

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Лекція 6.

Нечіткі бази знань на FuzzyClips

FuzzyCLIPS (від англ. «Нечіткий» CLIPS) - це розширення CLIPS, оболонки експертної системи від NASA. Було розроблено Групою інтегрованого виведення (*Integrated Reasoning Group*) Інституту інформаційних технологій, що входить до Національного Дослідницький Рада Канади. Широко поширювалося з 2000 року.

Розширення покращує можливості CLIPS, надаючи можливості нечіткої аргументації, яка повністю інтегрована з фактами і припущеннями ядра CLIPS, що дозволяє представляти і маніпулювати нечіткими фактами і правилами (складовими нечіткої логіки).

FuzzyCLIPS може мати справу з чіткими, нечіткими (або неточними), і комбінованими аргументації. Це дозволяє вільно змішувати нечіткі і нормальні умови, в правилах і фактах експертної системи. Система використовує два поняття м'яких обчислень: нечіткість і невизначеність. FuzzyCLIPS надає корисну середу для розробки додатків використовують нечітку логіку в системах прийняття рішень.

Значні зусилля потрібні для підтримки та оновлення цієї надбудови в зв'язку з виходом нових версій CLIPS.

Розширення було доступно безкоштовно тільки для некомерційного використання.

Нечітка підмножина A універсальної множини U задається своєю функцією приналежності $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$, яка ставить у відповідність кожному елементу $u \in U$ число $\mu_A(u)$ з інтервалу $[0, 1]$, що характеризує ступінь приналежності елемента u множини A .

Нечітка змінна характеризується трійкою $\langle X, U, R(X; u) \rangle$, де X - назва змінної, U - універсальна множина (кінцеве або нескінченне), u - загальна назва елементів множини U , $R(X, u)$ - нечітка підмножина множини U , що представляє собою нечітке обмеження на значення змінної u , обумовлене X .

Необмежена звичайна (НЕ нечітка) змінна u є для X базової змінної.

Лінгвістична змінна характеризується набором $\langle X, T(X), U, G, M \rangle$, в якому X - назва змінної; $T(X)$ (або просто T) позначає терм-множину змінної X , тобто множина назв лінгвістичних значень змінної X , причому кожне з таких значень є нечіткою змінною X зі значеннями з універсальної множини U з базовою змінною u ; G - синтаксичне правило (що має зазвичай форму граматика), що породжує назви X значень змінної X , а M - семантичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній X вона має сенс $M(X)$, тобто нечітке підмножина $M(X)$ універсальної множини U .

Конкретна назва X , породжена синтаксичним правилом G називається термом. Терм, що складається з одного слова або кількох слів, завжди фігурують разом один з одним, називається атомарним термом.

Нечіткість

Для визначення лінгвістичних змінних (див.слайд вище), нечітких змінних і нечітких множин в FuzzyCLIPS використовується наступна конструкція:

```
(Deftemplate лінгвістична-змінна
  кордони-універсальної-множини
  (
    (Нечітка-змінна-1 (нечітка-множина-1))
    ...
    (Нечітка-змінна-n (нечітка-множина-n))
  )
)
```

Приклад .

```
(Deftemplate height
```

```
  ; зростання - лінгвістична змінна
```

```
  0 300
```

```
  ; (Теоретично) можливе зростання (в см.)
```

```
  ((Low (150 1) (170 0))
```

```
  ; низький - нечітка змінна
```

```
  (High (170 0) (185 1))
```

```
  ; високий
```

```
  (Middle [not (low or high)])
```

```
  ; середній зріст - не низький і не високий
```

```
  )
```

```
)
```

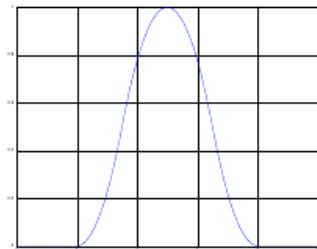
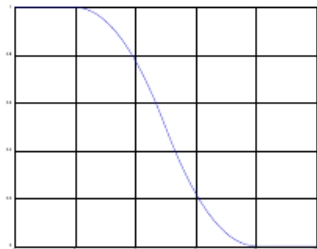
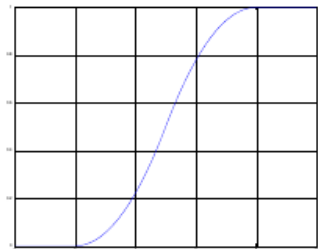
Для завдання нечітких множин в FuzzyCLIPS можуть використовуватися функції S, Z і П:

$$S(u, a, c) = \begin{cases} 0, & u \leq a, \\ 2 \left(\frac{u-a}{c-a} \right)^2, & a < u \leq (a+c)/2, \\ 1 - 2 \left(\frac{c-u}{c-a} \right)^2, & (a+c)/2 < u \leq c, \\ 1, & c < u. \end{cases}$$

$$Z(u, a, c) = 1 - S(u, a, c).$$

$$\Pi(u, h, c) = \begin{cases} S(u, c-h, c), & u \leq c, \\ Z(u, c, c+h), & c < u. \end{cases}$$

