

Aplicação de metodologias de auto-organização em futebol de robôs

J.R.Ribeiro Junior, A. R. Hirakawa and C. A. Sakurai

Abstract— This paper presents a research based on what are the self-organization methods in the current literature, and how it can be modified to fit in a different scenario, in which, different of what happen in the common self-organization scenario, as in a robot swarm, the cells don't need to have an uniform behavior and each cell can have individual and different actions. Another pursuit is the homogeneity and simplicity of the cells, generating more generalized and amplifying the available scenarios. To test this methodology the robot soccer scenario was the choice, as it have all the desired features, such as simple cells, individual and collective actions by those cells, becoming an ideal scenario to be evaluated and validate the method.

Keywords— Self-Organization, Digital Hormone System, Robot Soccer, Cellular automaton.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas que se auto-organizam e as metodologias de organização são objeto de estudo de cientistas de diversas áreas até os dias atuais, pois a sua aplicabilidade não se restringe apenas a um tipo de sistema, podendo esse ser matemático, financeiro, robótico e até biológico, mas não sendo restrito apenas a esses tipos sistemas.

Mesmo havendo essa diversidade de áreas que estudam a auto-organização, no presente trabalho serão expostos os estudos de métodos de auto-organização para sistemas robóticos, em especial, enxames de robôs, mas com o intuito de realizar tarefas coletivas ou individuais, dependendo da atual situação do sistema.

O estudo e a aplicação dessas metodologias visam à criação de métodos para auto-organização de sistemas, nos quais as células (essas podem ser qualquer ente do sistema como, por exemplo, micro ou macro robôs, sensores em uma rede ou nós de uma rede ethernet) sejam as mais homogêneas possíveis, ou seja, saíam da mesma linha de montagem sendo de fabricação idêntica, ou tenham, pelo menos, tenham igual algoritmo de organização e funções muito próximas. Outro quesito para essas células é a busca pela simplicidade, quanto menos funcionalidades específicas ela possuir, melhor. A forma ideal seria que as funcionalidades devem estar presentes de forma emergente no conjunto das células e não necessariamente em cada célula individual.

Quando se atinge a simplicidade e a homogeneidade das células, fica mais fácil e barato de se produzir uma grande

quantidade dessas células, aumentando assim a aplicabilidade em diferentes sistemas.

Atingindo-se essa simplicidade celular e com o correto método de auto-organização, o qual esse trabalho busca, muitos sistemas passarão a ter autonomia própria e a capacidade de tomar decisões de forma individual ou coletiva, para melhor se adaptar ao cenário apresentado, sem nenhuma ação de um ente centralizador, ou do ser humano.

Nesse cenário, o presente trabalho busca estudar e aplicar um método de auto-organização em um cenário bem definido, no qual, diferente de metodologias já existentes, os entes do sistema devem ser capazes de tomar tanto ações individuais e diferentes dos outros entes como ações coletivas, dependendo do estado do sistema, mas sempre buscando o objetivo geral do sistema.

II. MÉTODOS DE AUTO-ORGANIZAÇÃO

Para atingir o objetivo esperado, é necessário estudar as metodologias de auto-organização de sistemas já existentes. Buscando-se na literatura, alguns métodos são encontrados, mas com aplicações restritas como, por exemplo, para métodos para organização para monitoramento de redes [1].

Mas no presente trabalho busca-se uma metodologia que tenha uma aplicação mais ampla, buscando aplicações mais generalistas e de simples implementação.

Aliada a essa ideia, veem a busca pela auto-organização de enxames de robôs. Nesse tipo de sistema, uma grande quantidade de células robótica busca realizar uma série de tarefas de forma coletiva e descentralizada.

Métodos para esse tipo de organização podem ser encontrados em trabalhos como o de Wei-Min Shen [2] o qual se baseia em hormônios digital, como descrito em um trabalho prévio do mesmo autor [3], no qual ele propõe uma metodologia de auto-organização baseada no modo que as células biológicas se comunicam através da secreção de hormônios.

Com uma linha de pensamento parecido, Yaochu Jin [4], propõe uma metodologia, também baseada no que ocorre naturalmente na natureza, mas com foco na morfogênese para controlar um grupo de robôs e os alinharem em uma forma pré-definida através de uma superfície NURBS.

Dentre esses métodos foi escolhido para início dos estudos, aqui apresentados, o método proposto por Wei-Min Shen em seus trabalhos, primeiramente pela simplicidade necessária para as células se organizarem e por não estar com o foco apenas em uma estrutura fixa, como no trabalho apresentado por Yaochu Jin [4].

