

Privacidade de Localização em Serviços Móveis: Anonimidade- k baseada em Triângulo Pontualizado *

Rick ardo Debiazze N. Vieira¹, Magnos Martinello¹, Cesar A. C. Marcondes²

¹Departamento de Informática – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Av. Fernando Ferrari, S/N, 29060-970 – Vitória – ES, Brasil

²Departamento de Computação – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Rod. Washington Luís, Km 235, 13565-905 – São Carlos – SP, Brasil

{rick,magnos}@inf.ufes.br, marcondes@inf.ufscar.br

Resumo. *Este trabalho apresenta uma estratégia para garantir a privacidade de localização geográfica durante consultas a algum Serviço Baseado em Localização (SBL). A idéia-chave da proposta apoia-se em estruturas pontualizadas como região de anonimização e tem se mostrado eficiente em termos de qualidade de resposta ao usuário. Em particular, as respostas às consultas anônimas têm sido mais precisas utilizando-se um SBL Cooperativo, com o qual é possível o fornecimento de rotas estendidas. A apresentação do conceito de SBL Cooperativo é acompanhada de resultados que validam seu uso no contexto de consultas privadas.*

Abstract. *The proposed work presents an innovative strategy to support privacy for localization in queries to Location Based Service (LBS). The key idea of the approach relies on point-based structures as anonymity region. Analytical and experimental results have shown its effective quality in terms of replies to the users. In particular, the replies to the private queries have been more accurate using an cooperative LBS which provides extended routes. The concept of Cooperative LBS is presented with some results which demonstrate its use in the context of private queries.*

1. Introdução

Os modernos dispositivos móveis de comunicação têm se tornado populares e tem sido cada vez mais comum ter informação de posicionamento geográfico (GPS) embutida no dispositivo. Este fato contribui para o desenvolvimento de novas aplicações baseadas em localização. Por exemplo, o sistema de navegação On-Star da GM [Keegan 2007] utiliza a posição do veículo combinada com informações em tempo real para evitar engarrafamento e automaticamente alertar as autoridades em caso de acidente. Entretanto, revelar precisamente informações de posicionamento pode trazer problemas sérios de privacidade e confidencialidade para usuários móveis.

Toda vez que uma consulta é efetuada em um serviço baseado em localização (SBL), esta consulta contém a coordenada exata do usuário. Esta informação privada de localização pode ser correlacionada com outra informação pública (i.e. páginas amarelas) ou mesmo serviço de localização público, por exemplo *google maps*. Se as consultas

*Trabalho parcialmente apoiado pelo CAPES (projeto 225/2008 - Edital RH-TVD 01/2007).

forem efetuadas continuamente, então alguém não autorizado pode traçar os movimentos ou mesmo determinar caminhos percorridos pelo usuário móvel. Na prática, ao utilizar estes serviços, os usuários podem revelar alguma informação relacionada às suas vidas privadas.

Considere um cenário no qual um usuário móvel possui um *smartphone* equipado com GPS. Ele poderia usá-lo para perguntar: "Qual o hospital mais próximo da minha localização atual?". Caso essa consulta fosse interceptada, ela poderia revelar a existência de problemas de saúde na família do usuário. Para preservar a privacidade, ao invés de contactar diretamente um serviço de localização, o usuário poderia passar por um servidor confiável intermediário que esconderia sua identificação de origem (endereço IP). Estes serviços de navegação anônima na web estão disponíveis através de protocolos de anonimização tais como Crowds [Reiter and Rubin 1998] ou TOR [Syverson 2006] que proporcionam a anonimidade do emissor.

É importante observar que o serviço de comunicação anônima permite preservar, à primeira vista, a identidade do emissor. No entanto, a coordenada exata do usuário permanece exposta nesta consulta ao SBL. A partir dessa coordenada, é possível inferir a identidade do usuário em diversas situações, como, por exemplo, quando o usuário efetua a consulta do seu endereço residencial. Desse modo, o foco principal deste trabalho é responder à questão "Como efetuar consultas privadas a um SBL público sem revelar localização (identidade), obtendo a maior precisão possível nas respostas?".