Графіки функцій $S(u, 3, 8)$, $Z(u, 3, 8)$ і $\Pi(u, 5, 3)$:



Приклад.

```
( deftemplate height ; зріст
  0 300
  (( low ( Z 150 170)) ; низький
    ( high ( S 170 185)) ; високий
    ( middle ( PI 20 165)) ; середній
  )
)
```

Для більш точного визначення виду нечіткої множини можна використовувати модифікатори:

not	$1 - y$
very	y^2
extremely	y^3
somewhat	$y^{1/3}$
more-or-less	$y^{1/2}$
intensify	y^2 , якщо $y \in [0, 0.5]$ або $1 - 2(1 - y)^2$, якщо $y \in [0.5, 1]$
plus	$y^{1.25}$
norm	нормалізація нечіткої множини, щоб максимальне значення функції приналежності стало дорівнювати одиниці
slightly	<code>intensify(norm(plus A and not very A))</code>

Невизначеність

Для зазначення ступеня невизначеності факту або правила використовується коефіцієнт визначеності:

```
(Факт) CF коефіцієнт-визначеності
```

```
(Defrule правило
```

```
(Declare (CF коефіцієнт-визначеності))
```

```
...
```

```
=>
```

```
...
```

```
)
```

Приклад .

```
( assert ( animal-kind penguin bird ) CF 0.75)
( declare flight
  ( declare ( CF 0.95))
    ; впевненість у виконанні правила - 95%
  ( animal-kind ? name bird )
    ; якщо тварина - птиця
=>
  ( assert ( animal - can ? name fly ))
    ; то вона може літати
)
```

Правила висновку

Прості правила

Якщо A , то C	CF_r
A'	CF_f
<hr/>	
C'	Cf_c

де A і C - передумова (антецедент) і наслідок (консеквент), A' - спостережуваний факт і C' - наслідок, який випливає з цього факту. CF_r , CF_f і Cf_c - наша впевненість в правилі, факті і наслідку відповідно.

Чітке правило: A' та C' — чіткі факти:

$$CF_c = CF_r \times CF_f \quad (*)$$

Приклад.

```
( deffacts CONDITIONS
( weather rain ) CF 0.8           ; погода дощова
( speed high ) CF 0.7            ; швидкість висока
)
( defrule ACCIDENT
( declare ( CF 0.9)              ; якщо
( weather rain )                 ; погода дощова
( speed high )                   ; й швидкість висока
=>                                ; то
( assert(accident probability high))
; висока ймовірність аварії
)
( reset )
( run )
( facts )
f-1 (weather rain) CF 0.80
f-2 (speed high) CF 0.70
f-3 (accident probability high) CF 0.63
```


Нечітко-чітке правило: A' — нечіткий факт (описуваний нечіткою множиною $F_{\alpha'}$), що відповідає нечіткій передумові A (нечітка множина F_{α}); C' — чіткий факт:

$$CF_c = CF_r \times CF_f \times S$$

Маємо S — міру подібності між множинами F_{α} та $F_{\alpha'}$:

$$S = \begin{cases} P(F_{\alpha} | P_{\alpha'}), & N(F_{\alpha} | F_{\alpha'}) > 0.5, \\ (N(F_{\alpha} | F_{\alpha'}) + 0.5) \times P(F_{\alpha} | P_{\alpha'}), & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

де

$$P(F_{\alpha} | P_{\alpha'}) = \max_{u \in U} \left(\min(\mu_{F_{\alpha}}(u), \mu_{F_{\alpha'}}(u)) \right)$$

