

УДК 621.391

Д.М. Ненадович, С.А. Редкозубов

**МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ
ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Несомненным достоинством стохастических моделей и методов оценки процессов изменения значений экспертных показателей качества (ЭПК) в сравнении, например, с нечеткими моделями и методами, является более высокая степень объективности получаемых результатов при выполнении условий достаточности статистических данных [1].

Вместе с тем, в ходе формирования экспертных оценок качества проектно-технических решений (ПТР) в ходе проектирования сложных информационных систем (СИС) условия достаточности статистики выполняются далеко не всегда. В этих условиях особую актуальность приобретают проблемы разработки моделей учитывающих характер неопределенности отличный от стохастической.

Рассмотрим пример разработки нечеткой модели процесса функционирования перспективной ТКС на базе стохастического формирующего фильтра, результаты разработки которого представлены в работе [2].

Структурная схема формирующего фильтра нечеткой последовательности (ФФНП) представлена на рисунке. Представленный вариант реализации ФФНП аппаратно реализует следующее уравнение для вектора индикаторов изменения значений ЭПК:

$$\begin{aligned} \vec{\theta}(k+1) = & \\ = \Pi^T(k+1, k, r)\vec{\theta}(k) + \Delta\vec{\theta}(k+1) & ; \quad (1) \end{aligned}$$

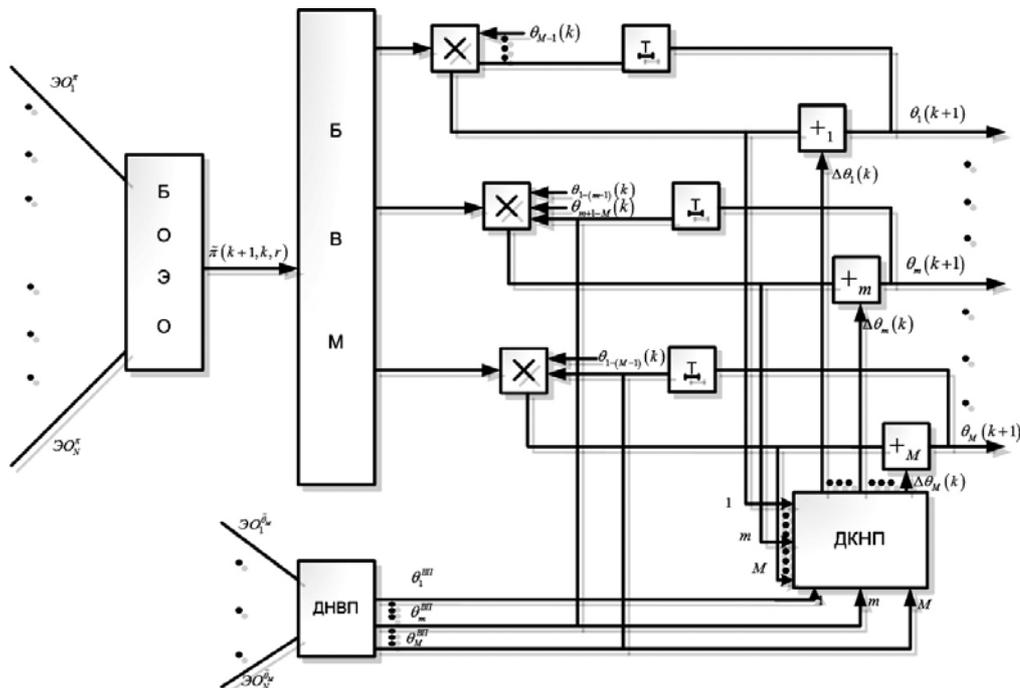
где $\vec{\theta}(k)$ вектор индикаторов значений ЭПК моделируемых нечеткой последовательностью $\eta(k)$:

$$\begin{cases} \vec{\theta}_m = 1 \\ \text{при } \eta(k) = \eta_m, m = 1, \dots, M, \\ 0 \text{ в остальных случаях;} \\ \eta(k) = C(k)\vec{\theta}(k), \end{cases} \quad (2)$$

