

IA aplicada à física

Atividade 3

Na física de partículas, especialmente no contexto de teorias além do Modelo Padrão, existem previsões para mais de um tipo de bóson de Higgs. Algumas dessas teorias preveem a existência de um conjunto de bósons de Higgs com diferentes massas e propriedades. Os dois tipos mais discutidos são o bóson de Higgs leve (h) e o bóson de Higgs pesado (H). O bóson de Higgs leve é tipicamente o mais leve do conjunto e, muitas vezes, espera-se que tenha uma massa similar à do bóson de Higgs descoberto em 2012, que é cerca de $125 \text{ GeV}/c^2$. Suas interações com outras partículas são similares às do Higgs do Modelo Padrão. Ele acopla-se a férmions e bósons vetoriais (como os bósons W e Z) de maneira proporcional às suas massas. As propriedades e decaimentos do bóson de Higgs leve são bastante consistentes com as do Higgs do Modelo Padrão, o que significa que ele é muitas vezes identificado com o Higgs que já foi observado nos experimentos do LHC.

O bóson de Higgs pesado possui uma massa maior que a do Higgs leve. Sua massa depende do modelo adotado e também dos seus parâmetros, frequentemente resultando em um valor significativamente mais alto que os $125 \text{ GeV}/c^2$. O acoplamento do bóson de Higgs pesado a outras partículas pode diferir do Higgs do Modelo Padrão. Em particular, suas interações podem ser mais fortes com partículas mais massivas e podem incluir modos de decaimento adicionais que não estão disponíveis para o Higgs leve devido a restrições de massa.

A descoberta do bóson de Higgs em 2012 no LHC foi inicialmente considerada consistente com o Higgs do Modelo Padrão, mas muitos cientistas em física de partículas continuam a explorar se há sinais de outros bósons de Higgs, como o bóson de Higgs pesado H . Isso envolve analisar os dados experimentais em busca de desvios das expectativas do Modelo Padrão, bem como buscar sinais diretos desses estados mais pesados. Nesse contexto, simulações computacionais são bastante importantes e o desenvolvimento de técnicas de análise sofisticadas, envolvendo inteligência artificial, podem resultar em algoritmos mais eficientes, capazes de observar partículas extremamente raras, como o H .

É nesse contexto que os autores do paper que motiva essa atividade simularam o decaimento do bóson de Higgs pesado para estudar métodos mais eficientes de identificação usando redes neurais. O artigo foi publicado na Nature Communications em 2014 (Baldi, P., Sadowski, P. & Whiteson, D. Searching for exotic particles in high-energy physics with deep learning. Nat Commun 5, 4308 (2014). <https://doi.org/10.1038/ncomms5308>). Os autores disponibilizaram um dataset contendo pouco mais de 100 k eventos, com vários eventos do bóson de higgs pesado e vários eventos de fundo. Esse dataset está disponível na página da disciplina.

A estrutura do dataset é organizada em colunas, rotuladas da seguinte forma, de acordo com os autores:

The first column is the class label (1 for signal, 0 for background), followed by the 28 features (21 low-level features then 7 high-level features): lepton pT , lepton η , lepton ϕ , missing energy magnitude, missing energy ϕ , jet 1 pT , jet 1 η , jet 1 ϕ , jet 1 b-tag, jet 2 pT , jet 2 η , jet 2 ϕ , jet 2 b-tag, jet 3 pT , jet 3 η , jet 3 ϕ , jet 3 b-tag, jet 4 pT , jet 4 η , jet 4 ϕ , jet 4 b-tag, m_{jj} , m_{jjj} , m_{lv} , m_{jlv} , m_{bb} , m_{wbb} , m_{wwbb} . For more detailed information about each feature see the original paper.

O objetivo dessa atividade é criar uma rede neural que possa ser treinada, **usando apenas as 21 low-level features**, para separar o sinal do fundo. No final da atividade, além das métricas de treinamento comuns utilizadas em aprendizado de máquina (acurácia, etc.) em função do Epoch da rede, você deve apresentar um histograma contendo o espectro de massa m_{wwbb} para as partículas identificadas pela sua rede como sinal e fundo, bem como os histogramas dessas grandezas para os valores originalmente rotulados, similar à figura 8-b do paper original. Não esqueça de bolar uma estratégia para dividir os dados entre conjunto de treino e validação e fique atento a possíveis overtraining da sua rede. Redes multicamadas com perceptrons devem ser suficientes para realizar a atividade, mas você pode se aventurar em topologias mais arrojadas. Utilize o Keras como pacote de análise.

Você deve entregar um relatório discutindo sua abordagem, modelos, estrutura da rede, técnicas utilizadas e também uma avaliação das métricas de desempenho para dar suporte ao seu resultado.