

## Separate Analysis of Informational Signs in Multi-Parametric Combined Patterns Recognition Systems

<sup>1</sup>Zakhozhay O.I., <sup>2</sup>Menyaylenko A.S., <sup>1</sup>Lyfar V.A.

<sup>1</sup>Volodymyr Dahl East Ukrainian University,  
Severodonetsk, Ukraine

<sup>2</sup>Luhansk Taras Shevchenko National University,  
Starobelsk, Ukraine

**Abstract.** The objects for analysis in multi-parametric combined patterns recognition systems are represented by several patterns with different nature of origin. This allows to increase the number of informative signs and the classification reliability. However, there is a negative aspect – increasing the time complexity of the data analyze. The aim of the study is reducing the time complexity of data analysis and decision making in multi-parametric combined pattern recognition systems. Well known solutions to this problem: data processing algorithms complication, boosting algorithms using and install more productive computing systems. However, more promising is use an approach that takes into account signs informativity level and decision-made occur does not across the entire data set. For achieve the aim of the study is being solved important scientific problem – developing the new method separate analysis of information signs in multi-parametric combined patterns recognition systems. This method is based on the fact, that in the multi-parametric combined patterns recognition systems the object is represented by a set of patterns which have a different nature of origin. Therefore, in the case of correct classification, all patterns from the totality allow to relate the object to the same class. The patterns of recognition object are compared until one or several of them is made a decision on the classification. In such an approach a full analysis of all signs is not carried out, which reduces the time complexity of the recognition process and, as a result, the classification decision-making process speed up.

**Keywords:** recognition, classification, patterns, decision-making support, time complexity.

**DOI:** 10.5281/zenodo.3239140

### Analiza separată a semnelor informaționale în sistemele combinate cu multipli parametri de recunoaștere imaginilor

<sup>1</sup>Zakhozhay O.I., <sup>2</sup>Menyaylenko A.S., <sup>1</sup>Lyfar V.A.

<sup>1</sup>Universitatea Națională din Ucraina de est „Volodymyr Dahl”,  
Severodonețk, Ucraina

<sup>2</sup>Universitatea Națională „Taras Shevchenko” din Lugansk,  
Starobelsk, Ucraina

**Rezumat.** În sistemele combinate cu multipli parametri de recunoaștere, obiectele ce urmează a fi analizate sunt reprezentate de mai multe imagini cu origine de proveniență diferită. Aceasta permite de mărit în mod semnificativ numărul de caracteristici informative pentru obiectul de recunoaștere și de crescut fiabilitatea clasificării. Totuși, apare și un aspect negativ - creșterea complexității în timp a analizei datelor. Creșterea constantă a complexității sistemelor informatice, precum și numărul de parametri controlați și dirijați, exacerbează această problemă, în special pentru sistemele în care nu este importantă numai precizia rezultatului, ci și actualitatea sa. Astfel, obiectivul principal al studiului: reducerea complexității timpului de analiză a datelor, asigurând în același timp nivelul necesar de fiabilitate a procesului de luare a deciziilor în sistemele combinate cu multipli parametri de recunoaștere a imaginilor. Modurile cunoscute de a rezolva această problemă în știința și tehnologia modernă sunt: complicația algoritmilor de prelucrare a datelor, utilizarea algoritmilor de amplificare, precum și utilizarea forțată a sistemelor de calcul mai productive. Cu toate acestea, o abordare mai promițătoare pare a fi aplicarea unei abordări care ia în considerare gradul de informare a caracteristicilor atunci când procesul de luare a deciziilor nu se realizează pe întregul set de date. Noutatea lucrării constă în elaborarea unei noi metode de analiză separată a semnalelor informaționale în sistemele combinate cu multipli parametri de recunoaștere a imaginilor. Metoda se bazează pe faptul că în sistemele combinate cu multipli parametri de recunoaștere obiectul recunoașterii este reprezentat de un set de imagini ale căror semne au o natură diferită de origine.

**Cuvinte-cheie:** recunoașterea modelului, clasificarea, suportul decizional, complexitatea temporală, precizia recunoașterii.

## Раздельный анализ информационных признаков в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов

<sup>1</sup>Захожай О.И., <sup>2</sup>Меняйленко А.С., <sup>1</sup>Лыфарь В.А.

