

Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística
Departamento de Ciência da Computação

Projeto de Pesquisa de Iniciação Científica
Treinamento de Agentes Baseados em Lógica Robusta

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Computação; Lógica



IME-USP

Orientador: Prof. Dr. Flavio Soares Correa da Silva
Orientando: Luis Vitor Pedreira Iten Zerkowski

Sumário:

1. Introdução.....	02
2. Objetivo.....	02
3. Metodologia.....	04
4. Descrição das atividades.....	05
5. Resultados obtidos.....	08
6. Referências.....	09
7. Apêndice.....	10

1. Introdução:

Esta pesquisa tem como foco desenvolver agentes inteligentes baseados em lógica capazes de bem performar em jogos de soma zero determinísticos ou - em particular, jogo da velha. Diante do cenário atual de Inteligência Artificial, no qual muito se cobra em desempenho, mas pouco se entende sobre o caminho traçado até o resultado final, o agente em questão diferencia-se na medida em que busca aprender sobre o jogo a ser jogado através d'um conjunto de hipóteses e heurísticas previamente formulado, gerando, pois, conhecimento sólido e palpável acerca do ambiente. Utilizando-se de ferramentas fundamentais e estruturantes em lógica e aprendizado de máquina - Lógica Robusta e PAC-Learning respectivamente -, o agente a ser desenvolvido visa ao domínio do meio junto à habilidade de estudar o porquê de suas ações e decisões baseado no conjunto hipóteses e heurísticas fornecido a ele. Além disso, também cabe a esse agente garantir a monotonicidade crescente de sua taxa de vitórias em jogo à medida que é alimentado com mais dados. O objetivo de seu desenvolvimento, por fim, é prototipar um primeiro agente inteligente que jogue com habilidade crescente em função dos dados fornecidos, mas que possa principalmente explicitar a razão de suas escolhas. Num futuro breve, mas que já não cabe exatamente no escopo desse plano de pesquisa, poder-se-ia estudar a implementação desse agente em ambientes de alto risco e com intensa interferência humana - como decisões hospitalares estratégicas ou previsões acerca do COVID-19, por exemplo - para garantia de bons resultados com as devidas explicações sobre o que fora decidido pelo mesmo.

2. Objetivo:

O objetivo desta pesquisa é prototipar um agente inteligente que jogue jogo da velha com habilidade, conhecimento sobre o jogo e taxa de vitória

crescentes em função dos dados fornecidos. Segue abaixo uma descrição sucinta sobre cada uma das partes a serem implementadas nesse processo:

- Dos jogos:
 - Jogo da velha: Jogo de turnos para dois jogadores que se dá num mapa em formato de grade três por três. Cada jogador tem direito a uma marcação - tipicamente “X” e “O”, porém neste projeto será utilizada a marcação binária “1” e “0” - e seu objetivo é conseguir colocar três de suas marcações numa linha horizontal, vertical ou diagonal do mapa. O jogador que realiza essa tarefa primeiro ganha - e o outro jogador obrigatoriamente perde. Caso o mapa seja totalmente preenchido e nenhum dos jogadores consiga realizar a tarefa proposta, o jogo termina em empate.
- Dos dados:
 - Mapa: Implementação do mapa em matriz três por três.
 - Estado do mapa: Matriz com devidas marcações de jogadores nas posições escolhidas pelos mesmos até então.
 - Conjunto de heurísticas (predicados): Funções que avaliam um certo estado do mapa e fornecem informação para o agente. Para melhor entendimento dessas funções, tem-se como arquétipo a função teórica *sequencia_de_dois(jogador, mapa)* , que avalia se o jogador passado como parâmetro tem alguma sequência de duas marcações em linha vertical, horizontal ou diagonal no estado do mapa também passado como parâmetro. Tal função fictícia poderia retornar 1 em caso verídico e 0 caso contrário, por exemplo.
 - Classe de hipóteses: conjunto de funções que levam um estado do jogo em $\{0, 1\}$, declarando não vitória ou vitória do jogador em

questão. Cada uma dessas funções é uma disjunção dos predicados definidos no conjunto de heurísticas.

- Do agente:
 - O que é: Código que recebe como entrada um estado do mapa e devolve como saída um número em $\{0, 1\}$, indicando se o estado é uma vitória ou não é uma vitória.
 - Treinamento: O agente recebe uma série de estados devidamente rotulados advinda de uma certa distribuição de probabilidade e tenta aproximar a função responsável por efetivamente rotular os estados. O agente deve garantir, ainda, o nível de confiança de sua aproximação relativo à quantidade de dados fornecidos a ele em relação ao número total de estados do jogo.

Quando da finalização do projeto, idealmente todas as partes acima descritas estarão funcionais e bem desenvolvidas, permitindo, pois, uma avaliação geral das técnicas em inteligência artificial e lógica utilizadas. A partir daí, cabe a análise crítica do que fora implementado, avaliando tanto a habilidade do agente no jogo, quanto a clareza, qualidade e precisão da informação por ele aprendida.

3. Metodologia:

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste projeto segue uma linha bastante natural de investigação e pesquisa, mantendo-se, pois, num simples e estruturante ciclo de estudo, aplicação e avaliação. Todas as fases do projeto, portanto, devem ser iniciadas através da leitura de livros, textos e artigos para aquisição de conhecimento, ampliação de repertório e aprofundamento no conteúdo estudado até então, cerne d'um projeto acadêmico

de pesquisa. Passada essa primeira etapa, todo o conhecimento adquirido, junto ao prévio arcabouço técnico, servirá de base teórica para as implementações e testes a serem construídos, oferecendo, dessa forma, um tanto mais de realidade e aplicação a um projeto que inicialmente habitava apenas o mundo das ideias. Uma vez finalizado o segundo estágio, é tempo da análise dos resultados, último trecho em direção ao fechamento do ciclo. Neste passo, as expectativas alinham-se com o concreto e factual, trazendo um aspecto de sobriedade ao projeto por meio da análise crítica do processo de trabalho e dos resultados efetivamente alcançados. Quando do fechamento d'um ciclo, um relatório será escrito a fim de bem documentar a trajetória do projeto, elencando, portanto, o que houve de sucesso e de fracasso durante seu caminhar, e servindo de ponto de partida para o próximo ciclo a ser aberto.

4. Descrição das atividades:

Cronograma de trabalho de Iniciação Científica (12 horas semanais)		
Mês (*)	Atividade	Fase
Janeiro/2020	Leitura do livro “Probably Approximately Correct” e do artigo “A Theory of the Learnable”, os dois por Leslie Valiant.	Aquisição de repertório em PAC-Learning e lógica robusta.
Fevereiro/2020		
Março/2020	Leitura do artigo “Knowledge Infusion”, por Leslie Valiant, e do artigo “A First Experimental Demonstration of Massive Knowledge Infusion”, por Loizos Michael e Leslie Valiant.	
Abril/2020		
Maio/2020	Leitura do capítulo cinco da terceira edição do livro “Artificial Intelligence - A Modern Approach”, por Russel e Norvig, e primeira prototipagem de agente inteligente baseado em lógica robusta que joga jogo da velha não probabilístico. Além disso, escrita do primeiro plano oficial para o projeto - aplicação edital CNPq.	Aplicação preliminar do agente inteligente baseado em lógica robusta e árvores de busca de estados, e primeira documentação do projeto.
Junho/2020		
Julho/2020	Escrita de pequeno relatório resumo acerca do andamento do projeto.	Documentação do projeto.
Julho/2020	Avaliação estatística do aprendizado - amostragem x erro médio -, leitura do artigo “Learning to Reason”, por Roni Khardon e Dan Roth, e leitura das primeiras notas de aula de COS 511, Princeton - Theoretical Machine Learning.	Avaliação preliminar do aprendizado do agente e retomada teórica.

Agosto/2020	<p>Leitura complementar do artigo “Programming the social computer”, por David Robertson e Fausto Giunchiglia.</p> <p>Para além disso, início da disciplina online CS 485/685, University of Waterloo - Theoretical Machine Learning - e início da leitura do livro Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms, por Shai Shalev-Schwartz e Shai Ben-David - capítulos 1, 2, 3 e 4.</p> <p>Dedicação: 40 horas</p> <p>Feedback: Esse mês foi um grande sucesso. Todas as atividades planejadas foram devidamente concluídas e muito foi entendido sobre a abordagem PAC. A bagagem teórica adquirida nesse período foi fundamental para a realização de diversos experimentos em meses posteriores. Aqui surge também as primeiras ideias de como escrever sobre o tema de maneira intuitiva e acessível para pessoas fora da área.</p>	Aperfeiçoamento do repertório em PAC-Learning e estudo de aplicações reais do agente.
Setembro/2020	<p>Continuação da disciplina online CS 485/685, University of Waterloo - Theoretical Machine Learning - e continuação da leitura do livro Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms, por Shai Shalev-Schwartz e Shai Ben-David - capítulos 5, 6, 7, 8 e 9.</p> <p>Dedicação: 40 horas</p> <p>Feedback: Esse foi um período de muito estudo. Como um novo experimento estava por vir para tentar sintetizar tudo que eu havia aprendido até então, me concentrei bastante na preparação teórica do mesmo. Tais capítulos introduziram conceitos importantes para aprimorar técnicas de aprendizado e torná-las cada vez mais aplicáveis em situações reais. Aqui li sobre adição de conhecimento prévio e viés às classes de hipótese, dimensões VC, e aprendizado não uniforme. Esses novos conceitos possibilitam a saída de um aprendizado tão primordial, como é o PAC-Learning com uso do algoritmo ERM, para técnicas um pouco mais modernas, isso tudo sem perder de vista a formalização do modelo.</p>	Aperfeiçoamento do repertório em PAC-Learning e estudo de aplicações reais do agente.
Outubro/2020	<p>Segunda prototipagem de agente inteligente baseado em lógica robusta que joga jogo da velha não probabilístico e agnostic PAC-learning.</p> <p>Dedicação: 40 horas</p> <p>Feedback: A segunda prototipagem foi um sucesso. Refiz a implementação do modelo PAC e fiz, pela primeira vez, a implementação do modelo Agnostic PAC. O experimento foi importante para entender o potencial e as limitações de ambos os métodos e, finalmente, fazer uma análise comparativa entre os dois. Um estudo um pouco mais sofisticado utilizando regressão linear e as dimensões VC foi pensado e começou a ser modelado, mas ainda não implementado.</p>	Segunda aplicação do agente inteligente baseado em lógica robusta. Árvore de busca de estados substituída por regressões.
Novembro/2020	Continuação da disciplina online CS 485/685, University	Aperfeiçoamento do

	<p>of Waterloo - Theoretical Machine Learning - e continuação da leitura, agora mais dinâmica, do livro Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms, por Shai Shalev-Schwartz e Shai Ben-David - capítulos 10 a 20. Além disso, Início de curso de aplicações de redes neurais com PyTorch, e escrita preliminar do relatório parcial do projeto.</p> <p>Dedicação: 40 horas</p> <p>Feedback: Essa seção do curso e do livro sai um pouco dos modelos teóricos vistos até então e adentra nas aplicações algorítmicas do aprendizado. Nessa etapa, avancei um pouco menos do que o planejado, uma vez que meu nível de entendimento sobre o assunto ainda era bastante restrito. Não todos os capítulos planejados foram lidos. Agora sobre o curso de aplicações de redes neurais com PyTorch, foi devidamente iniciado e desenvolvido, como planejado. Por fim, num mês um tanto apertado e bastante mais pesado em termos de estudo do que o previsto, acabei por não conseguir iniciar a escrita do relatório parcial do projeto.</p>	<p>repertório em PAC-Learning e aprendizado profundo, estudo de aplicações reais do agente, e documentação do projeto.</p>
Dezembro/2020	<p>Escrita de relatório parcial acerca do andamento do projeto com apresentação de todos resultados obtidos - este é o relatório a ser entregue na disciplina MAC0215. Além disso, confecção de seminário para apresentação do projeto.</p> <p>Dedicação: 25 horas até então</p> <p>Feedback: Nesse mês, comecei e finalizei o relatório que deve ser entregue para a disciplina. Além disso, escrevi um pequeno artigo - que será anexado neste relatório - com os resultados experimentais obtidos até então e comecei a preparar a apresentação deste artigo para o SIICUSP.</p>	<p>Documentação do projeto e preparo para eventual apresentação do mesmo.</p>
Janeiro/2021	<p>Continuação de curso de aplicações de redes neurais com PyTorch e construção de primeiro protótipo baseado em redes neurais e PAC-learning.</p>	<p>Aplicação real do agente formal apoiado também em técnicas modernas de aprendizado de máquina.</p>
Fevereiro/2021	<p>Preparação de artigo científico com resultados obtidos até o momento.</p>	<p>Publicação inicial do projeto.</p>
Março/2021	<p>Leitura seletiva do livro “Multiagent Systems”, por Yoav Shoham e Kevin Leyton-Brown.</p>	<p>Ampliação de repertório em teoria dos jogos e suas aplicações e representações.</p>
Abril/2021		
Maio/2021	<p>Modelagem e desenvolvimento de protótipo aplicável a problemas e cenários realísticos - saúde coletiva, ecologia e economia, por exemplo.</p>	<p>Estudo e avaliação de aplicabilidade dos agentes inteligentes.</p>
Junho/2021		
Julho/2021	<p>Escrita do relatório e publicação finais.</p>	<p>Documentação e publicação final do projeto.</p>

OBS 1: Todas as atividades exercidas durante o período de duração da disciplina receberam uma seção de Feedback para descrever um pouco melhor as atividades planejadas do mês.

