# **ВЕСТНИК**Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132



оригинальная статья УДК 159.9

# Компромисс скорость-точность как предмет психологического анализа

Дмитрий Юрьевич Баланев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск balanevd@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-9461-7973

Екатерина Валерьевна Бредун Национальный исследовательский То

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск https://orcid.org/0000-0003-4214-8065

Поступила в редакцию 26.01.2021. Принята к печати 29.03.2021.

Аннотация: Предмет исследования – закономерности, в соответствии с которыми точность движений человека связана с протяженностью этих движений и временем как мерой протяженности. Задача компромисс скорость-точность рассматривается с точки зрения анализа процессуального аспекта выполнения когнитивных задач. Экспериментальная процедура реализована на портативном устройстве с сенсорным экраном, чувствительным к касанию пера, и учитывает установку испытуемого на решение задач с позиций скорости или точности. При этом основная гипотеза исследования заключается в предположении о возможности выделения существенно отличающихся между собой способов решения задачи компромисс скорость-точность. На основании набора данных, собранного с участием более чем тысячи испытуемых, показано, что на уровне мелкой моторики взаимно однозначное соответствие между площадью мишени и временем ее поражения однозначно не выполняется. Эта неоднозначность является проявлением различных когнитивных стратегий выполнения задачи компромисс скорость-точность. Выявлено, что закономерности нарушения закона Фиттса могут быть определены при помощи широкого набора статистических методов и проявляются на уровне анализа критериев нормальности распределения данных, различных видов дисперсионного анализа, многомерного анализа данных. При помощи кластерного анализа получено подтверждение наличия различных стратегий выполнения задачи компромисс скорость-точность. Использование ряда дополнительных переменных, в том числе относящихся к профессиональному статусу испытуемых, позволяет интерпретировать различия в результатах наличием специфических навыков решения когнитивных задач и уточнить характер этих навыков.

Ключевые слова: закон Фиттса, задача, движение, время, дисперсионный анализ, навык, кластерный анализ

**Цитирование**: Баланев Д. Ю., Бредун Е. В. Компромисс скорость—точность как предмет психологического анализа // Вестник Кемеровского государственного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 123–132. DOI: https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

### Введение

Известный факт, что точность быстрых движений падает в связи с амплитудой, и связь между скоростью, амплитудой и точностью теряется. П. Фиттс изучал разнообразие простых моторных действий со зрительным контролем и без него [1]. Для быстрых, визуально контролируемых действий переменная ошибки повышается от амплитуды и скорости. Предметом рассмотрения стали концепт фиксированной информационной вместимости моторной системы, количественная взаимосвязь амплитуды, длительности и разнообразия двигательной реакции. Если повторяющиеся движения фиксированной средней амплитуды происходят при повышении скорости, тогда в среднем каждое движение предоставляет меньше информации, и разнообразие движений тоже будет расти в специальном объеме. То же самое предполагается, если средняя амплитуда движения растет, тогда разнообразие и средняя продолжительность тоже будут расти [2-4]. Закон, разработанный П. Фиттсом, - чем более точное движение необходимо выполнить, тем больше времени будет затрачено на его выполнение, и наоборот, выступает методологической основой выполнения исследовательских работ в области HCI (взаимодействия человека и компьютера).

Исследования, выполненные S. Zhai, J. Kong, X. Ren, опираются на закон Фиттса [5]. Они указывают, что закон Фиттса, если говорить о задании (компромисс скоростьточность), базируются на условиях задачи и обозначается индексом сложности, основанным на номинальных расстоянии движения и размере мишени. Авторы называют данный ракурс видения проблемы – объективный. Но испытуемый, субъективно смещаясь в сторону скорости или точности выполнения задания, может использовать больше или меньше обозначенной площади мишени. В связи с этим контекстом исследователи, наряду с выделенным П. Фиттсом объективным уровнем, обозначили и субъективный уровень. Чтобы преодолеть влияние субъективного уровня на компромисс скорость-точность,

### Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

необходимо использовать первоначально полученный опыт прицеливания вместо ориентации на диаметр мишени. Таким образом, исследования показывают взаимоотношения между объективным и субъективным уровнями решения задачи компромисс скорость-точность путем систематического контроля индекса сложности и индекса заполнения (утилизации) мишени. В законе Фиттса индекс сложности вычисляется через точность выполнения задания [6; 7]. В работе S. Zhai, J. Kong, X. Ren показано, что объективный и субъективный уровни решения задачи не являются эквивалентными. Отмечаются трудности использования закона Фиттса с сенсорными устройствами ввода информации (при помощи пальцев), т. к. сенсорный ввод (посредством пальцев) не является точным, особенно в тех случаях, когда цель - маленького размера, а палец испытуемого – крупный.

В настоящее время задача компромисс скорость-точность является достаточно популярной среди современных ученых, она рассматривается с точки зрения выполнения задания компромисс скорость-точность в условиях временных ограничений. Группой ученых [8] показано, что продолжительность типичных решений участников слишком коротка для того, чтобы участники адаптировали параметры принятия решений к времени испытаний.

