

7. ADVANCED TECHNOLOGIES IN AERIAL MAPPING

Birutė Ruzgienė, Lina Kuklienė, Indrius Kuklys, Dainora Jankauskienė

Aerial mapping is one of the most advanced methods to obtain information about the surface of the Earth and other objects using remote sensing technology. The quality of cartographic products and 3D models mainly depends on the success of aerial photography/ scanning mission, qualified guidance of photogrammetric workflow, appropriate realization of aerial mapping requirements.

7.1. Concept of Remote Sensing

Remote Sensing (RS) is defined as the acquisition and analysis of remotely sensed images to gain information about the state and condition of an object through sensors that are not in physical contact with it and discover relevant knowledge for decision making. Remote sensing for environmental monitoring and Earth observations can be defined as: it is the art and science of obtaining information about the surface or subsurface of the Earth without needing to be in contact with it. This can be achieved by sensing and recording emitted or reflected energy toward processing, analyzing, and interpreting the retrieved information (Chang, Bai, 2018)

Remote sensing technology is used for the mapping of the Earth's surface and objects. Data are obtained from different sensors arranged at different platforms (unmanned aerial vehicles, airplanes, spacecraft and satellites, ships and submarines), ground stations, without touching the objects to be mapped. The usage of different platforms has its own advantages and disadvantages (Tab. 7.1).

In capturing imagery in remote sensing, the following factors should be considered: flight restrictions, image resolution and coverage. Sensors, equipped at satellites, capture data at a global scale, unmanned aerial vehicles better to use for flying over small areas, airplanes and helicopters take the middle position.

TABLE 7.1. Evaluation the usage of different platforms (Source: WEB-1)

Platforms	Unmanned aerial vehicles (UAVs)	Airplanes and helicopters	Low Earth orbit satellites
Advantages	Very high-resolution imagery programmable flight paths; LiDAR capabilities.	High resolution imagery; pilot-flown flight paths; LiDAR capabilities.	High to coarse resolution imagery; large coverage extent.
Disadvantages	Very small coverage extent; visual line of sight.	Small coverage extent; flight operation.	Coverage limited to orbital path; cloud obstructions.

Types of remote sensing and their some features are presented in Figure 7.1.

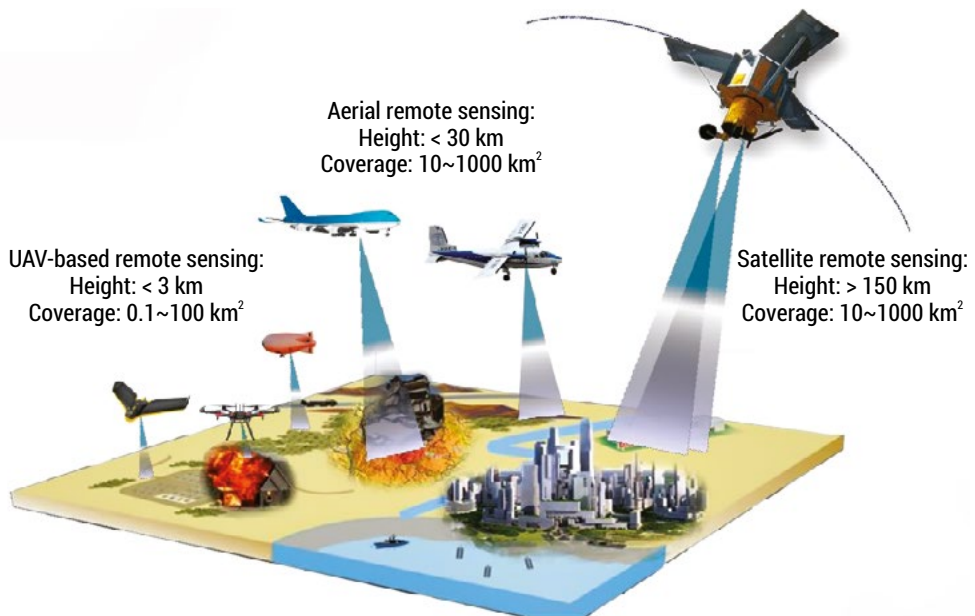


FIG. 7.1. Types of remote sensing/ platforms (satellite, manned aviation and low-altitude UAV) (Source: Xiang, Xia, Zhang, 2019)

Two types of sensors are used in remote sensing:

1. Passive, when photographing with optical photography systems – electromagnetic energy reflected or radiated from the Earth’s surface is collected. This method involves the production of an aerial photograph.
2. Active, when electromagnetic energy is generated in the system itself. The Earth’s surface is scanned with radar (RADAR – Radio Detection and Ranging, IFSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar) or laser (LiDAR – Light Detection and Ranging) systems (Ruzgiene, 2008).

Figure 7.2 shows principle of passive and active sensors, equipped at unmanned aerial vehicle, operation.

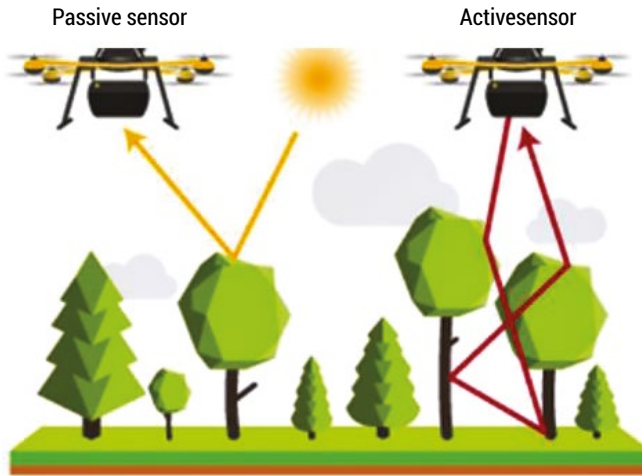


FIG. 7.2. Principle of passive and active sensors operation (Source: WEB-2)

Data from remote sensing are used for: the construction of small-scale topographic and thematic (geological, tectonic, geobotanical, landscape, etc.) maps; updating the cartographic material; mapping of rapidly changing objects (for example, agricultural land, minerals, cities, roads and hydraulic equipment, construction sites); mapping under-explored and hard-to-reach areas; creating operational maps; monitoring the dynamics of various processes and phenomena; determining the type of crop, crop area or condition; monitoring the growth process of agricultural land, forecasting the yield; determining the thickness of snow cover in large areas; studying the seasonal movement of ice in the oceans, etc.

Remote sensing technology continues to be developing and improving, with the appearance of more uses and opportunities to create value in new industries and fields of study – from environmental science to public safety, to telecommunications. Several different remote sensing methods are available today, and each comes with strengths and limitations.

The most popular remote sensing type is UAV-based remote sensing with application of UAV-Photogrammetry and Light Detection and Ranging (LiDAR) technologies.

7.2. Remote sensing with Unmanned Aerial System

The use of the Unmanned Aerial System (UAS) for the mapping of objects with varied form of topography leads to a new level of surveying technology. UAS defined as Aerial Imaging solution is designed for the reduction of time and cost collecting aerial cartography data as well guarantees the reliability of mapping products.

The typical components of the mobile segments are as follows (Armenakis, Patias, 2019):

- the vehicle platform (UAV), which enables motion and houses the engine and all other systems;
- the navigation module, which guides and controls the motion of the platform and includes the onboard, autopilot, global navigation satellite system (GNSS), inertial measurement unit (IMU), altimeter, compass and navigation cameras;
- telecommunication links (command and control, downlink telemetry and sensor data);
- the propulsion system and power generation system, including batteries and fuel tank;
- mapping sensors (still/video optical cameras, thermal, multispectral and environmental sensors, and laser scanners).

7.2.1. Substantial features of UAS

The past few decades have witnessed great progress for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in civilian fields, especially in remote sensing and photogrammetry. In contrast with manned aircraft and satellites, platforms flying at low altitude have many promising characteristics: flexibility, efficiency, high spatial/ temporal resolution, low cost, easy operation, and so forth, that make them an effective complement to the other remote sensing platforms and a cost-effective means for remote sensing.

