

УДК 006.91:053.088

Лейт Ахмед Мустафа Аль Равашдех, Т.А. Овчарова, И.В. Руженцев

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ КОМПЕНСАЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

*В статье на основе анализа применения спутниковых навигационных систем для определения местонахождения подвижных транспортных объектов предлагается при обработке цифровой измерительной информации использовать искусственные нейронные сети.*

**Ключевые слова:** спутниковая система навигации, подвижные транспортные средства, погрешности обработки измерительной информации, искусственная нейронная сеть, трехслойный перцептрон.

### Введение

Создание навигационных систем было предопределено потребностями новых потенциальных потребителей, нуждавшихся в высокоточной привязке своего положения во времени и пространстве. В качестве таких потребителей выступали авиация, морской флот, наземные транспортные средства, космические аппараты.

Выяснилось также, что основной вклад в погрешность навигационных определений вносят погрешности передаваемых спутникам собственных эфемерид, которые рассчитываются и закладываются на борт КА средствами наземного комплекса управления (НКУ).

С целью повышения точности определения и прогнозирования параметров орбит навигационных спутников отрабатываются специальные схемы проведения измерений параметров орбит средствами НКУ, применяются более точные методики прогнозирования [1]. В результате точность передаваемых в составе навигационного сигнала собственных эфемерид была повышена практически на порядок, так что их погрешность на интервале суточного прогноза не превышала 70...80 м.

Однако выполнить требования всех потенциальных классов новых потребителей низкоорбитальные системы не могут в силу принципов, заложенных в основу их построения.

Так, если для неподвижных потребителей, имеющих двухканальную приемную аппаратуру, погрешность определения местоположения удалось снизить до 32 м (данные для американской СРНС "Транзит"), то при движении погрешности сразу же начинают возрастать из-за неточности счисления пути - низкоорбитальные СРНС не позволяли определять скорость движения. Более того, по получаемым измерениям можно определить только две пространственные координаты.

Вторым недостатком низкоорбитальных систем было отсутствие глобальности покрытия, поскольку, например, на экваторе спутники проходили через зону видимости потребителя в среднем через 1.5 часа, что допускает проведение только дискретных навигационных сеансов.

Наконец, ввиду использования в сеансе лишь одного НКА продолжительность измерений может достигать до 10...16 мин. Большая длительность сеансов и значительные интервалы между ними делают неизбежным применение специальных мероприятий для счисления пути.

При этом ошибки счисления и ограничивают точность местоопределения.

Одновременно с проведением измерений в приемнике выполняется автоматическая обработка содержащихся в каждом навигационном радиосигнале меток времени и цифровой информации. Цифровая информация описывает положение данного спутника в пространстве и времени (эфемериды) относительно единой для системы шкалы времени и в геоцентрической связанной декартовой системе координат.

Кроме того, цифровая информация описывает положение других спутников системы (альманах) в виде кеплеровских элементов их орбит и содержит некоторые другие параметры.

Результаты измерений и принятая цифровая информация являются исходными данными для решения навигационной задачи по определению координат и параметров движения. Навигационная задача решается автоматически в вычислительном устройстве приемника, при этом используется известный метод наименьших квадратов.

В результате решения определяются три координаты местоположения потребителя, скорость его движения и осуществляется привязка шкалы времени потребителя к высокоточной шкале. В сеансе навигации результаты измерений в НАП псевдо-

дальностей относительно не менее четырех НКА, выбранных для сеанса, и принятая ЭИ от выбранных НКА позволяют определить три координаты объекта и сдвиг местной ШВ объекта (опорного сигнала) относительно ШВ системы.

Основными источниками погрешностей измерения псевдодальности в многоканальной НАП являются:

- шумы и многолучевость на входе приемника,
- тропосфера,
- ионосфера (в однодиапазонной НАП).

