

Um modelo de dados para objetos móveis

BEI YI

CLAUDIA BAUZER MEDEIROS

Instituto de Computação
Universidade Estadual de Campinas

Abstract. Devices like GPS (Global Position System) and the wireless network have enabling new applications that collect mobile objects data. Traditional database does not support this kind of object which provides large amount of information continuously. Researches in this area are very recent and the particularity of the mobile objects still needs to be explored. This article aims at proposing a data model that supports new types for mobile object.

1 Introdução

O surgimento das novas tecnologias para obtenção de dados espaciais e de meios de comunicação tornou possível coletar dados de objetos móveis e transmiti-los em tempo real. A popularização dos dispositivos como o GPS (Global Position System) possibilitou usos pessoais e comerciais antes restritos ao uso militar. Isso, por sua vez, abriu uma vasta gama de novas aplicações, chamadas de aplicações móveis. Exemplos destas aplicações são: (1) Sistemas de monitoramento ambiental e biológico, (2) Controle e monitoramento de veículos terrestres, (3) Aplicações militares ou (4) Correntes Migratórias.

O interesse principal neste tipo de aplicação são as características de movimento. A velocidade pode variar e, conseqüentemente, as taxas de amostragem também – considere, por exemplo, trajetória de veículos e migração de seres humanos. Além disso, certas aplicações envolvem solução em tempo real e requerem previsão do futuro (monitoramento de veículos) enquanto outras podem ser executadas offline e envolvem análise de padrões (monitoramento ambiental).

Essas aplicações introduzem um novo tipo de conceito que são os objetos móveis. Estes trazem alguns desafios antes não enfrentados na pesquisa de banco de dados. Primeiramente, ao contrário dos dados em sistemas geográficos, cuja localiza-

ção costuma permanecer constante, os dados de objetos móveis mudam continuamente com o tempo. Os tradicionais bancos de dados espaço-temporais são adequados para armazenar as mudanças discretas de objetos em função do espaço e tempo, mas não são adequados para suportar mudanças contínuas. Em segundo lugar, modelagens propostas para os objetos móveis são raras e ainda muito influenciadas pela modelagem tradicional de bancos de dados. Em terceiro lugar, existem poucos operadores definidos que exploram efetivamente as novas possibilidades de consulta que os objetos móveis podem oferecer.

O objetivo deste trabalho é discutir os problemas de modelagem de objetos móveis e propor um modelo que atenda as peculiaridades desses objetos. O modelo proposto estende o trabalho de Faria [6, 5]. O ponto de partida do modelo é agrupar as versões dos objetos móveis em cada intervalo de tempo para formar a trajetória do objeto em função do tempo. O modelo estendido também deverá permitir formação de grupos de objetos, o que torna possível a evolução temporal independente dos objetos integrantes do grupo.

O restante deste texto está organizado da seguinte forma. A seção 2 descreve alguns conceitos básicos relacionado a objetos móveis. Em seguida os trabalhos correlatos são apresentados e analisados na seção 3. A seção 4 discute o mo-

delo proposto e finalmente a seção 6 contém conclusões e atividades em andamento.

2 Conceitos Básicos

Um *objeto espaço-temporal* é um objeto que possui pelo menos um atributo espacial e um temporal. Os outros atributos são chamados de atributos convencionais ou descritivos (que descrevem as propriedades temáticas do objeto). Tanto os atributos convencionais quanto os espaciais podem variar com tempo. Considere por exemplo uma fazenda com atributos “Nome”, “Localização” e “Tempo”. O atributo “Localização” é composto por um conjunto de coordenadas que situa a fazenda e, ao mesmo tempo, permite inferir sua geometria. Tanto nome quanto a geometria podem variar ao longo do tempo. Um *objeto espacial* é um objeto que possui pelo menos um atributo espacial, contendo localização - no mesmo exemplo, o atributo “Tempo” não existe. Um *objeto temporal* é um objeto que possui pelo menos um atributo temporal, que pode ser unidimensional (instante de tempo) ou bidimensional (intervalo de tempo). No mesmo exemplo, o atributo “Localização” deixaria de existir.

Bancos de dados espaço-temporais têm sido alvo de muitas pesquisas recentemente - vide, por exemplo, [1, 3, 10, 4]. Muitos tópicos ainda continuam em aberto. Há várias razões para isto, baseadas principalmente no fato que tanto espaço quanto tempo são fatores complexos e sua captura, armazenamento e gerenciamento envolve muitos desafios.

A modelagem de um banco de dados espaço-temporal depende dos tipos de objetos espaço-temporais que ele deve suportar. Segundo Moreira et al [8, 12], os objetos espaço-temporais podem ser classificados segundo a maneira com que seus atributos espaciais mudam conforme o tempo. De acordo com autor, existem três tipos de modelos: *Mudança contínua* - Os atributos espaciais com variação contínua podem ser modelados com um gráfico em função de tempo re-

presentado por uma curva contínua. *Registro de eventos* - Quando os valores dos atributos espaciais são alterados em momentos precisos, a mudança é dita descontínua. O modelo registra fatos num intervalo válido de tempo de um evento. Fora dos intervalos, os atributos são indeterminados ou recebem algum valor padrão. *Mudança de estado* - Mudança de estado é semelhante ao registro de eventos. A única diferença é que o valor dos atributos espaciais é mantido constante até a ocorrência do próximo evento.

Estes dois últimos modelos são os mais estudados e implementados, representando os bancos de dados espaço-temporais mais tradicionais. O primeiro modelo é o que se adapta melhor aos conceitos de objetos móveis.

Um *objeto móvel* é qualquer objeto, pontual ou com extensão, que muda sua posição geográfica continuamente conforme o passar do tempo. Como um objeto móvel possui atributos espaciais e temporais, ele pode ser considerado especialização de um objeto espaço-temporal. Por exemplo, um táxi pode ser modelado como um objeto pontual cuja localização varia com o tempo. Já um cardume de golfinhos pode ser modelado como um objeto 2D. No último caso, não só a localização, mas também a geometria do conjunto de golfinhos varia. Objetos móveis não pontuais podem sofrer rotação. Portanto, além da velocidade linear, pode-se calcular também a velocidade angular de um objeto.

Um *banco de dados de objetos móveis* é uma especialização de bases de dados espaço-temporais. A diferença é que os objetos móveis modificam continuamente a sua posição. Essa diferença representa novos desafios aos bancos de dados espaço-temporais tradicionais. Primeiramente, o número de registros cresceria muito se cada posição exigisse o armazenamento um registro novo. Em segundo lugar, a complexidade algorítmica dos operadores é muito maior pois precisa considerar a continuidade do movimento. Em terceiro lugar, pode haver intervalo de tempo sem informação amostrada. Isso pode apresentar “lacunas” de in-

formações, o que exige técnicas de "reconstituição" da continuidade, usando técnicas de aproximação como interpolação. Esses novos conceitos exigem uma modelagem de dados nova para representá-los adequadamente e que seja ao mesmo tempo viável para fins computacionais.

3 Trabalhos Correlatos

Existem duas frentes de pesquisa em modelagem de objetos móveis. Uma das vertentes está orientada à aplicações altamente dinâmicas e as consultas visam o presente e o futuro próximo. A outra está mais orientada às aplicações de objetos móveis, em que o enfoque das consultas é sobre o histórico do objeto. Esse tipo de aplicação geralmente é usado para extrair informações de padrão de comportamento, ou seja, mineração de dados. Em outras palavras, uma vertente cuida de dados que alimentam o banco de dados em tempo real, enquanto que a outra examina o conteúdo armazenado, mas sem a preocupação de seu monitoramento em tempo real.

3.1 Modelo MOST

Sistemas orientados às aplicações altamente dinâmicas envolvendo objetos móveis são chamados de sistemas MOD (Mobile Object Database). Para contornar o problema de atualização de dados, Wolfson e colegas [2] propuseram o modelo MOST (Moving Objects Spatial Temporal). A idéia básica do modelo é representar a posição geográfica do objeto pontual usando um vetor de movimento. Todo objeto espacial tem coordenadas x , y e z . Cada coordenada (x , y ou z) é representada por um atributo dinâmico.

Um atributo dinâmico A é um atributo composto por três campos, $A.value$, $A.updatetime$, $A.function$. $A.updatetime$ é o instante em que o vetor de movimento é atualizado. $A.value$ é o valor da coordenada no instante da atualização ($A.updatetime$). $A.function$ é a função que descreve o valor de A para cada t depois do $A.update$ time e antes da próxima atualização. Se $V(t)$ é o

valor da coordenada no tempo t , então:

$$V(t) = A.value + A.function(t),$$

Assim, no pior caso, o número de atualizações é igual ao da abordagem tradicional, mas como a maioria dos movimentos permanece uniforme por um tempo, esta abordagem torna-se uma solução interessante. Outra vantagem desse modelo é que ele consegue satisfazer consultas sobre o futuro próximo. Uma questão importante a ser considerada é o balanceamento entre o custo de atualização e a imprecisão das posições.

A desvantagem desse modelo é que ele não descreve a trajetória completa dos objetos móveis. A informação da trajetória só é armazenada desde o tempo da última atualização até o futuro próximo. Além do mais, só trata de objetos pontuais e ignora estruturas espaciais mais complexas como regiões. O atributo posição é agora um atributo derivado pois o seu valor de cada coordenada é calculado através das definições de $V(t)$. Isso gera um custo a mais ao fazer consultas cujo predicado envolve a posição.

3.2 Modelo sugerido pelo projeto CHOROCHRONOS

O grupo CHOROCHRONOS [9, 7] propôs um modelo conceitual de dados baseado em definir os tipos base de dados espacial e temporal, e utilizar construtores espaciais para construir outros tipos de dados. No modelo conceitual específico para objetos móveis, os tipos base são *ponto*, *região* e *tempo*. A nomenclatura usado nas descrições seguintes abrevia a palavra "móvel" com a letra 'M'. O tipo **Mponto** mapeia um tempo t do domínio tempo para um ponto P do domínio espaço. O tipo **Mregião** mapeia um tempo t do domínio tempo para uma região R do domínio espaço. As funções que mapeiam entre os tipos são chamadas de construtores. Os valores do tipo **Mponto** descrevem a posição como uma função de tempo, que pode ser representada como uma curva no espaço tridimensional (x , y , t) e o valor do tipo **Mregião** é um conjunto de volumes no espaço 3D

Operador	Mapeamento		
Começa	Mponto	tempo	
Visita	Mregião x Mponto		Mponto

Tabela 1: Exemplos de operadores

(x, y, t). A tabela 1 apresenta exemplos de construtores.

O modelo conceitual do CHOROCHRONOS é mais genérico e abrangente que o modelo MOST, por considerar regiões e não apenas pontos móveis. A desvantagem desse modelo é que ele é abstrato demais e se preocupa com os objetos móveis em si, esquecendo os objetos espaço-temporais que mudam discretamente.

Há vários outros aspectos considerados na pesquisa de bancos de dados de objetos móveis e que não são abordados neste trabalho. Exemplos são estudos de eficiência de armazenamento [11], indexação [13] e gerenciamento

4 Modelo Proposto

Muitos pesquisadores têm explorado o relacionamento entre espaço e tempo, procurando entendê-lo melhor visando propor um modelo que descreva esse relacionamento de forma concisa. Portanto, antes de propor uma solução para tentar resolver problemas de modelagem de dados para objetos móveis, é importante explorar alguns conceitos para que a essência do problema seja entendida.

Esta seção descreve problemas a serem abordados na definição de um modelo para objetos móveis e o início de uma solução para o problema.

4.1 Explorando os conceitos

4.1.1 O que se consulta em banco de dados de objetos móveis?

Bancos de dados são criados para armazenar informações que permitem processar consultas do usuário de maneira eficaz. No contexto de banco de dados de objetos móveis, vamos considerar que os objetos podem ser modelados em três tipos

de acordo com o seu comportamento temporal: estático, temporal discreto e temporal contínuo. Os atributos básicos também são três: descritivo ou convencional (alfanumérico), temporal e espacial. As consultas sobre atributos convencionais já são bastante tratadas pela literatura. Tratando-se de objetos móveis, o interesse maior é as consultas sobre a história do movimento do objeto, considerando o passado ou evolução futura.

Consultas basicamente são divididas em três tipos de acordo com os principais atributos que são tempo e espaço: as consultas temporais, espaciais e espaço-temporais. Considere as seguintes consultas:

Consulta 1: No tempo t_1 , qual é a localização do carro A?

Consulta 2: Quando o carro A estava na coordenada x_1, y_1 ?

Consulta 3: No tempo t_1 , o carro A estava fora da região central (demarcada pelo polígono X)?

Consulta 4: Quando o carro A estava fora da região central (demarcada pelo polígono X)?

Consulta 5: No tempo t_1 , o carro A estava do lado direito do carro B?

Consulta 6: Quando o carro A estava do lado direito do carro B?

Consulta 7 : Quando que o carro A entrará na região central?

Consulta 8: Qual é o local provável de interseção das trajetórias dos carros A e B?

Consulta 9: Quando o objeto sofreu rotação e qual é a sua velocidade angular?

As consultas 1 e 2 são consultas tradicionais em bancos de dados espaço-temporais. Quando o objeto móvel é inserido no contexto do mundo

real, o interesse passa a ser interação entre o objeto e os outros objetos nesse mundo. Agora, tem-se também relacionamentos entre objetos variando espaço e tempo. Sendo assim, podemos considerar as consultas de outros tipos: relacionamento de um objeto temporal com objetos estáticos e de um objeto temporal com outros objetos temporais. Observe que as consultas 3 e 4 tratam de relacionamento entre um objeto móvel com um objeto estático (região central). As consultas 5 e 6 tratam de relacionamento entre dois objetos móveis. As consultas 7 e 8 são exemplos de estimativas sobre futuro e a consulta 9 envolve um objeto não pontual.

4.1.2 Que dados de objetos móveis devem ser guardados?

O *movimento* consiste num relacionamento entre espaço e tempo. Não existe conceito do movimento apenas com espaço, pois sem tempo não se tem memória, e sem memória, não se percebe a mudança. Se o espaço representasse os estados do nosso mundo, o tempo seria uma espécie de índice para estados diferentes desse mundo. Podemos observar o papel de índice do tempo pelos exemplos de consultas, pois as consultas 1 e 3 retornam um só resultado, enquanto que consultas 2 e 4 podem retornar mais de um resultado. Ou seja, dado um tempo, só existe um estado de relacionamento espacial entre os objetos, mas esse mesmo estado pode acontecer em vários instantes. O movimento de um objeto é a história da mudança da sua posição considerando a geometria da mudança. O retrato dessa história é a trajetória do objeto. Dessa maneira, pode-se considerar que a trajetória é a definição do movimento armazenado como uma composição particular de tempo e espaço.

A *trajetória* é o registro do movimento. Ela demonstra a evolução da posição de um objeto móvel. É possível aproximar um movimento com pequenas trajetórias indexadas no tempo. Por exemplo, observando o rastro de um caramujo, pode-

se saber algumas informações sobre o seu movimento. Sabe-se que ele saiu de um ponto de coordenada x_1 e y_1 para um outro ponto de coordenada x_2 e y_2 , e o rastro indica que uma reta liga os dois pontos. Ou seja, pela simples observação do rastro, pode se perceber a localização espacial do caramujo, mas não se sabe quando cada pedaço da marca é feito. Sempre é possível marcar o tempo inicial e o tempo final para o ponto inicial e final do rastro.

Não se pode esquecer, no entanto, que o movimento do caramujo pode não ser uniforme durante esse intervalo. Uma solução aproximada seria dividir o rastro em intervalos pequenos suficientes para garantir que cada intervalo contempla movimentos uniformes e a aceleração ocorre no início de cada pequeno intervalo. Essa solução apresenta o inconveniente que o número desses intervalos pequenos seja grande demais. Nesse contexto, pode-se acrescentar intervalos de tolerância para diminuir o número de divisões. O caramujo pode até voltar para trás por mesmo caminho. Isso não seria problema, pois ele pode ser "equipado" com um GPS que amostra sua posição. Assim, mesmo que o trajeto seja sobre mesma reta, ele é registrado temporalmente.

A figura 1 ilustra a trajetória de objetos móveis. No exemplo, o movimento de um objeto pontual é um conjunto de pontos que formam uma reta (1); o movimento de um objeto linear é um conjunto de linhas que formam um polígono(2); e o movimento de um polígono é um conjunto de polígonos que formam um poliedro, cuja projeção no plano espacial 2D é também um polígono(3). Se o objeto ficar em repouso por um intervalo de tempo, sua trajetória pode ser representada por um ponto. Dessa maneira, a projeção do movimento no plano espacial pode ser vista como um objeto geométrico como ponto, reta ou polígono. Conseqüentemente, uma operação espacial sobre um objeto móvel não precisa mais envolver o atributo temporal. Isso pode ser vantajoso, pois alguns operadores podem ser implementados de maneira similar a operadores estritamente espaciais.

As operações mais custosas em um banco de dados espaço-temporal são as operações espaciais.

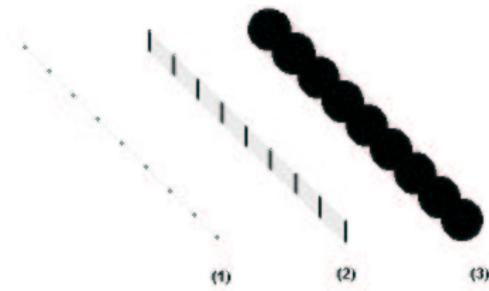


Figura 1: Trajetórias traçadas por ponto, linha e polígono.

5 Detalhes do modelo proposto

O modelo de Faria[6] é um modelo orientado a objetos voltado a dados vetoriais (denominados geo-objetos), que geralmente são representados em formato vetorial (ponto, linha e polígono). No espaço geográfico (meio onde as entidades geográficas coexistem), os objetos geográficos se relacionam, possuindo cada um seu estado (atributos) e comportamento (métodos). Os geo-objetos podem ser temporais ou atemporais. Quando temporais, eles descrevem a história dos objetos (incluindo seus atributos convencionais e espaciais).

As classes básicas do modelo de Faria são Time (com subclasses Event, Interval e TempElement) e Location, descrevendo respectivamente atributos temporais e espaciais. O modelo considera objetos estritamente temporais (armazenados na classe TempObject e suas subclasses) e estritamente espaciais (gerenciados na classe GeoObject e suas subclasses). A classe SpatialTempObject representa os geo-objetos temporais. A variação temporal de atributos espaciais é expressa pela classe GeomT.

A figura 2 apresenta o modelo de objetos móveis proposto, que é baseado na extensão do trabalho de Faria. Esta abordagem contempla de modo

uniforme os três tipos de dados: estático; espaço-temporal discreto e espaço-temporal contínuo. As classes que representam os objetos de mudança discreta são as mesmas do modelo original. Algumas outras classes que não sofreram mudanças foram omitidas na figura para fins de clareza.

A primeira modificação feita é a especialização da classe SpT em duas classes novas: ChangeObject e MoveObject. Como descrito na seção 2, um objeto móvel é uma especialização de objeto espaço-temporal e difere dos objetos tradicionais de bases de dados espaço temporais por mudar continuamente a sua localização. Portanto, os objetos espaço-temporais passam a ser representados pela classe ChangeObject e os objetos moveis passam a ser representados por MoveObject.

Sendo a classe MoveObject uma especialização da classe SpT, ela possui componente espacial e temporal. Segundo as definições anteriores sobre trajetória e movimento, sabe-se que um objeto móvel possui uma história descrita pelas suas trajetórias. Essa definição se reflete ao especificar que um objeto MoveObject é composto por uma lista de TrajT.

A classe TrajT possui atributos não-espaciais para guardar informações específicas de representação (tipo de projeção ou escala etc.), pois cada trajetória pode ser representada de maneira diferente. O componente espacial da classe TrajT é TrajGeomT que descreve a geometria da trajetória. Note que TrajT possui uma lista de TrajGeomT, pois cada TrajGeomT representa uma trajetória de movimento uniforme do objeto móvel. A concatenação desses pequenos trechos de trajetória compõe a trajetória contínua final. Note que cada trajetória representada pelo objeto do tipo TrajT denota um intervalo de movimento contínuo. Se houver descontinuidade (por falha de amostragem ou por quebras semânticas que a aplicação determina), um novo objeto do tipo TrajT será criado. TrajGeomT é a classe abstrata de geometrias que descrevem trajetórias. A seção 4.1 mostrou que é possível representar a trajetória de um objeto espacial 2D baseado em pontos, linhas e polí-

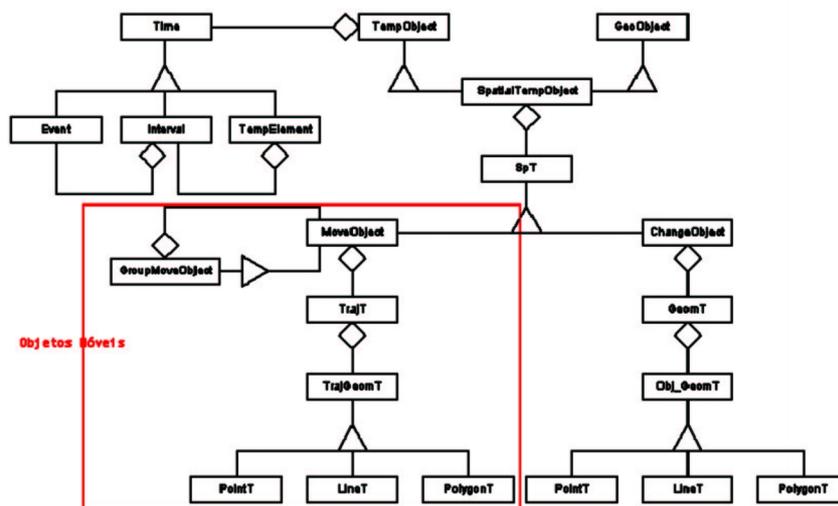


Figura 2: Modelo de objeto móveis

gonos. É por esta razão que a classe `TrajGeomT` pode ser especializada em `TrajPointT`, `TrajLineT` ou `TrajPolygonT`. Objetos `PointTrajT`, `LineTrajT` e `PolygonTrajT` descrevem respectivamente as trajetórias pontuais, lineares e poligonais. Considere um objeto pontual, se ele ficar em repouso, sua trajetória pode ser representado por um objeto do tipo `PointTrajT`. Um objeto do tipo `PointTrajT` é definido pela tupla $(x1, y1, [t1, t2])$, onde $x1$ e $y1$ descrevem a localização, e $[t1, t2]$ descreve o intervalo de tempo em que o objeto permaneceu no mesmo lugar.

Quando um objeto pontual se locomove, o seu movimento contínuo pode ser descrito por uma lista de objetos do tipo `TrajLineT`, representado por tuplas da seguinte maneira:

$$(x1, y1, [t1, t2], [(x2, y2, [t3, t4])])$$

onde $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$ são as posições iniciais e finais do trecho e $[t1, t2]$ denota o intervalo de tempo para percorrer o trecho.

Um objeto do tipo `TrajPolygonT` é semelhante a `TrajLineT`, onde os pontos início e fim são substituídos por uma lista de pontos que descrevem o polígono durante um intervalo de tempo.

Outra contribuição é o conceito de *grupo de objetos móveis*. Um grupo de objeto é formado por entidades independentes do mesmo tipo. Um grupo de objetos móveis permite que cada integrante do grupo tenha sua própria trajetória, e a trajetória do grupo é descrito por composição de todas as trajetórias. No modelo, um grupo de objetos móveis é composto por uma lista de objeto móveis e , a classe `GroupMoveObject` é composta pela classe `MoveObject`. Uma simples composição poderia denotar o conceito de grupo de objetos, mas quando se trata de objetos móveis, o grupo de objetos móveis tem a particularidade de possuir uma trajetória própria. Para isso, representar `GroupMoveObject` como a especialização do `MoveObject` indica que `GroupMoveObject` pode ter alguns atributos e métodos diferentes do `MoveObject`.

6 Conclusões e estado atual

Este trabalho apresentou uma proposta de modelagem de dados para bancos de dados de objetos móveis visando aplicações onde movimento contínuo e trajetória são fatores importantes. O trabalho se concentrou em discutir e descrever vários

problemas existentes neste tipo de contexto e, as tendências para sua solução. As classes do modelo de dados já estão definidas. Atualmente, está em andamento a atividade de especificação dos operadores básicos para o modelo. Operadores como move , stop , start , end , begin , finish , leave , arrive , enter , exit , start , end , begin , finish , leave , arrive , enter , exit estão atualmente sendo especificados.

Referências

- [1] A. Abraham and J. Roddick. Survey of Spatio-temporal Databases. *GeoInformatica*, 3(1):61–99, 1999.
- [2] S. Chamberlain, A.P. Sistla, O. Wolfson and S. Dao. Modeling and querying moving objects. In *Proc. IEEE Intl. Conf. On Data Engineering*, pages 422–432, Birmingham, UK, 1997.
- [3] JP. Cheylan, D. Gautier, S. Lardon, T. Libourel, H. Mathian, S. Motet, and L. Sanders. Les Mots du Traitement de l'Information Spatio-temporelle. *Revue Internationale de Géomatique*, 9(1):11–24, 1999.
- [4] M. Erwig and M. Schneider. Spatio-temporal Predicates. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 14, 2002.
- [5] G. Faria, C. B. Medeiros, and M. A. Nascimento. An Extensible Framework for Spatio-Temporal Scientific Database Applications. In *Proc. Tenth Intl Conf. on Scientific and Statistical Database Management SSDBM*, pages 202–206, 1998.
- [6] Glaucia Faria. Um banco de dados espaço-temporal para desenvolvimento de aplicações em sistemas de informação geográfica. Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- [7] L. Forlizzi, R. Guting, E. Nardelli, and M. Schneider. A Data Model and Data Structures for Moving Objects Databases. In *Proc. ACM SIGMOD Conference*, pages 319–330, 2000.
- [8] Jean Marc Saglio, José Moreira, Cristina Ribeiro and Michel Scholl. Issues in spatio-temporal database systems: data models, languages and moving objects. In *The encyclopedia of life support systems*.
- [9] M. Schneider, M. Erwig, R.H. Güting and M. Vazirgiannis. Spatio-temporal data types: An approach to modeling and querying moving objects in databases. *GeoInformatica*, 1999.
- [10] D. Peuquet. Making Space for Time: Issues in Space-Time Data Representation. *GeoInformatica*, 5(1):11–32, 2001.
- [11] D. Pfoser. *Issues in the Management of Moving Point Objects*. PhD thesis, University of Aalborg, 2000. Supervisor C. Jensen.
- [12] J. Saglio and J. Moreira. Oporto: A Realistic Scenario Generator for Moving Objects. *GeoInformatica*, 5(1):71–93, 2001.
- [13] S. Saltenis, C. Jensen, S. Leutenegger, and M. Lopez. Indexing the Positions of Continuously Moving Objects. In *Proc. ACM SIGMOD Conference*, pages 331–342, 2000.