

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЗНАЧНОЙ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ ДЛЯ ВЫБОРА РЕЖИМА УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ПОЛЕТНОЙ СИТУАЦИИ

Максимов Д.Ю.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
jhanjaa@ipu.ru, dmmax@inbox.ru

Аннотация. Для принятия решения о режиме управления летательным аппаратом используется многозначная когнитивная карта. В такой карте концепты и веса – элементы или подмножества решетки лингвистических переменных и не производится переход от них к числам. Результаты выбора сравниваются с выбором с помощью многозначной ассоциативной памяти. Также приводится алгоритм подбора весов до второго порядка.

Ключевые слова: многозначные когнитивные карты, нечеткие когнитивные карты, выбор режима управления.

Введение

Для распознавания типовых полетных ситуаций и получения для них управляющих решений в [1] используется нечеткозначная логика. В таком случае, складывающаяся ситуация оценивается лингвистическими переменными, степени уверенности которых принимают значения в числовом интервале $[0,1]$. В [2] продемонстрировано, что использование чисел в таких системах не обязательно: оценивать можно частично-упорядоченными лингвистическими значениями, которые не нужно переводить в числа. В этом случае, для сравнения таких термов и выбора управляющих решений в [2] используется многозначная логика, в которой оценка истинности принимает значения в дистрибутивной решетке, т.е. в частично-упорядоченном множестве. Такие шкалы истинностных значений обобщают линейно-упорядоченную шкалу в том числе и нечеткой логики [3].

Доклад продолжает эту серию исследований, а также [4], [5], [6], и в ней предлагается для получения управляющего решения для летательного аппарата использовать многозначную когнитивную карту, описывающую влияние метеорологических параметров на выбор режима управления. В этой карте экспертные оценки весов и концепты также принимают значения в дистрибутивной решетке лингвистических степеней влияния этих параметров. Такие карты обобщают нечеткие понятия [7] на случай использования решеточной шкалы экспертных оценок вместо линейно-упорядоченной.

Работа организована следующим образом: в разделе 1 напоминается понятие и свойства многозначной когнитивной карты, описывается карта, используемая в докладе, и приводится алгоритм перерасчета весов карты с точностью до второго порядка по поправкам. В разделе 2 рассматривается поддержка принятия решения о выборе режима управления летательным аппаратом с помощью такой карты в некоторой метеорологической обстановке. Результаты программного расчета сравниваются с результатами выбора решения с помощью многозначной ассоциативной памяти [8].

1. Многозначные когнитивные карты

Понятие нечеткой когнитивной карты (FCM) было введено в [7]. FCM рассматриваются как модели причинности с обратной связью, в которых нечеткие значения присваиваются понятиям и причинно-следственным отношениям между ними. Увеличение значения понятия предполагает соответствующее положительное или отрицательное увеличение значений других понятий, связанных с ним. Понятия также называются концептами, а отношения называются весами. Таким образом, мы получаем сеть, аналогичную нейронной сети, в которой все переменные и веса принимают значения в интервале $[0, 1]$.

Однако нечеткое моделирование неопределенности весьма бедно: теория оперирует только линейно упорядоченными экспертными оценками, которые в действительности могут быть частично-упорядоченными: например, «да и нет» и «ни да, ни нет» с наибольшей оценкой «да» и наименьшей «нет».

Подобная шкала экспертных оценок и значений переменных используется здесь (такая же как и в [6]) в многозначной когнитивной карте вместо интервала $[0,1]$. Эта карта моделирует влияние тех же метеопараметров, что и в [8] и ее графическое представление изображено на Рис. 1.

