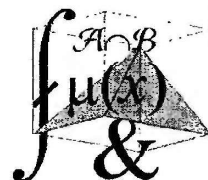


Глава 12



Процесс нечеткого моделирования в среде MATLAB

Для реализации процесса нечеткого моделирования в среде MATLAB предназначен специальный пакет расширения Fuzzy Logic Toolbox. В рамках этого пакета, который расположен в папке C:\MATLAB6p1\toolbox\fuzzy (если система MATLAB установлена по умолчанию на диске C:), пользователь может выполнять необходимые действия по разработке и использованию нечетких моделей в одном из следующих режимов:

- ☐ в интерактивном режиме с помощью графических средств редактирования и визуализации всех компонентов систем нечеткого вывода;
- ☐ в режиме команд с помощью ввода имен соответствующих функций с необходимыми аргументами непосредственно в окно команд системы MATLAB

Ниже рассматриваются особенности разработки систем нечеткого вывода в каждом из этих режимов и даются рекомендации по выполнению необходимой последовательности действий.

12.1. Процесс разработки системы нечеткого вывода в интерактивном режиме

Для разработки и дальнейшего применения систем нечеткого вывода в интерактивном режиме могут быть использованы следующие графические средства, входящие в состав пакета Fuzzy Logic Toolbox.

- ☐ Редактор систем нечеткого вывода FIS (FIS Editor) или сокращенно — редактор FIS.
- ☐ Редактор функций принадлежности системы нечеткого вывода (Membership Function Editor) или сокращенно — редактор функций принадлежности.
- ☐ Редактор правил системы нечеткого вывода (Rule Editor) или сокращенно — редактор правил.
- ☐ Программа просмотра правил системы нечеткого вывода (Rule Viewer) или сокращенно — просмотрщик правил вывода.

- ☐ Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода (Surface Viewer) или сокращенно — просмотрщик поверхности вывода.

Кроме этих графических средств в состав пакета Fuzzy Logic Toolbox также входят следующие специальные программы.

- ☐ Редактор адаптивных систем нейро-нечеткого вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Editor) или сокращенно — редактор гибридных сетей или редактор ANFIS.
- ☐ Программа нечеткой кластеризации методом нечетких с-средних (fuzzy c-means clustering).

В табл. 12.1 представлены функции MATLAB, которые могут быть использованы для вызова соответствующих графических средств. Более подробно особенности работы с редактором гибридных сетей ANFIS изложены в *главе 15*, а особенности работы с программой нечеткой кластеризации — в *главе 13*.

Таблица 12.1. Функции графического интерфейса пользователя

Функция	Назначение
anfisedit	Редактор гибридных сетей ANFIS
findcluster	Программа нечеткой кластеризации
fuzzy	Редактор системы нечеткого вывода FIS
mfedit	Редактор функций принадлежности
ruleedit	Редактор правил нечеткого вывода
ruleview	Программа просмотра правил и диаграммы нечеткого вывода
surfview	Программа просмотра поверхности нечеткого вывода

Рассмотрим особенности каждого из графических средств, которые следует использовать для разработки и исследования систем нечеткого вывода в среде MATLAB.

Редактор систем нечеткого вывода FIS

Редактор систем нечеткого вывода FIS (или просто редактор FIS) является основным средством, которое используется для создания или редактирования систем нечеткого вывода в графическом режиме. Редактор FIS может быть открыт с помощью ввода функции `fuzzy` или `fuzzy('fismat')` в окне команд. Эта функция предоставляет пользователю возможность задавать и редактировать на высоком уровне свойства системы нечеткого вывода, такие как число входных и выходных переменных, тип системы нечеткого вывода, используемый метод дефазификации и т. д.

Если функция `fuzzy` вызывается без аргументов, то редактор FIS вызывается для вновь создаваемой системы нечеткого вывода с именем `Untitled` по умолчанию (рис. 12.1). При этом по умолчанию также задается целый ряд параметров, таких как тип системы нечеткого вывода (Мамдани), нечеткие логические операции, методы импликации, агрегирования и дефаззификации и некоторые другие. Пользователь может согласиться с этими значениями или изменить их.

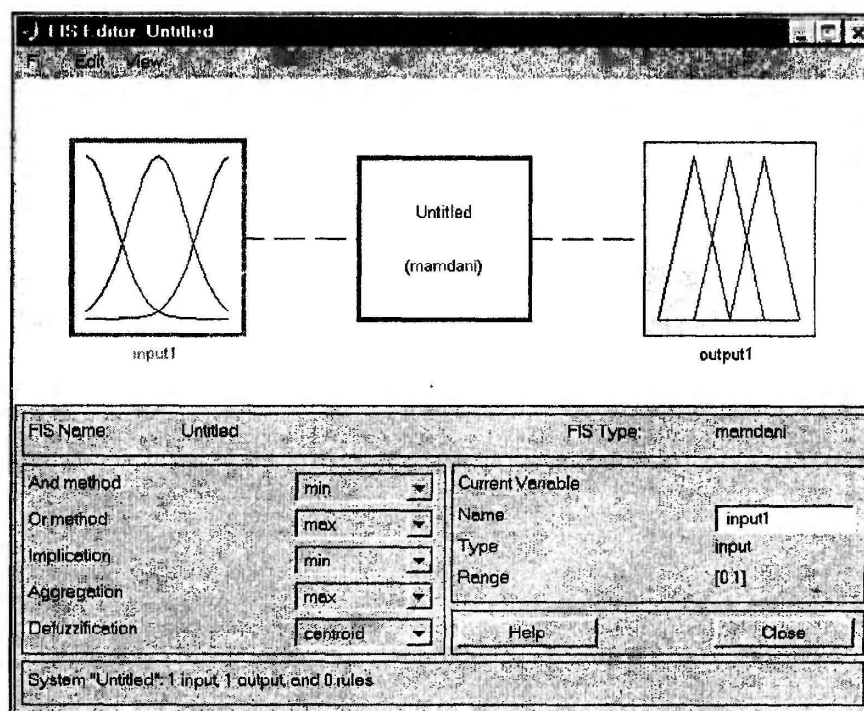


Рис. 12.1. Графический интерфейс редактора FIS, вызываемый функцией `fuzzy`

Если функция `fuzzy` вызывается с аргументом в форме `fuzzy('fismat')`, где `fismat` — имя внешнего файла с расширением `fis` с уже разработанной системой нечеткого вывода, то редактор вызывается с уже загруженной системой FIS с именем `fismat` (рис. 12.2).

Примечание

Возможен также вызов редактора FIS с помощью этой же функции в формате `fuzzy(fismat)`, где `fismat` — имя структуры FIS в рабочей области MATLAB. В этом случае соответствующая структура нечеткого вывода должна быть предварительно создана (например, средствами командного режима) либо загружена в рабочую область с помощью функции `readfis('fismat')`, где

`fismat` — имя внешнего `fis`-файла с разработанной ранее системой нечеткого вывода. В частности, вызов редактора функцией `fuzzy('tipper')` загружает в него систему нечеткого вывода для демонстрационного примера "Чаевые в ресторане", который более подробно будет рассмотрен ниже в качестве примера 12.1.

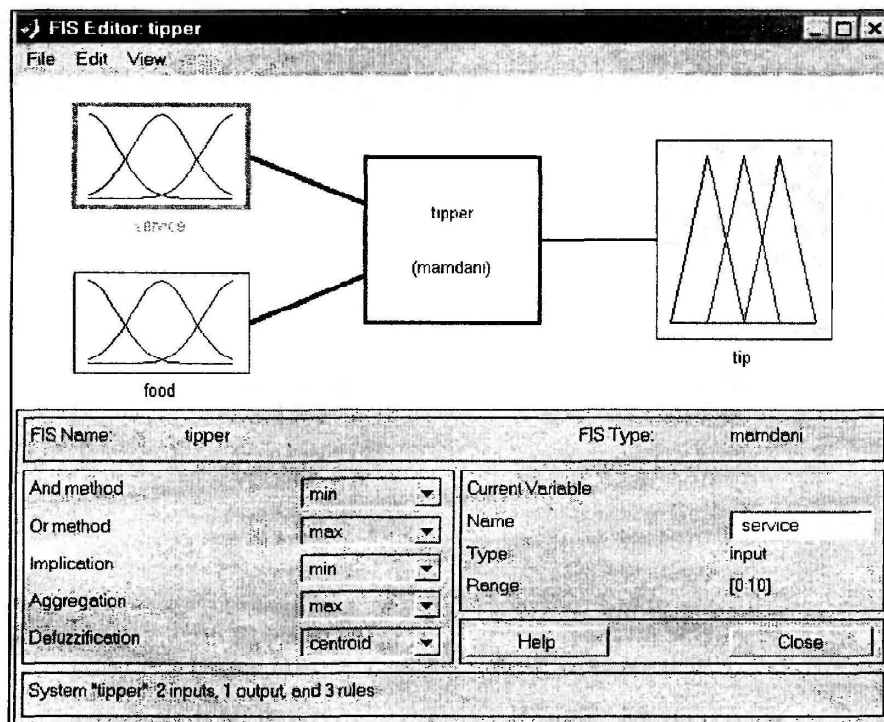


Рис. 12.2. Графический интерфейс редактора FIS, вызываемый функцией `fuzzy('tipper')`

Редактор FIS обладает графическим интерфейсом и позволяет вызывать все другие редакторы и программы просмотра систем нечеткого вывода. Графический интерфейс этого редактора обладает максимальным удобством и гибкостью, необходимой для интерактивной работы с отдельными компонентами системы нечеткого вывода.

В верхней части рабочего интерфейса редактора FIS изображается диаграмма, представляющая в визуальной форме входы и выходы системы нечеткого вывода, в центре которых находится так называемый *процессор нечетких правил*. Щелчок на прямоугольнике с изображением входа или выхода выделяет соответствующую переменную и делает ее текущей. Прямоугольник текущей переменной при этом выделяется красным цветом.

Двойной щелчок на прямоугольнике с изображением входной или выходной переменной вызывает редактор функций принадлежности с загруженной в него соответствующей переменной. Двойной щелчок на изображении процессора нечетких правил вызывает редактор правил для соответствующей системы нечеткого вывода. Если некоторая переменная существует в системе нечеткого вывода, но не используется в правилах вывода, то связь ее с процессором нечетких правил изображается не сплошной, а пунктирной линией.

Редактор FIS имеет главное меню, которое позволяет пользователю вызывать другие графические средства работы с системой нечеткого вывода FIS, загружать и сохранять структуру FIS во внешних файлах и т. д. Рассмотрим назначение пунктов меню редактора FIS.

□ Пункт меню **File (Файл)** редактора FIS содержит следующие операции:

- **New FIS...** — позволяет выбрать тип задаваемой новой системы нечеткого вывода: **Mamdani** — типа Мамдани или **Sugeno** — типа Сугено. При этом задаваемая система нечеткого вывода не имеет ни входных, ни выходных переменных, а ее имя задается по умолчанию как **Untitled**;
- **Import** — позволяет загрузить в редактор FIS существующую систему нечеткого вывода одним из следующих способов: **From Workspace...** — из рабочего пространства программы MATLAB или **From Disk...** — из внешнего файла. В последнем случае вызывается стандартное диалоговое окно открытия внешнего файла с диска;
- **Export** — позволяет сохранить редактируемую систему нечеткого вывода одним из следующих способов: **To Workspace...** — в рабочем пространстве программы MATLAB или **To Disk...** — во внешнем файле. В последнем случае вызывается стандартное диалоговое окно сохранения файла на диске;
- **Print** — позволяет распечатать на принтере редактируемую систему нечеткого вывода. В этом случае вызывается стандартное диалоговое окно настройки свойств печати на подключенном к данному компьютеру принтере;
- **Close** — закрывает редактор FIS, при этом вызывается диалоговое окно с предложениями сохранить или отказаться от сохранения редактируемой системы нечеткого вывода.