Другие группы исследователей [9; 10] выявили, что молодые люди стараются находить баланс между скоростью и точностью, чтобы достигнуть правильного результата за заданный промежуток времени, более взрослые участники стараются минимизировать ошибки, даже если для этого необходимо снизить скорость выполнения заданий. Изучением работы головного мозга в процессе выполнения задач компромисс скорость-точность занимается группа исследователей R. Bogacz, E. J. Wagenmakers, B. U. Forstmann, S. Nieuwenhuis [11]. Было показано, что управление решением задачи скорость-точность-компромисс происходит в ассоциативных зонах коры головного мозга и первичной моторной коре (pre-SMA), нежели в ранних сенсорных или непосредственно моторных зонах. Полученные данные показывают, что акцентирование на скорости связано с повышением кортикальной интеграции нейронов.

Задача компромисс скорость—точность используется в контексте проблемы перцептивного научения. С. С. Liu и Т. Watanabe применили диффузионную модель к стандартному заданию по перцептивному научению — обнаружение когерентного хаотического движения точек [12]. Диффузионная модель — процессуальная модель принятия решений, которая может разлагать на составные части, анализировать время реакции и точность в значимые параметры. Исследователи предполагали, что обучение приведет к более быстрым и более точным ответам. Кроме того, диффузионное моделирование позволит выявить, как это преимущество в обучении может быть обнаружено в разных параметрах, что также подтверждено другими научными коллективами [13; 14]. К примеру, повышение точности

может быть связано с повышением скорости самопроизвольного движения или увеличения границы раздела, или обеих. Аналогичным образом сокращение времени реакции может быть связано с увеличением скорости самопроизвольного движения, снижением границы раздела или снижением времени непринятия решений. Так как теория обнаружения сигналов предполагает зафиксированную границу раздела, любые изменения в этих параметрах в процессе обучения покажут, что диффузионная модель может предоставить более точное отражение обучения.

#### Метоль

Задача компромисс скорость-точность представляет особый интерес с точки зрения анализа процессуального аспекта выполнения когнитивных задач. Этот интерес обеспечивает высокая степень изменчивости экспериментальных переменных и их контроля, характерная для лабораторного эксперимента. В то же время очевидна высокая внешняя валидность, т. к. задача является моделью большого количества реальных трудовых, спортивных, бытовых действий, повторяющихся во времени. Привлекают возможность постановки различных целей при решении одних и тех же задач и высокая степень воспроизводимости результатов. Последнее соображение позволяет рассматривать исследования сенсомоторных реакций с точки зрения проявления психологических новообразований. Наконец, высокую внутреннюю валидность исследования задач компромисс скорость-точность обеспечивает возможность использования большого спектра математических методов для оценки результатов отдельно взятого испытуемого – параметрические критерии, многомерные методы обобщения, анализ временных рядов, спектральный анализ.

Основная гипотеза исследования заключается в предположении о возможности выделения существенно отличающихся способов решения задачи компромисс скорость—точность, качественно раскрывающих характер закона Фиттса. Иначе говоря, требуется показать неоднозначность выполнения закономерности, в соответствии с которой существует взаимно однозначное соответствие между площадью мишени и временем ее поражения, а также объяснить эту неоднозначность существованием различных когнитивных стратегий выполнения задачи компромисс скорость—точность.

Экспериментальная процедура реализована на портативном устройстве с сенсорным экраном, чувствительным к касанию пера. В предложенном нами исследовании задание состоит в выполнении 120 одинаковых операций, каждая из которых предусматривает указание в центр мишени. Процедура состоит в предъявлении 120 стимульных объектов, представляющих собой эллипсы с различными характеристиками – положение центра, эксцентриситет, диаметр, ширина и цвет образующей линии. Все эти характеристики могут быть включены в дополнительную гипотезу исследования как факторы, влияющие на скорость

### Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

и точность выполнения заданий, и могут быть рассмотрены в качестве дополнительных независимых переменных. По условиям задачи участнику исследования необходимо последовательно указывать пером в центр каждого объекта, появляющегося на экране. Стимулы предъявляются в 2 этапа, каждый из которых различается только инструкцией, получаемой участником. На первой фазе теста необходимо действовать как можно точнее, на втором – с наибольшей скоростью. На каждом этапе предъявляются 60 стимулов. Время выполнения каждой операции измеряется с точностью до одной сотой доли секунды, точность решения задачи оценивается в минимальных единицах разрешения сенсорного экрана: точках. Точность представляет собой сумму точек по вертикали и горизонтали, находимых как разница между указанным испытуемым центром от его реального положения.

В качестве наиболее значимой независимой переменной в исследовании используется установка, с которой решается задача — с точки зрения минимизации времени решения или точности как меры результативности.

#### Результаты

Результаты решения теста можно представить в виде диаграммы, отображающей ход каждой задачи, с наложением обобщающих характеристик (рис.  $1^1$ ). В качестве обобщения указаны кумуляты времени T1 и точности A1, показанные в ходе проведения операций на точность (задачи  $N^0$  1-60), а также на скорость выполнения T2, A2 (задачи 61-120). Шкала номера задач приведена в центре диаграммы. Каждый столбец, направленный вверх, представляет одну операцию

и имеет высоту, пропорциональную времени решения. Каждый столбец, направленный вниз, показывает величину точности, выраженную в пикселях экрана. Вертикальная линия в центре, разделяющая левую и правую части диаграммы, предназначена для разграничения задач, решаемых по различным инструкциям. Черным цветом выделены столбцы, указывающие на те задачи, в которых объектымишени предъявлялись в частичном виде, выходя за пределы экрана. Линия, огибающая вершины столбцов, выполнена многоуровневым сглаживающим фильтром 4253H из пакета sleekts [15] программного комплекса R из репозитория CRAN и предназначается для визуальной оценки характера периодичности выполнения.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи свободно распространяемого набора программ R, дополненного пакетом расширений, загружаемых из официального репозитория CRAN. Первым шагом в обработке данных стала проверка на правдоподобность результатов. Для этого оценивался диапазон значений по затраченному времени. В том случае, если время решения в одной операции было ниже значения 0,15 с либо превышало 6 с, все данные испытуемого отбрасывались. Из результатов, полученных в выборке 1031 человека, потерянными оказались 7 самостоятельных испытаний.

Второй шаг предусматривал предварительную обработку, заключавшуюся в процедуре усреднения выбросов – значений, которые по ряду формальных признаков могут быть признаны ошибочными. В дальнейшем анализе мы использовали три варианта набора данных, один из которых был исходным, во втором выбросы сглаживались

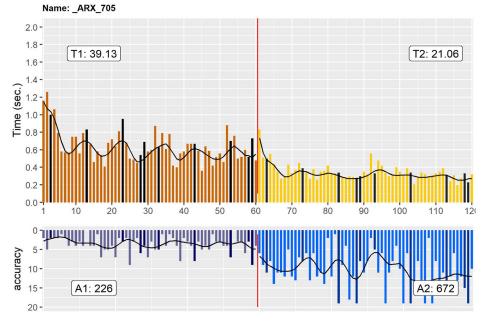


Рис. 1. Визуализация процесса решения задачи компромисс скорость—точность испытуемым, характер действий которого соответствует каноническому представлению: уменьшение времени решения уменьшает точность Fig. 1. Process of solving the speed—accuracy tradeoff problem by the canonical representation: a decrease in time decreases the accuracy of the solution

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Обозначения для рис. 1 и 2: Т1 – общее время решения задачи с инструкцией на точность; Т2 – общее время решения задачи с инструкцией на скорость; А1 – сумма всех ошибок с инструкцией на точность в пикселях; А2 – сумма всех ошибок с инструкцией на скорость в пикселях.

### Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

исходя из предположения о том, что время является независимой переменной, в третьем в качестве независимой переменной рассматривалась точность. Удаление выбросов производилось при помощи обобщенной линейной модели, реализованной в пакете outlierTest, использующем ряд непараметрических методов, нечувствительных к выбросам [16].

Следующий этап предусматривал визуальную оценку результатов по диаграммам, представляющим результаты каждого конкретного участника. На этом этапе можно сделать предварительные выводы стратегии решения задачи испытуемым. Так, на рис. 2 представлен пример парадоксального решения, когда при уменьшении времени точность увеличивается. Парадоксальным мы называем его потому, что этот вариант решения противоречит закону Фиттса.

В целом дизайн исследования можно представить в виде набора связанных переменных. На рис. 3 приведен один из двух основных вариантов дизайна, где в качестве зависимой переменной представлена точность. Вариант со временем выглядит аналогично. В данном случае каждая независимая переменная представлена в виде вертикальной линии с отметкой среднего значения по соответствующему уровню. Показаны следующие переменные: Instruction указывает на установку в решении задачи (уровни: 1 – точнее, 2 – быстрее); Full – указывает на то, что фигура замкнута (1) и незамкнута (2); Square – площадь объекта, огрублена до 3-х уровней - маленькая, средняя, большая; Ellipse - отражает, насколько объект вытянут вдоль одной из осей, огрублена до 3-х уровней; Color - отражает цвет линии, огрублена до 2-х уровней (1 – черный, 2 – другие цвета); Group1 – группа, имеет 5 уровней, разделение в зависимости от рода занятий испытуемого; Group2 – огрубленная групповая переменная, уровни Prof

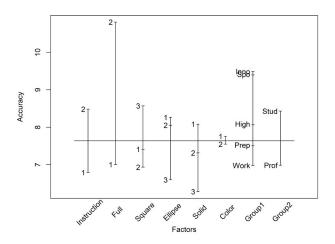


Рис. 3. Дизайн исследования с зависимой переменной точность Fig. 3. Study design with dependent accuracy variable

(профессионалы) и *Stud* (обучающиеся); *Accuracy* – точность как зависимая переменная.

