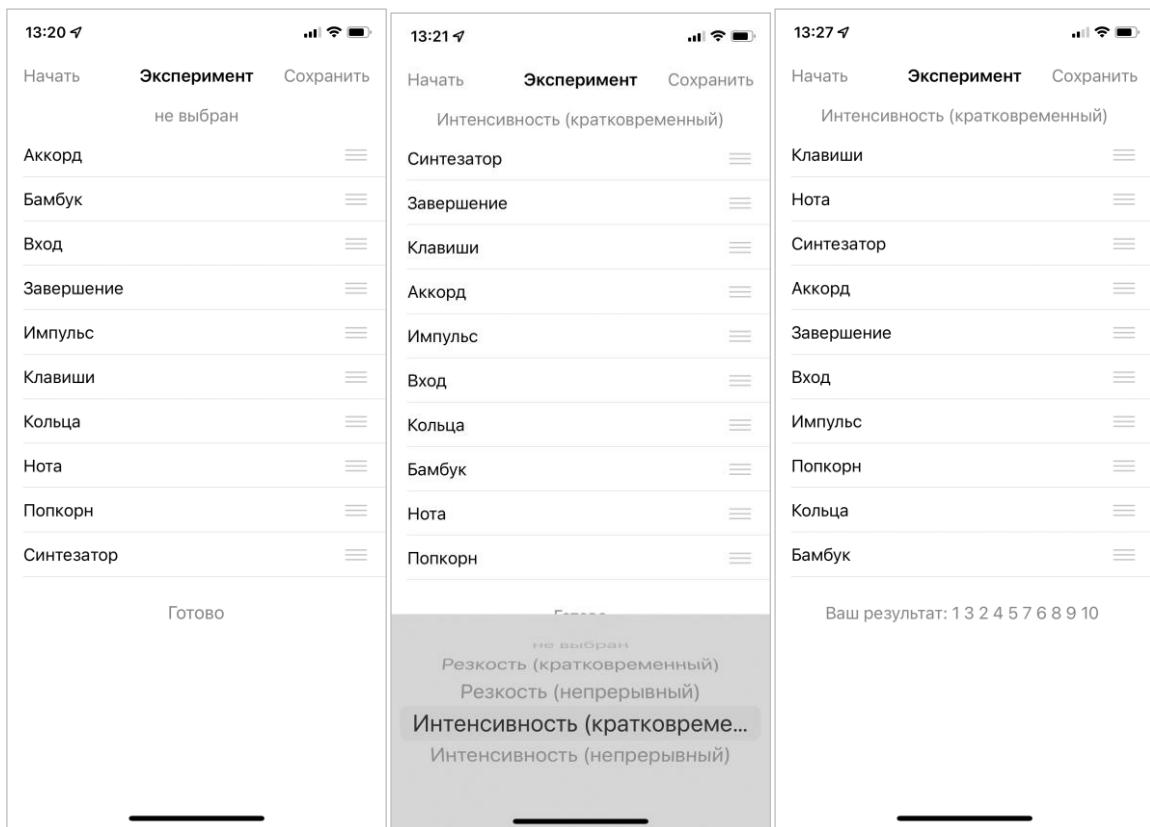


Рис. 8. Ознакомительный режим (слева), выбор набора шаблонов (посередине), режим изменения порядка шаблонов (справа)

3. Результаты экспериментов и проверки гипотез

В рамках данной работы было принято решение сформулировать и проверить две основные гипотезы:

- гипотеза 1: «точность определения пользователем кратковременных сигналов различной интенсивности отлична от точности определения кратковременных сигналов различной резкости»;
- гипотеза 2: «точность определения пользователем непрерывных сигналов различной интенсивности отлична от точности определения непрерывных сигналов различной резкости».

3.1. Пилотный эксперимент

В пилотном эксперименте приняло участие 10 респондентов. Так как согласно эффекту последовательности порядок испытаний может влиять на значения измерений, у респондентов был разный порядок наборов шаблонов. Пример выходных данных для одного из них приведен в листинге 1.

Листинг 1. Пример выходных данных

```
Эксперимент: "Резкость (кратковременный)"
Старт эксперимента: 2022-03-07,12:01:42
Конец эксперимента: 2022-03-07,12:03:26
Результат: 2,1,3,4,5,6,9,10,7,8
```

```
Эксперимент: "Резкость (непрерывный)"
Старт эксперимента: 2022-03-07,11:58:31
Конец эксперимента: 2022-03-07,11:59:45
Результат: 1,2,4,3,5,6,7,8,9,10
```

```
Эксперимент: "Интенсивность (кратковременный)"
Старт эксперимента: 2022-03-07,12:00:22
Конец эксперимента: 2022-03-07,12:01:26
Результат: 1,4,2,5,3,6,8,7,9,10
```

```
Эксперимент: "Интенсивность (непрерывный)"
Старт эксперимента: 2022-03-07,11:56:55
Конец эксперимента: 2022-03-07,11:58:06
Результат: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
```

