

فصل ششم

منطق فازی

Fuzzy Logic

و

استنتاج فازی

(Fuzzy Inference)

فهرست مطالب

- مقدمه
- تاریخچه
- منطق فازی و منطق کلاسیک
- کاربرد منطق فازی
- مجموعه های فازی
- سیستم های فازی
- استنتاج فازی

مقدمه

• گزاره های زیر را در نظر بگیرید.

• کیف من در خانه است.

• کتاب من در کیفم است.

• برادر من از من بزرگتر است.

• این جملات یا **کاملا درست** هستند یا **کاملا غلط**.

• این خاصیت باعث می شود که بتوانیم روی آنها استنتاج کنیم :

• **اگر** کیف من در خانه است **و** کتاب من در کیفم است **پس** کتاب من در خانه است .

مقدمه

- در ساختن بسیاری از عوامل هوشمند لازم می شود که استنتاجاتی روی داده هایی انجام شود که از دنیای واقعی بدست آمده اند.
- اما بسیاری از این داده ها ، داده های قطعی نیستند (یعنی کاملا درست یا کاملا غلط نیستند)
- برای مثال به داده های زیر توجه کنید :
 - علی بلند است.
 - هوا گرم است .
 - کتاب من بزرگ است.
 - ارتفاع این خانه **تقریبا** ۲ متر است.

- منطق فازی یک راه حل برای چنین مسایلی پیشنهاد میکند.

- در منطق فازی گزاره ها **کاملا درست** یا **کاملا غلط** نیستند.

- آنها در عوض دارای **درجه درستی** می باشند.

- اگر **درست** را با ۱ و **غلط** را با ۰ نشان دهیم درستی هر جمله می تواند یک عدد بین ۰ و ۱ باشد.

- مثلا درستی گزاره “**علی بلند است**” می تواند ۰.۹ باشد.

- در منطق فازی – همانند منطق معمولی – ما می توانیم “و” (**AND**)، “یا” (**OR**)، **نقیض** (**NOT**)، و “**->**” تعریف کنیم.

- منطق فازی در دهه ۱۹۶۰ توسط دکتر لطفی عسکر زاده در دانشگاه برکلی به وجود آمد تا برای بازنمایی ابهام در زبان طبیعی به کار رود.
- منطق فازی می تواند مفاهیم مبهم و حتی متناقض را نشان دهد.
- منطق فازی به عنوان منطق پایه در سیستم های خبره فازی (Fuzzy Expert Systems) استفاده می شود.

✓ واژگانی مانند خوب یا بد ، جوان یا پیر ، قوی یا ضعیف و... همیشه در زندگی انسانها مطرح بوده اند و مرز مشخصی ندارند. مثلا وقتی می گوییم علی جوان است مرز مشخصی برای جوان بودن نمی توان در نظر گرفت.

✓ واژگانی مانند زن یا مرد ، زنده یا مرده ، سیاه یا سفید و... مرز مشخصی دارند.

✓ منطق فازی، کد کردن تجربیات و علم ناخودآگاه است.

منطق فازی، جهان را آن گونه که هست به تصویر می کشد

مقدمه

مزایای عمده ی استفاده از سیستم فازی

به راحتی قابل فهم است

سادگی زیاد و منطبق بودن آن با دنیای حقیقی

بسیار انعطاف پذیر است یعنی روی هر سیستمی می توان منطق فازی را اضافه کرد بدون آنکه مجبور باشیم آن سیستم را از پایه بسازیم.

توانایی مقابله با داده های نادقیق

یک سیستم فازی را به راحتی روی تجربیات افراد خبره می توان بنا کرد.

با سیستم های کنترلی رایج قابل تلفیق میباشد.

پایه منطق فازی بر اساس پایه زبان طبیعی انسان است.

مقدمه

منطق فازی و منطق ارسطویی

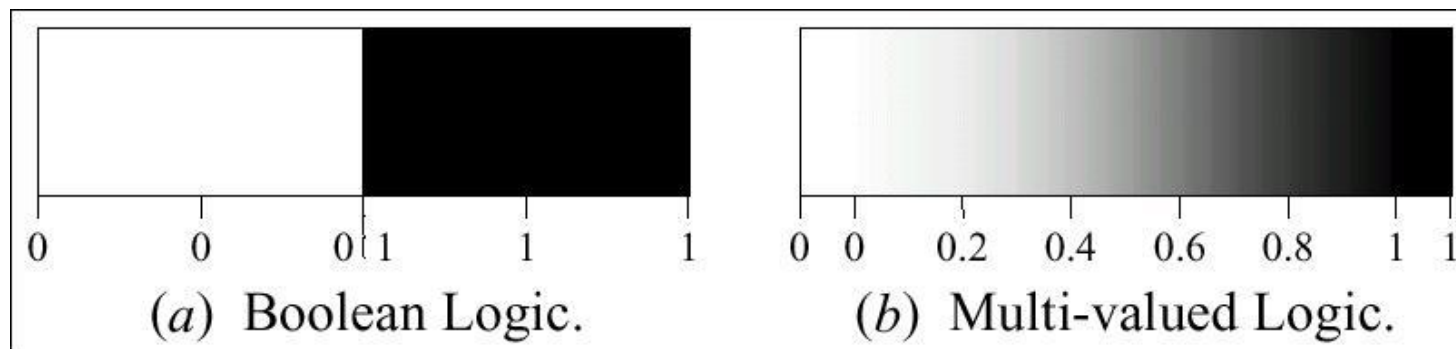
منطق ارسطویی : منطقی است که در آن به پدیده ها فقط مقادیر 0 یا 1 نسبت داده می شود.

منطق فازی : منطقی پیوسته و بینهایت مقدار است که هر پدیده ای در آن با عددی بین 0 و 1 نشان داده میشود (درجه درستی)

مقدمه

منطق کلاسیک

در منطق کلاسیک ، هر چیزی بر اساس یک سیستم دو تایی نمایش داده میشود. ولی در منطق فازی درستی هر چیزی با یک عدد بین ۰ و ۱ نشان داده می شود. مثلا اگر به رنگ سیاه عدد ۰ و به رنگ سفید عدد ۱ را نسبت دهیم ، انگاه رنگ خاکستری عددی نزدیک به ۰ خواهد داشت.



احتمالات و منطق فازی

گاهی اوقات نظریه احتمالات را با منطق فازی اشتباه می گیریم. منطق فازی با حقایق نا دقیق سروکار دارد و به حدود و درجات یک واقعیت اشاره دارد ولی نظریه ی احتمالات بر شالوده ی مجموعه حالات تصادفی یک پدیده استوار است و در باره ی شانس وقوع یک حالت خاص (حالتی که وقتی اتفاق بیفتد دقیق فرض می شود) صحبت می کند.

شبهت: هر دو اصطلاح به درجه ی قطعیت و غیر قطعیت رویدادهایی که اتفاق می افتند اشاره دارد.

تفاوت: درجه ی قطعیتی که بوسیله ی احتمالات آماری به دست می آید به قبل از وقوع اتفاق مربوط می شود ولی درجه عضویت در مجموعه های فازی به بعد از وقوع یک رویداد مربوط می شود.

تاریخچه

- در ژاپن در سال ۱۹۹۰ با پیشرفت در عرصه وسایل الکترونیکی ، کلمه فازی بعنوان کلمه سال شناخته شد.
- تئوری مجموعه های فازی و منطق فازی را اولین بار پروفسور لطفی زاده در رساله ای به نام <مجموعه های فازی اطلاعات و کنترل> در سال ۱۹۶۵ در آمریکا معرفی نمود. هدف اولیه ی او در آن زمان توسعه ی مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان های طبیعی بود. او مفاهیم و اصطلاحاتی همچون مجموعه های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود. اولین کاربرد عملی این فرضیه در سال ۱۹۷۴ بود هنگامی که ممدانی و آسیلیان از منطق فازی برای تنظیم یک موتور بخار استفاده کردند.
- امروزه منطق فازی می رود که یکی از سریع الرشدترین شاخه های هوش مصنوعی شود.

1965: آغاز تئوری فازی-لطفی زاده

1975: تولد کنترل کننده های فازی-ممدانی و آسیلیان

1978: کنترل فازی کوره سیمان – هولمبلاد و اوسترگارد

تئوری و کاربردهای فازی

1980: کنترل سیستم تصفیه آب فوجی - سوگنو

1983: اولین ربات فازی - سوگنو

1987: کنترل قطار زیر زمینی سندای – یاشاتوبو و میاموتو

کاربرد منطق فازی

- طراحی ربات
- طراحی دوربین های دیجیتالی
- در ماشین لباسشویی - یخچال ها-سیستم های کنترل دما- ماشین بخار- موبایل- هوش مصنوعی و ...
- در تمامی سیستم های پیشرفته کنترل مانند کنترل های صنعتی، کنترل ترافیک، کنترل قطار، سیستم های نظامی، لوازم خانگی، دوربین ها است .

مجموعه های فازی

مجموعه ای است که مرزهای کاملاً تعریف شده و واضحی ندارد. در مجموعه فازی هر عضو با درجه عضویت نسبی به مجموعه تعلق دارد.

در منطق فازی، درستی هر جمله و عبارت را با درجه می‌توان نشان داد. ابزار فازی می‌تواند برای سوال بله/ خیر، جوابی نه کاملاً بله و نه کاملاً خیر ارائه دهد.

