



1.4. Вземане на решение с размита логика. Система от правила.

1. Същност на вземането на решение с размита логика

Правилата формират основата за размитата логика за получаване на размит изход. Системата, базирана на правила, е различна от експертната система по начина, по който правилата, съставляващи системата, базирана на правила, произхождат от източници, различни от тези на човешките експерти и следователно са различни от експертните системи. Формулярът, базиран на правила, използва лингвистични променливи като свои предшественици и следствия. Антецедентите изразяват извод или неравенство, което трябва да бъде изпълнено. Последиците са тези, които можем да изведем, и са резултат, ако предходното неравенство е изпълнено. Размитата система, базирана на правила, използва система, базирана на правила АКО-ТОГАВА, дадена от АКО предходно, ТОГАВА последващо. Ще разгледаме формирането на размитите правила.

Формиране на правила

Формирането на правила е най-общо канонично формиране на правила. За всяка лингвистична променлива има три общи форми, в които могат да се формират каноничните правила. Те са:

- (1) Изявления за възлагане
- (2) Условни изрази
- (3) Безусловни твърдения
- (1) Изявления за възлагане

Тези изрази са тези, в които променливата е присвоена със стойността. Променливата и присвоената стойност се комбинират от оператора за присвояване „=“. Изявленията за присвояване са необходими при формирането



на размити правила. Стойността, която трябва да бъде присвоена, може да бъде лингвистичен термин.

Характерни за размитата логика са правилата, структурирани да формулират условните конструкции, от които е съставена размитата логика.

Простото размито правило **ако...-то...** (if-then) от вида:

Ако x е A , то y е B , където A и B са лингвистични стойности, дефинирани от размити множества на диапазоните съответно X и Y . Частта от правилото „Ако...“ или „ x е A “ се нарича априорна или предварително условие (предпоставка), докато частта „то ...“ от правилото или „ y е B “ се нарича следствие или заключение. Въвеждането на правилата се извършва на три основни етапа:

- Размиване на входните величини: Поставяне на всички размити конструкции на входа в нива на принадлежност от 0 до 1. Ако на входа има само една величина, то това е теглото на правилото.

- Прилагане на размит оператор за множеството от предварителни условия: Ако са налице повече от едно предварителни условия, се прилагат размити оператори и се разрешава обобщената стойност в число от 0 до 1. Това е теглото на конкретното правило.

Прилагане на метод за вземане на решение: Използва се теглото на всяко правило, за да се формира цялостният набор величини на изхода на системата. Това размито множество е представено с функция на принадлежност, избрана да покаже качествата на резултантната величина на изхода. На практика само едно правило не е ефективно за системата. Необходими са две и повече правила, които да се комбинират, като изхода от всяко правило е размито множество. Изходните размити множества за всяко правило се обобщават в едно единствено изходно размито множество. Резултантното множество следва да се преобразува от размита величина в еднозначно избрано конкретно число.

Примерите за този тип изявления са:

www.eufunds.bg

Проект BG05M2OP001-2.016-0003 „Модернизация на Национален военен университет "В. Левски" - гр. Велико Търново и Софийски университет "Св. Климент Охридски" - гр. София, в професионално направление 5.3 Компютърна и комуникационна техника“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейските структурни и инвестиционни фондове.



$y = \text{ниско},$

Цвят на небето = син,

Климат = горещ $a = 5$ $p = q + r$ Температура = висока

Установено е, че операторът за присвояване ограничава стойността на променлива до конкретно равенство.

(2) Условни изрази

В тези изявления се споменават някои специфични условия, ако условията са изпълнени, тогава се въвеждат следните изявления, наречени ограничения.

Ако $x = y$, тогава и двете са равни,

Ако маркировка > 50 , тогава преминете,

Ако скоростта $e > 1,500$, тогава спрете.

Тези изявления могат да бъдат казани като размити условни изявления, като условието АКО С' ТОГАВА ограничение F'

(3) Безусловни твърдения

Няма конкретно условие, което трябва да бъде изпълнено в тази форма на изявления. Някои от безусловните твърдения са:

Отидете на F/o Натиснете стойността Stop

Контролът може да бъде прехвърлен без подходящи условия. Безусловните ограничения в размитата форма могат да бъдат:

R1 : Изходът е B1

И

R2 : Изходът е B2

И т.н., където B1 и B2 са размити следствия.



Както условните, така и безусловните изрази поставят ограничения върху последствието от базирания на правила процес поради определени условия.

Размитите множества и отношения моделират ограниченията. Езиковите връзки като „и“, „или“, „друго“ свързва условните, безусловните и ограничителните изявления. Следствието от правила или изход се обозначава с ограниченията R^1, R^2, \dots, R^n .

Базираната на правила система с набор от условни правила (канонична форма на правила) е показана в таблица 1.