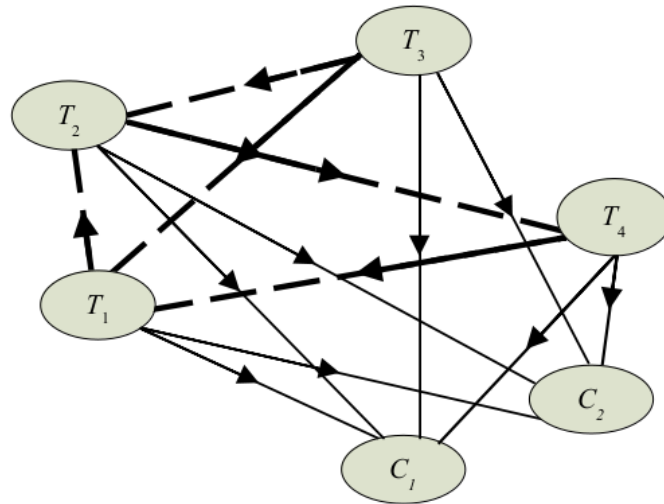


Рис. 1. Представление когнитивной карты, используемой в докладе

На этой карте концепт T_1 отвечает за обледенение самолета при низкой температуре. Повышение температуры усиливает турбулентность T_2 [9], которая, в свою очередь, усиливает осадки T_4 . Ветер T_3 усиливает турбулентность и способствует обледенению так же, как и осадки, которые понижают температуру. Выходные концепты C_1 и C_2 обозначают режимы управления — ручной или автоматический. Эволюция такой карты от начальных значений к конечным описывается уравнением [6]:

$$A_i^k = c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1} \cdot \bigvee_{j=1}^n w_{ji} \cdot A_j^{k-1}, \quad (1)$$

в котором A_i^k — это значения концептов на k -м шаге, символ \bigvee это решеточное объединение, которое заменяет сумму в обычной формуле, а вместо умножения мы далее в вычислениях будем использовать его частный случай — решеточное пересечение \wedge , поскольку никакого внешнего умножения на решетке лингвистических переменных не определено. Отношение причинности между понятиями оцениваются экспертами и эти оценки принадлежат используемой решетке; таким образом, веса связей w_{ij} являются элементами решетки и представляют собой экспертные оценки взаимовлияний понятий. Значение w_{ij} показывает, насколько сильно понятие A_i влияет на понятие A_j .

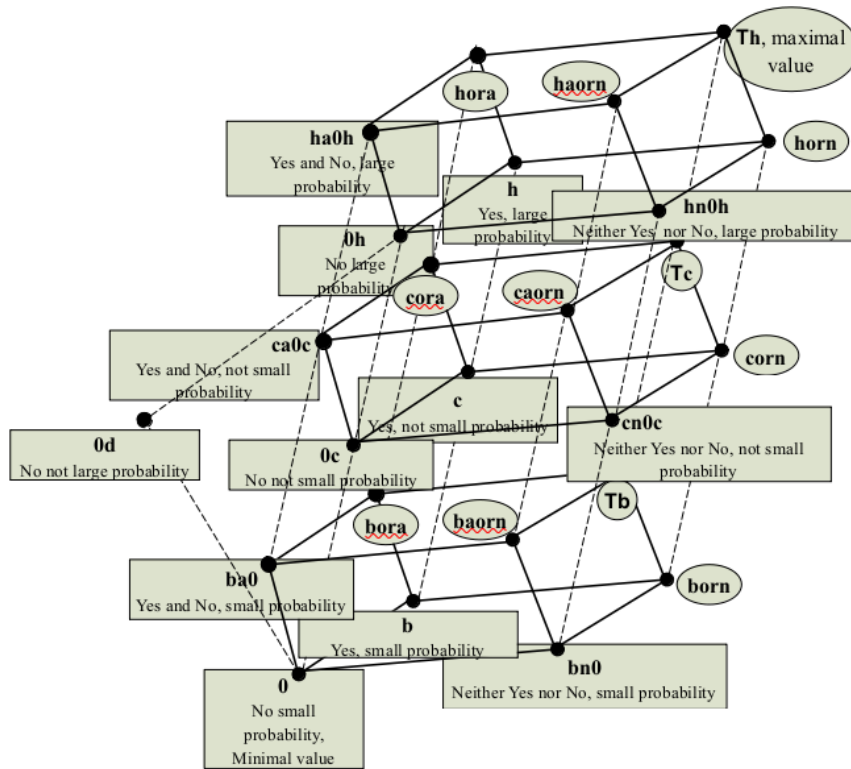
В [6] доказано, что такая карта сходится для определенного класса решеток экспертных оценок, к которому принадлежит и решетка L , используемая в докладе Рис. 2. Эта решетка получается как прямое произведение двух более простых решеток: $L = L_1 \times L_2$. Решетка L_2 предоставляет базовые варианты экспертных оценок, а решетка L_1 распределяет эти оценки по вероятным степеням влияния, которые тоже частично упорядочены.