где $C(k)$ - M-мерная матрица-строка возможных состояний процесса изменения ЭПК, $\Pi(k+1, k, r(k))$ - матрица одношаговых переходных вероятностей (ОПВ), значения элементов которой зависят от принятых ПТР $r(k)$ вектор компенсации нецелочисленных значений индикаторов $\Delta\vec{\theta}(k+1)$, значения которого формируются датчиком коррекции нечеткой последовательности (ДКНП). Значения вектора компенсации нецелочисленных значений индикаторов формируются в соответствии с правилом:

$$\Delta\vec{\theta}(k+1) = \Delta\theta(k+1)\vec{\theta}^{BII}(k); \quad (4)$$

$$\Delta\theta(k+1) = I - \langle [\Pi^T(k+1, k, r)\vec{\theta}(k)] \rangle_M; \quad (5)$$



Структурная схема формирующего фильтра нечеткой последовательности (ФФНП)

где $\Delta\theta(k+1)$ - M -мерная матрица компенсационных добавок, $\bar{\theta}^{ВП}(k)$ - вектор вспомогательной последовательности, формируемый на основе экспертного оценивания, I - M -мерная диагональная единичная матрица, $\langle \cdot \rangle_M$ - M -мерная матрица, столбцами которой являются M одинаковых векторов нецелочисленных значений индикаторов.

Формирование значений элементов матрицы ОПВ в осуществляется в блоке объединения экспертных оценок (БОЭО). В рассматриваемом случае, подразумеваемом нечеткое моделирование процесса изменения значений ЭПК СИС при реализации в системе различных ПТР, значения элементов матрицы ОПВ могут быть определены на основе объединения множеств экспертных оценок. В качестве механизма интеграции эксперт-

ных оценок, с целью наиболее полного учета мнений каждого эксперта, может быть реализована операция дизъюнктивного суммирования [3]. В терминах теории нечетких множеств дизъюнктивная сумма, например, двух множеств ($\mathcal{E}O_1$ и $\mathcal{E}O_2$) экспертных оценок значений элементов матрицы ОПВ, сформированных разными экспертами, может быть представлена в следующем виде:

$$\mathcal{E}O_1 \oplus \mathcal{E}O_2 = (\mathcal{E}O_1 \cap \bar{\mathcal{E}O}_2) \cup (\bar{\mathcal{E}O}_1 \cap \mathcal{E}O_2); \quad (6)$$

где $\bar{\mathcal{E}O}_1$ и $\bar{\mathcal{E}O}_2$ - дополнения соответствующих нечетких множеств.

В этом случае функция принадлежности имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \mu_{\mathcal{E}O_1 \oplus \mathcal{E}O_2}(\Pi) &= \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} (\min[\mu_{\mathcal{E}O_1}(\Pi), ; 1 - \mu_{\mathcal{E}O_2}(\Pi),]); \\ (\min[1 - \mu_{\mathcal{E}O_1}(\Pi) ; \mu_{\mathcal{E}O_2}(\Pi)]) \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

Определение значений дизъюнктивной суммы осуществляется в блоке вычисления дизъюнктивной суммы (БВДС). Необходимо отметить, что в результате реализации процедуры дизъюнктивного суммирования может быть нарушено условие нормировки для значений элементов матрицы ОПВ (равенство единице суммы значений элементов расположенных в одной строке).

В этом случае, нормировка значений элементов матрицы ОПВ может быть произведена в соответствии с правилом:

$$\Pi'_{mm} = \Pi_{mm} / \Pi'_{\Sigma} \quad (8)$$

Дополнительные сложности в ходе реализации процедуры дизъюнктивного суммирования могут возникнуть при совпадении значений μ_{Σ_1} и μ_{Σ_2} . В этом случае, определение значения элемента матрицы ОПВ должно осуществляться в соответствии со следующим выражением [3]:

$$\Pi_{mm} = \mu_{mm} \cdot (\Pi_{mm}) / \mu_{\Sigma} \quad (9)$$

В датчике нечеткой вспомогательной последовательности (ДНВП), осуществляется хранение значений векторов индикаторов значений ЭПК, соответствующим достижению марковской цепью финальных вероятностей (установившимся состояниям) и формируемых экспертами одновременно с формированием значений элементов матрицы ОПВ. Значения векторов считаются случайным образом в соответствии с нормальным законом и в тактированные моменты времени.