As abordagens tradicionais encontradas na literatura buscam ocultar a localização do usuário construindo uma região de anonimização ao seu redor [Gruteser and Grunwald 2003, Gedik and Liu 2005, Ghinita et al. 2007, Zhong and Hengartner 2008], e enviando as coordenadas dessa região ao SBL. Partindo desses clássicos algoritmos de disfarce espacial, a proposta apresentada neste trabalho inova ao organizar de forma distinta a área geográfica a ser anonimizada. Em vez de ter cobertura plana e completa da região de anonimização, utilizam-se estruturas pontualizadas organizadas geometricamente (por exemplo, em forma de triângulo). Tais estruturas pontualizadas oferecem a possibilidade de traçar rotas para os destinos de interesse a partir de seus pontos, em oposição a ter-se um destino de interesse atrelado a uma figura geométrica plana (por exemplo, um retângulo) representativa de uma região. Além disso, tem-se múltiplas opções no fornecimento de sub-rotas (vias secundárias) dentro da região de anonimização.

As demais seções do artigo estão organizadas da seguinte forma: na seção 2, descrevem-se os fundamentos dos algoritmos de disfarce espacial de localização e introduz-se a noção de estruturas pontualizadas, formando referências anonimizadas. Na seção 3, descreve-se a proposta de anonimização fazendo comparações a luz da abordagem clássica [Ghinita et al. 2007]. Na seção 4, um estudo experimental é apresentado para avaliar a sensibilidade do algoritmo e de figuras escolhidas. Nesta seção, pode-se verificar compromissos entre quão anônimo o usuário está disposto a ser em troca de maior precisão do destino de interesse. Também, pode-se verificar que a quantidade de pontos e até a estrutura da figura tem impacto significativo na precisão da localização. Os trabalhos relacionados são brevemente discutidos na seção 5. O artigo é finalizado com uma visão geral dos pontos investigados e com propostas de trabalhos futuros, principalmente no campo teórico.

2. Fundamentos para Disfarce Espacial de Localização

Para motivar o estudo dos fundamentos para Disfarce Espacial de Localização, considera-se um cenário onde um usuário portando um *smartphone* equipado com GPS poderia obter, como resposta à consulta "Qual o hospital mais próximo da minha localização atual?", a coordenada desse hospital. Tal coordenada poderia ser fornecida pelo SBL considerando, por exemplo, o hospital mais próximo ao usuário em linha reta (distância Euclidiana). No caso deste usuário possuir em seu equipamento o mapa vetorial da região do contexto da consulta, o processamento da melhor rota para alcançar o "alvo" desejado poderia ser realizado no próprio *smartphone*.

Entretanto, tal alternativa apresenta dois inconvenientes. Primeiramente, deve-se considerar que nem sempre o alvo com a menor distância Euclidiana de um usuário é o alvo efetivamente mais próximo quando se traçam rotas em um mapa, principalmente no caso de haver congestionamentos e/ou obras em logradouros. Além disso, manter o mapa de uma região metropolitana armazenado em um equipamento móvel como um aparelho celular simples, ou mesmo em um *smartphone*, nem sempre é viável devido ao consumo de memória, haja vista o tamanho dos arquivos necessários para representar os mapas com dados raster, como os do *Google Maps* com fotos de satélite. O problema se agrava se for considerado o caso em que o usuário viaja com frequência, situação que forçaria a carga de um novo mapa a cada viagem.

A anonimidade no caso de dispositivos móveis equipados com GPS, é definida como a propriedade que visa garantir que a coordenada do usuário não possa ser identificada com esforço computacional razoável [Gruteser and Grunwald 2003].

