

Ю. Н. БУГАЙ, канд. техн. наук

СВОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ И БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ. СООБЩЕНИЕ 7

Физическая интерпретация отношений. В сообщении 6 настоящей работы¹ отмечена необходимость и целесообразность рассмотрения устройств, способных улавливать наличие тех или иных отношений между элементами отображаемой ситуации. Будем называть в дальнейшем такие устройства «детекторами отношений». Ниже рассмотрены некоторые способы реализации детекторов отношений, основанные на интерпретации основных компонентов отношения, выделяемых в общепринятом определении математического понятия «отношение» [1, с. 17].

Проще всего перейти к описанию способов реализации указанных детекторов исходя из известной геометрической интерпретации отношений с помощью графов [2, с. 19]. Графу любого отношения легко поставить в соответствие некоторого множества физических элементов, влияющих друг на друга таким образом, так это требуется при интерпретации данного математического отношения. Если в компетенцию любой интерпретации отношения не входит указание на способы, посредством которых возникла структура, соответствующая интерпретируемому отношению, то детекторы отношений предназначены именно для реализации процедур, осуществляющих формирование этой структуры.

Для того чтобы обеспечить формирование соответствующих структур, необходимо в явном виде представить совокупность процессов и операций, протекающих в детекторах конкретных отношений. Анализ свойств различных отношений позволяет предположить, что основное содержание процессов, протекающих в детекторах отношений, должны составлять операции взаимного сравнения свойств отдельных элементов на множестве определения отношения и действия по формированию необходимой связи между элементами по результатам сравнения, отражающей свойства искомого отношения.

Практический интерес представляет установление искомого отношения на множестве объективно существующих элементов заданными свойствами. Вначале рассмотрим такие свойства, которые относятся к классу интенсивностей, т. е. таких свойств, которые могут быть присущи элементам в большей или меньшей степени.

¹ Ю. П. Бугай. Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 6. — Сб. «Проблемы бионики». Вып. 18. Харьков, 1977, с.

На примере детектора, выделяющего в ситуации отношение эквивалентности на множестве объектов, обладающих единственным характеристическим признаком — интенсивностью, рассмотрим один из возможных способов реализации детекторных отношений. Нашей задачей в данном примере является выделение из всего множества элементов подмножеств с равными интенсивностями характеристического свойства.

Поставим в соответствие каждому свойству, присущему в определенной или иной степени элементу множества, некоторый определенный физический сигнал. Множеству величин сигналов поставим взаимно-однозначное соответствие множество определенных состояний некоторых физических элементов. При этом большее значению свойства — интенсивности — ставится в соответствие большее значение сигнала, равным значениям — равные сигналы. Будем предполагать, что указанные физические элементы являются линейными и назовем их R -элементами.

Входы R -элементов, на которые поступают сигналы от объектов анализируемой ситуации, назовем R -входами, отличая их от других входов R -элементов, по которым сигналы могут поступать от других таких же элементов. Входы второго типа будем называть m -входами, или входами взаимосвязи.

Каждое состояние R -входа R -элемента в рассматриваемой физической интерпретации абстрактного отношения ставится в соответствие одному определенному абстрактному математическому элементу. R -элемент формирует выходные сигналы, поступающие как на его «собственный» выход, R -выход, так и на выходные m -выходы, предназначенные для взаимосвязи с другими R -элементами через их m -входы. Рассматриваемое нами свойство интенсивности может, например, соответствовать яркости того элемента реального изображения, наблюдаемого субъектом спроектированного на матрицу фотоприемников, на экран передающей телевизионной трубки и т. п.

Другим компонентом содержания отношения, важным для рассматриваемой интерпретации, являются свойства отношений. Свойства математических отношений есть результат абстрагирования от особенностей взаимодействия и взаимосвязи объектов материального мира, хотя на высших уровнях абстракции связь со свойствами взаимодействия непосредственно может делаться пренебрежительно. Конечно, далеко не всякая связь (отношение реальных объектов) может быть сведена к соответствующему физическому взаимодействию. Но любая связь и отношение могут быть интерпретированы в виде некоторого физического взаимодействия или связи, как мы позволяем себе, например, геометрической интерпретации отношений с помощью графов, соединять два узла (элементы сколь угодно сложной природы некоторой направленной кривой. Главное, что нужно обеспечить в интерпретации свойств отношений, — это наличие соответст-

между свойствами отношения и свойствами интерпретирующего взаимодействия.

Рассмотрим подробнее структуру отдельного R -элемента и особенности взаимосвязи таких элементов на их множестве. Каждый R -элемент, помимо одного R -входа и R -выхода, имеет столько m -входов и m -выходов, сколько всего предполагается использовать интерпретирующих R -элементов.

