

24. *Brown D.C.* Calibration of close-range cameras. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISP Congress, Ottawa. – 1972. – № 19 (5). – 26 p.
25. *Wang L., Liao M., Gong M.L., Yang R. G. and Nister D.* High-quality real-time stereo using adaptive cost aggregation and dynamic programming // in Proc. International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 2006. – P. 798-805. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/3DPVT.2006.75>.
26. *Gong M.L. and Yang Y.H.* Real-time stereo matching using orthogonal reliability-based dynamic programming // IEEE Trans. Image Processing. – Mar. 2007. – Vol. 16, №. 3. – P. 879-884. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2006.891344>.
27. *Asano S., Maruyama T. and Yamaguchi Y.* Performance comparison of fpga, gpu and cpu in image processing // in International Conference on Field Programmable Logic and Applications, 2009. FPL 2009, 2009. – P. 126-131.
28. *Gimel'farb G.L.* Probabilistic regularisation and symmetry in binocular dynamic programming stereo // Pattern Recognition Letters. – 2002. – Vol. 23, № 4. – P. 431-442.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Х. Пшихопов.

Соколов Сергей Михайлович – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН; e-mail: sokolism@keldysh.ru; 125047, г. Москва, Миусская пл., 4; тел.: 84992507994; д.ф.-м.н.; профессор; ведущий научный сотрудник.

Богуславский Андрей Александрович – e-mail: anbg@mail.ru; д.ф.-м.н.; доцент; старший научный сотрудник.

Трифонов Олег Всеволодович – e-mail: tob@mail.ru; к.т.н.; старший научный сотрудник.

Гаврилов Максим Георгиевич – e-mail: gavrimax@mail.ru; аспирант.

Sokolov Sergey Mikhailovich – Keldysh Institute of applied mathematics of Russian Academy of Sciences; e-mail: sokolism@keldysh.ru; 4, Miusskaya sq., Moscow, 125047, Russia; phone: +74992507994; dr. of phys.-math. sc.; professor; leading scientist.

Boguslavskii Andrey Alexandrovich – e-mail: anbg@mail.ru; dr. of phys.-math. sc.; associate professor.

Trifonov Oleg Vsevolodovich – e-mail: tob@mail.ru; cand. of eng. sc.

Gavrilov Maxim Georgievich – e-mail: gavrimax@mail.ru; postgraduate student.

УДК 619.192

В.К. Абросимов, В.И. Гончаренко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И МАНЕВРИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

Рассматривается принципиально новый подход к решению широкого класса баллистических задач по определению движения летательных аппаратов в условиях противодействующей внешней среды, направленный на определение, прогнозирование движения и противодействие атаке. Обоснована применимость построения моделей движения и маневрирования для таких задач на основе нейронных сетей. Подход эффективен для построения специализированных имитационных моделей обнаружения и отражения атаки группировок разнотипных летательных аппаратов при неопределенности их обликов и стратегий использования.

Нейронные сети; летательный аппарат; движение; маневрирование; имитационная модель.

V.K. Abrosimov, V.I. Goncharenko

SIMULATION OF MOVEMENT AND MANEUVERING OF AIRCRAFT
ON NEURAL NETWORKS

This article present essentially new approach to the solution of a wide class of ballistic tasks dealing with motion of aircrafts in opposing external environment. It is offered to build models of movement and maneuvering on the neural networks basis and to use neural computers for such purposes. Practical implementation of approach is effective for creation of specialized simulation models of reflection of attack of groups of varied aircraft in case of uncertainty of their design and strategies of behaviour.

Neural networks; the aircraft; motion; maneuvering; imitative model.

Введение. Рассмотрим уравнение вида

$$\bar{x} = F\{\bar{x}_0, t, \bar{u}, \bar{p}, \bar{w}\}.$$

В классической теории движения динамических систем при заданных структурах оператора F и параметрах начального состояния \bar{x}_0 , управлений \bar{u} , характеристик летательного аппарата (ЛА) \bar{p} , и параметров внешней среды \bar{w} полностью определяет траекторию на интервале $[t_0, t_k]$.

Разработаны многочисленные методы расчета параметров движения ЛА, в том числе маневрирующих. Обычно для этой цели составляется система дифференциальных уравнений, описывающих управляющие и возмущающие силы, действующие на ЛА, а исходными данными для моделирования являются характеристики летательного аппарата и цель его движения.