Табл.1. Канонична форма - Размита система, базирана на правила

Правило 1	АКО условие C^1	ТОГАВА	ограничение R^1
Правило 2	АКО условие C^2	ТОГАВА	ограничение R^2
...			
Правило n	АКО условие C^n	ТОГАВА	ограничение R^n

2. Декомпозиция на правилата

Може да има съставна структура на правило, включена в много приложения. Пример за съставна структура на правило е

АКО $X = y$ ТОГАВА и двете са равни ИНАЧЕ

АКО $X = y$

ТОГАВА

АКО $X > y$ ТОГАВА X е най-високото

ДРУГО

IF $y > X$ THEN Y е най-високото

ДРУГО



АКО X и y са равни на нула, ТОГАВА не се получава изход.

Чрез свойствата и операциите, дефинирани върху размитите множества, всяка съставна структура на правило може да бъде разложена и намалена до брой прости канонични правила. Има различни методи за декомпозиране на правила. Те са:

(1) Множество антецеденти на връзката

Това използва размита операция на пресичане. Тъй като включва езикова връзка „И“.

IF x is P^1 AND P^2 ... AND P^n THEN y is Q^r ,

където

$P^r = P^1$ AND P^2 ... OR P^n

Членството за това може да бъде

$$\mu_{P^r}(x) = \min \left[\mu_{P^1}(x), \mu_{P^2}(x), \dots, \mu_{P^n}(x) \right]$$

Следователно правилото може да бъде АКО x е P^r , ТОГАВА Q^r

(2) Множество дизюнктивни антецеденти

Тук се използват размити операции за обединяване. Включват се лингвистични „ИЛИ“ връзки АКО x е P^1 ИЛИ P^2 ... ИЛИ P^n ТОГАВА y е Q^r , където

$P^r = P^1$ ИЛИ P^2 ... ИЛИ $P^n = P^1 \cup P^2 \dots \cup P^n$.

Членството за това може да бъде

$$\mu_{P^r}(x) = \max \left[\mu_{P^1}(x), \mu_{P^2}(x), \dots, \mu_{P^n}(x) \right]$$

Следователно правилото може да бъде

www.eufunds.bg



АКО x е P^r , ТОГАВА y е Q^r .

(3) *Условни изрази с ELSE*

(a) IF P^1 THEN (Q^1 ELSE Q^2) .

Разглеждайки това като едно съставно твърдение, разделяйки го на две правила за канонична форма, получаваме

АКО P^1 , ТОГАВА Q^1 ИЛИ АКО НЕ P^1 , ТОГАВА Q^2 .

(b) АКО P^1 ТОГАВА (Q^1 ИНАЧЕ P^2 ТОГАВА (Q^2))

Разлагането за това може да бъде под формата

АКО P^1 ТОГАВА Q^1 ИЛИ

АКО НЕ P^1 И P^2 ТОГАВА Q^2 .

(4) *Вложени правила АКО-ТОГАВА*

АКО P^1 ТОГАВА (АКО P^2 ТОГАВА (Q^2)).

Това може да се разложи на IF P^1 И P^2 THEN Q^1 .

Така съставните правила се разлагат на единични канонични правила. Тогава тези правила могат да бъдат сведени до поредица от отношения.

3. Агрегиране на размити правила

Размитата система, базирана на правила, може да включва повече от едно правило. Процесът на получаване на общото заключение от индивидуално споменатите последствия, допринесени от всяко правило в размитото правило, това е известно като агрегиране на правило. Има два метода за определяне на агрегирането на правила:

----- www.eufunds.bg -----



(1) Съединителна система от правила

Правилата, които са свързани чрез свързващи елементи „И“, удовлетворяват свързващата система от правила. В този случай агрегираният изход може да бъде намерен чрез размитото пресичане на всички индивидуални следствия от правило

$$y = y^1 \text{ AND } y^2 \text{ и } \dots \text{ AND } y^r$$

$$(\text{или}) y = y^1 \wedge y^2 \wedge \dots \wedge y^r$$

Тогава членското взаимодействие се определя като

$$\mu_y(y) = \min(\mu_{y^1}(y), \mu_{y^2}(y), \dots, \mu_{y^r}(y)), y \in y$$

Дизюнктивна система от правила

Правилата, които са свързани чрез свързващи елементи „ИЛИ“, удовлетворяват дизюнктивната система от правила. В този случай агрегираният изход може да бъде намерен чрез размито обединение на всички индивидуални следствия от правило:

$$y = y^1 \text{ OR } y^2 \text{ OR } \dots \text{ OR } y^r (\text{или})$$

$$y = y^1 \cup y^2 \cup \dots \cup y^r$$

Тогава функцията на принадлежност се дефинира като

$$\mu_y(y) = \max(\mu_{y^1}(y), \mu_{y^2}(y), \dots, \mu_{y^r}(y)), y \in y$$

Свойства на набора от правила

Свойствата за наборите от правила са

- пълнота,
- последователност,



- Приемственост и

- Взаимодействие.

(а) Пълнота

Набор от правила IF-THEN е пълен, ако всяка комбинация от входни стойности води до подходяща изходна стойност.

