**Redes Neurais Profundas e Algoritmos Hierárquicos de Pathfinding para Computação de Altura e Inclinação na Descoberta de Caminhos em Terrenos Virtuais**

**Juliano L. Soares, Claiton H. C. Neisse, Jairo F. Gez, Luis A. L. Silva**

Curso de Graduação em Ciência da Computação

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa Maria, RS – Brasil

{jlsoares,chneisse,jfgez,luisalvaro}@inf.ufsm.br

***Resumo.*** *A área de inteligência vem recebendo mais destaques na atualidade por resolver problemas do mundo real com cada vez mais eficácia e com métodos até então não explorados que trazem vários benefícios para a sociedade. E neste conjunto de problemas temos os algoritmos de pathfinding e de redes neurais que ajudam na exploração para encontrar melhores rotas para vários tipos de buscas. Mas ainda existem vários problemas com os algoritmos atuais, que é não considerar o relevo do terreno. Para isto este trabalho busca investigar, reunir e revisar modelos destes algoritmos e adicionar funções heurística com redes neurais profundas para o tratamento dos mapas, que podem ser utilizadas para otimizar algoritmos de localização de caminhos para explorar ângulos de elevação e inclinação representados em grandes mapas virtuais.*

1. **Introdução**

Pathfinding é o planejamento para resolver problemas de buscas em grafos com a finalidade de encontrar uma melhor rota entre dois pontos. A determinação da melhor rota por algoritmos de pathfinding (Algfoor *et al.*, 2015), pode ser avaliada por diferentes critérios, tais como: tempo, distância, consumo, desníveis e inclinação de terreno, processamento, curvas, entre outros. Baseado em um grafo de caminhos, um nodo inicial e um nodo final, o algoritmo A\* utiliza uma função de custo *f(n) = g(n) + h(n)* para avaliar os nodos do grafo. Enquanto *g(n)* indica o custo do caminho até o nodo *(n)*, uma função de heurística *h(n)* estima a distância de *(n)* até uma posição de destino, em cada etapa do processo de busca. Funções heurísticas tradicionais, tais como distância Euclidiana e distância de Manhattan, são comumente exploradas por diferentes algoritmos de busca. Essas funções permitem orientar a busca por caminhos em mapas simplificados de escala relativamente pequena. Tais algoritmos, contudo, não apresentam resultados satisfatórios em mapas que apresentam muitos obstáculos ou tem que lidar com outras restrições durante o processo de busca de caminhos.

O objetivo deste trabalho é usar redes neurais profundas (Deep Neural Networks – DNN) (Goodfellow, 2016) na computação de valores heurísticos de distância a serem usados por algoritmos hierárquicos de pathfinding. Diferente de outros trabalhos na área de pesquisa que integra pathfinding e algoritmos de aprendizado de máquina ([Jindal et al., 2017](https://docs.google.com/document/d/1IYjOpAV7tEKW2z2RfEoLguLiwMXBfHAD59clMespKVQ/edit#heading=h.gjdgxs); [Li et al., 2016](https://docs.google.com/document/d/1IYjOpAV7tEKW2z2RfEoLguLiwMXBfHAD59clMespKVQ/edit#heading=h.gjdgxs); Takahashi et al., 2019), o problema a ser tratado nesta pesquisa é o desenvolvimento de algoritmos hierárquicos de pathfinding para problemas de busca de caminhos que considerem informações de altura e inclinação do terreno virtual nas computações realizadas.

1. **Revisão da Literatura**

DNN [REF] são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes como o cérebro de um mamífero que adquirem conhecimento por meio da experiência. Em outras palavras, o algoritmo possui uma camada de entrada: onde os padrões são apresentados à rede; Camadas intermediárias ou ocultas: onde a maior parte do processamento é feito, por meio de conexões ponderadas; que podem ser considerados extratores de características; Camada de saída: onde o resultado final é preenchido e apresentado. Redes Neurais Profundas (DNN), por outro lado, são uma classe de algoritmos de aprendizado de máquina que usam várias camadas de uma arquitetura de rede neural artificial que permite extrair progressivamente recursos de nível superior da entrada bruta da rede neural para níveis inferiores até obtenção de uma saída desejada, ou seja, em comparação com redes neurais comuns Redes Neurais Profundas têm muitas camadas intermediárias ou ocultas.

Diferentes trabalhos exploram DNN na computação de algoritmos de pathfinding como em ([Jindal et al., 2017](https://docs.google.com/document/d/1IYjOpAV7tEKW2z2RfEoLguLiwMXBfHAD59clMespKVQ/edit#heading=h.gjdgxs)) que usa, ST-NN (Rede Neural Espacial-Temporal) para estimar tempo de viagem do serviços de transporte em táxi, ou em (Takahashi et al., 2019) que propõe a utilização da rede neural U-Net para extrair e utilizar e imagens de mapas coletadas para usar no aprendizado de heurísticas utilizadas para criar as rotas de robôs móveis. Já em ([Li et al., 2016](https://docs.google.com/document/d/1IYjOpAV7tEKW2z2RfEoLguLiwMXBfHAD59clMespKVQ/edit#heading=h.gjdgxs)) é proposto o algoritmo ANN\* de busca heurística em grids baseado em DNN que é gerada uma heurística a partir de uma rede neural de regressão.

