

УДК 681.51

Н. И. ЮСУПОВА, Д. Н. БАЖИН

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТА НА ПЕРЕКРЕСТКАХ

Рассматривается подход к управлению потоком транспорта в условиях перекрестка произвольной конфигурации с применением нейронной сети. Формулируются требования к нейронной сети (НС), осуществляется выбор типа и структуры НС, предлагаются изменения в структуре системы управления с учетом специфики НС, формулируются принципы обучения НС для задачи управления потоком транспорта, алгоритмы управления с использованием НС. Рассматривается пример реализации системы управления потоком транспорта на основе НС для участка дорожной сети, состоящей из нескольких перекрестков. *Дорожная сеть; нейрон; нейронная сеть; обучение; перекресток; поток транспорта*

ВВЕДЕНИЕ

Значительное увеличение количества автомобильного транспорта при относительно медленном расширении дорожной сети вызывает в последнее время значительные потери времени в автомобильных пробках, что приводит к значительным потерям времени, а в конечном итоге денег. Даже в тех городах, при проектировании которых учитывался нарастающий поток транспорта (например, Тольятти), уже возникают затруднения, связанные с большим потоком транспорта.

В связи с этим возникает задача сокращения простоя машин в пробках. Очевидно, что без расширения и модернизации дорожной сети полноценное дорожное движение со временем становится невозможным, однако этот путь является весьма медленным. С точки зрения эффективности наиболее целесообразной выглядит разработка системы управления светофором, обеспечивающей наилучшее распределение потоков транспорта.

В данной статье рассматривается подход к управлению потоком транспорта в условиях перекрестка произвольной конфигурации с применением нейронной сети и его программная реализация.

1. ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПОТОКОМ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕКРЕСТКА ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ОСНОВЕ НС

Предполагается рассматривать отдельный перекресток без учета взаимодействия различных перекрестков в рамках единой до-

рожной сети. Такая постановка задачи позволяет построить относительно простую систему управления с небольшим числом используемых переменных и управляющих воздействий. Такой подход позволяет регулировать длительность сигналов светофора в зависимости от потока транспорта, поступающего на перекресток. При традиционном подходе с фиксированными интервалами при изменении потоков транспорта никаких изменений в режиме работы светофоров, как правило, не происходит, или эти изменения весьма незначительны – например, так называемый дежурный режим в ночное время.

Для реализации управления на основе НС необходимо на входы ПС подать значения входных переменных, после чего на выходе получить управляющие сигналы для светофоров. Преимуществами применения НС являются относительная простота построения системы управления потоком транспорта и высокая надежность. Простота построения системы управления объясняется тем, что используются однотипные устройства преобразования информации – нейроны, структура которых описывается очень простыми соотношениями. Кроме того, сам процесс функционирования НС описывается достаточно простыми соотношениями [1–3].

Структурная схема нейрона приведена на рис. 1. Выходной сигнал одного нейрона описывается следующей формулой:

$$S = F \left(\sum_{i=1}^n w_i \right), \quad (1)$$

где F — функция активации нейрона; w_i — вес связи данного нейрона с i -м нейроном предыдущего слоя.

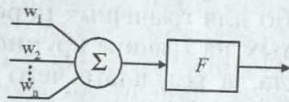


Рис. 1. Структурная схема одного нейрона

В качестве функции активации в данном случае предлагается использовать сигмоидную функцию, которая описывается следующей формулой:

$$F = \frac{1}{1 + e^{-x}}, \quad (2)$$

где x — аргумент, определяется как суммарный уровень сигнала на всех входах нейрона; F — уровень активации нейрона.

Выбор такой функции обоснован тем, что на выходе необходимо получать сигнал от 0 до 1, соответствующий доле зеленого сигнала в полном цикле работы светофора.

К недостаткам системы управления потоком транспорта на основе НС можно отнести необходимость обучения НС перед практическим использованием. При этом в зависимости от сложности управляемой системы перекрестков время обучения может быть весьма значительным.