На всех этих решетках объединение элементов трактуется как связка «или». Например, экспертная оценка $bo\alpha$ означает «b (да) или (or) α (да и нет)», где α означает «b (да) и (and) нет (0)». Элементы b (да), α (да и нет), $\alpha 0$ (ни да, ни нет), 0α (нет, с немалой вероятностью влияния), 00 (нет, с небольшой вероятностью) являются генераторами решетки (т.е. из них образуются все остальные элементы путем объединения) и их смысл задается априори. Смысл остальных элементов ясен из Рис.2.

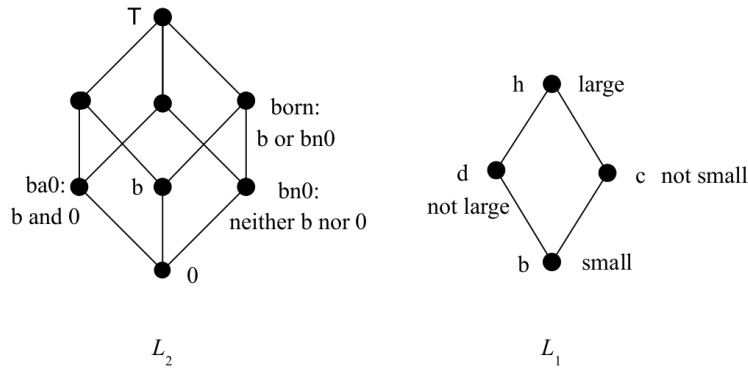
1.1. Перерасчет весов

В [8], в задаче выбора управляющего решения рассматривалась ассоциативная память, в которой по некоторому набору входных и выходных значений определялись веса, использовавшиеся после этого для классификации произвольного входного набора. Теперь хотелось бы для того же набора входных и выходных значений получить матрицу весов уже когнитивной карты, чтобы сравнить результаты с [8]. В [6] представлен алгоритм подбора весов для того, чтобы при заданных входных данных получить выходные в некотором диапазоне. Однако, при этом пересчитываются веса только связей, кончающихся в выходных концептах, поскольку используется приближение в первом порядке по поправкам.

Для пересчета всех элементов матрицы весов надо использовать поправки второго порядка. Для этого рассмотрим выражение (1) с поправками к A и w :



a



b

Рис. 2. Решетка значений концептов и экспертных оценок L (a) и исходные решетки L_1 и L_2 (b)

$$\begin{aligned}
 A_i^k \oplus \Delta A_i^k &= c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1} \cdot \bigvee_{j=1}^n [(w_{ji}^{k-1} \oplus \Delta w_{ji}^{k-1}) \cdot (A_j^{k-1} \oplus \Delta A_j^{k-1})] = \\
 &= c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1} \cdot \bigvee_{j=1}^n [w_{ji}^{k-1} \cdot A_j^{k-1}] \oplus c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1} \cdot \bigvee_{j=1}^n [\Delta w_{ji}^{k-1} \cdot A_j^{k-1}] \oplus \\
 &\quad \oplus c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1} \cdot \bigvee_{j=1}^n [w_{ji}^{k-1} \cdot \Delta A_j^{k-1}].
 \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь введены изменение весов и концептов для того, чтобы подобрать их значения так, чтобы выходные понятия A_i^k оказались как можно ближе к требуемому выходу. Операция \oplus означает

объединение \vee или разность \setminus множеств генераторов решетки, входящих в операнды, в зависимости от того, что нужно: увеличить или уменьшить A_i^k [6].

В этом случае получается следующее выражение для поправок первого порядка к весам связей, идущих к выходным концептам [6]:

$$\Delta w_{ji}^{k-1} = ((c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1}) \rightarrow gen_i) \leftarrow A_j^{k-1}, \quad (3)$$

где знаки \rightarrow, \leftarrow обозначают резидуалы [6], которые в конечной дистрибутивной решетке без внешней операции умножения превращаются в решеточную импликацию \Rightarrow , а gen_i обозначают множества генераторов решетки в требуемых значениях выходных концептов.

