

Szkolenia z wykorzystania Produktów LiDAR

# Lotnicze skanowanie laserowe



**Dział Szkoleń i Marketingu ProGea Consulting** szkolenia@progea.pl











# Zasada działania lotniczego skanowania laserowego (1)

#### Akronim: LiDAR (ang. Light Detection And Ranging)

- LiDAR to aktywny system teledetekcyjny wykorzystujący promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu bliskiej podczerwieni (*NIR*: skanery topograficzne), bądź światła zielonego (*Blue-Green* 532 nm skanery batymetryczne);
- dioda skanera generuje impulsy lasera (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), a moduł obliczeniowy określa czas od wysłania promienia (impulsu) do jego powrotu do urządzenia;



Fot: K. Zięba 2014

- pomiar odchylenia promienia lasera względem skanera oraz wyznaczenie położenia urządzenia w przestrzeni 3D (GNSS/INS) a także określenie odległości (czasu) umożliwiają wyznaczenie współrzędnych (XYZ) miejsc odbicia plamki lasera (*ang. beam*);
- odbicia części plamki promienia lasera od obiektów (np. gałęzi drzewa) tworzą kolejne echa sygnału (ang. First Echo - FE, Last Echo – LE) a tym samym chmurę punktów (ang. point cloud). źródło: Wężyk 2014

# Zasada działania lotniczego skanowania laserowego (2)







# Zasady działania lotniczego skanowania laserowego (3) Pomiar odległości do obiektu

Technologia LiDAR bazuje na wykorzystaniu informacji o prędkości światła (fali elektromagnetycznej):

#### Dokładna prędkość: 299 792 458 m/s Szacowane prędkości:

- 300 000 km/sek.;
- 1,079 mld km/h;
- 173 jednostek astronomicznych /dzień.

#### Czas podróży światła:

- 1 m = 3.3 ns (3.3 x 10<sup>-9</sup> sek.);
- 800 m = 2.64 ms (2.64 x 10<sup>-6</sup> sek.);
- z Księżyca na Ziemię = 1.3 sek.;
- ze Słońca na Ziemię = 8.3 min.;
- przez szerokość Drogi Mlecznej = 100 000 lat.



Źródło: Wężyk 2014

gdzie:  $\Delta I$  – odległość do obiektu

c – prędkość światła

 $\Delta t$  – różnica czasu od wysłania do powrotu impulsu



### Architektura systemu ALS (1) Segmenty systemu

#### Segment pokładowy

dalmierz laserowy (ang. Laser Range Finder – LRF)

> system pozycjonowania trajektorii lotu oparty na GNSS

inercjalny system nawigacyjny INS (ang. Inertial Navigation System)

blok rejestracji danych

system planowania i zarządzania lotem

kadrowa kamera cyfrowa (ewentualnie kamera lub kamery video, termalna lub hiperspektralny skaner linijkowy)

#### Segment naziemny

naziemne, **referencyjne stacje GNSS** do ok. 40 km od Bloku LiDAR

**specjalistyczne oprogramowanie** oraz operator zarządzający przetwarzaniem danych i generowaniem produktów

(tryb post-processing; off-line)

2014-12-15



### Architektura systemu ALS (2) Segment pokładowy

GNSS



system planowania

i zarządzania lotem

Główne elementy systemu ALS zamontowane na pokładzie samolotu

Control,

Data

Recording

Źródło: Vosselman, Maas 2010

Scanner

#### 2014-12-15

Camera



# Segment pokładowy ALS (1) Komponenty: skaner (1)

7

- **laser** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) **impulsowy** wytwarzającego krótkie i silne impulsy światła o określonej długości fali (zazwyczaj bliska podczerwień NIR),
- **układ optyczny** sterujący wiązką promieni lasera (zwykle rotujące lustro),
- teleskop skupiający promienie lasera odbite od obiektów i powracające w stronę skanera,
- **detektor** promieniowania rejestrujący natężenie powracających impulsów laserowych,
- **układ elektroniczny** synchronizujący pomiary, oraz
- **komputer** sterujący systemem.





# Segment pokładowy ALS (2) Komponenty: skaner (2)

Wiodący producenci na rynku systemów do lotniczego skanowania laserowego:



2014-12-15

Lotnicze skanowanie laserowe



## Segment pokładowy ALS (3) Optyczny układ skanujący

#### Różne typy optycznych układów skanujących









#### Wirujący wielobok o zwierciadlanych płaszczyznach

Ślad plamek na gruncie: równoległe linie

#### Zwierciadło nutacyjne (skaner Palmera)

Ślad na gruncie: punkty ALS rozmieszczone po elipsach, ślad przesuwa się w kierunku lotu.

#### Oscylujące zwierciadło

Ślad na gruncie: układ zygzakowatych linii prostych lub linie sinusoidalne, zmienna gęstości punktów.

