



ARxCODE
Prototipo de software para el Análisis de Riesgo por Colisión con
Desechos Espaciales.

Por ***M. Cecilia Valenti.***

Presentado ante la Universidad Nacional de La Matanza y la Unidad de Formación Superior de la CONAE
como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

MAGISTER EN DESARROLLOS INFORMATICOS DE APLICACION ESPACIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

Mayo, 2017

©UFS-CONAE 2017

©UNLAM 2017

DIRECTOR

Marcelo Colazo

CONAE, Córdoba, Argentina

Abstract

Keywords:

Resumen

Palabras clave:

Agradecimientos

Tabla de Contenidos

1. Introducción	1
1.0.1. Regulaciones Nacionales e Internacionales	1
1.0.2. Planteo del Problema	1
2. Marco Teórico	2
2.0.3. CDM	2
3. Metodología	3
3.1. Método de Osweiler	3
3.2. Tratamiento sobre Datos de Misión	3
3.3. Preprocesamiento de los Datos de Misión de CODS	4
3.3.1. ORBEPHEM	4
3.3.2. Archivos Utilizados	5
3.4. Transformación de Coordenadas	6
3.5. Diferencias	8
4. ARxCODE	9
4.1. Especificaciones	9
4.2. Diseño y Desarrollo	9
4.2.1. Arquitectura	9
4.2.2. parametros globales y nomenclatura de la generacion de archivos	9

TABLA DE CONTENIDOS

5. Resultados	10
6. Conclusiones	11
Bibliografía	12

Índice de figuras

3.1. Método de Osweiler sobre datos CODS	4
3.2. Resultado del método de Pair-Wise Differencing considerando TLEs y Datos de Misión. . . .	5
3.3. Resultado del método de Pair-Wise Differencing considerando TLEs y Datos de Misión. . . .	6

Índice de tablas

Lista de acrónimos

Introducción

1.0.1. Regulaciones Nacionales e Internacionales

1.0.2. Planteo del Problema

Llega un CDM que anuncia un riesgo de colisión en el tiempo futuro t_{ca} , ¿qué cosas me pregunto?

Preguntas:

1. ¿Con qué error conozco la posición de la Misión para la época actual?
2. ¿Con qué error conozco la posición del desecho para la época actual?
3. ¿Con qué error conozco la posición de la Misión para la época t_{ca} ?
4. ¿Con qué error conozco la posición del desecho para la época t_{ca} ?

1. Error de la Misión en la época actual: La posición y velocidad se plasma en los productos que genera el CODS, a través de sus efemérides predichas y o precisas. El error asociado ... ¿? : documento CODS y/o dato CDM - En nuestro trabajo utilizamos TLEs para su estimación y la generación de la matriz de covarianza. Como mostraremos más adelante en el capítulo 3...
2. Error del Desecho en la época actual: ¿?:dato CDM - Método de Osweiler. Función de Ajuste a partir de la tendencia. (Validación utilizando datos CODS para comparar los resultados de la función de ajuste)

Marco Teórico

- CDM: Recepción.
- Metodología Akella & Alfriend.
- Metodología Osweiler.

2.0.3. CDM

(JAC SW - Laporte)

CSM: They are made available on Emergency Criteria, wich are Time of Closest Approach whithin 72 hs combined with a miss distance criteria:

LEO:

overall miss distance <1km

radial miss distance <200m

GEO/MEO:

Overall miss distance <10 km.

CSM are advisory and informational messages only and are not directly actionable. They don't provide a direct recommendation to perform an avoidance action and of course they cannot take neither the operational constraints of the asset nor the maneuvers the asset plans or just performed. (sigue ver apuntes Laporte carpeta...)

!!! JSpOC NO CUENTA CON INFORMACIÓN DE MANIOBRAS PLANIFICADAS, puede haber falsas alarmas.

CONCEPTO DE MIDDLE MAN.

CONCEPTO DE COLLABORATIVE WORK ENVIRONMENT. (close loop process)

Metodología

3.1. Método de Osweiler

Es un método que propone una manera de estimar los errores que se cometen en la utilización de TLEs para la determinación de la posición y la velocidad. El mismo consiste en utilizar un set de TLEs de un intervalo de dos semanas, y considerar el TLE más próximo al tiempo de máximo acercamiento (TLE *Primario*) como el valor *real* o *verdadero*.