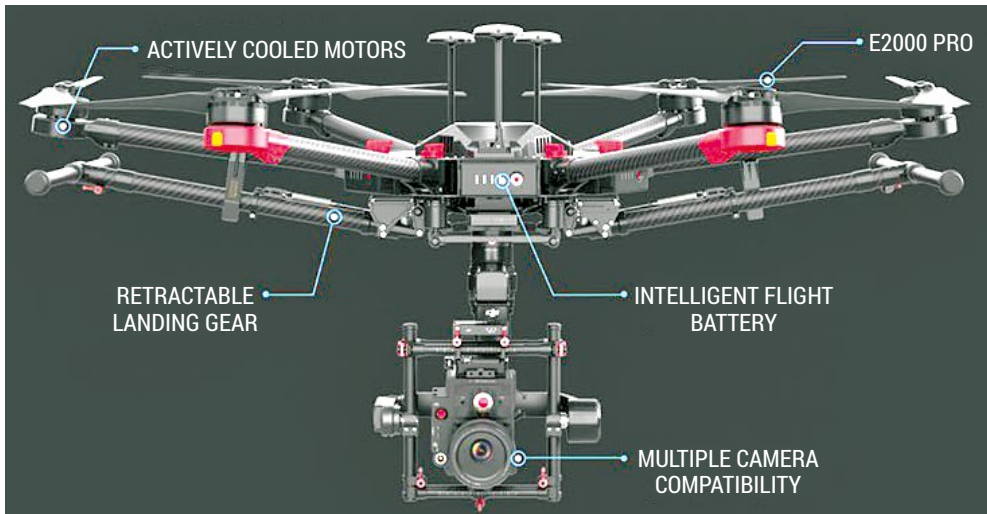


FIG. 7.3. Basic components of UAV (Source: WEB-3)

Unmanned aerial vehicles of different models, classification and categories can be used for aerial mapping, for example, helicopters with four or six wheels, the fixed-wing *UX5* from the company Trimble, etc. The company Dà-Jiāng Innovations (DJI), China, rapidly turns to a new standard in mapping of territories combining a robust and highly user-friendly system. The standard technical means from DJI used for surface data acquisition are: the platform *MATRICE 600 PRO* with a custom-designed camera *ZENMUSE X5*, thermal camera *ZENMUSE XT*, laser scanner *MAPPER LITE 2*, GPNS. The *MATRICE 600 PRO* is a hexa-copter specifically designed for professional and industrial applications. It features an enhanced flight performance with the capability to carry a heavier payload. The vehicle also comes with pre-installed arms and antennas that reduce set up time. The *MATRICE 600 PRO* features six rotors for added redundancy and stability in the air. The vehicle also features six batteries for added safety and an extended flight time. Basic components of UAV are presented in Figure 7.3.

Main features of DJI *MATRICE 600 PRO*:

- Weight (with six TB47S batteries) – 9,5 kg.
- Max wind resistance – 8 m/s.
- Max speed – 65 km/h.
- Hovering accuracy (P-GPS) – vertical: $\pm 0,5$ m, horizontal: $\pm 1,5$ m.
- Hovering time (with six TB47S batteries and scanning equipment) – 32–35 min.
- Max service ceiling above sea level – up to 2500 m.
- Max takeoff weight – up to 15,5 kg.
- Operating temperature – -10°C to 40°C .

The gimbal light camera *ZENMUSE X5* mounted at DJI *MATRICE 600 PRO* can be successfully used for the photogrammetric data acquisition. The main features of the camera *ZENMUSE X5* is presented in Figure 7.4.

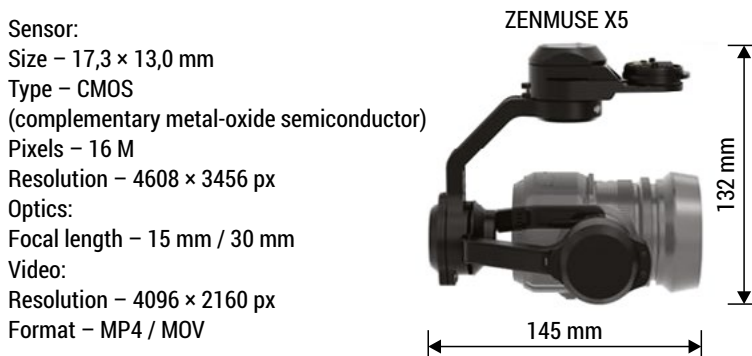
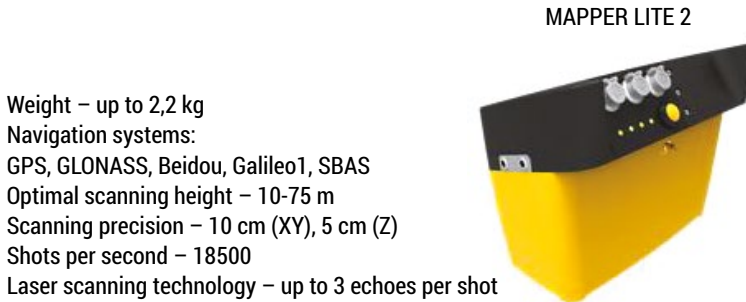


FIG. 7.4. Main features of gimbal camera *ZENMUSE X5* (Source: WEB-3)

A 3D laser scanning system of special type can be mounted quickly on any UAV when the requirement is the use of LiDAR (Light Detection and Ranging) technology. One of the most popular laser scanners is *YellowScan MAPPER LITE 2*, that has

an easy-to-handle, easy-to-use and accurate system. This scanner is fully autonomous, has direct georeferencing workflow for increased accuracy and efficiency of mapping from UAVs. The main features of laser scanner *YellowScan MAPPER LITE 2* is presented in Figure 7.5.



- Weight – up to 2,2 kg
- Navigation systems:
GPS, GLONASS, Beidou, Galileo1, SBAS
- Optimal scanning height – 10-75 m
- Scanning precision – 10 cm (XY), 5 cm (Z)
- Shots per second – 18500
- Laser scanning technology – up to 3 echoes per shot

FIG. 7.5. Main features of laser scanner *MAPPER LITE 2* (Source: WEB-2)

The 3D laser scanning system is fueled by the needs of surveyors, researchers, asset managers and all people requiring LiDAR data.

7.2.2. UAV-Photogrammetry

The modern technology of UAV-Photogrammetry is used for remote sensing of surfaces, acquiring a huge number of images and processing of the photogrammetric data. Photogrammetry is one of the most advanced methods to acquire information about the surface of the Earth and other objects using photographic images. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) with the integrated camera for image capturing, GPNS, the management equipment and specialized software for the processing of images has been rapidly expanding for aerial mapping. The orthophoto maps of high accuracy (quality) and three-dimensional surface models are the main products generated by the use of aerial photogrammetric technology.

The UAV-Photogrammetry technology contains the use of UAV with integrated photographic equipment for gaining images of surfaces, flight planning and control, photographic image processing by specialized software.

A typical workflow for the use of UAV-Photogrammetry technology is presented in Figure 7.6. Main steps are: mission planning → image acquisition → UAV image processing (triangulation and DTM/ DSM generation).

The image data processing software *Pix4Dcapture* and *Pix4Dmapper* developed at Computer Vision Lab in Switzerland is the main tool for the application of modern technologies with the use of UAV. *Pix4Dcapture* is the flight planning and image acquisition module involved in the software *Pix4D*.

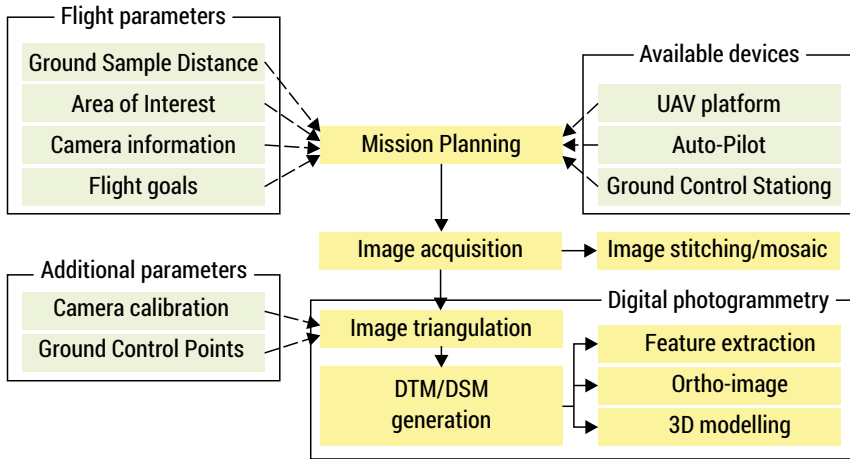


FIG. 7.6. Typical workflow applying the UAV-Photogrammetry technology (Source: Nex, Remondino, 2014)

Pix4Dmapper is an image processing software that is based on automatically finding thousands of common points between images. Each characteristic point found in an image is called a *keypoint*. When 2 *keypoints* on 2 different images are found to be the same, they are *matched keypoints*. Each group of correctly *matched keypoints* will generate one 3D point. When there is high overlap between 2 images, the common area captured is larger and more *keypoints* can be matched together. The more keypoints there are, the more accurately 3D points can be computed. Therefore, the main rule is to maintain a high overlap between the images.

