

**Двадцать третья международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
ИЗ КОСМОСА"**



**Сегментация радиационных характеристик всепогодного СВЧ
зондирования на основе методов нейроморфного
декодирования потоков данных**

Кершинер В.А., Анициеров В.Е., Данилычев М.В., Мансуров Г.К.

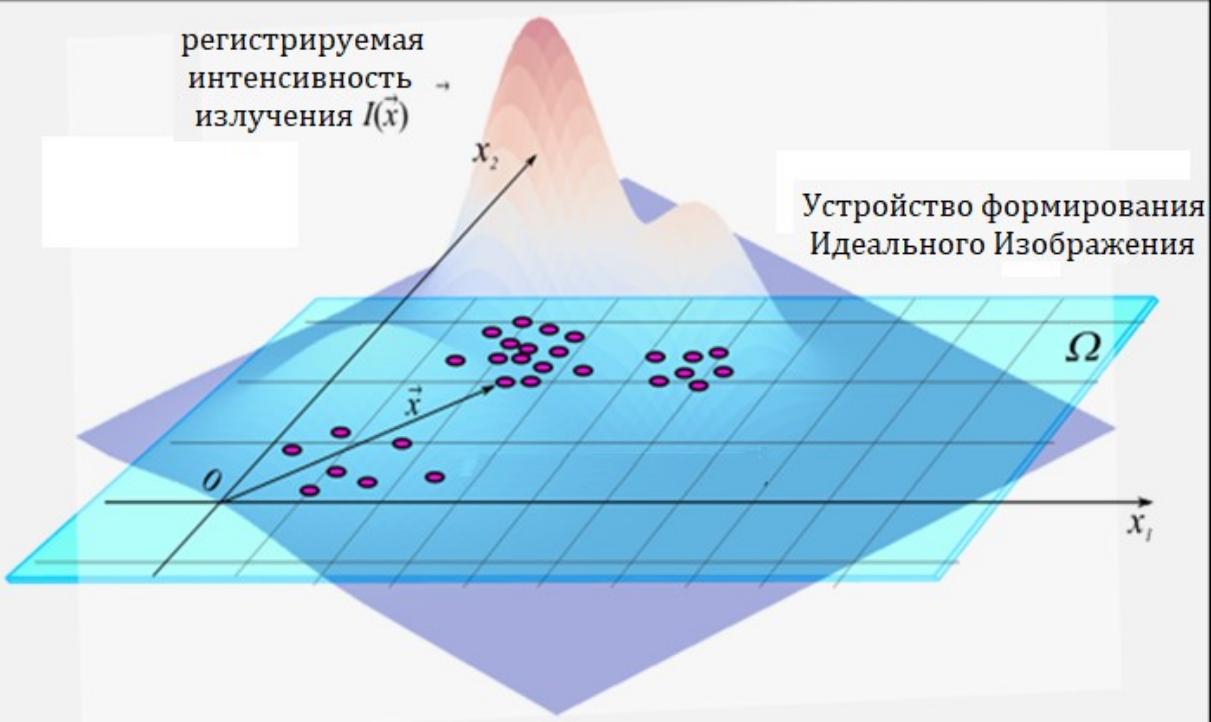
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва

Москва
10 – 14 ноября 2025

Содержание

- Зрительный путь как информационная система для кодирования, передачи данных по каналам и декодирования зарегистрированных (визуальных) данных
- Многоуровневая структура организации сетчатки и обработка входной зрительной информации
- Представление данных отсчетами (Идеальная модель изображения)
- Пример выборочного представления изображения
- Параметрическая модель, основанная на концепции рецептивных полей (РП)
- Параметры модели как выборочные средние значения РП
- Кодирование данных на основе представлений числами заполнения РП
- Пример кодирования выборочного представления
- Идея декодирования (восстановления) сжатых изображений с использованием последовательностей ON-OFF-цепочек

Изображение как набор отсчетов – выборочное представление



Идеальное изображение $X = \{\vec{x}_i\}$ – это форма представления изображения, основанная на модели фотоотсчетов, генерируемых в процессе регистрации интенсивности $I(\vec{x})$ точечными фотодетекторами на чувствительной поверхности Ω прибора.

Принимая во внимание, что для фиксированной (неслучайной) интенсивности $I(\vec{x})$ отсчеты различных точечных детекторов независимы, относительно легко вывести, что в пределе $ds \rightarrow 0$ идеальное изображение $X = \{\vec{x}_i\}$ сходится к двумерному неоднородному точечному процессу Пуассона (ТПП). В частности, совместное распределение вероятностей координат $\{\vec{x}_i\}$ k отсчетов (выборочное представление) сводится к произведению индивидуальных плотностей $\rho(\vec{x}_j | I(\vec{x}))$ отдельных отсчетов:

$$\rho(X_k | I(\vec{x})) = \prod_{j=1}^k \rho(\vec{x}_j | I(\vec{x})),$$
$$\rho(\vec{x}_j | I(\vec{x})) = \frac{I(\vec{x}_j)}{W}, \quad W = \iint_{\Omega} I(\vec{x}) da.$$

Выборочное представление спутникового снимка

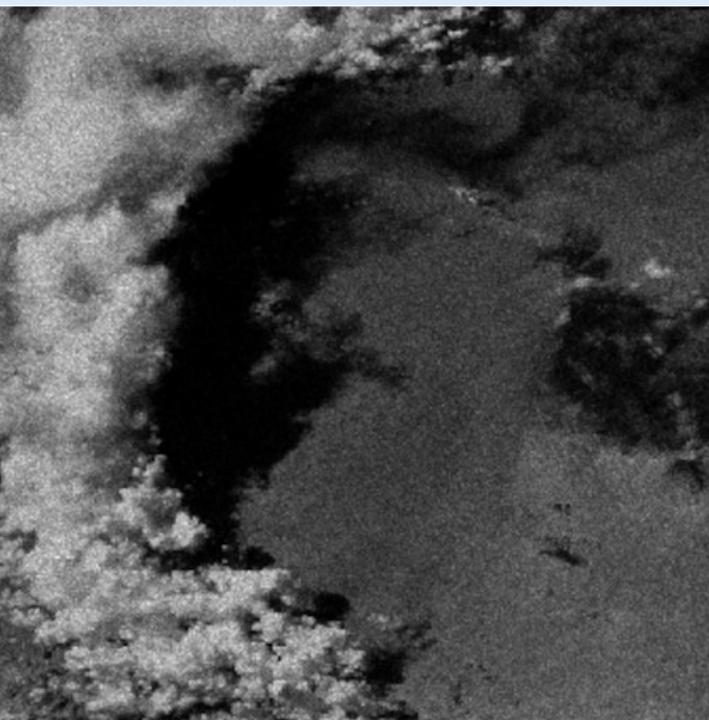


Иллюстрация выборочного представления изображения. Слева – фрагмент спутникового снимка 512×512 с разрывной облачностью, используемый для анализа статистики облаков, справа – его представление, состоящее из 8 388 608 отсчетов.

Если имеется оцифрованная интенсивность $I(\vec{x})$ в виде, например, обычного растрового КТ-изображения, то можно, рассматривая ее нормализованную версию как приближение плотности распределения вероятностей индивидуального отсчета $\rho(\vec{x}_j|I(\vec{x}))$, сгенерировать методом Монте-Карло (принятия-отклонения*) выборку iid-отсчетов $X = \{\vec{x}_i\}$ любого размера k .

