

Повышение точности наземно-космического мониторинга в системе ГЛОНАСС*

Введение

Система ГЛОНАСС представляет второе поколение спутниковых навигационных систем, основным назначением которых является глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижный объект (ПО), оснащенный навигационной аппаратурой потребителей, может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить параметры своего движения - три координаты и три составляющие вектора скорости [1].

В последние несколько лет спутниковые навигационные системы стали неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры РФ. Наибольшее распространение они получили в секторе частного транспорта. Пользовательский сегмент включает в себя оборудование, позволяющее определять местоположение, скорость движения, расстояние до объекта следования и время, за которое можно достигнуть цели при определенной скорости. Наряду с GPS-навигаторами все большее распространение получает навигационная аппаратура потребителей (НАП) ГЛОНАСС и ГЛОНАСС/GPS (мультисистемный приемник).

Основная задача навигационной аппаратуры потребителей - прием информации со спутников, ее интерпретация и вывод на дисплей либо в канал связи в надлежащем виде. Для этих целей специалистами ООО «ТехноКом» разработана система спутникового мониторинга «АвтоГРАФ» на основе самых современных технологий в области спутниковой навигации, а также каналов передачи и обработки данных. Система «АвтоГРАФ» позволяет проконтролировать в режиме реального времени местонахождение транспортного средства (ТС), направление его движения, пробег и объем затрачиваемого горючего. Для этого достаточно на борту каждого ТС установить прибор, принимающий сигналы навигационных спутников, а на диспетчерском пункте - соответствующую программу. Устройство, размещенное на борту ТС, накапливает информацию о своем местоположении с заданным периодом либо, анализируя характер движения ТС, производит запись маршрута движения, что значительно экономит объем передаваемых данных - время хранения маршрута в приборе может достигать до нескольких лет.

На рис. 1 изображена функциональная схема контроллера системы «АвтоГРАФ».

Модуль ГЛОНАСС с помощью внешней активной антенны принимает кодовые сигналы со спутников системы ГЛОНАСС и с помощью внутреннего вычислителя определяет географические координаты местоположения приемника, а также точное время, скорость и направление движения.

Полученные данные по протоколу NMEA поступают с выхода модуля в блок центрального процессора. Центральный процессор - это ядро контроллера «АвтоГРАФ», связывающее все компоненты системы воедино и обеспечивающее их взаимодействие согласно заложенной в него программе. В качестве процессора выступает быстродействующая однокристалльная микроЭВМ, обеспе-

чивающая скорость и точность вычислений, достаточную для решения различных навигационных и сервисных задач.

Существующая НАП определяет координаты объекта с погрешностью 0,1-30 м и его скорость - 0,02-0,2 м/с в зависимости от режима работы аппаратуры. Показания могут колебаться в зависимости от внешних факторов:

- прохождения ионосферного и тропосферного слоев, влияющие на скорость прохождения сигнала;
- наличие электромагнитных помех;
- инфраструктура местности (отражение, затенение сигнала космических навигационных систем, туннели), создающая многолучевость принимаемых сигналов.

Задачей комплексной обработки навигационной информации является совместная обработка данных навига-