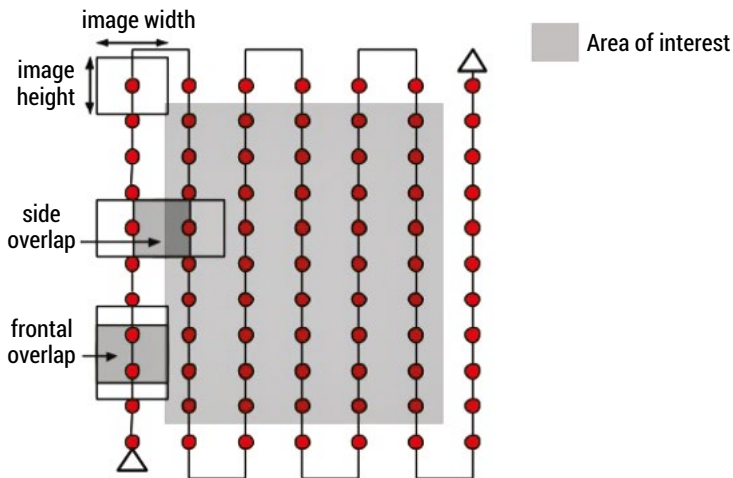


FIG. 7.7. Ideal image acquisition plan – general case (Source: WEB-4)

As the image acquisition plan has a high impact on the quality of the results, it is important to design it carefully. The recommended overlap for most cases is at least **75% frontal overlap** (with respect to the flight direction) and at least **60% side overlap** (between flying tracks). It is recommended to take the images with a regular grid pattern (Fig. 7.7). The camera should be maintained as much as possible at a **constant height** over the terrain/ object to ensure the desired ground sample distance (GSD).

The module *Pix4Dcapture* offers the possibility to fly four different kinds of autopilot missions and one manual but semi-automatic mission (Fig. 7.8). To get the best results out of the image acquisition plan, the type of mission has to be chosen depending on the terrain/ objects that need to be reconstructed.

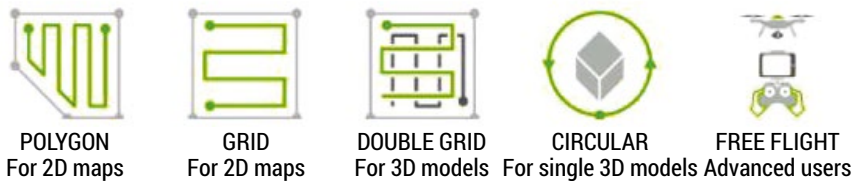


FIG. 7.8. Different kind of autopilot missions (Source: WEB-4)

In an aerial mapping survey, are using ground control points (GCPs) are used which the surveyor can precisely pinpoint: with a handful of known coordinates, it is possible to accurately map large areas. A GCP is a point of known coordinates in the area of interest. Its coordinates can be measured using traditional surveying methods measuring with GPS or total stations; obtaining by other sources (LiDAR, older maps of the area, web map service, even from Google Earth application). Ground control points can be anything that can be easily recognized in the images. Typically, they look like a small section of a checkerboard. The shape leaves very little ambiguity about where the ‘point’ of a ground control point is. They’re almost always black and white because it is easier to recognize high contrast patterns. In order to obtain more precise aerial mapping products, the points/ targets are distributed in a specific order: projecting points at the edges of an object considering configuration, but not so close to the margins because they will not be seen in several images; one point in territory center, as well as points in the areas of a complicated relief (Fig. 7.9). Recommendation for GCPs number – 5 points, minimum – 3, usually – 5–10. Each of GCPs should be seen in 2 images as a minimum, if relief is complicated – 5 GCPs should be seen in 5 images.

The *Pix4Dmapper* software is supplied with computer-vision algorithms combined with proven state-of-the-art photogrammetric techniques to produce outputs with the highest accuracy and with minimal manual interaction. This software is a new concept extending the stereo view triangulation and increasing the accuracy of 3D modelling. Aerial images are imported in consideration with their locations, orientations, and camera calibrations parameters. The use of photogrammetric algorithms

allows correction of the image orientations. The software at first performs the adjustment with photo tie points, automatically matching the tie points in all images. Tie points are usually distributed densely, even in low terrain texture. *Pix4Dmapper* software has efficient possibilities for orthophoto generation, surface modelling, etc. Operations with this package are fully automated and flexible, data input is scalable, output data are easily editable and on-site quality assessment is instant.

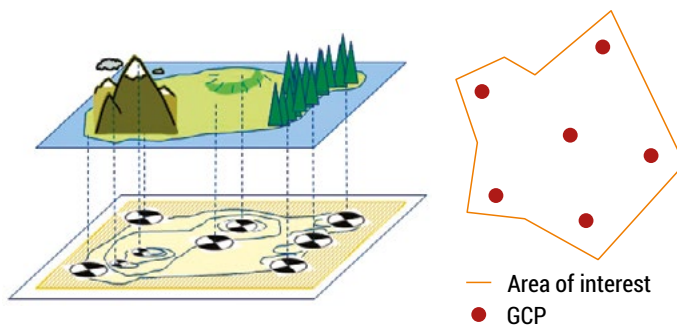


FIG. 7.9. GCPs and their typical distribution (Source: WEB-4)

Using different platforms and sensors for capturing the images, the main photogrammetric procedures remain as follows: aerial triangulation, images orientation, generation of point cloud for surface modelling, production of orthophoto map and vector data collection for GIS or cartographic needs. The relation between images and object coordinates can be established, when the coordinates of ground control points are determined.

Figure 7.10 shows aerial mapping products generated by the use of UAV-Photogrammetry technology; image processing has been performed with software *Pix4Dmapper*.

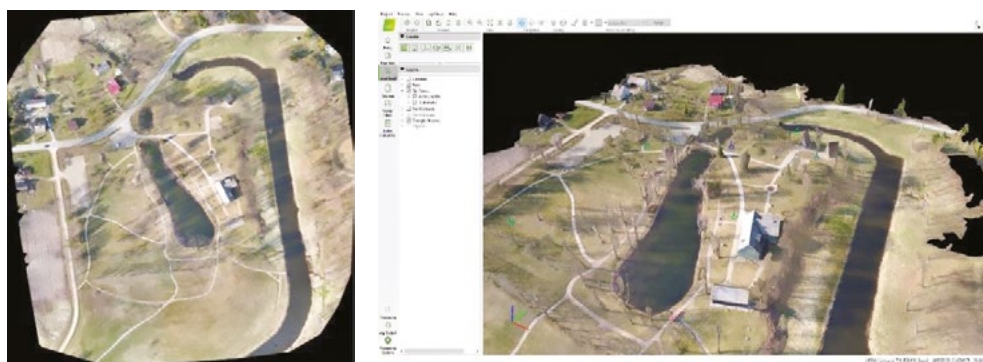


FIG. 7.10. Aerial mapping products: orthophoto map and DSM (Source: own elaboration, 2020)

7.3. Remote sensing with laser systems: LiDAR technology

LiDAR, which stands for Light Detection and Ranging, is a remote sensing method that uses light in the form of a pulsed laser to measure ranges (variable distances) to the Earth. These light pulses, combined with other data recorded by the airborne system, generate precise, three-dimensional information about the shape of the Earth and its surface characteristics (WEB-5). Pulses of light are emitted from a laser scanner, and when the pulse hits a target, a portion of its photons are reflected back to the scanner. Because the location of the scanner, the directionality of the pulse, and the time between pulse emission and return are known, the 3D location (XYZ coordinates) from which the pulse reflected is calculable. The laser emits millions of such pulses, and records from whence they reflect producing a highly precise 3D point cloud (model) which can be used to estimate the 3D structure of the target area.

A LiDAR instrument principally consists of a laser, a scanner, and a specialized GPS receiver. Airplanes and helicopters are the most commonly used platforms for acquiring LiDAR data over broad areas. Two types of LiDAR are: topographic and bathymetric. Topographic LiDAR typically uses a near-infrared laser to map the land, while bathymetric LiDAR uses water-penetrating green light to also measure seafloor and riverbed elevations.

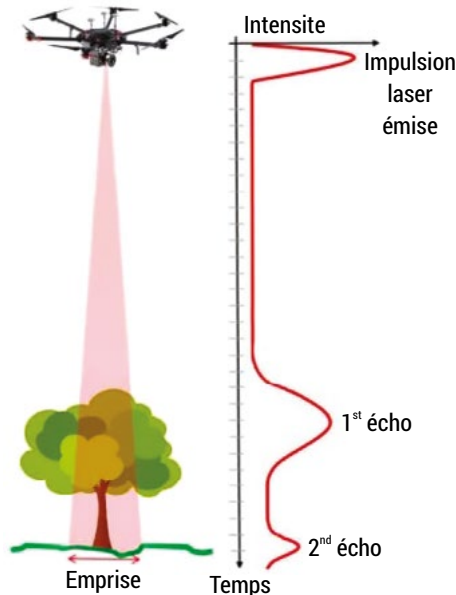


FIG. 7.11. Principle of LiDAR operation (Source: WEB-2)

The principle of LiDAR operations (Fig. 7.11):

1. Emitting a laser pulse on a surface;
2. Catching the reflected laser back to the LiDAR pulse source with sensors;
3. Measuring the time laser travelled;
4. Calculating the distance from source with the formula:

$$\text{Distance} = (\text{Speed of light} \times \text{Time elapsed}) / 2.$$

The equipment needed to measure a million distances from sensors to surface points is installed in a LiDAR system. This advanced-technology operates really fast as it is able to calculate the distance between LiDAR sensors and target. LiDAR systems integrate 5 main components whether they are used on automotive, aircrafts or unmanned aerial vehicles:

1. Flying vehicle.
2. Scanning laser emitter-receiver unit.
3. Differentially-corrected GPS.
4. Inertial measurement unit (IMU).
5. Computer.