Em algoritmos de disfarce espacial, um dos princípios adotados consiste em manter um grau de anonimidade em qualquer região diminuindo o nível de precisão das informações de localização [Gruteser and Grunwald 2003, Ghinita et al. 2007]. O algoritmo recebe como entrada a posição atual do usuário na área coberta e as posições de todos os usuários móveis pertencentes àquela região. Logo após, o algoritmo seleciona uma área geográfica suficientemente grande que é particionada em quadrantes de modo a garantir um grau de anonimidade mínimo (k_{min}) em cada quadrante [Gruteser and Grunwald 2003]. Assim, o posicionamento real dos usuários é embaralhado (criação do disfarce) de modo que um atacante não possa identificar a localização exata dos usuários.

Em seguida, os cálculos efetuados pelo SBL passam a ser realizados com base nas coordenadas desta área ao invés de utilizar coordenadas individuais. Evidentemente, nesta abordagem baseada em área, é preciso determinar as coordenadas da área do retângulo que contenha k usuários. Em outras palavras, é requerido estabelecer uma Região Espacial de nível k de Anonimização (K -ASR - *Anonymity Spatial Region*), tendo como objetivo que a probabilidade de encontrar um usuário em uma certa região que contenha k usuários seja $1/k$ (grau de anonimização [Ghinita et al. 2007]).

Na Figura 1, é apresentado um cenário ilustrativo onde pontos pretos representam usuários e pontos brancos representam locais de interesse desses usuários, por exemplo, hospitais. O retângulo sombreado indica uma K -ASR em torno de 6 usuários (isto é, $k = 6$). Nesse exemplo, uma pesquisa pelo hospital mais próximo retornaria como resultado as coordenadas do ponto branco interno à K -ASR, pois a distância entre uma área e um

ponto interno a esta área é 0 (zero). Em geral, o retorno de um SBL considerando K -ASRs é um conjunto de coordenadas dos pontos mais próximos à área fornecida.

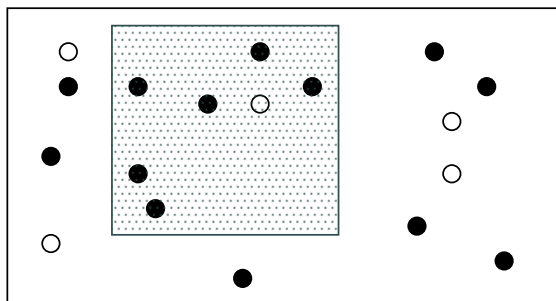


Figura 1. Usuários: pontos pretos; destinos: pontos brancos

Observa-se que se o usuário estiver em uma região extensa, a localização do alvo retornado pelo SBL poderá, eventualmente, ser tão remota que se torne inviável atingir o destino pretendido. Assim, o fato de não oferecer resultados que incluam rotas, tal como nas propostas [Gruteser and Grunwald 2003, Ghinita et al. 2007], é um limitante, haja vista que o usuário pode não estar interessado apenas em saber, por exemplo, qual o hospital mais próximo de sua atual localização, mas também como chegar até lá, o que em muitos casos pode ser de "vital" importância.

Para que o SBL entregue rotas, é de grande utilidade alguma orientação adicional a respeito da localização do usuário. Contudo, esta orientação adicional não deve comprometer o nível de anonimização desejado para as pesquisas efetuadas. A idéia-chave apresentada neste trabalho é substituir o envio das coordenadas de uma K -ASR pelo envio de coordenadas de uma estrutura pontualizada de anonimização, mantendo-se a privacidade da consulta sem revelar coordenadas específicas. Essas coordenadas consistem nas três coordenadas dos vértices de um triângulo equilátero e na coordenada de seu baricentro. Assim, coordenadas de quatro pontos são enviadas ao SBL, que devolve ao usuário como resultado quatro rotas até os pontos do "Triângulo Pontualizado de Anonimização" (TPA), conforme ilustrado na Figura 2.