Пусть движение ЛА из некоторого начального состояния под действием управления u осуществляется в фазовом пространстве X^r по пути к цели Q с учетом ограничений G . Собственно перемещение суть последовательный переход из одной точки пространства X^r в другую за некоторое время. Перемещение пассивно зависит от среды, в которой оно осуществляется, и активно – от управляющих усилий. Эти две составляющих изменяют характеристики параметров движения.

Рассмотрим летательные аппараты, облик которых достоверно неизвестен. В частности допустим неопределенность различного типа (недостоверность, неясность, нечеткость, неполноту информации и др.) управлений \bar{u} и характеристик ЛА \bar{p} . Назовем такие аппараты *недоопределенными летательными аппаратами* (НЛА). Рассмотрим процесс движения такого аппарата в зоне действия радиоэлектронных средств, обороняющих некоторый объект. Сканируя пространство, наблюдатель, используя разнообразные средства наблюдения, неожиданно обнаруживает НЛА, фиксирует и прогнозирует его параметры движения, некоторое время сопровождает его по траектории, возможно теряет из виду при маневрировании, и вновь обнаруживает уже в другой точке через некоторое время. В наиболее общем случае НЛА в различные моменты времени с определенной долей уверенности (вероятности, возможности, достоверности) находится в той или иной точке пространства.

Понятно, что традиционные методы расчета траекторий в этом случае использовать затруднительно. Если задавать характеристики и стратегии движения НЛА в виде интервалов возможных значений, результатом будет «трубка траекторий» параметров движения и маневров. Но на практике подстановка в параметры уравнений движения граничных значений интервалов существенно расширяет размеры «трубок» и затрудняет построение ее реальных границ при остающейся неопределенности ситуации внутри «трубки». Можно задавать некоторые распределения вероятностей (при наличии статистических данных) или возможностей проявления в реальности соответствующих параметров управлений и траекторий. Указанное позволяет получить соответствующие распределения в пределах облас-

ти возможных значений, однако не избавляет от определенной субъективности при назначении исходных распределений вероятностей или возможностей и интерпретации получаемых результатов.

1. Обоснование применимости нейронных сетей для моделирования движения летательных аппаратов. Попытка установления некоторых аналогий понятий теории движения динамических систем и современных физических теорий приводит к очень интересным обобщениям. Так, хорошо известно, что в классической физике понятие "точное положение частицы" имеет некоторый смысл, а в квантовой физике оно бессмысленно; можно лишь с определенной вероятностью говорить о нахождении частицы в каком-либо выбранном месте пространства. Основная гипотеза авторов состоит в том, что движение НЛА в некоторой области пространства также можно рассматривать как некий аналог направленного распространения энергии, исходящей из некоторого начального состояния. Тогда с точки зрения средств обнаружения НЛА и слежения за ним достоверность появления НЛА в определенной точке пространства зависит от координат точки, времени, отсчитываемого от момента начала движения, потенциальных энергетических возможностей самого НЛА и методов управления им по реализации движения.

Исследования возможности создания математических моделей движения и маневрирования НЛА на этих принципах позволили выбрать в качестве основного аппарат нейронных сетей [1–4]. Эти методы первоначально разрабатывались и стали эффективными для решения задач в области распознавания образов. Уже подтверждено, что нейронные сети могут успешно применяться для синтеза систем управления динамическими объектами. Способность нейронных сетей к обучению и обобщению данных позволяет заблаговременно обучаться на репрезентативных примерах, адаптироваться к изменению свойств объекта управления и внешней среды, снизить требования к исходной информации. Модели на основе нейронных сетей обладают высокой устойчивостью к ошибкам представления данных, а в силу изначально заложенного в нейросетевую архитектуру параллелизма дают возможность работы с сильно «зашумленной» информацией в условиях разнообразных помех.

В ряде работ авторов показано, что применение нейронных сетей может быть расширено и на широкий класс задач динамики движения ЛА в условиях неопределенности [5–7]. Основным при этом является адекватная интерпретация ключевых понятий теории движения динамических систем (траектория, параметры фазового состояния, параметр управления, время, возмущения и др.) в терминах нейронных сетей. Свойства нейронных сетей адекватно отражают особенности и сложные ситуации моделирования НЛА, особенно следующих в составе группы и наблюдаемых радиоэлектронными средствами, защищающими военно-промышленные объекты. При этом понятие конкретной траектории теряет смысл; вводится новое понятие «ансамбля траекторий», т.е. совокупности траекторий движения и маневрирования, имеющей собственные характеристики: размеры, структуру, сложную форму, стиль движения и др.