A partir de esa premisa, propaga los TLEs anteriores hasta la época del TLE Primario y con las diferencias que resultan de la comparación, realiza los cálculos estadísticos de los valores medios y las varianzas, para construir la matriz Varianza Covarianza correspondiente al TLE Primario.

Para hacer los estudios de validación de nuestra implementación del método, de los 6 satélites estudiados por Osweiler, dentro de 8 ventanas temporales distintas, nosotros hemos aplicado el método a dos de ellos con características similares a las misiones de CONAE y en particular a la misión SAC-D, que hemos incorporamos como escenario propio de validación ya que contamos con datos orbitales reales de mayor precisión que los TLEs.

3.2. Tratamiento sobre Datos de Misión

En esta etapa repetimos el método que propone Osweiler considerando los datos de misión generados por el CODS como posición verdadera.

La aplicación del método implica:

- Identificar el último TLE del set: *TLE primario*.
- Extraer la época del TLE primario.
- Localizar el archivo CODS que contenga las efemérides que encierren la época del TLE primario.
- Interpolan las efemérides de CODS para generar una efeméride interpolada a la época del TLE primario.
- Propagar cada uno de los TLEs del set, hasta la época del TLE primario.
- Comparar los resultados de las propagaciones con los valores de la efemérides interpolada.

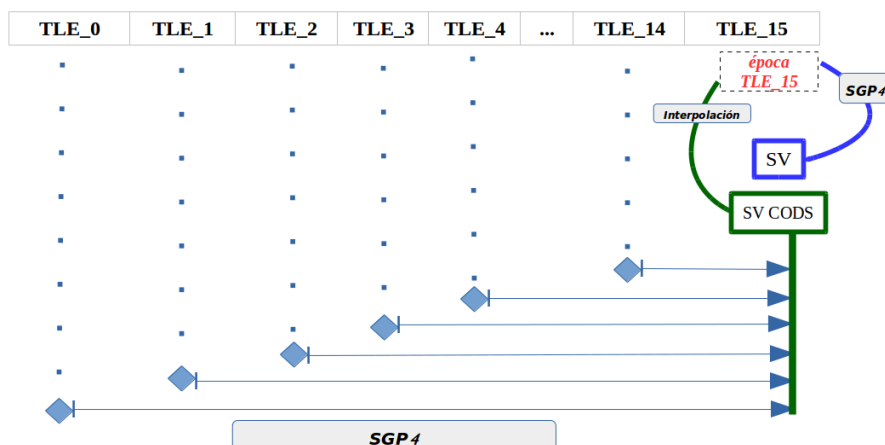


Figura 3.1: Método de Osweiler sobre datos CODS

3.3. Preprocesamiento de los Datos de Misión de CODS

Para este trabajo CONAE nos facilitó el acceso a los datos orbitales de la misión SAC-D. Los datos se encuentran montados en un servidor que contiene la información organizada en archivos con formato ASCII, distribuidos en distintas carpetas según su clasificación.

Para la comparación que proponemos, solicitamos acceso a los archivos de efemérides orbitales ORBEPHEM, que ofrecen posiciones y velocidades tabuladas cada un minuto, en el Sistema de Referencia TOD (True of Date), en coordenadas cartesianas.

3.3.1. ORBEPHEM

Estos productos son generados luego de un post procesamiento que incluye una propagación ajustada por una determinación orbital. Cada archivo contiene un listado cronológicamente tabulado de posiciones y velocidades, dentro de un periodo de casi 3 días. (doc_interfaces)

La nomenclatura de los mismos respeta el siguiente formato:

CODS_YYYYMMDD_HHMMSS_SACD_ORBEPHEM_TOD_XYZ_O.TXT

Donde:

CODS = Identifica el Servicio dentro del CUSS que presta la información.

YYYYMMDD_HHMMSS = época de generación del dato.

SACD = Identificación del Satélite.

ORBEPHEM = Tipo de Dato, Efeméride Orbital (procesada a posteriori)

TOD = Sistema de Referencia True of Date.

XYZ = Tipo de efeméride, cartesiana.

O = Operacional.

