УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГОЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ

Максимов Д.Ю.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

jhanjaa@ipu.ru

Аннотация: Представлен способ построения нечетких баз знаний для управления группой беспилотных летательных аппаратов, в котором вместо нечеткой логики используется многозначная. Шкала истинностных значений этой логики не является цепью и обобщает понятие оценки в нечеткой логике.

Ключевые слова: нечеткие базы знаний, управление БПЛА, многозначная логика.

Введение

Использование нечетких баз знаний систем интеллектуальной поддержки предполагает построение алгоритмов распознавания складывающихся в полете типовых ситуаций и получение соответствующих управляющих решений [1]. При этом используется нечеткая логика второго уровня (т.н. нечеткозначная логика), в которой складывающаяся ситуация оценивается набором лингвистических переменных вместе со степенями значимости/уверенности значений этих переменных [2]. В свою очередь степени уверенности принимают уже значения в числовом интервале, обычно [0,1]. При этом способы определения нечеткости чисто субъективны – степень нечеткости определяется экспертами. Однако не для всех лингвистических переменных обязательно должна быть такая оценка: например, для значения «помеха в плоскости xy» переменной «пеленг» может быть ряд оценок, опять лингвистических, типа «справа», «спереди» и т.д., которые не обязательно оценивать численно. Такие оценки определяются самой ситуацией и не нуждаются в экспертном мнении. Для сравнения этих оценок можно использовать понятия не нечеткой логики, а многозначной.

Расширение нечеткой логики на подобные шкалы было выполнено в [3] (промежуточные итоги в [4]) и использовано в [5] для работы с системами, основанными на знании. Однако для определения импликации в этих работах используется структура моноида на решетке истинностных значений. Это позволяет работать с произвольными решетками (шкалами), но при этом остается открытым вопрос на основании чего вычислять произведения элементов решетки. В [6], для определения вариантов перехода к новой ситуации, использовалась дистрибутивная решетка, что снимает неопределенность в определении импликации. А в [7], для случая линейной логики, использовались общие соображения, которые позволяли вычислять импликацию, но неоднозначно.

В этой работе предлагается обычной образ действий [1], [2] по оценке истинности консеквента импликации и принятия решения на этой основе перенести на многозначную логику с дистрибутивной шкалой истинностных значений, что позволит в первом приближении вообще обойтись без численных оценок и, соответственно, без привлечения экспертов.

1 Постановка задачи

1.1 Элементарные математические сведения

Полная решетка – это частично-упорядоченное множество, имеющее для любых двух подмножеств их точную верхнюю грань (или объединение) и точную нижнюю грань (или пересечение). Это означает, что в непустой полной решетке есть наибольший и наименьший элементы. На диаграмме решетки (например, как на рис. 1) чем больше элемент (т.е. вершина, узел диаграммы решетки), тем выше он расположен, и сравнимые между собой элементы лежат на одном пути из нижнего элемента в верхний. Объединение элементов на диаграмме (sup, max) — ближайший наибольший элемент для обоих, пересечение (min, $\cap$) — ближайший наименьший для обоих. Заметим, что любая конечная решетка является полной. Образующими решетки (ее генераторами) называются те элементы, из которых путем применения операций объединения и пересечения получаются все остальные элементы. Атомы – это генераторы, имеющие нулевое пересечение. В решетках для любых элементов a, b может быть определена импликация $c = a \to b$ как наибольший элемент, который пересекается с a так же, как b: $c \cap a = b \cap a$. Решетка, имеющая импликации, называется брауэровой решеткой. В такой решетке импликация $\neg a = a \to 0$ называется псевдодополнением a. В брауэровых решетках выполняются законы дистрибутивности для объединения и пересечения. Все конечные дистрибутивные решетки являются брауэровыми.

1.2 Постановка задачи

Ситуацией называется набор значений признаков, описывающих состояние объекта управления в текущий момент времени. Каждый признак описывается соответствующей лингвистической переменной со своим набором термов – лингвистических значений переменной. Обычно каждое из этих значений является нечеткой переменной. Но в этой работе предполагается, что каждый терм представляется полной дистрибутивной решеткой, элементы которой оценивают степень истинности соответствующего терма так же, как и элементы отрезка [0,1] оценивают степень истинности обычной нечеткой переменной. Только в отличие от последних, в нашем случае степени истинности не всегда могут быть сравнимы между собой.

