



УДК 621.396.96
ББК 32.8

ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЧМ-ДАЛЬНОМЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

С.А. Долгачева, Ю.А. Цапков

Рассматривается задача повышения точности частотного дальномера путем применения искусственных нейронных сетей в обработке сигнала разностной частоты. Изложены конструкция сети и алгоритм ее обучения. Получены коэффициенты нейронных связей. Приведены результаты численного эксперимента по обработке сигнала дальномера для диапазона расстояний от 0 до 3 метров.

Ключевые слова: нейронная сеть, частотный дальномер, доплеровский локатор, параллельные вычисления, оптимизация, повышение точности, распознавание.

Введение

Целью работы является повышение точности дальномера (см. рис. 1), работающего по принципу частотной модуляции, за счет применения искусственной нейронной сети в обработке сигнала разностной частоты. Эта задача представляет интерес для разработчиков простых и компактных средств радиотехнических измерений, использующих микропроцессорную технику.

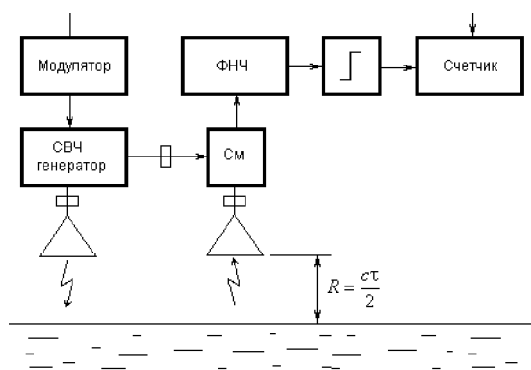


Рис. 1. Схема частотного дальномера

Частотные дальномеры, построенные по схеме измерения биений сигналов с частотной модуляцией – зондирующего и отраженного, отличаются простотой технической реализации, однако обладают существенным недостатком – дискретной ошибкой, определяемой девиацией частоты $\Delta\omega$ и носящей методический характер [1].

Известен ряд методов подавления дискретной ошибки частотного дальномера [2; 4]. Наиболее простым и эффективным из них является введение дополнительной медленной модуляции $\Omega_m(t)$ средней частоты сигнала передатчика $\omega_0^*(t) = \omega_0 + \omega(t) + \Omega_m(t)$. Достоинством такого метода является простота технической реализации, выражающаяся в минимальной доработке дальномера и регистрирующего устройства, которое должно работать в режиме усредняющего счета.

Зависимости показаний усредняющего счетчика \tilde{N} от измеряемого расстояния R (рабочие характеристики) приведены на рисунке 2.

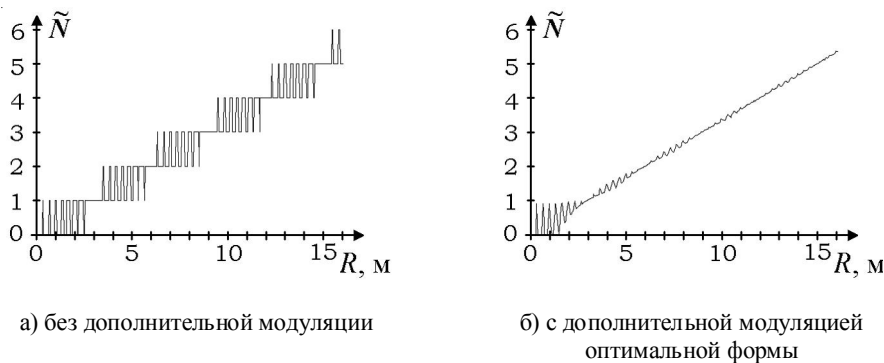


Рис. 2. Рабочие характеристики частотного дальномера

Представленные рабочие характеристики рассчитаны при параметрах, соответствующих параметрам бортового радиовысотомера РВ-2: несущая частота $f_0 = 450$ МГц; частота основной модуляции $F = 10$ кГц; частота дополнительной модуляции $F_m = 100$ Гц; полная девиация $\Delta f = 50$ МГц.