Вопрос о закономерностях распределения данных в нашем случае невозможно решить однозначно. С одной стороны, гипотеза о нормальном распределении данных в целом по выборке всех выполненных операций (1024\*60=61440 для каждого из основных показателей Т1, Т2, А1, А2) не подтверждается, даже если использовать вспомогательные приемы. В качестве таких приемов мы использовали преобразование Бокса-Кокса из пакета PowerTransform [17], а также применяли различные критерии для оценки нормальности: тест Шапиро-Уилка, критерии Лиллиенфорса и Андерсона-Дарлинга из пакета nortest [18]. Попытка использовать оценку такого

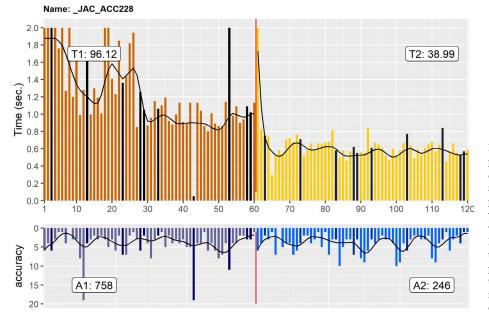


Рис. 2. Визуализация процесса решения задачи компромисс скорость—точность испытуемым, характер действий которого представляет парадокс: уменьшение времени решения увеличивает точность Fig. 2. Process of solving the speed—accuracy tradeoff problem using the paradox pattern: a decrease in time increases the accuracy of the solution

### Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

распределения, как логнормального, при помощи критерия Колмогорова-Смирнова также оказалась неудачной.

Тем не менее оказалось возможным разделить испытуемых на несколько подгрупп по тому, что для некоторых из показателей времени или точности по различным фазам инструкции нормальность распределения была подтверждена (табл. 1). Соотношение частот встречаемости нормального распределения и отклоняющегося от него может быть использовано как своеобразный критерий оценки генеральной совокупности. Можно предположить, что различные механизмы решения задачи определяют нормальность распределения. Таким образом, нормальность распределения и характер проявления нормальности с точки зрения Т1, Т2, А1 и А2 возможно использовать как способ оценки индивидуальных различий с позиций решения когнитивных задач. Нормальность распределения хотя бы одного из основных показателей (Т1, Т2, А1, А2) возможно подтвердить менее чем у половины испытуемых (табл. 1).

Следующий этап обработки предусматривает использование средств, позволяющих оценить возможность связи между двумя основными переменными – время и пройденный

путь, а также точность и пройденный путь. Обычно для этого достаточно знания о том, что величины распределены нормальным образом. Однако расширенные средства пакета gvlma [19] позволяют использовать целый комплекс критериев применимости линейной модели к эмпирическим данным. Даже при использовании сглаживания данных мы можем рассчитывать на то, что дисперсионный анализ может быть надежным методом оценки связи переменных не более чем в 620 случаях из 1024 (табл. 2). При этом логарифмическое преобразование в ряде случаев как увеличивает частоту положительных исходов, так и уменьшает ее. Преобразование Бокса-Кокса оказывается недостаточно эффективным и использовать его для такого рода задач нецелесообразно.

Несмотря на то, что дисперсионный анализ в соответствии с линейной моделью данных может оказаться недостаточно валидным, мы все же провели оценку связи между временем и точностью с его помощью [20]. В таблице 3 показано, как часто в выборке из 1024 задач, решенных различными испытуемыми, подтверждается гипотеза о связи времени и точности с длиной пройденного пути.

Табл. 1. Оценка частоты встречаемости нормального распределения в полной выборке Tab. 1. Frequency of occurrence of the normal distribution in the full sample

Нормальность по тесту Шапиро-Уилка								
Частота нормального распределения	T1	T1_log	A1	A1_log	<b>T2</b>	T2_log	A2	A2_log
Исходные данные	91	278	103	96	182	335	111	170
Удаление выбросов, переменная время		512	115	104	369	530	134	192
Удаление выбросов, переменная точность		364	168	78	200	405	223	158
Нормальность по тесту Лиллиенфорса								
Исходные данные	188	367	59	82	279	389	124	175
Удаление выбросов, переменная время		546	78	88	438	533	141	188
Удаление выбросов, переменная точность	192	469	96	67	287	460	190	145

Прим.: Т1, A1 – последовательность значений времени и точности при решении инструкции на точность; Т2, A2 – последовательность значений времени и точности при решении инструкции на время; постфикс \_log указывает на вариант с преобразованием Бокса-Кокса.

Табл. 2. Оценка частоты соответствия критериям комплексного теста соответствия линейной модели при помощи пакета R gvlma

Tab. 2. Frequency of correspondence with the criteria of a complex test of compliance with a linear model using the R gvlma package

<b>Частота Условия</b>	Т1	T1_log	A1	A1_log	<b>T2</b>	T2_log	A2	A2_log
Исходные данные	111	250	354	214	189	260	354	309
Удаление выбросов, переменная время		502	387	232	475	483	400	339
Удаление выбросов, переменная точность	127	326	620	270	210	310	600	333

Прим.: T1, A1 – последовательность значений времени и точности при решении инструкции на точность; T2, A2 – последовательность значений времени и точности при решении инструкции на время; постфикс \_log указывает на вариант с преобразованием Бокса-Кокса.

## Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

Табл. 3. Частота подтверждения гипотезы о связи времени и точности для основных показателей методики компромисс скорость-точность (команда Im пакета R)

Tab. 3. Confirmation of the hypothesis about the relationship between time and accuracy for the main indicators of the *speedaccuracy* tradeoff method (lm command of the R package)

<b>Частота Условия</b>	T1	T1_log	A1	A1_log	T2	T2_log	A2	A2_log
Исходные данные	91	213	80	48	162	219	86	65
Удаление выбросов, переменная время	289	446	101	51	430	437	100	73
Удаление выбросов, переменная точность	107	273	151	61	189	263	134	75

Прим.: T1, A1 – последовательность значений времени и точности при решении инструкции на точность; T2, A2 – последовательность значений времени и точности при решении инструкции на время; постфикс \_log указывает на вариант с преобразованием Бокса-Кокса.

