

ООО «Воксельная техника» (г. Ижевск)
robint@mail.ru

**Применение воксельной
аппаратно-программной технологии
обработки сцен для повышения
адаптивности автономных мобильных
роботов**

Авторы: Бимаков В.А., Бимаков Е.В.

Докладчик: Бимаков Валерий Александрович

Основные компоненты аппаратно-программных технологий обработки сцен

Тип применяемого программируемого вычислителя

Применяемые 3D модели и способ их машинного представления в программируемом вычислителе

Применяемые методы обработки 3D моделей

Основные виды существующих АПТОС

Традиционная (классическая) АПТОС

CPU

Многогранники, фигуры второго порядка, дискретные модели, описываемые адресуемыми двоичными числами (одномерными адресуемыми бинарными изображениями - 1D-АБИ)

Методы, базирующиеся на арифметической обработке чисел (аналитическая геометрия, линейная алгебра и т.п.)

CUDA-технология

GPU

Многогранники, описываемые адресуемыми двоичными числами (1D-АБИ)

Методы аналитической геометрии, линейной алгебры, цифровой обработки плоских изображений

Воксельная АПТОС

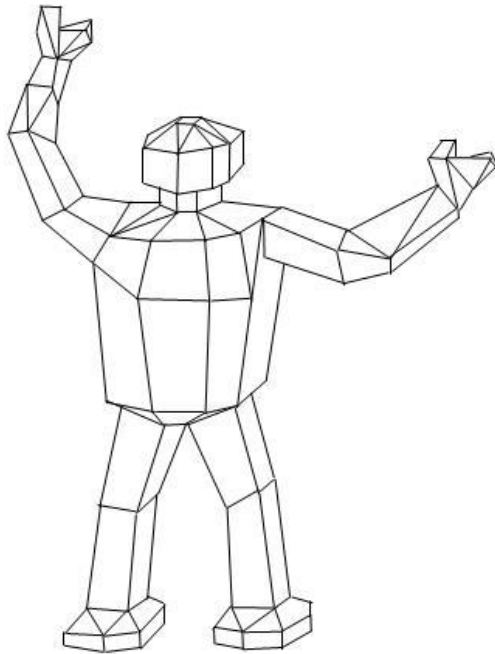
Воксельный вычислитель (ВВ)

Пиксельные и воксельные геометрические модели, описываемые в ВВ с помощью 2D и 3D адресуемых бинарных изображений (2D-АБИ и 3D-АБИ)

Методы обработки составных 2D и 3D изображений, базирующиеся на применении системы команд ВВ

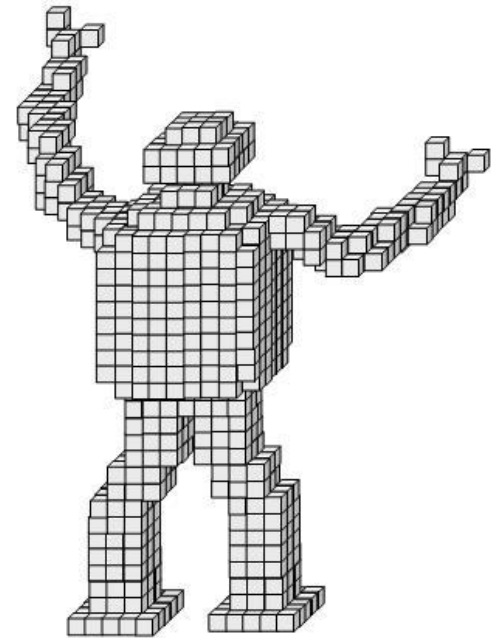
Геометрические модели, используемые для скоростной обработки 3D сцен

Полигональная модель



Модель описывается
многогранниками (полигонами)

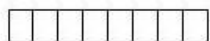
Воксельная модель



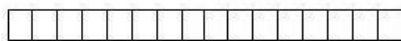
Модель описывается
элементами объемного изображения
(вокселями)

Адресуемые информационные единицы воксельного вычислителя (ВВ)

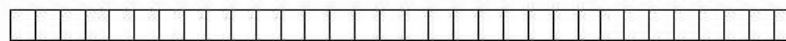
1. Одномерные адресуемые бинарные изображения (1D-АБИ) ВВ



байт

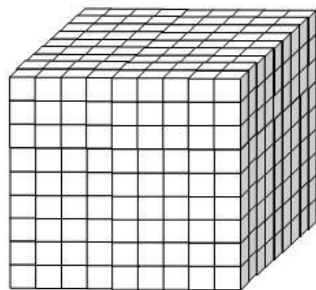


16-разрядное двоичное
слово

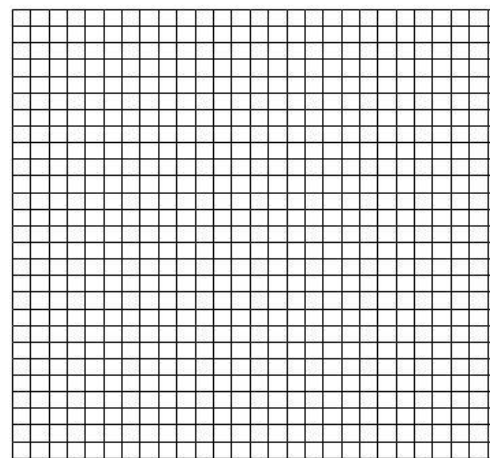


32-разрядное слово

2. Двумерные и трёхмерные адресуемые бинарные изображения ВВ



3D-АБИ формата $A \times A \times A$



2D-АБИ формата $A\sqrt{A} \times A\sqrt{A}$

Основные процедуры обработки сцен (ОПОС)

теоретико-множественные операции над геометрическими моделями объектов

анализ геометрических моделей объектов на пересекаемость

аффинные геометрические преобразования

операции вычисления объема (площади) геометрической модели

операции по определению местоположения модели объекта в пространстве

Глубина распараллеливания ОПОС

Состояние цифрового автомата в момент t (до выполнения j -й ОПОС) характеризуется битовыми значениями $\Phi_t(e)$ всех его N одноразрядных двоичных запоминающих элементов $e \in M$, где $M = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_N\}$.

После выполнения j -й ОПОС (т.е. в момент $t + \Delta t$) состояние цифрового автомата характеризуется битовыми значениями $\Phi_{t+\Delta t}(e)|_{e \in M}$.

В процессе выполнения j -й ОПОС цифровой автомат реализует функции переходов:

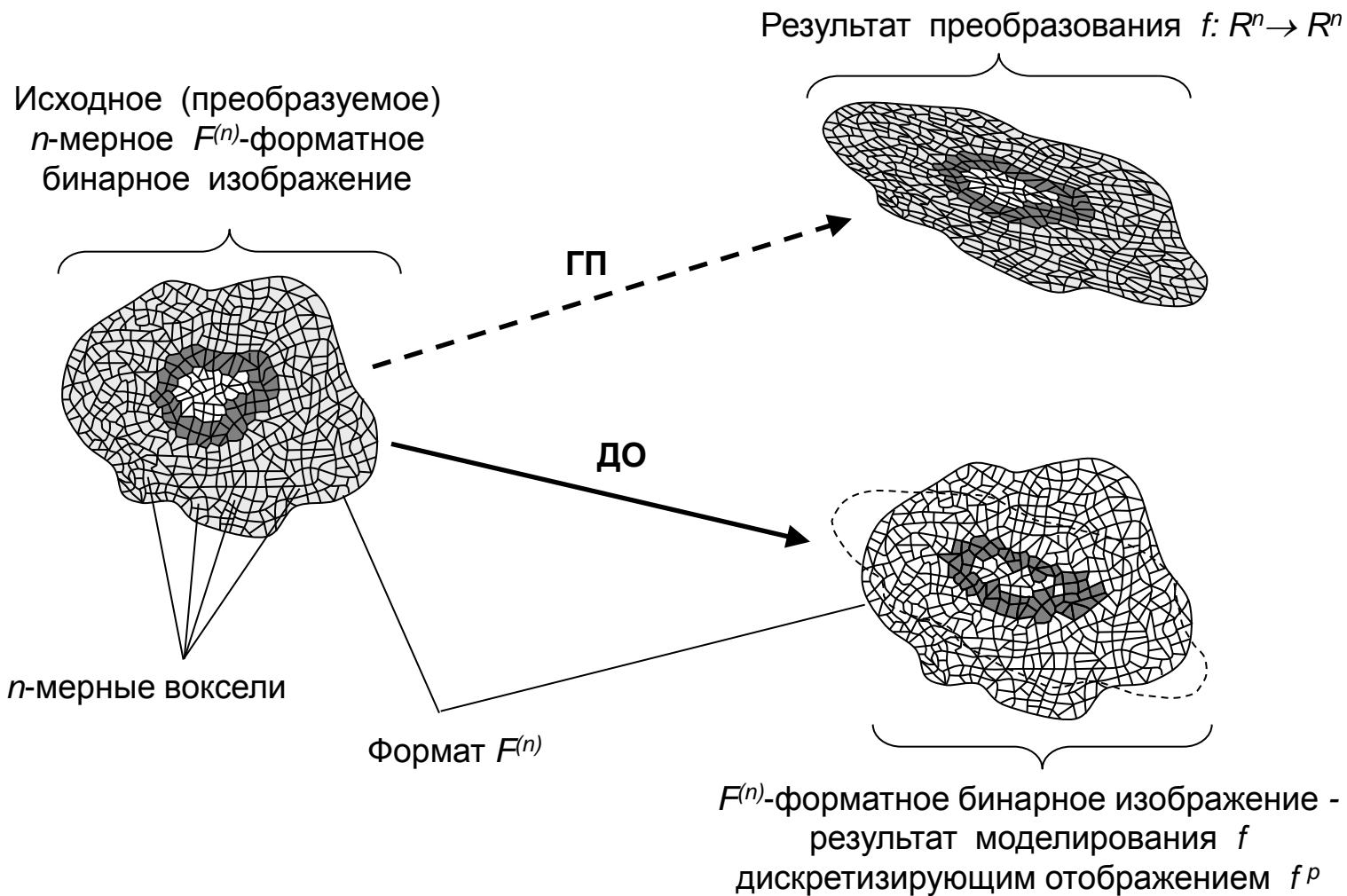
$$\Phi_{t+\Delta t}(e_i) = F_{ij}(\Phi_t(e)|_{e \in M_{ij}}), \quad \text{где } M_{ij} \subset M.$$

В программируемом вычислителе значение Δt кратно периоду T тактовой частоты этого вычислителя. Пусть с помощью выбранной АПТОГИ j -я ОПОС выполняется за K_j тактов, тогда **глубина распараллеливания** j -й ОПОС будет равна:

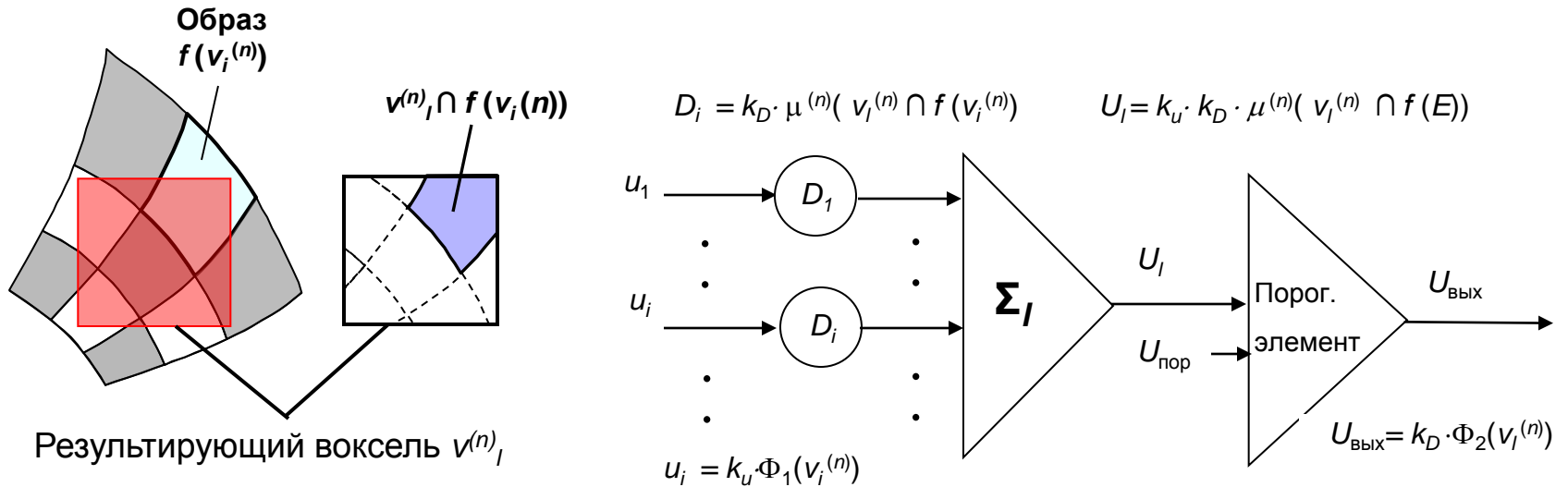
$$r_j = 1 / K_j$$

Диапазон изменения глубины распараллеливания j -й ОПОС: $0 < r_j \leq 1$

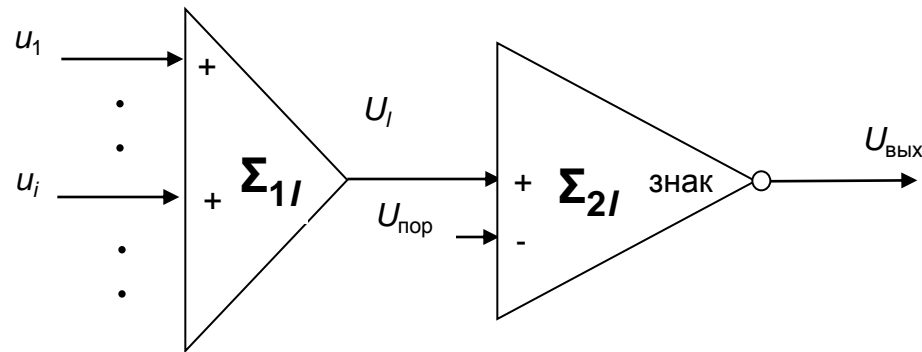
Дискретизирующие отображения (ДО), моделирующие геометрические преобразования (ГП)