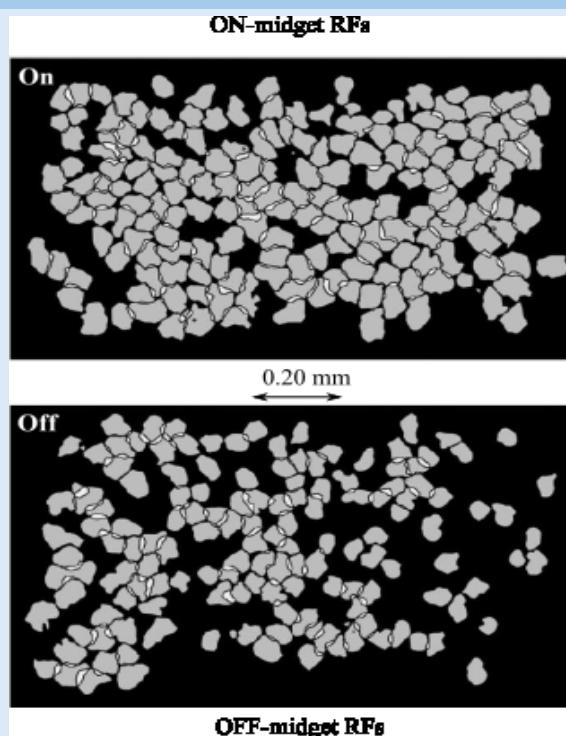
* C. Robert and G. Casella. Monte Carlo Statistical Methods, 2nd ed. NY: Springer New York, 2004.

Параметрическая модель выборочного представления, основанная на концепции системы рецептивных полей

Ориентируясь на механизмы/структуры зрительной системы человека, мы формализовали параметрическую модель выборочного представления изображения. Эта модель связана в первую очередь с концепцией рецептивных полей (РП), которые кодируют входные данные (отсчеты) на сетчатке.

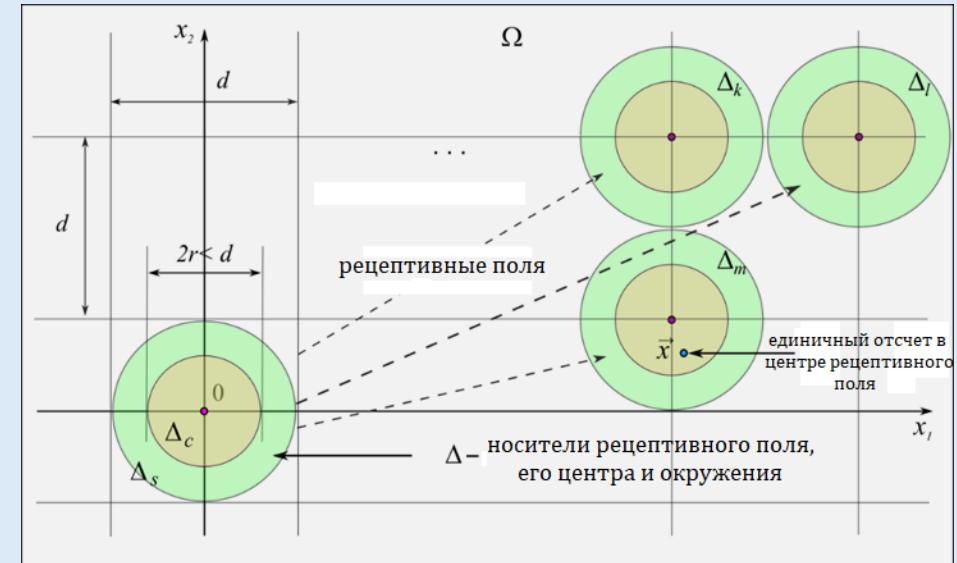
Расположение и форма популяции карликовых ON- и OFF-клеток на поверхности Ω сетчатки*.

Gauthier, J. L., Field, G. D., et.al. (2009). Receptive Fields in Primate Retina. PLoS Biology, 7(4).



Параметрическая модель распределения отсчета, обусловленная структурой сетчатки в виде смеси:

$$\rho(\vec{x}; \vec{\theta}) = \sum_{i=1}^K w_i C_i(\vec{x}) + v_i S_i(\vec{x}), \vec{\theta} = \{w_i, v_i\}$$

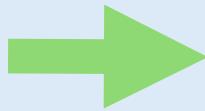


Схематическое разбиение поверхности изображения Ω системой рецептивных полей с носителями $\Delta = \Delta_c \cup \Delta_s$, размещенных в узлах прямоугольной решетки.