Рассмотрим следующий подход к формализации задачи.

Пусть имеется дорожная сеть, состоящая из участков дорог и перекрестков. Такую сеть можно представить в виде графа, вершинами которого являются перекрестки, а дугами — участки дорог между перекрестками. Пример участка дорожной сети при ее представлении в виде графа приведен на рис. 2.

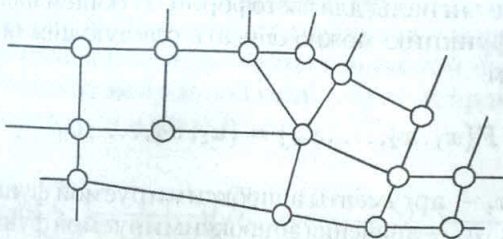


Рис. 2. Пример участка дорожной сети, представляемый в виде графа

Так как существуют дороги с односторонним движением, то дуги графа должны быть направленными. В этом случае дорожная сеть описывается ориентированным графом. Дороги с двусторонним движением предлагаются описывать в виде двух встречно направленных дуг. С учетом направления дорог пример

участка дорожной сети будет выглядеть, как представлено на рис. 3.

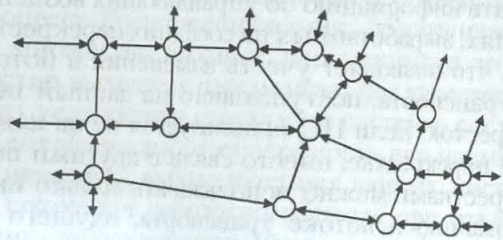


Рис. 3. Пример участка дорожной сети, представляемый в виде ориентированного графа

Для каждого перекрестка и каждой дороги введем свои характеристики. Для перекрестка это будут следующие характеристики: число пересекающихся дорог D ; допустимые направления движения транспорта через перекресток W .

Для дороги предлагаются следующие характеристики: ширина дороги H ; число полос движения n ; качество покрытия Q ; максимальная разрешенная скорость движения V_{max} .

Для реализации управления в рамках взаимосвязанного набора перекрестков необходима информация о потоках транспорта, движущихся с соседних перекрестков. Для нейронной сети входная информация поступает на входы непосредственно в виде данных о количестве машин, стоящих перед перекрестком или движущихся с соседнего перекрестка. В связи с этим предлагается следующая схема управления.

Каждый перекресток управляется своей нейронной сетью. Часть входов НС предназначена для ввода информации от других НС, расположенных на соседних перекрестках. Это обеспечивает взаимодействие различных НС в рамках единой системы управления. Структура такой схемы взаимодействия приведена на рис. 4.

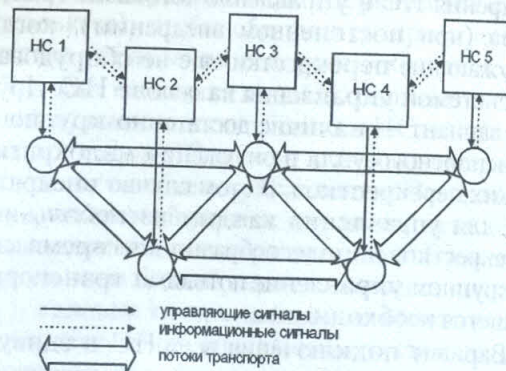


Рис. 4. Взаимодействие различных НС в рамках единой системы управления

При использовании такой схемы взаимодействия каждая НС имеет возможность получать информацию об управляющих воздействиях, выработанных на соседних перекрестках, что позволяет учесть изменения в потоке транспорта, поступающего на данный перекресток. Если НС используется не на каждом перекрестке, вместо связи с другими перекрестками можно использовать только информацию о потоке транспорта, идущего с соседнего перекрестка. Отсюда следуют различные варианты включения НС: отдельная НС на одном перекрестке; взаимосвязь всех НС; смешанный вариант, включающий как управляемые традиционно перекрестки, так и управляемые НС перекрестки. Возможные варианты включения НС с учетом сделанного предположения приведены на рис. 5.

