

全球定位系統概論 作業 2

系所：土木系

學號：109612054

姓名：吳巽言

◎廣播星曆：<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/>

◎精密星曆：<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/>

◎題目 1：

請同學至網站上下載 2022 年 02 月 05 日的廣播星曆與精密星曆，並整理下列表格。(10 分)

(提示：以 2022 年 02 月 05 日為例，廣播星曆 brdc****.22n、精密星曆 igs*****.sp3)

日期	2022 年 02 月 05 日(六)	提示 ↓
GPS Week	2195	從 1980.01.06(日)開始起算第 1 週
GPS day	36	該年度的第幾天

檔案名稱格式	廣播星曆	精密星曆
檔案名稱_壓縮檔	brdc0360.22n.gz	igs21956.sp3.Z
檔案名稱_解壓縮	brdc0360.22n	igs21956.sp3

◎題目 2

下載廣播星曆後，裡面會記載時間參數、克卜勒參數(Kepler)、擾動力參數(perturbations)，如下表所示，其中克卜勒的六參數決定衛星在軌道上的位置，請在下表填入各參數符號其含義為何。(10 分)

時間參數		
toe	衛星星曆之參考時刻	
toc	衛星時鐘之參考時刻	
a ₀ ,a ₁ ,a ₂	衛星時鐘之改正參數	
IODE	星曆表之數據齡期	
克卜勒元素 (6 個)		
√a	橢圓軌道長半徑開根號	決定橢圓形狀和大小
e	橢圓軌道離心率	
i ₀	toe 時刻的軌道面傾角	決定衛星軌道平面與地球體之間相對位置
Ω ₀	toe 時刻的昇交點赤經	
ω	近地點角	決定橢圓在軌道平面之方向
M ₀	toe 時刻的平進點角	決定衛星在軌道上之瞬時位置
擾動力參數 (9 個)		
Δn	到 toe 時刻平運動量之差	
Ω ₁	昇交點赤經之時間變化率	
i ₁	軌道面傾角之時間變化率	
C _{uc} ,C _{us}	餘弦、正弦球諧函數對緯度變角之改正項	

C_{rc}, C_{rs}	餘弦、正弦球諧函數對軌道半徑之改正項
C_{ic}, C_{is}	餘弦、正弦球諧函數對軌道傾角之改正項

◎題目 3

請同學整理廣播星曆衛星編號 1 號於 2022 年 02 月 05 日 00 時 00 分 00 秒的參數放於下表，整理時最多取自小數點以下第 4 位。(20 分)(可參考 P4~6 填答)

PRN	Date/time of clock toc	a_0 (μsec)	a_1 ($\mu\text{sec/day}$)	a_2 ($\mu\text{sec/day}^2$)
1	22-2-5-0-0-0.0	4.3958E-04	-9.5497E-12	0.0000
	Age of ephemeris (sec)	Crs (m)	Δn (rad/sec)	M_0 (rads)
	64.0000	75.0937	4.0662E-09	0.6297
	C_{uc} (rads)	E	C_{us} (rads)	\sqrt{a} ($\sqrt{\text{m}}$)
	4.1090E-06	1.1341E-02	7.5642E-06	5.1537E+03
	toe (secs in GPS wk)	C_{ic} (rads)	Ω_0 (rads)	C_{is} (rads)
	5.1840E+05	-1.2852E-07	8.8216E+01	1.3225E-07
	i_0 (rads)	C_{rc} (rads)	ω (rads)	Ω_1 (rads/sec)
	0.9866	2.4694E+02	0.8822	-8.0882E-09
	i_1 (rad/sec)	GPS week number		
	1.6894E-10	1.0000	2195	0.0000

◎題目 4

請同學計算廣播星曆與精密星曆的衛星編號 1 號 2022 年 02 月 05 日 00 時 15 分 00 秒的時刻，轉換為地球地固坐標系之 X、Y、Z 坐標。

(45 分，其中書寫計算過程占 20 分)