Составим суммарный бюджет погрешностей псевдодальностей без ионосферы (который будем называть инструментальной погрешностью псевдодальности) для многоканальной НАП, использующей узкополосные однодиапазонные (1600 МГц) навигационные радиосигналы ( $T_0 = 1$  с):

	$S(\sigma_{y1}), \text{ м}$	$S(\sigma_{y2}), \text{ м}$
Погрешности ЭИ	4,0...4,6	5,5
Погрешности ЧВП	4,2	4,2
Шумы ( $T_0=1$ с)	2,0	3,0...6,0
Тропосфера	0,3	1,5...3,0
Многолучевость	-	0...3,0
Итого	6,2...6,6	7,7...9,6

Для оперативной высокоточной цифровой информации в последнее время эффективно используются искусственные нейронные сети, которые позволяют компенсировать нелинейности функции преобразования.

Нелинейность функции преобразования звена измерительной цепи является нежелательным свойством, поскольку вносит дополнительную погрешность в результат измерения.

Для того, чтобы избавиться от нелинейности, предлагается использовать специальный фильтр-компенсатор, реализующий функцию, обратную к преобразованию

$$\hat{x}(t) = \psi(y(t), y(t-1), \dots, y(t-n), \hat{x}(t-1), \hat{x}(t-2), \dots, \hat{x}(t-m))^T.$$

Данное устройство, включенное последовательно с измерительным преобразователем, позволит скомпенсировать его нелинейную динамику и получить оценку входного измеряемого сигнала.

В качестве компенсатора, реализующего обратную модель нелинейного измерительного преобразователя, предлагается использовать трехслойный персептрон, дополненный линиями задержек входных сигналов [2].

Отыскание неизвестных оптимальных параметров нейросетевого динамического компенсатора

осуществляется с помощью процедуры обучения, представленной на рис. 1. В качестве обучающей выборки для настройки синоптических весов искусственной нейронной сети используются временные последовательности входного и выходного сигнала нелинейного измерительного преобразователя.

Критерием оптимальности при этом является обеспечение минимума целевой функции.

Нейросетевой компенсатор, представляющий собой обратную модель нелинейного динамического измерительного преобразователя, реализован на базе трехслойного персептрона, дополненного линиями задержек входных сигналов. Структура нейросетевого динамического компенсатора представлена на рис. 1.

Выходной слой персептрона образован одним нейроном, который формирует сигнал как взвешенную сумму выходных сигналов нейрона скрытого слоя

$$\hat{x}(t) = \sum_{j=1}^k V_j o_j(t),$$

где  $V_j, j = 1, \dots, k$  – синаптические веса выходного нейрона сети,

$o_j$  – выходные сигналы нейронов скрытого слоя.

Скрытый слой образован нейронами сигмоидальными функциями активации. Каждый нейрон этого слоя описывается следующими уравнениями:

$$o_j(t) = \frac{1}{1 + e^{-S_j(t)}},$$

$$S_j = \sum_{i=1}^{n+m+1} W_{ij} \varphi_i(t),$$

где  $W_{ij}$  – синаптический вес связи  $i$ -го входного синапса с  $j$ -м нейроном скрытого слоя,

$\varphi_i(t)$  –  $i$ -й компонент вектора входных сигналов персептрона.

Вектор входных сигналов персептрона размерности  $((n+m+1) \times 1)$  описывается как:

$$\varphi(t) = (y(t), y(t-1), \dots, y(t-n), \hat{x}(t-1), \hat{x}(t-2), \dots, \hat{x}(t-m)).$$

Обучение нейросети-компенсатора проводится при помощи алгоритма Левенберга-Марквардта.

## Вывод

На основе анализа применения спутниковых навигационных систем для определения местонахождения подвижных транспортных объектов предлагается при обработке цифровой измерительной информации использовать искусственные нейронные сети.