та

$$N(F_\alpha | F_{\alpha'}) = 1 - P(\bar{F}_\alpha | \bar{P}_{\alpha'}),$$

\bar{F}_α — дополнение F_α , описываемое функцией принадлежности:

$$\mu_{\bar{F}_\alpha}(u) = 1 - \mu_{F_\alpha}(u), \quad u \in U.$$

```
( deftemppla t e TEMPERATU R E
5 35
(( cold ( Z 10 20))
 ( hot ( S 20 30))
 ( comfort ( PI 5 22))
)
)
( deftemppla t e ROOM
 ( slot id )
 ( slot temperatur e ( type)
FUZZY - VALUE TEMPERATU R E ))
 ( deffacts CONDITIONS
 ( ROOM ( id 1)
 ( temperatur e (22 0) (22 1) (22 0)) ; 22 градуса
)
)
 ( defrule FAN -1
 ( ROOM ( id ? id ) ( temperatur e hot )) ; если жарко
=>
 ( assert ( fan on )) ; включить вентилятор
```

```
)  
f-1 (ROOM (id 1) (temperature ???)) CF 1.00  
( (22.0 0.0) (22.0 1.0) (22.0 0.0) )  
f-2 (fan on) CF 0.05
```

Нечітко-нечітке правило: передумова і наслідок - нечіткі факти, пов'язані нечітким співвідношенням

$$R = F_{\alpha} \times F_c, \quad \mu_R(u, v) = \min_{(u,v) \in U \times V} (\mu_{F_{\alpha}}(u), \mu_{F_c}(v)).$$

Обчислення висновку засноване на композиційному правилі виведення:

$$F_{c'} = F_{\alpha'} \circ R, \quad \mu_{F_{c'}}(v) = \max_{u \in U} \left(\min(\mu_{F_{\alpha'}}(u), \mu_R(u, v)) \right).$$

Фактор визначеності висновку обчислюється за формулою (*).

```
; Лінгвістична змінна правдивості
( deftemplate LOGIC
0 1
(
( true ( S 0.5 0.95))
( false ( Z 0.05 0.5))
)
)
; Лінгвістична змінна «Розмір»
( deftemplate SIZE
0 10
(
( small (3 1) (5 0)); маленький
( medium (3 0) (4 1) (6 1) (7 0)); середній
( large (5 0) (7 1)); великий
)
)
```

```
( deftemplate 01
  ( slot name )
  ( slot value ( type FUZZY - VALUE SIZE ) )
)
( deftemplate 02
  ( slot name )
  ( slot result )
  ( slot value ( type)
FUZZY - VALUE LOGIC ))
```

; якщо розмір великий, то результат «великий» є правдивим

```
( defrule R1  
  ( O1 ( name ? n ) ( value large ) )  
=>  
  ( assert ( O2 ( name ? n ) ( result " large " )  
    ( value true ) ) )  
  )
```


; якщо розмір середній, то результат «великий» не є правдивим

```
( defrule R2
```

```
( O1 ( name ? n ) ( value medium ) )
```

```
=>
```

```
( assert ( O2 ( name ? n ) ( result " large " )
```

```
( value not true )))
```

```
)
```

; якщо розмір маленький, то результат «великий» є
брехливим

```
( defrule R3
```

```
( O1 ( name ? n ) ( value small ) )
```

```
=>
```

```
( assert ( O2 ( name ? n ) ( result " large " )
```

```
( value false )))
```

```
)
```

```
; факт - нечітке значення розміру  
( deffacts F  
( O1 ( name id1 ) ( value (4 0) (7 0.8) (9 0))) CF  
0.75  
)
```

```
; друк до файлу результатів обчислень  
( defrule PRT  
( declare ( salience -20)); низький пріоритет -  
буде виконаний в кінці  
( O1 ( name ? n ) ( value ? v1 ))  
? res <- ( O2 ( name ? n ) ( value ? v2 ))  
=>  
( open " result . txt " result " w " ); файл для  
записи результата
```

```
( printout result ? n "  $\mu$  -  $\mu$  antecedent : " crlf
); передумова
( plot - fuzzy - value result * nil nil ? v1 )
( printout result ? n "  $\mu$  -  $\mu$  consequent : " crlf
); наслідок
( plot - fuzzy - value result * nil nil ? v2 )
( printout result " Crisp  $\mu$  value :  $\mu$  " ( moment -
defuzzify(? v2 ) crlf ); дефаззифікація
  printout result " CF  $\mu$  is  $\mu$   $\mu$  " ( get - cf ?
res ) crlf ); значення визначеності
( close result ); закрити файл
)
```

```
; об'єднання висновків окремих правил
( defrule M
  ( declare ( salience -10))
  ? a1 <- ( O2 ( name ? n ) ( result ? r ) ( value ?
v1 ))
  ? a2 <- ( O2 ( name ? n ) ( result ? r ) ( value ?
v2 ))
  ( test ( not ( eq ? a1 ? a2 )))
=>
  ( bind ? v ( fuzzy - union ? v1 ? v2 ))
  ( assert ( O2 ( name ? n ) ( result ? r )
  ( value ? v )))
  ( retract ? a1 ? a2 )
)
```

Використання об'єднання за правилом max-min:

```
( reset )
```

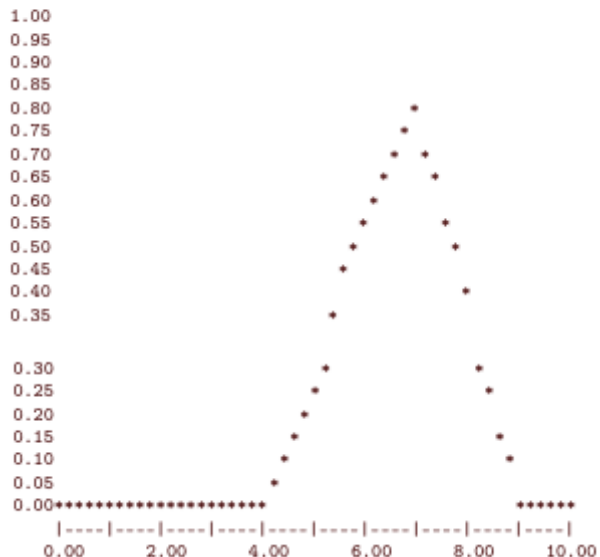
```
( set -fuzzy -inference -type max-min )
```

```
( run )
```

idl - antecedent:

Fuzzy Value: SIZE

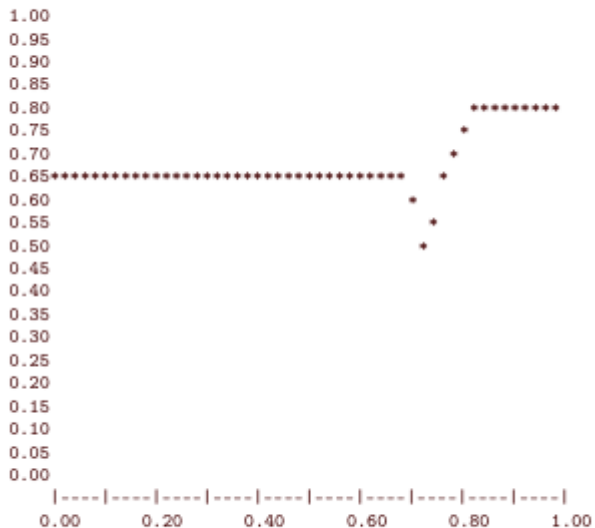
Linguistic Value: ??? (*)



idi - consequent:

Fuzzy Value: LOGIC

Linguistic Value: ??? (+)



Universe of Discourse: From 0.00 to 1.00

Crisp value: 0.5200546837918593

CF is 0.75

Використання об'єднання за правилом max-prod:

```
( reset )
```

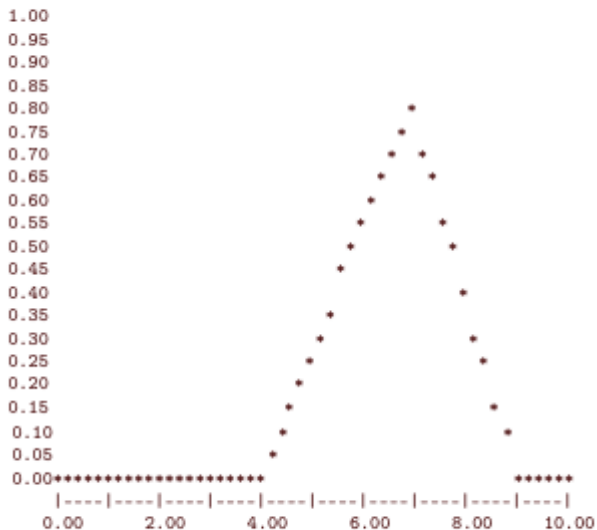
```
( set -fuzzy -inference -type max-prod )
```

```
( run )
```

idi - antecedent:

Fuzzy Value: SIZE

Linguistic Value: ??? (*)