Движение множества управляемых НЛА описывается распределением P их состояний в фазовом пространстве, рассчитанных на заданные моменты времени. При изменении варианта расчета (например, при возникновении некоторых возмущений, изменении начальных условий, получении дополнительной информации о параметрах НЛА) необходимо заново пересчитывать все траектории для получения нового распределения P ; вместе с тем очевидно, что в большинстве практических случаев параметры пересчитанных возмущенных траекторий близки к невозмущенным и распределение P_{new} в целом незначительно отличается от P , хотя по траекториям отдельных НЛА, в частности маневрирующих, возможны существенные отличия.

Линейные и нелинейные системы дифференциальных уравнений, всевозможные аппроксимации, аналитические зависимости, традиционно используемые для формализации управляемого движения объектов управления, отражают классический подход. При нетрадиционном подходе, для формализации процесса возбуждения и его распространения необходим математический аппарат, позволяющий: а) отражать текущие фазовые состояния; б) описывать возможность перехода из одного состояния в другие под действием управления за определенное время. Основной сложностью при этом является необходимость описания множества возможных ситуаций, в которых может находиться объект управления при своем движении в условиях неопределенности. Однако это множество столь велико, что задание всех допустимых алгоритмов поведения, реализуемых некоторой системой управления, принципиально невозможно. В этих условиях целесообразно следовать по пути не конкретного расчета траекторий, а создания некоторого образа ситуации обнаружения НЛА, распознавания текущей ситуации и принятия решений в соответствии со сложившимися условиями движения, целью и ограничениями.

Основной особенностью нейронных сетей, отличающей их от сетей других типов, является то, что на нейросетях определена операция передачи возбуждения. Последнее предполагает наличие межнейронных возбуждающих связей, записанных в виде обучаемых на примерах матриц передачи возбуждений. Основными преимуществами использования нейроструктур являются: а) свойство ассоциативности, позволяющее обрабатывать ансамбли траекторий и оперировать образами ситуаций моделирования, а не отдельными их описаниями; б) способность к обучению, что позволяет получать устойчивые решения по результатам имитационного моделирования прикладных задач в реальном масштабе времени.

Указанные преимущества определяют эффективность использования нейронных сетей в задачах моделирования движения отдельных НЛА и групп НЛА.

2. Подход к решению баллистических задач по определению движения летательных аппаратов. Разработанный подход к решению широкого класса баллистических задач по определению движения летательных аппаратов на основе нейронных сетей базируется на следующих четырех положениях.

1. Нейроны состояния. Основу нейронного представления параметров траекторий полета НЛА составляет понятие *нейрона*. Нейрон – это формальный элемент, активность которого определяется уровнем так называемого входного возбуждения и меняется в интервале от 0 до 1. На вход же подаются возбуждения от других аналогичных нейронов. Тогда r -мерное фазовое пространство X^r , в котором движется НЛА, может быть представлено сколь угодно большой совокупностью состояний, называемых *нейронными состояниями* (ns).

Произвольное i -е ns -состояние можно однозначно описать координатами x_i, y_i, z_i в пространстве, характеристикой возможности или вероятности α_i ($0 < \alpha < 1$) нахождения НЛА в этом состоянии и временем τ_i , за которое НЛА из некоторой точки достигает указанного состояния, т.е. кортежем

$$ns_i = \{x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \tau_i\}.$$

Ситуацию получения нейроном числового значения $\alpha \in [0, 1]$ будем называть *возбуждением нейрона*.

2. Матрица межнейронных связей. Под действием управления \vec{u} НЛА может перейти из одного ns -состояния в другое $ns_i \rightarrow ns_j$. Условия такого перехода будем определять как связи нейронов состояний, которые задаются многомерной матрицей Ω . Можно предположить, что они определяются характером движения, предельными ограничениями на возможности ЛА по маневрированию, и, в свою очередь, такие связи могут быть детерминированными, вероятностными и нечеткими.