<sup>1</sup>Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,  
Северодонецк, Украина

<sup>2</sup>Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
Старобельск, Украина

**Аннотация.** В многопараметрических комбинированных системах распознавания объекты, подлежащие анализу, представлены несколькими образами различной природы происхождения. Это позволяет значительно увеличить количество информативных признаков для объекта распознавания и повысить достоверность классификации. Однако, также возникает негативный аспект – увеличение временной сложности обработки и анализа данных. Постоянное увеличение сложности информационных систем, а также количества контролируемых и управляемых параметров, только обостряет эту проблему, в особенности для систем, где важна не только точность получаемого результата, но и его своевременность. Таким образом, основная цель работы: снижение временной сложности анализа данных при обеспечении требуемого уровня достоверности принятия решений в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов. Известными путями решения этой задачи в современной науке и технике являются: усложнение алгоритмов обработки данных, применение алгоритмов бустинга, а также вынужденное применение более производительных вычислительных систем. Однако, более перспективным видится применение подхода, учитывающего степень информативности признаков, когда принятие решения осуществляется не по всей совокупности данных. В связи с этим, для решения поставленной задачи разработан новый метод раздельного анализа информационных признаков в многопараметрических комбинированных системах распознавания. Он основан на том, что в многопараметрических комбинированных системах распознавания объект распознавания представляется совокупностью образов, признаки которых имеют различную природу происхождения. Следовательно, любой образ из совокупности позволяет отнести объект к одному и тому же классу. Образы объекта распознавания сравниваются до тех пор, пока по одному или нескольким не будет принято решение о классификации. Таким образом, полный анализ всех признаков не проводится, что уменьшает временную сложность процесса распознавания. Достоверность нового метода подтверждена экспериментально на трех различных информационных системах промышленных предприятий Украины.

**Ключевые слова:** распознавание образов, классификация, поддержка принятия решений, временная сложность, достоверность распознавания.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время аппарат распознавания образов находит все более широкое применение в различных сферах науки и техники. В первую очередь, это связано с тем, что применение интеллектуальных алгоритмов позволяет решать слабоструктурированные задачи, для которых процесс формализации и разработки математической модели либо очень сложен, либо вообще невозможен [1, 2]. Следует отметить, что с постоянным совершенствованием техники и технологии объекты информатизации также постоянно усложняются и задача построения полных математических моделей, описывающих их поведение становится сложно реализуемой. В связи с этим, все большее применение находят методы управления сложными объектами [3, 4], которые основываются на контроле не их параметров, а состояний. Для решения подобного рода задач широкое

распространение получило применение методов распознавания образов [5-16].

Усложнение объектов информатизации, увеличение количества регистрируемых и контролируемых параметров, как правило, приводит к усложнению аппаратно-программных средств автоматизированных систем обработки информации и управления [5, 10, 12, 14]. Современные, все более усложняющиеся технические комплексы и системы имеют все большее разнообразие информационных характеристик, требующих контроля.

Кроме этого, динамика изменения характеристик таких систем и наличие большого разнообразия помех и искажений при их регистрации негативно влияет на степень достоверности результата анализа и обработки данных [5, 12].

Такая ситуация усложняет решение задач автоматизированной обработки информации и управления [14].

Решение указанных проблем, как правило, связано с применением более сложной

алгоритмической базы обработки данных, применения алгоритмов бустинга и, как следствие, увеличения требуемых вычислительных мощностей [5, 12-14]. Однако, и в этом случае, получение достоверного результата анализа данных при условии наличия большого количества внешних воздействий, не всегда гарантировано.

Таким образом, можно выделить достаточно важную научно-техническую проблему, которая заключается в наличии противоречия, определяющегося следующими аспектами.

- Постоянное усложнение объектов информатизации для получения достоверных результатов обработки и анализа данных приводит к постоянному усложнению алгоритмической базы решения задач и, как следствие, к необходимости применения более производительного аппаратного обеспечения.

- Усложнение алгоритмов решения задач автоматизированной обработки информации и управления приводит к росту временной сложности получения результата.

- Увеличение временной сложности, в свою очередь, приводит к снижению оперативности получения результата.

При этом следует отметить, что для значительного количества устройств, несвоевременное получение результата обработки снижает его достоверность для принятия корректных, оперативных решений.

