Моделирование и анализ данных
2023. Том 13. № 1. С. 25–35
DOI: https://doi.org/10.17759/mda.2023130103
ISSN: 2219-3758 (печатный)
ISSN: 2311-9454 (online)

Modelling and Data Analysis
2023. Vol. 13, no. 1, pp. 25–35
DOI: https://doi.org/10.17759/mda.2023130103
ISSN: 2219-3758 (print)
ISSN: 2311-9454 (online)

УДК 004.8

Расчет сложностей игровых тестов для системы PLines

Войтов В.К.*
Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ) , г. Москва, Российская Федерация
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6486-3049
e-mail: vvoi@mail.ru

Шепелева Е.А.**
Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9867-6524
e-mail: e_shep@rambler.ru

Гаврилова Е.В.***
Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0848-3839
e-mail: g-gavrilova@mail.ru

В работе предлагается способ вычисления сложностей игровых тестов. Расчеты проводятся для игровой системы PLines. Приводятся краткие сведения о системе PLines.

Ключевые слова: игровой тест, сложность теста.

Для цитаты:
Войтов В.К., Шепелева Е.А., Гаврилова Е.В. Расчет сложностей игровых тестов для системы PLines // Моделирование и анализ данных. 2023. Том 13. № 1. С. 25–35. DOI: https://doi.org/10.17759/mda.2023130103

****Войтов Владимир Кузьмич,*** кандидат технических наук, профессор факультета информационных технологий, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6486-3049, e-mail: vvoi@mail.ru

*****Шепелева Елена Андреевна,*** кандидат психологических наук, старший научный сотрудник Центра прикладных психолого-педагогических исследований, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9867-6524, e-mail: e_shep@rambler.ru

******Гаврилова Евгения Викторовна,*** кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Центр прикладных психолого-педагогических исследований, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0848-3839, e-mail: g-gavrilova@mail.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время бурно развиваются различные средства психологического тестирования. В МГППУ на факультете ИТ разработана игровая система психологического тестирования PLines [5]. За основу взята популярная игра Lines. Реализовано несколько тестов, воспроизводящих различные закономерности генерации отображения элементов с целью оценить у тестируемых способности к анализу, планированию действий и рефлексию.

Система PLines функционирует в интернете, результаты тестирования заносятся в базу данных для дальнейшего анализа. С помощью системы PLines многократно проводилось тестирование школьников и студентов.

Целью данной статьи является предложение подхода к вычислению сложностей разработанных игровых тестов и оценке способностей тестируемых. Ранее расчеты сложностей заданий и оценки способностей, тестируемых для психологических тестов уже проводились нами [3], [4]. Для этого использовалась методология Раша [1], [2].

Во всех случаях тестируемые должны были ответить “да” или “нет” (то есть 1 или 0). Такие ответы часто используются для психологических тестов. В результате получалась матрица из нулей и единиц. К этой матрице применялись методы Раша. В нашем случае мы получаем числовые значения результатов игры. В статье предлагается метод сведения этих числовых значений к нулям и единицам, что позволило произвести расчеты по ранее опробованным методам. Ниже приводятся краткие сведения об игровых тестах (с примерами), рассматриваются результаты тестирования и обработка полученных результатов.

2. КРАТКО ОБ ИГРЕ PLINES

Система PLines поддерживает несколько различных тестов, количество и порядок следования которых задает администратор-психолог системы.

При запуске каждого теста в системе PLines на окне компьютера отображается квадратное игровое поле из клеток (9 по горизонтали и 9 по вертикали) с тремя шариками разных цветов. После каждого хода игрока генерируются три новых шарика. Ход состоит из передвижения мышкой шарика с одной позиции на другую. Если игрок выстраивает линию из 5 (или более) шариков одного цвета, то эти шарики сокращаются, а игрок получает очки. Линия может быть горизонтальной, вертикальной или находиться на диагонали. Чем больше одновременно сокращается, шариков тем больше очков получает игрок. На Рис. 1. изображены возможные фрагменты экрана теста для закономерностей z103 и z109.

Генерация шариков производится по некоторым закономерностям. Каждому тесту соответствует своя закономерность.

При использовании закономерностей игровое поле делится на две части (верхняя – нижняя или левая – правая). В этом случае в одной части шарики располагаются по указанным администратором-психологом закономерности, а на другой шарики появляются в случайном порядке. На выполнение каждого теста дается определенное время. Результаты заносятся в базу данных.