این همان رفتاری است که انسانها نیز بطور روزمره از خود بروز می دهند.

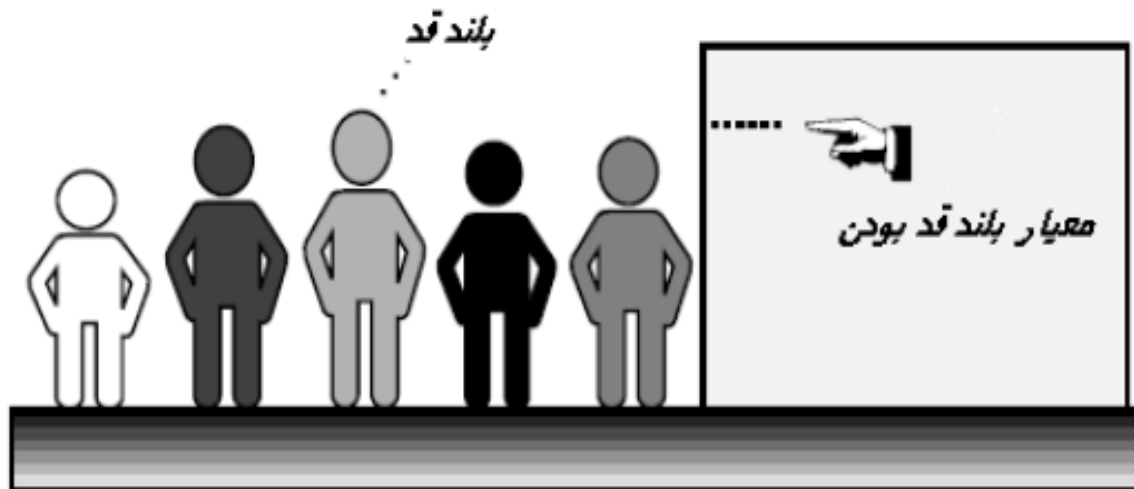
$$\mu_A : X \longrightarrow [0, 1]$$

X : دامنه, حوزه یا مجموعه ی مرجع.
 $x \in X$: که x یک عضو ویژه از دامنه X است.
 $\mu_A(x)$: تابع عضویت.

*هر x توسط تابع عضویت به مجموعه A نگاشت می شوند که درجه عضویت می تواند هر مقداری بین صفر و یک باشد ولی در مجموعه های کلاسیک مقدار این تابع یا صفر است یا یک.

تابع عضویت (Membership function) μ

یک تابع عضویت منحنی است که نشان می دهد یک نقطه در فضای ورودی چگونه به مقدار عضویت در خروجی نگاشت می شود، این مقدار عضویت عددی بین ۰ تا ۱ است.



مجموعه های فازی

فرم کلی تعریف یک مجموعه فازی:

$$A = \{(\mu_A(x_i)/x_i) | x_i \in X, i = 1, \dots, n_x\}$$

اگر $X = \{a, b, c, d\}$ و $A = 0.3/a + 0.9/b + 0.1/c + 0.7/d$

مجموعه فازی گسسته:

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_{n_x})/x_{n_x} = \sum_{i=1}^{n_x} \mu_A(x_i)/x_i$$

مجموعه فازی پیوسته:

$$A = \int_X \mu(x)/x$$

مجموعه های فازی

سوال: آیا جمعه یک روز آخر هفته است؟ پاسخ: ۱ (بله، درست).

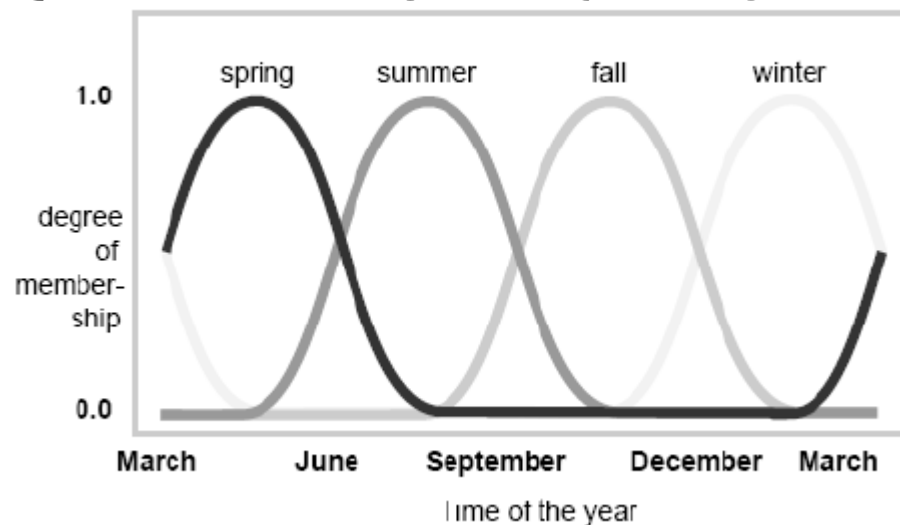
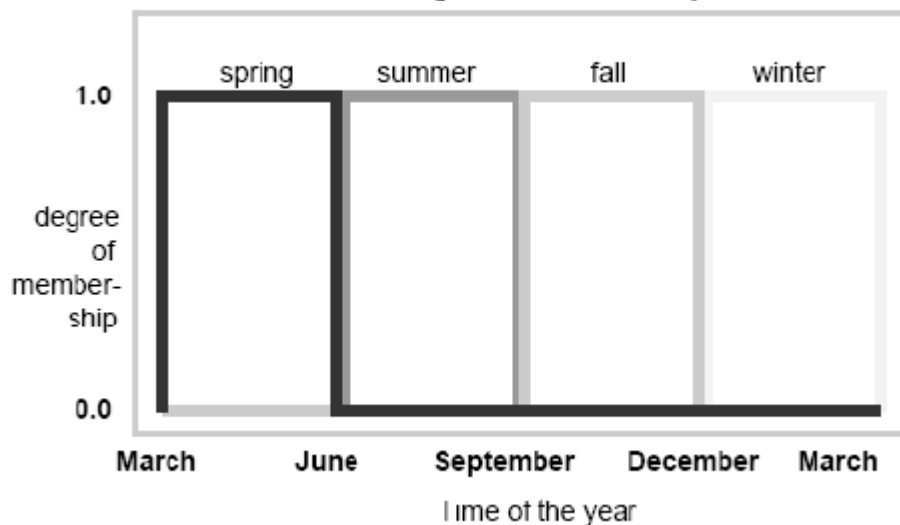
سوال: آیا یکشنبه یک روز آخر هفته است؟ پاسخ: ۰ (خیر، غلط).

سوال: آیا پنجشنبه یک روز آخر هفته است؟ پاسخ: ۰.۸.

در حقیقت در منطق فازی، یک عضو میتواند به مجموع های هم تعلق داشته باشد، هم نداشته باشد. بطور نسبی (با درجه عضویت مشخص) عضو باشد.

یک مثال دیگر برای مجموعه های فازی: فصل های یک سال.

مثال: مجموعه فصل های مختلف در قالب مجموعه های فازی :



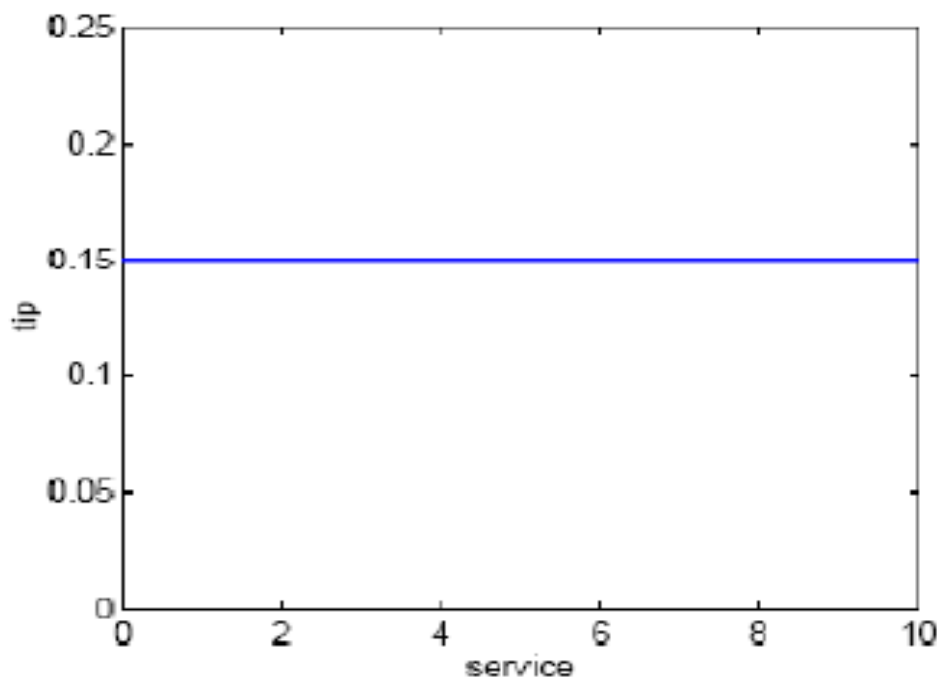
یک مثال برای فهم بهتر منطق فازی با منطق خطی ارائه می کنیم.

