Институт проблем машиноведения РАН
(Санкт-Петербург)

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН
(Апатиты)

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ

д. ф.-м. н. *Кулик Борис Александрович*,

к. т. н. *Зуенко Александр Анатольевич*,

д. т. н., проф. *Фридман Александр Яковлевич*

работа выполнена в рамках исследований по гранту РФФИ № 09-07-00066, программе фундаментальных научных исследований Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы) и Программе № 15 Президиума РАН (проект № 4.3 "Интеллектуальные базы данных")

План доклада

- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Моделирование логики рассуждений (методы логического анализа)

Силлогистика Аристотеля, до начала XIX века

→

Алгебраический подход, середина XIX века

(Буль, де Морган, Венн, Жергонн, и др.)

→

Теория формальных систем, конец XIX – начало XX века

(Гильберт, Витгенштейн, Рассел и др.)

→

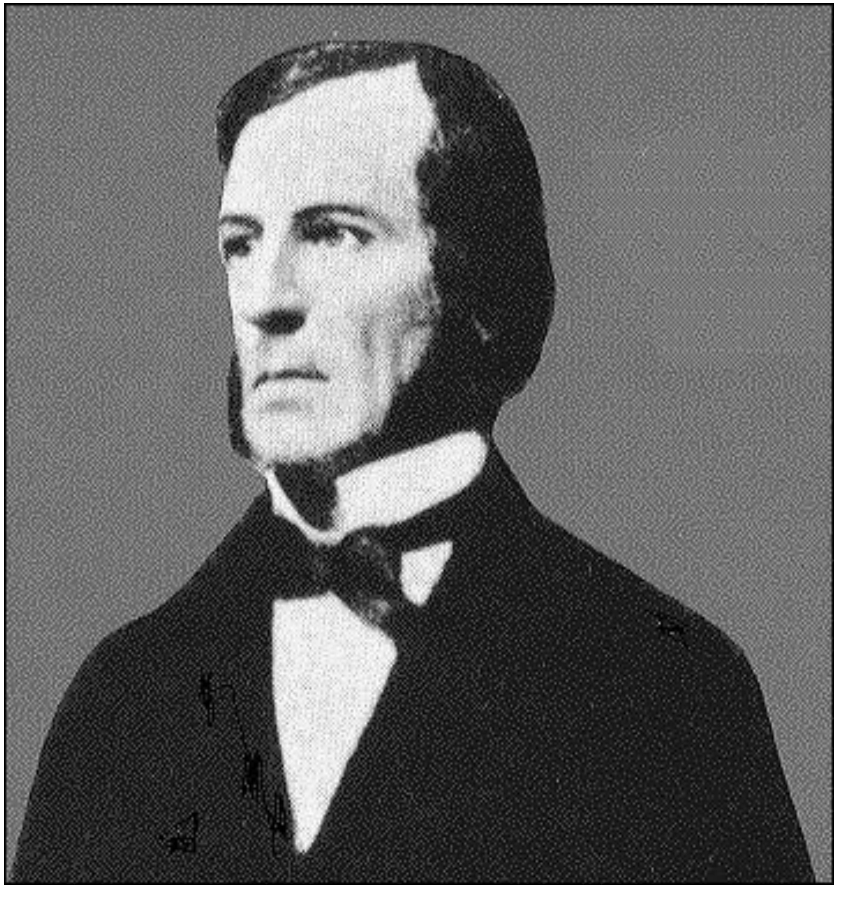
Эра компьютеров, совмещение процедурного и декларативного подходов в инструментальных средствах ИИ

Столкновение подходов к логическому анализу (эра компьютерной техники)

Теория формальных систем

Д. Гильберт , конец XIX и начало XX века

Алгебраический подход



Дж. Буль, середина XIX века

Эволюция методов обработки в интеллектуальных системах

Теория формальных систем

Базы знаний

Предикаты, семантические сети и др. представления отношений

Алгебраический подход

Базы данных

Реляционные отношения

Обоснованные методы логического вывода

+

Анализ матричных свойств обрабатываемых объектов

=

Общая теория многоместных отношений (АК)

Сравнение формального и алгебраического подходов

Формальный подход

1. Алфавит.
2. Синтаксические правила.
3. Аксиомы.
4. Правила вывода.

Алгебраический подход

1. Носитель.
2. Совокупность операций и отношений
3. Основные законы, связывающие операции и отношения

Известны математические объекты, которые можно представить и как формальные и как алгебраические системы, например,

- булева система – булева алгебра;
- кольцо;
- решетка и т.д.

Сравнительная характеристика подходов

Критерии	ТФС	Алгебраический
1. Наличие унифицированного языка представления данных и знаний	?	+
2. Наличие развитых методов логического анализа при реализации БЗ	±	∓
3. Пригодность для организации систем управления БД	∓	+
4. Решение проблемы экспоненциальной катастрофы	-	-
5. Удобство анализа параметров исследуемой системы	-	+

План доклада

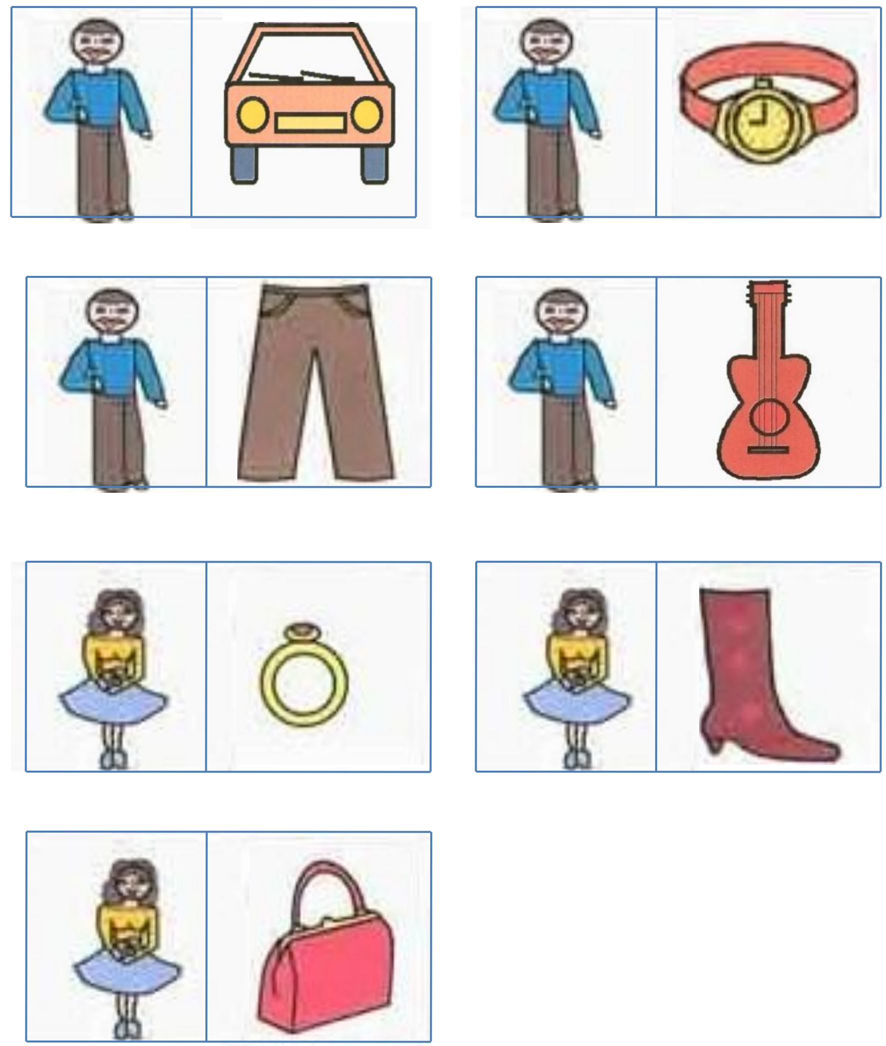
- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Классическое определение отношения

(множество **элементарных кортежей**)

X	Y
муж	машина
муж	часы
муж	брюки
муж	гитара
жена	кольцо
жена	сумка
жена	сапоги

=



Отношения в алгебре кортежей

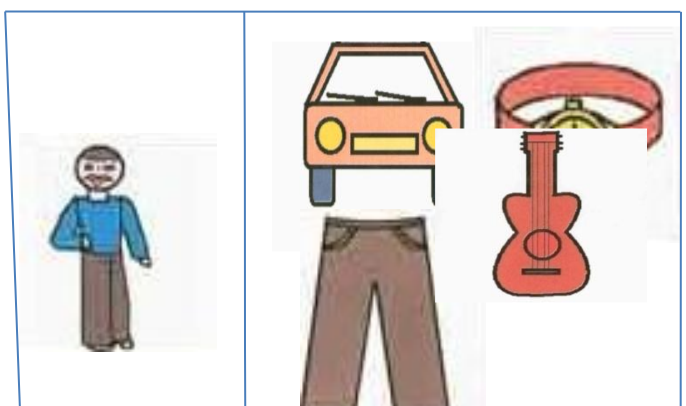
(компактное представление отношений)

X	Y
муж	машина
муж	часы
муж	брюки
муж	гитара
жена	кольцо
жена	сумка
жена	сапоги

$$= \{\text{муж}\} \times \{\text{машина}, \text{часы}, \text{брюки}, \text{гитара}\}$$

$$\cup \{\text{жена}\} \times \{\text{кольцо}, \text{сумка}, \text{сапоги}\}$$

=



Определение алгебры кортежей

Алгебра кортежей (АК) – это **алгебраическая система.**

- **<u>Носитель АК:</u>** произвольная совокупность многоместных отношений, определенных в одном гибком универсуме и выраженных в специфических структурах:
  - ***C*-кортеж;**
  - ***C*-система;**
  - ***D*-кортеж;**
  - ***D*-система**.

  называемых ***<u>АК-объектами</u>*****.**

  Каждый АК-объект можно интерпретировать как множество **элементарных кортежей.**

- **<u>Операции АК:</u>**
  - **операции алгебры множеств (∩, ∪ , \\ ) и дополнение (¯)**
  - **операции с атрибутами:**

    переименование атрибута;

    перестановка атрибутов;

    добавление нового фиктивного атрибута (*+Atr*);

    элиминация атрибута (*−Atr*).
- **<u>Отношения алгебры множеств</u>: ∈ , ⊆ , = .**
- **<u>Производные операции</u>: соединение (⊕) и композиция (·) отношений**
- **<u>Обобщенные операции и отношения</u> ($\cap_G$, $\cup_G$, $\setminus_G$, $\subseteq_G$, $=_G$)**

Первая особенность АК: компактное представление отношений (*C*-кортеж)

- ***<u>С-кортеж</u>***
  $R[XY...Z] = [A\ B\ ...\ C]$, где
  $A, B, ..., C$ – *компоненты* С-кортежа;
  $A \subseteq X,\ \ B \subseteq Y,\ \ ...,\ \ C \subseteq Z$, т.е. подмножества доменов соответствующих атрибутов.

Интерпретация – декартово произведение множеств:

$$R[XY...Z] = [A\ B\ ...\ C] = A \times B \times\ ...\ \times C.$$

<u>Пример</u>:

$R\ [XY...Z] = [\{a,c\}\ \{c,d,f\}\ \{b\}] = \{a,c\} \times \{c,d,f\} \times \{b\} =$

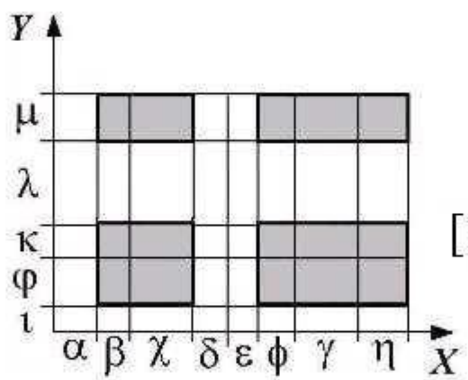
X	***Y***	***Z***
a	*c*	*b*
a	*d*	*b*
a	*f*	*b*
c	*c*	*b*
c	*d*	*b*
c	*f*	*b*

Свойства *C*-кортежей

<u>*C*-кортеж</u> интерпретируется как декартово произведение ***компонент***.
В **математической логике** С-кортежу соответствует конъюнкция:

$P(x)$ & $Q(y)$ & $R(z)$

Изображение С-кортежа:



$$\begin{array}{cc} X & Y \\ [\{\beta, \chi, \phi, \gamma, \eta\} & \{\mu, \kappa, \varphi\}] \end{array}$$

<u>Пересечение С-кортежей</u>:

$[A\ B\ \ldots\ C]$ □ $[A_1\ B_1\ \ldots\ C_1] = [A$□ $A_1\quad B$□$B_1\ \ \ldots\ \ C$□ $C_1]$.

