

БИНАРИЗАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ 2D-ОТОБРАЖЕНИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

У статті описані координатний формат подання елементів і ідентифікаторів бінарних зображень параметричних полів для систем моніторингу електроенергетичних об'єктів, а також детерміністський метод визначення топологічних зв'язків між елементами бінарних зображень. Наведено результати верифікації процедур бінаризації даних і ідентифікації об'єктів тестових бінарних зображень.

В статье описаны координатный формат представления элементов и идентификаторов бинарных изображений параметрических полей для систем мониторинга электроэнергетических объектов, а также детерминистский метод определения топологических связей между элементами бинарных изображений. Приведены результаты верификации процедур бинаризации данных и идентификации объектов тестовых бинарных изображений.

ВВЕДЕНИЕ

Термином "диагностика электроэнергетического оборудования" принято обозначать совокупность методов и средств исследования электрических машин для преобразования энергии с целью выявления скрытых признаков возникновения неисправностей и прогнозирования их дальнейшего развития [1]. Важной частью этой совокупности являются технические средства, функционирование которых основано на регистрации электрических и неэлектрических величин, обработке информации, отражающей явления, сопровождающие преобразование одного вида энергии в другой.

Существуют концепции диагностики и мониторинга электроэнергетического оборудования, которые построены на одновременной регистрации нескольких характеристик наблюдаемого процесса, имеющих различную физическую природу. В числе их используются также и характеристики магнитных полей электрических машин различного назначения. Оценки истинной скорости вращения вала [2], механических моментов в электрических машинах, возникающих в результате взаимодействия полей, потери в обмотках, скольжение и другие параметры, характеризующие текущее состояние таких объектов, можно выделить путем измерения индукции магнитного поля в рабочих зазорах машин или вне этих областей.

Методы обработки измерительной информации, как правило, сводятся к спектральному анализу временных данных [3, 4] и применению алгоритмов классификации выделенных из спектров отдельных составляющих или их групп, удовлетворяющих некоторому набору априорных сведений [5].

Можно предположить, что характеристика магнитного или какого-либо иного поля, каждой точке которого соответствует значение некоторого параметра, не является единственным и наиболее емким показателем, несущим информацию о неполадках. Более детальную информацию извлекают при измерениях в различных точках рабочих зазоров, на корпусе или в ближней окрестности электрической машины.

Исследование топографии наблюдаемых параметрических полей в ряде случаев может обеспечить также и пространственную локализацию источника информации о неисправности. Данные, полученные считыванием измерительной информации с некоторой

поверхности, могут быть условно преобразованы в двумерный вид. Обработка таких данных может выполняться как в частотной и временной областях, так и пространственной области. Здесь весьма уместным является применение методов распознавания зрительных образов [6], являющихся тонким и чувствительным средством выявления скрытых закономерностей или их нарушений.

Значения параметра в точках поля могут быть получены методом сканирования заданной области или считывания выходных сигналов некоторого множества измерительных первичных преобразователей и отображают исследуемое поле в малострочном или малоэлементном растре.

Очевидно, что ограниченное количество первичных преобразователей, используемых для получения отображения параметрических полей, может привести к потере деталей пространственного распределения, например, индукции магнитного поля. Полученные таким образом данные требуют предварительной обработки с целью выявления скрытой информации и снижения ее избыточности, прежде чем они будут использованы для анализа динамических сцен и распознавания образов.

Ранее нами были предложены методы переборки результатов 2D-мониторинга магнитных полей, представлен метод двумерной интерполяции на регулярной сетке с применением алгоритма одномерной кубической сплайн-интерполяции, разработан новый алгоритм квантования данных и отображения изолиний параметрических полей с помощью обратной кубической сплайн-интерполяции [7].

Цель настоящей работы заключается в исследовании и разработке методов, алгоритмов и программного обеспечения для идентификации малоэлементных отображений и их динамической визуализации синтезированными плоскими или квазиобъемными изображениями.

БИНАРНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Изолинии поля по существу представляют собой набор бинарных изображений, где единичные значения принимают точки поля, равные значениям предопределенных уровней формирования этих линий. Для подго-

товки к автоматическому восприятию образов наблюдаемого поля изменим правило формирования бинарных изображений – установим единичными значения для всех точек поля, в которых параметр превышает установленный порог. Меньшие уровни отнесем к фону, которому придадим нулевое значение. Набор бинарных данных, полученных для различных фиксированных порогов формирования, представляет исходное изображение с требуемой точностью.

Можно и дальше модифицировать эти правила, устанавливая, например, единичные значения бинарного изображения для данных, значения которых находятся в пределах двух порогов построения изолиний. Для хранения бинарных изображений обычно используется формат битового поля (рис. 1).

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Рис. 1

В малострочных или малоэлементных растрах более подходящим может быть фиксирование координат точек изолиний, т.е. точек перехода измеряемой величины через заданный уровень квантования.

Разделителем данных отдельных строк развертки может служить запись в последовательность фиксированного значения абсциссы концов строк растра, как это показано на рис. 2.

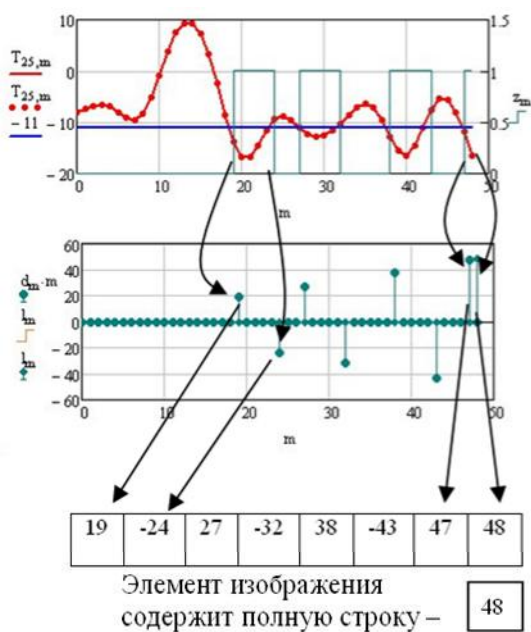


Рис. 2

Координатный формат двумерных данных о параметрах исследуемого поля позволит минимальными средствами отражать и направление изменения состояния бинарного изображения, если координату перехода бинарного сигнала от единичного значения к нулевому представлять отрицательной величиной (рис. 2). Особыми случаями в предлагаемом формате является расположение элементов изображений объектов в начале и/или конце строки растра.

Признаком включения конца строки в элемент изображения является разделитель строк со значением, равным абсциссе концов строк (48 на рис. 2). Первое отрицательное значение координаты в данных строки свидетельствует о наличии элемента изображения, расположенного в начале строки (-6 на рис. 3).

Отсутствие элемента, включающего конец строки, обозначается значением разделителя большим, чем абсцисса строк растра (112 на рис. 3). Разделители автоматически задаются записью инверсии бинарного сигнала \bar{z}_m в следующий за старшим из значимых бит разделителя. Т.е. если разделитель с элементом изображения на рис. 2 определяется десятичным числом 48, записываемым в двоичном виде как 110000, то разделитель строк в примере на рис. 3 в двоичном виде запишется как 1110000, что соответствует десятичному значению 112.

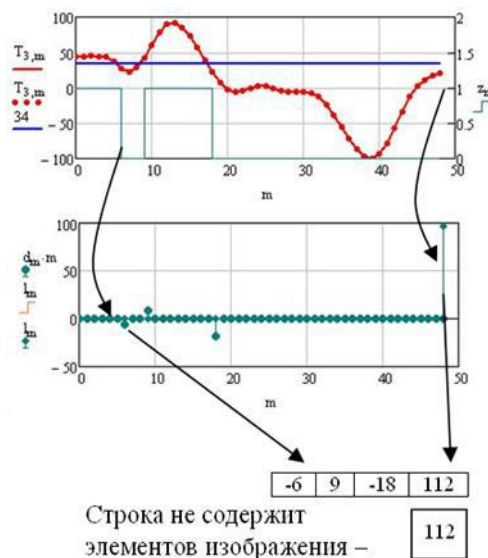


Рис. 3

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Определим объекты наблюдаемого поля, как его участки, обладающие неразрывностью или непрерывностью – сплошностью, относительно какого-либо порогового значения параметра этого поля. Очевидно, что для бинарного изображения сплошность в растре определяется соседством единичных значений битового поля. Рассмотрим как это свойство будет проявляться в координатном формате представления данных и способы его выявления для идентификации изображений плоских объектов.

