

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫一：微微衛星任務與 CCD 酬載設計(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-032-012-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：淡江大學機械與機電工程學系

計畫主持人：洪祖昌

計畫參與人員：林宗憲 張博淵

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 31 日

中文摘要

本計劃提出了對於擷取台灣上空雲圖之氣象衛星的任務和星系設計，其星系由類似 TUUSAT(Taiwan Universities United Satellite)之低成本微衛星所組成，其上均裝置被動式磁力棒姿態控制系統和微型相機拍照系統。任務需求為每小時至少提供一張覆蓋台灣的氣象雲圖。我們根據星系設計定義覆蓋需求之三個參數：發生覆蓋區域(Access coverage zone)、發生覆蓋(Access coverage)及發生覆蓋間隙(Access coverage gap)，以 Walker 衛星星系方法來計算出最少的衛星數目以符合任務需求。採用微型相機拍照系統和衛星星系分布為 14/14/0 的 Walker 衛星星系模式來取得特定緯度區域的影像。我們的設計亦可用於觀測特定緯度區域中之移動目標如颱風，同樣為符合每小時至少一張圖之任務需求。

Abstract

The mission and constellation design for acquiring weather images of Taiwan, Republic of China, is presented. The constellation is constituted of the low-cost microsattellites similar to TUUSAT (Taiwan Universities United Satellite), which employs the passive magnetic attitude control system and the imagery system of miniature cameras. The mission requires acquiring at least one image covering Taiwan per hour. The coverage requirements, Access coverage zone, Access coverage, and Access coverage gap, are defined according to the constellation design. The Walker constellation method is employed to calculate the minimum satellites in constellation for the mission requirements. The imagery system of multi-cameras and the 14/14/0 Walker constellation is adopted to acquire the images of targets located in the certain specified latitude band per hour. Our design also can be applied to observe the moving target in the specified latitude band, such as typhoon, for the same mission requirement of acquiring at least one image per hour.

一.報告內容

在近幾十年來，許多大學的太空研究計畫把焦點放在微衛星或微微衛星的發展，通常用來被設計成大部份太空載具的次酬載。計畫的主要目的為教導學生設計、製造、整合及操作一顆實際的衛星。這些計畫也證明了衛星是可以被迅速建造、低成本，並滿足科學研究及教育的目的。為了達到這些目標，某些太空計畫嘗試應用簡單的姿態控制系統和現成的元件來當作星上酬載。例如，某些衛星應用了被動式磁棒姿態控制系統及 CCD(電荷耦合元件)相機，如 WO-18¹, SAPPHIRE², Spatnik³, MUNIN⁴, and TUUSAT⁵。這些衛星擁有相同的特性如低成本、快速製造、微小化、簡單結構和能夠在軌低的地球軌道 (LEO) 操作，即使子系統的特徵和衛星的姿態運動相當類似。值得注意的是 TUUSAT 的 CCD 任務是取得包涵台灣的雲圖，台灣位於熱帶風暴區，天氣在颱風季節將迅速地改變，故衛星雲圖對氣象學者和天氣預報來預知颱風的動態是相當有價值的。然而，TUUSAT 的 CCD 任務被設計為每天只能取得一張雲圖，對天氣預告而言，衛星應能在較短的時間間隔內提供更多的雲圖來作即時分析。舉例來說，地球同步氣象衛星 GMS-5 每小時就能提供數張雲圖。雖然 TUUSAT 每天僅提供一張雲圖，若應用星系則可每天提供較多的雲圖。由於前面提及的特性，建立一個超過十顆衛星的低成本衛星星系來取得更多雲圖用作即時天氣觀測是可行的。任務需求必須每小時至少有一顆衛星經過台灣上空，因此它能擁有類似於地球同步氣象衛星的即時功能。

本計劃為延續前一個計劃(NSC 91-2213-E-032-007-), 在前一個計畫裡, 我們針對使用被動式磁力控制系統的微衛星, 設計可以拍攝涵蓋台灣的氣象雲圖之 CCD 酬載, 計畫的成果也已刊登在 AIAA Journal of Spacecraft and Rockets⁵。今年度主要工作為氣象雲圖觀測目的之低成本衛星星系的設計, 在星系裡的每顆衛星使用前一個計畫裡所設計的 CCD 酬載, Walker 星系方法也應用於計算出最少衛星之即時功能需求, 並假設每小時至少獲得一張包涵台灣的衛星雲圖。

任務分析

任務需求與任務目標

本文的主要目的是要設計一低成本的衛星的任務, 而這任務的主要目標是希望能夠以低軌道衛星所組成之星系來達成類似地球同步軌道衛星能夠提供即時的氣象雲圖的目的。為了達到這個目標, 任務需求和任務目標如下:

- (1). 必須由與 TUUSAT 一樣的姿態控制系統和拍照系統的衛星所組成的星系。
- (2). 在即時雲圖方面, 星系的設計必須滿足一小時一張涵蓋台灣之氣象雲圖, 所以衛星通過台灣上空的間隙時間需低於 60 分鐘, 而衛星拍照系統則必須使用裝著近紅外光鏡頭的 CCD 影像感測器, 可以清楚的分辨雲層、地表及海洋。
- (3). 星系中衛星的數目越少便能夠滿足任務的需求, 同時意謂費用也將可減少。
- (4). TUUSAT 的軌道是軌道高度 800 公里傾角 98.6 度的太陽同步圓軌道。為了與 TUUSAT 的拍照系統的設計一致, 目前的設計為我們的首要分析將使用 TUUSAT 的相同的軌道。

覆蓋的條件

星系覆蓋的條件求包含了發生覆蓋地區, 發生覆蓋, 和發生覆蓋間隙這三種參數, 我們設計的星系覆蓋的地區以台灣為主, 然而覆蓋的地區與衛星本身的軌道參數及姿態控制有所關聯, 因此我們採用與 TUUSAT 衛星一樣軌道、姿態控制、照相系統之衛星, 所組成之星系。如附圖 1 所示, 以台灣為中心, AZ 與 AZ' 均是覆蓋之區域, 而是 L_h 這覆蓋區域的高度, L_w 則是這覆蓋區域的寬度, 在這裡 L_h 同時也代表這覆蓋區域的緯度, 因此衛星在這區域的緯度內, 轉速 0.05rpm 的情況下必須起碼旋轉半圈, 方能符合我們的要求。如附圖 1 所示 A, B', C', D 分別為地表水平面的四個點, \overline{AB} , \overline{CD} 實線所構成的區域為由南向北的上升區域, $\overline{A'B'}$, $\overline{C'D'}$ 則是代表由北向南的下降區域。不論衛星是在上升 AZ 區域, 或是下降 AZ' 區域, CCD 拍照邏輯均可以適用, CCD 拍照邏輯詳細的定義設計請參照參考文獻 5。如圖 2 所示, 為相機的安裝角 β 與指向誤差角度 Φ_{oM} 的關係分佈, 由圖可以得知在相機的安裝角 $\beta = 66$ 可以得到最小的指向誤差, 這點與 TUUSAT 的設計一樣, 在這樣的指向誤差條件下仍可滿足拍照系統的需求。

發生覆蓋的定義為上升的情況下由 \overline{AC} 進入覆蓋區域的時間, 至離開發生覆蓋區域 \overline{BD} 為止, 若是下降的情況下則是由 $\overline{A'C'}$ 進入覆蓋區域, $\overline{B'D'}$ 離開覆蓋區域。至於覆蓋間隙的定義, 為某一個區域在一顆衛星離開後並有下一顆衛星通過最長的時間間隔, 例如: 從目前發生覆蓋結束的時間起算到下個覆蓋發生的時間, 為了滿足任務需求, 覆蓋間隙必須小於一個小時, 為了估算衛星星系所需的衛星的最小數目, 以下定義兩個參數:

$$G_{\max} = \max(G_k) \quad (1)$$

$$G_{mean} = \frac{\sum_1^k G_k}{k} \quad (2)$$

為了滿足覆蓋需求， G_{max} 必須小於一個小時。

星系設計

本計畫採用 Walker Constellation 的方法設計，Walker 的計算可用 T/P/F 和 i 表示，T 為衛星的數目，P 為軌道面的數目，F 為衛星在各軌道面上的相位差，i 為軌道傾角。由於本文的設計採用太陽同步軌道，每個衛星會通過發生覆蓋區域大約兩次，為了有每小時最少一顆衛星通過這個區域，衛星數目最少 12 顆，T 的數目從 12 開始計算，到滿足覆蓋需求的數目為止，每個軌道面有一顆衛星，相位角 F 為 0 到 T-1，每個相位代表一個星系組合，星系的第一個衛星位於 $0^\circ E, 0^\circ N$ ，圖 3 為 12/12/F、13/13/F 和 14/14/F 計算的結果，發現只有 14/14/0 的星系組合滿足覆蓋需求，14/14/0 所有的覆蓋間隙如圖 4 所示，所有的間隙每 26 和 55 分鐘交替的出現，因此我們可以每 26 和 55 分鐘獲取一張氣象雲圖。

