

IDENTIFICACIÓN DE MUONES EN ATLAS

Miguel Villaplana Pérez

Marzo 2007

Contents

1	Introducción	1
2	Detector Interno[1]	1
3	Espectrómetro de muones[4]	2
3.1	Muonboy[5]	2
3.2	MOORE[6]	2
4	Combinación de Trazas[7]	3
4.1	Trazas combinadas del Tracking Detector y del Espectrómetro de Muones	3
4.1.1	STACO	3
4.1.2	MuIDCombined	3
4.1.3	COBRA ¹	4
4.2	Muones de bajo P_t	4
4.3	Tracking Detector + Calorímetro[8]	5
5	Eficiencia de los procedimientos[9]	5

1 Introducción

Cuando el LHC se ponga en funcionamiento, el detector ATLAS será atravesado por muones procedentes de una amplia gama de procesos con energías que irán desde unos pocos GeV, en el caso de B-physics, hasta algunos TeV, en procesos en los que se espera encontrar nueva física como puede ser la aparición de agujeros negros microscópicos. A lo largo de su camino, los muones dejarán su huella en muchas de las partes que componen ATLAS como son los detectores internos, los calorímetros o los espectrómetros. Es de esperar por tanto, que los algoritmos de identificación de muones combinen todos estos resultados.

En las secciones que siguen se va a describir, primero los algoritmos de identificación utilizados en cada uno de los subdetectores que forman ATLAS, y después las diferentes formas de combinar los resultados obtenidos para reconstruir las trazas, etc. Finalmente, se hará referencia a la eficiencia con que se espera detectar los muones.

2 Detector Interno[1]

Rodeado por un campo magnético solenoidal, el detector interno o Tracking Detector está diseñado para determinar con precisión las trazas de partículas cargadas, como son los muones, en el plano (r, ϕ) .

¹Este algoritmo no aparece en los textos más actuales

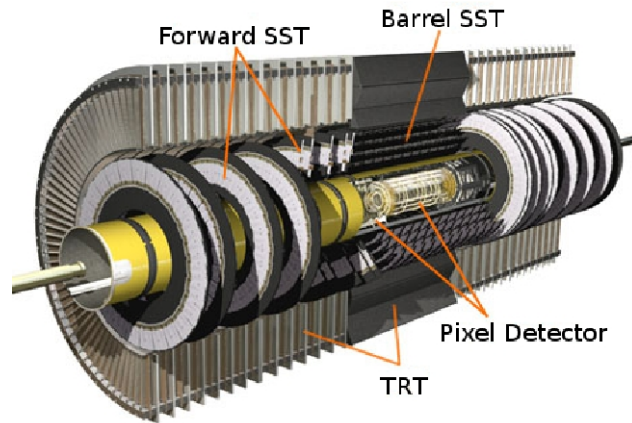


Figure 1: Detector Interno.

NewTracking[2] es el algoritmo que se usa por defecto. Su diseño modular le permite incorporar componentes de otros algoritmos como **xKalman**[8] e **iPatRec**[3] que, aunque actualmente siguen siendo competitivos, con el tiempo se verán superados. La variedad de opciones de que dispone **NewTracking** hace que sea difícil dar una idea clara del funcionamiento del algoritmo. Sin embargo, puede decirse que el prototipo consiste básicamente en cuatro algoritmos:

SiSPSeededTrackFinder se encarga de buscar candidatos en el Pixel Tracker y en el Silicon Strip Tracker.

InDetAmbiguitySolver selecciona buenos candidatos, hace un ajuste global y resuelve ambigüedades.

TRT_TrackExtension extiende al Transition Radiation Tracker las trazas encontradas.

InDetExtensionProcessor reajusta las extensiones y reemplaza las originales.

3 Espectrómetro de muones[4]

3.1 Muonboy[5]

Diseñado a principios de los 90 bajo el nombre de MUONBOX, este algoritmo es una pieza clave en el estudio de muones en ATLAS. Se ha usado en el diseño y la optimización del espectrómetro así como para calibrar varios de sus componentes.

