



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

Relatórios Técnicos
do Departamento de Informática Aplicada
da UNIRIO
n°0018/2009

Indexação em Bancos de Dados Espaciais

Marcos Souza Veloso
Fernanda Araújo Baião
Leonardo Azevedo

Departamento de Informática Aplicada

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Av. Pasteur, 458, Urca - CEP 22290-240
RIO DE JANEIRO – BRASIL

Indexação em Bancos de Dados Espaciais¹

Marcos Souza Veloso, Fernanda Araujo Baião, Leonardo Azevedo

NP2Tec – Núcleo de Pesquisa e Prática em Tecnologia – Depto de Informática Aplicada
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

{marcos.veloso, fernanda.baiao, azevedo}@uniriotec.br

Abstract. A spatial database is a database capable of dealing with information related to space. In order to reach this goal, specific data types need to be defined, both for modeling spatial objects and for implementing them. Beside, queries and operations in a spatial database must be efficient and support the mentioned types. One motivation for creating indexes in a database is to increase efficiency. For spatial databases, indexes should regard spatial characteristics. Hence, spatial indexing is far more complex than relational indexing. Also, the spatial database increasing use and spatial data volume growth impact database performance thus raising the relevance of indexing. Typical methods for spatial indexing employ search trees, with branches representing spatial partitions for index creation, which may be combined with techniques for approximation or signatures. This work presents a literature review on spatial indexing.

Keywords: Indexing, Spatial Databases (SDB), Geographic Databases, Tree-based search, raster signature.

Resumo. Um banco de dados espacial é um banco de dados que deve ter a capacidade de lidar com informações relacionadas ao espaço. Para tanto, tipos de dados específicos para este contexto são essenciais na modelagem dos objetos espaciais e na sua implementação. Além disso, operações e consultas no banco espacial devem ser eficientes e capazes de interagir com esses tipos específicos. Aumentar esta eficiência é um dos incentivos para a criação de índices em banco de dados. No caso dos bancos de dados espaciais, os índices devem considerar características próprias do contexto, o que torna a criação de índices tão ou mais complexa que a mesma tarefa em bancos relacionais. O desempenho dos bancos espaciais é influenciado negativamente pelo aumento do uso e do volume de dados, o que aumenta a importância dos índices. Métodos usados para indexação espacial se utilizam de árvores de busca, onde os ramos representam divisões do espaço para a construção de dos índices. Outra abordagem utilizada é a aproximação (ou assinatura) do resultado para permitir que operações usando o aspecto espacial dos objetos, sejam realizados com maior velocidade. Este trabalho apresenta um levantamento da literatura sobre o tema de indexação em bancos de dados espaciais.

Palavras-chave: Indexação. Banco de dados espaciais, bancos de dados geográficos, busca em árvores, rasterização.

¹ Trabalho parcialmente financiado pela FAPERJ (Processo E26/171.198/2006), dentro do projeto CG-OLAP, do Departamento de Informática Aplicada da UNIRIO

Figuras

FIGURA 1 - ÁRVORE R COM OBJETOS DE DADOS NAS FOLHAS (SOMBREADO). FONTE: GÜNTHER E BILMES, 1991	4
FIGURA 2 - JANELAS DE BUSCA ANTES E DEPOIS DA ALTERAÇÃO. FONTE: SELLIS ET AL., 1987	5
FIGURA 3 - ÁRVORES R E R+ FORMADAS A PARTIR DO ESPAÇO MOSTRADO NA FIG.2 FONTE: SELLIS ET AL.,1987	5
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DE UM POLÍGONO PELA DIVISÃO EM QUADRANTES FONTE: SAMET , 1985	6
FIGURA 5 - ÁRVORE DE QUADRANTES COM PONTOS DIVISORES FONTE: SAMET, 1985	6
FIGURA 6 - EXEMPLOS DE FILTROS CONSERVATIVOS [BRINKHOFF ET AL., 1994]	7
FIGURA 7 - EXEMPLOS DE MER E MEC [BRINKHOFF ET AL., 1994]	7
FIGURA 8- EXEMPLOS DE APROXIMAÇÃO 4CRS. [ZIMBRAO E SOUZA, 1998]	9

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	BANCOS DE DADOS ESPACIAIS E O PROBLEMA DE DESEMPENHO	2
3	TIPOS DE ÍNDICES EM BANCOS DE DADOS ESPACIAIS	3
3.1	ÁRVORES	3
3.1.1	Árvore R e $R+$	3
3.1.2	Árvore de Quadrantes (<i>QuadTree</i>)	5
3.2	FILTROS GEOMÉTRICOS	6
3.3	RASTERIZAÇÃO (COLOR RASTER SIGNATURE - CRS)	7
3.3.1	<i>Intervalos CRS</i>	8
4	CONCLUSÃO	9
	REFERÊNCIAS	9