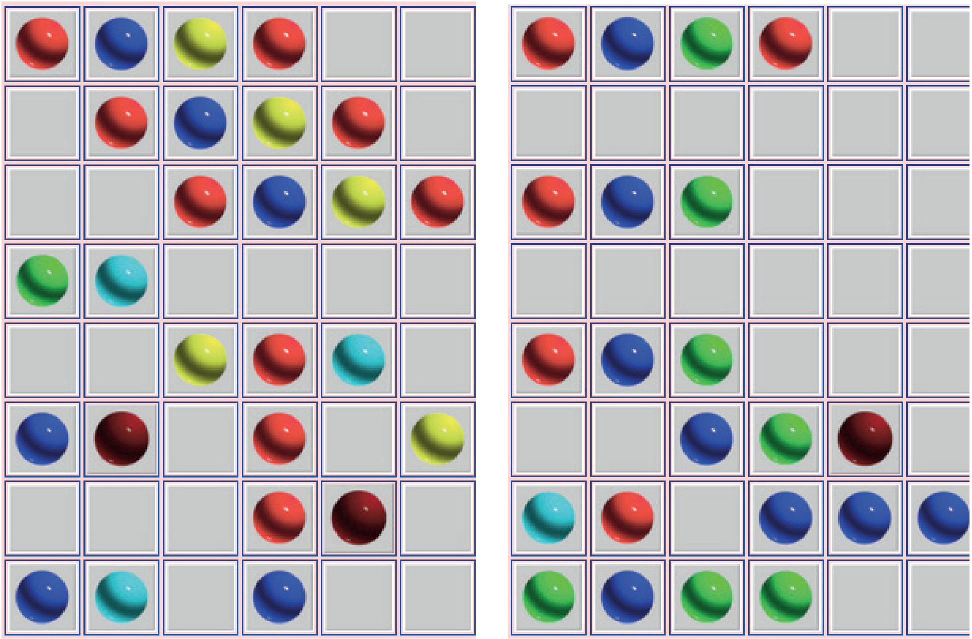

Рис. 1. Слева расположен возможный фрагмент экрана теста для закономерности z103, справа расположен возможный фрагмент экрана теста для закономерности z109

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве примера результаты тестирования школьников представлены на Рисунке 2 и 3.

Строки матриц нумеруем через i (i= 1, ... , N). Столбцы матриц нумеруем через j (j= 1, ... , M).

Слева в столбце расположены идентификаторы тестируемых. В верхней строке расположены обозначения тестов (или закономерностей). У нас M тестов и N тестируемых. В предпоследней строке стоят суммы по столбцам. Это набранные очки для каждого теста. В последней строке расположены соответствующие средние значения.

Столбцы отсортированы в порядке убывани средних знаений. Можно прежположить, что чем больше среднее знаение, тем проще тест (то есть тест z118 проще чем z117). Но желательно найти велиины, характеризующие сложность теста без ссылки на набранное оличество очков. Оно может быть разным при каждом тестировании.

Попытаемся свести к нулям и единицам набранные числовые значения.

Напрашивается желание присваивать 1, если тестируемый набрал более среднего значени в столбце и 0 в противном случае. Это недостатоно, так как не учитывается взаимосвязь столцов – то, что справа расположены более трудные тесты. Желательно прибавлять к среднему некоторое число, которое будет убавлять колиесто единиц по мере движения по столбцам направо. Важный ворос, какое число прибавлять. Кроме того, для 1-го теста желательно увеличить число единиц (для стимла).

Пусрь у нас имеется **M** тестов и $\mathbf{SR_j}$ – отсортированные в пордке убывани средние значения для тестов $\mathbf{(SR_j >= SR_{j+1}\ ,\ j=1,2,..,M)}$.

Пусть $\mathbf{D_j = SR_1 - SR_j\ ,\ j=2,\ 3,\ \dots\ ,\ M\ ,\ D_1 = 0\ .}$

Составим матриу из элементов $\mathbf{a_{ij}}$ следующим оразом.

Пусть $\mathbf{d_j = SR_j / V + D_j\ (\ j=1,\ 2,\ \dots\ ,\ M\ )\ ,\ D_1 = 0\ .}$

Здесь **V** некоторая костанта для увеличения числа единиц (предлагается **V=2**).