(б) Съгласуваност

Набор от правила IF-THEN е непоследователен, ако има две правила с еднакви правила-предшественик, но различни правила-последствия.

(с) Приемственост

Набор от правила IF-THEN е непрекъснат, ако няма съседни правила с изходни размити набори, които имат празно пресичане.

(d) Взаимодействие

В свойството за взаимодействие, да предположим, че това е правило, „АКО x е A , ТОГАВА y е B “, това значение е представено от размита връзка R^2 , тогава съставът на A и R не доставя B

$A, R \neq B$.

Това са свойствата на размития набор от правила

4. Система за размит извод

Системите за размит извод (FISs) са известни също като размити системи, базирани на правила, размит модел, размита експертна система и размита асоциативна памет. Това е основна единица на система с размита логика. Вземането на решения е важна част от цялата система. FIS формулира подходящи правила и въз основа на правилата се взема решението. Това се основава главно на концепциите на теорията на размитите множества,

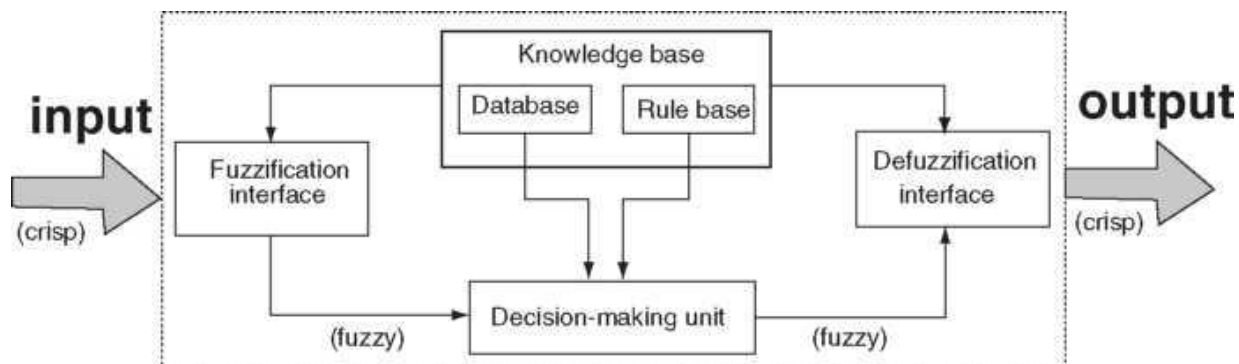


размитите правила АКО-ТОГАВА и размитите разсъждения. FIS използва изрази „АКО.. ТОГАВА...“, а конекторите, присъстващи в оператора на правилото, са „ИЛИ“ или „И“, за да направят необходимите правила за вземане на решения. Основният FIS може да приема или размити входове, или ясни входове, но изходните данни, които произвежда, почти винаги са размити набори. Когато FIS се използва като контролер, е необходимо да има отчетлив изход. Следователно в този случай методът на дефузификация е приет за най-добро извличане на ясна стойност, която най-добре представлява размит набор.

Конструкция и работа на система за изводи.

Системата за размити изводи се състои от интерфейс за размиване, база от правила, база данни, единица за вземане на решения и накрая интерфейс за размиване. FIS с пет функционални блока, описан на фиг.1. Функцията на всеки блок е следната:

- база от правила, съдържаща редица размити АКО-ТОГАВА правила;
- база данни, която дефинира функциите на членство на размитите множества, използвани в размитите правила;
- единица за вземане на решения, която извършва операциите по извеждане на правилата;
- интерфейс за размиване, който трансформира отчетливите входове в степени на съответствие с езиковите стойности; и
- интерфейс за дефузификация, който трансформира размитите резултати от извода в ясен изход.



Фиг. 1. Система за размит извод.

Работата на FIS се описва, както следва. Ясният вход се преобразува в размит чрез използване на метода на размиване. След размиването се формира базата от правила. Базата от правила и базата данни се наричат заедно база от знания. Дефузификацията се използва за преобразуване на размитата стойност в стойността от реалния свят, за която е изходът.

Стъпките на размито разсъждение (операции за извод по размити АКО-ТОГАВА правила), изпълнявани от FIS, са:

1. Сравняване на входните променливи с функциите на членство в предходната част, за да се получат стойностите на членството на всеки езиков етикет. (тази стъпка често се нарича размиване.)

2. Комбиниране (чрез специфичен оператор на t-норма, обикновено умножение или min) на стойностите на членство в предпоставката, за да се получи силата на изстрелване (тежест) на всяко правило.

3. Генериране на квалифицираните последствия (размити или ясни) или всяко правило в зависимост от силата на изстрелване.

4. Обединение на квалифицираните последствия, за да се произведе ясен резултат. (Тази стъпка се нарича дефузификация.)