1 Introdução

Sistemas de bancos de dados devem oferecer a capacidade de recuperar a informação armazenada de maneira eficiente, e garantir que o conteúdo recuperado está correto. Esta capacidade é implementada através de processadores de consultas, que executam buscas analisando os dados registrados no banco e identificando os que participam da solução da busca, ou seja, os dados que atendam ao critério da consulta devem ser retornados pela mesma. O tempo exigido para que um banco de dados realize uma consulta sofre influência direta de vários fatores, dentre eles, pode-se destacar o volume de dados armazenado. Quando este volume aumenta, esse tempo pode se tornar maior que o desejado para se chegar a algum resultado. Para que as consultas ocorram em tempo aceitável, índices podem ser criados, visando estabelecer uma classificação prévia dos dados segundo um critério pré-estabelecido e permitir que a busca pelo resultado seja efetuada num tempo reduzido [Elmasri e Navathe, 2006].

Atualmente, modelos de dados diferentes do relacional têm sido estudados, sendo um dos focos destes estudos, os bancos de dados espaciais, que são objetos multidimensionais compostos de pontos, linhas, superfícies e atributos como área, volume, ou um atributo temporal [Samet, 1989]. Esses tipos de sistemas encontram-se em crescente importância devido à evolução tecnológica de dispositivos capazes de capturar informação relacionada ao espaço [Ester *et al.*, 1995]. Um banco de dados espacial é um SGBD que deve oferecer tipos específicos de dados próprios para representar objetos espaciais, tanto em modelos quanto na sua implementação, e algoritmos eficientes para comparar e indexar estes tipos de dados [Güting, 1994]. Os índices usados para o modelo relacional são baseados em valores de atributos de tipos simples; no caso de dados espaciais (ou geométricos), no entanto, os índices devem levar em consideração propriedades relacionadas ao espaço [Lu e Ooi, 1993].

As estratégias de indexação existentes na literatura baseiam-se em estruturas ordenadas de indexação – geralmente árvores – ou no processo de rasterização de imagens registradas no banco. O primeiro grupo se assemelha às estratégias existentes em bancos relacionais, porém usando critérios de ordenação relacionados às coordenadas espaciais, ou outras dimensões dos objetos. O segundo grupo baseia-se na representação do espaço através de uma matriz de espaços menores, adotando uma política de “dividir para conquistar”, e avaliar esses espaços menores quanto à presença ou ausência de objetos representados. Esta abordagem é uma evolução do mapeamento de bits (BitMapping), permitindo caracterizar um setor no mapa além dos valores binários [Azevedo *et al.*, 2004].

Este trabalho tem como objetivo retratar os resultados dos estudos feitos sobre indexação de bancos de dados espaciais dentro do escopo do projeto de pesquisa em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) da UNIRIO, denominado CG-OLAP².

O trabalho se organiza desta maneira: a segunda seção trata da necessidade e utilidade dos índices espaciais, indicando as estratégias mais comumente aplicadas. A terceira seção descreve alguns exemplos reais de estratégias de indexação encontrados na literatura. Na quarta seção, o trabalho conclui-se.

² www.uniriotec.br/~cgolap

2 Bancos de Dados Espaciais e o Problema de Desempenho

Os sistemas de gerência de bancos de dados (SGBDs) tradicionais são voltados para o uso de dados escalares (unidimensionais) e, portanto, não são indicados para apoiar aplicações que utilizam dados multidimensionais, podendo ser espaciais ou espaço-temporais [Theodoridis *et al.*, 1998].

A representação de informação espacial exige que o SGBD espacial tenha a capacidade de manipular tipos específicos de dados capazes de representar objetos no espaço e possuam coordenadas multidimensionais. Esses tipos de dados podem ser pontos, linhas, polígonos ou poliedros, no caso de representações geométricas, ou tipos complexos e hierarquizados como peças e componentes de CAD (Computer-Aided Design) ou cadeias de proteínas [Güting, 1994]. Outra forma de diferenciar os tipos de dados compreendidos por um SGBD é observar o número de dimensões empregado no objeto: polígonos, pontos, mapas cartográficos ou fotos de satélite são dados bidimensionais; já poliedros, moldes de engenharia, cadeias de proteínas ou o corpo humano são objetos tridimensionais. Em ambos os casos, algumas operações comuns precisam ser implementadas por um SGBD espacial, como a interseção entre linhas ou polígonos, ou ambos; a distância entre dois determinados objetos; objetos mais próximos ou dentro de uma distância a partir de um ponto; entre outros.

Uma extensão possível dos SGBDs espaciais é a adição de objetos móveis, cuja posição, tamanho ou mesmo a forma se altera com o tempo. Neste caso, o sistema é um exemplo de SGBD espaço-temporal, isto é, o tempo se torna uma das dimensões relevantes na representação [Erwig *et al.*, 1999]. Embora vários estudos em bancos de dados espaciais não vislumbrem o uso do tempo [Theodoridis *et al.*, 1998], esta característica oferece pelo menos duas vantagens: a mais óbvia, a capacidade de se representar o histórico de um objeto que varia de acordo com o tempo, e a segunda, igualmente importante, utilizar índices baseados em intervalos de tempo, criando instantâneos (*snapshots*) dos objetos presentes no banco.

A recuperação de informação (consultas) em SGBDs espaciais tipicamente implica num tempo de retorno maior do que em bancos relacionais, devido à complexidade dos objetos representados e dos algoritmos necessários para realizar buscas na estrutura espacial [Ooi, 1995]. Logo, a necessidade de otimização da consulta através da indexação se torna ainda maior. Para que sejam bem sucedidos, índices eficientes devem utilizar as operações espaciais, proporcionando assim uma diminuição do tempo de retorno de uma consulta, usando técnicas específicas relacionadas às características espaciais dos dados.

Estudos nesse sentido geralmente usam uma estratégia análoga ao uso de árvores B e suas variações, presentes nos bancos relacionais [Tamura *et al.*, 2001]. A diferença reside nos critérios aplicados para ordenar os nós e folhas das árvores que, ao invés de se basearem em valores escalares, procuram considerar as coordenadas geográficas dos objetos e a divisão do espaço em subespaços que compreendem completamente um objeto. Além das árvores de busca, é utilizada a rasterização, que consiste na decomposição do espaço em uma malha de subespaços uniformes, onde um pedaço de um objeto pode estar completamente presente, completamente ausente ou parcialmente presente, segundo um critério pré-estabelecido de ocupação proporcional do subespaço. Esta técnica torna possível a aproximação da representação de objetos espaciais.

3 Tipos de Índices em Bancos de Dados Espaciais

Na indexação espacial, é uma prática comum a simplificação de operações espaciais, quando possível, por aproximações dos objetos (chamados de filtros geométricos) operando para figuras geométricas mais simples, para que as operações sejam mais rápidas, em detrimento do nível de detalhe usado na representação, ou em função do aumento de objetos envolvidos na operação. Um filtro geométrico usa uma representação compacta e aproximada do objeto tentando reter suas principais características, por exemplo, 4CRS [Zimbrão e Souza, 1998], Convex Hull, 5C, RMBR e outras encontradas em [Brinkhoff *et al.*, 1993].

O fundamento por trás desta prática é a técnica de dividir e conquistar, criando partições do espaço onde, ao resolver uma operação espacial, sejam identificadas partições relevantes para efetuar os passos necessários e partições irrelevantes para operação e que podem ser ignoradas durante a execução da operação. A indexação se alia a essa técnica, permitindo usar a divisão do espaço como critério, e como consequência, oferecer a capacidade de destacar os objetos exatos que serão manipulados em uma operação que seja executada sobre o espaço dividido.

3.1 Árvores

A primeira estratégia de índices baseia-se na ideia de árvores, já disseminada e madura nos bancos relacionais – como árvores B [Günther e Bilmes, 1991]. As árvores possuem nós, que são distribuídos conforme um critério de ordenação, permitindo que se navegue entre seus ramos, de acordo com o valor procurado, e evitando que a busca percorra um ramo que não possa levar ao item desejado.

Devido à natureza multidimensional, ordenar objetos espaciais é mais complexo que outros com medidas escalares. Logo, os critérios usados para repartir o espaço em ramos e nós de uma árvore são aqueles que usam características espaciais.

3.1.1 Árvore R e R+

Uma das técnicas mais difundidas sobre aplicação de árvores para indexar objetos espaciais são as árvores R [Hu *et al.*, 2003]. As dimensões de cada objeto no espaço são aproximadas para as dimensões do menor retângulo que compreende completamente o objeto, esses retângulos são chamados de MBR (*Minimum Bounding Rectangle*) [Güting, 1994]. Os nós da árvore são exatamente MBRs, e nós dentro de um mesmo ramo têm um ancestral comum que representa outro MBR que compreende todos os seus descendentes. Assim a busca por um determinado objeto será restrita à ramificação que contém os MBRs que o compreendem.

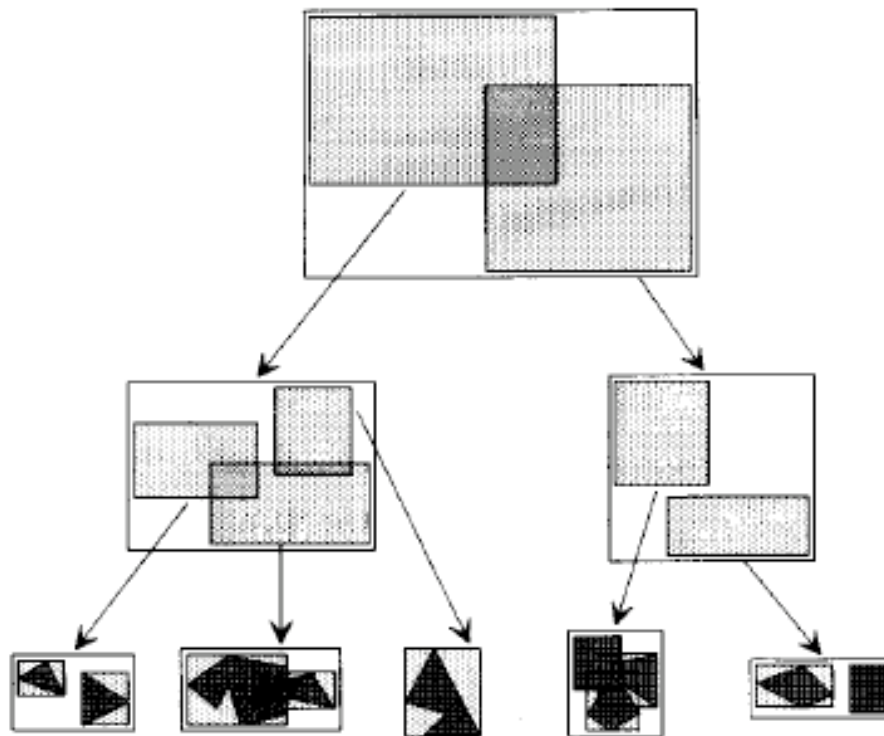


Figura 1 - Árvore R com objetos de dados nas folhas (sombreado). Fonte: Günther e Bilmes, 1991

Uma variação da árvore R é a R^+ , que é balanceada e adiciona uma restrição na representação dos MBRs: nenhuma interseção pode ocorrer entre dois MBRs. Esta restrição busca melhorar o desempenho de busca no índice, pois na árvore R, em caso de interseções, pode ser necessário percorrer os dois ramos para que se atinja o objeto desejado. O ponto negativo da árvore R^+ é que o desempenho de atualizações e inserções no banco é prejudicado, pois pode ser preciso alterar os MBRs existentes e rebalancear a árvore [Günther e Bilmes, 1991]. A Figura 2 mostra um exemplo de divisão de MBRs para uma árvore R (Figura 2.a) e uma árvore R^+ (Figura 2.b). No caso da árvore R (Figura 2.a), os MBRs A, B e C, correspondentes aos nós internos, têm sobreposição. No caso da árvore R^+ , não há sobreposição de MBRs (os MBRs A, P, B e C não têm sobreposição). No entanto, para que isto fosse possível, foi necessário criar o MBR P, o qual corresponde a um pedaço do MBR A e do MBR B da Figura 2.a. Esta quebra de MBRs na árvore R leva a um mesmo objeto poder pertencer a mais de um nó. Por exemplo, na Figura 2.b o objeto G pertence ao MBR A e ao MBR P. Logo, em uma consulta que considere estes dois MBRs, G será retornado mais de uma vez, sendo necessário no final do processamento eliminar os objetos duplicados. A Figura 3 apresenta as árvores R e R^+ resultantes da divisão espaço apresentadas na Figura 2.

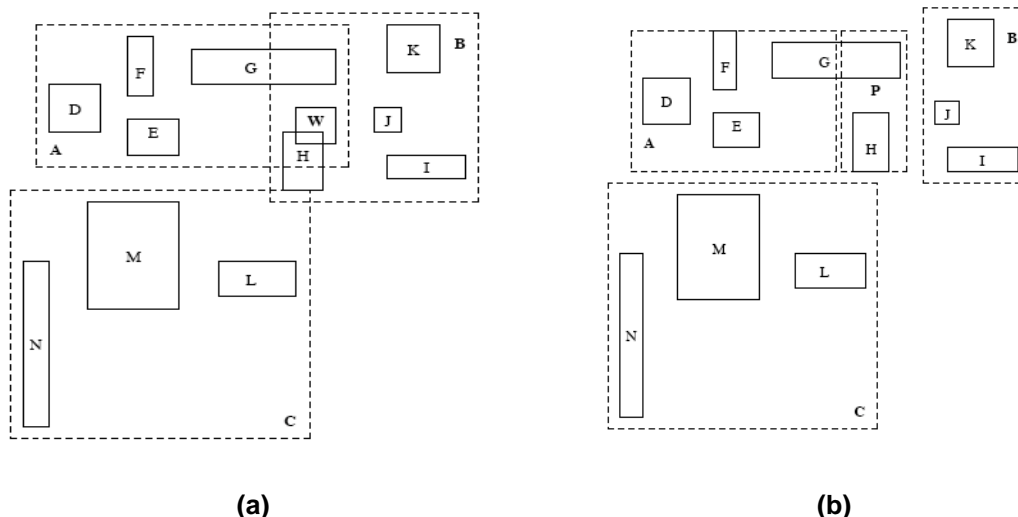


Figura 2 - Janelas de busca antes e depois da alteração. Fonte: Sellis et al., 1987

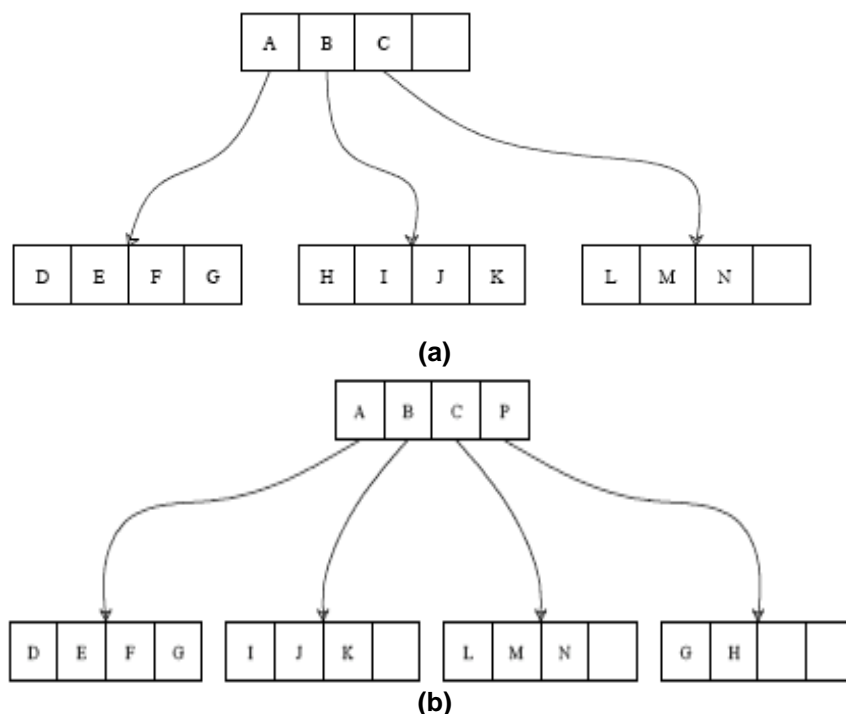


Figura 3 – Árvores R e R+ formadas a partir do espaço mostrado na Fig.2 Fonte: Sellis et al.,1987

A árvore R+ apresenta um ganho de desempenho devido à redução de acessos ao disco, principalmente em consultas envolvendo pontos, sobre a árvore R [Sellis *et al.*, 1987]. A adoção de cada uma, ou de uma variação, deve considerar o contexto da aplicação que utilizará o banco espacial. Caso as alterações nos dados sejam mais críticas que as consultas, por exemplo, a árvore R+ não é a mais recomendada.

3.1.2 Árvore de Quadrantes (QuadTree)

A principal diferença desta abordagem para as anteriormente citadas é a composição dos nós da árvore de busca. No lugar do uso de MBRs, a divisão do espaço é em quatro quadrantes do mesmo tamanho, e de acordo com a necessidade de detalhamento, cada quadrante é dividido em quatro recursivamente até que todos os quadrantes criados

sejam completamente vazios ou estejam completamente preenchidos [Samet, 1989]. A divisão em quadrantes do espaço indexado tem influência direta da técnica de mapeamento de bits, abordada na próxima seção juntamente com a rasterização.

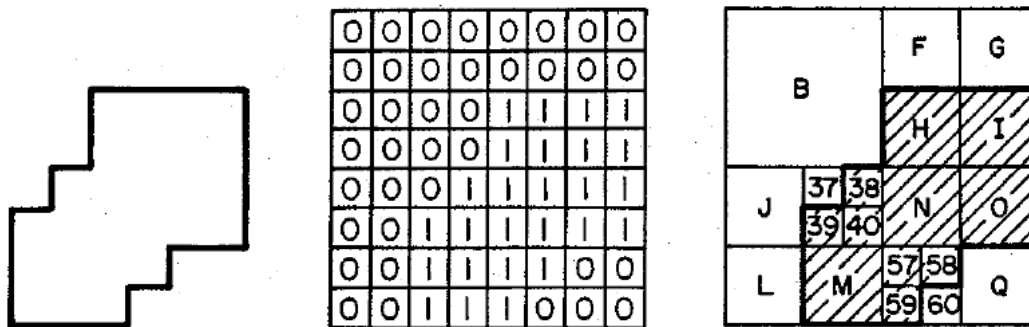


Figura 4 - Representação de um polígono pela divisão em quadrantes Fonte: Samet, 1985

Também é possível usar a estratégia de quadrantes para indexar pontos [Samet, 1985], mas sem igualar as dimensões das divisões, e sim usar cada ponto como divisor (Figura 5). Assim os quadrantes se distribuiriam como:

- acima e à esquerda do ponto (Noroeste ou NW);
- acima e à direita do ponto (Nordeste ou NE);
- abaixo e à esquerda do ponto (Sudoeste ou SW) e;
- abaixo e à direita do ponto (Sudeste ou SE).

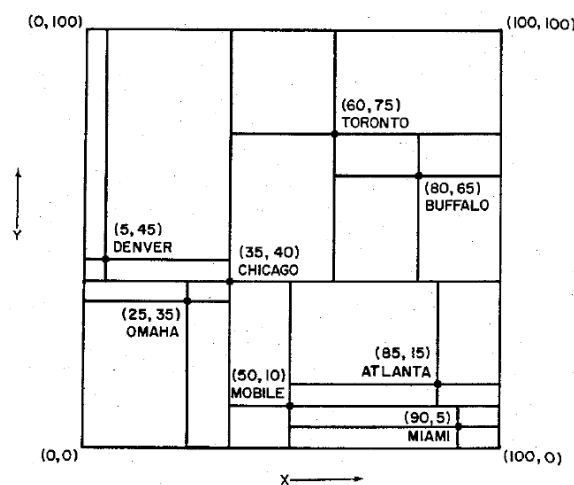


Figura 5 - Árvore de quadrantes com pontos divisores Fonte: Samet, 1985

3.2 Filtros Geométricos

Objetos reais, quando representados em bancos de dados espaciais, raramente possuem formas geométricas regulares, tornando as operações sobre esses objetos mais complexas, principalmente em caso de operações envolvendo contorno ou superfície. Uma abordagem para contornar essa complexidade é usar uma aproximação por generalização, ou seja, simplificar a representação complexa através de um conjunto de representações simples, e desta forma executar operações sobre os elementos deste conjunto, quando a meta real for executar sobre a primeira.

Esta aproximação é realizada através do uso de filtros geométricos, que podem ser conservativos(o filtro envolve completamente o objeto aproximado), ou progressivos o objeto aproximado envolve completamente a aproximação usada. Como Exemplos de filtros conservativos pode-se listar: Mínimo Retângulo Circunscrito ou MBR (*Minimum Bounding Rectangle*), o MBR rotacionado (RMBR - *Rotated Minimum Bounding Rectangle*), *Convex Hull* (CH), *Minimum Bounding m-Corner* (M-C), Mínimo Círculo Circunscrito (MBC - *Minimum Bounding Circle*) e Mínima Elipse Circunscrita (*Minimum Bounding Ellipse*). Este filtro é indicado para a detecção de não interseção entre os objetos. A Figura 6 expõe os filtros citados como exemplos.

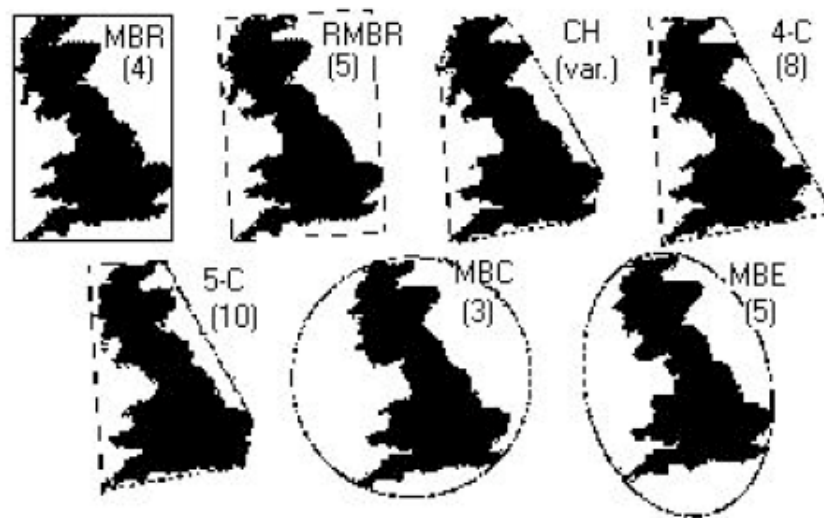


Figura 6 - Exemplos de filtros conservativos [Brinkhoff et al., 1994]

Exemplos de filtros progressivos são o Máximo Círculo Inscrito (MEC - *Maximum Enclosed Circle*) e o Máximo Retângulo Inscrito (MER - *Maximum Enclosed Rectangle*). Este tipo de filtro é mais indicado para a detecção de interseção. A Figura 7 contém exemplos dos dois filtros.



