

Porównanie dronów Phantom 4 RTK oraz Matrice 300 RTK (z kamerą P1)

Starcie braci



Phantom 4 RTK

Matrice 300 RTK z kamerą Zenmuse P1

Wirnikowce Phantom i Matrice chińskiej marki DJI to jedne z najpopularniejszych dronów do profesjonalnych zastosowań. Czym się różnią i który z nich lepiej sprawdzi się w pracach geodezyjnych?

Maciej Wywiół

Jesienią ubiegłego roku firma DJI wypuściła na rynek model Matrice 300 RTK z pełnoklatkową kamerą Zenmuse P1. Zapewne wielu potencjalnych nabywców zastanawia się, czy zestaw będzie godnym następcą najbardziej popularnego drona do zastosowań geodezyjnych, jakim w ostatnich latach stał się Phantom 4 RTK. Jako firma NaviGate jesteśmy oficjalnym dystrybutorem marki DJI Enterprise w Polsce i mamy już za sobą dziesiątki wdrożeń Phantoma. Korzystając z naszych do-

świadczeń, przybliżymy specyfikację obu urządzeń oraz porównamy je pod względem dokładności i wydajności.

• Na pierwszy rzut oka

Podstawowe parametry obu maszyn zestawiono w tabeli 1. I tak, masa Phantoma 4 RTK to niecałe 1,5 kg, co wg obowiązujących od nowego roku unijnych przepisów pozwala na wykonywanie lotów w kategorii szczególnej w scenariuszu NSTS-01 lub, jeżeli loty są realizowane poza zasięgiem wzroku, NSTS-05. Natomiast Matrice 300 RTK wyraźnie przekracza legislacyjny próg 4 kg, operacje musimy więc wykonywać już w ra-



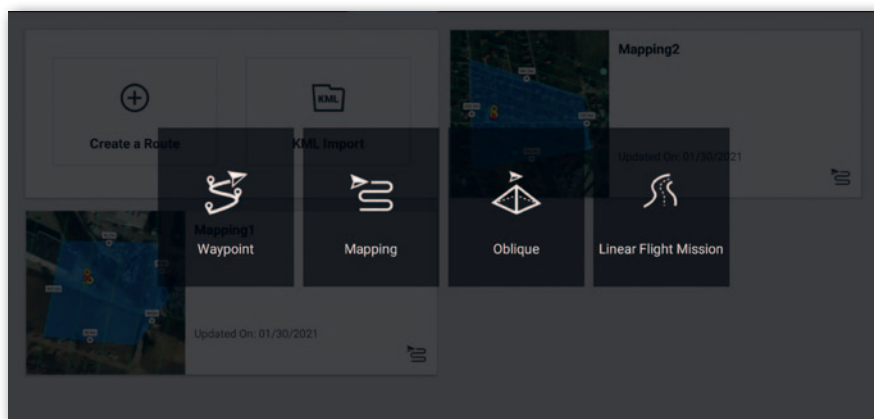
Rys. 1. Zdjęcie wykonane kamerą z migawką szczelinową z widocznym efektem rolling-shutter (po lewej) i wykonane kamerą z migawką global-shutter (po prawej)

mach scenariusza NSTS-02 (loty w zasięgu wzroku MR<25 kg) lub NSTS-06 (loty poza zasięgiem wzroku MR<25 kg). Na marginesie zauważmy, że cieszyć mogą się posiadacze świadectwa kwalifikacji UAVO do 5 kg, którzy po zmianie przepisów nieco zyskali i po wykonaniu konwersji mogą pilotować statki typu MR MTOM o masie poniżej 25 kg.

