

CLASS-CHASE: Um Algoritmo para Classificação de Tipos de Padrões de Perseguição em Trajetórias de Objetos Móveis

Fernando de Lucca Siqueira¹, Vania Bogorny¹

¹Departamento de Informática e Estatística (INE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis, Brasil

fernandols@inf.ufsc.br, vania.bogorny@ufsc.br

Abstract. *Tracking technology like GPS and cell phones generates huge amounts of spatio-temporal data, that are typically large and confuse. These data are called trajectories of moving objects. There are several studies in the literature that discover types of movement patterns like flocks, avoidance and leadership. A pattern that has received little attention is chasing. Chasing can be applied in many domains like human behavior analysis, criminal record and animal hunting. This article proposes the definition of different types of chasing and an algorithm to compute chasing patterns. Experimental results show that the method correctly classifies the type of chasing.*

Resumo. *Tecnologias de rastreamento como GPS e celulares geram grandes quantidades de dados espaço-temporais, que são volumosos e confusos. Estes dados são chamados de trajetórias de objetos móveis. Estudos investigam padrões de movimento como flocks, avoidance e leadership. Um novo tipo de padrão ainda pouco explorado é o padrão de perseguição, que pode ser aplicado em várias áreas como análise de comportamento humano, rastreamento de criminosos e caçada de animais. Este artigo propõe a definição de diferentes tipos de padrões de perseguição e um algoritmo para classificá-los. Experimentos iniciais mostram que o método classifica corretamente o tipo de perseguição.*

1. Introdução

Dispositivos móveis que coletam as trajetórias de seus indivíduos, como GPS e telefone celular, geram enormes quantidades de dados espaço-temporais chamados de trajetórias de objetos móveis. Estes dados, entretanto, são volumosos e confusos, necessitando de métodos e ferramentas inteligentes para extrair informações úteis destes dados. Existem vários domínios de aplicação que fazem uso de dados espaço-temporais como previsão de tempo, tráfego urbano, desastres naturais, mobilidade urbana e jogos eletrônicos.

Vários trabalhos na área de trajetórias tem focado na descoberta de novos padrões de movimento. Laube [Laube et al. 2005] foi um dos pioneiros, definindo quatro tipos de padrões de movimento: Convergência (trajetórias diferentes convergindo para uma mesma região em tempos diferentes), Encontro (trajetórias diferentes localizadas na mesma região ao mesmo tempo), Flock (grupo de trajetórias andando juntas) e Liderança (grupo de trajetórias andando juntas com um objeto liderando). Cao [Cao et al. 2006] apresentou a idéia de sequências de eventos periódicos, episódios frequentes, onde busca trajetórias que permanecem juntas durante um período de tempo definido por uma janela temporal. Lee [Lee et al. 2008] propõe um método para classificar sub-trajetórias de

acordo com seu objetivo como, por exemplo, barcos que param em áreas de pesca são classificados como barcos pesqueiros e barcos que param em portos de contêiner são classificados como barcos de carga.

Uma área de pesquisa ainda pouco explorada é a análise de comportamento em trajetórias. Ao contrário dos trabalhos citados anteriormente, que focam na geometria dos padrões, a análise de comportamento tenta explicar como o objeto agiu, dando mais semântica ao padrão. Alvares [Alvares et al. 2011] propôs um algoritmo para identificar trajetórias que desviam de certos objetos como, por exemplo, um suspeito desviando câmeras de segurança ou postos policiais. Baglioni [Baglioni et al. 2009] classifica trajetórias com base nos locais que o objeto frequenta como, por exemplo, trajetórias que passam por hotéis e pontos turísticos são trajetórias de turistas. Legendre [Legendre et al. 2006] define o movimento dos objetos a partir de regras de comportamento. Por exemplo, para andar sozinho o objeto deve desviar de obstáculos e de outros objetos.