#### Układ światłowodowy

Ślad na gruncie: ciągi linii prostopadłych do kierunku lotu (lub sinusoida po wprowadzeniu modyfikacji mimośrodowo osyclującego skanera

Źródło: Kurczyński 2014 za Vosselman, Mass 2010



# Segment pokładowy ALS (4) INS/IMU

Inercjalny System Nawigacji - INS / IMU: określa aktualne wychylenia kątowe (żyroskopy) i wektory przyspieszeń (akcelerometry) platformy: w celu określenia: pozycji, orientacji oraz kierunku prędkości samolotu. Częstotliwość pomiaru: 100-260 Hz (nawet do 400 Hz).



AXIS PITCH RAIS		
ROTATIONAL MOVEMENT	STATIC POSITION	

żyroskopy

Źródło: gps.pl



PERFORMANCE AEROcontrol								
Performance <sup>*</sup>	AEROcontrol-m	AEROcontrol-I**	AEROcontrol-II <sup>™</sup>	AEROcontrol-III				
Position [m]	0.05 啊	0.05	0.05	0.05				
√elocity [m/s]	0.005	0.005	0.005	0.005				
Roll / Pitch [deg]	0.01	0.008	0.004	0.003				
True heading [deg]	0.02	0.015	0.01	0.007				
Available data rates	400 Hz	128 Hz or 256 Hz	128 Hz or 256 Hz	400 Hz & 512 Hz				





Źródło: www.igi.com

Źródło: www.igi.com

#### Lotnicze skanowanie laserowe

#### 2014-12-15



### Segment naziemny ALS GNSS



Plan nalotu sporządzany przez Wykonawcę – na czerwono zaznaczono stacje referencyjne GNSS

Źródło: CODGiK

#### Segment naziemny

naziemna referencyjna stacja GNSS

**specjalistyczne oprogramowanie** oraz operator zarządzający przetwarzaniem danych i generowaniem produktów (tryb *offline / postprocessing*).



### Realizacja misji fotolotniczej (1) Projektowanie Bloków LiDAR

Projektowanie podziału obszaru skanowania ALS na Bloki LiDAR

Bloki LiDAR tworzone są z równoległych szeregów (pasów skanowania) o zaplanowanym wzajemnym pokryciu poprzecznym

Opracowanie Planu nalotu z pomocą Systemu Zarządzania Lotem

Nawigacja po zaplanowanych osiach szeregów nalotu - System Zarządzania Lotem



Projekt ISOK - obszar Polski podzielony na Bloki LiDAR

Źródło: GUGiK

Lotnicze skanowanie laserowe

2014-12-15



### Realizacja misji fotolotniczej (2) Projektowanie szeregów nalotu

Projektowanie podziału obszaru skanowania ALS na Bloki LiDAR

Bloki LiDAR tworzone są z równoległych szeregów (pasów) skanowania o zaplanowanym wzajemnym pokryciu poprzecznym

