

ỨNG DỤNG MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI (UAV) ĐỂ XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ BỀ MẶT VÀ BẢN ĐỒ MỎ LỘ THIÊN KHAI THÁC VẬT LIỆU XÂY DỰNG

NGUYỄN QUỐC LONG, CAO XUÂN CƯỜNG

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Email: nguyenquoclong@humg.edu.vn

1. Mở đầu

Mô hình số bề mặt (Digital Surface Model - DSM) là một dữ liệu quan trọng được sử dụng cho các hoạt động như thành lập bản đồ 3D, lập kế hoạch phòng chống các tai biến thiên nhiên [2], lũ lụt [12], kiểm soát xói lở đất [14], phân tích tầm nhìn ở diện rộng, và giám sát tài nguyên và môi trường [19]. Đối với địa hình mỏ lộ thiên, DSM thực chất là mô hình số độ cao DEM, do tại đây gần như không có thực phủ và địa vật [17]. Khi đó, dữ liệu này có thể được sử dụng để thành lập bản đồ địa hình và tính toán khối lượng ở các mỏ. Hiện nay, DSM thường được thành lập bằng nhiều công nghệ khác nhau như đo đạc trực tiếp bằng máy toàn đạc điện tử, định vị vệ tinh GNSS [1], quét laser mặt đất, và công nghệ bay quét - Lidar [2]. Các công nghệ này có các nhược điểm như giá thành cao, tiêu tốn thời gian và sức lao động. Khó thực hiện trong các điều kiện địa hình và môi trường phức tạp và có thể gây mất an toàn lao động [5].

Trong những năm gần đây, thiết bị bay không người lái (UAV - Unmanned Aerial Vehicle) được nghiên cứu ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như khảo cổ và bảo tồn di sản văn hóa [9], quan trắc môi trường [14], [17], [19], giám sát nông lâm nghiệp [15], đo đạc trắc địa địa hình và công trình [10], [11], [16], và xây dựng mô hình 3D các công trình [8]. Tại Việt Nam, đã có một số nghiên cứu về ứng dụng công nghệ UAV trong thành lập mô hình số bề mặt như của các tác giả [5], [6], [13]. Kết quả các nghiên cứu đều đã khẳng định công nghệ UAV có thể sử dụng linh hoạt trong việc thu thập lượng lớn thông tin có độ phân giải cao, từ đó có thể thành lập DSM có chất lượng cao. Tại Việt Nam, số lượng các nghiên cứu về ứng dụng công

nghệ UAV trong khai thác mỏ chưa có nhiều, tác giả Võ Chí Mỹ có đề cập tới ứng dụng công nghệ này trong công tác trắc địa mỏ tại các mỏ than lộ thiên [18]. Hiện nay, vẫn chưa có một nghiên cứu nào về ứng dụng công nghệ này trong thành lập DSM ở các mỏ lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng có chênh cao địa hình lớn tại Việt Nam. Do đó, mục tiêu chính của nghiên cứu này là đánh giá độ chính xác DSM và bản đồ hiện trạng khai thác thành lập từ phương pháp đo ảnh máy bay không người lái UAV cho địa hình mỏ lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng.

2. Thiết bị bay và phần mềm xử lý

2.1. Thiết bị bay Phantom 4 pro

Trọng bộ thiết bị Phantom 4 pro bao gồm thân máy và bộ điều khiển. Các bộ phận chính gắn trên thân máy bao gồm các cảm biến tránh va đập theo 5 hướng (trái, phải, trước, sau, dưới), bốn mô tơ, 4 cánh quạt có thể tháo rời, chân hạ cánh cố định phía bên dưới. Bộ điều khiển từ xa gồm các nút bấm điều khiển quá trình bay, điều khiển có tích hợp 2 ăng ten với 2 tần số: 2.4 và 5.8 GHz [7], có cổng kết nối với máy tính Bảng hoặc điện thoại thông minh để cài đặt các thông số bay chụp hoặc hình hiển thị ảnh chụp trực tiếp từ máy bay. Hình ảnh của bộ thiết bị Phantom 4 pro như hình H.1. Các thông số kỹ thuật của thiết bị được thể hiện trong Bảng 1 [7].

2.2. Bộ phận chụp ảnh (camera)

Camera của Phantom 4 Pro (hình H.2) có thể chụp ảnh tĩnh với độ phân giải 20 MP ở định dạng JPEG hoặc DNG RAW. Có khả năng quay video với độ phân giải 4K. Cảm biến camera của Phantom 4 pro có kích thước lớn hơn các thế hệ trước nó nên trong điều kiện thiếu sáng cho ra ảnh/video chất lượng tốt hơn. Ống kính của camera

có khẩu độ lớn nhất F/2.8, cho góc nhìn rộng 94 độ. DJI cho biết ống kính của camera được thiết kế đặc biệt để chống méo ở vùng rìa ảnh. Camera được nối với bộ chống rung 3 chiều giúp cho ảnh chụp ổn định [7]. Các thông số chụp ảnh có thể đặt ở chế độ tự động hoặc điều khiển thông qua bộ điều khiển mặt đất.