□ Пункт меню **Edit (Редактирование)** содержит следующие операции:

- **Undo** — отменяет выполнение последнего действия;
- **Add Variable...** — позволяет добавить в редактируемую систему нечеткого вывода переменную одного из следующих типов: **Input** — входную переменную или **Output** — выходную переменную;
- **Remove Selected Variable** — удаляет выбранную переменную из редактируемой системы нечеткого вывода;
- **Membership Functions...** — вызывает редактор функций принадлежности;
- **Rules** — вызывает редактор правил нечеткого вывода.

□ Пункт меню **View** (Вид) содержит следующие операции:

- **Rules** — вызывает программу просмотра правил нечеткого вывода;
- **Surface** — вызывает программу просмотра поверхности нечеткого вывода.

В левой нижней части рабочего интерфейса редактора FIS имеется 5 всплывающих меню:

□ **And method** (Метод логической конъюнкции) — позволяет задать один из следующих методов для выполнения логической конъюнкции в условиях нечетких правил:

- **min** — метод минимального значения (6.2);
- **prod** — метод алгебраического произведения (6.3);
- **Custom** — метод, определенный пользователем.

□ **Or method** (Метод логической дизъюнкции) — позволяет задать один из следующих методов для выполнения логической дизъюнкции в условиях нечетких правил:

- **max** — метод максимального значения (6.6);
- **probor** — метод алгебраической суммы (6.7);
- **Custom** — метод, определенный пользователем.

□ **Implication method** (Метод вывода заключения) — позволяет задать один из следующих методов для выполнения (активизации) логического заключения в каждом из нечетких правил:

- **min** — метод минимального значения (7.6);
- **prod** — метод алгебраического произведения (7.7);
- **Custom** — метод, определенный пользователем. Это меню не используется для систем нечеткого вывода типа Сугено.

□ **Aggregation method** (Метод агрегирования) — позволяет задать один из следующих методов для агрегирования значений функции принадлежности каждой из выходных переменных в заключениях нечетких правил:

- **max** — метод максимального значения (6.6);
- **sum** — метод граничной суммы (6.8);
- **probor** — метод алгебраической суммы (6.7).
- **Custom** — метод, определенный пользователем. Это меню не используется для систем нечеткого вывода типа Сугено.

□ **Defuzzification method** (Метод дефаззификации) — позволяет задать один из следующих методов для выполнения дефаззификации выходных переменных в системе нечеткого вывода типа Мамдани:

- **centroid** — метод центра тяжести для дискретного множества значений функции принадлежности (7.10);

- **bisector** — метод центра площади (модификация (7.11));
- **mom** (middle of maximum) — метод среднего максимума, определяемый как среднее арифметическое левого и правого модальных значений;
- **som** (smallest of maximum) — метод наименьшего (левого) модального значения (7.12);
- **lom** (largest of maximum) — метод наибольшего (правого) модального значения (7.13);
- **Custom** — метод, определенный самим пользователем.

Для систем нечеткого вывода типа Сугено можно выбрать один из следующих методов дефаззификации:

- **wtaver** (weighted average) — метод взвешенного среднего (7.15);
- **wtsum** (weighted sum) — метод взвешенной суммы (7.16).

Примечание

Методы, определенные пользователем, должны быть заданы либо в существующих *m*-файлах, либо в форме разработанных пользователем отдельных *m*-файлов, размещенных в папке `C:\MATLAB6p1\toolbox\fuzzy` или в папке `C:\MATLAB6p1\work` (если система MATLAB установлена по умолчанию на диске C). Поскольку особенности написания и редактирования *m*-файлов относятся к области программирования, эта тематика будет рассмотрена далее в главе 14.

В правом нижнем углу находятся кнопка вызова встроенной справочной системы MATLAB (**Help**) и кнопка закрытия редактора FIS (**Close**).

Редактор функций принадлежности

Редактор функций принадлежности, как следует из его названия, предназначен для задания и редактирования функций принадлежности отдельных термов системы нечеткого вывода в графическом режиме. Редактор функций принадлежности может быть открыт с помощью ввода функции `mfedit`, а также `mfedit('a')` или `mfedit(a)`, в окне команд либо с помощью главного меню редактора FIS (командой меню **Edit>Membership Functions...** или нажатием клавиш **<Ctrl>+<2>**).

Эта функция, записанная в формате `mfedit`, просто вызывает редактор функций принадлежности без загрузки какой бы то ни было системы нечеткого вывода. Функция в формате `mfedit('a')` вызывает редактор функций принадлежности, который позволяет пользователю в графическом режиме анализировать и модифицировать все функции принадлежности некоторой структуры FIS, сохраненной во внешнем файле с именем `a.fis`. Функция в формате `mfedit(a)` работает с переменной рабочего пространства MATLAB, соответствующей структуре FIS с именем `a`. Для каждой функции принадлежности можно изменить ее имя, тип и параметры. Редактор предоставляет пользователю не только возможность вы-

брать любую из 11 встроенных функций принадлежности, но и задать собственную функцию принадлежности.

Результат вызова редактора функций принадлежности с помощью функции `mfedit('tipper')` изображен на рис. 12.3.

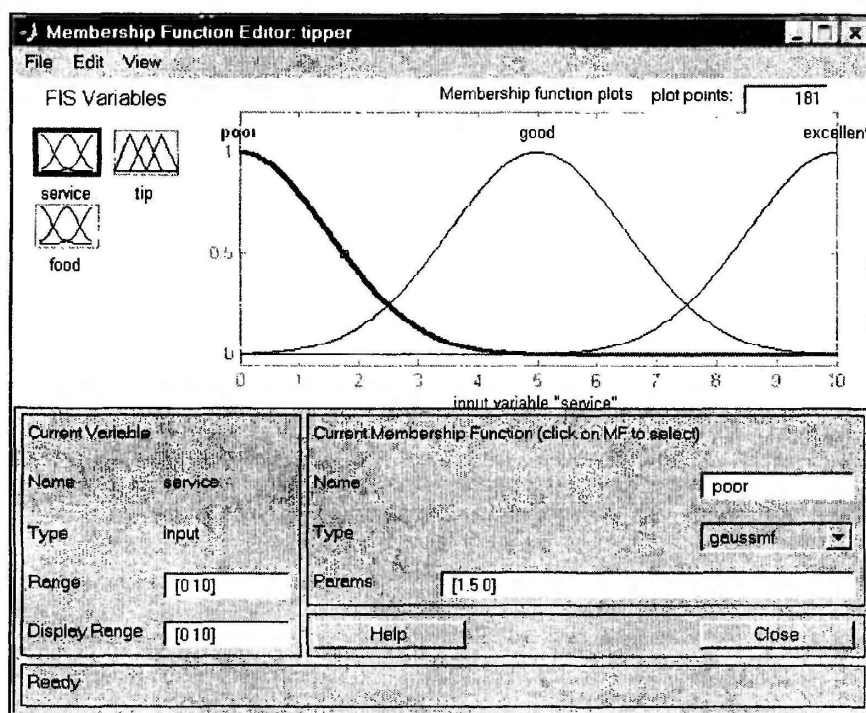


Рис. 12.3. Редактор функций принадлежности, вызываемый функцией `mfedit('tipper')`

Для отображения графиков функций принадлежности следует выбрать необходимую переменную в левой части графического интерфейса редактора под заголовком **FIS Variables** (Переменные FIS). Чтобы выбрать нужную функцию принадлежности, следует щелкнуть на ней или ее метке в основном окне с графиками функций принадлежности.

Редактор функций принадлежности имеет главное меню программы, которое позволяет пользователю вызывать другие графические средства работы с системой нечеткого вывода FIS, загружать и сохранять структуру FIS во внешних файлах и т. д.

- Пункт меню **File** (Файл) редактора функций принадлежности содержит такие же операции, что и соответствующий пункт меню редактора FIS.

□ Пункт меню **Edit** (Редактирование) содержит следующие операции:

- **Undo** — отменяет выполнение последнего действия;
- **Add MF...** — позволяет добавить встроенную функцию принадлежности термов для выбранной переменной;
- **Add Custom MF...** — позволяет добавить пользовательскую функцию принадлежности для отдельной переменной;
- **Remove Current MF** — позволяет удалить отдельную функцию принадлежности;
- **Remove All MFs** — позволяет удалить все функции принадлежности для отдельной переменной;
- **FIS Properties...** — вызывает редактор FIS;
- **Rules...** — вызывает редактор правил нечеткого вывода.

□ Пункт меню **View** (Вид) содержит следующие операции:

- **Rules** — вызывает программу просмотра правил нечеткого вывода;
- **Surface** — вызывает программу просмотра поверхности нечеткого вывода.

Раскрывающийся список типов функций принадлежности позволяет выбрать одну из 11 встроенных функций принадлежности. Используя соответствующие поля ввода, можно изменить имена термов выбранной переменной в поле ввода **Name**, модифицировать параметры встроенных функций принадлежности в поле ввода **Params**.

Примечание

Поскольку данный редактор не позволяет задать функцию принадлежности, определенную пользователем, в случае подобной необходимости следует воспользоваться соответствующими функциями командного режима. Тем не менее, встроенных типов функций принадлежности оказывается вполне достаточно для большинства практических приложений.

Изменить вид функции принадлежности можно также с помощью мыши. Для этого следует выделить изменяемую функцию принадлежности на графике (она будет изображена красным цветом) и, не отпуская нажатую левую кнопку мыши, перемещать маркер в нужную сторону. При этом будут изменяться график соответствующей функции принадлежности и ее параметры. Этой возможностью следует пользоваться с осторожностью, поскольку выполненные изменения функции принадлежности уже не удастся отменить. В правом нижнем углу находятся кнопка вызова встроенной справочной системы **MATLAB (Help)** и кнопка закрытия редактора функций принадлежности **(Close)**.

Редактор правил системы нечеткого вывода

Редактор правил системы нечеткого вывода, как следует из его названия, предназначен для задания и редактирования отдельных правил системы нечеткого вывода в графическом режиме. Редактор правил может быть открыт с помощью ввода функции `ruleedit('a')` или `ruleedit(a)` в окне команд либо с помощью главного меню редактора FIS (командой меню **Edit>Rules...** или нажатием клавиш **<Ctrl>+<3>**).

Эта функция, записанная в формате `ruleedit('a')`, вызывает редактор правил, который позволяет пользователю в графическом режиме анализировать и модифицировать правила продукций системы нечеткого вывода FIS, сохраненной во внешнем файле с именем `a.fis`. Эта функция позволяет также выполнять грамматический анализ правил, которые используются в некоторой системе нечеткого вывода FIS.

Чтобы использовать данный редактор для создания правил, необходимо предварительно определить все входные и выходные переменные, для чего можно воспользоваться редактором системы нечеткого вывода FIS и редактором функций принадлежности. При этом задать правила можно с помощью выбора соответствующих значений термов входных и выходных переменных.

Результат вызова функции `ruleedit('tipper')` изображен на рис. 12.4.