Проверка включения:

$[A\ B\ \ldots\ C]$ □ $[A_1\ B_1\ \ldots\ C_1]$, *если и только если* A□A_1, B□B_1, …, C□C_1.

Первая особенность АК: компактное представление отношений (*С*-система)

<u>С-система</u> -- это объединение С-кортежей с одинаковой схемой отношения.

<u>Пример</u>:

$$Q[XYZ] = \begin{bmatrix} \{a,b,c\} & \{f\} & \{g,h\} \\ \{c\} & \{e,f\} & \{f,h\} \\ \{c,d\} & \{d,f,g\} & \{g\} \end{bmatrix} =$$

X	Y	Z
a	f	g
a	f	h
b	f	g
b	f	h
c	f	g
c	f	h

$\cup$

X	Y	Z
c	e	f
c	e	h
c	f	f
c	f	h

$\cup$

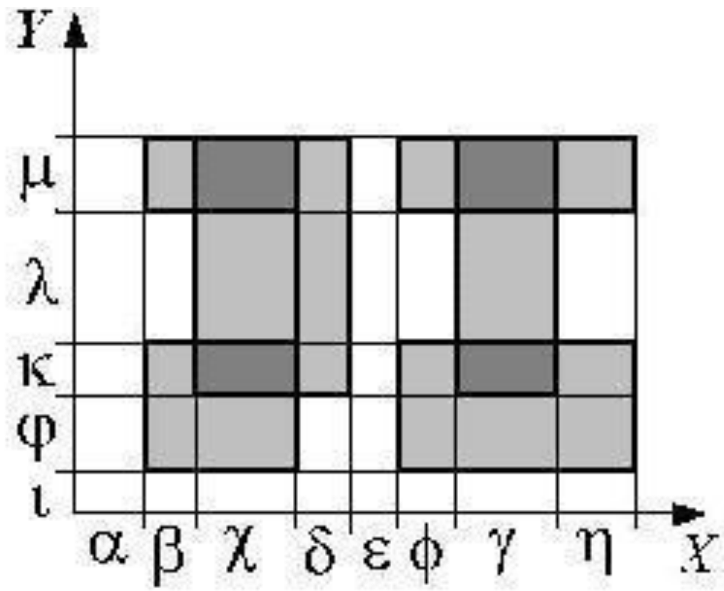
X	Y	Z
c	d	g
c	f	g
c	g	g
d	d	g
d	f	g
d	g	g

В математической логике *С-кортежу* [*P Q R*] *соответствует конъюнкт* $P(x)$ & $Q(y)$ & $R(z)$, где $P(x)$, $Q(y)$, $R(z)$ – некоторые предикаты, а *P, Q, R* – множества их выполняющих подстановок.

С-системе можно сопоставить ДНФ:

$$\begin{bmatrix} P_1 & Q_1 & R_1 \\ P_2 & Q_2 & R_2 \end{bmatrix} \Leftrightarrow (P_1(x) \;\&\; Q_1(y) \;\&\; R_1(z)) \vee (P_2(x) \;\&\; Q_2(y) \;\&\; R_2(z)) .$$

Изображение С-системы



$$
\begin{array}{cc}
\boldsymbol{X} & \boldsymbol{Y} \\
\multicolumn{2}{c}{\begin{bmatrix} \{\beta,\chi,\phi,\gamma,\eta\} & \{\mu,\kappa,\varphi\} \\ \{\chi,\delta,\gamma\} & \{\mu,\lambda,\kappa\} \end{bmatrix}}
\end{array}
$$

Первая особенность АК: компактное представление отношений (фиктивные компоненты)

1. ***Полная компонента*** **–** “*” равна домену соответствующего атрибута. Используется в *C*-кортежах и *C*-системах.
2. ***Пустая компонента*** - “$\varnothing$” используется в *D*-кортежах и *D*-системах

Например, для $X = \{a, b, c, d\}$, $Y = \{f, g, h\}$, $Z=\{a, b, c\}$:

$Q[XYZ] = [* \ \{f, g\} \ \{a, c\}] = [\{a, b, c, d\} \ \{f, g\} \ \{a, c\}]$ - здесь “*” – это множество, равное домену атрибута *X*.

Если $T = [\{b, d\} \ * \ \{a, b\}]$, то $\overline{T} =]\{a, c\} \ \varnothing \ \{c\}[$.

Пусть *A* – произвольная компонента атрибута *X*, а * - его полная компонента. Тогда

$A \cap * = A$;

$A \cup * = *$;

$\overline{*} = \varnothing$;

$\overline{\varnothing} = *$.

Вторая особенность АК: операция дополнения отношений (*D*-кортеж)

Дополнение С-кортежа:

$$\overline{[R_1\ R_2\ \dots\ R_n]} = \begin{bmatrix} \overline{R_1} & * & \dots & * \\ * & \overline{R_2} & \dots & * \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ * & * & \dots & \overline{R_n} \end{bmatrix} = \big]\,\overline{R_1}\ \overline{R_2}\ \dots\ \overline{R_n}\,\big[$$

D-кортеж – сокращенное обозначение ***диагональной*** *C*-системы.

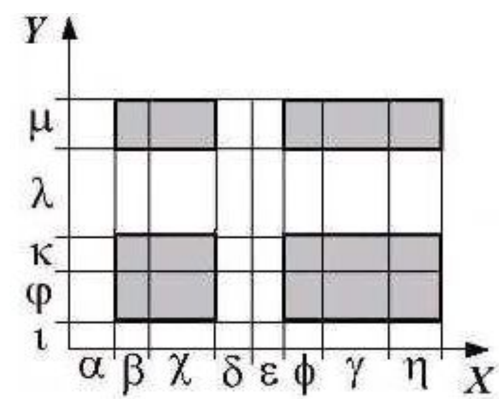
В **математической логике** D-кортежу]*P Q R*[в схеме отношения [*XYZ*] соответствует **дизъюнкция**: $P(x) \vee Q(y) \vee R(z)$.

Дополнением C-кортежа [{β, χ, φ, γ, η} {μ, κ, ϕ}] является D-кортеж

] {α, δ, ε} {ι, λ} [(на схеме не закрашен)

или *C*-система

$$\begin{bmatrix} \{\alpha, \delta, \varepsilon\} & * \\ * & \{\iota, \lambda\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{\alpha, \delta, \varepsilon\} & * \\ \{\beta, \chi, \phi, \gamma, \eta\} & \{\iota, \lambda\} \end{bmatrix}$$



Вторая особенность АК: операция дополнения отношений (*D-система*)

Дополнение С-системы **($\overline{R}$)** - это пересечение D-кортежей с идентичными схемами отношений.

$$R = \begin{bmatrix} \{\beta, \chi, \phi, \gamma, \eta\} & \{\mu, \kappa, \varphi\} \\ \{\chi, \delta, \gamma\} & \{\mu, \lambda, \kappa\} \end{bmatrix}$$

$$\overline{R} = \left] \begin{matrix} \{\alpha, \delta, \varepsilon\} & \{\lambda, \iota\} \\ \{\alpha, \beta, \varepsilon, \phi, \eta\} & \{\varphi, \iota\} \end{matrix} \right[$$

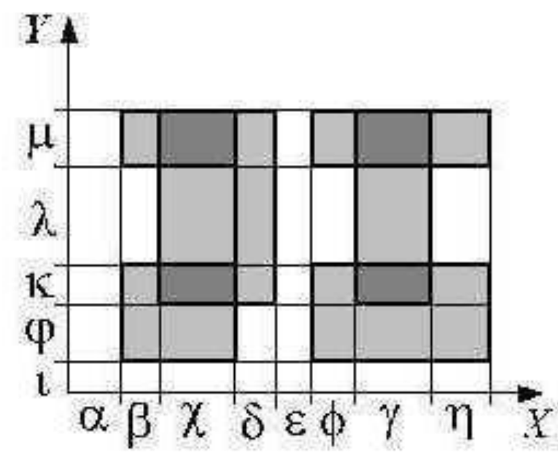
В **математической логике** *D*-системе соответствует КНФ.

В частности, дополнением *C*-кортежа

$$Q[XYZ] = [A \ * \ C]$$

является *D*-кортеж

$$\overline{Q}[XYZ] =]\ \overline{A} \ \varnothing \ \overline{C}\ [$$



На рисунке *C*-система R *закрашена,* а *D*-система $\overline{R}$ не закрашена.

Третья особенность АК: работа с отношениями, заданными в разных декартовых произведениях

Операции с атрибутами

1. **Переименование атрибутов** (только для атрибутов одного сорта).
2. **Перестановка атрибутов** – эквивалентное преобразование АК-объекта).
3. **Добавление фиктивного атрибута** (+*Atr*) – равносильное по смыслу преобразование при условии, что добавляемый атрибут не содержится в схеме отношения данного АК-объекта.

Соответствует ***правилу обобщения*** исчисления предикатов:

из формулы A выводимо $\forall x(A)$

(при условии, что x не является свободной переменной в A)

4. **Элиминация атрибута** (– *Atr*) – интерпретирует операции ***навешивания кванторов*** в исчислении предикатов.

Пусть T_C – *C*-кортеж или *C*-система, а T_D – *D*-кортеж или *D*-система, содержащие атрибут X. Тогда

$-X(T_C)$ равносильно $\exists x(T_C)$;

$-X(T_D)$ равносильно $\forall x(T_D)$.

Третья особенность АК: работа с отношениями, заданными в разных декартовых произведениях (примеры операций с атрибутами)

Перестановка атрибутов

$$P[XYZ] = \begin{bmatrix} \{a,b,d\} & \{f,h\} & \{b\} \\ \{b,c\} & * & \{a,c\} \end{bmatrix} = P[YXZ] = \begin{bmatrix} \{f,h\} & \{a,b,d\} & \{b\} \\ * & \{b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix}.$$

- Добавление фиктивного атрибута

$$P[XZ] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}; \quad +Y(P[XZ]) = P[XYZ] = \begin{bmatrix} A & * & B \\ C & * & D \end{bmatrix}$$

$$Q[XZ] = \left]\begin{matrix} E & F \\ G & H \end{matrix}\right[; \quad +Y(Q[XZ]) = Q[XYZ] = \left]\begin{matrix} E & \varnothing & F \\ G & \varnothing & H \end{matrix}\right[$$

- Элиминация атрибута

Дано

$$Q[XYZ] = \begin{bmatrix} \{a,b,d\} & \{f,h\} & \{b\} \\ \{b,c\} & * & \{a,c\} \end{bmatrix} \text{ и } \overline{Q}[XYZ] = \left]\begin{matrix} \{c\} & \{g\} & \{a,c\} \\ \{a,d\} & \varnothing & \{b\} \end{matrix}\right[.$$

$$\text{Тогда } \exists x(Q[XYZ]) = \begin{bmatrix} \{f,h\} & \{b\} \\ * & \{a,c\} \end{bmatrix} \text{ и } \forall x(\overline{Q}[XYZ]) = \left]\begin{matrix} \{g\} & \{a,c\} \\ \varnothing & \{b\} \end{matrix}\right[.$$

Третья особенность АК: работа с отношениями, заданными в разных декартовых произведениях (некоторые производные операции)

- Пусть заданы две структуры $R_1[V]$ и $R_2[W]$.
  Здесь V и W являются множествами атрибутов и $V \neq W$. Эти множества можно разложить на непересекающиеся подмножества X, Y, Z с помощью следующих операций:
  $X = W \setminus V$; $Y = W \cap V$; $Z = V \setminus W$. Тогда $V = Y \cup Z$ и $W = X \cup Y$.
- С учетом этого данные отношения можно переписать так:
- $R_1[V] = R_1[YZ]$ и $R_2[W] = R_2[XY]$.