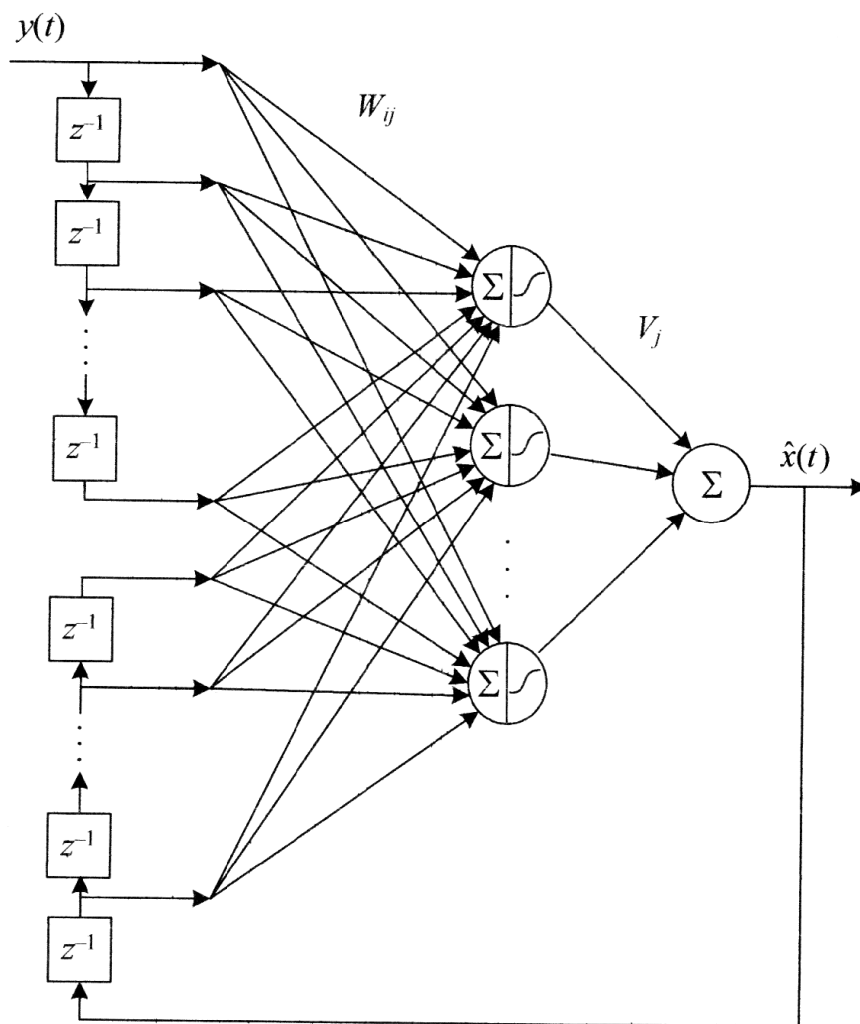


Рис. 1. Структура нейросетевого динамического компенсатора

## Список литературы

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Тренди, 2000. – 182 с.
2. Запорожец О.В. Компенсация нелинейности функции преобразования измерительных устройств с помощью искусственной нейронной сети / О.В. Запорожец О.В., В.А. Коротенко, Т.А. Овчарова // Системи

управління, навігації та зв'язку . – Вип. 4(16). – 2010. – С. 99-103.

Поступила в редколлегию 27.03.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.М. Кораблев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ТА АЛГОРИТМІВ КОМПЕНСАЦІЇ НЕЛІНІЙНОСТІ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМИХ ТРАНСПОРТНИХ ОБ'ЄКТІВ

Л. Аль Равашдех, Т.О. Овчарова, І.В. Руженцев

У роботі на основі аналізу застосування супутникових навігаційних систем для визначення місцезнаходження рухомих транспортних об'єктів пропонується при обробці цифрової вимірювальної інформації використовувати штучні нейронні мережі.

**Ключові слова:** супутникова система навігації, рухоми транспортні засоби, похибка обробки вимірювальної інформації, штучна нейронна мережа, тришаровий перцептрон.

## THE DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK MODELS AND ALGORITHMS TO COMPENSATE FOR THE NONLINEARITY OF THE CONVERSION FUNCTION DURING THE LOCATING OF MOBILE TRANSPORT OBJECTS

L. Al Rawashdeh, T.A. Ovcharova, I.V. Ruzhentsev

In the work based on the analysis of application of satellite navigation systems for determining position of moving traffic objects is proposed during the processing of the digital measurement data using artificial neural network.

**Keywords:** satellite navigation system, mobile vehicle, the error of measurement information processing, artificial neural network, three-layer perceptron.