緯度頻帶覆蓋

假設有 j 組的相機， $S_1, S_2 \dots S_j$ 並分別以 $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_j$ 的角度安裝，每組的 ccd 有兩組的鏡頭安裝在衛星的側邊，由我們之前的研究，安裝角度與目標的地磁緯度有關，可以由計算 G_{max} 和 θ_{g2} 的分佈關係來決定，假設 $S_1, S_2 \dots S_j$ 分別被用來獲取在地磁緯度頻帶 B_u 內目標的氣象雲圖，並滿足拍照需求，當目標在 B_1 內，我們採用 S_1 來拍照，如果在 B_2 內則用 S_2 來拍照，依此類推。定義 B_u 為 $B_1, B_2 \dots B_j$ 的交集，多組 CCD 的拍照系統，對在地磁頻帶 B_u 內的區域目標可以滿足拍照需求，我們選擇區域目標為：

$$B_u = B_u(\theta_{m1}, \theta_{m2}) (0 \text{ deg} \leq \theta_{m1} \leq 360 \text{ deg}, -5 \text{ deg} \leq \theta_{m2} \leq 22 \text{ deg})$$

B_u 包含了台灣和其附近的區域，每年都有很多颱風發生，我們採用多組 CCD 的照相系統來針對這個區域拍照，如圖 5 所示，以四組 CCD 相機安裝角度分為別 91、75、63 和 56 度來針對以下的地磁頻帶拍照：

$$B_1 = B_1(\theta_{m1}, \theta_{m2}) \quad 0 \leq \theta_{m1} \leq 360, -5 \leq \theta_{m2} < 4 \quad (3)$$

$$B_2 = B_2(\theta_{m1}, \theta_{m2}) \quad 0 \leq \theta_{m1} \leq 360, 4 \leq \theta_{m2} < 13 \quad (4)$$

$$B_3 = B_3(\theta_{m1}, \theta_{m2}) \quad 0 \leq \theta_{m1} \leq 360, 13 \leq \theta_{m2} < 20 \quad (5)$$

$$B_4 = B_4(\theta_{m1}, \theta_{m2}) \quad 0 \leq \theta_{m1} \leq 360, 20 \leq \theta_{m2} \leq 26 \quad (6)$$

圖 6 為緯度頻帶的分佈，虛線的部分 B_s 同時滿足拍照和覆蓋需求，14/14/0 星系和多組相機的拍照系統設計，可以針對 B_s 內的目標獲取每小時一張的氣象雲圖。

觀測颱風應用

我們將前節的結果，應用在觀測移動中的颱風，首先我們根據中央氣象局百年來侵台颱風路徑定義警戒區域 B_w ：

$$B_w = B_w(\theta_{g1}, \theta_{g2}) \quad 115 \leq \theta_{g1} \leq 135, 16 \leq \theta_{g2} \leq 30 \quad (7)$$

我們模擬觀測 2001 年七月 28~31 日侵台的颱風-桃芝路徑(圖 7)，模擬的結果如表一所示，在 102 個小時內總共可以獲取 127 張雲圖，最大覆蓋間隙為 56 分鐘，平均覆蓋間隙為 37.638 分鐘，滿足一小時一張雲圖的任務需求。

參考文獻

1. White, J., "Microsat Motion, Stabilization, and Telemetry," *Radio Amateur Satellite Corporation-North America Journal*, Vol. 13, No. 4, 1990, pp. 13–30.
2. Lu, R. A., "Building 'Small, Cheaper, Faster' Satellites within the Constraint of an Academic Environment," 9th Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites, Sept. 1995.
3. Menges, B. M., Guadamos, C. A., and Lewis, E. K., "Dynamic Modeling of Micro-Satellite Spartnik's Attitude," Region VI AIAA Student Conf., April 1997.
4. Ovchinnikov, M., and Pen'kov, V., "Attitude Control System for The First Swedish Nanosatellite MUNIN," *Acta Astronautica*, Vol. 46, Nos. 2–6, 2000, pp. 319–326.
5. Hong, Z. C., Lin, C. H., and Lin, H. J., "Imagery Payload Design for Passive Magnetically Stabilized Microsatellite," *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 40, No. 3, 2003, pp. 396–404.
6. Lin, C. H., Shih, C. H., and Chuang, C. K., "The Passive Magnetic Stabilization used Magnetic Rods for a Microsatellite TUU SAT-1," International Astronautical Federation, Paper IAF-ST-99 -W.1.06, Oct. 1999.
7. Hong, Z. C., Lin, C. H., and Chang, W. C., "The Design and Analysis of Magnetic Attitude Control System for Micro-satellite," Final Rept. Of National Science Council, NSC-90-2213-E-032-009, Taipei, 2002.
8. Moshe, B. L., Leonid, S., and Vola, L., "EROS System-Satellite Orbit and Constellation Design," the 22nd Asian Conf. on Remote Sensing, Nov. 2001.
9. Lang, T. J., and William, S. A., "A Comparison of Satellite Constellation for Continuous Global Coverage," *Proceedings of the Mission Design and Implementation of Satellite Constellations*, 1997, pp. 51–62.
10. Shieh, S. L., Wang, S. T., Cheng, M. D., Yeh, T. C., and Chiou, T. K., "User's Guide for Typhoon Forecasting in the Taiwan Area (VII)," Atmospheric R&D Center, Central Weather Bureau, Technique Rept. WB87-1M-01, Taiwan, June 1998, p. 171.