3.3.2. Archivos Utilizados

Si bien la nomenclatura de los archivos respeta una estructura, sólo se indica en el nombre, la fecha de generación de los datos y no puede desprenderse del mismo cuál es la época final e inicial de cada archivo, y no existe un registro de los gaps de datos ausentes. A su vez, las épocas contempladas en cada uno de ellos no está homogeneizada. Es decir, la fecha y hora inicial y final de cada registro es diferente para cada archivo. Dada esta organización, para el punto tres del procedimiento, referente a la localización del archivo necesario para la comparación, la búsqueda se realiza de la siguiente manera:

Localizamos en primer lugar el archivo cuyo nombre coincide con la fecha de la época del TLE primario. Como una misma fecha se encuentra en más de un archivo, buscamos el archivo que contenga esa fecha y que además sea el más actualizado de todos. Para ello, además del archivo cuyo nombre contiene la fecha del TLE primario, se enlistan los siguientes dos archivos y se ordenan en orden decreciente, de manera que el primer lugar de la lista lo ocupe el último de los archivos seleccionados. Finalmente se comienza el proceso iterativo de abrir los archivos, evaluar el contenido y ver si se encuentran los dos registros que encierran la época del TLE. Una vez que se encuentran las líneas de efemérides que contienen la época de interés se interpola, y se termina la iteración.

Cantidad TOTAL de archivos = 1454

Cantidad media de registros por archivo = 2688

Archivo con el mayor número de registros = 3042

Archivo con el menor número de registros = 142

Imágenes comparativas entre los dos métodos:

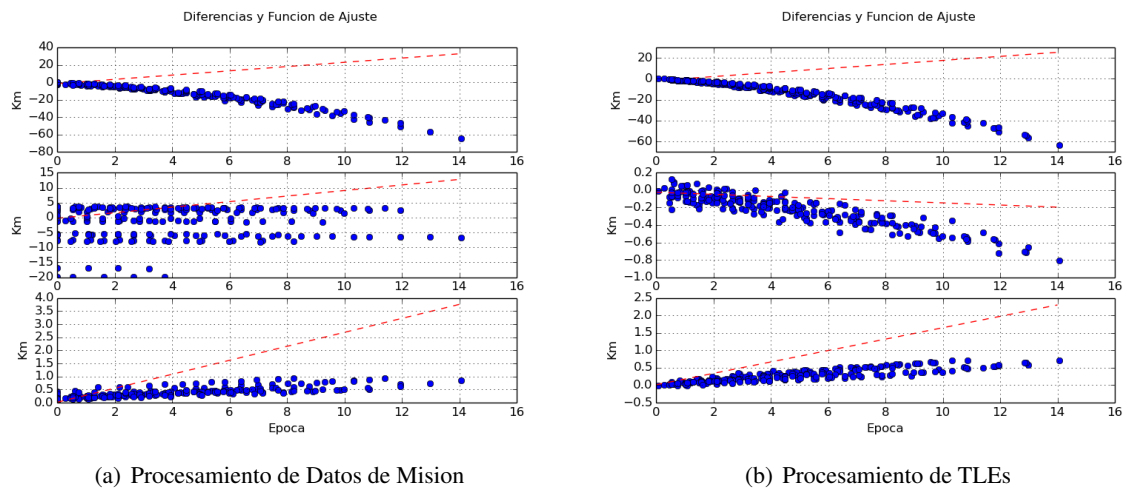


Figura 3.2: Resultado del método de Pair-Wise Differencing considerando TLEs y Datos de Misión.