Для приведения данных к удобному для обработки виду, был проведен ряд расчётов. Каждый результат был рассмотрен как массив из десяти элементов, индекс которых отображал их фактическое положение, а значения — их положение при правильном расположении шаблонов в порядке возрастания. Так, для каждого элемента был рассчитан квадрат отклонения по формуле (1), а для каждого полученного массива среднеквадратическое значение ошибки по формуле (2).

$$x_i = (a_i - i)^2, \quad (1)$$

где a — элемент массива,

i — индекс элемента массива.

$$X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10}}, \quad (2)$$

где 10 — количество элементов массива (шаблонов в наборе).

Пример рассчитанных данных для одного респондента представлен в таблице 2. Значения ошибок для каждого набора шаблонов по результатам пилотного эксперимента приведены в таблице 3.

Для расчета размеров выборок для проведения основного эксперимента воспользуемся сравнением парных выборок при помощи теста знаков. Так, для первой гипотезы будем сравнивать полученные значения ошибок для наборов «Резкость (кратковременный)» и «Интенсивность (кратковременный)», а для второй — «Резкость (непрерывный)» и «Интенсивность (непрерывный)». Направление проверки обеих гипотез — двухстороннее.

Таблица 2. Результаты пилотного эксперимента для одного респондента

Набор шаблонов	Результат	Квадрат ошибки (x_i)										Среднеквадратическая ошибка (X)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Резкость (кратковременный)	1 2 4 3 8 5 9 7 10 6	0	0	1	1	9	1	4	1	1	16	1,84
Резкость (непрерывный)	1 3 2 4 5 7 10 6 8 9	0	1	1	0	0	1	9	4	1	1	1,34
Интенсивность (кратковременный)	1 2 3 4 5 6 7 10 8 9	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	0,77
Интенсивность (непрерывный)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Таблица 3. Значения среднеквадратических ошибок по результатам пилотного эксперимента

Респондент	Резкость (кратковременный)	Резкость (непрерывный)	Интенсивность (кратковременный)	Интенсивность (непрерывный)
1	1,26	1,90	0,45	1,10
2	1,84	1,34	0,77	0,00
3	1,26	0,00	0,00	0,00
4	2,28	0,45	0,77	0,45
5	1,48	0,63	1,10	0,45
6	4,29	1,00	0,45	0,45
7	1,41	1,55	0,77	1,18
8	0,89	1,18	0,00	0,00
9	2,53	1,34	1,00	1,00
10	3,41	1,90	2,61	1,41

Используемые для расчетов функции в программе Google Таблицы и формулы:

$$z_{\alpha/2} = NORMSINV\left(\frac{\alpha}{2}\right); \quad (3)$$

$$z_{\beta} = NORMSINV(\beta); \quad (4)$$

$$z = z_{\alpha/2} + z_{\beta}; \quad (5)$$

$$p_1 = \frac{N_0 - G_0}{N_0}, \quad (6)$$

где N_0 — количество ненулевых разностей, G_0 — кол-во нетипичных разностей;

$$N = \frac{z^2}{4(p_1 - 0,5)^2}. \quad (7)$$

Так как по полученным данным для обеих гипотез количество ненулевых разностей вышло равным количеству типичных, вероятность p_1 оказалась равна 1, поэтому было принято, что хотя бы одна разность является нетипичной и значение p_1 составит 0,9. Таким образом, для достижения уровня значимости 1% и желаемой мощности 98% потребуется 34 респондента при сохранении тенденции получения ненулевых разностей. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчета размера выборки

	Уровень знач-ти α	Желаемая мощность $1 - \beta$	z_α	z_β	z	Ненулевых разностей N_0	Нетипичных разностей G_0	Вер-ть успеха p_1	Размер выборки N
Гипотеза 1	1%	98%	- 2,58	- 2,05	- 4,63	10	0	1 (0,9)	34
Гипотеза 2	1%	98%	- 2,58	- 2,05	- 4,63	8	0	1 (0,9)	34

3.2. Основной эксперимент

Для основного эксперимента было набрано необходимое количество данных — 34 респондента приняло участие в исследовании. Для полученных данных, подобно данным из пилотного эксперимента, по формулам (1) и (2) соответственно, были посчитаны ошибки квадрата отклонения для каждого шаблона и средняя ошибка по каждому из наборов. Обработанные данные, а также результаты расчёта статистической значимости приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты расчета статистической значимости для обеих гипотез

