

СИСТЕМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.93

Л.Г. Ахметшина, А.А.Егоров

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Введение. Вопрос сегментации является одним из основных при анализе различных низкоконтрастных медицинских изображений, частным примером которых являются маммограммы. Непосредственный визуальный анализ таких изображений затруднен, с одной стороны, ограниченностью зрительного восприятия человека (трудно, а часто невозможно, определить границы областей при плавных перепадах яркости, столь характерных для них), а с другой стороны, неоднозначностью решения задачи.

Целью компьютерной обработки таких изображений является увеличение контрастности, детальности, выделение однородных областей (сегментация/кластеризация), что делает изображения более информативными.

Постановка задачи. В настоящее время для решения этой задачи часто применяются различные методы нечеткой кластеризации, основой которых служит метод FCM (Fuzzy C – Means). Нечеткая или мягкая кластеризация вводит понятие нечетких кластеров и функцию принадлежности объектов к ним, изменяющуюся в интервале $[0,1]$, что позволяет оценить степень принадлежности объекта к тому либо иному классу. В результате работы алгоритма FCM всем объектам ставится в соответствие вектор из функций принадлежности к каждому классу, на основе которого можно делать выводы о природе данного объекта.

В [1] было показано, что результаты нечеткой кластеризации существенно зависят от предобработки исходных данных. В [2] нами была предложена модификация базового алгоритма FCM на основе динамического преобразования функции принадлежности, которая приводит к улучшению результатов кластеризации. Целью данной работы является изучение влияния метода динамического

преобразования функции принадлежности на результаты кластеризации модифицированного алгоритма FCM.

Решение задачи. Задача нечеткой кластеризации формулируется следующим образом [3]: на основе исходных данных D определить такое нечеткое разбиение $\mathcal{R}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ или нечеткое покрытие $\mathcal{Z}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ множества A на заданное число c нечетких кластеров $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которое доставляет экстремум некоторой целевой функции $f(\mathcal{R}(A))$ среди всех нечетких разбиений или экстремум целевой функции $f(\mathcal{Z}(A))$ среди всех нечетких покрытий.

Для уточнения вида целевой функции $f(\mathcal{Z}(A))$ в рассмотрение вводятся некоторые дополнительные понятия. Прежде всего, предполагается, что искомые нечеткие кластеры представляют собой нечеткие множества A_k , образующие нечеткое покрытие исходного множества объектов кластеризации A , для которого имеет место следующие соотношение:

$$\sum_{K=1}^c u_{A_k}(a_i) = 1 (\forall a_i \in A) \quad (1)$$

где c – общее количество нечетких кластеров $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которое считается предварительно заданным ($c \in N$ и $c > 1$). Для каждого нечеткого кластера вводятся в рассмотрение так называемые типичные представители или центры v_k , искомым нечетких кластеров $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которые рассчитываются по каждому из признаков по следующей формуле:

$$v_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (u_{ki})^m \cdot x_{ij}}{\sum_{i=1}^n (u_{ki})^m} (\forall K \in \{1, \dots, c\}) \quad (2)$$

где x_i – вектор размерности q , описывающий i -й пиксель исходного изображения, v_k вектор размерности q , описывающий центр k -го нечеткого кластера, u_{ki} – значение функции принадлежности i -го пикселя исходного изображения к k -му нечеткому кластеру; m – параметр, называемый экспоненциальным весом ($m > 1$).

Таким образом, базовый алгоритм FCM состоит из следующих шагов:

инициализация числа кластеров c , значения m , начальных значений функции принадлежности u ;

вычисление значений центров нечетких кластеров в соответствии с (2);

вычисление текущего значения целевой функции

$$f_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (u_{kj})^m \sum_{j=1}^q (x_{ij} - v_{kj})^2 ; \quad (3)$$

вычисление текущих значений функции принадлежности.

$$u_{ik} = \left[\sum_{l=1}^c \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^m (x_{ij} - v_{kj})^2 \right)^{1/2}}{\left(\sum_{j=1}^m (x_{ij} - v_{kl})^2 \right)^{1/2}} \right]^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (\forall k \in \{1, \dots, c\}). \quad (4)$$

если разность целевых функций текущего и предыдущего шагов $|f_t - f_{t-1}| > \varepsilon$, где ε - пороговое значение, то переход к пункту 2.

В предложенном нами в [2] модифицированном алгоритме FCM после вычисления текущего значения функции принадлежности, в соответствии с (4), прежде чем перейти к шагу 5, производится ее преобразование. В ходе преобразования функции принадлежности интерпретируется как изображение, что позволяет применять известные методы улучшения изображений и повышения их контрастности. Данная операция приводит к существенному изменению результатов кластеризации.

Следует заметить, что существует множество таких методов, результаты применения которых существенно зависят как от физической природы изображения, так и от его конкретных характеристик. Для улучшения низкоконтрастных изображений, особенностью которых является наличие всех уровней серого, с плавными переходами между ними, хорошие результаты дают нечеткий метод с применением усиливающего оператора, нечеткой гиперболизации гистограммы [4], а также градиентный метод. Именно они были применены в наших исследованиях в качестве методов динамической модификации функции принадлежности.

Экспериментальные результаты были получены на примере обработки маммограммы, исходное изображение которой приведено на рис. 1а. На рис 1б приведен результат его кластеризации базовым

алгоритмом FCM, который позволил детализировать изображение, выделить дефекты пленки, однако область интереса представлена в виде текстуры, затрудняющей визуальный анализ.

Количество нечетких кластеров в эксперименте было выбрано равным 10, параметр $m = 2$, пороговое значение $\varepsilon = 10^{-5}$.

На рис.2 представлены результаты кластеризации предложенным методом.

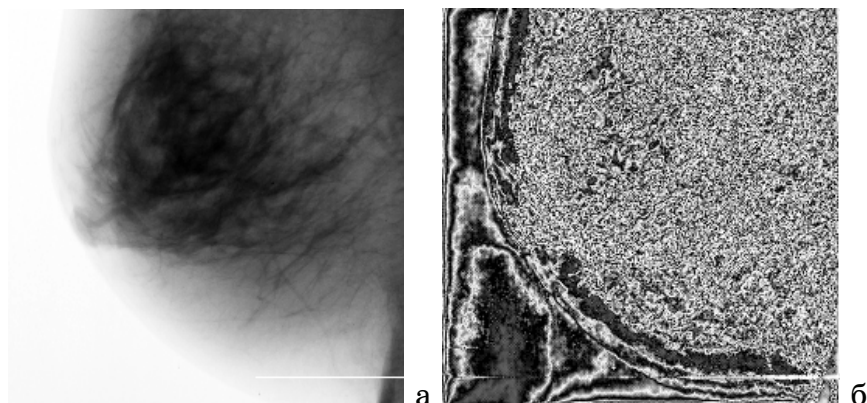


Рисунок 1 - а – исходное изображение; б – кластеризация базовым алгоритмом FCM

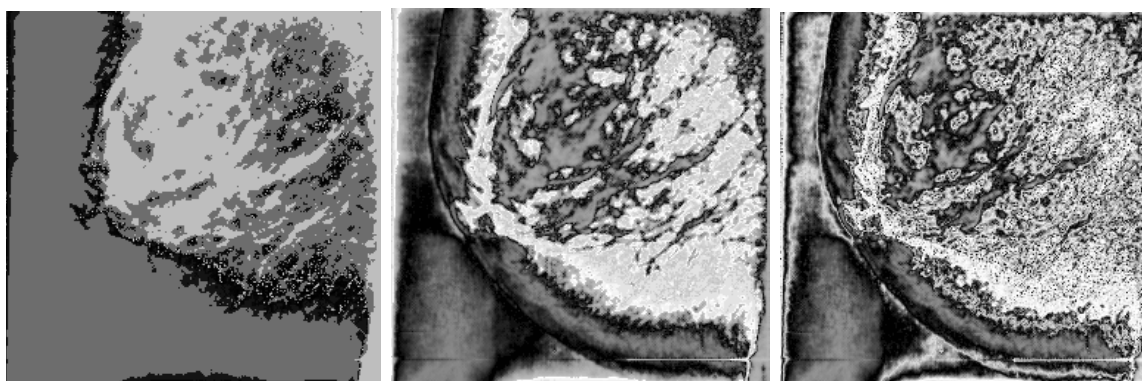


Рисунок 2 - Кластеризация с использованием модификации функции принадлежности: а, б – нечеткими методами; в – градиентным методом

При применении метода усиливающего оператора (рис 2а), функция принадлежности модифицируется в соответствии с формулами:

$$F_e = 2, F_d = \frac{\min - \max}{0.5^{-1/F_e} - 1}, \quad (5)$$

$$u'_{xy} = \left[1 + \frac{\max - u_{xy}}{F_d} \right]^{F_e}, u'_{xy} = \begin{cases} 2 * (u'_{xy})^2, 0 \leq u'_{xy} \leq 0.5 \\ 1 - 2 * (1 - u'_{xy})^2, 0.5 \leq u'_{xy} \leq 1 \end{cases}, \quad (6)$$

$$u'_{xy} = \max - F_d * \left((u'_{xy})^{-1/F_e} - 1 \right) \quad (7)$$

где x, y - координаты пикселя; \min, \max - минимальное и максимальное значения интенсивности.

При нечеткой гиперболизации гистограммы (рис 2б) используются следующие формулы для модификации функции принадлежности:

$$\beta = -0.75 + u * 1.5, u'_{xy} = \left(\frac{\max}{e^{-1} - 1} \right) * (e^{-\mu^\beta} - 1) \quad (8)$$

В градиентном методе (рис 2в) используется изменение функции принадлежности на основании среднего по окну (размер окна 3x3 пикселя).

Полученные результаты наглядно демонстрируют улучшение качества сегментации области интереса и ярко выраженную зависимость сегментации от выбранного метода преобразования функции принадлежности.

Мы протестировали наш метод на различных типах изображений и на основании полученных результатов сделали следующие выводы:

1. Применение предложенного модифицированного алгоритма нечеткой кластеризации с целью сегментации низкоконтрастных медицинских изображений дает лучшие результаты, по сравнению с базовым алгоритмом FCM.
2. Выбор метода динамической модификации функции принадлежности существенно влияет на результаты кластеризации.
3. Не найдена какая-либо закономерность между выбранным методом и результатами кластеризации предложенным модифицированным алгоритмом FCM, следовательно, для каждого изображения выбор метода следует производить экспериментальным путем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А. Влияние расширения пространства информативных признаков на повышение чувствительности нечеткой кластеризации. – Дн-ск: Системні технології, 2004, № 6, с.128–134.
2. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Модификация метода нечеткой кластеризации на основе динамического преобразования функции принадлежности, Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” – 2006 – С. 6-7.
3. Леоненков А., Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – С-П.: БХВ-Петербург, 2003. – 719 с.
4. Aboul Ella Hassanien, Amr Badr. A Comparative Study on Digital Mamography Enhancement Algorithm Based on Fuzzy Theory. – Studies in Informatics and Control – 2003. - №1, т. 12. – С. 21-31.

Получено 22.11.2006 г.