



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Департамент математического и компьютерного моделирования

---

Пространственные деревья

---

ДОКЛАД

по образовательной программе подготовки бакалавров  
по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика»

Работа защищена  
с оценкой \_\_\_\_\_

Регистрационный номер \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022г.

Студент группы № Б9121-09.03.03 ПИКД

\_\_\_\_\_ Пикалов А. П.  
(подпись)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
(должность, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022г.

г. Владивосток  
2022

## Список литературы:

1. «Исследование и развитие метода декомпозиции для анализа больших пространственных данных», Золотов В.А., Семенов В.А.
2. «R-TREES. A DYNAMIC INDEX STRUCTURE FOR SPATIAL SEARCHING», Antomn Guttman University of Cahforma Berkeley, URL: <http://www-db.deis.unibo.it/courses/SI-LS/papers/Gut84.pdf>
3. «R-Trees: Theory and Applications», Yannis Manolopoulos, Alexandros Nanopoulos, Apostolos N. Papadopoulos, Yannis Theodoridis. URL: [https://books.google.ru/books?id=1mu099DN9UwC&pg=PR5&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ru/books?id=1mu099DN9UwC&pg=PR5&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
4. <https://www2.cs.sfu.ca/CourseCentral/454/jpei/slides/R-Tree.pdf>
5. [http://iipo.tu-bryansk.ru/fileadmin/user\\_upload/trubakov/book/3\\_2\\_1\\_R\\_Tree.pdf](http://iipo.tu-bryansk.ru/fileadmin/user_upload/trubakov/book/3_2_1_R_Tree.pdf)
6. <https://ru.wikibrief.org/wiki/R-tree>
7. Видеоурок по R-деревьям, “R-tree” от автора Vlan Ag \ URL: <https://youtu.be/Jd8F2hVnGtQ>
8. «Глобальные алгоритмы построения R-деревьев», А.В. Скворцов
9. Курсовая работа «Параллельное пакетное построение R-деревьев», И.А. Шкуратов
- 10.«Разделение узла при индексировании интервалов», А.Е.Коротков
- 11.URL: <https://bartoszsypytkowski.com/r-tree/>
- 12.URL: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-r-tree/>
- 13.URL: <https://iq.opengenus.org/r-tree/>
- 14.URL: <https://hpi.de/rabl/teaching/winter-term-2019-20/foundations-of-database-systems/the-r-tree-a-dynamic-index-structure-for-spatial-searching.html>
- 15.“R-Tree Indexing video” от автора Ami \ URL: [https://youtu.be/ZxfR\\_94zuno](https://youtu.be/ZxfR_94zuno)
- 16.“The R-Tree Index. A segment from Using Data Indexes to Boost Performance and Minimize Footprint” от автора McObject \ URL: <https://youtu.be/l-sU9lwtHUc>
- 17.

# R-дерево

## Где применяется

Применение R-деревьев:

- Навигаторы
- СБМИ<sup>1</sup>
- Отпечаток пальца
- Face-ID
- EOSDIS<sup>2</sup>

## Структура

R-дерево – это структура, которая используется для хранения пространственных данных, таких как координаты объектов на карте. Каждый узел R-дерева состоит из n-мерного прямоугольника, ограничивающего определённую область данных на координатной плоскости, и массива ссылок на дочерние узлы.

Структура узла: (прямоугольник, указатель на дочерний узел)

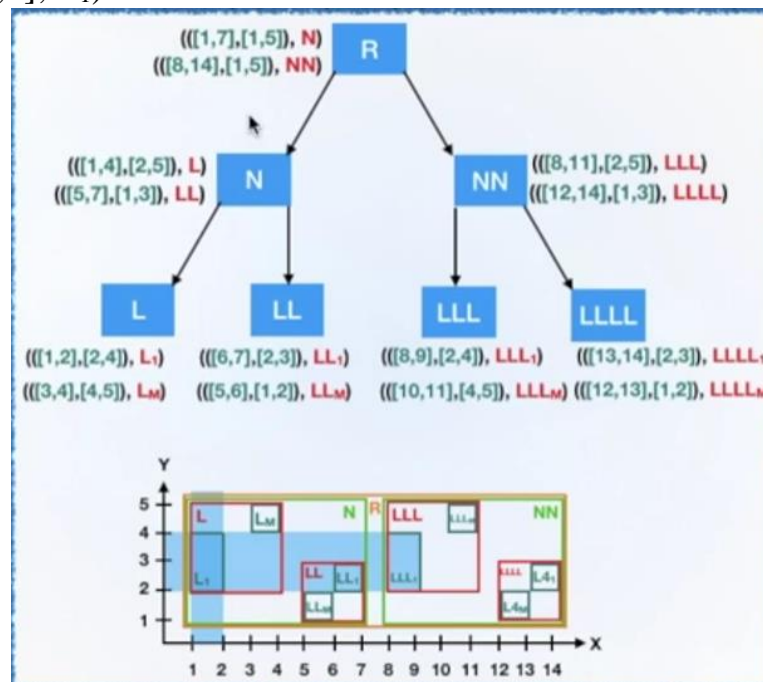
Прямоугольник задаётся при помощи двумерного массива, содержащего координаты двух противоположных вершин прям-ка  $[[1,2],[5,7]]$ .

Минимальное число ключей в узле – m, максимальное – M, где  $m \in [2; M/2]$ .

Чаще всего выбирают  $m = 2$ .

Пример узла:

$([1,2], [2,4]; L_1)$



<sup>1</sup> сверхбольшая масштабная интеграция – процесс (технология) создания сверхбольших интегральных схем и сама схема, содержащая от 100000 до 1000000 компонентов.

<sup>2</sup> EOSDIS – система данных и информации системы наблюдения Земли.

## Типы деревьев

Существует несколько типов R-деревьев:

- Стандартное R-дерево
- R\*-дерево
- R<sup>+</sup>-дерево

R\*-дерево пытается минимизировать перекрытие страниц, а повторные вставки дополнительно оптимизировали дерево. Стратегия разделения предпочитает квадратные страницы, что обеспечивает лучшую производительность для общих картографических приложений.

R<sup>+</sup>-деревья отличаются от R-деревьев тем, что: не гарантируется, что узлы будут наполнены хотя бы наполовину, ключи любого внутреннего узла не перекрываются, а идентификатор объекта может храниться более чем в одном конечном узле.

## Алгоритмы

### Поиск

Поиск в дереве довольно тривиален, надо лишь учитывать тот факт, что каждая точка пространства может быть покрыта несколькими вершинами. Сложность:  $O(\log N)$  в среднем,  $O(N)$  в худшем случае.

### Вставка

Построение R-дерева происходит, как правило, с помощью многократного вызова операции вставки элемента в дерево. Идея вставки похожа на вставку в B-дерево: если добавление элемента в очередную вершину приводит к переполнению, то вершина разделяется.

Сложность:  $O(M \log N)$

### Сечение

Оптимальное решение: проверить все возможные сечения.

Сложность:  $O(2^{M+1})$

### Удаление

Данный алгоритм удаляет некоторую запись E из R-дерева.

Сложность:  $O(\log N)$