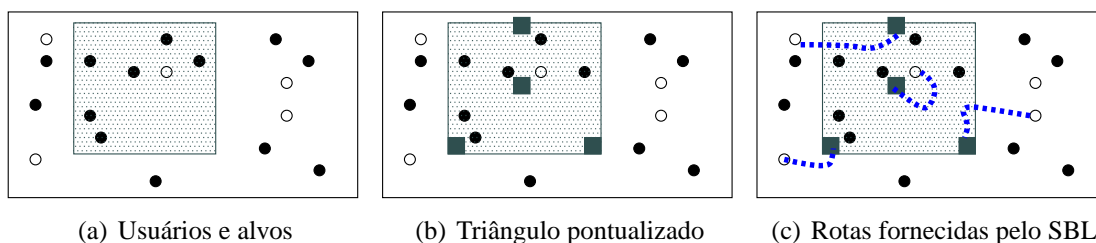


Figura 2. Anonimização utilizando Triângulo Pontualizado

Evidentemente, não há garantia de que tais rotas passem pelo usuário, já que os pontos fornecidos ao SBL não correspondem, em geral, à coordenada de qualquer usuário. Para contornar esse inconveniente, cunhou-se o conceito de "SBL Cooperativo".

Sabendo ser privada a consulta, o SBL Cooperativo tem a noção de que as coordenadas dos quatro pontos fornecidos não representam coordenadas de usuários, mas

coordenadas de pontos próximos a cada usuário do "grupo de anonimização". Então, de forma cooperativa, o SBL fornece trechos de rotas adicionais (rotas estendidas) como resposta ao usuário, na tentativa de "cobrir" a região em que ele se encontra.

De posse dessas quatro rotas e dos trechos de rotas adicionais, o usuário pode escolher a rota mais adequada de acordo com sua real localização até o alvo de interesse, isto é, até o local para o qual se buscam informações de rotas. A Figura 3 ilustra a idéia apresentada onde o retângulo tracejado foi mantido apenas como referência. Na Figura 3(a), os quadrados representam as coordenadas do TPA referente aos usuários internos ao retângulo tracejado. As linhas destacadas na Figura 3(b) indicam as rotas "convencionais" que um SBL pode retornar como resultado. Em se tratando de um "SBL Cooperativo", trechos de rotas adicionais podem ser fornecidos com o intuito de aumentar a probabilidade de indicar rotas completas para as verdadeiras coordenadas dos usuários. Estes trechos estão representados pelas linhas sem destaque. Mesmo não cobrindo toda a região de anonimização, esta medida fornece uma indicação adicional de rota aos usuários.

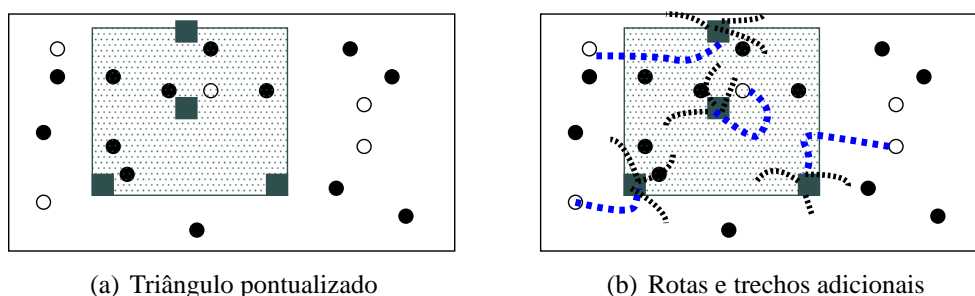


Figura 3. SBL Cooperativo

3. Proposta de Anonimização usando Estrutura Pontualizada

O usuário integrante de um sistema confiável (sistema este que conheça as coordenadas dos demais usuários), desejando efetuar uma consulta privada com um nível k de anonimização, solicita as coordenadas dos $k - 1$ usuários mais próximos [Ghinita et al. 2007]. De posse dessas coordenadas, este mesmo usuário efetua cálculos para a obtenção das coordenadas de uma região de anonimização que o contenha e também contenha os demais $k - 1$ usuários. Estas coordenadas são, então, enviadas ao SBL público como parâmetros de sua consulta privada.

Utilizando-se uma K -ASR, os cálculos efetuados pelo equipamento do usuário referem-se a obtenção das coordenadas de um retângulo. Quanto menor a área do retângulo obtido, mais precisa será a resposta fornecida pelo SBL. Contudo, tal área deve conter, no mínimo, os k usuários envolvidos no processo de anonimização. O menor retângulo com essa característica é formado pelas coordenadas extremas do grupo de usuários, ou seja, o menor e o maior valor de x e o menor e o maior valor de y .

Em relação ao Triângulo Pontualizado de Anonimização (TPA), coordenadas de 4 pontos são enviadas ao SBL. Estes 4 pontos são definidos como os vértices de um triângulo equilátero mais seu baricentro, que é representado pelo ponto médio dos k usuários. As dimensões desse triângulo são determinadas a partir de um desvio d calculado com base nas coordenadas fornecidas, conforme ilustrado na Figura 4.

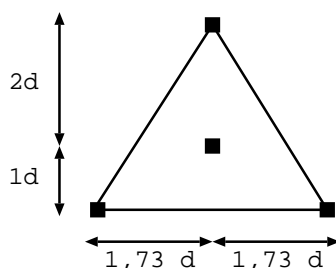


Figura 4. Formato do Triângulo Pontualizado de Anonimização (TPA)

4. Experimentos e Análise de Sensibilidade

Para avaliar a precisão da abordagem de anonimização proposta, foram realizados experimentos que buscaram simular o uso de um SBL Cooperativo nos moldes aqui expostos. O ambiente de testes, composto por uma estação Linux (distribuição SuSE 10.3) com 4GB de RAM e processador Intel Core 2 Duo 2.20 GHz, contou com implementações em C++ (compilador GCC 4.2-24) e shellscripts (shell bash) para simulações em lote. Dois tipos distintos de testes foram idealizados: (i) avaliação da precisão do TPA e (ii) avaliação do serviço SBL Cooperativo.

O primeiro tipo de testes teve por objetivo verificar, em termos de precisão, a viabilidade da substituição do uso de uma ASR pelo uso do TPA. Essa viabilidade foi avaliada com relação à porcentagem de acertos obtidos em consultas a um SBL pelos alvos mais próximos dos usuários. No presente estudo, diversas formas geométricas foram testadas em conjunto, conforme apresentado na Figura 5.

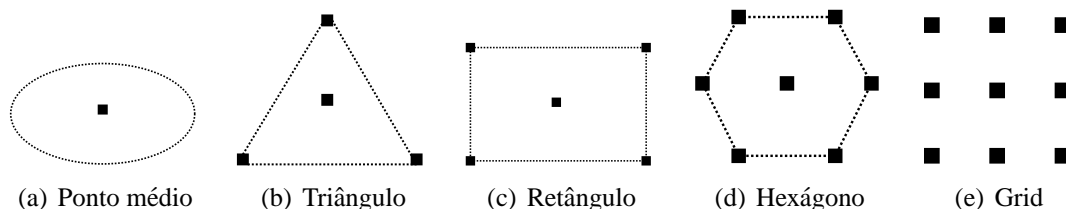


Figura 5. Formas geométricas pontualizadas de anonimização

4.1. Avaliação de desempenho utilizando um triângulo

Um aspecto que inicialmente deve ser considerado refere-se à precisão de resultados obtidos. Por não favorecer o traçado de rotas, uma K -ASR tem sua precisão medida em relação a distâncias Euclidianas dos alvos considerados, ou seja, caso o alvo mais próximo da K -ASR seja o alvo mais próximo do usuário que efetua a pesquisa, considera-se que houve um acerto na resposta obtida.

O TPA, bem como qualquer outra figura pontualizada, além de fornecer rotas, permite que distâncias Euclidianas sejam calculadas com relação a cada um de seus quatro pontos. Neste caso, o acerto é computado caso qualquer um dos quatro alvos retornados como resposta seja o alvo mais próximo do usuário. Como o retorno de um SBL relativamente a uma K -ASR tem tamanho arbitrário (isto é, pode ser retornado um número variado de alvos em potencial) e o retorno de um SBL relativamente a um TPA é sem-

pre de tamanho 4 (dado que são passados 4 pontos ao SBL), definiu-se para ambas as abordagens a quantidade de 4 alvos como retorno para efeito de comparação.

