

Phân tích quỹ đạo hoạt động để đánh giá khả năng phối hợp chụp ảnh của các hệ thống vệ tinh nhỏ, thử nghiệm với vệ tinh VNREDSat-1 và BKA

Bùi Doãn Cường, Chu Xuân Huy, Nguyễn Minh Ngọc*, Bùi Quang Huy, Hoàng Hải, Phạm Đình Thắng

Viện Công nghệ Vũ trụ, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Ngày nhận bài 27/2/2018; ngày chuyển phản biện 2/3/2018; ngày nhận phản biện 30/3/2018; ngày chấp nhận đăng 11/4/2018

Tóm tắt:

Xu thế hiện nay để hạn chế nhược điểm độ phủ trùm nhỏ của các hệ thống vệ tinh nhỏ quan sát Trái đất là phối hợp chụp ảnh giữa các vệ tinh tương tự nhau. Cơ sở để tính toán phối hợp chụp ảnh chính là quỹ đạo hoạt động của chúng. Thông qua mô phỏng quỹ đạo của VNREDSat-1 và BKA, kết hợp với đặc điểm kỹ thuật, nhóm tác giả đã phân tích khả năng phối hợp chụp ảnh của hai hệ thống vệ tinh có pha chụp ảnh ngược nhau này, đồng thời đề xuất phương án phối hợp chụp cụ thể. Các kết quả thu được sẽ chứng minh tính khả thi của công tác phối hợp chụp ảnh giữa các hệ thống vệ tinh nhỏ.

Từ khóa: BKA, phối hợp chụp ảnh, vệ tinh nhỏ, VNREDSat-1.

Chỉ số phân loại: 1.3

Operation orbit analysis to evaluate the imaging coordination capability of small satellites, an experiment with VNREDSat-1 and BKA

Doan Cuong Bui, Xuan Huy Chu, Minh Ngoc Nguyen*, Quang Huy Bui, Hai Hoang, Dinh Thang Pham

Space Technology Institute, VAST

Received 27 February 2018; accepted 11 April 2018

Abstract:

The disadvantage of Earth observation small satellite systems is small coverage, so the current tendency to mitigate this issue is to combine imaging between similar satellites. The basis for computation of imaging coordination is the satellite operation orbit. By simulating the orbit of VNREDSat-1 and BKA combined with their specifications, the authors analyzed the combination capabilities of two satellite systems with opposite phases. The results will demonstrate the feasibility of collaborative imaging between small satellite systems.

Keywords: BKA, imaging coordination, small satellite, VNREDSat-1.

Classification number: 1.3

Đặt vấn đề

Sự ra đời của các hệ thống vệ tinh nhỏ quan sát trái đất (như ALSAT-2, SSOT, BKA, VNREDSat-1...) [1] đã giải quyết bài toán về cung cấp dữ liệu ảnh quang học có độ phân giải không gian cao và thời gian chụp lặp ngắn cho một vùng bất kỳ trên trái đất. Tuy vậy, nhược điểm của các hệ thống này là độ phủ trùm của các dữ liệu vẫn còn hạn chế do kích thước ảnh không lớn.

Một phương án để khắc phục hạn chế này là phối hợp chụp ảnh giữa các vệ tinh, kể cả khi chúng thuộc các quốc gia khác nhau [2]. Sự phối hợp trong công tác quan sát trái đất từ các vệ tinh nhỏ là một trong những xu hướng hiện đại hiện nay trong công tác phát triển nghiên cứu không gian. Việc triển khai trong thực tế của phương pháp này góp phần làm giảm đáng kể thời gian chụp lặp lại và tăng diện tích phủ trùm trong theo dõi, giám sát các đối tượng trên bề mặt trái đất [3], đặc biệt là các thảm họa tự nhiên hay nhân tạo; cũng như nâng cao hơn hiệu quả sử dụng của các hệ thống vệ tinh.