	Уровень значимости α	Вероятность успеха p_0	Ненулевых разностей N_0	Нетипичных разностей G_0	Статистическая значимость $p\text{-value}$
Гипотеза 1	1% (0,5%)	50%	34	2	0,000007%
Гипотеза 2	1%	50%	31	2	0,000046%

Расчет статистической значимости был осуществлен с помощью теста знаков с двухсторонней проверкой. Для этого требовалось рассчитать весовые функции биномиального распределения по формуле (8), а также интегральное биномиальное распределение по формуле (9) или же воспользоваться функцией (10) в программе Google Таблицы.

$$b(G_0, N_0, p_0) = \binom{N_0}{G_0} p_0^{G_0} (1 - p_0)^{N_0 - G_0}, \quad (8)$$

где $\binom{N_0}{G_0}$ — число сочетаний из N_0 по G_0 ;

$$p\text{-value} = B(G_0, N_0, p_0) = \sum_{y=0}^{G_0} b(y, N_0, p_0); \quad (9)$$

$$p\text{-value} = 2 \cdot \text{BINOMDIST}(G_0; N_0; p_0; 1). \quad (10)$$

Учитываем поправку на множественную проверку гипотез и, применяя метод Холмса-Бонферрони, сравниваем наименьшее значение $p\text{-value}$ с желаемым уровнем значимости $\alpha/2$: $0,000007\% < 0,5\%$, следовательно, для второй гипотезы (о сравнении непрерывных сигналов) получаем статистически значимый результат. Для первой гипотезы получаем $0,000046\% < 1\%$, следовательно, результат также статистически значим и обе гипотезы считаем подтвержденными.

Заключение

В ходе исследования была проведена комплексная работа для проверки гипотез, включающая в себя ознакомление с наиболее широко распространенными сегодня типами вибромоторов, анализ структуры и параметров вибрационных сигналов, составляющих единый шаблон, создание четырёх наборов вибрационных шаблонов, отличающихся типом сигналов, а также значениями резкости и интенсивности, проектирование приложения для мобильной операционной системы iOS на языке программирования Swift с возможностью выбора наборов сигналов, их воспроизведением и перемещением, а также вывода результата на экран и в текстовый файл на устройстве.

Используя полученное приложение, была осуществлена проверка двух основных гипотез. В пилотном эксперименте приняло участие 10 респондентов, в основном — 34, сколько и требовалось в расчете размера выборки по пилотным данным. При проведении экспериментов был

учтён эффект последовательности — респондентам предлагался различный порядок наборов вибрационных шаблонов. Расчет, так же, как и проверка гипотез, был осуществлен с помощью теста знаков, направление проверки — двухстороннее, была учтена поправка на множественную проверку гипотез путем применения метода Холма-Бонферрони. Так, была подтверждена гипотеза «точность определения пользователем кратковременных сигналов различной интенсивности отлична от точности определения кратковременных сигналов различной резкости» с полученным значением статистической значимости 0,000007%, а гипотеза «точность определения пользователем непрерывных сигналов различной интенсивности отлична от точности определения непрерывных сигналов различной резкости» подтвердилась со значением статистической значимости 0,000046%.

Таким образом, результаты исследования показали, что пользователи мобильных устройств точнее распознают вибрационные сигналы с различными значениями интенсивности, чем с различными значениями резкости. Это утверждение оказалось справедливым для обоих типов сигналов — как для кратковременных, так и для непрерывных. Поэтому в сценариях, где важно отразить различие между некоторыми событиями, сопровождающимися вибрационным откликом, для достижения наибольшей эффективности человеко-компьютерного взаимодействия разработчикам следует отдать предпочтение регулировке значений интенсивности сигналов, а не их резкости.

Литература

- [1] Pitts, M. J., Burnett, G., Skrypchuk, L., Wellings, T., Attridge, A., & Williams, M. A. (2012). Visual-haptic feedback interaction in automotive touchscreens. *Displays*, 33(1), 7–16. DOI: 10.1016/j.displa.2011.09.002
- [2] Kung, C.-H., Hsieh, T.-C., & Smith, S. (2021). Usability study of multiple vibrotactile feedback stimuli in an entire virtual keyboard input. *Applied Ergonomics*, 90, 103270. DOI: 10.1016/j.apergo.2020.103270
- [3] Chen, D. K. Y., Haller, M., & Besier, T. F. (2017). Wearable lower limb haptic feedback device for retraining Foot Progression Angle and Step Width. *Gait & Posture*, 55, 177–183. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.04.028
- [4] Kelling, Chelsea and Pitaro, Daniella and Rantala, Jussi (2016). Good Vibes: The Impact of Haptic Patterns on Stress Levels. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 130–136. DOI: 10.1145/2994310.2994368
- [5] Mazzoni, A., & Bryan-Kinns, N. (2016). Mood Glove: A haptic wearable prototype system to enhance mood music in film. *Entertainment Computing*, 17, 9–17. DOI: 10.1016/j.entcom.2016.06.002
- [6] A lot more goes into good smartphone haptics than you'd think. URL: <https://www.androidpolice.com/2020/10/20/a-lot-more-goes-into-good-smartphone-haptics-than-you-d-think/> (дата обращения: 26.03.2022).
- [7] Как работает вибромотор? Или почему все смартфоны выбирают по-разному. URL: <https://deepreview.com/articles/how-does-vibration-motor-work/> (дата обращения: 26.03.2022).
- [8] Taptic Engine. URL: <https://www.webopedia.com/definitions/taptic-engine/> (дата обращения: 26.03.2022).
- [9] Core Haptics, Apple Developer Documentation. URL: <https://developer.apple.com/documentation/corehaptics> (дата обращения: 26.03.2022).
- [10] Haptics, Human Interface Guidelines. URL: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/user-interaction/haptics/> (дата обращения: 26.03.2022).

