

DEYDAA2026

MC Dersi Kapanış Ödevi

Hazırlayan: Dr. Öğr. Üyesi Halil Gamsızkan

Amaç

Bu ödevde basit bir kozmik müon teleskobunu Monte Carlo yöntemiyle simüle edeceksiniz.

Amaç, bir fiziksel dağılımdan üretilen truth-level olayların dedektör geometrisi ve ölçüm çözünürlüğü nedeniyle nasıl değiştiğini görmek ve truth-level $\rightarrow$ detector acceptance $\rightarrow$ reconstructed-level zincirini anlamaktır.

Simülasyonumuz gerçek bir dedektör simülasyonu olmayacaktır; dedektör etkilerini basit bir geometrik model ve Gaussian konum çözünürlüğü ile temsil edeceğiz.

Tekrar-üretilebilirlik. Rastgele sayı üreticinizin seed'ini kodunuzun başında sabitleyin ve raporunuzda belirtin. Aynı seed $\rightarrow$ aynı olaylar; sonuçlarınız böylece kontrol edilebilir olur. Sayısal cevaplarınızın seed'e göre birkaç yüzde oynaması normaldir.

Dedektör modeli

Birbirine paralel iki yatay kare dedektör düzlemi düşünün. Her dedektörün boyutları $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ olsun. İki dedektör arasındaki düşey uzaklığı $d = 1 \text{ m}$ olarak alın. Koordinat sisteminin merkezi dedektörlerin merkezinde olsun. Böylece her dedektör için

$$-0.5 < x < 0.5 \text{ m}, \quad -0.5 < y < 0.5 \text{ m}$$

aralığı dedektörün hacmini temsil eder.

1. Adım — Rastgele kozmik müon üretimi

Toplam

$$N = 100,000$$

adet kozmik müon üretin. Kozmik müonların zenit açısı için basitleştirilmiş olarak

$$I(\theta) \propto \cos^2 \theta$$

bağıntısını kullanacağız. Burada

$$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

ve $\theta = 0$, müonun dikey olarak aşağı gelmesi anlamına gelir. Rastgele bir $r \sim U(0,1)$ sayısı üretip $\cos \theta = r^{1/3}$ ve dolayısıyla $\theta = \arccos(r^{1/3})$ bağıntısını kullanarak zenit açısını oluşturabilirsiniz. Azimut açısını ise uniform olarak üretin:

$$\phi \sim U(0, 2\pi).$$

Rastgele sayı üretende seed'inizi sabitleyin ve seedinizi çözümünüzde belirtin.

İlk kontrol

Ürettiğiniz tüm müonların θ dağılımının histogramını çizin. Bu histogram daha sonra karşılaştıracığımız truth-level başlangıç dağılımı olacaktır.

2. Adım — Müonun üst dedektöre giriş noktasını belirleyin

Her müonun üst dedektöre rastgele bir noktadan girdiğini kabul edin. Bunun için

$$x_1 \sim U(-0.5, 0.5)$$

ve

$$y_1 \sim U(-0.5, 0.5)$$

üretin. Böylece

$$(x_1, y_1)$$

müonun üst dedektördeki gerçek geçiş noktası olacaktır.

3. Adım — Müonun alt dedektöre ulaşp ulaşmadığını hesaplayın

Müon doğrusal hareket etsin.

Üst ve alt dedektör arasındaki yatay yer değiştirme

$$\Delta x = d \tan \theta \cos \phi \quad \text{ve} \quad \Delta y = d \tan \theta \sin \phi$$

olacaktır. Buna göre müonun alt dedektörü kestiği gerçek nokta

$$x_2 = x_1 + d \tan \theta \cos \phi$$

$$y_2 = y_1 + d \tan \theta \sin \phi$$

şeklinde hesaplanır. Şimdi kontrol edin:

$$-0.5 < x_2 < 0.5 \quad \text{ve} \quad -0.5 < y_2 < 0.5$$

ise müon iki dedektörden de geçmiştir ve olay kabul edilir.

Aksi durumda olay dedektör tarafından gözlenemez ve reddedilir.

Kabul (Acceptance) Hesabı

Toplam üretilen olay sayısını $N_{\text{generated}}$, iki dedektörden de geçen olay sayısını N_{accepted} olarak bulun.

Geometrik kabulü

$$A = \frac{N_{\text{accepted}}}{N_{\text{generated}}}$$

şeklinde hesaplayın.

4. Adım — Dedektör kabulünün dağılıma etkisini inceleyin

Yalnızca **iki dedektörden de geçen** müonların gerçek θ değerlerini kullanarak ikinci bir histogram oluşturun.

Şimdi aynı grafikte veya iki ayrı grafikte şu iki dağılımı karşılaştırın:

1. Üretilen tüm müonların θ_{truth} dağılımı
2. Dedektör tarafından kabul edilen müonların θ_{truth} dağılımı

Soru

İki dağılım neden aynı değildir?

