

УДК 621.391

## МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ МАЛОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**А. Ю. Виллевалде,**

ассистент

**З. М. Юлдашев,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Предлагается метод предварительной обработки медицинских изображений, содержащих объекты интереса исследователя небольших размеров с низким уровнем контраста, который обеспечивает согласование их параметров со свойствами зрительной системы исследователя. Приводится теоретическое обоснование целесообразности применения предложенного метода для повышения эффективности правильного обнаружения объектов на медицинских изображениях.

### Постановка проблемы

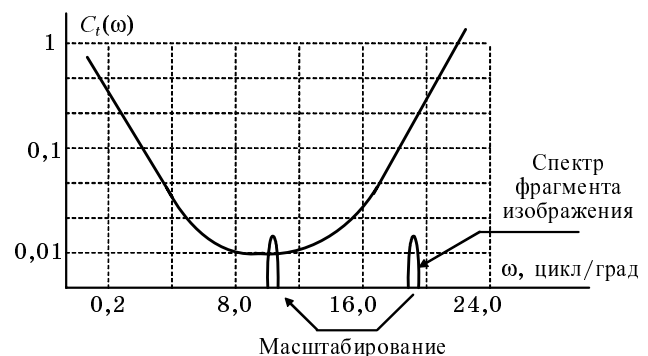
Диагностика на основе анализа и обработки медицинских изображений во многих случаях сопряжена с необходимостью правильного обнаружения малококонтрастных объектов небольших размеров. Например, в случае ранней диагностики некоторых видов рака на изображении необходимо выявить малоразмерные (по сравнению с окружающими органами) новообразования. Следует заметить, что чаще всего само медицинское изображение при этом является контрастным, а объекты интереса исследователя характеризуются контрастом, соизмеримым с пороговым контрастом зрения. Очевидно, что пропуск таких объектов на медицинском изображении может привести к ошибочному заключению о состоянии здоровья пациента и, следовательно, непроведению своевременного лечения. В этой связи проблема повышения эффективности правильного обнаружения малококонтрастных объектов небольших размеров на медицинских изображениях представляет значительный интерес, а целью настоящего исследования является разработка метода предварительной обработки изображений, содержащих небольшие объекты интереса, контраст которых соизмерим с пороговым контрастом зрения.

### Теоретическое обоснование решения проблемы

В соответствии с известными свойствами зрения [1] эффективность правильного обнаружения объектов интереса на изображении зависит от контраста этих объектов по отношению к фону:  $C_{ob} = (B_b - B_{ob})/B_b$ , где  $B_{ob}$  — яркость объекта интереса на изображении;  $B_b$  — яркость фона (средний

уровень яркости изображения). При этом правильное обнаружение объектов возможно лишь в случае, если их контраст превышает порог восприятия — пороговый контраст зрения  $C_t$ . Если же контраст объектов интереса не превышает порогового контраста зрения, изображение воспринимается как однородное (не содержащее объектов интереса).

Пороговый контраст зрения характеризуется неравномерной зависимостью от угловых размеров объектов на изображении  $C_t(\omega)$  — их пространственной частоты, которую принято выражать в циклах на градус поля зрения (рис. 1) [2]. Исходя из вида этой зависимости можно сделать вывод, что оптимальным для правильного обнаружения объектов зрительной системой исследователя является диапазон пространственных частот от 6 до 10 циклов на градус поля зрения (в этом диапазоне пороговый контраст минимален). Для правильного обнаружения объектов малых угловых



■ Рис. 1. Зависимость порогового контраста от размера наблюдаемого объекта на изображении

размеров (более 15 циклов на градус поля зрения) необходим более высокий уровень контраста (пороговый контраст зрения более высокий).

Пороговый контраст зрения зависит не только от размера объектов интереса на изображении, но и от уровня яркости адаптации зрительной системы: глобального — среднего уровня яркости всего изображения (с учетом внешнего освещения) и локального — изменяющегося в зависимости от яркости отдельных частей изображения.

