УДК 004.89; 53.088; 519.6; 681.5.

Р.К. МАМЕДОВ, А.С. МУТАЛЛИМОВА, Т.Ч. АЛИЕВ

МЕРА РАССТОЯНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ПО ИХ ВТОРИЧНЫМ ПРИЗНАКАМ ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия
Азербайджан, AZ 1010, г. Баку, проспект Азадлыг 20.
E-mail: rahim1951@mail.ru, ayzberg69@mail.ru, alievtima18@rambler.ru

Аннотация: Предлагается мера расстояния, основанная на применении дискретного косинусного преобразования, обеспечивающая высокую чувствительность к изменениям действительных значений параметров объекта и инвариантность к изменениям систематических погрешностей. Произведено сравнение данной меры с известной мерой, обеспечивающей инвариантность к изменениям систематических погрешностей.

Ключевые слова: Мера расстояния, дискретное косинусное преобразование, инвариантность к систематическим погрешностям.

Annotation: The measure of distance based on the using of discrete cosine transform is represented. This measure of distance provides high sensitivity to the changes of the real value of object parameters and invariance to the systematic errors. The comparison of the given measure with the known one providing invariance to the systematic errors is carried out.

Key-words: measure of distance, discrete cosine transform, invariance to the systematic errors.

ВВЕДЕНИЕ

В общем виде задачу распознавания образов можно сформулировать как определение принадлежности образа к определенному классу [1,2,3], т.е. определение соответствия образа какому-либо эталону из массива эталонных образов характеризующих определенные классы. В качестве показателя соответствия могут применяться меры расстояния [3,4], которые дают численную оценку сходства образа и эталона.

В качестве признаков образов служат физические параметры, которые можно измерить для последующего анализа [3,4]. Как известно, измерение любой физической величины сопровождается наложением на ее измеренное значение систематических погрешностей [5]. Общеизвестные меры Евклида, Манхэттена, Миньковского и др. хотя и являются математически обоснованными (удовлетворяют условиям метрики), но с практической точки зрения малоэффективны, т.к. имеют сильную зависимость от изменения систематических погрешностей [4]. Кроме того, они малоэффективны, когда отличие классов заключено в небольших изменениях отдельных параметров.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Предположим, что имеются массивы измеренных значений параметров распознаваемого объекта X и эталона Y, которые являются их первичными признаками:

$$X = \{x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_n\} \quad \text{и} \quad Y = \{y_1, y_2, ..., y_i, ..., y_n\}, \tag{1}$$

где n – число элементов в массивах X и Y, т.е. число параметров.

В работе [6] была предложена мера расстояния Z_1:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{x_i}{x_{cp}} - \frac{y_i}{y_{cp}} \right| \text{ при } x_{cp} \neq 0 \text{ или } y_{cp} \neq 0, \tag{2}$$

где $x_i, x_{ср}$ и $y_i, y_{ср}$ – соответственно измеренное значение и средняя величина измеренных значений параметров распознаваемого объекта и эталона.

В указанной работе доказывалось ее инвариантность к изменениям систематических погрешностей и преимущества по сравнению с наиболее распространенными мерами Евклида, Манхэттена и Канберра. Однако данная мера обладает средней чувствительностью к изменениям действительных значений параметров объекта, что ухудшает качество контроля при высокоточных измерениях.

Таким образом, разработка меры расстояния обладающей высокой чувствительностью к изменениям действительных значений параметров объекта и инвариантностью к изменениям систематических погрешностей остается актуальной научно-технической задачей.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В статье предлагается применить дискретное косинусное преобразование (ДКП) для разработки эффективной меры расстояния, которая обеспечит высокую чувствительность к изменениям действительных значений параметров объекта и инвариантность к изменениям систематических погрешностей.

Первоначально вычисляют среднеарифметические значения элементов массивов X и Y. После этого, из каждого элемента массивов X и Y вычитают соответствующее среднеарифметическое значения. В результате получают новые массивы данных X' и Y':

$$X' = \{x'_1, x'_2, ..., x'_i, ..., x'_n\} \quad \text{и} \quad Y' = \{y'_1, y'_2, ..., y'_i, ..., y'_n\}. \tag{3}$$

Полученные массивы можно представить в виде двухполярных дискретных периодичных несинусоидальных кривых $X' = f(n)$ и $Y' = f(n)$ с равномерной дискретизацией.