3. Ансамбли нейронов. Нейроны могут быть объединены в ансамбли. *Нейронным ансамблем* называют множество нейронов, объединенных взаимными возбуждающими связями так, что при возбуждении его определенной части возбуждается весь ансамбль. Опишем подмножество нейронов-состояний, входящих в некоторую область A , множеством D . Свяжем все нейроны взаимными возбуждающими связями посредством матрицы Ω . Выделим один нейрон-состояние ns_b и придадим ему функцию возбудить все нейроны множества D при его возбуждении свыше определенного уровня. Поступая таким образом, при обнаружении ЛА или группы будут возбуждаться те нейроны-состояния, которые по положению совпадают с областью обнаружения. Все элементы группы ложной баллистической цели можно связать друг с другом в некоторый ансамбль, интерпретируя их, например, как направляемые в одну область. Соединение моделей прогноза траекторий по данным наблюдения с нейронными моделями позволяет «возбудить» те области пространства, где с определенной долей достоверности может оказаться группировка через некоторое время.

4. Регулирование активности нейронов-состояний. Для регулирования активности нейронов целесообразно использовать специальную систему «усиления-торможения» [3]. Ее основными функциями являются направленное изменение связей нейронов («обрыв» одних и «установление» других). Система усиления-торможения имеет некоторую пороговую характеристику чувствительности. Она может быть «включена» лишь при получении сигнала о превышении этого порога одним (или несколькими) ns -состояниями. При этом в нейронную сеть либо в ее часть могут быть посланы значения $\delta\beta$, изменяющие активность связи, значения $\delta\alpha$, изменяющие активность ns -состояния и значений δt , изменяющие время достижения соответствующих нейронов-состояний. С использованием системы «усиления-торможения» можно моделировать все особенности движения летательного аппарата: ускорение за счет работы двигателей, замедление за счет влияния атмосферы, изменение параметров движения за счет активного маневрирования, взаимовлияние одного объекта управления на другой, уничтожение летательного аппарата, его неожиданное появление в некоторой точке пространства и другие особенности движения и обнаружения.

3. Движение летательного аппарата как процесс возбуждения нейронной сети. Произвольную траекторию движения ЛА представим нейронной сетью, состояние которой в каждый текущий момент времени определяется распределением активности ns -состояний, являющихся ее узлами.

Таким образом, траектории ЛА будут описываться множеством нейронных состояний и временных переходов между ними, т.е.:

- ◆ детерминированная траектория $ns_i \rightarrow ns_j \rightarrow ns_k \rightarrow ns_r \rightarrow ns_d$, для которой как сами состояния, так и переходы между ними являются детерминированными;
- ◆ вероятностная траектория $ns_i \rightarrow ns_j \rightarrow ns_k \rightarrow ns_r \rightarrow ns_d$, для которой как сами состояния, так и переходы между ними являются вероятностными;
- ◆ нечеткая траектория $ns_i \rightarrow ns_j \rightarrow ns_k \rightarrow ns_r \rightarrow ns_d$, для которой как сами состояния, так и переходы между ними могут выражаться нечеткими числами с соответствующими функциями принадлежности [4].

Решающим при принятии решений по изменению траектории является узел (ns -состояние), характеризующий состояние, в котором происходит изменение движения, и элемент матрицы перехода, определяющий направление дальнейшего движения к другим ns -состояниям.

Применительно к ЛА ns -состояние, соответствующее началу движения (рецептор), получает возбуждение извне и передает его далее в зависимости от про-

граммы движения или маневрирования в процессе управления движением другим ns-состоянием, описываемым кортежем $ns_i = \{x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \tau_i\}$. Передача возбуждения передается в соответствии со значениями элементов матрицы возбуждения Ω . В свою очередь, при построении этой матрицы должны учитываться существующие ограничения, налагаемые на конструкцию, систему управления, условия движения НЛА. На параметры траектории движения НЛА также могут быть наложены ограничения, вызванные влиянием внешних факторов. Они могут быть заданы совокупностью ns-состояний, достижение которых НЛА недопустимо или допустимо в определенной степени. В этом смысле целесообразно задаться порогом возбуждения ns-состояния α_{fix} ; изменяя величину α_{fix} можно регулировать момент изменения активности ns-состояния, или всего ансамбля, и их распределение в пространстве и, тем самым, фиксировать нарушение ограничений.