Przejdźmy teraz do sensorów. Phantoma wyposażono w jedną kamerę RGB (model FC6310R bez możliwości wymiany) o 1-calowej matrycy, ogniskowej 8,8 mm oraz rozdzielczości 20 Mpx. Za to kamera Zenmuse P1 ma już matrycę pełnoklatkową (full frame) o rozdzielczości 45 Mpx i na dodatek wymienne obiektywy o ogniskowych 24, 35 i 50 mm. Już sam fakt, że po-

Tab. 1. Porównanie podstawowej specyfikacji obu maszyn

	DJI Phantom 4 RTK	DJI Matrice 300 RTK + Zenmuse P1
Waga	1,5 kg	6,3 kg + 0,9 kg = 7,2 kg
Długość ogniskowej obiektywu	rzeczywista - 8,8 mm ekwiwalent na pełną klatkę - 24 mm	24 mm/35 mm/50 mm
Kąt widzenia obiektywu	84°	84°/63,5°/46,8°
Rozmiar matrycy	1 cal (12,8 x 8,6 mm)	pełna klatka (35,9 x 24 mm)
Rozdzielczość matrycy	20 Mpx (5472 x 3648 px)	45 Mpx (8192 x 5460 px)
Rozmiar piksela matrycy	2,4 µm	4,4 µm
Piksel terenowy (GSD) z pułapu 120 m AGL	3,3 cm	2,2 cm/1,5 cm/1,1 cm
Minimalny interwał zdjęć	2,5 s	0,7 s



Rys. 2. Okno aplikacji DJI Pilot dostarczanej w zestawie z Matrice 300 RTK

wierzchnia matrycy P1 jest prawie 8-krotnie większa, pozwala uzmysłowić sobie różnicę klas obu kamer. Jeżeli jednak chodzi o rozmiar piksela terenowego zdjęć pozyskiwanych z pułapu 120 m AGL (nad poziomem gruntu), różnica jest następująca: dla Phantom 4 RTK GSD wynosi 3,3 cm, a dla Zenmuse P1 – 2,2 cm, 1,5 cm i 1,1 cm (przy obiektywach o ogniskowej odpowiednio: 25, 35 i 50 mm).

Kolejną cechą bardzo ważną z fotogrametrycznego punktu widzenia jest typ migawki. Jedynym sensowym rozwiązaniem przy tej klasie aparatu co P1 jest migawka globalna (*global-shutter*). W kamerze Phantom 4 RTK zastosowano klasyczną migawkę mechaniczną, która, co prawda, również redukuje efekt *rolling-shutter*, ale jej zasada działania jest inna. Wyjaśnijmy krótko, że *global-shutter* pozwala naświetlać całą matrycę w momencie ekspozycji zdjęcia. Natomiast migawka szczelinowa naświetla jedynie wąski fragment matrycy, który przemieszcza się z góry na dół. Powoduje to tzw. efekt *rolling-shutter* (rys. 1). Widoczny jest on na fotogrametrycznych zdjęciach z pokładu bezzałogowców przemieszczających się z dużą prędkością i objawia się „kładzeniem się obiektów” na zdjęciach. W przypadku migawki globalnej ten problem mamy z głowy.

Następny parametr, na który warto zwrócić uwagę, to minimalny interwał pomiędzy zapisem kolejnych zdjęć. Kamera Phantom 4 RTK potrzebuje aż 2,5 sekundy, a sensor Zenmuse P1 jedynie 0,7 s.

Wszystkie powyższe właściwości Zenmuse P1 pozwalają na lot na znacznie większej wysokości oraz z większą prędkością, co bezpośrednio przekłada się na wydajność. Jest ona 5-krotnie większa dla zdjęć nadirowych i nawet do 10 razy większa, gdy wykonujemy zdjęcia ukośne. Cechą

wspólną dla obu kamer jest ich integracja na 3-osiowym gimbalu, z tą jednak różnicą, że P1 wyposażona jest w złącze DJI SkyPort pozwalające błyskawicznie podłączyć ją do kompatybilnej platformy latającej, np. Matrice 300 RTK. Ponadto dzięki gimbalowi oraz wyspecjalizowanemu trybowi Smart Oblique (o którym więcej w dalszej części artykułu) kąt wykonywania zdjęć kamerą P1 zmienia się automatycznie w trakcie trwania lotu.