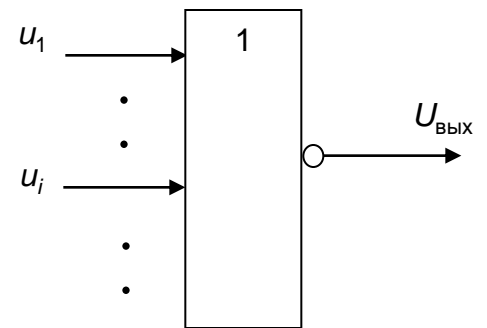
Аппаратная реализация дискретизирующих отображений $f: R^n \rightarrow R^n$



а)



б)



в)

Предлагаемый способ обработки n -мерных сцен с максимальным распараллеливанием ОПОС

1. Евклидовое пространство R^n подвергается регулярному разбиению на однотипные n -мерные воксели $v^{(n)}$.
2. Объекты обрабатываемой n -мерной сцены представляются в программируемом устройстве в виде n -мерных воксельных моделей, состоящих из конечного числа n -мерных вокселей $v^{(n)}$ этого разбиения.
3. Все ОПОС, участвующие в обработке, делятся на два класса
 - ОПОС, выполнение которых не приводит к изменению первоначального n -мерного воксельного разбиения R^n (класс Π_{AP});
 - ОПОС, выполнение которых приводит к изменению первоначального n -мерного воксельного разбиения R^n (класс Π_{HP}).
4. Все ОПОС класса Π_{HP} замещаются ДО, моделирующими ОПОС данного класса.
5. Из ОПОС класса Π_{AP} и ДО выделяется функционально-полный базис ОПОС, аппаратно реализуемый в специальном воксельном вычислителе (ВВ) над бинарным n -мерными изображениями низкого разрешения.
6. На основе выделенного функционально-полного базиса ОПОС разрабатывается система команд ВВ, с помощью которой в ВВ программно осуществляются процедуры обработки над n -мерными воксельными моделями среднего и высокого разрешения.

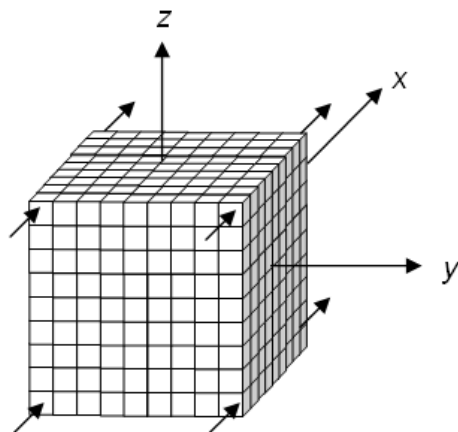
ОПОС, выполнение которых не приводит к изменению первоначального воксельного разбиения R^n :

- теоретико-множественные операции;
- процедуры анализа объектов на пересекаемость;
- определение n -мерной меры модели (объёма, площади);
- определение местоположение n -мерной воксельной модели внутри исследуемой сцены;
- некоторые виды, поворотов, симметрии и параллельных переносов и др.);

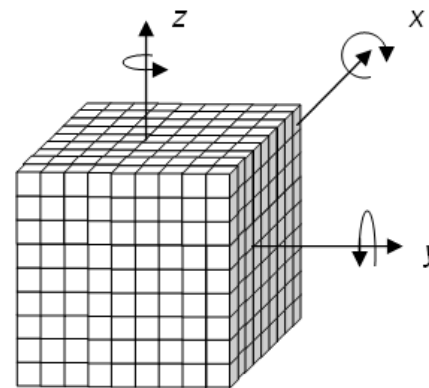
ОПОС, выполнение которых приводит к изменению первоначального воксельного разбиения R^n :

- большинство геометрических преобразований (в том числе и аффинных).

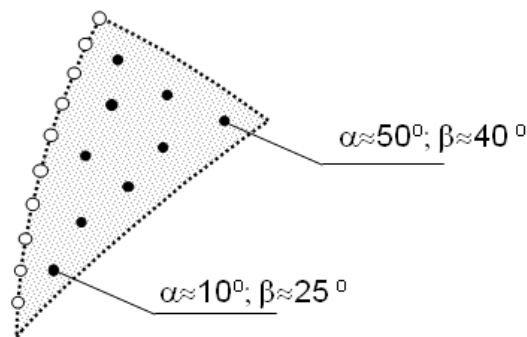
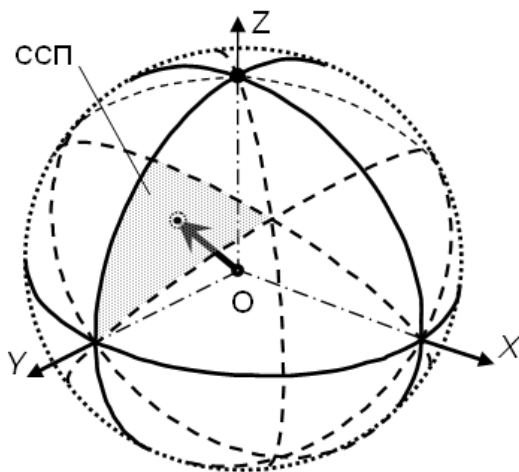
Преобразования 3D бинарных изображений, реализованные в ВВ аппаратно



Переносы бинарного изображения 9x9x9 на 1, 3 и 9k шагов вдоль \vec{Ox}

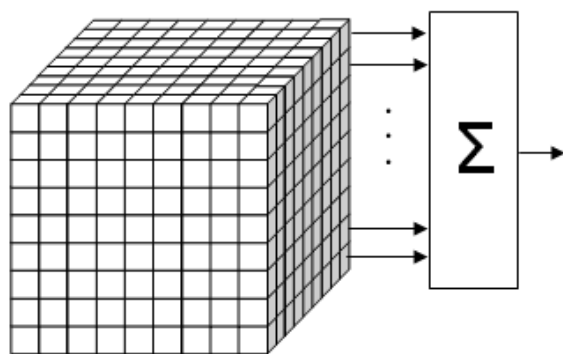


Повороты изображения 9x9x9 на 90° вокруг осей Ox, Oy, Oz

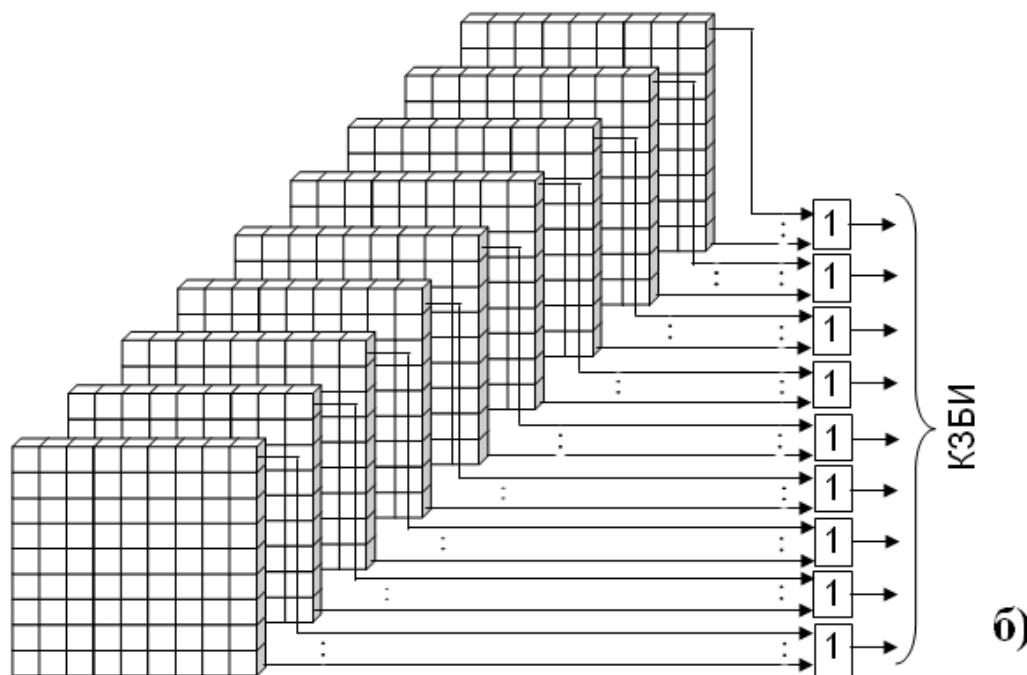


Повороты изображения 9x9x9 одновременно и на угол α вокруг Ox , и на угол β вокруг Oy

Формирование интегральных характеристик 3D-АБИ в воксельном вычислителе

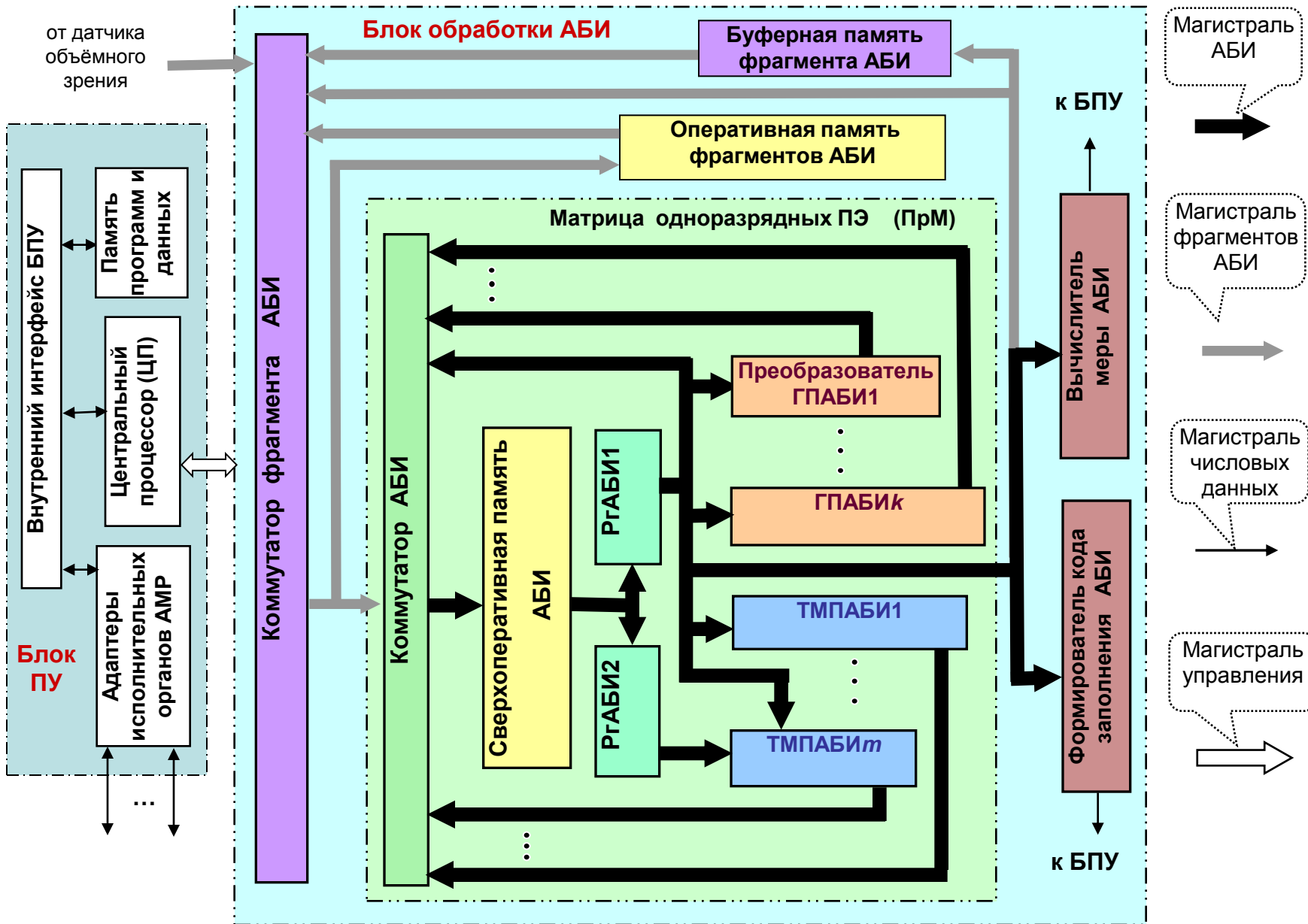


a)