4. Моделирование процессов маневрирования ЛА на нейронных сетях.

Рассмотрим методику построения моделей движения и маневрирования ЛА на основе нейронных сетей.

Одной из основных задач маневрирования является изменение плоскости полета и высоты полета в плоскости. С точки зрения нейросетей это означает, что сначала фиксируется ns-состояние, в котором в момент начала маневрирования находился НЛА. Отразим это состояние кортежем $\{x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \tau_i\}$. Планировалось, что НЛА перейдет в новое состояние $\{x_k, y_k, z_k, \alpha_k, \tau_{i \rightarrow k}\}$. Но после принятия решения на маневр изменяются элементы матрицы возбуждения Ω . При этом направление изменения значений $\delta\beta$ соответствует изменению степени возбуждения других нейронов: при маневре в плоскости кортеж принимает вид $\{x_{jt}, y_{jt}, z_{jt}, \alpha_j, \tau_{i \rightarrow j}\}$; при выходе из плоскости при маневре по высоте $\{x_{it}, y_{jt}, z_{it}, \alpha_j, \tau_{i \rightarrow j}\}$; при полном пространственном маневре $\{x_{jt}, y_{jt}, z_{jt}, \alpha_j, \tau_{i \rightarrow j}\}$. При этом нейрон-состояние, в которое вначале планировался переход, остается невозбужденным $\{x_k, y_k, z_k, \alpha_k = 0, \tau_{i \rightarrow k} = 0\}$.

Изменим в процессе маневрирования (увеличим или уменьшим) значения вектора характеристической скорости при помощи, например, дополнительных двигателей. Скоростные характеристики могут моделироваться изменением времени прохождения связи между нейронами. В нейросетях это будет реализовываться изменением значения $\tau_{i \rightarrow k}$.

Если НЛА в процессе маневрирования переместился в область, которая точно неизвестна, но предполагается, то ансамбль нейронов этой области возбуждается; степень возбуждения α при этом соответствует степени вероятности или возможности нахождения НЛА в заданной области (в рамках сделанных предположений). При этом одному из нейронов, который отвечает за ансамбль, присваивается значение $\alpha_k > \alpha_{fix}$, после чего возбуждается весь ансамбль. При этом можно заложить такие правила, при которых нейроны ансамбля возбуждаются не в равной степени, а например, по законам, соответствующим нечетким R-L функциям [7].

Рассмотрим следующий пример. В связи с активным развитием в последнее время аэродинамических крылатых ракет большой дальности возникает практическая задача распознавания траекторий их маневрирования в различных условиях движения, видов траекторий полета при изменении числа и глубины отвлекающих маневров, ограничениях на время принятия решения и др. С целью решения такого рода задач была разработана специальная модель. При этом формирование траектории крылатой ракеты недоопределенного облика проводилось комплексным методом. Облик траекторий задавался набором из m фиксированных точек, в число которых входят точки начала и конца траектории, а также j «возмущающих» точек. Различное число и расположение в пространстве возмущающих точек имитировалось возбуждением соответствующих нейронов-состояний в пространстве

фазовых состояний, что позволяло строить сколь угодно сложные и при этом плавные траектории, соединяющие их начало и конец. Плавность обеспечивалась сплайновой аппроксимацией заданного числа точек маневра ЛА, значительным количеством нейронов-состояний в модели (несколько десятков тысяч) и малой (десятки метров) областью в их окрестности, где состояние считалось фиксированным. С точки зрения конечного результата имитационная модель движения ЛА полностью соответствует математической модели движения.

Указанное обеспечило имитацию полета аэродинамического ЛА с учетом возможных скоростей и радиусов разворотов в трехмерном пространстве. Всего с помощью нейронной модели было смоделировано несколько тысяч траекторий с маневрированием, различающихся числом, глубиной маневра и азимутами подхода крылатых ракет большой дальности к целям.

Параметры множества траекторий аэробаллистической крылатой ракеты с недоопределенным обликом преобразовывались в проекцию на плоскость местного горизонта. Для таких аэробаллистических ЛА область, где располагаются потенциально достигаемые цели может быть весьма значительной, а сами цели заранее не известны. Поэтому для обороняющейся стороны весьма актуальной является задача классификации траектории таких ЛА на атмосферном участке полета с целью определения конечной цели за заданное время при минимальной вероятности ошибочной классификации атакующих средств.