Para validar o uso do TPA, utilizou-se um plano cartesiano de dimensões 10000x10000 que representou uma região metropolitana de 100 km^2 . Nessa região, espalharam-se aleatoriamente 10 pontos que representaram alvos. Uma outra região de dimensões 3000x2000 (6 km^2) foi definida no centro do plano de 100 km^2 , dentro da qual foram espalhados, também aleatoriamente, diversos pontos que representaram as coordenadas de usuários. Os pontos de usuários foram confinados nessa segunda região com o intuito de simular a determinação da K-ASR e do TPA de forma que os alvos pudessem se situar tanto interna quanto externamente a essas regiões de anonimização.

A quantidade de usuários variou de 10 a 100 (em passos de 10 em 10), estabelecendo níveis de anonimização entre 10% e 1%, respectivamente (1/10 e 1/100). Para cada uma dessas quantidades, foram geradas 100 instâncias de pontos aleatórios de usuários e alvos. A partir dessas instâncias, gerou-se uma K-ASR e um TPA com as coordenadas dos usuários e calcularam-se os alvos mais próximos de cada região de anonimização. Adicionalmente, para cada usuário das instâncias de teste foi calculado o alvo efetivamente mais próximo em termos de distâncias Euclidianas. Assim, considerou-se um acerto por parte da região de anonimização o retorno que continha tal alvo. A Tabela 1 resume os resultados obtidos.

Tabela 1. Comparação ASR versus TPA

N° de Usuários	Acertos		Precisão	
	ASR	TPA	ASR	TPA
10-20	2926	2776	92,73%	92,50%
30-40	6852	6444	97,86%	91,93%
50-60	10722	10035	97,47%	91,20%
70-80	14701	13958	98,64%	93,08%
90-100	18471	17557	98,15%	92,45%
Precisão Global			97,97%	92,23%

Apesar da ligeira superioridade de resultados obtidos por parte da abordagem de K-ASR frente à proposta neste artigo, observa-se um resultado bastante satisfatório para justificar o uso do TPA como região de anonimização sem prejuízo para a precisão do processo. As demais figuras pontualizadas que tiveram sua precisão testada obtiveram os seguintes resultados: um único ponto central 63,41%, retângulo 94,96%, hexágono 96,34% e grid 98,39%.

É interessante observar que houve uma melhoria de precisão visivelmente proporcional ao número de pontos utilizados para representar a figura. Esta melhoria é consequência do acréscimo no poder de captura de agrupamento dos usuários proporcionado pelo aumento de pontos. No entanto, a escolha do triângulo como figura de anonimização deve-se à sua simplicidade em termos de custo computacional (conforme discutido na seção anterior), sem, contudo, deixar de manter um compromisso aceitável de precisão (em torno de 93%).

4.2. Avaliação do SBL Cooperativo

A proposta de SBL Cooperativo foi testada para 10 instâncias de grafos que representaram os logradouros de uma região metropolitana de 100 km^2 , formando mapas de uma cidade. Cada mapa foi gerado de forma aleatória, garantindo-se a conexão direcional entre cada cruzamento obtido no processo. Cada um dos 10 mapas possui 1400 cruzamentos, com uma média de 14 cruzamentos por km^2 .

Conforme explanado anteriormente, o SBL Cooperativo retorna uma rota para cada um dos pontos do TPA fornecido (ou seja, quatro rotas), bem como alguns trechos adicionais para cada rota. Estabeleceu-se para efeito de testes, a quantidade de 3 trechos adicionais por caminho. Cada trecho adicional acrescenta 5 cruzamentos à rota original fornecida pelo SBL (vide Figura 3(b)).

A definição dos cruzamentos que compunham cada trecho adicional da rota referente a cada ponto do TPA deu-se da seguinte forma: escolheu-se um cruzamento adjacente ao ponto do Triângulo que tivesse uma ligação (isto é, um logradouro) direcionada para esse ponto e certificou-se de que esse cruzamento não fazia parte da rota original ou de algum trecho adicional já definido para o referido ponto; dessa forma, o cruzamento era adicionado ao trecho. A adição de cruzamentos a cada trecho continuava até que o tamanho do trecho atingisse o valor estipulado de 5 cruzamentos ou até que não houvesse mais cruzamentos que satisfizessem à condição de não-pertinência a rotas e/ou trechos.