Здесь мы обнаруживаем, что только для 430 испытуемых, действующих с инструкцией на скорость, подтверждается гипотеза о справедливости закона Фиттса. В том случае, если действия пользователя опосредуются требованиями быть точнее, это значение составляет не более четверти всех испытуемых. Эти данные могут сориентировать в уточнении гипотезы, однако не дают окончательного решения, т. к. основаны на методе анализа, который не вполне соответствует имеющейся модели данных и не учитывает влияния всех переменных.

Несколько более точную картину дает параметрический двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого мы здесь не приводим в полном объеме, однако частоты здесь оказываются несколько меньше. Гораздо более интересен вариант с оценкой двух зависимых переменных, подразумевающий многомерное распределение времени и точности решения задачи. Количество случаев многомерного нормального распределения для инструкции на точность, где независимая переменная - длина пути, зависимые – время и точность, оценивалось при помощи функции mshapiro.test из пакета mvnormtest [21]. Для фазы на точность количество подтвержденных случаев многомерного нормального распределения оказалось 64 из 1024, а для фазы на время – 91 из 1024. При этом функция тапоча из пакета stats показывает подтверждение гипотезы о связи между точностью и временем как зависимыми переменными и длиной пройденного пути как независимой, для этих случаев соответственно для 58 и 84 испытуемых. Речь здесь идет о сырых данных. В том случае, если производится сглаживание, то подтвержденные связи выглядят как 58 и 81 для удаления выбросов с точки зрения времени, и 13 и 20, если критерием для усреднения выбросов оказывается точность. Очевидно, что в этом случае гипотеза о связи между временем и точностью выполняется менее чем в 7 % случаев. Но и здесь мы ограничены в окончательных выводах, т. к. эмпирические данные недостаточно подходят для примененных вариантов анализа. Тем не менее мы предпринимаем такой подход как иллюстрацию того, насколько легко применение очевидных подходов может стать источником заблуждений.

Применение непараметрического дисперсионного анализа дает заметно отличающийся результат, который также в большей степени согласуется с теоретическими представлениями. Так, метод adonis из пакета vegan [22] показывает частоту подтверждения гипотезы о связи времени и точности с длиной пройденного пути в диапазоне от 858 до 882 случаев из 1024 в одномерном варианте.

Наиболее надежными оказываются результаты перестановочного дисперсионного анализа. В однофакторном варианте мы видим следующие частоты:

- время на первой фазе задачи длина пройденного пути:
   731 подтвержденный случай связи;
- точность на первой фазе задачи длина пройденного пути: 176 подтвержденных случев связи;
- время на второй фазе задачи длина пройденного пути:
   882 подтвержденных случая связи;
- точность на второй фазе задачи длина пройденного пути: 223 подтвержденных случая связи.

Основной вывод: несмотря на то, что в большинстве случаев закономерность, установленная в законе Фиттса, выполняется для переменной время решения, остается большое количество случаев, когда это не так. Более того, в отношении переменной точность решения эта закономерность не работает в большинстве случаев. Важным кажется нам вывод, что однозначной закономерности в распределении связи времени точности и пройденного пути нет с точки зрения тех целей, которые мы ставим перед испытуемыми. Это же справедливо и в той части, которую исследователь не всегда может непосредственно проконтролировать. Так мы можем видеть, что часть испытуемых не принимает целей, поставленных в инструкции, и решает обе части задачи, ориентируясь только на скорость. Об этом свидетельствует равенство показателей кумулят Т1 и Т2.

Решение задачи выделения отдельных типов действий пользователей может быть проведено при помощи кластерного анализа [23]. В данном случае использовался метод K-means [24]. В одной из наших предыдущих работ [25],

### Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

Табл. 4. Результат кластерного анализа для 7 кластеров Tab. 4. Cluster analysis result for 7 clusters

<b>Количество</b> <b>участников</b>	mean_t1	mean_t2	mean_a1	mean_a2
8	438	158,5	4,695	3,848
10	65,22	20,47	42,51	79,73
27	237,2	92,16	6,954	3,904
91	150,2	79,81	5,502	5,078
232	105,8	62,79	4,893	5,809
299	50,97	37,49	8,173	10,58
355	75,62	50,64	5,618	7,131

мы выделили пять основных типов действий пользователей, основываясь на визуализации результатов решения задач. Имея более представительную выборку, мы можем провести эту работу более объективно при помощи статистических методов. При этом для оценки результатов кластерного анализа можно использовать в качестве содержательного критерия предварительно установленные закономерности. Мы будем ориентироваться на возможность получения не менее пяти кластеров, некоторые из которых должны обладать характерными признаками. Одним из таких признаков является изображенный на рис. 2 парадоксальный вариант решения. Еще одним признаком будем считать упомянутую ранее близость времени выполнения на первой и второй фазах задачи. Таким образом, мы оценивали четыре варианта решения: на пять, шесть, семи и восемь кластеров. Первые два варианта были отброшены, т. к. не удовлетворяли содержательному критерию на количество кластеров. Дело в том, что в этих случаях мы выявляли по два кластера, имеющих в составе восемь и менее испытуемых. Очевидно, что здесь мы сталкиваемся со статистической лакуной, не представляющей реальной тенденции. Аналогичный эффект мы можем видеть и в двух остальных случаях, однако здесь мы можем иметь соответственно пять и шесть интерпретируемых факторов.