Обозначим через M возможное число целей (число распознаваемых классов). Множество образов (траекторий) i -го класса будем обозначать ω_i , где $i=1,2,\dots,M$. Тогда при n -компонентном векторе входных признаков $\mathbf{V}^{(n)}$ качество процедуры распознавания характеризуется набором вероятностей:

$$\mathbf{P}^{(n)} = (p_1^{(n)}, p_2^{(n)}, \dots, p_M^{(n)}), \quad (2)$$

где $p_i^{(n)}$ – вероятность правильной классификации траектории i -го класса при условии $\mathbf{V}^{(n)} \in \omega_i$, $i=1,2,\dots,M$.

Векторный показатель качества (2) не удобен при сравнении различных алгоритмов распознавания. Поэтому будем использовать скалярную величину, которая может быть получена путем введения весовых коэффициентов при ошибочном распознавании объектов различных классов. Пусть $c_i \in (0,1)$ – весовой коэффициент для объекта i -го класса ($i=1,2,\dots,M$), тогда скалярный показатель, который можно назвать величиной средних потерь, рассчитывается с помощью вектора (2) по формуле

$$R^{(n)} = \sum_{i=1}^M c_i (1 - p_i^{(n)}). \quad (3)$$

Примеры моделей “трубок” траекторий для $M=5$ и $M=7$ классов представлены на рис. 1. На рис. 1 изображено множество траекторий, состоящее из 100 траекторий для каждого класса. Модель каждой траектории включает маневры в трех точках [8]. На представленных графиках по оси абсцисс откладывается координата X , которая изменяется от 0 до 1800 километров, а по оси ординат – координата Y , которая изменяется от 0 до 3000 километров.

Для рассматриваемого примера обосновано применение при классификации траекторий ЛА искусственной нейронной сети типа многослойного персептрона (ИНС МП) [2], состоящей из трех слоев – входного, скрытого и выходного, которые содержат $m_1 = N$, m_2 и $m_3 = 1$ нейронов соответственно. Число нейронов входного слоя соответствует числу признаков $m_1 = N$, значения которых равны измеренным значениям координат траектории полета ЛА. Выходной сигнал сети соответствует решению о принадлежности предъявленной траектории $\mathbf{V}^{(N)}$ к i -му классу, т.е. $Y_N = i$, $i=1,2,\dots,M$.

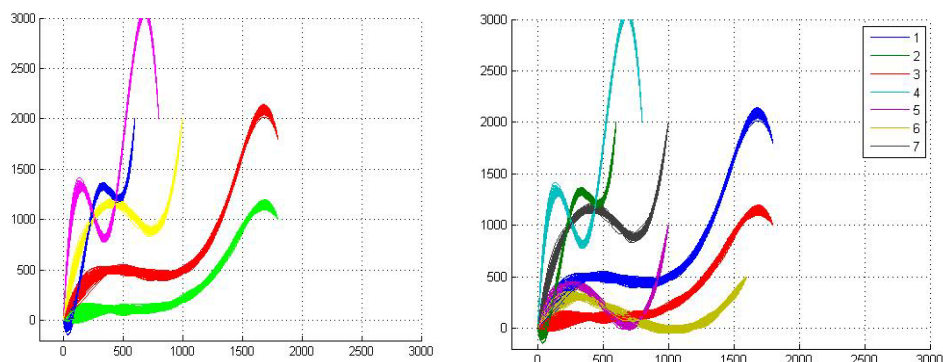


Рис. 1. Примеры множества траекторий маневрирующего аэробаллистического ЛА в проекции на плоскость местного горизонта

Процедура обучения ИНС на множестве обучающих образов $Z = \{V^{(N)}(i, j), i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, K_i\}$ состоит в определении параметров сети, обеспечивающих минимум среднеквадратической ошибки (СКО) классификации на множестве Z [8].

Расчеты СКО и вероятностных показателей (2) и (3) проводились для различных значений числа классов, видов траекторий (при изменении числа и крутизны маневров) и интервала времени, отводимого на принятие решения.