Обозначим $\mathbf{b_{ij}}$ элементы матрицы для Рис. 2.

Пуспь $\mathbf{a_{ij} = 1}$, если $\mathbf{b_{ij} >= d_j}$.

Пуспь $\mathbf{a_{ij} = 0}$, если $\mathbf{b_{ij} < d_j}$.

Матрицу **A** из $\mathbf{a_{ij}}$ возьмем для определения сложностей тестов. К ней можно применить ранее использованную методику вычисления сложностей психологтческих тестов. Такая формула требует улушения и вызывает некоторые сомнения но дает некоторое представление о соотношении сложностей.

Ниже в разделе “Расчет значений сложностей тестов” излагается модифицированна версия этого расчета сложностей.

Обозначим $\mathbf{b_{ij}}$ элементы матрицы для Рис. 2.

Составим матрицу для Рис. 2 из элементов a_{ij} следующим образом:

Если $\mathbf{b_{ij}}$ больше $\mathbf{d_j}$, то берем **1**

В противном случае берем **0**

Эти значения также были обработаны по методу Ньютона – Равсона.

Результаты обработки данных из Рис. 2 представлены на Рис. 4. dRj – суммы по столбцам, dXi – суммы по строкам. **Pj** – вероятность правильного ответа для теста из j-го столбца. **Pi** – доля правильных ответов для i-го испытуемого.

B0j – начальные значения логитов сложностей. T0i – начальные значения логитов способностей. Bj – вычисленные по “Ньютону” значения логитов сложностей. Ti – вычисленные по “Ньютону” значения логитов способностей.

	z106	z118	z117	z115	z104	z107	z103	z105	z109	z113	z110	z116	z108	z114	суммы	средн
q21	45	57	102	94	82	92	96	49	50	75	80	45	40	95	1002	71,571
q22	110	60	183	87	101	90	82	98	75	96	102	62	65	74	1285	91,785
q26	280	447	221	287	228	360	202	156	198	152	149	106	145	80	3011	215,071
q29	131	113	194	146	139	125	156	72	160	134	99	76	90	108	1743	124,5
q30	149	104	127	88	133	93	122	131	87	123	77	115	138	56	1543	110,21
q32	71	179	207	196	182	188	206	131	121	203	186	184	127	149	2330	166,42
q33	206	153	5	5	163	133	148	101	57	5	126	87	176	113	1478	105,571
q36	226	194	270	195	109	128	159	173	258	143	146	200	52	74	2327	166,21
q37	85	57	87	84	47	69	50	52	37	76	62	72	65	62	905	64,642
q42	63	50	86	139	109	99	35	31	60	105	20	42	35	51	925	66,071
q1	298	144	155	125	82	35	134	213	111	90	85	107	157	163	1899	135,64
q11	212	223	117	167	180	115	92	254	177	163	125	161	93	121	2200	157,14
суммы	1876	1781	1754	1613	1555	1527	1482	1461	1391	1365	1257	1257	1183	1146		
средн	156,33	148,41	146,16	134,41	129,58	127,25	123,5	121,75	115,91	113,75	104,75	104,75	98,583	95,5		

Рис. 2. Результаты тестирования (очки). Число тестируемых 12

Идентификаторы тестируемых начинаются с буквы “q”. Число тестов 14 (z118, z117, z107). Идентификаторы тестов начинаются с буквы “z”. В предпоследней строке стоят суммы, а в последней строке – стоят средние значения

	z105	z103	z109	сумма	
a1	274	204	125	603	201
a2	171	218	256	645	215
a3	239	206	159	604	201,3333
a4	185	262	130	577	192,3333
a5	299	297	119	715	238,3333
a6	234	276	189	699	233
a7	195	72	139	406	135,3333
a8	592	388	284	1264	421,3333
a9	471	268	209	948	316
a10	192	176	127	495	165
a11	207	132	151	490	163,3333
a12	276	155	189	620	206,6666
a13	288	218	242	748	249,3333
	3623	2872	2319		
	278,6923	220,9230	178,3846		

Рис. 3. Результаты тестирования (очки). Число тестируемых 13 (a1-a13)

Число тестов 3 (z105, z103, z109). В предпоследней строке стоят суммы, а в последней строке – стоят средние значения.