J.R.Ribeiro Junior, Universidade de São Paulo (USP), Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, jose.junior@usp.br

A. R. Hirakawa, Universidade de São Paulo (USP), Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, andre.hirakawa@poli.usp.br

C. A. Sakurai, Universidade de São Paulo (USP), Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, akiocs@usp.br

III. HORMÔNIOS DIGITAIS

Como exposto por Wei-Min Shen em seu primeiro trabalho sobre auto-organização através da secreção de hormônios digitais [3], esse método é baseado em dois outros métodos prévios de auto-organização: O autômato celular [6] e o modelo de reação-difusão de Turing, [5].

O autômato celular é uma metodologia de auto-organização, no qual as células são dispostas de forma com que o seu estado atual dependa dos estados de suas células vizinhas e de suas regras. Um importante ponto sobre essa metodologia, para esse presente trabalho, reside no fato de que no autômato celular, todas as células são idênticas, especializando-se conforme a necessidade do ambiente em que elas se encontram, comunicando-se apenas com a suas vizinhas. Pode-se colocar como um exemplo clássico de autômato celular o Jogo da Vida criado e idealizado pelo britânico John Horton Conway[7].

O modelo de hormônio digital fica completo, quando ao autômato celular coloca-se o modelo de difusão-reação de Turing,. Ao invés das células se comunicarem apenas com as células tangentes, elas irão se comunicar através da difusão de hormônios pelo espaço sendo que as células escolherão o seu novo estado através da concentração de hormônio por ela captada.

Segundo o modelo de Turing,, os hormônios são secretados em pares, sendo um ativador e outro inibidor e devem seguir as seguintes regras de dispersão:

$$CA(x, y) = \frac{a_A}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x-a)^2+(y-b)^2}{2\sigma^2}} + R \quad (1)$$

$$CI(x, y) = -\frac{a_I}{2\pi\rho^2} e^{-\frac{(x-a)^2+(y-b)^2}{2\rho^2}} + R \quad (2)$$

Nas quais a_A , a_I , ρ , σ , R , são constantes, sendo que $\sigma < \rho$ para satisfazer as condições de estabilidade de Turing, e CA e CI indicam as concentrações dos hormônios de ativação e de inibição em uma dada posição x, y do espaço.

No trabalho presente, para facilitar a simulação, as coordenadas deixam de ser cartesianas e passam a ser polares ficando com:

$$CA(r) = \frac{a_A}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} + R \quad (3)$$

$$CI(r) = \frac{a_I}{2\pi\rho^2} e^{-\frac{r^2}{2\rho^2}} + R \quad (4)$$

Desse modo simula-se melhor a difusão através de uma antena transmissora, de forma que a concentração dependa apenas da distância entre das células e não de uma posição fixa em uma grade.

Fazendo-se uma análise dessa metodologia e a confrontando com o que se deseja atingir com esse presente trabalho, ela mostra-se um excelente ponto de partida já que se mostra um método fácil de aplicar para as células simples, a integração com o autômato celular faz com que as células sejam homogêneas e o modelo de difusão consegue transmitir

informações às células próximas de maneira simples e sem necessidade de uma coordenada geográfica global.

IV. APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE CÉLULAS HOMOGÊNEAS

Como já exposto, um sistema de células homogêneas é aquele em que os componentes são idênticos, ou pelo menos, possuem a mesma estrutura básica como o algoritmo de controle e decisão da célula.

Em sistemas como esses, cada célula pode ser trocada por qualquer outra célula do sistema ou até pela inserção de uma nova sem que haja perda da funcionalidade total do sistema.

Dessa forma, imagine o sistema de monitoramento de uma usina em que todos os sensores são fabricados de forma igual e que eles possuem as informações necessárias para que haja o monitoramento de toda a usina. Assim, eles podem ser simplesmente colocados em todos os locais que necessitem o monitoramento, e os próprios sensores saberão qual é a função que eles devem exercer.

Se por algum motivo um desses sensores quebrarem, o sistema deverá, por si próprio, saber qual a criticidade do monitoramento exercido pela peça e decidir se é possível ou necessário para um outro sensor fazer o papel do problemático.

Outro exemplo, e o que está sendo utilizado nesse trabalho para verificar, é um jogo de futebol de robôs, no qual todos os jogadores são idênticos (apenas sendo diferentes os times que participam) e devem por si próprios se organizarem para atingirem as metas necessárias (fazer um gol, roubar a bola do adversário, passar a bola e defender a sua própria meta).

Essas funções devem ser exercidas dependendo da situação em que cada robô se encontra, por exemplo, se o robô está sozinho perto bola ele deve ir atrás da mesma, por outro lado, se ele está longe da bola e percebe que há companheiros próximos dela, é preferível ficar na defesa ou apenas acompanhar os companheiros do time.

Nesse cenário cada uma das células do sistema secretará um tipo de hormônio, de acordo com a ação esperada que aquela célula deseje que o sistema tome e receberá a soma de todos os hormônios que as outras células estejam secretando, irá verificar em seu banco de dados ou em seu algoritmo a que ação aquela quantidade de hormônio corresponde, tomará a decisão e realizará a ação e por fim, excretará novamente os hormônios adequados.