Результаты анализа из 7 кластеров показаны в таблице 4. Несмотря на то, что результаты анализа получены как для сырых данных, так и сглаженных, мы показываем только вариант, прошедший через удаление выбросов с точки зрения параметра времени. Первый столбец показывает количество участников, вошедших в кластер, четыре последующие столбца отражают средние арифметические величины четырех основных последовательностей данных – времени и точности соответственно на первой и второй фазе задачи. Два младших кластера не проходят критерий количества. Третий кластер, состоящий из 27 участников, иллюстрирует парадоксальную стратегию. Четвертый кластер соответствует стратегии нечувствительности к требованиям повышения

Табл. 5. Результат кластерного анализа для 8 кластеров Tab. 5. Cluster analysis result for 8 clusters

Количество участников	mean_t1	mean_t2	mean_a1	mean_a2
8	438	158,5	4,695	3,848
24	242,1	92,92	6,864	3,819
51	164,2	88,18	5,673	4,462
107	40,92	30,9	13,18	17,64
116	126,3	66,42	5,983	8,358
174	99,14	61,15	4,761	5,698
246	78,71	52,52	5,764	7,013
296	59,23	41,92	6,358	8,493

точности. Остальные три кластера характеризуют различную степень проявления оптимальной стратегии.

В результатах кластерного анализа для восьми кластеров описанные тенденции предстают в детализированном виде (табл. 5). Парадоксальному стилю решения соответствует уже 2 фактора общей емкостью 75 испытуемых. Оставшиеся 5 факторов, подлежащие интерпретации, могут быть отнесены к оптимальному стилю, однако заметно большое различие во времени, которое тратят на решение различные группы. Очевидно, что дальнейшая типология может быть проведена путем более глубокого анализа закономерностей, в том числе частотного распределения данных. В рамках данной статьи этот подход не может быть рассмотрен в связи с его значительным объемом и информативностью. Однако это и задает перспективы дальнейшего исследования.

### Заключение

Установка на скорость или точность решения задачи в пространственном определении цели приводит к статистически существенным различиям как времени, так и показателей точности, что может интерпретироваться с точки зрения привлечения испытуемым различных механизмов решения задач. Можно ожидать, что таким образом возможна дифференциация таких видов движения, которые имеют программную основу или выполняются со значительным вкладом визуальной коррекции. Различия в результатах испытуемых определяются наличием специфических навыков, которые можно интерпретировать как функциональные органы, специфические психологические новообразования, источником которых является возраст, предшествующий опыт решения аналогичных задач, готовность принять задачу и т. д.

Введение дополнительных независимых переменных позволяет определить наличие различных навыков решения когнитивной задачи и уточнить характер этих навыков – пространственно-временные характеристики,

### Кемеровского государственного университета

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

генез, устойчивость, зависимость от различных факторов. В большинстве случаев время решения задачи компромисс скорость—точность зависит от длины пути, который нужно преодолеть для поражения цели, однако в ряде случаев такая закономерность не фиксируется. Это можно обнаружить в результатах дисперсионного анализа. Точность решения задачи компромисс скорость—точность в меньшей степени зависит от длины пути, который нужно преодолеть для поражения цели. Существуют парадоксальные варианты решения задачи компромисс скорость—точность, подразумевающие объяснение с точки зрения механизмов,

выходящих за пределы традиционного представления о сенсомоторных реакциях.

**Конфликт интересов**: Авторы заявили об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и / или публикации данной статьи.