Операция соединения: $R_1[YZ] \oplus R_2[XY] = +X(R_1) \cap +Z(R_2) = \forall x(R_1) \cap \forall z(R_2)$.

Операция композиции: $R_1[YZ] \circ R_2[XY] = -Y(+X(R_1) \cap +Z(R_2)) = -Y(R_1 \oplus R_2) =$
$= \exists y(\forall x(R_1) \cap \forall z(R_2))$.

$$P[XY] = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{bmatrix} \qquad Q[YZ] = \begin{bmatrix} B_3 & C_1 \\ B_4 & C_2 \end{bmatrix}$$

Схемы отношений у P и Q разные, но их можно привести к одной

$$P_1[XYZ] = \forall z(P[XY]) = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 & * \\ A_2 & B_2 & * \end{bmatrix} \qquad Q_1[XYZ] = \forall x(Q[YZ]) = \begin{bmatrix} * & B_3 & C_1 \\ * & B_4 & C_2 \end{bmatrix}$$

Вычислив их пересечение, получим соединение отношений

$$P \oplus Q = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \cap B_3 & C_1 \\ A_1 & B_1 \cap B_4 & C_2 \\ A_2 & B_2 \cap B_3 & C_1 \\ A_2 & B_2 \cap B_4 & C_2 \end{bmatrix}$$

Третья особенность АК: работа с отношениями, заданными в разных декартовых произведениях (обобщенные операции и отношения)

- Назовем операции алгебры множеств с АК-объектами с предварительным добавлением недостающих фиктивных атрибутов ***обобщенными операциями и отношениями*** алгебры множеств в АК и обозначим их соответственно

$\cap_G$, $\cup_G$, $\setminus_G$, $\subseteq_G$, и т.д.

- Примером обобщенной операции является соединение отношений

$P[XY] \oplus Q[YZ] = +Z(P[XY]) \cap +X(Q[YZ])$ то же самое, что

$$P[XY] \cap_G Q[YZ].$$

- Введение обобщенных операций и отношений позволяет определить алгебру отношений с произвольным составом атрибутов как алгебру множеств.

X	Y
a	b
a	d

$\cap_G$

X	Z
a	k
a	l

$$= \begin{array}{cc} X & Y \\ [\{a\}, & \{b,d\}] \end{array} \cap_G \begin{array}{cc} X & Z \\ [\{a\}, & \{k,l\}] \end{array} = \begin{array}{ccc} X & Y & Z \\ [\{a\}, & \{b,d\}, & *] \end{array} \cap \begin{array}{ccc} X & Y & Z \\ [\{a\}, & *, & \{k,l\}] \end{array} =$$

$$= \begin{array}{ccc} X & Y & Z \\ [\{a\}, & \{b,d\}, & \{k,l\}] \end{array} =$$

X	Y	Z
a	b	k
a	b	l
a	d	k
a	d	l

Гибкий универсум

Пусть $X_1, X_2, \ldots, X_n$ – множество ***атрибутов***. Тогда

- $X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n$ – пространство атрибутов или ***универсум;***
- $[X_i X_j \ldots X_k]$ $(i, j, \ldots, k \in 1 \div n)$ – ***схема*** определенного ***отношения;***
- $X_i \times X_j \times \ldots \times X_k$ – ***частный универсум;***
- ***Гибкий универсум –*** это произвольная совокупность частных универсумов для системы, определенной на пространстве
  $X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n$.
- ***Однотипные*** *АК-объекты - разные АК-объекты с одной и той же схемой отношения.*

<u>Интерпретация</u>

Частный универсум $X_i \times X_j \times \ldots \times X_k$

в исчислении предикатов соответствует

общезначимой формуле $F(x_i, x_j, \ldots, x_k)$,

где $x_i, x_j, \ldots, x_k$ – переменные, областями значений которых являются домены атрибутов $X_i X_j \ldots X_k$.

Таким образом, ***совокупность частных универсумов в АК соответствует классу общезначимых формул в исчислении предикатов.***

Основные теоремы АК

(здесь нумерация теорем в соответствии с представляемой ниже книгой)

- ***Теорема 2.1.*** Алгебра кортежей для однотипных АК-объектов изоморфна алгебре множеств

Пусть заданы однотипные *C*-кортежи $P = [P_1\ P_2 \ldots P_n]$ и $Q = [Q_1\ Q_2 \ldots Q_n]$.

- ***Теорема 2.2.*** $P \cap Q = [P_1 \cap Q_1\ \ P_2 \cap Q_2\ \ \ldots\ \ P_n \cap Q_n]$.

Примеры: $[\{b, d\}\ \{f, h\}\ \{a, b\}] \cap [\ *\ \{f, g\}\ \{a, c\}] = [\{b, d\}\ \{f\}\ \{a\}]$;

$[\{b, d\}\ \{f, h\}\ \{a, b\}] \cap [\ *\ \{g\}\ \{a, c\}] = [\{b, d\}\ \varnothing\ \{a\}] = \varnothing$.

- ***Теорема 2.3.*** $P \subseteq Q$, если и только если $P_i \subseteq Q_i$ для всех $i = 1, 2, \ldots, n$.
- ***Теорема 2.4.*** $P \cup Q \subseteq [P_1 \cup Q_1\ P_2 \cup Q_2 \ldots P_n \cup Q_n]$, причем равенство возможно лишь в двух случаях:

  $P \subseteq Q$ или $Q \subseteq P$;

  $P_i = Q_i$ для всех соответствующих пар компонент, за исключением одной пары.

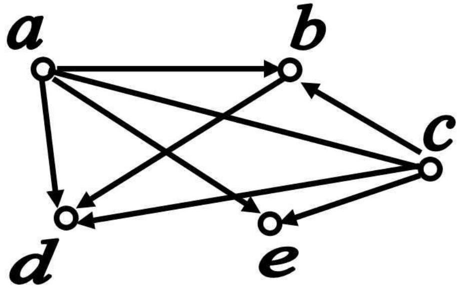
- ***Теорема 2.7.*** Для произвольного *C*-кортежа $P = [P_1\ \ P_2 \ldots\ \ P_n]$ его дополнение равно *D*-кортежу $=]\overline{P_1}\ \ \overline{P_2}\ \ldots\ \overline{P_n}[$.

Часть теорем АК (всего 30 теорем) предусматривают выполнение операций алгебры множеств с однотипными АК-объектами. Для работы с АК-объектами, имеющими разные схемы отношений, вводятся <u>операции с атрибутами</u>.

План доклада

- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Моделирование графов



$$\mathbf{G}[XY] = \begin{bmatrix} \{a\} & \{b,c,d,e\} \\ \{b\} & \{d\} \\ \{c\} & \{a,b,d,e\} \end{bmatrix}$$

Транзитивное замыкание графа *G, содержащего n вершин,* можно построить с помощью следующей последовательности операций:

$$G^{+} = G \cup G^{2} \cup G^{3} \ldots \cup G^{k}, \text{ где } k \le n.$$

Пример вычисления степени графа

$$\boldsymbol{G}^{2}[XY] = \boldsymbol{G}\,[XY] \cdot \boldsymbol{G}\,[XY] = -Y(\boldsymbol{G}[XY] \oplus \boldsymbol{G}[YZ]) :$$

Сначала вычисляем соединение графа с собой:

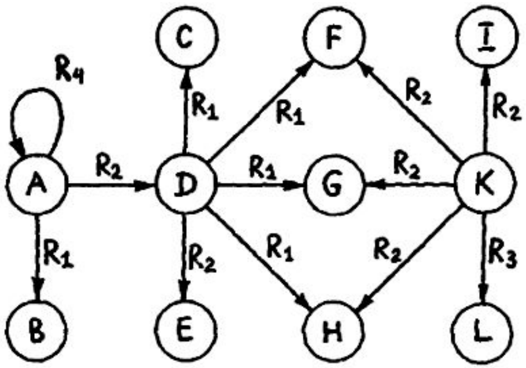
$$\begin{bmatrix} \{a\} & \{b,c,d,e\} & * \\ \{b\} & \{d\} & * \\ \{c\} & \{a,b,d,e\} & * \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & \{a\} & \{b,c,d,e\} \\ * & \{b\} & \{d\} \\ * & \{c\} & \{a,b,d,e\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{a\} & \{b\} & \{d\} \\ \{a\} & \{c\} & \{a,b,d,e\} \\ \{c\} & \{a\} & \{b,c,d,e\} \\ \{c\} & \{b\} & \{d\} \end{bmatrix}$$

Затем элиминируем атрибут *Y*:

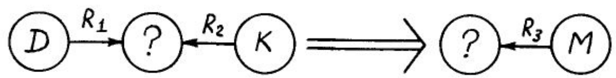
$$\boldsymbol{G}^{2} = \begin{bmatrix} \{a\} & \{a,b,d,e\} \\ \{c\} & \{b,c,d,e\} \end{bmatrix}$$

Семантические сети

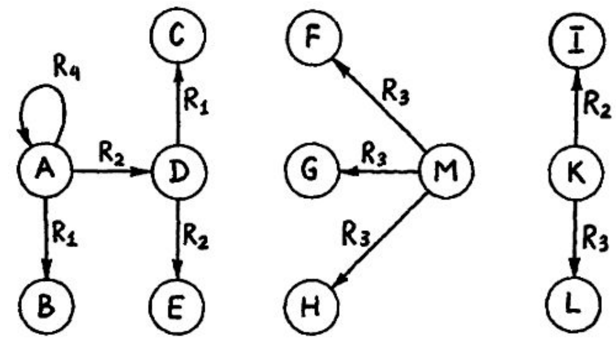
Исходная сеть



Правило и факты



Результат



- $R_1[XY] = \begin{bmatrix} \{A\} & \{B\} \\ \{D\} & \{C,F,G,H\} \end{bmatrix}$ $\quad R_2[XY] = \begin{bmatrix} \{A\} & \{D\} \\ \{D\} & \{E\} \\ \{K\} & \{F,G,H,I\} \end{bmatrix}$
- $R_3[XY] = [\{K\} \quad \{L\}]$; $\quad R_4[XY] = [\{A\} \quad \{A\}]$.
  - **Левая часть правила:**

$(R_1[XY] \cap [\{D\}\ *]) \oplus (R_2[YZ] \cap [*\ \ \{K\}]) =$

$= \ [\{D\} \quad \{F, G, H\} \quad \{K\}]$.

  - **Правая часть правила:**

$[\{F, G, H\} \quad \{M\}]$.

Экспертные системы

- Базы знаний экспертных систем (ЭС) содержат *модели* и *правила*. Известно четыре типа моделей: логические модели, предикаты, семантические сети и фреймы. Рассмотрим предикаты и правила.
- *Предикаты* по сути являются отношениями или элементами отношений. Например, набор предикатов ЭС

  $isa(a_1, S_1); isa(a_2, S_1); isa(a_3, S_1); isa(a_4, S_2);$
  $prop(S_1, c_1, d_1); prop(S_1, c_2, d_2); prop(S_2, c_1, d_3).$

  является представлением двух отношений: бинарного ***isa*** и трехместного ***prop***. В структурах АК предикаты можно выразить как *C*-системы:

$$isa[XY] = \begin{bmatrix} \{a_1, a_2, a_3\} & \{S_1\} \\ \{a_4\} & \{S_2\} \end{bmatrix}; \quad prop[YZV] = \begin{bmatrix} \{S_1\} & \{c_1\} & \{d_1\} \\ \{S_1\} & \{c_2\} & \{d_2\} \\ \{S_2\} & \{c_1\} & \{d_3\} \end{bmatrix}$$

- Пусть задано следующее ***правило вывода***:

  ЕСЛИ $isa[XY]$ **И** $prop[YZV]$ **ТО** $property[XZV]$

  и факты, $X = a_1$ и $V = d2$, тогда мы можем выразить их в виде запроса $Q[XV] = [\{a_1\}\ \{d_2\}]$.