	z106	z118	z117	z115	z104	z107	z103	z105	z109	z113	z110	z116	z108	z114	dXi	Pi	T0i	Ti
q21	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0,2142	-1,2998	-2,0585
q22	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0,2856	-0,9164	-1,5994
q26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13	0,9284	2,5638	2,5669
q29	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	9	0,6427	0,5874	0,2010
q30	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	10	0,7142	0,9157	0,5939
q32	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,9284	2,5638	2,5669
q33	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	9	0,6427	0,5874	0,2010
q36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	12	0,8571	1,7913	1,6423
q37	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,1428	-1,7922	-2,6480
q42	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0,3571	-0,5879	-1,2063
q1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	10	0,7142	0,9157	0,5939
q11	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	12	0,8571	1,7913	1,6423
dRj	9	8	11	8	9	8	8	8	6	7	5	6	5	4				
Pj	0,75	0,6666	0,9166	0,6666	0,75	0,6666	0,6666	0,6666	0,5	0,5833	0,4166	0,5	0,4166	0,3333				
B0j	-1,0986	-0,6931	-2,3978	-0,6931	-1,0986	-0,6931	-0,6931	-0,6931	0	-0,3364	0,3364	0	0,3364	0,6931				
Bj	-0,9883	-0,4047	-2,8589	-0,4047	-0,9883	-0,4047	-0,4047	-0,4047	0,5932	0,1088	1,0777	0,5932	1,0777	1,5911				

Рис. 4. Результаты обработки данных из Рис. 2. Pj – суммы по столбцам, Pi – суммы по строкам. B0j – начальные значения логитов сложностей. T0i – начальные значения логитов способностей. Bj – вычисленные по методу Ньютона – Равсона значения логитов сложностей. Ti – вычисленные по методу Ньютона – Равсона значения логитов способностей

4. РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ СЛОЖНОСТЕЙ ТЕСТОВ

Представим вычисление сложностей тестов с помощью концепции Раша в более общем виде.

Пусть имеется M тестов и N испытуемых. В рассматриваемых тестах испытуемые набирают очки в виде числовых значений. Чем меньше в среднем набирают очков, тем тест сложнее. Сортируем столбцы из набранных очков испытуемых по убыванию сумм набранных очков и попытаемся свести вычисления к обычному виду для психологических тестов.

С помощью средних значений (SR_j) сумм (смотрите выше раздел “Обработка результатов”) и некоторой функции строим матрицу **A** из нулей и единиц. Один из видов этой функции был рассмотрен выше. Эта матрица из 0-й и 1-ц представлена на Рис. 4. Она получена с помощью программной обработки данных из Рис. 2.

Обозначим через x_{ij} элементы матрицы **A**. Здесь i (i = 1,...,N) дает номер испытуемого, j (j=1,...,M) соответствует номеру теста.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если для } i - \text{го испытуемого и } j - \text{го теста функция выдает } 1 \\ 0, \text{если для } i - \text{го испытуемого и } j - \text{го теста функция выдает } 0. \end{cases}$$

Получаем матрицу из случайных чисел x_{ij}.

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & . & x_{1M} \\ \dots & \dots & . & \dots \\ . & . & . & . \\ \dots & \dots & . & \dots \\ x_{N1} & \dots & . & x_{NM} \end{pmatrix} \tag{1}$$

Пусть $\boldsymbol{P_{ij}}$ – вероятность того, что x_{ij} равно 1, $\boldsymbol{Q_{ij}}$ – вероятность того, что x_{ij} равно 0.

$$\mathbf{Q_{ij} = 1 - P_{ij}} \tag{2}$$

Сумма $\boldsymbol{P_{ij}}$ и $\boldsymbol{Q_{ij}}$ равна 1.

$$\boldsymbol{P_{ij}} = \frac{\mathbf{exp}(\mathbf{1,7}(\boldsymbol{\theta_i} - \boldsymbol{\beta_j}))}{\mathbf{1} + \mathbf{exp}(\mathbf{1,7}(\boldsymbol{\theta_i} - \boldsymbol{\beta_j}))} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{Q_{ij}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1} + \mathbf{exp}(\mathbf{1,7}(\boldsymbol{\theta_i} - \boldsymbol{\beta_j}))} \tag{4}$$