• Program do planowania nalołów

O możliwościach aplikacji DJI GS RTK, która jest zainstalowana na dronie Phantom 4 RTK, pisaliśmy w niezbędniku DRONY DLA GEODETY 2019 oraz w GEODECIE 7/2019, więc ten wątek tu pominiemy. Natomiast w zestawie Matrice 300 RTK z kamerą P1 użytkownik otrzymuje dedykowaną aplikację do planowania misji o nazwie DJI Pilot (rys. 2). Jeżeli ktoś chciałby przetestować program przed zakupem całego zestawu, wystarczy go pobrać za darmo na urządzenie mobilne z systemem Android. Można również spotkać się ze sprzedawcą NaviGate

Gate w biurze w Krakowie lub Warszawie bądź umówić się na prezentację w dowolnym miejscu w Polsce. Co ważne, przy użyciu DJI Pilot można również planować i wykonywać misje starszymi statkami (np. Phantom 4 Pro czy cała seria Matrice 200).

Aplikacja ta oferuje kilka rodzajów misji. Tryb **Waypoint** służy do zaprogramowania ścieżki lotu po zadanych punktach i jest wykorzystywany najczęściej do nalołów inspekcyjnych. Pozostałe trzy tryby służą do misji fotogrametrycznych:

- **Mapping** przeznaczony jest do wykonywania zdjęć pionowych, z których później można stworzyć ortofotomozaikę.

- **Oblique** pozwala na klasyczne wykonywanie zdjęć ukośnych, jednak ze względu na dostępność w Matrice 300 RTK wspomnianego Smart Oblique będzie on wykorzystywany raczej rzadko.

- **Linear Flight Mission** jest przydatny do realizacji nalołów liniowych, np. do obrazowania dróg, cieków czy nawięznych linii energetycznych.

Zarówno w aplikacji DJI GS RTK, jak i w DJI Pilot użytkownik ma możliwość określenia obszaru opracowania ręcznie na podkładzie satelitarnym bądź importu gotowych granic powierzchni w pliku KML, który można przygotować np. w Google Earth. Nalot nad obszarem o dużych deniwelacjach również nie będzie problemem dzięki opcji wczytania NMT, który pozyskamy chociażby z Geoportalu GUGIK (rys. 3).

• Analiza dokładności

Aby rzetelnie ocenić dokładność, którą oferują oba urządzenia, założyliśmy testową bazę pomiarową w okolicy krakowskiego oddziału biura NaviGate.



Rys. 3. Zaplanowany nalot w DJI Pilot z uwzględnieniem deniwelacji terenu



Rys. 4. Szkic pomierzonej osnowy fotogrametrycznej

Szkałała się ona z 70 punktów pomierzonych techniką GNSS RTK (rys. 4). Niektóre z nich zamarkowaliśmy fluorescencyjnym sprejem, pozostałe to tzw. fotopunkty naturalne, takie jak kratki czy studzienki kanalizacyjne. Znajdowały się one zarówno na powierzchni terenu, jak i na dachu biurowca.

W ramach testów zaplanowaliśmy dwie misje. Nalot Phantomem przeprowadziliśmy na pułapie 70 m AGL (przy GSD

ok. 2 cm), a modelem Matrice 300 RTK – na 120 m AGL (GSD ok. 1,5 cm). W obu przypadkach pokrycie poprzeczne i podłużne wyniosło po 75%. Po zebraniu danych wskazaliśmy w aplikacji Pix4D-mapper wszystkie punkty na zdjęciach. W celu sprawdzenia, jak liczba fotopunktów wykorzystanych do wyrównania wpływa na błędy uzyskane na punktach kontrolnych, przeprowadziliśmy wyrównanie w pięciu wariantach różniących się

liczbą fotopunktów (0, 1, 3, 6 i 10). Błędy średniokwadratowe na punktach kontrolnych zestawiliśmy w tabeli 2.

Rezultaty potwierdziły nasze wcześniejsze przypuszczenia, że błąd danych pozyskanych za pomocą Zenmuse P1 będzie mniejszy. Na lepsze wyniki – poza jakością zdjęć wykonanych kamerą P1 – może składać się kilka czynników, takich jak mniejszy rozmiar piksela terenowego zdjęć, stabilność platformy podczas wykonywania nalotu czy zastosowanie podwójnych anten RTK.