Opracowanie Planu nalotu z pomocą Systemu Zarządzania Lotem



#### Pokrycie Bloku LiDAR szeregami nalotu ALS

Źródło: Brenner 2006

Nawigacja po zaplanowanych osiach szeregów nalotu - System Zarządzania Lotem



# Realizacja misji fotolotniczej (3) Plan nalotu (1)





## Realizacja misji fotolotniczej (3) Plan nalotu (2)

			Inter States its	and a party	Name OF TAXA LOAD	Carrier per sera	-				THE OWNER WATER	· women	And COD AN					Statute.
Provid-IDMONIZEP								_				WARDON D	Married Contractor	T. STORE	MATTIN AL	Tables	2000000	ALC: NOT
Ortho Itema												With the		that.	and the	- Lawrence	St. 20	Same Contraction
L DTMa												the lot	and the second	and the second	SA AN	STATES OF STATES	State Land	A Long and a long of the long
Onder Window Laure												1.27	Carlos .	AN	ALS.	1	MALL LAND	and the second
- Sal imagen												SHIPPLY	100	X Ant	1111	Carlo Carlo	Sec. Se	No. of Contraction
a foundaree											>	1000	11	XX	1 11 1	A STATE OF	and the	LOADLER -
S TopoMape	12347									10000		- Hall	40	100	111	ALC: N	States.	The state of the local
a of Oper-Densitiva	Manuf .											1000	11	000	111	120	ART	A CONTRACTOR OF THE OWNER
all the Mac Lawre												A STATE	NON-	11.10	1	1 15	-No-	ALC: NOT THE OWNER OF
all runs - in an												The second	100	141	No.	81 18	A A A	Acres 100 and
of Bassins											-	10 million	100	N W	A VA	813	100	And address of the local
- Furm			CHINE COLUMN	the second	COLUMN TO A		and and a	att the set	a Barrison		- aller	IL BOS	No. M	11 1	A AN	1999	Contraction of the	and a start
Briand Domai Form			A POST LAND	S. Lak	The States	- Inger	Sales and	San Land	CALCULAR PROPERTY.	a series	1000	Hard P.	1VA		180	100	10	And Beat
desperied bases			A Distantion of the	10 million	In succession in the local division in the l	19.25	Contraction of the	1 100	Carl Carlos	Color Street	P.C.C.	Contraction of the		I AL	111	CAN IN	11110	A REAL
Detailer Franklin			and Frank	( Caller	and the second second	T. C. C. Station	and the second	100	Car al	all fill	- the	Terra a	A		111	NON!	and a	A STATE
8 M Flytstures	140		and and the	Sec. Con	and the second second	1	" Mainta	and the second second	CHE .	and the	Ender.	- Starter	A ST	XIV	A A A	1	1001	A SUSSI
in the Reserve			CAR STR.	- No	and the second	- C/ -	NOC	and the		The state of the s	2451	1000	- Sheet a	1000	A CONT		10 11	No. Carlo
E 🐢 KOK-BADT		12	11-1-1-1	- Aures	- Carter	1000	and	1	30000		-	BUT'S	a gamers	and and	N. N. N.	N N	11	- 1 - 1 /
S +** PigetLive - \$20	9 / J			- 14	1	1.2	20	Tes?	315 -	-	1-	100	Contraction of the	See. Day	NA A	1	1	1.6/13
a - Papel, re- 85			and the second	- Statement	Ser Constant	3	2517	A THEFT	-			1000	A	1- Viel			N NI	ALL MART
The Page Lose (EE			and a start of the	Concernation of the	The second second	1 28	31/	2 Charles	Cal	-	1000	Att of the	Section of	ALL ALL	XXX	AN	C C N	CAVA S
and registion (DD			100	100	211/100	100	To VELC	ALL DO	ALL ALL	-	and the second second	Carlo alto	and a lot	T STON		100	1	VAN
in and Property on the		15	13371	and a start	100501			No. of Lot of Lo	and the second second		- 200	1000	11 5	WART PARTY	111111	XX	XX	Service 1
in and Florest loss (Pril			11 14		ALC: NOT THE OWNER OF	1000	-TD-81	ALC: NO	1. 1. 50			2-10	State of the	COL MA	111 8	XA	100	CON 1
in and Participations		12	3200	1.1		Bec at a	1.5	C. LOLO	and the second s	-	1	260	A Provide	ALC: NO	N/L	N.N.	100	A Contract
In and Fight Long. Bills			Carlo Carlo	-			1	200000	and the second	Sec.	1-2	12	1.000	Sec. P.	C SANDA	AVA	10 10	AXY
	di la companya di la		5 10	2	-	-		200	A State	1.11	< 4	(Long)	and the	No. of Street	ALC: NO	1	Carrow Carrow	1 × 1 /-
and the Page Name	ign fuel		1	1	-	0.0		100	1.15	17-1	3	City and	19.6	125	BO -X	×3.	Par a	No Chi
						1	de	100	UNES	R	Xa	14.4	Car	28 B	The chine	XX	XX	Carlos - t-
		Ð	200	8 - y							And the second s				the second se			A TIME
	r 😫 🔮 🔍 🗶 (	2	-360	1		100		100		2ls		2000	2377	10 10 10 V	mestill.	124	$\infty$	1100
	Talan Name Talan		-36	1				and I	6. 5	28	N.	2000	- 2 / 1	10 (10 V-2	120 Stan	A243	$\infty$	
4 	<ul> <li>D 2 0 R</li> <li>Value</li> <li>Rape Rue</li> </ul>		100	1	$\geq$		aD	tite 1	<u>R 1</u>	28	Ņ	2.4.4	1. 1.	10 any	mes 1283	24	$\infty$	(2)(古).
et ante surgeture surdnate System	Table Control of the Sector of			4	$\geq$	- 33	an.	1111	R		Ņ	25404		25 (1994)	mes 120	2245	$\infty$	(2007).