Параметры модели как выборочные средние значения РП

Параметры $\vec{\theta} = \{w_i, v_i\}$ смеси $\rho(\vec{x}; \vec{\theta}) = \sum_{i=1}^K (w_i C_i(\vec{x}) + v_i S_i(\vec{x}))$ достаточно просто выражаются через распределение отсчета $\rho(\vec{x}; \vec{\theta})$ в случае непересекающихся носителей компонент $C_l(\vec{x})$ и $S_l(\vec{x})$:

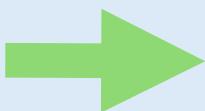
$$\int_{\Delta_l^C} C_l(\vec{x}) d\vec{x} = \int_{\Delta_l^S} S_l(\vec{x}) d\vec{x} = 1$$
$$\int_{\Delta_l^C} S_l(\vec{x}) d\vec{x} = \int_{\Delta_l^S} C_l(\vec{x}) d\vec{x} = 0$$



$$w_l = \int_{\Delta_l^C} \rho(\vec{x}; \vec{\theta}) d\vec{x}$$
$$v_l = \int_{\Delta_l^S} \rho(\vec{x}; \vec{\theta}) d\vec{x}$$

Если воспользоваться известным в статистике методом*, состоящим в том, что в асимптотике больших чисел отсчетов интегралы по распределению можно аппроксимировать выборочными (эмпирическими) значениями

$$w_l = \int \Pi_l^C(\vec{x}) \rho(\vec{x}; \vec{\theta}) d\vec{x},$$
$$v_l = \int \Pi_l^S(\vec{x}) \rho(\vec{x}; \vec{\theta}) d\vec{x},$$



$$w_l = \frac{n_l^C}{n} \quad \& \quad v_l = \frac{n_l^S}{n},$$

где n_l^C – число отсчетов в центре, n_l^S – в окружении l -го РП, $n = n_l^C + n_l^S$ – полное число отсчетов во всем РП.

Кодирование данных на основе представлении чисел заполнения

РП

Для выбранной параметрической модели критическая область для принятия гипотезы H_0 отсутствия контраста интенсивности в области РП (альтернатива \bar{H}_0 состоит в заметном изменении интенсивности, например, в виде ступенчатого скачка) определяется отношением правдоподобия $L(\delta, n)$, $\delta = \sigma_c/\sigma n - n_c$:

$$C_\alpha: \frac{\sigma^2}{2n\sigma_s/\sigma_c} \delta^2 > \ln \left(\frac{\sqrt{\frac{\sigma_c\sigma_s}{2\pi n\sigma^2}}}{T_\alpha \frac{1}{\sigma} \wp \left(\frac{n}{\sigma} \right)} \right)$$