6.6.2 Методи за размит извод

Най-важните два вида метод на размит извод са методът на размит извод на Mamdani, който е най-често срещаният метод за извод. Този метод е въведен от Mamdani и Assilian (1975). Друг добре познат метод за извод е така нареченият метод на Sugeno или Takagi-Sugeno-Kang за процес на размит извод. Този метод е въведен от Sugeno (1985). Този метод се нарича още TS метод. Основната разлика между двата метода е в следствието на размитите правила. Размитите системи Mamdani използват размити множества като следствие от правило, докато размитите системи TS използват линейни функции на входни променливи като следствие от правило. Всички съществуващи резултати за размити системи като универсални апроксиматори се занимават само с размити системи на Мамдани и няма наличен резултат за TS размити системи с последователно линейно правило.

5. Метод на размитите изводи на Мамдани

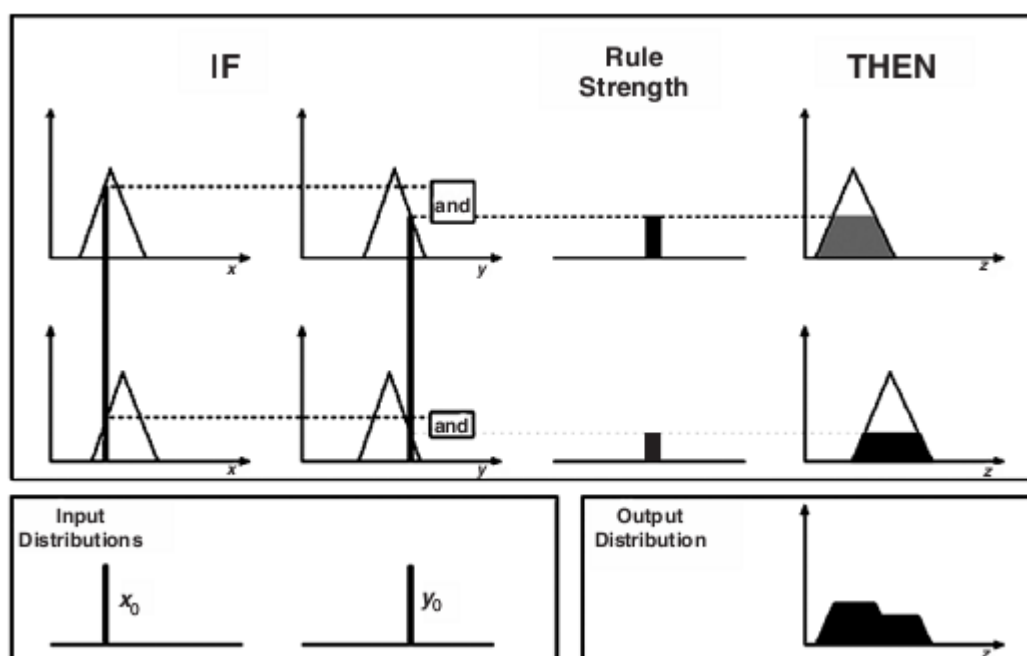
Методът на размит извод на Мамдани е най-често срещаната размита методология. Методът на Мамдани е сред първите системи за управление, изградени с помощта на теорията на размитите множества. Предложено е от Mamdani (1975) като опит за управление на комбинация от парна машина и котел чрез синтезиране на набор от езикови правила за управление, получени от опитни човешки оператори. Усилието на Mamdani се основава на статията на Zadeh (1973) за размити алгоритми за сложни системи и процеси на вземане на решения.

Изводът от тип Mamdani, както е дефиниран за Fuzzy Logic Toolbox, очаква изходните функции за принадлежност да бъдат размити множества. След процеса на агрегиране има размит набор за всяка изходна променлива, която се нуждае от дефузификация. Възможно е, и в много случаи много по-ефективно, да се използва един пик като изходна членска функция, а не разпределено размито множество. Това понякога е известно като функция за



принадлежност към единичен изход и може да се разглежда като предварително дефузифицирано размито множество. Той повишава ефективността на процеса на дефузификация, тъй като значително опростява изчисленията, изисквани от по-общия метод на Мамдани, който намира центроида на двумерна функция. Вместо интегриране в двумерната функция за намиране на центроида, среднопретеглената стойност на няколко точки от данни. Системите тип Sugeno поддържат този тип модел. Като цяло, системите от тип Sugeno могат да се използват за моделиране на всяка система за извод, в която изходните функции на принадлежност са линейни или постоянни.

Пример за система за извод на Mamdani е показан на фиг. 2. За да се изчисли изходът на този FIS, като се вземат предвид входовете, трябва да се следват шест стъпки:



Фиг. 2. Два входа, две правила Mamdani FIS с ясни входове

1. Определяне на набор от размити правила
2. Размиване на входовете с помощта на функциите за членство на входа

www.eufunds.bg



3. Комбиниране на размитите входове в съответствие с размитите правила, за да се установи сила на правилото

4. Намиране на следствието от правилото чрез комбиниране на силата на правилото и функцията на принадлежност на изхода

5. Комбиниране на последствията за получаване на разпределение на продукцията

6. Дефузиране на изходното разпределение (тази стъпка е само ако е необходим ясен изход (клас)).