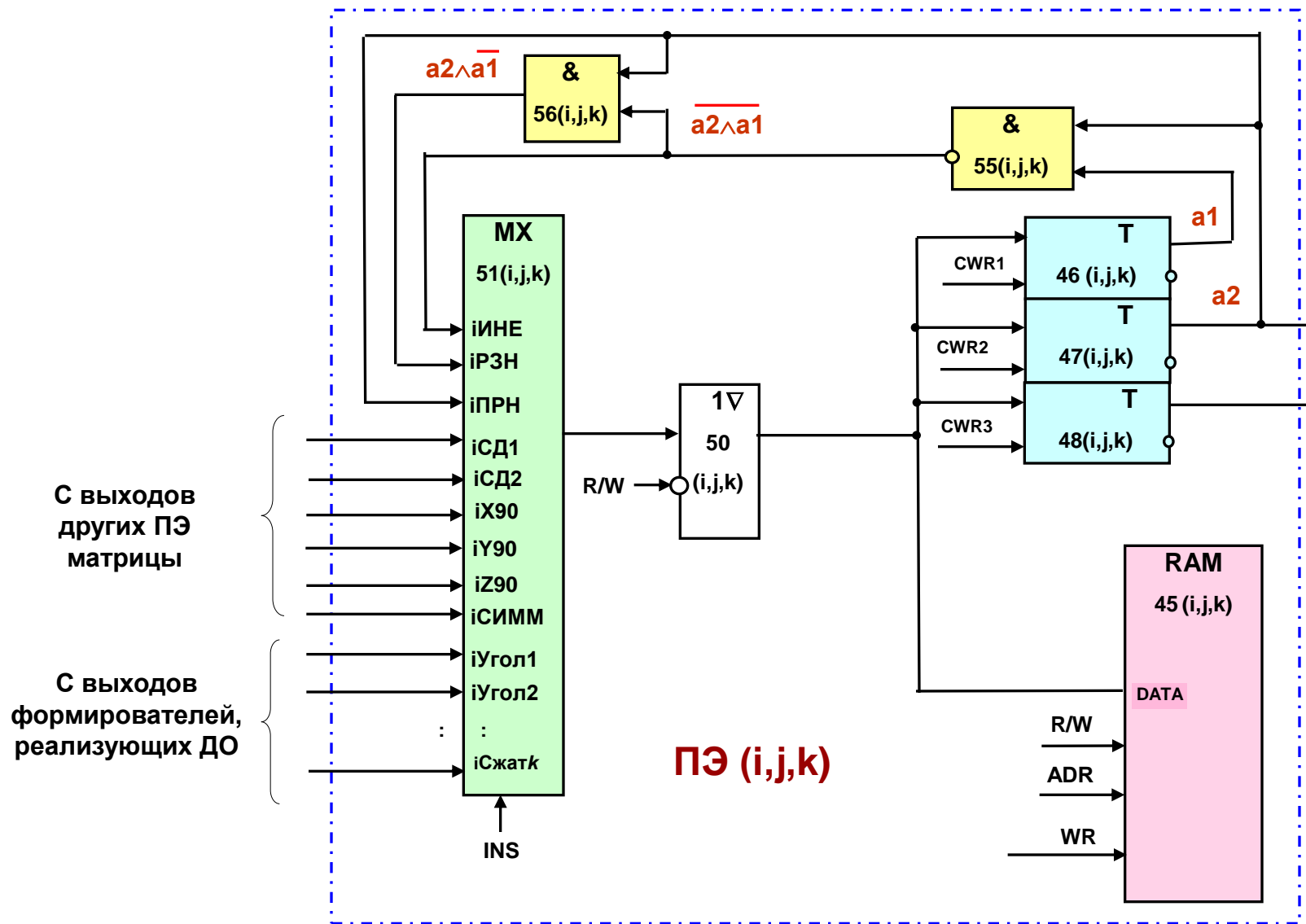


б)

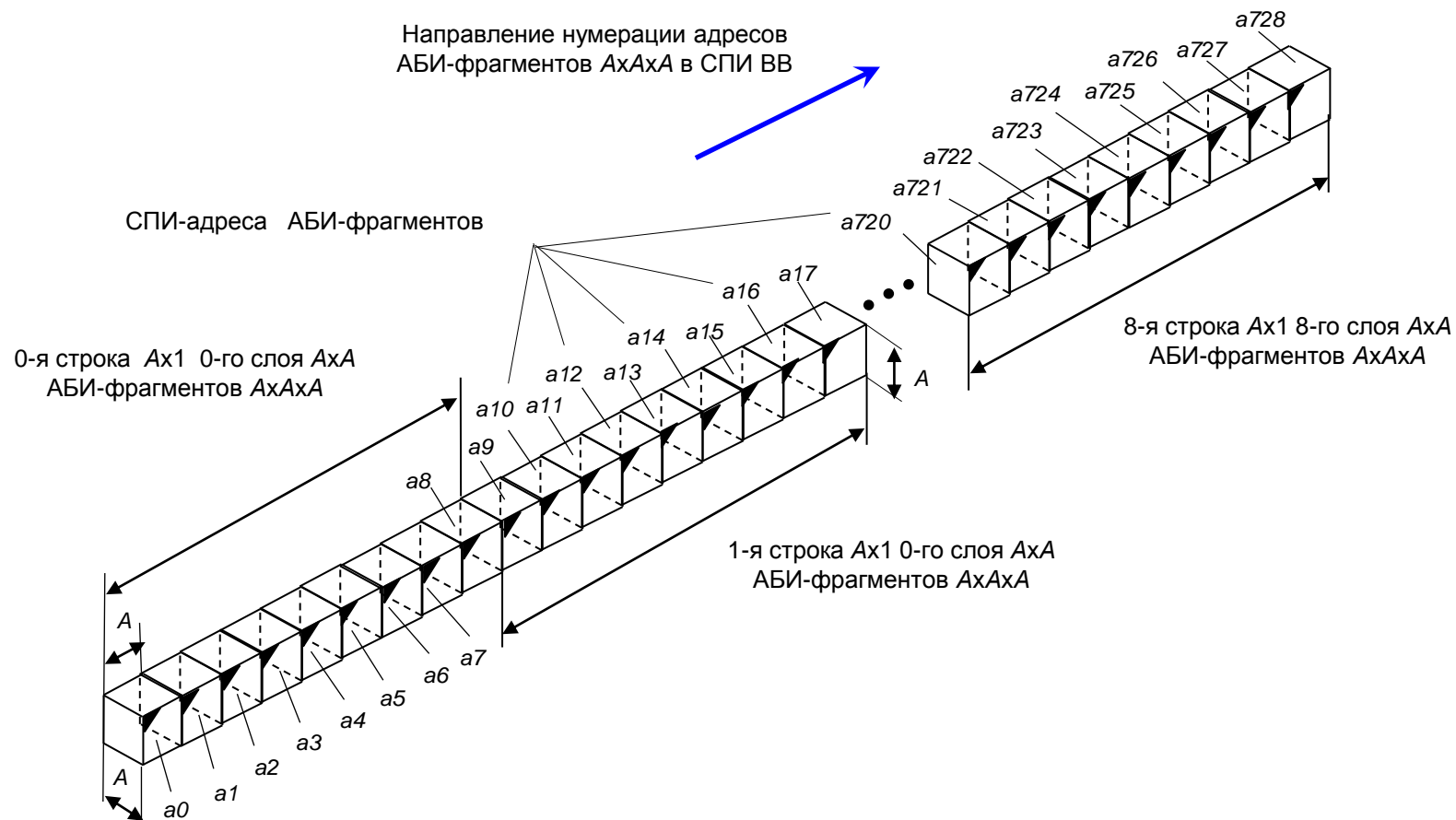
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ВОКСЕЛЬНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ



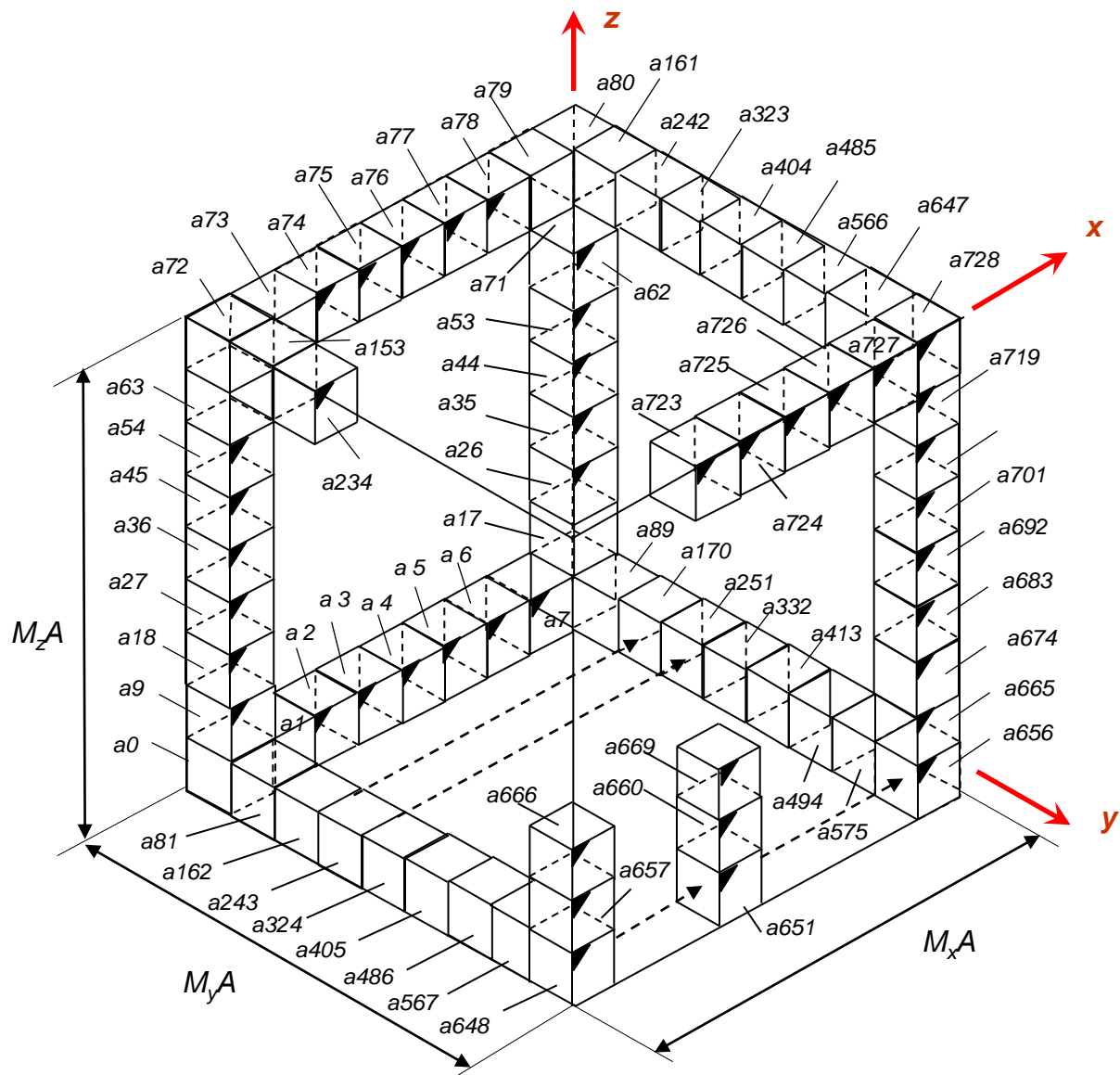
Вариант одноразрядного ПЭ процессорной матрицы А А А ВВ



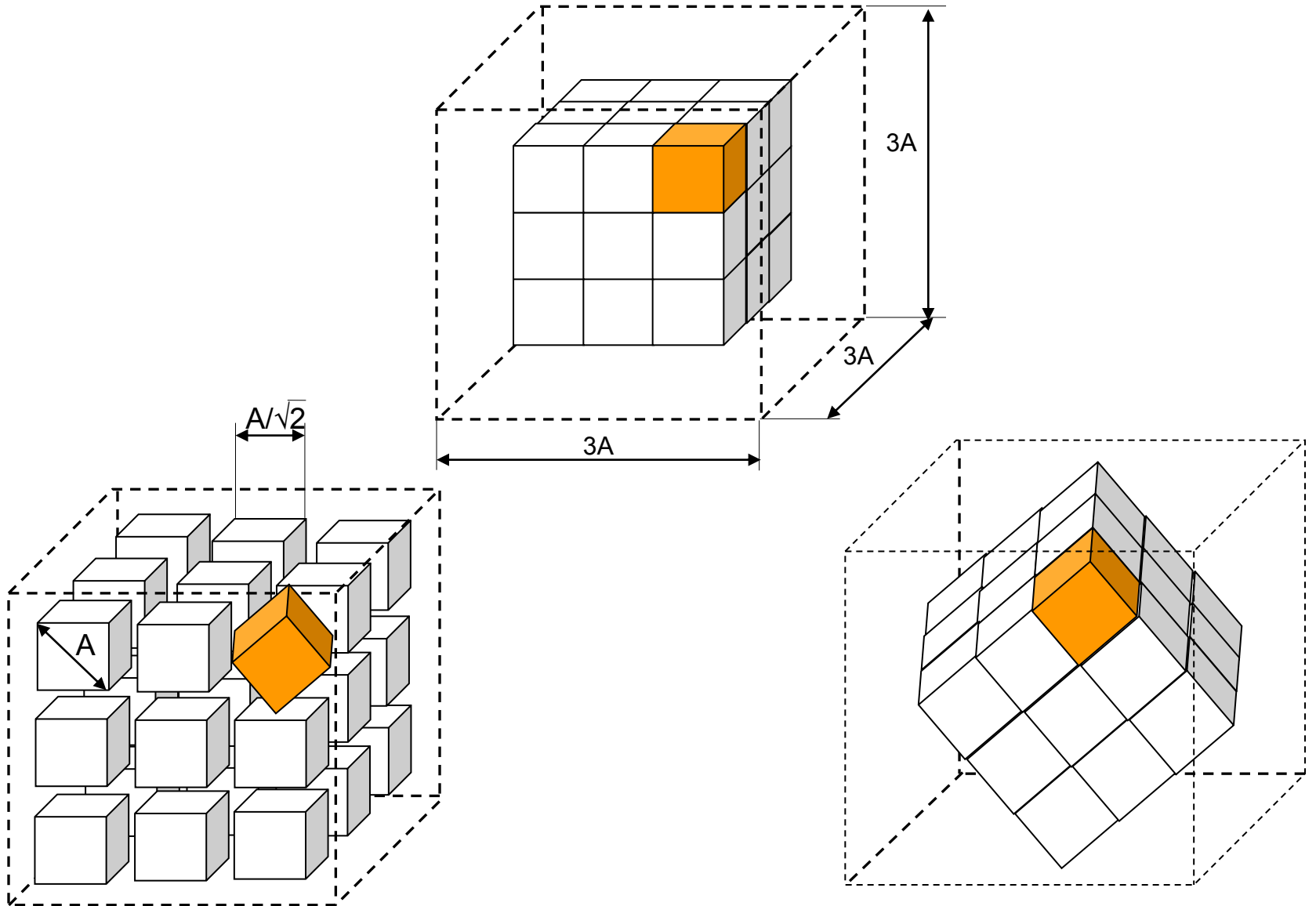
Размещение бинарного составного изображения (БСИ) в СПАБИ воксельного вычислителя



Вариант пространственной интерпретации содержимого участка сверхоперативной памяти АБИ в виде БСИ



Поворот 3D составных изображений



Примеры применения АПТОГИ в системах компьютерного зрения автономных мобильных роботов (АМР)

1. Синтез 3D модели сцены, окружающей АМР, по результатам проведённого видеомониторинга реальной сцены с помощью дальнедействующих датчиков объёмного зрения (стереосистем, лидаров, кинектов и т.п.), расположенных на борту АМР.

Критерии оценки эффективности применения различных видов АПТОГИ на данном этапе обработки:

время и точность построения 3D модели сцены.

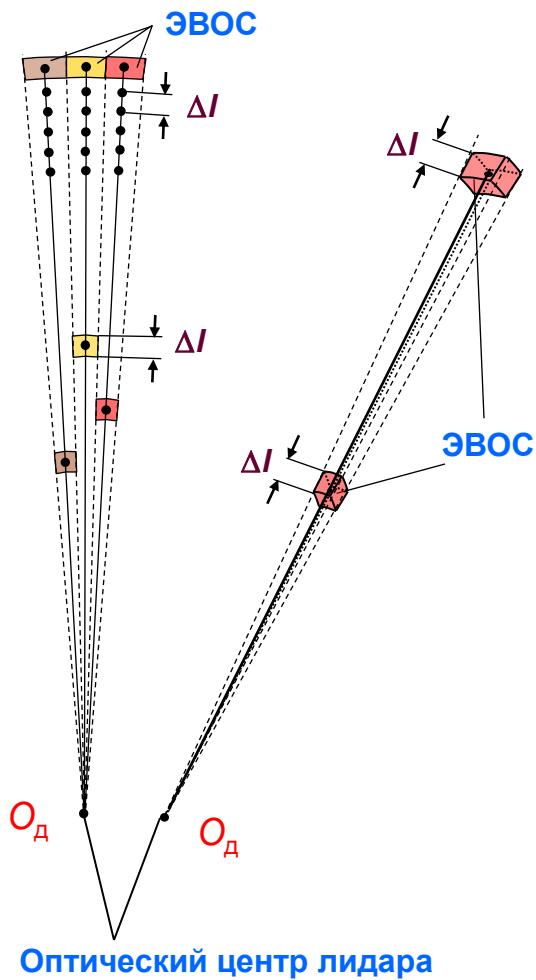
2. Проведение различных видов анализа синтезированной 3D модели сцены, окружающей АМР, для решения задач навигации АМР (например: распознавание объектов-ориентиров, поиск безопасного маршрута движения АМР и др.).

Критерии оценки эффективности применения различных видов АПТОГИ на данном этапе обработки:

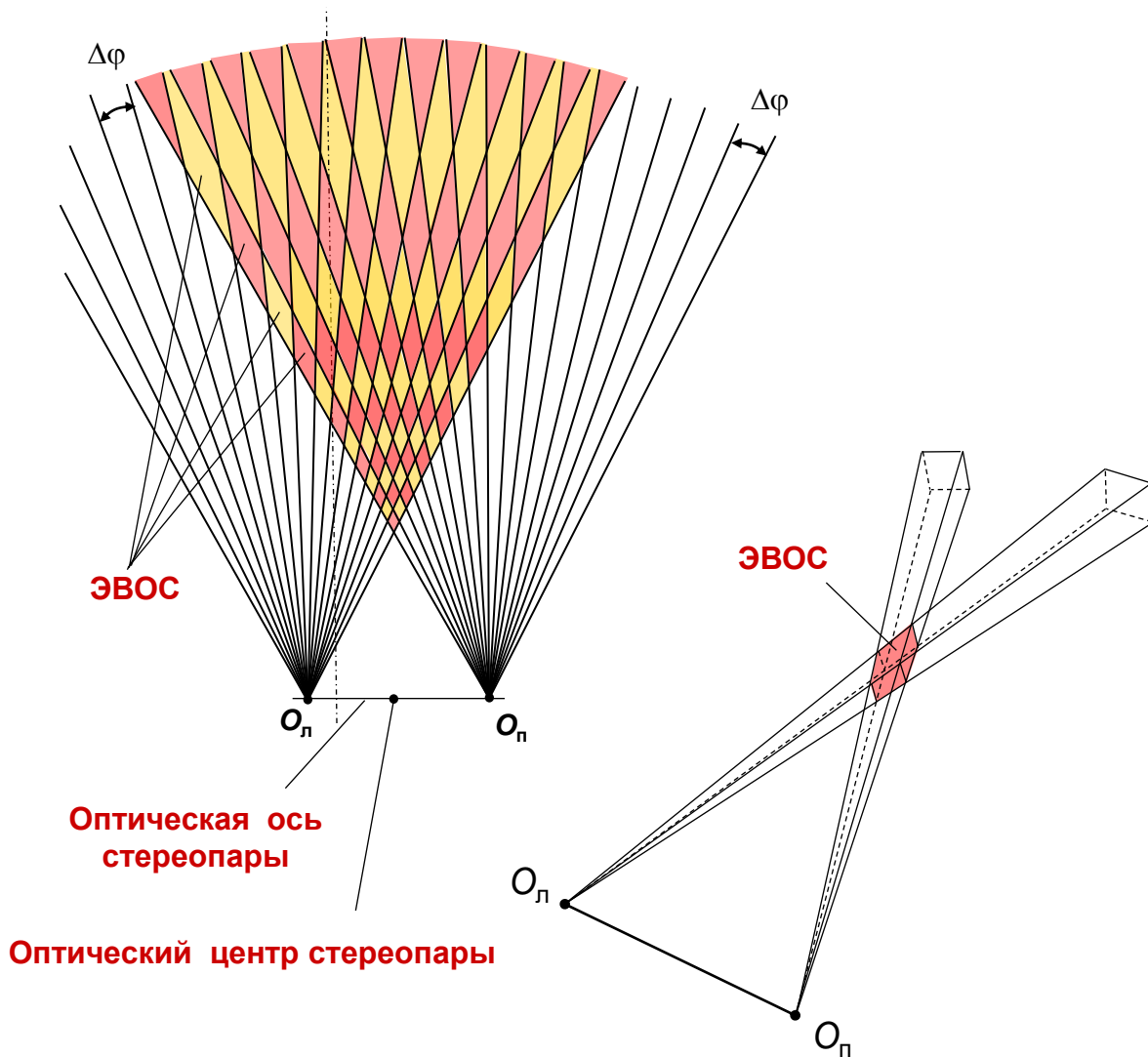
время и качество выполнения соответствующих анализов 3D модели сцены, окружающей АМР.

Элементарные визуальные области сцены (ЭВОС) и их синтез

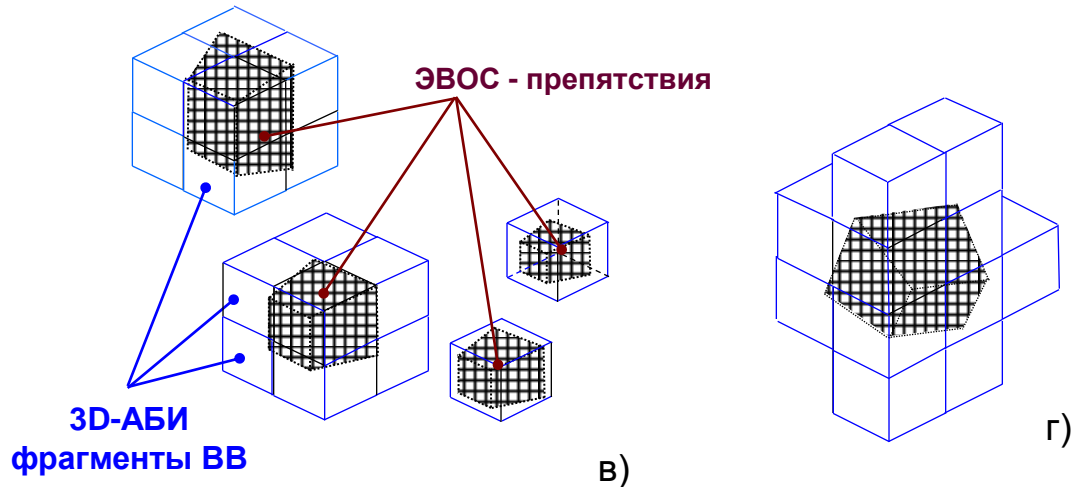
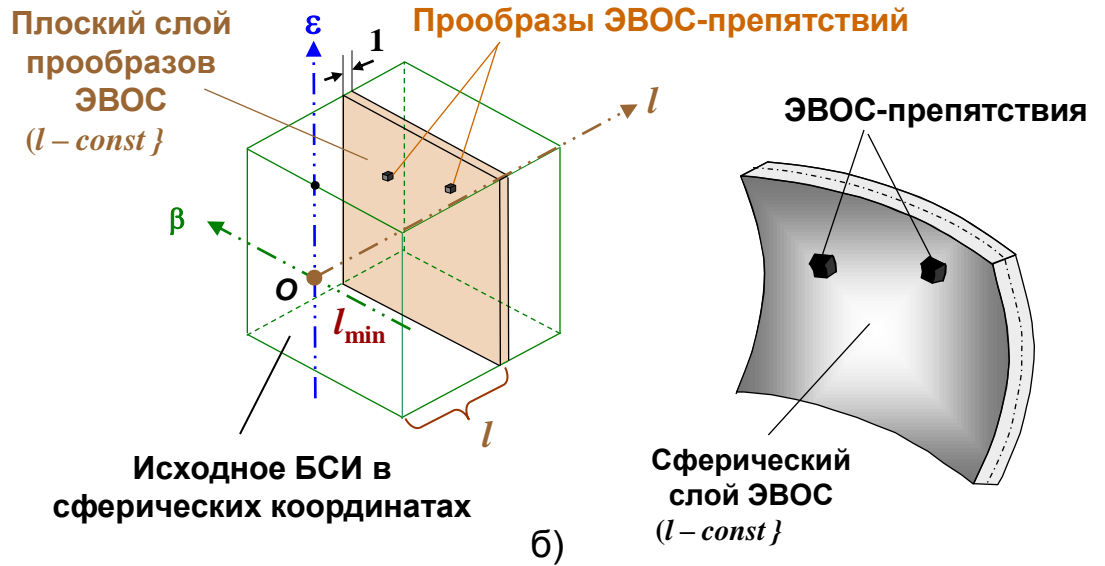
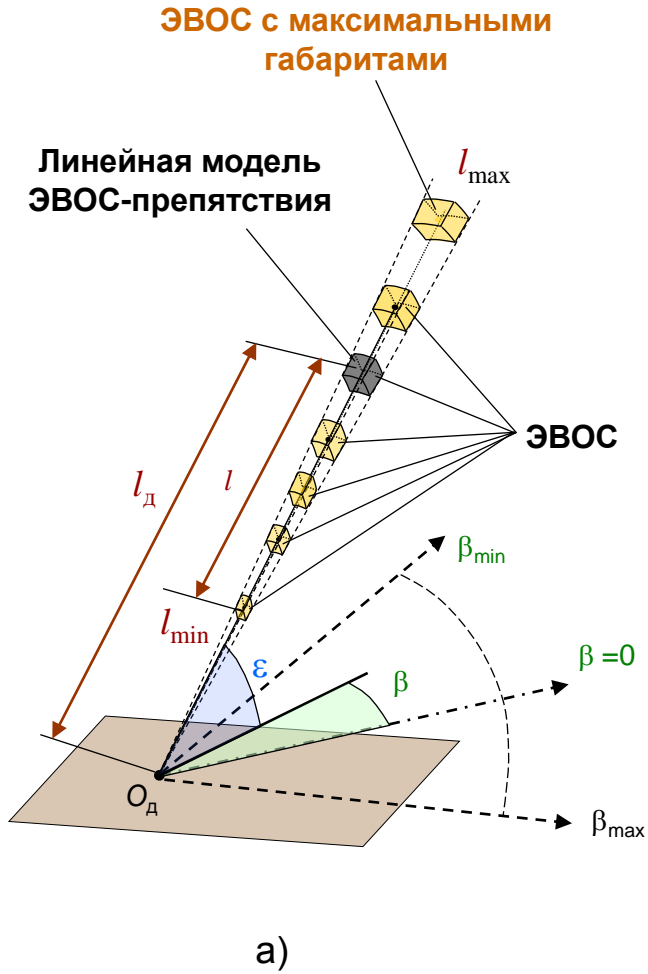
Для лидара