Figura 7 - Exemplos de MER e MEC [Brinkhoff et al., 1994]

Duas características necessárias nos filtros são a simplicidade, que proporciona maior velocidade na sua utilização, e a qualidade, relacionada com a precisão da aproximação.

3.3 Rasterização (Color Raster Signature - CRS)

A Rasterização procura representar os objetos espaciais em uma malha de células uniformes, indicando quais destas são ocupadas por um dado objeto. Uma motivação para o uso dessa abordagem é que aproximação por MBRs, para casos de linhas múltiplas (polilinhas), é muito imprecisa [Zimbrão e Souza, 1998]. O objetivo é

principalmente aumentar o desempenho de consultas que envolvam operações de sobreposição e interseção entre polígonos e polilinhas, que são comuns em bancos de dados espaciais. A técnica consiste em indicar através de códigos em que células existe uma parte do objeto representado, estendendo a ideia de mapeamento de bits.

3.3.1 Intervalos CRS

Estendendo a ideia do mapeamento de bits, considerando um objeto irregular nas suas fronteiras, é possível que este objeto não esteja totalmente ausente nem totalmente presente em uma célula da malha, e sim ocupando uma porcentagem desta célula. Este é o conceito que fundamenta a rasterização, o mapeamento não é mais uma representação binária por cada célula e sim um código que indica a faixa de porcentagem ocupada pelo objeto representado. O número de faixas de porcentagem pode ser variado e nomeia o método usado: ao dividir em três faixas, o método é o 3CRS, em quatro o 4CRS e assim por diante. Embora a capacidade numérica necessária para armazenar os códigos aumente, as operações sobre as partes dos objetos continuam sendo operações lógicas executadas célula a célula. No 4CRS, por exemplo, a divisão aplicada é a exibida na Tabela 1 enquanto a Tabela 2 demonstra a economia de operações a realizar.

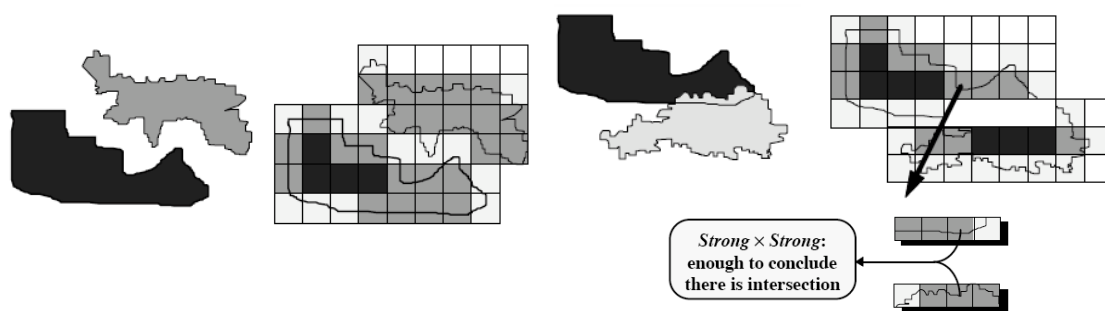
Tabela 1 - Faixas de interseção entre célula e polígono. Adaptado de Zimbrão [1998]

Valor dos bits	Classificação da Célula	Descrição da faixa
00	Vazia	A célula não intercepta o polígono
01	Fraca	A célula possui uma interseção de 50% por cento ou menos,
10	Forte	A célula contém uma interseção maior que 50% com o polígono.
11	Cheia	A célula é completamente preenchida pelo polígono

Tabela 2 - Células que não precisam ser colocar no relógio. Adaptado de Zimbrão [1998]

Tipo de célula e interseção com o polígono	Vazia	Fraco	Forte	Cheia
Vazia	Descartado	Descartado	Descartado	Descartado
Fraca	Descartado	Candidato	Candidato	Aceito
Forte	Descartado	Candidato	Aceito	Aceito
Cheia	Descartado	Aceito	Aceito	Aceito

Uma desvantagem é que com o uso das faixas de porcentagem, surgem células onde as operações precisam ser executadas sobre um objeto, o que afeta o desempenho final, por outro lado, os extremos das faixas são exatamente a representação binária do mapeamento de bits, o que compensa pela perda de desempenho, sem abdicar do detalhamento nas faixas intermediárias. Nas Figuras Figura 8(a) e (b), são exibidos exemplos de uso da aproximação 4CRS.