LiDAR systems pulse a laser light from various mobile systems (automobiles, airplanes, unmanned aerial vehicles) through air and vegetation (aerial laser) and even water (bathymetric laser). A scanner receives the light back (echoes), measuring distances and angles. The scanning speed influences the number of points and echoes that are measured by a LiDAR system. The choice of optic and scanner influences greatly the resolution and the range in which you can operate the LiDAR system.

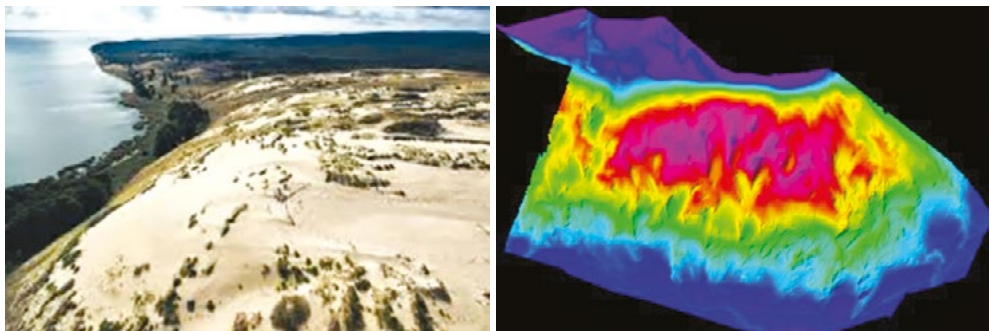


FIG. 7.12. 3D model generated from LiDAR data (Source: own elaboration, 2020)

Whether a LiDAR sensor is mounted on an aircraft, car or UAV (Unmanned Aerial Vehicle), it is crucial to determine the absolute position and orientation of the sensor to make sure data captured are useable data. Global Navigation Satellite Systems (GNSS) provide accurate geographical information regarding the position of the sensor (latitude, longitude, height) and an Inertial Measurement Unit (IMU) defines

at this location the precise orientation of the sensor (pitch, roll, yaw). Data recorded by these devices are then used to generate data into static points: the basis of the 3D mapping point cloud.

In order to collect the data, computation is required to prepare the LiDAR system to work by defining precise echo position. It is required for on-flight data visualization or data post-processing as well to increase precision and accuracy delivered in the 3D mapping point cloud.

LiDAR data – acquired dense point cloud can be processed using the software *MicroStation*, Bentley. This software is an innovative and integral technology of today providing possibilities for 3D surface modelling. Properly generating a digital surface model, it is necessary to add the *TerraScan* and *TerraMatch* toolbars (WEB-6). Figure 7.12 shows 3D models of a surface, generated from LiDAR data.

References

1. Armenakis C., Patias, P. (2019) *Unmanned vehicle systems for geomatics: towards robotic mapping*. Scotland, UK: Whittles publishing, 2
2. Chang, N., Bai, K. (2018) *Multisensor data fusion and machine learning for environmental remote sensing*. Taylor & Francis group, 2
3. Xiang T., Xia, G., Zhang L. (2019) Mini-Unmanned Aerial Vehicle-Based Remote Sensing: Techniques, applications, and prospects. *IEEE geoscience and remote sensing magazine*, pp. 29–63
4. Ruzgienė, B. (2008) Fotogrametrija. *Vilnius. Technika*. pp. 15
5. Nex, F., Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Appl Geomat* 6, pp. 1–15 <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
6. WEB-1: GIS Geography. What is Remote Sensing? The Definitive Guide (2020) [Online] Available from: <https://gisgeography.com/remote-sensing-earth-observation-guide/#chapter1> [Accessed 8.10.2020]
7. WEB-2: LiDAR (2020) [Online] Available from: <https://www.yellowscan-lidar.com/knowledge/how-lidar-works/> [Accessed 14.10.2020]
8. WEB-3: Dji Enterprise. Light detection and ranging (2020) [Online] Available from: <https://www.yellowscan-lidar.com/knowledge/how-lidar-works/> [Accessed 8.10.2020]
9. WEB-4: Pix4D (2020) [Online] Available from: <https://www.pix4d.com/> [Accessed 13.10.2020]
10. WEB-5: What is LiDAR? (2020) [Online] Available from: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> [Accessed 12.10.2020]
11. WEB-6: Bentley MicroStation [Online] Available from: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation> [Accessed 14.10.2020]

7. PAŽANGIOSIOS AEROKARTOGRAFAVIMO TECHNOLOGIJOS

Birutė Ruzgienė, Lina Kuklienė, Indrius Kuklys, Dainora Jankauskienė

Nuotolinių tyrimų technologijai priskiriamas aerokartografavimas, kuris yra vienas iš pažangiausių būdų informacijai apie Žemės paviršių ir kitus objektus gauti. Kartografinių produktų ir 3D modelių kokybė daugiausiai priklauso nuo tinkamai parengto aerofotografavimo (skenavimo) skrydžių projekto, kvalifikuotai atliktų fotogrametrinių procesų bei sėkmingo skrydžių realizavimo vietovėje.

7.1. Nuotolinių tyrimų samprata

Nuotoliniai tyrimai (*RS – Remote Sensing*) – tai fotografinių vaizdų gavimas, apdorojimas ir analizė, kai neprisiliečiant prie objekto, specialių jutiklių pagalba siekiama surinkti informaciją apie objektą ir jo padėtį bei gauti tinkamus duomenis įvairiems sprendimams priimti. Aplinkos ir žemės paviršiaus stebėjimams skirtą nuotolinių tyrimų technologiją dar galima apibūdinti ir taip – tai menas ir mokslas patikimai informacijai apie Žemės paviršių ir ant jo esančius objektus gauti, neturint tiesioginio sąlyčio, fiksuojant ir išsaugant skleidžiamą ar atspindėtą nuo žemės paviršiaus elektromagnetinę energiją, gaunama informacija, kuri yra apdorojama, analizuojama ir interpretuojama (Chang, Bai, 2018).

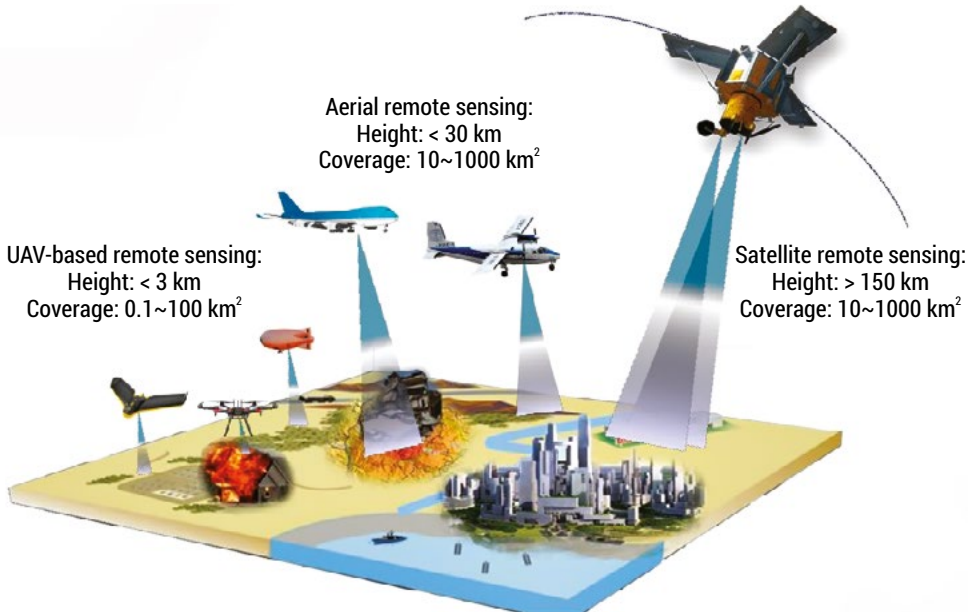
Nuotolinių tyrimų technologija naudojama Žemės paviršiui ir objektams kartografuoti. Fotografiniai duomenys gaunami iš įvairių jutiklių, įrengtų skirtingose platformose (bepilotėse skraidyklėse, lėktuvuose, erdvėlaiviuose ir palydovuose, laivuose ir povandeniniuose laivuose) bei antžeminių stočių, neprisiliečiant prie kartografuojamų objektų. Skirtingų platformų naudojimas turi savų privalumų ir trūkumų (7.1 lentelė).

