

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

New Particle Search at CERN

Stage 1 - Displaced Vertex Identification

Αλέξανδρος Τσαγκαρόπουλος

Επιβλέποντες: Δημήτριος Φασουλιώτης, Στυλιανός Αγγελιδάκης

Περιεχόμενα

- 1 Εισαγωγή
- 2 Επεξεργασία Δεδομένων
- 3 Αποτελέσματα

Βασικοί Ορισμοί

- Τα **Interaction Points (IPs)** είναι τα σημεία κατά μήκος του LHC όπου οι δέσμες πρωτονίων διασταυρώνονται και συγκρούονται.
- Ένα **long-lived particle** αποτελεί ένα σωμαδίο με σχετικά μεγάλο χρόνο ζωής το οποίο προβλέπεται από θεωρίες που επεκτείνουν το Standard Model.
- Μία **Primary Vertex (PV)** είναι το σημείο από όπου προέρχονται δύο ή περισσότερες τροχιές και συμπίπτει με το IP.
- Μία **Displaced Vertex (DV)** είναι το σημείο όπου δύο ή περισσότερες τροχιές συγκλίνουν και βρίσκεται σε σημαντική απόσταση από το IP.

Ορισμοί Αλγορίθμου

- Τα DV_{true} αναφέρονται στα πραγματικά DV που συναντώνται στα γεγονότα.
- Τα DV_{reco} αναφέρονται στα DV που υπολογίζει το πρόγραμμα.
- **Σφάλμα/Error** ονομάζεται η απόσταση μεταξύ του DV_{true} και του αντίστοιχου DV_{reco} .
- **Απόσταση μεταξύ δύο ευθειών** ορίζουμε το ελάχιστο της απόστασης ενός σημείου της πρώτης από τη δεύτερη.

Σκοπός

- ① Ανάπτυξη αλγορίθμου που αναζητά και αναγνωρίζει τα DV_{true} που υπάρχουν σε πολλαπλά γεγονότα.
 - **Δείκτες:**
 - ① **Efficiency:** Ο λόγος των DV_{true} που αντιστοιχίζονται σε κάποιο DV_{reco} δια το συνολικό αριθμό των DV_{true} .
 - ② **Purity:** Ο λόγος των DV_{reco} που αντιστοιχίζονται σε κάποιο DV_{true} δια το συνολικό αριθμό των DV_{reco} .
 - **Δεδομένα από Ιστογράμματα:**
 - ① **Accuracy:** Ο λόγος του αριθμού των DV_{reco} με σφάλμα μικρότερο από ένα όριο προς το συνολικό αριθμό των DV_{reco} .
 - ② **Effectiveness:** Σύγκριση αριθμού DV_{reco} και DV_{true} .
- ② Σύγκριση αποτελεσμάτων με αυτά που προκύπτουν από ανθρώπινη είσοδο.

Χαρακτηριστικά Γεγονότων

Τα γεγονότα υπό επεξεργασία έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ο αριθμός τους είναι 4300.
- Όλες οι τροχιές που σχετίζονται με PV έχουν αφαιρεθεί.
- Όλα τα γεγονότα περιέχουν τουλάχιστον ένα DV.
- Τα γεγονότα περιέχουν προσομοιωμένα δεδομένα.
- Αριθμοί DV_{true} :
 - Συνολικά: 5247.
 - Γεγονότα με ένα DV_{true} : 3358.
 - Γεγονότα με δύο DV_{true} : 1868.
 - Γενοτότα με τρία DV_{true} : 21.

Δεδομένα

Σε κάθε γεγονός είναι δεδομένα τα εξής:

- Αριθμός DV_{true} .
- Η θέση κάθε DV_{true} .
- Αριθμός τροχιών.
- Το πρώτο σημείο P_i και το τελευταίο σημείο P'_i της i -οστής τροχιάς.