Следва по-подробно описание.

Създаване на размити правила

Размитите правила са колекция от езикови изявления, които описват как FIS трябва да вземе решение относно класифицирането на вход или контрол на изход. Размитите правила винаги се записват в следната форма:

Ако (вход 1 е функция на членство 1) и/или (вход 2 е функция на членство 2) и/или. .. след това (изход n е изход функция за членство n).

Например:

Ако температурата е висока и влажността е висока, тогава стаята е гореща.

Трябва да има функции за членство, които определят висока температура (вход 1), висока влажност (вход 2) и гореща стая (изход 1). Този процес на вземане на вход като температура и обработката му чрез функция за членство, за да се определи „висока“ температура, се нарича размиване и се обсъжда в раздел „Размиване“. Също така трябва да се дефинират „И“, „ИЛИ“ в размитото правило. Това се нарича размита комбинация и следва.

Размиване

Целта на размиването е да картографира входовете от набор от сензори (или характеристики на тези сензори като амплитуда или спектър) към стойности от 0 до 1, като използва набор от функции за принадлежност на

www.eufunds.bg



входа. В примера, показан на фиг. 6.2, има два входа, x_0 и y_0 , показани в долния ляв ъгъл. Тези входове се преобразуват в размити числа чрез изчертаване на линия от входовете до входните функции за принадлежност по-горе и маркиране на пресечната точка.

Тези входни функции на принадлежност, както беше обсъдено по-рано, могат да представляват размити понятия като „големи“ или „малки“, „стари“ или „млади“, „горещи“ или „студени“ и т.н. Например x_0 може да бъде ЕМГ енергията идваща от предната част на предмишницата и y_0 може да бъде ЕМГ енергията, идваща от задната част на предмишницата. Тогава функциите на членство могат да представляват големи количества напрежение, идващи от мускул или малки количества напрежение. Когато избирате функциите за членство на входа, дефиницията на големи и малки може да е различна за всеки вход.

Последствието от размито правило се изчислява чрез две стъпки:

1. Изчисляване на силата на правилото чрез комбиниране на размитите входове с помощта на процеса на размита комбинация. Това е показано на фиг.2. В този пример размитото „И“ се използва за комбиниране на функциите за членство, за да се изчисли силата на правилото.

2. Изрязване на изходната функция за членство при силата на правилото.

Комбиниране на изходите в разпределение на изхода

Резултатите от всички размити правила сега трябва да се комбинират, за да се получи едно размито разпределение на изхода. Това обикновено, но не винаги, се прави с помощта на размитото „ИЛИ“. Фигура 2 показва пример за това. Функциите за принадлежност на изхода от дясната страна на фигурата се комбинират с помощта на размитото ИЛИ, за да се получи разпределението на изхода, показано в долния десен ъгъл на Фиг. 2.

Дефузификация на изходното разпределение

www.eufunds.bg



В много случаи е желателно да се излезе с един-единствен отчетлив резултат от FIS. Например, ако някой се опитва да класифицира буква, нарисувана на ръка върху таблет за рисуване, в крайна сметка FIS ще трябва да излезе с ясно число, за да каже на компютъра коя буква е нарисувана. Това ясно число се получава в процес, известен като дефузификация. Има две общи техники за дефузизиране:

1. **Център на масата.** Тази техника взема разпределението на изхода и намира неговия център на масата, за да излезе с едно ясно число. Това се изчислява по следния начин:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^q Z_j u_c(Z_j)}{\sum_{j=1}^q u_c(Z_j)},$$

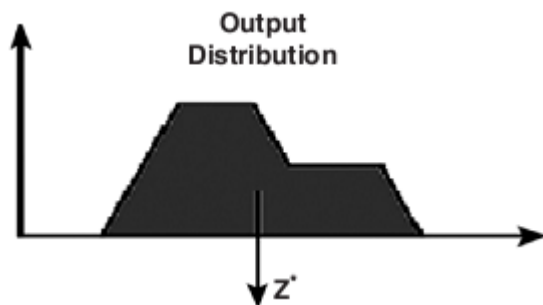
където z е центърът на масата и u_c е членството в клас с при стойност Z_j . Примерен резултат от това изчисление е показан на Фиг. 6.3.

2. **Средна стойност на максимума.** Тази техника взема разпределението на изхода и намира неговата средна стойност на максимумите, за да се получи едно ясно число. Това се изчислява по следния начин:

$$z = \sum_{j=1}^l \frac{z_j}{l},$$

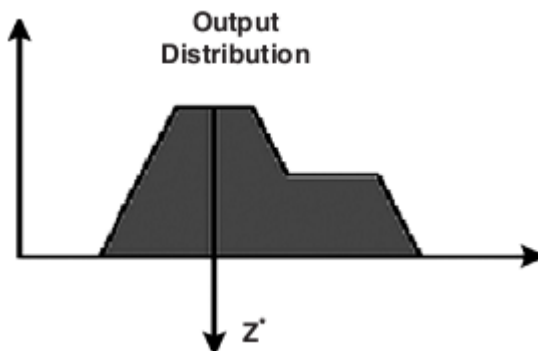
където z е средната стойност на максимума, Z_j е точката, в която функцията на принадлежност е максимална, а l е броят пъти, когато разпределението на продукцията достига максималното ниво.