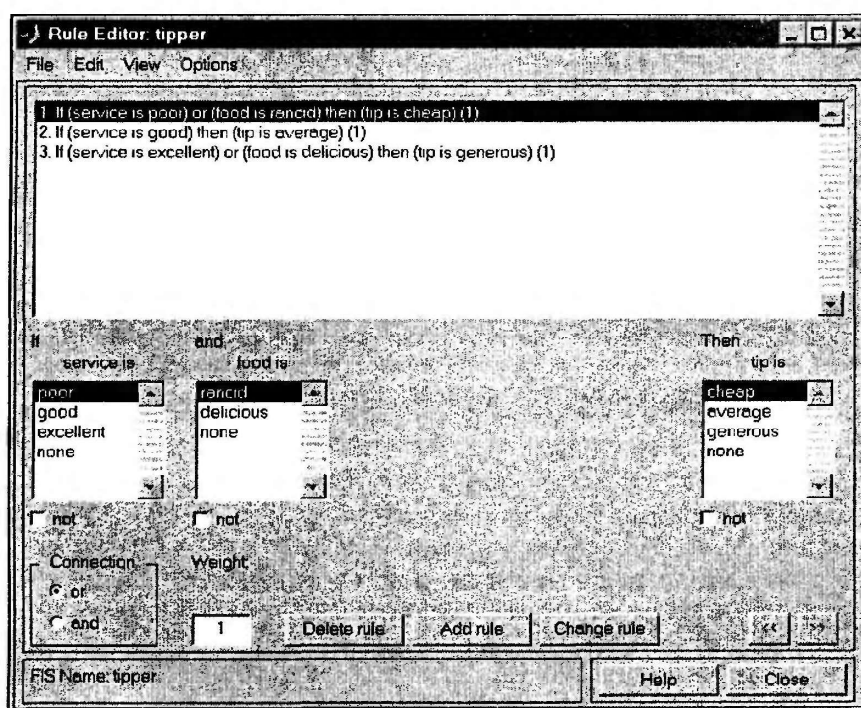


Рис. 12.4. Редактор правил, вызываемый функцией `ruleedit('tipper')`

Функция в формате `ruleedit(a)` вызывает редактор правил для переменной рабочего пространства MATLAB, соответствующей структуре FIS с именем `a`.

Редактор правил имеет главное меню, которое позволяет пользователю вызывать другие графические средства работы с системой нечеткого вывода FIS, загружать и сохранять структуру FIS во внешних файлах и т. д.

- ☐ Пункт меню **File** (Файл) редактора правил содержит такие же операции, что и соответствующий пункт меню редактора FIS.
- ☐ Пункт меню **Edit** (Редактирование) содержит следующие операции:
 - **Undo** — отменяет выполнение последнего действия;
 - **FIS Properties...** — вызывает редактор FIS;
 - **Membership Functions...** — вызывает редактор функций принадлежности.
- ☐ Пункт меню **View** (Вид) содержит следующие операции:
 - **Rules** — вызывает программу просмотра правил;
 - **Surface** — вызывает программу просмотра поверхности вывода.
- ☐ Пункт меню **Options** (Сервис) содержит следующие операции:
 - **Language** — позволяет выбрать язык для записи правил в форме текста: **English** (английский), **Deutsch** (немецкий) или **Francais** (французский);
 - **Format** — позволяет выбрать формат записи правил системы нечеткого вывода: **Verbose** (в форме текста), **Symbolic** (в символической форме) или **Indexed** (в цифровой форме).

При записи правил в форме текста для создания законченных предложений используются служебные слова "if", "then", "is", "AND", "OR" и т. д. При записи правил в символической форме эти служебные слова заменяются символами соответствующих операций. Например, правило "if (A is $\mathcal{A}$) and (B is $\mathcal{B}$) then (C is $\mathcal{C}$)" преобразуется к виду: " $(A == \mathcal{A}) \& (B == \mathcal{B}) \Rightarrow (C == \mathcal{C})$ ". Правила нечеткого вывода, записанные в цифровой форме, соответствуют формату их представления в структуре FIS, который рассматривается в *разд. 12.3*.

Поля ввода в средней части графического интерфейса редактора правил позволяют задать новое правило в системе нечеткого вывода. Для этого необходимо выделить имя термина соответствующей переменной, которая должна быть предварительно определена с помощью редактора функций принадлежности. Если некоторый терм не входит в правило, то для него следует выбрать значение "none". Если в условии правила используется логическое отрицание некоторого термина, то для этого термина следует отметить соответствующий флажок с меткой "not" ("выставить галочку").

Редактор правил позволяет также задать логические связки для подусловий правила (переключатель **Connection**) и вес правила (поле ввода **Weight**). Кнопки в нижней части графического интерфейса редактора правил, как следует из их названий, служат для удаления выделенного в окне правила (**Delete rule**), добавления созданного правила в систему (**Add rule**) и внесения изменений в выделенное

в окне правило (**Change rule**). В правом нижнем углу находятся кнопки вызова встроенной справочной системы MATLAB (**Help**) и кнопка закрытия редактора правил (**Close**).

Программа просмотра правил системы нечеткого вывода

Главное назначение программы просмотра правил заключается в возможности визуализировать результаты нечеткого вывода и получать значения выходных переменных в зависимости от исходных значений входных переменных. Графический интерфейс программы просмотра правил может быть открыт с помощью ввода функции `ruleview('a')` или `ruleview(a)` в окне команд либо с помощью главного меню редактора FIS, редактора функций принадлежности или редактора правил (командой меню **View>Rules** или нажатием клавиш `<Ctrl>+<5>`).

Функция, записанная в формате `ruleview('a')`, вызывает программу просмотра правил, которая изображает диаграмму нечеткого вывода для структуры FIS, сохраненной во внешнем файле с именем `a.fis`. Функция в формате `ruleview(a)` вызывает программу просмотра правил для переменной рабочего пространства MATLAB, соответствующей структуре FIS с именем `a`.

Программа просмотра правил не позволяет редактировать правила и функции принадлежности термов переменных и используется после разработки системы нечеткого вывода на этапе ее анализа и оценки. Функцию также целесообразно использовать в том случае, когда необходимо визуально представить весь процесс нечеткого вывода от начала до конца. При этом пользователь имеет возможность оценить значения выходных переменных нечеткой модели и влияние каждого из правил на результат нечеткого вывода посредством изменения значений входных переменных.

Графический интерфейс программы просмотра правил изображен на рис. 12.5.

Программа просмотра правил имеет главное меню, которое позволяет пользователю вызывать другие графические средства работы с системой нечеткого вывода FIS, загружать и сохранять структуру FIS во внешних файлах и т. д.

- ☐ Пункт меню **File** (Файл) редактора правил содержит такие же операции, что и соответствующий пункт меню редактора FIS.
- ☐ Пункт меню **Edit** (Редактирование) содержит следующие операции:
 - **Undo** — отменяет выполнение последнего действия;
 - **FIS Properties...** — вызывает редактор FIS;
 - **Membership Functions...** — вызывает редактор функций принадлежности;
 - **Rules...** — вызывает программу редактирования правил.
- ☐ Пункт меню **View** (Вид) содержит следующие операции:
 - **Surface** — вызывает программу просмотра поверхности вывода.

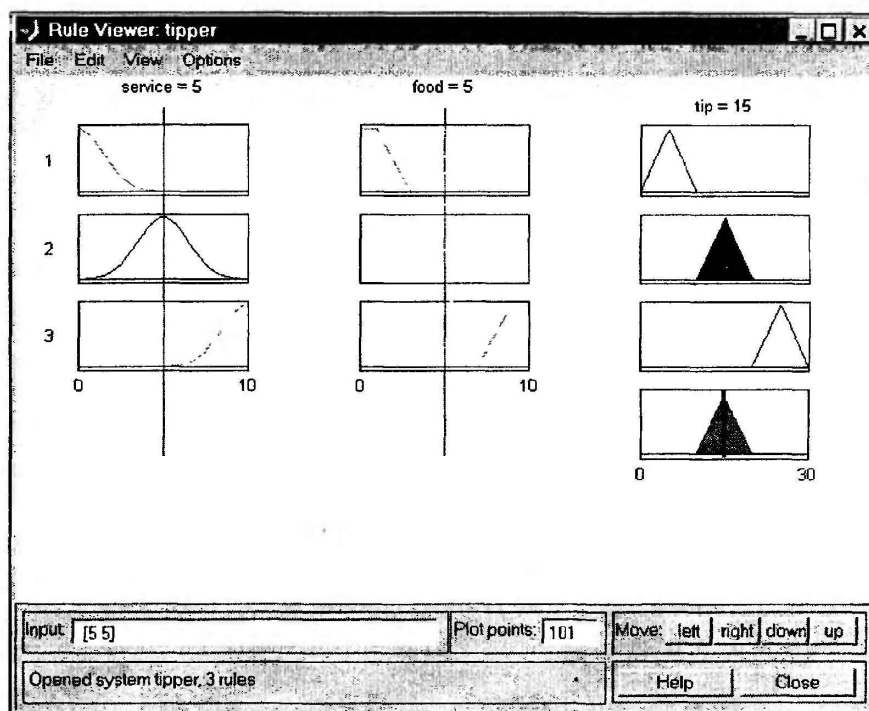


Рис. 12.5. Программа просмотра правил, вызванная функцией `ruleview('tipper')`

□ Пункт меню **Options** (Сервис) содержит следующие операции:

- **Format** — позволяет выбрать формат записи правил системы нечеткого вывода: **Verbose** (в форме текста), **Symbolic** (в символической форме) или **Indexed** (в цифровой форме).

В центральной части графического интерфейса программы просмотра правил расположены прямоугольники, соответствующие отдельным входным переменным (функции принадлежности желтого цвета) и выходным переменным (функции принадлежности синего цвета) правил нечеткого вывода. При этом каждому правилу соответствует отдельная строка из этих прямоугольников. Номера правил указаны в левой части графического интерфейса.

В правой нижней части графического интерфейса расположен прямоугольник, изображающий дефаззификацию выходной переменной после аккумуляции всех заключений правил нечеткого вывода. Полученное в результате дефаззификации значение выходной переменной указывается в верхней части столбца с именем этой выходной переменной (`tip=15` на рис. 12.5).

Прямоугольники входных переменных пересекает вертикальная прямая красного цвета, положение которой соответствует конкретному значению входной пе-

переменной соответствующего столбца. Задать конкретные значения входных переменных можно либо с помощью их записи в поле ввода **Input**, либо с помощью мыши, перемещая вертикальные прямые в нужном направлении. В последнем случае можно щелкнуть на той или иной вертикальной прямой и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, переместить прямую вправо или влево, либо просто щелкнуть в необходимой точке внутри прямоугольника соответствующей входной переменной.

Полученные после изменения значения входных переменных непосредственно отображаются в верхней части прямоугольников после имени входных переменных и в поле ввода с меткой **Input**. Более того, система MATLAB реагирует на каждое изменение значения отдельной входной переменной выполнением процедуры нечеткого вывода, получением и отображением соответствующих результирующих значений выходных переменных.

Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода

Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода позволяет просматривать поверхность системы нечеткого вывода и визуализировать графики зависимости выходных переменных от отдельных входных переменных. Графический интерфейс программы просмотра правил может быть открыт с помощью ввода функции `surfview('a')` или `surfview(a)` в окне команд либо с помощью главного меню редактора FIS, редактора функций принадлежности или редактора правил (командой меню **View>Surface** или нажатием клавиш `<Ctrl>+<6>`).

Функция, записанная в формате `surfview('a')`, вызывает программу просмотра поверхности, которая изображает поверхность нечеткого вывода для структуры FIS, сохраненной во внешнем файле с именем `a.fis`, для любой одной или двух из ее входных переменных. Функция в формате `surfview(a)` вызывает программу просмотра поверхности вывода для переменной рабочего пространства MATLAB, соответствующей структуре FIS с именем `a`.

