
Вычисление коэффициентов влияния цифровых двойников друг на друга

О.Л. Фиговский¹, О.Г. Пенский²

¹*Israel Association of Inventors, Haifa, Israel*

²*Пермский государственный национальный исследовательский университет,*

г. Пермь, Россия

Аннотация: В статье на основе математических моделей равномерно забывчивых роботов с равноценными эмоциями вводится определение простейшего воспитания цифровых двойников человека и предлагается способ вычисления параметров этого воспитания на основе экспериментальных данных. В статье предлагаются методики вычисления коэффициентов мягкого и жесткого психологического влияния цифровых двойников при их общении друг с другом, и описывается компьютерная программа, позволяющая вычислять эти коэффициенты.

Ключевые слова: робот, математическое моделирование, цифровой двойник человека, взаимоотношение роботов, психологическое влияние, эмоциональное воспитание робота, группа роботов, компьютерная программа, психологические эксперименты, обработка результатов эксперимента.

Введение

В настоящее время создано большое количество алгоритмов и программных разработок, например [1 – 3], пытающихся имитировать эмоции робота, как ответную реакцию на внешние стимулы. Однако все эти разработки описывают приближенную имитацию роботом лишь отдельных базовых эмоций [4] человека. Количество научных публикаций, посвященных созданию общей математической теории моделирования эмоций человека и основанных на математизации положений классической психологии, невелико. Примерами этого небольшого количества публикаций являются, например, статьи директора Института психологии АН Грузинской ССР П.В. Симонова [5-7] и профессора Калифорнийского университета, бывшего руководителя Мозгового Центра США по борьбе с терроризмом В. Лефевра [8-11]. Немногочисленные работы В.П. Симонова, написанные еще в начале 70-х годов прошлого века, носят, скорее, умозрительный характер, порожденный многими необъяснимыми гипотезами, и до сих пор не нашли

своего экспериментального подтверждения. Математическая теория рефлексий В. Лефевра основывается, прежде всего, на обобщенной автором классической теории математической логики к «исчислению» эмоций человека. Однако публикации В. Лефевра [8-10] не дают возможности вычислять психологические характеристики, порожденные эмоциями, например, такие как темперамент, влияние одного человека на другого и т.д. Первые попытки, посвященные моделированию эмоций и производных от эмоций психологических характеристик на основе классического математического анализа, линейной алгебры и методов оптимизации, приведены в работах [12,13], а в трудах [14, 15] описаны математические модели озарений, интуиции и гипноза роботов - цифровых двойников, являющихся психологическим аналогами человека. Предложенные математические модели позволяют вычислять многие психологические параметры человека и в дальнейшем прогнозировать его поведение.

В работе [16] введены определения коэффициентов жесткого и мягкого влияния одного робота на другого робота, являющихся цифровыми психологическими двойниками [17] двух людей, при их взаимном общении.

Настоящая статья посвящена способам определения численных значений этих коэффициентов и основана на экспериментальных измерениях воспитаний человека, являющихся прообразом конкретных цифровых двойников.

Вычисление параметров простейшего воспитания цифровых двойников

В работе [13] приведена простая математическая модель непрерывного эмоционального воспитания роботов с неабсолютной памятью, которая записывается следующей формулой:

$$R_i = r_i + \theta_i R_{i-1}, \quad (1)$$

где i – порядковый номер воспитательного такта, r_i – элементарное воспитание робота, полученное им в конце такта i , R_i – воспитание, полученное роботом в конце такта i , θ_i – коэффициент памяти для такта i , $0 < \theta_i \leq 1 - \delta$, $0 < \delta = const < 1$.

В дальнейшем, будем предполагать справедливость соотношения $|r_i| \geq a > 0$

Согласно работе [16] в этом случае верно неравенство

$$|R_i| > |R_{i-1}| > 0 \quad (2)$$

для $i > 1$.