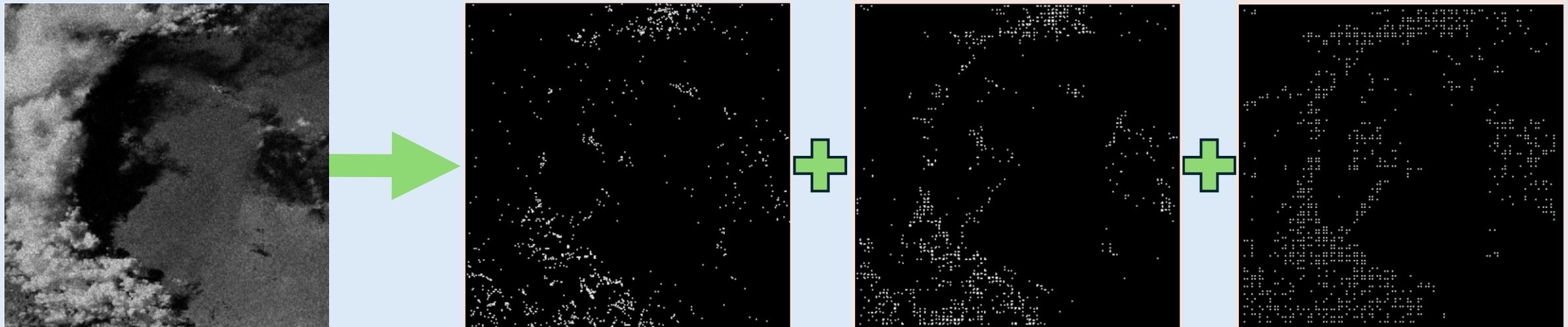


$$\sigma_c |\delta| > \sqrt{2n \frac{\sigma_c \sigma_s}{\sigma^2}} D_\alpha, \quad D_\alpha^2 = \ln \left(\frac{\sqrt{\frac{\sigma_c\sigma_s}{2\pi n\sigma^2}}}{T_\alpha \frac{1}{\sigma} \wp \left(\frac{n}{\sigma} \right)} \right)$$

Если, в соответствии с гипотезами H_0 и \bar{H}_0 интерпретировать $\delta = \sigma_c/\sigma n - n_c$ как показатель степени неравномерности интенсивности излучения $I(\vec{x})$ на Δ_l и аппроксимировать δ нулевым значением при принятии гипотезы H_0 и величинами ± 1 в зависимости от знака δ при принятии \bar{H}_0 , то получим следующую процедуру кодирования:

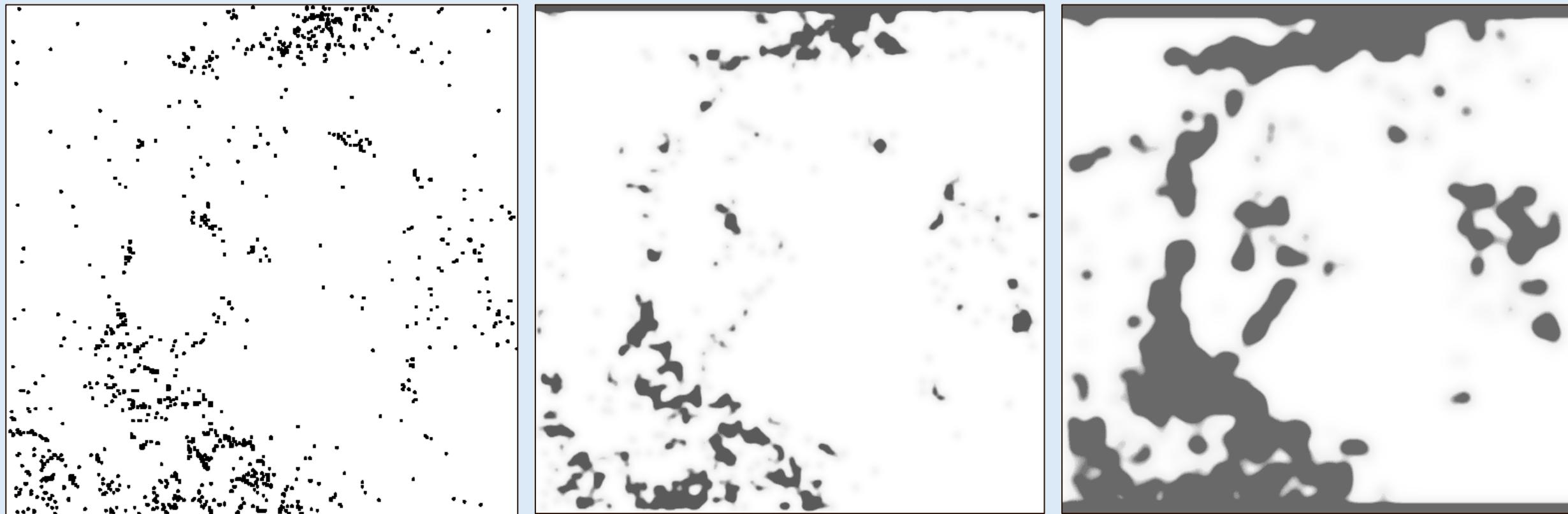
$$\hat{\Delta}_l = \begin{cases} -1, & \sigma_c \delta_l < -\sqrt{2n_l \frac{\sigma_c \sigma_s}{\sigma^2}} D_\alpha ; \\ 0, & |\sigma_c \delta_l| < \sqrt{2n_l \frac{\sigma_c \sigma_s}{\sigma^2}} D_\alpha ; \\ +1, & \sigma_c \delta_l > \sqrt{2n_l \frac{\sigma_c \sigma_s}{\sigma^2}} D_\alpha ; \end{cases}$$