Таким образом, повышение достоверности результата обработки данных приводит к увеличению временных задержек и снижению его актуальности для принятия корректных решений.

Исследования, направленные на решение указанной проблемы, являются актуальными, так как достоверность и оперативность обработки данных являются одними из основных характеристик качества функционирования большинства информационных систем, вне зависимости от их сферы применения.

Таким образом, цель работы заключается в снижении временной сложности анализа данных при обеспечении требуемого уровня достоверности принятия решений в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов.

## АНАЛИЗ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Методы распознавания образов широко применяются в автоматизированных системах обработки информации и управления, в особенности, когда объект информатизации является сложной системой [3, 5, 14]. В таких случаях, идентификация состояния системы производится на основе обработки его характеристик – признаков. Совокупность признаков представляет собой образ объекта распознавания, который в общем виде описывается как

$$P = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

где  $P$  – образ объекта информатизации, который характеризуется совокупностью признаков  $x_1-x_n$ ,

Следует отметить, что достоверность принятия решения при распознавании напрямую зависит от количества информационных признаков объекта распознавания. Этот факт вытекает из асимптотического обоснования методов распознавания, согласно которому при увеличении количества признаков, описывающих объект распознавания, вероятность получения достоверного результата стремится к единице (при доверительном интервале, стремящемся к нулю). Такое обоснование нашло подтверждение в рамках глубокой статистической теории распознавания образов Вапника-Червоненкиса [17].

С целью увеличения количества признаков при классификации, Журавлевым Ю.И. был разработан алгебраический подход [18], который положил начало развитию комбинированных систем распознавания для различных применений [8, 19-23]. Такой подход основан на вычислении оценок по признакам, которые подразделяются по характеру информации на детерминированные, вероятностные, логические, структурные [8]. Анализ [5, 7, 10-12] показал, что несмотря на возможность увеличения количества признаков объекта распознавания, все они имеют одинаковую природу возникновения, и существует вероятность того, что появление ошибки регистрации признаков или проявление помехи одинаково отразится на совокупности обрабатываемых данных и снизит

достоверность принятия решения. Для исключения этого недостатка известно решение, связанное с применением многопараметрических систем распознавания образов, в которых объект распознавания представляется совокупностью образов, признаки которых имеют разную природу возникновения. Такой подход предполагает применение различного оборудования и принципов регистрации входных характеристик, что повышает независимость данных, по которым принимается решение. В этом случае, математическая модель объекта распознавания будет иметь вид:

$$\begin{cases} P_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}), \\ P_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}), \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ P_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kl}), \end{cases} \quad (2)$$

где  $P_1 - P_k$  – образы объекта распознавания, имеющие различную природу происхождения;

$x_{11} - x_{kl}$  – признаки объекта распознавания.

Такое описание объекта позволяет значительно повысить количество информационных признаков. Для решения классификационной задачи возможно применение классических методов распознавания, которые подробно изложены в [3-5, 8, 15, 16, 18]. При таком совместном анализе, выражение (2) может быть представлено в виде (1), с дальнейшей селекцией и распознаванием методами вычисления оценок или коллективами решающих правил. Однако, учитывая тот факт, что анализ большого количества информационных признаков позволяет повысить достоверность распознавания, но приводит к увеличению временной сложности анализа и принятия решения, задача создания эффективных систем автоматизированной обработки информации и управления решается преимущественно в аспекте повышения точности получения результата. Такой подход может быть успешно применен только в системах, где нет особых требований к времени обработки данных и принятия решений. Для систем реального времени, большинства автоматизированных систем управления такой вариант неприемлем.

На основании вышеизложенного, цель работы может быть достигнута путем решения важной научно-прикладной задачи – разработки нового метода анализа информационных признаков в многопараметрических системах распознавания, который позволил бы обеспечить высокую достоверность принятия решения с одновременным снижением временной сложности такого анализа.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Для решения поставленной задачи разработан новый метод раздельного анализа информационных признаков, который в большей степени, нежели совместный анализ, использует преимущества многопараметрических комбинированных систем распознавания. В основе принципа раздельного анализа информационных признаков в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов положена парадигма соответствия всех образов одному объекту распознавания. При этом, в отличие от совместного анализа, не осуществляется преобразование пространства признаков в соответствии с выражениями (1) и (2).