Mimo tych różnic błędy danych z obu platform mieszczą się granicach błędu określonego przez rozporządzenie ws. standardów geodezyjnych dla szczegółów terenowych I grupy. Biorąc zatem pod uwagę jedynie aspekt dokładności, użycie nowej kamery P1 nie zwiększa znacząco parametrów jakościowych opracowania w porównaniu z platformą Phantom 4 RTK.

• Wydajność

Bazując na doświadczeniach z Phantomem 4 RTK oraz na opiniach naszych klientów, wiemy, że do wykonania nalotu typu podwójna siatka (*double grid*) na obszarze ok. 100 ha na wysokości 70 m AGL potrzeba ponad 7 godzin ciągłej pracy. Przewaga Matrice 300 RTK z P1 jest pod tym względem znacząca. Zestaw ten, pracując w trybie Smart Oblique, pozwala bowiem zrealizować to zadanie raptem w 1,5 godziny!

Tab. 2. Zależność błędu RMSE na punktach kontrolnych od liczby fotopunktów

Liczba fotopunktów (GCP)	RMSE XY [m]		RMSE Z [m]	
	Phantom 4 RTK	Matrice 300 RTK & Zenmuse P1	Phantom 4 RTK	Matrice 300 RTK & Zenmuse P1
0	0,038	0,0301	0,186	0,0505
1	0,038	0,0284	0,036	0,0258
3	0,036	0,0234	0,032	0,0221
6	0,036	0,0222	0,032	0,0210
10	0,035	0,0194	0,032	0,0188

Tab. 3. Parametry wykonanych misji fotogrametrycznych

Lp.	BSP Rodzaj misji	Parametry misji	Liczba zdjęć	Liczba pakietów	Czas trwania
1.	DJI Phantom 4 RTK Misja Double Grid	80 m AGL pokrycie 75/75%	911	3,5	70 min
2.		120 m AGL pokrycie 75/75%	539	2,5	40 min
3.	DJI Matrice 300 RTK z P1 Misja Smart Oblique	120 m AGL pokrycie 75/65%	619	0,5	16 min

Aby to potwierdzić, przeprowadziliśmy w firmie Navigate szczegółowe testy. By wiernie odtworzyć warunki pracy geodety, wybraliśmy obszar pracy, na którym występuje gęsta zabudowa (krakowskie Skotniki w dzielnicy Dębniki). Obszar badań to nieco ponad 10 ha. Wykonaliśmy tu łącznie 3 naloty, z czego dwa platformą Phantom 4 RTK na wysokości 80 i 120 m AGL. Misję zaplanowaliśmy, wykorzystując tryb lotu Double Grid. Z kolei misję Matrice 300 RTK zrealizowaliśmy na pułapie 120 m AGL z użyciem trybu inteligentnego wykonywania zdjęć ukośnych, czyli Smart Oblique. Porównanie parametrów nalogu prezentuje tabela 3.

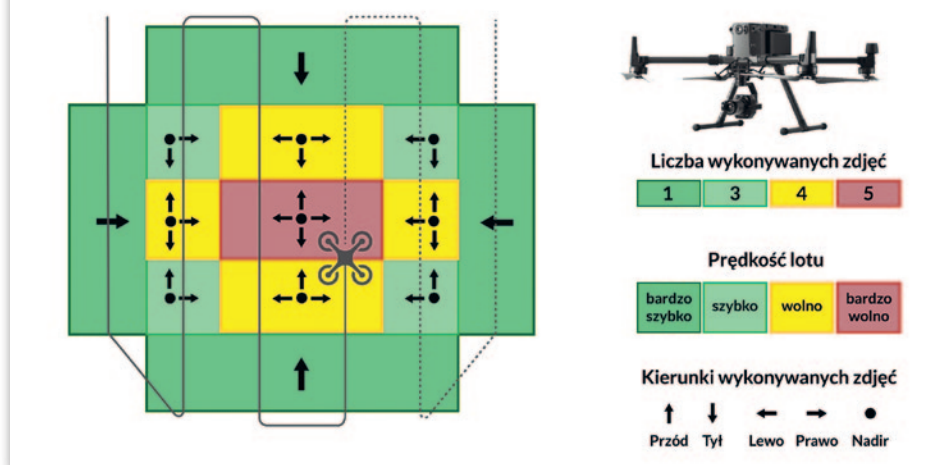
Tryb ten ma za zadanie automatycznie dopasowywać prędkość lotu i zmieniać kąt pochylenia kamery. Wewnątrz obszaru opracowania aparat wykonuje zdjęcia w 5 kierunkach: nadir oraz lewo, prawo, przód i tył pod określonym kątem (domyślnie 45°). Natomiast na krawędzi opracowania zdjęcia są wykonywane jedynie w kierunku do wewnątrz obszaru opracowania. Dzięki temu liczba zdjęć jest mniejsza, a wydajność procesu przetwarzania wzrasta od 20% do nawet 50%, ponieważ zapisane zostają tylko fotografie obejmujące zakres opracowania (rys. 5).