Siqueira [Siqueira and Bogorny 2011] foi o primeiro trabalho a definir formalmente uma perseguição, assim como o algoritmo TRA-CHASE para identificar padrões de perseguição entre trajetórias, considerando tempo, distância e velocidade. Perseguição entre trajetórias pode ser utilizada em diversos tipos de aplicação como monitoramento de pessoas, análise de crimes, comportamento de animais, jogos de computador, etc. O problema dos padrões de perseguição encontradas em [Siqueira and Bogorny 2011] é que uma perseguição é genérica, podendo identificar padrões falso-positivos como, por exemplo, duas pessoas andando no mesmo caminho sem o conhecimento uma da outra ou carros em uma rodovia. Nestes casos a perseguição é coincidência e acidental, mas o método irá identificar este padrão.

Uma perseguição pode ter características diferentes que variam de acordo com seu objetivo e com o comportamento de ambas as trajetórias durante e após a perseguição. Dessa forma, este artigo propõe a extensão do trabalho de [Siqueira and Bogorny 2011] com a definição de diferentes tipos de padrões de perseguição, assim como um algoritmo para identificar o tipo da perseguição, com o objetivo de aumentar a certeza que o padrão encontrado foi realmente uma perseguição. O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os tipos de perseguição, a Seção 3 descreve o algoritmo proposto CLASS-CHASE, a Seção 4 apresenta um experimento realizado para validar o método e a Seção 5 apresenta a conclusão do artigo.

2. Tipos de Perseguição

Um padrão de perseguição pode apresentar diversas características, sendo necessária a classificação de diferentes tipos. Este trabalho define cinco tipos de perseguição (espionagem, captura, assalto, caçada e guia), analisando o comportamento das trajetórias durante e após a perseguição.

Para definir o tipo de perseguição são analisadas as *regiões* de parada e baixa velocidade das trajetórias onde ocorreu a perseguição e como elas se comportam durante e após essas *regiões*. Por exemplo, o tipo de perseguição *espionagem*: Um espião ou um detetive persegue seu alvo evitando ser visto. Para isso, ele não deve alcançar a vítima, mantendo sempre uma certa distância durante a perseguição. Portanto, quando o alvo da perseguição parar de se movimentar ou estiver a uma velocidade muito baixa, o espião

deve parar no mesmo tempo, mas em local diferente, evitando assim ser visto, como demonstra a figura 1(a), onde os pontos de parada nos instantes 6 e 15 são disjuntos no espaço e se sobre põe no tempo.

O padrão de perseguição de *captura* é diferente, conforme pode ser observado na figura 1(b). O perseguidor tenta capturar seu alvo, então sua velocidade deve ser similar ou maior do que a velocidade do alvo, a fim de alcançá-lo. Quando ambas as trajetórias se encontram, há uma abordagem do perseguidor a sua vítima, caracterizada por uma parada, e depois disso elas seguem juntas. Por exemplo, um policial perseguindo um criminoso, prendendo-o, e levando-o para a delegacia.

A maior característica do tipo de perseguição de *assalto*, ilustrada na figura 1(c), é o comportamento das trajetórias após o encontro (assalto). Uma trajetória persegue o alvo por um tempo até alcançá-lo, onde ambas ficam paradas por um determinado período de tempo na mesma região. Após a parada, cada trajetória segue para um caminho diferente. Por exemplo, um assaltante perseguindo uma vítima, realizando o roubo e logo após foge.

A *caçada* é similar a captura. O perseguidor tenta alcançar o alvo movendo-se em sua direção, mas a grande diferença é que uma vez que ambos os objetos se encontram, permanecem na mesma região por um tempo e depois o perseguidor continua sua trajetória, enquanto o alvo permanece imóvel ou tem o fim de sua trajetória, como demonstra a figura 1(d). Este padrão pode caracterizar, por exemplo, a caça de um animal por outro ou um assassinato.