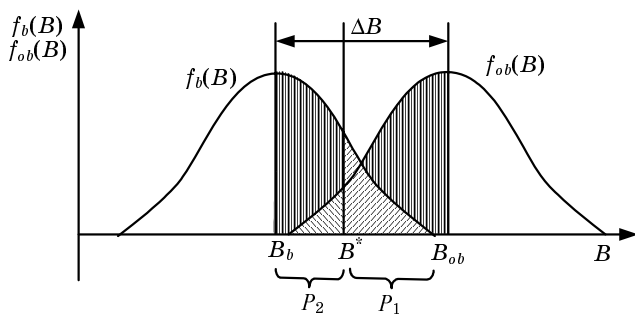
Наиболее распространенный в настоящее время подход к анализу зрительного обнаружения основывается на представлениях и терминах, разработанных в теории статистических решений. Весь имеющийся в распоряжении специалистов материал показывает, что возможности человека-наблюдателя зависят от уровня шумов и ограничены в соответствии с соотношениями математической статистики [3]. Исходя из этого, для вероятности правильного обнаружения исследователем объекта интереса малых размеров и низкого контраста на простейшей модели медицинского изображения (монохромном изображении круга заданного диаметра и контраста на равномерном фоне, наблюдаемом с заданного расстояния) в настоящей работе получено следующее выражение:

$$P_d = \frac{1}{2} + \Phi_0 \left( \frac{B_{ob} - B^*}{\sigma} \right), \quad \Phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt,$$

где  $\Phi_0$  — интеграл вероятности;  $\sigma$  — дисперсия шумов на изображении;  $B^*$  — порог обнаружения по яркости, определяющийся в соответствии с критерием Неймана—Пирсона (рис. 2) или, что то же самое:

$$P_d = \frac{1}{2} + \Phi_0 \left( \frac{C_{ob} - C^*}{AC_t} \right), \quad C^* = AC_t \Phi_0^{-1} \left( \frac{1}{2} - P_1 \right),$$

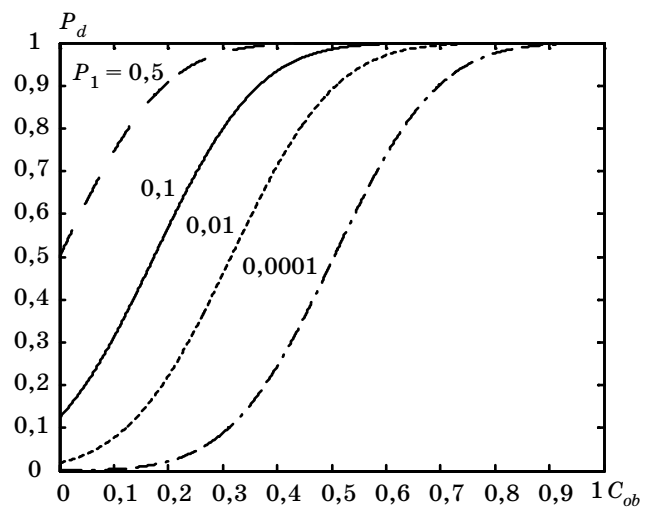
где  $C^*$  — величина контраста, соответствующая порогу обнаружения по яркости;  $A$  — постоянная, характеризующая внутренние процессы в зритель-



