

Controle de *Pinning* Adaptativo de Sincronização com Aplicações a Rede de Veículos Autônomos

Luiz Felipe R. Turci, Mateus M. R. Simões, Mayk Vieira Coelho

Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG,
Campus Avançado de Poços de Caldas – MG

E-mail: luiz.turci@unifal-mg.edu.br, mateusmrsimoes@hotmail.com, mayk.coelho@unifal-mg.edu.br.

RESUMO

As estratégias de controle adaptativo de sincronização presentes na literatura são capazes de garantir sincronabilidade de redes complexas considerando-se topologias constantes [3]. Em redes complexas reais ligações entre agentes são criadas ou desfeitas, variando assim a topologia da rede. Estudos mostram que, sob determinadas condições de rápida alternância entre topologias, redes complexas cuja topologia evolui ao longo do tempo também podem sincronizar [2]. Neste trabalho analisamos a aplicação da estratégia de controle *pinning* adaptativo descentralizado [3] aplicado a redes complexas com topologia variante no tempo; particularmente a redes de veículos autônomos cuja topologia é determinada pelo movimento dos agentes, que segue um modelo aleatório (*random walk model*) [4,5] enquanto agentes não se detectam, mas que passam a seguir o modelo de Kuramoto [1] quando agentes se detectam, possibilitando assim, que os agentes entrem em formação [1].

Em sistemas multiagentes, muitas vezes necessita-se que processos que são realizados nos agentes ocorram de forma síncrona, por exemplo, num sistema multiveicular autônomo pode-se necessitar comunicação síncrona dos agentes com um receptor comum. Supondo que haja comunicação entre os agentes, ou seja, acoplamento entre os agentes, pode-se considerar que os agentes estão organizados em rede, assim o problema de sincronização dos processos pode ser tratado segundo abordagem de sincronização em redes complexas.

Em uma rede de agentes móveis, os agentes são capazes de interagir desde que a distância entre eles seja menor que certo limiar, assim, a topologia da rede muda ao longo do tempo à medida que a distância entre os agentes varia, sendo r a menor distância na qual um agente interage com outro. A topologia da rede pode ser representada pela matriz de adjacência $A(t)=[a_{ij}]$, em que $a_{ij}=1$, se $d_{ij}<r$, e $a_{ij}=0$, caso contrário; onde d_{ij} é a distância entre os agentes móveis i e j . Os agentes móveis seguem uma trajetória aleatória descrita por:

$$\begin{cases} y_i(t+\Delta t) = y_i(t) + v_i(t)\Delta t \\ \theta_i(t+\Delta t) = \eta_i(t+\Delta t) \end{cases}, \quad (1)$$

em que y_i é a posição do agente em relação ao eixo coordenado, Δt é a variação de tempo suficientemente pequena para que possa ocorrer a sincronização mesmo sob um rápido chaveamento [1]; v_i é a velocidade, constante em módulo, v , e com variação angular dada por θ_i , e η_i é uma variável aleatória com probabilidade uniforme no intervalo $[-\pi, \pi]$ [5].

Em [4] a estratégia de controle adaptativo apresentada em [3] fora aplicada a uma rede de topologia variada com o movimento dos veículos autônomos dado por (1). Em [4] contudo, os veículos não entram em formação e assim, não podem ser controlados. Neste trabalho, propomos uma variação do modelo de movimento dos agentes em que, à medida que dois ou mais agentes móveis estão dentro do raio de interação, eles entram em formação e seu movimento passa a ser governado pelo modelo de Kuramoto [1], cuja fase θ_i^k é descrita por:

Este trabalho tem o apoio de FAPEMIG e CNPq.

$$\dot{\theta}_i^k = \omega_0 + \frac{K_1}{N} \sum_{j=1}^N \sin \theta_{ij}^k, \quad (2)$$

em que ω_0 e K_1 são constantes, j é o índice que indica a quais agentes o agente i está acoplado e θ_{ij}^k é o ângulo entre as posições dos agentes i e j .

Considere que os processos realizados nos agentes têm a mesma dinâmica, e acoplamento difusivo [3]. A fim de fazer com que os processos realizados nos agentes móveis sincronizem-se, e que seja possível sincroniza-los a um sinal de referência, pode-se aplicar o “controle *pinning* adaptativo totalmente descentralizado” [3]. Adicionando o sinal de controle *pinning* ao sistema, a equação que descreve a rede controlada fica:

$$\dot{x}_i(t) = f(x_i(t), t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \sigma_{ij}(t) a_{ij}(t) (x_j(t) - x_i(t)) - u_i(t), \quad (3)$$

em que $x_i(t) = [x_{i_1}(t), \dots, x_{i_n}(t)]$, com $i = 1, \dots, N$, sendo N o número de agentes móveis da rede, n o número de variáveis de estado do processo realizado em cada agente, f a função que descreve a dinâmica dos nós; $x_i(t)$ o vetor de estados e $\sigma_{ij}(t)$ é a intensidade do acoplamento entre os nós i e j definida por $\sigma_{ij}(t) = c \|x_j(t) - x_i(t)\|_2$, sendo $0 < c < 1$.

$$u_i(t) = \begin{cases} k_i(t) (x_i(t) - x_{ref}(t)), & i = 1, \dots, N_{pin} \\ 0, & i = N_{pin} + 1, \dots, N \end{cases}$$

é o sinal de controle, sendo N_{pin} o número de nós da rede que recebem a ação do controle *pinning*, $k_i(t) = b \|x_i(t) - x_{ref}(t)\|_2$, em que $0 < b < 1$.

Deseja-se com a adição do termo de controle que $\lim_{t \rightarrow \infty} x_i(t) = x_{ref}(t), \forall i$. Sob as condições de sincronabilidade de redes com topologia variante no tempo [2], e as condições de controlabilidade da estratégia de controle *pinning* adaptativo descentralizado [3], pode-se garantir sincronização dos processos realizados em cada veículo autônomo.

Palavras-chave: *Sincronização, redes complexas, veículos autônomos.*

Referências

- [1] Paley, D.A., et al., “Oscillator models and collective motion”, IEEE CONTROL SYSTEMS, 2007: p. 17.
- [2] Stilwell, D., E. Bollt, and D. Roberson, “Sufficient Conditions for Fast Switching Synchronization in Time-Varying Network Topologies”, SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, 2006. 5(1): p. 140-156.
- [3] Turci, L.F.R., M. diBernardo, and P. DeLellis. “Fully adaptative pinning control of a complex networks”, in Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2010.
- [4] Turci, L.F.R; Simões, M.M.R., “Controle de Pinning Adaptativo de Sincronização com Aplicações a Rede de Veículos Autônomos”, Anais CMAC Nordeste 2012, p. 422-425.
- [5] Wang, L. and Y.-x. Sun, “Pinning synchronization of a mobile agent network”, Journal of Statistical Mechanics, 2009.

Este trabalho tem o apoio de FAPEMIG e CNPq.