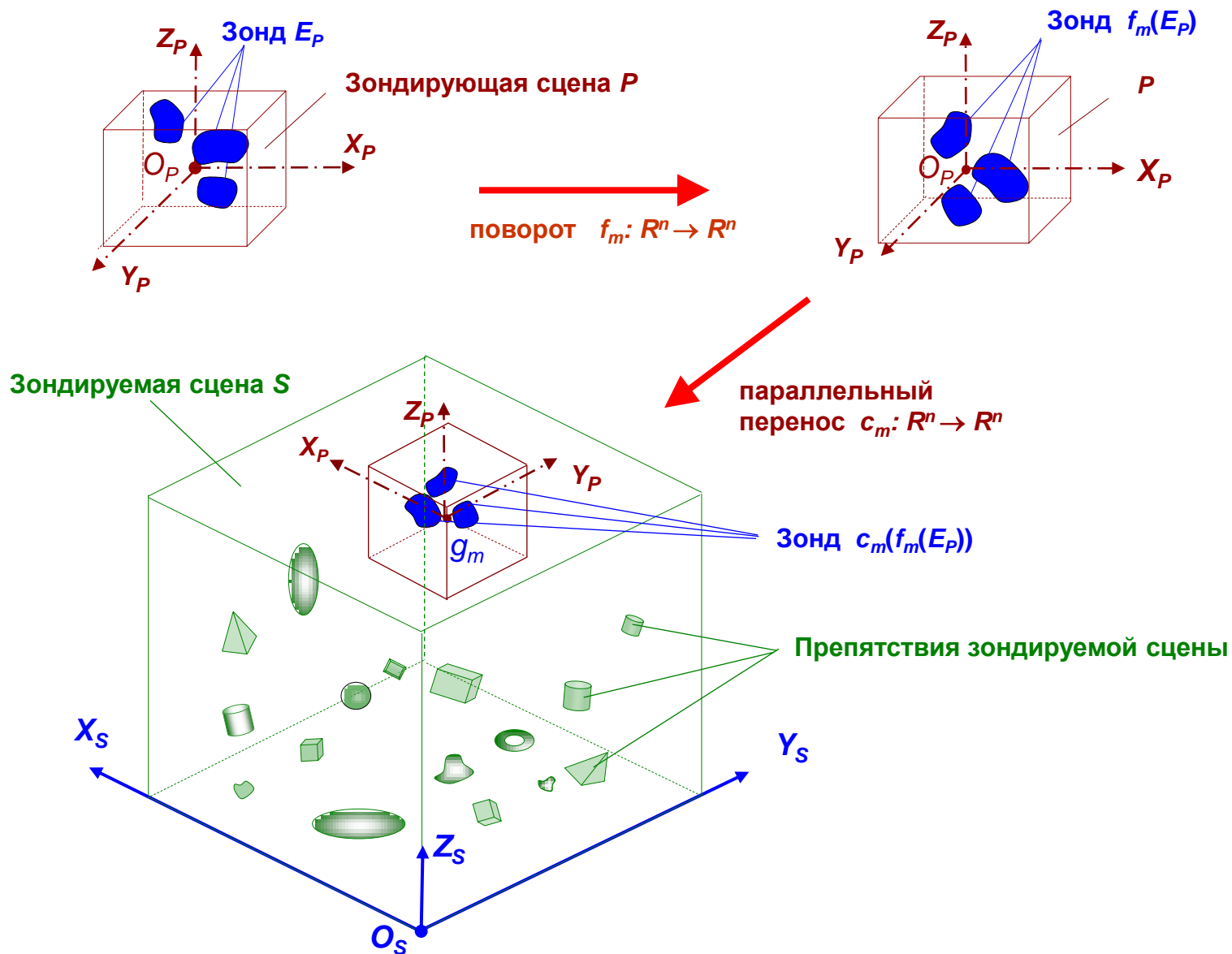
Для стереокамеры



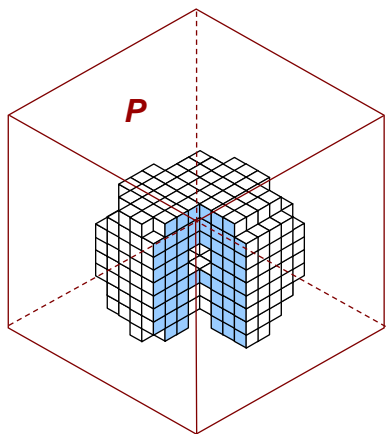
Высокоскоростной синтез 3D воксельной модели сцены по результатам видеомониторинга сцены, окружающей АМР, с помощью ВВ



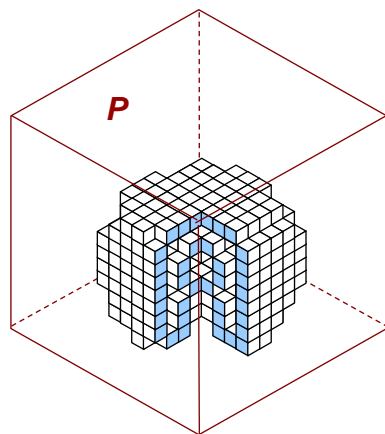
Метод виртуального зондирования сцены



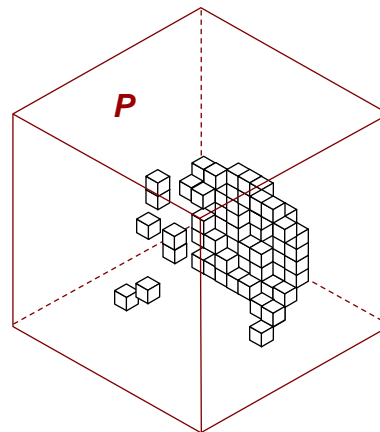
Виды виртуальных зондов, применяемых в ВВ



Сплошной 3D зонд

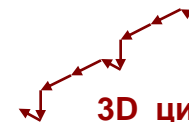


Оболочечный 3D зонд

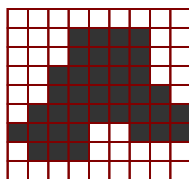


Ракурсный 3D зонд

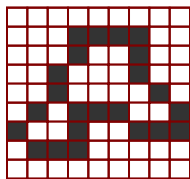
3D ракурс



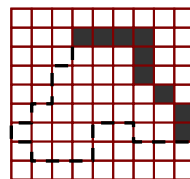
3D циклическая
псевдопрямая
ракурса



Сплошной
2D зонд

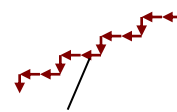


Оболочечный
2D зонд

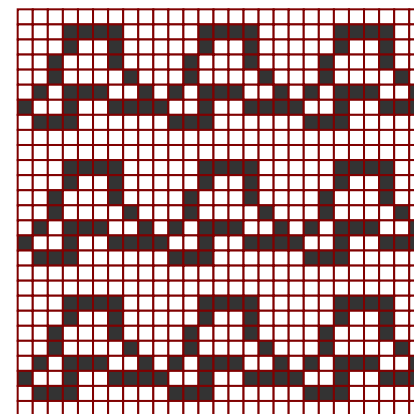


Ракурсный
2D зонд

2D ракурс



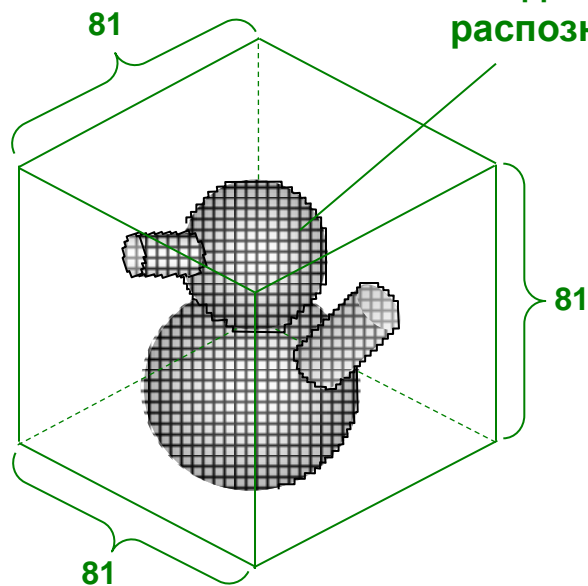
2D циклическая
псевдопрямая
ракурса



Мультиплицированный 2D зонд

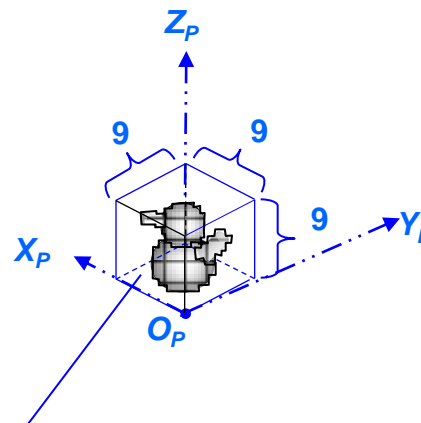
Зондирование сцены с применением виртуальных зондов различного разрешения

Исходная воксельная модель эталона
распознаваемого объекта-ориентира



а)