El método de trabajo puede resumirse de la siguiente manera:

1. Identificación de regiones de actividad en el espectrómetro utilizando RPC^2/TGC^3 .
2. Reconstrucción de los segmentos de cada una de las estaciones dentro de la zona de actividad.
3. Combinación de segmentos de diferentes estaciones para formar posibles trazas usando *3D tracking* en el campo magnético.
4. Ajuste global de las trazas a lo largo de todo el sistema teniendo en cuenta la información obtenida de cada *hit* individualmente.

3.2 MOORE[6]

Este algoritmo trata de aprovechar las cualidades de C++. Una de estas cualidades es el diseño modular, que permite incluir en el programa contribuciones procedentes de todo el planeta. Por otro lado, este diseño hace que sea difícil explicar el funcionamiento del algoritmo de forma concisa ya que existen varios módulos intercambiables que afrontan la reconstrucción de diferente manera. Por defecto, MOORE actúa como sigue.

²Resistive Plate Chambers.

³Thin Gas Chambers.

1. Busca zonas de actividad en el interior del espectrómetro.
2. Aplica un algoritmo de *reconocimiento de patrones*. Los efectos del campo magnético sobre las trazas son despreciables en el plano (r, ϕ) y el mismo método puede aplicarse localmente al plano (r, z) asumiendo que las posiciones de los *hits* obtenidos con el MDT⁴ coinciden con el centro de los tubos. Los segmentos construidos son refinados por el programa posteriormente.
3. Realiza un ajuste con los segmentos obtenidos.
4. Finalmente, se aplica un procedimiento de limpieza que elimina los *hits* con residuos más altos.

4 Combinación de Trazas[7]

Una buena forma de aumentar la eficiencia, mejorar el filtro de *fakes* y optimizar la resolución del momento de los muones detectados pasa por combinar los resultados obtenidos por el Tracking Detector con los obtenidos por el Espectrómetro de Muones. Con este propósito se han desarrollado varios algoritmos que abordan la combinación de diferente manera.

4.1 Trazas combinadas del Tracking Detector y del Espectrómetro de Muones

4.1.1 STACO

El algoritmo realiza una combinación estadística de medidas independientes utilizando las matrices de covarianza. Además de los efectos de la pérdida de energía en el calorímetro, incluidos en MUONBOY, los efectos del scattering múltiple y de fluctuaciones en la pérdida de energía han sido incluidos en las matrices de covarianza. Se utiliza el paquete xKalman en la reconstrucción de las trazas en el Tracking Detector.

El método es el siguiente:

1. Se descartan las parejas de trazas que no presentan una compatibilidad razonable en el plano (η, ϕ) y aquellas cuyo χ^2 global está por encima de un cierto valor máximo.
2. Se prueban combinaciones con las trazas que pasan el filtro.
3. La combinación con mejor χ^2 es retenida y las trazas son eliminadas de la lista.
4. Los pasos 2 y 3 se repiten hasta que no quedan combinaciones posibles.

4.1.2 MuIDCombined

Este paquete de identificación de muones combina los resultados del Tracking Detector (iPatRec) y del Espectrómetro de Muones (MUONBOY/MOORE) con información procedente del calorímetro.

1. Se reexpresan las trazas del espectrómetro para que tengan la misma representación que las del Tracking Detector. En el proceso se tienen en cuenta tanto la pérdida de energía en el calorímetro como el scattering múltiple.
2. Se realizan emparejamientos calculando un χ^2 de 5 grados de libertad a partir de las covarianzas y las diferencias entre los cinco parámetros que definen la traza.
3. Se hace un ajuste combinado de todos los emparejamientos con una probabilidad de $\chi^2 > 0.001$.
4. Si ninguna pareja supera el paso 3, se hace un ajuste combinado con la mejor pareja en las cercanías del camino del muon de forma similar al paso 2.
5. Todas combinaciones del espectrómetro con el Tracking Detector con un ajuste combinado satisfactorio son almacenadas e identificadas como muones.

⁴Monitored Drift Tube

4.1.3 COBRA⁵

COBRA incorpora el *average tracking* y la propagación de errores de GEANE, gracias a esto puede acceder a la descripción del detector de GEANT evitándose así posibles incompatibilidades con la simulación.

