

OPTYKA CZY RADAR - CZYM LEPIEJ OBSERWOWAĆ ZIEMIĘ?

Satelity optyczne czy też optoelektroniczne w inny sposób skanują powierzchnię naszej planety niż robią to urządzenia radarowe. Każdy z tych dwóch rodzajów sensorów ma swoje mocne i słabe strony oraz zastosowania, w których okazuje się szczególnie przydatny. Czy można powiedzieć, że zobrazowania optyczne górują nad radarowymi, lub też przeciwnie, że są od nich gorsze?

Satelity optoelektroniczne można nazwać pasywnymi. Przyglądają się one powierzchni Ziemi w różnych zakresach widma promieniowania elektromagnetycznego, w szczególności uwzględniając najczęściej długości fal charakterystyczne dla przedziału światła widzialnego, ale też np. podczerwieni. W swoim działaniu wykorzystują one fakt, że ta część światła słonecznego, która nie jest na powierzchni planety absorbowana, odbija się i powraca w przestrzeń kosmiczną. Liczba kanałów spektralnych i ich szerokości, jakie dostępne są dla instrumentu optycznego, mówią nam o jego rozdzielczości spektralnej. Wyższa rozdzielczość spektralna czujnika satelity pozwala dokładniej poznać obserwowane z kosmicznej perspektywy ziemskie środowisko.

Dla odmiany można powiedzieć, że satelity radarowe działają aktywnie. Emitują one bowiem impulsy mikrofalowe w kierunku Ziemi, aby zarejestrować, w jaki sposób impulsy te odbijają się od podłoża i powracają do znajdującego się na orbicie odbiornika.

Szczególnie duże możliwości jeśli chodzi o obserwację radarową daje wykorzystanie radaru z syntetyczną aperturą (ang. Synthetic-Aperture Radar – SAR). Tego rodzaju radar służy do tworzenia obrazów obiektów (np. na powierzchni Ziemi) o znacznym stopniu szczegółowości. Technika działania radaru SAR polega na teoretycznym zwiększeniu rozmiaru anteny poprzez nadawanie i odbiór sygnałów sondujących za pomocą anteny umieszczonej na platformie mobilnej – np. na satelicie, pokładzie samolotu czy drona. Zarejestrowane sygnały przetwarzane są następnie tak, jak gdyby były zebrane przez jedną antenę dużych rozmiarów. W efekcie możliwe jest uzyskanie zobrażeń radarowych o wysokiej rozdzielczości.

Czujniki SAR na satelitach skanują powierzchnię Ziemi za pomocą impulsów fal promieniowania mikrofalowego. Odbite sygnały, zwane radarowym echem, są odbierane przez antenę satelitarną i rejestrowane. Odległość między anteną satelitarną a różnymi punktami odbicia na powierzchni Ziemi jest mierzona i przetwarzana na obrazy czytelne zarówno dla człowieka, jak i dla urządzeń pracujących w oparciu o sztuczną inteligencję.

Ważne jest to, że żeby uzyskać dobrej jakości obrazy SAR, niezbędna jest bardzo dokładna znajomość toru ruchu samego ośrodka, na którym tego rodzaju sensor jest zamontowany. W przypadku wykonywania zobrażeń z wysokości orbity dla ich właściwej interpretacji trzeba zatem dysponować dokładnymi informacjami na temat trajektorii ruchu satelity.

Co lepsze?

Dość łatwo nasuwa się tutaj pytanie: co jest lepsze – satelity optyczne, czy radarowe? Która z tych technologii pozwala pokryć szersze spektrum zastosowań? To pytania ważne, choćby dla kraju takiego jak Polska, który wciąż jest na wczesnym etapie budowania swoich zdolności w zakresie zobrazowania satelitarnego. Być może władze w Warszawie, z racji ograniczeń budżetowych, będą musiały decydować, czy najpierw skoncentrować się na tworzeniu możliwości w zakresie obserwacji optycznej, czy tej z użyciem SAR.