二、計劃成果自評

本子計畫今年度之計畫預定工作主要包含以下兩點：

- 星系設計：進行星系設計(Constellation Design)，使用 Walker delta pattern 的方法設計一個衛星系，每小時都有一顆衛星經過拍照區域，能每 50 分鐘至 1 小時接收一張雲圖，且所使用的衛星數目為最少。
- CCD 酬載設計：CCD 控制邏輯之改良，將由原本與台灣同地磁緯度的可拍攝目標，拓展至一個區域，這個區域將著重於颱風經常發生及行經的區域。

由報告內容中可以得知，本計劃依據每小時一張氣象雲圖的任務需求，利用 Walker Constellation 的方法，設計以 14/14/0 的星系組合，對台灣地區進行即時的氣象雲圖拍照，設計的成果並配合改良後的酬載設計，應用到觀測位於全球某緯度頻帶內的目標，同樣可以進行即時的氣象雲圖拍照，最後我們將這些設計應用到觀測移動中的颱風，一樣可以滿足任務上面的需求。因此，本計畫研究內容與預期完全符合，也完成所有的預定工作。

本計畫研究的內容是利用採用低成本的被動式磁力穩定微衛星星系，提供低緯度地區每小時一張的氣象雲圖設計，目前世界上尚未有類似的論文或報告發表，因此具有創新的學術價值，計劃的成果我們已投稿至 AIAA Journal of Spacecraft and Rockets，並已獲得接受刊登(如附件)。

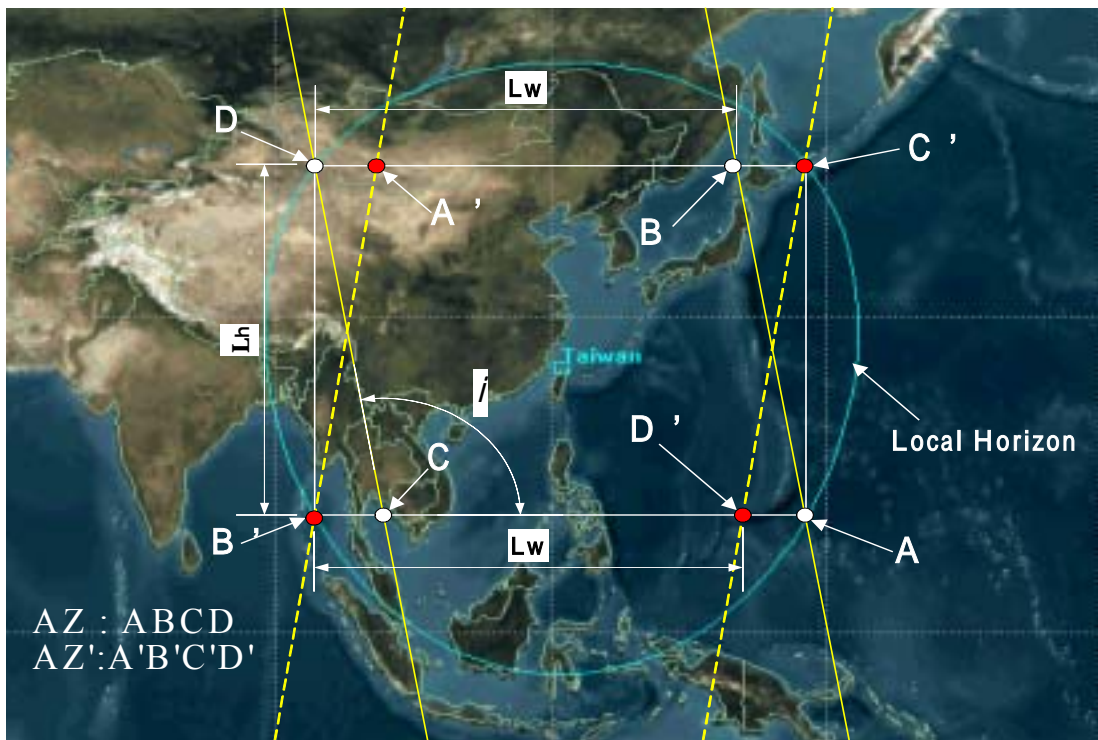


Fig. 1 Access coverage zone.

