

НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Амосов О.С.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
is@knastu.ru, osa18@yandex.ru

Введение. При оценке параметров движения подвижных объектов основным средством являются методы теории оптимальной фильтрации [1, 2]. В настоящее время при решении задач оптимальной фильтрации находят применение нейронные сети, как самостоятельно, так и совместно с методами оптимальной фильтрации [3]. В данной работе на основе нейронных сетей решается задача оценки параметров движения воздушных и морских объектов по данным радиолокационных измерений.

Модели измерений. Для нелинейной модели вектор дискретных измерений z_k в момент времени t_k имеет вид [1, 2]:

$$z_k = h_k(x_k) + \xi_k, \quad (1)$$

где x_k , ξ_k – n и m – мерные векторы состояния и шумов измерения.

Модель для трехкоординатной РЛС, которая осуществляет измерение дальности r_k , азимута α_k и угла места β_k , имеет вид [4, 5]

$$z_k = \begin{bmatrix} r_k \\ \alpha_k \\ \beta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x_k^2 + y_k^2 + z_k^2} \\ \arctg y_k / x_k \\ \arcsin z_k / \sqrt{x_k^2 + y_k^2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta r_k \\ \Delta \alpha_k \\ \Delta \beta_k \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где Δr_k , $\Delta \alpha_k$, $\Delta \beta_k$ – случайные ошибки измерений дальности, азимута и угла места.

Модели движения объектов. В общем случае при дискретном характере поступления измерений нелинейная модель движения может быть записана в векторно-разностном виде [2]

$$x_k = f_k(x_{k-1}, a_{k-1}) + g_k(x_{k-1})w_{k-1}, \quad (3)$$

где a_{k-1} , w_{k-1} – l и s – мерные векторы параметров и формирующих шумов. Для полиномиального представления независимых декартовых координат цели модель может иметь вид [4, 5]:

$$x_k = \begin{bmatrix} x_k \\ v_{xk} \\ y_k \\ v_{yk} \\ z_k \\ v_{zk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ v_{x_{k-1}} \\ y_{k-1} \\ v_{y_{k-1}} \\ z_{k-1} \\ v_{z_{k-1}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta t_k^2 / 2 & 0 & 0 \\ \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & \Delta t_k^2 / 2 & 0 \\ 0 & \Delta t_k & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t_k^2 / 2 \\ 0 & 0 & \Delta t_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{x_{k-1}} \\ a_{y_{k-1}} \\ a_{z_{k-1}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta t_k^2 / 2 & 0 & 0 \\ \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & \Delta t_k^2 / 2 & 0 \\ 0 & \Delta t_k & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t_k^2 / 2 \\ 0 & 0 & \Delta t_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{x_{k-1}} \\ w_{y_{k-1}} \\ w_{z_{k-1}} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где вектор состояния x_k объекта образуют текущие координаты объекта x_k , y_k , z_k и проекции скорости v_{xk} , v_{yk} , v_{zk} ; $a_{x_{k-1}}$, $a_{y_{k-1}}$, $a_{z_{k-1}}$ – проекции ускорения объекта; $w_{x_{k-1}}$, $w_{y_{k-1}}$, $w_{z_{k-1}}$ – случайные составляющие возмущения траектории; $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$.

Постановка задачи. Модель движения объекта задана в декартовой системе координат в виде полиномиальной модели (4). Используются измерения (2) сферических координат объекта дальности, азимута и угла места для нелинейной фильтрации. Для линейной фильтрации первичные измерения сферических координат преобразуются в прямоугольную систему координат. Требуется синтезировать нейронные сети, которые формируют оценки координат, проекций скоростей и ускорений для различных участков движения и осуществляют их экстраполяцию.

Построение нейронных сетей. Для получения текущих оценок координат и параметров объекта и их экстраполяции на следующий период обзора предлагается использовать нейронные сети. Задачи фильтрации и экстраполяции координат и параметров объектов движения можно решать с помощью сетей следующих типов: многослойный персептрон, сеть с радиально-базисными элементами, обобщенно-регрессионная сеть и линейная сеть [6]. Наиболее удобным при решении задач фильтрации и экстраполяции с помощью аппарата нейронных сетей является многослойный персептрон.

Возможны два варианта применения нейронной сети для фильтрации. Первый основан на предварительном обучении сети на примерах в виде обучающих реализаций вектора измерений и вектора оценок длиной N с последующим опросом сети для фильтрации при поступлении текущего измерения. Второй основан на принципе формирования входных образов сети в реальном масштабе времени в виде скользящего окна, содержащего последние M измерений и оценок. При поступлении нового измерения производится корректировка сети и затем производится ее опрос.