  Алгоритм реализации правила с учетом фактов:

  $isa[XY] \cap_G prop[YZV] \cap_G Q[XV].$

АК и логические исчисления (структуры)

Алгебра кортежей	Исчисление предикатов
элементарный кортеж	выполняющая подстановка логической формулы
C-кортеж	Конъюнкция одноместных предикатов
D-кортеж	Дизъюнкция одноместных предикатов
C-система	Дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ)
D-система	Конъюнктивная нормальная форма (КНФ)
пустой АК-объект	тождественно ложная формула
АК-объект, равный частному универсуму	тождественно истинная формула (тавтология)
непустой АК-объект	выполнимая формула

АК и логические исчисления (операции)

Алгебра кортежей	Исчисление предикатов
$+Y(R)$ для всех АК-объектов $R[X_1X_2 \ldots X_n]$	$+Y(R) = \forall y(R)$
$-X(R)$ для C-систем $R[\ldots X \ldots]$ (*без пустых компонент в* X)	$\exists x(P)$
$-X(R)$ для D-систем $R[\ldots X \ldots]$ (*без полных компонент в* X)	$\forall x(P)$
обобщенное пересечение $\cap_G$	операция конъюнкции $\wedge$
обобщенное объединение $\cup_G$	операция дизъюнкции $\vee$
обобщенное включение одного АК объекта в другой ($A \subseteq_G B$)	отношение выводимости (с учетом теоремы дедукции $A \supset B$)

План доклада

- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
  - a) проверка правильности следствия
  - b) генерация возможных следствий
  - c) поиск абдуктивных заключений
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Новый подход к логическому выводу (методы АК)

<u>Существующие системы логического вывода</u>:

- исчисления гильбертовского типа (Д. Гильберт и В. Аккерман)
- натуральное исчисление (Г. Генцен)
- принцип резолюции (М. Девис и Х. Патнем)

Теорема 1. *Пусть даны формулы* $F_1, \ldots, F_n$ *и формула* G. *Тогда* G *есть логическое следствие* $F_1, \ldots, F_n$ *тогда и только тогда, когда формула*

$((F_1 \wedge \ldots \wedge F_n) \supset G)$ *общезначима*.

Теорема 2. *Пусть даны формулы* $F_1, \ldots, F_n$ *и формула* G. *Тогда* G *есть логическое следствие* $F_1, \ldots, F_n$ *тогда и только тогда, когда формула*

$(F_1 \wedge \ldots \wedge F_n \wedge \neg G)$ *противоречива*.

<u>Логический вывод в АК</u>:

Метод 1. *Пусть даны АК-объекты* $F_1, \ldots, F_n$ *и* G. *Тогда* G *есть следствие*

$F_1, \ldots, F_n$ *тогда и только тогда, когда*

$(F_1 \cap_G \ldots \cap_G F_n) \neq \varnothing$ *и* $(F_1 \cap_G \ldots \cap_G F_n) \subseteq_G G$.

Метод 2. *Пусть даны АК-объекты* $F_1, \ldots, F_n$ *и* G. *Тогда* G *есть следствие* $F_1, \ldots, F_n$ *тогда и только тогда, когда*

Новый подход к логическому выводу (интерпретация логического вывода)

Теорема 4.1. Если для логических формул *A* и *B* имеется интерпретация в виде множеств S_A и S_B, то общезначимость импликации $A \supset B$ равносильна выполнению отношения $S_A \subseteq S_B$.

- ***Семантика следствия***

Предлагаемый подход позволяет по новому осмыслить суть логического следования в классической логике. Известно, что справедливость отношения $A \subseteq B$ означает, что *B* является ***<u>необходимым условием</u>*** или свойством *A*.

Из соотношения (1) ясно, что логическое следствие является корректным не только потому, что получено на основе правил вывода, смысл которых не всегда понятен, но еще и потому, что ***<u>является необходимым условием существования антецедента</u>***.

Новый подход к логическому выводу (типы задач)

Пусть задана система аксиом (посылок) $A_1, A_2, \ldots, A_n$ и возможное следствие B.

<u>Два типа задач:</u>

1) ***Задача проверки правильности следствия***. Процедура доказательства производится как проверка правильности обобщенного включения

$$(A_1 \cap_G \ldots \cap_G A_n) \subseteq_G B.$$

2) ***Задача вывода следствий с учетом ограничений***. Для решения этой задачи сначала вычисляется АК-объект $A = A_1 \cap_G \ldots \cap_G A_n$, после чего производится выбор таких B_i, для которых соблюдается $A \subseteq_G B_i$.

К ограничениям относятся состав и возможное число атрибутов в следствии

Для вывода возможных следствий в АК используется следующий **алгоритм**

1. Преобразовать АК-объект $A = A_1 \cap_G \ldots \cap_G A_n$ в С-систему.

- Выбрать из A некоторую совокупность неполных проекций (для любой проекции $P_i(A)$ справедливо $A \subseteq_G P_i(A)$).
- Сформировать с учетом ограничений проекции, содержащие хотя бы одну неполную проекцию.
- Для АК-объектов, полученных на предыдущих шагах, построить покрывающие их

Новый подход к логическому выводу (проверка правильности следствия: пример)

<u>Задача:</u> Проверить корректность правила дилеммы

$$\frac{A \to C, B \to C, A \vee B}{C}$$

<u>Решение:</u>

Верхняя часть правила методами АК преобразуется в C-систему

$Up[ABC] = \begin{bmatrix} \{1\} & \{0\} & \{1\} \\ * & \{1\} & \{1\} \end{bmatrix}$,

нижняя часть правила равна *C*-кортежу

Down[*C*] = [{1}]

или после добавления фиктивных атрибутов

Down[*ABC*] = [* * {1}]

Проверка показывает, что $Up[ABC] \subseteq_C Down[C]$.

Новый подход к логическому выводу (вывод следствий: пример)

Задача: Вывести из заданной системы посылок все следствия с учетом ограничений на состав переменных

$$A \to C, B \to C, A \vee B$$

Решение:

Система посылок представима в виде *C*-системы

$Up[ABC]$ = $\begin{bmatrix} \{1\} & \{0\} & \{1\} \\ * & \{1\} & \{1\} \end{bmatrix}$,

Здесь полными являются только проекции: $[X_A]$ и $[X_B]$, так как содержат все значения атрибутов.

$Up[C]$ = $Up[AC]$ = $Up[BC]$= C, $Up[AB]$ = $\begin{bmatrix} \{1\} & \{0\} \\ * & \{1\} \end{bmatrix}$ = $A \vee B$

Ответ:

$$\frac{A \to C, B \to C, A \vee B}{C}, \qquad \frac{A \to C, B \to C, A \vee B}{A \vee B}.$$

Задача о преступлении

Карабас-Барабас (A)

Папа Карло (B)

Кот Базилио (C)

На естественном языке:

Карабас-Барабас: "Я совершил это, Папа Карло не виноват"

Папа Карло: "Карабас-Барабас не виноват, Преступление совершил Кот Базилио"

Кот Базилио : "Я не виноват, виноват Карабас-Барабас "

Правду говорит только один, остальные лгут. Кто преступник?

На языке АК:

Карабас-Барабас: $P1[ABC] = P_1^1 \cap P_1^2 = [\{1\} * *] \cap [* \{0\} *] = [\{1\} \{0\} *]$;

Папа Карло: $P2[ABC] = P_2^1 \cap P_2^2 = [\{0\} * *] \cap [* * \{1\}] = [\{0\} * \{1\}]$;

Кот Базилио: $P3[ABC] = P_3^1 \cap P_3^2 = [* * \{0\}] \cap [\{1\} * *] = [\{1\} * \{0\}]$.

Гипотезы:

1) Карабас-Барабас – честный ($P1 \cap \overline{P2} \cap \overline{P3}$)
2) Папа Карло – честный ($\overline{P1} \cap P2 \cap \overline{P3}$)
3) Кот Базилио – честный ($\overline{P1} \cap \overline{P2} \cap P3$)

Задача о преступлении

Гипотеза 1 (Карабас-Барабас – честный) :

$$P_1 \cap \overline{P_2} \cap \overline{P_3} = [\{1\}\ \ \{0\}\ \ *] \cap \overline{[\{0\} * \{1\}]} \cap \overline{[\{1\} * \{0\}]} =$$

$$= [\{1\}\ \{0\}\ \ *] \cap \begin{bmatrix} \{1\} & * & * \\ * & * & \{0\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & * & \{1\} \end{bmatrix} = [\{1\}\ \{0\}\ \{1\}].$$

Гипотеза отвергается

Гипотеза 2 (Папа Карло – честный) :

$$\overline{P_1} \cap P_2 \cap \overline{P_3} = \overline{[\{1\}\ \ \{0\}\ \ *]} \cap [\{0\} * \{1\}] \cap \overline{[\{1\} * \{0\}]} =$$

$$= \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & \{1\} & * \end{bmatrix} \cap [\{0\} * \{1\}] \cap \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & * & \{1\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cancel{\{0\}} & \cancel{\{1\}} & \cancel{\{1\}} \\ \{0\} & \{0\} & \{1\} \end{bmatrix}$$

Виновен Кот Базилио, честный – Папа Карло, а чиновник – Карабас-Барабас.

Гипотеза 3 (Кот Базилио – честный) :

$$\overline{P_1} \cap \overline{P_2} \cap P_3 = \overline{[\{1\}\{0\}*]} \cap \overline{[\{0\}*\{1\}]} \cap [\{1\}\ *\ \{0\}] =$$

$$= \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & \{1\} & * \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{1\} & * & * \\ * & * & \{0\} \end{bmatrix} \cap [\{1\}\ *\ \{0\}] = [\{1\}\ \{1\}\ \{0\}].$$

Гипотеза отвергается

Задача “Царевна и Змей-Горыныч”

Подсказка 1:

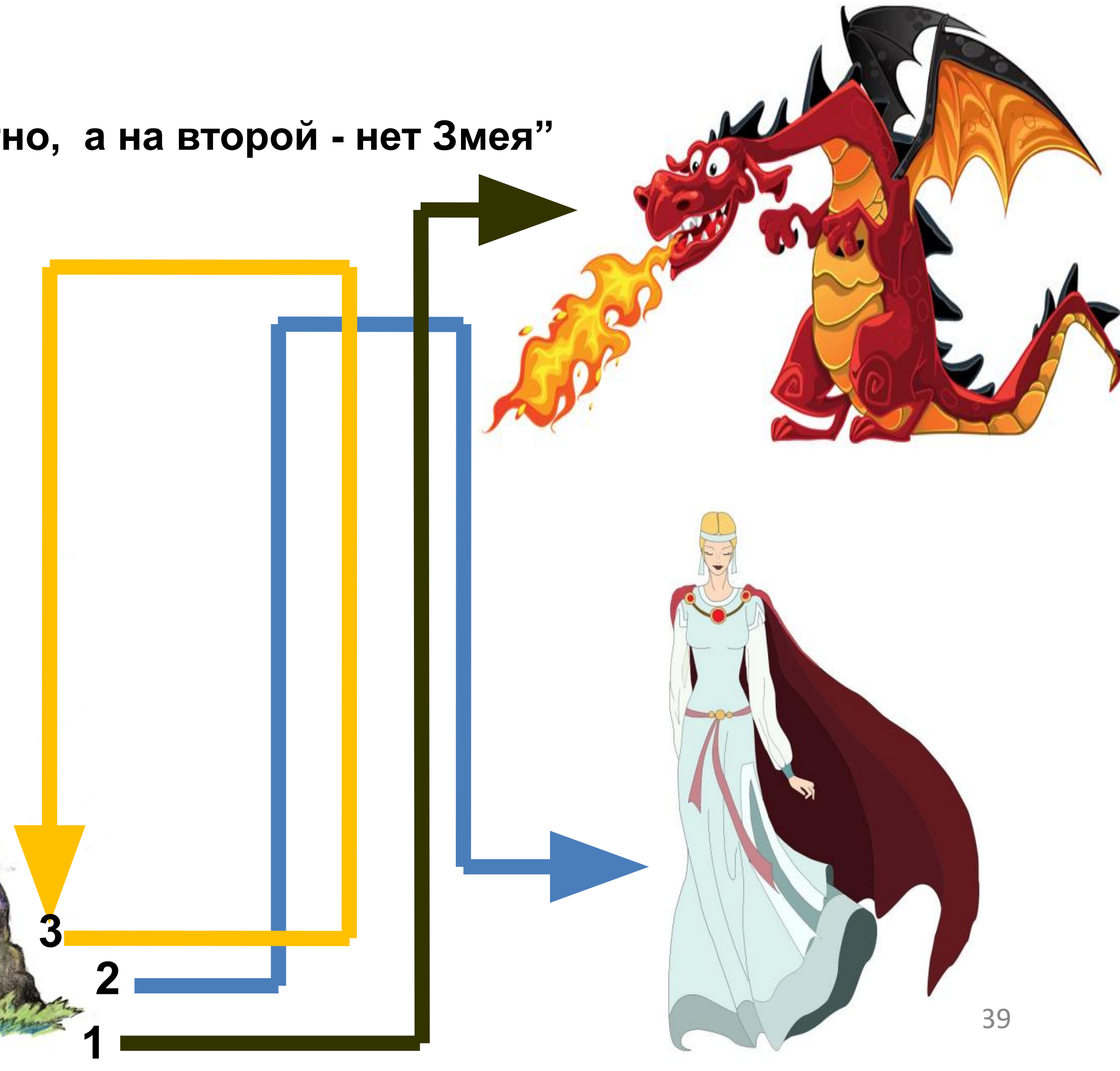
”На второй дороге нет Змея, а третья – не приведет обратно”

$$M_1 = [*\ \{Ц,\ О\}\ \{Ц,\ З\}]$$

Подсказка 2:

”Первая дорога не приведет обратно, а на второй - нет Змея”

$$M_2 = [\{Ц,\ З\}\ \{Ц,\ О\}\ *]$$



Задача “Царевна и Змей-Горыныч”

Гипотеза 1 (первое утверждение верно, а второе - нет) :

$$M_1 \cap \overline{M_2} = [*\ \{Ц, О\}\ \{Ц, З\}] \cap \begin{bmatrix} \{О\} & * & * \\ * & \{З\} & * \end{bmatrix} = [\{О\}\ \{Ц, О\}\ \{Ц, З\}] =$$

$$= \begin{bmatrix} \cancel{\{О\}} & \cancel{\{Ц\}} & \cancel{\{Ц\}} \\ \{О\} & \{Ц\} & \{З\} \\ \cancel{\{О\}} & \cancel{\{О\}} & \cancel{\{Ц\}} \\ \cancel{\{О\}} & \cancel{\{О\}} & \cancel{\{З\}} \end{bmatrix}$$

К царевне ведет вторая дорога

Гипотеза 2 (второе утверждение верно, а первое - нет) :

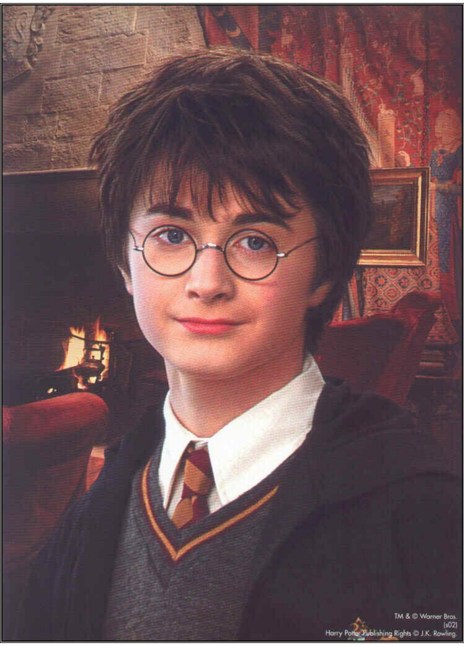
$$\overline{M_1} \cap M_2 = \begin{bmatrix} * & \{З\} & * \\ * & * & \{О\} \end{bmatrix} \cap [\{Ц, З\}\ \{Ц, О\}\ *] = [\{Ц, З\}\ \{Ц, О\}\ \{О\}] =$$

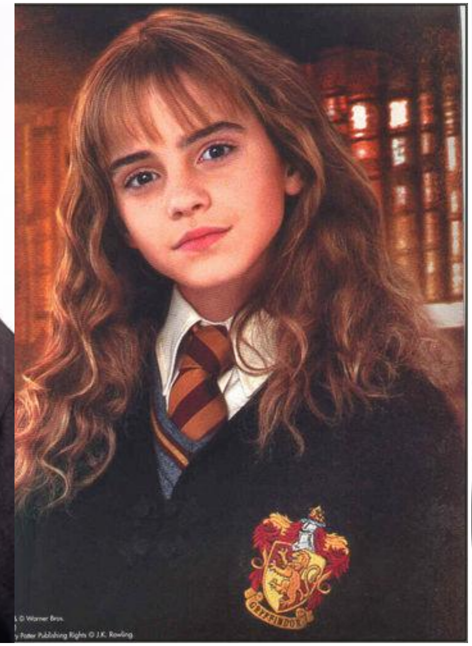
$$= \begin{bmatrix} \cancel{\{Ц\}} & \cancel{\{Ц\}} & \cancel{\{О\}} \\ \cancel{\{Ц\}} & \cancel{\{О\}} & \cancel{\{О\}} \\ \{З\} & \{Ц\} & \{О\} \\ \cancel{\{З\}} & \cancel{\{О\}} & \cancel{\{О\}} \end{bmatrix}$$

К царевне ведет вторая дорога

Задача о турнире волшебников

Гарри (*A*) **Рон (*B*)** **Гермиона (*C*)** **Драко (*D*)**






На естественном языке	На языке АК
Грифиндор: Гарри – первый а Рон – второй	$M1[ABCD] = M11 \cap M12 = [\{1\} * * *] \cap [* \{2\} * *]$
Слизерин: Гарри – второй, а Гермиона – третья	$M2[ABCD]=M21 \cap M22=[\{2\} * * *] \cap [* * \{3\} *]$
Уффендуй: Гермиона - четвертая, а Драко – второй	$M3[ABCD] =M31 \cap M32 =[* * \{4\} *] \cap [* * * \{2\}]$

Судья: В каждом заявлении одно высказывание истинное, а другое – ложное.

Задача о турнире волшебников

С учетом замечаний судьи, посылки примут вид:

Грифиндор: $P1=\overline{M11}\cap M12\cup M11\cap\overline{M12}=$

$$=\overline{[\{1\}***]}\cap[*\{2\}**]\cup[\{1\}***]\cap\overline{[*\{2\}**]}=\begin{bmatrix}\{2,3,4\} & \{2\} & * & * \\ \{1\} & \{1,3,4\} & * & *\end{bmatrix}$$

Слизерин: $P2=\overline{M21}\cap M22\cup M21\cap\overline{M22}=$

$$=\overline{[\{2\}***]}\cap[**\{3\}*]\cup[\{2\}***]\cap\overline{[**\{3\}*]}=\begin{bmatrix}\{1,3,4\} & * & \{3\} & * \\ \{2\} & * & \{1,2,4\} & *\end{bmatrix}$$

Уффендуй: $P3=\overline{M31}\cap M32\cup M31\cap\overline{M32}=$

$$=\overline{[**\{4\}*]}\cap[***\{2\}]\cup[**\{4\}*]\cap\overline{[***\{2\}]}=\begin{bmatrix}* & * & \{1,2,3\} & \{2\} \\ * & * & \{4\} & \{1,3,4\}\end{bmatrix}$$

Выполним пересечение посылок

$$P1\cap P2\cap P3=\begin{bmatrix}\{2,3,4\} & \{2\} & * & * \\ \{1\} & \{1,3,4\} & * & *\end{bmatrix}\cap\begin{bmatrix}\{1,3,4\} & * & \{3\} & * \\ \{2\} & * & \{1,2,4\} & *\end{bmatrix}\cap\begin{bmatrix}* & * & \{1,2,3\} & \{2\} \\ * & * & \{4\} & \{1,3,4\}\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix}\{3,4\} & \{2\} & \{3\} & * \\ \{2\} & \{2\} & \{1,2,4\} & * \\ \{1\} & \{1,3,4\} & \{3\} & *\end{bmatrix}\cap\begin{bmatrix}* & * & \{1,2,3\} & \{2\} \\ * & * & \{4\} & \{1,3,4\}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cancel{\{3,4\}} & \cancel{\{2\}} & \cancel{\{3\}} & \cancel{\{2\}} \\ \cancel{\{2\}} & \cancel{\{2\}} & \cancel{\{4\}} & \cancel{\{1,3,4\}} \\ \cancel{\{2\}} & \cancel{\{2\}} & \cancel{\{1,2\}} & \cancel{\{2\}} \\ \{1\} & \{1,3,4\} & \{3\} & \{2\}\end{bmatrix}$$

Ответ: 1-й - Гарри, 2-й - Драко, 3-я – Гермиона, 4-й – Рон.

Коллизии

Коллизии – это ситуации, которые возникают в модифицируемых рассуждениях при вводе новых знаний (гипотез) и распознаются как нарушение некоторых формально выраженных правил или ограничений, регулирующих целостность или смысловое содержание системы.

<u>Виды коллизий в системах типа силлогистики:</u>

- ***парадокса***, когда из посылок следует суждение типа "всем *A* не присуще *A*" ($A \supset \bar{A}$) и, значит, объем термина *A* пустой;
- ***цикла***, когда в системе множеств выводится соотношение $A \subseteq B \subseteq \ldots \subseteq A$, что означает эквивалентность терминов, входящих в данный цикл;
- ***неадекватности***, когда следствия системы рассуждений не соответствуют бесспорным фактам или обоснованным утверждениям.

Коллизии в системах типа силлогистики: пример

Даны посылки:

- 1. Все мои друзья хвастуны и не скандалисты
- 2. Все хвастуны не уверены в себе.
- 3. Все не скандалисты уверены в себе.

Необходимо проанализировать посылки на наличие коллизий

- Из заданных посылок следует утверждение

"Все мои друзья не мои друзья",

показывающее, что множество моих друзей пусто (коллизия парадокса).

- Полученный может вывод не соответствовать действительности – коллизия неадекватности

Коллизии в системах типа силлогистики: решение примера

Выразим посылки на языке исчисления предикатов. Допустим, A – предикат «x – мой друг», B – «x – хвастун» , C – «x – скандалист», D – «x – уверенный в себе». Теперь условия задачи запишутся так:

1. $A \supset (B \wedge \overline{C}) = \overline{A} \vee (B \wedge \overline{C})$

2. $B \supset \overline{D} = \overline{B} \vee \overline{D}$.

3. $\overline{C} \supset D = C \vee D$.

Им соответствуют АК-объекты, заданные в универсуме $\{0, 1\}$:

$$P_1[ABC] = \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & \{1\} & \{0\} \end{bmatrix};\ P_2[BD] = \begin{bmatrix} \{0\} & * \\ * & \{0\} \end{bmatrix};\ P_3[CD] = \begin{bmatrix} \{1\} & * \\ * & \{1\} \end{bmatrix}.$$

Пересечение этих структур дает:

$$P[ABCD] = P_1[ABC] \cap_G P_2[BD] \cap_G P_3[CD] = \begin{bmatrix} \{0\} & \{0\} & \{1\} & * \\ \{0\} & \{0\} & \{0\} & \{1\} \\ \{0\} & \{1\} & \{1\} & \{0\} \end{bmatrix}$$

Коллизии (продолжение)

<u>Коллизии в системах, выходящих за рамки силлогистики</u>

1)"вырождение" атрибутов - значимые атрибуты равны пустому множеству (в полисиллогистике - ***коллизия парадокса***);

2) при вводе новых знаний различные атрибуты становятся тождественными по составу элементов, что противоречит семантике системы (в полисиллогистике – ***колизия цикла***);

3) несоответствие полученных результатов с достоверными фактами или обоснованными утверждениями (в полисиллогистике - ***коллизия неадекватности***);

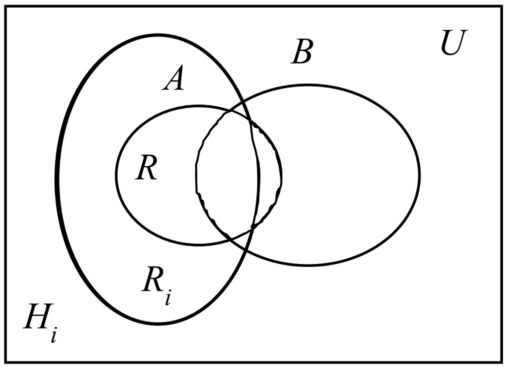
4) несоответствие полученных результатов с трудноформализуемыми ограничениями, описанными в постановке задачи (например, « в кортеже не должно быть одинаковых значений»).