Trên đà thành công trong việc phối hợp khả năng chụp ảnh của vệ tinh VNREDSat-1 (Việt Nam) và THAICHOTE (Thái Lan) [4], hệ thống vệ tinh nhỏ VNREDSat-1 tiếp tục được thử nghiệm phối hợp với các hệ thống vệ tinh khác, cụ thể ở đây là hệ thống vệ tinh BKA của Belarus - hệ thống vệ tinh nhỏ quan sát trái đất có pha chụp ảnh ngược với pha chụp ảnh của VNREDSat-1.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu chính là quỹ đạo hoạt động của

*Tác giả liên hệ: Email: nmngoc@sti.vast.vn

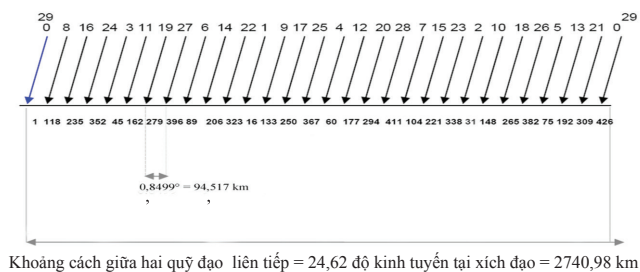
hai vệ tinh. Quỹ đạo hoạt động có ảnh hưởng lớn đến khả năng chụp ảnh của vệ tinh, đặc biệt là thời gian chụp lặp và chu kỳ chụp lặp [5, 6]. Thời gian chụp lặp là thời gian vệ tinh sẽ bay qua vùng có thể chụp ảnh được khu vực yêu cầu. Độ rộng của vùng này được giới hạn bởi khả năng linh hoạt khi chụp ảnh của vệ tinh. Giá trị này phụ thuộc vào yêu cầu về góc nghiêng khi chụp, thời gian chụp lặp sẽ càng dài nếu góc nghiêng nhỏ và càng ngắn nếu chụp với góc nghiêng lớn. Chu kỳ chụp lặp chính là thời gian mà sau đó vệ tinh sẽ bay qua y hệt vị trí cũ.

Cả hai hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 và BKA đều hoạt động trên quỹ đạo thấp, đồng bộ mặt trời, trong đó các đặc điểm chính được thể hiện trong bảng 1 [7, 8].

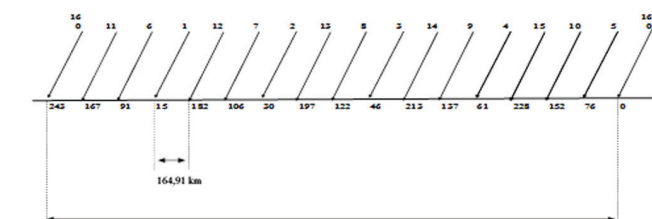
Bảng 1. Thông số quỹ đạo của VNREDSat-1 và BKA.

Thông số kỹ thuật	BKA	VNREDSat-1
Loại quỹ đạo	Quỹ đạo thấp, đồng bộ mặt trời	Quỹ đạo thấp, đồng bộ mặt trời
Độ cao (km)	510	680
Góc nghiêng (°)	97,5	98,1
Chu kỳ (phút)	94,7	98,4
Số vòng bay trong ngày	15+3/16	14+18/29
Giờ địa phương	11h27	10h30
Chu kỳ chụp lặp (ngày)	16	29
Bán trục lớn	6891,224	7058,907
Độ lệch tâm	0,00135	0,00121
Pha chụp ảnh	Ascending	Descending

Các chu kỳ quỹ đạo của cả hai vệ tinh được minh họa trong hình 1 và 2 thể hiện dưới dạng vệt các quỹ đạo của chúng trên bề mặt trái đất.



Hình 1. Vệt quỹ đạo của vệ tinh VNREDSat-1.



Hình 2. Vệt quỹ đạo của vệ tinh BKA.

Tuy nhiên, mặc dù có các giá trị độ nghiêng quỹ đạo gần nhau, sự khác biệt đáng kể của hai vệ tinh nằm trong các pha chụp ảnh của chúng: Đối với VNREDSat-1 là Descending, đối với BKA là Ascending. Vì vậy, các dải ảnh của hai hệ thống vệ tinh sẽ theo các hướng ngược nhau (hình 5), dẫn đến việc hạn chế về diện tích chồng phủ các cảnh ảnh (hình 6).