H.1. Thiết bị bay Phantom 4 pro và bộ điều khiển

2.3. Phần mềm xử lý ảnh chụp từ UAV

Hiện nay có nhiều phần mềm xử lý ảnh UAV khác nhau như Agisoft Photoscan, ENVI, Trimble Business Center, Erdas Leica Photogrammetry Suite, PhotoModeler Scanner, Pix4UAV Desktop,... Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Agisoft Photoscan phiên bản 1.42 để xử lý toàn bộ quy trình từ khớp ảnh, tạo đám mây điểm,

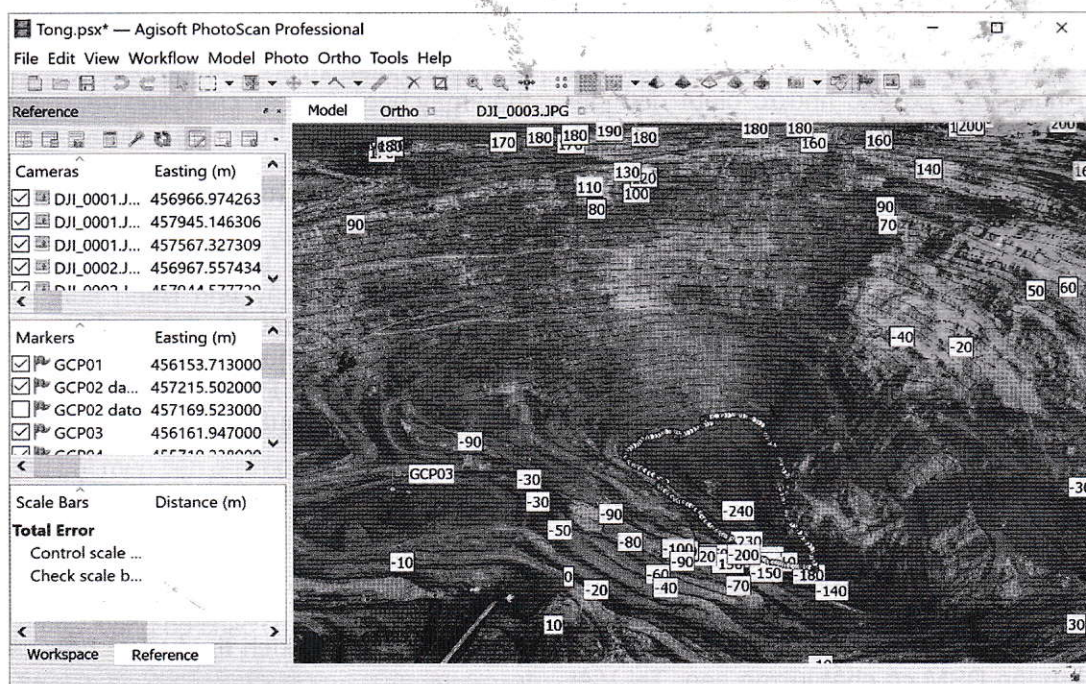
xây dựng mô hình số bề mặt (DSM), và thành lập bình đồ ảnh. Theo kết quả nghiên cứu [16] thì đây là phần mềm xử lý ảnh UAV tốt nhất. Giao diện phần mềm Agisoft Photoscan như hình H.3.

Bảng 1. Thông số chính của Phantom 4 Pro (DJI, 2017)

Thông số	Giá trị (đơn vị)
Trọng lượng	1280 (g)
Cao, dài, rộng	18.5, 28.9, 28.9 (cm)
Tốc độ bay lên tối đa	5 (m/s)
Tốc độ bay xuống tối đa	3 (m/s)
Tốc độ bay ngang tối đa	16 (m/s)
Thời gian bay	23 (phút)
Tầm bay cao nhất	6000 (m)
Nhiệt độ hoạt động	0÷40 (độ C)
Định vị	GPS/GLONAS



H.2. Camera của Phantom 4 Pro



H.3. Giao diện phần mềm Agisoft Photoscan

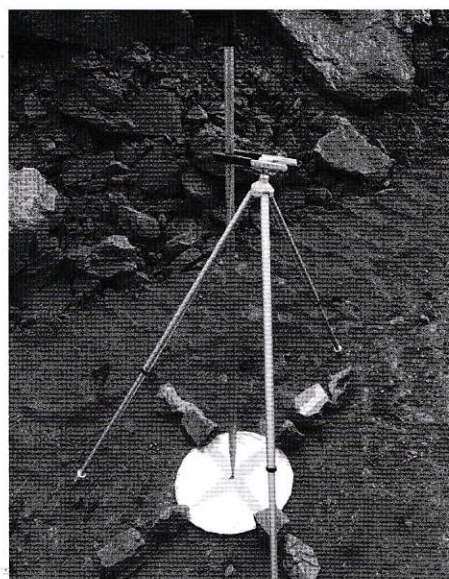
3. Thực nghiệm xây dựng mô hình DSM cho mỏ lộ thiên và đánh giá độ chính xác