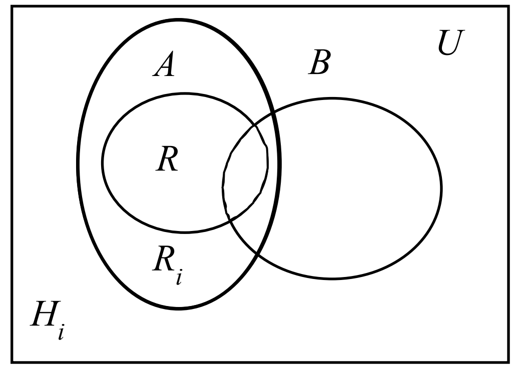
5) ситуации, которые используются для обоснования правомерности применения немонотонных логик, например:

1) "все птицы летают”;
2) "страус Тити птица, но не летает"

Новые возможности АК: модифицируемые рассуждения

Алгоритм вывода абдуктивного заключения





1. Вычислить «остаток» $R = A \setminus_G B$;
2. Построить промежуточный объект R_i такой, чтобы соблюдалось $R \subseteq_G R_i$;
3. Вычислить $H_i = \cap_G \overline{R_i}$ (тогда R_i далее можно обозначить как $\overline{H_i}$) ;
4. Вычислить $H_i \quad A$ и выполнить проверку на наличие коллизий; если коллизии обнаружены, то возвратиться к шагу 2, иначе конец алгоритма.

Новые возможности АК: пример 1

- Восстановим недостающую посылку в правиле дилеммы

$$\frac{A \to C, B \to C, A \vee B}{C}$$

- Пусть даны 2 посылки $A \to C$ и $A \vee B$ и следствие C. Необходимо найти недостающую посылку, чтобы следствие выводилось. Преобразуем формулы в структуры АК.

$A \to C$ соответствует $P_1[X_A X_B X_C]$ = $\begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & * & \{1\} \end{bmatrix}$.

$A \vee B$ соответствует $P_2[X_A X_B X_C]$ = $\begin{bmatrix} \{1\} & * & * \\ * & \{1\} & * \end{bmatrix}$.

C соответствует $B[X_A X_B X_C]$ = [* * {1}].

Используем алгоритм.

1. $R = (P_1 \cap P_2) \backslash B = P_1 \cap P_2 \cap \overline{B} = [\{0\}\ \{1\}\ \{0\}]$.
2. Выберем проекцию $[X_B X_C]$ (такого сочетания нет в посылках), получим $R_i[X_B X_C] = [\{1\}\ \{0\}]$; $\overline{R_i}[X_B X_C] =]\{0\}\ \{1\}[$, что соответствует формуле $B \to C$.

Новые возможности АК: пример 2

- **База знаний диагностики автомобиля** [Д.А. Страбыкин, Н.М. Томчук]

Если из выхлопной трубы ЧЕРНЫЙ ДЫМ, то БОГАТАЯ СМЕСЬ или РАННЕЕ ЗАЖИГАНИЕ.

$$x_6 \supset (x_2 \vee x_3).$$

Если СИНИЙ ДЫМ, то ПОВЫШЕННЫЙ РАСХОД МАСЛА.

$$x_7 \supset x_5.$$

Если выхлопная ТРУБА ЧЕРНАЯ, то БОГАТАЯ СМЕСЬ или РАННЕЕ ЗАЖИГАНИЕ или ПОВЫШЕННЫЙ РАСХОД МАСЛА.

$$x_1 \supset (x_2 \vee x_3 \vee x_5)$$

Если ПОВЫШЕННЫЙ РАСХОД МАСЛА, то ИЗНОС МАСЛОСЪЕМНЫХ КОЛПАЧКОВ или ИЗНОС ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ или ИЗНОС ЦИЛИНДРОВ.

$$x_5 \supset (x_8 \vee x_9 \vee x_{10})$$

Если НОРМАЛЬНАЯ КОМПРЕССИЯ, то нет ИЗНОСА ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ и нет ИЗНОСА ЦИЛИНДРОВ

$$x_4 \supset (\neg x_9 \wedge \neg x_{10})$$

Заключение: Если НОРМАЛЬНАЯ КОМПРЕССИЯ и выхлопная ТРУБА ЧЕРНАЯ и СИНИЙ ДЫМ, то ИЗНОС ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ.

$$(x_3 \wedge x_1 \wedge x_7) \supset x_9$$

Продолжение примера 2

- Эту БЗ можно представить как КНФ

$$A = (x_2 \vee x_3 \vee \neg x_6) \wedge (x_5 \vee \neg x_7) \wedge (\neg x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_5) \wedge$$
$$\wedge (\neg x_5 \vee x_8 \vee x_9 \vee x_{10}) \wedge (\neg x_4 \vee \neg x_9) \wedge (\neg x_4 \vee \neg x_{10}).$$

которую преобразуем в *D*-систему

$$A = \left] \begin{matrix} \varnothing & \{1\} & \{1\} & \varnothing & \varnothing & \{0\} & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing \\ \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \{1\} & \varnothing & \{0\} & \varnothing & \varnothing & \varnothing \\ \{0\} & \{1\} & \{1\} & \varnothing & \{1\} & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing \\ \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \{0\} & \varnothing & \varnothing & \{1\} & \{1\} & \{1\} \\ \varnothing & \varnothing & \varnothing & \{0\} & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \{0\} & \varnothing \\ \varnothing & \varnothing & \varnothing & \{0\} & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \varnothing & \{0\} \end{matrix} \right[$$

- **Заключение** выразим как *D*-кортеж

$$B[X_1 X_4 X_7 X_9] =]\{0\} \quad \{0\} \quad \{0\} \quad \{1\}[.$$

Продолжение примера 2

После выполнения первого шага алгоритма получим C-систему R:

$$
\begin{array}{cccccccccccc}
 & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_7 & X_8 & X_9 & X_{10} \\
R = & \left[\begin{array}{c} \{1\} \\ \{1\} \\ \{1\} \end{array}\right. & \begin{array}{c} \{1\} \\ \{0\} \\ \{0\} \end{array} & \begin{array}{c} * \\ \{1\} \\ \{0\} \end{array} & \begin{array}{c} \{1\} \\ \{1\} \\ \{1\} \end{array} & \begin{array}{c} \{1\} \\ \{1\} \\ \{1\} \end{array} & \begin{array}{c} * \\ * \\ \{0\} \end{array} & \begin{array}{c} \{1\} \\ \{1\} \\ \{1\} \end{array} & \begin{array}{c} \{1\} \\ \{1\} \\ \{1\} \end{array} & \begin{array}{c} \{0\} \\ \{0\} \\ \{0\} \end{array} & \left.\begin{array}{c} \{0\} \\ \{0\} \\ \{0\} \end{array}\right].
\end{array}
$$

Алгоритм «наращивания» *R*

1) оставить в качестве $\overline{H_i}$ одну из неполных проекций;

2) выбрать в качестве $\overline{H_i}$ любую проекцию при условии, что в ее состав входит, по крайней мере, одна неполная проекция;

3) для выбранного по предыдущим правилам АК-объекта построить покрывающий его неполный АК-объект.

Доказано, что данный алгоритм предусматривает все возможные случаи «наращивания» R.

Иллюстрация алгоритма наращивания на примере 2

- В качестве примера выберем проекцию $[X_1X_9]$, которая после сокращений будет равна C-кортежу $R_i[X_1X_9] = [\{1\}\ \{0\}]$. Тогда можно сформировать следующие формулы для $\overline{H_i}$;
- 1) $x_1 \wedge \neg x_9$ (соответствует C-кортежу R_i);
- 2) $(x_1 \wedge \neg x_9) \vee (\neg x_1 \wedge x_9)$;
- 3) $x_1 \vee \neg x_9$.

(формулы 2 и 3 соответствуют АК-объектам, которые покрывают C-кортеж R_i)

- и т.д.

План доклада

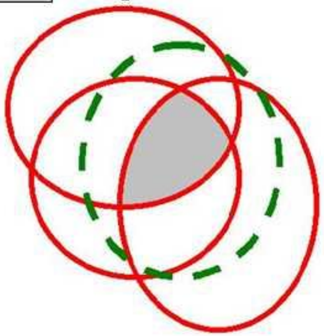
- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Логико-семантический анализ через призму АК

Следствия:

- посылки — - следствие

- пересечение посылок



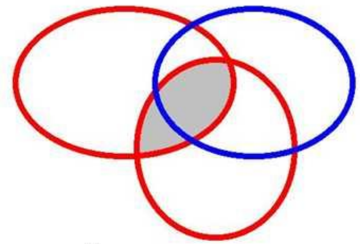
Ограничение: пересечение посылок не пусто

Гипотезы:

Коллизии: - если при анализе рассуждения устанавливается нарушение смысла или условий, в том числе принятых по умолчанию.

- посылки — - гипотеза

- пересечение посылок



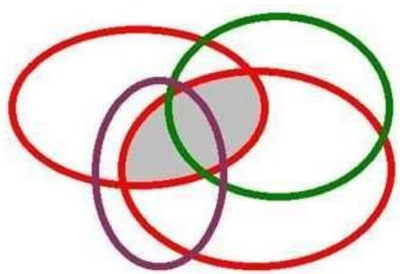
Корректная гипотеза: - гипотеза + отсутствие коллизий

Абдуктивные заключения:

- посылки — - предполагаемое следствие

- дополнение абдуктивного заключения

- пересечение посылок



Ограничение: Отсутствие коллизий при добавлении абдуктивного заключения в состав посылок

Подход к семантическому анализу на основе АК

Этапы традиционного семантического анализа:

1) отбор основополагающих понятий данной предметной области, предварительная классификация отобранных понятий;
2) дальнейшая систематизация, установление иерархических связей между некоторыми понятиями;
3) установление отношений между понятиями в рамках некоторого заранее заданного списка значимых отношений, включая специфичные для данной предметной области отношения;
4) формализация информации с использованием установленных отношений в виде семантических графов, семантических сетей, онтологий и предикатов;
5) использование языка исчисления предикатов в качестве языка семантического анализа.

Проблемы традиционного семантического анализа:

1) сложность совмещения логического вывода и недедуктивных (в том числе, модифицируемых) рассуждений в одной программной среде;
2) трудность выявления противоречий в знаниях и других нарушений ограничений целостности и/или смыслового содержания системы знаний (коллизий).

Подход к семантическому анализу на основе АК

1) отбор основополагающих понятий данной предметной области, предварительная классификация отобранных понятий;
2) дальнейшая систематизация, установление иерархических связей между некоторыми понятиями;
3) установление отношений между понятиями в рамках некоторого заранее заданного списка значимых отношений, включая специфичные для данной предметной области отношения;
4) формализация полученной на предыдущих этапах информации в структурах АК;
5) использование унифицированных методов работы с АК-объектами для решения различных задач логического, недедуктивного и предметно-ориентированного семантического анализа:
6) формализация и анализ коллизий.

Коллизии – это ситуации, которые возникают в модифицируемых рассуждениях при вводе новых знаний (гипотез) и распознаются как нарушение некоторых формально выраженных правил или ограничений, регулирующих целостность или смысловое содержание системы.

Семантика: «нелогичное» правило вывода

- В семантических сетях и экспертных системах часто используют правило вывода типа

  Если P_1 и P_2 и…и P_n, то Q.

Например, если Мать (x,y) и Родитель (y,z), то Бабушка (x,z).

В АК такие правила определены с помощью формулы

$$P_1 \cap_G P_2 \cap_G \ldots \cap_G P_n, \subseteq Q$$

По сути здесь не просто логический вывод, а создание нового отношения, смысл которого определен левой частью правила. («Бабушка – это женщина, дети которой имеют детей» или по Толковому словарю Ожегова«Мать отца или матери» -)

С учетом этого нами предложено называть такого рода правила семантическими правилами.

Вопросы и вопросно-ответные системы

- **Типы вопросов**

1) ***Уточняющие вопросы или ли-вопросы***:
Верно ли, что жирафы живут в Африке?

2) ***Восполняющие вопросы:***
Кто …? Где …? Когда …? и т.д.

3) ***ПОЧЕМУ-вопросы***
4) ***КАК-вопросы***
5) ***ЗАЧЕМ-вопросы***

Гетманова А.Д. Учебник по логике. М.: "Владос", 1994.

Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений.– М.: Радио и связь, 1989.

Принципы работы вопросно-ответных систем

1) ***Структурирование исходной информации и вопросов к ней.***
Используемые структуры: отношения (в частности, таблицы) или элементы отношений, графы, сети (семантические, по сочетаемости и т.д.), частично упорядоченные множества (в том числе решетки), правила. ***Все перечисленные структуры можно представить в виде отношений.***

2) ***Формально выраженные запросы должны***
- ***легко переводиться на естественный язык ;***
- ***инициировать процедуру поиска с учетом многообразия структур подготовленной к обработке информации.***

Структура вопроса

Восполняющие вопросы	АК: структура вопроса	Ответ на вопрос
Каково значение атрибута Z в отношении $R[XYZ]$, если $X = a$ и $Y = b$ заданы?	$Q[XYZ] = [\{a\}\ \{b\}\ *]$	$R[XYZ] \cap_G Q[XYZ]$
Каково значение атрибута Z в отношении $R[XYZ]$, если $X = a$ и $Y = c$, либо $X = a$ или b, $Y = e$, а Z находится в диапазоне D?	$Q_1[XYZ] = \begin{bmatrix} \{a\} & \{c\} & * \\ \{a,b\} & \{e\} & D \end{bmatrix}$	$R[XYZ] \cap_G Q_1[XYZ]$
Даны отношения $P[XYZ]$ и $R[YVW]$. Каковы значения атрибутов X и V, если извесно, что $Z=a$?	$Q_2[XVZ] = [*\ \ *\ \ \{a\}]$	$P[XYZ] \cap_G R[YVW] \cap_G Q_2[XYZ]$

Остальные типы вопросов в стадии разработки

План доклада

- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Трудоемкость операций в АК

X	Y	Z
a	b	b
a	b	c
a	b	f
a	c	b
a	c	c
a	c	f
c	b	b
c	b	c
c	b	f
c	c	b
c	c	c
c	c	f
d	b	b
d	b	c
d	b	f
d	c	b
d	c	c
d	c	f

$\cap$

X	Y	Z
a	a	b
a	a	c
a	a	d
a	c	b
a	c	c
a	c	d
a	d	b
a	d	c
a	d	d
b	a	b
b	a	c
b	a	d
b	c	b
b	c	c
b	c	d
b	d	b
b	d	c
b	d	d
c	a	b
c	a	c
c	a	d
c	c	b
c	c	c
c	c	d
c	d	b
c	d	c
c	d	d
d	a	b
d	a	c
d	a	d
d	c	b
d	c	c
d	c	d
d	d	b
d	d	c
d	d	d

= $\{a,b,c\} \times \{b,c\} \times \{b,c,f\} \ \cap \ \{a,b,c,d\} \times \{a,c,d\} \times \{b,c,d\}$ **= ???**

1 Способ. Вычисления в элементарных кортежах

число операций = 18 × 36 × 3 = 1944

2 Способ. Вычисления в АК-объектах

$C[XYZ] \cap D[XYZ] =$

$= [\{a,b,c\}\ \{b,c\}\ \{b,c,f\}] \cap [\{a,b,c,d\}\ \{a,c,d\}\ \{b,c,d\}] =$

$= [\{a,b,c\} \cap \{a,b,c,d\} \quad \{b,c\} \cap \{a,c,d\} \quad \{b,c,f\} \cap \{b,c,d\}] =$

$= [\{a,b,c\}\ \{c\}\ \{b,c\}]$.

число операций = 3 × 4 + 2 × 3 + 3 × 3 = 27

Вычислительная сложность наиболее трудоемких действий при реализации операций АК

Действие	*C*-кортеж	*C*-система	*D*-кортеж	*D*-система
Проверка принадлежности элементарного кортежа	+	+	+	+
Проверка включения *C*-кортежа в	+		+	+
Проверка включения *C*-системы в	+		+	+
Проверка включения *D*-кортежа в	+		+	+
Проверка включения *D*-системы в				

Знаком «+» помечены алгоритмы, которые являются полиномиальными. Пустые клетки соответствуют алгоритмам, сложность которых оценивается экспонентой (NP-трудные алгоритмы).

Вычислительная сложность алгоритмов на структурах АК полностью соответствует вычислительной сложности алгоритмов решения типовых задач логического анализа, поскольку структуры АК полиномиально сводимы к логическим структурам.

Матричные свойства АК-объектов как средство ускорения логического вывода

Основные определения

Бесконфликтным атрибутом *D*-системы называется атрибут, в котором пересечение всех непустых компонент непусто.

Бесконфликтным блоком *D*-системы называется ее вертикальный блок, содержащий только бесконфликтные атрибуты.

Монотонным атрибутом *D*-системы называется бесконфликтный атрибут, не содержащий пустых компонент.

Монотонным блоком *D*-системы называется бесконфликтный блок, не содержащий *D*-кортежей со всеми пустыми компонентами.

Пример:

$$T[XYZ] = \left]\begin{array}{ccc} \{A,B\} & \{f,g\} & \{a,c,d\} \\ \varnothing & \{e\} & \{b,c\} \\ \{A\} & \{g,h\} & \varnothing \end{array}\right[$$

$$C =[XYZ] = [\{A\} * \{c\}]$$

Матричные свойства АК-объектов (продолжение)

Новые классы КНФ

Теорема 6. *Если D-система Q содержит монотонный блок, то она непуста.*

Пусть $Q = \begin{Vmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{Vmatrix}$, T_{11} – подматрица *Q*, не содержащая *D*-кортежей со всеми

пустыми компонентами, T_{21} – подматрица *Q* с *D*-кортежами, содержащими только пустые *компоненты*.

Теорема 7. *Если в D-системе Q имеется бесконфликтный блок, то Q непуста, если и только если при разложении ее в блочную матрицу непустой является D-система, представленная блоком* T_{22}.

Пример:

$$Q = \left]\begin{matrix} \{A,B\} & \{e,f\} & \{a,b\} & \varnothing \\ \varnothing & \{g,h\} & \varnothing & \{e\} \\ \{A\} & \{e\} & \{b\} & \{f,g\} \\ \varnothing & \{e,h\} & \varnothing & \{g,h\} \end{matrix}\right[= \left]\begin{array}{cc|cc} \{A,B\} & \{a,b\} & \{e,f\} & \varnothing \\ \{A\} & \{b\} & \{e\} & \{f,g\} \\ \hline \varnothing & \varnothing & \{g,h\} & \{e\} \\ \varnothing & \varnothing & \{e,h\} & \{g,h\} \end{array}\right[$$

Ортогонализация

Используется как для сокращения трудоемкости операций, так и при анализе измеримых систем (см. ниже)

- В логике ***ортогональными*** называются функции вида $F_1 \square F_2 \square \ldots \square F_n$,

у которых любая пара (F_i, F_j) функций не имеет общих выполняющих подстановок.

- ***Ортогональная С-система*** – это C-система, у которой пересечение любой пары C-кортежей пусто.

Основные теоремы ортогонализации

для АК-объектов с произвольными компонентами

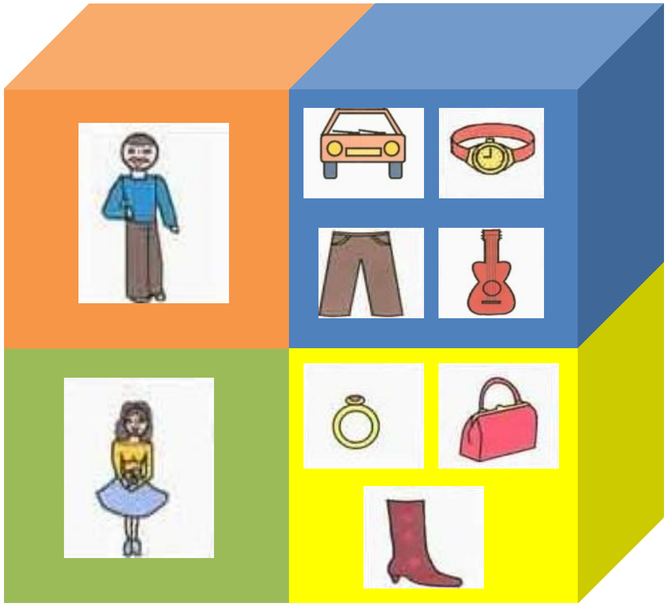
Пусть $Q_1, Q_2, \ldots, Q_{m-1}, Q_m$ – произвольные множества.

- ***Теорема 5***. D-кортеж вида $]Q_1\ Q_2 \ldots Q_{m-1}\ Q_m[$ преобразуется в эквивалентную

ортогональную C-систему $\begin{bmatrix} Q_1 & * & \ldots & * & * \\ \overline{Q_1} & Q_2 & \ldots & * & * \\ & & \ldots & & \\ \overline{Q_1} & \overline{Q_2} & \ldots & Q_{m-1} & * \\ \overline{Q_1} & \overline{Q_2} & \ldots & \overline{Q_{m-1}} & Q_m \end{bmatrix}$.

- ***Теорема 6***. Если P и Q – ортогональные C-системы, то их пересечение либо пусто, либо состоит из одного C-кортежа, либо является ортогональной C-системой.

Возможности распараллеливания вычислений



=

OP1 **OP2** **OP3**

План доклада

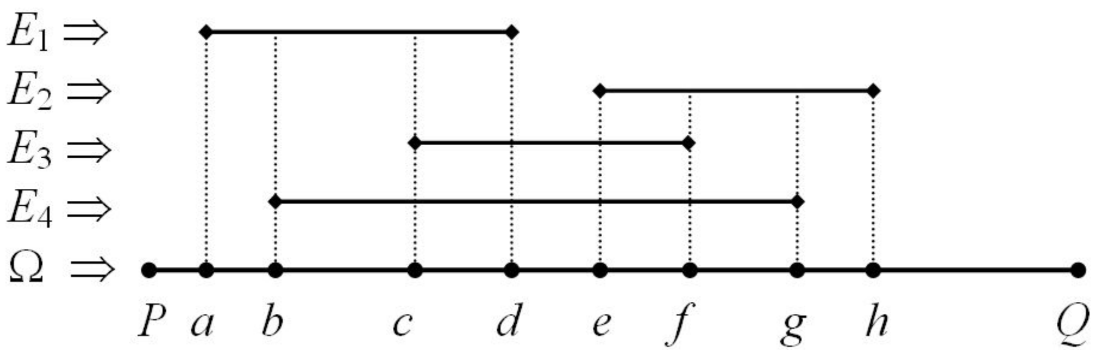
- 1. Логический анализ: алгебраический подход и теория формальных систем (ТФС)
- 2. Алгебра кортежей (АК): основные определения
- 3. Представление в АК основных видов данных и знаний
- 4. Новые возможности логического анализа в АК
- 5 Семантический анализ информации
- 6. Методы снижения трудоемкости в АК
- 7. Метрические аспекты АК
- 8. Выводы

Метрические аспекты АК: квантование интервалов

- ***Аксиомы меры*** μ ***множеств A и B***:
- 1)μ ≥ 0;
- 2) (∀ *A, B*) μ(*A* ∪ *B*) = μ(*A*) + μ(*B*) − μ(*A* ∩ *B*).

Если атрибуты *C*-системы (*C*-кортежа) содержат интервалы числовой оси, то они разбиваются на элементарные интервалы, пересечение любой пары которых либо пусто, либо имеет единственную точку сочленения.

Кванты - точки и открытые интервалы такого разбиения. Точка определяется как вырожденный интервал с нулевой мерой. *Кванты*



Пример:

$E_3 = \{c, d, e, f, (c, d), (d, e), (e, f)\}$

$E_i = \bigcup_k F_k$, $\mu(E_i) = \sum_k \mu(F_k)$

Теорема 5.1. *Если каждая компонента C-кортежа имеет конечную меру, то мерой C-кортежа является произведение мер его компонент.*

Теорема 5.2. Мера ортогональной *C*-системы равна сумме мер содержащихся в ней *C*-кортежей.