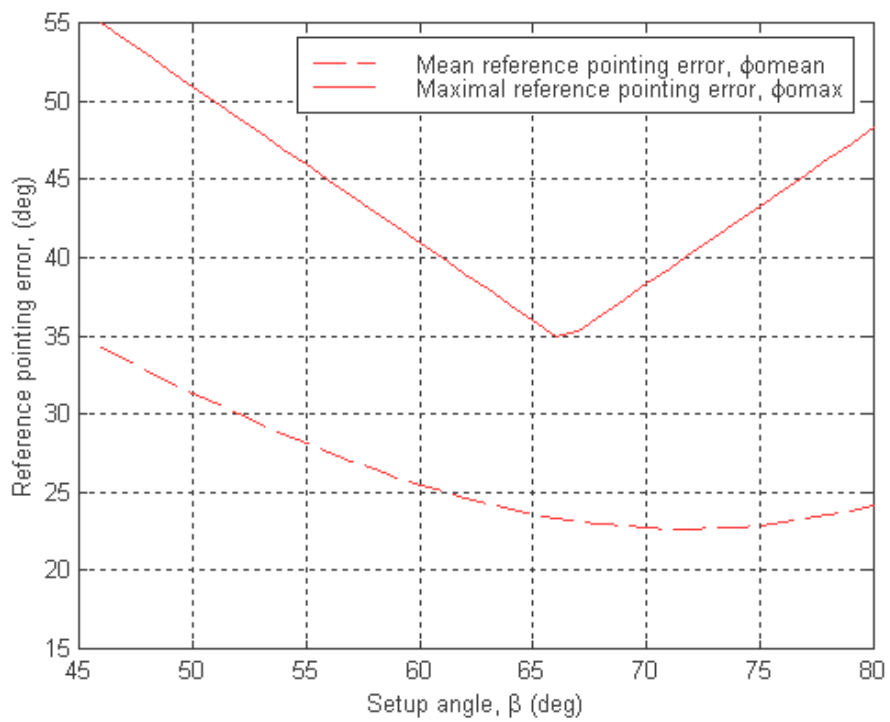


Fig. 2 Distributions of $\Phi_{o\max}$ and Φ_{oM} vs. β .

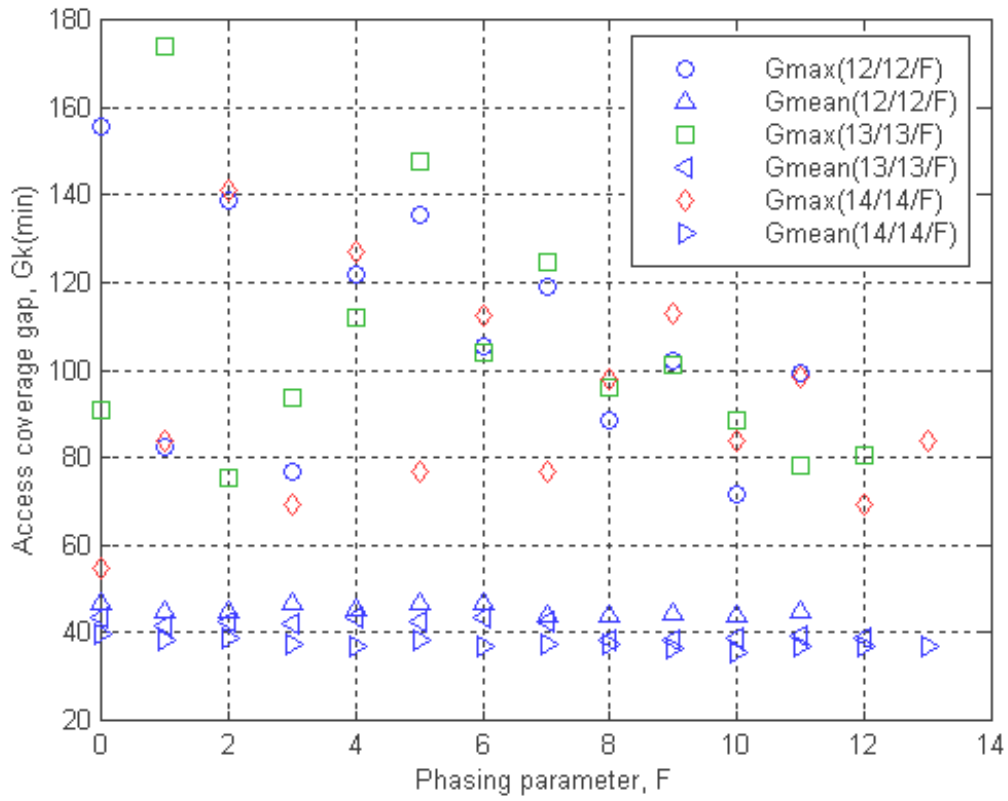


Fig3 Gmax and Gmean of the 12/12/F, 13/13/F, and 14/14/F constellations.