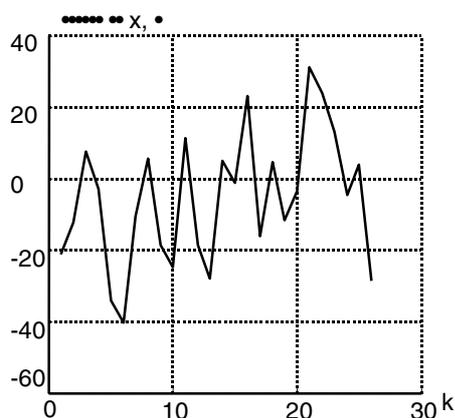
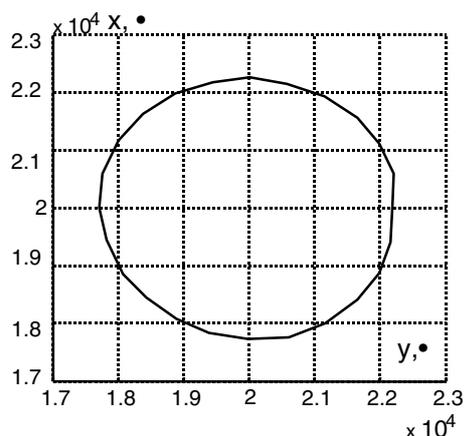
Компьютерное моделирование. Моделирование проводилось для классической многослойной нейронной сети типа персептрон с обучением по методу обратного распространения ошибки и адаптивно [6]. Использована сеть с единственным скрытым слоем, количество нейронов в котором варьировалось от 5 до 250 нейронов. В качестве функции активации использована тангенциальная функция. Количество нейронов входного слоя равно количеству точек обучающей выборки. Выходной слой содержит единственный нейрон.

Исследована архитектура сети для трех моделей движения в плоскости Oxy с измерениями по данным двухкоординатной РЛС: 1) неподвижной в среднем цели со случайным вектором скорости; 2) равномерного прямолинейного движения объекта со случайным возмущением по ускорению; 3) маневрирующей цели. Для этих моделей движения шумы измерения полагались белыми гауссовскими последовательностями с нулевыми математическими ожиданиями и среднеквадратическими (с.к.о.) отклонениями $\sigma_r = 20 м$, $\sigma_\alpha = 5'$. Период обзора РЛС равен 2 с.

Результаты для первой модели. Длина обучающей реализации $N = 5000$. Начальные координаты $x_0 = y_0 = 20000 м$. Учитывается возмущение полиномиальной траектории по каждой координате в виде воздействия по скорости белого гауссовского шума (БГШ) с нулевым математическим ожиданием и с дисперсией σ_v^2 . При моделировании выбрано $\sigma_v = 5 м/с$. С.к.о. ошибки фильтрации для указанных параметров моделирования при числе нейронов скрытого слоя 250 и при длине проверочной реализации 1000 составляет около 29.7 м.

Если используется вариант сети со скользящим окном, количество нейронов в скрытом слое варьируется от 5 до двойной длины окна. Большее количество нейронов не дает лучших результатов. Длина окна выбрана равной 7. С.к.о. ошибки фильтрации для указанных параметров моделирования при длине проверочной реализации 1000 составляет около 20 м, что в сравнении с первым вариантом решения дает значительный выигрыш.

Результаты для второй модели. Длина обучающей реализации $N = 3000$, $x_0 = y_0 = 20000 м$. Объект совершает равномерное прямолинейное движение по курсу на постоянной высоте с постоянной скоростью $v = 300 м/с$. Учитывается возмущение полиномиальной траектории по каждой координате в виде воздействия по ускорению БГШ с нулевым математическим ожиданием и с дисперсией σ_a^2 . Размер скрытого слоя нейронной сети выбран равным 250 нейронам. С.к.о. ошибки фильтрации при длине проверочной реализации 3000 составляет около 43.4 м. При меньшем числе нейронов ошибка фильтрации выше. При небольшом числе нейронов ошибка фильтрации большая и сеть работает неустойчиво.



Исследование показало, что для оценки скорости прямолинейного равномерного движения необходимо использование последовательности конечных разностей координат первого порядка.