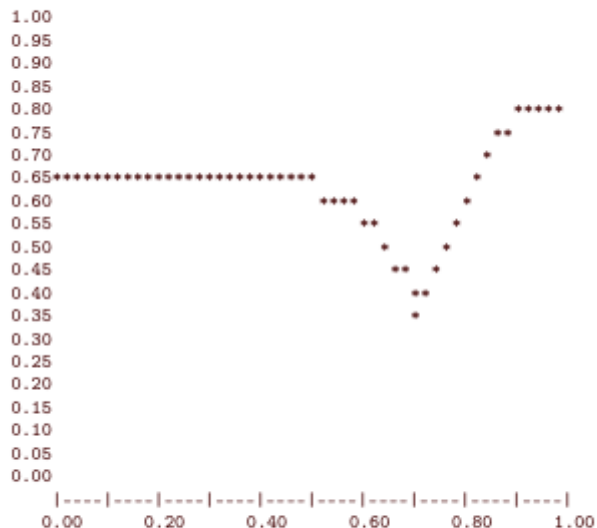


Universe of Discourse: From 0.00 to 10.00

idi - consequent:

Fuzzy Value: LOGIC

Linguistic Value: ??? (*)



Universe of Discourse: From 0.00 to 1.00

Crisp value: 0.5065723346399507

CF is 0.75

Складні правила

Множинні висновки. Якщо з передумови A слід кілька висновків C_1, C_2, \dots, C_n , то в FuzzyCLIPS вони розглядаються як n правил, кожне з яких має один висновок.

Множинні передумови. Якщо передумови A_1, A_2, \dots, A_n пов'язані союзом АБО, то правило $A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \rightarrow C$ представляється у вигляді об'єднання правил $A_1 \rightarrow C, A_2 \rightarrow C, \dots, A_n \rightarrow C$.

Якщо передумови пов'язані союзом І, то

$$\begin{array}{r} \text{Если } A_1 \text{ и } A_2, \text{ то } C \quad CF_r \\ A'_1 \quad CF_{f_1} \\ A'_2 \quad CF_{f_2} \\ \hline C' \quad CF_c \end{array}$$

Якщо висновок є нечітким значенням, то

$$F_{c'} = F_{c'1} \cap F_{c'2}, \quad (**)$$

де $F_{c'i}$ — результат нечіткого виведення з факту A'_i за допомогою простого правила $A_i \rightarrow C$.

Фактор визначеності висновку для правила $A_1 \wedge A_2 \rightarrow C$ обчислюється за формулою

$$CF_c = \min(CF_{f1'}, CF_{f2'}) \times CF_r.$$

Функції для роботи з нечіткими множинами

(Get-u? Нечітка-множина) - межі універсальної множини.

(Get-u-from? Нечітка-множина) - нижня межа універсальної множини.

(Get-u-to? Нечітка-множина) - верхня межа універсальної множини.

(Get-u-units? Нечітка-множина) - назва базової змінної універсальної множини.

(Get-fs? Нечітка-множина) - нечітка множина.

(Get-fs-length? Нечітка-множина) - кількість вузлів, які використовуються для визначення нечіткого безлічі.

(Get-fs-x? Нечітка-множина? I) - і-я x-координата нечіткої множини.

(Get-fs-y? Нечітка-множина? I) - і-я y-координата нечіткої множини.

(Get-fs-iv? Нечітка-множина) - лінгвістична змінна, асоційована з нечіткою множиною.

(Get-fs-value? Нечітка-множина? X) - значення функції приналежності в точці x.

(Get-cf? Факт) - значення фактора визначеності для факту.

(Set-threshold? Число) - встановлення порогового значення фактора визначеності, при якому будуть виконуватися правила.

(Get-threshold) - граничне значення фактора визначеності.

(Set-fuzzy-display-precision? Ціле-число) - кількість відображуваних значущих цифр при виведенні нечіткої множини на екран.

(Set-fuzzy-inference-type? Тип) - завдання типу логічного висновку (max-min або max-prod).

(get-fuzzy-inference-type) - тип логічного висновку.

(Set-alpha-value? Значення) - правила будуть активуватися, тільки коли висота перетину шаблону і факту менше значення альфа.

(Get-alpha-value) - значення альфа.

(Create-fuzzy-value? Лінгвістична-змінна? Нечітка-множина) - створити нечітку множину.

(Fuzzy-union? Значення1? Значення2) - об'єднання нечітких множин.

(Fuzzy-intersection? Значення1? Значення2) - перетин нечітких множин.

(Fuzzy-modify? Значення? Модифікатор) - модифікація нечіткої множини.

(Get-fuzzy-slot? Факт [? Слот]) - отримати нечітке значення, що зберігається в зазначеному слоті факту.

(Plot-fuzzy-value? Пристрій? Символ? Від? До? Нечітка-множина) - графік нечіткої множини на заданому пристрої (t) з використанням зазначеного символу в заданих межах (nil).