Özellikle büyük zenit açılarında neden daha fazla olay kaybedildiğini açıklayın.

5. Adım — Dedektör çözünürlüğünü ekleyin

Şimdi dedektörün parçacığın geçtiği noktayı kusursuz ölçemediğini varsayalım.

Her ölçülen (x) ve (y) koordinatına Gaussian rastgele hata ekleyin:

$$x_i^{\text{meas}} = x_i + \mathcal{N}(0, \sigma)$$

$$y_i^{\text{meas}} = y_i + \mathcal{N}(0, \sigma)$$

ve $\sigma = 1$ cm alın.

Bu işlemi hem üst hem alt dedektör için uygulayın. Böylece elinizde

$$(x_1^{\text{meas}}, y_1^{\text{meas}}) \quad \text{ve} \quad (x_2^{\text{meas}}, y_2^{\text{meas}})$$

ölçüm noktaları olacaktır.

6. Adım — Zenit açısını yeniden yapılandırın

Ölçülen iki nokta arasındaki yatay mesafeyi hesaplayın:

$$\Delta r_{\text{meas}} = \sqrt{(x_2^{\text{meas}} - x_1^{\text{meas}})^2 + (y_2^{\text{meas}} - y_1^{\text{meas}})^2}.$$

Bundan yeniden yapılandırılmış zenit açısını bulun:

$$\theta_{\text{reco}} = \arctan \left(\frac{\Delta r_{\text{meas}}}{d} \right).$$

Artık her kabul edilen olay için iki farklı açı vardır:

θ_{truth} ve θ_{reco} .

7. Adım — Truth ve reconstructed dağılımlarını karşılaştırın

Aynı binning kullanarak şu üç dağılımı karşılaştırın:

- tüm üretilen olaylar: θ_{truth}
- dedektör tarafından kabul edilen olaylar: $\theta_{\text{truth,acc}}$
- reconstructed olaylar: θ_{reco}

Grafikleri inceleyerek şu iki etkinin farkını açıklayın:

Acceptance etkisi: Bir müonun dedektöre geometrik olarak ulaşabilip ulaşmaması.

Resolution etkisi: Dedektöre ulaşan bir müonun açısının tam olarak doğru ölçülememesi.

8. Adım — Bin migration

Analizinizde yalnızca $\theta < 20^\circ$ olan müonları seçtiğinizi düşünün. Her kabul edilen olay için θ_{truth} ve θ_{reco} değerlerini karşılaştırın. Şu iki olay sayısını bulun:

Yukarı doğru göç

Truth seviyesinde

$$\theta_{\text{truth}} < 20^\circ$$

olduğu halde reconstruction sonrasında

$$\theta_{\text{reco}} > 20^\circ$$

olan olayların sayısı.

Aşağı doğru göç

Truth seviyesinde

$$\theta_{\text{truth}} > 20^\circ$$

olduğu halde reconstruction sonrasında

$$\theta_{\text{reco}} < 20^\circ$$

olan olayların sayısı.

Bu olayların toplam kabul edilen örnek içindeki oranlarını hesaplayın.

9. Sonuç soruları

Aşağıdaki soruları birkaç cümleyle yanıtlayınız:

1. Üretilen ve kabul edilen müonların zenit açısı dağılımları neden farklıdır?
2. Dedektör çözünürlüğü θ_{truth} ve θ_{reco} arasında nasıl bir fark oluşturur? Bu fark her θ değerinde aynı büyüklükte midir?
3. $\theta < 20^\circ$ gibi keskin bir seçim uygulandığında detector resolution neden olayların seçim sınırını geçmesine neden olabilir?
4. Bir analizde yalnızca reconstructed dağılıma bakarak gerçek fizik dağılımını doğrudan çıkarmak neden her zaman mümkün değildir?
5. Bu toy simülasyonda hangi etkiler gerçek bir kozmik müon dedektörüne göre ihmal edilmiştir? En az üç tane sayın.

İsteğe bağlı çalışma — Dedektör tasarımı

Dedektörler arasındaki mesafeyi sırasıyla

$$d = 0.5 \text{ m}, \quad 1.0 \text{ m}, \quad 2.0 \text{ m}$$

olarak simülasyonu tekrarlayın.

Her durum için:

- geometrik kabulü,
- $\theta_{\text{truth}} - \theta_{\text{reco}}$ farkının genişliğini,
- kabul edilen olay sayısını

karşılaştırın.

Dedektörler arasındaki mesafe arttığında ****açısal çözünürlük**** ve ****geometrik kabul**** arasında nasıl bir ödünleşim oluştuğunu tartışın.

Ana fikir

Bu çalışmada simülasyon zinciri şu şekilde özetlenebilir:

Fizik modeli → Monte Carlo olay üretimi → Dedektör kabulü → Ölçüm çözünürlüğü → Reconstruction → Analiz seçimi

Gerçek HEP simülasyonunda zincir çok daha karmaşık olsa da temel mantık aynıdır.