Διαδικασία Επεξεργασίας

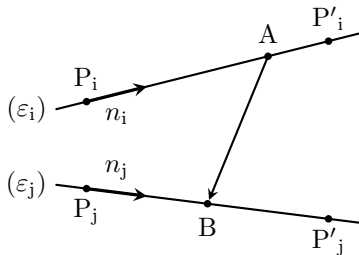
1 Απόσταση Μεταξύ Ευθειών

$$OA = \mathbf{r}_i + \frac{\mathbf{u} \cdot (\mathbf{n}_j \times \mathbf{r}_o)}{\|\mathbf{u}\|^2} \mathbf{n}_i,$$

$$OB = \mathbf{r}_j + \frac{\mathbf{u} \cdot (\mathbf{n}_i \times \mathbf{r}_o)}{\|\mathbf{u}\|^2} \mathbf{n}_j,$$

$$\mathbf{n}_i \equiv \mathbf{r}'_i - \mathbf{r}_i, \quad \mathbf{n}_j \equiv \mathbf{r}'_j - \mathbf{r}_j.$$

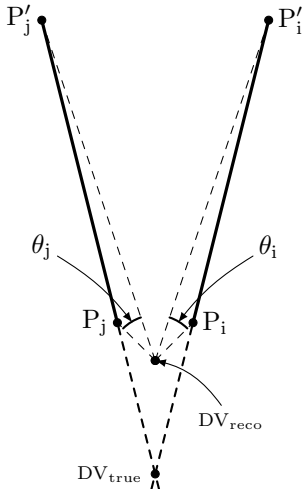
$$\mathbf{u} \equiv \mathbf{n}_j \times \mathbf{n}_i, \quad \mathbf{r}_o \equiv \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i,$$



Διαδικασία Επεξεργασίας

② Συνθήκες Επιλογής DV_{reco}

- Κάθε DV_{reco} :
 - ανακατασκευάζεται από δύο τροχιές, και
 - είναι το μέσο του διανύσματος απόστασής τους.
- Οι γωνίες: $0 \leq \theta_i, \theta_j \leq \pi/2$.
- Η απόσταση τροχιών μικρότερη ή ίση του $DVCut$.
- Το $DVCut$ μικραίνει εκθετικά για κάθε DV_{reco} που υπολογίζεται.



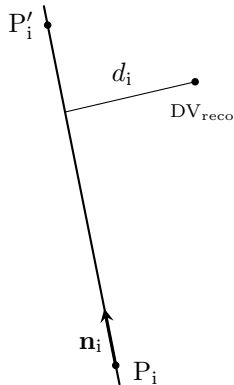
Διαδικασία Επεξεργασίας

③ Πολλαπλές Τροχιές που Ανήκουν σε DV_{reco}

- Έλεγχος για τροχιές που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για ανακατασκευή DV_{reco} .
- Η απόστασή τους:

$$d_i = \frac{\|(\mathbf{p} - \mathbf{r}_i) \times \mathbf{n}_i\|}{\|\mathbf{n}_i\|}, \quad \mathbf{n}_i \equiv \mathbf{r}'_i - \mathbf{r}_i$$

από το DV_{reco} μικρότερη από
 $\text{TrajectoryCut} = DV_{\text{Cut}}/2$.



Διαδικασία Επεξεργασίας

④ Τροχιές που Έχουν Χρησιμοποιηθεί

- Σε κάθε τροχιά αντιστοιχίζεται ένας δείκτης.
- Στον πίνακα `usedLineIndex` αποθηκεύονται οι δείκτες από τις τροχιές που έχουν χρησιμοποιηθεί:
 - Είτε για την ανακατασκευή κάποιου DV_{reco} ,
 - είτε γιατί ανήκουν σε κάποιο DV_{reco} .

Διαδικασία Επεξεργασίας

④ Τροχιές που Έχουν Χρησιμοποιηθεί

- Σε κάθε τροχιά αντιστοιχίζεται ένας δείκτης.
- Στον πίνακα `usedLineIndex` αποθηκεύονται οι δείκτες από τις τροχιές που έχουν χρησιμοποιηθεί:
 - Είτε για την ανακατασκευή κάποιου DV_{reco} ,
 - είτε γιατί ανήκουν σε κάποιο DV_{reco} .

Διαδικασία Επεξεργασίας

④ Τροχιές που Έχουν Χρησιμοποιηθεί

- Σε κάθε τροχιά αντιστοιχίζεται ένας δείκτης.
- Στον πίνακα `usedLineIndex` αποθηκεύονται οι δείκτες από τις τροχιές που έχουν χρησιμοποιηθεί:
 - Είτε για την ανακατασκευή κάποιου DV_{reco} ,
 - είτε γιατί ανήκουν σε κάποιο DV_{reco} .

Διαδικασία Επεξεργασίας

④ Τροχιές που Έχουν Χρησιμοποιηθεί

- Σε κάθε τροχιά αντιστοιχίζεται ένας δείκτης.
- Στον πίνακα `usedLineIndex` αποθηκεύονται οι δείκτες από τις τροχιές που έχουν χρησιμοποιηθεί:
 - Είτε για την ανακατασκευή κάποιου DV_{reco} ,
 - είτε γιατί ανήκουν σε κάποιο DV_{reco} .