• Jakość produktów

Dane przetworzyliśmy w aplikacji fotogrametrycznej Pix4Dmapper (wersja 4.6.2). Do wyrównania wykorzystaliśmy 4 fotopunkty zlokalizowane w narożach obszaru i 11 punktów kontrolnych. Osnowę pomierzyliśmy za pomocą kompaktowego odbiornika GNSS Trimble Catalyst. Różnice w uzyskanych dokładnościach pomiędzy trzema nalogami były niewielkie. Rysunek 6 to wycinek raportu z wyrównania zdjęć z kamery Zenmuse P1, na którym widać błędy uzyskane na fotopunktach oraz na punktach kontrolnych.

Skoro porównanie dokładności i wydajności mamy za sobą, czas na konfrontację jakości uzyskanych produktów fotogrametrycznych, co prezentuje tabela 4. Co tu dużo mówić – koń, jaki jest, każdy widzi. Chmury punktów oraz ortofotomozajki wygenerowaliśmy przy takich samych ustawieniach, a piksel terenu wynikowych ortofotomap ustawiliśmy na możliwie jak

DJI Matrice 300 RTK & Zenmuse P1 - Tryb Smart Oblique



Rys. 5. Schemat planu lotu Matrice 300 RTK w trybie Smart Oblique

najniższym poziomie. Oczywiście mamy świadomość, że obrazy te nie oddają w pełni różnic pomiędzy produktami, dlatego zainteresowanym możemy udostępnić stosowne dane do wglądu, wystarczy napisać krótką wiadomość na adres drony@navigate.pl.

• Duży może więcej... i więcej kosztuje

Aby odpowiedzieć na pytanie, czy opłaca się zainwestować w droższy sprzęt, jakim jest Matrice 300 RTK, należałoby wyjść od analizy opracowań wykonywanych zazwyczaj przez użytkownika. Jeżeli opracowuje przykładowo mapy do celów

projektowych o powierzchni mniejszej niż 50 ha – Phantom 4 RTK będzie wystarczający. Natomiast jeśli ktoś wykonuje naloty liniowe przekraczające 30 km długości lub zajmuje się pomiarem budynków do celów modernizacji EGIB na zdecydowanie większych obszarach, to oczywiście odpowiedź brzmi: Matrice 300 RTK.

Pod uwagę warto wziąć także kwestię ewentualnej rozbudowy posiadane go sprzętu o dodatkowe sensory. W przypadku Phantoma 4 nie ma, niestety, takiej możliwości. Za to użytkownik Matrice 300 RTK ma do wyboru całkiem sporo kompatybilnych instrumentów. Do zastoso-







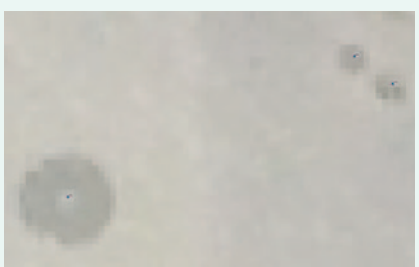
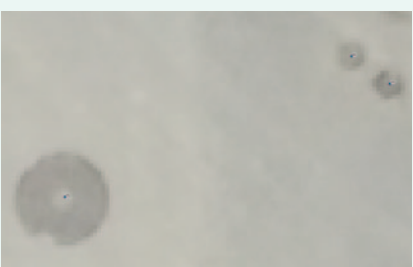