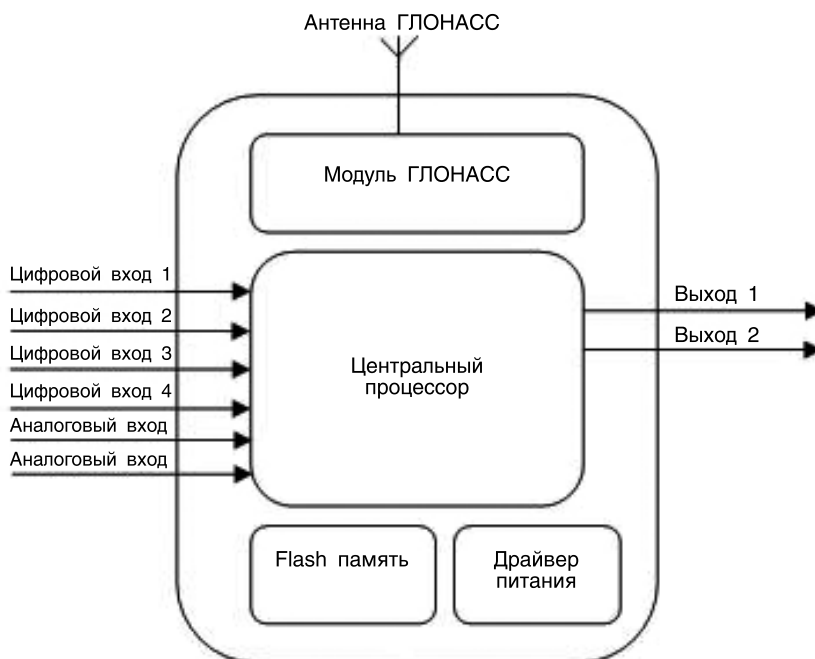


Рис. 1. Функциональная схема контроллера системы «АвтоГРАФ»

БОЛОДУРИНА Ирина Павловна - доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной математики Оренбургского государственного университета.
Адрес: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, к. 3208
e-mail: prmat@mail.osu.ru

РЕШЕТНИКОВ Валерий Николаевич - доктор физико-математических наук, профессор Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского.
Адрес: 109240, г. Москва, ул. Берниковская наб., 14
e-mail: kt-mati@mail.ru

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 11-07-00046-а и № 12-07-00330-а.

ционного счисления для определения основных навигационных параметров движущегося объекта с максимально возможной точностью. Эта точность зависит от качества навигационных измерителей (датчиков навигационной информации) и алгоритмов обработки навигационных сигналов.

Объединение (комплексирование) устройств и систем обработки информации в единый функционально, структурно и конструктивно взаимосвязанный навигационный комплекс позволяет полнее использовать имеющуюся на борту ТС избыточность информации, благодаря чему появляется возможность повышения точности, помехоустойчивости, непрерывности и надежности навигационных определений.

В настоящей статье рассматривается комплексирование на уровне вторичной обработки информации спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС.

Решение проблемы оценивания состояния динамических объектов может осуществляться как с использованием традиционных, классических методов, алгоритмов и технологий, так и с использованием новых современных методов и интеллектуальных технологий, к которым относятся в частности нейросетевые технологии оценивания состояния динамических объектов.

Интеллектуальные технологии - одно из перспективных направлений развития информационных технологий. Главная архитектурная особенность, которая отличает интеллектуальные системы управления от традиционных, - это механизм получения, хранения и обработки знаний для реализации своих функций. Кроме того, при принятии решений о методе обработки информации в режиме реального времени, необходимо учитывать следующее:

- многомерность и многосвязность объектов и систем;
- нелинейность, нестационарность и априорную неопределенность динамики объекта управления;
- возмущаемую среду функционирования системы управления.

Настраиваемые многослойные нейросети обладают рядом достоинств, оправдывающих их применение в задачах управления нелинейными динамическими объектами.

Комплексирование на уровне вторичной обработки информации

Процесс разделения обработки аппаратных измерений в навигационных системах на первичную и вторичную получил широкое распространение. Первичная обработка представляет собой задачу наблюдения, которая состоит в оценке вектора состояния регулируемой системы. Разного рода возмущения и помехи на входе системы в задаче наблюдения не учитываются. Под вторичной обработкой информации понимают выполняемую в ЭВМ обработку выходных данных

самих измерителей, результаты которой используются для определения и уточнения координат и скорости движения, углов ориентации ПО и источников погрешностей измерителей [2].

Передаваемые каждым космическим аппаратом (КА) системы ГЛОНАСС в составе оперативной информации сигналы описывают положение фазового центра передающей антенны данного КА в связанной с Землей геоцентрической системе координат ПЗ-90.02, определяемой следующим образом:

- начало координат расположено в центре масс Земли;
- ось Z направлена на Условный полюс Земли, как определено в рекомендации Международной службы вращения Земли (IERS);
- ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора и начального (нулевого) меридиана, установленного Международным бюро времени (BIV);
- ось Y дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой.

В этой системе координат положение точки в пространстве определяется значениями координат X,Y,Z. Координаты транспортного средства, оснащенного датчиками, фиксируемыми в системе ГЛОНАСС, непосредственному наблюдению недоступны. Используя систему «АвтоГРАФ», получаем измеряемые значения координат и проекций скорости транспортного средства в дискретные моменты времени через заданный интервал, посредством их расчета по псевдодальностям до КА. Псевдодальности рассчитываются по временным задержкам T_i сигнала по трассе «i-й КА - потребитель» и известной скорости распространения радиоволн [3]. Именно наличие шумов приводит к несоответствию измеряемых значений координат и проекций скорости ТС действительным значениям этих параметров.