OBS 2: Neste cronograma, as células foram coloridas de acordo com a legenda abaixo:

	Feito
	Feito, mas não exatamente como planejado
	Em execução
	Planejado, mas ainda não iniciado
	Não feito/cancelado

5. Resultados obtidos:

O processo de realização de pesquisa acadêmica é, antes de tudo, diverso. Os resultados advindos de uma iniciação científica são das mais variadas naturezas e têm implicações muito ricas na vida do pesquisador. Desde aquisição de conhecimento e desenvolvimento do repertório técnico científico, até a sofisticação e formalização da escrita acadêmica, e a implementação de um projeto no qual muito se acredita, são exemplos claros de virtudes e feitos cotidianos para essa categoria de trabalho. O primeiro registro de resultados, pois, é dedicado à formação e desenvolvimento no campo de pesquisa de inteligência artificial e, em particular, aprendizado de máquina teórico.

Para além do resultado um tanto mais subjetivo, seguem os produtos um pouco mais palpáveis:

1. Artigo contando sobre os fundamentos de PAC-Learning e Agnostic PAC-Learning e descrevendo experimentos realizados com tais modelos para o Jogo da Velha: “What are the rules for Tic-Tac-Toe? A PAC-Learning experiment”. Vale destacar que esse artigo ainda está em desenvolvimento, uma vez que sua entrega definitiva está prevista apenas para agosto de 2021.
2. Todos os códigos produzidos durante a iniciação científica:
 - a. Estudo probabilístico dos estados do Jogo da Velha (escrito em C).
 - b. Modelagem e experimento em PAC-Learning (escrito em C) com geração de histogramas para avaliar a distribuição dos agentes obtidos (escrito em Python).

- c. Modelagem e experimento em Agnostic PAC-Learning (escrito em C) com geração de histogramas para avaliar a distribuição dos agentes obtidos (escrito em Python).

O artigo pode ser encontrado no apêndice deste relatório. Foi alocado dessa maneira por conta da impossibilidade de anexar mais de um arquivo à entrega do relatório final. Diante da importância de seus resultados na pesquisa, no entanto, não poderia estar dissociado deste documento. Os códigos, por sua vez, não foram adicionados ao relatório por uma questão de escopo, mas podem ser pedidos ao orientando a qualquer momento e serão prontamente disponibilizados.

6. Referências:

6.1. Bibliografia básica:

1. VALIANT, L. G. **Probably approximately correct**. Basic Books. 2013.
2. VALIANT, L. G. **A Theory of the Learnable**. Cambridge, Massachusetts. Communications of the ACM. 05 de novembro de 1984.
3. VALIANT, L. G. **Knowledge Infusion**. Cambridge, Massachusetts. AAAI. 16 de julho de 2006.
4. MICHAEL, L. VALIANT, L. G. **A First Experimental Demonstration of Massive Knowledge Infusion**. Cambridge, Massachusetts. AAAI. Setembro de 2008.
5. KHARDON, R. ROTH, D. **Learning to Reason**. Cambridge, Massachusetts. AAAI. 1994.
6. SHOHAM, Y. LEYTON-BROWN, K. **Multiagent Systems**. Cambridge University Press. 1ª edição. 15 de dezembro de 2008.
7. BEN-DAVID, S., SHALEV-SHWARTZ, S. **Understanding Machine Learning from Theory to Algorithms**. Cambridge University Press, 2014.

6.2 Bibliografia complementar:

1. ROBERTSON, D. GIUNCHIGLIA, F. **Programming the social computer**. Royal Society. 28 de março de 2013.
2. RUSSEL, S. J. NORVIG. P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Nova Jersey. Pearson Education, Inc. 3a edição. 2010.

7. Apêndice:

<https://pt.overleaf.com/read/yzwxvrhpmymd>