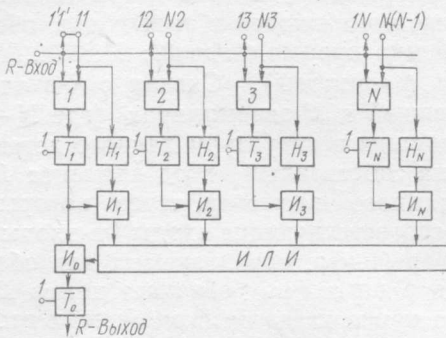
Функциональная схема отдельного R -элемента, используемого в детекторах различных отношений, схематически изображена на рисунке. Каждый элемент, кроме R -входа (рецепторного входа), имеет определенное количество m -входов и m -выходов, обозначенных на схеме соответственно парами цифр $11; 21; 31 \dots N1$ (m -входы) и $11; 12; 13; \dots, 1N$ (m -выходы). Сигнал с R -входа данного элемента, представленный в N экземплярах (где N — полное число R -элементов, входящих в структуру данного детектора отношений), поступает на собственный вход элемента 11 и на m -выходы $12; 13; \dots, 1N$ данного элемента, через которые сигнал с R -входа попадает на соответствующие входы (m -входы) всех остальных элементов. В паре цифр, используемых для обозначения m -входов элемента, первая цифра означает номер R -элемента, с которого сигнал поступил на данный элемент, а вторая — номер этого элемента.

Цифрами $1, 2, 3, \dots, N$ на схеме R -элемента обозначены схемы сравнения, на выходах которых формируется нулевой или единичный сигнал в зависимости от того, равны или не равны сравниваемые сигналы, поступающие на R -входы различных элементов, и в зависимости от типа детектора отношений. С выходов схем сравнения сигналы результата сравнения поступают на нулевые потенциальные входы 2 триггеров $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$, которые в исходном состоянии имеют единичный сигнал на выходе по специальному сигналу, поступающему на входы триггеров 1, переводящему их в это состояние. По нулевому результату схем сравнения соответствующие триггеры переводятся в нулевое положение, при ненулевом результате — соответствующие триггеры не изменяют своего единичного состояния.

Сигналы с триггеров поступают на двухвходовые схемы совпадения $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$ по входам 1. По входам 2 этих же схем совпадения сигналы с m -входов через схемы нормировки сигналов на единицу, обозначенные на рисунке через $H_1, H_2, H_3, \dots, H_N$, попадают на выход схем совпадения и далее на N -входовую схему «или». С выхода схемы «или» сигнал поступает на схему совпадения « I_0 » данного R -элемента по ее входу 2. Выходной триггер T_0 , имеющий в исходном состоянии нулевой сигнал на выходе, переводится в единичное состояние выходным сигналом со схем совпадения I_0 , если на входе данного элемента (на R -входе) есть ненулевой сигнал (для рефлексивного отношения), или по сигналам, поступившим по m -входам от других R -элементов.

Рассмотрим множество R -элементов и упорядочим их R -входы в виде прямоугольной матрицы так, что положение каждого R_{ih} -входа определяется номером строки i и номером столбца матрицы. Множество R -элементов, у которых все R -входы и R -выходы упорядочены соответственно в виде матрицы R -входов и матрицы R -выходов, будем называть R -матрицей отношения или кратко R -матрицей.

Описание структуры R -элементов и R -матрицы продолжим на примере конкретного детектора отношения равенства, или R -матрицы равенства.



на самого себя. Этой особенности соответствует безусловное попадание входного сигнала R -элемента с его R -входа на собственный R -выход через связь между собственным m -выходом I' и собственным m -входом I (см. рисунок). В детекторе R -матрицы нереклексивного отношения эта связь разрывается и попадание собственного сигнала с R -входа на R -выход исключается.

Свойству симметричности отношения равенства поставим в соответствие такое состояние R -матрицы равенства, в котором R -элементы с равными входными сигналами на R -входах соединяются двухсторонними связями по m -входам. Свойству транзитивности отношения равенства поставим в соответствие наличие всех непосредственных связей между m -входами элементов с равными сигналами на R -входах. Отметим, что в математике вообще не рассматриваются косвенные отношения, т. е. такие связи элементов, при которых один элемент влияет на другой через третий так как это свойство имеет смысл учитывать только при использовании представления о состоянии элемента и возможности его изменения. Но применительно к абстрактным математическим элементам множества такие представления обычно не используются.