صورت مساله شامل روشی برای محاسبه میزان انعامی است که میخواهیم به گارسون یک رستوران بدهیم. عدد ورودی ۰ تا ۱۰ نشان دهنده میزان کیفیت سرویس ارائه شده در رستوران است. ۱۰ یعنی کیفیت عالی.

مثال

روش غیر فازی (خطی):

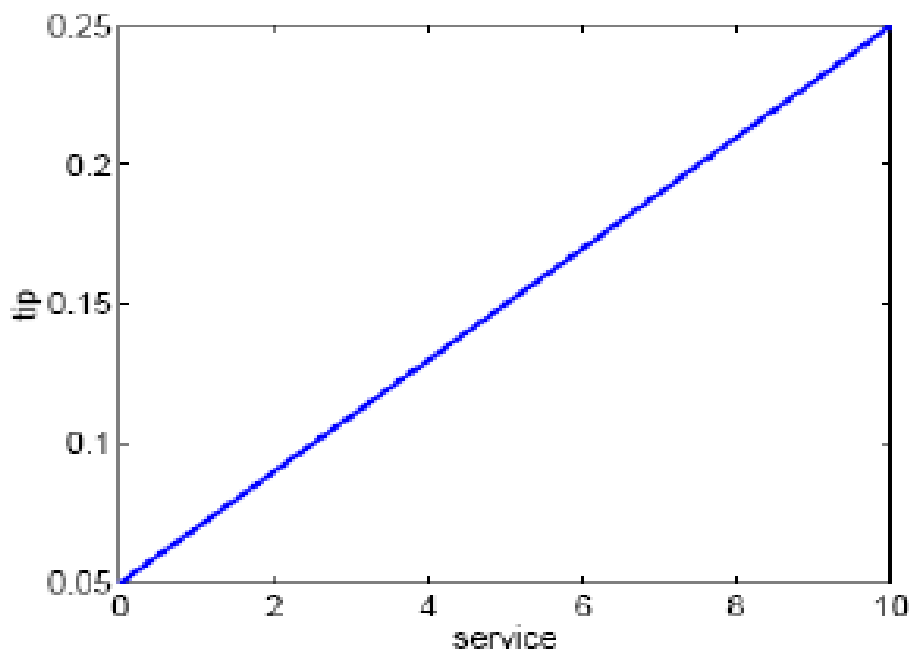
فرض کنیم بخواهیم همیشه انعام را 15% میزان هزینه غذا در نظر بگیریم.



Tip = 0.15

در این روش میزان کیفیت سرویس ارائه شده، در نظر گرفته نمی شود.

روش بهتر شاید آن باشد که از کیفیت بد (۰) تا عالی (۱۰) را با مقدار ۵٪ تا ۲۵٪ بصورت خطی انعام محاسبه کنیم.

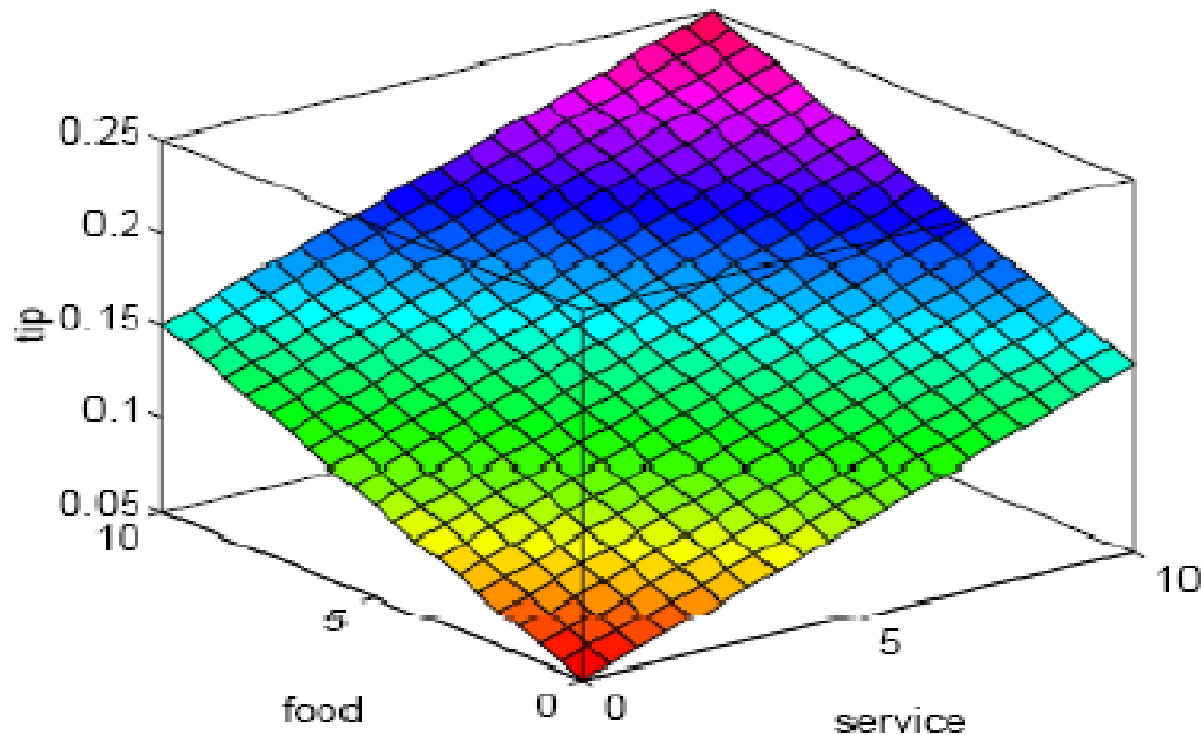


$$\text{tip} = 0.20/10 * \text{service} + 0.05$$

این روش تا حد قابل قبولی جواب گو است.

اگر بخواهیم مساله را توسعه دهیم یعنی پارامتر دیگری مثل کیفیت غذای رستوران را نیز در محاسبه انعام دخالت دهیم، آنگاه دو ورودی از ۰ تا ۱۰ داریم که به ترتیب نشاندهنده کیفیت سرویس و کیفیت غذای ارائه شده می باشند.

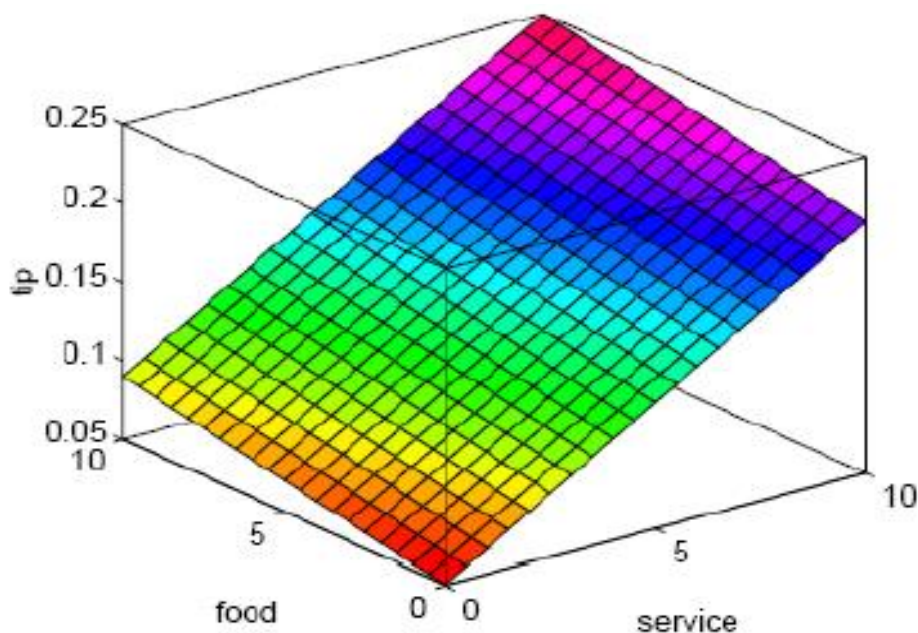
$$\text{tip} = 0.20/20 * (\text{service} + \text{food}) + 0.05$$



اما واقعیت این است که هر دو فاکتور به یک نسبت تاثیر گذار نیستند مثلا سرویس مهتر از کیفیت است (برای انعام به گارسون). پس اگر فرض کنیم که سرویس % ۸۰ در میزان انعام موثر است و کیفیت غذا % ۲۰ آنگاه:

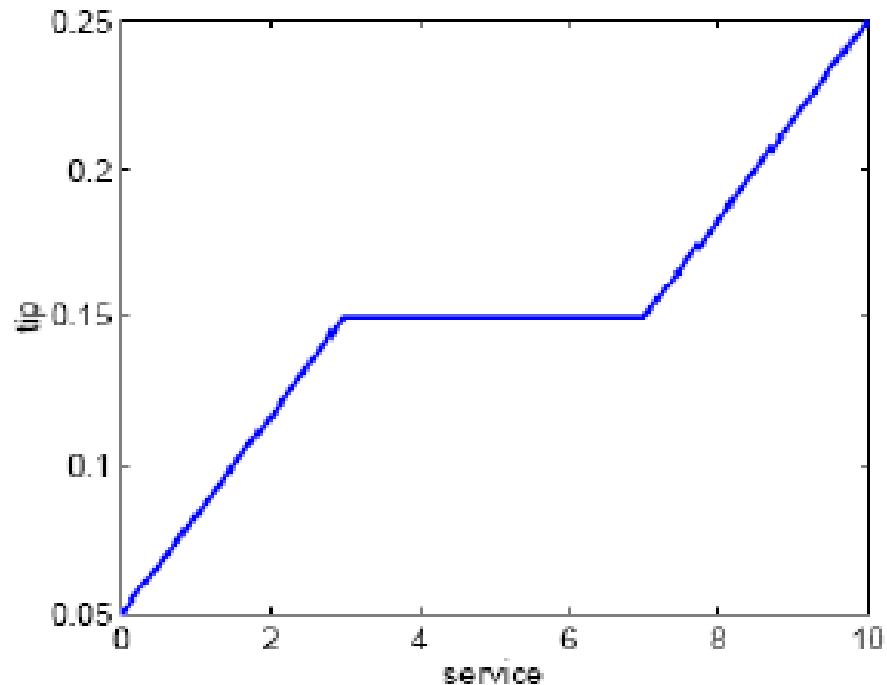
$$\text{servRatio}=0.8$$

$$\text{tip}=\text{servRatio}*(0.20/10*\text{service}+0.05) + (1-\text{servRatio})*(0.20/10*\text{food}+0.05)$$



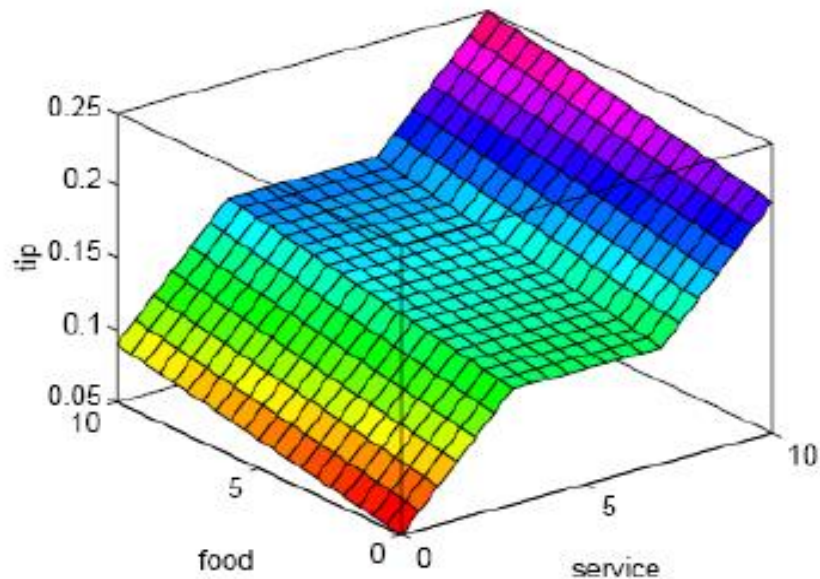
اگر برگردیم به حالت یک متغیری می توان تابع را به صورت زیر تعریف کرد:

```
if service<3,  
tip=(0.10/3)*service+0.05;  
elseif service<7,  
tip=0.15;  
elseif service<=10,  
tip=(0.10/3)*(service 7)+0.15;  
end
```



اگر فاکتور دوم را نیز دخیل کنیم تابع به صورت زیر خواهد شد:

```
servRatio=0.8;
if service<3
tip=((0.10/3)*service+0.05)*servRatio + (1-servRatio)*(0.20/10*food+0.05)
elseif service<7
tip=(0.15)*servRatio + (1-servRatio)*(0.20/10*food+0.05)
else
tip=((0.10/3)*(service 7)+0.15)*servRatio + (1-servRatio)*(0.20/10*food+0.05)
end
```



مشکلات حل مسئله به این روش:

- ۱- برای یک مساله ساده، یک تابع پیچیده بدست آمد.
- ۲- ریسک وجود باگ و خطا در توابع پیچیده بالاتر می رود و خطایابی اینگونه توابع با مشکل همراه است.
- ۳- تابع کد شده، به تنهایی نمی تواند گویای رفتارش باشد، مستندسازی لازم است تا مفهوم و هدف تابع به نفر بعدی منتقل شود.
- ۴- اعمال تغییرات در تابع ارائه شده به سختی صورت می گیرد
(فرض کنید بخواهیم پارامتر غذا را نیز همانند پارامتر سرویس دخیل کنیم، یا حتی بخواهیم میزان اهمیت پارامتر غذا و سرویس همیشه یکسان نباشد، در حالیکه غذا خیلی عالی است وزن آن پارامتر بیشتر باشد یا برعکس.)

رویکرد فازی

فرض کنید در مثال قبل فاکتور اصلی را که سرویس است بخواهیم به صورت قانونمند معرفی کنیم:

1. *If service is poor, then tip is cheap*
2. *If service is good, then tip is average*
3. *If service is excellent, then tip is generous*

اگر بخواهیم فاکتور کیفیت غذا را نیز دخیل کنیم می توان قوانین زیر را اضافه کرد:

4. *If food is rancid, then tip is cheap*
5. *If food is delicious, then tip is generous*

رویکرد فازی

با ترکیب قوانین فوق به مجموعه زیر می‌رسیم:

1. If service is poor or the food is rancid, then tip is cheap
2. If service is good, then tip is average
3. If service is excellent or food is delicious, then tip is generous

سه قانون ارائه شده، قلب سیستم فازی را تشکیل میدهد. منتها باید به متغیرهای زبانی (Linguistic variable) که استفاده کردیم معنی ریاضی بدهیم. یعنی بگوییم منظورمان از average چیست.

مزایای حل مسئله با رویکرد فازی

۱- در سیستم فازی هیچ گونه پیچیدگی دیده نمی شود.

۲- همه مجموعه دانش در حد دستور یک کد پیچیده (که با زبان سطح بالایی و در عین حال قابل فهم توسط ماشین است)، قابل ارائه است.

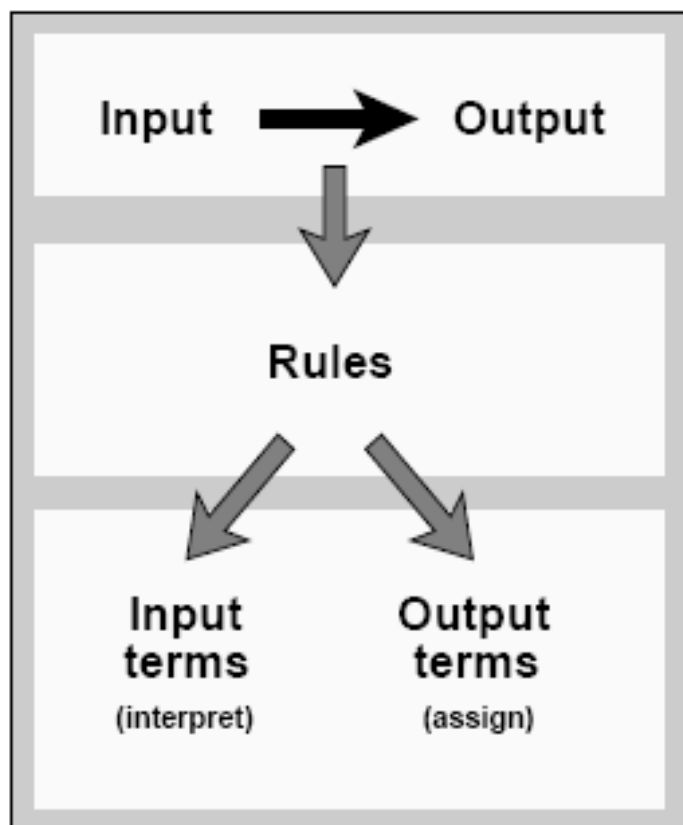
۳- نکته اصلی در منطق فازی، نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی است و ابزار این نگاشت قوانین اگر-آنگاه است که قانون نامیده می شود.

۴- تمام قوانین به صورت موازی بررسی می شوند و ترتیب آنها مهم نیست.

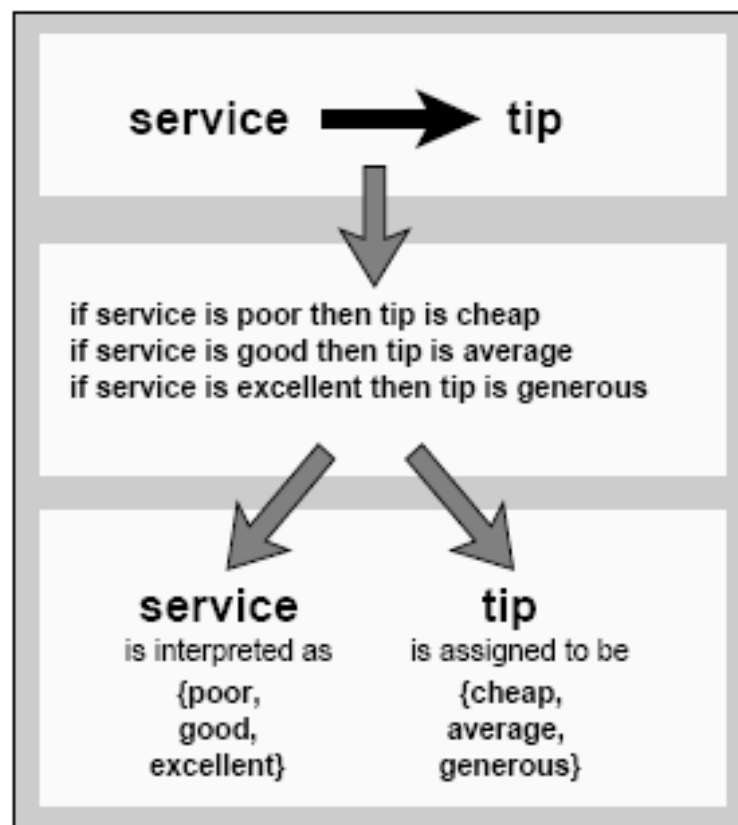
۵- قوانین شامل متغیرها و صفاتی هستند که آن متغیرها را تعریف می کنند.