Предполагая также справедливость соотношений

$$r_i = q = const, \quad \theta_i = \theta = const, \quad (3)$$

можно записать равенство (1) в виде:

$$R_i = q + \theta R_{i-1}. \quad (4)$$

Равенство (4) назовем математической моделью простейшего воспитания робота при непрерывном воспитании.

В работе [13] временные перерывы между воспитаниями названы фиктивными тактами. Очевидно, что для фиктивных тактов справедливо равенство $r_i = 0$, а поэтому формула (1) трансформируется в соотношение

$$R_i = \theta_i R_{i-1}, \quad (5)$$

которое при условиях (3) примет вид:

$$R_i = \theta R_{i-1}. \quad (6)$$

В работе [13] приведены результаты многочисленных исследований психологического поведения роботов на основе моделей простейшего воспитания, описываемых соотношениями (4) и (6).

Однако на практике при создании психологического аналога человека - цифрового двойника соотношения (3) справедливыми не

являются. Поэтому возникает задача аппроксимации реального воспитательного процесса, описываемого соотношениями (1) и (5), с помощью моделей простейшего воспитания (4) и (6).

Задача аппроксимации ставит задачу определения численных значений элементарного воспитания q и коэффициента памяти θ , исходя из экспериментально полученных величин R_i при тактах и фиктивных тактах.

Предположим, что известны численные значения воспитаний R_i .

Предположим, что экспериментальные измерения величин R_i осуществлены для каждого такта или фиктивного такта, а значение i определяет порядковый номер измерения.

Тогда для вычисления коэффициентов памяти θ только при фиктивных тактах необходимо решить задачу по определению безусловного экстремума функции $I(\theta)$:

$$I(\theta) = \sum_{i=1}^n (R_i - \theta R_{i-1})^2,$$

где n – количество выполненных измерений.

Решая уравнение $\frac{dI(\theta)}{d\theta} = 0$, получим следующее соотношение для вычисления коэффициента памяти θ :

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n R_{i-1} R_i}{\sum_{i=1}^n R_{i-1}^2}. \quad (7)$$

Предположим, что во время экспериментальных измерений, сменяя друг друга, выполнялись, каждое по отдельности, условия (2) и (6).

Запишем функцию $J(\theta, q)$ в следующем виде:

$$J(\theta, q) = \sum_{i=1}^n \begin{cases} (R_i - q - \theta R_{i-1})^2, & \text{если } |R_i| > |R_{i-1}|, \\ (R_i - \theta R_{i-1})^3, & \text{если } |R_i| < |R_{i-1}|. \end{cases}$$

Очевидно, что для аппроксимации простейшим воспитательным процессом воспитания с экспериментальными значениями R_i нужно решить следующую задачу:

$$\text{найти } \min_{\theta, q} J(\theta, q). \quad (8)$$

Вычисляя первые производные функции $J(\theta, q)$ по переменным θ и q и приравнявая производные к нулю, получим систему уравнений, определяющую решение задачи (7):

$$\sum_{i=1}^n \begin{cases} R_{i-1}R_i - qR_{i-1} - \theta R_{i-1}^2, & \text{если } |R_i| > |R_{i-1}| \\ R_{i-1}R_i - \theta R_{i-1}^2, & \text{если } |R_i| < |R_{i-1}| \end{cases} = 0, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \begin{cases} R_i - q - \theta R_{i-1}, & \text{если } |R_i| > |R_{i-1}| \\ 0, & \text{если } |R_i| < |R_{i-1}| \end{cases} = 0. \quad (10)$$

Легко показать, что система уравнений (9) – (10) эквивалентна следующей системе:

$$q \sum_{i \in \Omega} R_{i-1} + \theta \sum_{i=1}^n R_{i-1}^2 = \sum_{i=1}^n R_{i-1}R_i, \quad (11)$$

$$qn_+ + \theta \sum_{i \in \Omega} R_{i-1} = \sum_{i \in \Omega} R_i, \quad (12)$$

где Ω – множество тех номеров i , для которых справедливо неравенство $|R_i| > |R_{i-1}|$, n_+ – количество элементов в множестве Ω .