Já o tipo de perseguição de *guia* é mais similar ao de espionagem. Nem toda perseguição tem uma má intenção, podendo então existir casos onde o comportamento é consentido. Um exemplo é alguém servindo de guia. Caso uma pessoa não saiba como chegar em um local, outra pode se habilitar a mostrar o caminho, pedindo para segui-la até o local pretendido. Neste tipo de perseguição ambas as trajetórias tem velocidade similar, e ao final das trajetórias, as mesmas se encontram e param na mesma região ao mesmo tempo.

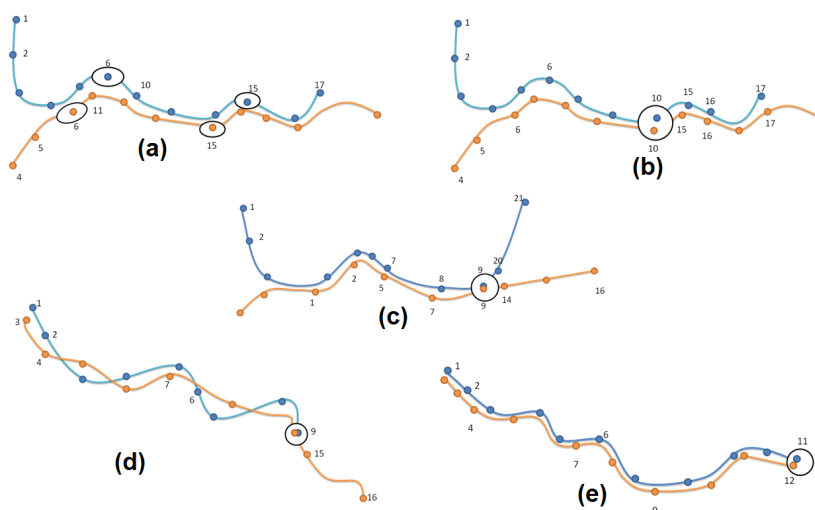


Figure 1. Tipos de perseguição (a) espionagem (b) captura (c) assalto (d) caçada (e) guia.

3. CLASS-CHASE: Algoritmo de classificação de padrões de perseguição

Esta seção apresenta o pseudo-código do algoritmo CLASS-CHASE (Listing 1). O algoritmo leva como entrada um conjunto de trajetórias. A saída do algoritmo é o conjunto de padrões de perseguição classificados. Primeiramente o método verifica se houve perseguição no conjunto de dados de entrada com a função genérica TRA-CHASE (linha 6), que foi definida por [Siqueira and Bogorny 2011].

O segundo passo é classificar os padrões de perseguição, que é a contribuição deste artigo. Para cada perseguição (linha 8) é aplicado o método CB-SMoT [Palma et al. 2008], que utiliza a idéia de stops e moves de [Spaccapietra et al. 2008], onde stops são regiões importantes da trajetória em que o indivíduo permanece por um certo período de tempo. Cada stop gerado pelo método CB-SMoT é uma região da trajetória onde o objeto permaneceu imóvel ou com baixa velocidade. Esse algoritmo foi utilizado para identificar as áreas em que os objetos permanecem imóveis ou se encontram. O algoritmo calcula os stops das trajetórias com perseguição (linhas 11 e 12) e, para cada stop encontrado, é verificado se o tempo dos stops se intercepta (linha 15). Este passo serve para ter certeza de que ambos os stops aconteceram em intervalo de tempo semelhante, evitando assim comparar stops em tempos diferentes. Importante notar que a idéia não é comparar o tempo exato e sim se ocorreram em *intervalos similares*.

Listing 1. CLASS-CHASE pseudo-código

```

1  Entrada:
2      T: conjunto de trajetórias
3  Saída:
4      chase: conjunto de perseguições classificadas
5
6  chase = TRA-CHASE(T); //método que encontra padrões de perseguição genéricos
7
8  Para cada c ∈ chase
9      t1 = c.alvo;
10     t2 = c.perseguidor;
11     stops1= CB-SMoT(t1); //gera stops da trajetoria 1
12     stops2= CB-SMoT(t2); //gera stops da trajetoria 2
13     Para cada s1 ∈ stops1
14         Para cada s2 ∈ stops2
15             Se (verificaIntervaloTempo(s1,s2))
16                 Se (s1.nome = s2.nome)
17                     Se(andamJuntas(t1.depoisDeS1, t2.depoisDeS2))
18                         P = captura;
19                     Senão Se(separam(t1.depoisDeS1, t2.depoisDeS2))
20                         P = assalto;
21                     Senão Se(terminaDepois(t1,s1) e terminaDepois(t2,s2))
22                         P = guia;
23                     Senão Se(terminaDepois(t1,s1))
24                         P = caça;
25                     Senão Se (stopDurantePerseguiçao(s1, c) e stopDurantePerseguiçao(s2, c))
26                         P = espionagem;
27     Fim para cada
28     Fim para cada
29     c.tipoPerseguiçao = P;
30 Fim para cada
31
32 Retorne chase;

```

Após encontrar os stops, o algoritmo verifica se ambos os stops tem o mesmo nome (linha 16), pois stops de mesmo nome ocorreram na mesma região. Se após o stop as trajetórias passam a andar juntas (linha 17), o padrão é definido como um padrão de perseguição de captura. Caso esse comportamento não tenha sido observado é feito o teste de padrão de perseguição de assalto, onde é verificado se as trajetórias se separaram após o stop (linha 19). O tipo de perseguição de guia é identificado quando ambas as trajetórias terminam após o stop com a função terminaDepois(t,s) (linha 21), que retorna verdadeiro caso a trajetória *t* tenha seu final no stop *s*. Para o tipo caça, apenas a trajetória

alvo $t1$ deve ter seu fim após seu stop (linha 23). Quando o par de stops analisados não tem o mesmo nome, ou seja, não estão no mesmo espaço, o algoritmo verifica se ambos stops ocorreram durante a perseguição (linha 25), caracterizando assim um padrão de espionagem. Por fim, o algoritmo define o tipo de cada padrão de perseguição e retorna o conjunto de padrões de perseguição classificado.

4. Experimento Preliminar

Por limitações de espaço, esta seção apresenta experimentos para validar o tipo de padrão de espionagem, com um conjunto de dados gerado em Florianópolis, sendo pontos coletados a cada 2 segundos. Nesse conjunto, dois indivíduos, sem o conhecimento um do outro, receberam um aparelho de GPS. O primeiro indivíduo foi instruído para se dirigir a um local e aguardasse novas instruções. A cada local ele aguardava uma nova instrução, dizendo o próximo lugar a se dirigir. O segundo indivíduo foi instruído a perseguir o primeiro, mantendo sempre uma distância para evitar ser percebido, simulando uma espionagem.

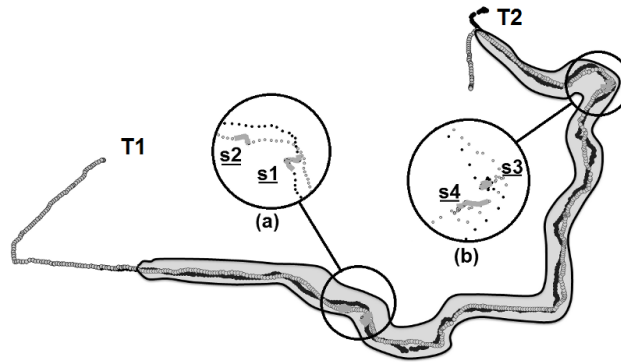


Figure 2. Stops encontrados na perseguição e sua localização nas trajetórias.

O primeiro passo do método CLASS-CHASE gerou o padrão de perseguição ilustrado na figura 2, onde a trajetória mais clara, representada como $T1$, persegue a trajetória alvo mais escura, representada como $T2$. Na região cinza ocorreu o padrão de perseguição.