Как видно из рисунка 2, метод дополнительной модуляции:

- а) неэффективен для начального диапазона расстояний от 0 до 3 м – ступенчатость характеристики сохраняется;
- б) малоэффективен для участка расстояний от 3 до 12 м – недостаточная сглаженность характеристики;
- в) на расстояниях свыше 12 м наблюдается достаточно эффективное сглаживание рабочей характеристики, позволяющее достигать приемлемой точности измерения расстояния.

Сигнал разностной частоты

Физической основой работы частотного дальномера является соотношение

$$\tau = \frac{2R}{c}, \quad (1)$$

где R – измеряемое расстояние;

τ – время, за которое электромагнитная волна проходит путь до объекта и обратно;

c – скорость света.

Таким образом, зондирующая волна $x(t) = A_0 \cos[\Phi(t)]$, отразившись от поверхности, до которой измеряется расстояние, поступит в приемник с задержкой фазы $\Phi(t)$ на величину τ . Затем, в смесителе сигналы, соответствующие зондирующей и отраженным волнам, перемножаются, и с помощью фильтра низких частот из их произведения выделяется сигнал разностной частоты:

$$z(t) = A \cos[\Phi(t) - \Phi(t - \tau)]. \quad (2)$$

Фазу зондирующего сигнала можно представить в виде:

$$\Phi(t) = \omega_0 t - \frac{\Delta\omega}{\Omega} \cos(\Omega t), \quad (3)$$

где ω_0 – несущая частота;
 Ω – частота модуляции;
 $\Delta\omega$ – девиация частоты.

Учитывая малые значения расстояния R и, как следствие, малые значения τ (для расстояний до 100 м величина τ составляет $\sim 10^{-7}$ с), сигнал разностной частоты (2) с учетом (3) можно представить в приближенном виде:

$$z(t) \approx \cos\left(\frac{2R}{c} [\omega_0 + \Delta\omega \sin(\Omega t)]\right). \quad (4)$$

Сигнал (4) представляет собой частотно-модулированное колебание, с периодом изменения частоты, равным периоду модуляции $T = \frac{2\pi}{\Omega}$. На рисунке 3 построены четыре сигнала вида (4) за период модуляции T при различных значениях расстояния ($R_1 = 1$ м; $R_2 = 1,05$ м; $R_3 = 1,1$ м и $R_4 = 1,15$ м).

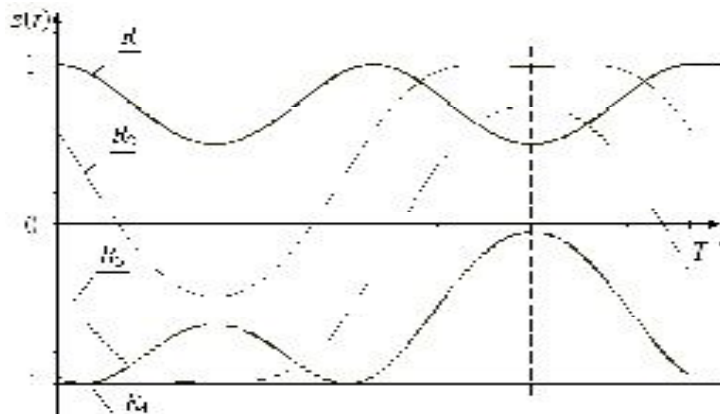


Рис. 3. Форма сигнала разностной частоты при различных значениях измеряемого расстояния

Счетчик, используемый в схеме частотного дальномера (рис. 1), регистрирует N переходов сигнала $z(t)$ через нулевой уровень за период модуляции T :

$$N = \left\| \frac{\Psi^{\max}}{\pi} \right\| - \left\| \frac{\Psi^{\min}}{\pi} \right\|, \quad (5)$$

где $\Psi^{\max} = \frac{2R}{c} [\omega_0 + \Delta\omega]$, $\Psi^{\min} = \frac{2R}{c} [\omega_0 - \Delta\omega]$, а знаком $\|x\|$ обозначена операция взятия целой части числа x .