**Финансирование:** Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 0721-2020-0040.

### Литература

- 1. Fitts P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement // Journal of Experimental Psychology. 1954. Vol. 47. № 6. P. 381–391. DOI: 10.1037/h0055392
- 2. Hoffmann E. R., Drury C. G. Comment on "Visual layout modulates Fitts's law: The importance of first and last positions" // Psychon Bull Rev. 2012. Vol. 19. P. 146–150. DOI: 10.3758/s13423-011-0183-9
- 3. Tang R., Shen B., Sang Z., Song A., Goodale M. A. Fitts' Law is modulated by movement history // Psychon Bull Rev. 2018. Vol. 25. P. 1833–1839. DOI: 10.3758/s13423-017-1367-8
- 4. Augustyn J. S., Rosenbaum D. A. Metacognitive control of action: Preparation for aiming reflects knowledge of Fitts's law // Psychon Bull Rev. 2005. Vol. 12. P. 911–916. DOI: 10.3758/BF03196785
- 5. Zhai S., Kong J., Ren X. Speed-accuracy tradeoff in Fitts' law tasks: on the equivalency of actual and nominal pointing precision // International Journal of Human-Computer Studies. 2004. Vol. 61. № 6. P. 823–856. DOI: 10.1016/j. ijhcs.2004.09.007
- 6. Gorniak S. L. The relationship between task difficulty and motor performance complexity // Attention, Perception, & Psychophysics. 2019. Vol. 81. P. 12–19. DOI: 10.3758/s13414-018-1634-4
- 7. Stanovich K. E., Pachella R. G. The effect of stimulus probability on the speed and accuracy of naming alphanumeric stimuli // Bull. Psychon. Soc. 1976. Vol. 8. P. 281–284. DOI: 10.3758/BF03335140
- 8. Karşılar H., Simen P., Papadakis S., Balcı F. Speed accuracy trade-off under response deadlines // Front. Neurosci. 2014. Vol. 8. DOI: 10.3389/fnins.2014.00248
- 9. Starns J. J., Ratcliff R. The effects of aging on the speed-accuracy compromise: Boundary optimality in the diffusion model // Psychol Aging. 2010. Vol. 25. № 2. P. 377–390. DOI: 10.1037/a0018022
- 10. Sleimen-Malkoun R., Temprado J.-J., Berton E. Age-related changes of movement patterns in discrete Fitts' task // BMC Neurosci. 2013. Vol. 14. DOI: 10.1186/1471-2202-14-145
- 11. Bogacz R., Wagenmakers E.-J., Forstmann B. U., Nieuwenhuis S. The neural basis of the speed–accuracy tradeoff // Trends Neurosci. 2010. Vol. 33. № 1. P. 10–16. DOI: 10.1016/j.tins.2009.09.002
- 12. Liu C. C., Watanabe T. Accounting for speed–accuracy tradeoff in perceptual learning // Vision Research. 2012. Vol. 61. P. 107–114. DOI: 10.1016/j.visres.2011.09.007
- 13. Boag R. J., Strickland L., Loft S., Heathcote A. Strategic attention and decision control support prospective memory in a complex dual-task environment // Cognition. 2019. Vol. 191. DOI: 10.1016/j.cognition. 2019.05.011
- 14. Miletić S., Boag R. J., Forstmann B. U. Mutual benefits: Combining reinforcement learning with sequential sampling models // Neuropsychologia. 2020. Vol. 136. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.107261
- 15. Позолотин В. Е., Султанова Е. А. Применение алгоритмов преобразования данных при анализе временных рядов на предмет устранения выбросов // Программные системы и вычислительные методы. 2019. № 2. С. 33–42. DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.28279
- 16. Kabacoff R. R in Action. Shelter Island. N. Y., USA: Manning publications, 2011. 472 p.
- 17. Fox J., Weisberg S. An R companion to applied regression. Thousand Oaks CA: Sage, 2011. 608 p.
- 18. Gross J., Ligges U. Nortest: Tests for normality. Nortest. R package version 1.0-4. 2015.
- 19. Pena E. A., Slate E. H. Gvlma: Global validation of linear models assumptions. R package version 1.0.0.2. 2014.
- 20. Faraway J. J. Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models. 2nd ed. CRC press, 2016. 413 p. DOI: 10.1201/9781315382722
- 21. Jarek S. Mvnormtest: Normality test for multivariate variables. R package version 0.1-9. 2012.
- 22. Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P., O'Hara R., Simpson G., Solymos P., Stevens H., Szöcs E., Wagner H. Vegan: Community ecology package. R package version 2.5-2. 2018.



https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

- 23. Blashfield R. K., Aldenderfer M. S. The literature on cluster analysis // Multivariate Behav Res. 1978. Vol. 13. № 3. P. 271–295. DOI: 10.1207/s15327906mbr1303\_2
- 24. Celebi M. E., Kingravi H. A., Vela P. A. A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm // Expert systems with applications. 2013. Vol. 40. № 1. P. 200–210. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.07.021
- 25. Баланёв Д. Ю. Возможности визуализации результатов экспериментального исследования компромисса скоростьточность // Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы / ред. В. А. Барабанщиков. М.: ИП РАН, 2010. С. 80–86.

original article

# The Speed-Accuracy Tradeoff as a Subject of Psychological Analysis

Dmitriy Yu. Balanev Tomsk State University, Russia, Tomsk balanevd@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-9461-7973 Ekaterina V. Bredun Tomsk State University, Russia, Tomsk https://orcid.org/0000-0003-4214-8065

Received 26 Jan 2021. Accepted 29 Mar 2021.

Abstract: The present research featured the regularities, according to which the accuracy of human movements is associated with the length of these movements and time. The author considered the speed—accuracy tradeoff problem by analyzing the procedural aspect of cognitive performance. The experiment included more than a thousand participants and was performed on a portable touch screen device that tested the subject's attitude to solving problems in terms of speed or accuracy. The research objective was to identify significantly different ways of solving the speed—accuracy tradeoff dilemma. At the fine motor level, the participants failed to accomplish a one-to-one correspondence between target area and target time. This ambiguity was a manifestation of various cognitive strategies for performing a speed—accuracy tradeoff task. The Fitts law violations were determined using a wide range of statistical methods and manifested themselves at the level of criteria analysis for the normality of data distribution, types of variance analysis, and multivariate data analysis. The cluster analysis could register various strategies for performing the speed—accuracy tradeoff task. Additional variables, e.g. professional status of the subjects, made it possible to interpret the differences according to specific skills in solving cognitive tasks and to clarify the nature of these skills.