Распознаванием образов называются задачи построения и применения формальных операций над отображениями объектов реального или идеального мира.

Результатом решения задачи является выявление отношений эквивалентности между объектами посредством их объединения в заданные исследователем классы [8].

По способу представления знаний о предметной области с помощью какого-либо формального алгоритма распознавания образов Д.А.Поспелов [9] выделяет два основных способа представления знаний:

- интенциональное представление – в виде схемы связей между атрибутами объектов, которое реализуется через операции над значениями признаков объекта.
- экстенциональное представление – с помощью конкретных фактов. Здесь операндами являются объекты как целостные системы.

Интенциональные представления реализуются посредством операций над значениями атрибутов – признаков объекта – и не предполагают выполнения операций над конкретными информационными фактами (объектами).

В свою очередь, экстенциональные представления знаний связаны с описанием и фиксацией конкретных объектов из предметной области и реализуются в операциях, элементами которых служат объекты как целостные системы.

Предлагаемое решение задачи идентификации объектов (рис. 5) относится к области интенциональных представлений (рис. 4), поскольку связано с операциями над значениями координат элементов, составляющих объекты бинарного изображения, основано на предположении о сплошности объектов и согласуется с детерминистскими методами распознавания изображений [10], в соответствии с которыми строится обучающая совокупность. Решающие правила используют аппарат алгебры логики, и обеспечивают классификацию элементов изображения по неизвестному априорно числу классов.

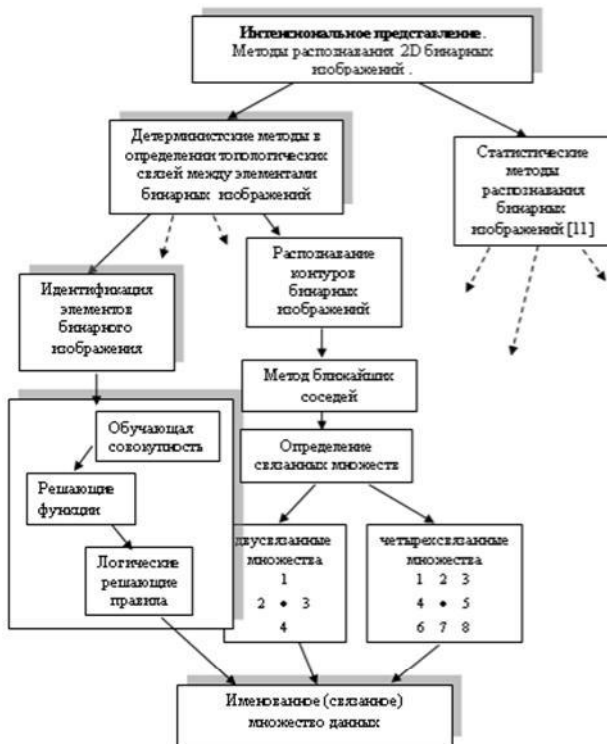


Рис. 4

В отличие от других способов идентификации объектов с поиском связанности по точкам контура [11], предлагаемый метод решения задачи определяет связанность элементов изображения.

В качестве системы идентификаторов используется последовательность целых чисел, в соответствие которым поставлена индексированная палитра, близкая стандартной цветовой палитре системы RGB [12]. В статье цветная палитра заменена черно-белыми штриховками (табл. 1), а для пояснений одновременно может использоваться и символьное индексирование элементов объектов буквами латинского алфавита.

Информация о принадлежности элемента данных к какому-либо классу в координатном формате записывается в соответствующий элемент массива идентификаторов. Примеры индексирования элементов данных и их "цветовое" представление (рис. 6) показаны для различных положений элемента изображения в строке растра.