Необходимо отметить, что представленная модель (так же как и в стохастическом случае) может использоваться как автономно, так и совместно с каким-либо программно-аппаратным комплексом формирования оптимальной оценки-экстраполяции состояния модели (значения ЭПК). Реализация алгоритмов оценивания-экстраполяции в ходе моделирования приобретает особую актуальность при искусственном «зашумлении» наблюдаемых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Статистические методы прогноза временных рядов (Предварительный анализ и модели прогноза)*. М.: МГУ, Монография. 2002, 320 с.

2. *Ненадович Д.М.* Унифицированная математическая модель процесса функционирования управляемой информационной

системы. // *Радиоэлектроника (Изв. высш. учеб. заведений)*. 1992. № 3. С. 64-67.

3. *Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера*. - М.: Радио и связь, 1986. - 408 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Ненадович Д.М. – кандидат технических наук, менеджер Департамента эксплуатации ОАО «Ростелеком».

Редкозубов С.А. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики Московского государственного горного университета, член Президиума ВАК.



Д.М. Ненадович, С.А. Редкозубов

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ОБУЧЕНИЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ-ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ
ЭКСПЕРТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, В НЕЧЕТКОЙ
ВЕКТОРНОЙ ПОСТАНОВКЕ**

Экспертиза проектно-технических решений, принимаемых в ходе разработки сложных информационных систем (СИС), протекает в условиях различного уровня (параметрическая, непараметрическая) и характера (случайность, нечеткость, неполнота) априорной неопределенности исходной информации. Повышение степени объективности экспертных оценок качества проектно-технических решений предлагаемых к реализации в ходе проектирования СИС, возможно на основе разработки моделей процессов изменения значений экспертных показателей качества (ЭПК).

С целью формирования оценочно-прогнозных значений ЭПК, моделируемых зашумленными нечеткими последовательностями, должны быть разработаны соответствующие методы. Рассмотрим один из примеров разработки методов экстраполяции-оценивания значений ЭПК в нечеткой постановке. Запишем уравнение наблюдения за нечетким процессом изменения индикаторов $\bar{\theta}(k)$ значений ЭПК в следующем виде:

$$\bar{Z}(k) = H(k, \eta(k)) \bar{\theta}(k) + \bar{W}(k), \quad (1)$$

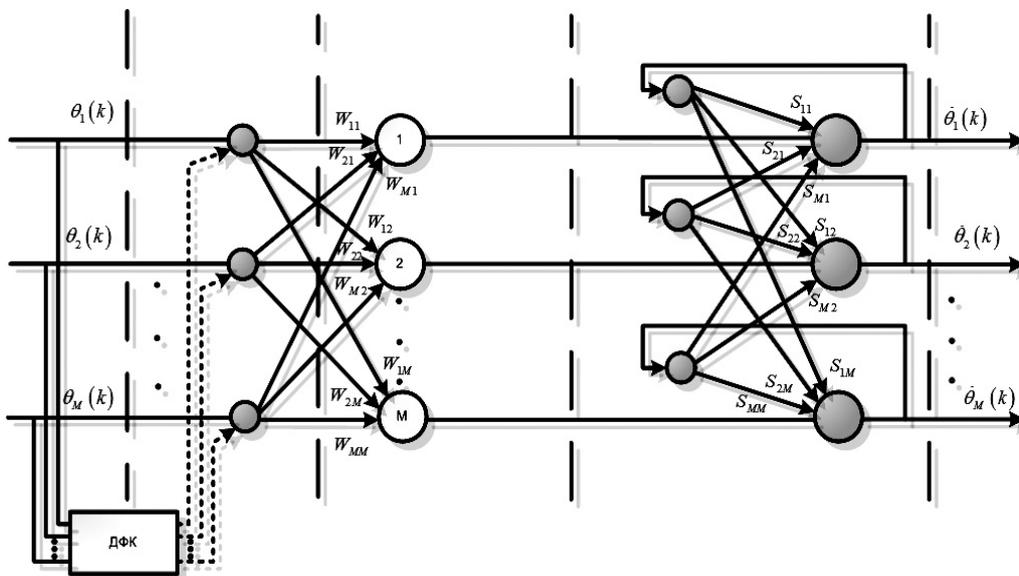
где $H(k, \eta)$ – М-мерная диагональная матрица наблюдения за состоянием

процесса $\bar{\theta}(k); Z(k)$ – М-мерный вектор наблюдения за состоянием процесса нечеткого процесса $\bar{\theta}(k); \bar{W}(k)$ – вектор белых шумов наблюдения.