3.1. Địa điểm thực nghiệm bay chụp

Phần thực nghiệm được tiến hành tại 2 mỏ đá là cụm mỏ Tân Đông Hiệp và Núi Dài. Trong đó Cụm mỏ Tân Đông Hiệp (tỉnh Bình Dương) là mỏ khai thác đá phục vụ xây dựng, đáy móng có độ sâu -120 m, chênh cao lên bề mặt mỏ là 200 m, diện tích bay chụp là 130 ha. Mỏ Núi Dài tại huyện Tri Tôn tỉnh An Giang là mỏ khai thác vật liệu xây dựng, đá chủ yếu là Andezit, đáy móng có độ cao là +10 m, chênh cao từ móng tới điểm cao nhất trên bề mặt mỏ là 170 m, diện tích bay chụp là 125 ha. Có thể nhận thấy, cả 2 mỏ đều có chênh cao từ bề mặt tới đáy móng lớn, diện tích bay chụp rộng, vật liệu khai thác là đá, do vậy có thể coi hai mỏ này là các mỏ tiêu biểu cho các mỏ khai thác vật liệu xây dựng ở Việt Nam.

3.2. Xây dựng điểm khống chế và kiểm tra

Điểm khống chế ảnh ngoại nghiệp cho khu vực nghiên cứu được đo đạc bằng công nghệ định vị vệ tinh xử lý thực thời (Real Time Kinematic - RTK). Những điểm này được sử dụng cho hai mục đích là nắn ảnh về hệ tọa độ VN-2000 và đánh giá độ chính xác của mô hình DSM. Các tiêu đánh dấu điểm khống chế ảnh có đường kính 50 cm, được làm bằng vật liệu phản chiếu cao để tăng cường độ tương phản, dễ dàng phát hiện trên ảnh (hình H.4).



H.4. Tiêu đánh dấu điểm khống chế

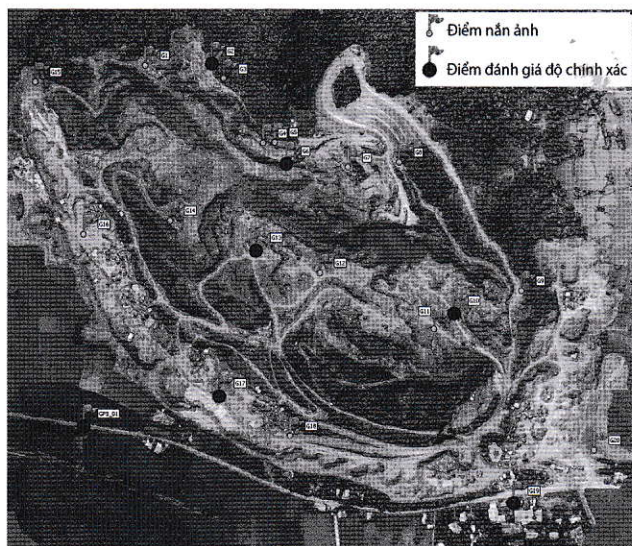
Trong mỗi trường hợp bay chụp, tổng số điểm khống chế và kiểm tra là 21 điểm, trong đó 14 điểm dùng để nắn ảnh và 7 điểm còn lại dùng để đánh giá độ chính xác mô hình, các điểm dùng để đánh giá độ chính xác được phân bố đều trên khu vực bay chụp và nằm ở các độ cao khác nhau, đảm bảo tính khách quan trong đánh giá kết quả (hình H.5 và hình H.6). Tọa độ, độ cao các điểm khống chế được trình bày ở Bảng 2.