1. Las trazas reconstruidas en el Tracking Detector y el Espectrómetro de Muones son extrapoladas hasta un punto común, normalmente en el interior del calorímetro. En el proceso se aplican correcciones a la pérdida de energía y se actualiza la matriz de covarianza a lo largo de la trayectoria.
2. Se calcula el χ^2 de los parámetros de la traza en el punto extrapolado.
3. Si la combinación tiene éxito, se hace un reajuste tipo Billoir, conocido como filtro Kalman.

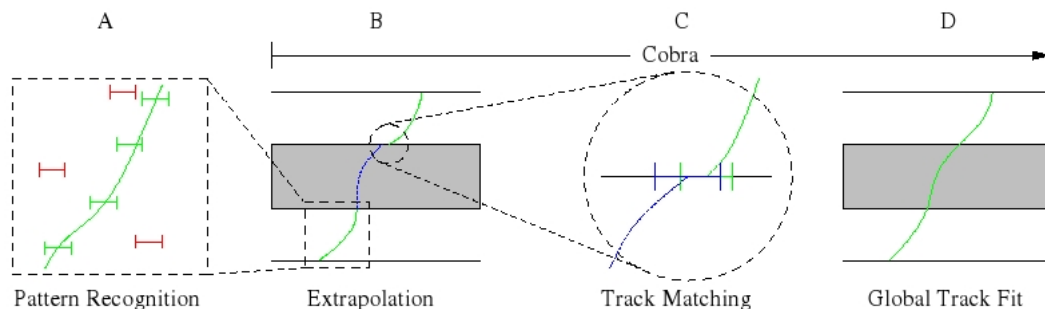


Figure 2: Esquema de funcionamiento de COBRA.

4.2 Muones de bajo P_t

Las trazas de algunos muones son claramente recogidas por el Tracking Detector pero solo aparecen como segmentos aislados en el Espectrómetro de Muones. Normalmente son muones con unos pocos GeV que no tienen suficiente energía para llegar a las capas más externas del espectrómetro, pero también pueden ser muones energéticos que atraviesan el espectrómetro por zonas no operativas (*acceptance gaps*).

Los algoritmos que seguidamente se mencionan tratan de asociar las trazas conseguidas con el Tracking Detector con alguna actividad detectada en el espectrómetro.

- **MuTag** intenta asociar trazas encontradas en el Tracking Detector por encima de los 2 GeV con segmentos del MDT⁶. Para ello busca compatibilidad tanto en el ángulo como en el plano (η, ϕ) .
- **MuGirl**
 1. Escoge un candidato de entre las trazas del Tracking Detector.
 2. Extrapola la traza hasta el Espectrómetro de Muones.
 3. Busca *hits* en el espectrómetro compatibles con la traza extrapolada.
 4. Utiliza la información procedente de los segmentos del espectrómetro para mejorar la extrapolación.
 5. Aplica ANN⁷.
 6. Identifica posibles muones.

⁵Este algoritmo no aparece en los textos más actuales

⁶Monitored Drift Tube Chamber.

⁷Algoritmo que optimiza la discriminación.

4.3 Tracking Detector + Calorímetro[8]

Como se ha mencionado anteriormente, hay varios *puntos ciegos* en el Espectrómetro de Muones. Una buena forma de cubrir estos puntos es utilizar también la energía depositada en el calorímetro en la reconstrucción de aquellas trazas que no se ven continuadas en el espectrómetro.

De realizar esta tarea pueden encargarse varios algoritmos:

- TileCalMuId
- Wisconsin CaloLR
- NIKHEF muTagger

5 Eficiencia de los procedimientos[9]

Los datos que se ofrecen proceden de estudios de muones individuales con p_T fijo. Como puede verse en la figura 3, la combinación de trazas domina en el intervalo $(10, 100) GeV$. Por debajo de este intervalo domina el Detector Interno y por encima el espectrómetro. Puede apreciarse un leve descenso de la eficiencia a medida que p_T aumenta que va desde 97% a 10 GeV hasta el 85% a 1 TeV. Este descenso se justifica teniendo en cuenta que al aumentar p_T también aumenta la probabilidad de aparición de cascadas electromagnéticas que pueden enmascarar los *hits*. Para reducir costes hay solo tres capas de tubos por multicapa en las estaciones central y externa del espectrómetro. Esto hace que se pierdan algunas trazas incrementando la ineficiencia del proceso de combinación en un 5% a 1 TeV. Sumando a esto los errores al reconocer patrones en el sistema, puede decirse que la eficiencia de reconstrucción a 1 TeV es del 90%.