Решая систему уравнений (11) – (12), получим соотношения для искомых величин θ и q :

$$\theta = \frac{\sum_{i \in \Omega} R_{i-1} \sum_{i \in \Omega} R_i - n_+ \sum_{i=1}^n R_{i-1}R_i}{\left(\sum_{i \in \Omega} R_{i-1} \right)^2 - n_+ \sum_{i=1}^n R_{i-1}^2}, \quad (13)$$

$$q = \frac{\sum_{i \in \Omega} R_{i-1} \sum_{i=1}^n R_{i-1}R_i - \sum_{i=1}^n R_{i-1}^2 \sum_{i \in \Omega} R_i}{\left(\sum_{i \in \Omega} R_{i-1} \right)^2 - n_+ \sum_{i=1}^n R_{i-1}^2}. \quad (14)$$

Заметим, что соотношения (13), (14) позволяют найти решения θ и q только в том случае, когда множество Ω не пусто, в противном случае простейшее воспитание описывается только коэффициентом памяти θ , который удовлетворяет равенству (7).

Отметим, что описанный выше способ вычисления параметров простейшего воспитания является обобщением способа вычисления параметров, изложенного в работе [16]. Обобщением является то, что в работе [16] рассматриваются только положительные значения R_i , а в изложенном выше - и отрицательные экспериментальные величины воспитаний.

Методика вычисления коэффициентов влияния двух субъектов друг на друга

В работе [16] приведены определения коэффициентов мягкого и жесткого влияния цифровых двойников группы с простейшим воспитанием друг на друга, а также описан пример вычисления этих коэффициентов для таких роботов.

Для двух роботов согласно соотношениям, позволяющим вычислять так называемые теоретические коэффициенты мягкого $k^{[j,L]}$ и жесткого $\bar{K}^{[j,L]}$ влияния робота j на робота L , где $j = \overline{1,2}$, $L = \overline{1,2}$, $j \neq L$, адаптированные формулы работы [16] имеют вид:

$$k^{[j,L]} = \frac{\bar{R}_{[i+1]экп}^{[L]} - \theta^{[L]} q^{[L] \frac{1-\theta^{[L]}}{1-\theta^{[L]}}^i}}{q^{[j]}},$$
$$\bar{K}^{[j,L]} = \frac{\bar{R}_{[i+1]экп}^{[L]} - \frac{q^{[L] \frac{1-\theta^{[L]}}{1-\theta^{[L]}}^{i+1}}}{q^{[L]}}}{q^{[j]}},$$

где $i + 1$ – количество экспериментально измеренных воспитаний робота - цифрового двойника человека.

Для экспериментальных коэффициентов мягкого и жесткого влияния роботов справедливы соотношения:

$$k^{[j,L]} = \frac{\bar{R}_{[i+1]эксп}^{[L]} - \theta^{[L]} q^{[L] \frac{1-\theta^{[L]}}{1-\theta^{[L]}}}}{q^{[j]}}$$

$$\bar{K}^{[j,L]} = \frac{\bar{R}_{[i+1]эксп}^{[L]}}{q^{[j]}} - \frac{q^{[L]} + \theta^{[L]} \bar{R}_{[i]эксп}^{[L]}}{q^{[j]}}$$

где $\bar{R}_{[i]эксп}^{[L]}$, $\bar{R}_{[i+1]эксп}^{[L]}$ – экспериментально измеренные воспитания человека, принимаемые за воспитания цифровых двойников.

Для измерения численных значений воспитаний $\bar{R}_{[i]эксп}$ человека использовалось программное приложение Vibraimage компании ELSYS (СПб) [18].

Измерение проводилось по следующей методике: каждый испытуемый размещался на 4 минуты перед объективом web-видеокамеры, с помощью ежеминутного подсчета количества микровибраций головы испытуемого, соответствующих его эмоциональному состоянию, определялись численные значения воспитаний $\bar{R}_{[j]эксп}$ испытуемого субъекта, где $j = \overline{1,4}$. При измерениях воспитаний испытуемый вел себя спокойно, неподвижно и находился в изолированном помещении.