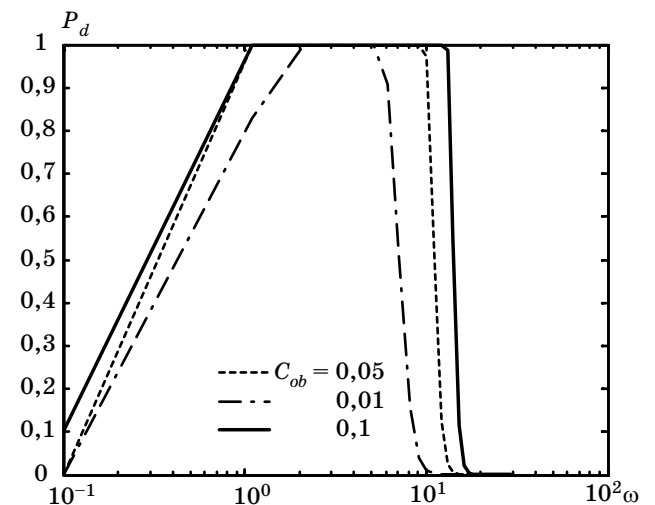
■ Рис. 2. Плотности распределения вероятностей яркостей для изображений, одно из которых содержит интересующий исследователя объект,  $f_{ob}(B)$ , а другое содержит только фон,  $f_b(B)$  ( $P_1$  — вероятность ложной тревоги,  $P_2$  — вероятность пропуска цели)

ной системе [4];  $P_1$  — уровень ложной тревоги, в соответствии с критерием Неймана—Пирсона задаваемый, исходя из условий решаемой задачи.

Полученное выражение показывает, что вероятность правильного обнаружения объекта интереса на изображении зависит от контраста и угловых размеров (пространственного спектра) объекта интереса на изображении, порогового контраста зрительной системы и уровня вероятности ложной тревоги. Существенное влияние порогового контраста зрительной системы на эффективность обнаружения означает, что вопросу обеспечения условий для оптимального восприятия изображе-



■ Рис. 3. Зависимости вероятности правильного обнаружения объекта на изображении  $P_d$  от его контраста  $C_{ob}$  при заданных размерах объекта наблюдения и уровне яркости адаптации



■ Рис. 4. Зависимости вероятности правильного обнаружения объекта на изображении  $P_d$  наблюдателем от его размера  $\omega$  в циклах на градус поля зрения при заданной  $P_1 = 10^{-5}$

ний, предъявляемых исследователю на экране монитора, следует уделять большое внимание.

На основе выражения, полученного для вероятности правильного обнаружения объектов на изображении, рассчитаны следующие характеристики обнаружения:

— зависимости вероятности правильного обнаружения объекта на изображении от его контраста для заданных размера объекта, уровня яркости адаптации и уровней ложной тревоги,  $P_d(C_{ob})$  (рис. 3);

— зависимости вероятности правильного обнаружения объекта на изображении от его размера при заданных контрасте и уровнях ложной тревоги,  $P_d(\omega)$  (рис. 4). На основе анализа полученных характеристик, принимая требуемые в заданных условиях наблюдения значения вероятности правильного обнаружения объектов на изображении, можно выбрать метод обработки изображения и рассчитать его параметры, обеспечивающие достижение соответствующего уровня контраста  $C_{ob}$  и размера  $\omega$  объекта интереса на изображении.

### Решение проблемы

Предлагаемый метод предварительной обработки медицинских изображений, содержащих объекты интереса небольших размеров и малого контраста, направлен на повышение эффективности обнаружения объектов интереса за счет согласования их параметров со свойствами зрительной системы исследователя.

Сущность метода может быть представлена следующим алгоритмом (рис. 5). Исследователь, получив изображение для анализа и обработки в целях обнаружения каких-либо новообразований (объектов интереса) небольших размеров и низкого контраста, осуществляет просмотр всего изображения (этап 1). В случае необнаружения новообразований на изображении и появления подозрений на наличие объектов (этап 2) он выделяет некоторую зону интереса — осуществляет локализацию объектов интереса (этап 3). Необнаружение объектов интереса малых размеров может быть обусловлено двумя причинами: их отсутствием на изображении или же невозможностью обнаружить эти объекты вследствие недостаточного контраста (меньше порогового контраста зрения для данного размера объекта). Для того чтобы убедиться в отсутствии (или наличии) новообразований, исследователь обеспечивает контрастирование зоны интереса изображения (гамма-коррекция) в соответствии с рассчитанной зависимостью вероятности правильного обнаружения объектов интереса от их контраста для заданных условий наблюдения (этап 4). Если в результате анализа обработанного участка изображения объекты интереса не выявлены, производится масштабирование участка изображения в соответствии с рассчитанной зависимостью вероятности правильного обнаружения объектов интереса от их размера на изображении для заданных условий наблюдения (этап 5).



