

ГОМОРФНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА

В. Л. Мазец¹⁾, А. Г. Буняк²⁾, О. В. Переверзева³⁾, Е. П. Микитчук⁴⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mazets12@gmail.com*

²⁾ *РНПЦ Неврологии и нейрохирургии, ул. Ф.Скорины, 24,
220114, г. Минск, Беларусь, buniak.ag@gmail.com*

³⁾ *РНПЦ Неврологии и нейрохирургии, ул. Ф.Скорины, 24,
220114, г. Минск, Беларусь, pereverzeva.o.v@icloud.com*

⁴⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mikitchuk@bsu.by*

*Научный руководитель — Е.П. Микитчук, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В работе метод гомоморфной фильтрации адаптирован для обработки МРТ-изображений головного мозга, проведено исследование влияния параметров высокочастотного фильтра на качество визуализации анатомических структур в головном мозге.

Ключевые слова: гомоморфная фильтрация; кепстральная обработка; МРТ-изображения; таламус; высокочастотный фильтр; освещенность; коэффициент отражения.

Магниторезонансная томография (МРТ) является одним из основных методов визуализации при диагностике заболеваний центральной нервной системы [1]. Однако зачастую информативность МРТ-исследований ограничена несколькими факторами: принципиально низким контрастом соседних тканей, обусловленном, например, близким значением протонной плотности; применением «универсальных» настроек аппаратов МРТ, применяемых для обеспечения потокового выполнения диагностических исследований [1; 2]. С точки зрения теории обработки изображений, основными проблемами при обработке МРТ-данных являются неэффективное использование динамического диапазона, а также неравномерная контрастность по пространству изображения, причем из-за ограниченности глубины цифрового полутонового изображения принципиально не существует метода полного восстановления информации. В отличие от типичных цифровых изображений, формируемых в оптическом диапазоне матричными приемниками, МРТ-изображения относятся к радиоизображениям, поэтому их «освещенность» в теории слабо изменяется в пространстве, как следствие, яркость таких изображений в основном характеризуется низкочастотными составляющими пространственного спектра. Информационная составляющая МРТ-изображения, содержащая основные сведения об анатомических структурах в основном сосредоточена в более высоких пространственных частотах. Из-за технических ограничений

«освещенность» и информационная составляющая оказываются перемноженными в реальном МРТ-изображении, что не позволяет разделить их однозначно в пространственной области.

Нейровизуализационное исследование головного мозга при неврологических заболеваниях центральной нервной системы является обязательным при первичной постановке диагноза и зачастую имеет свои МР-паттерны. Особенно сложна для нейровизуализации идентификация скоплений серого вещества в глубинных структурах головного мозга, к которым относятся базальные ганглии (бледный шар, хвостатое ядро и др.), ядра таламуса. Визуализация структур таламуса, например, важна для диагностики и оценки динамики течения ряда заболеваний, в частности, как индикатор степени атрофии головного мозга, а также для выделения областей интереса для выполнения трактографии [1; 2]. Для анализа произведений величин широко применяется кепстральная обработка, лежащая в основе гомоморфной фильтрации [3]. В работе метод гомоморфной фильтрации адаптирован для обработки МРТ-изображений головного мозга, проведено исследование влияния параметров высокочастотного фильтра на качество визуализации анатомических структур в головном мозге.

Любое двумерное изображение $f(x, y)$ может быть представлено в виде поэлементного произведения освещенности $l(x, y)$ и коэффициента отражения $r(x, y)$. Следует отметить, что спектр от произведения представляет собой свертку спектров от сомножителей, что еще больше осложняет разделение данных. Суть гомоморфной фильтрации в том, что берется логарифм от произведения изображений, равный сумме логарифмов множителей, а уже к полученному сигналу применяется преобразование Фурье F и линейный фильтр высоких частот $H(f_x, f_y)$, где f_x, f_y – пространственные частоты. Для возвращения в исходное пространство после обратного преобразования Фурье F^{-1} применяется экспонента [4]:

$$k[f(x, y)] = \exp \left[F^{-1} \left\{ H(f_x, f_y) \lambda(x, y) \right\} + F^{-1} \left\{ H(f_x, f_y) \rho(x, y) \right\} \right],$$