Nessa área de pesquisa, (Doebber et al. 2020) analisa problemas de busca de caminhos onde DNN são usadas por algoritmos de pathfinding. DNN são usadas no aprendizado dessas funções heurísticas para melhor orientar a execução da busca de caminhos. O trabalho descreve como preparar as informações de caminho dos mapas virtuais sendo usados para treinar uma arquitetura de DNN proposta, de forma que a função heurística usada pelo algoritmo de pathfinding aprenda as características do mapa. Apesar dessas contribuições, o trabalho não explora uma abordagem de pathfinding hierárquica baseada no uso de DNN na computação de funções heurísticas, o que pode permitir tratar a otimização de busca de caminhos em mapas de grandes dimensões.

|  |  |
| --- | --- |
| Caminhos encontrados pelo A\* padrão (círculos) e pelo A\* tratando inclinações (quadrados), exibidos no mapa de normais, cujo gradiente indica a variação nas inclinações (Chagas, C. 2019) | Divida esse mapa em clusters (um grid regular), e ilustre como ficaria um caminho de A até B nesse mapa usando os cluster (passando pelas bordas dos clusters) assim como demonstrado abaixo |

Figura 1 - XXX

A forma mais comum usada nos algoritmos de pathfinding para solucionar problemas que envolvem desníveis de relevo é com o bloqueio dos nodos onde há dificuldades para passar por eles. Porém, este tipo de tratamento não é o mais adequado em casos reais como, por exemplo, em simulações de transporte de carga. O trabalho de (Chagas, C. 2019) trata de problemas de pathfinding onde informações de altura e inclinação no terreno são consideradas. Este trabalho propõe um algoritmo de pathfinding que trata de altitude do terreno e a suavização de caminhos encontrados. O trabalho também propõe um algoritmo que planeja rotas utilizando uma técnica denominada “campo de visão” (Daniel, 2010), onde essa técnicas é ajustada para tratar informações que remetem a restrições de altura, sem utilizar apenas o bloqueio ou não de nodos durante a busca de caminho. Essa abordagem permite que novos caminhos sejam considerados e não apenas descartados. O trabalho também busca o menor e melhor caminho de acordo com o critérios com o objetivo de evitar inclinações que introduzem riscos a movimentação de agentes inseridos em terrenos virtuais utilizados em sistemas de simulação. O processo de busca por caminhos é otimizada, pois pequenos desvios nas rotas analisadas são submetidos a um processo de suavização de caminhos que pode ser feita para encurtar o caminho, ou seja ela pega o caminho encontrado e recalcula as bordas desta rota a fim de melhorá-la (Jansen, 2007). Tal como investigado em (Ganganath, 2015), o caminho escolhido deve retornar rotas que permitem o movimento em regiões de terreno que envolvem diferentes características de relevo, terrenos montanhosos com grandes variações de altitude ou contendo inclinações que não permitem o movimento seguro de agentes terrestres, ou como em (Sturtevant, 2019) que considera o tipo de terreno para o cálculo para a escolha do caminho a ser percorrido.

Algoritmos de pathfinding visam encontrar caminhos com menor custo, os quais são avaliados não somente em termos de distância a ser percorrida, mas também em termos de caminhos que passem por locais do terreno com menores custos de altura e inclinação. Neste contexto, o uso de DNN pode ser explorado na implementação de algoritmos hierárquicos de pathfinding que permita unir a busca de caminhos que consideram informações de altura e inclinação do terreno virtual com o emprego de DNN na computação de funções heurísticas. Tal como proposto em (Daniel, 2010), algoritmos hierárquicos de pathfinding dividem mapas de grandes dimensões em diferentes clusters, representando clusters e bordas entre clusters em um grafo abstrato. Em um passo preliminar de busca, esses algoritmos computam menores caminhos entre nodos A e B nesse grafo abstrato. Em seguida, caminhos encontrados no primeiro passo de busca são refinados e suavizados em cada um dos clusters envolvidos.

1. **Metodologia**

A metodologia usada neste trabalho deve explorar algoritmos de pathfinding que tratam características topográficas dos mapas usados durante a busca de caminhos. Neste caso, inclinações do terreno representadas nos mapas devem ser usadas pelos algoritmos hierárquicos de pathfinding, em vez de simplesmente considerar que certos nodos são bloqueados para o tráfego de agentes terrestres. O trabalho deve propor uma arquitetura de DNN e detalhar como preparar as informações de caminho dos mapas virtuais sendo usados para treiná-la, de forma que a função heurística aprenda as características do mapa. O intuito de usar o DNN é para melhor orientar os algoritmos hierárquicos de pathfinding visando reduzir o custo de pesquisa computacional ao lidar com mapas virtuais de grandes escalas.