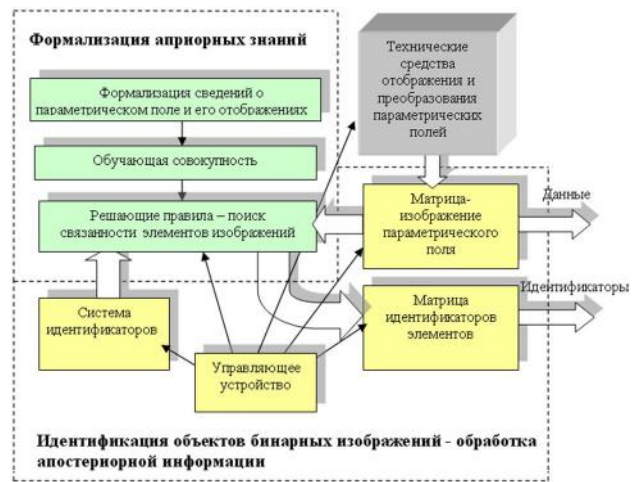


Рис. 5

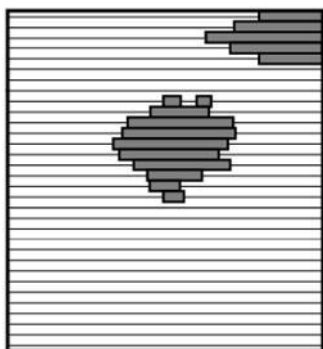
Таблица 1

Индексированная палитра «цветовых»			
Индекс	Идентиф.	Индекс	Идентиф.
00		09	
01		10	
02		11	
03		12	
04		13	
		14	
07		15	
08			

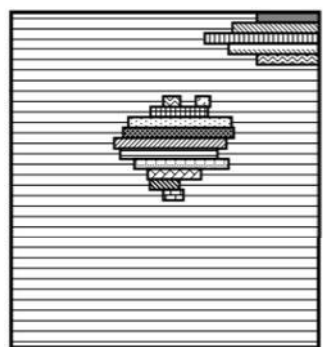
Визуализация именованных данных параметрического поля с нулевым индексом представлена на рис. 7,а. Сквозное именование этих данных последовательностью идентификаторов (рис. 7,б) также свидетельствует об отсутствии установленной связанности элементов изображения.

Данные	19	-24	27	-32	38	-43	47	48	-6	9	-18	112
Идентификаторы	1	1	2	2	3	3	4	0	5	6	6	0

Рис. 6



а



б

Рис. 7

Обучающая совокупность системы автоматической идентификации объектов бинарных изображений основана на детерминистском предположении об их сплошности по обоим направлениям развертки растрового изображения, из которого следует необходимость последовательной идентификации элементов пары соседних строк раstra.

Эта совокупность учитывает три возможных положения отдельного элемента каждой из пары идентифицируемых строк (рис. 8).

Особым случаем является строка, полностью представляющая собой элемент изображения некоторого объекта. Поскольку элементы объектов первой строки в паре анализируемых строк именованы, то в обучающей совокупности отдельно представлены одинаковые комбинации элементов пары строк (рис. 8,а и рис. 8,б), отличающиеся лишь порядком следования.

Из обучающей совокупности легко формулируются логические решающие правила, определяющие принадлежность двух элементов пары соседних строк одному классу объектов бинарного изображения в случае именованного элемента второй строки (рис. 9).

В случае именованного элемента второй строки, арбитр конфликта (рис. 10,а) замещает идентификатор с большим номером значением меньшего и выполняет переименование также и всех предыдущих элементов с номерами идентификаторов, равных или больших переименованному в конфликте. Такая процедура может неоднократно выполняться даже в пределах одной и той же пары строк (рис. 10,б).

Test # 17. Обучающая совокупность
Line1:"left"; Line2:"left","middle","right"

Test # 18. Обучающая совокупность
Line1:"middle"; Line2:"left","middle","right"

Test # 19. Обучающая совокупность
Line1:"right"; Line2:"left","middle","right".

Test # 23. Обучающая совокупность
Line1:"full"; Line2:"left","middle","right".