Графический интерфейс программы просмотра поверхности изображен на рис. 12.6.

Программа просмотра поверхности вывода имеет главное меню, которое позволяет пользователю вызывать другие графические средства работы с системой нечеткого вывода FIS, загружать и сохранять структуру FIS во внешних файлах и т. д.

- ☐ Пункт меню **File** (Файл) редактора правил содержит такие же операции, что и соответствующий пункт меню редактора FIS.
- ☐ Пункт меню **Edit** (Редактирование) содержит следующие операции:
 - **Undo** — отменяет выполнение последнего действия;
 - **FIS Properties...** — вызывает редактор FIS;
 - **Membership Functions...** — вызывает редактор функций принадлежности;
 - **Rules...** — вызывает программу редактирования правил.

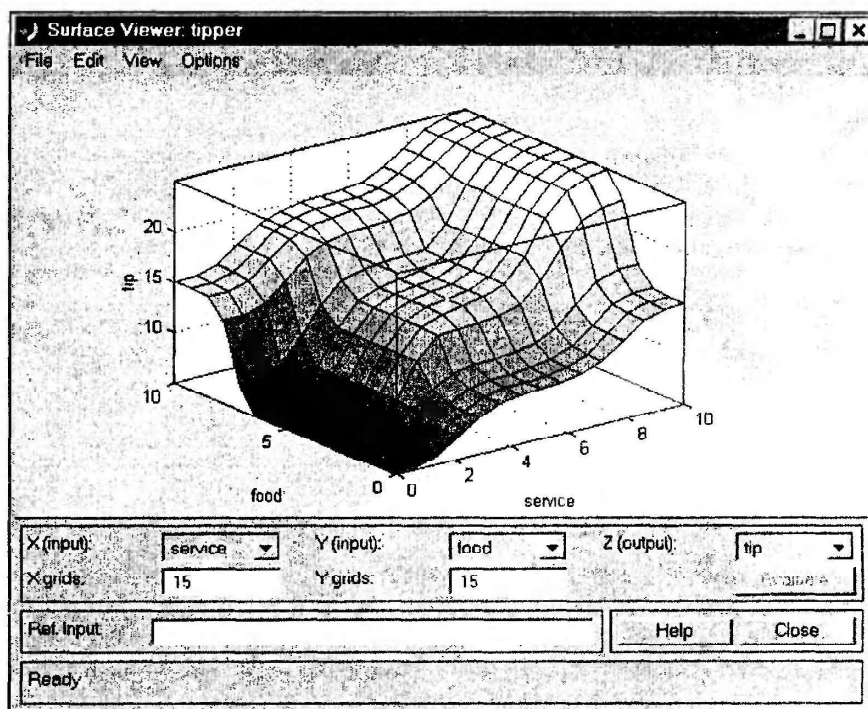


Рис. 12.6. Программа просмотра поверхности вывода, вызываемая функцией `surfview('tipper')`

- Пункт меню View (Вид) содержит следующие операции:
 - **Rules** — вызывает программу просмотра правил.
- Пункт меню Options (Сервис) содержит следующие операции:
 - **Plot** — позволяет выбрать один из 8 стилей изображения графика поверхности вывода;
 - **Color Map** — позволяет выбрать одну из 4 цветовых схем изображения графика поверхности вывода;
 - **Always evaluate** — пометка галочкой этого пункта вложенного меню приводит к автоматическому формированию новой поверхности вывода всякий раз, когда вносятся изменения в систему нечеткого вывода, влияющие на форму графика поверхности вывода (такие как изменение количества точек сетки графика). Это значение принято по умолчанию. Чтобы его отменить, необходимо снять галочку у этого пункта вложенного меню, щелкнув на этой позиции меню.

Программа просмотра поверхности вывода не позволяет вносить изменения в систему нечеткого вывода и соответствующую ей структуру FIS. Используя

главное меню программы, пользователь может выбрать входные переменные и соответствующие им горизонтальные оси системы координат (X и Y), а также выходную переменную, которой соответствует вертикальная ось системы координат (Z).

Щелкнув и удерживая левую кнопку мыши на осях графика поверхности, посредством последующего перемещения курсора мыши в том или ином направлении можно изменить угол просмотра поверхности вывода. Если рассматривается система нечеткого вывода с более чем двумя входными переменными, то для не визуализируемых входных переменных следует задать некоторые постоянные значения (константы).

Далее в этой главе описываются конкретные приемы и операции с рассмотренными средствами пакета Fuzzy Logic Toolbox, используя которые, пользователь может разработать и выполнить анализ системы нечеткого вывода в графическом режиме.

12.2. Пример разработки системы нечеткого вывода в интерактивном режиме

В качестве примера разработки системы нечеткого вывода в интерактивном режиме с помощью графических средств пакета Fuzzy Logic Toolbox рассмотрим следующую нечеткую модель, которая входит в число демонстрационных примеров системы MATLAB.

Пример 12.1. "Чаевые в ресторане". Рассмотрим ситуацию в ресторане, при которой, согласно принятым в США традициям, после окончания обслуживания посетителя принято оставлять официанту чаевые. Основываясь на устоявшихся в этой стране обычаях и интуитивных представлениях посетителей ресторанов величина суммы чаевых не является постоянной и зависит, например, от качества обслуживания и качества приготовления заказанных блюд.

Задача состоит в том, чтобы разработать некоторую экспертную систему, которая была бы реализована в виде системы нечеткого вывода и позволяла бы определять величину чаевых на основе субъективных оценок посетителей качества обслуживания и качества приготовления заказанных блюд.

Эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме следующих эвристических правил продукций:

1. Если обслуживание плохое или ужин подгоревший, то чаевые — малые.
2. Если обслуживание хорошее, то чаевые — средние.
3. Если обслуживание отличное или ужин превосходный, то чаевые — щедрые.

Примечание

Приведенные выше правила действительно субъективны и не свободны от критики. В частности, для многих посетителей наших ресторанов может показаться

странным правило 1, согласно которому следует оставлять чаевые в случае плохого обслуживания или подгоревшего ужина, и правило 2, согласно которому следует оставлять средние чаевые даже в случае подгоревшего ужина. Возможно, некоторые из наших читателей сочтут возможным вообще отказаться от оставления чаевых в подобных ситуациях и будут по своему правы. Тем не менее, поскольку данный пример широко используется в литературе для демонстрации возможностей системы MATLAB, он приводится здесь без изменения в своем оригинальном виде.

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем рассматривать 2 нечеткие лингвистические переменные: "качество обслуживания" и "качество приготовления заказанных блюд" (или сокращенно — "качество ужина"), а в качестве выходных параметров — нечеткую лингвистическую переменную "величина чаевых".

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной "качество обслуживания" будем использовать множество $T_1 = \{\text{"плохое"}, \text{"хорошее"}, \text{"отличное"}\}$, а в качестве терм-множества второй лингвистической переменной "качество ужина" будем использовать множество $T_2 = \{\text{"подгоревший"}, \text{"превосходный"}\}$. В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной "величина чаевых" будем использовать множество $T_3 = \{\text{"малые"}, \text{"средние"}, \text{"щедрые"}\}$. При этом каждый из термов первой и второй входной переменной (качество обслуживания и приготовления заказанных блюд) будем оценивать по 10-балльной порядковой шкале, при которой цифре 0 соответствует наихудшая оценка, а цифре 10 — наилучшая оценка. Что касается термов выходной переменной, то будем предполагать, что малые чаевые составляют около 5% от стоимости заказанных блюд, средние чаевые — около 15%, а щедрые чаевые — около 25%.

С учетом сделанных уточнений, рассмотренная субъективная информация о величине чаевых может быть представлена в форме 3-х правил нечетких продукций следующего вида (система нечеткого вывода типа Мамдани):

ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ "качество обслуживания плохое" ИЛИ "ужин подгоревший"

ТО "величина чаевых малая"

ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ "качество обслуживания хорошее"

ТО "величина чаевых средняя"

ПРАВИЛО_3: ЕСЛИ "качество обслуживания отличное" ИЛИ "ужин превосходный"

ТО "величина чаевых щедрая"

Примечание

Заканчивая содержательное описание демонстрационного примера "Чаевые в ресторане", следует отметить, что соответствующая ему система нечеткого вывода хранится во внешнем файле с именем `tipper.fis` в папке `C:\MATLAB6p1\toolbox\fuzzy\fuzdemos`, если система MATLAB установлена на диске C:.

Процесс разработки системы нечеткого вывода в интерактивном режиме для рассмотренного выше примера "Чаевые в ресторане" состоит в выполнении следующей последовательности действий:

1. Вызвать редактор систем нечеткого вывода FIS, для чего в окне команд набрать имя соответствующей функции `fuzzy`. После выполнения этой команды на экране появится графический интерфейс редактора FIS с именем системы нечеткого вывода `Untitled` и типом системы нечеткого вывода (Мамдани), предложенными по умолчанию (см. рис. 12.1).
2. Поскольку в примере 12.1 рассматривается система нечеткого вывода с двумя входами, необходимо добавить в разрабатываемую систему FIS еще одну входную переменную. Для этого следует выполнить команду меню **Edit>Add Variable... >Input**. В результате выполнения этой команды на диаграмме системы нечеткого вывода появится новый желтый прямоугольник с именем второй входной переменной: `input2` (рис. 12.7).

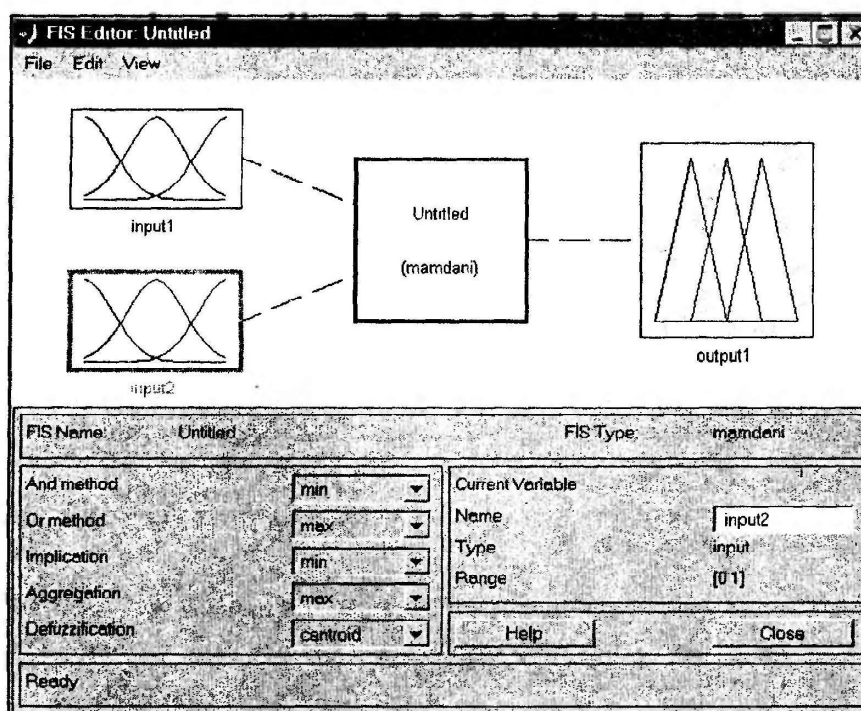


Рис. 12.7. Вид редактора FIS после добавления второй входной переменной

3. Изменим имена входных и выходных переменных, предложенных системой MATLAB по умолчанию. Для этого необходимо выделить прямоугольник с именем соответствующей переменной, выполнив щелчок на его изображении

на диаграмме (стороны выделенного прямоугольника имеют красный цвет). После чего следует набрать новое имя переменной в поле ввода Name в правой части редактора FIS. Результат изменения имен переменных системы нечеткого вывода изображен на рис. 12.8.