Учитывая, что в математике отношением называют подмножество пар из всего множества пар декартового произведения, будем рассматривать это положение как утверждение о потенци

альной возможности указания этого подмножества. В противном случае отношение не может считаться заданным. Для того чтобы в R -матрице существовала возможность одновременного выделения подмножества только входных сигналов, равных данному, в схеме используется блок «или», через который сигналы от других R -элементов с их m -выходов поступают на R -выход данного элемента, если на схеме совпадения H_0 по входу I имеется подпор от собственного входного сигнала данного R -элемента.

Включение схемы «или» в структуру R -элемента позволяет с помощью специального стробирующего импульса, поданного на R -вход любого интересующего нас элемента, выяснить, с какими другими данным интерпретирующий R -элемент находится в искомом отношении. По сформировавшимся связям стробирующий импульс попадает на выходы всех R -элементов, имитирующих абстрактные элементы, находящиеся в искомом отношении.

Под результатом работы каждой конкретной R -матрицы, используемой в качестве детектора отношения, будем понимать следующее. В результате переключения связей между m -входами и m -выходами R -элементов под действием входных сигналов формируется такая структура из R -элементов, в которой сигнал опроса, посланный на вход (R -вход) любого интересующего нас R -элемента, приводит к одновременному появлению выходного сигнала на R -выходах только тех интерпретирующих элементов, которые находятся с опрашиваемым в искомом отношении.

Так, если R -матрица используется в качестве детектора отношения равенства, то при подаче сигнала опроса (которого импульса, способного изменить состояние триггера по импульсному входу) на любой интересующий нас элемент по R -входу на R -выходах данного и всех других R -элементов с такими же входными сигналами на R -выходах появляется выходной сигнал (стандартный или такой же, как и на входе), т. е. актуализируется одно из подмножеств равных входных сигналов. При опросе любого другого R -элемента с другим сигналом на R -входе реализуется подмножество других входных сигналов, равных сигналу данного. Последовательным стробированием всех без исключения элементов матрицы по R -входам можно осуществить однократную без повторения) актуализацию последовательно всех подмножеств равных сигналов, имевшихся на входах R -матрицы в некоторой ситуации.

В исходном состоянии матрицы, на входы которой еще не поданы сигналы (или, что все равно, поданы нулевые входные сигналы), все элементы связаны со всеми, что обеспечивает попадание импульса опроса, посланного на R -вход любого R -элемента, на выходы всех остальных R -элементов. Полный цикл работы матрицы состоит из нескольких тактов. В первом такте R -матрицы равенства осуществляется установка триггеров $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$ в единичное состояние и триггеров T_0 всех элементов по входам I в нулевое состояние. Во втором такте на все R -вхо-

ды матрицы подаются сигналы, соответствующие свойствам элементов исследуемой ситуации. В этом такте осуществляется формирование связей между m -входами и m -выходами всех R -элементов. Формирование связей происходит путем исключения из всех связей тех, которые не соответствуют свойствам интерпретируемого отношения. В геометрической интерпретации отношения это соответствует исключению из графа полного отношения тех ветвей, которые являются лишними для интерпретируемого отношения.

В R -матрице равенства формирование связей завершается тем, что m -входы и m -выходы элементов с равными входными сигналами остаются связанными, а между элементами с разными входными сигналами (по R -входам) эти связи разрываются. Отметим, что все R -элементы по-прежнему получают сигналы о состоянии R -входов всех остальных R -элементов, но в элементах с неравными входными сигналами взаимное проникновение сигналов на R -выходы друг друга блокируется по ненулевому сигналу сравнения схем сравнения $1, 2, 3, \dots, N$ в каждом элементе. Ненулевой сигнал с этих схем сравнения переводит в нулевое состояние соответствующий триггер T_i , сигнал с которого блокирует соответствующую схему совпадения данного R -элемента, и сигнал от R -элемента с другим входным сигналом не попадает через вход 2 этой схемы совпадения на ее выход.

В алгебраической интерпретации разрыву связей между R -элементами соответствует появление нулевых элементов в матрице инцидентности. Единичным элементам матрицы инцидентности соответствуют оставшиеся связи между R -элементами.

Во втором такте формирование связей завершается. В третьем такте осуществляется последовательный опрос всех элементов R -матрицы по их R -входам подачи на эти входы коротких импульсов, способных через открытые схемы совпадения I_1 и I_0 перевести триггеры T_0 всех R -элементов в единичное состояние. По сигналу опроса, поданному на R -вход первого из опрашиваемых R -элементов, в единичное состояние переходят T_0 -триггеры тех R -элементов, на R -входах которых имеются такие же сигналы, как и у первого элемента. По заднему фронту импульса спроса осуществляется «гашение» триггеров T_0 и T_1 всех связанных с первым из R -элементов.