et soughten soughten holine Alle	Vites Superfram Unite States Unite States 1		enver at ja	4	2	- 33	a	1.173				2544		15 1194	mes 1283	243		
na nacionale construite l'actione factorie Alchie Tracticie Alchie	Comparison of the second		en Ven Alt Jak	4	$\geq$	30	<u>an</u>		R A			25454		25 (1994) 74	ma 5 1 2 8 3	fan hansley	×>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	
ent Isona Sacapitan Sacating System Sacting ACIs Sacting ACIs	Care		en ven det sin ad topicume Sign fan	40	Deltion 1	Dettine.		in her.	Ingeliei	2010 M	100-107 AL	No. 10 M	tanah.	The second	marganethers al	Free framelings	anta - O	
er songetson societaria System Subina Alla Sacitina Alla Sacitina Cong Sacitina Cong	Class     C		en real ACE SAR and Tape Lose Rape Das Rape Das		National Sector	Deprise .	Same Artis	incluse.	Langer (see)	AK 1453, JPL 15427	Mar. Att AL.	Mar 10 Mil.	threeh.	15 (1974) Inc.	mar and fights	Free framelings	Rome + Q	
en me codente codente System Active ADS Section ADS Section System Darche Gross chen Long pagh (pm)	C     C		and Frank Arth (Art Arthroph Connel Dagle Frank Frank Frank	192	Referent B	Fagerson a	Same Arres	torban.	Langet (see)	44.045.041 (142)	Min. MP ALL. 2000-14	Mar in Al.	tionsh.	10 (10 %) (14 (14) (15) (14)	ing at the last	Free free dige	Randa - D Fatt Date 1	And Sectors and Sectors
en ana andrate System Andre Alls Andre Cole Andre Cole Che Levis angle Seri Andre Cole Che Levis angle Seri Andre Cole	O     O	111 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Anger Pare Anger Pare Anger Pare Anger Pare	1111	Papeline 4	Reprises.	See.	inchan.	Leopetics BAI BAI	A 142. M	100-102 AL. 2003.04 2003.04 2003.04	Num ar Ali, Aliki, at Aliki, at	tionet.	25 (20%) 24 10 10 10	ing antiger, a)	Free hannelings Use Free days 10.4	For Lase 1	
en exception exception exception exception factors for factors for exceptions	C     C		And Page Task Report From Tagles Task Tagles Task Tagles Task Tagles Task Tagles Task	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Papeline 4	Repticies ; 85 80 80 80	Same Artice Artice	100 Dant. 101 101 101 102	Leoper, Series B.A. B.30 B.20 B.20	Ar His, Juj Jaco Jaco Jaco Jaco Jaco	Mar. 10 Ad., 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4	Mar 10 Au. 2003 A	Accest.		mg within (*)	Then framestically 1. Main Frankeling 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5		
en song songsten sociduate (system Active a X/b) harcher 4/b) harcher 4/b) harcher (song const (song from) artise Lose (songh (bro)) Active Lose (	C     C		And Topic Lose Experime Topic Topic Topic Topic Topic Topic Topic Topic Topic Topic Topic Topic	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Reptore 1	Fager(104.) 83 80 80 80 80 80 80 80	Same Artice Artice Artice	100 Junet. 1983 1983 1983 1983 1983	Langer, (m) 8.4 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3	Ar Ma, jej Bap Bap Bap Bap Bap Bap	Mar. 10 Adv. 2003.04 2003.04 2003.04 2003.04 2003.04 2003.04	Mar 19 AL. 2003 A 4113 A 4113 A 4113 A 4113 A 4113 A 4113 A	Actority	25 (1994) 7m 1 1 1 1 1 1 1	mga methama, a) Mga 000, Montadag 8 44 8 44 9 44 9 44 9 44 9 44 9 44 9 44	The franklight Her Franklight 8.4 8.7 8.7 8.7 227		For Event Intel Defense Biological Sciences Biological Sciences Bi
en exception conducto System Action 2026 Meetine 4/06 Action Lowe Action Lowe Action Lowe Action Lowe Action Lowe Institute Comm Sector Down Restrict Fourth Restrict Fourth Restrict Fourth	Image: Second		And Taylor Long Carl Taylor Long Dages Theo Dages Theo Dages Theo Dages Theo Dages Theo Dages Theo Dages Theo Dages Theo	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Reference of Barrier o	Fager (194.) 87 87 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88	Same Artis Artis Artis Artis	100 Dant. 100 J 100 J 100 J 100 J 100 J 100 J 100 J 100 J 100 J	1 anget (m) 8 A 8 A 8 A 8 A 8 A 8 A 8 A 8 A 8 A 8 A	ArMa, M Bap Bap Bap Bap Bap Bap Bap	Mar. 48 AL. 2003 2003 2003 2003 2003 2003 2003 200	Mar. 19 Ali. 2003 A 41134 41134 41134 41134 41134 41134 41134 41134	Annels, A N U U	- Mac 200 (m. 1)	rege methyte (* ) He COL, Mechany S Rei S	Then Francellopt Mile Frankel B.J. B.J. B.J. B.J. B.J. B.J. B.J. B.J	Renter + P	
et and acception construct (years) factor 4/06 factor	Image Regime         Image Regime<	a	en ree Alt Jac Equition Sign Das Sign Das Sign Das Sign Das Sign Das Sign Das Sign Das Sign Das Sign Das	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Reference 4	Fager (194.) 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85	Satura Activa Activa Activa Activa Activa Activa	100 Dees. 101 101 101 101 101 101 101 101 101	Langet, brok 0.44 8.28 8.28 8.28 8.28 8.29 8.29	44993,94 (947 (947 (947 (947 (947) (947) (947) (947) (947)	Min. 48 Ad., 20034 20034 20134 20134 20134 20134 20134	Mar. 19 (4), 2003 (4), 2003 (4), 2013 (4), 2014 (4), 2015 (4), 201	Annah.	No. 20 p	App 201 Adv 1 adv App 201 Adv 1 adv 2 40 3 40	Then FranceDoptic Mile Truches Bill Bill Bill Bill Bill Bill Bill Bil	Arrite • 8 For Lear 1 R R R R R R	For Elevant Incol (Menuel) Rest Elevant Inco
H ann acognini acognini acognini Active	Image: Control of the second		And Tayle Lowe Experime Reporting Reporti	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Papelione 4 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	Rept: con	Satur Antra Antra Antra Antra Antra Antra	Lite Deef. 1941 1942 1942 1942 1942 1942 1942 1942	Length Serie 3.47 3.28 3.28 3.29 3.29 3.29 3.29 3.29 3.29 3.29 3.29	ACUGL (H) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP	Min. 48 AU, 3880,04 27	Mar 10 Mil. 2003 A 2013 A 2014	Armela, a a a a a a a	De de la companya de	Ing and Taples (*) Ing COL (*) No COL (*	The framebat	Korta e Q	
en surdente surdente Su	Image Register         Image Register         Image Register           Vitrate         Register Register         Register Register           Vitrate         Register Register         Register Register           1         Register Register         Register Register           2         Register         Register           3         Register         Register	A	An Anno Anno Anno Anger Pare Anger Pare	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Reference P	Fuger(ine.) 81, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80	Sana Arter Arter Arter Arter Arter Arter Arter Arter	100 Junet. 104 J 104 J 1	Langet (and 3.47 3.28 3.20 3.20 3.20 3.20 3.20 3.20 2.20	A(MA, H) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP) (MP	Mac. 48 Adv. 3863.4 2763.34 2763.34 2763.34 2763.34 2763.34 2763.34 2763.34 2763.34 2763.34	Mar 10 AC. 400.34 401.34 403.34 400.3	Accest.	200 (100 (100 (100 (100 (100 (100 (100 (	Here CO 1. Her Lange New CO 1. Her Lange S 404 S 404 S 404 S 405 S	Then Franklight Max Funding BLA BL2 BL2 BL2 BL2 BL2 BL2 BL2 BL2 BL2 BL2	North - D	Comparison of the second
ere Socialized Space Acade AVS Acade	Image: second		And Tayle Love Report Res Report Res		Fightion 4 38 16 17 18 18 19 19 19 19 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	Reptricite	Sana Arter Arter Arter Arter Arter Arter Arter Arter Arter Arter	100 Dass. 100 J 100 J 10	Lange (se) 3.4 8.3 3.3 3.5 3.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 5 5.5 5 5.5 5 5.5 5 5.5 5 5 5	4.93, jij (60) (60) (60) (60) (60) (60)	Min. 44 A4. 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4 2003.4	Max 10 46. 400.4 4 400.4 4 400.4 4 400.4 4 400.4 4 4 4	Annels, a a a a a	200 (100 (100 (100 (100 (100 (100 (100 (	Angeneritan et al. Angeneritan e	Ten frankligt Marketig 814 817 817 817 817 812 812 813 813 813	Korda - Q	
en me southeast southeast Sou	C         G         G         G         R           Value         Fragments		An Annual	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Page (1994 4 86 16 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18	Fight (see , 85, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80, 80	Sees Arres Arres Arres Arres Arres Arres Arres	Live Deset. 1963 1963 1963 1963 1963 1963 1963 1963	ianget (soc) 3-4 3-3 3-3 3-3 3-3 3-3 3-3 3-3 3-3 3-3	A 446, N (447) (447) (447) (447) (447) (447) (447) (447) (447) (447)	86.48.45, 365.4 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34 276.34	Mar an Al. 2003 40134 40134 40134 40134 40134 40134 40134 40134 40134 40134 40134 40134	Annels. B B B B B B B B B B B B B B B B B B B	200 000 10. 1 0 0 1	Non-control         Non-control           Non-control	Free FranceDigits Mile Foodbar 81.4 81.7 81.7 81.7 81.7 81.2 81.3 81.2 81.3 81.3	Farler + Q	Comparison of the second