Сразу после завершения описанного выше эксперимента с первым испытуемым, второй испытуемый произносит похвалу в течение минуты в адрес первого испытуемого, а затем программа Vibraimage измеряет эмоциональное состояние первого испытуемого. Затем роли первого и второго испытуемого меняются. В результате соответствующих измерений с помощью программы компании ELSYS получены следующие экспериментальные численные значения воспитаний первого и второго испытуемого субъекта:

$$\bar{R}_{[5]эксп}^{[1]} = 18.2, \bar{R}_{[5]эксп}^{[2]} = 24.3.$$

В табл. приведены результаты 4-х измерений воспитаний двух испытуемых, произвольно выбранных из большого количества экспериментов, приведенных в работе [12].

Таблица. Экспериментально измеренные воспитания

№ испытуемого	$\bar{R}_{[1]эксп}$	$\bar{R}_{[2]эксп}$	$\bar{R}_{[3]эксп}$	$\bar{R}_{[4]эксп}$
1	14.8	13.9	12.9	13.8
2	22.7	17.7	13.9	14.8

Для автоматизации вычислений значений коэффициентов мягкого и жесткого влияния двух субъектов друг на друга была разработана компьютерная программа на языке программирования Delphi 7.

Алгоритм программы основан на вычислении параметров простейших воспитаний каждого цифрового двойника на основе описанного выше способа, исходя из экспериментально измеренных воспитаний человека, с последующим вычислением коэффициентов влияний цифровых двойников друг на друга.

Пример главной формы программы с входными данными и результатами решения задачи приведен на рис. 1.

Пример файлов входных данных, соответствующих главной форме на рис.1 программы и табл., приведен на рис. 2.

Анализируя изображения, приведенные на рис.1 и рис. 2, можно понять принципы организации входных данных программы и результаты компьютерного решения задачи. Следует отметить, что для того, чтобы программа вычислила все требуемые коэффициенты влияния, данные в

каждом из входных файлов должны быть или только положительны, или только отрицательны.



Вычисление коэффициентов влияния двух субъектов друг на друга (Пенский О.Г., Соловьева Т.Н. - Пермь - 2020)

Входные данные

Количество экспериментально измеренных собственных воспитаний каждого субъекта

Измеренное воспитание первого субъекта после воздействия на него второго субъекта

Измеренное воспитание второго субъекта после воздействия на него первого субъекта

Числа во входных файлах записываются по одному числу в строке
Все численные входные данные в каждом файле должны быть одного знака

Имя файла измеренных собственных воспитаний первого субъекта.txt

Имя файла измеренных собственных воспитаний второго субъекта.txt

Собственное элементарное воспитание первого субъекта

Коэффициент эмоциональной памяти первого субъекта

Собственное элементарное воспитание второго субъекта

Коэффициент эмоциональной памяти второго субъекта

Нулевые значения коэффициентов влияния означают невозможность их вычисления при данных исходных параметрах

Коэффициенты мягкого влияния
Теоретические

Первого субъекта на второго субъекта Второго субъекта на первого субъекта

Экспериментально-теоретические

Первого субъекта на второго субъекта Второго субъекта на первого субъекта

Коэффициенты жесткого влияния
Теоретические

Первого субъекта на второго субъекта Второго субъекта на первого субъекта

Экспериментально-теоретические

Первого субъекта на второго субъекта Второго субъекта на первого субъекта

Рисунок 1. Главная форма программы

Если в первом файле входные данные положительны, а во втором отрицательны, то вводимое на главной форме программы численное значение воспитания первого субъекта должно быть меньше последнего числа из первого входного файла, а вводимое на главной форме численное значение воспитания второго субъекта должно быть больше последнего числа во втором файле входных данных.

