

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИНОМИАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ

Бем О.Т.<sup>1</sup>, Еременко В.С.<sup>2</sup>, Суслев Е.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Киев, Украина

Широким классом сигналов, которые несут информацию о состоянии исследуемого объекта являются импульсные сигналы с локально сосредоточенными информативными параметрами. Наиболее известными методами идентификации таких сигналов являются следующие:

1. Методы основанные на измерении амплитудно-временных параметров: амплитуды и длительности импульса, длительности фронтов, скорости нарастания и спада и т. д.

2. Методы основанные на оценивании интегральных характеристик – центра массы импульса, коэффициентов подобия, корреляционной функции.

3. Методы разложения по базисным функциям (Фурье, Хартли, вейвлет-преобразование).

4. Методы структурного анализа, которые предполагают сегментацию сигнала на последовательность отдельных фрагментов, отражающих чередование элементарных событий исследуемого процесса.

5. Методы представления сигналов в фазовом пространстве, т.е. пространстве, образованном конечным набором параметров состояний.

6. Эвристические методы, в частности методы основанные на применении нейросетевых технологий.

7. Стохастические методы, в частности обучаемые на эталонных выборках вероятностные дискриминативные модели.

Вероятностные дискриминативные модели мультиномиальной логистической регрессии (МЛР) имеют следующие: вероятностная оценка принадлежности сигнала к каждому из возможных предусмотренных классов; малое количество настраиваемых параметров модели, относительно других вероятностных методов; получение удовлетворительных оценок при невыполнении предположения о распределениях параметров в классе плохо выполняются (что случается при нерепрезентативных выборках); возможность использовать в качестве информации для обучения оценки сигналов, полученные любыми другими методами идентификации.

Основной принцип МЛР-модели заключается в том, что используя теорему Байеса, при условном выполнении ряда предположений (независимость наблюдений, распределения признаков в каждом классе, признаки описываются с помощью семейства экспоненциальных распределений, и др.), апостериорную вероятность

$P(y_k | X)$  попадания объекта (вектора информативных параметров сигнала  $X$ ) в  $k$ -й предусмотренный моделью класс сигналов можно выразить через нормирующую экспоненциальную функцию:

$$s_k(w, X) = P(y_k | X) = \frac{p(X | y_k) \cdot P(y_k)}{\sum_{j=1}^K p(X | y_j) \cdot P(y_j)} = \frac{\exp(a_k)}{\sum_{j=1}^K \exp(a_j)}; a_k = w_0 + \sum_{k=1}^K w_k x_k = w_k^T \cdot X,$$

где  $p(X | y_k)$  – условная плотность распределения признаков в классе  $k$ ;  $P(y_k)$  – априорная вероятность класса  $k$  (доля объектов этого класса во всей обучающей выборке);  $K$  – количество всех классов к которым можно отнести сигнал;  $w$  – коэффициенты при признаках.

Модель МЛР для пяти классов включает в себя четыре уравнения, каждое из которых рассчитывает отношение вероятностей отнесения объекта соответствующего класса к базовому классу (№1). В качестве признаков для расчета модели было взято амплитуды и длительности сигналов для отрицательной и положительной полувольт импульса (рис. 1).

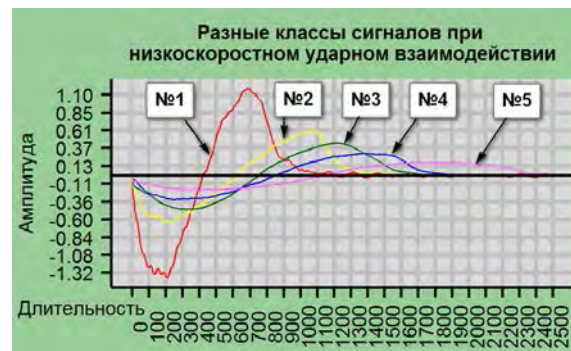


Рисунок 1 – Показательные сигналы для разных классов

Таким образом, вектор параметров для каждого объекта (сигнала) состоял из четырех компонент: амплитуда отрицательной полувольты ( $A_{-y}$ ); длительность отрицательной полувольты ( $D_{-y}$ ); амплитуда положительной полувольты ( $A_{+y}$ ); длительность положительной полувольты ( $D_{+y}$ ). В качестве обучающего множества было использовано 250 «эталонных» сигналов на каж-

дый класс. Таким образом обучающая выборка для пяти классов состояла из 1250 векторов. Распределение амплитуд отрицательной и положительной полуволны для всей выборки представлено на рис. 2.

