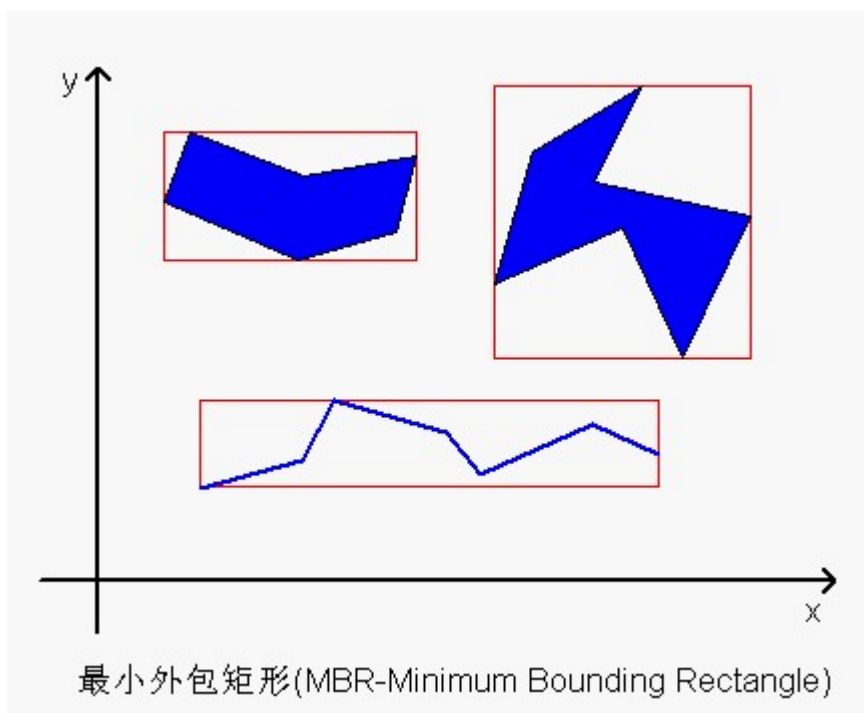


四叉树索引

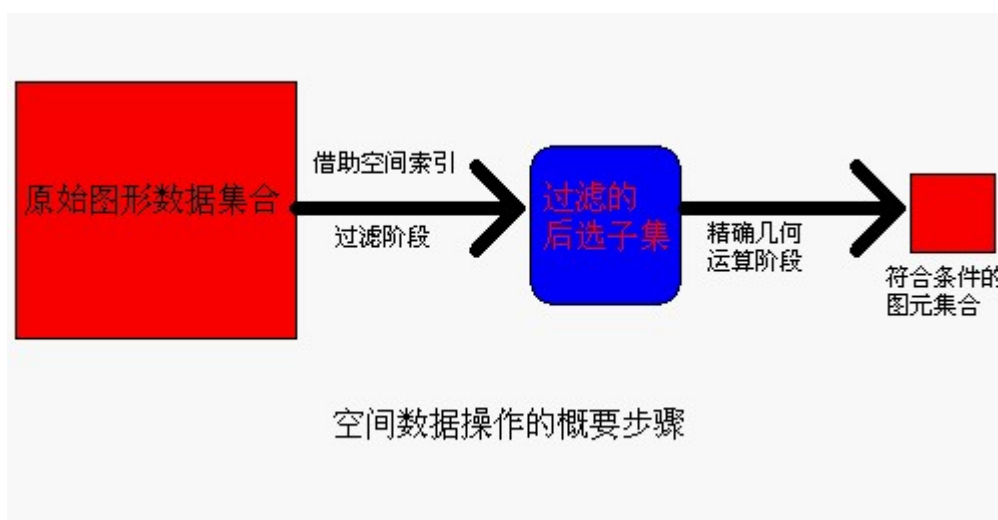
四叉树索引 (Quadtree)，类似于前面介绍的网格索引,也是对地理空间进行网格划分,对地理空间递归进行四分来构建四叉树,本文将在普通四叉树的基础上,介绍一种改进的四叉树索引结构。

首先,先介绍一个 GIS (Geographic Information System) 或者计算机图形学上非常重要的概念——**最小外包矩形(MBR-Minimum Bounding Rectangle)**:



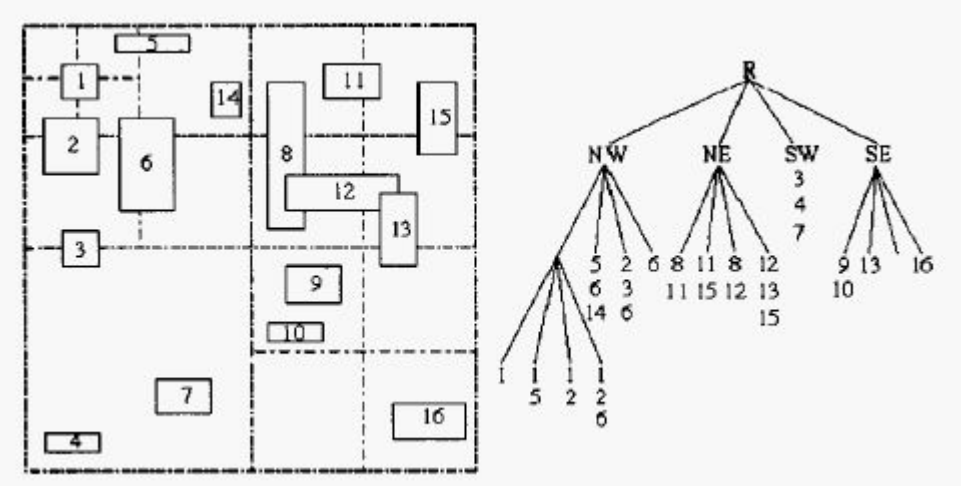
最小外包矩形 MBR 就是包围图元, 且平行于 X, Y 轴的最小外接矩形。MBR 到底有什么用处呢, 为什么要引入这个概念呢? 因为, 图元的形状是不规则的, 而 MBR 是平行于 X, Y 轴的规则图形, 设想一下, 如果所有的图元都是平行于 X, Y 轴的矩形, 那针对这样的矩形进行几何上的任何判断, 是不是要简单很多呢? 不管我们人自己写公式算法或者编写程序运行, 是不是都要比原本复杂的图形几何运算要简洁很多呢? 答案很显然。

然后, 我们再介绍一下 GIS 空间操作的步骤 (这个步骤, 在前面忘记向大家说明了, 在这里补充一下)



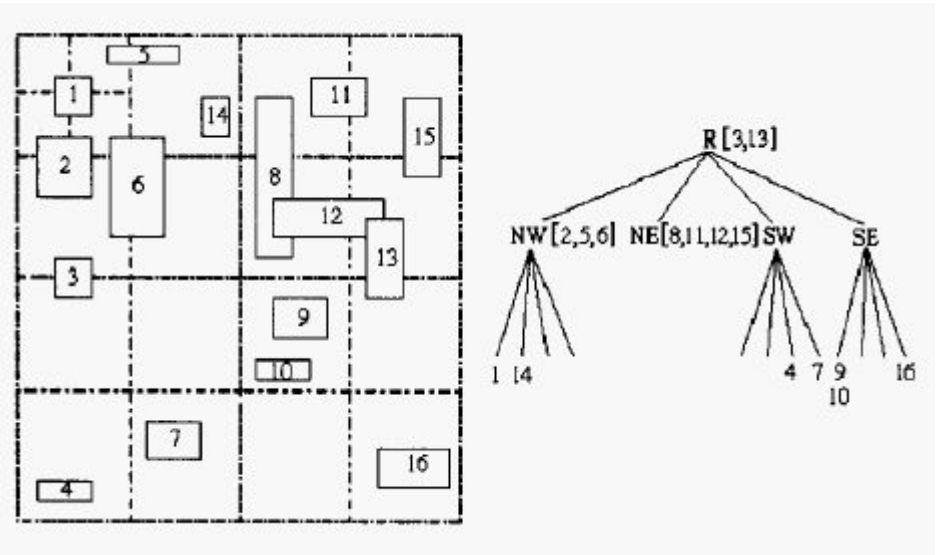
可见，过滤阶段，通过空间索引可以排除掉一些明显不符合条件的图元，得到后选集合，然后对后选图元集合进行精确几何运算，得到最终结果。大家可能会有这样的疑问，这样有必要吗？是不是反而把问题复杂化了？合适的空间索引只会提高计算机的效率，没有空间索引，我们无疑要对集合中的每个图元进行精确几何运算，而这样的运算是复杂的，是非常占用 CPU 的，所以需要空间索引，采取少量的内存和简单的 CUP 运算，来尽量减少那种高耗 CUP 的精确运算的次数，这样做是完全值得的。至于精确的几何运算到底复杂在哪里，该如何进行精确的几何运算，将在下面的章节中详细描述，这里主要介绍过滤阶段的空间索引。

现在，让我们来具体了解一下“四叉树索引”。



四叉树索引就是递归地对地理空间进行四分，直到自行设定的终止条件（比如每个节点关联图元的个数不超过 3 个，超过 3 个，就再四分），最终形成一颗有层次的四叉树。图中有数字标识的矩形是每个图元的 MBR，每个叶子节点存储了本区域所关联的图元标识列表和本区域地理范围，非叶子节点仅存储了区域的地理范围。大家可以发现，同样存在一个图元标识被多个区域所关联，相应地存储在多个叶子节点上，比如“6”所代表的图元，分别存储在四个分枝上。这样，就存在索引的冗余，与网格索引存在同样的弊端。下面我们介绍一种改进的四叉树索引，或者说是分层的网格索引。

改进的四叉树索引，就是为了避免这种空间索引的冗余，基本改进思路是：让每个图元的 MBR 被一个最小区域完全包含。



可以看出，3 和 13 分别都跨越了两个区域，要被一个最小区域完全包含，就只能是根

节点所代表的区域，2, 5 跨越了两个区域，6 跨越了四个区域，要被一个**最小区域完全包含**，就只能是 NW 区域。怎么判断一个图元被哪个**最小区域完全包含**呢？从直观上看，递归地对地理空间进行四分，如果图元与一个区域四分的划分线相交，则这个图元就归属于这个区域，或者直到不再划分了，那就属于这个不再划分的区域。呵呵。。可能有点绕口，看图，结合“**最小**”“**完全包含**”这两个字眼，您就明白了。这颗四叉树中，图元的标识不再仅仅存储在叶子节点上，而是每个节点都有可能存储，这样也就避免了索引冗余。同时每个节点存储本节点所在的地理范围。

有了四叉树索引，下面又该如何利用这颗树来帮助检索查找呢？还是矩形选择为例吧！（为什么我总是拿这个例子来说事呢？因为这个例子简单，容易理解，有代表性！）我们在地图上画一个矩形，判断地图上哪些图元落在这个矩形里或者和这个所画矩形相交。方法很多，这里介绍一种简单的检索步骤，如下：1，首先，从四叉树的根节点开始，把根节点所关联的图元标识都加到一个 List 里；2，比较此矩形范围与根节点的四个子节点（或者叫子区域）是否有交集（相交或者包含），如果有，则把相应的区域所关联的图元标识加到 List 集合中，如果没有，则以下这颗子树都不再考虑。3，以上过程的递归，直到树的叶子节点终止，返回 List。4，从 List 集合中根据标识一一取出图元，先判断图元 MBR 与矩形有无交集，如果有，则进行下面的精确几何判断，如果没有，则不再考虑此图元。（当然，这里只说了一个基本思路，其实还有其他一些不同的方法，比如，结合空间数据磁盘的物理存储会有一些调整）

总结，改进的四叉树索引解决了线，面对象的索引冗余，具有较好的性能，而被大型空间数据库引擎所采用，如 ArcSDE，Oracle Spatial 等，同时这种结构也适用于空间数据的磁盘索引，配合空间排序聚类，基于分形的 Hilbert 算法数据组织，将在空间数据格式的定义中发挥重要作用。

参考文献：

一种基于改进四叉树的 GIS 空间选择查询算法 董 鹏 杨崇俊 芮小平 高积粮 计算机工程与应用

计算机地图制图 蔡先华 东南大学 2000.08

作者： 陈玉进 geochenyj@hotmail.com

07.01.21