Διαδικασία Επεξεργασίας

④ Τροχιές που Έχουν Χρησιμοποιηθεί

- Σε κάθε τροχιά αντιστοιχίζεται ένας δείκτης.
- Στον πίνακα `usedLineIndex` αποθηκεύονται οι δείκτες από τις τροχιές που έχουν χρησιμοποιηθεί:
 - Είτε για την ανακατασκευή κάποιου DV_{reco} ,
 - είτε γιατί ανήκουν σε κάποιο DV_{reco} .

Διαδικασία Επεξεργασίας

5 Υπολογισμός Σφαλμάτων

Για κάθε DV_{reco} που υπολογίζεται ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Υπολογίζονται όλα τα σφάλματα με τα DV_{true} που υπάρχουν στο γεγονός.
- Το σφάλμα που αντιστοιχεί στο εκάστοτε DV_{reco} είναι το μικρότερο από τα παραπάνω.

Διαδικασία Επεξεργασίας

5 Υπολογισμός Σφαλμάτων

Για κάθε DV_{reco} που υπολογίζεται ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Υπολογίζονται όλα τα σφάλματα με τα DV_{true} που υπάρχουν στο γεγονός.
- Το σφάλμα που αντιστοιχεί στο εκάστοτε DV_{reco} είναι το μικρότερο από τα παραπάνω.

Διαδικασία Επεξεργασίας

5 Υπολογισμός Σφαλμάτων

Για κάθε DV_{reco} που υπολογίζεται ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Υπολογίζονται όλα τα σφάλματα με τα DV_{true} που υπάρχουν στο γεγονός.
- Το σφάλμα που αντιστοιχεί στο εκάστοτε DV_{reco} είναι το μικρότερο από τα παραπάνω.

Δείκτες

1 Efficiency:

Επίπεδο	Συνολικά	Ένα DV_{true}	Δύο DV_{true}
$x - y$	0.95	0.97	0.91
$\rho - z$	0.97	0.99	0.94

2 Purity:

Επίπεδο	Συνολικά	Ένα DV_{true}	Δύο DV_{true}
$x - y$	0.71	0.64	0.90
$\rho - z$	0.73	0.65	0.92

Δείκτες

1 Efficiency:

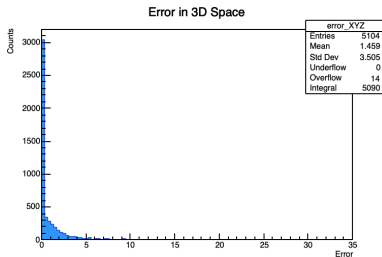
Επίπεδο	Συνολικά	Ένα DV_{true}	Δύο DV_{true}
$x - y$	0.95	0.97	0.91
$\rho - z$	0.97	0.99	0.94

2 Purity:

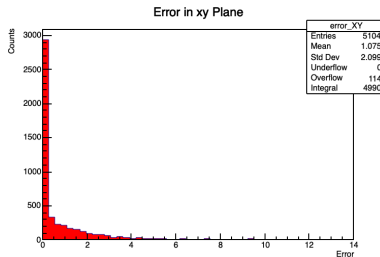
Επίπεδο	Συνολικά	Ένα DV_{true}	Δύο DV_{true}
$x - y$	0.71	0.64	0.90
$\rho - z$	0.73	0.65	0.92