Test # 20. Обучающая совокупность
Line1:"left","middle","right"; Line2:"left"

Test # 21. Обучающая совокупность
Line1:"left","middle","right"; Line2:"middle"

Test # 22. Обучающая совокупность
Line1:"left","middle","right"; Line2:"right"

Test # 24. Обучающая совокупность
Line1:"left","middle","right"; Line2:"full"

б

Рис. 8

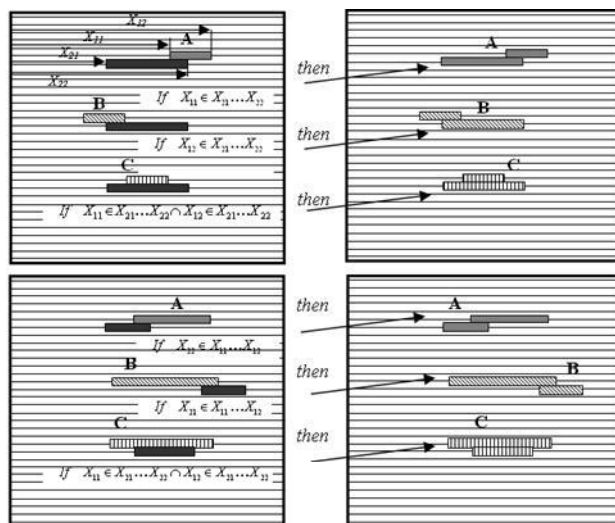
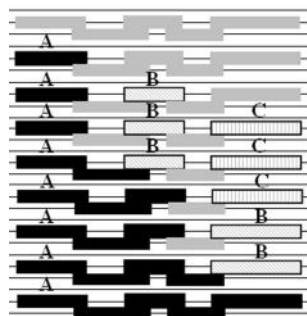


Рис. 9



а



б

Рис. 10

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОЦЕДУР БИНАРИЗАЦИИ ДАННЫХ И АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Представленные процедуры и алгоритмы были положены в основу программной реализации задачи автоматической идентификации объектов бинарных изображений в виде приложения операционной системы Windows. Программа обеспечивает визуализацию и пошаговое протоколирование процедур распознавания образов путем сохранения последовательности файлов изображений, которые в дальнейшем используются в анимациях для исследования логики и динамики моделируемых процессов.

Тестирование реализованных в программе алгоритмов осуществлялось с помощью синтезированных изображений, представляющих собой текстовые файлы.

В табл. 2 приведен фрагмент тестового задания для длины строки раstra, равного 1023 (111111111b). Здесь разделитель для строк, не содержащих элемент изображения, равен 2047 (111111111b); эти разделители используются для представления первых пяти строк, не содержащих элементов изображения.

Сводным тестом проверялось выполнение функций именования и переименования объектов изображений по примерам из обучающей совокупности (рис. 11).

Test # 8
Идентификация элементов первой строки

2047	-100	1023
2047	500	-150
2047	-600	800
2047	2047	1023
2047	-125	-100
50	2047	850
-300	-150	1023
400	2047
-750	-200	
1111	900	

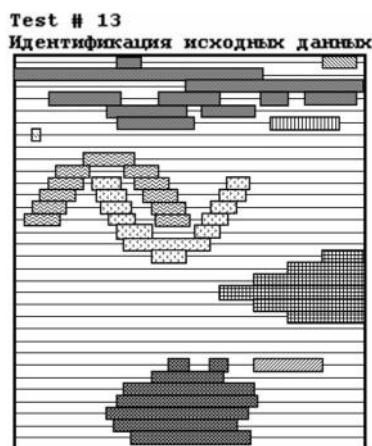


Рис. 11

Пошаговый анализ показывает эффективное последовательное выполнения описанных процедур и достижение цели – идентификации элементов изображения по их принадлежности к объектам, составляющим набор классов для данной сцены.

Другой пример тестирования включает несколько объектов, два из которых содержат семантически разные неоднозначности – подобие спирали Архимеда и вложенные фигуры (рис. 12).



Рис. 12

Программа уверенно идентифицирует их как различные объекты. Эти результаты идентификации бинарных объектов в дальнейшем могут быть использованы, для экстенционального распознавания и классификации их, например, как спирали, замкнутых и разомкнутых объектов, выделения контуров объектов, определения их геометрических характеристик, удаления из текущей сцены и т.д., т.е. для выработки диагностического решения о состоянии объекта наблюдения.