DIFERENCIAS: TLE-CODS

dv = -46.8489636874

dn = 2.35761559016

dc = 0.611728098324

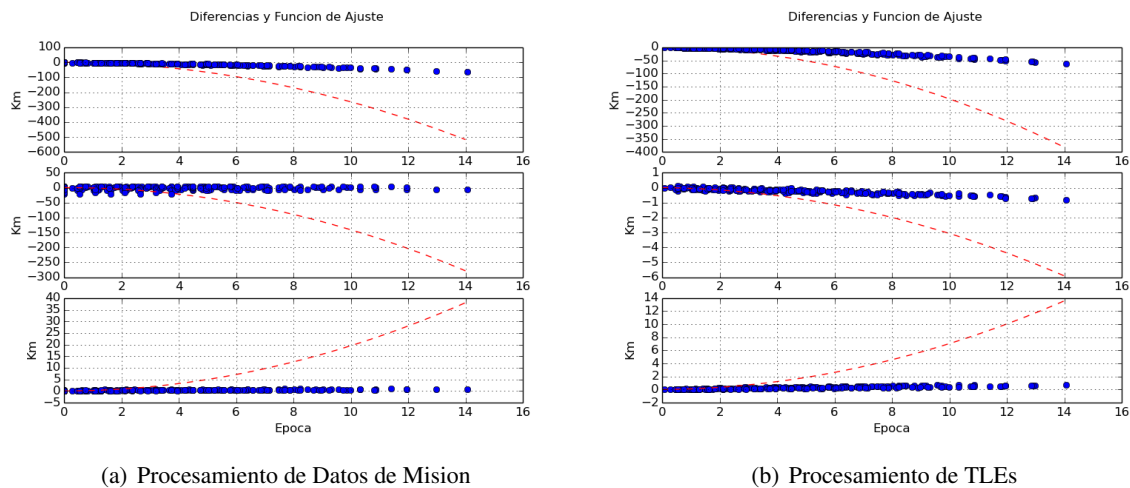


Figura 3.3: Resultado del método de Pair-Wise Differencing considerando TLEs y Datos de Misión.

3.3.2.1. Ajuste Polyfit

numpy.polynomial.polynomial.polyfit

Returns:

coef : ndarray, shape (deg + 1,) or (deg + 1, K)

Polynomial coefficients ordered from low to high. If y was 2-D, the coefficients in column k of coef represent the polynomial fit to the data in y's k-th column.

residuals, rank, singular_values, rcond : list

These values are only returned if full = True

resid – sum of squared residuals of the least squares fit
rank – the numerical rank of the scaled Vandermonde matrix
sv – singular values of the scaled Vandermonde matrix
rcond – value of rcond.

For more details, see `linalg.lstsq`.

Procesando datos TLE...

```
+++++++GRADO 2+++++++
[array([-1.89669503, -0.73973919, -0.06103362])]
```

```
[[array([ 31434.82805686]), 3, array([ 1.68700379, 0.388, 0.056]), 5.1292e-14]]
```

```
+++++++GRADO 1+++++++
[array([ 1.93247211, -1.78532883])]
```

```
[[array([ 31556.32886285]), 2, array([ 1.393, 0.24171176]), 5.1292e-14],]
```

3.4. Transformación de Coordenadas

[Montenbruck, Vallado Revisitin, Vallado Coorde Sys, tabla de Boado]

Para la comparación de las posiciones en coordenadas cartesianas, es necesario llevar ambos vectores a un mismo sistema de referencia. La figura (ref) muestra un resumen de los distintos sistemas y las consideraciones

3.4 TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

de cada uno.

FRAME DESCRIPTORS OF THE CLASSICAL TRANSFORMATION OF DATE

Abbrev.	Common Names	Other Designators*	Rotation
TEF	(True) Earth fixed, body fixed	Earth Centered Rotating (ECR)	↔ [W]
PEF	Pseudo Earth fixed, Pseudo body fixed	Earth Fixed Greenwich (EFG) Earth Centered Earth Fixed (ECEF)	↗ ↔ [W]
UOD	Uniform (Equinox) of Date	Earth Centered Inertial (ECI) True Equator and Mean Equinox	↗ ↔ [Q]
TOD	True (Equinox) of Date, True Equator and True Equinox		↗ ↔ [N]
MOD	Mean (Equinox) of Date, Mean Equator and Mean Equinox		↗ ↔ [P]
J2000	Mean of 2000		↗ ↔ [Eq.1] ^T
GCRF	Geocentric Celestial Reference Frame		↗

* AFSPC Operating Instruction 60-102 11-Mar-1996, TP SCC 008

En nuestro caso en particular, los datos que provee CODS se publican en el sistema TOD: True of Date (Verdadero de la época), mientras que los vectores de estado que genera el propagador SGP4 están calculados en el sistema TEME: True Equator Mean Equinox (Ecuador Verdadero y Equinoccio Medio), también denominado UOD (Uniform Equinox of Date).

Para la transformación de los datos de salida del SGP4 en el sistema TEME, al sistema TOD utilizamos la ecuación de los equinoccios, $EQ_{equinox}$, que nos permite transformar el equinoccio medio en el equinoccio verdadero.