	衛星編號 1 號的坐標 時刻為 2022 年 02 月 05 日 00 時 15 分 00 秒
精密星曆	請注意填寫答案的單位要求為公里 km，請輸入至小數點第 6 位
X	14581.408067
Y	-1494.739422
Z	21889.107258
廣播星曆	請注意填寫答案的單位要求為公里 km，求至小數點第 6 位
X	14581.390124
Y	-1494.736434
Z	21889.081474

提示與書寫方式：

本題廣播星曆計算較難，請參考 P4~6 的計算過程(以 2015 年為例，有兩種方法，擇一即可#用方法二!!!)，並試著撰寫程式語言或使用 Excel 軟體。

- 廣播星曆計算之時間是以秒為單位，但起始值是以該週日起算。例如本作業要同學計算之時間為 2022 年 02 月 05 日 00 時 15 分 00 秒，0205 是星期六，為該週第 7 天，因此 $t=(24*60*60)*6+0*60*60+15*60+0=519300$ 秒。
- 計算過程如何書寫：可使用截圖、程式碼附上，需說明計算步驟與使用方法，步驟占 10 分。

要先自行上 CDDIS 網站下載當天廣播星曆並將檔案放到欲存放的資料夾位置。執行時須輸入如圖中之資訊，因此也可以用來計算不同天的衛星一號的 0 時 15 分 0 秒時坐標。執行完成後在資料夾中會多一個 output.txt 檔，打開會看到答案。

tk

請先自行下載當天之廣播星曆檔，將其移至你欲存放的資料夾位置，但不須解壓縮

請輸入要求的時刻，以空格隔開，例如作業為 2022 2 5 0 15 0.0: 2022 2 5 0 15 0.0

請輸入星期幾，例如作業為星期六則輸入 6: 6

欲存放的資料夾位置: \\GPS\HW2\廣播星曆(n)

請對照當天此時刻之精密星曆輸入 XYZ 坐標,以逗號「,」間隔:
例如作業則為輸入 14581.408067,-1494.739422,21889.107258 4.739422,21889.107258

確認

output.txt - 記事本

檔案 編輯 檢視

廣播星曆之衛星編號 1 號於 2022 年 2 月 5 日 0 時 15 分 0.0 秒轉換為地球地面坐標系
坐標為 (14581.390124 km, -1494.736434 km, 21889.081474 km)
與精密星曆之誤差為 (-0.017943 km, 0.002988 km, -0.025784 km)
百分誤差為 (-0.000123 %, -0.000200 %, -0.000118 %)

第 1 行, 第 1 欄 100% Windows (CRLF) ANSI

使用方法二、PYTHON：以下為程式碼，也有另外附上程式檔

Global-Positioning-System/Why: x E3 數位教學平台 x +

github.com/Dulcinea-WHY/Global-Positioning-System/blob/Dulcinea-WHY-patch-1/HW2/BroadcastEphemeris.py

```
4  ## 圖形化介面
5  ##import Tkinter
6  try:
7      import Tkinter as tkinter
8  except ImportError:
9      import tkinter as tkinter
10  ##建立主視窗
11  win = tkinter.Tk()
12  win.minsize(width=600, height=60)
13
14
15
16  ##定義按鈕函式
17  def btnPressed():
18      ##輸入參數
19      Time = str(entry1.get())
20      weekday = int(entry2.get())
21      path = str(entry3.get())
22      IGS = str(entry4.get())
23
24      ##從CDDIS下載廣播星曆檔並處理
25      import requests
26      def time(Time):
27          date = Time.split(" ")
28          ##判斷閏年(1:閏年)
29          if int(date[0]) % 4 == 0:
30              leap = 1
31              if int(date[0]) % 100 == 0:
32                  if int(date[0]) % 400 == 0: leap = 1
33                  else: leap = 0
```

```

34         else: leap = 0
35         ##計算GPSday
36         month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31]
37         month_leap = [31, 29, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31]
38         GPSday = 0
39         ##平年
40         if leap == 0:
41             for i in range(int(date[1])-1):
42                 GPSday += month[i]
43             GPSday += int(date[2])
44         ##閏年
45         if leap == 1:
46             for i in range(int(date[1])-1):
47                 GPSday += month_leap[i]
48             GPSday += date[2]
49         GPSday = str("0" + str(GPSday))
50         return GPSday
51
52
53     ##更改檔案絕對路徑
54     import os
55     path = path.replace("\\", "/")
56     os.chdir(path)
57     ##檔名
58     file = "brdc" + time(Time) + "0.22n.gz"
59
60
61     ##解壓縮gz檔
62     import gzip
63     def un_gz(file_name):