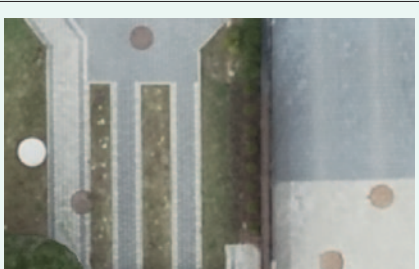
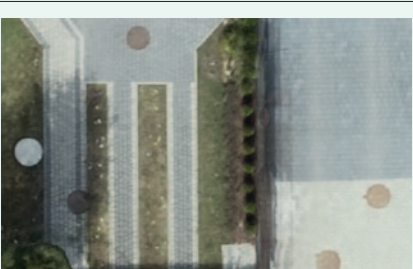
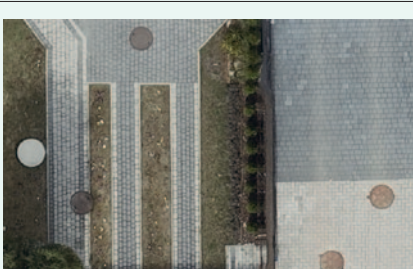


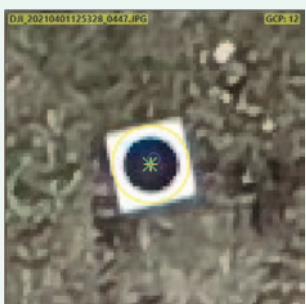
Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.004	0.006	0.186	25 / 25
7 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	0.015	0.011	0.165	25 / 25
12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.024	-0.008	0.217	25 / 25
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	0.006	-0.009	0.261	25 / 25
Mean [m]		0.000000	0.000060	0.000083		
Sigma [m]		0.008770	0.014384	0.008793		
RMS Error [m]		0.008770	0.014384	0.008793		

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1		-0.0006	-0.0069	-0.0108	0.2380	25 / 25
2		0.0028	-0.0145	-0.0142	0.2135	25 / 25
3		0.0028	0.0040	-0.0116	0.1958	25 / 25
4		-0.0127	0.0063	-0.0349	0.1824	25 / 25
6		-0.0060	0.0176	0.0188	0.2212	25 / 25
8		-0.0024	-0.0148	-0.0060	0.1728	25 / 25
9		-0.0149	-0.0109	-0.0027	0.1837	25 / 25
10		-0.0258	-0.0036	0.0038	0.2011	25 / 25
11		-0.0073	-0.0055	-0.0107	0.1778	25 / 25
14		-0.0031	0.0003	-0.0070	0.1965	25 / 25
15		0.0009	0.0212	-0.0072	0.2208	25 / 25
Mean [m]		-0.006032	-0.00606	-0.007488		
Sigma [m]		0.008375	0.011481	0.012358		
RMS Error [m]		0.010321	0.011497	0.014449		

Rys. 6. Wycinek raportu przedstawiający błędy uzyskane podczas wyrównania

Tab. 4. Porównanie produktów pozyskanych przez Phantom 4 RTK oraz Matrice 300 RTK

Phantom 4 RTK 120 m AGL	Phantom 4 RTK 80 m AGL	DJI Matrice 300 RTK & P1 120 m AGL
Chmury punktów		
		
Ortofotomapy		
		
		
		
Zdjęcia		
		

sowań inspekcyjnych nada się chociażby urządzenie Zenmuse H20T, które integruje w sobie kamerę termowizyjną, kamerę z zoomem, kamerę szerokokątną oraz dalmierz laserowy. Kolejnym krokiem rozwoju jest lotniczy skaning laserowy. Mak-

symalny udźwig platformy Matrice 300 RTK wynosi 2,7 kg, dzięki czemu jest ona w stanie unieść większość lidarów różnych marek. Firma DJI oferuje zresztą własny tego typu system – Zenmuse L1. Integruje on głowicę skanującą Livox Avia,

autorską jednostkę IMU oraz 20-megapikselową kamerę. Ale skanowanie z pokładu bezzałogowca to już osobny temat.

Maciej Wywił
specjalista ds. fotogrametrii z BSP
w firmie NaviGate