

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ГАБОРА И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

1. Обоснование применения фильтров Габора

В терминах теории распознавания изображений лицо можно рассматривать как объект, в котором черты лица выступают как элементы текстуры. В этом случае задача распознавания интерпретируется как задача текстурной сегментации, т.е. формирование из исходного изображения множества характерных признаков (контуры бровей, глаз, носа, губ и т.д.), образующих многомерное пространство признаков изображения. Для получения таких признаков наиболее подходящими являются методы, основанные на цифровой обработке сигналов.

Как показали недавние исследования, зрительная система человека раскладывает изображение с сетчатки глаза на некоторое количество отфильтрованных изображений в узком диапазоне полосы пропускания частоты и ориентации. Таким образом, зрительная часть головного мозга работает по принципу полосовых фильтров. Развивая этот подход далее, Даугман [1] показал подобие между контурными сигналами двумерной рецепторной области в зрительной зоне коры головного мозга млекопитающих и импульсными откликами фильтров Габора [2]. Такой фильтр определяется уравнением

$$g(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \right) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2} \right) + 2\pi j \omega x \right] \quad (1)$$

где $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$, $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$, $\theta = \pi/(n \cdot N)$

σ_x, σ_y определяют гауссовскую огибающую линию по осям x и y , которая задает полосу пропускания фильтра; θ – величина, отвечающая за ориентацию фильтра; N – общее количество ориентаций; n – значение конкретной ориентации; ω – центральная частота фильтра;

2. Получение эластичного графа

Математический анализ функций Габора показывает, что такой фильтр дает сильную реакцию в тех точках изображения, где имеются компоненты с локальными особенностями пространственной частоты и ориентации. Именно это и требуется для идентификации лица методом текстурной сегментации. Выделив на лице наиболее важные контрольные точки (нос, глаза, брови, рот, скулы, подбородок) (Рис. 1), посчитаем в каждой из них λ значений фильтров Габора для различных параметров длин и направлений пространственной ориентации.

Вектор, состоящий из λ значений фильтров Габора, посчитанных в конкретной точке, называется джетом (*jet*) этой точки. Далее необходимо найти расстояния между контрольными точками.

В результате фильтрации Габора лицо превращается в эластичный граф с узлами (джетами) и значениями длин ребер между узлами (Рис. 2). Этот граф и представляет собой “эталонное” лицо человека.

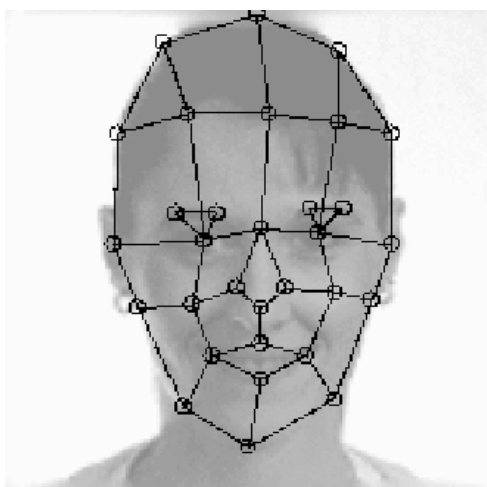


Рисунок 1 – Выделение контрольных точек лица.

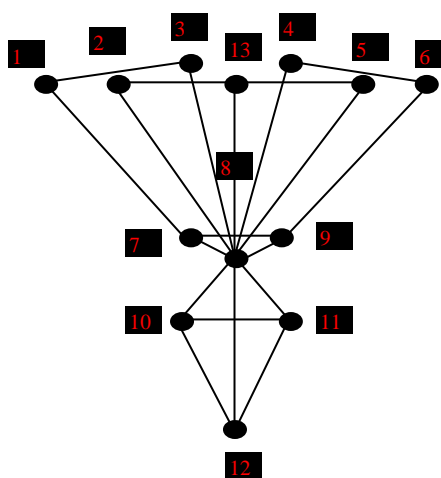


Рисунок 2 – Эластичный граф лица.

3. Распараллеливание вычислений в задачах фильтрации

Задача анализа изображений требует большого объема вычислений. Поскольку процесс аутентификации должен происходить в режиме реального времени возникает необходимость наличия огромных вычислительных ресурсов. Эффективным решением этой проблемы может быть переход к параллельной обработке данных. В настоящее время наиболее подходящими для параллельно-конвейерной и систолической обработки являются алгоритмы цифровой фильтрации на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) [3]. Как видно из (1) ядра фильтров Габора выглядят как элементы базиса Фурье, умноженные на гауссианы. Таким образом, возможность распараллеливания вычислений служит еще одним важным аргументом для использования фильтров Габора в задачах анализа изображений.