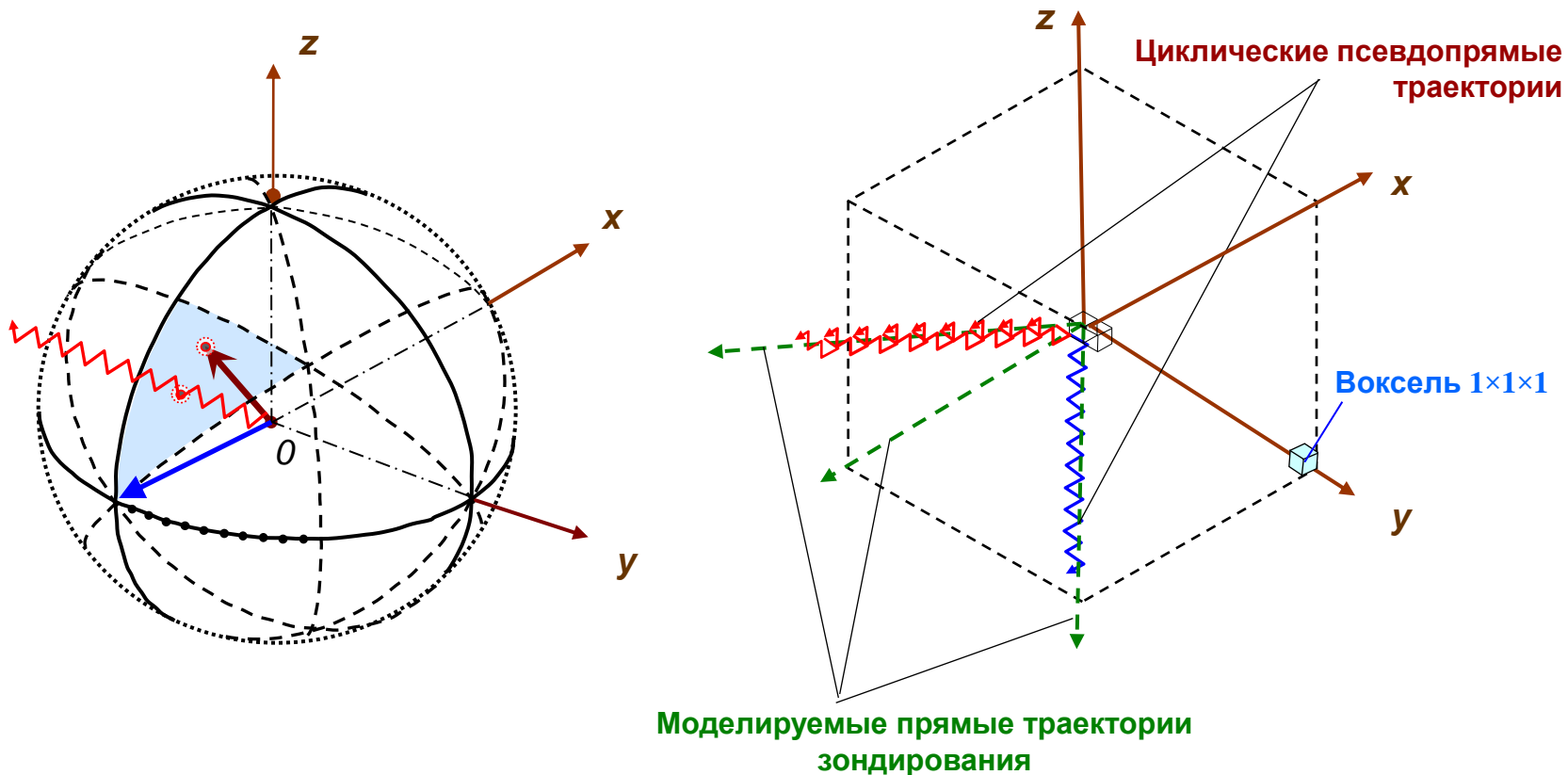
Сжатие в 9 раз



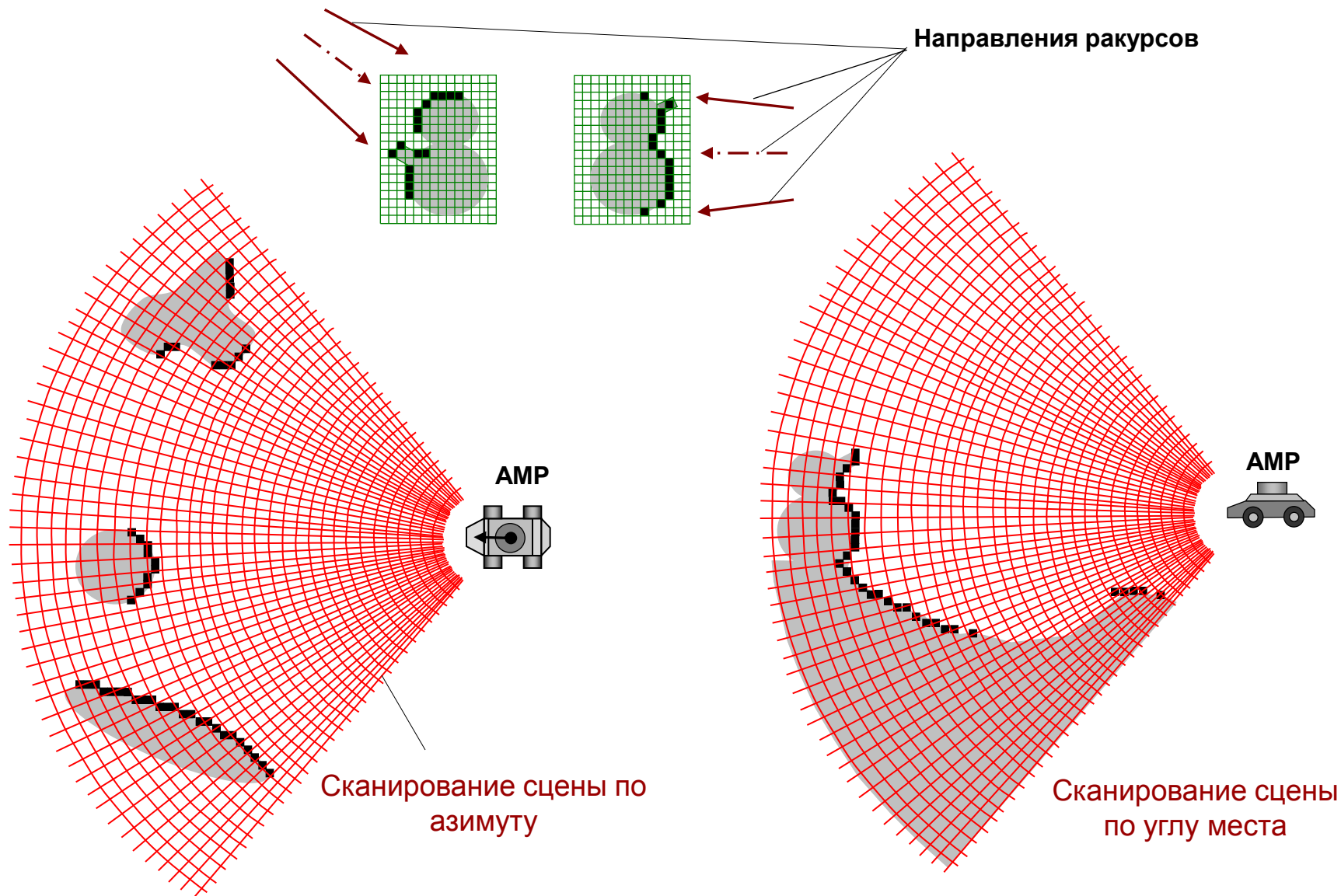
Воксельная модель эталона объекта-ориентира на 0-м этапе распознавания

б)

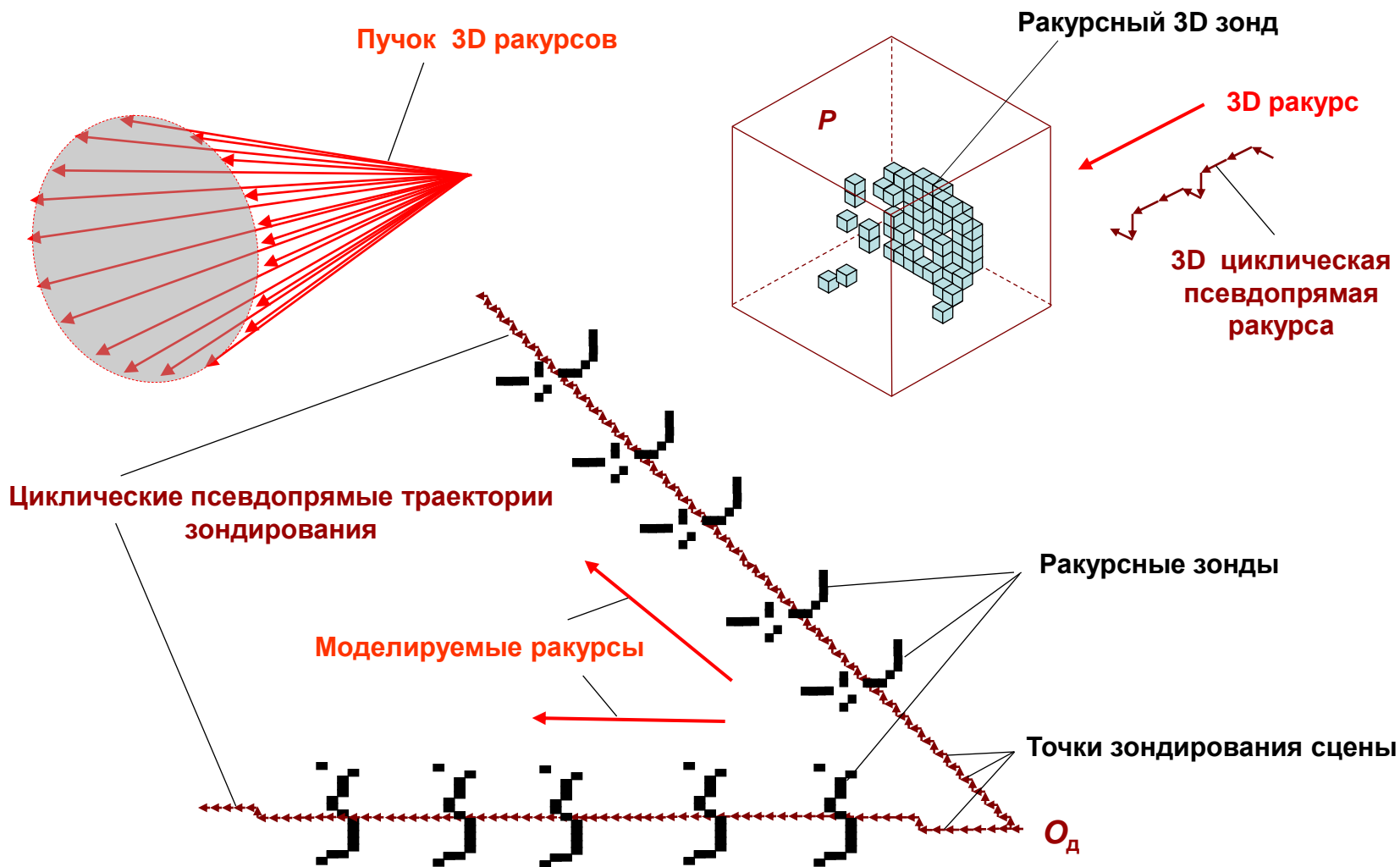
Моделирование произвольных прямых траекторий зондирования в воксельном вычислителе



Сканирование сцены датчиками объёмного зрения AMP

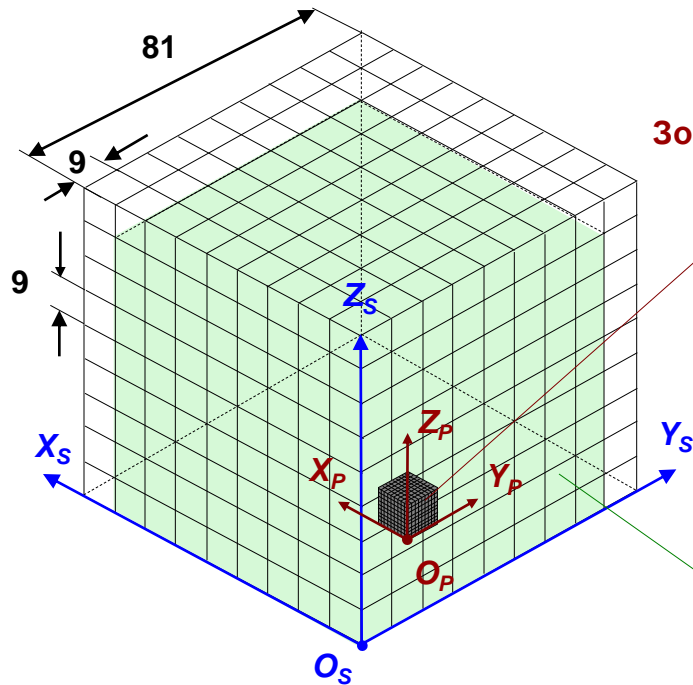


Распознавание 3D объекта-ориентира с применением ракурсных зондов и траекторий зондирования в виде пучка разнонаправленных псевдопрямых



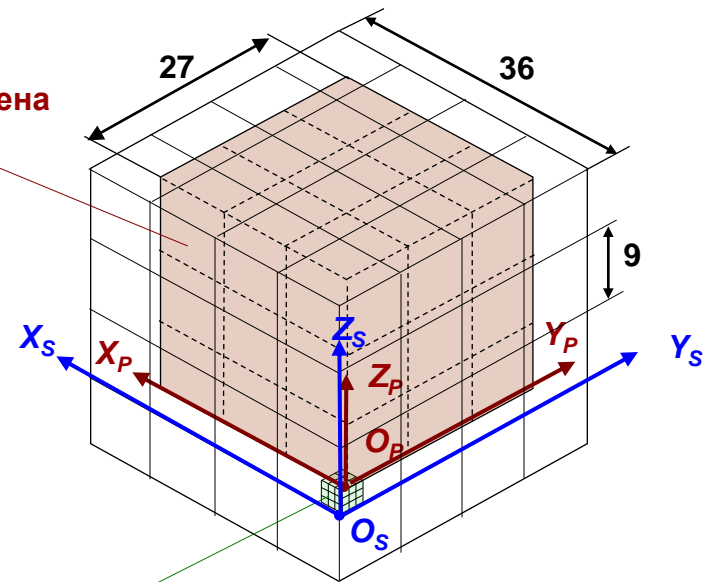
Распознавание объекта-ориентира методом ВЗС с применением 3D оболочечного зонда и 3D растровой траектории зондирования