Поправки второго порядка по весам получаются из последнего члена в (2), где для поправки ΔA_j^{k-1} из средней строки (2) имеем следующее выражение:

$$\Delta A_j^{k-1} = c_j^{k-2} \cdot f_j^{k-2} \cdot \bigvee_{l=1}^n [\Delta w_{lj}^{k-2} \cdot A_l^{k-2}]. \quad (4)$$

Отсюда, так же как и в [6], получаем поправки второго порядка к весам:

$$\Delta w_{ij}^{k-2} = ((w_{ji}^{k-1} \cdot c_j^{k-2} \cdot f_j^{k-2}) \rightarrow (c_i^{k-1} \cdot f_i^{k-1} \rightarrow gen_i^{k-1})) \leftarrow A_i^{k-2}, \quad (5)$$

где $gen_i^{k-1} = (gen_i \vee A_i^k[0]) \setminus (gen_i \wedge A_i^k[0])$, и $A_i^k[0]$ - это A_i^k с поправками первого порядка по весам.

2. Выбор режима управления

В соответствии с когнитивной картой с Рис. 1 для заданного множества наборов входных-выходных данных из [8] требуется подобрать веса карты так, чтобы карта для всякого набора входных данных из этого заданного множества выдавала соответствующий выходной набор, т.е. управляющие решения. Однако, для всего этого множества подобрать общие веса не получается. Можно подобрать веса для каждого отдельного набора, и даже для некоторых подмножеств всего множества таких наборов, но не для всего множества.

Причин может быть несколько. Во-первых, ассоциативной памяти все-равно, что запоминать, только бы удовлетворялись условия возможности такого запоминания [8], [5]. Поэтому, исходное множество обучающих наборов могло быть не согласовано и включать некорректные оценки экспертов. Во-вторых, когнитивная карта Рис. 1 — это упрощение, которое использует только параметры, по которым в [8] эксперты оценивали ситуации. Карта, описывающая более реальную модель физических процессов, сложнее. Поэтому, может быть такая более сложная карта приведет к другому выбору управляющих решений.

В данном случае простой карты, веса в результате были выбраны так, чтобы каждый элемент матрицы встречался наибольшее число раз в матрицах весов, которые получались для каждого отдельного набора. Для каждого набора в процессе подбора весов, на каждом шаге вначале подбиралась матрица весов до первого порядка. При неравенстве выходным значениям, с полученной матрицей весов в качестве исходной вычислялись поправки второго порядка на первом шаге и с этой матрицей снова вычислялись поправки первого порядка. И так до получения решения.

На Рис. 3 представлена получившаяся матрица весов. Знак минус у w_{12} означает, что в объединении в (1) члены с этим элементом симметрично вычитаются, как множества своих генераторов [6]. Это означает, что понижение температуры ослабляет турбулентность.

Результат вычислений выходных значений, т.е. оценок значимости выбора одного или другого решения, в сравнении с результатами ассоциативной памяти [8] представлен на Рис.4. Как обычно, выбирается решение с наибольшей оценкой относительно частичного порядка решетки L . При этом могут существовать несравнимые решения. В этом случае выбор не определен.

	T1	T2	T3	T4	C1	C2
T1	Th	-Th	0	0	Tc	hora
T2	0	Th	0	Th	Th	Th
T3	Th	Th	Th	0	hn0h	0
T4	Th	0	0	Th	hn0h	hora
C1	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Результирующая матрица весов

Training Patterns																
k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
x0	da0d	ca0c	cora	b	ba0	born	0	0	h	c	hora	b	dora	haorn	hn0h	Td
x1	bn0	ba0	bn0	hora	ha0h	horn	hora	corn	dorn	d	corn	corn	cn0c	c	h	b
x2	cora	b	dn0d	cn0c	h	corn	d	0d	0c	bn0	0d	d	da0d	hora	0	horn
x3	ca0c	da0d	ba0	cn0c	cora	bn0	bn0	bn0	c	c	dora	bn0	hn0h	h	hora	0d
Expert Evaluations for Training Set																
k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
y1	haorn	da0d	baorn	hn0h	hora	hn0h	hn0h	cn0c	horn	horn	Th	cn0c	hn0h	horn	Th	hn0h
y2	Tc	cora	caorn	hora	hora	horn	hora	corn	horn	h	Tc	corn	cn0c	c	hora	b