Dado el vector de estado en el sistema TEME, r_{TEME} , lo multiplicamos por la matriz de transformación en el eje z $Rot_3(EQ_{equinox})$ y obtenemos el vector de estado en el sistema TOD, r_{TOD} .

$$r_{TOD} = [Q]r_{TEME} \quad (3.1)$$

$$Q = \begin{pmatrix} \cos(-EQ_{eqe}) & \sin(-EQ_{eqe}) & 0 \\ -\sin(-EQ_{eqe}) & \cos(-EQ_{eqe}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La ecuación de los equinoccios utiliza el modelo de nutación IAU-80 que considera los parámetros de nutación y los 106 coeficientes de Delaunay para el cálculo de la longitud $\Delta\Psi$ y la oblicuidad $\Delta\epsilon$.

$$EQ_{eqe} = \Delta\Psi \cos(\epsilon) + 0,00264'' \sin(\Omega_c) + 0,000063'' \sin(2\Omega_c) \quad (3.2)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \bar{\epsilon} + \Delta\epsilon \\ \Delta\Psi &= (A_p + A_{pl}t) \sin(a_{pi}) \\ \Delta\epsilon &= (A_e + A_{el}t) \cos(a_{pi}) \end{aligned}$$

$$tt = (jd - 51544,5)/36525,0$$

$$\bar{\epsilon} = 84381,448'' - 46,8150''tt - 0,00059''tt^2 + 0,001813tt^3$$

$$a_{pi} = a_{n1}M_{\zeta} + a_{n2}M_o + a_{n3}\mu_{\zeta} + a_{n4}D_o + a_{n5}\Omega_{\zeta}$$

Los coeficientes: $A_p, A_{pl}, A_e, A_{el}, A_{n_i}$ se extraen de la tabla de coeficientes de nutación de Seidelman(citar).

Y el resto de los parámetros se calcula según las expresiones:

$$M_{\zeta} = M(tt)$$

$$M_o = M(tt)$$

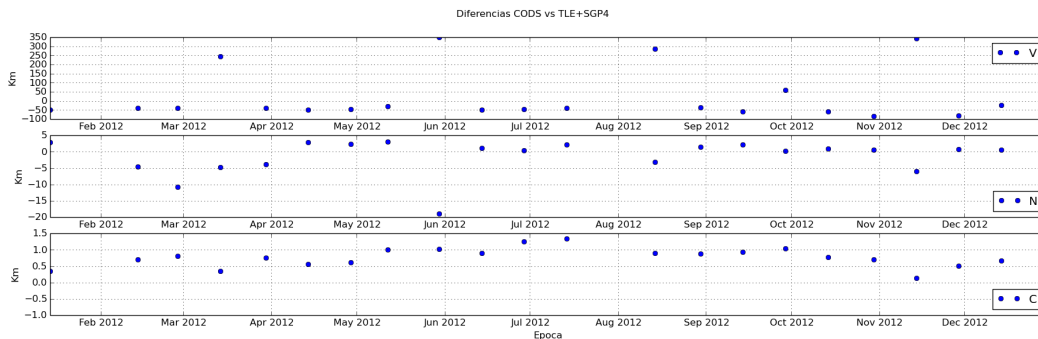
$$\mu_{\zeta} = \mu(tt)$$

$$D_o = D(tt)$$

$$\Omega_{\zeta} = \Omega(tt)$$

3.5. Diferencias

A partir de los datos de Misión.



- Revisar escritura sobre datos CODS.
- Comparar defasaje inicial con defasaje de TLE respecto de GPS. (ver tendencias - empezar a diagramar los apéndices)
- Comparar errores lineal vs cuadrático.

Capítulo 4

AR_xCODE

4.1. Especificaciones

Python y PyQT Donde corre y con que performance.

4.2. Diseño y Desarrollo

En el IDE Eclipse Funciones enteramente documentadas (Doxigen). Control de Versiones (GitHub) - graficos de los tiempos de desarrollo. ¿?

4.2.1. Arquitectura

Interfaces.

clases principales: TLE, EphemCODS

4.2.2. parametros globales y nomenclatura de la generacion de archivos

Parametros:

- satId
- fechaIni, fechaFin
- TLE/CODS

Capítulo 5

Resultados

Capítulo 6

Conclusiones

Bibliografía

B. Barrett, Dwyer. E., y P. Whelan. Soil Moisture Retrieval from Active Spaceborne Microwave Observations: An evaluation of current techniques. *Remote Sensing*, 1:210–242, 2009.