Обозначим через θ_i логит способности **i**-го испытуемого, а через β_j логит трудности **j**-го теста. Наша задача найти β_j и θ_i. В современной теории тестирования согласно концепции Раша Г. (Item Response Theory) $\boldsymbol{P_{ij}}$ **и** $\boldsymbol{Q_{ij}}$ определяются так:

Пусть i-й испытуемый в M тестах получил результаты x_{ij} (j=1,...,M). Тогда L_i – вероятность получения i-м испытуемым всей последовательности результатов x_{ij} (j=1,...,M) будет:

$$\mathbf{L_i} = \prod_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{M}} \mathbf{D_{ij}} \qquad (5)$$

По аналогии, L_j – вероятность получения в j-м тесте определенной последовательности результатов x_{ij} (i=1,...,M) будет:

$$\mathbf{L_j} = \prod_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}} \mathbf{D_{ij}} \qquad (6)$$

Здесь

$$D_{ij} = \begin{cases} P_{ij} \text{ при } x_{ij} = 1 \\ Q_{ij} \text{ при } x_{ij} = 0. \end{cases}$$

Пусть

$$X_i = x_{i1} + x_{i2} + \ldots + x_{iM} \qquad (7)$$

$$X_j = x_{1j} + x_{2j} + \ldots + x_{Nj} \qquad (8)$$

Введем обозначения:

·p_i – доля единиц в i-й строке матрицы **A** (для i-го испытуемого): $p_i = X_i / M$

·q_i – доля нулей в i-й строке матрицы **A**: $q_i = 1 – p_i$

·p_j – доля единиц в j-м столбце матрицы **A** (для j-го испытуемого): : $p_j = X_j / N$

·q_j – доля нулей в j-м столбце матрицы **A**: $q_j = 1 – p_j$

Приближенные значения оценки способностей испытуемых и трудности заданий теста (их называют логитами) определяются следующим образом [1] :

$$\theta_i^0 = \ln (p_i / q_i) \text{ способности} \qquad (9)$$

$$\beta_j^0 = \ln (q_j / p_j) \text{ трудности} \qquad (10)$$

Верхний индекс 0 здесь поставлен для обозначения того, что они часто используются в качестве начальных значений для вычисления β_j и θ_i.

5. ВЫЧИСЛЕНИЕ ТРУДНОСТИ ЗАДАНИЙ ТЕСТА И СПОСОБНОСТЕЙ ИСПЫТУЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

Более точные значения логитов трудностей тестов и логитов способностей испытуемых β_j и θ_i вычисляем с помощью метода максимального правдоподобия, используя метод Ньютона-Рафсона. Точки экстремума для **Li** и **Ln(Li)** совпадают. Находим логарифмы L_i и L_j:

$$\mathbf{Ln(L_i)} = \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{M}} (\mathbf{Ln(D_{ij})}) = \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{M}} (\mathbf{x_{ij}Ln(P_{ij})} + (\mathbf{1} - \mathbf{x_{ij}})\mathbf{Ln(Q_{ij})}) \qquad (11)$$

$$\mathbf{Ln(L_j) = \sum_{i=1}^{N}(Ln(D_{ij})) = \sum_{i=1}^{N}(x_{ij}Ln(P_{ij}) + (1 - x_{ij})Ln(Q_{ij}))} \tag{12}$$

Для поиска оценок максимального правдоподобия β_j и θ_i, следует найти:

1. Экстремумы функций $Ln(L_i)$ по каждой из переменных θ_i (при этом β_j служит значением изменяемого параметра):

$$\frac{\partial \mathbf{Ln(L_i)}}{\partial \theta_\mathbf{i}} = \mathbf{0} \qquad \mathbf{(i= 1, \dots ,N)}$$

2. Экстремумы функций $Ln(L_j)$ по каждой из переменных β_j (при этом θ_i служит значением изменяемого параметра):

$$\frac{\partial \mathbf{Ln(L_j)}}{\partial \beta_\mathbf{j}} = \mathbf{0} \qquad \mathbf{(j= 1, \dots ,M)}$$