Сопоставляя процедуры идентификации объектов распознаванием контуров бинарных изображений и описанным решением задачи, отметим, что в последнем случае элементы раstra обрабатываются в порядке расположения по строкам раstra, несмотря на их принадлежность различным объектам. Такой метод устраняет необходимость поиска элементов неидентифицированных объектов для завершения идентификации растрового изображения.

ВЫВОДЫ

Разработан координатный формат представления малострочных и малоэлементных данных 2D-мониторинга параметрических полей электроэнергетических объектов.

Предложено решение задачи идентификации объектов путем выполнения операций над значениями координат элементов, составляющих объекты бинарного изображения. На основе предположения о сплошности объектов и детерминистских методов распознавания изображений составлены обучающая совокупность и логические решающие правила, которые обеспечивают классификацию элементов изображения по неизвестному априорно числу классов.

Результаты исследований реализованы в компьютерной программе идентификации объектов и визуализации изображений, подтверждены экспериментально с помощью разработанных тестов и предназначены для использования в программном обеспечении разрабатываемых диагностических и экспертных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H.W. Penrose "Electric Motor Diagnostics" / MARTS – 2004. Proceedings, May. – 2004.
2. Pat. 6208132 U.S., Int.Cl. G01P3/487; G01P3/42; (IPC-1-7): G01P3/48; G01P3/54. Non-intrusive speed sensing for induction motors / Inventors: Kliman G. B., Mallick J.A. Assignee: General Electric Company, – Appl. No 09/184687, Filed: 11/02/1998; Publication Date: 03/27/2001.
3. Pat. 5680025 U.S., Int.Cl.7 G01R31/34; G01R31/34; (IPC-1-7): H02P5/28. Proactive motor monitoring for avoiding premature failures and for fault recognition / Inventors: Stewart B.V., Piety K. R., Davis W., Assignee: CSI Technology, Inc., – Appl. No 08/320152, Filed: 10/07/1994; Publication Date: 10/21/1997.
4. Pat. 5739698 U.S., Int.Cl.7 G01R23/20; G01R13/02; G01R23/20; G01R31/34; G01R13/00; (IPC-1-7): G01R31/02. Machine fault detection using slot pass frequency flux measurements / Inventors: Stewart B.V., Piety K. R., Assignee: CSI Technology, Inc., – Appl. No 08/667141, Filed: 06/20/1996; Publication Date: 04/14/1998.
5. Pat. 5530343 U.S., Int.Cl.7 G01P3/48; G01P3/42; (IPC-1-7): G01P3/42; G01P3/48; G01P3/54. Induction Motor Speed Determination by Flux Spectral Analysis / Inventors: Bowers III V, S., Piety K.R., Assignee: Computational Systems, Inc., – Appl. No 08/320151, Filed: 10/07/1994; Publication Date: 06/25/1996.
6. Дэвид А. Форсайт, Джин Понс. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: "Вильямс", 2004. – 928 с.
7. Мазманян Р.О. Обработка данных 2D-мониторинга магнитных потоков в системах диагностики электрических машин. // Техн. электродинамика. – 2010. – № 4. – С. 59-65.
8. Васильев В.И. Проблема обучения распознаванию образов: Принципы, алгоритмы, реализация. – К.: "Вища школа", 1989. – 63 с.
9. Толковый словарь по искусственному интеллекту / Авторы-составители А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. М.: Радио и связь, 1992. – 256 с.
10. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 414 с.

11. Калмыков В.Г., Вишнеvский В.В. Анализ контуров объектов в бинарных изображениях. // Математические машины и системы. – 1997. – № 2. – С. 68-71.
12. Color Palette and the 56 Excel ColorIndex Colors: [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://dmccritchie.mvps.org>.
13. Фурман Я.А., Юрьев А.Н., Яншин В.В. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: изд. Красноярского ун-та, 1992. – 248 с.
14. Benbouzid M.E.H. A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection / Benbouzid M.E.H. // IEEE Trans. on Ind. Electronics. – 2000. – Vol. 47. – No 5. – pp. 984-993.