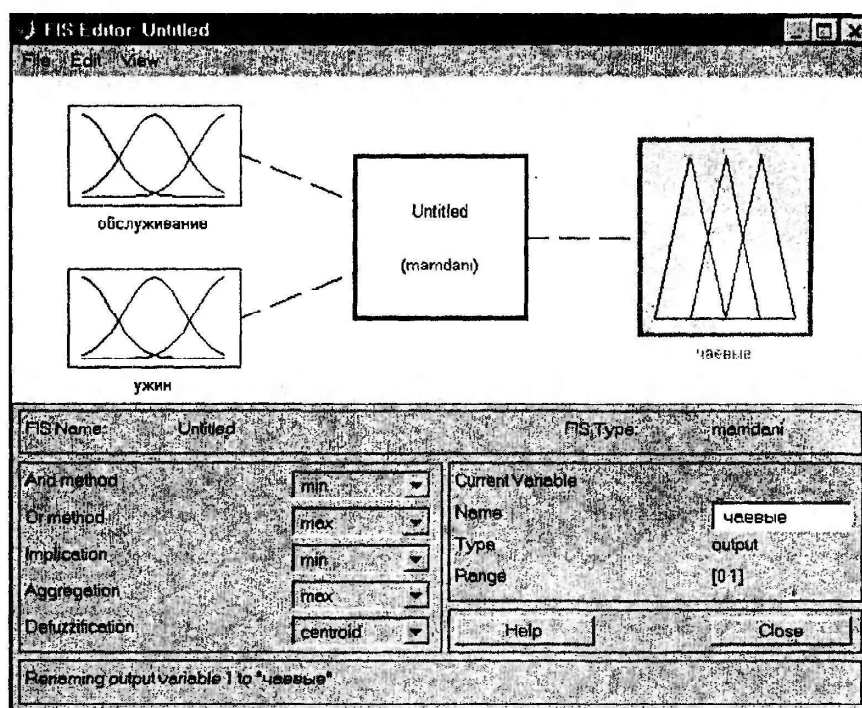


Рис. 12.8. Вид редактора FIS после изменения имен переменных, предложенных системой MATLAB по умолчанию

Примечание

Чтобы избежать проблем с корректным отображением символов кириллицы, следует давать такие имена переменным, которые состоят из одного слова без дополнительных служебных символов. Более того, в версиях MATLAB 6.0/6.1 имеется ряд проблем с кириллицей в названиях переменных и термов (символы "с" и "я"). Как это ни парадоксально, эти проблемы отсутствуют в предыдущей версии MATLAB 5.3.1. Именно по этой причине вторая переменная в примере 12.1 получила название "ужин".

4. Изменим имя системы нечеткого вывода (Untitled), предложенное по умолчанию. Для этого сохраним создаваемую структуру FIS во внешнем файле с именем `mytip.fis`, выполнив команду меню **File>Export>To Disk....** При этом

будет вызвано стандартное диалоговое окно сохранения файла, в котором пользователю предлагается ввести имя соответствующего файла (расширение файла приписывается автоматически). Оставим без изменения предложенные системой MATLAB по умолчанию: метод нечеткого логического И (**And method**) — значение "min", метод нечеткого логического ИЛИ (**Or method**) — значение "max", метод импликации (**Implication**) — значение "min", метод агрегирования (**Aggregation**) — значение "max" и метод дефаззификации (**Defuzzification**) — значение "centroid". Очевидно, эти значения могут быть изменены пользователем.

5. Теперь необходимо определить термы и их функции принадлежности для входных и выходных переменных нашей системы нечеткого вывода. Для этой цели следует воспользоваться редактором функций принадлежности, который может быть вызван одним из следующих способов:

- двойным щелчком на значке прямоугольника с именем соответствующей переменной;

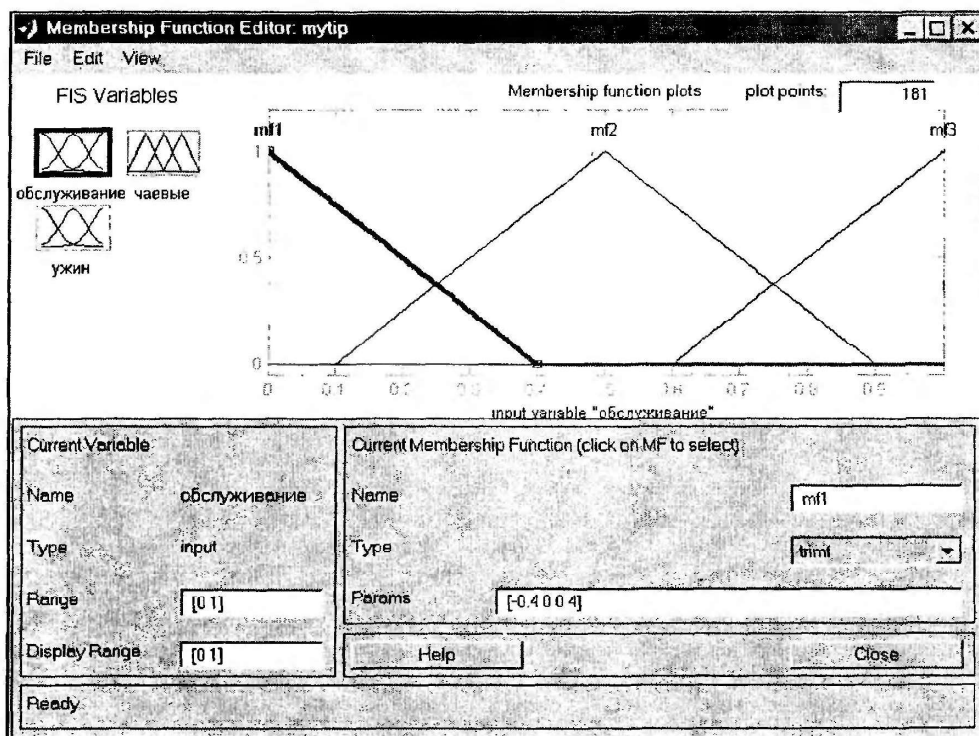


Рис. 12.9. Вид редактора функций принадлежности после его вызова с функциями принадлежности для термов переменной "обслуживание", предложенных системой MATLAB по умолчанию

- командой меню **Edit>Membership Functions...** (предварительно должен быть выделен прямоугольник с именем соответствующей переменной);
- нажатием клавиш **<Ctrl>+<2>** (предварительно также должен быть выделен прямоугольник с именем соответствующей переменной).

После вызова редактора функций принадлежности каждой из переменных по умолчанию предлагается 3 термина с треугольными функциями принадлежности (рис. 12.9).

Вначале изменим диапазон определения значений входных переменных, для чего в полях ввода **Range** и **Display Range** изменим верхнее значение с 1 на 10 (баллов). Аналогично выполняются изменения соответствующих диапазонов для выходной переменной "чаевые", при этом верхнее значение 1 следует заменить на 30 (%). Изменения подтверждаются нажатием на клавишу **<Enter>** на клавиатуре.

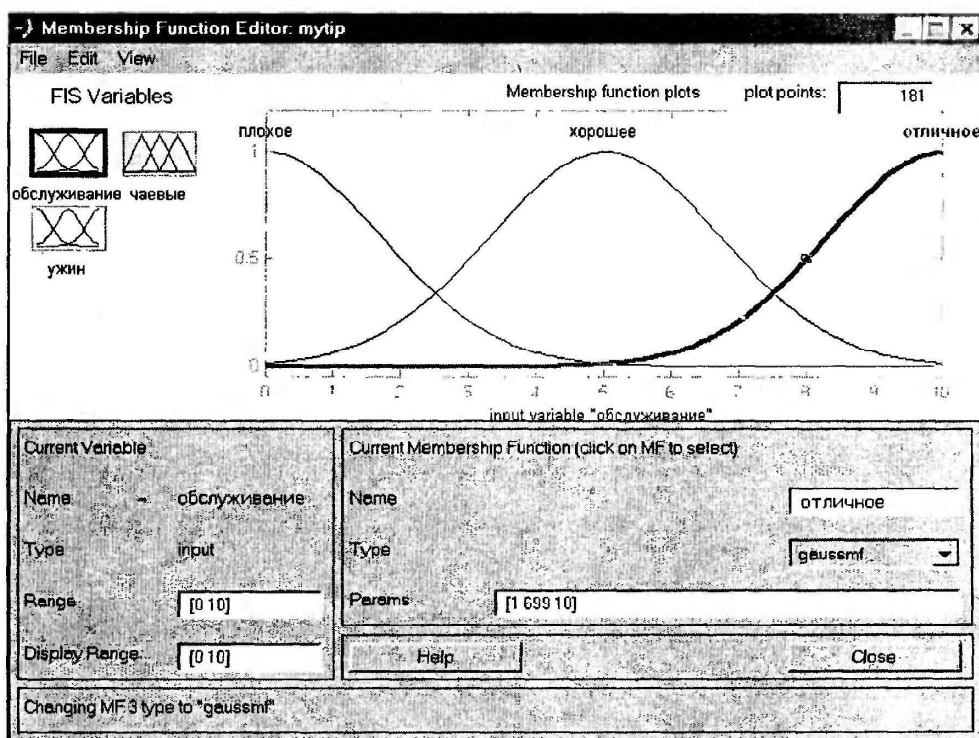


Рис. 12.10. Вид редактора функций принадлежности после изменения названия термов и типа их функций принадлежности для первой входной переменной "обслуживание"

Далее изменим названия термов первой входной переменной "обслуживание", предложенные системой MATLAB по умолчанию (mf1, mf2, mf3) на "плохое", "хорошее", "отличное" соответственно. После чего изменим тип функций принадлежности первой переменной, предложенный по умолчанию, на функции типа Гаусса (gaussmf), выбрав соответствующий пункт в поле **Type**. Параметры вновь заданных функций принадлежности оставим без изменения. Вид редактора функций принадлежности после внесенных изменений для первой из входных переменных изображен на рис. 12.10.

Аналогичным образом изменим названия термов второй входной переменной "ужин" и удалим один из термов с соответствующей функцией принадлежности. Для удаления терма следует выделить удаляемую функцию принадлежности и нажать клавишу <Delete> на клавиатуре. Переход к редактированию переменной осуществляется щелчком на изображении прямоугольника с именем необходимой переменной. Для переменной "ужин" изменим тип функций принадлежности ее термов на трапецевидные функции (trapmf) и их параметры следующим образом: для терма "подгоревший" зададим параметры [0 0 1 3], а для терма "превосходный" — [7 9 10 10].

Вид редактора функций принадлежности после внесенных изменений для второй входной переменной изображен на рис. 12.11.