Czy jednak rzeczywiście da się powiedzieć, które z tych dwóch podejść do satelitarnej obserwacji Ziemi jest lepsze? A może nie należy ich ustawiać w opozycji, przeciwstawnie względem siebie, lecz warto zastanowić się, jak radar i optoelektronika mogą współpracować? Jakie korzyści może dawać taka synergia?

Optyka

Zobrazowania optyczne mogą być bardziej przystępne w szczególności dla tych osób, czy podmiotów, które nie mają jeszcze wprawy w interpretacji czy przetwarzaniu zdjęć satelitarnych. Dzieje się tak, ponieważ, wśród zakresów widma promieniowania elektromagnetycznego pokrywanych przez sensory optoelektroniczne znajdują się również częstotliwości właściwe dla światła widzialnego. Stąd, tego typu obrazy, przynajmniej w pewnym zakresie, przypominają to, co widzi ludzkie oko. Dlatego mogą być nieco łatwiejsze do zinterpretowania.



Wysokorozdzielcze optyczne zobrazowanie powierzchni Ziemi z jednego z satelitów Sentinel-2. Fot. ESA/eo4idi.eu

Wysokiej rozdzielczości zdjęcia satelitarne mogą być niezwykle przydatne dla celów rozpoznania – choćby wojskowego. Pozwalają przykładowo dostrzec jakimi typami pojazdów, statków powietrznych czy okrętów dysponuje przeciwnik. Z polskiej perspektywy taka technologia może służyć podglądaniu tego, co robią rosyjskie siły zbrojne w obwodzie Kaliningradzkim.

Czytaj też: [CNN o zdjęciach satelitarnych: Rosjanie budują bunkry w obwodzie kalininradzkim](#)

Optyka pozwala niekiedy na obserwacje bardzo szczegółowe. W listopadzie 2018 r. dzięki satelitom Pleiades z konstelacji Airbusa udało się odnaleźć wyrócony, dryfujący na wodach Atlantyku trimaran. W tym celu satelity dostarczyły obrazów o rozdzielczości 0,5 m na piksel.

Czytaj też: [Satelity Airbusa pomogły odnaleźć przewróconą jednostkę morską](#)

Należy jednakże pamiętać, że dysponujące wysoką rozdzielczością przestrzenną optyczne satelity obserwacji Ziemi to z reguły wielkogabarytowe i kosztowne urządzenia. Ponadto mogą one wykonać dobre zdjęcie jedynie wtedy, gdy sprzyjają temu warunki atmosferyczne i oświetlenie danego terytorium przez Słońce.

SAR

Podstawową zaletą obserwacji z wykorzystaniem sensorów radarowych jest możliwość prowadzenia jej w trybie ciągłym. W przeciwieństwie do instrumentów optycznych, radar SAR może prowadzić teledetekcję niezależnie od warunków pogodowych czy oświetleniowych nad danym skrawkiem planety.

Innymi słowy obserwacje z użyciem aparatury SAR można z powodzeniem przeprowadzić czy to w nocy, czy też przy znacznym stopniu zachmurzenia, nie wspominając o opadach atmosferycznych. Kluczowa jest tu ciągłość obserwacji, zapewniana przez możliwość ich wykonywania niezależnie od wspomnianych okoliczności czy aury, przy każdej kolejnej wizycie satelity nad interesującym obszarem. Z tego względu satelity radarowe nadają się doskonale do monitorowania zmian. Dla przykładu można tu wymienić przemieszczanie się terenu, osuwanie budynku czy wzrost poziomu wody w rzece lub na terenie zalewanym przez powódź. Można również oszacować ile samochodów przybyło z dnia na dzień na parkingu, czy ile kontenerów zniknęło z badanego terenu portowego. Tego typu narzędzia satelitarne mogą być również z powodzeniem wykorzystywane do monitorowania stanu infrastruktury linearnej – jak np. wielokilometrowe ropociągi czy gazociągi.