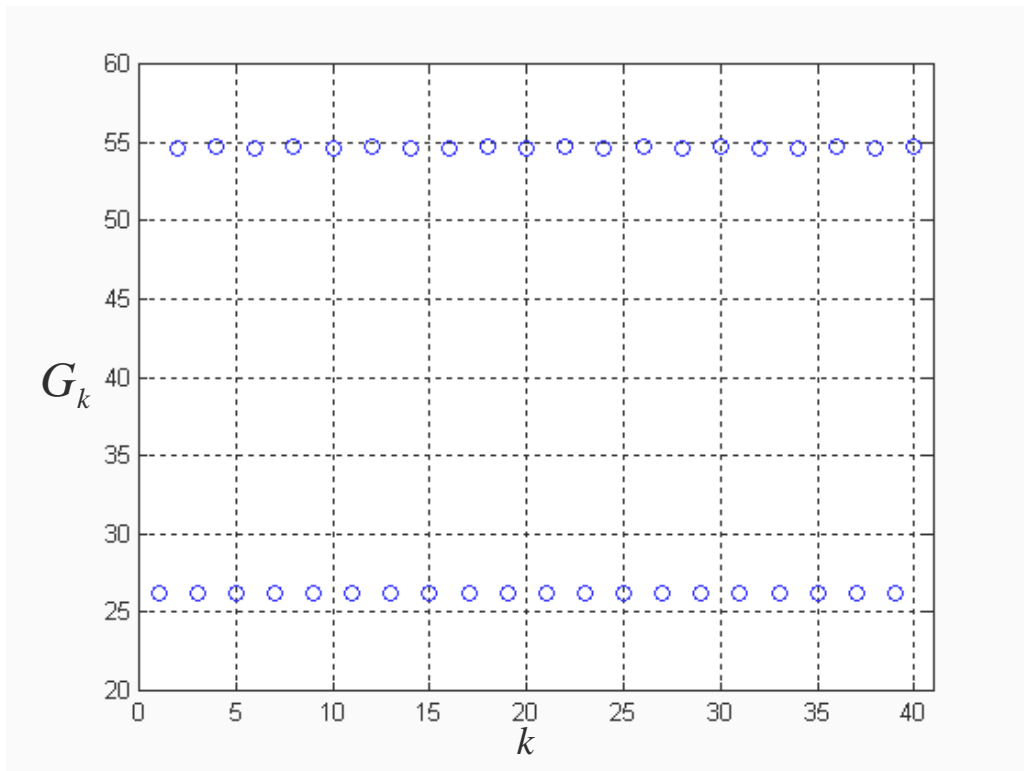


Fig. 4 Access coverage gaps of the 14/14/0 constellation

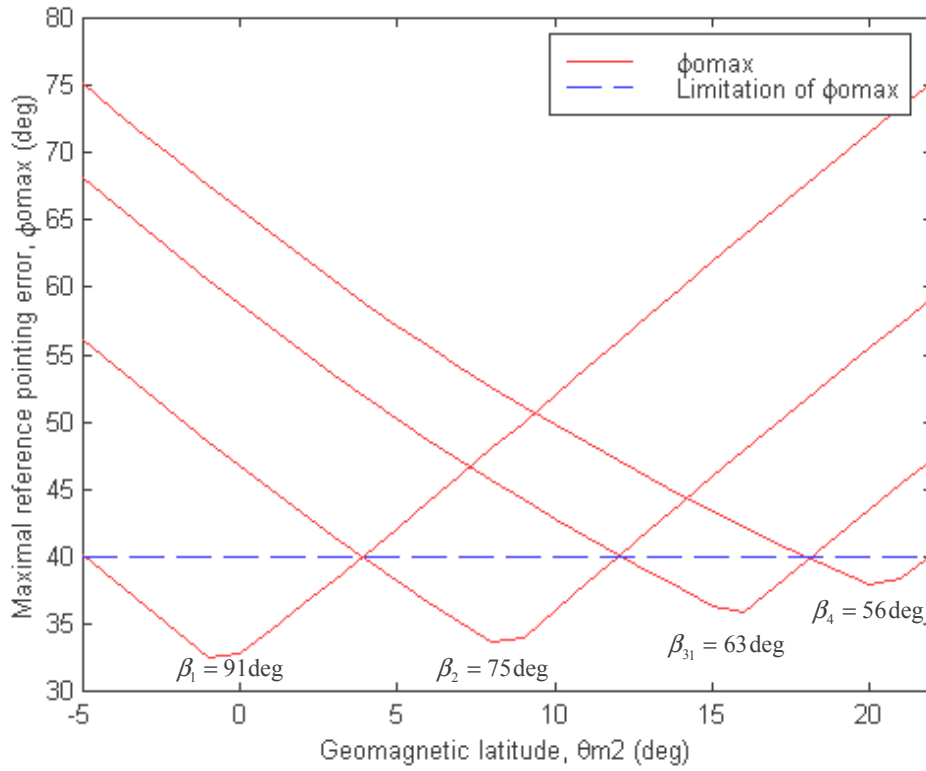


Fig. 5 $\Phi 0$ max of