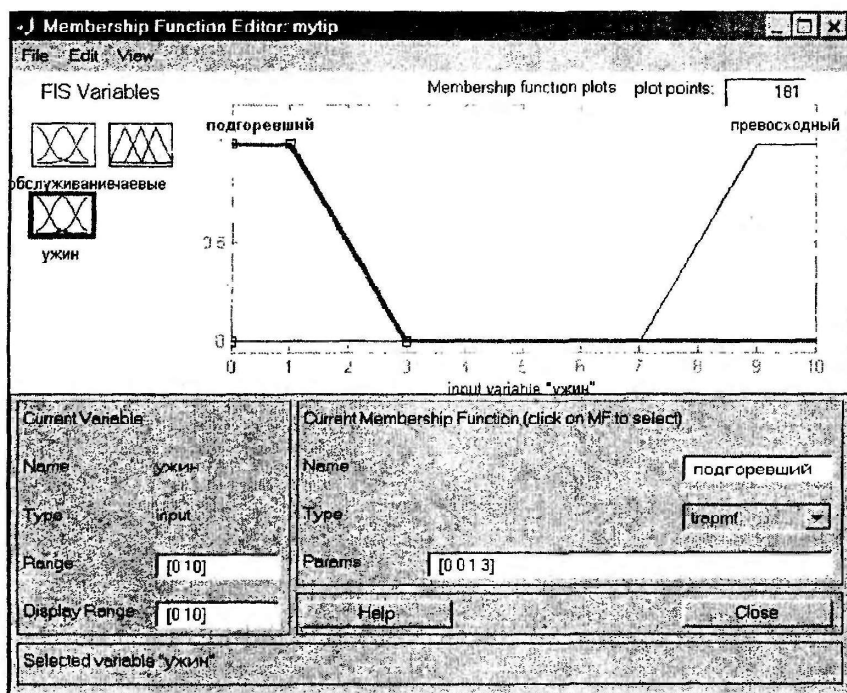


Рис. 12.11. Вид редактора функций принадлежности после изменения названия термов и типа их функций принадлежности для второй входной переменной "ужин"

Наконец, изменим названия термов и параметры функций принадлежности для выходной переменной "чаевые", оставив без изменения треугольный тип функций принадлежности, предложенный системой MATLAB. Для терма "малые" зададим параметры [0 5 10], а для терма "средние" — [10 15 20], для терма "щедрые" — [20 25 30]. Вид редактора функций принадлежности после сделанных изменений для выходной переменной "чаевые" изображен на рис. 12.12.

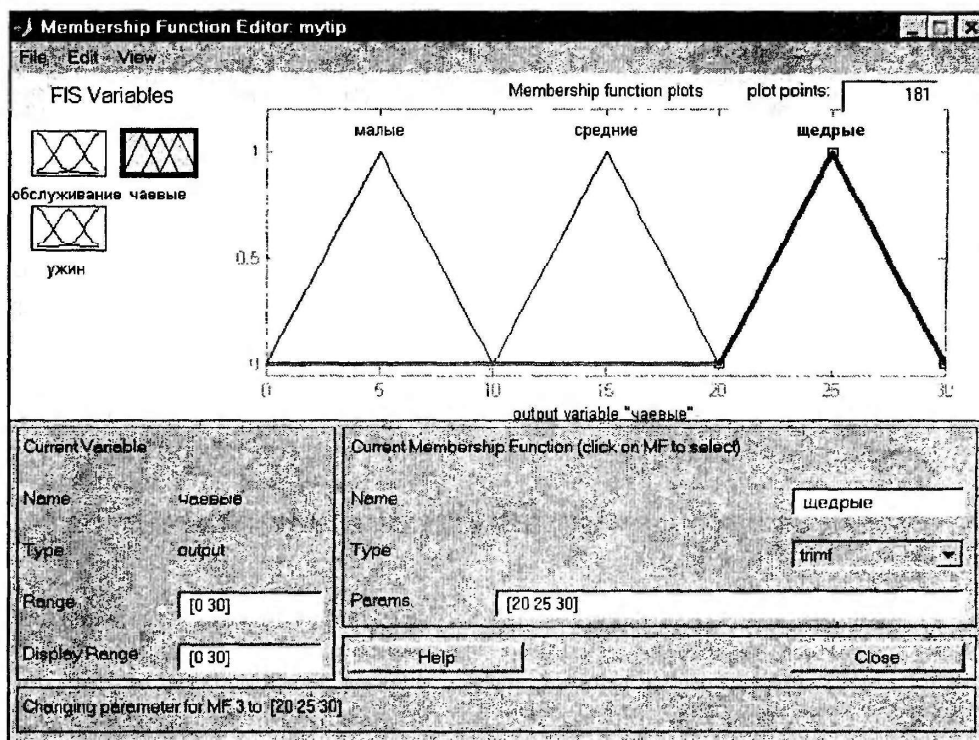


Рис. 12.12. Вид редактора функций принадлежности после изменения названия термов и типа их функций принадлежности для входной переменной "обслуживание"

6. Теперь настала очередь определить правила нечеткого вывода для разрабатываемой экспертной системы. Для этой цели следует воспользоваться редактором правил, который может быть вызван одним из следующих способов:

- двойным щелчком на значке квадрата в центре с именем создаваемой системы нечеткого вывода (myfis);
- командой меню **Edit>Rules...**;
- нажатием клавиш **<Ctrl> + <3>**.

Поскольку первоначально база правил нечеткого вывода пуста, то после вызова редактора правил центральное многострочное поле ввода не содержит

никаких правил. Для их определения следует использовать поля меню и переключатели в нижней части графического интерфейса редактора правил. Для задания первого правила следует оставить выделенные по умолчанию поле с именем термина "плохое" для первой входной переменной, поле с именем термина "подгоревший" для второй входной переменной и поле с именем термина "малые" для выходной переменной. Далее следует переключатель **Connection** поставить в положение **or** (логическое ИЛИ) и нажать на кнопку **Add rule**. После этого первое правило с символами кириллицы отобразится в верхнем окне.

Аналогичным образом задается второе правило, для которого следует выделить имена термов "хорошее", "none" и "средние", и третье правило с именами термов "отличное", "превосходный" и "щедрые" для соответствующих переменных. Вид редактора правил после их определения для разрабатываемой экспертной системы изображен на рис. 12.13.

Заметим, что в поле ввода **Weight** отображается вес каждого правила, который можно изменять в пределах интервала $[0, 1]$ (оставим без изменения его значение по умолчанию, равное 1 для всех правил). Этот же вес правил записывается в круглых скобках в окне правил после каждого из правил нечеткого вывода.

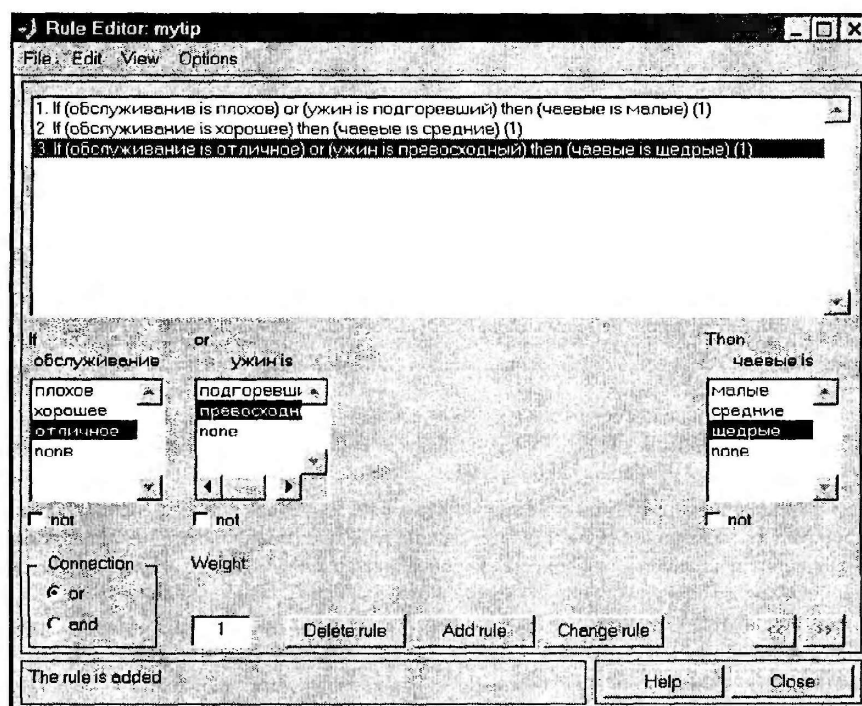


Рис. 12.13. Вид редактора правил нечеткого вывода после их определения

7. После задания правил нечеткого вывода оказывается возможным получить результат нечеткого вывода (значение выходной переменной) для конкретных значений входных переменных. С этой целью необходимо открыть программу просмотра правил одним из следующих способов:

- командой меню **View>Rules** редактора FIS;
- командой меню **View>Rules** редактора функций принадлежности;
- командой меню **View>Rules** редактора правил;
- нажатием клавиш <Ctrl>+<5>.

После вызова программы просмотра правил для нашей системы нечеткого вывода по умолчанию для входных переменных предложены средние значения из интервала их допустимых значений (значения [5 5] в поле ввода **Input**). Это означает, что посетитель ресторана оценивает качество обслуживания в 5 баллов и качество ужина также в 5 баллов. Этим значениям входных переменных соответствует значение чаевых в 15%, которое отображается выше прямоугольников правил в правой части окна программы просмотра.

Изменим значения входных переменных для другого случая, которому соответствует качество обслуживания в 0 баллов ("хуже некуда") и качество ужина в 10 баллов ("лучше не бывает"). Для этого курсор мыши переместим в поле ввода **Input** и введем соответствующие значения входных переменных: [0 10]. Система MATLAB оставит значение чаевых без изменения (15%), однако на диаграмме правил можно заметить результаты выполненных изменений (рис. 12.14).

Поскольку процесс нечеткого моделирования предполагает анализ результатов нечеткого вывода при различных значениях входных переменных с целью установления адекватности разработанной нечеткой модели (в данном случае — экспертной системы), рассмотрим и другие случаи. Предположим, что качество обслуживания оценивается в 10 баллов ("лучше не бывает"), а качество ужина — в 2 балла ("бывает и хуже, но реже"). Введем соответствующие значения переменных аналогичным способом. В этом случае разработанная система нечеткого вывода рекомендует нам оставить чаевые в размере 16.4%.

Если же предположить, что качество обслуживания по-прежнему отличное (10 баллов), а качество ужина несколько улучшилось и оценивается в 3 балла, то величина чаевых существенно изменится и станет равной 24.7%. Более того, дальнейшее увеличение качества ужина не оказывает изменения величины чаевых. В частности, для значений входных переменных [10 10] величина чаевых составит по-прежнему 24.7%. Если некоторым из посетителей такая экспертная система покажется неадекватной (в частности, для случая значений входных переменных [10 10] можно бы оставить максимальные чаевые в 30%), то разработанная система нечеткого вывода потребует модификации. Данная модификация может потребовать изменения существующих правил или добавления новых, а также изменения параметров функций принадлежности

входных и выходной переменных. Более тонкая настройка модели может быть связана с увеличением количества термов для каждой из входных и выходных переменных, что, в свою очередь, приведет к увеличению количества правил в системе нечеткого вывода и общему усложнению модели. Все это предлагается выполнить читателям самостоятельно в качестве упражнения.