В радиолокационных станциях автоматического сопровождения и обработки сигналов в инерциальных навигационных системах наиболее распространенным алгоритмом вторичной обработки является фильтр Калмана.

В алгоритме типа многомерной калмановской фильтрации начальными условиями на каждом новом цикле служат оценка состояния системы и величина, характеризующая ее погрешность. Данный алгоритм последовательно обрабатывает заново поступающие векторы измерений, учитывая при этом значения, вычисленные на предшествующем цикле. Эта черта отличает способ фильтра Калмана от нерекуррентных алгоритмов, которым ради работы требуется оберегать целый массив обрабатываемых данных. На следующем шаге с помощью обрабатываемых на данном цикле измерений уточняются начальные условия. По мере последовательной обработки новых измерений про-

исходит накопление фильтром полезной информации, вследствие этого, если элементы вектора состояния твердо выражаются сквозь измеренные величины, суммарная погрешность оценок, как правило, должна снижаться [4].

Реализация алгоритма обработки измерений может быть основана на использовании в рамках информационно-управляющей системы, работающей в режиме реального времени. В силу того, что в рамках данной системы требуется в реальном масштабе времени отслеживать значительное число быстроменяющихся параметров, вырабатывать эффективные и своевременные решения по управлению, необходим математический аппарат, позволяющий обрабатывать большой поток сложноструктурированной информации о текущем состоянии производственной системы. Базой такого математического аппарата являются алгоритмы глобального распараллеливания вычислительных процессов, в частности, модели нейронных сетей. В реальных системах часто невозможно определить значения некоторого набора параметров или определить их с высокой долей погрешности, возможен также выход из строя тех или иных датчиков. Кроме того, отсутствие точной математической модели является предпосылкой для применения в системе аппарата нечетких множеств.

Принцип «черного ящика» является основным принципом нейросетевого моделирования. В этом случае моделируется внешнее функционирование системы, а не внутренняя структура системы, как при аналитическом подходе. Функционирование системы в рамках нейросетевого моделирования описывается информационно, на основе наблюдений или данных экспериментов над реальной системой. Интерпретация получаемых с помощью таких моделей результатов более сложна, чем при использовании формальных математических моделей, однако несомненное достоинство - отсутствие ограничений на сложность моделируемых систем - определяет их важную практическую значимость.

В данной работе предложен подход определения местоположения подвижного объекта в системе ГЛОНАСС, использующий нейронные сети.

В процессе функционирования многослойная нейронная сеть формирует выходной сигнал в соответствии с входными сигналами. Выходной сигнал является результатом обработки входного сигнала при его прохождении по связям сети. Следовательно, нейронная сеть реализует функциональное соответствие между входом и выходом и может служить информационной моделью F^* системы F .

Предложенный алгоритм реализуется следующим образом. На вход сети подаются измерения в навигационной системе. В выходном слое два нейрона: один отвечает за формирование оценки плотности распре-

деления вероятности входного сигнала при условии перехода из состояния в состояние, а второй оценивает вероятность противоположного события. Скрытый слой содержит радиальные базисные функции с центрами в точках из обучающей выборки.

Измерения подаются на входной слой сети и хранятся в элементах кратковременной памяти. Сети для разных состояний системы имеют одинаковую структуру. На вход каждой сети подается вектор измерений предыдущего шага наблюдения, на выходе получается оценка измерений текущего шага наблюдений для каждого состояния системы. При обучении использован алгоритм обратного распространения ошибки и функция тренировки.

Для ограничения пространства поиска при обучении ставится задача минимизации методом наименьших квадратов целевой функции ошибки НС, зависящей от разности целевых и наблюдаемых значений выхода, а также количества нейронов в выходном слое. Обучение нейросети производится методом градиентного спуска.

На следующем этапе сети поочередно в случайном порядке представляются вектора из обучающей последовательности.

Для повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта предложен метод контроля и диагностики информационных нарушений в навигационных системах, использующий нейросетевые технологии. Перед традиционными вычислительными системами нейронные сети имеют ряд преимуществ [5]:

- Используя способность обучения на множестве примеров, нейронная сеть способна решать задачи, в которых неизвестны закономерности развития ситуации и зависимости между входными и выходными данными.