Phương pháp nghiên cứu

Công tác đánh giá khả năng phối hợp giữa các vệ tinh được tiến hành hầu hết dựa trên việc phân tích vệt quỹ đạo của chúng. Do đó, nhóm tác giả lựa chọn phương pháp nghiên cứu là tính toán mô phỏng quỹ đạo của VNREDSat-1 và BKA, sau đó đánh giá khả năng phối hợp giữa hai hệ thống vệ tinh.

Trên cơ sở dữ liệu TLE (Two Line Element) được cung cấp từ trang thông tin điện tử <https://celestrak.com>, quỹ đạo của vệ tinh VNREDSat-1 và BKA được tính toán mô phỏng bằng phần mềm Orbitron, được Celestrak hỗ trợ [9]. Chú ý rằng, trong trang thông tin này, hệ thống vệ tinh BKA được đặt dưới tên KANOPUS_V [10].

Thời gian chụp lặp lại một khu vực đối với mỗi hệ thống vệ tinh được căn cứ vào khoảng cách gần nhất giữa hai vệt quỹ đạo (đối với VNREDSat-1 là 94,517 km và BKA là 164,91 km, xem hình 1, 2) và khoảng cách tối đa có thể chụp khi vệ tinh chụp nghiêng, được tính theo công thức:

$$D = \tan \alpha \cdot h$$

Trong đó: α là góc nghiêng khi chụp; h là độ cao bay chụp (km); D là khoảng cách tối đa có thể chụp (km).

Như vậy đối với mỗi góc nghiêng khác nhau, D có giá trị khác nhau tương ứng, cụ thể như sau:

Bảng 2. Khoảng cách tối đa tương ứng với góc nghiêng của VNREDSat-1 và BKA.

Góc nghiêng (α)	D (VNREDSat-1) (km)	D (BKA) (km)
30°	392,598	294,448
20°	247,499	185,625
10°	119,902	89,927

Như vậy, đối với mỗi góc nghiêng khác nhau, thời gian chụp lặp lại cho một khu vực sẽ khác nhau, góc nghiêng giảm thì thời gian chụp lặp sẽ tăng lên. Trong nghiên cứu này, mốc thời gian để tính toán thời gian chụp là ngày 0 trong chu kỳ của cả hai hệ thống vệ tinh (xem hình 1, 2).

Kết quả

Mô phỏng quỹ đạo của hai hệ thống vệ tinh

Giá trị TLE được cung cấp bởi trang <https://celestrak.com>

VNREDSAT 1

1 39160U 13021B 18060.62972507
.00000029 00000-0 14636-4 0 9994

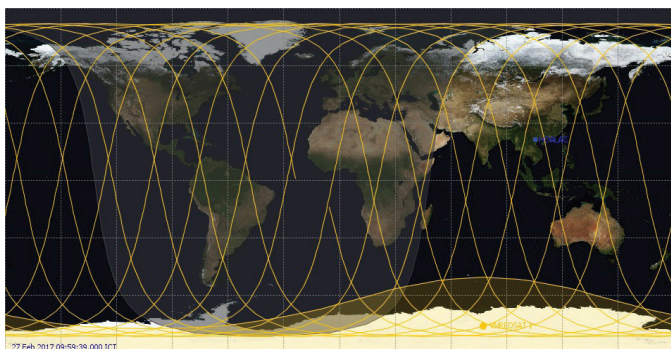
2 39160 98.0544 135.7914 0001382
90.8028 269.3336 14.62979273257244

KANOPUS-V 1

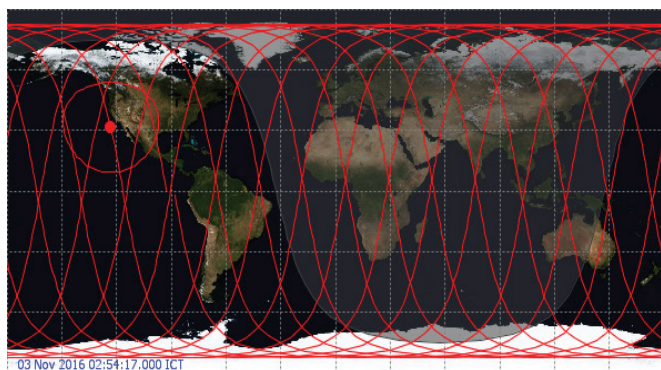
1 38707U 12039A 18060.78428194
-.00013006 00000-0 -61594-3 0 9998

2 38707 97.4540 340.7535 0001506
51.2909 25.6505 15.19224927311191

Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo hoạt động của hai hệ thống vệ tinh [11] được mô tả cụ thể trong hình 3 và hình 4.