V. APLICAÇÃO NO FUTEBOL DE ROBÔS

Para testar o método de auto-organização foi criado um simulador de futebol de robôs, com o campo segundo as regras em [9] e cinco robôs em cada time e uma bola, também seguindo as medidas em [9].

O simulador foi criado utilizando-se o framework d Microsoft XNA [8] com a linguagem C#. Nele todos os robôs, assim como a bola, são criados a partir da mesma classe que representa uma célula, e possui a possibilidade de se especializar em dois times diferentes de robôs ou na bola.

Essa classe ainda tem o poder de criar os hormônios, segundo a metodologia em [2] e [3] e exposto aqui pelas equações (3) e (4), além de conseguir medir a quantidade de hormônios presentes na região onde essa célula se encontra.

Diferentemente do exposto em [3], a grade do autômato celular não é discreta, mas sim contínua, para ficar mais próximo da realidade, sendo assim os hormônios produzem áreas circulares em volta dos robôs, simulando-se antenas transmissoras e podem ser facilmente captadas por antenas receptoras.

Uma das grandes diferenças da metodologia, aqui proposta, consiste no fato de que as células não sabem onde elas estão geograficamente no espaço, isso simplifica as células, as quais não precisam de um sistema de posicionamento (GPS, ou visual) o qual complicaria a célula e poderia limitar a utilização, por exemplo, uma célula dentro de um ambiente fechado seria muito difícil utilizar um GPS.

Assim as células se organizam apenas de forma relativa e se orientam exclusivamente pelos hormônios por elas gerados. Isso é de fundamental importância a metodologia que é aqui buscada, pois existem muitos ambientes ou sistemas nos quais a localização absoluta é impossível, e que mesmo assim, necessita que seja conhecida a localização da célula, desse modo, a busca por um método genérico de localização relativa entre as células e que dela consiga-se extrair uma boa localização absoluta (ou pelo menos de forma relativa a localização do sistema) é fundamental.

VI. RESULTADOS

Como pode ser observado na Fig. 1, os robôs são colocados dentro de campo inicialmente de forma aleatória, sendo que o time de robôs roxos fica sempre à esquerda e o de vermelhos à direita.



Figura 1 - Disposição inicial dos Robôs.

As manchas escuras que podem ser observadas nos robôs da esquerda é a representação da área de influência dos hormônios gerados por cada robô. Ao centro vê-se a bola, e a área de influência do hormônio por ela gerado. Os robôs do time da direita não estão com as áreas dos hormônios por não ser necessária essa visualização para essa simulação.

A. Primeira rodada de testes

Em um primeiro momento, o simulador foi concebido apenas com o método do sistema de hormônios digitais, no qual apenas a bola excretava o hormônio de localização da mesma. Dessa forma esse hormônio acabou por realizar o papel muito mais parecido com o de um feromônio, o qual fazia todas as células presentes no local irem em direção à ela.

Dessa forma, as células que estavam suficientemente próximas à bola, ou seja, na área de influência positiva de seu hormônio foram atraídas para a bola.

Mesmo as células não possuindo nenhum tipo de localizador e serem completamente cegas ao ambiente, elas conseguiram ser atraídas e chegar até o ponto onde a bola se encontrava, graças à percepção do gradiente da concentração do hormônio. Como cada célula sabe como o hormônio é produzido, a partir do gradiente da concentração do hormônio entre dois tempos diferentes, a célula é capaz de se orientar até a chegada definitiva na bola.

Existe um agravante ao cálculo, como a bola não é um ente estático, ou seja, ela se movimenta durante o jogo, as células tem que calcular a posição da bola a cada novo passo que ela faz no sistema, se a bola fosse fixa, só seria necessário um passo para saber a posição real da bola.

Assim, é possível observar na Fig. 2, que o robô que estava sobre a influência positiva do hormônio gerado pela bola, foi ao se encontrar, tirando-a da marcação inicial, enquanto os outros robôs, que estavam sobre influência negativa ou zero do hormônio da bola, continuaram em seus lugares.



Figura 2 - Robô vermelho vai à direção da bola e a tira da marca inicial.

O problema dessa primeira rodada fica no fato da falta de coletividade dos robôs, não há interação entre eles ficando inexistente o jogo coletivo, não havendo uma função do sistema, o que não serve para validar a metodologia para esse tipo de sistema.

B. Segunda rodada

Para a segunda rodada de testes, foi introduzido um segundo tipo de hormônio para serem excretados pelas células. Esse hormônio tem como função mostrar aos companheiros ou até aos robôs adversários a sua posição relativa dentro do campo.