H.5. Phân bố điểm nắn ảnh và điểm đánh giá độ chính xác tại cụm mỏ Tân Đông Hiệp

Bảng 2. Tọa độ và độ cao các điểm nắn ảnh và kiểm tra độ chính xác

Cụm mỏ Tân Đông Hiệp				Mỏ Núi Dài			
Tên điểm	Tọa độ			Tên điểm	Tọa độ		
	X(m)	Y(m)	Z(m)		X(m)	Y(m)	Z(m)
GPS1	614119.593	1207967.399	16.237	G1	522357.741	1155501.358	97.342
P1	614339.949	1207673.561	7.756	G2	522482.762	1155507.169	134.680
P2	614116.539	1207620.095	-34.994	G3	522505.611	1155475.140	143.097
P3	613607.256	1207653.555	-89.466	G4	522578.322	1155360.124	127.562
P4	613843.681	1207706.913	-120.292	G5	522599.229	1155361.896	132.377
P5	614073.639	1207693.009	-121.572	G6	522620.795	1155328.228	124.352
P6	613963.797	1207805.117	-122.134	G7	522735.415	1155316.837	125.400
P7	613959.958	1207918.895	-125.810	G8	522830.587	1155326.417	102.483
P8	613756.193	1207912.934	-122.833	G9	523059.951	1155096.376	40.402
P9	613521.589	1207779.813	-123.391	G10	522932.642	1155059.934	20.354
P10	613853.326	1207534.904	-112.690	G11	522895.664	1155026.343	31.245
P11	614009.118	1208152.587	10.904	G12	522681.805	1155127.325	32.021
P12	613683.660	1208098.145	10.705	G13	522561.879	1155173.408	44.115
P13	614023.288	1208072.528	-27.273	G14	522401.681	1155222.221	56.665
P14	613395.427	1207923.149	18.423	G15	522145.678	1155475.168	18.044
P15	613289.591	1207538.993	23.540	G16	522236.736	1155198.050	13.335
P16	613660.551	1207411.936	17.290	G17	522493.057	1154908.340	15.043
P17	614146.662	1207207.516	14.522	G18	522626.383	1154829.387	18.171
P18	614015.980	1207327.253	10.085	G19	523046.437	1154711.066	8.119
P19	614427.807	1207805.339	2.130	G20	523197.823	1154803.658	7.581
P20	614473.831	1207929.260	7.086	GPS_01	522235.758	1154851.642	3.983



H.6. Phân bố điểm nắn ảnh và điểm đánh giá độ chính xác tại mỏ Núi Dài

3.3. Thiết kế và thực hiện bay chụp

Quá trình bay chụp được thiết kế trên phần mềm Pix4D Capture (H.7), có thể thiết kế độ cao bay, tốc độ bay, độ chồng phủ theo hướng dọc và ngang, góc chụp ảnh,... Khi cài đặt ở chế độ bay

an toàn (Safe mode) thì UAV sẽ tự động bay theo các dải đã thiết kế bao gồm tự động cất cánh, bay lên độ cao thiết kế, sau đó bay đến các điểm thiết kế để dừng và chụp ảnh như đã thiết lập trong phần mềm. Khi ảnh cuối cùng được chụp xong, UAV sẽ tự động bay về và hạ cánh tại điểm xuất phát. Trong quá trình bay chụp, trạng thái hoạt động của UAV và máy ảnh được hiển thị liên tục trên máy tính Bảng hoặc điện thoại thông minh. Tùy vào độ an toàn của UAV (ví dụ tình trạng năng lượng của pin, nguy cơ va chạm với vật thể, động vật trên không,...) người điều khiển có thể dừng quá trình bay tự động để điều khiển UAV hạ cánh. Để đảm bảo an toàn cho máy bay, tránh va đập vào các ngọn núi thì độ cao bay chụp trong cả 2 trường hợp được lựa chọn sao cho luôn cao hơn điểm cao nhất của khu vực bay. Cụ thể mỏ Núi Dài và cụm mỏ Tân Đông Hiệp, nhóm nghiên cứu lần lượt chọn các độ cao bay chụp so với điểm cất cánh là 250 và 200 m. Thời gian bay trung bình của các ca đo là 18 phút. Do các hạn chế về thời gian bay nên để hoàn thành được diện tích bay chụp lớn, cần thiết kế nhiều dải bay liên tiếp. Độ phủ ngang và phủ dọc của các tuyến bay thiết kế là 80 %.



H.7. Thiết kế giải bay tại cụm mỏ Tân Đông Hiệp

3.4. Đánh giá độ chính xác của mô hình số bề mặt (DSM)

Độ chính xác của mô hình DSM mỏ được đánh giá trên cơ sở so sánh tọa độ và độ cao của các điểm trên mô hình với các điểm khống chế mặt đất, độ chính xác của mô hình 3D được đánh giá theo các công thức sau:

$$\Delta X = X_{DSM} - X_{CCP}; \quad (1)$$

$$\Delta Y = Y_{DSM} - Y_{CCP}; \quad (2)$$

$$\Delta Z = Z_{DSM} - Z_{CCP}; \quad (3)$$

$$\Delta XYZ = XYZ_{DSM} - XYZ_{CCP}; \quad (4)$$

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{DSM} - X_{GCPi})^2} \quad (5)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{DSM} - Y_{GCPi})^2} \quad (6)$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{DSM} - Z_{GCPi})^2} \quad (7)$$

$$RMSE_{XYZ} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(X_{DSM} - X_{GCPi})^2 + (Y_{DSM} - Y_{GCPi})^2 + (Z_{DSM} - Z_{GCPi})^2]} \quad (8)$$

Trong đó: ΔX , ΔY , ΔZ , ΔXYZ - Các giá trị chênh lệch các thành phần tọa độ và vị trí điểm; $RMSE$ - Sai số trung phương; n tổng số điểm kiểm tra; X_{GCPi} và X_{DSM} , Y_{GCPi} và Y_{DSM} , Z_{GCPi} và Z_{DSM} - Tương ứng là thành phần tọa độ theo trục X, trục Y và trục Z của điểm khống chế và mô hình DSM