بطور خلاصه : استنتاج فازی روشی برای تفسیر مقادیر بردار ورودی است که بر اساس مجموع های از قوانین، مقادیری برای بردار خروجی مقداردهی می کند.

The General Case...

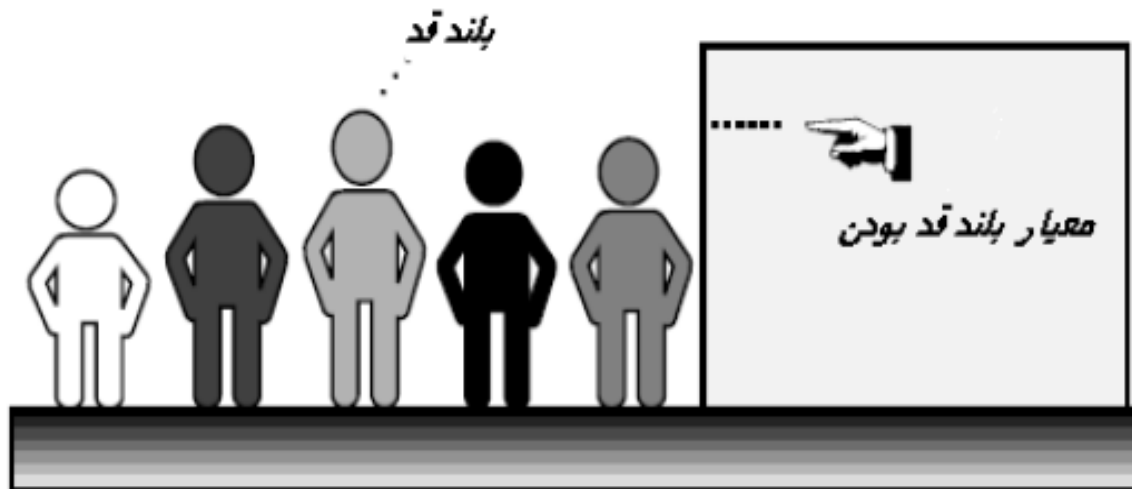


A Specific Example...

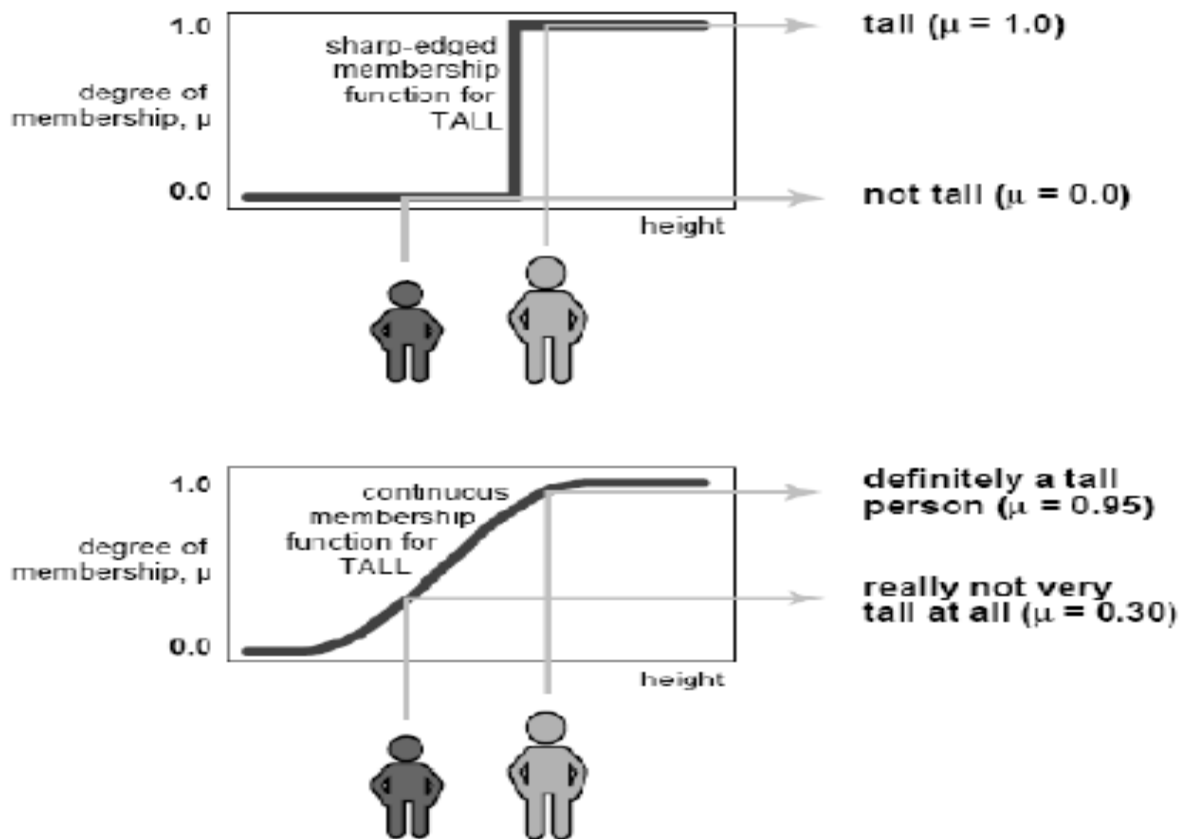


تابع عضویت (Membership function)

یک تابع عضویت منحنی است که نشان می دهد یک نقطه در فضای ورودی چگونه به مقدار عضویت در خروجی نگاشت می شود، این مقدار عضویت عددی بین ۰ تا ۱ است.



μ درجه عضویت را نشان میدهد. که عددی بین ۰ تا ۱ است. در تابع عضویت فازی، منحنی عضویت داریم که از افرادی که اصلا بلند قد نیستند تا افراد کاملا بلند قد را شامل می شود.



عملیات منطقی

برای منطق فازی که توسعه ای روی منطق بولین است، باید عملیات منطقی با منطق بولین سازگاری داشته باشد، یعنی **And** در فازی برای مقدار \cdot و \cdot باید همچنان \cdot باشد.

بر این اساس می توان به جای **And** از تابع **Min** و به جای **OR** تابع **Max** پیشنهاد می شود.

عملیات منطقی

عملیات منطقی در منطق بولین:

A	B	A and B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	A or B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

A	not A
0	1
1	0

NOT

A	B	min(A,B)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	max(A,B)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

A	1 - A
0	1
1	0

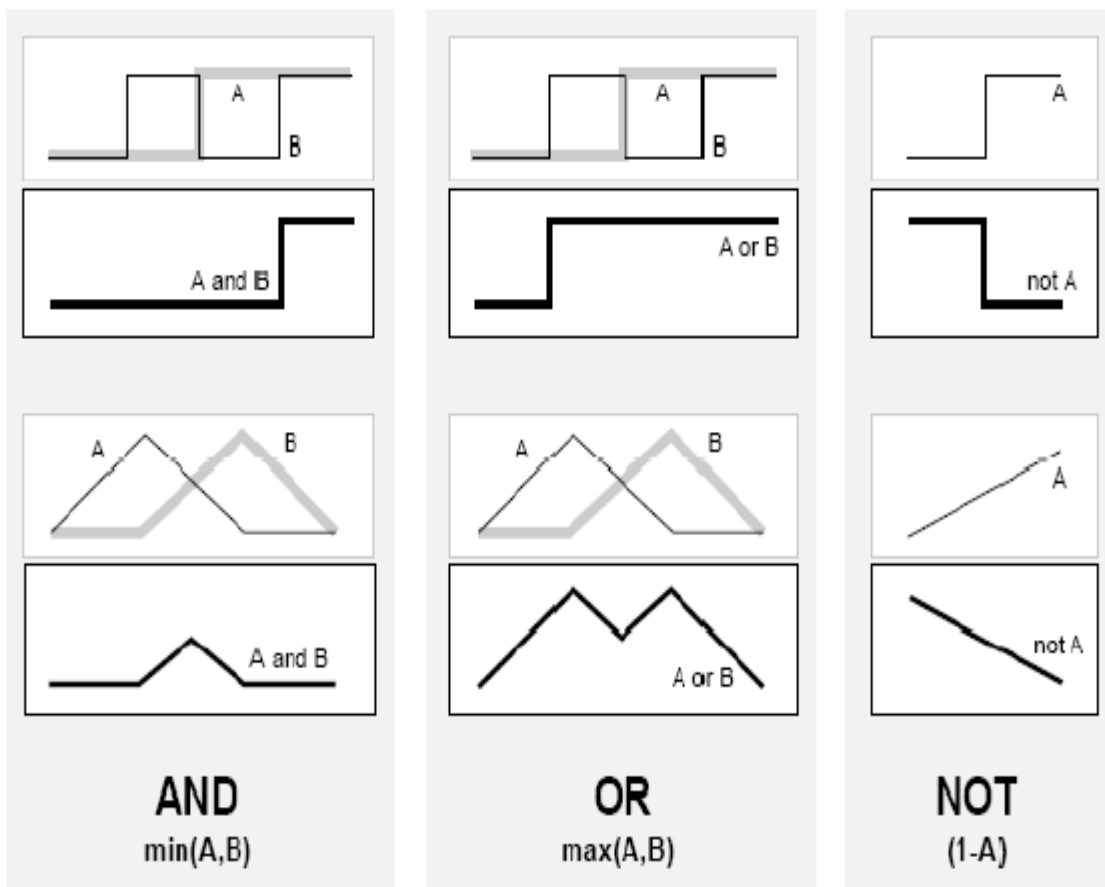
NOT

عملیات منطقی در منطق فازی:

عملیات منطقی

شکل زیر مقایسه بین انجام عملیات در دو منطق فازی و بولین را نشان می دهد.