Cada uma das instâncias criadas para validar a abordagem de TPA foi apresentada como entrada para o SBL Cooperativo em suas 10 instâncias de mapas. Como os pontos dos usuários e dos alvos, gerados de forma aleatória, nem sempre coincidiam com os pontos dos cruzamentos, houve uma aproximação prévia daqueles para estes. Ou seja, os pontos dos usuários e dos alvos foram mapeados para os pontos de cruzamentos mais próximos.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos. A porcentagem indicada na coluna "Rota" refere-se às situações em que o usuário encontrava-se sob uma das rotas principais fornecidas pelo SBL Cooperativo. Semelhantemente, a coluna "Trechos" resume as situações em que o usuário encontrava-se sob algum dos trechos adicionais fornecidos.

Tabela 2. Avaliação do SBL

N° de Usuários	Rota	Trechos	Distância 1	Distância 2	Distância 3	Alcance
10-20	1,11%	4,97%	35,66%	18,66%	11,23%	71,63%
30-40	1,16%	5,29%	14,58%	9,23%	7,01%	37,27%
50-60	1,29%	4,60%	9,24%	5,72%	4,24%	25,09%
70-80	1,30%	4,54%	7,53%	5,67%	4,68%	23,72%
90-100	1,34%	5,32%	6,97%	6,31%	6,12%	26,06%
Alcance Médio: 36,75%						

Entretanto, mesmo não tendo uma rota passando por sua localização exata, o usuário, muitas vezes, é capaz de se orientar caso esteja próximo à rota indicada. Para efeito de avaliação, definiu-se que o usuário poderia alcançar o destino desejado caso estivesse a no máximo três cruzamentos desta rota. Desta forma, as colunas

”Distância 1”, ”Distância 2” e ”Distância 3” apresentam as porcentagens dos casos em que o usuário encontrava-se a 1, 2 e 3 cruzamentos das rotas, respectivamente. A coluna ”Alcance” apresenta o resultado combinado das demais colunas.

Nota-se que o uso de trechos adicionais, característica singular do SBL Cooperativo, proporciona um incremento de acertos visivelmente substancial (acima de 300%), resultado esse que demonstra um significativo potencial relacionado à proposta apresentada. Adicionalmente, numa média de 36,57% dos casos, o usuário consegue alcançar o destino desejado, considerando-se o plausível critério de até 3 cruzamentos de distância da rota.

5. Trabalhos relacionados

Anonimidade K foi inicialmente discutida em banco de dados relacionais [Sweeney 2002]. Os autores do trabalho [Xiao and Tao 2006] apresentam um caso onde cada indivíduo necessita de um nível diferente de anonimidade K , enquanto que [Aggarwal 2005] mostrou que anonimização em um relacionamento de alta dimensão resulta em perdas de informação inaceitáveis. Finalmente, no trabalho de [Kifer and Gehrke 2006] foi proposta uma diversidade- l que é um método de anonimização que protege contra divulgação de valores dos atributos sensíveis.

Nos trabalhos [Gruteser and Grunwald 2003, Gedik and Liu 2005, Ghinita et al. 2007], o conceito de anonimidade K é adotado no domínio de um Serviço Baseado em Localização (SBL), cuja idéia consiste em disfarçar a localização de um usuário construindo uma região espacial de anonimização- k (K -ASR). Tal região atua como uma máscara para a localização do usuário que efetua a consulta, pois além deste usuário contém outros $k - 1$ usuários adicionais.

Ao contrário das propostas anteriores, este trabalho desvincula-se da K -ASR utilizando a idéia de estruturas pontualizadas para estabelecer uma região de anonimização. Ou seja, em vez de trabalhar com áreas, utilizam-se simplesmente pontos. Uma das vantagens de estruturas pontualizadas é permitir o traçado de rotas para a região anonimizada e não apenas indicar o alvo mais próximo da região.

