

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ)

Кулик Сергей Дмитриевич

Доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
sedmik@mail.ru

ELEMENTS OF SYSTEM ANALYSIS (SEQUENTIAL ANALYSIS)

S. Kulik

Summary: This article deals with the system analysis and sequential analysis for educational process. The main attention in the article is given to learning tasks based on sequential analysis. The results obtained can be used in teaching disciplines that are related to system analysis, as well as in the study of sequential analysis. In conclusion, it is concluded that it is necessary to pay more attention in the framework of the educational process to the elements of system analysis. The results obtained can be used by tutor of system analysis for educational process.

Keywords: system analysis, sequential analysis, system, comparative analysis, learning task.

Аннотация. Статья посвящена элементам системного анализа. Кратко рассмотрен паспорт специальности 2.3.1 (системный анализ, управление и обработка информации, статистика), используемый при защите диссертаций. Основное внимание в статье уделено учебным задачам, в основе которых лежит последовательный анализ. Полученные результаты могут быть использованы при обучении дисциплинам, которые связаны с системным анализом, а также при изучении последовательного анализа.

Ключевые слова: системный анализ, последовательный анализ, система, сравнительный анализ, учебная задача.

Введение

Системный анализ [1, 2, 3, 4], теория систем [5] широко используются на практике различными специалистами. Сегодня можно уверенно полгать, что элементы системного анализа [6, 7, 8] являются неотъемлемой частью соответствующих этапов, которые напрямую связаны с планированием современных научно-технических разработок информационных технологий и их исследований. В области системного анализа имеются достаточно эффективные инструментальные средства необходимые исследователю. Эти средства хорошо приспособлены для проведения необходимого системного анализа заданного объекта информационных технологий. Хорошо себя зарекомендовал метод последовательного анализа [9, 10, 11, 12], например, для тестирования человека-оператора [10, 11] или для анализа эффективности информационных систем. В рамках текущего учебного процесса преподавателю необходимо иметь набор учебных задач для проверки приобретения навыков учащимися в освоении дисциплин, связанных с системным анализом. Далее для последовательного анализа такой набор учебных задач будет предложен. Сначала остановимся кратко на сравнительном анализе паспорта специальности 2.3.1.

Краткий сравнительный анализ паспорта специальности 2.3.1 (системный анализ, управление и обработка информации, статистика)

В системе подготовки ученых в нашей стране при защите диссертаций ранее использовалась специальность 05.13.01 — «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)». В старом паспорте был

специальный раздел, посвященный формуле специальности. В табл. 1 достаточно полно представлены ключевые элементы этой формулы. В табл. 2 приведено важное примечание к паспорту этой специальности.

В последнее время применяется эта обновленная специальность под другим номером 2.3.1 — «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». В табл. 3 достаточно кратко представлены ключевые области исследований для этой специальности.

Таблица 1.

Элементы формулы специальности 05.13.01

№	Элемент	Краткие пояснения
1	Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) — специальность, занимающаяся проблемами разработки и применения методов системного анализа сложных прикладных объектов исследования, обработки информации, целенаправленного воздействия человека на объекты исследования, включая вопросы анализа, моделирования, оптимизации, совершенствования управления и принятия решений, с целью повышения эффективности функционирования объектов исследования	Вводная часть
2	Специальность отличается тем, что ее основным содержанием являются теоретические и прикладные исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития объектов и процессов с учетом отраслевых особенностей, ориентированные на повышение эффективности управления ими с использованием современных методов обработки информации	Отличительная часть

№	Элемент	Краткие пояснения
3	Значение решения научных и технических проблем данной специальности для народного хозяйства состоит в разработке новых и совершенствовании существующих методов и средств анализа обработки информации и управления сложными системами, повышения эффективности надежности и качества технических систем	Значимая часть

Таблица 2.

Примечание к специальности 05.13.01 и отрасль наук

№	Элемент	Краткие пояснения
1	Специальность не включает исследования в следующих областях: автоматизированные системы управления технологическими процессами и производствами; управление в социальных и экономических системах; программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей; системы автоматизации проектирования; системы математического моделирования; системы защиты информации	Что не входит в эту специальность
2	Эти области исследования включают соответственно специальности 05.13.06, 05.13.10, 05.13.11, 05.13.12, 05.13.18, 05.13.19	Номера специальностей в которые входят эти специальности
3	Отрасль наук: технические науки, физико-математические науки	Применяется в этих отраслях наук

Таблица 3.