Two-valued
logic



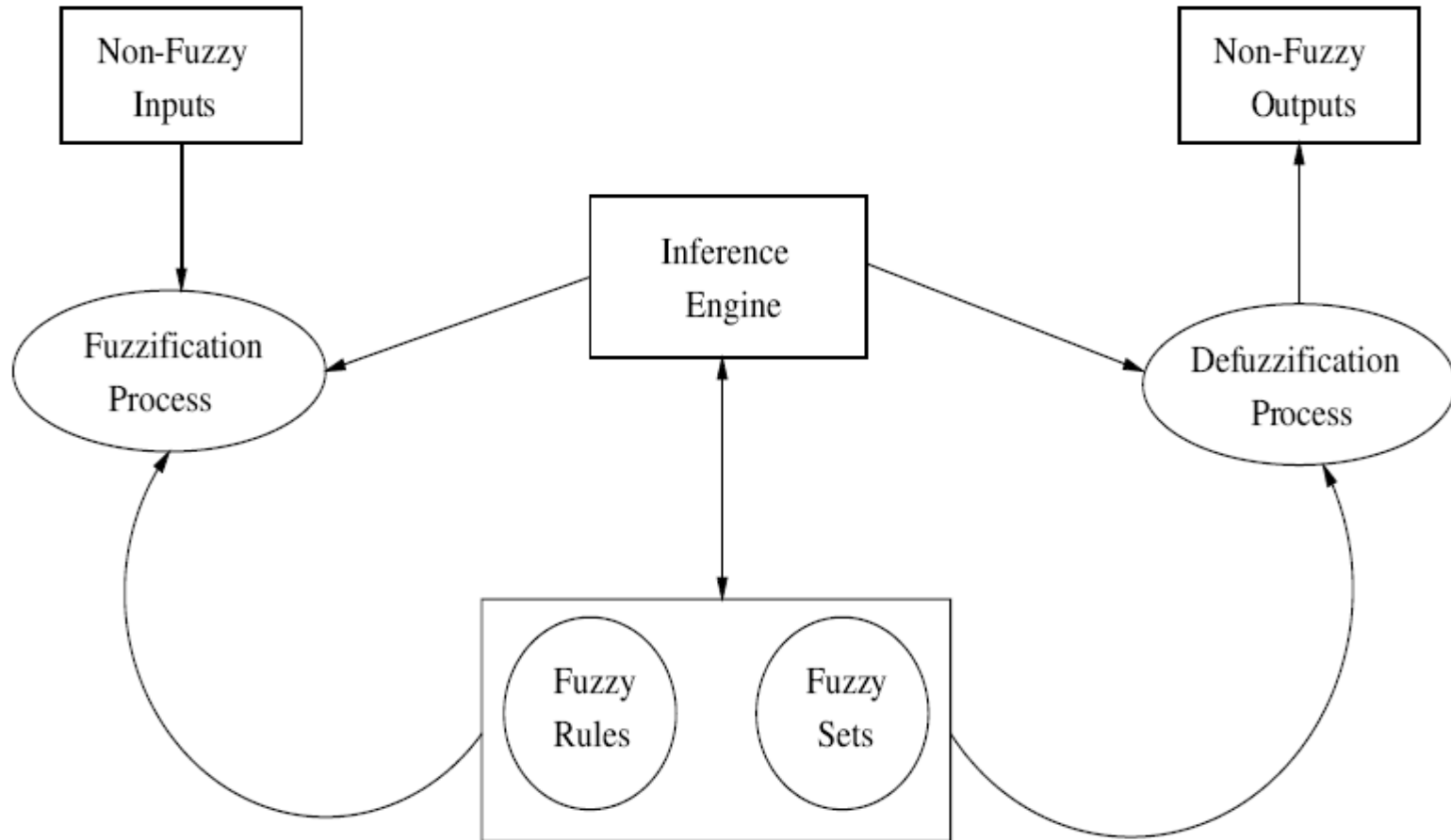
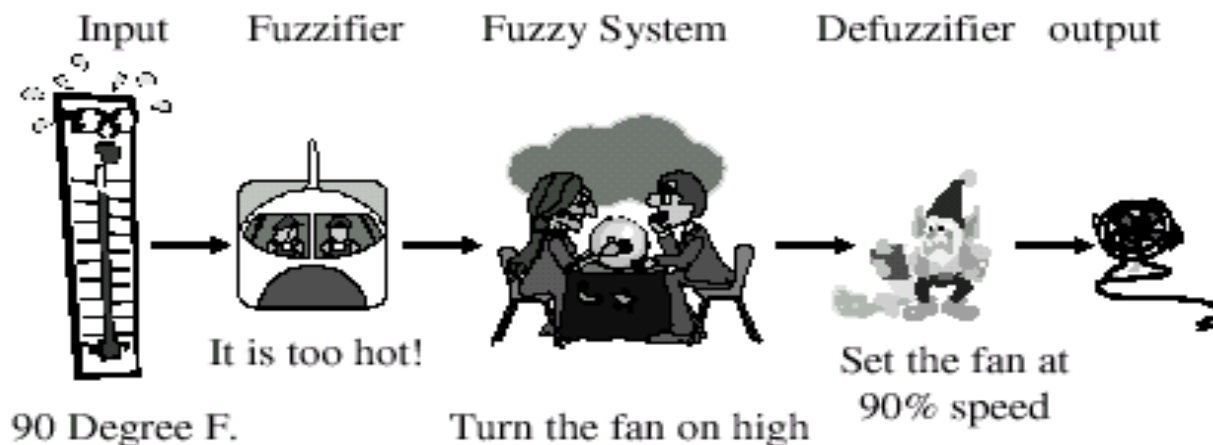
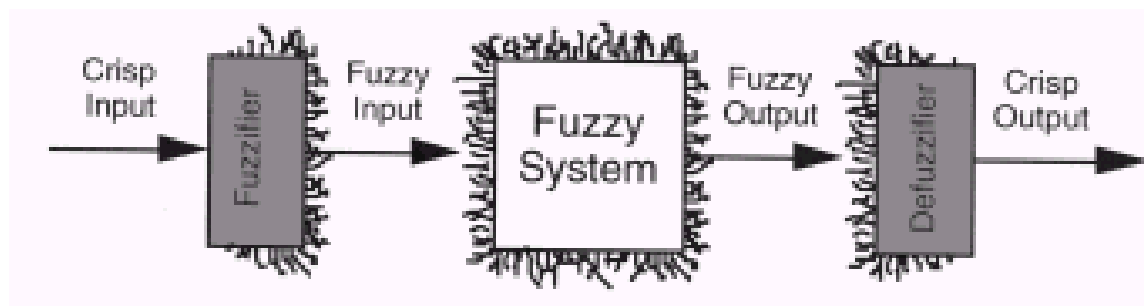