4. Kết quả và thảo luận

Sau khi xử lý ghép ảnh, nắn ảnh, tạo đám mây điểm, ta sẽ tạo mô hình số bề mặt (DSM) cho cả 2 mỏ (H.8 và H.9). Sai số trung phương của các thành phần X, Y, Z, XYZ của tất cả các điểm nắn ảnh như trong Bảng 3, Bảng 5. Sai số trung phương của các thành phần X, Y, Z, XYZ của tất cả các điểm kiểm tra độ chính xác mô hình 3D như trong Bảng 4 và Bảng 6. Mô hình DEM của cụm mỏ Tân Đông Hiệp và mỏ

Núi Dài như hình H.8 và H.9.

Đối với cụm mỏ Tân Đông Hiệp, sai số của các điểm dùng để nắn ảnh như sau: sai số trung bình các thành phần X, Y, Z, XYZ tương ứng là 3,5 cm, 2,6 cm, 14,0 cm, và 4,5 cm. Sai số lớn nhất theo trục X là 6,8 cm và trục Y là 5,0 cm, sai số lớn nhất theo trục Z là 24,6 cm và sai số tổng hợp theo vị trí điểm XYZ là 24,7 cm (điểm P15, Bảng 3).

Bảng 3. Sai số các thành phần của điểm khống chế trong xây dựng mô hình DSM cụm mỏ Tân Đông Hiệp

Tên điểm	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	ΔXYZ
P19	-2,2	2,5	20,1	20,4
P10	0,1	-1,4	-14,4	14,5
P11	3,6	-2,6	-3,4	5,6
P12	6,8	-5,2	4,7	9,8
P15	2,2	0,1	24,6	24,7
P17	-3,7	5,0	1,6	6,4
P18	-1,8	1,2	-2,3	3,1
P2	-2,4	1,5	-6,3	6,9
P20	-2,0	1,4	21,1	21,3
P5	-1,0	2,8	-4,0	5,0
P6	2,8	-1,8	-17,4	17,7
P8	2,7	2,1	-21,8	22,0
P9	-6,7	1,6	-2,1	7,3
RMSE	3,5	2,6	14,0	4,5

Sai số trung bình các thành phần X, Y, Z, XYZ của các điểm kiểm tra tại cụm mỏ Tân Đông Hiệp tương ứng là 5,1 cm, 2,7 cm, 13,5 cm, 4,6 cm. Sai số lớn nhất theo trục X là 10,2 cm và trục Y là -5,9 cm (điểm P14, Bảng 4), sai số lớn nhất theo trục Z là -24,2 cm và sai số tổng hợp theo vị trí điểm XYZ là 24,5 cm (điểm P7, Bảng 4).

Bảng 4. Sai số các thành phần X, Y, Z, XYZ của điểm kiểm tra cụm mỏ Tân Đông Hiệp

Tên điểm	ΔX	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	ΔXYZ
P13	3,2	0,8	-5,4	6,3
P14	10,2	-5,9	19,1	22,4
P16	-1,1	1,5	2,2	2,9
P1	-4,4	3,0	11,2	12,4
P3	3,7	-2,4	-3,3	5,5
P7	3,8	0,6	-24,2	24,5
P4	-4,6	-0,4	-12,4	13,3

Đối với mỏ Núi Dài sai số trung bình các thành phần X, Y, Z, XYZ của các điểm nắn ảnh tương ứng là 2,0 cm, 1,5 cm, 4,4 cm, 2,8 cm. Sai số lớn nhất theo trục X là 3,0 cm (điểm G11, Bảng 5) và

trục Y là -2,9 cm (điểm G20, Bảng 5), sai số lớn nhất theo trục Z là 9,9 cm và sai số tổng hợp theo vị trí điểm XYZ là 10,1 cm (điểm G12, Bảng 5).

Bảng 5. Sai số các thành phần của điểm không chế ảnh trong xây dựng mô hình 3D cụm mỏ Núi Dài

Tên	ΔX (cm)	ΔY	ΔZ (cm)	ΔXYZ
G3	-1.9	0.3	7.4	7.6
G9	-1.1	-0.4	-0.5	1.2
G8	-0.6	-0.8	-4.7	4.8
G1	2.4	0.0	-2.4	3.4
G4	1.5	2.2	-1.6	3.1
G7	-2.8	1.0	0.4	3.0
G11	-3.0	1.6	-8.3	8.9
G12	1.9	-0.7	9.9	10.1
G18	1.1	-2.3	-0.4	2.6
G20	0.8	-2.9	3.8	4.9
G14	1.9	1.7	-2.0	3.2
G15	2.0	-1.0	1.4	2.6
G16	-2.2	-1.0	2.0	3.1
RMS	2.0	1.5	4.4	2.8