Таким образом, из рисунка 3 и формулы (5) видно, что для близких между собой расстояний значение N , регистрируемое счетчиком, колеблется в единице счета, что и обуславливает ступенчатость рабочей характеристики (рис. 2а), при этом формы сигналов (4) различны, что также видно из рисунка 3.

Распознавание сигнала разностной частоты

В связи с тем, что сигнал (4) содержит полную информацию об измеряемом расстоянии, в настоящей работе проведено распознавание формы сигнала разностной частоты при помощи искусственной нейронной сети.

Для практической реализации метода требуется доработка структурной схемы, изображенной на рисунке 1: вместо усилителя-ограничителя и счетного устройства следует подключить аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и микропроцессор (МП), в котором программно или аппаратно реализован алгоритм работы нейронной сети (рис. 4).

Для решения задачи распознавания наилучшим образом подходят нейронные сети классифицирующего типа [3]. На вход сети подается нормированный вектор $\mathbf{Z} = \{z_1, z_2, \dots, z_M\}$, составленный из M отсчетов сигнала разностной частоты, полученных за период модуляции T . Каждый элемент первого слоя сети вычисляет значение нейрофункции с учетом своих коэффициентов w_{in} , полученных в результате обучения:

$$f_i = \sum_{n=0}^{M-1} w_{in} \cdot z_n, \quad (6)$$

где f_i – значение нейрофункции i -го элемента сети (нейрона);
 w_{ij} – коэффициент нейронной связи i -го нейрона для n -й компоненты входного вектора \mathbf{Z} .

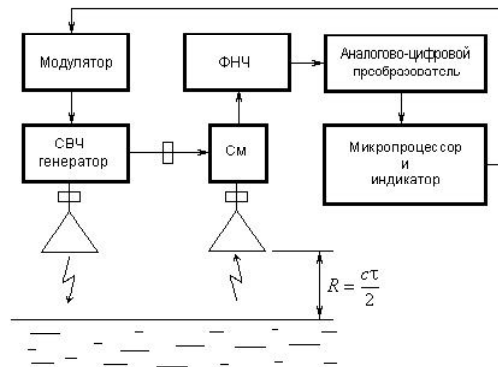


Рис. 4. Схема частотного дальномера с распознаванием формы сигнала разностной частоты

Задача второго слоя сети – сопоставить множество значений нейрофункции f_i конкретному расстоянию, заданному во время обучения. В работе рассмотрен метод самоорганизующихся Карт Кохоннена с различными типами обучения: классификацией нейронов без обучения, обучение методом выпуклой комбинации, конкурентное обучение со случайной инициализацией весов и конкурентное обучение со множеством победителей [3]. Сети обучались по идеальным теоретическим сигналам, получаемым по формуле (4), в которой расстояние R изменялось с шагом 1 см.

Затем на вход обученной сети подавался сигнал с характерным для рассматриваемой системы аддитивным шумом. В качестве модели шума использовался белый гауссов шум с различными уровнями интенсивности.

Наилучший результат показала сеть с обучением методом выпуклой комбинации. При точном совпадении измеряемого расстояния одному из значений, на которых была обучена сеть, рабочая характеристика представляет собой прямую линию, то есть дает точное значение измеряемого расстояния. Добавление шума приводит к появлению ложных результатов отдельных измерений (рис. 5). Ложные результаты обладают случайным характером, связанным с конкретной реализацией шумового процесса, и устраняются накоплением и усреднением результатов измерения за определенное число периодов модуляции T , в результате чего рабочая характеристика вновь становится прямой линией. При анализе сигнала за 100 последовательных периодов модуляции построенная система оказалась устойчивой к шумам с уровнем, сопоставимым с уровнем сигнала разностной частоты.