Kolejną zaletą SAR jest możliwość obrazowania znacznych obszarów w krótkim czasie. Przykładowo, wykonanie zobrazowania dla prostokąta 100 x 50 km zajmuje około pół minuty. Wykonanie przez satelitę zdjęć optycznych takiego skrawka powierzchni Ziemi w optymalnej rozdzielczości może potrwać kilka dni.

Radar SAR doskonale sprawdza się przykładowo w monitorowaniu ruchu morskiego bądź oceanicznego. To dlatego, że statki czy okręty poruszające się po powierzchni wody doskonale kontrastują na tego typu zobrazowaniach z otaczającymi je pustymi połaciami powierzchni morza.

W pogoni za rozdzielczością

W szczególności w przypadku optoelektronicznych systemów satelitarnych najwyżej ceni się zwykle te, które pozwalają na uzyskanie rozdzielczości na poziomie poniżej 1 m na piksel. Z pewnością, w sprzyjających warunkach, tego rodzaju instrumenty pozwalają na uzyskanie najbardziej precyzyjnych obrazów. Mówimy tu rzecz jasna o rozdzielczości przestrzennej.

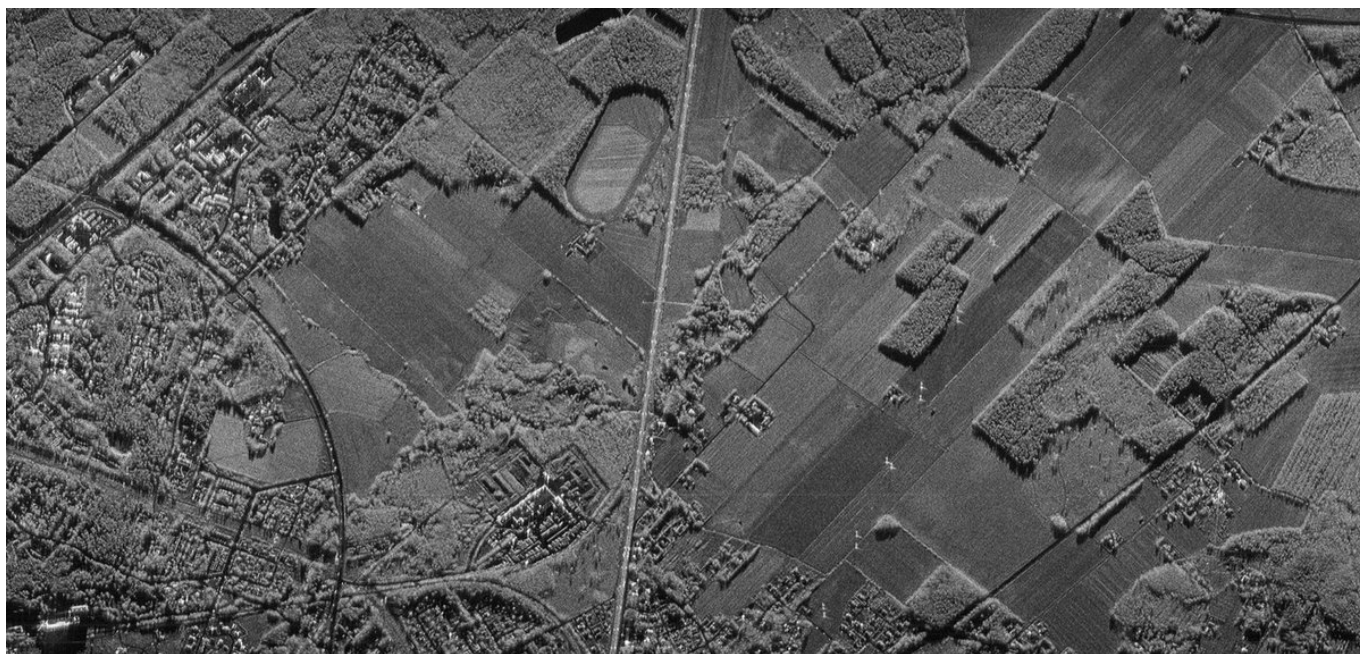
Bardzo istotna w przypadku rozpoznania satelitarnego jest również tzw. rozdzielczość czasowa. Ten parametr mówi o tym, w jakich odstępach czasowych satelita, czy satelity danej konstelacji, mogą odbiorcy dostarczyć użyteczne zdjęcie danego miejsca na Ziemi. W przypadku oferujących