Далее, с помощью ДКП [7], определяются спектры массивов X' и Y'

$$f_{X'}(k) = \sqrt{\frac{2}{n}} \cdot \sum_{i=1}^{n} X'(i) \cdot \cos\frac{(2 \cdot i - 1) \cdot k \cdot \pi}{2 \cdot n}, \tag{4}$$

$$f_{Y'}(k) = \sqrt{\frac{2}{n}} \cdot \sum_{i=1}^{n} Y'(i) \cdot \cos\frac{(2 \cdot i - 1) \cdot k \cdot \pi}{2 \cdot n}, \tag{5}$$

где $k = 1,...,n-1$; $f_A(k)$ – k-й коэффициент ДКП.

В результате получают массивы вторичных признаков $F_{X'}$ и $F_{Y'}$:

$$F_{X'} = \{f_{X'}(1), f_{X'}(2), ..., f_{X'}(k), ..., f_{X'}(n-1)\}, \tag{6}$$

$$F_{Y'} = \{f_{Y'}(1), f_{Y'}(2), ..., f_{Y'}(k), ..., f_{Y'}(n-1)\}. \tag{7}$$

После этого определяются среднеарифметические значения $f_{X'ср}$ и $f_{Y'ср}$ элементов массивов $F_{X'}$ и $F_{Y'}$.

На основе полученных данных предлагается формула меры расстояния $Z_П$, обеспечивающая высокую чувствительность к изменениям действительных значений параметров объекта и инвариантность к изменениям систематических погрешностей:

$$Z_П = \sum_{k=1}^{n-1} \left| \frac{f_{X'}(k)}{f_{X'ср}} - \frac{f_{Y'}(k)}{f_{Y'ср}} \right| \text{ при } f_{X'ср} \neq 0 \text{ или } f_{Y'ср} \neq 0. \tag{8}$$

Для данного выражения $Z_П = 0$ будет указывать на соответствие распознаваемого объекта эталону.

Предположим, что измеренные значения параметров распознаваемого объекта и эталона определяются выражениями [4]:

$$x_i = x_{i,д} \cdot M_X + x_{i,д} \cdot M_X \cdot \sigma_X + \Delta x, \quad (9)$$

$$y_i = y_{i,д} \cdot M_Y + y_{i,д} \cdot M_Y \cdot \sigma_Y + \Delta y, \quad (10)$$

где $x_{i,д}, y_{i,д}, M_X, M_Y, \sigma_x, \sigma_y, \Delta x, \Delta y$ – соответственно действительные значения параметров, коэффициенты преобразования входного параметра в код признаков, мультипликативные и аддитивные погрешности измеренных значений параметров распознаваемого объекта и эталона.

Тогда выражения их средних значений будут иметь вид:

$$x_{ср} = x_{ср,д} \cdot M_X + x_{ср,д} \cdot M_X \cdot \sigma_X + \Delta x, \quad (11)$$

$$y_{ср} = y_{ср,д} \cdot M_Y + y_{ср,д} \cdot M_Y \cdot \sigma_Y + \Delta y, \quad (12)$$

где $x_{ср,д}$ и $y_{ср,д}$ – соответственно средние действительные значения параметров распознаваемого объекта и эталона.

Сделав указанные выше вычисления среднеарифметических значений элементов массивов X и Y, определив значения элементов массивов X' и Y' и спектры данных массивов получают, что если распознаваемый объект идентичен эталону, то количество параметров и их соответствующие действительные значения равны (т.е. $x_{i,д} = y_{i,д}$, $x_{ср,д} = y_{ср,д}$), а каждый член в числовом ряде (8) будет равен нулю, и следовательно сумма $Z_П$ также будет равна нулю.

Формула (8) не применима, если ее условие не выполняется. Т.е. когда все вторичные признаки у распознаваемого объекта или эталона равны нулю. Данные свойства вторичных признаков проявятся, когда все значения элементов в массивах X или Y будут равны между собой:

$$x_1 = x_2 = ... = x_i = ... = x_n, \quad (13)$$

$$y_1 = y_2 = ... = y_i = ... = y_n. \quad (14)$$

После ДКП получают спектр исходного массива данных, при этом изменение одного параметра в массиве данных вызывает изменение нескольких амплитуд гармоник в его спектре. Вследствие этого, повышается чувствительность к изменению исходных данных без применения весовых коэффициентов.

С целью подтверждения полученных теоретических результатов проведено компьютерное моделирование. Предложенная мера расстояния $Z_П$ сравнивалась с мерой расстояния Z_1 описанной в работе [6].

Рассматривались два массива эталонных данных $Y_{Д1}$ и $Y_{Д2}$ состоящие из 36 элементов представляющих собой действительные значения параметров. В массиве $Y_{Д2}$ двенадцатый и двадцать четвертый элементы, отличаются от соответствующих элементов массива $Y_{Д1}$ на три:

$Y_{Д1}$ =[32,27,31,24,28,32,30,34,26,32,35,29,30,26,36,24,35,27,29,32,25,22,27,29,36,24,26,33,25,31,28, 34,23,34,26,22];

$Y_{Д2}$ =[32,27,31,24,28,32,30,34,26,32,35,<u>26</u>,30,26,36,24,35,27,29,32,25,22,27,<u>32</u>,36,24,26,33,25,31,28, 34,23,34,26,22].

В таблице 1 представлены результаты вычисления мер расстояния Z_1 и $Z_П$ между массивами $Y_{Д1}$ и $X_{Д1}$, а также между $Y_{Д2}$ и $X_{Д1}$. Массив $X_{Д1}$ представляет собой массив действительных значений параметров распознаваемого объекта и соответствует массиву $Y_{Д1}$.

$X_{Д1}$ =[32,27,31,24,28,32,30,34,26,32,35,29,30,26,36,24,35,27,29,32,25,22,27,29,36,24,26,33,25,31,28, 34,23,34,26,22].

При вычислении мер расстояния на действительные значения параметров накладывались систематические погрешности. При этом систематические погрешности эталона во всех случаях постоянны и M_Y =1, σ_y =0.005, Δy =0.4, а систематические погрешности распознаваемого объекта меняются: M_X =1÷3 с шагом 0.2, σ_x =0.01÷0.03 с шагом 0.002, Δx =0.5÷1,5 с шагом 0.01.

Таблица 1.

Зависимость изменения мер расстояния от изменения систематических погрешностей параметров распознаваемого объекта, когда распознаваемый объект соответствует первому эталону

M_X	σ_x	Δx	$Y_{Д1}$ и $X_{Д1}$		$Y_{Д2}$ и $X_{Д1}$	
			Z_1	$Z_П$	Z_1	$Z_П$
1	0,01	0,5	0,0141	$0.5662 \cdot 10^{-12}$	0,2175	29,0373
1,2	0,012	0,6	0,0140	$0.1004 \cdot 10^{-12}$	0,2174	29,0373
1,4	0,014	0,7	0,0138	$0.1596 \cdot 10^{-12}$	0,2173	29,0373
1,6	0,016	0,8	0,0137	$0.3147 \cdot 10^{-12}$	0.2171	29,0373
1,8	0,018	0,9	0,0135	$0.8396 \cdot 10^{-12}$	0,2170	29,0373
2	0,02	1	0,0134	$0.3885 \cdot 10^{-12}$	0,2169	29,0373
2,2	0,022	1,1	0,0133	$0.3736 \cdot 10^{-12}$	0,2167	29,0373
2,4	0,024	1,2	0,0131	$0.3010 \cdot 10^{-12}$	0,2166	29,0373
2,6	0,026	1,3	0,0130	$0.1476 \cdot 10^{-12}$	0,2165	29,0373
2,8	0,028	1,4	0,0128	$0.5304 \cdot 10^{-12}$	0,2163	29,0373
3	0,03	1,5	0,0127	$0.3456 \cdot 10^{-12}$	0,2162	29,0373

Таблица 2.

Зависимость изменения мер расстояния от изменения систематических погрешностей параметров распознаваемого объекта, когда распознаваемый объект соответствует второму эталону

M_X	σ_x	Δx	$Y_{Д1}$ и $X_{Д2}$		$Y_{Д2}$ и $X_{Д2}$	
			Z_1	$Z_П$	Z_1	$Z_П$
1	0,01	0,5	0,2182	29,0373	0,0148	$0.5057 \cdot 10^{-12}$
1,2	0,012	0,6	0,2181	29,0373	0,0146	$0.0906 \cdot 10^{-12}$
1,4	0,014	0,7	0,2179	29,0373	0,0145	$0.1344 \cdot 10^{-12}$
1,6	0,016	0,8	0,2178	29,0373	0,0143	$0.2969 \cdot 10^{-12}$
1,8	0,018	0,9	0,2176	29,0373	0,0142	$0.8049 \cdot 10^{-12}$
2	0,02	1	0,2175	29,0373	0,0140	$0.3146 \cdot 10^{-12}$
2,2	0,022	1,1	0,2174	29,0373	0,0139	$0.3945 \cdot 10^{-12}$
2,4	0,024	1,2	0,2172	29,0373	0,0137	$0.2537 \cdot 10^{-12}$
2,6	0,026	1,3	0,2171	29,0373	0,0136	$0.2335 \cdot 10^{-12}$
2,8	0,028	1,4	0,2169	29,0373	0,0135	$0.5152 \cdot 10^{-12}$
3	0,03	1,5	0,2168	29,0373	0,0133	$0.2809 \cdot 10^{-12}$

В таблице 2 представлены результаты вычисления мер расстояния Z_1 и $Z_П$ между массивами $Y_{Д1}$ и $X_{Д2}$, а также между $Y_{Д2}$ и $X_{Д2}$. Массив $X_{Д2}$ представляет собой массив действительных значений параметров распознаваемого объекта и соответствует массиву $Y_{Д2}$.

$X_{Д2}$ =[32,27,31,24,28,32,30,34,26,32,35,26,30,26,36,24,35,27,29,32,25,22,27,32,36,24,26,33,25,31,28,34,23,34,26,22].

При вычислении мер расстояния на действительные значения параметров накладывались систематические погрешности. При этом систематические погрешности эталона во всех случаях постоянны и $M_Y = 1$, $\sigma_y = 0.005$, $\Delta y = 0.4$, а систематические погрешности распознаваемого объекта меняются: $M_X = 1 \div 3$ с шагом 0.2, $\sigma_x = 0.01 \div 0.03$ с шагом 0.002, $\Delta x = 0.5 \div 1{,}5$ с шагом 0.01.

Как видно из таблиц результаты вычисления меры расстояния Z_1 для всех случаев приблизительно равны нулю и равны между собой. При этом, значения меры расстояния $Z_П$ для случаев, когда распознаваемый объект соответствует эталону, приблизительно равны нулю, а для случаев, когда распознаваемый объект не соответствует эталону, достаточно высоки. Т.о. мера расстояния $Z_П$, в отличие от меры расстояния Z_1, четко показывает принадлежность объекта к соответствующему ему классу.

ВЫВОДЫ

Таким образом, предложенная формула действительно обладает инвариантностью к изменениям систематических погрешностей и высокой чувствительностью к изменениям действительных значений параметров объекта. При этом мера расстояния Z_{Π} не применима при выполнении условий (13) и (14), когда функции $X = f(n)$ или $Y = f(n)$ являются постоянными и не характеризуются спектром. Т.о. можно сказать, что мера расстояния Z_{Π} является наиболее эффективной из мер с применением вторичных признаков состоящих из элементов спектра первичных признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752с. – ISBN 5-94774-384-1.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с. – ISBN 5-94836-028-8.
3. Фор А. Восприятие и распознавание образов / Пер. с француз. А. В. Серединского; под ред. Г. П. Катыса. - М.: Машиностроение, 1989. – 272 с. – ISBN 5-217-00629-3.
4. Мамедов Р. К. Повышение точности оценки меры близости Камберра между объектами при распознавании образов. / «Автометрия», №4, 1999, с.119-123. – ISSN 0320-7102.
5. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов / Б. Я. Авдеев, Е. М. Антонюк, Е. М. Душин и др. – Л.: «Энергоатомиздат», 1987, – 480 с.
6. Мамедов Р. К., Алиев Т. Ч. Обеспечение инвариантности распознавания изображений к линейным перемещениям и масштабам в адаптивных роботах./ «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології», №1 (17), 2009, с.26-31. – ISSN 1681-7893.
7. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ./ Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248с.

Надійшла до редакції 02.12.2011р.

МАМЕДОВ РАГИМ КУРБАН ОГЛЫ - заведующий кафедрой «Информационно-измерительная и вычислительная техника» Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии, Баку, Азербайджан.

МУТАЛЛИМОВА АНАХАНУМ САХИБ КЫЗЫ – научный сотрудник кафедры «Информационно-измерительная и вычислительная техника» Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии, Баку, Азербайджан.

АЛИЕВ ТИМУР ЧИНГИЗ ОГЛЫ – аспирант кафедры «Информационно-измерительная и вычислительная техника» Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии, г.Баку, Азербайджан.