Метод за съкратено обхождане на базата размити правила в размитите контролери

РУМЕН ТЕНЕВ КОРТЕНСКИ – докторант
Кат. "Електронна техника", Технически университет – София
E-mail: korten@ecad4sun.vmei.acad.bg

Abstract: *The problems around fuzzy controllers (FC) worldwide are subject of continuous discussions due to the increasing interest in their resources and advantages. It is known that FC can control objects through previously given set of rules as follows:* ***If*** *⟨situation⟩* ***then*** *⟨action⟩. Here ⟨situation⟩ is the combination of the measured object variables and ⟨action⟩ is the output reaction of FC. Fuzzy rule base (FRB) is a combination of all rules as massif. Its volume depends on the number of the inputs and the number of the MF for each input. If we have two inputs for example described with five membership function (MF) the number of the rules in FRB will be 5x5=25 and with three inputs - 5x5x5=125. Each of these rules must be compared in real time to the current input values. Thus the FRB looping time is included in the critical time between the measuring and the output reaction forming.*

Method for shorter looping of the FRB which decreases the reaction time of FC is considered in this study. The method consists of ignoring before the calculations start of the rules with no influence on the output. Two dimensional FRB with 25 rules is shown for instance. The calculating cycle, looping FRB will be executed four times only instead of 25. In addition to that the speed becomes independent from the number of rules.

Geometric representation of 4-, 5-, 6- and n-dimensional structures in the real 3-dimensional space is also considered in this study. These n-dimensional structures are not objects from unreal world but massif which more then three indexes. The consideration in this study only help us to imagine that kind of multidimensional structures. Often FRB is this kind of massif. But we remain in the real 3-dimensional space, of course.

. Увод.

Поради все по-големия интерес към възможностите и работата на размитите контролери (fuzzy controlers – FC) в световен мащаб проблемите около тях са обект на непрекъснати дискусии. Така крачка по крачка намаляват непроучените "бели петна", свързани с областите на приложение на FC и границите на приложението им.

Известно е, че FC осъществяват управление на обекти чрез предварително зададени набор от правила от вида: Ако ⟨ситуация⟩, то

⟨действие⟩ [1]. Тук ⟨ситуация⟩ е съвкупността от измерените стойности на величините на обекта, подлежащи на контрол, а ⟨действие⟩ представлява изходната реакция на FC, от която се формира управляващото въздействие върху обекта. Обикновено ситуацията включва текущи стойности след размиването на грешката $\varepsilon(k)$ и промяната на грешката $\Delta\varepsilon(k)$ за всяка от следените величини на обекта. В зависимост от техния брой и набор от допустими стойности от размиването ситуациите могат да са многобройни. А за всяка ситуация е необходимо правило, задаващо изходната реакция на FC при нея. Базата размити правила (Fuzzy Rule Base - FRB) представлява съвкупността от всички правила, представени във вид на масив. Размерността на масива е два пъти по-голяма от броя следени величини (за всяка величина $\varepsilon(k)$ и $\Delta\varepsilon(k)$ се явяват отделни входове във FC), а броят на редовете и колоните са в зависимост от броя на функциите на принадлежност (membership function - MF). Така при увеличаването на броя на входовете на FC дори само с един броят на правилата нараства експоненциално. Примерно при два входа, описвани с по пет MF, то броят правила във FRB ще бъде 5.5=25, а при три входа - 5.5.5=125. Всяко от тези правила трябва да се сравни в реално време с текущото състояние на входовете. С други думи, времето за обхождане на FRB влиза в критичното време между измерването и изработването на изходната реакция. Това време определя бързодействието на FC. А при бързи процеси скоростта на реакция е най-значимият параметър на FC. Измерва се в брой цикли измерване-решение-въздействие (Measuring-Inference-Force - MIF) за 1 s, т.е. цикли Fuzzy Inference per Second - FIPS.

Тези изисквания към FC водят до необходимост от търсене на начини и алгоритми за съкратено обхождане на FRB с цел увеличаване на скоростта на FC.

II. Постановка на проблема.

Размиването е процес на съпоставка на измерената входна величина с предварително зададено терм-множество с дефинирани функции на принадлежност (Membership function - MF) [2].

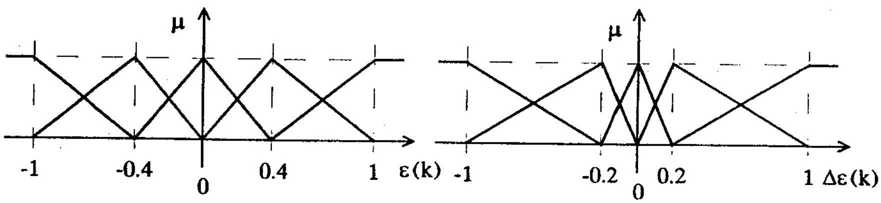
Разглеждаме обект, на който измерваме само един параметър, и следим за отклонението му спрямо предварително зададена стойност чрез грешката $\varepsilon(k)$ и промяната й $\Delta\varepsilon(k)$. Размитият контролер изработва единствено въздействие $\Delta u(k)$. За тези два входа и един изход на FC задаваме размиващи терм-множества с по пет MF за входовете, условно наречени Negative Big, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Big и девет MF за изхода. Накратко:

$$\varepsilon(k) = \{NB; NS; ZR; PS; PB\};$$
$$\Delta\varepsilon(k) = \{NB; NS; ZR; PS; PB\};$$
$$\Delta u(k) = \{NB; NM; NS; NVS; ZR; PVS; PS; PM; PB\}.$$

