

СЛИЯНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

доц. Петровский Н. А., ст. Куис И.С., доц. Вашкевич М.И.



*Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники (БГУИР)*

Кафедра электронных вычислительных средств



DSPA Conference

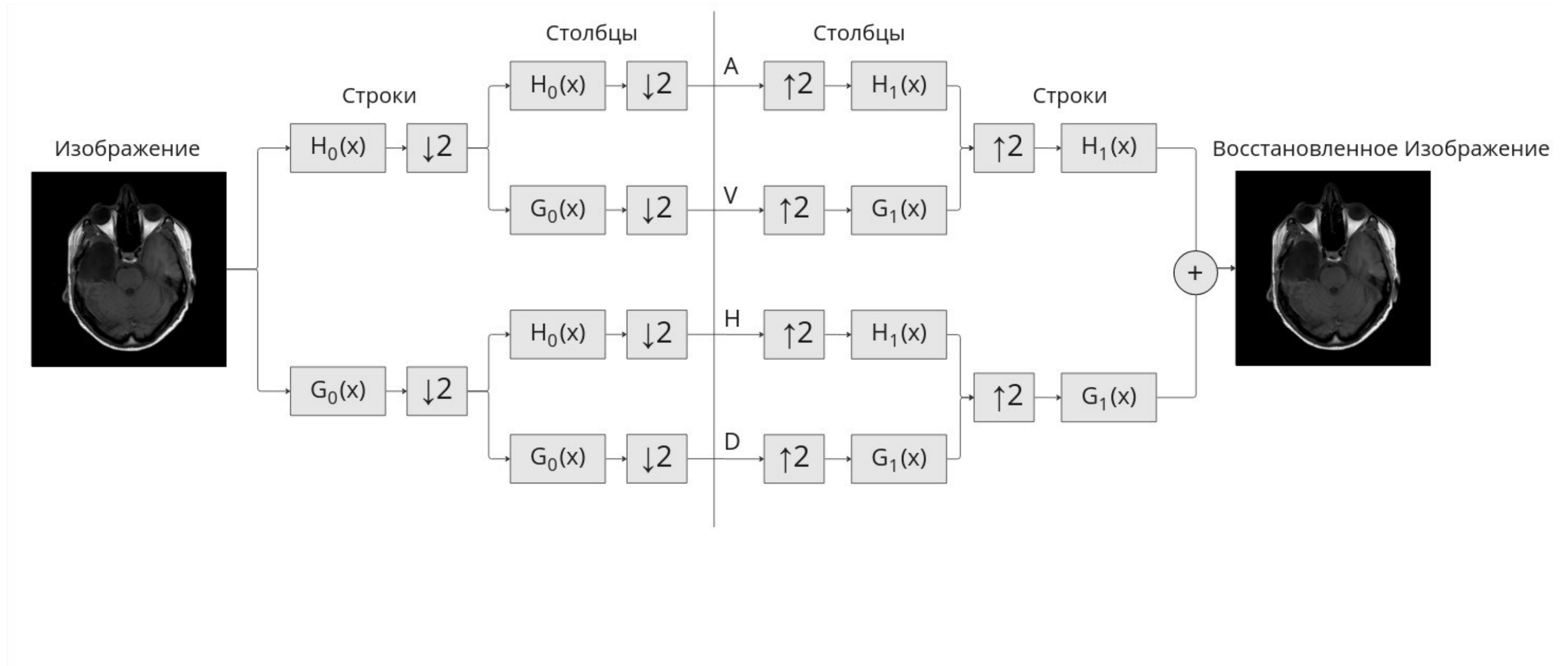
Digital Signal Processing and Its Applications

Цель работы

Исследовать методы слияния медицинских изображений в области коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования (ДВП), а также способы их улучшения с использованием представления НЧ-компонент ДВП в области модуля максимума вейвлет-преобразования. Дополнительно ставилась цель сравнить данные методы с альтернативным подходом на основе целочисленного полифазного банка фильтров.