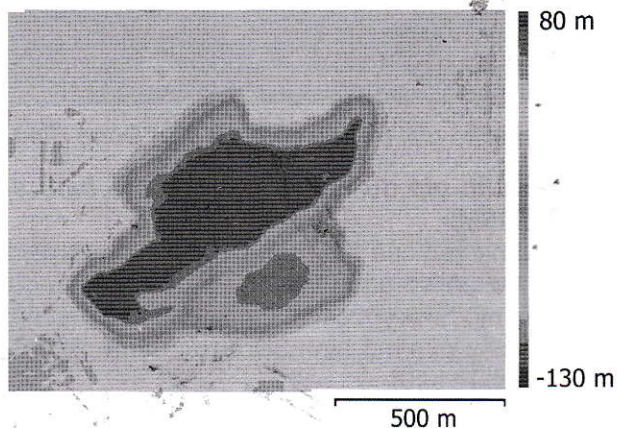
Sai số các điểm kiểm tra tại mỏ Núi Dài như sau: Sai số trung bình các thành phần X, Y, Z, XYZ tương ứng là 1,0 cm, 1,2 cm, 8,4 cm, 3,3 cm. Sai số lớn nhất theo trục X là -2,0 cm (điểm G10, Bảng 6) và trục Y là 2,3 cm (điểm G2, Bảng 6), sai số lớn nhất theo trục Z là -17,9 cm và sai số tổng hợp theo vị trí điểm XYZ là 17,9 cm (điểm G13, Bảng 6).

Bảng 6. Sai số các thành phần X, Y, Z, XYZ của điểm kiểm tra cụm mỏ Tân Đông Hiệp

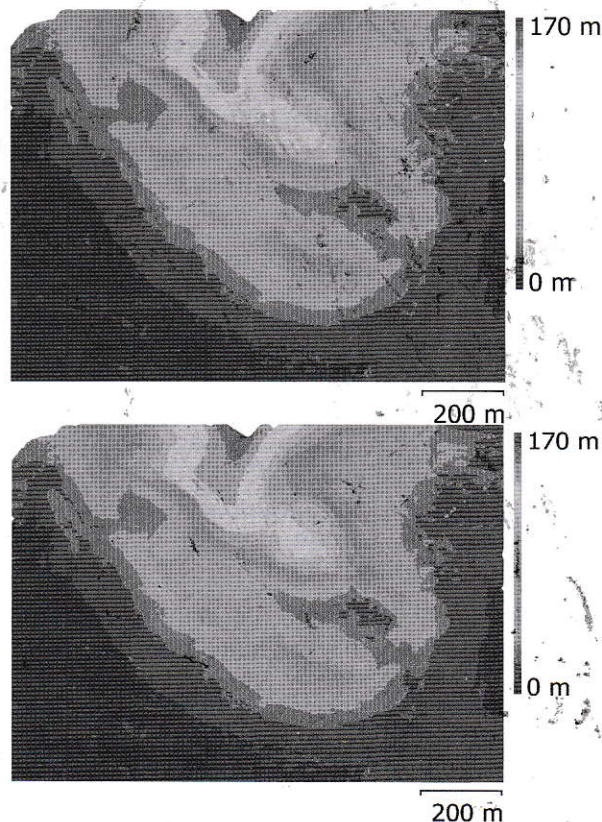
Tên điểm	ΔX	ΔY	ΔZ (cm)	ΔXYZ
GPS_01	1.3	-0.1	-2.6	2.9
G2	0.8	2.3	4.0	4.7
G6	-0.4	0.6	-3.4	3.5
G10	-2.0	1.2	-8.4	8.7
G13	-0.1	-0.1	-17.9	17.9
G17	-0.9	-1.9	-8.1	8.3
G19	-0.6	-0.7	1.8	2.0
RMSE	1.0	1.2	8.4	3.3

Từ kết quả đánh giá độ chính xác ở trên cho thấy mô hình DSM có độ trùng khớp cao với địa hình thực tế. Mô hình 3D của cụm mỏ Tân Đông Hiệp và mỏ Núi Dài như hình H.10 và H.11. Theo qui phạm Việt Nam ngành Trắc địa mỏ [3] và thông tư số 68/2015/TT-BTNMT [4], độ chính xác của cả hai mô hình ở trên là đáp ứng được yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn, cụ thể cả 2 trường hợp đều đạt yêu cầu đối với thành lập bản đồ tỷ lệ 1:1000. Từ mô hình DSM, sử dụng các phần mềm

đồ họa như Autocad, Microstation để biên tập các bản đồ địa hình, bản đồ hiện trạng sử dụng đất của các mỏ. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất cụm mỏ đá Tân Đông Hiệp (tỷ lệ 1:1000) sau khi biên tập từ mô hình DSM như trên hình H.12, bản đồ địa hình mỏ Núi Dài (tỷ lệ 1:2000) như trên H.13. Nhờ mô hình có độ phân giải cao, hình ảnh trực quan, chân thực, rõ nét và chính xác, quá trình biên tập bản đồ thuận lợi. Kết quả cho thấy, chất lượng bản đồ đáp ứng được yêu cầu của Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc địa mỏ.