Каждый вариант подключения может использоваться в различных случаях. Рассмотрим возможные применения каждого из вариантов.

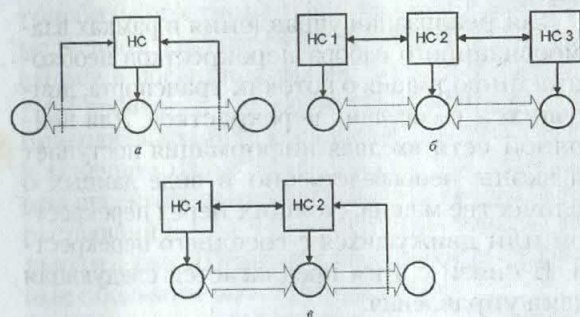


Рис. 5. Возможные варианты включения НС в дорожную сеть: а — соседние перекрестки не управляются нейронной сетью; б — соседние перекрестки управляются нейронной сетью; в — смешанный вариант

Вариант подключения отдельной НС используется, например, на начальном этапе внедрения НС в управление потоками транспорта (при постепенном внедрении), когда окружающие перекрестки еще не оборудованы системой управления на основе НС. Другой вариант — наличие достаточно крупного транспортного узла в окружении малокритических перекрестков. В этом случае внедрять НС для управления каждым из небольших перекрестков нецелесообразно, в то время как на крупном управлении потоками транспорта является необходимым.

Вариант подключения всех НС в единую сеть применяется при управлении потоками транспорта в дорожной сети, состоящей из множества крупных транспортных узлов —

перекрестков с высокой интенсивностью движения.

Смешанный вариант подключения применяется либо для граничных перекрестков, расположенных на границе крупного транспортного узла, в результате чего часть соседних перекрестков управляется НС, другая часть — не управляется. На практике этот вариант также может возникнуть в случае отказа одной из систем управления потоком транспорта на каком-либо перекрестке. Для сохранения способности к функционированию системы управления на других перекрестках предлагается связать НС и с системой управления на соседнем перекрестке, и с источником информации о потоке транспорта с соседнего перекрестка, не зависящим от системы управления. При таком подключении даже при отказе системы управления на одном из перекрестков сохраняется источник данных о потоке транспорта с соседнего перекрестка.

2. ВЫБОР ВИДА И СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Существуют различные типы НС, отличающиеся своей структурой, особенностями реализации и областью применения. Каждый тип НС, как правило, используется в некоторой специфической области.

Нейронные сети применяются для решения следующих классов задач: кластеризации; аппроксимации функций; распознавания образов.

В данном случае НС применяется для решения задачи аппроксимации функции. При этом аргументом функции являются данные о потоке транспорта, а функцией — управляющие сигналы для светофоров. В общем виде эту функцию можно описать следующим образом:

$$F\{x_1, x_2, \dots, x_m\} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\},$$

где x_i — аргументы аппроксимируемой функции; u_i — значения аппроксимируемой функции.

Рассмотрим различные типы НС в приложении к задаче управления потоком транспорта. Наиболее широко распространены следующие типы нейронных сетей: сеть типа «многослойный перцептрон»; сеть на основе радиальных базисных функций; сеть Хопфилда; сеть Кохонена. Рассмотрим каждый из перечисленных типов нейронной сети и его особенности.

Сеть типа «многослойный персептрон» в настоящее время является наиболее универсальным типом нейронной сети. Однако это создает некоторые трудности при реализации: как и любое универсальное решение, оно требует введения допущений при описании задачи. Кроме того, необходимо сформулировать критерии выбора числа слоев НС и числа нейронов в каждом слое для решаемой задачи.