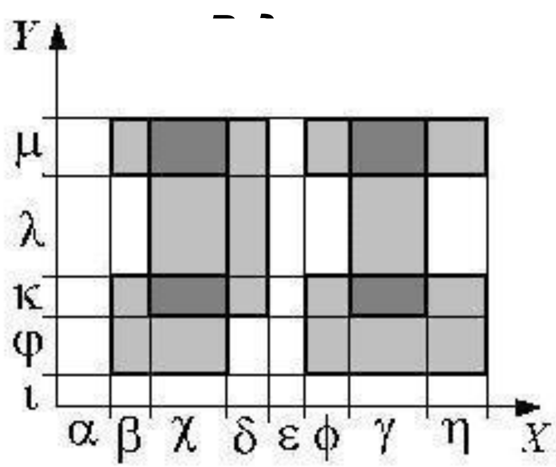
Метрические аспекты АК: свойства АК-объектов

Для АК-объектов, погруженных в вероятностное пространство или в любое другое нормированное пространство с мерой каждого атрибута, равной 1:

- мера полной компоненты (*) в *C*-кортежах и *C*-системах равна 1;
- мера любого частного универсума равна 1;
- мера любого АК-объекта есть число в интервале [0, 1];
- мера пустого АК-объекта равна 0;
- для произвольного АК-объекта *A* мера его дополнения равна $1 - \mu(A)$;
- для пары АК-объектов *A* и *B*

$$\mu(A \cup_G B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A \cap_G B);$$

- в любом АК-объекте после разбиения каждой компоненты на элементарные кванты мера компоненты есть сумма мер квантов, в ней содержащихся.

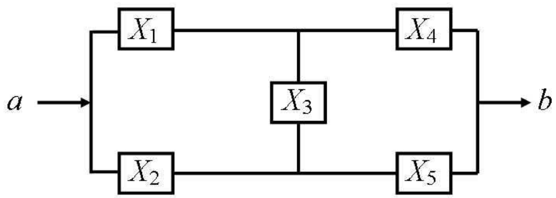


$$\begin{array}{cc} X & Y \end{array}$$

$$\begin{bmatrix} \{\beta, \chi, \phi, \gamma, \eta\} & \{\mu, \kappa, \varphi\} \\ \{\chi, \delta, \gamma\} & \{\mu, \lambda, \kappa\} \end{bmatrix}$$

Вероятностный анализ в АК

Дана схема типа «мостик» и каждый элемент X_i *имеет 2 состояния (0 или 1)*



В ЛВМ: $F = (X_1 \wedge X_4) \vee (X_2 \wedge X_5) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge X_4) \vee (X_1 \wedge X_3 \wedge X_5)$

В структурах АК: $R_F = \begin{bmatrix} 1 & * & * & 1 & * \\ * & 1 & * & * & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & * & 1 & * & 1 \end{bmatrix}$

Для этих формул после ортогонализации можно построить вероятностную функцию.

Но если элементы имеют более двух состояний, то в этом случае ортогонализация средствами ЛВМ проблематична. В АК это намного проще.

Пример структуры типа «мостик», в которой элементы имеют 3 состояния:

$$R_1 = \begin{bmatrix} \{a_1\} & * & * & * & \{e_1, e_2\} \\ * & \{b_1, b_2\} & * & \{d_1, d_2\} & * \\ * & \{b_2, b_3\} & \{c_1, c_2\} & * & (e_2, e_3\} \\ \{a_2\} & * & \{c_2, c_3\} & \{d_3\} & * \end{bmatrix}$$

Ортогонализация этой структуры выполняется с помощью простого универсального алгоритма

Уравнение регрессии

- Если АК-объект преобразован в ортогональную С-систему, то в вероятностном пространстве его можно представить как уравнение регрессии, в котором переменными являются вероятности элементарных событий, а значением функции – вероятность события, заданного этим АК-объектом.
- **<u>Пример 1</u> – система с двумя состояниями**
- <u>АК-объект</u> <u>Уравнение регрессии</u>

$$\begin{bmatrix} 1 & * & 0 \\ * & 0 & 1 \\ 0 & 1 & * \end{bmatrix} \qquad p_1(1–p3)+(1–p_2)p_3+(1–p_1)p_2.$$

- **<u>Пример 2</u>** – система с тремя состояниями
- <u>АК-объект</u> <u>Уравнение регрессии</u>

$$\begin{bmatrix} \{a_1, a_2\} & \{b_1, b_3\} \\ \{a_3\} & \{b_1, b_2\} \end{bmatrix} \qquad (p(a_1) + p(a_2))(1– p(b_2))+(1– p(a_1) – p(a_2))(p(b_1)+ p(b_2)).$$

Вероятностная логика

- В **<u>логико-вероятностных методах</u>** (ЛВМ) решается ***прямая задача*** расчета вероятности:
  - ***заданы*** вероятности элементарных событий в атрибутах;
  - ***необходимо вычислить*** вероятность события, выраженного АК-объектом (или соответствующей ему логической формулой).
- В **<u>вероятностной логике</u>** решается ***обратная задача*** расчета вероятности:
  - ***заданы*** вероятности сложных событий;
  - ***необходимо вычислить*** вероятности других сложных событий.
- При использовании АК в этом случае промежуточным этапом вычисления является вычисление вероятностей элементарных событий или некоторых сложных событий, которые в данной системе можно использовать в качестве атомов.

$\overline{A}$

Задача 1

(*Nilsson N. J*. Probabilistic Logic // Artificial Intelligence, 28, 1986, pp. 71-87):

- ***Дано:*** $p(A) = p_1$ и $p(A \supset B) = p_2$.
- ***Найти:*** оценку $p(B)$.

- ***Решение в структурах АК:***
- Используем универсум $A \times B = \{0, 1\}^2$. Тогда
- $A = [1 \;\; *]; \quad B = [* \;\; 1]; \quad A \supset B = \overline{A} \vee B =]0 \;\; 1[= \begin{bmatrix} 0 & * \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$.
- Получаем систему из двух уравнений

$$p(A) = p_1;$$
$$(1 - p(A)) + p(A)\, p(B) = p_2.$$

- Из этой системы несложно вывести

$$p(B) = \frac{p_1 + p_2 - 1}{p_1}$$

- У ***Н. Нильсона*** ответ $p_2 + p_1 - 1 \le p(B) \le p_2$.

Задача 2

Дано: $p(A \supset \overline{C}) = p_1$; $p((A \wedge \overline{B}) \vee B) = p_2$; $p(A \vee \overline{B}) = p_3$.

Найти: оценку $p(A \vee C)$.

Выразим заданные события в системе АК.

$$A \supset \overline{C} = \overline{A} \vee \overline{C} \Leftrightarrow \,]0 \varnothing 0[= \begin{bmatrix} 0 & * & * \\ 1 & * & 0 \end{bmatrix};$$

$$(A \wedge \overline{B}) \vee B \Leftrightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 & * \\ * & 1 & * \end{bmatrix};$$

$$A \vee \overline{B} \Leftrightarrow \,]1\ 0\ \varnothing[= \begin{bmatrix} 1 & * & * \\ 0 & 0 & * \end{bmatrix};$$

$$A \vee C \Leftrightarrow \,]1\ \varnothing\ 1[= \begin{bmatrix} 1 & * & * \\ 0 & * & 1 \end{bmatrix}.$$

Продолжение задачи 2

Пусть $x = p(A)$; $y = p(B)$; $z = p(C)$.
Тогда для первых трех событий получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} (1-x) + x(1-z) = p_1; \\ x(1-y)+y = p_2; \\ x+(1-x)(1-y) = p_3. \end{cases}$$

Решая эту систему, получим:

$$x = p_2 + p_3 - 1; \quad y = \frac{1-p_3}{2-p_2-p_3}; \quad z = \frac{1-p_1}{p_2+p_3-1}.$$

Далее построим уравнение регрессии для события $A \vee C$: $x +(1-x)z$.

После подстановки получим:

$$p(A \vee C) = \frac{1-p_1(2-p_2-p_3)}{p_2+p_3-1}.$$

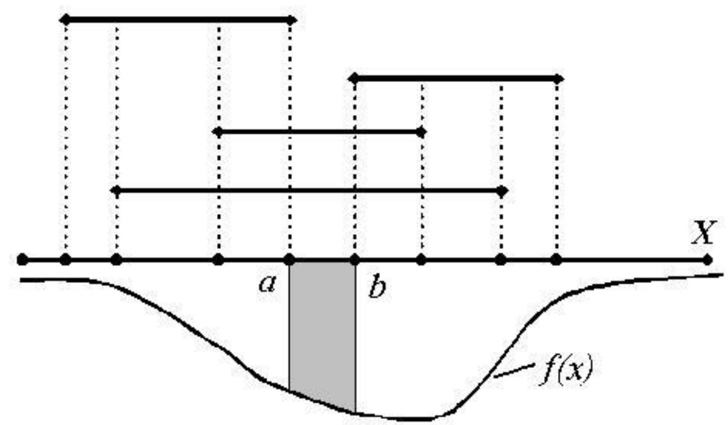
Атрибуты с непрерывной плотностью вероятности

При построении вероятностной функции каждый элементарный отрезок атрибута является независимой переменной, из-за чего общее число переменных модели становится чрезмерно большим.

Сократить это число можно за счет аппроксимации гистограмм распределений в атрибутах функциями плотности вероятности с небольшим числом параметров.

Для их оценки можно использовать методы оптимизации, в которых управляющими воздействиями будут типы и параметры маргинальных распределений, а целевой функцией – обобщенный параметр, например, среднее значение абсолютных отклонений между расчетными и фактическими значениями вероятностей исследуемых сложных событий.

Аналогичные методы используются в системах с ***нечеткой логикой***. Но при этом невозможно интерпретировать полученные результаты. А в этой модели интерпретация более прозрачна.



$$P(a, b) = \int_a^b f(x)$$

Заключение

Разработанная алгебра кортежей и ее методы:

- позволяют унифицированно обрабатывать данные и знания, представленные в виде совокупности многоместных отношений с различными схемами;
- ускоряют выполнение процедур логического вывода за счет:

  1) удобства распараллеливания вычислений,

  2) использования матричных свойств отношений, а также новых структурных и статистических классов КНФ с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости;
- дают возможность по-новому организовывать процедуры логического вывода;
- позволяют моделировать модифицируемые рассуждения, не нарушая законов классической логики.

Дальнейшие направления исследований

- моделирование интеллектуальных динамических систем в рамках ситуационного подхода;
- контекстно-ориентированные системы управления базами данных и знаний;
- исследование дополнительных возможностей погружения структур АК в измеримые пространства;
- моделирование пространственно-временных рассуждений.

Список литературы

- *Кулик Б.А.* Система логического программирования на основе алгебры кортежей // Известия РАН. Техническая. кибернетика. 1993. № 3. С. 226-239.
- *Кулик Б.А.* Новые классы КНФ с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости // Автоматика и телемеханика. 1995. № 2. С. 111-124.
- *Кулик Б.А.* Представление логических систем в вероятностном пространстве на основе алгебры кортежей. 1. Основы алгебры кортежей //Автоматика и телемеханика. 1997. № 1. С. 126–136.
- *Кулик Б.А., Наумов М. В.* Представление логических систем в вероятностном пространстве на основе алгебры кортежей. 2. Измеримые логические системы // Автоматика и телемеханика. 1997. № 2. С. 169–179.
- *Фридман А.Я.* Ситуационный подход к моделированию промышленно-природных комплексов и управлению их структурой. Труды IV международной конференции "Идентификация систем и задачи управления". Москва, 25-28 января 2005 г. ИПУ РАН, 2005 г. - С.1075-1108.
- *Зуенко А.А., Фридман А.Я.* Логический вывод при семантическом анализе нерегламентированных путевых запросов. // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября - 3 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конференции. Т.1. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – С.298-304.
- *Зуенко А.А., Фридман А.Я.* Контекстный подход в системах сопровождения открытых моделей предметной области // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. №3. С.41-51.
- *Зуенко А.А., Фридман А.Я.* Развитие алгебры кортежей для логического анализа баз данных с использованием двуместных предикатов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2009. №2. – С.95-103.
- *Зуенко А.А., Кулик Б.А., Фридман А.Я.* Анализ корректности запросов к базам данных систем концептуального моделирования средствами алгебры кортежей / Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009) // Материалы X Международной научно-технической конференции. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - С.86-88.

Новая книга

Спасибо за внимание! Вопросы?