Interfejs oprogramowania Leica MissionPro. Źródło: www.leica-geosystems.com

- Leica MissionPro oprogramowanie do planowania nalotu
- Leica FlightPRO wraz z kontrolerem/wyświetlaczem dla pilota PD60







Źródło: www.leica-geosystems.com



### Realizacja misji fotolotniczej (4) System Zarządzania Lotem

#### Projektowanie podziału obszaru skanowania ALS na Bloki LiDAR

Bloki LiDAR tworzone są z równoległych szeregów (pasów skanowania) o zaplanowanym wzajemnym pokryciu poprzecznym

Opracowanie Planu nalotu z pomocą Systemu Zarządzania Lotem

Nawigacja po zaplanowanych osiach szeregów nalotu - System Zarządzania Lotem



#### Przykładowe informacje podawane przez

System Zarządzania Lotem

Źródło: www.riegl.com

2014-12-15



# Parametry użytkowe systemu ALS (1)

#### Typowe parametry użytkowe ALS:





# Parametry użytkowe systemu ALS (2)

Podstawowe parametry wybranych systemów ALS (Kurczyński 2014)

Parametr	Typowe wartości
długość fali lasera	1,064 μm
częstotliwość generowania impulsu	kilkadziesiąt kHz (max 500 kHz)
długość impulsu	4-10 ns
rozbieżność wiązki impulsu	0,25–2 mrd
częstotliwość skanowania	25–40 Hz
wysokość lotu	helikopter 200–300 m samolot 500 – 1000 m (max 6000 m)
kąt skanowania (całkowity)	20°– 40° (max 75°)
szerokość obrazowanego pasa	0,35–0,7 wysokości lotu
odległość pomiędzy punktami ALS w terenie	0,2–2 m
częstotliwość rejestracji GNSS	0,5–2 Hz
częstotliwość rejestracji INS	50 Hz (maks. 400 Hz)
dokładność położenia punktów ALS	<ul> <li>sytuacyjna: 0,40 m</li> <li>wysokościowa: 0,10 m</li> </ul>
cena systemu	500 – 800 tys. USD



# Parametry użytkowe systemu ALS (3)

#### Najważniejsze parametry systemów skanujących (Kurczyński 2014)

Skaner	Tryb skanowa- nia	Częstotli- wość skanowania [Hz]	Częstotli- wość impulsów laserowych [kHz]	Kąt skano- wania [°]	Rozbieżność wiązki lasera [mrad]	Energia impulsu [µJ]	Dokładność dalmierza [cm]	Długość impulsu [ns]	Digitizer [ns]
Optech 2033	lustro skanujące	0-70	33	±20	0,2 / 1,0	N/A	1,0	8,0	N/A
Optech 3100	lustro skanujące	0-70	33-100	±25	0,3 / 0,8	< 200	1,0	8,0	1
Optech Gemini	lustro skanujące	0-70	167	±25	0,15 / 0,25 / 0,8	< 200	3,0	7,0	N/A
Optech Orion	lustro skanujące	-100	167	±25	0,25	< 200	2,0	7,0	N/A
TopoEye MkII	skanowanie stożkowe	35	5-50	14,20	1.0	N/A	< 1,0	4,0	0,5
TopoSys I	liniowy	653	83	±7,15	1,0	N/A	6,0	5,0	N/A
TopoSys II Falcon	liniowy	653	83	±7,15	1,0	N/A	2,0	5 <b>,</b> 0	1
Trimble Harrier	wirujący pryzmat	160	160	±30	0,5	N/A	2,0	4,0	1
Leica ALS50	lustro skanujące	25-70	83	±37,5	0,33	N/A	N/A	10	N/A
Leica ALS50-II	lustro skanujące	35-90	150	±37,5	0,22	N/A	N/A	10	1
Leica ALS60	lustro skanujące	0-100	200	±37,5	0,22	N/A	3,0-4,0	5,0	1
Riegl LSM- Q560	liniowy	160	240	±30,0	0,3	8	2,0	4,0	1
Riegl LSM- Q680i	liniowy	200	266	±30,0	0,5	8	2,0	4,0	1



# Parametry skanowania ALS (1) Gęstość chmury punktów (1)

Gęstość skanowania =

liczba punktów [pkt] powierzchnia [m<sup>2</sup>]

uzależniona jest głównie od:

- parametrów systemu skanującego oraz
- parametrów lotu: prędkości i wysokości.

Powyższe parametry są tak dobierane aby otrzymać możliwie równomierny rozkład punktów ALS w terenie:

- odległość linii skanowania w terenie zależy od częstotliwości skanowania i prędkości lotu;
- odległości pomiędzy punktami ALS w linii uwarunkowane są częstotliwością impulsów systemu, kątem skanowania oraz wysokością lotu.



Gęstość chmury punktów ALS. Źródło: ProGea Consulting



# Parametry skanowania ALS (2) Gęstość chmury punktów (2)

#### Gęstość

#### gęstości (odległości) linii skanowania determinują:

- optyczny układ skanujący,
- częstotliwość skanowania,
- prędkość lotu samolotu,

#### gęstości punktów ALS w linii zależy od:

- optycznego układu skanującego,
- kąta skanowania,
- częstotliwości generowania impulsów,
- wysokości lotu i deniwelacji terenu.

Dodatkowe parametry lotu (wysokość i prędkość) uwzględniają :

- ograniczenia maksymalnego zasięgu pomiaru przez:
  - warunki meteorologiczne (widoczność);
  - właściwości odbiciowych obiektów terenowych (materiał, zwarcie koron drzew, itp.);
- powiązania częstotliwości generowania impulsów z wysokością lotu wynikających z techniki MPiA.