multicameras sets with different setup angles.

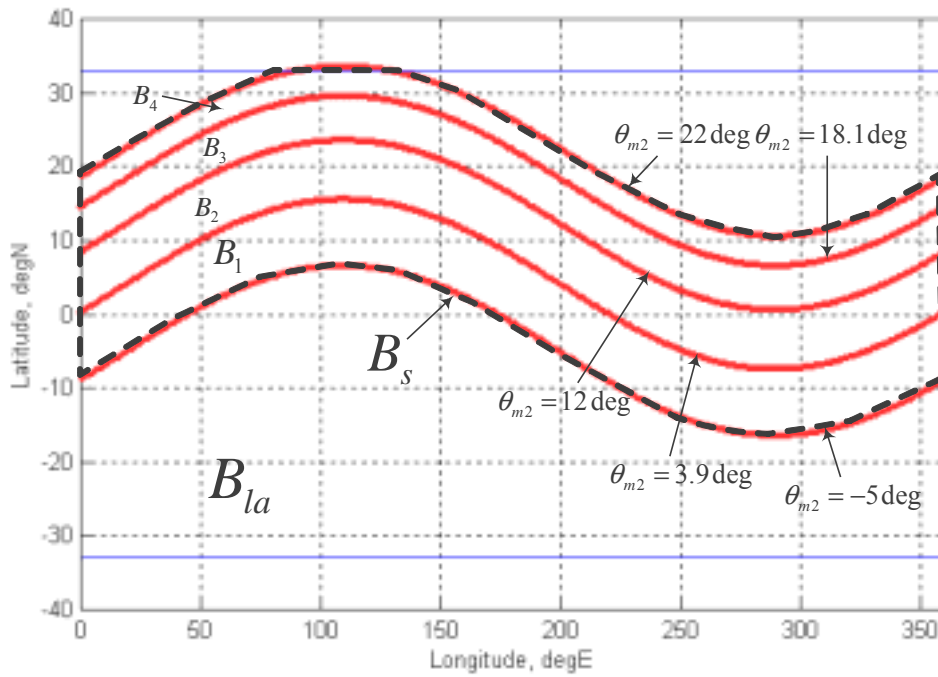


Fig. 6 Latitude band B_s that satisfies both the imaging and coverage requirements.