Сеть на основе базисных радиальных функций наиболее эффективна при небольшом числе входных параметров и знании априорной информации о величине (уровнях) входных сигналов. В системе управления транспортом, где число входных переменных исчисляется десятками, а информация об уровнях входных сигналов в общем случае недоступна, такая сеть малоприменима.

Сеть Хопфилда чаще всего применяется для распознавания образов. Ее отличительной особенностью является отсутствие механизма самообучения, что создает определенные трудности при использовании ее в системе управления транспортом.

Наилучшей областью применения сети Кохонена является распознавание образов. Это связано с комбинацией выходных сигналов, получаемой в результате работы НС Кохонена. Для системы управления транспортом, где требуется широкий диапазон различных выходных сигналов, этого явно недостаточно.

Для реализации системы управления предлагается НС типа «многослойный персептрон». Такой выбор обусловлен простотой реализации, хорошей изученностью методов построения и обучения таких НС. Указанные недостатки данного типа НС не являются критическими для рассматриваемой задачи. Структура нейронной сети приведена на рис. 6. При этом используются следующие обозначения: I_i — вход нейронной сети; O_j — выход нейронной сети; N_{ij} — нейрон i , находящийся в слое j .

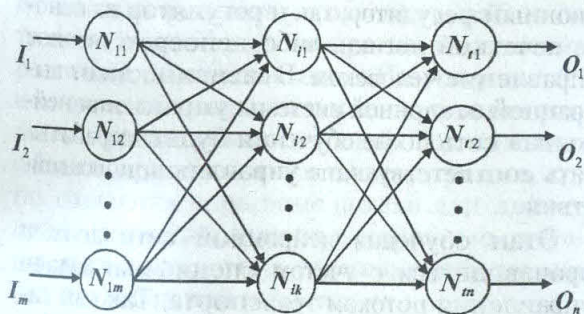


Рис. 6. Структура НС типа «многослойный персептрон»

Преимуществами НС типа «многослойный персептрон» для рассматриваемой задачи являются: возможность дообучения в процессе функционирования; обеспечивается множество входных переменных и множество выходных переменных без качественного усложнения структуры системы; система сохраняет работоспособность при частично неполном наборе входных данных; система сохраняет работоспособность при отказе каких-либо элементов. Рассмотрим более подробно эти преимущества.

Дообучение в процессе функционирования позволяет реагировать на изменения в системе дорожного движения — например, при модернизации дорожной сети существующая система управления сохраняет свою работоспособность без переналадки и настройки.

Так как для НС используется большое число однотипных элементов (нейронов) и все взаимосвязи между ними также однотипные, то наращивание количества входов и выходов системы сохраняет неизменной принципиальную структуру НС, меняется только длительность обучения и объем обучающей выборки.

После выбора типа НС необходимо выбрать параметры НС в соответствии с решаемой задачей. Для НС типа «многослойный персептрон» такими параметрами являются число слоев и число нейронов в каждом слое. Для решаемой задачи на данные параметры накладываются следующие ограничения:

- число нейронов во входном слое НС соответствует числу входных переменных системы управления;
- число нейронов в выходном слое НС соответствует числу выходных переменных системы управления;
- количество скрытых слоев и число нейронов в каждом скрытом слое определяют в первую очередь сложностью управляемого участка дорожной сети (перекрестка или нескольких), чтобы обеспечить приемлемое качество управления и скорость обучения.

Так как от числа слоев НС зависит число связей и, как следствие, память НС, то число скрытых слоев НС зависит в первую очередь от сложности объекта управления. Чем сложнее управляемый участок дорожной сети, тем больше должно быть скрытых слоев. С другой стороны, чем больше скрытых слоев и нейронов в каждом слое, тем больше времени занимает получение управляющего сигнала на выходе системы управления. Следовательно,

выбор числа слоев и числа нейронов в слое осуществляется в зависимости от сложности управляемого участка дорожной сети.