H.8. Mô hình DEM của cụm mỏ Tân Đông Hiệp (tỉnh Bình Dương)



H.9. Mô hình DEM của mỏ Núi Dài (tỉnh An Giang)



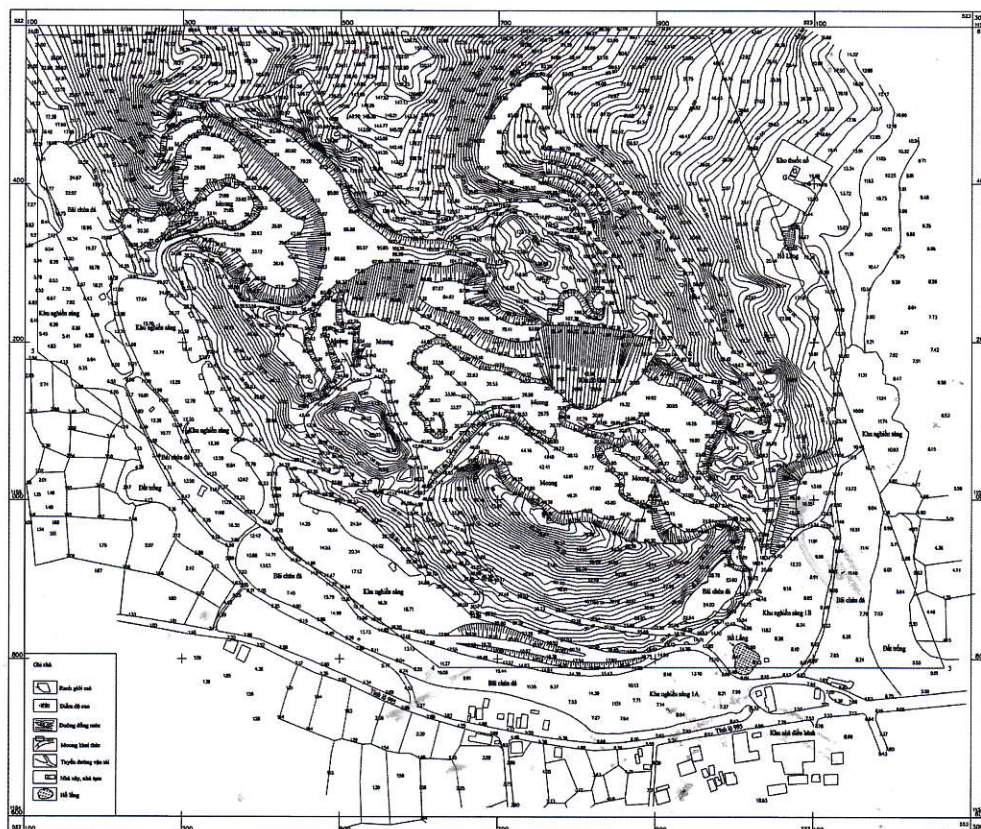
H.10. Mô hình 3D Cụm mỏ Tân Đông Hiệp



H.11. Mô hình 3D mỏ Núi Dài



H.12. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất cụm mỏ đá Tân Đông Hiệp



H.13. Bản đồ địa hình mỏ đá Núi Dài

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, công nghệ bay chụp UAV đã được sử dụng để thành lập DSM và bản đồ cho các mỏ khai thác đá lộ thiên. Kết quả thực nghiệm tại hai mỏ đá Núi Dài và cụm mỏ đá Tân Đông Hiệp cho độ chính xác đạt yêu cầu thành lập bản đồ tỷ lệ lớn theo Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc địa mỏ. Với đặc điểm địa hình mỏ lộ thiên, DSM dễ dàng chuyển thành DEM, do đó thực tế ta có thể dùng mô hình DSM thành lập từ công nghệ đo UAV để thành lập các loại bản đồ địa hình, bản đồ hiện trạng sử dụng đất. Quá trình bay chụp thực nghiệm và xử lý dữ liệu cho thấy công nghệ bay chụp UAV có quy trình thực hiện đơn giản. An toàn khi đo đạc tại những địa hình phức tạp, nguy hiểm, khó tiếp cận của các mỏ lộ thiên. Các sản phẩm từ công nghệ này có thể trợ giúp các cơ quan quản lý nhà nước kiểm tra, giám sát quá trình khai thác. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Barry P., Coakley R. (2013), "Accuracy of UAV photogrammetry compared with network RTK GPS", Int. Arch. Photogramm. Remote Sens, XL-1W, 27-31.
2. Beumier Charles, Idrissa Mahamadou (2016), Digital terrain models derived from digital

surface model uniform regions in urban areas", International Journal of Remote Sensing, 37 (15), 3477-3493.