При раздельном анализе информационных признаков решение о классификации объекта распознавания принимается по каждому из имеющихся  $k$  образов. Структурная организация многопараметрической комбинированной системы распознавания образов с раздельным анализом информационных признаков проиллюстрирована на рис. 1.

В соответствии с предложенной структурой, сведения об объекте распознавания по  $n$ -информационным каналам регистрируются совокупностью блоков регистрации характеристик БРХ<sub>1</sub>-БРХ<sub>*n*</sub>. Эти блоки представляют собой совокупность технических средств измерения детерминированных признаков объекта распознавания или регистрации признаков вероятностного, логического или структурного характера. По результатам регистрации признаков, блоками формирования БФ ( $P_1$ ) - БФ ( $P_n$ ) формируется совокупность образов  $P_1-P_n$  разной природы возникновения, характеризующих объект распознавания. Как уже отмечалось, априорно известно, что каждый из этих образов с различными совокупностями признаков характеризуют

один и тот же объект распознавания. Соответственно, в любой момент времени, по каждому из этих образов можно осуществить классификацию объекта распознавания и его отнесение к одному из предварительно определенных классов.

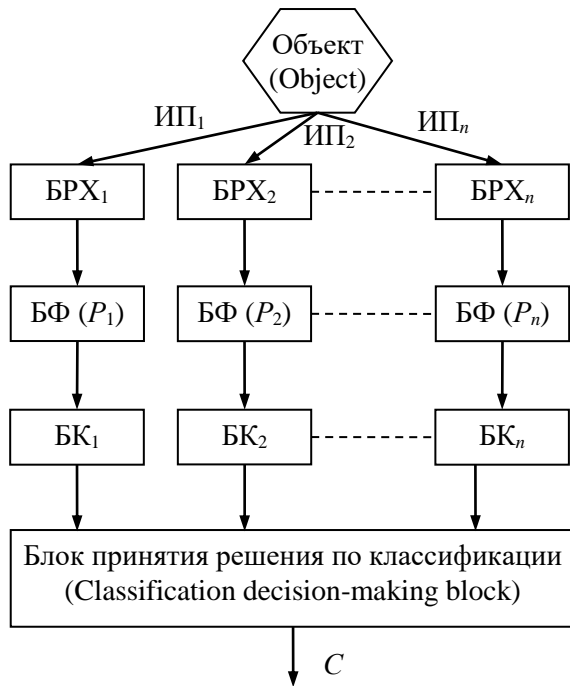


Рис. 1. Раздельный анализ признаков.<sup>1</sup>

Использование раздельного анализа позволяет эффективно решать задачи таксономии и осуществлять распознавание объекта по принципу кластеризации.

Логическая последовательность действий, которые реализовывают предложенный метод, проиллюстрирована на рис. 2.

На этапе Э<sub>1</sub> осуществляется регистрация характеристик объекта распознавания с использованием различных технических средств. Следует отметить, что в большинстве технических систем, для осуществления задачи формирования управленческих решений и, непосредственно, управления объектом, подлежат регистрации не только характеристики объекта распознавания, а и необходимые параметры, окружающей объект, среды. Эти параметры несут дополнительную информационную нагрузку в плане определения возможных проявлений помех и позволяют из всей совокупности признаков выделить наиболее информативные, а остальные исключить из анализа. На этом этапе также осуществляется

нормирование полученных характеристик с целью упрощения дальнейшей обработки.

На следующем этапе Э<sub>2</sub>, на основе характеристик объекта распознавания и окружающей среды, осуществляется формирование совокупности  $k$  образов объекта распознавания (элементы  $P_1-P_k$ ), на основе информации различной природы возникновения. Таким образом, информация об объекте информационного процесса представляется в традиционном, для многопараметрической комбинированной системы распознавания, виде (2).

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_m$  иллюстрируют области распределения признаков эталонных образов, априорно определенных  $m$  классов к которым может быть отнесен объект распознавания. Обозначениями Э<sub>2</sub>, Э<sub>3</sub>, Э<sub>4</sub>, ..., Э<sub>i</sub>, Э<sub>i+1</sub> проиллюстрированы этапы сравнения информационных признаков образов  $P_1-P_k$  с признаками репрезентативных образов и определение характеристик расстояния. Если на текущем этапе определенные расстояния превышают наперед заданное максимально допустимое значение, то осуществляется следующий этап анализа и сравнения с другими признаками имеющейся совокупности образов объекта распознавания.