```

```

64         f_name = file_name.replace("gz", "")
65         g_file = gzip.GzipFile(file_name)
66         open(f_name, "wb+").write(g_file.read())
67         g_file.close()
68         un_gz(path + "/" + file)
69
70     ##生成csv檔
71     file = file[0:-3]
72     if not os.path.exists(file + ".csv"):
73         os.rename(file, file + ".csv")
74
75     ##讀取csv檔
76     import pandas as pd
77     file = "brdc" + time(Time) + "0.22n.csv"
78     df = pd.read_csv(file, delimiter="\t")
79
80     ##整理資料
81     df = df.loc[7:12]
82     df.columns = ["prn1"]
83     df.index = [i for i in range(0,6)]
84     dl = df["prn1"].tolist()
85     for i in range(len(dl)):
86         dl[i] = dl[i][3:]
87         dl[i] = str(dl[i]).replace("0", "E")
88
89     ##資料對應參數
90     r=0
91     #Dateime = str(dl[0][19*0:19*1])
92     #a0 = float(dl[r][19*1:19*2])
93     #a1 = float(dl[r][19*2:19*3])

```

```

94     #a2 = float(dl[r][19*3:19*4])
95     r=1
96     #AgeOfEphemeris = float(dl[r][19*0:19*1])
97     #Crs = float(dl[r][19*1:19*2])
98     #delta_n = float(dl[r][19*2:19*3])
99     #M0 = float(dl[r][19*3:19*4])
100     r=2
101     #Cuc = float(dl[r][19*0:19*1])
102     #e = float(dl[r][19*1:19*2])
103     #Cus = float(dl[r][19*2:19*3])
104     #sqrt_a = float(dl[r][19*3:19*4])
105     r=3
106     #toe = float(dl[r][19*0:19*1])
107     #Cic = float(dl[r][19*1:19*2])
108     #BigOmega0 = float(dl[r][19*2:19*3])
109     #Cis = float(dl[r][19*3:19*4])
110     r=4
111     #i0 = float(dl[r][19*0:19*1])
112     #Crc = float(dl[r][19*1:19*2])
113     #omega = float(dl[r][19*2:19*3])
114     #BigOmega1 = float(dl[r][19*3:19*4])
115     r=5
116     #i1 = float(dl[r][19*0:19*1])
117
118
119     ### Step1: 已知WGS84之地球參數
120     ##地球引力常數 ( m^3/sec^2 )
121     mu = float(3986008000000000)
122     ##地球自轉速率 ( rad/sec )
123     omegae = float(0.00007292115147)