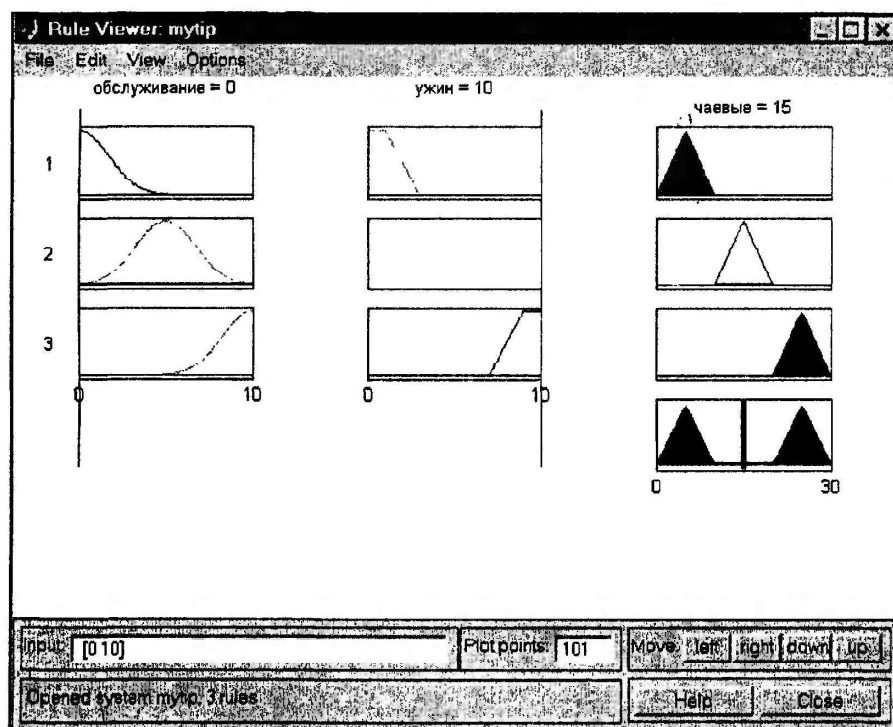


Рис. 12.14. Вид программы просмотра правил нечеткого вывода после изменения значений входных переменных на [0 10]

8. Для окончательного анализа разработанной нечеткой модели может оказаться полезной программа просмотра поверхности нечеткого вывода, которая может быть вызвана одним из следующих способов:
 - командой меню **View>Surface** редактора FIS;
 - командой меню **View>Surface** редактора функций принадлежности;
 - командой меню **View>Surface** редактора правил;
 - командой меню **View>Surface** программы просмотра правил;
 - нажатием клавиш <Ctrl>+<6>.

Графический интерфейс программы просмотра поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели изображен на рис. 12.15.

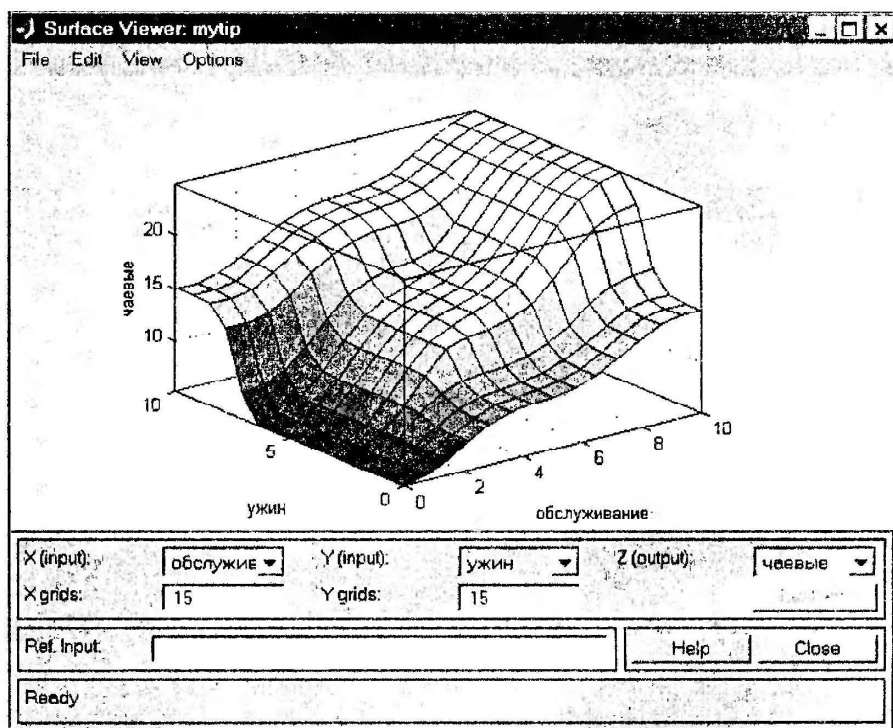


Рис. 12.15. Вид программы просмотра поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели

Эта программа служит для общего анализа адекватности нечеткой модели, позволяя оценить влияние изменения значений входных нечетких переменных на значение одной из выходных нечетких переменных. В случае необходимости можно получить график зависимости выходной переменной от одной из входных переменных. Для этого необходимо выбрать нужную переменную в раскрывающемся списке **X (input)**, а в раскрывающемся списке **Y (input)** выбрать значение -none-. Полученный график зависимости изображен на рис. 12.16.

Полученный график зависимости соответствует среднему значению второй входной переменной ("качество ужина") в 5 баллов. Это значение может быть изменено пользователем, для чего следует ввести нужное значение в поле ввода **Ref. Input:**. Заметим, что значение NaN для первой входной переменной соответствует ее изменению во всем интервале определения [0, 10].

Заканчивая рассмотрение процесса разработки простейшей системы нечеткого вывода в интерактивном режиме, следует заметить, что наиболее эффективным этот способ оказывается для сложных нечетких моделей с большим числом переменных и правил нечеткого вывода. В этом случае задание переменных и функций принадлежности их термов в графическом режиме, а также визуализация правил позволяют существенно уменьшить трудоемкость разработки нечеткой модели, снизить количество возможных ошибок и сократить общее время нечеткого моделирования.

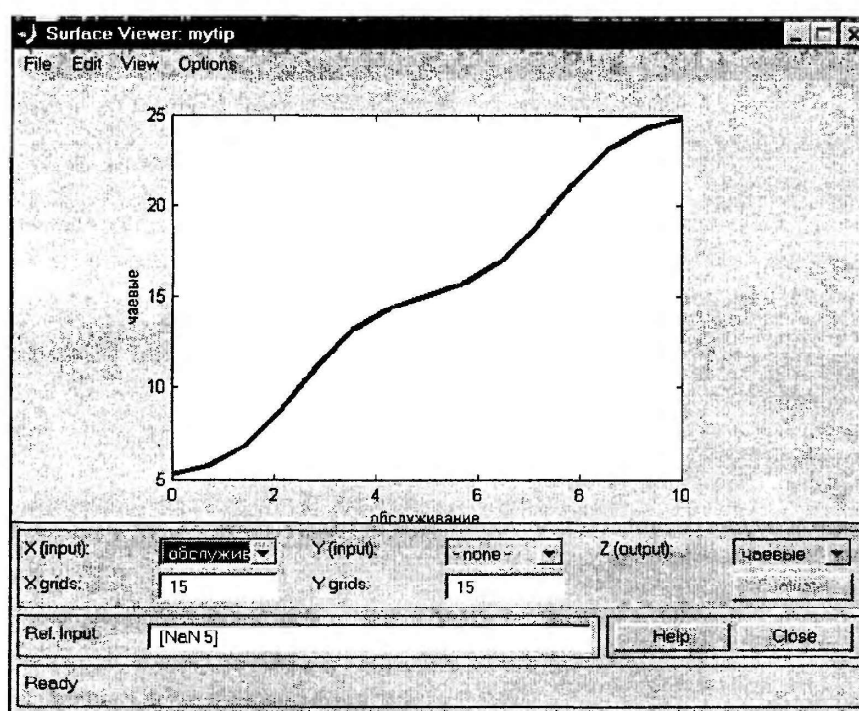


Рис. 12.16. График зависимости выходной переменной от первой из входных переменных для разработанной нечеткой модели

В то же время следует помнить, что количество переменных и правил в нечеткой модели, которые могут быть визуализированы, ограничено. В частности, если число входных переменных превышает 10, то их отображение в соответствующих графических редакторах происходит с искажениями.

Процесс разработки системы нечеткого вывода в режиме команд может дополнить, а в отдельных случаях, и заменить процесс разработки в интерактивном режиме, предоставляя пользователю полный контроль над всеми переменными рабочей области системы MATLAB.

12.3. Процесс разработки системы нечеткого вывода в режиме командной строки

Процесс разработки системы нечеткого вывода в режиме команд реализуется с помощью функций, входящих в состав пакета Fuzzy Logic Toolbox. В системе MATLAB реализованы следующие основные группы функций нечеткой логики:

- 11 встроенных функций принадлежности для термов нечетких переменных (табл. 12.2);
- функции управления структурой данных системы нечеткого вывода FIS (табл. 12.3);
- функции дополнительных методов и взаимодействия с пакетом Simulink (табл. 12.4).

Подробное описание функций пакета Fuzzy Logic Toolbox приводится в *приложении 3*.

Таблица 12.2. Функции принадлежности пакета Fuzzy Logic Toolbox

Функция	Назначение
dsigmf	Разность двух сигмоидальных функций принадлежности
gauss2mf	Функция принадлежности типа двухсторонней кривой Гаусса
gaussmf	Функции принадлежности типа кривой Гаусса
gbellmf	Обобщенная функция принадлежности типа колоколообразной кривой
pimf	Л-образная функция принадлежности
psigmf	Произведение двух сигмоидальных функций принадлежности
smf	S-образная функция принадлежности
sigmf	Сигмоидальная функция принадлежности
trapmf	Трапециевидная функция принадлежности
trimf	Треугольная функция принадлежности
zmf	Z-образная функция принадлежности

Таблица 12.3. Функции управления структурой данных системы нечеткого вывода

Функция	Назначение
addmf	Добавляет функцию принадлежности в систему нечеткого вывода FIS
addrule	Добавляет правило в систему нечеткого вывода FIS

Таблица 12.3 (окончание)

Функция	Назначение
addvar	Добавляет переменную в систему нечеткого вывода FIS
defuzz	Дефаззификация функции принадлежности
evalfis	Выполняет нечеткий вывод в FIS
evalmf	Выполняет оценку функции принадлежности
gensurf	Генерирует поверхность вывода FIS
getfis	Выводит свойства нечеткой системы
mf2mf	Преобразует параметры двух функций принадлежности
newfis	Создает новую систему нечеткого вывода FIS
parsrule	Проверяет правильность правил вывода
plotfis	Отображает структуру входа/выхода системы нечеткого вывода FIS
plotmf	Изображает графики всех функций принадлежности соответствующей лингвистической переменной
readfis	Загружает систему нечеткого вывода FIS с диска
rmmf	Удаляет функцию принадлежности из системы нечеткого вывода FIS
rmvar	Удаляет переменную из системы нечеткого вывода FIS
setfis	Задаёт свойства нечеткой системы
showfis	Отображает обозначения FIS
showrule	Отображает правила системы нечеткого вывода FIS
writefis	Сохраняет систему нечеткого вывода FIS на диске

Таблица 12.4. Функции дополнительных методов

Функция	Назначение
anfis	Программа обучения системы нечеткого вывода FIS типа Сугено (только MEX)
fcm	Программа нахождения кластеров для алгоритма нечетких с-средних FCM
fuzarith	Выполнение операций нечеткой арифметики
fuzblock	Библиотека нечеткой логики пакета Simulink
genfis1	Генерирует матрицу системы нечеткого вывода FIS с использованием "жадного" алгоритма grid

Таблица 12.4 (окончание)

Функция	Назначение
genfis2	Генерирует матрицу системы нечеткого вывода FIS с использованием субтрактивной кластеризации (subtractive clustering)
sffis	S-функция нечеткого вывода для пакета Simulink
subclust	Программа нахождения кластеров для алгоритма субтрактивной кластеризации

При разработке системы нечеткого вывода в режиме команд необходимо знать, что нечеткая модель в рабочей области системы MATLAB представляется в форме так называемой *структуры*.