На рис. 2 представлен пример распределения образов объекта распознавания по предварительно определенным классам. Так, в соответствии с примером, на этапе Э<sub>3</sub> анализ признаков по всем  $k$  образам не дает необходимой сходимости классификации, так как полученные расстояния, включая отмеченные цифрами 1-3, не дают однозначного результата классификации. Поэтому, далее осуществляется этап Э<sub>4</sub>, на котором дальнейшая обработка признаков образа  $P_k$  приводит к определению расстояния 4, которое однозначно соответствует классу  $C_m$ . Кроме этого, результат сравнения признаков образа  $P_2$  позволяет определить расстояние 4, которое также указывает на отнесение объекта распознавания к классу  $C_m$ .

Таким образом, на этапе Э<sub>4</sub> Э<sub>4</sub>, дальнейшую обработку информационных признаков необходимо прекратить и достоверным результатом будет считаться соответствие объекта распознавания классу  $C_m$ .

<sup>1</sup> Appendix 1

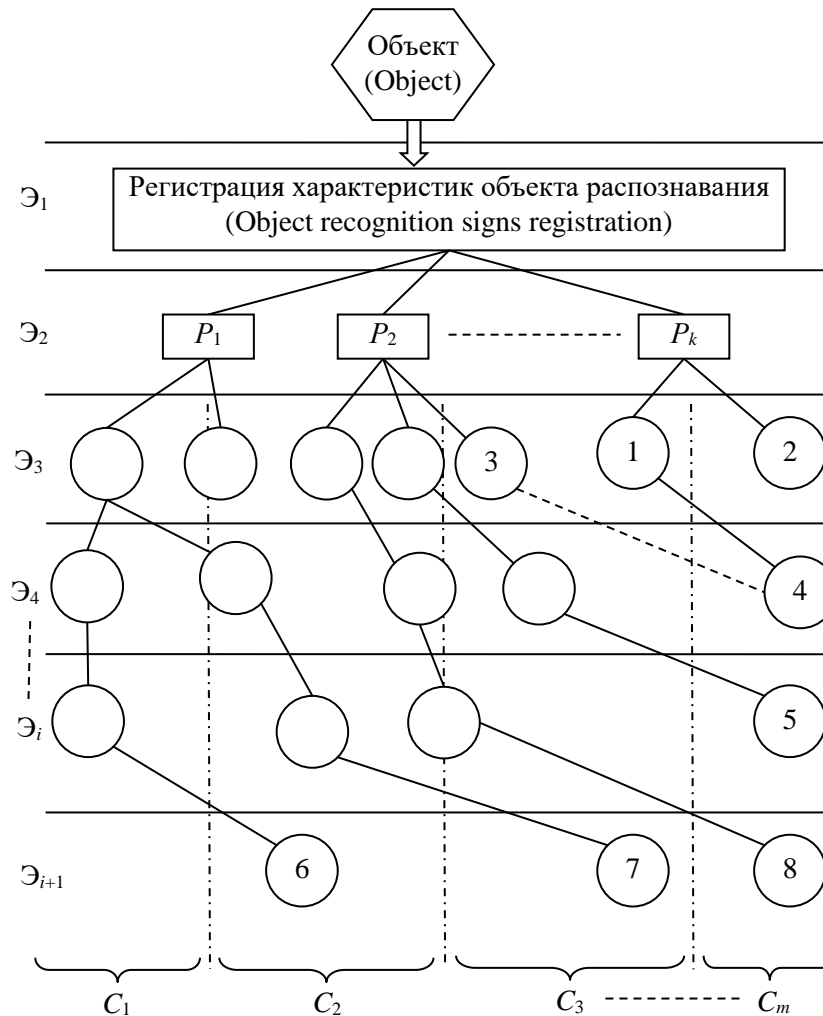


Рис. 2. Иллюстрация логической последовательности действий при раздельном анализе.<sup>2</sup>

Дальнейший анализ признаков (на рис. 2 этапы  $E_i - E_{i+1}$ ) и получение расстояний, таких как 5, 6, 7 или 8, не является рациональным и связан только с дополнительными потерями машинного времени и увеличением временной сложности анализа признаков объекта распознавания. Дальнейший анализ информационных признаков может только подтвердить выполненную классификацию (например, определение расстояния 5, которое также указывает на соответствие классу  $C_m$ ), или указать на наличие искажения информационного пространства признаков и ошибочному отнесению объекта распознавания к классам  $C_2$  и  $C_3$  по определенным расстояниям 6 и 7, соответственно.