$$\lambda(f_x, f_y) = F[\log(l(x, y))], \rho(f_x, f_y) = F[\log(r(x, y))]$$

где k – оператор гомоморфной фильтрации, $\lambda(f_x, f_y)$, $\rho(f_x, f_y)$ – двумерные кепстры соответственно освещенности и коэффициента отражения. Как видно из (1), (2), гомоморфная фильтрация позволяет обрабатывать компоненты освещенности и отражательной способности независимо. При этом флуктуации освещенности содержатся в ее низкочастотных составляющих – они подавляются высокочастотным фильтром, информация об отражательной способности сосредоточена в более высоких частотах,

следовательно, высокочастотный фильтр их не затрагивает. Это дает возможность повысить контраст и выделить детали, которые были бы скрыты в темных/светлых областях, устранить неравномерную освещенность [1].

В данной работе в составе оператора гомоморфной фильтрации в качестве высокочастотного применялся идеальный фильтр с гауссовской формой фронта подавления. Для исследования применимости такого фильтра рассматривались МРТ-изображения головного мозга, выполненные в режиме T2 ВИ. На рис.1 приведены томограммы, выполненные в аксиальном сечении на уровне боковых желудочков, до и после гомоморфной фильтрации с различными значениями ширины полосы заграждения при использовании гауссовского фильтра высоких частот.

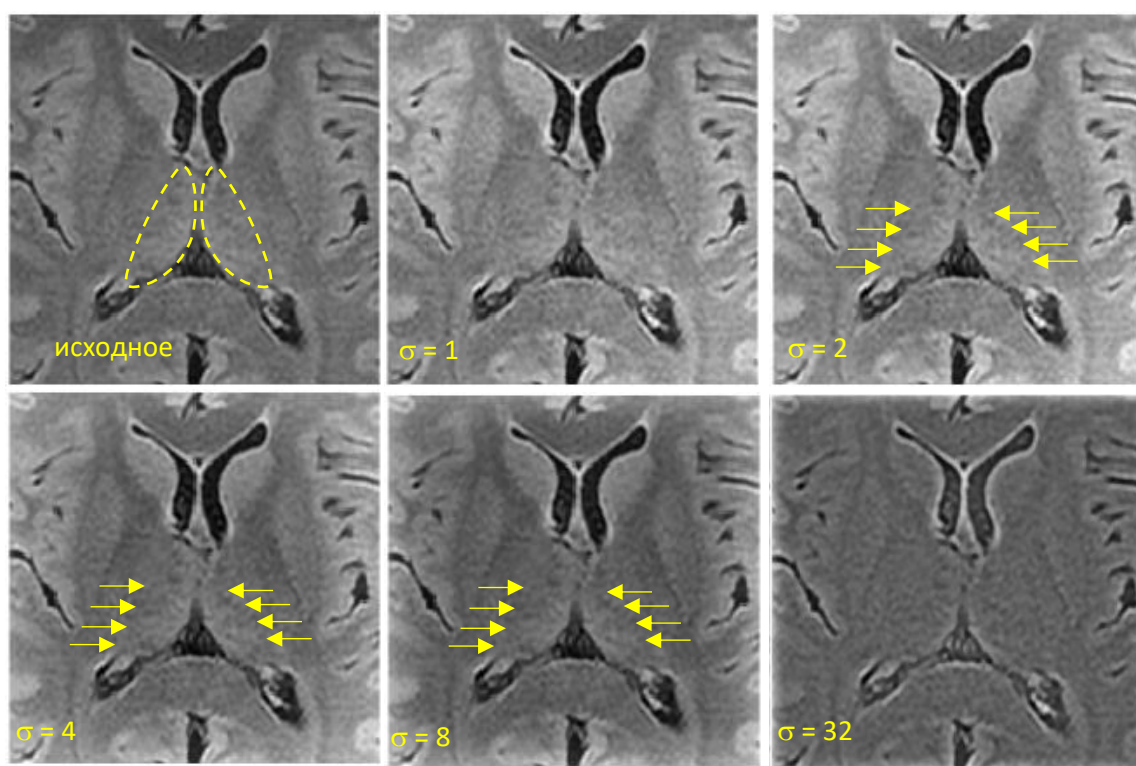


Рис. 1. Томограммы, выполненные в аксиальном сечении, до и после гомоморфной фильтрации с различными значениями ширины полосы заграждения σ [в пикселях] при использовании фильтра высоких частот, пунктиром выделена локализация границ структур таламуса, стрелками показана область гипоинтенсивного сигнала