Рассмотрим несколько возможных типов перекрестков и опишем структуру НС в зависимости от конфигурации перекрестка. На рис. 7 приведены некоторые наиболее часто встречающиеся типы перекрестков: пересечение двух дорог; пересечение дорог, на одной из которых полосы разделены достаточно большим промежутком; стык трех дорог.

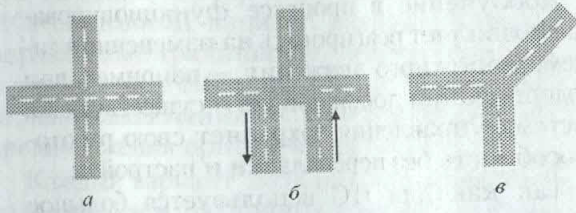


Рис. 7. Некоторые наиболее часто встречающиеся типы перекрестков

Перекресток, схема которого приведена на рис. 7, а, является наиболее простым типом перекрестка и образуется пересечением двух дорог. Обозначим каждую из дорог в соответствии с направлением одной из букв N, S, W, E , (север, юг, запад, восток). Для данного перекрестка используются следующие входные переменные:

- информация о находящемся перед перекрестком транспорте — всего 4 переменных: N_N, N_S, N_W, N_E , характеризующих поток машин на каждом направлении;
- информация о будущем потоке транспорта от соседних перекрестков — также 4 переменных: F_N, F_S, F_W, F_E .

Выходными переменными являются управляющие сигналы для светофоров — в общем случае их будет 12: по 3 выхода для каждого входа. Однако на практике их бывает гораздо меньше, и их число зависит от основных потоков транспорта на перекрестке. Несколько вариантов расстановки светофоров для данного типа перекрестка приведено на рис. 8.

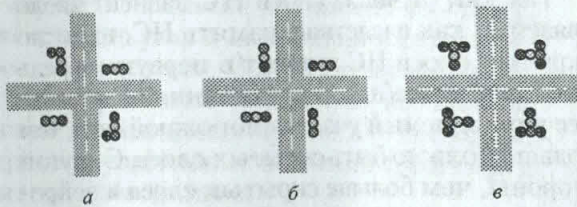


Рис. 8. Различные варианты расстановки светофоров на перекрестке

Число скрытых слоев и число нейронов в каждом слое на практике определяется чаще

всего эмпирически. Данные параметры следует выбирать исходя из скорости обучения НС и качества управления транспортом обученной НС. Для системы управления предлагается следующий подход к выбору числа слоев: число слоев НС определяется порядком числа обучающих данных. При использовании около 10–20 обучающих пар достаточно двух скрытых слоев по 8–10 нейронов, при увеличении объема обучающей выборки число слоев увеличивается, когда результаты обучения сети становятся неудовлетворительными.

3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ НС

Для реализации «хорошей» системы управления необходимо провести обучение нейронной сети на известных наборах тестовых данных. Для обучения нейронной сети предлагается включить ее в контур управления в качестве наблюдателя. Для управления потоком транспорта используется другая система управления, в качестве которой могут выступать, например, существующая в настоящее время автоматическая система или человек. Место нейронной сети в контуре управления на этапе обучения в рамках системы управления дорожным движением приведено на рис. 9.

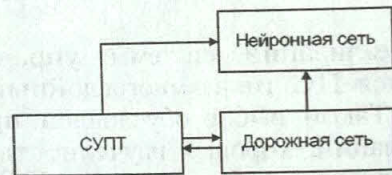


Рис. 9. Схема включения НС в контур управления для обучения

Обучение нейронной сети осуществляется с использованием одного из стандартных методов (например, методом обратного распространения). При этом в качестве эталонного выхода может использоваться как традиционный регулятор, так и регулятор на основе нечеткой логики, либо непосредственное управление человеком. В зависимости от выбранной эталонной системы управления нейронная сеть после обучения будет вырабатывать соответствующие управляющие воздействия.