За простота могат да се изобразят с цели числа със знак:

$$\varepsilon(k) = \{-2; -1; 0; 1; 2\};$$
$$\Delta\varepsilon(k) = \{-2; -1; 0; 1; 2\};$$
$$\Delta u(k) = \{-4; -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3; 4\}.$$

Примерната форма и разположение на MF на двата входа са дадени на фиг. 1.



а

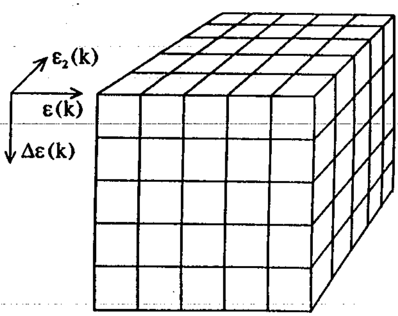
б

фиг.1

Обикновено те се избират триъгълни или трапецовидни с пресичане на ниво 0,5 за улесняване на изчисленията. Стойностите на $\varepsilon(k)$ и $\Delta\varepsilon(k)$ се дават в относителни единици от [-1; 1] за лесна параметрична настройка. При така избрания пример FRB ще има вида, показан на фиг. 2.

Δε \ ε	-2	-1	0	1	2
-2	-4	-3	-2	-1	0
-1	-3	-2	-1	0	1
0	-2	-1	0	1	2
1	-1	0	1	2	3
2	0	1	2	3	4

фиг. 2



фиг. 3

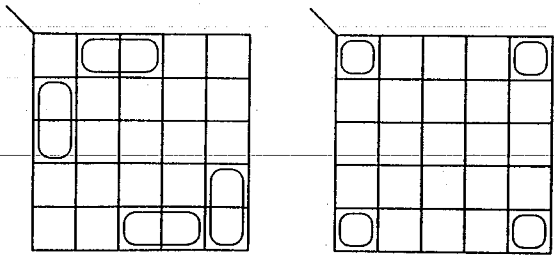
Броят на клетките (ситуациите, правилата) е 5.5=25. Ако в друг FC следим примерно грешката $\varepsilon_2(k)$ на втора величина, то FRB ще има три-димензионна стуктура (фиг. 3). Така броят правила ще нарасне на 125. При увеличаване на броя входове получаваме 4-, 5-, 6- и n-димензионни структури. Ние, хората от 3-измерното пространство, ни е трудно да си представим такива масиви. Една идея за геометрично представяне на 4-, 5-, 6- и n-димензионни структури в реалното 3-измерното пространство е дадена в част IV.

При увеличаване на броя на MF за описание на всеки вход нараства броят на правилата. Изпъква необходимостта от съкратено обхождане на FRB.

III. Същност на метода.

При въвеждане на ограничението MF на входовете да се пресичат на ниво 0,5 за всяка стойност на $\varepsilon(k)$ и $\Delta\varepsilon(k)$ се активират не повече от две MF. Ако е измерено $\varepsilon(k) = -0.15$ и $\Delta\varepsilon(k) = -0.3$, то ненулеви стойности ще имат само функциите на принадлежност ZR (0) и PS (+1) за $\varepsilon(k)$ и NB (-2) и NS (-1) за $\Delta\varepsilon(k)$. Така ще оказват влияние върху изходната реакция само правила NN 3; 4; 8 и 9 (оградените на фиг.2).

Методът се състои в игнориране преди изчисленията на правилата с нулева тежест върху изхода. Така пълният изчислителен цикъл, обхождащ FRB, ще се изпълни само четири пъти, а не 25 пъти при тази FRB. Това рязко намалява времето за обработка и увеличава бързодействието на FC. Най-същественото постижение е, че то не зависи от броя на правилата. В случаите, когато един от входовете има голяма промяна и е влязал в насищане (платото на крайна лява или дясна MF), остават само две активирани правила (фиг. 4а). Времето за реакция намалява още повече. А точно в този случай се изисква бърза реакция.



а б

фиг. 4

Още по-показателен е случаят, при който всички входове са изпаднали в насищане. Активирано е само едно ъглово правило (фиг. 4 б). Тогава няма нужда от никакви изчисления и следва незабавна изходна реакция за довеждане на измерваните параметри на обекта до желаните стойности.