На каждом этапе анализа может быть принято окончательное решение по следующим решающим правилам:

1) объект распознавания относится к тому классу (из имеющейся совокупности определенных априорно), к которому по одному из  $k$  образов получается минимальное расстояние;

2) объект распознавания относится к определенному классу, если по одному или нескольким образам из совокупности  $k$  будет достигнуто значение расстояния, которое не превышает заранее заданного значения;

3) объект распознавания относится к тому классу, из совокупности заранее определенных, к которому указывает классификация по большинству образов из совокупности  $k$ .

В результате сравнения признаков образов объекта распознавания с репрезентативными признаками каждого из классов получается матрица расстояний  $L$ , вида

<sup>2</sup> Appendix 1

$$L = \begin{bmatrix} l(P_1, C_1) & l(P_1, C_2) & \dots & l(P_1, C_m) \\ l(P_2, C_1) & l(P_2, C_2) & \dots & l(P_2, C_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l(P_k, C_1) & l(P_k, C_2) & \dots & l(P_k, C_m) \end{bmatrix} \quad (3)$$

где  $l(P_k, C_m)$  – расстояние  $k$ -го образа объекта распознавания до  $m$ -го класса.

Тогда, для первого решающего правила, классификация объекта распознавания осуществляется при условии выполнения критерия

$$\exists P_k \in C_m, l(P_k, C_m) = \min L. \quad (4)$$

То есть, решение по классификации объекта распознавания получается путем поиска минимального значения элемента матрицы  $L$  который однозначно указывает на минимальное расстояние одного из образов до соответствующего класса.

Для второго решающего правила, когда решение по классификации принимается на основе достижения по одному или нескольким образам значения расстояния, которое не превышает априорно заданного значения, сначала необходимо выделить из множества  $\{P\}$  подмножества образов  $\{P'\}$ , которые соответствуют критерию

$$P_k \in \{P'\} \mid \{P'\} \subset \{P\}, l(P_k, C_m) \leq l^*, \quad (5)$$

где  $l^*$  – априорно заданное минимальное значение расстояния;  $l(P_k, C_m)$  – расстояние образа  $P_k$  до класса  $C_m$ .

В этом случае, необходимо проведение дополнительного анализа информативности образов. Так, в соответствии с текущими условиями наблюдения за объектом распознавания для каждого образа из  $\{P'\}$  может быть определена характеристика информативности  $w_n$  и исключены те образы, которые имеют малую информативность. Исключение этих образов уменьшит вероятность ошибки и снизит время принятия решения на основе меньшего количества, но более информативных данных.

С учетом весовых коэффициентов  $w_n$  решение по классификации принимается по принципу максимума характеристики

$$P_n \in C_g, \max \frac{w_n l(P_n, C_g)}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m w_i l(P_i, C_j) - w_n l(P_n, C_g)}, \quad (6)$$

где  $w_n$  – весовой коэффициент  $n$ -го класса  $P_n$  ( $n \in i = 1, 2, \dots, k$ );  $C_g$  – класс, для которого определяется оценка ( $g \in j = 1, 2, \dots, m$ ).

То есть, объект распознавания относится к тому классу, для которого получается максимальное значение отношения произведения весового коэффициента и соответствующего расстояния до определенного класса, деленное на сумму всех других произведений.

Для третьего решающего правила, предлагается использование взвешенного голосования, когда объект распознавания относится к определенному классу в том случае, когда такая классификация подтверждается по большинству образов. То есть, для каждого из  $m$  априорно определенных классов определяется характеристика  $N(C_m)$ , которая соответствует количеству образов, которые указывают на отношение объекта распознавания именно к этому классу. Окончательно объект распознавания относится к тому классу, для которого характеристика  $N(C_m)$  имеет максимальное значение.