Uma das funções tradicionais de um SBL consiste em traçar rotas, característica esta que é favorecida pelo uso dos pontos das estruturas pontualizadas. Neste trabalho, esta funcionalidade é estendida para fornecer uma resposta mais precisa a uma consulta privada. Além de prover rotas para os pontos indicados, trechos adicionais são fornecidos ao usuário para alcançar sua localização com maior probabilidade. Esta funcionalidade é desempenhada pelo ”SBL Cooperativo”.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

O fato de o uso da K -ASR apresentar probabilidade ligeiramente superior de acertos em relação ao uso do *Triângulo Pontualizado de Anonimização* (TPA) é compensado pelo fato de esta última abordagem permitir o traçado de rotas efetivas com alguma orientação do ponto onde encontra-se o usuário. Além disso, o critério adotado por uma K -ASR para definir os alvos mais próximos (distância Euclidiana) nem sempre indica o alvo mais próximo ao se considerar rotas em um mapa.

Dados os resultados em termos de acertos efetivos, a idéia do uso do TPA apresenta-se promissora para inferir rotas em contextos de privacidade obtida por meio

de anonimização, haja vista possibilitar o fornecimento de rotas estendidas em cerca de 37% dos casos.

Há de se considerar o fato de que obter privacidade implica em perda de precisão. Evidentemente, o incremento de pontos nessa região de anonimização (alterando o seu formato de triângulo para retângulo, por exemplo) tende a ampliar a precisão, com a contrapartida óbvia de fornecer mais rotas e trechos, o que pode chegar a confundir o usuário ou mesmo impossibilitar o processamento dos dados em seu aparelho móvel. Fica clara a necessidade de alcançar um equilíbrio entre esses dois aspectos.

Uma forma do SBL ampliar o nível de acerto em suas respostas é fornecer trechos mais significativamente úteis como retorno ao usuário. Nos testes realizados, nem sempre eram encontrados três trechos adicionais utilizando-se os critérios adotados (não-sobreposição de trechos/rotas). Desta forma, surge a necessidade de encontrar os "trechos ótimos" a serem entregues ao usuário, tanto em termos de tamanho ideal quanto em termos de disposição espacial. Pretende-se estudar este problema de otimização em maior profundidade.

Referências

- Aggarwal, C. C. (2005). On k-anonymity and the curse of dimensionality. In *In VLDB*, pages 901–909.
- Gedik, B. and Liu, L. (2005). Location privacy in mobile systems: A personalized anonymization model. In *Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems-ICDCS*, pages 620–629.
- Ghinita, G., Kalnis, P., and Skiadopoulos, S. (2007). Privé: Anonymous location-based queries in distributed mobile systems. *16th international conference on World Wide Web*, (1):371–380.
- Gruteser, M. and Grunwald, D. (2003). Anonymous usage of location-based services through spatial and temporal cloaking. *Proceedings of First ACM/USENIX International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys)*.
- Keegan, M. (2007). Onstar could thwart car thieves. *The Auto Writer*.
- Kifer, D. and Gehrke, J. (2006). l-diversity: Privacy beyond k-anonymity. In *In ICDE*, pages 24–35.
- Reiter, M. and Rubin, A. (1998). Crowds: Anonymity for web transactions. *ACM Transactions on Information and System Security*, 1(1).
- Sweeney, L. (2002). k-anonymity: A model for protecting privacy. *International Journal of uncertainty fuzziness and knowledge*.
- Syverson, P. (2006). Locating hidden servers. *IEEE Symposium on Security and Privacy*, 1(1).
- Xiao, X. and Tao, Y. (2006). Personalized privacy preservation. *Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on Management of data*.
- Zhong, G. and Hengartner, U. (2008). Toward a distributed k-anonymity protocol for location privacy. *Conference on Computer and Communications Security Proceedings of the 7th ACM workshop on Privacy in the electronic society*, pages 33–38.