Области исследований для специальности 2.3.1

№	Краткие пояснения	Отметка (изменен или нет)
1	Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта	изменен
2	Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта	изменен
3	Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта	изменен
4	Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта	изменен

№	Краткие пояснения	Отметка (изменен или нет)
5	Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта	изменен
6	Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации	нет
7	Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем	нет
8	Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем	нет
9	Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов	нет
10	Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах	нет
11	Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов	изменен
12	Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации	нет
13	Методы получения, анализа и обработки экспертной информации, в том числе на основе статистических показателей	изменен
14	Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов систем управления с целью улучшения их технических характеристик	добавлен
15	Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик	добавлен
16	Методология статистического обеспечения управления развитием сложных систем	добавлен
17	Прикладные статистические исследования, направленные на выявление, измерение, анализ, прогнозирование, моделирование складывающейся конъюнктуры и разработки перспективных вариантов развития сложных систем	добавлен

В табл. 4 кратко представлены как пример только 3 принципа [4, с. 12] теории систем и системного анализа. В них используется понятие системы, которое является ключевым в системном анализе. Тщательно анализируя как старый паспорт, так и новый можно заметить, что в них заложены ключевые принципы системного анализа. Выполнен сравнительный анализ паспортов

специальностей 05.13.01 и 2.3.1. Можно заметить, что основные изменения (выделены в тексте табл. 3) связаны с искусственным интеллектом и со статистикой.

Таблица 4.

Принципы теории систем и системного анализа

Номер принципа	Краткие пояснения
1	Заключается в рассмотрении совокупности элементов системы как целое, или более жестко — запрет на рассмотрение системы как простого объединения элементов
3	Заключается в стремлении к максимальной эффективности работы системы (почти всегда используется экономический показатель)
5	Заключается в возможности (а иногда и необходимости) деления данной системы на части

Последовательный анализ

В случае последовательного анализа Вальда [9, 10] (для принятия решения о браковке партии произведенной продукции) необходимы оценки вероятностей α , β , p_0 и p_1 , а также необходимо правило принятия решений для определения дефектности (или годности) конкретного изделия из представленной партии изделий и итоговое правило принятия решений для определения дефектности (или годности) всей партии изделий целиком.

Введем следующие частные показатели эффективности:

p — вероятность дефекта (относительное число дефектных изделий); при $p \geq p_1$ обычно предпочитают забраковать партию, а при $p \leq p_0$ обычно предпочитают принять партию;

α — вероятность забраковать партию в случае $p \leq p_0$;

β — вероятность принять партию в случае $p \geq p_1$;

d_m — число дефектных изделий среди первых m проверенных.

Пусть $p_0 < p_1$. В соответствии с введенными обозначениями справедливо [9, 10]: $a_m = h_0 + s \cdot m$, $r_m = h_1 + s \cdot m$, где

$$s = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}; h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

a_m — нижняя граница (приемочное число), при пересечении которой принимается решение о том, что партия принимается;

r_m — верхняя граница, при пересечении с которой принимается решение о том, что партия бракуется.

При последовательном анализе, тестировании выполняют до тех пор, пока выполняется условие [9, 10]: $a_m < d_m < r_m$. Текущее испытание сразу прекращают (и соответственно принимают итоговое решение), когда d_m в первый раз нарушает следующее условие:

если $d_m \geq r_m$, то партия **бракуется**;

если $d_m \leq a_m$, то партия **принимается**.

На практике a_m и r_m оценивают заранее еще до проведения самого испытания. На рис. 1 приведено для последовательного анализа графическое представление. Более подробные сведения о последовательном анализе Вальда представлены, например, в работах [9, 10, 11].