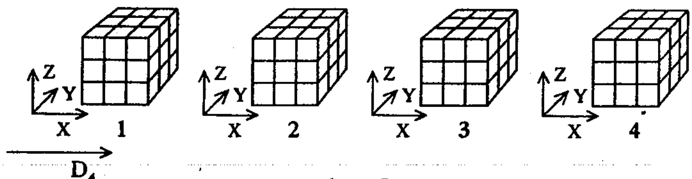
Методът е приложен върху алгоритъма на работа на Блока за размита обработка (Fuzzy Inference Engine – FIE) на FC на базата на MC 68HC11 на Motorola [3]. Използван е метод за деразмиване COG и

f_{osc}= 8 MHz. Постигнато е време за един цикъл MIF 465 μs или бързодействие 2150 FIPS. За сравнение FC на Motorola със същия микроконтролер и същия метод за деразмиване постига време 500 μs на правило. При отклонение на един вход в крайно положение и нужда от бърза намеса бързодействието на FC от [3] нараства до 5263 FIPS.

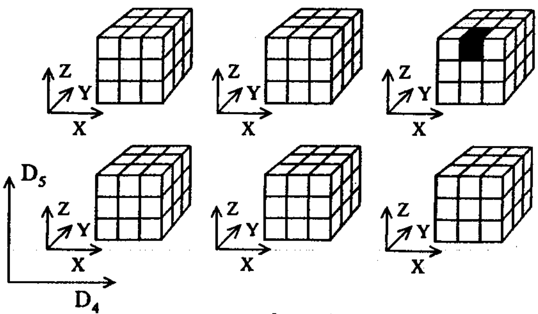
IV. Геометрично представяне на 4-, 5-, 6- и n-димензионни структури в реалното 3-измерното пространство.

При ползване на матричен математически апарат (без значение в коя област на науката) има случаи, в които се работи с матрици с размерност, по-голяма от три. Те не са частици от фантастичния свят на четвъртото измерение, а реални бази данни с повече от три индекса. Проблемът е , че ние, хората, искаме да си представим нагледно всяко нещо. Ние знаем: едномерна матрица се представя като числова ос, двумерна – като равнина, тримерна – като куб. А четиримерна?

Тя би могла да се изобрази като кубове, подредени по една ос и номерирани (фиг. 5). Във всеки един от тях има координати x, y и z, а четвъртата координата е номерът на куба и е означена с D_4. По този начин получаваме матрица с четири индекса. Изобразената на фиг. 5



фиг. 5



фиг. 6

е с 27.4=108 елемента, еднозначно определени от четирите си координати. Броят на елементите по всяко измерение е неограничен.

Същият подход може да се приложи и за 5-димензионни матрици (фиг. 6). При тях кубовете се подреждат в равнина. Така например защрихованият елемент A(x, y, z, d_4, d_5) е с координати A(2, 1, 3, 3, 2). Шест-димeнсионната структура би изглеждала като куб от кубчета. Прилагайки този подход, става безпроблемно да се изобразят и матрици с размерност над 6.

Разбира се, предлаганото изобразяване на матрици с размерност над три остава в рамките на реалното 3-измерно пространство. По достоверност методът може да се сравни с изобразяването на 3-мерни структури в двумерното пространство (върху равнина). Фиг. 5 и фиг. 6 са прекрасен пример за това. Те са двумерни, но нашето въображение ги допълва до тримерни. Така с негова помощ можем да възприемем фиг. 6 като 5-измерна. Този начин на представяне е много удобен при работа с базата размити правила на размитите контролери. Често те са с размерност, по-голяма от три. Така FRB става достъпна за нашето въображение – най-силното оръжие на човека.

V. Заключение.

Бъдещото усложняване на обектите за управление ще увеличи броя на следените параметри. Това ще наложи увеличаване на броя на входовете във FC, което ще доведе до нарастване на броя на правилата във FRB. Необходимостта от методи за съкратено обхождане на FRB ще се чувства все по-силно в случаите, изискващи голямо бързодействие. Предлаганият метод го осигурява, независимо от размера на FRB. Дори при голямо отклонение на някой вход от зададеното и необходимост от бърза реакция алгоритъмът постига допълнително намаляване на времето за въздействие.

Геометричното представяне на структури с размерност, по-голяма от три, подпомага въображението на хората, занимаващи се с подобни структури не само от областта на FC. Това представяне е незадължително предложение към хората, почувствали необходимост да си представят в тримерното пространство масив с 4, 5, 6 и повече индекса.

Използвана литература:

1. Lii, C. C. Fuzzy Logic in Control Systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol 20, No 2, pp. 404–434, 1990.
2. Иванов, Р., Р. Кортенски. Микропроцесорите в системите с размита логика. *Пета нац. научно-техническа конференция "ET '96"*, септември 1996, Созопол.
3. Иванов, Р., Р. Кортенски. Размит контролер с едночипов микрокомпютър MC 68HC11. *Пета нац. научно-техническа конференция "ET '96"*, септември 1996, Созопол.