```

```

124
125     ### Step2 : 計算平運動量
126     ##軌道長半徑
127     a = (sqrt_a)**2
128     ##平運動量
129     n0 = float((mu/(a**3))**(0.5))
130
131     ### Step3 : 計算觀測時刻與參考時刻之時間差tk
132     Time = Time[2:]
133     Time = Time.split(" ")
134     t = (24*60*60)*weekday + (60*60)*float(Time[3]) + (60)*float(Time[4]) + float(Time[5])
135     tk = t - toe
136
137     ### Step4 : 計算改正後之平運動量
138     n = n0 + delta_n
139
140     ### Step5 : 利用克卜勒方程漸進解算偏近點角E
141     from cmath import pi
142     import math
143     M = M0 + n * tk
144     ##迭代解
145     E = M
146     for m in range(1000):
147         E = E - ((E - e*(math.sin(E)) - M) / (1 - e*(math.cos(E))))
148
149     ### Step6 : 計算真近點角fk
150     import numpy as np
151     cos_fk = (math.cos(E) - e)/(1 - e*math.cos(E))
152     sin_fk = (1 - e**2)**(0.5) * math.sin(E) / (1 - e * math.cos(E))
153     fk = math.atan((sin_fk/cos_fk)) #* (180 / np.pi)
154
155     ###Step7 : 計算緯度星角uk、軌道半徑rk、軌道傾角ik
156     uk = omega + fk + Cus*(math.sin(2*(omega+fk)))+ Cuc*(math.cos(2*(omega+fk)))
157     rk = a*(1-e*math.cos(E)) + Crc*math.sin(2*(omega+fk)) +Crc*math.cos(2*(omega+fk))
158     ik = i0 + i1*tk + Cis*math.sin(2*(omega+fk)) +Cic*math.cos(2*(omega+fk))
159
160     ###Step8 : 計算lk
161     lk = BigOmega0 + (BigOmega1-omegae)*tk-omegae*toe
162
163     ### Step9 : 計算軌道平面上之衛星坐標
164     x = rk*math.cos(uk)
165     y = rk*math.sin(uk)
166
167     ### Step 10 : 計算WGS84坐標系之衛星坐標(X, Y, Z)
168     X = (x*math.cos(lk)-y*math.cos(lk)*math.sin(lk)) / 1000
169     Y = (x*math.sin(lk)+y*math.cos(lk)*math.cos(lk)) / 1000
170     Z = (y*math.sin(lk)) / 1000
171
172     ##誤差 ( 第五題 )
173     ##精密星曆的資料
174     IGS = IGS.split(",")
175     X_IGS = float(IGS[0])
176     Y_IGS = float(IGS[1])
177     Z_IGS = float(IGS[2])
178
179
180     ##公里誤差
181     error_X = X-X_IGS
182     error_Y = Y-Y_IGS
183     error_Z = Z-Z_IGS
184
185     ##百分誤差
186     P_error_X = error_X / X_IGS *100
187     P_error_Y = error_Y / Y_IGS *100
188     P_error_Z = error_Z / Z_IGS *100
189
190     ##結果輸出
191     path = './output.txt'
192     f = open(path, 'w')
193     f.write("廣播星曆之衛星編號i號於20%年%月%日%時%分%秒轉換為地球地面坐標系 \n" % (Time[0], Time[1], Time[2], Time[3], Time[4], Time[5]))
194     f.write("坐標為(%f km, %f km, %f km) \n" % (X, Y, Z))
195     f.write("與精密星曆之誤差為(%f km, %f km, %f km) \n" % (error_X, error_Y, error_Z))
196     f.write("百分誤差為(%f %, %f %, %f %) \n" % (P_error_X, P_error_Y, P_error_Z))
197     f.close()
198
199     ##輸入區
200     label0 = tkinter.Label(win, text="請自行下載當天之廣播星曆檔，將其移至你欲存放的資料夾位置，但不須解壓縮")
201     label0.place(x=20, y=20)
202     label1 = tkinter.Label(win, text="請輸入要求的時刻，以空格隔開，例如作業為2022 2 5 0 15 0.0 : ")
203     label1.place(x=20, y=40)
204     entry1 = tkinter.Entry(win)
205     entry1.place(x=375, y=40)
206     label2 = tkinter.Label(win, text="請輸入星期幾，例如作業為星期六則輸入6 : ")
207     label2.place(x=20, y=60)
208     entry2 = tkinter.Entry(win)
209     entry2.place(x=265, y=60)
210     label3 = tkinter.Label(win, text="欲存放的資料夾位置 : ")
211     label3.place(x=20, y=80)
212     entry3 = tkinter.Entry(win)
213     entry3.place(x=145, y=80)
214     label4 = tkinter.Label(win, text="請對照當天此時刻之精密星曆輸入X Y Z 坐標,以逗號「,」隔開 : ")
215     label4.place(x=20, y=100)
216     label5 = tkinter.Label(win, text="例如作業則為輸入 14581.408067,-1494.739422,21889.107258")
217     label5.place(x=20, y=120)
218     entry4 = tkinter.Entry(win)
219     entry4.place(x=375, y = 120)
220
221     ##按鈕
222     btn1 = tkinter.Button(win, text="確認", command=btnPressed)
223     btn1.place(x = 500, y=160)
224     win.mainloop()