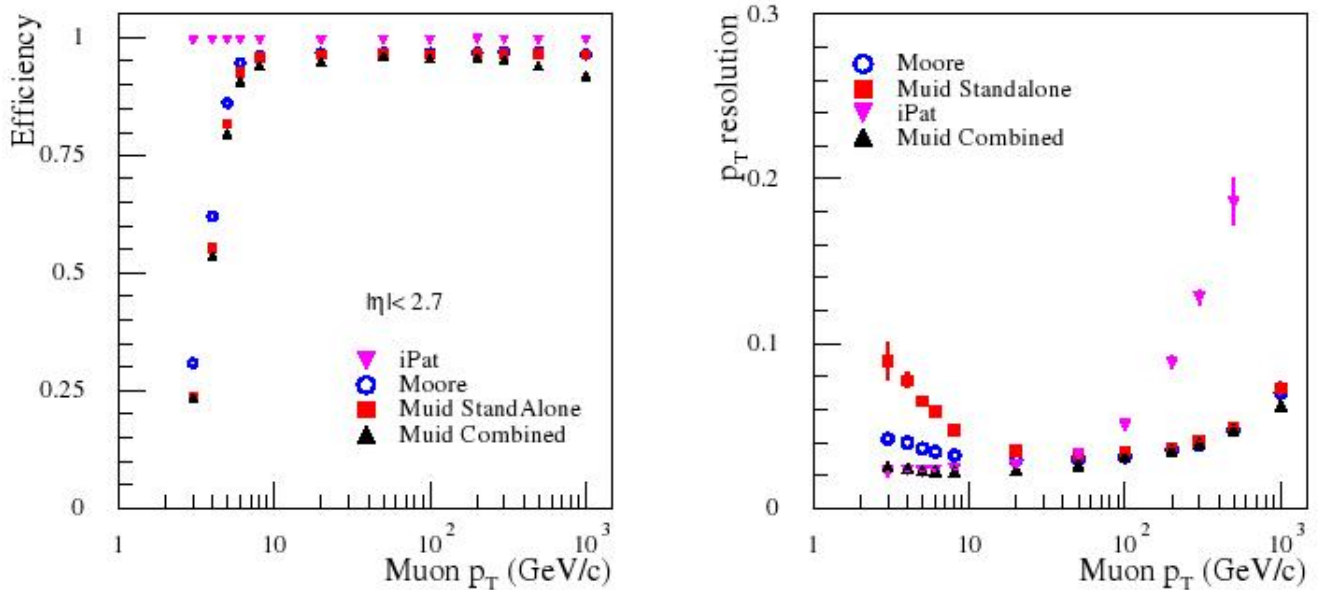


Figure 3: Eficiencia de reconstrucción de trazas (izquierda) y resolución (derecha) en función de p_T para el espectrómetro (MuID StandAlone), para el Detector Interno (iPatRec) y para trazas combinadas (MuID Combined).

En el caso de muones con bajo p_T dominan las medidas obtenidas con el Detector Interno. La eficiencia del algoritmo de combinación de trazas sigue a la del Detector Interno hasta los 3 GeV, donde cae rápidamente hasta el 30%.

References

- [1] http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/INNER_DETECTOR/inner_detector.html
- [2] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/NewTracking>
- [3] R. Clift and A. Poppleton, *iPatRec: Inner Detector pattern-recognition and tracking-fitting*, ATLAS Internal Note, ATL-SOFT-94-009 (1994)
- [4] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/MuonSpectrometer>
- [5] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/TrackingSoftwareOverview#Muonboy>
- [6] J. Shank et al., *Track Reconstruction in the ATLAS Muon Spectrometer with MOORE*, ATL-COM-MUON-2003-012, ATL-COM-SOFT-2003-007.
- [7] <http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/MUON/muon.html>
- [8] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/MuonRecoPedia>
- [9] ATLAS collab., *ATLAS Detector and Physics Performance Technical Design Report*, CERN-LHCC 99-14 and 99-15, 1999.
J. Shank et al., *Muon identification and combined reconstruction for the ATLAS detector at CERN-LHC*, 2003