После актуализации на R -выходах подмножества входных сигналов, равных сигналу на входе первого стробируемого элемента, осуществляется стробирование второго R -элемента по R -входу. Если сигнал на входе второго R -элемента отличается от сигнала на входе первого, то на R -выходе второго R -элемента появляется выходной сигнал и на всех других R -выходах элементов с такими же входными сигналами, как и у второго, появляются выходные сигналы. При этом одновременно актуализуется другое подмножество равных сигналов и т. д. Повторная актуализация входных сигналов даже при наличии стробирующего

импульса на R -входе R -элемента блокируется гашением триггеров T_1 , если ранее данный R -элемент уже включался в одно из подмножеств равных сигналов.

Выше рассмотрена интерпретирующая R -матрица и соответствующий детектор отношения эквивалентности на примере R -матрицы равенства. Отношения эквивалентности рефлексивны, симметричны и транзитивны. Покажем, что предлагаемый R -элемент и матрицы из таких элементов могут быть использованы для интерпретации любых антирефлексивных и антисимметричных отношений.

Как уже выше было отмечено, для использования R -элемента, представленного на рисунке, в качестве элемента структуры R -матрицы антирефлексивного отношения в нем достаточно разомкнуть внутреннюю связь между собственным m -выходом $1'1'$ и собственным m -входом 11 . Это соответствует тому, что элемент не может находиться к самому себе в искомом данным детектором отношении. Примерами антирефлексивных отношений могут быть отношения строгого порядка, отношения различия, быть перпендикулярным и т. п.

Работа R -матрицы, используемой в качестве детектора антирефлексивного и симметричного отношения, отличается от рассмотренной только тем, что при подаче сигнала опроса на какой-нибудь R -элемент по его R -входу этот сигнал не достигает собственного выходного триггера стробируемого элемента, но попадает на выходные триггеры T_0 остальных элементов, находящихся с данным в искомом отношении. Так, для отношения «быть больше» при стробировании данного элемента в единичное состояние переходят выходные триггеры T_0 только у тех элементов, у которых сигналы на R -входах меньше, чем у стробируемого элемента. Собственный выходной триггер стробируемого элемента остается в нулевом состоянии, так как схема совпадения I_0 не имеет «подпора» по входу 2 из-за отсутствия внутреннего входного сигнала по входу 11 (см. рисунок).

Отношение «быть больше» — антисимметрично. Этому свойству отношений в R -матрицах ставится в соответствие односторонняя связь элементов. Так, при детектировании множества сигналов с целью выявить то, больше каких других является сигнал на R -входе данного R -элемента, по ненулевому результату сравнения в блоках сравнения $2, 3, 4, \dots, N$ формируется односторонняя связь от элемента с большим входным сигналом на элементы с меньшими входными сигналами (например, сравнение пороговое и в качестве порога используется входной сигнал, поступающий по R -входу данного элемента).

Прежде чем переходить к рассмотрению возможных способов выделения подмножеств элементов анализируемой ситуации, находящихся в других искомым отношениях, подведем предварительный итог полученных результатов.

1. Выше описаны варианты физически реализуемых систем способных устанавливать факт наличия различных отношений между элементами реальных ситуаций, обладающими свойствами-интенсивностями.

2. Важнейшей исходной операцией, определяющей характер формирования связей множества элементов, интерпретирующего множество абстрактных элементов, находящихся в отношении является операция сравнения. Для традиционно рассматриваемых бинарных отношений на множестве элементов достаточно использовать четыре типа операций сравнения для двух сравниваемых интенсивностей: первая интенсивность равна второй по величине, не равна второй, больше второй, меньше второй.

3. Выбор одной из возможных операций сравнения в детекторах различных отношений определяется свойствами различных отношений.

4. Детекторы отношений могут быть рассмотрены как автоматические устройства, осуществляющие физическую интерпретацию графов соответствующих отношений, если указано, что соответствует в этих детекторах абстрактным элементам и их характеристическим признакам.

5. Предлагаемые детекторы отношений являются, с нашей точки зрения, необходимыми компонентами устройств, осуществляющих автоматический анализ реальных ситуаций и построение моделей этих ситуаций в терминах элементов, обладающих свойствами и связанными различными отношениями.

Более подробный анализ разновидностей детекторов отношений, их функциональных возможностей и использования в устройствах автоматического построения моделей реальных ситуаций будет осуществлен после более детального рассмотрения класса отношений, порождаемых комбинациями ограниченного набора известных свойств отношений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А. И. Алгебраические системы. М., «Наука», 1970. 392 с.
2. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. М., «Наука», 1970. 254 с.

Поступила 10 января 1976 г.