7.1. LENTELĖ. Skirtingų platformų naudojimo vertinimas (Šaltinis: WEB-2)

Platformos	Bepilotės skraidyklės (UAV)	Lėktuvai ir sraigtasparniai	Žemės orbitoje skriejantys palydovai
Privalumai	Labai aukštos skiriamosios gebos fotografiniai vaizdai; automatiškai projektuojamos skrydžių trajektorijos; LiDAR taikymo galimybė.	Aukštos skiriamosios gebos fotografiniai vaizdai; pilotuojamos skrydžio trajektorijos; LiDAR taikymo galimybė.	Aukštos ir didelės skiriamosios gebos fotografiniai vaizdai; didelė aprėptis.
Trūkumai	Labai maža aprėptis; vizualinė stebėjimo zona.	Maža aprėptis; skrydžio valdymo principas.	Aprėptis priklauso tik nuo orbitos trajektorijos; kliūtys dėl debesuotumo.

Gaunant fotografinius vaizdus nuotolinių tyrimų būdu, atsižvelgiama į šiuos veiksnius: skrydžių realizavimo parametrus, fotografinių vaizdų skiriamąją gebą ir fotografuojamos vietovės dydį. Palydovuose įrengti jutikliai fiksuoja duomenis globaliniu mastu, bepilotėse skraidyklėse įrengtomis fotokameromis aerofotografuojamos nedidelės teritorijos, o lėktuvuose ir sraigtasparniuose – vidutinio dydžio teritorijos.

Nuotolinių tyrimų platformų tipai ir kai kurios jų savybės pateiktos 7.1 paveiksle.



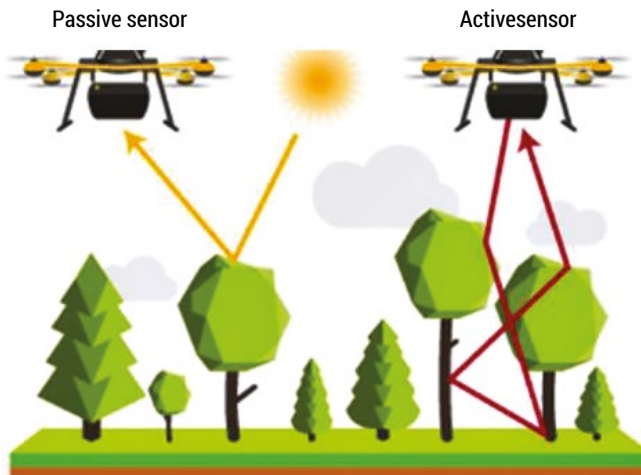
7.1. PAV. Nuotolinio stebėjimo platformų tipai (palydovai, pilotuojami lėktuvai ir žemai skrendančios bepilotės skraidyklės) (Šaltinis: Xiang, T., Xia, G., Zhang L., 2019)

Nuotoliniam stebėjimui naudojami dviejų tipų jutikliai:

1. Pasyvieji, kai fotografuojama optinėmis fotografavimo sistemomis – fiksuojama atsispindėjusi arba išspinduliuota nuo Žemės paviršiaus elektromagnetinė energija. Taikant šį metodą, gaunama aerofotonuotrauka.
2. Aktyvieji, kai elektromagnetinė energija generuojama pačiame jutiklyje. Žemės paviršius skenuojamas radiolokacinėmis (RADAR – *Radio Detection and Ranging*, IFSAR – *Interferometric Synthetic Aperture Radar*) arba lazerinėmis (LiDAR – *Light Detection and Ranging*) sistemomis (Ruzgienė, 2008).

7.2 paveiksle parodytas bepilotėje skraidyklėje integruotų pasyviųjų ir aktyviųjų jutiklių veikimo principas.

Nuotolinių tyrimų duomenys naudojami topografiniams ir teminiams (geologiniams, tektoniniams, geobotaniniams, kraštovaizdžio ir kt.) žemėlapiams sudaryti; kartografinėi medžiagai atnaujinti; greitai kintantiems objektams (pavyzdžiui, žemės ūkio paskirties plotams, naudingųjų iškasenų teritorijoms, miestams, keliams ir hidrotechniniams įrenginiams, statybų aikštelėms) kartografuoti, nepakankamai ištirtoms ir sunkiai pasiekiamoms vietovėms kartografuoti; įvairių procesų ir reiškinių dinamikai stebėti; pasėlių rūšiai, plotui ar būklei nustatyti; žemės ūkio paskirties plotų kitimui stebėti, derliui prognozuoti; sniego dangos storiui didelėse teritorijose nustatyti; sezoninio ledo judėjimui vandenynuose tirti ir kt.



7.2. PAV. Pasyviųjų ir aktyviųjų jutiklių veikimo principas (Šaltinis: WEB-2)

Tobulėjant nuotolinių tyrimų technologijoms, atsiranda vis daugiau panaudojimo sričių ir galimybių taikyti naujose gamybinėse šakose bei mokslo srityse (aplinkosaugoje, visuomenės saugumo, telekomunikacijų įrengime, kt.). Skirtingi nuotolinių tyrimų metodai turi ir privalumų ir trūkumų.

Pastaruoju metu nuotoliniai tyrimai dažnai atliekami aerofotografuojant bei skenuojant lazeriu (LiDAR) iš bepiločių skraidyklių, o fotografiniai duomenys apdorojami fotogrametriniais metodais.

7.2. Nuotoliniai tyrimai naudojant bepilotę skraidyklę

Bepiločių skraidyklių (UAS – *Unmanned Aerial System*) naudojimas įvairiems topografiniams objektams kartografuoti teikia galimybę efektyviai ir šiuolaikiškai gauti geodezinius duomenis. UAV taikymas – tai aerofotografavimo sprendimas, siekiant sutrumpinti laiko sąnaudas ir sumažinti išlaidas, kaupiant aerofotografinius/ kartografinius duomenis bei užtikrinti kartografavimo produktų patikimumą.

Tipinės mobiliųjų segmentų sudedamosios dalys yra šios (Armenakis, Patias, 2019):

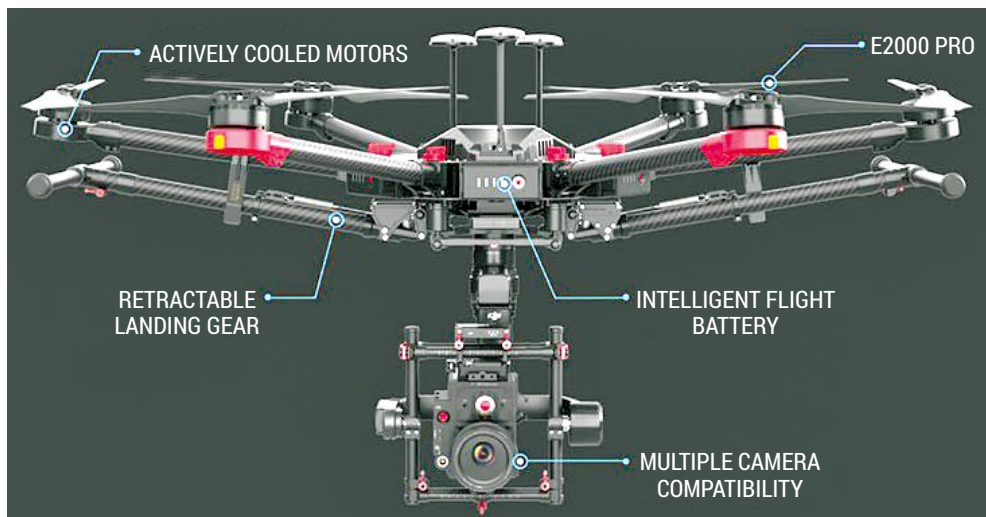
- skriejanti transporto priemonė (platforma) (UAV) su visa reikiama įranga ir programinėmis sistemomis;
- navigacijos modulis nukreipiantis ir valdantis platformos judėjimą, jį sudaro borto autopilotas, pasaulinė navigacijos palydovinė sistema (GNSS), inercinis matavimo įrenginys (IMU), aukštimitis, kompasas ir navigacijos įrenginiai;
- telekomunikacijų ryšiai (komandoms ir valdymui, telemetrijos ir jutiklių duomenų perdavimui);
- varomoji ir maitinimo sistema (akumulatorius, degalų talpa);
- kartografavimo jutikliai (fotografinės/video optinės fotokameros, terminiai, daugiaspektriniai jutikliai bei lazeriniai skeneriai).

7.2.1. Pagrindinės UAV savybės

Pastaraisiais dešimtmečiais bepiločiai orlaiviai (UAV) vis dažniau naudojami įvairiose srityse ir ypač nuotoliniuose tyrimuose, taikant aerofotogrametrijos metodus. Skirtingai nuo pilotuojamų orlaivių ir palydovų, nedidelaime aukštyje skrendančios platformos pasižymi perspektyviomis savybėmis: lankstumu, efektyvumu, didele erdvine ir (arba) laiko skiriamąja geba, maža kaina, paprastu valdymu ir kt., todėl jos yra ekonomiškai efektyvi priemonė nuotoliniams tyrimams.