В среде MATLAB разработан комплекс программ, реализующий математическое моделирование траекторий полёта маневрирующего ЛА на атмосферном участке, процедуры распознавания на основе ИНС МП и программы тестирования качества распознавания путем статистической вероятностей ошибочного распознавания. Результаты проведенных исследований показали, что ИНС МП позволяют проводить распознавание сильно перекрывающихся классов траекторий (до 30 %) со средней вероятностью ошибочного решения менее 0,1 при числе распознаваемых классов 3...5 и ограничении на время принятия решений до 60 с [8].

Таким образом, использование нейронных сетей для моделирования движения летательных аппаратов является эффективным инструментом в условиях обнаружения, сопровождения и предотвращения последствий атаки летательных аппаратов с недоопределенным обликом, широким спектром стратегий поведения и значительными возможностями по маневрированию в зоне ответственности измерительных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. – М., С-Пб., Киев: Изд. Дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
2. Комарцова Л.Г. Максимов А.В. Нейрокомпьютеры. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2004. – 400 с.
3. Куссуль Э.М. Ассоциативные нейроподобные структуры // АН Украины. Институт кибернетики. – Киев: Наукова думка, 1992. – 140 с.
4. Фирсов С.П. Нейросетевая система управления посадкой дистанционно-пилотируемого летательного аппарата: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МАИ, 2005. – 18 с.
5. Абросимов В.К. и др. Исследование вопросов создания систем поддержки принятия решений при прогнозировании перспектив развития вооружений и анализа военно-политических ситуаций с применением нейрокомпьютеров / Отчет по НИР/ – Совет по инженерным проблемам ИА РФ. – М., 1994. – 137 с.

6. *Абросимов В.К.* Интеллектуальные методы решения конфликтных задач. – М.: Креативная экономика, 2012. – 144 с.
7. Нечеткое моделирование и управление // А. Пегат: Пер. с англ. – М.: Бином Лаборатория Знаний, 2009. – 798 с.
8. *Гончаренко В.И.* Классификация траекторий летательных аппаратов с помощью методов искусственного интеллекта // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2012. – № 4. – С. 54-60.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Зайцев.

Абросимов Вячеслав Константинович – Военный институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; e-mail: avk787@hotmail.com; 125993, Москва, ГСП-3 А-80, Волоколамское шоссе, 4; тел.: 84991581701; д.т.н.; профессор; с.н.с.

Гончаренко Владимир Иванович – e-mail: fvo@mai.ru, vladimirgonch@mail.ru; д.т.н.; доцент.

Abrosimov Viacheslav Konstantinovich – Military Institute Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Moscow Aviation Institute (National Research University)»; e-mail: avk787@hotmail.com; 4, Volokolamskoye shosse, Moscow, A-80, GSP-3, 125993; Russia; phone: +74991581701; dr. of eng. sc.; professor; senior scientist.

Goncharenko Vladimir Ivanovich – e-mail: fvo@mai.ru, vladimirgonch@mail.ru; dr. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.396.96

Е.Г. Борисов, Г.М. Машков, Л.С. Турецкий

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБНАРУЖЕНИЯ-ИЗМЕРЕНИЯ В АКТИВНО-ПАССИВНОЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ С КООПЕРАТИВНЫМ ПРИЕМОМ СИГНАЛОВ

Рассматривается вариант организации кооперативной обработки измерительной информации в активно – пассивной радиолокационной системе. Рассмотрены варианты пространственно-временной синхронизации передающих и приемных позиций многопозиционной радиолокационной системы, которые позволяют при определенных условиях повысить вероятность обнаружения целей. Показано, что совместная обработка координатной информации позволяет повысить точность радиолокационных измерений. Получены аналитические зависимости для определения наклонных дальностей в трехпозиционной активно – пассивной радиолокационной системе с использованием избыточных дальномерных измерений.

Многопозиционная радиолокационная система; кооперативная обработка измерений; синхронизация позиций; обнаружение целей; измерение координат; метод наименьших квадратов.

E.G. Borisov, G.M. Mashkov, L.S. Turnetsky

ORGANIZATION PROCESS DETECTION-MEASUREMENTS IN ACTIVE-PASSIVE MULTISTATIC RADAR WITH A COOPERATIVE SIGNAL RECEPTION

The article discusses the option of cooperative organizations measurement information processing in active-passive radar system. The variants of the space – time synchronization of the transmitting and receiving positions multistatic radar system, which allows to under certain condi-