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1	hora	hn0h	da0d	b	ba0	born	0	h	c	ca0c	cora	0	b	dora	haorn	Td
T2	corn	h	bn0	hora	ha0h	horn	hora	dorn	d	ba0	bn0	corn	corn	cn0c	c	b
T3	0d	0	cora	cn0c	h	corn	d	0c	bn0	b	dn0d	0d	d	da0d	hora	horn
T4	dora	hora	ca0c	cn0c	cora	bn0	bn0	c	c	da0d	ba0	bn0	bn0	hn0h	h	0d
C1	Th	horn	caorn	Th	ha0h	horn	Th	horn	horn	ha0h	Th	horn	horn	Th	Th	Th
C2	Th	hora	haorn	hora	hora	horn	hora	horn	h	ha0h	Tc	corn	corn	Th	hora	dora

Рис. 4. Наборы входных значений параметров и выходных управляющих решений. Нижний ряд — результаты доклада; верхний ряд — исходное множество [8]. Стрелками показаны соответствующие друг другу по входным значениям наборы

Таким образом, в некоторых случаях результаты когнитивной карты совпадают с экспертными оценками для ассоциативной памяти; во многих случаях управляющие решения получаются одинаковыми, несмотря на то, что символичные значения разные; и в некоторых случаях когнитивная карта дает противоположный выбор управляющих решений по сравнению с ассоциативной памятью.

3. Заключение

В докладе приведен способ подбора весов многозначной когнитивной карты до второго порядка по заданным входам в случае, если известны требуемые выходные значения. Рассмотрено использование этого метода на примере карты, описывающей влияние метеорологических параметров на выбор режима управления самолетом. Метеорологические параметры брались те же, что и в такой же задаче, но с использованием ассоциативной памяти вместо когнитивной карты. В данном случае было известно множество входных-выходных значений, которое использовалось ранее в ассоциативной памяти.

Выяснилось, что для этого множества не существует одной матрицы весов когнитивной карты, годной для всего множества. По-видимому, использовавшиеся экспертные оценки для ассоциативной памяти были не совсем корректны, что подтверждается тем, что в некоторых случаях когнитивная карта с усредненной по входам матрицей весов давала противоположный выбор по сравнению с ассоциативной памятью. Хотя возможно, что более сложная модель, которая учитывала бы большее количество метеорологических параметров, чем то, что использовалось в ассоциативной памяти и в соответствующей ей когнитивной карте, даст другие результаты.

Литература

1. *Гайнуллин И.А., Роголев А.П.* Построение нечетких баз знаний ситуационных систем интеллектуальной поддержки решения задач авиационных бортовых комплексов // *Авиакосмическое приборостроение.* – 2000. – N 2. – С.57–66.
2. *Maximov D.* Control in a Group of Unmanned Aerial Vehicles Based on Multi-Valued Logic // Proc. of the 12-th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). – Moscow, Russia: IEEE, 2019. – P. 1–5. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8911092>.
3. *Максимов Д.Ю.* Логика Н.А. Васильева и многозначные логики // *Логические исследования.* – 2016. Т. 22. N 1. – С. 82–107.
4. *Maximov D.* Multi-Valued Neural Networks and their Use in Decision Making on the Management of a Group of Unmanned Vehicles // Proc. of the 13th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). – Moscow, Russia: IEEE, 2020. – P. 1–5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247800>.
5. *Maximov D., Goncharenko V.I., Legovich Y.S.* Multi-valued neural networks I: a multi-valued associative memory // *Neural Computing and Applications.* – 2021. – Vol. 33. N 16. – P. 10189–10198.
6. *Maximov D.* Multi-Valued Cognitive Maps: Calculations with Linguistic Variables without Using Numbers // *Fuzzy Sets and Systems.* – 2023. – Vol. 459. – P. 1–21.
7. *Kosko B.* Fuzzy cognitive maps // *Intern. Journal of Man-Machine Studies.* – 1986. – N 24. – P. 65–75.
8. *Maximov D.* The Problem of Forming a Training Set for Multi-Valued Associative Memory Used in Trajectory Classification Depending on Linguistic Information about the Flight Situation // Proc. of the 15-th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). – Moscow, Russia: IEEE, 2022. – P. 1–6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9934561>.
9. *Гиндин Л.С. ред* Турбулентность в свободной атмосфере – Л.: Гидрометеиздат, 1968 – 336с.