przestrzenną rozdzielczość submetrową satelitów optycznych ten interwał pomiędzy udanymi rewizytami nad konkretną lokalizacją może być całkiem spory. Wynika to z dwóch przyczyn. Po pierwsze konstelacje tak precyzyjnych, ale zarazem dużych i kosztownych satelitów, liczą z reguły niewielką liczbę sztuk tychże urządzeń. Po drugie, jak już tu wielokrotnie zaznaczano, warunki pogodowe bądź oświetleniowe mogą również często negatywnie rzutować na możliwość pozyskania zdjęć o pożądanej jakości.

W oparciu o doświadczenia z satelitami optycznymi zwykle uważa się za bardzo pożądaną rozdzielczość przestrzenną kamery satelity na poziomie poniżej 100 cm na piksel. Przykładowo można tu mówić o rozdzielczości 25 cm/piksel. Również w przypadku zobrazowań radarowych, rozdzielczość przestrzenna na poziomie 1 m/piksel daje duże możliwości i pozwala dostrzec istotne szczegóły oglądanego obszaru.

Jednak dla znakomitej większości zastosowań zobrazowań SAR wystarczy w zupełności rozdzielczość na poziomie 3 m, to znaczy taka, gdzie 1 piksel na zdjęciu odpowiada kwadratowi o wymiarach 3x3 m na powierzchni Ziemi. Tam, gdzie większa dokładność nie jest niezbędna, jest to rozwiązanie wystarczające, a przede wszystkim efektywne kosztowo.

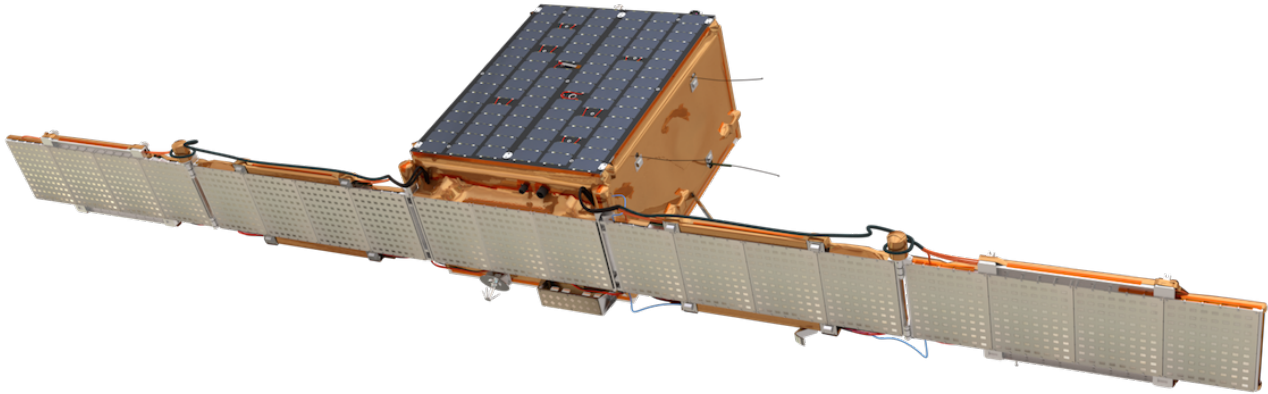
Takie właśnie narzędzie, cechujące się optymalnym stosunkiem jakości zobrazowania do ceny produktu, stanowi podstawowe rozwiązanie oferowane na rynku przez firmę ICEYE. Radarowe obrazy 3x3 serwowane przez to przedsiębiorstwo nadają się do wielu zastosowań. Na ich podstawie na morzu można z powodzeniem wykrywać aktywność związaną z nielegalnym rybołówstwem. W rolnictwie można używać tego do klasyfikowania typów roślinności rosnących na poszczególnych fragmentach danego obszaru. ICEYE rozwija wreszcie narzędzie, które pozwoli na automatyczną detekcję niepokojących zmian w rurociągach, a następnie analizowanie i klasyfikowanie tego typu anomalii w oparciu o algorytmy uczenia maszynowego.