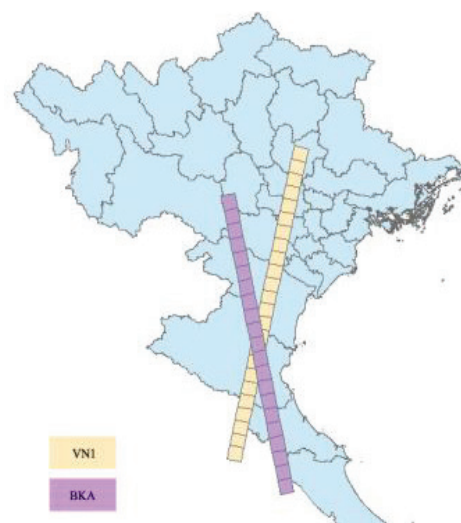
Hình 3. Vệt quỹ đạo của VNREDSat-1 trong 1 ngày.



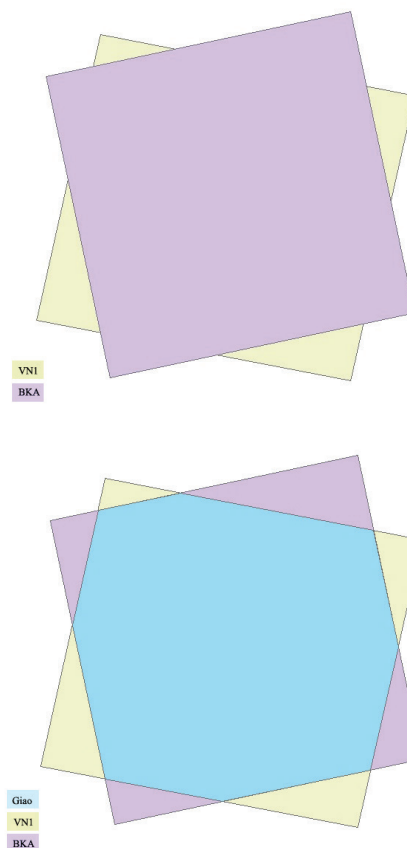
Hình 4. Vệt quỹ đạo của BKA trong 1 ngày.

Mô phỏng dải chụp của hai hệ thống vệ tinh

Trên cơ sở tính toán mô phỏng quỹ đạo hai hệ thống VNREDSat-1 và BKA, cũng với đặc điểm về độ rộng dải chụp của mỗi vệ tinh (17,5 km đối với VNREDSat-1 và 20 km đối với BKA) (xem hình 5), chỉ xét trong trường hợp có thể kết hợp hai loại ảnh toàn sắc và đa phổ để tăng cường chất lượng ảnh [7, 8].



Hình 5. Pha chụp ảnh của BKA và VNREDSat-1.



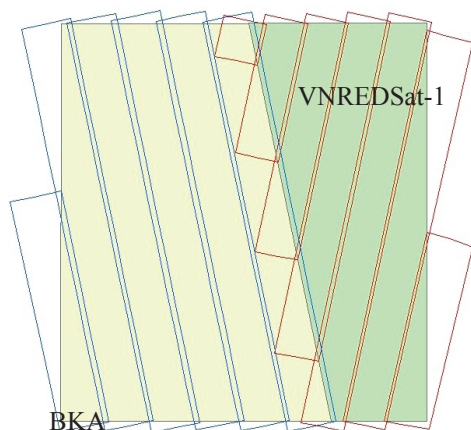
Hình 6. Độ chồng phủ cảnh ảnh của BKA và VNREDSat-1.