Table 1. Stops encontrados pelo método CB-SMoT nas trajetórias T1 e T2

ID Stop	ID Trajetória	Nome	Início	Final
s1	T2	0unknown	2011-01-27 19:30:07	2011-01-27 19:34:09
s2	T1	1unknown	2011-01-27 19:30:21	2011-01-27 19:34:23
s3	T2	2unknown	2011-01-27 19:42:01	2011-01-27 19:44:01
s4	T1	3unknown	2011-01-27 19:42:33	2011-01-27 19:44:33

O segundo passo foi classificar o tipo de perseguição. O método CB-SMoT encontrou 4 stops, 2 em cada trajetória, como ilustra a tabela 1. A figura 2 ilustra espacialmente onde ocorreram os stops. Na tabela 1, a trajetória $T2$ teve um stop $s1$ durante o tempo 19:30:07 e 19:34:09. A trajetória $T1$ teve um stop $s2$ durante o tempo 19:30:21 e 19:34:23. Note que os stops de cada trajetória tem nome diferente, pois aconteceram em locais distintos, porém em intervalo de tempo muito similar, caracterizando uma perseguição do tipo espionagem. Essa mesma característica foi observada entre os stops $s3$ e $s4$.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho estende o trabalho de [Siqueira and Bogorny 2011] para classificar diferentes tipos de padrões de perseguição. Foram definidas cinco classes de padrões de perseguição entre trajetórias. Também foi definido um algoritmo, chamado CLASS-CHASE, para identificar o tipo de padrão de perseguição. O algoritmo utiliza o conceito de stops e moves para identificar regiões onde as trajetórias permanecem por um certo tempo. Até o presente momento, o algoritmo foi testado com um conjunto de dados simulando uma perseguição de espionagem. Trabalhos futuros incluem a validação de todos os tipos de perseguição, bem como a análise da complexidade e escalabilidade do algoritmo.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o CNPQ, a Fapesc e a UFSC pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

References

- Alvares, L. O., Loy, A. M., Renso, C., and Bogorny, V. (2011). An algorithm to identify avoidance behavior in moving object trajectories. *J. Braz. Comp. Soc.*, 17(3):193–203.
- Baglioni, M., de Macêdo, J. A. F., Renso, C., Trasarti, R., and Wachowicz, M. (2009). Towards semantic interpretation of movement behavior. In Sester, M., Bernard, L., and Paelke, V., editors, *AGILE Conf.*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pages 271–288. Springer.
- Cao, H., Mamoulis, N., and Cheung, D. W. (2006). Discovery of collocation episodes in spatiotemporal data. In *ICDM*, pages 823–827. IEEE Computer Society.
- Laube, P., Imfeld, S., and Weibel, R. (2005). Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(6):639–668.
- Lee, J.-G., Han, J., Li, X., and Gonzalez, H. (2008). *raClass*: trajectory classification using hierarchical region-based and trajectory-based clustering. *PVLDB*, 1(1):1081–1094.
- Legendre, F., Borrel, V., de Amorim, M. D., and Fdida, S. (2006). Modeling mobility with behavioral rules: The case of incident and emergency situations. In Cho, K. and Jacquet, P., editors, *AINTEC*, volume 4311 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 186–205. Springer.
- Palma, A. T., Bogorny, V., and Alvares, L. O. (2008). A clustering-based approach for discovering interesting places in trajectories. In *ACMSAC*, pages 863–868, New York, NY, USA. ACM Press.
- Siqueira, F. L. and Bogorny, V. (2011). Discovering chasing behavior in moving object trajectories. *T. GIS*, 15(5):667–688.
- Spaccapietra, S., Parent, C., Damiani, M. L., de Macedo, J. A., Porto, F., and Vangenot, C. (2008). A conceptual view on trajectories. *Data and Knowledge Engineering*, 65(1):126–146.