Примечание

Понятие структуры в общем случае является разновидностью типа данных языка программирования типа C/C++, для записи которого используется специальное ключевое слово `struct`.

В системе MATLAB структура представляет собой тип данных, которая состоит из *полей* и возможно других структур. В свою очередь, поле представляет собой простейший тип данных (число или строка). В рабочей области MATLAB структура представляется в форме массива и обозначается ключевым словом `struct array`.

Каждая система нечеткого вывода в MATLAB представляется в форме специальной структуры, которая может быть графически представлена с использованием нотации языка UML в форме диаграммы классов (рис. 12.17).

Для представления собственно правил в рабочей области MATLAB используется специальный цифровой формат. При этом все правила системы нечеткого вывода представляются в форме матрицы, содержащей одну или несколько строк. Каждой строке соответствует отдельное правило. Если система нечеткого вывода имеет m входных переменных и n выходных переменных, то соответствующая матрица должна иметь в точности $m + n + 2$ столбцов.

Первые m столбцов относятся к входным переменным системы. При этом номер столбца должен соответствовать номеру терма для конкретной входной переменной. Следующие n столбцов относятся к выходным переменным системы вывода. При этом каждый столбец также имеет номер, который должен соответствовать номеру функции принадлежности для выходной переменной.

Столбец с номером $m + n + 1$ содержит вес, с которым применяется данное правило. Вес может принимать любое значение между нулем и единицей. В общем случае целесообразно задавать вес равным 1 (задается по умолчанию).

Столбец с номером $m + n + 2$ содержит число 1, если для подусловий данного правила используется нечеткий оператор AND (нечеткое И). Этот столбец содер-

жит число 2, если для подусловий данного правила используется нечеткий оператор OR (нечеткое ИЛИ).

Так, например, для демонстрационного примера "Чаевые в ресторане", который хранится во внешнем файле с именем `tipper.fis` и может быть загружен в рабочую область командой `readfis('tipper')`, правила в рабочей области MATLAB будут представлены в форме следующей матрицы:

```
[ 1 1 1 1 2
  2 0 2 1 1
  3 2 3 1 2 ]
```

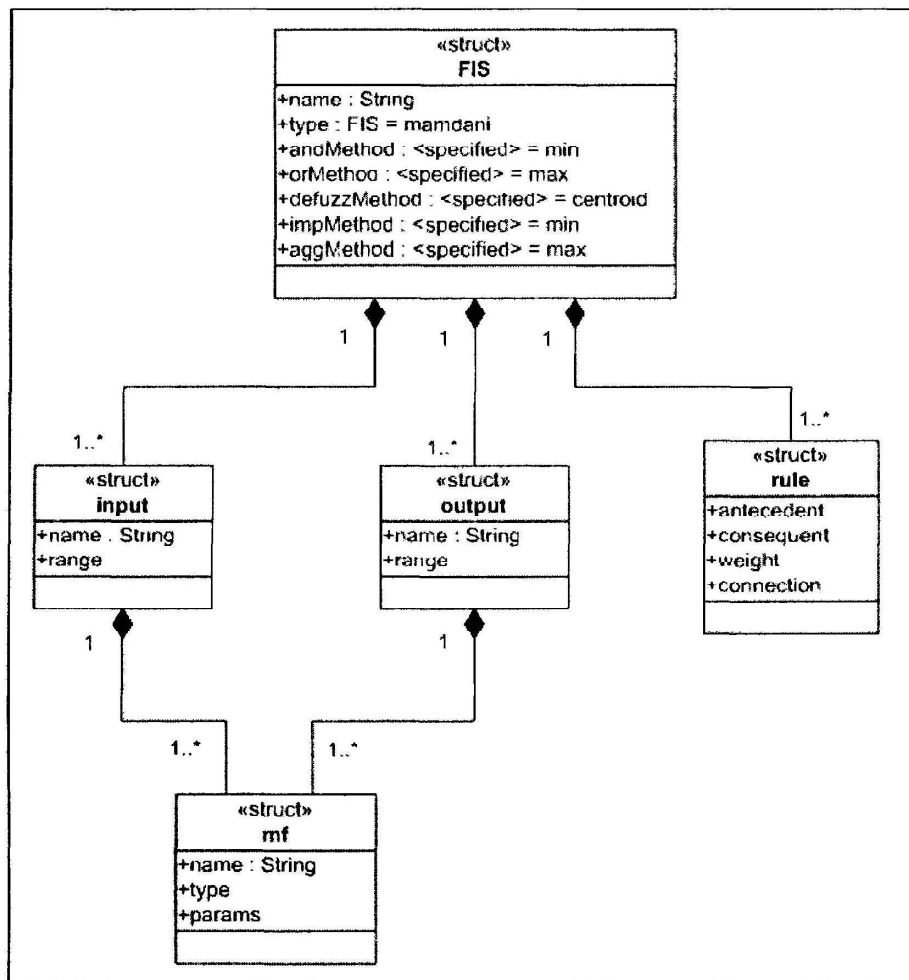


Рис. 12.17. Диаграмма классов структур системы нечеткого вывода MATLAB в нотации языка UML

Для данного примера первая строка этой матрицы может быть интерпретирована в форме следующего правила нечеткого вывода: "Если первая входная переменная принимает значение первого терма (функция принадлежности с номером 1) ИЛИ вторая входная переменная принимает значение первого терма (функция принадлежности с номером 1), то выходная переменная принимает значение первого терма (функция принадлежности с номером 1)". При этом вес данного правила равен 1. Если на месте некоторого терма расположена цифра 0, то это означает, что соответствующая входная переменная не используется в правиле нечеткого вывода с номером строки данной матрицы.

Таким образом, процесс разработки системы нечеткого вывода в командном режиме представляет собой последовательность функций, которые в фиксированном порядке определяют все элементы (поля и вложенные структуры) исходной структуры системы MATLAB. Ниже приводится последовательность команд, которые позволяют разработать систему нечеткого вывода для примера 12.1. При вводе соответствующих функций в окно команд результаты их выполнения можно контролировать либо с помощью окна просмотра рабочей области, либо непосредственно в окне команд, для чего имена всех функций следует набирать без завершающей точки с запятой. Напомним, что последний символ блокирует или запрещает отображение информации в окне команд после выполнения соответствующих функций.

Примечание

При разработке системы нечеткого вывода в режиме команд рекомендуется отказаться от символов кириллицы в записи имен переменных и их термов. В противном случае могут возникнуть проблемы с корректным функционированием системы MATLAB. Следует также заметить, что для задания полей исходной структуры с именем *a* и вложенных в нее структур в качестве разделителя используется принятый в некоторых языках программирования символ точки.

Листинг 12.1. Последовательность функций разработки системы нечеткого вывода для примера 12.1 "Чашечка в ресторане"

```
a=newfis('mytip');
a.input(1).name='service';
a.input(1).range=[0 10];
a.input(1).mf(1).name='poor';
a.input(1).mf(1).type='gaussmf';
a.input(1).mf(1).params=[1.5 0];
a.input(1).mf(2).name='good';
a.input(1).mf(2).type='gaussmf';
a.input(1).mf(2).params=[1.5 5];
a.input(1).mf(3).name='excellent';
a.input(1).mf(3).type='gaussmf';
```

```
a.input(1).mf(3).params=[1.5 10];
a.input(2).name='food';
a.input(2).range=[0 10];
a.input(2).mf(1).name='rancid';
a.input(2).mf(1).type='trapmf';
a.input(2).mf(1).params=[-2 0 1 3];
a.input(2).mf(2).name='delicious';
a.input(2).mf(2).type='trapmf';
a.input(2).mf(2).params=[7 9 10 12];
a.output(1).name='tip';
a.output(1).range=[0 30];
a.output(1).mf(1).name='cheap';
a.output(1).mf(1).type='trimf';
a.output(1).mf(1).params=[0 5 10];
a.output(1).mf(2).name='average';
a.output(1).mf(2).type='trimf';
a.output(1).mf(2).params=[10 15 20];
a.output(1).mf(3).name='generous';
a.output(1).mf(3).type='trimf';
a.output(1).mf(3).params=[20 25 30];
a.rule(1).antecedent=[1 1];
a.rule(1).consequent=[1];
a.rule(1).weight=1;
a.rule(1).connection=2;
a.rule(2).antecedent=[2 0];
a.rule(2).consequent=[2];
a.rule(2).weight=1;
a.rule(2).connection=1;
a.rule(3).antecedent=[3 2];
a.rule(3).consequent=[3];
a.rule(3).weight=1;
a.rule(3).connection=2;
showfis(a)
```

В результате выполнения этой последовательности функций в окне команд отобразится информация о созданной структуре нечеткого вывода (рис. 12.18).

Дальнейший анализ разработанной нечеткой модели можно выполнить либо с использованием графических средств программы просмотра правил описанным ранее способом, либо непосредственно с помощью функции командной строки

evalfis. Так, например, если после задания одним из рассмотренных выше способов структуры нечеткого вывода с именем *a* ввести команду `evalfis([10 0], a)`, то в окне команд получим результат нечеткого вывода для значения первой входной переменной 10 и второй входной переменной 0 в форме: `ans = 15.0000`.

```

13. food
14. OutLabels tip
15. InRange [0 10]
16. [0 10]
17. OutRange [0 30]
18. InMFLabels poor
19. good
20. excellent
21. rancid
22. delicious
23. OutMFLabels cheap
24. average
25. generous
26. InMFTypes gaussmf
27. gaussmf
28. gaussmf
29. trapmf
30. trapmf
31. OutMFTypes trimf
32. trimf
33. trimf
34. InMFParams [1.5 0 0 0]
35. [1.5 5 0 0]
36. [1.5 10 0 0]
37. [-2 0 1 3]
38. [7 9 10 12]
39. OutMFParams [0 5 10 0]
40. [10 15 20 0]
41. [20 25 30 0]
42. Rule Antecedent [1 1]
43. [2 0]
44. [3 2]
42. Rule Consequent 1
43. 2
44. 3
42. Rule Weight 1
43. 1
44. 1
42. Rule Connection 2
43. 1
44. 2
>>
Ready

```

Рис. 12.18. Результат отображения созданной структуры нечеткого вывода в режиме команд

Примечание

Чтобы исключить ввод каждой из функций рассмотренной выше последовательности команд, можно скопировать приведенный листинг в буфер обмена и сохранить его во внешнем файле в папке `C:\MATLAB6p1\toolbox\fuzzy` или в

папке C:\MATLAB6p1\work (если система MATLAB установлена по умолчанию на диске C:) с произвольным именем и расширением m. Для этой цели можно использовать встроенный редактор m-файлов системы MATLAB, вызываемый командой `edit`, либо любой другой ASCII-редактор. Заметим, что текстовый процессор MS Word из пакета MS Office не вполне подходит для этой цели. Если после сохранения созданного подобным образом m-файла на диске ввести его имя в окне команд, то получим результат, аналогичный последовательному вводу этих команд с клавиатуры. В данном случае мы познакомились с одним из простейших приемов программирования в системе MATLAB, особенности которого будут рассмотрены в главе 14.

В данной главе изложены лишь основные приемы разработки систем нечеткого вывода в среде MATLAB. В последующих главах рассматриваются другие особенности и дополнительные возможности, которые предоставляет пользователям система MATLAB. Что касается выбора наиболее удобного режима разработки и исследования нечетких моделей, то оставим этот вопрос на усмотрение читателей.

В заключение следует заметить, что режим команд служил основным в первых версиях системы MATLAB. В последних ее версиях все большее число задач может быть решено с помощью соответствующих графических средств, что представляется более удобным с точки зрения наглядности и трудоемкости.