Bibliography (transliterated): 1. H.W. Penrose "Electric Motor Diagnostics" / MARTS -2004. Proceedings, May. - 2004. 2. Pat. 6208132 U.S., Int.Cl. G01P3/487; G01P3/42; (IPC-1-7): G01P3/48; G01P3/54. Non-intrusive speed sensing for induction motors / Inventors: Kliman G. B., Mallick J.A. Assignee: General Electric Company, - Appl. No 09/184687, Filed: 11/02/1998; Publication Date: 03/27/2001. 3. Pat. 5680025 U.S., Int.Cl.7 G01R31/34; G01R31/34; (IPC-1-7): H02P5/28. Proactive motor monitoring for avoiding premature failures and for fault recognition / Inventors: Stewart B.V., Piety K. R., Davis W., Assignee: CSI Technology, Inc., - Appl. No 08/320152, Filed: 10/07/1994; Publication Date: 10/21/1997. 4. Pat. 5739698 U.S., Int.Cl.7 G01R23/20; G01R13/02; G01R23/20; G01R31/34; G01R13/00; (IPC-1-7): G01R31/02. Machine fault detection using slot pass frequency flux measurements / Inventors: Stewart B.V., Piety K. R., Assignee: CSI Technology, Inc., - Appl. No 08/667141, Filed: 06/20/1996; Publication Date: 04/14/1998. 5. Pat. 5530343 U.S., Int.Cl.7 G01P3/48; G01P3/42; (IPC-1-7): G01P3/42; G01P3/48; G01P3/54. Induction Motor Speed Determination by Flux Spectral Analysis / Inventors: Bowers III V, S., Piety K.R., Assignee: Computational Systems, Inc., - Appl. No 08/320151, Filed: 10/07/1994; Publication Date: 06/25/1996. 6. D'evид A. Forsajt, Dzhin Pons. Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podhod. - M.: "Vil'yams", 2004. - 928 s. 7. Mazmanyan R.O. Obrabotka dannyh 2D-monitoringa magnitnyh potokov v sistemah diagnostiki `elektricheskikh mashin. // Tehn. elektrodinamika. - 2010. - № 4. - S. 59-65. 8. Vasil'ev V.I. Problema obucheniya raspoznavaniyu obrazov: Principy, algoritmy, realizaciya. - K.: "Vischa shkola", 1989. - 63 s. 9. Tolkovyy slovar' po iskusstvennomu intellektu / Avtory-sostaviteli A.N. Aeverkin, M.G. Gaaze-Rapoport, D.A. Pospelov. M.: Radio i svyaz', 1992. - 256 s. 10. Tu Dzh., Gonsales R. Principy raspoznavaniya obrazov. Per. s angl. - M.: Mir, 1978. - 414 s. 11. Kalmykov V.G., Vishnevskij V.V. Analiz konturov ob'ektov v binarnykh izobrazheniyah. // Matematicheskie mashiny i sistemy. - 1997. - № 2. - S. 68-71. 12. Color Palette and the 56 Excel ColorIndex Colors: [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu <http://dmccritchie.mvps.org>. 13. Furman Ya.A., Yur'ev A.N., Yanshin V.V. Cifrovye metody obrabotki i raspoznavaniya binarnykh izobrazhenij. Krasnoyarsk: izd. Krasnoyarskogo un-ta, 1992. - 248 s. 14. Benbouzid M.E.H. A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection / Benbouzid M.E.H. // IEEE Trans. on Ind. Electronics. - 2000. - Vol. 47. - No 5. - pp. 984-993.

Поступила 02.09.2011

Мазманян Рубен Оганесович, к.т.н., с.н.с.
Институт электродинамики
Национальной академии наук Украины
отдел электрических и магнитных измерений
03680, Київ, пр. Перемоги, 56
тел. (044) 454 26 94. e-mail: mazmanian@ied.org.ua

Mazmanian R.O.

Power equipment parametric fields 2D-images binarization and objects identification.

This article describes parametric fields images binarization and a record coordinate format for storage elements and identifiers of binary images in power equipment condition monitoring systems. A deterministic method of topologic coupling detection between elements of binary images is given, samples of image binarization and results of test images objects identification presented.

Key words – condition monitoring, power equipment, parametric field, binary image, image coupling detection.