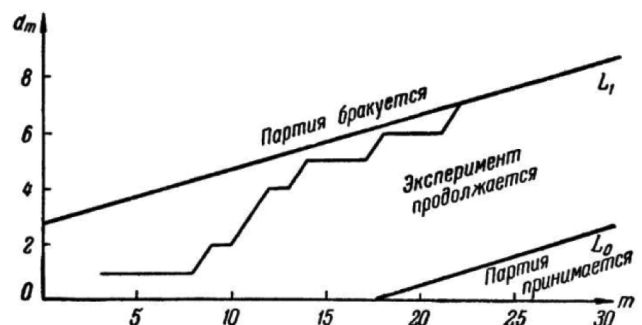


Рис. 1. Графический метод для последовательного анализа [9]

Для эффективного применения последовательного анализа на практике учеными (А. Вальд и Дж. Вольфовиц) успешно доказали очень важную теорему о минимуме средних размеров выборок (числа наблюдений). Основная идея этой теоремы [9, с. 292] состоит в следующем: в среднем последовательный критерий отношений вероятностей требует наименьшее число наблюдений.

Были проведены [9] необходимые исследования. Обоснована важная оценка эффективности последовательного анализа. При этом было убедительно показано [9, с. 85], что последовательный критерий обеспечивает выигрыш примерно 50 % необходимого числа испытаний по сравнению с обычным наиболее мощным критерием. Рассмотрим известный пример применения последовательного анализа.

Пример (см. [9, с. 128–130])

Требуется принять решение (с помощью последовательного анализа) о принятии или браковке партии

продукции. Известны исходные данные: $p_0 = 0.1; p_1 = 0.3; \alpha = 0.02; \beta = 0.03$ и результаты эксперимента приведены ниже в табл. 5.

Решение

1) Приемочное и браковочное числа приведены ниже в табл. 5.

Таблица 5.

Табличный метод для последовательного анализа

m число проверенных изделий	a_m приемочное число	d_m число обнаруженных дефектов	r_m браковочное число
1		0	
2		0	
3		1	
4		1	4
5		1	4
6		1	4
7		1	5
8		1	5
9		2	5
10		2	5
11		3	5
12		4	6
13		4	6
14	0	5	6
15	0	5	6
16	0	5	6
17	0	5	7
18	0	6	7
19	0	6	7
20	1	6	7
21	1	6	7
22	1	7	7
23	1		8
24	1		8
25	2		8

2). При $m = 22$ проверка закончилась браковкой партии т.к. $d_m \geq r_m$.

И тем самым пример решен

Учебные задачи последовательного анализа

В задачах с 1 по 20 приняты следующие исходные данные:

$$p_0 = 0.1; p_1 = 0.3; \alpha = 0.03; \beta = 0.05.$$

Требуется с помощью последовательного анализа принять решение о браковке партии продукции или ее принятию.

Варианты состояний изделий в проверяемой партии для каждой задачи (0 — обозначает годное изделие; 1 — дефектное (не годное) изделие) представлены последовательностью из нулей и единиц (самая первая проверка — слева в начале последовательности, а самая последняя — справа в конце последовательности). Последовательности для задач приведены в табл. 6.

Таблица 6.

Последовательности для 20 учебных задач

№ задачи	Последовательность
1	011100001111000001111000001111000011110000111100000 1111100 000111100001111100000111100000111110000011110000011110 0000111 1100001111100001111100000111
2	111100001111100000111110000111100000111100000111100000 1111100 000111110000011111000001111100000111110000111110000011 1110000 0111110000011110000011111000
3	001111100000111000001111100011111000001111000001111000 0011111 000011111000011111000001111100001111100000111100000111 1000001 1110000111110000011110000011
4	000011100000111100001111100000111100000111110000111100 0001111 100000111100000111100000111110000011111000001111000001 1110000 0111110001111100000111110000
5	000111110000011111000001111000001111100000111100000111 1100001 111100000111110000011111000000111110000011111100000011 1110000 0011111000000111110000001111
6	011110000011111000011111000001111000001111000001111100 0001111 100000111111000001111100000111110000011111100000111110 0000111 1100001111100000111110000011
7	011110000011111000001111100000011111000001111100000011 1110000 001111000011111000001111100000111100000111110000011111 0000111 1100001111000001111000001111