Этап обучения нейронной сети должен производиться с учетом специфики задачи управления потоком транспорта. Так как система управления должна обеспечивать качественное управление потоком транспорта

в любой возможной ситуации, то этап обучения нейронной сети должен производиться на возможно большем числе возможных ситуаций на перекрестке. Для решения данной задачи предлагается поэтапный алгоритм обучения нейронной сети, приведенный на рис. 10.

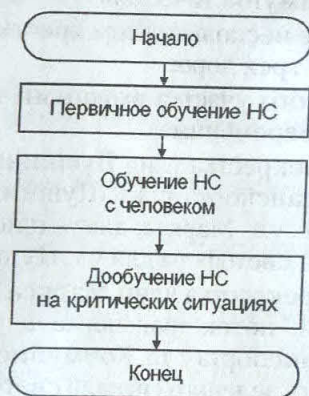


Рис. 10. Алгоритм обучения НС

Рассмотрим каждый из этапов обучения НС.

Этап первичного обучения. Нейронная сеть первоначально обучается в автоматическом режиме совместно с какой-либо автоматической системой управления потоком транспорта. Например, для этого может применяться предложенная ранее система управления на основе нечеткой логики или существующая в настоящий момент автоматическая система управления на основе нерегулируемых светофоров.

Этап обучения НС совместно с человеком. Производится дообучение нейронной сети с участием человека, если в каких-то типовых ситуациях качество управления автоматической системой управления потоком транспорта оказывается недостаточным. Для этого на этапе автоматического обучения осуществляется контроль качества управления.

Этап дообучения НС на критических ситуациях. Система управления транспортом должна обеспечивать управление в любых ситуациях, в том числе и при возникновении различных помех движению. Поэтому на данном этапе производится моделирование различных критических ситуаций. Под критическими подразумеваются такие ситуации, когда создаются серьезные помехи для движения транспорта: различные аварийные ситуации и их последствия, дорожные работы, нанесение дорожной разметки и т. д.

Контроль качества управления можно осуществить путем контроля плотности потока

машин, идущего через перекресток, и средней длины пробки перед перекрестком на каждой входной дуге. Качество управления можно считать приемлемым, если в результате реализации выработанных управляющих воздействий ситуация на дороге улучшилась. Под улучшением ситуации будем подразумевать сокращение длины пробки перед перекрестком, соответственно ухудшение ситуации – увеличение длины пробки. Можно считать, что качество управления является приемлемым, если суммарная длина пробок на всех входных дугах в результате управления уменьшилась. При этом возникает вопрос о качестве управления в случае, когда временно пришедший большой поток транспорта резко увеличивает суммарную длину пробок на данном перекрестке. Поэтому будем считать качество управления приемлемым, если за некоторое количество циклов светофора система управления на основе НС обеспечила лучшее управление по сравнению с традиционным регулятором на основе автоматических светофоров. Лучшее управление принимается, если система на основе НС обеспечила более высокую пропускную способность перекрестка или сокращение длины пробок.

Следующий этап – обучение нейронной сети управлению потоком транспорта в различных критических ситуациях. Сюда входит моделирование различных ситуаций на дорогах и на перекрестке – аварийные ситуации, заметно влияющие на пропускную способность перекрестка и улиц, проведение ремонтных или восстановительных работ на дорожном покрытии, обновление или нанесение разметки на полотне дороги и т. д.

4. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НС

Управление потоком транспорта в условиях перекрестка сложной конфигурации с использованием НС в общем виде выглядит следующим образом:

- на вход нейронной сети поступает информация о состоянии дорожного движения, куда входит информация о входящих потоках транспорта, о пропускной способности выходных дуг, а также о потоках транспорта, движущихся с соседних перекрестков;

- происходит обработка информации внутри нейронной сети в соответствии с запомненными управляющими решениями;

– принятое решение реализуется в виде изменения интервала работы сигналов светофора.