2014-12-15



## Parametry skanowania ALS (3) Gęstość chmury punktów (3)

#### Wykresy ułatwiające obliczenie gęstości wynikowej chmury punktów





#### Źródło: <u>www.riegl.com</u>

#### parametry pracy systemu skanującego:

- częstotliwość generowania impulsów (PPR);
- warunki lotu: wysokość lotu, prędkość lotu;
- warunki meteorologiczne: widoczność (ang. *visibility*: 23 km, 15 km, 8 km);
- właściwości odbiciowe obiektów (*Target Reflectivity* [%]).

#### parametry użytkowe systemu skanującego:

- maks. zasięg pomiaru (Measurement Range, Max);
- wysokość lotu nad gruntem (Operating Flight Altitude)
- szerokość pasa (kąt skanowania FOV = 60<sup>o</sup>);
- gęstość chmury punktów na terenie przy założonej prędkości lotu.

#### 2014-12-15



## Parametry skanowania ALS (4) Gęstość chmury punktów (4)

#### Wykresy ułatwiające obliczenie gęstości wynikowej chmury punktów





Źródło: Kurczyński 2014 za www.riegl.com

#### Strefy:

MTA1 – bez nieoznaczoności (jeden impuls w powietrzu),

MTA2 – 2 impulsy w powietrzu,

MTA3 – 3 impulsy w powietrzu.

#### Przykład:

Przy częstotliwości generowania impulsów PPR=200kHz, wysokości lotu AGL = 2600ft (ok. 800m), prędkości lotu 80 kn (ok. 150 km/godz.), z wykresu odczytamy:

• szerokość obrazowanego pasa 915 m

wynikowa gęstość chmury punktów ALS = 4 pkt/m<sup>2</sup>



### Charakterystyka danych LiDAR (1) Klasyfikacja (ASPRS)

Wyrównana chmura punktów ALS z nadaną georeferencją

Sklasyfikowana chmura punktów ALS Modele/obrysy opracowane na podstawie sklasyfikowanej chmury ALS



Sklasyfikowana chmura punktów. Źródło: ProGea Consulting

Wartość klasyfikacji (bity 0:4)	Znaczenie	Tłumaczenie
0	Created, never classified	punkty utworzone, nigdy nie klasyfikowane
1	Unclassified	punkty niesklasyfikowane
2	Ground	punkty leżące na gruncie
3	Low Vegetation	punkty reprezentujące niską roślinność
4	Medium Vegetation	punkty reprezentujące średnią roślinność
5	High Vegetation	punkty reprezentujące wysoką roślinność
6	Building	punkty reprezentujące budynki
7	Low Point (noise)	szum (punkty omyłkowe)
8	Model Key-point (mass point)	punkty kluczowe
9	Water	punkty reprezentujące obszary pod wodami
10	Reserved for ASPRS Definition	zarezerwowane dla przyszłych definicji ASPRS
11	Reserved for ASPRS Definition	zarezerwowane dla przyszłych definicji ASPRS
12	Overlap Points	punkty z obszarów wielokrotnego pokrycia
13-31	Reserved for ASPRS Definition	zarezerwowane dla przyszłych definicji ASPRS

Klasyfikacja chmury punktów wg. ASPRS. Źródło: Kurczyński, 2014



### Charakterystyka danych LiDAR (2) Intensywność odbicia

**Intensywność odbicia** (ang. *Intensity*) to stosunek ilości energii powracającej do odbiornika do ilości energii wysłanej przez nadajnik.

Chmura punktów wizualizowana wg intensywności odbicia



Źródło: ProGea Consulting

Wartości współczynnika intensywności odbicia dla dł. fali 900nm

Materiał	Współczynnik intensywności odbicia [%]				
Kauczuk syntetyczny	5				
Lawa	8				
Asfalt	17				
Beton, gładki	24				
Drewniana paleta,	25				
czysta					
Drzewo iglaste	~ 30				
Piasek, na plaży,	~ 50				
bez roślinności	50				
Drzewo liściaste	~ 60				
Wapnień, glina	< 75				
Śnieg	80 - 90				

Źródło: Wehr, Lohr 1990



### Charakterystyka danych LiDAR (3) Kolorowanie chmury punktów

Każdemu punktowi chmury ALS można nadać informację o kolorze w formie składowych RGB (*Red Green Blue*) na podstawie fotografii wykonanych kadrową kamerą cyfrową czy skanerem linijkowym CCD.