Comparison of the Human Recognition Accuracy of Haptic Feedback with Different Sharpness and Intensity Values

I.R. Nikitenko, A.V. Lavrov, A.F. Djumagulova

ITMO University, Russia

Abstract. The purpose of the research is to determine the parameters of the haptic feedback signals of mobile devices, the change of which in the best way affects the accuracy of their recognition by the user. Scientific novelty is due to a comprehensive approach, which includes a detailed study of haptic feedback, analysis of the structure of vibration signals reproduced using the most advanced types of vibration motors, creation of four sets of vibration patterns and development of an application in Swift programming language for mobile devices with iOS operating system in order to make a series of experiments. The following hypotheses were formulated: "the accuracy of user recognition of

transient signals with various intensity values is different from the accuracy of recognition of transient signals with various sharpness values" and "the accuracy of user recognition of continuous signals with various intensity values is different from the accuracy of recognition of continuous signals with various sharpness values". Hypotheses are confirmed using the sign test, sequence effect were taken into account during the experiments, a correction for multiple hypothesis testing using the Holm-Bonferroni method is applied to the parameters calculation. As a result of the research, in which a total of 44 respondents participated, it was determined that in order to achieve the highest accuracy of recognition of haptic feedback by the user, both for transient and continuous signals, it is more effective to change the values of signal intensity than sharpness.

Keywords: human-computer interaction; haptic response; haptic feedback; vibration signal; vibration pattern; vibration motor; touch; sharpness; intensity

References

- [1] Pitts, M. J., Burnett, G., Skrypchuk, L., Wellings, T., Attridge, A., & Williams, M. A. (2012). Visual–haptic feedback interaction in automotive touchscreens. *Displays*, 33(1), 7–16. DOI: 10.1016/j.displa.2011.09.002
- [2] Kung, C.-H., Hsieh, T.-C., & Smith, S. (2021). Usability study of multiple vibrotactile feedback stimuli in an entire virtual keyboard input. *Applied Ergonomics*, 90, 103270. DOI: 10.1016/j.apergo.2020.103270
- [3] Chen, D. K. Y., Haller, M., & Besier, T. F. (2017). Wearable lower limb haptic feedback device for retraining Foot Progression Angle and Step Width. *Gait & Posture*, 55, 177–183. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.04.028
- [4] Kelling, Chelsea and Pitaro, Daniella and Rantala, Jussi (2016). Good Vibes: The Impact of Haptic Patterns on Stress Levels. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 130–136. DOI: 10.1145/2994310.2994368
- [5] Mazzoni, A., & Bryan-Kinns, N. (2016). Mood Glove: A haptic wearable prototype system to enhance mood music in film. *Entertainment Computing*, 17, 9–17. DOI: 10.1016/j.entcom.2016.06.002
- [6] A lot more goes into good smartphone haptics than you'd think. Available at: <https://www.androidpolice.com/2020/10/20/a-lot-more-goes-into-good-smartphone-haptics-than-youd-think/> (access date: 26/3/2022).
- [7] Kak rabotaet vibromotor? Ili pochemu vse smartfony vibrirujut po-raznomu. [How does a vibration motor work? Or why all smartphones vibrate differently]. Available at: <https://deep-review.com/articles/how-does-vibration-motor-work/> (access date: 26/3/2022).
- [8] Taptic Engine. Available at: <https://www.webopedia.com/definitions/taptic-engine/> (access date: 26/3/2022).
- [9] Core Haptics, Apple Developer Documentation. Available at: <https://developer.apple.com/documentation/corehaptics> (access date: 26/3/2022).
- [10] Haptics, Human Interface Guidelines. Available at: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/user-interaction/haptics/> (access date: 26/3/2022).