Информацию на вход НС желательно подавать в виде нормализованных значений, т. е. лежащих в диапазоне от 0 до 1. Поэтому предлагается максимально возможный поток транспорта принять за 1, а отсутствие транспорта – за 0. При этом, если в какой-то момент времени поток транспорта на входе превысит максимум, система управления сохранит свою способность к функционированию. Таким образом, можно говорить об устойчивости НС к некорректным входным данным.

Так как на каждом выходе НС сигнал при применении сигмоидной функции активации имеет уровень от 0 до 1, то изменение интервалов работы светофора осуществляется следующим образом: полное время горения сигнала светофора принимается за 1, тогда выход нейронной сети соответствует доле полного сигнала светофора. На практике изменение выходного сигнала НС чаще всего лежит в диапазоне $[0,3...0,7]$.

5. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НС ДЛЯ УЧАСТКА ДОРОЖНОЙ СЕТИ

В качестве примера рассмотрим процесс управления дорожным движением на дорожной сети, состоящей из нескольких перекрестков. Схема участка дорожной сети, ограниченного улицами Маркса, Коммунистической, Ленина, Пушкина города Уфы, приведена на рис. 11.

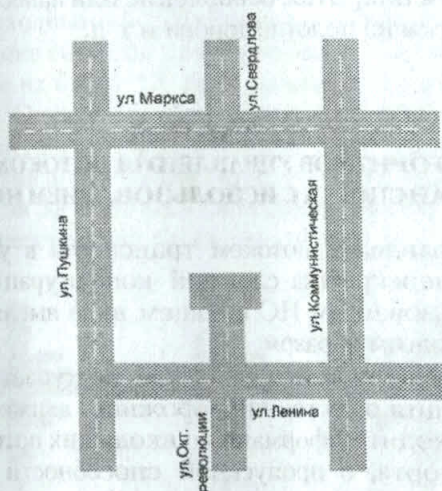


Рис. 11. Схема участка дорожной сети

Особенностями данной сети являются следующие:

– наличие тупиковой ветки на продолжении ул. Октябрьской революции;

– возможность проехать к пункту назначения несколькими путями — например, к почтамту на углу улиц Ленина и Коммунистической от перекрестка улиц Пушкина и Маркса можно проехать по Пушкина–Ленина или по Маркса–Коммунистической;

– наличие нескольких перекрестков в виде пересечения трех дорог.

Для данного участка входными являются следующие переменные:

– для перекрестка улиц Пушкина и Маркса: поток транспорта с ул. Пушкина; поток транспорта с ул. Маркса; длительность зеленого сигнала светофора для ул. Пушкина;

– для перекрестка улиц Маркса и Коммунистической: поток транспорта с ул. Маркса; поток транспорта с ул. Коммунистической; длительность зеленого сигнала светофора для ул. Коммунистической;

– для перекрестка улиц Пушкина и Ленина: поток транспорта с ул. Пушкина; поток транспорта с ул. Ленина; длительность зеленого сигнала светофора для ул. Пушкина;

– для перекрестка улиц Ленина и Октябрьской революции: поток транспорта с ул. Ленина; поток транспорта с ул. Октябрьской революции; длительность зеленого сигнала светофора для ул. Ленина;

– для перекрестка улиц Ленина и Коммунистической: поток транспорта с ул. Ленина; поток транспорта с ул. Коммунистической; длительность зеленого сигнала светофора для ул. Ленина;

– для перекрестка улиц Свердлова и Маркса: поток транспорта с ул. Маркса; поток транспорта с ул. Свердлова; длительность зеленого сигнала светофора для ул. Маркса.

Выходными переменными являются изменения длительности сигналов светофора для каждого перекрестка.

Таким образом, для сети из 6 перекрестков имеем 18 входных переменных и 6 выходных.