- Возможность работы при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов, нет необходимости делать их предварительный отсев, нейронная сеть сама определит их малопригодность для решения задачи и отбросит их.

- Нейронные сети потенциально отказоустойчивы. Это значит, что при неблагоприятных условиях их производительность падает незначительно. Например, если поврежден какой-то ней-

рон или его связи, извлечение запомненной информации затрудняется. Однако, принимая в расчет распределенный характер хранения информации в нейронной сети, можно утверждать, что только серьезные повреждения структуры нейронной сети существенно повлияют на ее работоспособность. Поэтому снижение качества работы нейронной сети происходит медленно.

- Нейронные сети обладают потенциальным сверхвысоким быстродействием за счет использования массового параллелизма обработки информации в системах, которые сейчас активно развиваются.

Для решения задачи фильтрации данных разработана программа в среде Delphi, осуществляющая реализацию рассмотренных методов, алгоритма обратного распространения ошибки и алгоритма, основанного на результатах фильтра Калмана, для обучения построенной нейронной сети.

Для сравнения качества обучения сети с использованием алгоритма обратного распространения и калмановского алгоритма в роли обучающего множества использовались данные, полученные с помощью навигационной аппаратуры ООО «Техноком» об отдельном рейсе транспортного средства, отражающие динамику движущегося объекта в течение 10 часов. В качестве тестирующего множества использованы данные о динамике транспортного средства в течение другого рейса.

При тестировании получено экспериментальное обоснование наибольшей эффективности алгоритма обучения нейронной сети, основанного на результатах фильтра Калмана, для решения задачи моделирования изучаемых систем. Применение алгоритма обучения нейронной сети, основанного на результатах фильтра Калмана, позволяет значительно улучшить качество обучения, сократив при этом количество обучающих эпох. Для рассмотренных примеров пространственно-временного оценивания местоположения динамических объектов на фоне помех в рамках вторичной обработки информации калмановской сетью ошибка была ниже ошибки, полученной для сети, использующей алгоритм обратного распространения.

Недостатком калмановского алгоритма является увеличение вычислительных затрат. Производительность

современных компьютеров такова, что данный недостаток в большинстве случаев несущественен.

Системы, построенные на базе калмановских сетей, позволяют адекватно моделировать объекты различной степени сложности, обеспечивают устойчивость к ошибкам во входных данных и обладают улучшенной обобщающей способностью.

Заключение

Одной из важнейших задач глобальной навигации в системе ГЛОНАСС является точное определение пространственных координат наземных подвижных объектов. Эта задача должна решаться комплексно. При первичной обработке оценивается вектор состояния наблюдаемой системы. Вторичная обработка информации предполагает уточнение координат и скорости движения объекта.

Рассматривая возможные функциональные нарушения в системе управления как результат взаимодействия системы управления с внешней средой, можно говорить об изменении ситуационного состояния системы управления в результате носящих случайный характер воздействий внешней среды. В этой связи возникает комплекс проблем, связанных с необходимостью оценивания текущего состояния систем управления. Таким образом, важным перспективным направлением исследований является использование новых интеллектуальных технологий для решения задач управления сложными объектами. Рассмотренный подход к разработке инструментария для интеллектуального анализа данных при управлении сложными системами в режиме реального времени успешно применяется при выполнении конкретных работ в области авиационной и космической техники, управления технологическими процессами и в других технических областях.

Предложенный метод фильтрации данных в навигационных системах, основанный на применении многослойных перцептронов для прогнозирования навигационных параметров на текущем шаге по измерениям на предыдущих шагах, может повысить эффективность управления наземным подвижным объектом, использующим систему ГЛОНАСС.

Литература:

1. Решетников В.Н. Космические телекоммуникации (Начала). - Тверь: Изд-во ЗАО НИИ ЦПС, 2009. - 128 с.
2. Сучилин В.И., Волобуев Г.Б. Оценка возможностей повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта путем вторичной обработки показаний аппаратуры пользователя систем GPS NAVSTAR

и/или ГЛОНАСС // Сб. докладов VIII Международной научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Воронеж, 2007. - Т. 2. - С. 1066-1073.

3. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 с открытым доступом и частотным разделением (редакция 5.1). - М., 2008.

4. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. Пер. с нем. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. - 200 с.

5. Деева А.С. Математическое и алгоритмическое обеспечение диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем на основе нейросетевого подхода. - Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. - 22 с.