O trabalho devem explorar a linguagem Python, a qual muito usada para criar soluções na área de IA. A implementação das DNN deve usar a biblioteca Tensor Flow, que é uma biblioteca de software de código aberto para computação numérica que permite utilizar estruturas de grafos na representação de dados. Essa biblioteca vêm se tornando padrão para o desenvolvimento de aplicações envolvendo algoritmos de aprendizado profundo. O trabalho deve realizar uma análise dos resultados de pathfinding obtidos. Tais resultados devem envolver o uso de pathfinding hierárquico em contraste com o uso do algoritmo A\* tradicional, ambos considerando informações de altura e inclinação dos mapas virtuais testados. O trabalho também deve analisar resultados de pathfinding hierárquicos ou não quando o algoritmo A\* com altura e inclinação usando DNN for executado. Tais resultados devem ser obtidos em mapas com diferentes tamanhos e percentuais de altura e inclinação, considerando mapas com (101x101) nodos, (202x202) nodos, e outros maiores conforme forem as necessidades de análise. Os mapas devem ser representados como grids regulares.

E para gerar os datasets de treinamento das DNN serão usados diferentes mecanismo para diferentes características de dados dos quais uns datasets considera altura e inclinação e outros apenas distâncias, e com base nestes datasets também fazer uma análise usando path smoothing (suavização de caminhos) e outros não, todo esse conjunto de dados serve para fins de comparação, e encontrar as melhores abordagens na escolha do caminho nos mapas considerados, e com esses dados a DNN usa como base de valores em seu treinamento.

**Considerações Finais**

O foco do trabalho é a proposição, desenvolvimento e teste de algoritmos hierárquicos de pathfinding baseados em DNN, os quais devem ser ajustados para permitir encontrar caminhos que considerem características topográficas dos terrenos virtuais usados. Testes dos algoritmos desenvolvidos neste trabalho devem ser realizados em terrenos virtuais com diferentes dimensões, permitindo medir o impacto do tamanho dos mapas na performance dos algoritmos testados. Para cada dimensão de terreno considerada, diferentes percentuais de altura e elevação devem ser usados nos testes dos algoritmos implementados. Os resultados obtidos devem ser avaliados estatisticamente, permitindo apresentar um contraste entre os algoritmos e experimentos desenvolvidos.

**Referências**

Doebber, D. M. (2019) "Uso de redes neurais profundas para o aprendizado de funções heurísticas para algoritmos de busca de caminhos." Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência da Computação. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.

Chagas, C. (2019) “Algoritmos de busca de caminhos voltados para informações de altura e inclinação representadas em mapas de navegação”, Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência da Computação. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.

Algfoor A., Sunar M. S. e Kolivand H. (2015) "A comprehensive study on pathfinding techniques for robotics and video games," Int. Journal of Computer Games Technology.

Goodfellow I., Bengio Y. e Courville A. (2016) “Deep learning”. MIT press.

Ariki, Y. e Narihira T. (2019) "Fully Convolutional Search Heuristic Learning for Rapid Path Planners," arXiv preprint arXiv:1908.03343.

Li, G., Wang, H., Wang, N. e Yeung Y. (2016) “ANN: a heuristic search algorithm based on artificial neural networks”. Proceedings of the 2016 International Conference on Intelligent Information Processing. ACM. p.51.

Takahashi T., Sun H., Tian T. e Wang Y. (2019) “Learning Heuristic Functions for Mobile Robot Path Planning Using Deep Neural Networks”. Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2019. p.764-772.

Jindal, I. Qin, T e Xueue, Q. (2017) “A unified neural network approach for estimating travel time and distance for a taxi trip”. arXiv preprint arXiv:1710.04350.

M. Renee Jansen and Michael Buro,() “HPA\* Enhancements”.

Jansen, M.R., Buro, M.: (2007) “HPA\* enhancements”. Proceedings of the Third Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference, Stanford, California, USA, pp. 84–87.

Ganganath, N., Cheng, C.-T., Chi, K. T. (2015) “A constraint-aware heuristic path planner for finding energy-efficient paths on uneven terrains”, IEEE transactions on industrial informatics, v. 11, n. 3, p. 601-611.

Sturtevant, N. R., Sigurdson, D., Taylor, B., & Gibson, T. (2019). Pathfinding and Abstraction with Dynamic Terrain Costs. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, *15*(1), 80-86.

Daniel, K.; Nash, A.; Koenig, S.; and Felner, A. 2010. Theta\*: Any-angle path planning on grids. Journal of Artificial Intelligence Research 39:533–579.