■ Рис. 5. Алгоритм предварительной обработки медицинских изображений, содержащих объекты интереса низкого контраста и малого размера

Это эквивалентно переносу пространственного спектра контраста выделенного фрагмента изображения из высокочастотной области в область средних частот, где пороговый контраст зрения минимален (см. рис. 1). Эта процедура преобразования может привести к тому, что объекты интереса станут более заметными и будут обнаружены.

В случае необнаружения объектов интереса на выделенном фрагменте изображения (этап 6) исследователь может произвести анализ и обработку других участков изображения, подозрительных на наличие новообразований. Наличие или отсутствие объектов поиска является основанием для формирования заключения о состоянии здоровья пациента по медицинскому изображению (этап 7).

### Экспериментальная апробация метода

Исследования предложенного метода проводились с использованием эталонных изображений различных видов и реальных патологических изображений из маммографического архива Ленинградского областного онкологического диспансера в фиксированных условиях наблюдения. В исследованиях принимали участие 10 нетренированных наблюдателей с нормальным зрением. Вероятность правильного обнаружения наблюдателями объек-

тов интереса с заданными параметрами на исходных изображениях составила 0,1–0,6.

При проведении контрастирования исходных изображений для заданного уровня вероятности правильного обнаружения  $P_d = 1$  наблюдатели обнаруживали объекты интереса с вероятностью 0,8–0,9. То, что реальные наблюдатели не достигают заданного уровня вероятности правильного обнаружения объектов интереса на изображениях, связано с присутствием внешних шумов на изображении и применением при расчете  $P_d$  зависимости порогового контраста от размера объекта для стандартного наблюдателя, которая отличается от реальной.

Масштабирование, которое в соответствии с предложенным методом производилось после контрастирования, для эталонных изображений привело к повышению вероятности правильного обнаружения объектов интереса наблюдателями до необходимого уровня 1. Очевидно, максимальная эффективность этого метода обработки связана с тем, что значения яркости адаптации и контраста на изображении уже оптимизированы, и изменение пространственных характеристик (размеров объектов интереса) дает улучшенный результат (по сравнению с масштабированием исходного изображения).

### Выводы

Для повышения эффективности правильного обнаружения малоконтрастных объектов небольших размеров на медицинском изображении предварительная обработка должна быть направлена на согласование параметров изображения с харак-

теристиками зрительной системы исследователя, в первую очередь, с зависимостью порогового контраста от размера объекта интереса на изображении. В соответствии с полученными характеристиками обнаружения исследователем объектов интереса на изображении последовательность преобразований должна включать контрастирование и масштабирование зоны интереса на изображении, в которой предполагается наличие объектов интереса. Объекты интереса могут быть обнаружены как на этапе контрастирования, так и на этапе масштабирования. При этом повышение эффективности обнаружения объектов поиска может быть обеспечено только при достижении оптимальных условий восприятия медицинских изображений.

### Литература

1. **Физиология человека**: В 3 т. / Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса: Пер. с англ. 3-е изд., стереотип. М.: Мир, 2005. Т. 1. 323 с.; Т. 2. 328 с.; Т. 3. 230 с.
2. **Шелепин Ю. Е., Левкович Ю. И., Колесникова Л. Н.** Визоконтрастометрия. Л.: Наука, 1985. 150 с.
3. **Березин Н. П., Трифонов М. И., Романов С. С.** Формальные модели зрительного обнаружения // Тр. ГОИ им. С. И. Вавилова. Л., 1987. Т. 64. Вып. 198. С. 17–37.
4. **Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е.** Частотно-контрастная характеристика зрительной системы при наличии помех // Физиология человека. 1996. Т. 22. № 4. С. 33–38.