Примерен резултат от това изчисление е показан на Фиг. 3.





Фиг. 3. Дефузификация с помощта на центъра на масата



Фиг. 4. Дефузификация с помощта на средната стойност на максимума

Неясни входове

В обобщение, Фиг. 5 показва FIS на Mamdani с два входа и две правила. Той размива двата входа, като намира пресечната точка на отчетливата входна стойност с функцията за принадлежност на входа. Той използва минималния оператор за изчисляване на размито И за комбиниране на двата размити входа, за да се получи сила на правилото. Той изрязва изходната функция за членство при силата на правилото. И накрая, той използва оператора за максимум, за да изчисли размитото ИЛИ за комбиниране на резултатите от двете правила.

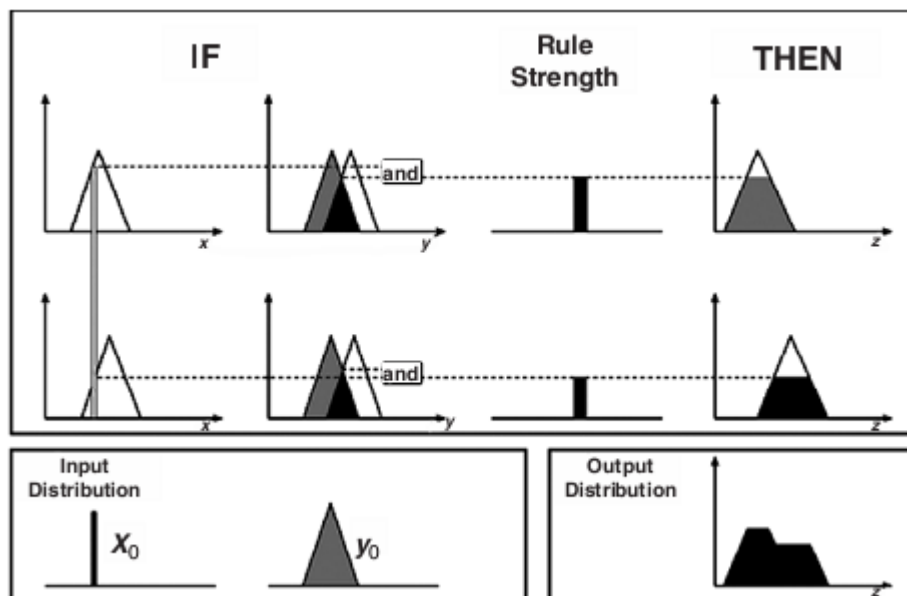
6. Размит метод Takagi—Sugeno (TS метод)

Основният размит модел на Sugeno е внедрен в невронно-размитата система. Размитият модел Sugeno е предложен от Takagi, Sugeno и Kang в опит да се формализира системен подход за генериране на размити правила от входно-изходен набор от данни. Размитият модел на Sugeno е известен също като модел на Sugeno-Takagi. Типично размито правило в размит модел Sugeno има формулата.

АКО $x \in A$ и $y \in B$, ТОГАВА $z = f(x, y)$,



където AB са размити множества в antecedента; $Z = f(x, y)$ е ясна функция в следствието. Обикновено $f(x, y)$ е полином във входните променливи x и y ,



Фиг. 6. Два входа, две правила Mamdani FIS с размит вход

но това могат да бъдат всякакви други функции, които могат да опишат по подходящ начин изхода на изхода на системата в рамките на размитата област, определена от предшественика на правилото. Когато $f(x, y)$ е полином от първи ред, имаме размития модел на Sugeno от първи ред. Когато f е константа, тогава имаме размития модел на Сугено от нулев порядък, който може да се разглежда или като специален случай на FIS на Мамдани, където следствието на всяко правило е специфицирано от размит сингълтон, или специален случай на размития модел на Цукамото, където следствието на всяко правило се определя от функция на членство на стъпкова функция, центрирана в константата. Освен това, размитият модел на Sugeno от нулев порядък е функционално еквивалентен на мрежа с радиална базисна функция при определени незначителни ограничения.