Видно, что для МРТ-изображений размерами 512×512 при увеличении ширины полосы заграждения граница структур таламуса визуализируется как тонкая область гипоинтенсивного сигнала при использовании гомоморфной фильтрации, причем качество визуализации меняется немонокотонно. На рис. 2 приведены сечения томограмм для различных значений

ширины полосы заграждения, размерной стрелкой показана наибольшая разность яркостей вблизи границ структур таламуса. Видно, что для рассматриваемых МРТ-изображений наибольшая разность яркостей вблизи границ структур таламуса достигается при ширине полосы заграждения в диапазоне 2 – 8 пикселей ($\sim 0.3 - 1.5\%$ от размера изображения).

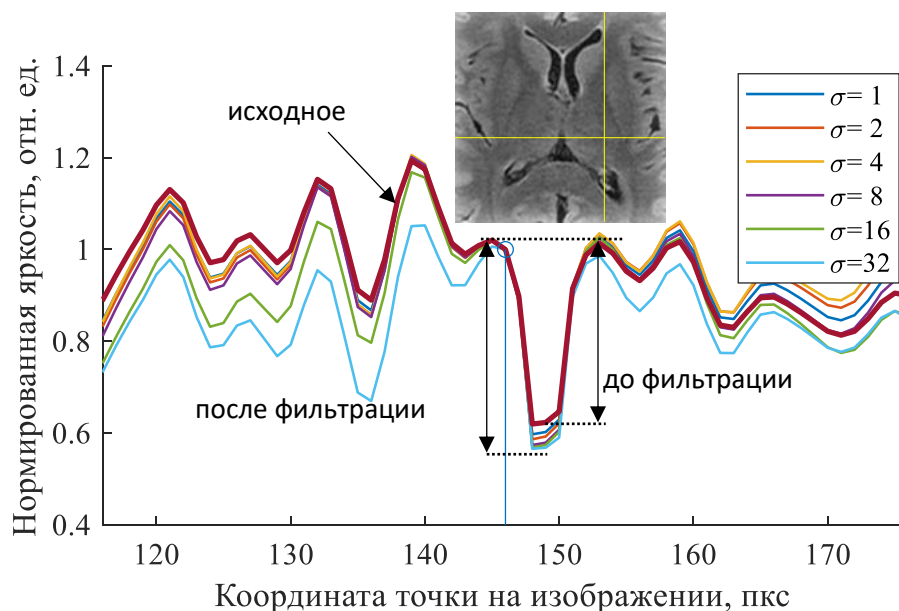


Рис. 2. Сечения томограмм для различных значений ширины полосы заграждения σ , выполненные вдоль горизонтальной линии, приведенной на вставке, положение границы структур таламуса – на пересечении вертикальных линий

В работе метод гомоморфной фильтрации адаптирован для обработки МРТ-изображений головного мозга, показано, что для МРТ-изображений размерами 512×512 пикселей наибольшая разность яркостей вблизи границ структур таламуса достигается при ширине полосы заграждения диапазоне 2 – 8 пикселей ($\sim 0.3 - 1.5\%$ от размера изображения).

Библиографические ссылки

1. Кротенкова М.В., Сергеева А.Н., Морозова С.Н., Древаль М.В., Брюхов В.В., Коновалов Р.Н., Кремнева Е.И., Савицкая И.А., Суслин А.С. Нейровизуализация. Головной мозг. М.: РООИ «Здоровье человека», 2022.
2. Румболдт З., Кастильо М., Хуанга Б., Росси А. КТ-и МРТ-визуализация головного мозга. М.: МЕДпресс-информ, 2020.
3. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital image processing. New York: Pearson education, 2018.
4. Микитчук Е.П. Кугейко. М.М. Методы и системы квантовой радиофизики : учеб.-метод. пособие. Мн.: БГУ, 2024.