Figure Fuzzy Rule-Based Reasoning System



ساختار سیستم فازی

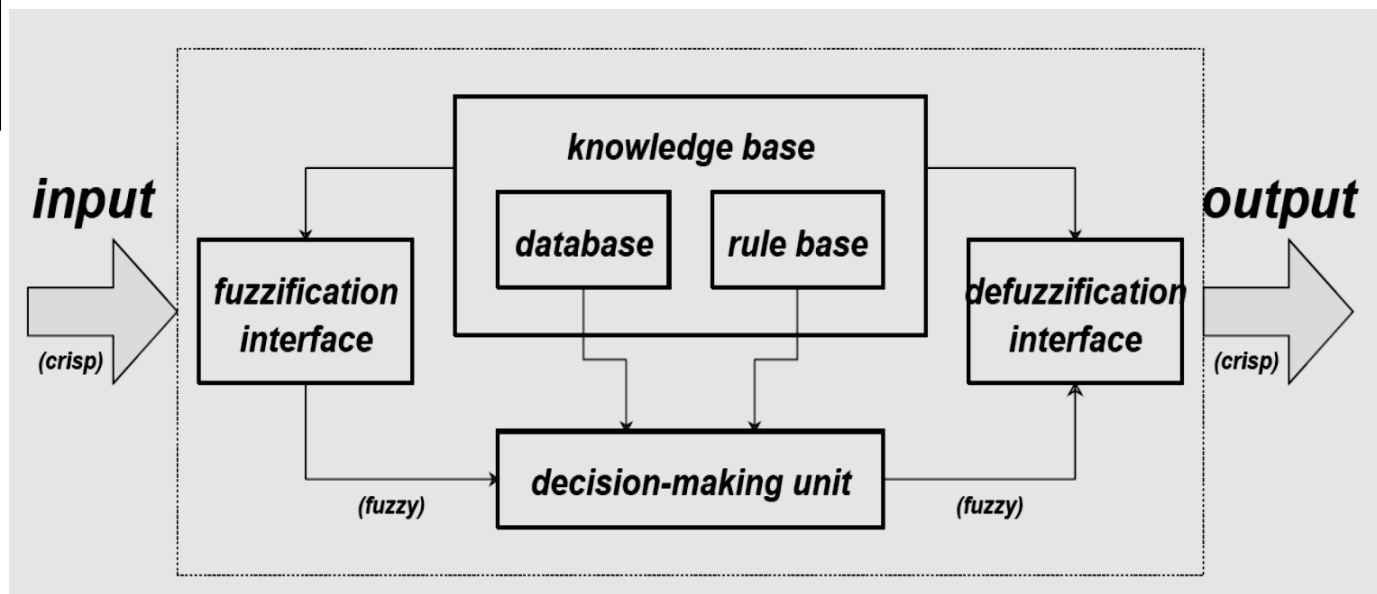
فازی ساز

پایگاه قواعد

پایگاه داده

موتور استنتاج

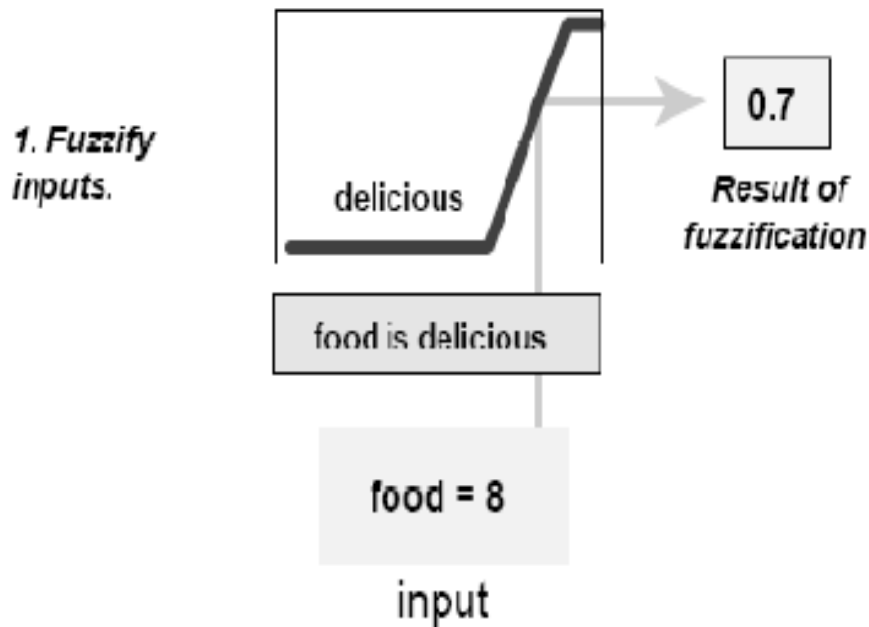
نافازی ساز



فرآیند استنتاج فازی تا خروجی

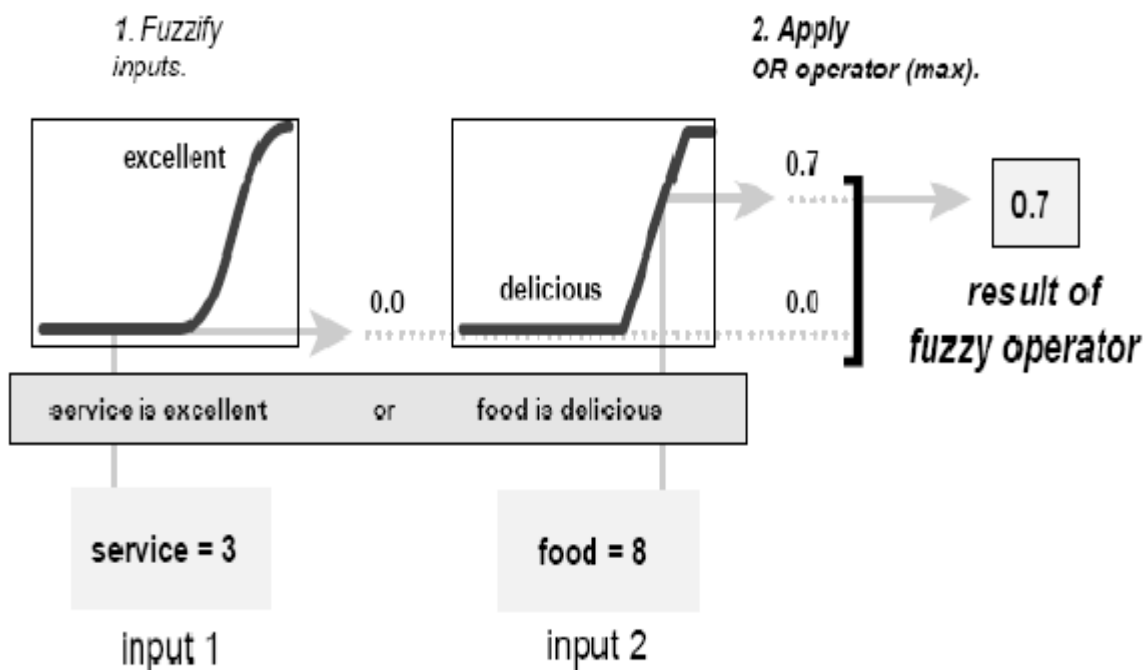
قدم اول فازی سازی:

تعیین درجه عضویت ورودی ها به مجموعه های فازی با کمک توابع عضویت فازی.



فرآیند استنتاج فازی تا خروجی

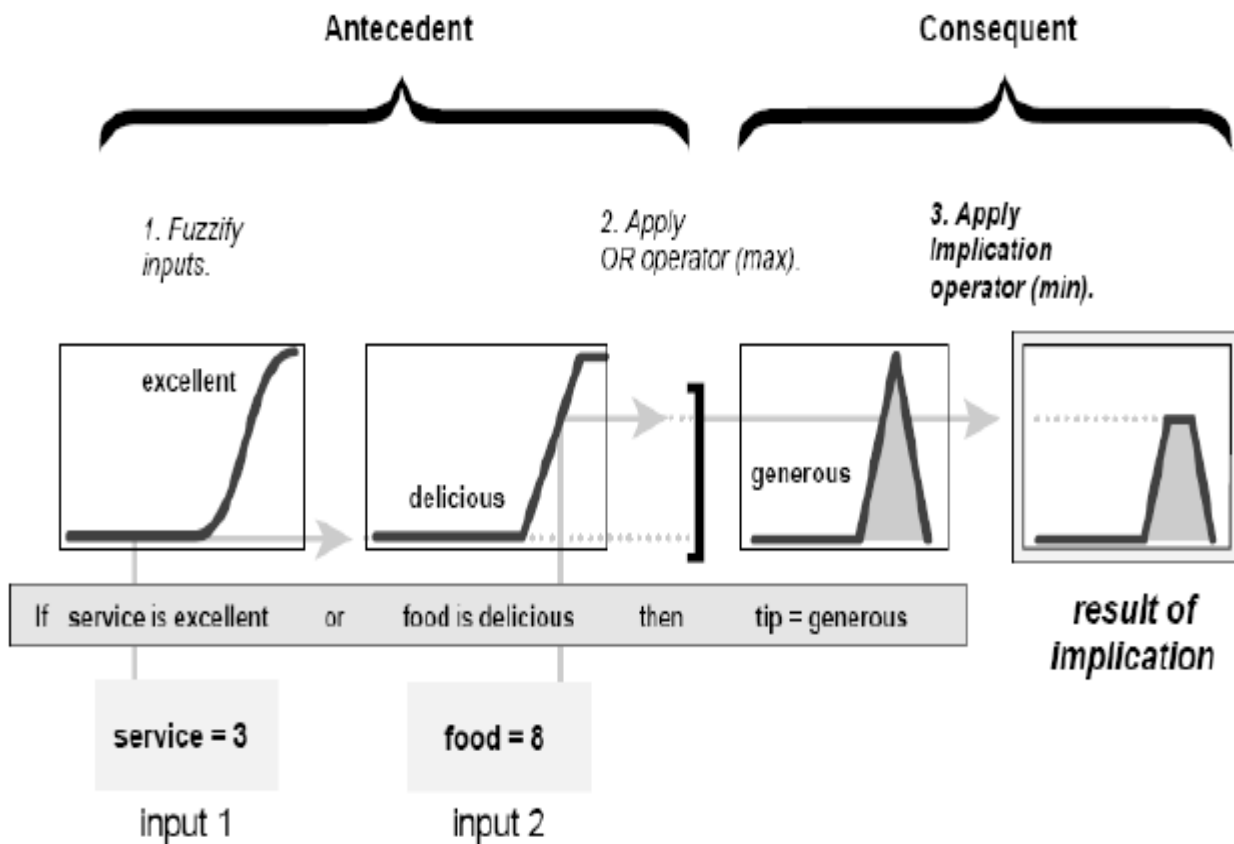
قدم دوم اعمال عملگرهای فازی:



هر قانون فازی از چند مقدم تشکیل شده که هرکدام در مرحله قبل مقدار عضویتشان به مجموعه های فازی مشخص می شود. اما باید یک عملگر فازی روی تمام آنها اعمال شود تا یک عدد که نمایانگر نتیجه کلی تمام مقدمها (ورودیها) است بدست آید.