Результаты для третьей модели. Длина обучающей реализации $N = 2600 : 100$ реализаций траектории движения по 26 отсчетов в каждой, $x_0 = 22246 м$; $y_0 = 19983 м$. Объект совершает маневр по курсу на постоянной высоте с постоянной скоростью $v = 300 м/с$ и с перегрузкой $4g$. Учитывается

возмущение полиномиальной траектории по каждой координате в виде воздействия по ускорению БГШ с нулевым математическим ожиданием и с дисперсией σ_a^2 . При моделировании выбрано $\sigma_a = 5 м/с^2$. Размер скрытого слоя нейронной сети выбран равным 250 нейронам. На рисунке приведены фрагменты траектории движения объекта в плоскости Oxy и зависимости абсолютных динамических ошибок фильтрации по координате x для 26 отсчетов. С.к.о. ошибки фильтрации для указанных параметров моделирования при длине проверочной реализации 2600 составляет около 20.2 м.

Исследование показало, что для оценок скорости и ускорения маневрирующей цели необходимо использование конечных разностей координат первого и второго порядков.

Аналогично фильтрации обученные нейронные сети можно использовать и для экстраполяции координат и параметров движения.

Заключение. Задача оценки может быть аналогично решена для моделей движения и измерений в полярной системе координат. В модели движения и измерений могут быть учтены различные нелинейности. Шумы измерения могут иметь произвольный закон распределения.

Литература

1. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем.–М.: Радио и связь, 1991.– 608 с.
2. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации – СПб: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 1998. – 370 с.
3. Ефименко В.С., Харисов В.Н., Стребков Е.Г. Применение нейронных сетей в задачах оптимальной фильтрации // Радиотехника.–2000.–N 7.–С.56–61.
4. Ивановский Р.И., Эпштейн М.К. Оценка параметров движения маневрирующих объектов.–Л.: ЦНИИ «Румб», 1982.– 96 с.
5. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации.–М.: Радио и связь, 1986.– 352 с.
6. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие.- М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001.– 224 с.



NEUROCOMPUTER PROCESSING IN THE DECISION OF TASKS OF NONLINEAR FILTERING OF PARAMETERS OF MOVEMENT OF OBJECTS

Amosov O.

is@knastu.ru, osa18@yandex.ru

The methods of the theory of optimum filtering are the fundamental means for the estimation of parameters of movement of mobile objects. Now the neural networks find the application at the decision of tasks of optimal filtering, as is independent, and together with methods of optimum filtering. The task of the estimate of parameters of movement of aerial and sea objects on a basis of neural networks on the data of Radar measurements is decided.

The nonlinear model for three-coordinate Radar is given. It carries out measurement of range, azimuth and angle of fire with stochastic errors. The model of polynomial performance of three independent Cartesian coordinates of the object is given. The vector of state of the object is formed by three current Cartesian coordinates of the object, projections of the speed and projections of the acceleration. The stochastic component perturbations of the trajectory on each coordinate are taken.

The formulation of a task: it is necessary to synthesize neural networks, which form estimates of the coordinates, of the projections of the speed and acceleration for various sections of movement and carry out them extrapolation. The neural networks for reception of current estimating of coordinates and parameters of the object and them extrapolation for the following period of the review are offered.

The tasks of filtering and extrapolation of coordinates and parameters of objects of movement can be decided with the help of networks of the following types: multilayer perceptron, radial basis function network, generalized-regressive network and linear network. Most convenient at the decision of tasks of filtering and extrapolation on the apparatus of neural networks is multilayer perceptron. The examples of filtering are given for this class of neural networks.

Two variants of construction of neural network for filtering are possible. First variant is based on training on examples as training realizations. Second variant is based on a principle of a slipping window containing last M of measurements and estimates. It is convenient for using in the real time. Their joint application is possible. The computer modeling was carried out for classical multilayer neural network such as perceptron with training on a method of the error back propagation or on a adaptive method. The network with the unique latent layer is used, the quantity neurons in which varied from 5 up to 250 neurons. As function of activation tangent function is used. The quantity of neurons an input layer is equal to quantity of points of training sample. The target layer contains unique neuron.

The architecture of a network for three models of movement in a plane is researched: 1) no movable on the average object with a stochastic vector of speed; 2) uniform rectilinear movement of object with stochastic perturbation on acceleration; 3) maneuvering object. For all pointed models of movement the noises of measurement are modeling by white Gaussian sequences.

The errors of filtering of coordinates for these models of movement are received. Trained neural networks can be used and for extrapolation of coordinates and parameters of movement. For extrapolation it is possible to use and specially synthesized for this purpose neural networks. The modeling has shown, that for the estimating of the speed and acceleration of the maneuvering object a final differences of the first and second orders are necessary.

The task of the estimating can be similarly decided for models of movement in a spherical system of coordinates. In model of movement and measurements can be taken into account of various non-linearity. The noises of measurement can have the any law of distribution.