Структура НС для данного участка будет следующей:

число нейронов во входном слое – 18;

число нейронов в выходном слое – 6;

число скрытых слоев – не менее 4;

число нейронов в каждом скрытом слое – не менее 8–10.

Структура нейронной сети для приведенного участка дорожной сети представлена на рис. 12.

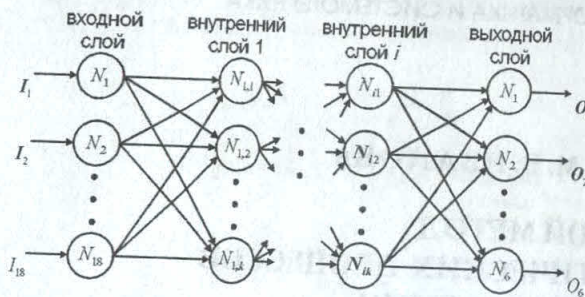


Рис. 12. Структура нейронной сети для приведенного участка дорожной сети

Обучающая выборка для данной сети имеет объем около 200 обучающих пар без учета обучения НС взаимодействию различных перекрестков.

Таким образом, построение системы управления на основе НС для приведенного примера является достаточно простым.

Основные трудности, возникающие при построении системы управления на основе НС:

- определение числа скрытых слоев и числа нейронов в каждом скрытом слое;
- формирование обучающей выборки, учитывающей большинство возможных ситуаций на дороге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрен подход к управлению потоком транспорта в условиях перекрестка произвольной конфигурации с применением нейронной сети.

Сформулированы основные требования к нейронной сети, рассмотрен выбор типа и структуры НС с учетом характеристик объекта управления, предложены изменения в структуре СУПТ с учетом специфики НС. Сформулированы принципы обучения НС для задачи управления потоком транспорта, алгоритмы управления с использованием НС. Приведены основные принципы формирования обучающей выборки для задачи управления потоком транспорта. Рассмотрены трудности, возникающие при реализации СУПТ на основе НС.

Исследования проводились в рамках договорной тематики и частичной поддержки Федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки».

Для программной реализации предлагаемого подхода к управлению потоком транспорта в условиях перекрестка произвольной конфигурации с применением нейронной се-

ти была использована среда разработки Delphi 5 Enterprise Edition. Это обусловлено тем, что входная информация может быть представлена в различных форматах (конвертируемость входных данных). Среда Delphi позволяет динамически создавать формы ввода и обрабатывать сообщения. Данная функция в среде Visual C++ отсутствует.

Нейросетевой подход обеспечивает лучшее качество распределения потоков транспорта по сравнению с нечетким подходом и традиционным алгоритмом на основе автоматических светофоров. При этом скорость выработки управляющего воздействия для сети размерностью порядка 20–25 нейронов является весьма высокой. Особенностью системы распределения потоков транспорта на основе НС является наличие процесса обучения НС, что позволяет настраивать систему на управление любым перекрестком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбань А. Н., Россиев Д. А. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1996.
2. Интеллектуальные системы управления с использованием нейронных сетей: Учеб. пособие / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов, С. С. Валеев, С. В. Жернаков. Уфа: УГАТУ, 1997. 92 с.
3. Якушев Д. Ж. Нейронные сети в задачах управления движением // Зарубежная радиоэлектроника. 1999. № 1. С. 58–64.

ОБ АВТОРАХ



Юсупова Нафиса Исламовна, профессор, зав. кафедрой выч. математики и кибернетики, декан ф-та информатики и робототехники УГАТУ. Дипл. радиопизик (Воронежский гос. ун-т, 1975), д-р техн. наук в области управления техническими системами (УГАТУ, 1998). Исследования по ситуационному управлению сложными объектами.



Бажин Дмитрий Николаевич, ст. преп. той же кафедры. Дипл. инженер по информационным системам (УГАТУ, 1998). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2001). Исследования в области применения методов искусственного интеллекта для управления.