0-я итерация распознавания
(зондирующая сцена 9 9 9,
зондируемая сцена 81×81×81)



1-я итерация распознавания
(зондирующая сцена 27 27 27,
зондируемая сцена 29×29×29)

Зондирующая сцена



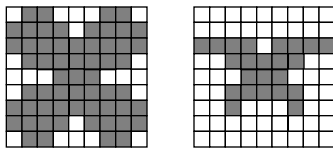
Область сканирования
зонда

Виртуальная разведка видимой области сцены методом виртуального зондирования

Предполагаемое финишное положение AMP

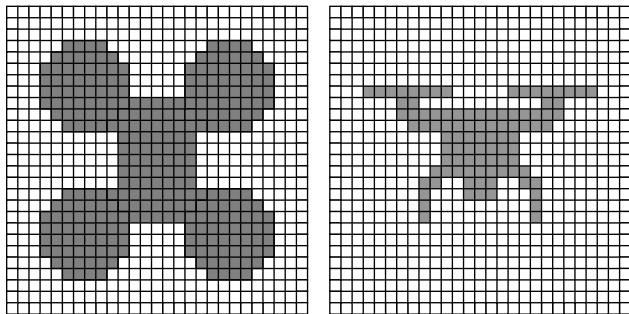
Безопасная траектория движения ВМЗ в виде циклической псевдопрямой

ВМЗ низкого разрешения



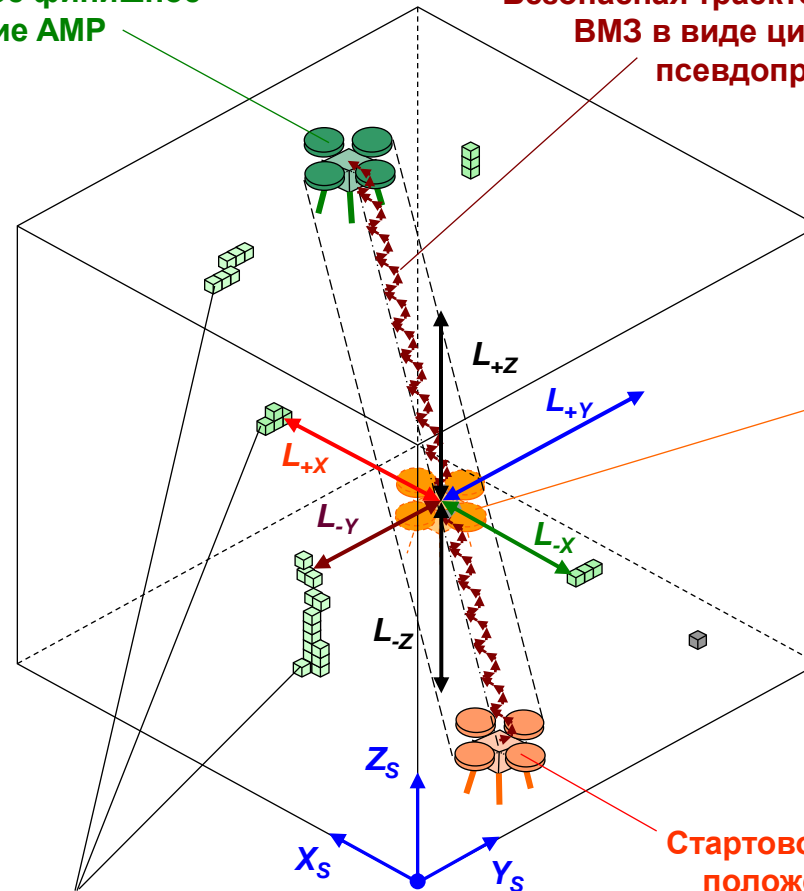
а)

ВМЗ повышенного разрешения



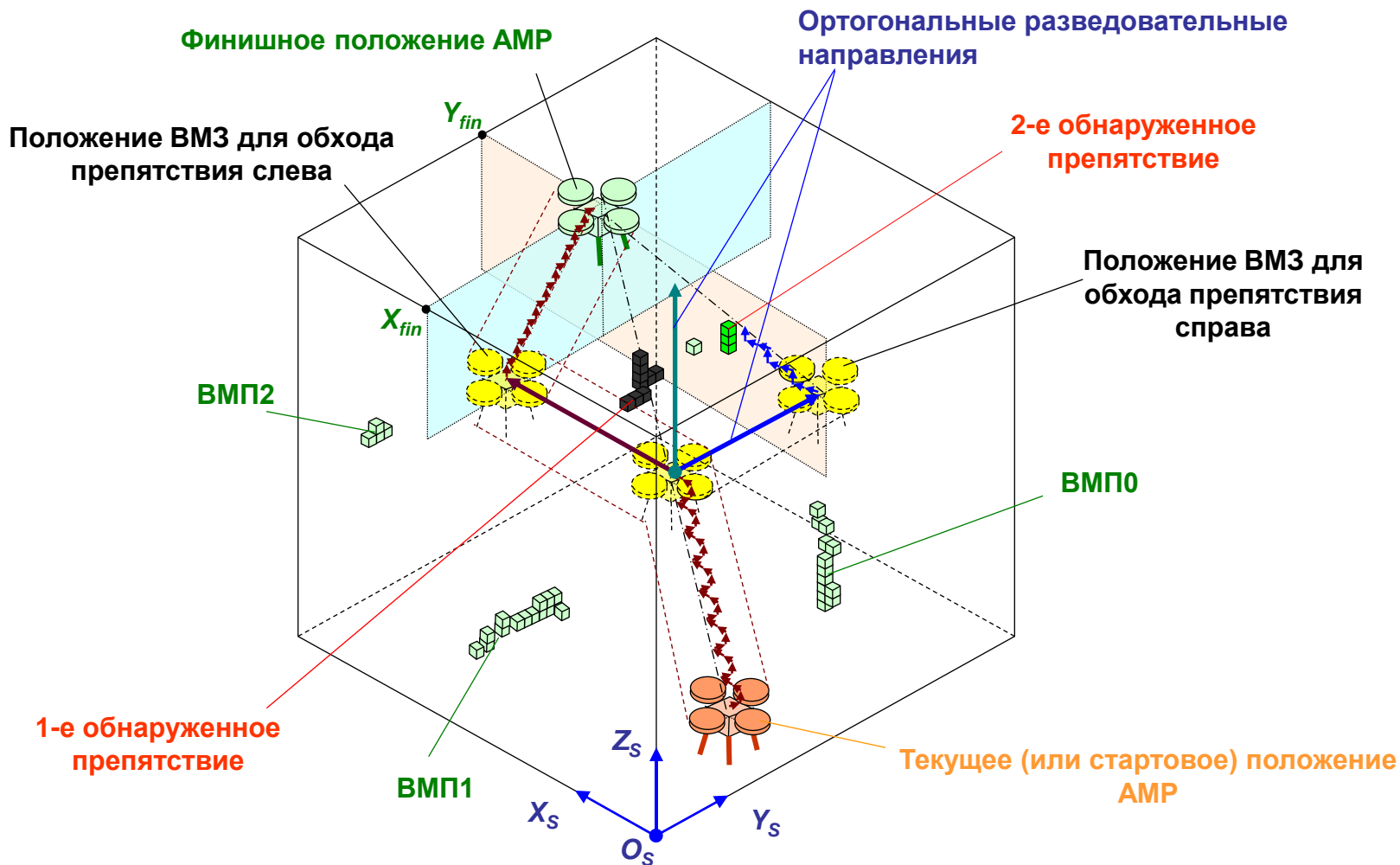
б)

Воксельные модели препятствий

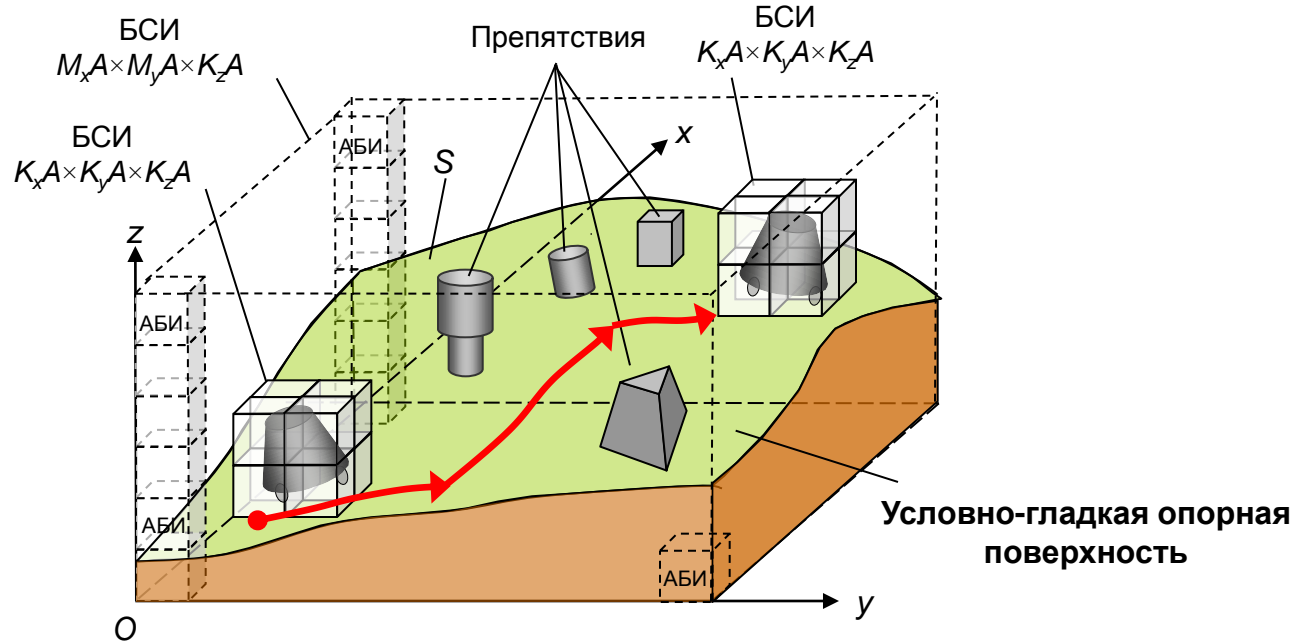


в)

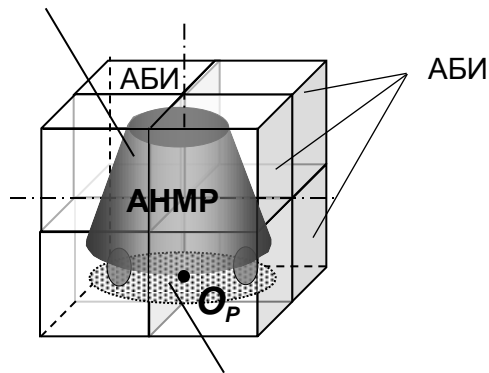
Виртуальный обход обнаруженного препятствия автономным мультикоптером по найденной безопасной траектории



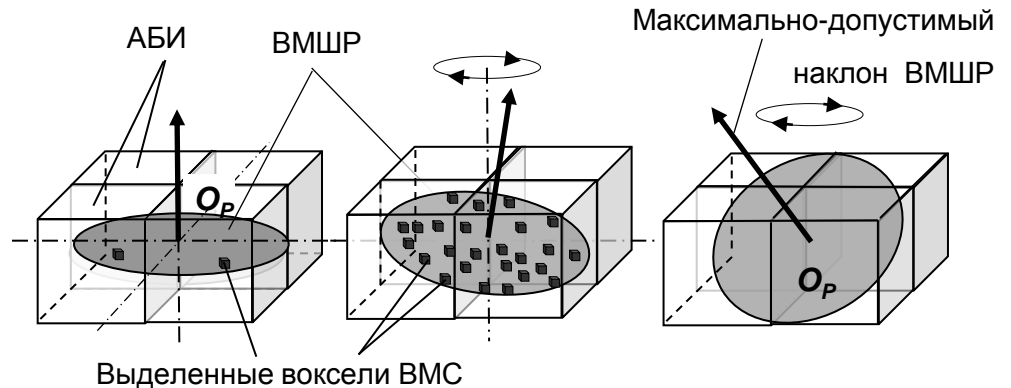
Применение метода ВЗС на базе воксельной АПТОГИ для навигации наземных АНМР по различным видам опорной поверхности