Третий вариант решающего правила может быть успешно использован в случае применения кластеризации, когда априорная совокупность классов не задана или допустим вариант дополнения алфавита классов, в случае использования механизмов самообучения. Этот аспект требует детальной проработки в плане дальнейших исследований и разработки алгоритма поиска групп идентичных классификаций, на основе которых может быть сформирован новый класс, а также метода ранжирования образов объекта распознавания по уровню информативности, что позволит осуществлять наиболее эффективную стратегию обработки образов: для минимизации временной сложности анализа в первую очередь должны обрабатываться наиболее информативные образы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная новизна представленных в работе исследований заключается в разработке нового метода раздельного анализа

информационных признаков в многопараметрических комбинированных системах распознавания. Этот метод за счет обработки меньшего набора, но более информативных характеристик позволяет достичь заданного уровня достоверности принятия решения при меньших временных затратах. Этот эффект достигается благодаря сопоставлению результатов классификации по каждому образу объекта распознавания. Таким образом, цель исследований – снижение временной сложности анализа данных была достигнута.

Достоверность полученных результатов была подтверждена экспериментально. В качестве объектов проведения эксперимента, на различных предприятиях Украины были определены несколько абсолютно разных систем автоматизированной обработки информации и управления, которые имеют различное назначения, а также структурную и алгоритмическую организацию. Такими объектами стали:

- автоматизированная система контроля пространственного распределения температуры в коксовых печах;
- подсистема ультразвукового измерения линейных расстояний для систем автоматики;
- система проверки текстовой информации на уникальность.

Для всех трех объектов, применение предложенных технических решений показал одинаковый тренд – повышение статистической достоверности принятия решения и снижение временной сложности.

В плане перспективного направления дальнейших исследований можно выделить разработку метода и алгоритма поиска идентичных классификаций, а также ранжирования образов по уровню информативности, что позволит определять наиболее эффективную стратегию обработки информации с целью получения достоверного результата при минимальных затратах времени. Повышение достоверности и снижение задержек в получении результата позволит повысить качество и эффективность применения систем автоматизированной обработки информации и управления для различных прикладных областей.

**APPENDIX 1 (ПРИЛОЖЕНИЕ 1)**

<sup>1</sup>**Fig.1** Separate signs analysis.

<sup>2</sup>**Fig. 2** The logical actions sequence illustration in separate analysis

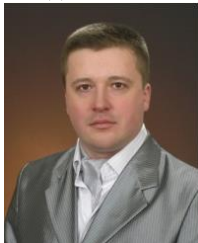
**Литература (References)**

- [1] Leigh W., Purvis R., Ragusa J.M. Forecasting the NYSE composite index with technical analysis, pattern recognizer, neural network, and genetic algorithm: a case study in romantic decision support. *Decision Support Systems*, 2002, vol. 32, pp. 361-377.
- [2] Wen Q., Yang Z., Song Y., Jia P. Automatic stock decision support system based on box theory and SVM algorithm. *Expert systems with Applications*, 2010, vol. 37, pp. 1015-1022.
- [3] Yang-Yu Liu, Albert-Laszlo Barabasi. Control principles of complex systems. *Review of modern physics*, 2016, vol. 88, iss. 3., 58 p. DOI: 10.1103/RevModPhys.88.035006.
- [4] Kyriakos G. Vamvoudakis, Sarangapani Jagannathan. Control of complex systems. *Elsevier Inc.*, 2016, 762 p. doi: 10.1016/C2015-0-02422-4
- [5] Simankov V. S., Lutsenko. E. V. Adaptivnoe upravlenie slozhnyimi sistemami na osnove teorii raspoznavaniya obrazov [Adaptive control of complex systems by patterns recognition theory]. Krasnodar, 1999. 318 p.
- [6] Shingo, M. Hirasawa, K. Enhanced Rule Extraction and Classification Mechanism of Genetic Network Programming for Stock Trading Signal Generation. *Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation (GECCO '11)*. ACM, Dublin, Ireland, 2011, pp. 1659-1666.
- [7] N. Garcia-Pedrajas, D. Ortiz-Boyer. Improving multicast pattern recognition by the combination of two strategies. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, vol. 28, pp. 1001-1006.
- [8] Eduard C. Popovici, Liviu A. Stancu, Ovidiu G. Guta, Stefan C. Arseni, Octavian Fratu. Combined use of pattern recognition algorithms for keystroke-based continues authentication system. *10th International Conference on Communications (COMM)*, 2014, pp. 91-109. DOI: 10.1109/ICComm.2014.6866686
- [9] J.C. Platt, N. Christiani, J. Shawe-Taylor, Large Margin DAGs for Multiclass Classification, *Proc. Neural Information Processing Systems (NIPS '99)*, 1999, pp. 547-553.
- [10] Anand R., Mehrotra K.G., Mohan C.K., Ranka S. Efficient Classification for Multiclass Problems Using Modular Neural Networks, *IEEE Trans. Neural Networks*, 1995, vol. 6, pp. 117-124.