Przykład zobrazowania SAR w wykonaniu satelity firmy ICEYE. Fot. ICEYE

Należy ponadto zaznaczyć, że należące do ICEYE satelity SAR mogą pracować w różnych trybach, co pozwala dostosowywać ich rozdzielczość przestrzenną do konkretnej potrzeby. Tam, gdzie będzie konieczne bardziej dokładne zbadanie danego miejsca, satelity te są w stanie wykonać zobrazowania o rozdzielczości na poziomie 1 m – czyli takiej, gdzie metr kwadratowy terenu odpowiada jednemu pikselowi. Dzięki temu użytkownik, mając stale szeroki ogląd dużego obszaru, dysponuje jednocześnie możliwością szczegółowego przyjrzenia się danej lokalizacji w węższym kadrze, gdy zajdzie taka

konieczność.



Satelita ICEYE-X1. Ilustracja: ICEYE

ICEYE stawia ponadto na wysokie standardy swoich usług w zakresie rozdzielczości czasowej. Do końca 2019 r. wyposażone w radar SAR urządzenia tej firmy będą zdolne dokonać rewizyty nad każdym miejscem na Ziemi w odstępnie maksymalnie ośmiu godzin. Po następnych 12 miesiącach, to jest przed upływem roku 2020, ten interwał ma zostać zmniejszony do zaledwie trzech godzin.

Wysokoefektywna kooperacja

Satelity radarowe nadają się do regularnego skanowania wielkich obszarów i wykrywania zachodzących tam zmian. Satelity optyczne pozwalają natomiast szczegółowo przyjrzeć się konkretnemu, budzącemu zainteresowanie obserwatora, skrawkowi terenu.

SAR może zatem przeglądać znaczne terytoria i znajdować cele warte szczegółowego przeanalizowania z użyciem optoelektroniki. Sensor optyczny da wówczas szansę na szczegółową identyfikację obiektu, na przykład samowoli budowlanej, którą wcześniej z powodzeniem namierzył satelita radarowy. Tego rodzaju współpracę można porównać do przyglądania się nocnemu niebu czy to z udziałem lornetki, czy teleskopu. Lorneta ma z reguły słabsze przybliżenia, ale pozwala na ogląd znacznie większego kawałka nieba, gdyż widzi się w niej większe pole kątowe (mierzone w stopniach) niż w okularze teleskopu. Obserwator, który posiłkując się lornetką zlokalizuje już położenie interesującej go mgławicy na sferze niebieskiej, może potem szczegółowo obejrzeć ów obiekt z użyciem teleskopu. W odróżnieniu od lornetki teleskop oferuje zazwyczaj istotnie większe powiększenie, ale widzi się w nim znacznie węższy fragment nieboskłonu.

Doskonała symbioza

Przykładem pomysłowego współdziałania satelitów optycznych z radarowymi jest tworzona przez kanadyjską firmę Urthecast konstelacja OptiSAR. Zakłada ona rozmieszczenie na dwóch płaszczyznach orbitalnych ośmiu par satelitów. Każdą parę stanowią będą odpowiednio satelita wyposażony w radar SAR, oraz sunący kilka minut za nim po tej samej trajektorii satelita optyczny.

W efekcie, dla danego obszaru w tym samym czasie można będzie pozyskać zarówno radarowe, jak i optyczne obrazy powierzchni Ziemi. To da dostęp do znacznie większej ilości informacji niż w przypadku korzystania tylko z jednego rodzaju sensora.