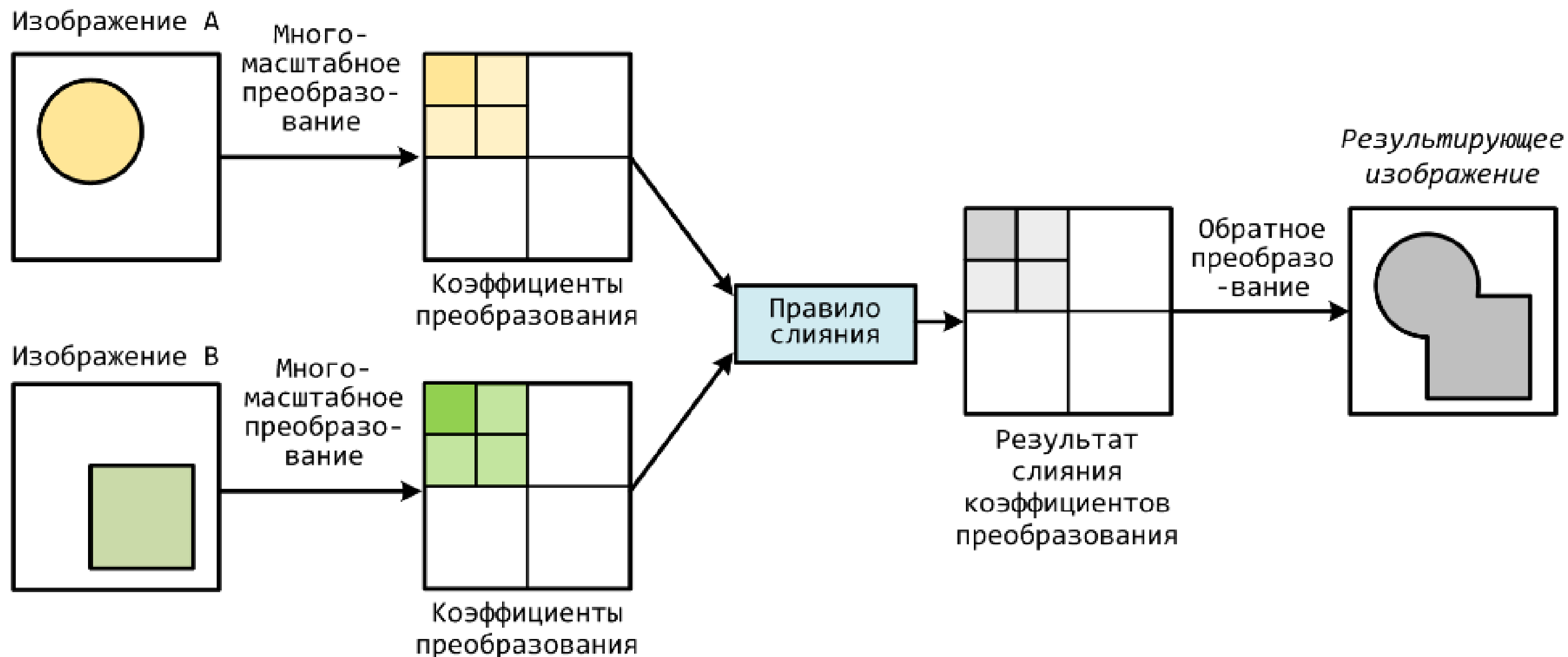
Двумерное ДВП

Схема двумерного дискретного вейвлет-преобразования (ДВП)



Двумерное ДВП в задаче слияния изображений

Схема слияния двух изображений с помощью двумерного ДВП

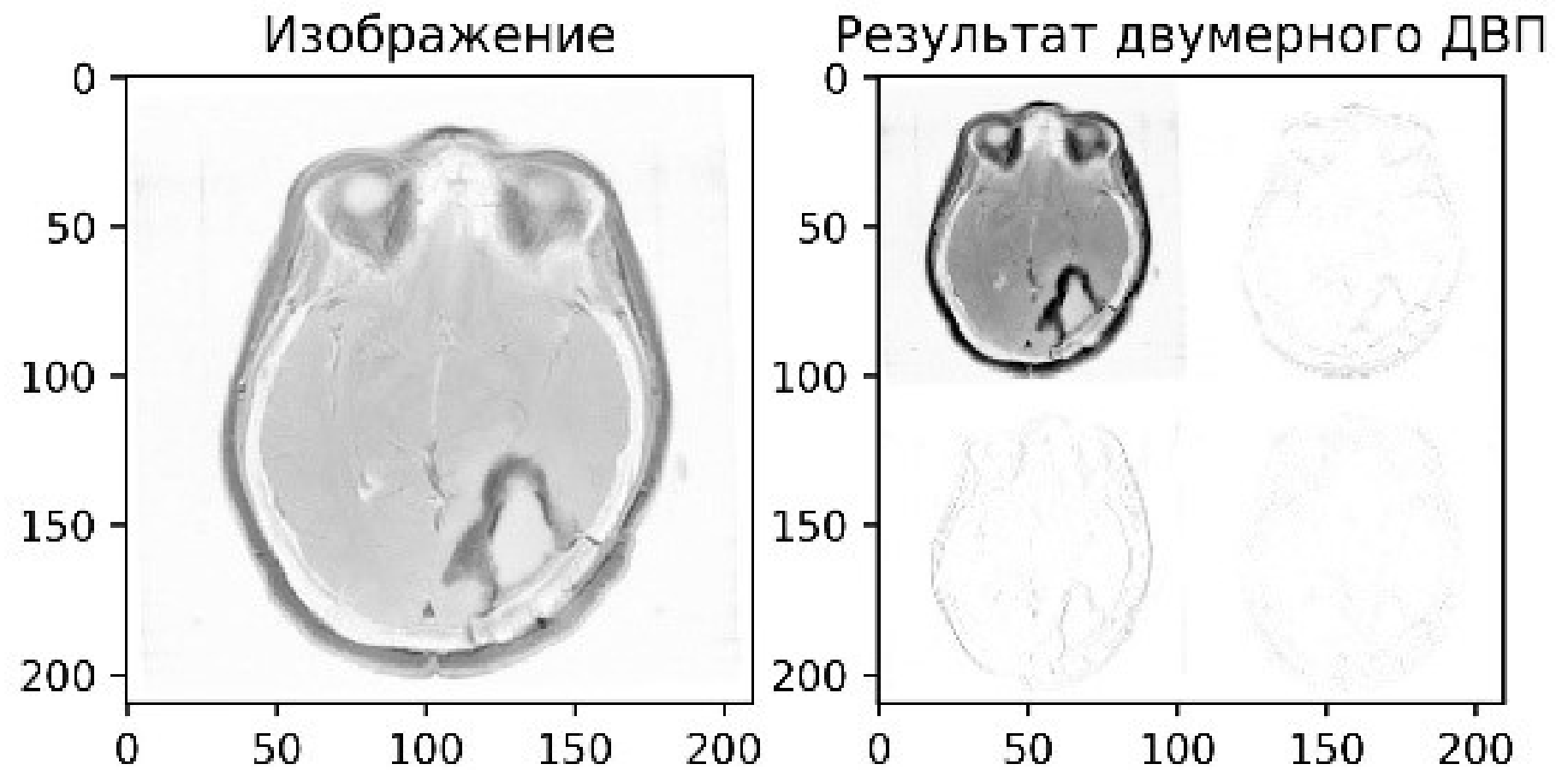


Двумерное ДВП в задаче слияния изображений

Схема расположения коэффициентов ДВП

A	H
V	D

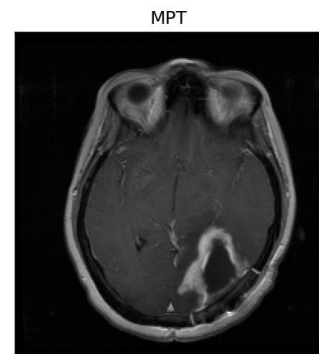
Пример двумерного ДВП



Двумерное ДВП в задаче слияния изображений

Базовый алгоритм

Изображение А

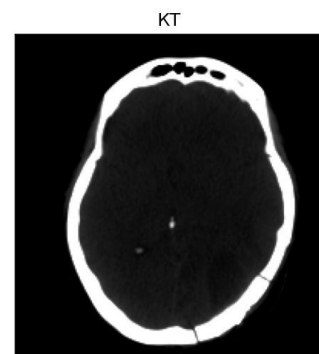


ДВП

A_A	H_A
V_A	D_A

Коэффициенты
ДВП

Изображение В



ДВП

A_B	H_B
V_B	D_B

Коэффициенты
ДВП

Правила слияния

$$A_F = 0,5(A_A + A_B)$$

$$H_F = \max(H_A, H_B)$$

$$V_F = \max(V_A, V_B)$$

$$D_F = \max(D_A, D_B)$$

A_F	H_F
V_F	D_F

Результат
слияния
коэффициентов
ДВП

ОДВП

Результирующее
изображение



Разреженное представление в пространстве максимумов модуля вейвлет-преобразования (ММВП)

Переход в пространство максимумов модуля вейвлетов выполняется путем сглаживания изображения с масштабированным ядром $\theta(x, y)$. Для вычислений используются вейвлеты $\psi^{(x)}$ и $\psi^{(y)}$, которые являются частными производными сглаживающей функции θ :

$$\psi^{(x)} = \frac{\partial \theta}{\partial x}, \quad \psi^{(y)} = \frac{\partial \theta}{\partial y}.$$

Тогда можно ввести понятие двумерного вейвлет-преобразования W в точке x, y как:

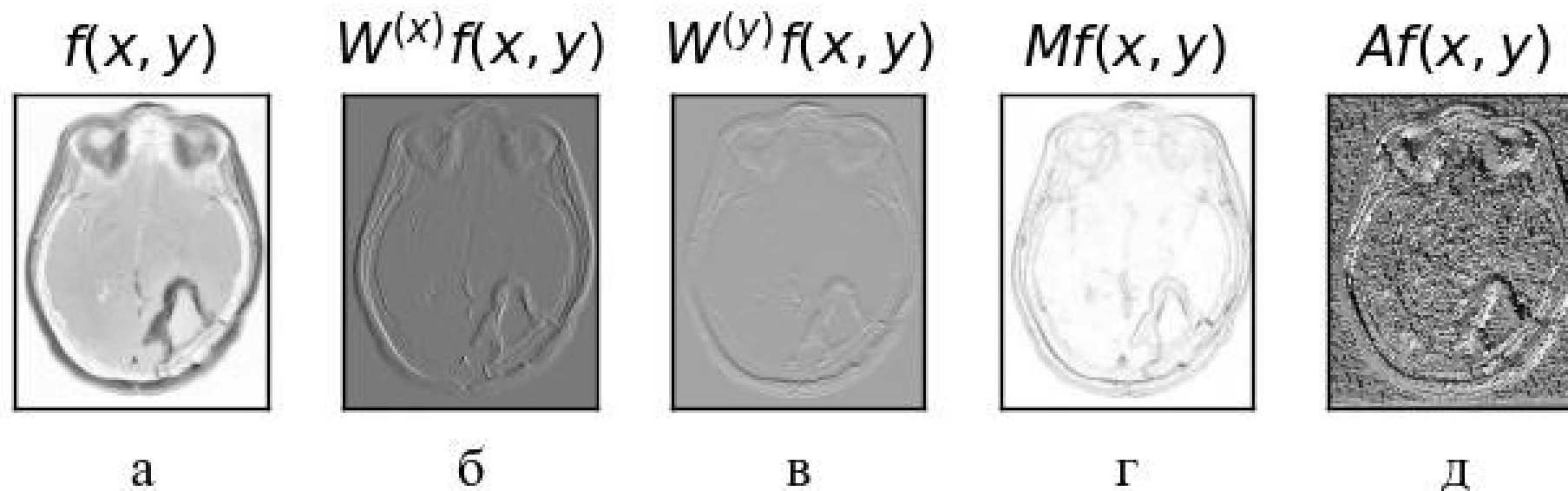
$$Wf(x, y) = \begin{pmatrix} W^{(x)} f(x, y) \\ W^{(y)} f(x, y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \psi^{(x)} * f(x, y) \\ \psi^{(y)} * f(x, y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta)(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta)(x, y) \end{pmatrix} = \nabla(f * \theta)(x, y).$$

Разреженное представление в пространстве ММВП

Для получения разреженного представления в ММВП необходимо подавить все немаксимумы. В процессе подавления немаксимумов используются модуль и направление градиента:

$$Mf(x, y) = \sqrt{|W^{(x)} f(x, y)|^2 + |W^{(y)} f(x, y)|^2},$$

$$Af(x, y) = \text{arctg} \left(\frac{W^{(y)} f(x, y)}{W^{(x)} f(x, y)} \right),$$



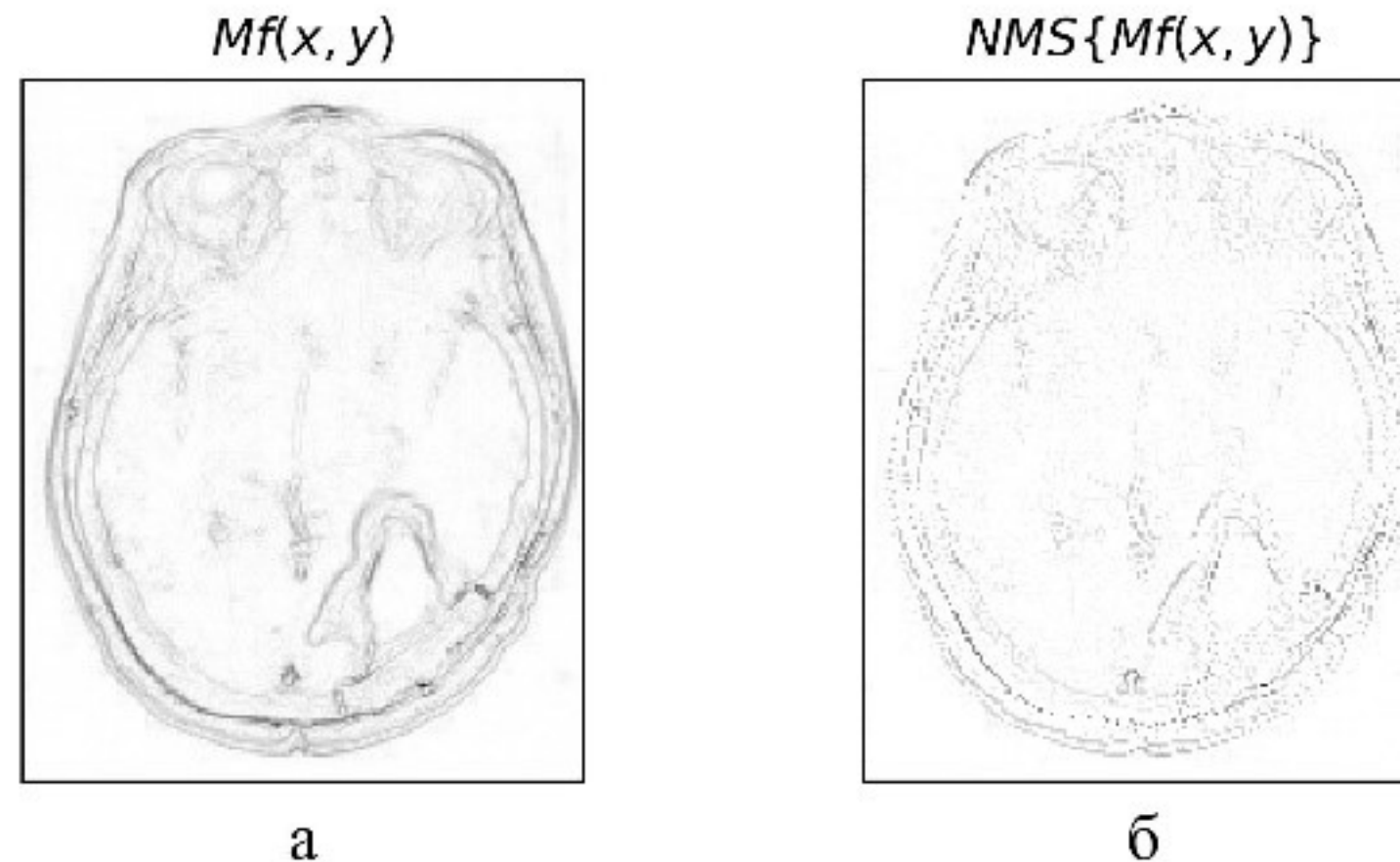
Разреженное представление в пространстве ММВП

Алгоритм представляет собой итерацию по всем пикселям изображения, где для каждого пикселя выполняется следующие действия:

- 1) квантование угла $Af(x, y)$ до кратного 45° (для определения направления вектора градиента);
- 2) проверка соседних пикселей с текущим по направлению градиента. Если текущий пиксель больше соседних по модулю $Mf(x, y)$, то он остается.

Разреженное представление в пространстве ММВП

Пример изображения в пространстве максимумов модуля вейвлет-преобразования:



Восстановление из пространства ММВП

Алгоритм восстановления реконструирует изображение \hat{f} с минимальной нормой, такое, что

$$\tilde{M}f(u_p, v_p) = \langle f, \psi_p^{(d)} \rangle, \quad d \in \{x, y\},$$

Таким образом, \hat{f} – это ортогональная проекция f на замкнутое пространство V , генерируемое семейством вейвлетов $\{\psi_p^{(x)}, \psi_p^{(y)}\}$. Данное семейство является фреймом для V . В это случае f представляется, как

$$f = L^{-1}g,$$

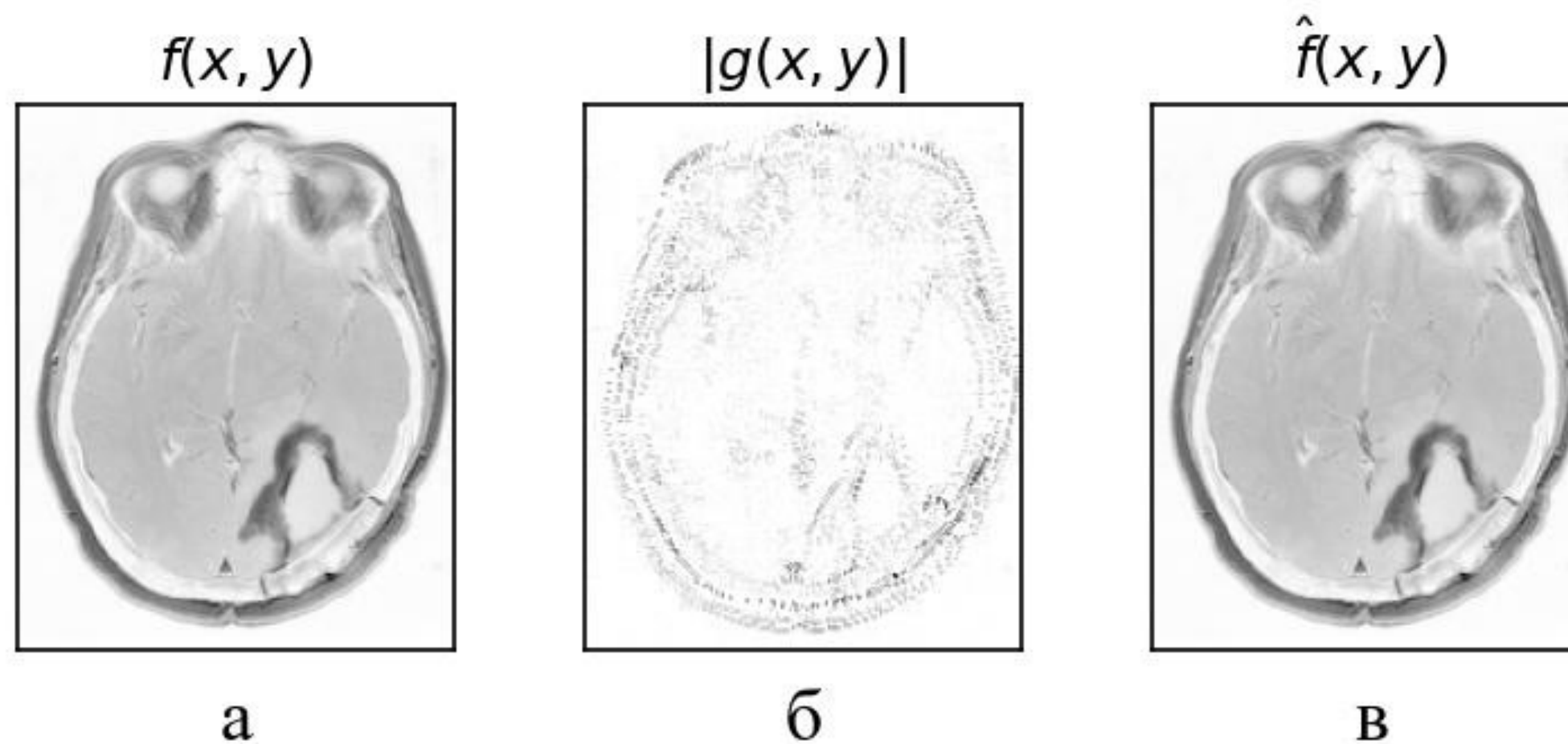
С другой стороны g можно определить используя \hat{f} следующим образом:

$$g = L\hat{f} = \sum_{d \in \{x, y\}} \sum_p \langle f, \psi_p^{(d)} \rangle \psi_p^{(d)}.$$

Восстановление из пространства ММВП

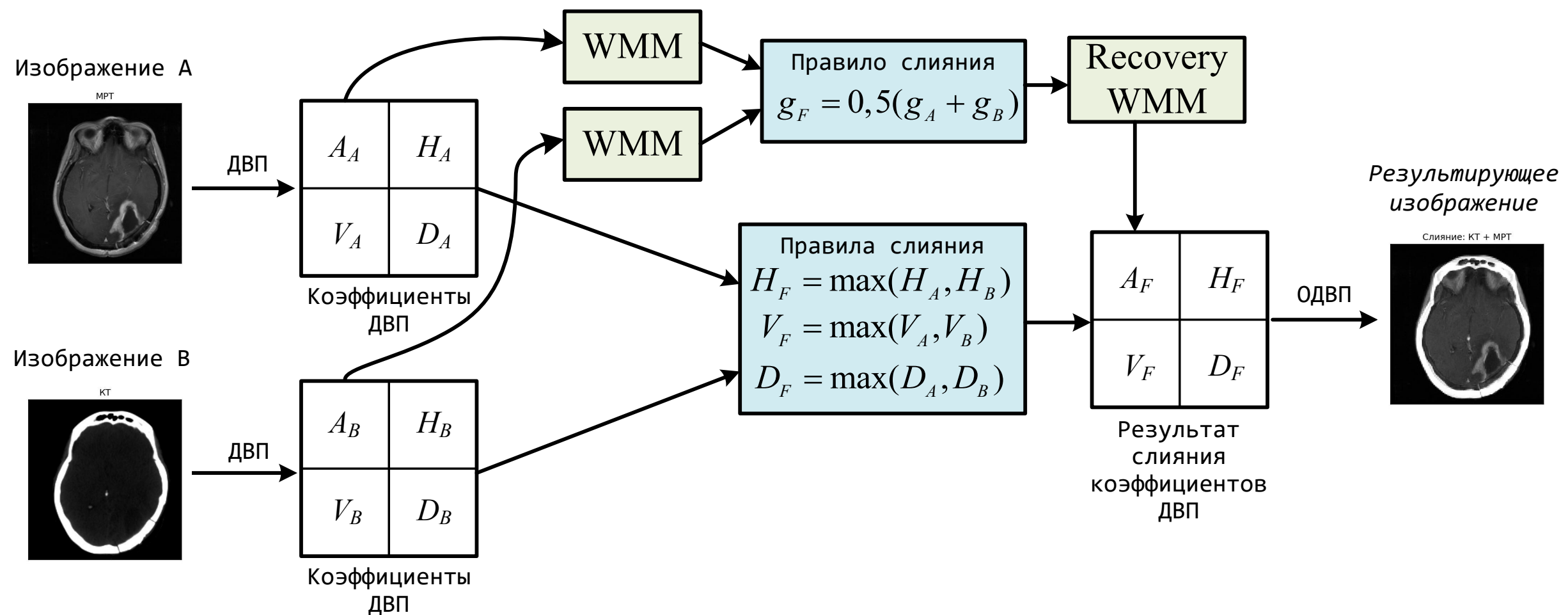
$$\hat{f} = L^{-1}g$$

\hat{f} – восстановленное изображение, g – разреженное представление.



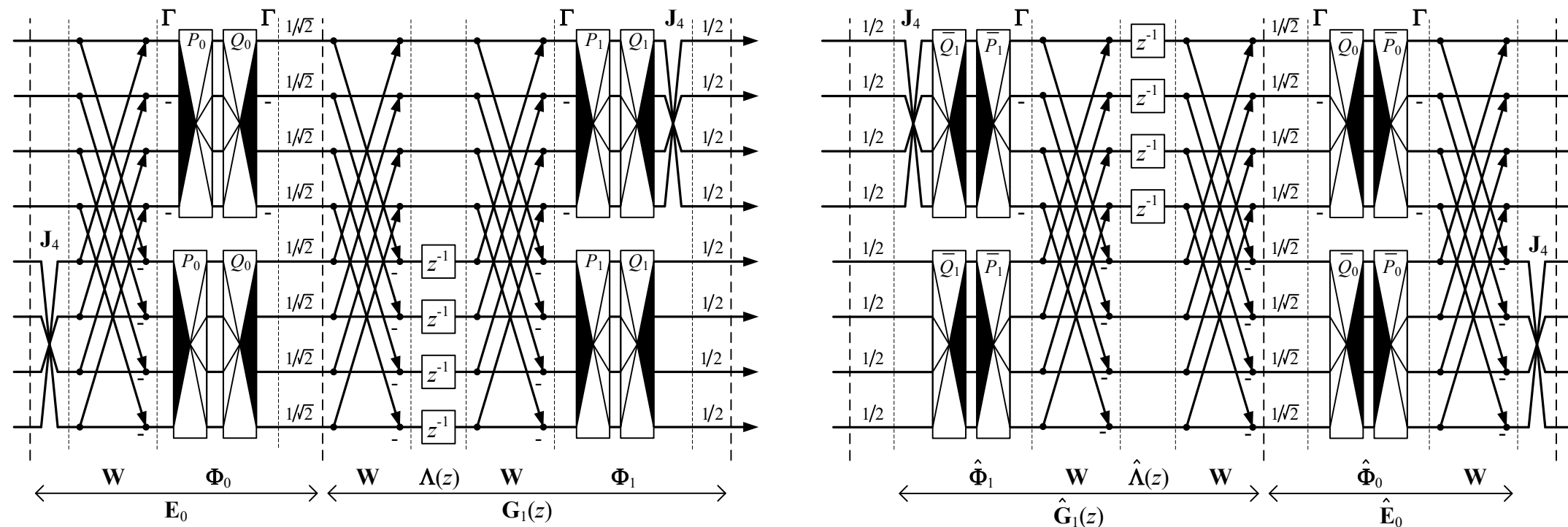
Использование пространства вейвлет-максимумов

Данный метод является улучшенной версией метода на основе двумерного ДВП. Его отличие состоит в обработке НЧ-компонент. Вместо НЧ-коэффициентов объединяются их «образы» в пространство вейвлет-максимумов. После чего выполняется восстановления НЧ-компоненты объединенного изображения с использованием алгоритма восстановления двумерного ДВП.



Альтернативный подход на основе многополосного ДВП

Эффективность многополосных ДВП на основе L2L преобразований в сжатии изображений высока. Одним из таких преобразований могут быть **разделимые** 8-канальные параунитарные банки фильтров с линейной ФЧХ на основе алгебры кватернионов (*Q*-ПУБФ)



Факторизация банка фильтров анализа (число каналов 8, порядок факторизации 2)¹:

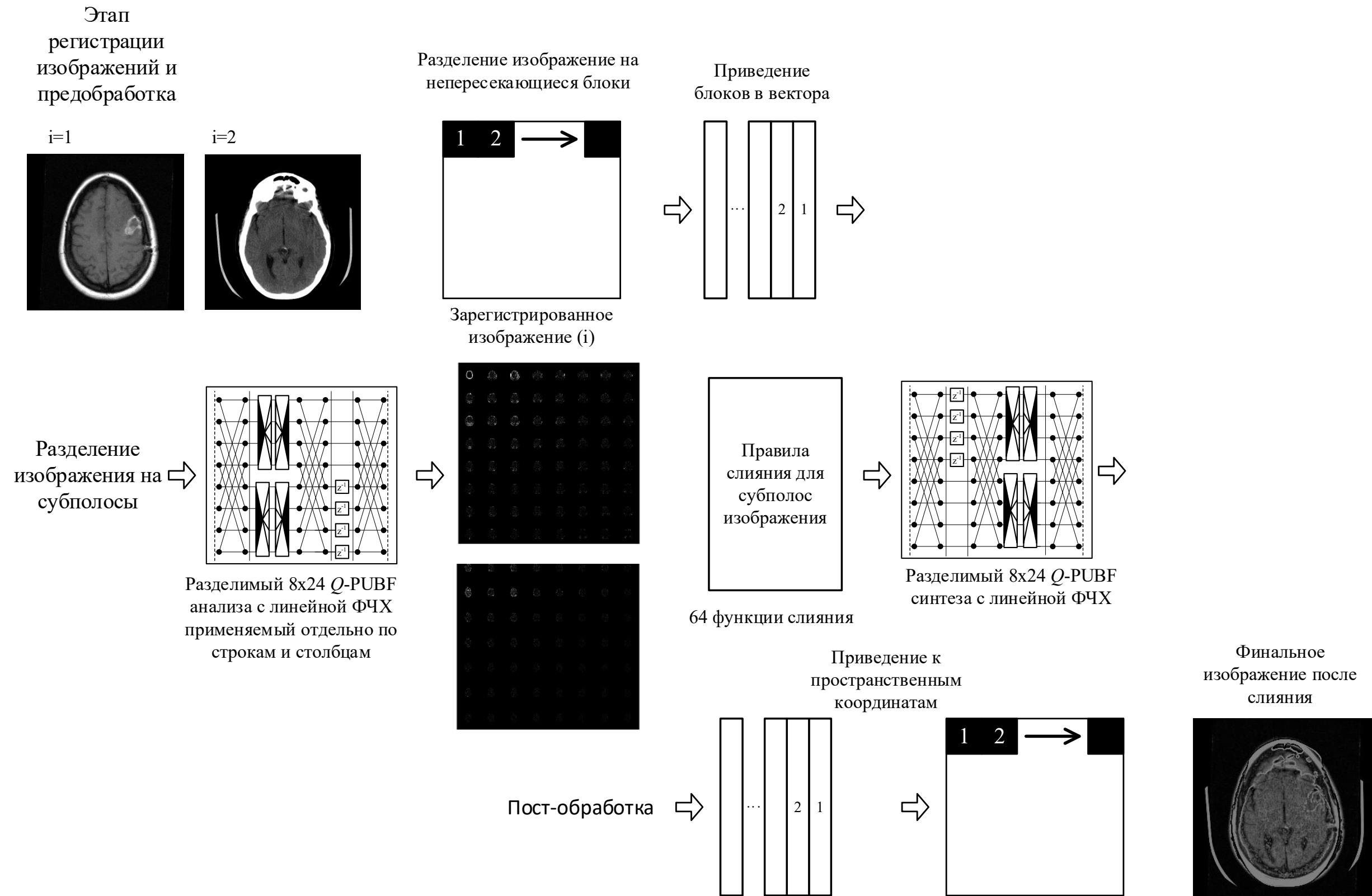
$$E(z) = G_{N-1}(z)G_{N-2}(z) \dots G_1(z)E_0; E_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \Phi_0 W \cdot \text{diag}(I_{M/2}, J_{M/2}); G_i = \frac{1}{2} \Phi_i W \Lambda(z) W;$$

$$\Phi_i = \text{diag}(\Gamma, I_4) \cdot \text{diag}(M^-(Q_i), M^-(Q_i)) \cdot \text{diag}(M^+(P_i), M^+(P_i)) \cdot \text{diag}(\Gamma, I_4);$$

$$\Phi_{N-1} = \text{diag}(J_4, I_4) \cdot \text{diag}(M^-(Q_i), M^-(Q_i)) \cdot \text{diag}(M^+(P_i), M^+(P_i)) \cdot \text{diag}(\Gamma, I_4)$$

¹ M. Parfieniuk and A. Petrovsky, "Inherently lossless structures for eight and six-channel linear-phase paraunitary filter banks based on quaternion multipliers," *Signal Process.*, vol. 90, pp. 1755–1767, 2010.

Порядок применения операции слияния для многопослоного ДВП



Метрика качества слияния

Для введения метрики качества слияния изображений введем понятие взаимной информации, которое будет измерять степень сходства изображений А и В и будет вычисляться как расхождение Кульбака-Лейблера:

$$I_{AB} = \sum_{x,y} p_{AB}(x,y) \ln \frac{p_{AB}(x,y)}{p_A(x)p_B(y)},$$

Тогда для оценки качества слияния изображений А, В и получившегося слияния F введем следующий критерий:

$$M_F^{AB} = I_{FA} + I_{FB}.$$

Который показывает общий объём информации, который содержит в себе результат слияния F об изображениях А и В.

База изображений и методика эксперимента

Для оценки качества методов слияния изображений использовался набор из 30 пар изображений со снимками КТ и МРТ из онлайн ресурса The Whole Brain Atlas. В ходе эксперимента

- 1) поочередно выбиралась пара изображений;
- 2) для каждой пары выполнялось слияние тремя методами;
- 3) вычислялась метрика качества слияния для результатов слияния.

Разница оценок

$$e_{DWT-WMM}(i) = M_{DWT}^{A_i B_i} - M_{WMM}^{A_i B_i},$$

$$e_{DWT-QFB}(i) = M_{DWT}^{A_i B_i} - M_{QFB}^{A_i B_i},$$

$$e_{WMM-QFB}(i) = M_{WMM}^{A_i B_i} - M_{QFB}^{A_i B_i},$$

Результаты экспериментов

В результате статистических тестов (непараметрического критерия знаков) были получено, что слияние с помощью двумерного ДВП, дает меньшее качество метрики слияния, чем ДВП с использованием представления НЧ-компонент ДВП в области модуля максимума вейвлет-преобразования и подхода на основе целочисленного полифазного представления банка фильтров, которые с средним показывают одинаковый результат.