Найдем производные и составим системы уравнений для **θi** согласно :

$$\mathbf{Ln(P_{ij}) = 1,7(\theta_i - \beta_i) + Ln(Q_{ij})}$$

$$\mathbf{Ln(L_i) = \textstyle\sum_{j=1}^{M}(Ln(D_{ij})) = \sum_{j=1}^{M}(x_{ij}Ln(P_{ij}) + (1 - x_{ij})Ln(Q_{ij})) =}$$

$$\mathbf{\textstyle\sum_{j=1}^{M}(x_{ij}1,7(\theta_i - \beta_j) + Ln(Q_{ij}))}$$

$$\frac{\partial \mathbf{Ln(L_i)}}{\partial \theta_\mathbf{i}} = \mathbf{1,7X_i - 1,7\sum_{j=1}^{M} P_{ij} = 0} \qquad \mathbf{(i = 1, \dots, N)}$$

Отсюда получаем систему уравнений для нахождения **θi** при фиксированных значениях $\boldsymbol{\beta_1,\dots,\beta_M}$**:**

$$\mathbf{f_i(\theta_i, \beta_j) = -X_i + \sum_{j=1}^{M} P_{ij} = 0} \qquad \mathbf{(i = 1, \dots, N)} \tag{13}$$

Аналогично получаем систему уравнений для нахождения **βj** при фиксированных значениях $\boldsymbol{\theta_1,\dots,\theta_N}$

$$\frac{\partial \mathbf{Ln(L_j)}}{\partial \beta_\mathbf{j}} = \mathbf{-1,7X_j + 1,7\sum_{i=1}^{N} P_{ij} = 0}$$

$$\mathbf{f_j(\theta_i, \beta_j) = -X_j + \sum_{i=1}^{N} P_{ij} = 0} \qquad \mathbf{(j = 1, \dots, M)} \tag{14}$$

В работе М.Б. Челышкова [1] предлагается решать системы (13, 14) методом Ньютона-Рафсона, подставляя в них в качестве начальных стандартные значения измеряемых параметров, подсчитанные на основе приближенных значений (9), (10). В работе Ю.М. *Н*еймана, В.А. Хлебникова [2] предлагается находить статистические величины **θi** и **βj** только на основе достаточных статистик **Xi** и **Xj**, так как это сокращает число неизвестных **xij.**

Для нахождения корня некоторой функции **g(x) = 0** по методу Ньютона-Рафсона (Метод Ньютона, 2013) обычно используется итерационный процесс (15), который начинается с некоего начального приближения **x0**. Далее:

$$\mathbf{x^{k+1} = x^k - \frac{g(x^k)}{g'(x^k)}}$$

Для решения (13, 14) найдем частные производные функции **Pij** по переменным **θi** и **βj**:

$$\frac{\partial}{\partial\theta_i}\mathbf{P_{ij}} = \mathbf{1,7P_{ij} + exp(1,7(\theta_i - \beta_j))\frac{-1}{(1+exp(1,7(\theta_i-\beta_j)))^2}1,7exp(1,7(\theta_i-\beta_j))} =$$

$$\mathbf{1,7(P_{ij} - P_{ij}P_{ij})}$$

$$\frac{\partial}{\partial\beta_j}\mathbf{P_{ij}} = \mathbf{-1,7P_{ij} + exp(1,7(\theta_i - \beta_j))\frac{-1}{(1+exp(1,7(\theta_i-\beta_j)))^2}(-1,7)exp(1,7(\theta_i-\beta_j))} =$$

$$\mathbf{1,7(-P_{ij} + P_{ij}P_{ij})}$$

Составляем итерационные соотношения:

$$\theta_i^{\mathbf{k+1}} = \theta_i^{\mathbf{k}} - \frac{\mathbf{f_i}(\theta_i^{\mathbf{k}})}{\mathbf{f_i'}(\theta_i^{\mathbf{k}})} = \theta_i^{\mathbf{k}} - \frac{\mathbf{-X_i + \sum_{j=1}^{M} P_{ij}}}{\mathbf{1,7\sum_{j=1}^{M}(P_{ij} - P_{ij}P_{ij})}} \qquad \mathbf{(i = 1, \ldots, N)}$$

$$\beta_j^{\mathbf{k+1}} = \beta_j^{\mathbf{k}} - \frac{\mathbf{f_j}(\beta_j^{\mathbf{k}})}{\mathbf{f_j'}(\beta_j^{\mathbf{k}})} = \beta_j^{\mathbf{k}} - \frac{\mathbf{-X_j + \sum_{i=1}^{N} P_{ij}}}{\mathbf{1,7\sum_{i=1}^{N}(-P_{ij} + P_{ij}P_{ij})}} \qquad \mathbf{(j = 1, \ldots, M)}$$