Co więcej, pozyskanie danych z satelity radarowego, który jako pierwszy przesuwają się nad konkretnym terenem, pozwala dostrzec nowe, potencjalnie istotne cele, na których może chwilę później skoncentrować swoje sensory satelita optyczny. Odpowiednia współpraca między satelitami z każdej pary zapewni także, że satelita optyczny nie będzie wykonywał zdjęć bezużytecznych ze względu na niekorzystne warunki meteorologiczne.

Podsumowanie

W świetle powyższego, wydaje się, że stawianie zobrazowań optycznych i radarowych w opozycji względem siebie jest podejściem nietrafionym. Każde z tych narzędzi ma swoje unikalne cechy i użyteczności, które czynią je szczególnie przydatnymi w jednych warunkach, a z drugiej strony mniej użytecznymi w innych.

Satelity optyczne i optoelektroniczne potrafią dostarczyć doskonałych danych wywiadowczych. Na ich podstawie można przykładowo rozpoznać i dokładnie określić liczbę czy rodzaj pojazdów bojowych przeciwnika na danym terenie czy wrogich okrętów na morzu. Pozyskiwanie zobrazowań w szerszym niż tylko światło widzialne spektrum promieniowania elektromagnetycznego – na przykład także w podczerwieni – pozwala uzyskać kompleksowe informacje o badanym obiekcie.

Czytaj też: [Zwiad satelitarny pokazał rosyjskie bombowce w Wenezueli](#)

Jednak należy pamiętać, że pozyskiwanie przydatnych danych za pomocą satelitarnych sensorów optycznych jest silnie zależne od okoliczności zewnętrznych. Tymi okolicznościami jest oświetlenie danego fragmentu powierzchni Ziemi i panujące tam warunki atmosferyczne.

Zobrazowania radarowe nie dają może tak przejrzystych i łatwych w interpretacji zdjęć jak te pochodzące z kamer optycznych. Doskonale nadają się natomiast do kompleksowego skanowania dużych połaci terenu i wykrywania zachodzących tam zmian. Dzięki temu mogą wskazywać interesujące cele dla bardziej dogłębnego zbadania przez satelity optyczne bądź też same radarowe, wyposażone w radar SAR o wyższej rozdzielczości przestrzennej. Ogromną natomiast zaletą satelitów wyposażonych w SAR jest oferowanie pewnych obserwacji przy każdej kolejnej rewizycji. To pozwala na precyzyjne monitorowanie i wykrywanie zmian zachodzących w środowisku. Dzięki tego rodzaju możliwościom rządy, administracja czy służby państwowe mogą wykrywać działania przestępcze bądź terrorystyczne, zagrożenia militarne oraz te naturalne – związane z ruchami skorupy ziemskiej czy powodziami.

W przeszłości, uzyskiwanie zobrazowań z satelitów wyposażonych w radar z syntetyczną aperturą wiązało się z koniecznością ponoszenia znacznych kosztów przez zainteresowanych takimi zdjęciami klientów. Zdolna je zapewnić infrastruktura była bowiem droga i występowała na orbicie w bardzo ograniczonej ilości.

Teraz, zgodnie z trendami Space 4.0, zaczyna się to zmieniać. Satelity SAR produkowane przez ICEYE kosztują niewiele i cechują się niewielkimi rozmiarami. Utworzą zapewniającą częste rewizyty konstelację o pokryciu globalnym, której poszczególne składniki będzie można w dodatku regularnie i niewielkim kosztem wymieniać, w miarę jak okresy eksploatacyjne poszczególnych satelitów będą wygasać. Rozwiązanie, oferujące wysoką elastyczność i pewne rezultaty po relatywnie niskich kosztach, może znaleźć szerokie zastosowanie, w takich przykładowo sektorach gospodarki jak

energetyka, ubezpieczenia czy transport morski.

Czytaj też: [Pierwsze zdjęcie z satelity ICEYE-X2](#)

Artykuł powstał przy współpracy z ICEYE.