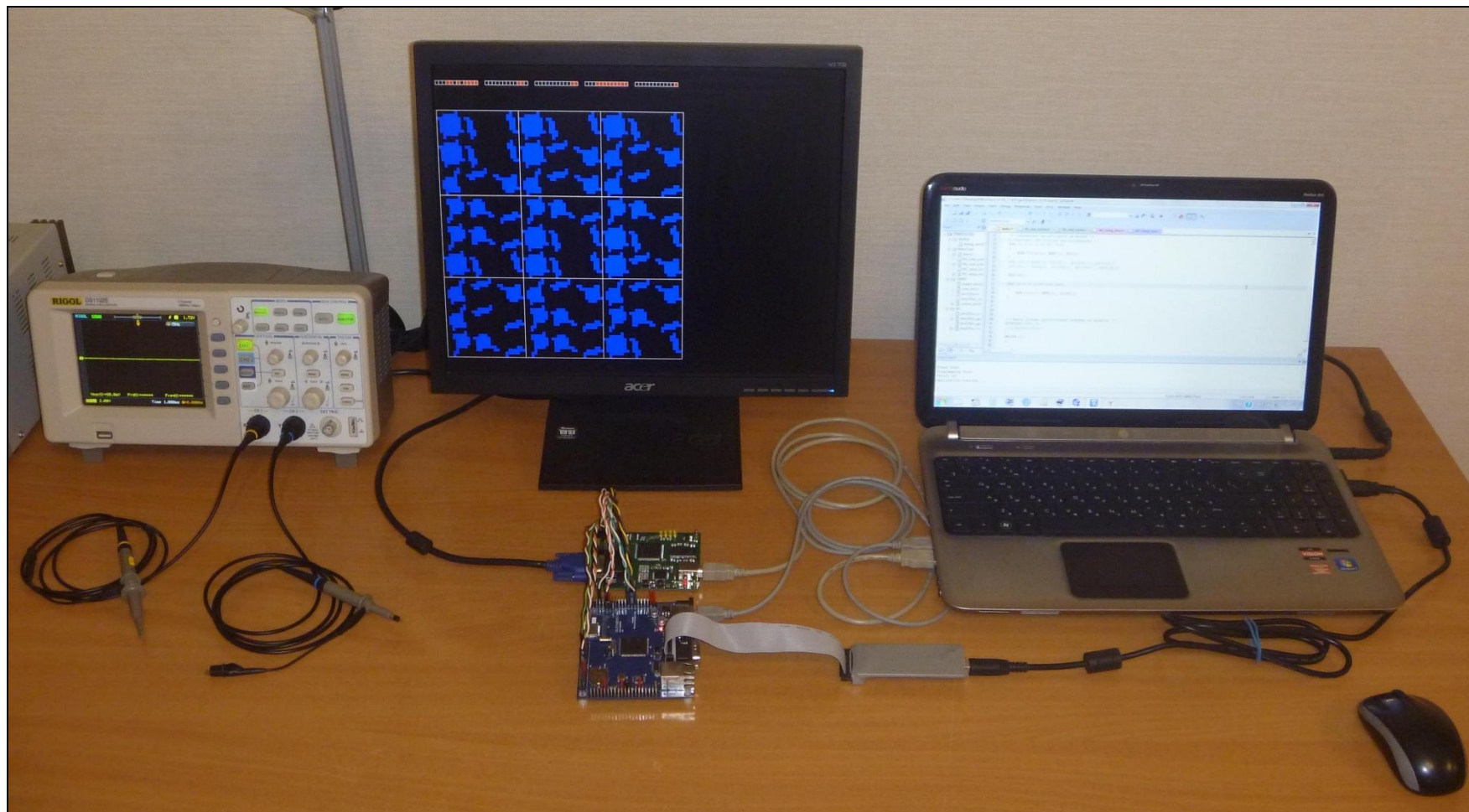
Воксельная модель корпуса АНМР



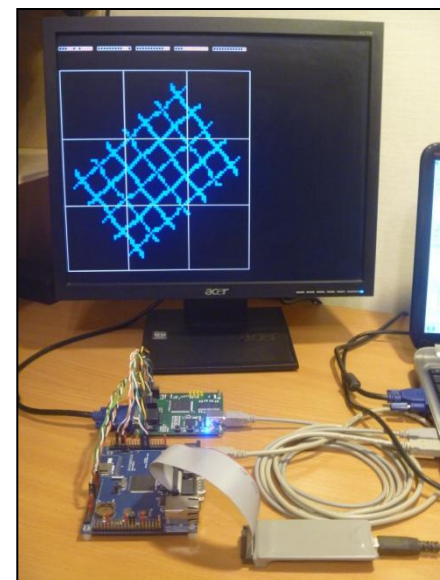
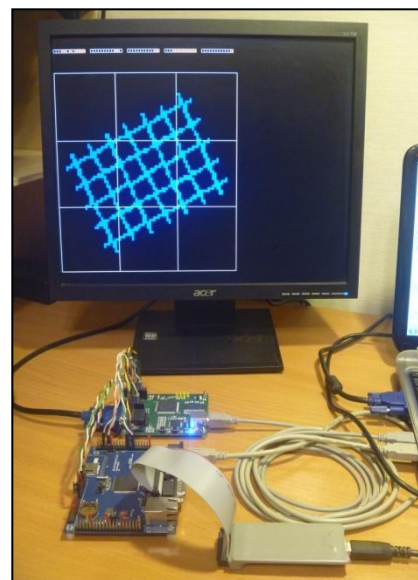
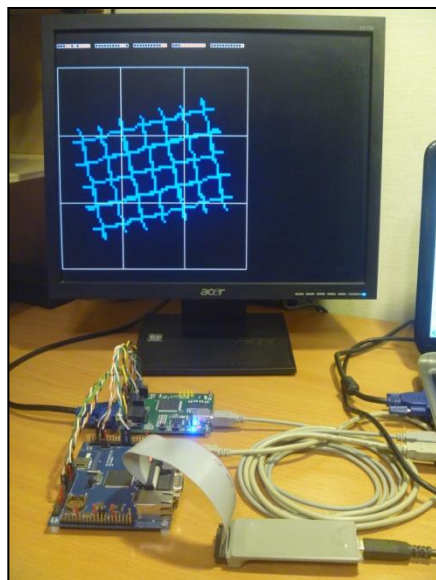
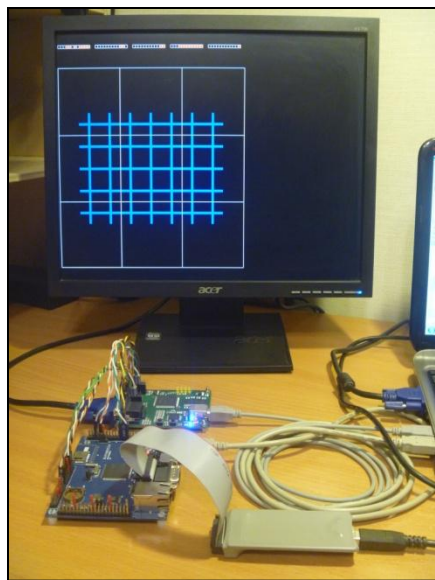
Воксельная модель шасси АНМР



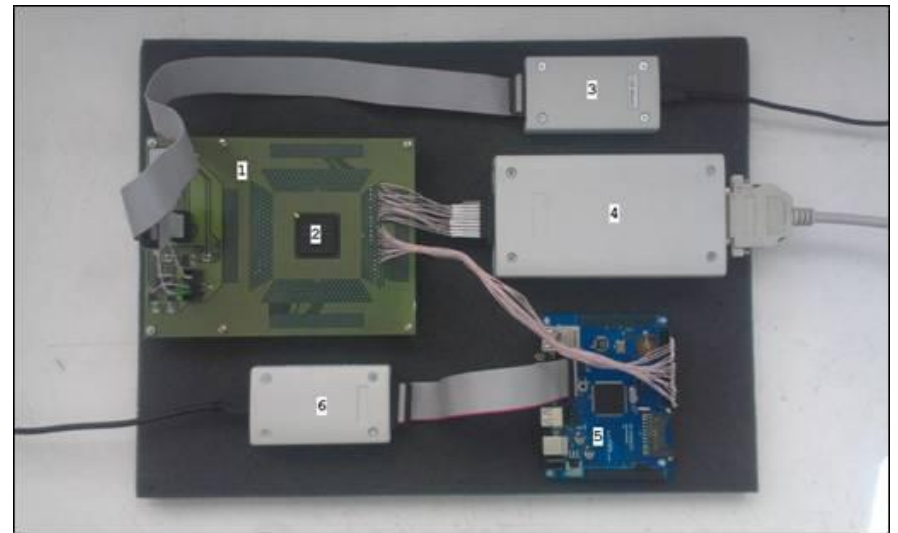
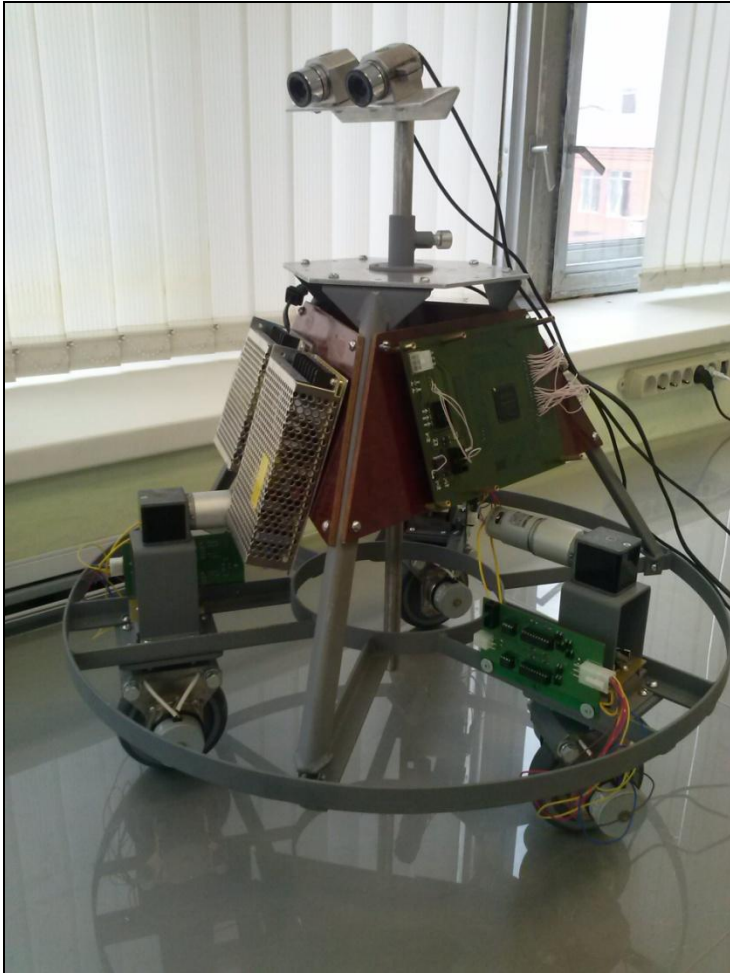
Низкобюджетный макет воксельного вычислителя



Программный поворот 3D бинарного составного изображения 81x81x9 на макете воксельного вычислителя



Макет воксельного вычислителя в составе макета системы управления АМР



СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРАМИ ПО ТЕМЕ ДОКЛАДА

1. Бимаков, Е.В. Принципы построения и функционирования устройств для высокоскоростной обработки n -мерных пиксельных геометрических моделей / В.А. Бимаков, Е.В. Бимаков // Информационные технологии. – М.: Новые технологии. – 2012. – №6. – С. 44-49.
2. Бимаков, Е.В. О применении воксельных вычислителей для решения задач стереозрения и навигации автономного робота / В.А. Бимаков, Е.В. Бимаков, Т.Р. Касимов // Мехатроника, автоматизация, управление. – М.: Новые технологии. – 2013. – №2. – С. 47-54.
3. Бимаков, Е.В. Разработка системы управления автономным мобильным роботом на базе воксельного вычислителя / Е.В. Бимаков, Т.Р. Касимов // Труды МАИ. – 2014. – №74.
4. Бимаков, Е.В. Метод виртуального зондирования сцены на базе воксельной технологии обработки сцен / Е.В. Бимаков // Информационные технологии. – М.: Новые технологии. – 2016. – №11. – С. 827-835.
5. Устройство обработки двумерных и трехмерных изображений: пат. 2289161 Рос. Федерация: МПК⁵¹ G06T 1/00 G06F 15/173 / В.А. Бимаков, Е.В. Бимаков; заявитель и патентообладатель В.А. Бимаков. – №2005104660/09; заявл. 21.02.2005; опубл. 10.12.2006, Бюл. №34.
6. Устройство обработки двумерных и трехмерных изображений: пат. 2376637 Рос. Федерация: МПК⁵¹ G06T 1/00 G06F 15/173 / В.А. Бимаков, Е.В. Бимаков; заявитель и патентообладатель В.А. Бимаков. – №2008112069/09; заявл. 28.03.2008; опубл. 20.12.2009, Бюл. №35.
7. Устройство управления автономным роботом: пат. 2424105 Рос. Федерация: МПК⁵¹ B25J 13/08 / В.А. Бимаков, Е.В. Бимаков; заявитель и патентообладатель В.А. Бимаков. – №2008147160/02; заявл. 28.11.2008; опубл. 20.07.2011, Бюл. №20.

Спасибо за внимание