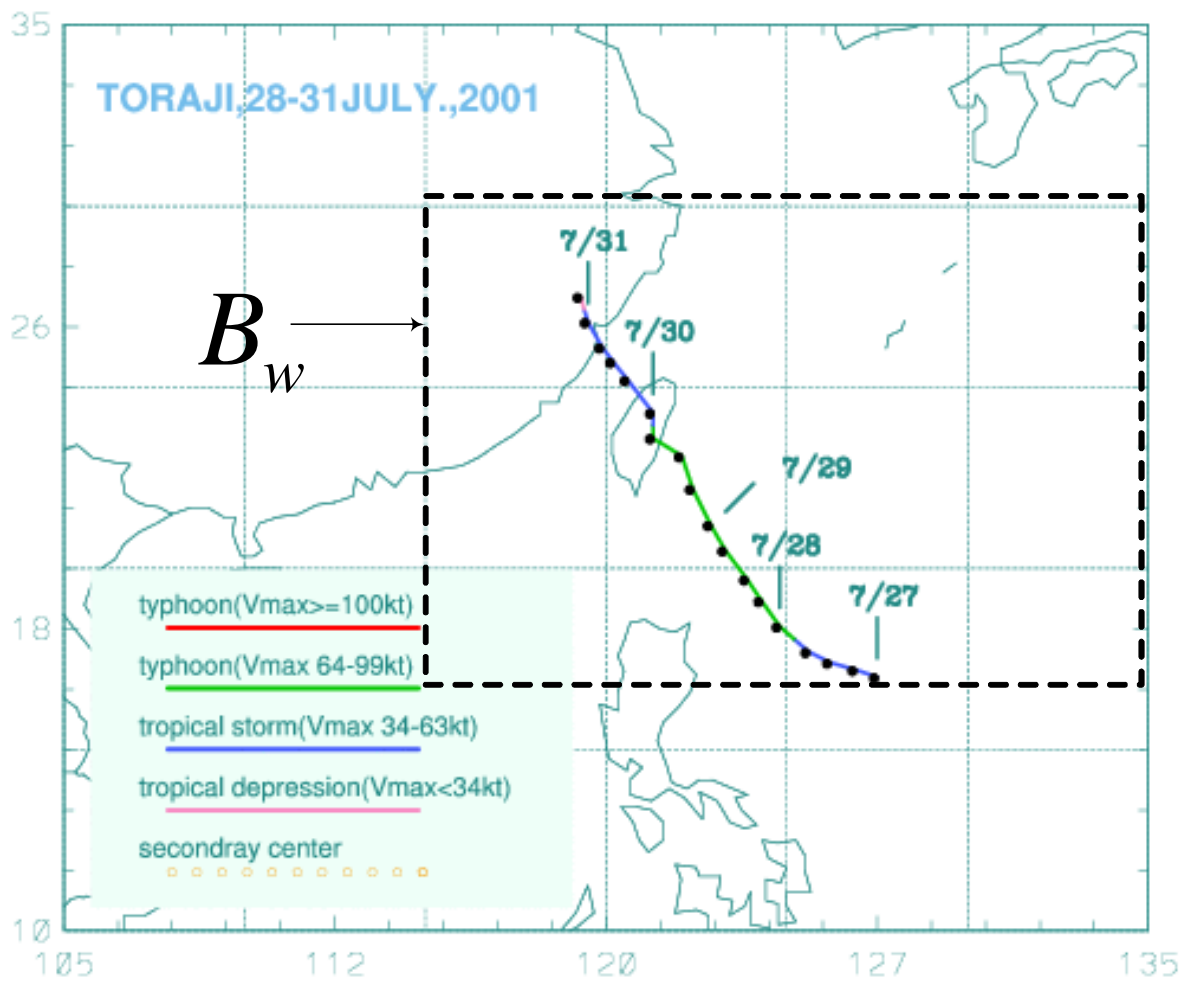


Fig. 7 Typhoon track of Toraji. The dashed-line area, B_w , is defined as the warning area.

Table. 1 Simulation to observe typhoon Toraji. The “-” and “+” at last column represent descending and ascending respectively.

No. of acquiring images	Access started (hr)	Access stopped(hr)	θ_{g_1} of target	θ_{g_2} of target	No. of Access Satellite
1	0.6669	0.83361	126.92	16.53	-13
2	1.6669	1.8336	126.92	16.53	+7
3	2.3669	2.5336	126.92	16.53	-14
4	3.3669	3.5336	126.92	16.53	+8
5	4.0336	4.2003	126.92	16.53	-1
6	5.0336	5.2003	126.41	16.724	+9
7	5.7336	5.9003	126.33	16.755	-2
8	6.7336	6.9003	126.21	16.799	+10
9	7.4003	7.5669	126.14	16.829	-3
10	8.4003	8.5669	125.02	16.873	+11
11	9.0669	9.2336	125.94	16.903	-4
12	10.1	10.267	125.82	16.949	+12
13	10.767	10.934	125.74	16.979	-5
14	11.767	11.934	125.63	17.023	+13
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
112	89.133	89.3	118.6	25.915	+2
113	89.733	89.9	118.55	25.975	-9
114	90.833	91	118.45	26.085	+3
115	91.4	91.567	118.4	26.142	-10
116	92.5	92.667	118.31	26.252	+4
117	93.1	93.267	118.25	26.312	-11
118	94.2	94.367	118.16	26.422	+5
119	94.767	94.933	118.11	26.479	-12
120	95.867	96.033	118.01	26.589	+6
121	96.467	96.633	117.99	26.665	-13
122	97.567	97.733	117.95	26.812	+7
123	98.133	98.3	117.93	26.887	-14
124	99.233	99.4	117.89	27.034	+8
125	99.833	100	117.87	27.114	-1
126	100.9	101.07	117.84	27.256	+9
127	101.5	101.67	117.82	27.336	-2
$G_{\max} = 56$ minutes		$G_{\text{mean}} = 37.638$ minutes			