Нахождение значений **θi и βj** производится следующим образом. Сначала вычисляем их приближенные значения (9), (10), затем подсчитываем для них значения по вышеприведенным формулам. Выбираем требуемую погрешность, например, 0,0001. При фиксированных значениях **βj** подсчитываем по формуле (18) значения **θi**. Вычисления повторяются до тех пор, пока разность соседних значений не станет меньше значения погрешности по абсолютной величине. Затем повторяем процесс для формулы (19). И так далее… В результате получаем значения трудностей **βj** для **M** заданий теста **(j= 1, … , M)**. Проведенные вычисления показали быстрое схождение итераций.

Литература

1. *Челнышкова М.Б.* "Теория и практика конструирования педагогических тестов. Учебное пособие" М. "Логос", 2002.
2. *Нейман Ю.М., Хлебников В.А.* "Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов" М. 2000.
3. *Войтов В.К.* "Расчет значений сложностей заданий для адаптивного теста интеллекта", Экспериментальная психология, 2013, Т. 6, № 2, С. 120–128.
4. *Войтов В.К., Косихин В.В., Ушаков Д.В.* Рабочая память как перспективный конструкт когнитивной психологии и методы его измерения // Моделирование и анализ данных. 2015. № 1. С. 57–78.
5. *Войтов В.К., Шепелева Е.А., Гаврилова Е.В. , Думин П.Н., Ермаков С.С.* Новые средства психологического тестирования // Моделирование и анализ данных. 2021. № 1. С. 94–108.

Calculation of the Complexity of Game Tests for the PLines System

Vlimir V. Voitov*
Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6486-3049
e-mail: vvo@mil.ru

Elena A. Shepeleva**
Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9867-6524
e-mail: shepelevaea@mgppu.ru

Evgeniya V. Gavrilova***
Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0848-3839
e-mail: gavrilovaev@mgppu.ru

The paper proposes a method for calculating the complexity of game tests. Calculations are carried out for the PLines gaming system. Brief information about the PLines system is provided.

Keywords: game test, the complexity of the test.

For citation:
Voitov V.K., Shepeleva E.A., Gavrilova E.V. Calculation of the Complexity of Game Tests for the PLines System. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2023. Vol. 13, no. 1, pp. 25–35. DOI: 10.17759/mda.2023130103 (In Russ., abstr. in Engl.).

References

1. Chelnyshkova M.B. “Teoriya i praktika konstruirovaniya pedagogicheskikh testov. Uchebnoe posobie” M. “Logos”, 2002.
2. Neiman Yu.M., Khlebnikov V.A. “Vvedenie v teoriyu modelirovaniya i parametrizatsii pedagogicheskikh testov” M. 2000.
3. Voitov V.K. “Raschet znachenii slozhnostei zadanii dlya adaptivnogo testa intellekta”, Eksperimental’naya psikhologiya, 2013, tom 6, № 2, P. 120–128.

****Vlimir V. Voitov,*** PhD in Technical sciences, Professor of IT Faculty, Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6486-3049, e-mail: vvo@mil.ru

*****Elena A. Shepeleva,*** PhD in Psychology, Senior Researcher at the Center for Research and Design of Digital Environments, Moscow State University of Psychology and Education(MSUPE), Moscow, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9867-6524, e-mail: shepelevaea@mgppu.ru

******Evgeniya V. Gavrilova,*** PhD in Psychology, Senior Researcher at the Center for Research and Design of Digital Environments, Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0848-3839, e-mail: gavrilovaev@mgppu.ru

4. Voitov V.K., Kosikhin V.V., Ushakov D.V. Rabochaya pamyat' kak perspektivnyi konstrukt kognitivnoi psikhologii i metody ego izmereniya // Modelirovanie i analiz dannykh. 2015. № 1. P. 57–78.
5. Voitov V.K., Shepeleva E.A., Gavrilova E.V. , Dumin P.N., Ermakov S.S. Novye sredstva psikhologicheskogo testirovaniya // Modelirovanie i analiz dannykh. 2021 № 1 94–108.

Получена 17.12.2022
Принята в печать 27.01.2023

Received 17.12.2022
Accepted 27.01.2023