Δεδομένα από Ιστογράμματα

Σφάλματα - Συνολικά



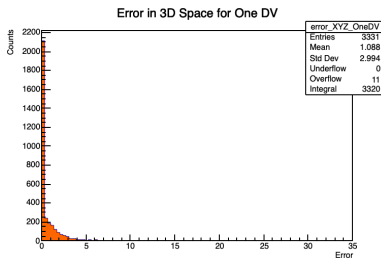
Accuracy = 0.997



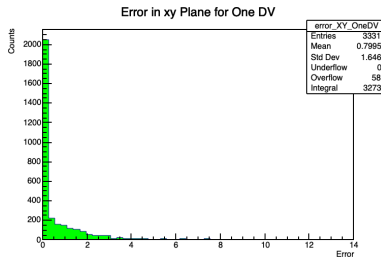
Accuracy = 0.977

Δεδομένα από Ιστογράμματα

Σφάλματα - Δεδομένα με Ένα DV_{true}



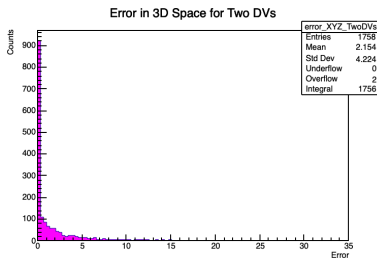
Accuracy = 0.997



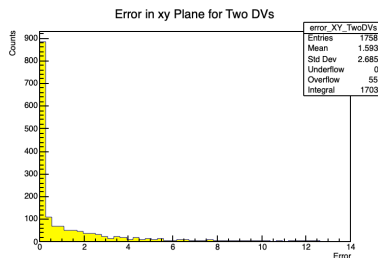
Accuracy = 0.989

Δεδομένα από Ιστογράμματα

Σφάλματα - Δεδομένα με Δύο DV_{true}



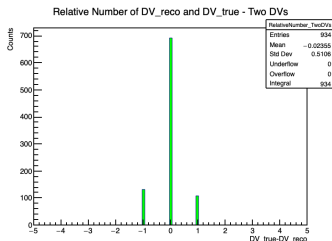
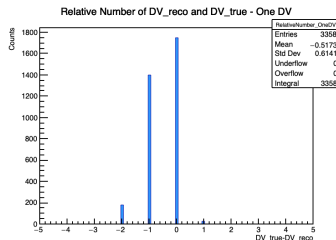
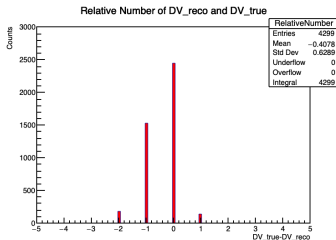
Accuracy = 0.999



Accuracy = 0.967

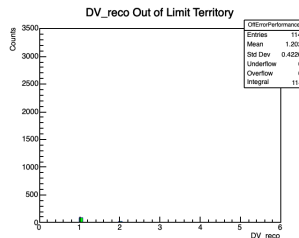
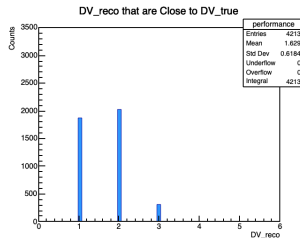
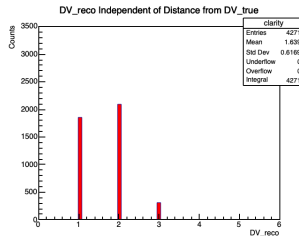
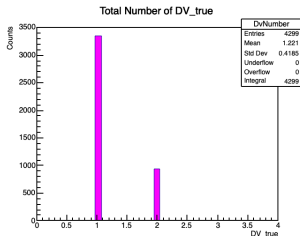
Δεδομένα από Ιστογράμματα

Σχετικός Αριθμός DV_{reco} και DV_{true}



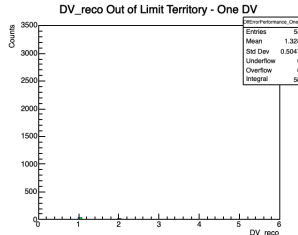
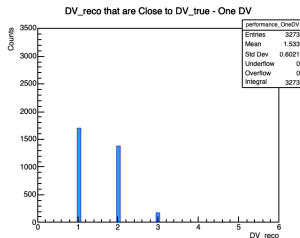
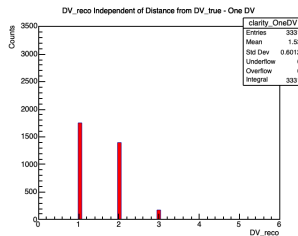
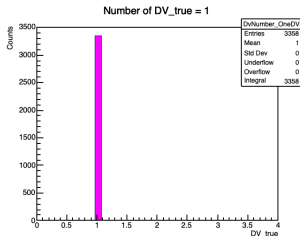
Δεδομένα από Ιστογράμματα

Αριθμός DV_{reco} και DV_{true} - Συνολικά



Δεδομένα από Ιστογράμματα

Αριθμός DV_{reco} και DV_{true} - Δεδομένα με Ένα DV_{true}



Δεδομένα από Ιστογράμματα

Αριθμός DV_{reco} και DV_{true} - Δεδομένα με Δύο DV_{true}