Поскольку в посылку импликации, определяющей продукционное правило, и ее заключение входят переменные с разным набором термов, то для возможности их сравнения области истинностных значений различных термов (т.е. соответствующие решетки) должны иметь нетривиальные пересечения. И для того, чтобы импликация была определена, все эти решетки должны быть подрешетками некоторой дистрибутивной (точнее брауэровой в бесконечном случае) решетки.

В типовой ситуации обеспечения безопасности группового полета по взаимному расположению объектов, а также при внешней помехе должно выбираться направление ухода для предотвращения возможного столкновения [1] или направление наведения на возможную цель. В [1] используется ряд признаков, влияющих на выбор направления маневра. Для простоты здесь будут рассмотрены только два таких возможных признака – «пеленг помехи» и «направление поворота». С помощью решеточных оценок значений термов этих признаков находятся управляющие решения по определению «направления поворота» в зависимости от «пеленга помехи».

2 Формирование управляющих воздействий

При постоянном изменении информации в полете величины управляющих воздействий не остаются постоянными. Возможным способом получения управляющих решений является система, основанная на правилах, в которой правила продукций получаются по схеме нечеткого логического вывода. Обычная схема здесь такова: консеквент y (нечеткая переменная) получается из антецедента x и импликации $x \to y$ (тоже нечетких) по следующему правилу

(1) $$y = x \circ x \to y,$$

где операция $\circ$ обозначает композицию, чаще всего максиминную, нечетких переменных. При этом импликация обычно задается прецедентом, в котором x и y известны, и вычисляется по одной из множества существующих формул. Выбор одной из них предоставляется опыту разработчика. Связано это с тем, что в линейно-упорядоченной шкале истинностных значений нет однозначного определения отрицания и, соответственно, импликации [8]. Однако это не так в дистрибутивной решетке общего вида.

Рассмотрим часть дистрибутивной решетки с четырьмя атомами-образующими Рис.1.

Придадим следующие смыслы элементам этой решетки. Пусть лингвистическая переменная x – <пеленг>, – состоит из двух термов $T_1 = (\alpha, \beta, \alpha\beta, 0)$ – <помеха в горизонтальной плоскости> с оценками α – <слева>, β – <справа>, $\alpha\beta$ – <впереди> и $T_2 = (\gamma, \delta, \gamma\delta, 0)$ – <помеха в продольной вертикальной плоскости> с оценками γ – <сверху>, δ – <снизу>, $\gamma\delta$ – <впереди>. Общая оценка 0, т.е. пересечение, трактуется как «сзади». Пусть лингвистическая переменная y – <поворот> также состоит из двух термов $T_3 = (\alpha, \gamma, \delta, \alpha\gamma, \alpha\delta, \gamma\delta, \alpha\gamma\delta, 0)$ – <в левую полусферу> и $T_4 = (\beta, \gamma, \delta, \beta\gamma, \beta\delta, \gamma\delta, \beta\gamma\delta, 0)$ – <в правую полусферу> с очевидными комбинациями оценок для T_1 и T_2.

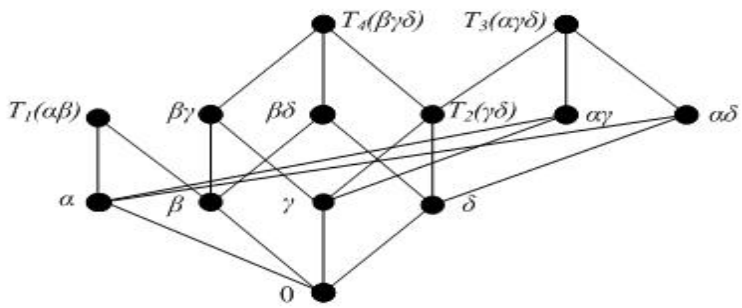

Рис. 1. Часть решетки для оценки истинностных значений ситуации обнаружения помехи