```

◎題目 5

比較分析自己計算廣播星曆結果與精密星曆所提供 X、Y、Z 坐標兩者的差異。

(15 分)(提示：可整理成表格)

衛星編號 1 號

2022 年 02 月 05 日 00 時 15 分 00 秒

坐標	廣播星曆(km)	精密星曆(km)	誤差(km)	百分比誤差(%)
X	14581.390124	14581.408067	-0.017943	-0.000123
Y	-1494.736434	-1494.739422	0.002988	-0.000200
Z	21889.081474	21889.107258	-0.025784	-0.000118

誤差大約皆 1 至 3 公尺左右，算是都蠻小的。

在迭代解 E 的地方會影響比較多。

◎作業參考內容

廣播星曆(Broadcast ephemeris)：GPS 訊號調製導航訊息。而導航訊息包含衛星星曆參數及改正參數，可計算衛星點位瞬時坐標。當用戶接收儀接收 GPS 訊號，經過解碼以計算觀測時刻相應衛星位置，配合用戶觀測資料，便可確定接收儀位置及其載體之航行速度。

以下圖 2015 年 12 月 01 日為例，檔案記錄 24 小時衛星軌道參數與對應時間，檔案名稱第 5 至 7 碼表示對應該年第幾天，副檔名.15n 表示為導航訊息。

brdc3350.15n									
1	2	NAVIGATION DATA					RINEX VERSION / TYPE		
2	CCRINEXN V1.6.0 UX CDDIS				02-DEC-15 17:31		PGM / RUN BY / DATE		
3	IGS BROADCAST EPHEMERIS FILE						COMMENT		
4	0.1490D-07 -0.1490D-07 -0.5960D-07 0.1192D-06						ION ALPHA		
5	0.1208D+06 -0.2294D+06 -0.6554D+05 0.8520D+06						ION BETA		
6	0.279396772385D-08 0.444089209850D-14 405504	1873					DELTA-UTC: A0,A1,T,W		
7	17						LEAP SECONDS		
8							END OF HEADER		
9	1	15 12 1 0 0 0.0	0.561820343137D-05	0.795807864051D-12	0.000000000000D+00				
10		0.190000000000D+02	-0.388750000000D+02	0.431053669401D-08	0.186140612091D+01				
11		-0.207126140594D-05	0.486960716080D-02	0.100806355476D-04	0.515365940475D+04				
12		0.172800000000D+06	-0.651925802231D-07	0.973615025191D+00	0.335276126862D-07				
13		0.963106848055D+00	0.185468750000D+03	0.495056892284D+00	-0.787639951223D-08				
14		0.176078762959D-09	0.100000000000D+01	0.187300000000D+04	0.000000000000D+00				
15		0.200000000000D+01	0.000000000000D+00	0.512227416039D-08	0.190000000000D+02				
16		0.165618000000D+06	0.400000000000D+01	0.000000000000D+00	0.000000000000D+00				

圖1、brdc3350.15n檔案內容示意

如圖 1 所示，本檔案檔頭記錄電離層改正參數(ION ALPHA 與 ION BETA)、GPS week(1873)，以及潤秒(17)，而從行號 9 開始記錄各顆衛星之星曆參數，資料對應如表 1 所示，記錄時間間隔約 1 小時，由西元 2015 年 12 月 1 日 0 時 0 分 0 秒開始(格林威治時間)，記錄 24 小時。

表 1、廣播星曆各行資料對應參數(以 PRN 1 為例)