(a) Polígonos sem interseção

(b) Polígonos com alguma interseção

Figura 8- Exemplos de aproximação 4CRS. [Zimbrão e Souza, 1998]

4 Conclusão

As abordagens para indexação espacial são diversificadas e amadurecidas, porém ainda apresentam oportunidades de melhorias, como a possibilidade de explorar o processamento distribuído para reduzir o tempo de consultas [Gandhi, 2007][Hu *et al.*, 2003][Kim, 1999][Tamura *et al.*, 2001] ou utilizar aproximações dos objetos para aumentar o desempenho [Brinkhoff *et al.*, 1993]. Os trabalhos pesquisados indicam que a adoção entre as abordagens é uma decisão baseada fortemente no tipo de aplicação que o banco de dados espacial procura apoiar. Dentre as abordagens mais utilizadas destacam-se a aproximação do objeto e o uso de árvores de busca como estrutura de indexação. A primeira visa reduzir o tempo de execução de uma operação, simplificando o operando complexo. A segunda tem como meta dividir o espaço construindo uma estrutura onde buscas possam ser realizadas de maneira eficiente. As duas estratégias podem ser usadas em conjunto, para que se aumente o desempenho de encontrar um resultado no banco espacial. Menos cálculos seriam necessários nesta busca e na manutenção da estrutura (árvore) de indexação.

Referências

- AZEVEDO, L.G., MONTEIRO, R.S., ZIMBRÃO, G., SOUZA, J.M.D. Approximate Spatial Query Processing Using Raster Signatures. In: VI BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GEOINFORMATICS, Proceedings., pp.403-421, 2004.
- BRINKHOFF, T., KRIEGL, H. P., SCHNEIDER, R. Comparison of Approximations of Complex Objects Used for Approximation-based Query Processing in Spatial Database Systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA ENGINEERING, Vienna, Austria, Apr. 1993. Proceedings of the ninth, pp. 40-49
- BRINKHOFF, T., KRIEGL, H. P., SCHNEIDER, R., SEEGER, B. Multi-step Processing of Spatial Joins. In: ACM-SIGMOD CONFERENCE, Proceedings of the. Minneapolis, USA, May 1994. pp.197-208
- ERWIG, M., GÜTING, R.H., SCHNEIDER, M., et al. Spatio-Temporal Data Types: An Approach to Modeling and Querying Moving Objects in Databases. *GeoInformatica*,

v.3, n.3, p269-296, 1999

ESTER, M., KRIEGEL, H.P., XU, X., Knowledge Discovery in Large Spatial Databases: Focusing Techniques for Efficient Class Identification. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCES IN SPATIAL DATABASES, 1995. Portland, Maine, USA. Proceedings... London: Springer-Verlag, 1995. pp. 67-82

GÜNTHER, O., BILMES, J. Tree-Based Access Methods for Spatial Databases: Implementation And Performance Evaluation. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. v.3, n.3, pp.342-356, Set. 1991

GÜTING, R.H. An Introduction to Spatial Database Systems. The VLDB Journal, Berlin, v. 3, n. 4, pp. 355-399, Set. 1994.

HU, H. ZHU, M., LEE D.L. Towards Real-time Parallel Processing of Spatial Queries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL PROCESSING - ICPP'03. Proceedings of the. p.565-572, Out. 2003

LU, H., OOI, B.C. Spatial indexing: Past and future. IEEE Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering, v.16, n.3, pp.16-21, Set.1993

ELSMARI, R., NAVATHE, S. **Fundamentals of Database System**, Addison-Wesley, 2006. 1168p.

SAMET, H. **The Design and Analysis of Spatial Data Structures**. Addison-Wesley, 1989. 510p.

SAMET, H. Data Structures for Quadtree Approximation and Compression. Communications of the ACM, New York, v.28, n.9, pp.973-993, Set. 1985

SELLIS, T. K., ROUSSOPOULOS, N., FALOUTSOS, C. The R+-Tree: A Dynamic Index for Multi-Dimensional Objects. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES - VLDB'87, Proceedings of the 13th. Brighton, England, Morgan Kaufmann, pp.507-518, Set. 1987

TAMURA, K., NAKANO, Y., KANEKO, K., MAKINOCHI, A. The Parallel Processing of Spatial Selection for Very Large Geo-spatial Databases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS - ICPADS 2001, Proceedings of the Eighth. Kyongju City, South Korea. pp.721-726, Jun. 2001

THEODORIDIS, Y. SELLIS, T.K. PAPADOPOULOS, A.N. MANOLOPOULOS, Y., Specifications for efficient indexing in spatiotemporal databases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTIFIC AND STATISTICAL DATABASE MANAGEMENT, Proceedings of the tenth. pp.123-132, Jul. 1998

ZIMBRÃO, G., SOUZA, J.M.D. A Raster Approximation For Processing of Spatial Joins. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES - VLDB'98, Proceedings of the 24th. New York. pp.558-569, Ago. 1998