Com a introdução desse segundo hormônio, um dos problemas que havia na primeira rodada desaparece. Agora como os robôs sabem da existência dos outros, eles são capazes de tomarem decisões mais complexas, como ficar na defesa, ir ao ataque, acompanhar o companheiro com a bola, ou tentar toma-la de seus adversários.



Figura 3 - Resultado da segunda rodada de testes

A Fig. 3 mostra alguns dos novos resultados gerados pela inserção do novo hormônio no sistema. No movimento de ataque do time vermelho, três robôs roxos decidem marcar o jogador vermelho que está no ataque, enquanto um jogador roxo vai à marcação dos outros jogadores vermelhos, enquanto o quinto roxo se mantém na defesa.

Mas a Fig. 3 também mostra dois problemas no atual cenário da simulação.

O primeiro de menor importância é o problema de colisões, como o sistema de posicionamento é contínuo, diferentemente do que acontece no autômato celular padrão e os robôs não se comportam como pontos materiais, o seu tamanho é relevante ao sistema, existem essas sobreposições como é possível ver nos jogadores perto da bola, mas isso é algo simples de ser corrigido, apenas colocando-se o tamanho dos robôs em seu algoritmo de organização.

O segundo problema e de maior relevância para o método é a presença de um robô fora da área destinada ao jogo. Isso ocorre pelo fato dos robôs não possuírem noção espacial do campo, como as coordenadas são relativas entre eles e os robôs não tem um sistema de posicionamento global, eles não possuem um meio de saberem onde o campo acaba.

Isso também é agravado pelo fato dos robôs não saberem onde estão os gols.

VII. TRABALHO FUTURO

Em vista aos problemas levantados pela segunda rodada de experimentos, alguns trabalhos futuros ficam bem claros, sendo que a principal preocupação fica por parte do posicionamento dos robôs dentro de campo.

Para resolver esse problema, no momento da escrita desse trabalho, está sendo pesquisada uma forma de colocar dentro do algoritmo dos robôs as dimensões e os principais pontos do campo, e através de uma condição inicial, ser possível, para cada robô saber a sua posição. Algo muito simples quando se tem uma bola inicialmente sempre no mesmo local. O único agravante e que deverá ser pensado, reside no fato que não há garantia de que pelo menos um robô, de cada time, esteja perto da bola no início do jogo, devido à aleatoriedade da distribuição dos robôs no início do jogo. Se isso for possível, mesmo que de maneira forçada, quando um dos robôs souber a sua posição dentro do campo, ele pode passá-la para os seus outros companheiros e assim, todos ficarem com as dimensões e pontos estratégicos bem definidos.

Depois de solucionado o problema do posicionamento e a metodologia for verificada e validada para esse tipo de sistema, ela será testada e avaliada em outros sistemas para melhor refinamento do método, buscando uma generalização maior do mesmo.

VIII. CONCLUSÃO

Tomando-se os primeiros resultados obtidos nas duas primeiras rodadas da aplicação do hormônio digital dentro do futebol de robôs, o método mostrou-se promissor e mesmo com os problemas encontrados na aplicação direta do algoritmo nas células, isso se torna um interessante objeto de pesquisa para a continuação do trabalho e irá agregar novas funcionalidades ao método.

Dessa forma o objetivo inicial de verificação das metodologias e da sua aplicação dentro do futebol de robôs foi alcançado, gerando o ponto de partida para a adaptação do método para que os robôs sejam capazes de realizar todas as tarefas necessárias para o jogo de forma coletiva ou individual.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] T. Fan, L. Xu, L. Yin, H. Wang, X. Li, "A Self-organization Algorithm Based on 1D Cellular Automata for Networking Monitoring" in The 1st International Conference on Information Science and Engineering, ICISE2009
- [2] W. Shen, P. Will, A. Galstyan, "Hormone-Inspired Self-Organization and Distributed Control, in Autonomous Robots of Robotic Swarms", n° 17, pp. 93-105, 2004
- [3] W. Shen, C. Chuong, and P. Will, "Digital Hormone Models for Self-Organization" in Artificial Life VIII. pp. 116-120, 2002
- [4] Y. Jin, Y. Meng, and H. Guo "A Morphogenetic Self-Organization Algorithm for Swarm Robotic Systems using Relative Position Information" in Computational Intelligence (UKCI), UK Workshop, 2010
- [5] A. Turing, "The chemical basis of morphogenesis." in Philos. Trans. R. Soc. London B 237, pp.37-72, 1952.
- [6] H. Gutowitz, "Cellular Automata | Theory and Experiment." Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [7] E. R. Berlekamp, J. H. Conway, R. K. Guy, "Winning Ways for your Mathematical Plays" in A K Peters ed. 2, 2001.
- [8] <http://msdn.microsoft.com/en-us/centrum-xna.aspx>
- [9] <http://www.aishack.in/2010/07/robocup-soccer-rules-for-the-small-sized-league-ssl/>