Необходимо отметить, что реализация алгоритмов оценивания-экстраполяции в ходе моделирования приобретает особую актуальность при искусственном «зашумлении» наблюдаемых процессов с целью повышения адекватности процесса моделирования [1]. Кроме того, реализация алгоритмов оптимального оценивания-экстраполяции в экспертных системах актуальна при организации наблюдения за процессом функционирования действующей системы-аналога (опытного участка) СИС.

В рассматриваемом случае, в качестве устройства формирования оценочных прогнозных значений моделируемого процесса наиболее целесообразной выглядит реализация (в качестве базовой) искусственной нейронной сети Хэмминга (ИНСХ), хорошо зарекомендовавшей себя при решении задач воссоздания образов векторов по неполной и искаженной информации [2].

В качестве алгоритма обучения ИНСХ может быть использован алгоритм фильтрации дискретной последовательности калмановского типа,



Структурная схема искусственной нейронной сети Хемминга с обучением на основе ДФК

результаты разработки которого представлены в работе [3]. Примером реализации подобного подхода к построению нейронных сетей может служить работа [4]. В работе представлены примеры обучения рекуррентного многослойного перцептрона (RMLP – Recurrent Multilayered Perceptron) типа 3-3R-3R-2R на основе различных вариантов алгоритмов расширенной калмановской фильтрации (EKF – Extended Kalman Filter). При этом достигается существенный прирост показателей эффективности использования RMLP в сравнении с реализацией градиентных методов обучения.

Вместе с тем, для решения задач в рассматриваемой постановке, гораздо более большой интерес представляет анализ результатов моделирования процесса функционирования ТКС (изменения ЭПК), полученных на основе реализации искусственных нейронных сетей. Одной из основных причин привлекательности реализации в ТКЭС ис-

кусственных нейронных сетей являются их интерпретирующие, а значит и экстраполирующие возможности. Структурная схема ИНСХ с устройством подстройки синаптических весов входного слоя на рисунке. При этом, предлагаемый вариант ИНСХ минимизирует хеммингово расстояние между входными и эталонными образами векторов и работает следующим образом: на нейроны входного слоя подаются элементы вектора индикаторов состояния ТКС (значений ЭПК), значения которых «взвешиваются» с коэффициентами равными обратной величине «невязок наблюдения» ($1/\xi$), поступающими из ДФК. В результате, на выходах нейронов входного слоя формируются следующие значения:

$$\theta_m^{ex}(k) = \sum_1^M \theta_m (1/\xi_m) \cdot \quad (2)$$

Далее ИНСХ функционирует в соответствии с разработанным для сети

алгоритмом, формируя на выходах нейронов выходного слоя значения элементов вектора $\bar{\theta}(k)$ в соответствии с пороговой функцией активации, отрицательными ($S_{12} \dots S_{mM}$) и положительными (S_{mm}) обратными связями.

Реализация в ИНСХ обучающей процедуры на основе ДКФ позволит существенно (практически на порядок [4]) увеличить скорость сходимости сети и повысить точность получаемых результатов при несущественном увеличении вычислительных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Статистические методы* прогноза временных рядов (Предварительный анализ и модели прогноза). М.: МГУ, Монография. 2002, 320 с.

2. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. 2-е издание. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.

3. *Ненадович Д.М.* Методы теории линейной фильтрации и экстраполяции в

задачах оценки состояния управляемой инфокоммуникационной системы со случайной скачкообразной структурой. «Электромагнитные волны и электронные системы». № 6, 2006. стр. 16-21.

4. *Haykin S.* Kalman Filtering and Neural Networks. Copyright. – 2001. P. 284. **VIAS**

Коротко об авторах

Ненадович Д.М. – кандидат технических наук, менеджер Департамента эксплуатации ОАО «Ростелеком».

Редкозубов С.А. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики Московского государственного горного университета, член Президиума ВАК.