فرآیند استنتاج فازی تا خروجی

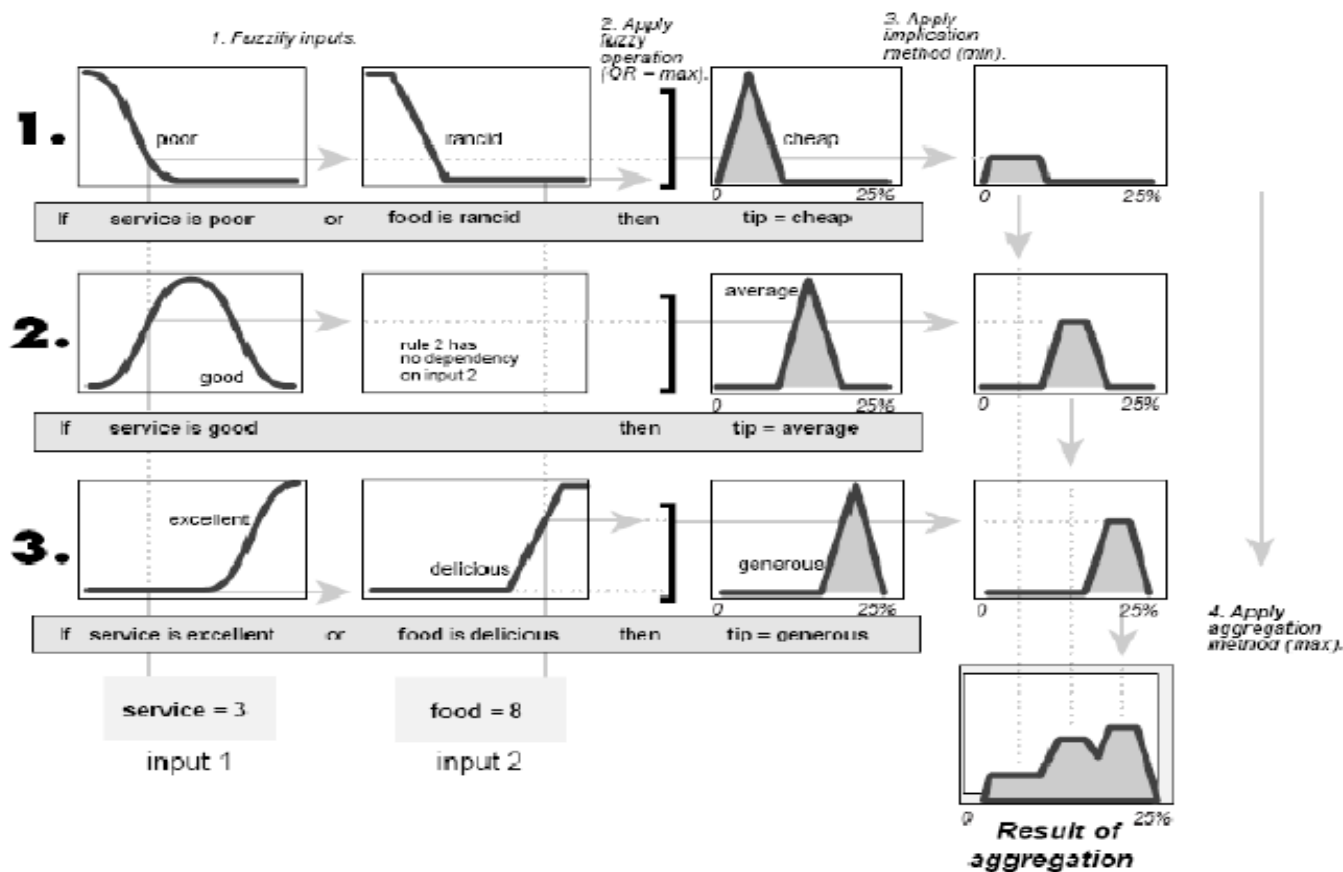
قدم سوم اعمال استلزام:



خروجی یک مجموعه فازی است که با یک تابع عضویت ارائه میشود. با توجه به عدد بدست آمده از مقدمها این مجموعه فازی تغییر پیدا کرده و به عنوان خروجی ارائه می شود. از تابع MIN برای برش مجموعه فازی خروجی (هنگام استلزام) بهره می گیریم:

فرآیند استنتاج فازی تا خروجی

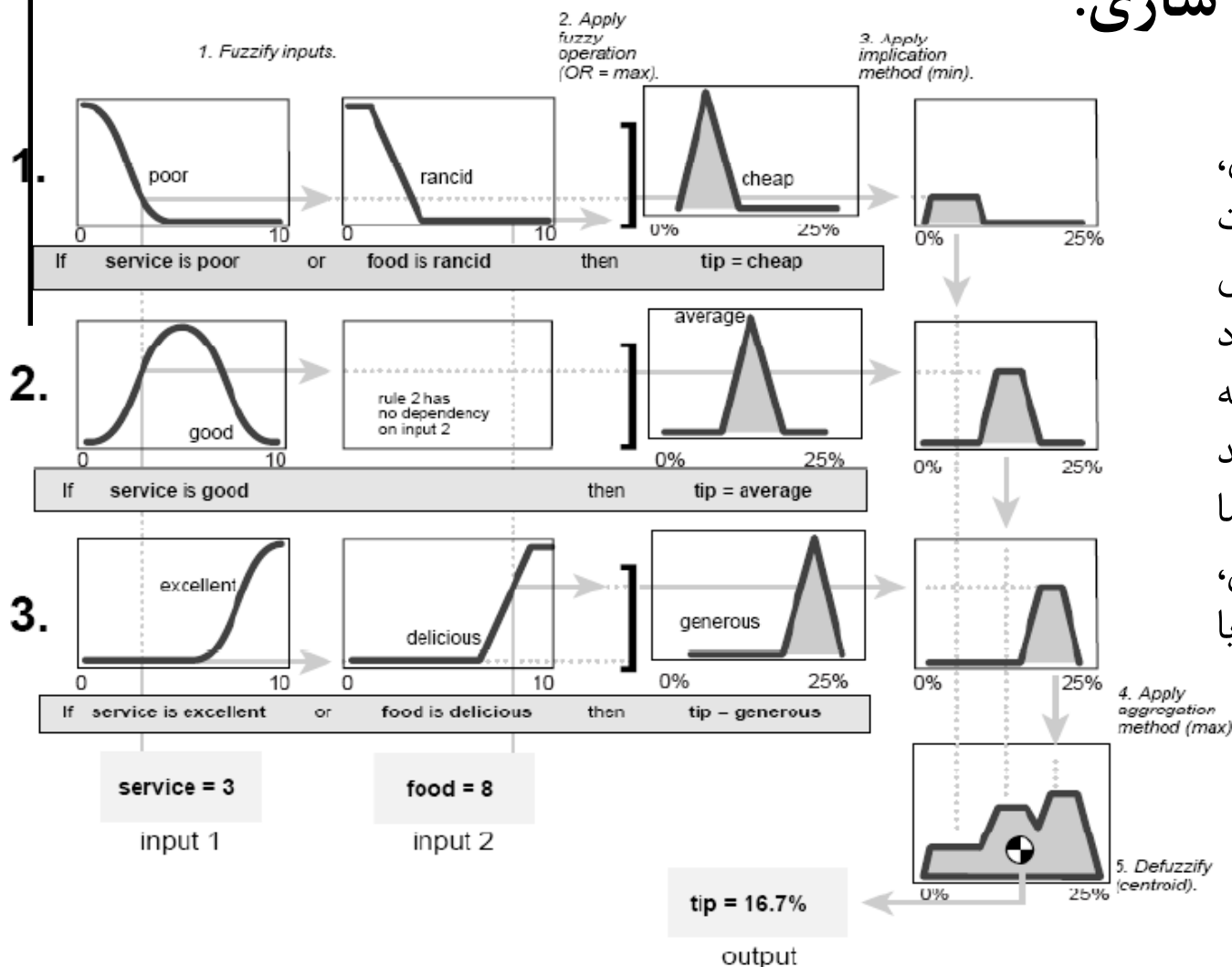
قدم چهارم جمع کردن تمام خروجی ها:



چون تصمیم گیری باید بر اساس تست تمام قوانین بصورت موازی صورت گیرد، باید نتیجه تمام قوانین که به روش بالا تکتک محاسبه شده اند بگونه ای باهم جمع شده و مجموعه فازی خروجی واحدی ایجاد شود. برای اجتماع مجموعه های فازی خروجی از تابع MAX بهره میگیرد.

فرآیند استنتاج فازی تا خروجی

قدم پنجم غیرفازی سازی:



ورودی فرآیند غیرفازیسازی، یک مجموعه فازی است (اجتماع مجموعه های فازی خروجی) که باید یک عدد خروجی را نتیجه دهد. هرچه فازی سازی در طی فرآیند های استنتاج کمک بود، اما برای مرحله اعلام خروجی، یک مجموعه فازی گویا نیست.