Първите две части от процеса на размит извод, размиването на входовете и прилагането на размития оператор, са абсолютно еднакви. Основната разлика между Mamdani и Sugeno е, че изходните функции на принадлежност на Sugeno са линейни или постоянни. Типично правило в размит модел Sugeno има формата

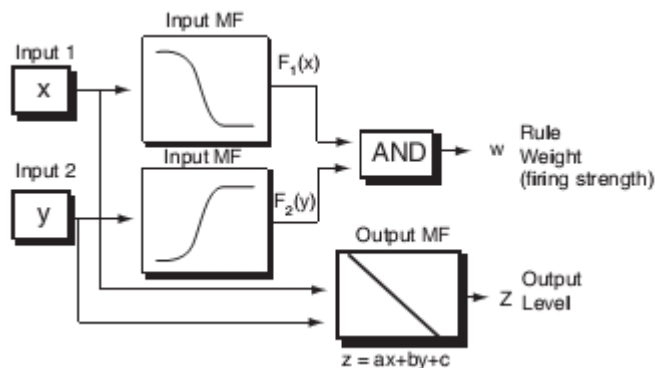
АКО вход 1 = x И вход 2 = y , ТОГАВА изходът е $z = ax + by + c$.

За Sugeno модел от нулев порядък изходното ниво z е константа ($a = b = 0$). Изходното ниво Z_i на всяко правило се претегля от тежестта w_i на правилото. Например, за правило И с вход 1 = x и вход 2 = y , тежестта е

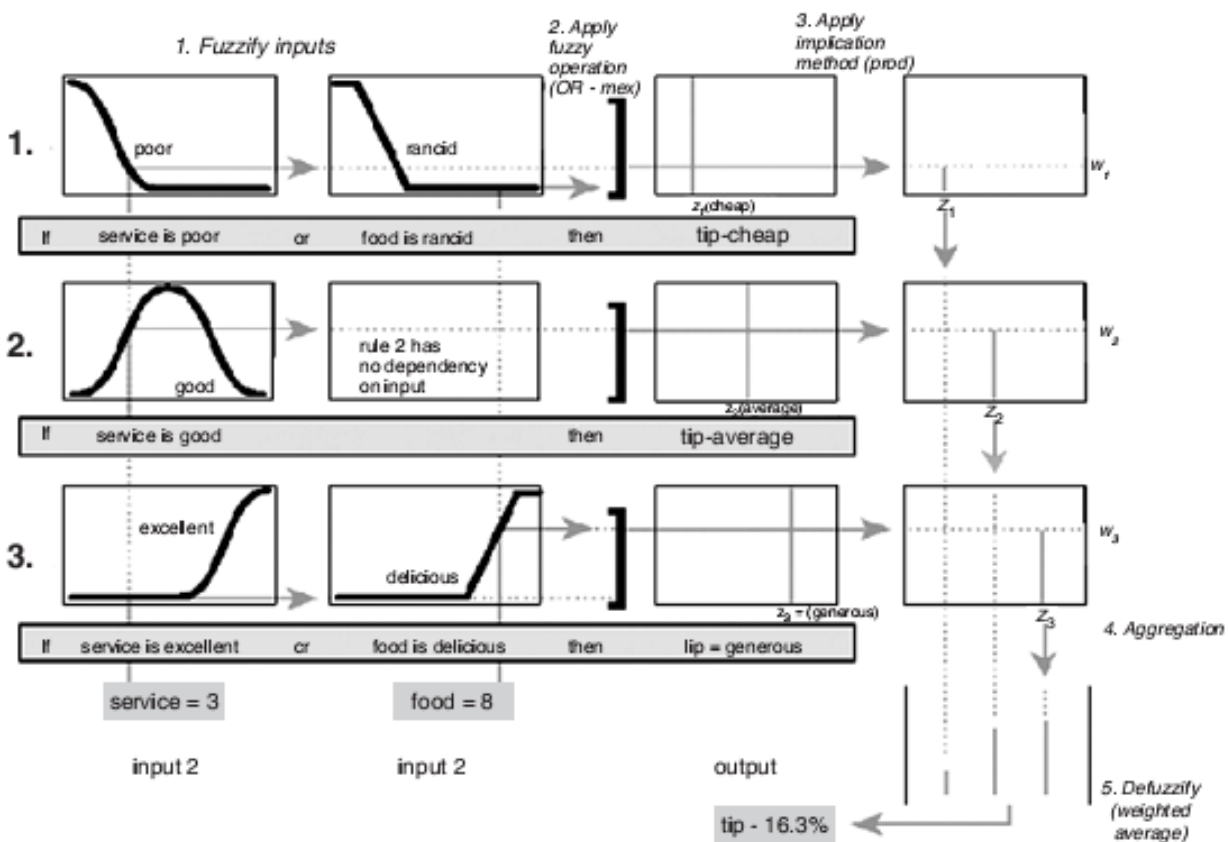
$$w_i = \text{AndMethod}(F_1(x), F_2(y))$$