PRN	Date/time of clock toc	a_0 (μ sec)	a_1 (μ sec/day)	a_2 (μ sec/day ²)
1	15-12-01-00-00-00.0	5.6182E-06	7.9581E-13	0.00E+00
	Age of ephemeris (sec)	Crs (m)	Δn (rad/sec)	M_0 (rads)
	19	-38.8750	4.3105E-09	1.8614
	C_{uc} (rads)	e	C_{us} (rads)	\sqrt{a} (\sqrt{m})
	-2.0713E-06	4.8696E-03	1.0081E-05	5153.6594
	toe (secs in GPS wk)	C_{ic} (rads)	Ω_0 (rads)	C_{is} (rads)
	172800	-6.5193E-08	0.9736	3.3528E-08
	i_0 (rads)	C_{rc} (rads)	ω (rads)	Ω_1 (rads/sec)
	0.9631	185.4688	0.4951	-7.8764E-09
	i_1 (rad/sec)	GPS week number		
	1.7608E-10	1.00E+00	1873	0.00E+00

表 1 資料所對應之參數請參考本作業的第 2 題表格所示，主要包含三大項目，(1)參考時刻：衛星星曆及衛星時鐘之參考時刻、衛星時鐘之改正參數、星曆表之數據齡期；(2)6 個克卜勒軌道元素；(3)9 個擾動力(perturbations)參數。以圖表示各

參數，以及各參數用法請參考表 2 計算。

表 2、廣播星曆計算方法

方法一、 6 參數(克卜勒軌道元素)	方法二、 6 參數(克卜勒軌道元素)+9 參數(擾動力參數)
利用廣播星曆計算衛星在軌道上之瞬時位置，依據下列計算公式及步驟求得在 t 時刻某一觀測衛星之 WGS84 坐標(X, Y, Z)：	
◇ Step 1-已知 WGS84 之橢球參數 地球引力常數 $\mu=3.986008 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{sec}^2$ ；地球自轉速率 $\omega_e=7.292115147 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}$	
◇ Step 2-計算平運動量 $n_0 = \sqrt{\mu/a^3}$ (1-13) (這裡的符號 a 是軌道長半徑)	
◇ Step 3-計算觀測時刻與參考時刻之時間差 $t_k=t-t_{oe}$ (這裡的 t 是觀測時間) 本次作業的觀測時刻為 2022 年 02 月 05 日 00 時 15 分 00 秒； 參考時刻為 2022 年 02 月 05 日 00 時 00 分 00 秒，時間差可寫成： $t=86400 \times 6+15 \times 60$ ； $t_{oe}=86400 \times 6$ ； $t_k=t-t_{oe}=900$	
◇ Step 4-計算改正後之平運動量 $n = n_0$ (1-14)	Step 4'-計算改正後之平運動量 $n = n_0 + \Delta n$ (1-14a)
◇ Step 5-利用克卜勒方程漸進解算偏心率偏近點角 E $M = M_0 + n \cdot t_k$ (1-15) $E = M - e \cdot \sin E \rightarrow$ 迭代解 $E_{n+1} = E_n - \frac{E_n - e \cdot \sin E_n - M}{1 - e \cos E_n}$ (令 $E_0 = M$) (1-16)	
◇ Step 6-計算真近點角 f_k $\cos f_k = (\cos E - e) / (1 - e \cdot \cos E)$ ； $\sin f_k = \sqrt{1 - e^2} \cdot \sin E / (1 - e \cdot \cos E)$ (1-17)；(1-18) $f_k = \tan^{-1}(\sin f_k / \cos f_k)$ (依分子、分母之正負判斷象限) (1-19)	
◇ Step 7-計算緯度變角 u_k 、軌道半徑 r_k 、軌道傾角 i_k $u_k = \omega + f_k$ (1-20) $r_k = a \cdot (1 - e \cdot \cos E_k)$ (1-21) $i_k = i_0$ (1-22)	Step 7'-計算緯度變角 u_k 、軌道半徑 r_k 、軌道傾角 i_k $u_k = \omega + f_k$ (1-20a) $+C_{us} \cdot \sin(2(\omega + f_k)) + C_{uc} \cdot \cos(2(\omega + f_k))$ $r_k = a \cdot (1 - e \cdot \cos E_k)$ (1-21a) $+C_{rs} \cdot \sin(2(\omega + f_k)) + C_{rc} \cdot \cos(2(\omega + f_k))$ $i_k = i_0 + i_1 \cdot t_k$ (1-22a) $+C_{is} \cdot \sin(2(\omega + f_k)) + C_{ic} \cdot \cos(2(\omega + f_k))$
◇ Step 8-計算 l_k	Step 8'-計算 l_k