Với giá trị góc nghiêng nhỏ trong khoảng 10-15°, diện tích chồng phủ của các cảnh ảnh có thể đạt 288 km², tương đương 94% diện tích của ảnh VNREDSat-1 (kích thước mỗi cảnh ảnh là 17,5x17,5 km, tương đương 306,25 km²) hoặc 72% diện tích hình ảnh BKA (20x20 km, tương đương 400 km²) (xem hình 6). Kết quả này có thể chấp nhận được trong

trường hợp chụp ảnh cho một khu vực quan tâm có diện tích nằm trong phần chồng phủ. Ở đây không xét đến trường hợp các góc chụp lớn vì diện tích cảnh ảnh sẽ tăng khi góc nghiêng tăng, điều này có nghĩa diện tích chồng phủ sẽ được tăng lên.

Mô phỏng kết hợp chụp ảnh cho một khu vực

Với góc nghiêng tối đa của VNREDSat-1 là 35° và BKA là 40° [7, 8], nhóm nghiên cứu thực hiện mô phỏng kết hợp chụp một khu vực có độ rộng tương đương 10 dải chụp của vệ tinh BKA (20 km), tương ứng đối với VNREDSat-1 để chụp phủ kín khu vực cần 11 dải (17,5 km). Tùy theo góc nghiêng khác nhau khi chụp mà thời gian chụp hết toàn bộ khu vực sẽ khác nhau, nhưng khi kết hợp hai vệ tinh thì thời gian chụp lặp sẽ được rút ngắn. Phương án phân chia khu vực chụp được minh họa trong hình 7.



Hình 7. Phân chia khu vực chụp ảnh giữa hai vệ tinh VNREDSat-1 và BKA.

Thời gian cần thiết để chụp hết 10 dải của BKA với góc nghiêng 30° được tính như sau:

- Lấy mốc thời điểm chụp được dải đầu tiên là ngày 0 trong chu kỳ.
- Ngày 5 sẽ tiếp tục chụp được dải thứ hai, ngày 11 sẽ chụp được dải thứ 3, ngày 16 chụp được dải thứ 4.
- Dải cuối cùng sẽ chụp được vào ngày thứ 16 của chu kỳ thứ ba.
- Như vậy là cần 3 chu kỳ để chụp 10 dải này (tương đương 48 ngày).

Tương tự như vậy, thời gian chụp cần thiết với các góc nghiêng khác nhau đối với BKA và đối với VNREDSat-1 được tổng hợp trong bảng 3.

Bảng 3. Thời gian chụp phủ trùm theo góc nghiêng.

Góc nghiêng	VNREDSat-1	BKA	Kết hợp
30°	42 (ngày)	48 (ngày)	27 (ngày)
20°	58 (ngày)	48 (ngày)	27 (ngày)
10°	95 (ngày)	176 (ngày)	58 (ngày)

Thảo luận

Công tác tính toán quỹ đạo hoạt động là một trong những yếu tố quyết định đến hiệu quả phối hợp chụp ảnh [12], vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến kế hoạch chụp ảnh của hai vệ tinh. Bên cạnh đó, việc pha chụp ảnh giữa hai vệ tinh bị ngược nhau là thách thức lớn trong quá trình phối hợp giữa VNREDSat-1 và BKA, đòi hỏi cần phải có sự phối hợp chính xác, linh hoạt để mang lại hiệu quả cao.

Trong điều kiện chụp thẳng góc (nadir), thời gian chụp lặp của hai hệ thống vệ tinh như đã trình bày ở trên lần lượt là 29 ngày và 16 ngày đối với VNREDSat-1 và BKA [7, 8]. Như vậy, nếu chụp ảnh theo điều kiện chụp thẳng góc, thời gian phối hợp sẽ dài hơn nhiều so với chụp nghiêng góc. Do vậy, để nâng cao hiệu quả phối hợp về mặt thời gian sẽ lựa chọn phương án chụp trong điều kiện nghiêng góc tối đa.

Trong trường hợp yêu cầu đặc biệt như giám sát thiên tai thì thời gian chụp lặp tối đa đối với một khu vực của VNREDSat-1 với góc nghiêng 35° là 3 ngày [8] và BKA với góc nghiêng tối đa là 40° là 1 ngày [13], nếu kết hợp đồng thời cả hai hệ thống vệ tinh thì chúng ta có thể có dữ liệu trong 3-4 ngày liên tục (tùy theo vị trí thực địa).