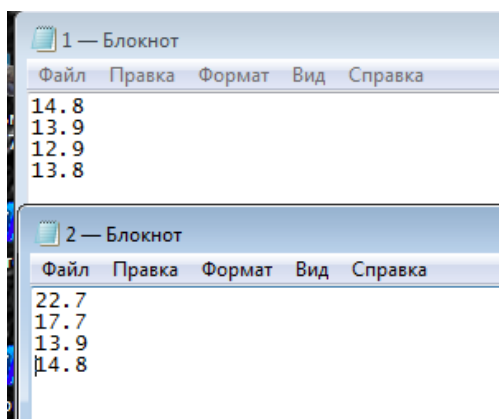


Рис. 2. Пример файлов входных данных

Если в первом файле входные данные отрицательны, а во втором положительны, то вводимое на главной форме программы численное значение воспитания первого субъекта должно быть больше последнего числа из первого входного файла, а вводимое на главной форме численное значение воспитания второго субъекта должно быть меньше последнего числа во втором файле входных данных.

Если в первом и входном файлах входные данные положительны, то вводимое на главной форме программы численное значение воспитания каждого субъекта должно быть больше последнего числа из входного файлов, соответствующего субъекту.

Если в первом и входном файлах входные данные отрицательны, то вводимое на главной форме программы численное значение воспитания каждого субъекта должно быть меньше последнего числа из входного файлов, соответствующего субъекту.

Если эксперименты по измерению воспитаний человека проведены неправильно, то на главную форму программы возвращаются равные нулю коэффициенты влияния цифрового двойника, соответствующего этому человеку.

Заключение

Таким образом, в статье приведены соотношения, адаптированные для вычисления коэффициентов влияния двух субъектов друг на друга, а так называемые теоретические и экспериментальные значения этих коэффициентов позволяют проверить адекватность предложенных способов их определения. Разработанная несложная программа для ЭВМ, описанная в статье, дает возможность автоматизировать вычисление коэффициентов мягкого и жесткого влияния цифровых двойников друг на друга после их общения.

Литература

1. Montesano L., Lopes M., Bernardino A., Santos-Victor J. Learning Object Affordances: From Sensory-Motor Coordination to Imitation // IEEE Transactions on Robotics. 2008. 24(1), pp. 15-26.
2. Arnold M.B., Plutchik R. The Emotions: Facts, Theories and a New Model // The American Journal of Psychology. 1964. V.77. № 3. Pp. 518-522.
3. Steunebrink B.R., Dastani M., Meyer J.C. A Formal Model of Emotions: Integrating Qualitative and Quantitative Aspects. URL: drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2008/1644/pdf/08361.SteunebrinkBas.Paper.1644.pdf (дата обращения: 11.12.2019).
4. Козлов Н.И. Базовые эмоции. URL: psychologos.ru/articles/view/bazovye-emocii (дата обращения 30.06.2020).
5. Симонов П.В. Эмоциональный мозг. М.: Наука, 1981. 215с.
6. Симонов П.В. Мотивированный мозг. М.: Наука, 1987. 270с.
7. Симонов П. В., Ершов П.М. Темперамент. Характер. Личность. – Рипол Классик, 1984. 159 с.
8. Лефевр В. Конфликтующие структуры. М.: Советское радио. 1973. 350 с.