Уже предложено достаточно много параллельно-конвейерных структур для вычисления БПФ. С точки зрения сокращения номенклатуры элементной базы предпочтительным является использование также принципа программируемости. Одним из вариантов объединения параллелизма и программируемости могут быть программируемые систолические структуры [4].

4. Решение задачи распознавания на основе нечеткой логики

Задача распознавания лица на основе рассмотренных моделей сводится к сопоставлению джетов в контрольных точках реального лица и эталона, а также измерению длин ребер между контрольными точками.

У всех людей отношения расстояния между указанными контрольными точками примерно одинаковы, поэтому расстояния между контрольными точками являются ключевой информацией при распознавании конкретного лица. Однако параметры лица человека со временем немного изменяются. Кроме того, следует учитывать, что на точность распознавания воздействуют множество факторов, в частности, эмоции человека, освещенность лица, угол зрения и т.д. Поэтому цифровой портрет человека всегда имеет размытый

характер и при распознавании лица нельзя механически сопоставлять джеты в контрольных точках реального лица и эталона.

Для обработки информации, представленной в расплывчатой форме предложен математический аппарат нечеткой логики [5]. Однако традиционные нечеткие множества ориентированы на плоские модели, а при распознавании используются трехмерные модели. Поэтому необходимо обратиться к нечеткой логике высших порядков – нечеткой логике Типа 2 [6]. Для заданного произвольного непустого множества X элементов (объектов) с n атрибутами используется интервальное нечеткое Типа 2 подмножество

$$\tilde{A} = \{((x, u), \mu_A(x, u)) \mid x \in X, u \in \int_x \subseteq [0,1]\},$$

$$x \in X, \mu_A(x, u) \in [0,1]$$

где $\mu_A(x, u) \in [0,1]$ является интервальной Типа 2 функцией принадлежности нечеткого подмножества (первичная функции принадлежности), а \tilde{A} – область функции принадлежности множества X (вторичная функции принадлежности).

В этой логике сами функции принадлежности являются нечеткими, в которых можно выделить верхнюю и нижнюю границы (Рис.3). Таким образом, в эластичном графе длина L ребра представляются с помощью пространственной функции принадлежности с учетом допустимых значений отклонений. Для получения хорошего эталона необходима его настройка, в результате которой получаются взвешенные длины ребер графа.

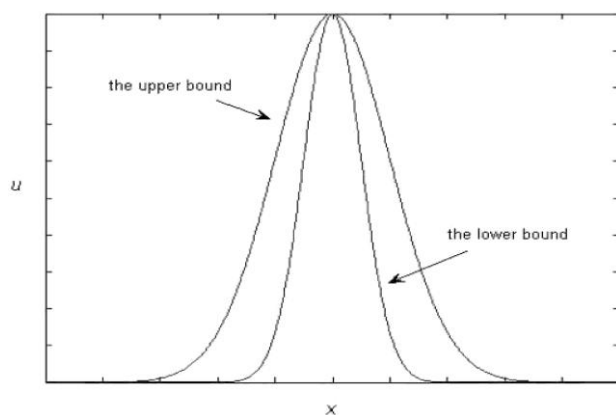


Рисунок 3 – Функция принадлежности в нечеткой логике Типа 2.

При формировании изображения реального человека мы также имеем дело с размытыми данными, обусловленные аппаратными особенностями видеокамер. Поэтому сформированный фактический эластичный граф лица человека, которого нужно распознать, также имеет нечеткие длины ребер. В процессе распознавания происходит попарное сопоставление нечетких величин. Для сравнения длины i -го ребра эталонного эластичного графа G_s будем использовать функцию длины i -го ребра фактического эластичного графа G_f будем использовать функцию

$$H(A_s^i, A_f^i) = \sum_i |\mu_A^{s,up} - \mu_A^{f,up}| - \sum_i |\mu_A^{s,lo} - \mu_A^{f,lo}|,$$

где $\mu_A^{s,up}, \mu_A^{f,up}$ – верхние границы интервальных функций принадлежности длин i -х ребер графов G_s и G_f ;

$\mu_A^{s,lo}, \mu_A^{f,lo}$ – нижние границы интервальных функций принадлежности длин i -х ребер графов G_s и G_f ;

Литература

1. J.G. Daugman: *Uncertainty relations for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters*, *Journal of the Optical Society of America A*, 1985, vol. 2, pp. 1160-1169.
2. B. Duc, S. Fischer, J. Bigun, “*Face Authentication with Gabor Information on Deformable Graphs*,” *IEEE Trans. on Image Processing*, No.4, April, 1999.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Семеренко В.П. *Системная реализация конечных автоматов // Оптико-электронні інформаційно-енергетичні технології*, 2007, №2. - С.154-162.
5. Корченко А.Г. *Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения*. – К.: ”МК-Пресс”, 2006. – 320 с.
6. Oscar Castillo and Patricia Melin, *Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Berlin: Springer, 2008.