където $F_{1,2}(\dots)$ са функциите на принадлежност за входове 1 и 2. Крайният изход на системата е среднопретеглената стойност на всички изходи на правилото, изчислена като

$$\text{Final output} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$



Фиг. 7. Правило Сугено

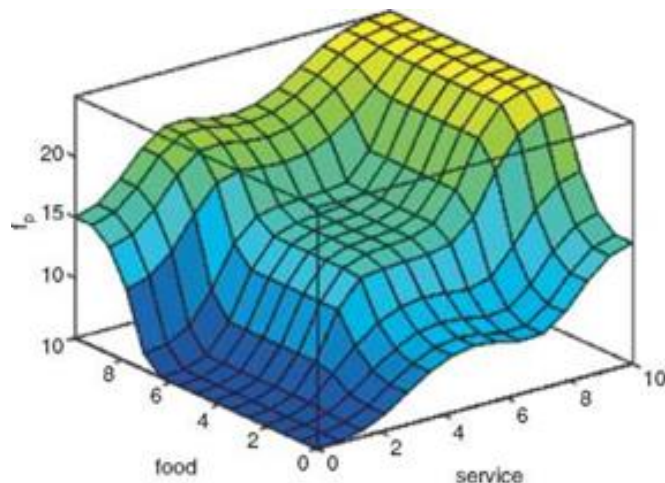


Фиг. 8. Модел с размито решение.

Правилото на Sugeno работи, както е показано на фиг. 6.6.

Фигура 8 показва модела с размита информация, адаптиран за използване като система Sugeno. За щастие често се случва единичните изходните функции да са напълно достатъчни за нуждите на даден проблем. Като пример, системата `tippersg.fis` е представяне от типа Sugeno на вече познатия модел на решение (фиг. 8).

- `a = readfis('tippersg');`
`gensurf(a)`



Фиг. 9. Изглед на повърхността.

Горната команда дава изглед на повърхността на размит модел на накланяне, както е показано на Фиг. 9. Най-лесният начин да визуализирате системите Sugeno от първи ред е да мислите за всяко правило като за определяне на местоположението на „движещ се единичен изход“. Така единичните изходни шипове могат да се движат по линеен начин в изходното пространство, в зависимост от това какъв е входът. Това също прави системната нотация много компактна и ефективна. Възможни са размити Sugeno модели от по-висок порядък, но те въвеждат значителна сложност с малко очевидни предимства. Размитите модели на Sugeno, чиито изходни функции за принадлежност са по-големи от първи ред, не се поддържат от Fuzzy Logic Toolbox.

Поради линейната зависимост на всяко правило от входните променливи на системата, методът Sugeno е идеален за действие като интерполиращ супервайзор на множество линейни контролери, които трябва да бъдат приложени съответно към различни работни условия на динамична нелинейна система. Например, характеристиките на самолета могат да се променят драматично с надморската височина и числото на Мах. Линейните контролери, макар и лесни за изчисляване и подходящи за всяко дадено състояние на полет,

www.eufunds.bg



трябва да се актуализират редовно и плавно, за да бъдат в крак с променящото се състояние на летателното средство. Sugeno FIS е изключително подходящ за задачата за плавно интерполиране на линейните печалби, които биха били приложени във входното пространство; това е естествен и ефективен планировчик на печалбите. По подобен начин системата Sugeno е подходяща за моделиране на нелинейни системи чрез интерполиране между множество линейни модели.

Тъй като е по-компактно и изчислително ефективно представяне от системата Mamdani, системата Sugeno се поддава на използването на адаптивни техники за конструиране на размити модели. Тези адаптивни техники могат да се използват за персонализиране на функциите за членство, така че размитата система да моделира най-добре данните.

7. Сравнение между метода Сугено и Мамдани

Основната разлика между Mamdani и Sugeno е, че изходните функции на принадлежност на Sugeno са линейни или постоянни. Също така разликата е в последствията от техните размити правила и по този начин тяхното агрегиране и процедурите за дефузизация се различават по подходящ начин. Броят на входните размити набори и размитите правила, необходими на размитите системи Sugeno, зависят от броя и местоположенията на екстремумите на функцията, която трябва да се апроксимира. В метода Sugeno трябва да се използват голям брой размити правила за приближаване на периодични или силно осцилиращи функции. Минималната конфигурация на TS размитите системи може да бъде намалена и да стане по-малка от тази на размитите системи Mamdani, ако се използват нетрапецовидни или нетриъгълни входни размити набори. Контролерите Sugeno обикновено имат много повече регулируеми параметри в следствие на правилото и броят на параметрите нараства експоненциално с увеличаването на броя на входните променливи. Съществуват много по-малко математически резултати за TS размити контролери, отколкото за Mamdani размити контролери, особено тези за

----- www.eufunds.bg -----



стабилността на TS размита система за управление. Mamdani е лесен за формиране в сравнение с метода Sugeno.

Предимства на метода Сугено и Мамдани

- Той е изчислително ефективен.
- Работи добре с линейни техники (напр. PID контрол).
- Работи добре с оптимизационни и адаптивни техники.
- Има гарантирана непрекъснатост на изходната повърхност.
- Той е много подходящ за математически анализ.

Предимства на метода Мамдани

- Интуитивно е.
- Има широко приемане.
- Той е много подходящ за човешко въвеждане.

Системата за размит извод е най-важният инструмент за моделиране, базиран на теорията на размитите множества. FIS са изградени от експерти в областта и се използват в автоматичен контрол, анализ на решения и различни други експертни системи.