9. Lefebvre V. Lectures on the Reflexive Games Theory. Paperback – September 2, 2010. 218 p.
 10. Lefebvre V. A. Reflexive analysis of groups // Computational methods for counterterrorism. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. Pp. 173-210.
 11. Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. Mathematical models of informational and strategic reflexion: a survey // Advances in Systems Science and Applications. 2014. V. 14. №. 3. Pp. 254-278.
 12. Черников К.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Пермь: ПНИПУ. 2013. 156 с.
 13. Пенский О.Г., Шарапов Ю.А., Ощепкова Н.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью и приложения моделей. Пермь: изд-во ПГНИУ. 2018. 308 с.
 14. Figovsky O., Pensky O. Mathematical models of intuition, insights and hypnosis of digital counterparts // Danish Scientific Journal No36, 2020. Pp. 49 – 55.
 15. Фиговский О.Л., Пенский О.Г. Математические модели гипноза роботов // Инженерный вестник Дона, 2020, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/ny2020/6409.
 16. Пенский О.Г., Анисимова С.И. Математические модели коэффициентов влияния роботов друг на друга // Polish journal of science. 2020, № 28, vol. 1. Pp. 22 – 27.
 17. Фиговский О.Л., Пенский О.Г. Роботы, цифровые двойники человека, модели диалектики социума и экономики // Дайджест «Наука и жизнь Израиля». URL: nizinew.co.il/novosti-sajta/roboty-cifrovye-dvojniki-cheloveka-modeli-dialektiki-sociuma-i-ekonomiki.html (дата обращения 25.05.2020).
 18. ЭЛСИС. URL: elsys.ru/ (дата обращения 20.05.2020).
-

References

1. Montesano L., Lopes M., Bernardino A., Santos-Victor J. IEEE Transactions on Robotics. 2008. 24(1), pp. 15-26.
2. Arnold M.B., Plutchik R. The American Journal of Psychology. 1964. № 3 (77). Pp. 518-522.
3. Steunebrink B.R., Dastani M., Meyer J.C. A Formal Model of Emotions: Integrating Qualitative and Quantitative Aspects. URL: drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2008/1644/pdf/08361.SteunebrinkBas.Paper.1644.pdf (Date of access 11.12.2019).
4. Kozlov N.I. Bazovyye emotsii. [Basic emotions]. URL: psychologos.ru/articles/view/bazovye-emocii (Date of access 30.06.2020).
5. Simonov P.V. Emotsionalnyy mozg. [The emotional brain]. M.: Nauka. 1981. 215p.
6. Simonov P.V. Motivirovannyy mozg. [Motivated brain]. M.: Nauka. 1987. 270 p.
7. Simonov P. V., Ershov P.M. Temperament. Karakter. Lichnost`. – Ripol Klassik, 1984. 159 p.
8. Lefevr V. Konfliktuyushchiye struktury. [Conflicting Structures]. M.: Sovetskoye radio. 1973. 350p.
9. Lefebvre V. Lectures on the Reflexive Games Theory. Paperback, September 2.2010.218p.
10. Lefebvre V. A. Reflexive analysis of groups // Computational methods for counterterrorism. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. Pp. 173-210.
11. Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. Mathematical models of informational and strategic reflexion: a survey //Advances in Systems Science and Applications. 2014. V. 14. №. 3. Pp. 254-278.
12. Chernikov K.V. Matematicheskiye modeli robotov s neabsolyutnoy pamyatyu [Mathematical models of robots with non-absolute memory].



Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata fiziko-matematicheskikh nauk. Perm: PNIPU.2013.156p.

13. Pensky O.G., Sharapov Yu.A., Oshchepkova N.V. Matematicheskiye modeli robotov s neabsolyutnoy pamyatyu i prilozheniya modeley. [Mathematical models of non-absolute memory robots and model applications]. Perm: izd-voPGNIU.2018.308p.

14. Figovsky O., Pensky O. Danish Scientific Journal No36. 2020. Pp. 49 –55.

15. Figovsky O.L., Pensky O.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/ny2020/6409.

16. Pensky O.G. Anisimova S.I. Polish journal of science. 2020, №28. vol. 1.Pp. 22–27.

17. Figovsky O.L., Pensky O.G. Daydzhest «Nauka i zhizn Izrailiya». URL: nizinev.co.il/novosti-sajta/roboty-cifrovye-dvojniki-cheloveka-modeli-dialektiki-sociuma-i-ekonomiki.html (Date of access 25.05.2020).

18. ЭЛСИС. URL: elsys.ru/ (дата обращения 20.05.2020).