Bài báo này không đề cập đến so sánh dữ liệu đầu ra của cả hai hệ thống vệ tinh vì các đặc điểm kỹ thuật của chúng khá tương đồng, cả VNREDSat-1 và BKA đều là các vệ tinh viễn thám quang học có thông tin về dữ liệu ảnh được mô tả chi tiết trong bảng 4 [8, 12].

Bảng 4. Đặc điểm dữ liệu ảnh của VNREDSat-1 và BKA.

Thông số kỹ thuật	BKA	VNREDSat-1
Số kênh phổ	Toàn sắc (μm)	0,54-0,86
	Blue (μm)	0,46-0,51
	Green (μm)	0,51-0,60
	Red (μm)	0,63-0,69
	NIR (μm)	0,75-0,84
Độ phân giải (m)	Pan: 2,1 MS: 10,5	Pan: 2,5 MS: 10
	Kích thước ảnh (km)	Pan: 17,5 MS: 17,5
Độ phân giải bức xạ (bits)	12	10

Kết luận

Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy vệ tinh VNREDSat-1 và BKA có độ tương quan cao về các đặc tính quỹ đạo và cả đặc điểm dữ liệu ảnh của chúng, chứng minh tính khả thi trong việc phối hợp chụp ảnh. Mặc dù đây mới chỉ là kết quả ban đầu của hợp tác quốc tế giữa Viện Công nghệ Vũ trụ (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) và Viện Hàn lâm Khoa học quốc gia Belarus, nhưng đã góp phần vào thành công chung trong công tác phối hợp giữa hai hệ thống vệ tinh trong theo dõi, giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và thiên tai nói chung, khai thác hiệu quả nói riêng, để tiến tới những hợp tác tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo đã sử dụng tư liệu trong đề tài “Nghiên cứu phối hợp khai thác hai hệ thống vệ tinh VNREDSat-1 và BKA”, mã số VAST.HTQT.Belarus 04/16-17, thuộc chương trình hợp tác giữa Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam và Viện Hàn lâm Khoa học quốc gia Belarus. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>.
- [2] Tania Savitri, Youngjoo Kim, Sujang Jo, Hyochoong Bang (2017) “Satellite Constellation orbit design optimization with combined genetic Algorithm and Semianalytical Approach”, *International Journal of Aerospace Engineering*, **2017**, Article ID 1235692.
- [3] Micheal A. Wulder, Thomas Hilker, Joane C. White, Nicholas C. Coops, Jeffrey G. Masek, Dirk Pflugmacher, Yves Crevier (2015), “Virtual constellations for global terrestrial monitoring”, *Remote Sensing of Environment*, **170**, pp.62-76.
- [4] <http://www.vast.ac.vn/tin-tuc-su-kien/tin-vien/1904-hoi-thao-khoa-hoc-phoi-hop-hoat-dong-giua-hai-he-thong-ve-tinh-quan-sat-trai-dat-vnredsatsat-1-viet-nam-va-thaichote-thai-lan>.
- [5] Jozef C. van der Ha (editor) (1997), “Mission design & implementation of satellite constellations”, *Proceedings of an International Workshop*, held in Toulouse, France, November 1997.
- [6] James R. Wertz (2001), *Orbit & Constellation Design & Management*, Space Technology Library, **13**, 985pp.
- [7] *Vệ tinh viễn thám của Belarus (BKA)*, <http://gis.by/en/tech/bka>.
- [8] *Vệ tinh viễn thám của Việt Nam (VNREDSat-1)*, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-w-x-y-z/vnredsatsat-1>.
- [9] Emilian-Ionut Croitoru, Gheorghe Oancea (2016), “Satellite tracking using Norad two-line element set format”, *Scientific Research and Education in the air forces-AFASES 2016*, pp.423-432.
- [10] Anatoly Zak (2013), *Kanopus-V declared operational*, <http://www.russianspaceweb.com/kanopus.html>.
- [11] Celestrak (2016), *Satellite Tracking Software Index*, <http://celestrak.com/software/satellite/sat-trak.asp/>.
- [12] J.G. Walker (1984), “Satellite Constellation”, *Journal of the British Interplanetary Society*, **47**, pp.559-572.
- [13] *Vệ tinh viễn thám BKA*, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/belka-2.