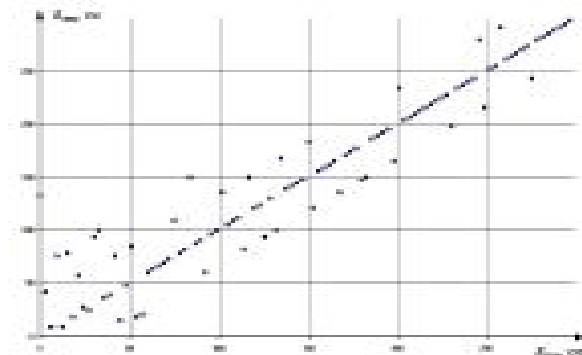


Рис. 5. Рабочая характеристика частотного дальномера с нейроанализатором при наличии шума

Построение рабочей характеристики с шагом по расстоянию R , отличным от шага, используемого при обучении сети, выявило появление ложных результатов даже при отсутствии шумов (рис. 6).

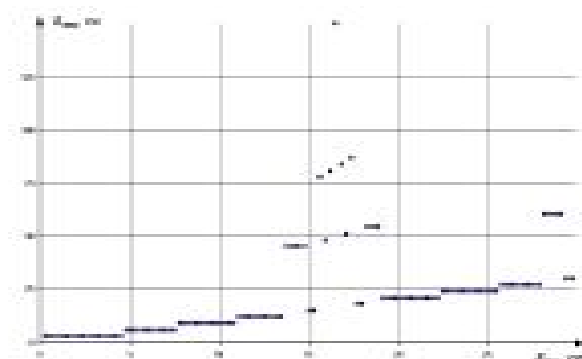


Рис. 6. Рабочая характеристика частотного дальномера с нейроанализатором на промежуточных значениях обученных расстояний

Данная проблема может быть решена множеством способов: увеличением числа активных нейронов сети с одновременным уменьшением шага по расстоянию при обучении, использованием дополнительной медленной модуляции несущей частоты с последующим анализом результатов, выданных нейроанализатором, оптимизацией структуры нейронной сети.

Заключение

Применение искусственной нейронной сети в задаче обработки сигнала частотного дальномера позволяет решить проблему измерения малых расстояний и достичь точности, определенной на стадии обучения сети. Предложенное решение легко адаптируется на произвольные параметры частотного дальномера. Возможности метода ограничены производительностью процессора, реализующего алгоритм работы нейронной сети, и требуют дополнительного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев, Г. П. Радиотехнические средства навигации летательных аппаратов / Г. П. Астафьев, В. С. Шебшаевич, Ю. А. Юрков. – М. : Сов. радио, 1962. – 964 с.
2. А. с. 1230423 СССР, МКИ³ G 01 S 13/34, 13/08. Радиодальномер с частотной модуляцией / Б. В. Кагаленко, В. П. Мещеряков (СССР).
3. Калан, Р. Основные концепции нейронных сетей : пер. с англ. / Р. Калан. – М. : Вильямс, 2001. – 287 с.
4. Пат. на полезную модель № 38058. Радиолокационный уровнемер повышенной точности / В. Д. Захарченко, Ю. А. Цапков.

THE FM-RANGEFINDER SIGNAL PROCESSING WITH USING NEURAL NETWORKS

S.A. Dolgacheva, Yu.A. Tsapkov

The problem of accuracy increase in a frequency modulated rangefinder by application an artificial neural network in signal processing of difference frequency is considered. The design of a network and algorithm of its training are stated. Factors of neural communications are received. Results of numerical experiment on the rangefinder signal processing for a range of distances from 0 to 3 meters are resulted.

Key words: *neural network, fm-rangefinder, Doppler locator, parallel calculations, optimization, accuracy increase, recognition.*