Aerokartografavimui naudojami įvairių modelių, klasifikacijos ir kategorijų bepilotės skraidyklės, pavyzdžiui, sraigtasparniai su keturiais arba šešiais sparnais arba fiksuoto sparno (*Trimble, UX5*). Kinijos bendrovė *Dà-Jiāng Innovations* (DJI) sparčiai pereina prie naujo teritorijų kartografavimo standarto, derindama patikimą ir labai patogią sistemą. Paviršiaus duomenims rinkti naudojamos standartinės DJI techninės priemonės: platforma *MATRICE 600 PRO* su pagal užsakymą sukurta fotokamera *ZENMUSE X5*, termovizine fotokamera *ZENMUSE XT*, lazeriniu skeneriu *MAPPER LITE 2*, *GPNS*. *MATRICE 600 PRO* yra šešiakopteris, specialiai sukurtas profesionaliam ir visuomeniniam naudojimui. Jis pasižymi geresnėmis skrydžio

charakteristikomis ir galimybe gabenti didesnę krūvį. Transporto priemonė taip pat turi iš anksto sumontuotas sparnų svirtis ir antenas, kurios sutrumpina skraidyklės paruošimo skrydžiui laiką. *MATRICE 600 PRO* turi šešis rotorius, užtikrinančius papildomą stabilumą ore. Transporto priemonėje taip pat yra šešios baterijos, užtikrinančios didesnę saugumą ir ilgesnį skrydžio laiką. Pagrindinės bepilotės skraidyklės (drono) sudedamosios dalys pateiktos 7.3 paveiksle.



7.3. PAV. Pagrindiniai bepilotės skraidyklės komponentai (Šaltinis: WEB-3)

Pagrindinės *DJI MATRICE 600 PRO* savybės:

- Svoris (su šešiomis TB47S baterijomis) – 9,5 kg.
- Didžiausias pasipriešinimas vėjui – 8 m/s.
- Didžiausias greitis – 65 km/val.
- Kabėjimo ore tikslumas (P-GPS) – vertikaliai: $\pm 0,5$ m, horizontaliai: $\pm 1,5$ m.
- Skraidymo ore trukmė (su šešiomis TB47S baterijomis ir nuskaitymo įranga) – 32–35 min.
- Maksimalus darbinis aukštis virš jūros lygio – iki 2500 m.
- Didžiausias kilimo svoris – iki 15,5 kg.
- Darbinė temperatūra – nuo 10°C iki 40°C.

Fotogrametriniams duomenims kaupti sėkmingai naudojama lengva fotokamera *ZENMUSE X5*, įmontuota *DJI MATRICE 600 PRO* skraidyklėje. Pagrindinės fotokameros *ZENMUSE X5* savybės pateiktos 7.4 paveiksle.

Jutiklis:
 Dydis – 17,3 × 13,0 mm
 Tipas – CMOS
 (papildomas metalo oksido puslaidininkis)
 Pikselių skaičius – 16 mln.
 Skiriamoji geba – 4608 × 3456 px
Optinė sistema:
 Židinio nuotolis – 15 mm / 30 mm
Vaizdo įrašas:
 Skiriamoji geba – 4096 × 2160 px
 Formatas – MP4 / MOV



7.4. PAV. Pagrindinės fotokameros ZENMUSE X5 savybės (Šaltinis: WEB-3)

3D lazerinio skenavimo sistemą LiDAR (*Light Detection and Radar*) galima greitai įmontuoti į bet kokią bepilotę skraidyklę. Vienas iš populiariausių lazerinių skenerių *YellowScan MAPPER LITE 2* yra aukštą tikslumą pasiekianti sistema, kuri pasižymi lengvu valdymu bei naudojimu. Šis skeneris yra visiškai automatizuotas, turi tiesioginį georeferencinių duomenų nustatymą, užtikrina pakankamai didelį kartografavimo iš bepiločių orlaivių tikslumą ir efektyvumą. Pagrindinės lazerinio skenerio *YellowScan MAPPER LITE 2* savybės pateiktos 7.5 paveiksle.

Svoris – iki 2,2 kg
Navigacijos sistemos:
 GPS, GLONASS, Beidou, Galileo1, SBAS
 Optimalus nuskaitymo aukštis – 10-75 m
 Skenavimo tikslumas – 10 cm (XY), 5 cm (Z)
 Kadry per sekundę skaičius – 18500
 Lazerinio skenavimo technologija
 – iki 3 aidų per vieną kadrą



7.5. PAV. Pagrindinės lazerinio skenerio MAPPER LITE 2 savybės (Šaltinis: WEB-2)

3D lazerinio skenavimo sistema sukurta atsižvelgiant į geodezininkų, kartografų, tyrėjų, nekilnojamo turto valdytojų ir visų, kuriems reikalingi LiDAR duomenys, poreikius.

7.2.2. UAV-Fotogrametrija

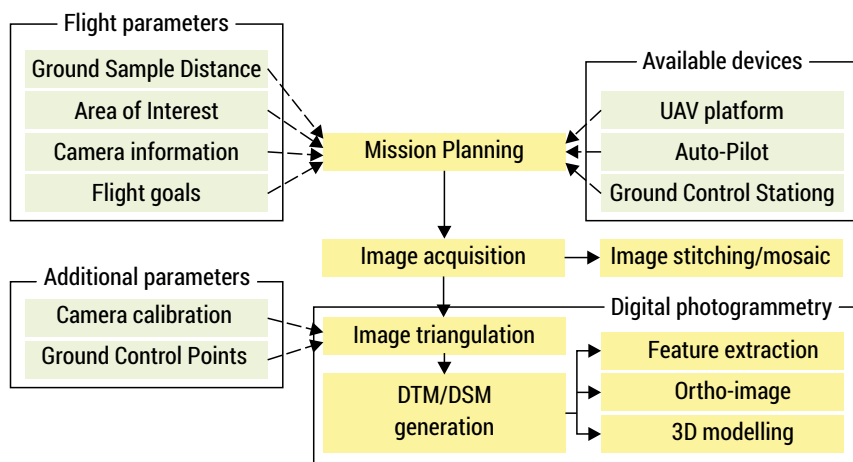
Šiuolaikinė aerofotogrametrijos technologija – UAV-Fotogrametrija (bepiločių skraidyklių sąsaja su fotografinių vaizdų gavyba ir apdorojimu) taikoma nuotoliniuose tyrimuose, kai gaunamas didelis kiekis fotografinių vaizdų, kurie apdorojami taikant fotogrametrinius metodus. Fotogrametrija yra vienas iš pažangiausių metodų,

leidžiančių kaupti informaciją apie Žemės ir kitų objektų paviršių naudojant fotografines nuotraukas. Bepiločių skraidyklių (UAV) su integruota vaizdo fiksavimo kamera, GPNS, valdymo įranga ir specializuota programine įranga fotografiniams vaizdams apdoroti naudojimas sparčiai plečiasi. Aukšto tikslumo (aukštos kokybės) ortofotografiniai žemėlapiai ir trimačiai paviršiaus modeliai yra pagrindiniai produktai, gautami naudojant šią aerofotogrametrijos technologiją.

UAV-Fotogrametrijos technologiją/ sistemą sudaro bepilotės skraidyklės su integruota fotografavimo/ skenavimo įranga, skrydžių planavimo ir valdymo programinė įranga, fotografinių vaizdų apdorojimo programine įranga.

Tipinė UAV-Fotogrametrija technologijos taikymo darbo eiga pateikta 7.6 paveiksle. Pagrindiniai etapai: skrydžių planavimas → fotografinių vaizdų gavimas → UAV fotografinių vaizdų apdorojimas (trianguliacija ir DTM / DSM generavimas).

Šveicarijoje kompiuterinės vizijos laboratorijoje sukurta fotografinių vaizdų apdorojimo programinė įranga *Pix4Dcapture* ir *Pix4Dmapper* yra pagrindinis įrankis, skirtas fotografiniams vaizdams apdoroti, gautiems fotografuojant iš bepiločių skraidyklių. *Pix4Dcapture* yra programinės įrangos *Pix4D* modulis skrydžių planavimui ir fotografinių vaizdų gavimui.