$$l_k = \Omega_0 + (-\omega_e) \cdot t_k - \omega_e \cdot toe \quad (1-23)$$

$$l_k = \Omega_0 + (\Omega_1 - \omega_e) \cdot t_k - \omega_e \cdot toe \quad (1-23a)$$

◇ Step 9-計算軌道平面上之衛星坐標

$$x = r_k \cdot \cos u_k ; y = r_k \cdot \sin u_k \quad (1-24) ; (1-25)$$

◇ Step 10-計算 WGS84 坐標系之衛星坐標(X, Y, Z)

$$X = x \cdot \cos l_k - y \cdot \cos i_k \cdot \sin l_k ; Y = x \cdot \sin l_k + y \cdot \cos i_k \cdot \cos l_k ; Z = y \cdot \sin i_k \quad (1-26) ; (1-27) ; (1-28)$$

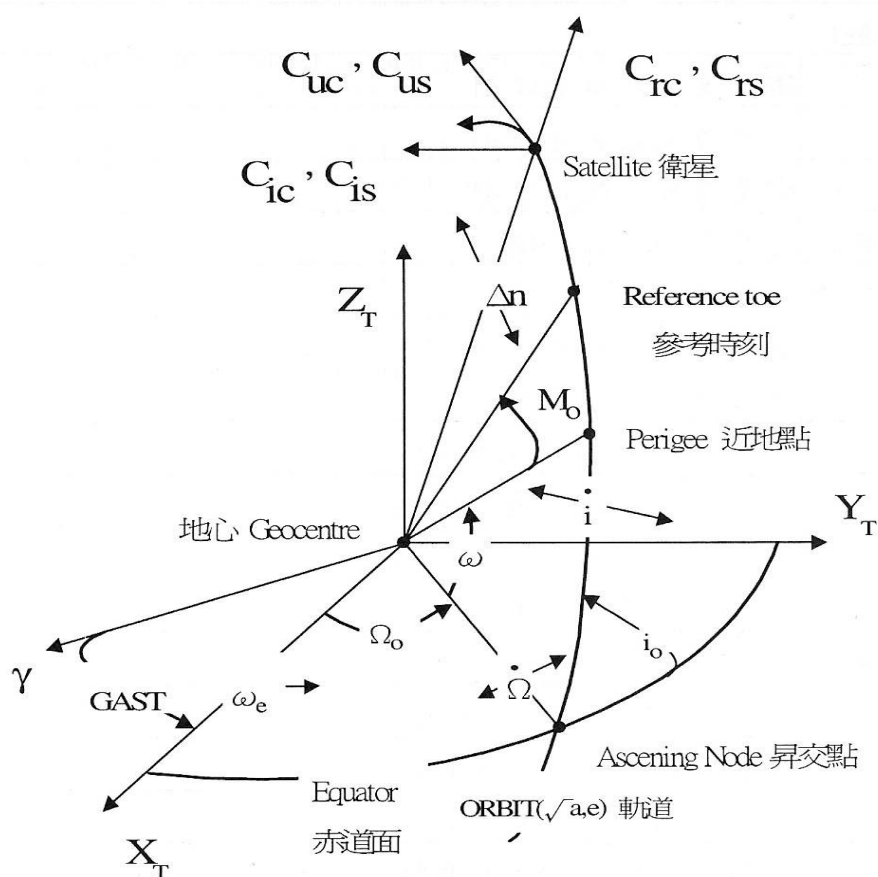


圖 3-7 GPS 廣播星曆的軌道參數示意圖