3. Bộ Công Thương (2015), "Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc Địa Mỏ".

4. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2015), "Thông tư 68/2015/TT-BTNMT: Quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000".

5. Bùi Tiến Diệu, và nnk (2016), "Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái", Hội nghị khoa học: Đo đạc bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu.

6. Dieu Tien Bui, và nnk (2017), "Lightweight Unmanned Aerial Vehicle and Structure-from-Motion Photogrammetry for Generating Digital Surface Model for Open-Pit Coal Mine Area and Its Accuracy Assessment", International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources, 17-33.

7. DJI (2017), "Phantom 4 Pro Visionary intelligence and elevated imagination, <https://www.dji.com/phantom-4-pro>".

8. Irschara A., Kaufmann V., Klopschitz M., Bischof

H., Leberl F. (2010), "Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from uavs", 38, 65-70.

9. Karsten Lambers, Henri Eisenbeiss, Martin Sauerbier, Denise Kupferschmidt, Thomas Gaisecker, Soheil Sotoodeh, Thomas Hanusch (2007), "Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru", Journal of Archaeological Science, 34 (10), 1702-1712.

10. Liu P., Chen A. Y., Huang Y., Han J., Lai J., Kang S., Wu T., Wen M., Tsai M. (2014), "A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering", Smart Struct. Syst, 13 (6), 1065-1094.

11. Maza I., Caballero F., Capitán J., Martínez-de-Dios J. R., Ollero A. (2011), "Experimental results in multi-UAV coordination for disaster management and civil security applications", Journal of intelligent & robotic systems, 61 (1-4), 563-585.

12. Mourato Sandra, Fernandez Paulo, Pereira Luisa, Moreira Madalena (2017), "Improving a DSM Obtained by Unmanned Aerial Vehicles for Flood Modelling", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.

13. Ngô Thị Phương Thảo, và nnk (2017), "Đánh giá độ chính xác mô hình số bề mặt và bản đồ ảnh trực giao thành lập từ phương pháp ảnh máy bay không người lái (UAV)", Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất, 58, 18-27.

14. Oleire-Oltmanns S., Marzloff I., Peter Kd, Ries Jb (2012), "Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco", Remote Sens., 4 (11), 3390-3416.

15. Rokhmana Catur Aries (2015), "The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia", Procedia Environmental Sciences, 24 (Supplement C), 245-253.

16. Sona Giovanna, Pinto Livio, Pagliari Diana, Passoni Daniele, Gini Rossana (2014), "Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images", Earth Science Informatics, 7 (2), 97-107.

17. Võ Chí Mỹ, Robert Dudek (2014), "Nghiên cứu khả năng ứng dụng máy bay không người lái (UAV) trong công tác trắc địa mỏ và giám sát môi trường mỏ", Hội nghị Khoa học Kỹ thuật Mỏ lần thứ 24.

18. Võ Chí Mỹ, Vũ Phan Long, và nnk (2014), "Nghiên cứu khả năng ứng dụng máy bay không người lái trong công tác trắc địa mỏ và giám sát môi trường mỏ".

19. Yu Miao, Huang Yu, Xu Qiang, Guo Peng, Dai Zili (2016), "Application of virtual earth in 3D terrain modeling to visual analysis of large-scale geological disasters in mountainous areas", Environmental Earth Sciences, 75 (7), 563.

Ngày nhận bài: 15/02/2018

Ngày gửi phản biện: 16/04/2018

Ngày nhận phản biện: 25/08/2018

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/01/2019

Từ khóa: Công nghệ máy bay không người lái (UAV); mô hình số bề mặt (DSM); bản đồ khai thác mỏ; mỏ lộ thiên; dữ liệu ảnh UAV; thiết bị bay Phantom4pro; phần mềm Agisoft Photoscan 1.42

SUMMARY

UAV photogrammetry technology has been an increasingly common solution for producing digital surface models (DSM). However, this is still a quite new technology at open-pit mines in Vietnam. The main purpose of this paper is to comprehensively assess the ability of the UAV-based technology in DSM and map production. In order to achieve this goal, a DJI Phantom 4 pro drone was used to build the DSM of two quarries in Bình Dương and An Giang provinces. Ground control points for processing UAV images and DSM accuracy assessment were observed by the GNSS real time kinematic technique (RTK). The data was processed in Agisoft Photoscan 1.42. In both two cases, results showed that the accuracy of DSMs was high enough for producing large scale topographic maps.

ĐÓNG-LOẠI HẠNH

1. Một gánh sách không bằng một người thầy giỏi. *Ngạn ngữ Trung Hoa.*

2. Nếu bạn muốn người khác và bản thân mình được hạnh phúc, hãy học cách thấu hiểu. *Đạt Lai Lạt Ma.*

3. Không ai có thể trao cho ta tự do. Ta phải tự mình nuôi dưỡng nó. Đó là một công việc hàng ngày. *Thiền sư Thích Nhất Hạnh.*

VTH sưu tầm