Предположим, что $x = (<\alpha|T_1>, <\gamma|T_2>)$, т.е. помеха находится слева и сверху. Надо определить $y = (<?|T_3>, <?|T_4>)$. По смыслу решеточной импликации $z = x \to y$ для y имеем ограничение: $x \cap z \leq y \leq z$. Поэтому для z имеем: $x \to y = \begin{pmatrix} z_1, z_3 \\ z_2, z_4 \end{pmatrix}$, где $z_1, z_2 \in T_3;\ z_3, z_4 \in T_4$. В самом общем случае y может быть любым в T_3 и T_4. Таким образом, *при максиминной композиции*, получаем возможные значения y: $y = (\sup\begin{pmatrix} \alpha \cap z_1 \\ \gamma \cap z_2 \end{pmatrix}_{T_3}, \sup\begin{pmatrix} \alpha \cap z_3 \\ \gamma \cap z_4 \end{pmatrix}_{T_4}) = (<\alpha \vee \gamma \vee \alpha\gamma \vee 0 | T_3>, <\gamma \vee 0 | T_4>)$, где знаком ∨ отделяются возможные варианты. При максимальных значениях z: $z_1 = z_2 = \alpha\gamma\delta$ и $z_3 = z_4 = \beta\gamma\delta$ получаем наведение БПЛА на помеху: $y = (<\alpha\gamma | T_3>, <\gamma | T_4>)$ - управляющий импульс скорости влево и вверх.

Для получения правила ухода от помехи следует использовать другую композицию. Предположим, что для того же x есть прецедент $y = (<\delta|T_3>, <\beta\delta|T_4>)$ – уход вправо и вниз. Тогда для z можно использовать матрицу $x \to y = \begin{pmatrix} \gamma\delta, \beta\gamma\delta \\ \alpha\delta, \beta\delta \end{pmatrix}$ и правило (отрицательной) композиции $y = x \circ x \to y = \min \neg x$. При таком правиле БПЛА будет всегда уходить в сторону от помехи. Однако при фронтальной помехе $x = (<\alpha\beta|T_1>, <\gamma\delta|T_2>)$ для импульса имеем $y = (<0 | T_3>, <0 | T_4>)$ - что можно трактовать как торможение или разворот.

Такое поведение определяется только выбором правила композиции и видом шкалы истинностных значений. В последнем случае фронтальной помехи при этом было получено торможение/разворот, что может быть недостаточным для определения траектории полета. Но здесь везде использовались только две лингвистические переменные, в то время как полное описание тактической ситуации требует намного большего их количества [1]. Также, при построении решетки, не принимались во внимание возможные положения помехи и варианты поворота в задней полусфере, потому что это сильно усложняет решетку. Учет дополнительных лингвистических переменных и усложнение шкалы истинностных значений позволяет выбирать управляющие решения в более полном наборе вариантов.

Литература

1. *Гайнуллин И.А., Рогалев А.П.* Построение нечетких баз знаний ситуационных систем интеллектуальной поддержки решения задач авиационных бортовых комплексов // Авиакосмическое приборостроение. 2007, №2. – С.57-66.

2. *Поспелов Д.А.* Логико-лингвистические модели в управлении. – М: Энергоиздат, 1981.

Goguen J.A. The logic of inexact concepts // Synthese. Vol. 19. 1969. – P.325-373.

Xu Y., Ruan D., Qin K.Y., Liu J. Lattice-Valued Logic: An Alternative Approach to Treat Fuzziness and Incomparability. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2003.

3. *Liu J., Lu Z., Martinez L., Xu Y.* Preference Criterion and Consistency in the Rule-Based System Based on a Lattice-Valued Logic// EUROFUSE WORKSHOP: New Trends in Preference Modeling and Applications. 2015, Dec. – P.99-104.

4. *Maximov D.Y.* Reconfiguring system hierarchies with multi-valued logic // Automation and Remote Control. Vol. 77. 2016, №3. – P.462-472.

5. *Maximov D.Y., Legovich Y.S., Ryvkin S.E.* How the structure of system problems influences system behavior // Automation and Remote Control. Vol. 78. 2017, №4. – P.689-699.

6. *Максимов Д.Ю. Логика Н.А.* Васильева и многозначные логики // Логические исследования. Т. 22. 2016, № 1. – С. 82-107.