

траектории спутника на поверхности Земли. В отсутствии информации об облачности выводится зона видимости спутника в заданной точке.

Светодиодами управляют три микроконтроллера. Каждый микроконтроллер отвечает за один слой изображения. Светодиоды большой яркости подключены через регистры-защелки, тем самым уменьшается число требуемых параллельных портов микроконтроллера.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОБУЧАЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А.В. Токарева, П.В. Лактанов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одной из важных задач в комплексе мероприятий, направленных на повышение качества продукции, является прогнозирование состояния радиоэлектронных средств и элементной базы. Широкое распространение начинают получать методы прогнозирования на основе теории распознавания образов. Если известна двумерная плотность распределения информативного параметра и прогнозируемого показателя качества, то хорошие результаты прогнозирования дает метод оптимальной классификации. Однако необходимые при этом аналитические преобразования даже при одном информативном параметре и нормальном совместном законе достаточно сложны. Если к тому же двумерная плотность заранее неизвестна, то необходим еще статистический эксперимент для нахождения ее оценки.

В ряде случаев проще и быстрее решить задачу классификации и прогнозирования можно путем проведения обучающего эксперимента, не прибегая к сложным аналитическим преобразованиям и статистическому эксперименту по определению оценки двумерной плотности. Такой подход был использован в данной работе для классификации и индивидуального прогнозирования показателей качества микросхем серии 564.

Обучающий эксперимент был проведен для микросхем 564ЛН2 КМОП типа. В процессе обучающего эксперимента измерялись значения информативных параметров и прогнозируемого показателя качества для каждого экземпляра исходной выборки. В качестве информативных параметров были выбраны критическое питающее напряжение  $U_{кр.п}$  и задержка времени срабатывания  $t_p$  микросхемы по переднему фронту выходного импульса при пониженном напряжении питания. Показателем качества являлась величина дрейфа тока утечки за 1000 часов испытаний при температуре 120°C.

Затем проводилось обучение. Оно заключалось в обработке результатов обучающего эксперимента. Микросхемы делились на два класса – класс надежных  $K_1$  и класс потенциально ненадежных  $K_2$ . Граничное значение дрейфа тока утечки составляло 40%. К классу  $K_1$  относили образцы, у которых величина  $\Delta I_{ут}$  была меньше 40%. Были определены риск потребителя  $P_{потр}$ , риск поставщика  $P_{пост}$ , вероятность принятия ошибочных решений  $P_{ош}$ , априорные вероятности принадлежности образцов к классу  $K_1$  и классу  $K_2$  –  $P(K_1)$  и  $P(K_2)$ , априорные вероятности принятия решений об отнесении образца к классу  $K_1$  и классу  $K_2$  –  $P(\text{реш}K_1)$  и  $P(\text{реш}K_2)$ . Эти характеристики определяли следующим образом:

$$P_{\text{потр}} = P(K_2 / \text{реш}K_1) = \frac{n(K_2 / \text{реш}K_1)}{n(\text{реш}K_1)} ;$$

$$P_{\text{пост}} = P(K_1 / \text{реш}K_2) = \frac{n(K_1 / \text{реш}K_2)}{n(\text{реш}K_2)} ;$$

$$P_{\text{прав}} = \frac{n(\text{реш}K_1 / K_1) + n(\text{реш}K_2 / K_2)}{n} ;$$

$$P_{\text{ош}} = \frac{n(\text{реш}K_1 / K_2) + n(\text{реш}K_2 / K_1)}{n} ;$$

$$P(K_1) = \frac{n(K_1)}{n} ; P(K_2) = \frac{n(K_2)}{n} ;$$

$$P(\text{реш}K_1) = \frac{n(\text{реш}K_1)}{n} ; P(\text{реш}K_2) = \frac{n(\text{реш}K_2)}{n} ;$$

где  $n(K_2/\text{реш}K_1)$  – число ошибочных решений, заключающихся в отнесении экземпляров класса  $K_2$  в  $K_1$ ;  $n(K_1/\text{реш}K_2)$  – число ошибочных решений, заключающихся в отнесении экземпляров класса  $K_1$  в  $K_2$ ;  $n(\text{реш}K_1/K_1)$  – число верных решений об отнесении экземпляра, принадлежащего фактически к классу  $K_1$ , к этому же классу;  $n(\text{реш}K_2/K_2)$  – число верных решений об отнесении экземпляра, принадлежащего фактически к классу  $K_2$ , к этому же классу;  $n(\text{реш}K_1)$ ,  $n(\text{реш}K_2)$  – общее число решений, принимаемых по прогнозу об отнесении экземпляров соответственно к классу  $K_1$  и  $K_2$ ; при этом  $n(\text{реш}K_1)+n(\text{реш}K_2)=n$ ;  $n(K_1)$ ,  $n(K_2)$  – число экземпляров, фактически принадлежащих к классу  $K_1$  и  $K_2$ , соответственно; причем  $n(K_1)+n(K_2)=n$ .

После этого проводился экзамен. Он заключался в проверке соответствия прогнозируемого состояния обояния каждого экземпляра с фактическим, определенным на этапе обучающего эксперимента.

Величина порога классификации определялась путем просчета нескольких вариантов. Были получены характеристики прогнозирования для трех уровней качества ( $K_1^1$ ,  $K_1^2$ ,  $K_1^3$ ) для случаев учета одного и двух

информативных параметров. Установлено, что минимальное значение вероятности ошибочных решений для всех уровней качества обеспечивает индивидуальное прогнозирование (ИП) по одному информативному параметру – по  $t_p$ . Минимальное значение риска потребителя для уровня качества  $K_1^1$  обеспечивает ИП также по одному информативному параметру – по  $t_p$ . Для группы качества  $K_1^2$  минимальное значение  $P_{\text{шотр}} = 0,05$  обеспечивает прогнозирование по двум информативным параметрам –  $t_p$  и  $U_{\text{кр.п.}}$ . Это достаточно хорошие величины. Минимальное значение риска поставщика получилось при ИП по одному информативному параметру – по  $t_p$ . Так для уровня качества  $K_1^3$  достигнута величина  $P_{\text{пост}} = 0,24$ .

Приведенные исследования показали, что для данного типа микросхем наилучшие результаты ИП показателей качества достигаются при использовании одного информативного параметра. Наиболее информативным параметром является время задержки срабатывания микросхемы по переднему фронту выходного импульса.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РЭС С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОИМИТАТОРА РАДИАЛЬНО-БАЗИСНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И.Ю. Шумских

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для решения задачи прогнозирования надежности радиоэлементов была выбрана радиально-базисная нейронная сеть с двухслойной структурой (рис. 1), в которой скрытые нейроны реализуют функции, радиально изменяющиеся вокруг выбранного центра и принимающие ненулевые значения только в окрестности этого центра. Подобные функции, определяемые в виде  $\varphi(x) = \varphi(\|x - c\|)$ , называются радиальными базисными функциями. В таких сетях роль скрытого нейрона заключается в отображении радиального пространства вокруг одиночной заданной точки, либо вокруг группы таких точек, образующих кластер. Суперпозиция сигналов, поступающих от всех скрытых нейронов, которая выполняется выходным нейроном, позволяет получить отображение всего многомерного пространства.

В качестве радиальной функции применялась функция Гаусса. Ее центр размещался в точке  $C_i$ . Она может быть определена в сокращенной форме следующим образом: