

УДК 004.932.2

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА

Уланов Е.А., Никитин О.Р., Архипов Е.А.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых» (ВлГУ),
Владимир, e-mail: evgeniyulnv@rambler.ru

Рассмотрен новый метод оценки качества медицинских изображений на основе обработки результатов экспертного опроса с помощью теории нечетких множеств. Метод позволяет давать комплексную субъективную оценку качества по ряду показателей с учетом компетентности членов экспертной группы и приоритета показателей. Вместе с этим рассмотрены особенности проведения процедуры экспертного опроса, определения меры компетентности экспертов и оценки согласованности их мнений. По рассмотренному алгоритму произведен расчет показателя качества типичного медицинского изображения (рентгенограмма легких человека). Промежуточные результаты расчетов для наглядности представлены в табличном виде. Предложены направления, в которых может успешно применяться данная методика.

Ключевые слова: качество изображения, экспертное оценивание, экспертный опрос, теория нечетких множеств, медицинское изображение

EVALUATION OF MEDICAL IMAGES USING A COMPLEX TECHNIQUE OF SUBJECTIVE ASSESSMENT OF QUALITY

Ulanov E.A., Nikitin O.R., Arkhipov E.A.

Federal Budget Educational Institution of Higher Education Vladimir State University
named after the Stoletovs (VLSU), Vladimir, e-mail: evgeniyulnv@rambler.ru

The article discusses the need of procedure to assess the quality of medical images and existing methodologies relating to this procedure. A new method for assessing the quality of medical images based on the processing results of the expert survey with the help of fuzzy set theory. The method allows providing a comprehensive subjective assessment of the quality with a number of indicators, taking into account the competence of the members of the expert group and priority indicators. Along the way, the peculiarities of the expert survey procedures, determining the measure of the competence of experts and evaluation of the consistency of their opinions. According to the algorithm calculated the Quality Score of typical medical images (X-ray of human lungs). The intermediate results of the calculations are presented for illustrative purposes in tabular form. The directions in which this technique can be successfully applied were suggested.

Keywords: image quality, expert evaluation, expert survey, the theory of fuzzy sets, the medical image

При кодировании изображений для хранения или передачи с помощью минимального числа бит требуется сохранить качество воспроизводимого изображения в допустимых пределах. Существуют также практические задачи, например связанные с получением, обработкой, передачей и хранением медицинских изображений, в рамках которых необходимо улучшить или восстановить изображение. В любом случае становится актуальным вопрос оценки качества медицинского изображения [1].

Качество изображения можно оценить как количественными (измеримыми), так и качественными (субъективными) показателями. Качественные показатели позволяют значительно упростить выявление того или иного признака, но оперируют более субъективными заключениями, касающимися корреляции и связей. С другой стороны, выявление количественных показателей сопряжено с большими издержками и трудностями, но это окупается точностью

полученных данных и меньшими рисками неверной оценки. В данной работе приводится пример оценки качества изображения по разработанной ранее комплексной методике, позволяющей давать субъективную оценку не по общей шкале, как в большинстве других методик, а по нескольким показателям с последующим агрегированием результатов [2].

Для оценки качества изображений предлагается система из семи показателей: резкость, контрастность, яркость, тоновое соответствие, дисторсия и артефакты, шум, разрешение.

По каждому показателю возможны такие варианты оценки как: «очень низкий», «низкий», «средний», «высокий», «очень высокий».

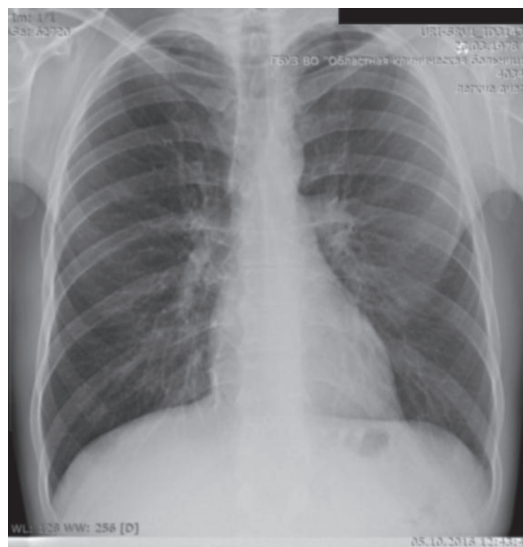
Трактовка понятия «очень низкая резкость», «высокая контрастность», так же как и других понятий, содержащихся в предлагаемых вариантах, у каждого эксперта своя и при этом нечеткая. Поэтому эксперт должен не только выбрать

правильный, по его мнению, вариант, но и конкретизировать его количественно. Соотнести с вариантом оценки конкретное число эксперту психологически трудно, так как он не обладает полной информацией о предметной области, и если он это сделает, то может быть допущена грубая ошибка. В связи с этим эксперту предлагается «мягкая» форма количественной интерпретации вариантов оценки: он должен дать не одну, а несколько количественных оценок, соответствующих его пониманию выбранного варианта. Для ориентировки экспертов возможные варианты оценок включаются в анкету [3].

В качестве примера оцениваемого изображения возьмем рентгенограмму легких человека (рисунок), которая была заранее искусственно искажена с помощью применения фильтра размытия по Гауссу и алгоритма сжатия JPEG для имитации искажений, возникающих при получении, обработке и передаче подобных изображений [4].

В рассматриваемом случае множество возможных оценок будет иметь вид {5 %, 20 %, 35 %, 50 %, 65 %, 80 %, 95 %} (интервал от 0 % до 100 % поделен на равные части). Так, если эксперт считает, что резкость, равная 5 %, 20 %, 35 %, является очень низкой, то он должен выбрать соответствующий вариант оценки (табл. 1). Кроме того, он должен присвоить каждой оценке степень уверенности в том, что именно она будет иметь место. Для того

чтобы облегчить экспертам процесс задания степени уверенности, к анкете можно приложить вербально-числовую шкалу Харрингтона, характеризующую степень выраженности каких-либо свойств [5].



Рентгенограмма легких человека

Чтобы избежать опасности навязывания эксперту вариантов оценки, ему может быть предоставлена возможность выхода за пределы предлагаемого множества оценок.

Пример заполнения анкеты представлен в табл. 1.

Таблица 1

Пример заполненного экспертом фрагмента анкеты

Вариант оценки	Возможные значения уровня резкости, %						
	5	20	35	50	65	80	95
Очень низкая							
Низкая							
Средняя							
Высокая	0,4	0,9	1,0	0,8	0,5	0,0	0,0
Очень высокая							

Таблица 2

Пример оценки показателя группой экспертов

№ эксперта	Возможные значения резкости, %						
	5	20	35	50	65	80	95
1	0,4	0,9	1,0	0,8	0,5	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,5	1,0	0,4	0,0	0,0
3	0,3	0,8	1,0	0,9	0,8	0,6	0,0
4	0,0	0,5	1,0	0,9	0,5	0,0	0,0
5	0,0	0,4	0,5	1,0	0,8	0,6	0,0

Такое заполнение анкеты говорит о том, что эксперт, выбрав вариант «высокая», имеет в виду следующее:

- скорее всего, уровень резкости изображения составляет 35 %;
- возможно, что он составляет и 20 %/50 %, но утверждать это можно с несколько меньшей уверенностью (0,9/0,8);
- маловероятно (0,5/0,4), но он может составлять 65 %/5 %;
- степень уверенности в том, что данный показатель примет другие значения, равна 0.

Для удобства дальнейшего анализа результаты опроса пяти экспертов по каждому i -му показателю целесообразно свести в таблицы. Пример для одного из показателей представлен в табл. 2.

Если уровень компетентности всех экспертов одинаков, то обобщенная нечеткая оценка в самом простом варианте может быть получена как пересечение нечетких множеств, соответствующих индивидуальным оценкам экспертов.

Однако сформировать однородную группу экспертов практически невозможно, более того, однородная группа далеко не всегда обеспечивает необходимый уровень объективности результатов экспертизы: результаты опроса такой группы могут оказаться смещенными. Более рациональным является подход, при котором предусматривается возможность выявления мнения каждого эксперта – уникального носителя экспертных знаний. В этой связи актуальной является задача оценки согласованного мнения экспертов.

Для расчета построим сводную матрицу индивидуальных экспертных оценок семи показателей ($f_1 - f_7$) (табл. 3).

Элементы матрицы представляют собой оценку k -м экспертом показателя f_i . Естественно, эти оценки в большинстве своем не будут совпадать.

Векторы групповой оценки p^i и весовых коэффициентов компетентности v^i рассчитываются по итеративным:

$$p^i = \frac{Pv^{i-1}}{l^{i-1}}, \quad (1)$$

где l^i – нормирующий коэффициент, рассчитываемый по формуле

$$l^i = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \widetilde{\mu}_{\varepsilon k}(f_n) p^i, \quad (2)$$

где N – количество оцениваемых КПЭ.

$$v^i = \frac{Pp^i}{l^i}. \quad (3)$$

Вычислительный процесс продолжается до тех пор, пока различия в значениях весовых коэффициентов не будут превышать заданной перед началом проведения опроса величины.

Обычно достаточно выполнить две-три итерации, чтобы с точностью до тысячных долей единицы оценить вектор групповой оценки и вектор весовых коэффициентов компетентности.

В ходе вычислений по формулам (1)–(3) были получены следующие весовые коэффициенты компетентности пяти экспертов: 0,213; 0,184; 0,201; 0,173; 0,228.

Таблица 3

Сводная матрица индивидуальных экспертных оценок

№ эксперта	Показатели						
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
1	[0,4, 0,9, 1,0, 0,8, 0,5, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,3, 0,8, 1,0, 0,8, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,4, 0,6, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0]	[0,2, 0,3, 0,4, 1,0, 0,6, 0,5, 0,0]	[0,0, 0,5, 0,8, 1,0, 0,5, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,3, 0,7, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0]	[0,5, 0,6, 1,0, 0,9, 0,6, 0,0, 0,0]
2	[0,0, 0,0, 0,5, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0]	[0,3, 0,8, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,4, 1,0, 0,8, 0,2, 0,0]	[0,0, 0,8, 1,0, 0,7, 0,5, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,6, 1,0, 0,7, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,6, 1,0, 0,8, 0,7, 0,6, 0,2]	[0,3, 0,4, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0, 0,0]
3	[0,3, 0,8, 1,0, 0,9, 0,8, 0,6, 0,0]	[0,0, 0,5, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,7, 1,0, 0,7, 0,3, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,7, 1,0, 0,5, 0,2, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,9, 1,0, 0,5, 0,0, 0,0]	[0,5, 0,9, 1,0, 0,7, 0,0, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,8, 1,0, 0,6, 0,0, 0,0]
4	[0,0, 0,5, 1,0, 0,9, 0,5, 0,0, 0,0]	[0,1, 0,4, 1,0, 0,6, 0,2, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,6, 1,0, 0,6, 0,0, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,6, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,4, 1,0, 0,6, 0,2, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,4, 1,0, 0,8, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,7, 0,9, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0]
5	[0,0, 0,4, 0,5, 1,0, 0,8, 0,6, 0,0]	[0,0, 0,3, 0,8, 1,0, 0,9, 0,7, 0,0]	[0,0, 0,2, 0,8, 1,0, 0,9, 0,4, 0,2]	[0,4, 0,6, 1,0, 0,5, 0,0, 0,0, 0,0]	[0,6, 0,8, 0,9, 1,0, 0,7, 0,5, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,6, 1,0, 0,8, 0,0, 0,0]	[0,0, 0,0, 0,8, 1,0, 0,4, 0,0, 0,0]

Таблица 4

Матрица индивидуальных экспертных оценок с учетом компетентности экспертов

№ экс- перта	Показатели						
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
1	[0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.8, 0.9, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0]	[0.7, 0.8, 0.8, 1.0, 0.9, 0.9, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.8, 0.9, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0]	[0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]
2	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0]	[0.8, 1.0, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.8, 1.0, 1.0, 0.7, 0.0]	[0.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.9, 0.7]	[0.8, 0.8, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0, 0.0]
3	[0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.8, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.7, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]
4	[0.0, 0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.7, 0.9, 1.0, 0.9, 0.8, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.8, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 1.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]
5	[0.0, 0.8, 0.9, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0]	[0.0, 0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.0]	[0.0, 0.7, 1.0, 1.0, 1.0, 0.8, 0.7]	[0.8, 0.9, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.9, 1.0, 1.0, 1.0, 0.9, 0.9, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 1.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 1.0, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0]

Таблица 5

Обобщенное мнение экспертной группы

Показатели						
f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.8, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.8, 0.9, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.8, 0.9, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 1.0, 0.9, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.9, 0.9, 0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 1.0, 0.8, 0.0, 0.0, 0.0]

Выявить экспертов, имеющих мнение, резко отличающееся от мнения других экспертов, можно с помощью корреляционного анализа. Разумеется, эксперт имеет право на собственное мнение, отличное от мнения других экспертов. Однако следует признать, что более реалистичной является та точка зрения, что оценка компетентности эксперта тем выше, чем меньше отличие его оценки от групповой. С учетом данного предположения можно отбросить мнение экспертов, имеющих наибольшее отличие от групповой оценки.

Влияние уровня компетентности эксперта на нечеткую количественную меру $\mu_k(f_i)$ предлагается реализовать путем выполнения операции «размывание». Математическое «размывание» нечеткой количественной меры $\mu_k(f_i)$ реализуется путем возведения ее в степень, соответствующую коэффициенту компетентности эксперта (табл. 4).

В результате опроса множества всех экспертов ($\Theta = \{\alpha_k, k=1, K\}$) для каждого i -го ($i=1, P$) показателя имеем K нечетких количественных мер $\tilde{\mu}_k(f_i)$, учитывающих степени компетентности опрашиваемых экспертов. Нечеткое множество, характеризующее обобщенное мнение группы, опре-

деляется в соответствии с правилом выполнения операции пересечения нечетких множеств [5] (табл. 5).

Полученные в ходе экспертного оценивания показатели влияют на оценку качества изображения в различной степени. Таким образом, большое значение здесь имеют весовые коэффициенты. Эти коэффициенты также определяются экспертной оценкой. Наиболее целесообразно использовать здесь метод парных сравнений, в котором экспертам предлагается произвести сравнение показателей эффективности попарно с тем, чтобы установить в каждой паре наиболее важный (значимый) [6].

Для этого составляют матрицы парных сравнений, в которых все показатели (1, 2, ..., M) записываются в одном и том же порядке дважды: в верхней строке и в первом столбце. Каждый эксперт должен проставить на пересечении строки и столбца для двух сравниваемых показателей оценку a_{ij} , которая показывает, во сколько раз i -й показатель имеет большую степень влияния, чем j -й показатель (табл. 6).

На основе значений полученного собственного столбца матрицы определяют приоритеты (значимость или важность) показателей [1].

Таблица 6

Матрица парных сравнений для одного из экспертов

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
f_1	1	4	6	9	5	7	5
f_2	4	1	4	4	7	2	7
f_3	6	4	1	6	5	4	4
f_4	9	4	6	1	9	1	5
f_5	5	7	5	9	1	3	9
f_6	7	2	4	1	3	1	6
f_7	5	7	4	5	9	6	1

Таблица 7

Значение качества изображения, представленное в нечеткой форме

Возможные значения качества, %						
5	20	35	50	65	80	95
0,0	0,1	0,7	0,8	0,4	0,0	0,0

После этого мнения экспертов необходимо агрегировать с учетом их компетентности. В результате были получены следующие значения весовых коэффициентов показателей: 0,121; 0,086; 0,106; 0,126; 0,216; 0,145; 0,199.

Для количественного выражения качества изображения с помощью N показателей, необходимо воспользоваться аддитивной моделью (табл. 7).

Для получения однозначного количественного значения обычно выбирают тот элемент f^* , который имеет максимальную степень принадлежности к полученному обобщенному нечеткому множеству мнений экспертной группы. В данном случае – 50%. Это значение и будет искомым оценкой качества изображения.

Таким образом, был проведен расчет значения качества изображения по разработанной ранее методике комплексной субъективной оценки качества изображения по нескольким показателям.

Важной особенностью подхода является использование нечетких чисел, обусловленное тем, что не всегда удастся получить корректные показатели в точном количественном выражении, а намного удобнее использовать нечеткие значения этих показателей, особенно если речь идет об экспертном опросе.

Также преимуществами предлагаемой методики являются универсальность и гибкость. Данная методика не привязывается к конкретным изображениям, а может быть адаптирована к любому типу изображений,

например к медицинским: снимки УЗИ, рентгенограммы, флюорограммы, томограммы и т.д. С помощью нее можно, например, оценить возможность и эффективность дальнейшего применения к изображению алгоритмов оконтуривания, сегментации и распознавания, что является одним из направлений автоматизации процессов диагностирования патологий [7].

На основе предложенного алгоритма впоследствии может быть разработана автоматизированная информационная система оценки качества, упрощающая процедуру проведения экспертного опроса и обработки результатов исследования.

Список литературы

1. Жанина Т.В., Никитин О.Р., Пасечник А.С., Селиверстов А.А., Кириухин А.В. Информационные технологии и компьютерные сети в медицине. Часть 2: Учебное пособие. – Муром: полиграфический центр МИ ВлГУ, 2009. – 210 с.
2. Градусов Д.А., Авдеева Е.С., Уланов Е.А. Использование нечетких множеств для оценки экономической эффективности проектов внедрения корпоративных информационных систем. Экономический анализ: теория и практика. – 2012. – № 17. – С. 45–51.
3. Баранов Л.Г., Птушкин А.И., Трудов А.В. Нечеткие множества в экспертном опросе // Социология: 4М, 2004. – № 19. – С. 142–157.
4. Хафизов Р.Г. Обработка цветных медицинских изображений: учебное пособие. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – 100 с.
5. Заде Л.А. Нечеткие множества. Информация и управление, 1965. – Т. 8.
6. Дэвид Г. Метод парных сравнений. – М.: Статистика, 1978. – С. 51.
7. Приоров А.Л., Ганин А.Н., Хрящев В.В. Цифровая обработка изображений: Учеб. пособие. Ярослав. гос. ун-т. Ярославль, 2001. – 218 с.