Кодирование выборочного представления КТ-изображения



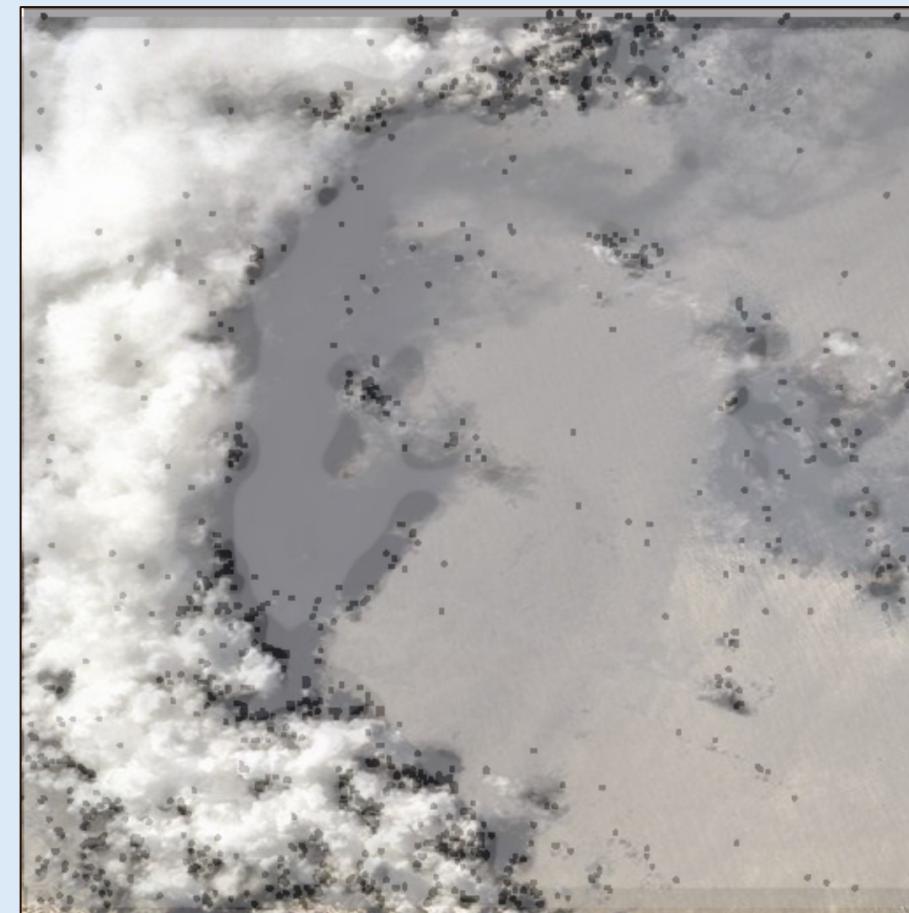
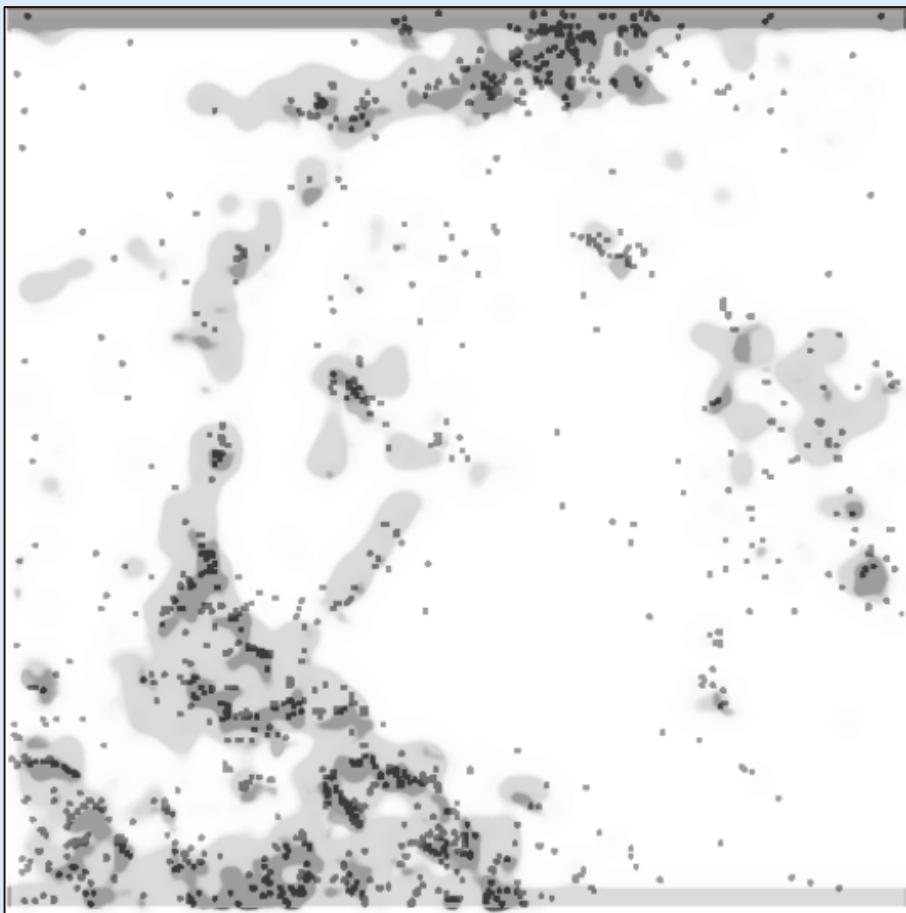
Разметка кодирования данных РП для выборочного представления изображения. РП размерами $4/512, 8/512, 16/512$ соответственно. РП с положительной кодировкой (ON, $\sigma_c \delta_l > D_\alpha \sqrt{2n_l \frac{\sigma_c \sigma_s}{\sigma^2}}$) отмечены белым цветом, на фоне черного – нулевой (отсутствия) кодировки всех остальных полей.

Декодирование выборочного представления КТ-изображения



Объединение участков разной световой интенсивности для разметок РП размерами 4/512, 8/512, 16/512 по общим признакам для формирования границ облаков

Декодирование выборочного представления КТ-изображения



Наложение разметок РП размерами 4/512, 8/512 и 16/512 (слева) и их наложение на фрагмент исходного изображения (справа).

Заключение

- В работе предложен новый метод представления изображений на основе разработанного авторами выборочного представления. Метод основан на прямом моделировании механизмов первичной обработки видеоданных на периферии зрительной системы.
- Выборочное представление, относящееся к классу списочных представлений, весьма удобно в теоретических (статистических) исследованиях, в практических приложениях иногда удобнее использовать комбинированные представления смешанных списочных и биннинговых классов.
- В докладе описывается технология обработки изображений, основанная на нейроморфном декодировании в парадигме Марра. Эта технология разрабатывается в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН в рамках развития компьютерных приложений соответствующей биомедицинской направленности

Спасибо за внимание,

Вопросы?