№ задачи	Последовательность
8	0011110000011110000011110000111100000111100000111100 0011111 000001111100000111110000011111000000111110000011111000 0001111 1000111110000011110000011111
9	11110000111100001111100001111100001111100001111100001 1111000 001111100000111110000111110000111110000011111000001111 0000011 1110000011110000011111000011
10	001111000001111100000111110000011111000001111100000 1111100 00011110000011111000001111100000111100000011111000001 1111100 0001111110000011111100000111
11	00010 0000101 00 0000000 000010000000000100000000000000
12	00010 0000101 00 0000000 000000000000000000000000000010
13	00010 0000001 0000000001000000010001000000000000000000000000000000 0000000 0000100010000000100000000010
14	00010 0000101 00000000000100 0000000 000000000000000000000000000000
15	00010 0000001 0000010001000000010000000000000000000000000000000000 0000000 000010000000000100000000000000
16	00010 0000000 0000010001000000010000000000000000000000000000000000 0000000 000010001000001010000000000000

№ задачи	Последовательность
17	000 0000101 000 0000000 0000100010000000100000000000
18	000 0000001 000 0000000 0000100010000000100000000000
19	000 0000101 000 0000000 000000000000000000000000000010
20	000 0000101 000 0000000 0000000010000000100000000000

Набор полученных учебных задач может быть достаточно легко расширен по аналогии до заданного их количества. Для этого достаточно добавить соответствующее число последовательностей из нулей и единиц.

Заключение

Выполнен сравнительный анализ паспортов специальностей 05.13.01 и 2.3.1 связанных с системным анализом. Выявлены изменения, которые произошли в связи со сменой паспортов. Основные изменения связаны с искусственным интеллектом и со статистикой.

Рассмотрен последовательный анализ и полностью решенный пример, связанный с принятием или браковкой партии некоторой продукции. По аналогии подготовлен набор необходимых учебных задач для применения их в учебном процессе.

Последовательный анализ [12] нашел свое применение в области в распознавании образов и обучении машин. В некотором смысле можно полагать, что последовательный анализ может быть полезен изучающим нейронные сети на базе мемристоров. Отметим, что область исследования мемристоров [13, 14] в настоящее время очень активно развивается. На практике необходимо для учебного процесса разрабатывать эффективные программные средства и уделять больше внимания элементам системного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова В.Н. Системный анализ информационных комплексов. — СПб.: Лань, 2016. — 336 с.
2. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. — М.: Горячая линия — Телеком, 2012. — 210 с.
3. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник: Учебное пособие / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. — М.: Высшая школа, 2004. — 616 с.
4. Артюхин Г.А. Теория систем и системный анализ. Практикум принятия решений. — Казань: КГАСУ, 2016.
5. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ: Учебник. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2010.
6. Кулик С.Д. Элементы системного анализа (эффективность систем): Учебное пособие. — М.: НИЯУ МИФИ, 2018. — 152 с.
7. Кулик С.Д. Элементы системного анализа (применение программных средств): Учебное пособие. — М.: НИЯУ МИФИ, 2019. — 204 с.
8. Кулик С.Д. Элементы системного анализа (фактографические системы): Учебное пособие. — М.: НИЯУ МИФИ, 2019. — 216 с.
9. Вальд А. Последовательный анализ. — М.: Физматгиз, 1960.
10. Кулик С.Д. Метод последовательного анализа для тестирования человека-оператора // Прикладная информатика, 2015. — Т. 10.— № 3(57). — С.100–108.
11. Ткаченко К.И. Автоматизированная информационная система формирования фактографических данных и ее применение для криминалистики, инновации и обучения. — Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 — системный анализ, управление и обработка информации (в информационных системах) /Научный руководитель: Кулик С.Д. — М.: НИЯУ МИФИ, 2017. — 263 с.
12. Фу К. Последовательные методы в распознавании образов и обучении машин. — М.: Наука, 1971. — 255 с.
13. Danilin S.N., Shchanikov S.A., Zuev A.D., Bordanov I.A., Sakulin A.E. The Research of Fault Tolerance of Memristor-Based Artificial Neural Networks //12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), IEEE, 2019. — pp. 539–544.
14. Danilin S.N., Shchanikov S.A., Sakulin A.E. & Bordanov I.A. Determining the Fault Tolerance of MemristorsBased Neural Network Using Simulation and Design of Experiments // Engineering and Telecommunication (EnT-MIPT). IEEE, 2018. — pp. 205–209.

© Кулик Сергей Дмитриевич (sedmik@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»