- [11]Dietterich T.G., Bakiri G., Solving Multiclass Learning Problems via Error-Correcting Output Codes, *J. Artificial Intelligence Research*, 1995, vol. 2, pp. 263-286.
- [12]Rifkin R., Klautau A. In Defense of One-vs-All Classification, *J. Machine Learning Research*, 2004, vol. 5, pp. 101-141.
- [13]Allwein E.L., Schapire R.E., Singer Y., Reducing Multiclass to Binary: A Unifying Approach for Margin Classifiers, *J. Machine Learning Research*, 2000, vol. 1, pp. 113-141.
- [14]Bezdek J.C. A review of probabilistic, fuzzy, and neural models for pattern recognition. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 1993, vol. I (1), pp. 1-25. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/243776331\\_A\\_Review\\_of\\_Probabilistic\\_Fuzzy\\_and\\_Neural\\_Models\\_for\\_Pattern\\_Recognition](https://www.researchgate.net/publication/243776331_A_Review_of_Probabilistic_Fuzzy_and_Neural_Models_for_Pattern_Recognition). (accessed 12.01.2019)
- [15]Ryazanov V.V. Recognition Algorithms Based on Local Optimality Criteria. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 1994, vol. 4, no. 2, pp. 98-109.
- [16]Sen'ko O.V. A Prediction Algorithm Based on the Procedure of Weighted Voting Using a System of Hyper parallelepipeds in a Multi-dimensional Feature Space. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 1993, vol.3, no. 3, pp.283-284.
- [17]Devroye L., Györfi L., Lugosi G. Vapnik-Chervonenkis Theory. *A Probabilistic Theory of Pattern Recognition. Stochastic Modelling and Applied Probability*, 1996, vol. 31, pp. 187-213. doi: 10.1007/978-1-4612-0711-5\_12
- [18]Zhuravlev, Yu.I. Ob algebraicheskom podkhode k resheniyu zadach raspoznavaniya ili klassificatsii [About the Algebraic approach to solving problems of recognition or classification]. *Problemy kibernetiki – Problems of cybernetics*, 1978, no. 33, pp. 5-68. (In Russian).
- [19]Kittler J., Hatef M., Robert D., Matas J. On Combining Classifiers. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, vol. 20 (3), pp. 226-239.
- [20]Lam L. Suen C. Optimal combination of patterns classifiers. *Pattern recognition Letters*, 1995, vol. 16, pp. 945-954.
- [21]Ho T., Hull J., Srihari S. Decision Combination in Multiple Classifier Systems. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, vol. 16 (1), pp. 66-75.
- [22]Kittler, J., M. Hatef, R. P. W. Duin and J. Matas. On Combining Classifiers. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, vol. 20, no. 3, pp. 226-240.
- [23]Kittler, J. Combining Classifiers: A Theoretical Framework. *Pattern Analysis and Applications*, 1998, vol. 1, no. 1, pp. 18-28.

**Сведения об авторах.**



**Захожай Олег Игоревич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры программирования и математики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля (Украина).

**Область научных интересов:** компьютерные системы и информационные технологии.

E-mail: [zakhzhay.oleg@gmail.com](mailto:zakhzhay.oleg@gmail.com)



**Меняйленко Александр Сергеевич**,

д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, проректор по научно-педагогической работе Луганского национального университета имени Тараса Шевченко (Украина).

**Область научных интересов:** интеллектуальные информационные системы.

E-mail: [menyaylenko2@gmail.com](mailto:menyaylenko2@gmail.com)



**Лыфар Владимир Алексеевич**,

д.т.н., доцент, заведующий кафедрой программирования и математики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля (Украина).

**Область научных интересов:** экспертные системы и информационные технологии.

E-mail: [lyfarva61@ukr.net](mailto:lyfarva61@ukr.net)