#### Chmury punktów kolorowane wg wartości RGB

Źródło: Warchoł, 2014



# Charakterystyka danych LiDAR (4) Echo sygnału





# Skanowanie full waveform (1) Analiza kształtu fali (1)



Źródło: Kurczyński 2014 za www.riegl.com

2014-12-15



# Skanowanie full waveform (2) Analiza kształtu fali (2)



Możliwość wykorzystania charakterystyki echa (analiza kształtu fali) do klasyfikacji chmury punktów ALS

Źródło: Mandlburger 2009



W zarejestrowanym odbitym sygnale można badać nie tylko odległość (wysokość obiektu), ale pełną charakterystykę echa, tj.:

- amplitudę (intensywność) odbicia P [DN];
- odległość R [m];
- szerokość echa S<sub>p</sub> [ns].



## Skanowanie full waveform (3) Digitalizacja



Rejestracja sygnału w systemach skanujących 2 i 3 generacji

Źródło: Vosselman, Maas 2010



### Skanowanie full waveform (4) Wielkość i kształt plamki



Źródło: www.riegl.com

Różnica pomiędzy skanerami dyskretnymi a fali pełnej. Rozbieżność plamki lasera (ang. beam divergence), porównanie kształtu śladu plamki na obiekcie oraz kształt rejestrowanego sygnału odbitego w zależności od powierzchni odbijającej.



### Skanowanie full waveform (5) Przetwarzanie danych





### Rozwój technologii ALS (1) MultiplePulses in Air





Technologia "wielokrotnych impulsów laserowych w powietrzu" umożliwiająca zwiększenie liczby wysyłanych impulsów a tym samym gęstości skanowania

Źródło: Kurczyński 2014

#### Rozwiązanie tradycyjne:

- 1- wysłanie impulsu
- 2- odbicie impulsu od obiektu
- 3- odebranie impulsu oraz wysłanie następnego

#### Technologia MPiA:

- 1- wysłanie impulsu
- 2- odbicie impulsu od obiektu oraz wysłanie drugiego impulsu
- 3- odebranie pierwszego impulsu , odbicie drugiego impulsu oraz wysłanie trzeciego impulsu



# Rozwój technologii ALS (2) Skaning batymetryczny





#### Koncepcja działania systemu skanowania batymetrycznego

Źródło: Quadros, Collier, Fraser, 2008



Źródło: Wężyk, 2014



RIEGL VQ 820 G

Źródło: www.riegl.com



RIEGL VQ 880 G



Chiroptera II

Źródło: www.airbornehydro.com

2014-12-15

Lotnicze skanowanie laserowe



### Literatura

**Cui Z., Zhang K.,** 2007. *Airborne LiDAR Data Processing and Analysis Tools. NationalCenter for Airborne* Laser Mapping, Miami.

**Kraus K.,** 2007. *Photogrammetry. Geometry and Laser Scans (Second Edition). Walter de Gruyter, Berlin,* New York **Kraus K., Rieger W.,** 1999. *Processing of laser scanning data for wooded areas. Photogrammetric* Week '99, Heidelberg, Wichmann.

Kurczyński Z., 2014. Fotogrametria. PWN, Warszawa.

Liu X., 2008. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. Progress in Physical Geography, 31–49.

Mandlburger G., 2009. DTM generation from ALS data for flood extent mapping. Presentation in Terrasolid Users Event.

**Quadros N. D., Collier P. A., Fraser C. S.,** 2008. Integration of Bathymetric and Topographic LiDAR: A Preliminary Investigation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B8, Beijing.

Renslow M. S., 2014. Manual of Airborne Topographic LiDAR.

**Słota M**., 2008. Decomposition Techniques for full-waveform Airborne Laser Scanning Data. Geomatics and Environmental Engineering. Vol. 8/1, 61–74.

**Toth Ch. K.,** 2011. *LiDAR Waveform in Mobile Mapping. Tutorial at 7th International Symposium on* Mobile Mapping Technology, Krakow, Poland.

**Vosselman G., Mass H-G**., 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing, UK.

**Warchoł A.,** 2014. Integracja danych z naziemnego, lotniczego i mobilnego skaningu laserowego do budowy Numerycznego Modelu Terenu dla potrzeb tworzenia map zagrożenia powodziowego, rozprawa doktorska niepublikowana, AGH Kraków.

**Wężyk P.**, 2014. Wykłady do przedmiotu "Geomatyka w zarządzaniu środowiskiem przyrodniczym". UR Kraków **Wężyk P. (Ed.)**, 2014. Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR. Warszawa



#### Szkolenia z wykorzystania Produktów LiDAR

Dziękujemy za uwagę!

# Zapraszamy na stronę internetową www.szkolenialidar.gugik.gov.pl

Projekt "Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami-ISOK", realizowany przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w konsorcjum z Krajowym Zarządem Gospodarki Wodnej jako liderem, Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej-Państwowym Instytutem Badawczym, Instytutem Łączności- Państwowym Instytutem Badawczym oraz Rządowym Centrum Bezpieczeństwa jest finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach 7. osi priorytetowej "Społeczeństwo informacyjne- budowa elektronicznej administracji" Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013.