Keywords: Fitts law, task, motion, time, analysis of variance, skill, cluster analysis

**Citation**: Balanev D. Yu., Bredun E. V. The Speed–Accuracy Tradeoff as a Subject of Psychological Analysis. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, 23(1): 123–132. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

**Conflicting interests**: The authors declared no potential conflicts of interests regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

Funding: The research was part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science, project No. 0721-2020-0040.

### References

- 1. Fitts P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 1954, 47(6): 381–391. DOI: 10.1037/h0055392
- 2. Hoffmann E. R., Drury C. G. Comment on "Visual layout modulates Fitts's law: The importance of first and last positions". *Psychon Bull Rev*, 2012, 19: 146–150. DOI: 10.3758/s13423-011-0183-9
- 3. Tang R., Shen B., Sang Z., Song A., Goodale M. A. Fitts' Law is modulated by movement history. *Psychon Bull Rev*, 2018, 25: 1833–1839. DOI: 10.3758/s13423-017-1367-8
- 4. Augustyn J. S., Rosenbaum D. A. Metacognitive control of action: Preparation for aiming reflects knowledge of Fitts's law. *Psychon Bull Rev*, 2005, 12: 911–916. DOI: 10.3758/BF03196785
- 5. Zhai S., Kong J., Ren X. Speed-accuracy tradeoff in Fitts' law tasks: on the equivalency of actual and nominal pointing precision. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2004, 61(6): 823–856. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2004.09.007
- 6. Gorniak S. L. The relationship between task difficulty and motor performance complexity. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2019, 81: 12–19. DOI: 10.3758/s13414-018-1634-4

# BULLETIN Kemerovo State University

https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132

- 7. Stanovich K. E., Pachella R. G. The effect of stimulus probability on the speed and accuracy of naming alphanumeric stimuli. *Bull. Psychon. Soc.*, 1976, 8: 281–284. DOI: 10.3758/BF03335140
- 8. Karşılar H., Simen P., Papadakis S., Balcı F. Speed accuracy trade-off under response deadlines. *Front. Neurosci.*, 2014, 8. DOI: 10.3389/fnins.2014.00248
- 9. Starns J. J., Ratcliff R. The effects of aging on the speed-accuracy compromise: Boundary optimality in the diffusion model. *Psychol Aging*, 2010, 25(2): 377–390. DOI: 10.1037/a0018022
- 10. Sleimen-Malkoun R., Temprado J.-J., Berton E. Age-related changes of movement patterns in discrete Fitts' task. *BMC Neurosci*, 2013, 14. DOI: 10.1186/1471-2202-14-145
- 11. Bogacz R., Wagenmakers E.-J., Forstmann B. U., Nieuwenhuis S. The neural basis of the speed–accuracy tradeoff. *Trends Neurosci*, 2010, 33(1): 10–16. DOI: 10.1016/j.tins.2009.092
- 12. Liu C. C., Watanabe T. Accounting for speed–accuracy tradeoff in perceptual learning. *Vision Research*, 2012, 61: 107–114. DOI: 10.1016/j.visres.2011.09.007
- 13. Boag R. J., Strickland L., Loft S., Heathcote A. Strategic attention and decision control support prospective memory in a complex dual-task environment. *Cognition*, 2019, 191. DOI: 10.1016/j.cognition.2019.05.011
- 14. Miletić S., Boag R. J., Forstmann B. U. Mutual benefits: Combining reinforcement learning with sequential sampling models. *Neuropsychologia*, 2020, 136. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.107261
- 15. Pozolotin V. E., Sultanova E. A. Application of data transformation algorithms in time series analysis for elimination of outliers. *Software systems and computational methods*, 2019, (2): 33–42. (In Russ.) DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.28279
- 16. Kabacoff R. R in Action. Shelter Island. N. Y., USA: Manning publications, 2011, 472.
- 17. Fox J., Weisberg S. An R companion to applied regression. Thousand Oaks CA: Sage, 2011, 608.
- 18. Gross J., Ligges U. Nortest: Tests for normality. Nortest. R package version 1.0-4. 2015.
- 19. Pena E. A., Slate E. H. Gvlma: Global validation of linear models assumptions. R package version 1.0.0.2. 2014.
- 20. Faraway J. J. Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models, 2nd ed. CRC press, 2016, 413. DOI: 10.1201/9781315382722
- 21. Jarek S. Mvnormtest: Normality test for multivariate variables. R package version 0.1-9. 2012.
- 22. Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P., O'Hara R., Simpson G., Solymos P., Stevens H., Szöcs E., Wagner H. *Vegan: Community ecology package*. R package version 2.5-2. 2018.
- 23. Blashfield R. K., Aldenderfer M. S. The literature on cluster analysis. *Multivariate Behav Res.*, 1978, 13(3): 271–295. DOI: 10.1207/s15327906mbr1303 2
- 24. Celebi M. E., Kingravi H. A., Vela P. A. A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm. *Expert systems with applications*, 2013, 40(1): 200–210. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.07.021
- 25. Balanev D. Yu. Possibilities of visualizing the results of the experimental study of the speed-accuracy tradeoff. *Experimental psychology in Russia: traditions and prospects*, ed. Barabanschikov V. A. Moscow: IP RAN, 2010, 80–86. (In-Russ.)