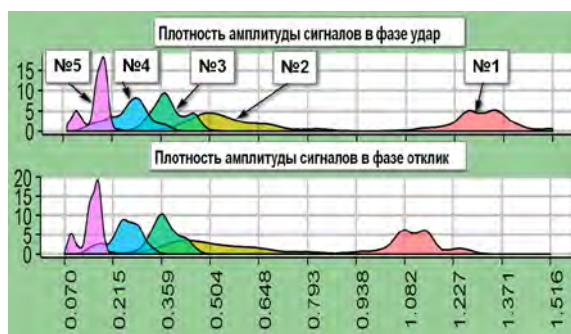


Рисунок 2 – Плотности распределения амплитуд полуволн

Модель МЛР обучалась на одной половине данных, вторая же часть данных использовалась для валидации, такой подход дает возможность оценить обобщающую способность модели. Результатом обучения модели есть рассчитанные весовые коэффициенты приведенные в Табл.1, каждый столбик которой отвечает за отдельный класс.

Таблица 1 – Рассчитанные коэффициенты для модели МЛР по каждому классу сигналов

	№1	№2	№3	№4
$w_0$	114.06	93.68	16.49	-222.6
$w_1$	-66.20	-121.3	-98.7	-43.07
$w_2$	0.087	0.085	0.085	0.089
$w_3$	-12.84	4.079	-112.8	-58.08
$w_4$	-0.102	-0.056	0.057	0.255

Рассчитанные значения коэффициентов и признаков формируют исходное уравнение по которому рассчитывается апостериорная вероятность для данного класса  $P(y_k | X)$ . После подсчета вероятностей для всех классов (сумма которых равна единице для каждого объекта), как правило, объект относят к тому классу, вероятность которого максимальна. Результаты идентификации сигналов по валидационной (тестовой) выборке представлены в (Табл.2).

Подходом для оценки распознавания классов был выбран «один против всех», а в качестве оценок качества модели были использованы оценки среднего квадратического отклонения (СКО) и средней перекрестной энтропии (СПЭ) (табл.3).

$$CKO = \sqrt{\frac{1}{P+N} \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2};$$

$$СПЭ = \frac{1}{P+N} \left( \sum_{i(+)} \ln(\hat{y}_i^+) + \sum_{i(-)} \ln(1 - \hat{y}_i^-) \right),$$

где  $P$  и  $N$  – правильно и ложно идентифицированные объекты;  $\hat{y}$  – оцененная вероятность;  $y \in \{0;1\}$  – фактическая вероятность.

Таблица 2 – Результаты полученного МЛР моделью вердикта классификации

	№1	№2	№4	№4	№5	$\Sigma$ мо- дели
№1	125	0	0	0	0	125
№2	0	111	19	0	0	130
№3	0	14	103	3	0	120
№4	0	0	3	122	0	125
№5	0	0	0	0	125	125
$\Sigma$ эта- лон	125	125	125	125	125	625
$\delta$	0	14	22	3	0	39

Ошибки модели связаны с пересечением распределений информативных параметров для разных классов.

Таблица 3 –Оценки эффективности МЛР методом «один против всех»

	СКО	СПЭ
№1	0.0004	0.000017
№2	0.1703	0.089755
№3	0.1946	0.120752
№4	0.0941	0.031294
№5	0.0001	0.000010

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о достаточно удовлетворительной идентификации импульсных сигналов методом с использованием МЛР модели. Преимуществом предложенного метода есть возможность одновременного использования любых данных и оценок, характеризующих сигнал (объект), что способствует обоснованному отбору информативных признаков, на основании одной целостной модели. Вероятностные, а не строго категориальные оценки улучшают интерпретируемость результатов, и формируют основу для оценки рисков.

1. Cristopher M. Bishop *Pattern recognition and machine learning*. Singapore: Springer – 2006, P.197,204,209.