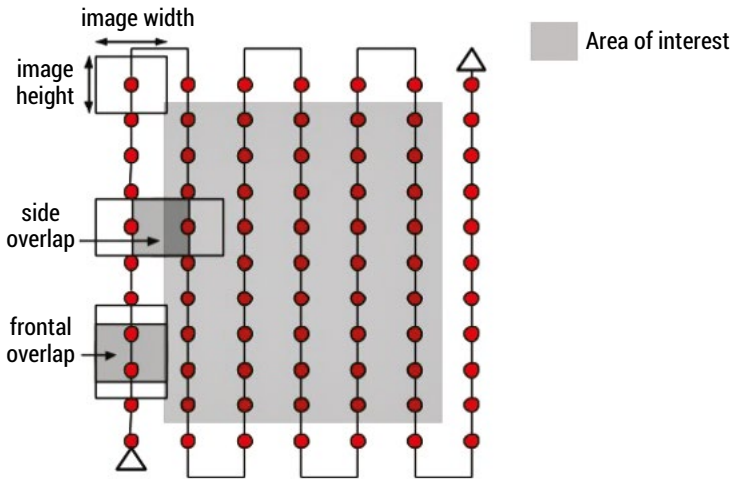


7.6. PAV. Tipinė darbo eiga taikant UAV-Fotogrametrija technologiją (Šaltinis: Nex, F., Remondino, F. 2014)

Pix4Dmapper – tai fotografinių vaizdų apdorojimo programinė įranga, kuri pagrįsta automatinio daugybės bendrų taškų tarp fotografinių vaizdų paieška. Kiekvienas fotografiniame vaizde rastas būdingas taškas vadinamas ryšio tašku. Jei nustatoma, kad du ryšio taškai dvejuose skirtinguose fotografiniuose vaizduose sutampa, tai jie vadinami sugretintais (*matched*) ryšio taškais (atitikmenimis). Kiekviena teisingai sugretintų taškų grupė sukuria taško padėtį 3D erdvėje. Fotografiniai vaizdai dengia vienas kitą (persidengia) ir kuo dengimo sritis yra didesnė,

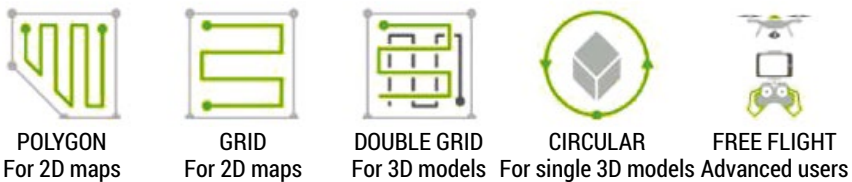
tuo daugiau ryšio taškų (atitikmenų) galima aptikti. Kuo daugiau ryšio taškų, tuo tiksliau galima atkurti 3D erdvę, todėl pagrindinis reikalavimas – išlaikyti kuo didesnę fotografinių vaizdų persidengimą.

Aerofotografavimo (skrydžio) planas turi didelę įtaką fotografinių vaizdų kokybei, todėl svarbu jį tinkamai parengti. Daugeliu atvejų rekomenduojama, kad fotografinių vaizdų išilginis persidengimas būtų ne mažiau kaip 75% (skrydžio kryptimi) ir skersinis dengimas – ne mažiau kaip 60% (tarp skrydžio juostų). Rekomenduojama aerofotografuoti taisyklingu tinkleliu (7.7 pav.). Tam kad būtų užtikrintas reikiamas vaizdo elemento dydis vietovėje (GSD), fotokamera turėtų būti išlaikyta virš vietovės/ objekto pastoviam aukštyje.



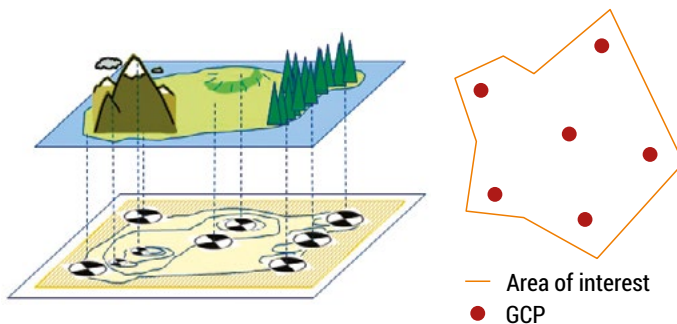
7.7. PAV. Idealus aerofotografavimo (skrydžių) planas (Šaltinis: WEB-4)

Programinio paketo *Pix4D* modulyje *Pix4Dcapture* numatyta galimybė realizuoti skrydžius automatiškai (autopilotu) keturiais skirtingais būdais ir rankiniu (pusiau automatinu) būdu (žr. 7.8 pav.). Norint gauti geriausios kokybės fotografinius vaizdus, skrydžių planavimo/ realizavimo tipą reikia pasirinkti, atsižvelgiant į aerofotografuojamos vietovės ir (arba) objektų ypatumus.



7.8. PAV. Skirtingi skrydžių realizavimo būdai (Šaltinis: WEB-4)

Aerokartografiniams darbams atlikti reikalingi vietovėje esantys atraminiai taškai (GCPs), kurių koordinatės nustatomos geodeziniais metodais. Žinant kelių atraminių taškų koordinatas, galima gauti didelių teritorijų tikslus kartografinius produktus. Atraminis taškas – tai aerofotografuojamoje teritorijoje esantis taškas su nustatytomis koordinatėmis. Atraminių taškų koordinatės gali būti nustatytos tradiciniais geodeziniais metodais, atlikus matavimus su GPS arba su elektroniniais tacheometrais, arba gautos iš kitų šaltinių (LiDAR, senesnių žemėlapių, skaitmeninių žemėlapių internete, net ir naudojantis *Google Earth* programa). Atraminiais taškais gali būti maži vietovėje esantys elementai, kurie būtų lengvai atpažįstami fotografiniuose vaizduose. Standartinis atraminio taško ženklas (taikinyš) dažniausiai yra panašus į nedidelės šachmatų lentos iškarpą juodai-baltos arba raudonai-baltos spalvos, tam kad būtų galima lengviau atpažinti. Siekiant gauti tikslesnius aerofotografavimo produktus, taškai (taikiniai) išdėstomi (projektuojami) tam tikra tvarka. Jie projektuojami objekto pakraščiuose, bet toliau nuo krašto, tam kad būtų matomi keliuose vaizduose; vienas taškas teritorijos centre, taip pat sudėtingo reljefo vietose (7.9 pav.). Rekomenduojama suprojektuoti mažiausiai tris GCP, paprastai – nuo 5 iki 10. Kiekvienas GCP turėtų būti matomas mažiausiai dvejuose fotografiniuose vaizduose, jei reljefas sudėtingas – GCP taškai turėtų būti matomi bent penkiuose fotografiniuose vaizduose.

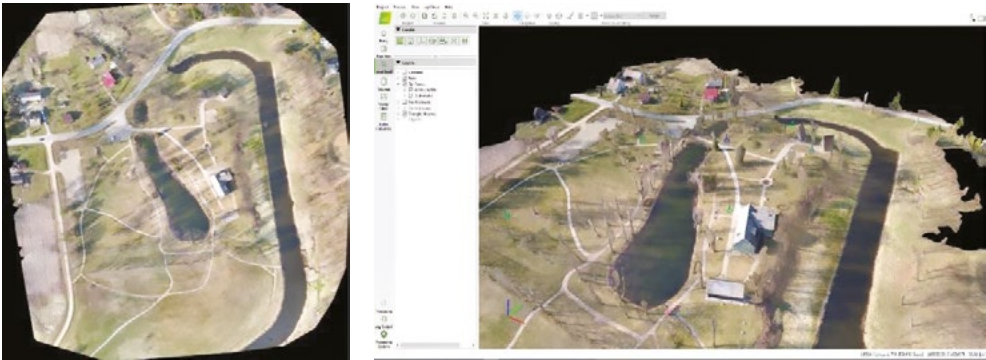


7.9. PAV. GCP ir jų tipinis išdėstymas (Šaltinis: WEB-4)

Pix4Dmapper programinėje įrangoje įdiegti kompiuterinio matymo algoritmai derinami su naujausiais fotogrametrijos metodais ir taip gaunami aukščiausio tikslumo rezultatai su minimaliomis rankinio darbo sąnaudomis. Ši programinė įranga – tai nauja koncepcija, išplečianti stereovaizdo trianguliacijos sprendimo galimybes ir didinanti 3D modeliavimo tikslumą. Aerofotonuotruokos importuojamos atsižvelgiant į georefencinius duomenis, orientavimą ir kameros kalibravimo parametrus. Naudojant fotogrametrinius algoritmus, numatytas fotografinių vaizdų orientavimo koregavimas. Programinė įranga pirmiausiai atlieka ryšio taškų paiešką ir automatiškai surandami atitikmenys visuose fotografiniuose vaizduose. Ryšio taškai paprastai būna išsidėstę tankiai, net ir esant lygiai fotografinio vaizdo tekstūrai. Programinė įranga *Pix4Dmapper* apima ortofotografinės nuotraukos generavimo,

paviršiaus modeliavimo ir kt. procesus. Darbas su šiuo programiniu paketu yra visiškai automatizuotas ir lankstus, duomenų įvestis yra keičiamo dydžio, išvesties duomenys yra lengvai redaguojami, o kokybė įvertinama iš karto.

Naudojant skirtingas platformas ir jutiklius fotografiniams vaizdams gauti, pagrindinės fotogrametrinės procedūros išlieka tokios: aerofotografinė trianguliacija, vaizdų orientavimas, taškų debesies generavimas paviršiaus modeliavimui, ortofotografinio žemėlapio sudarymas ir vektorinių duomenų rinkimas GIS ar kartografijos reikmėms. Ryšys tarp fotografinių vaizdų koordinacių ir objektų geodezinių koordinacių nustatomas pagal atraminių taškų koordinates.



7.10. PAV. Aerofotografavimo produktai: ortofotografinis žemėlapis ir DSM (Šaltinis: parengta autorių, 2020 m.)

7.10 paveiksle pavaizduoti aerofotografavimo produktai, sukurti naudojant UAV-Fotogrametrija technologiją; fotografiniai vaizdai apdoroti programine įranga *Pix4Dmapper*.

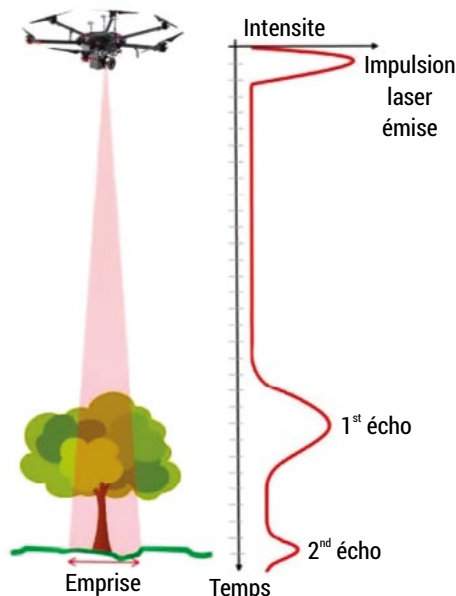
7.3. Nuotoliniai tyrimai lazerinėmis sistemomis: LiDAR technologija

LiDAR (angl. *Light Detection and Ranging*) – tai nuotolinių tyrimų metodas, kai fiksuojamas išsiųsto šviesos impulso (lazerio spindulio pavidalu) kelias ir taip matuojami kintami atstumai iki žemės paviršiaus. Šie lazerio impulsai kartu su aerofotogrametriniais duomenimis leidžia gauti tikslią trimatę informaciją apie žemės paviršių ir objektus (WEB-3). Šviesos impulsus skleidžia lazerinis skeneris, o kai impulsas pasiekia taikinį, dalis jo fotonų atsispindi atgal į skenerį. Kadangi yra žinoma skenerio padėtis, impulso kryptis ir laikas nuo impulso išsiuntimo iki grįžimo, galima apskaičiuoti 3D koordinates (XYZ) objekto, nuo kurio atsispindėjo impulsas. Lazeris išspinduliuoja milijonus tokių impulsų ir fiksuoja jų atspindžius, sudarydamas labai tikslų 3D taškų debesį (modelį), kuris gali būti naudojamas tikslinės srities 3D struktūrai įvertinti.

LiDAR įrangą iš esmės sudaro lazeris, skeneris ir specialus GPS imtuvas. Lėktuvai ir sraigtasparniai yra dažniausiai naudojamos platformos LiDAR duomenims didesne teritorijose gauti. Yra du LiDAR tipai: topografinis ir batimetrinis. Topografiniam žemėlapiui sudaryti LiDAR metodu paprastai naudojamas artimosios infraraudonosios spinduliuotės lazeris, o batimetriniam LiDAR naudojama per vandenį išsiskverbianti žalia šviesa, kuria gali būti fiksuojamas jūros dugno ir upių vagų reljefas.

LiDAR veikimo principas (7.11 pav.):

1. Lazerio impulsas siunčiamas link paviršiaus;
2. Atsispindėjęs lazerio spindulys fiksuojamas jutkliais LiDAR impulsų šaltinyje;
3. Matuojamas lazerio spindulio nueitas laiko tarpas;
4. Skaičiuojamas atstumas iki paviršiaus ($(\text{šviesos greitis} \times \text{laiko tarpo}) / 2$).



7.11. PAV. LiDAR veikimo principas. (Šaltinis: WEB-2)

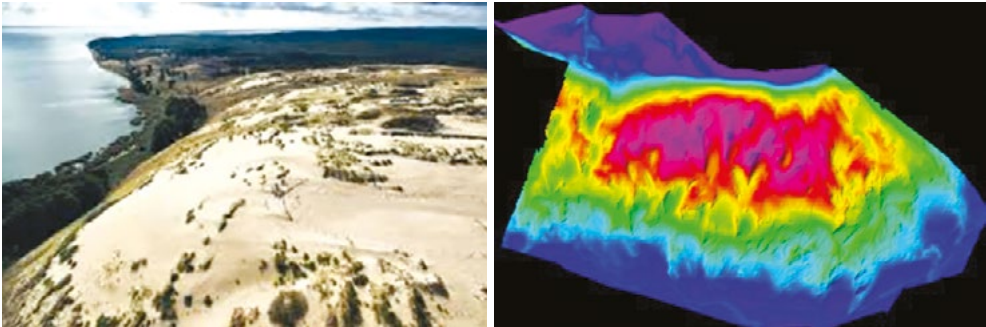
LiDAR sistemoje sumontuota įranga teikia galimybę išmatuoti milijonus atstumų nuo jutklių iki paviršiaus taškų. Tai pažangi technologija, kurios pagalba labai greitai apskaičiuojami atstumai tarp LiDAR jutklių ir taikinių. LiDAR sistemos apima penkis pagrindinius komponentus, nesvarbu, ar jos naudojamos automobiliuose, orlaiviuose, ar bepilotėse skraidyklėse:

1. Skraidanti transporto priemonė.
2. Skenuojančio lazerinio spinduliuotojo ir imtuvo įrenginys.
3. Diferencialiai koreguota GPS.
4. Inercinis matavimo įrenginys (IMU).
5. Kompiuteris.

LiDAR sistemos integruotos į įvairias mobiliąsias sistemas (automobilius, lėktuvus, bepilotės skraidyklės) skleidžia lazerio spindulį, kuris pereina ir per augmeniją ir net per vandenį. Skeneris priima atsispindėjusį lazerio spindulį (aidą) ir nustatomos polinės koordinatės (atstumai ir kampai). LiDAR taškų kiekis priklauso nuo skenavimo greičio. Nuo optinės sistemos ir skenerio tipo priklauso skiriamoji geba ir diapazonas, kuriame galima naudoti LiDAR sistemą.

Nepriklausomai nuo to, ar LiDAR jutiklis yra sumontuotas orlaivyje, automobilyje ar bepilotėje skraidyklėje, labai svarbu nustatyti absoliučią jutiklio padėtį ir orientavimą. Pasaulinės palydovinės navigacijos sistemos (GNSS) teikia tikslią geografinę informaciją apie jutiklio padėtį (platumą, ilgumą, aukštį), o inercinis matavimo įrenginys (IMU) nustato tikslus jutiklio orientavimo duomenis (polinkio, posvyrio, posūkio kampus). Šios įrangos užfiksuoti duomenys naudojami generuojant taškų debesį į 3D kartografavimo modelį.

LiDAR sistema tinkamai parengiama darbui, kad būtų galima vizualizuoti situaciją skrydžio metu, apdoroti duomenis, pasiekti reikiamą 3D kartografavimo taškų debesies aiškumą ir tikslumą.



7.12. PAV. 3D modelis sukurtas pagal LiDAR duomenis. (Šaltinis: sudaryta autorių, 2020)

Gautą tankų taškų debesį galima apdoroti naudojant *MicroStation*, *Bentley* programinę įrangą. Ši programinė įranga yra šiuolaikiška, suteikianti įvairias 3D paviršiaus modeliavimo galimybes. Tinkamai generuojant skaitmeninį paviršiaus modelį, būtina naudotis įrankių moduliais *TerraScan* ir *TerraMatch* (WEB-6). 7.12 paveiksle pavaizduoti 3D paviršiaus modeliai, sukurti pagal LiDAR duomenis.

Literatūros šaltiniai

1. Armenakis C., Patias, P. (2019) *Unmanned vehicle systems for geomatics: towards robotic mapping*. Scotland, UK: Whittles publishing, 2.
2. Chang, N., Bai, K. (2018) *Multisensor data fusion and machine learning for environmental remote sensing*. Taylor & Francis group, 2.

3. Xiang T., Xia, G., Zhang L. (2019) Mini-Unmanned Aerial Vehicle-Based Remote Sensing: Techniques, applications, and prospects. *IEEE geoscience and remote sensing magazine*, pp. 29–63.
4. Ruzgienė, B. (2008) Fotogrametrija. *Vilnius. Technika*. pp. 15.
5. Nex, F., Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Appl Geomat* 6, pp. 1–15 <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
6. WEB-1: GIS Geography. What is Remote Sensing? The Definitive Guide (2020) [Online] Available from: <https://gisgeography.com/remote-sensing-earth-observation-guide/#chapter1> [Accessed 8.10.2020]
7. WEB-2: LiDAR (2020) [Online] Available from: <https://www.yellowscan-lidar.com/knowledge/how-lidar-works/>, (2020). [Accessed 14.10.2020]
8. WEB-3: Dji Enterprise. Light detection and ranging (2020) [Online] Available from: <https://www.yellowscan-lidar.com/knowledge/how-lidar-works/> [Accessed 8.10.2020]
9. WEB-4: Pix4D (2020) [Online] Available from: <https://www.pix4d.com/> [Accessed 13.10.2020]
10. WEB-5: What is LiDAR? (2020) [Online] Available from: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> [Accessed 12.10.2020]
11. WEB-6: Bentley MicroStation [Online] Available from: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation> [Accessed 14.10.2020]