

Testarea parametrilor de calibrare obținuți pe baza câmpului 3D de calibrare propus

1. Testarea parametrilor de pre-calibrare pe zboruri nadirale

Pentru testarea parametrilor orientării interioare obținuți pe baza câmpului 3D de calibrare propus, cu ajutorul camerei digitale nemetrice montată pe sistemul UAV au fost preluate imagini UAV asupra câmpului de testare imediat după realizarea zborurilor pentru calibrare, de la următoarele înălțimi: 23 m, 28 m și 35 m, aceleași folosite și în cadrul procesului de calibrare, folosind softul Pix4D Capture. Acoperirea longitudinală a fost 80%, iar cea transversală de 60%, camera fiind orientată în poziție nadirală. Pentru înălțimea de 28 m, zborul s-a realizat în grid dublu fiind preluate 122 imagini, în timp ce pentru înălțimile de 23 m și 35 m, zborul s-a realizat în grid simplu, fiind preluate 85 imagini, respectiv 51 imagini.

A fost testat un număr total de 63 scenarii. Elementele analizate au fost: (i) influența procesului de pre-calibrare a camerei digitale asupra preciziei procesului de compensare în bloc, în comparație cu "auto-calibrarea" (ii) includerea sau excluderea imaginilor nadirale din cadrul blocului de imagini utilizat pentru calibrarea camerei digitale (iii) influența înălțimii de preluare a imaginilor utilizate la calibrare în cadrul proiectului UAV (iv) numărul punctelor de sprijin folosite în cadrul procesului de compensare în bloc.

Pentru prelucrarea imaginilor UAV, au fost selectate 150 puncte din totalul de 349 puncte de sprijin ce formează câmpul de calibrare, 50 dintre ele fiind considerate puncte de sprijin la sol și restul de 100 puncte de control. Distribuția acestor puncte poate fi vizualizată în *figura 1*.

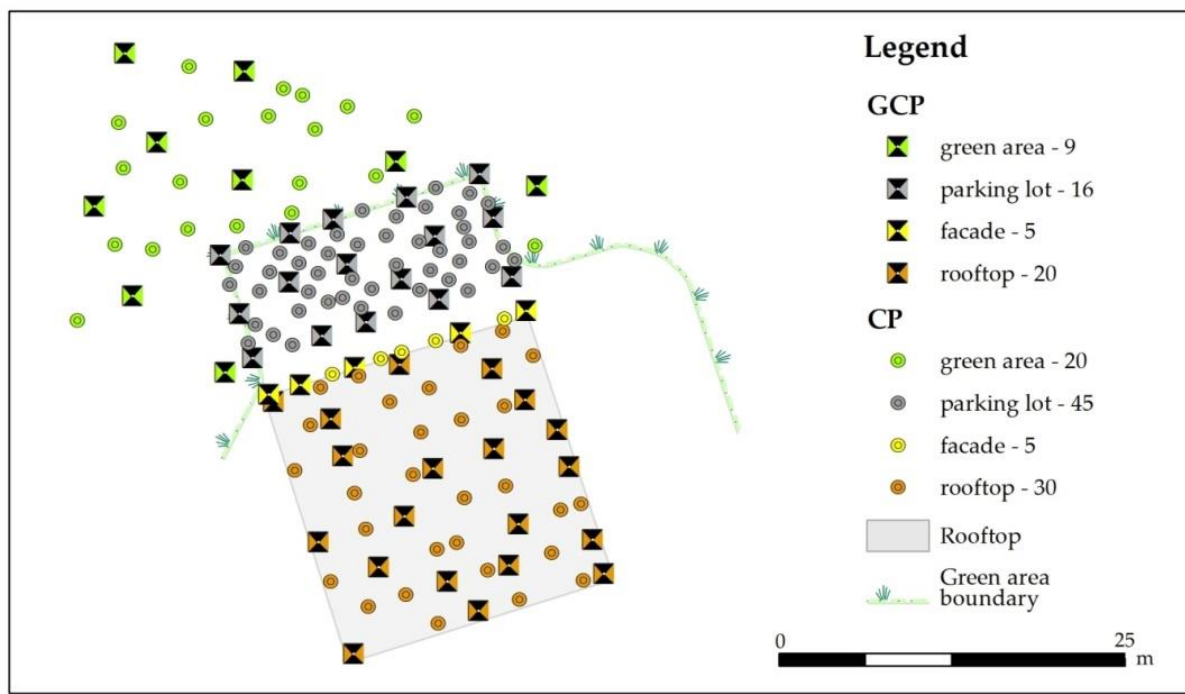


Figura 1. Distribuția celor 50 puncte de sprijin și 100 puncte de control

În cazul zborului nadiral realizat la înălțimea de 23 m, nu au putut fi măsurate pe minimum 2 imagini toate cele 100 puncte de control, astfel doar 87 puncte de control au fost folosite pentru evaluarea preciziei. De asemenea, doar 44 GCP au fost folosite ca și constrângeri în cadrul procesului de compensare în bloc. Rezultatele sunt trecute în *tabelul 1*.

Tabelul 1. Erorile reziduale calculate pentru 87 puncte de control în cadrul zborului nadiral la 23 m utilizând metoda „auto-calibrării”, respectiv pre-calibrării la 3 înălțimi de zbor diferite: 23 m, 28 m și 35 m cu două configurații pentru blocul de imagini folosite la calibrare și pentru un număr diferit de puncte de sprijin (GCP)

Înălțime pentru pre-calibrare [m]	Nr. de GCP	Auto-calibrare 23 m înălțime RMSE [cm]	Pre-calibrare RMSE [cm]	
			21 imagini	17 imagini
23	3	184	10.1	10
	14	7.8	7.7	7.7
	50	6.5	7.0	7.0
28	3	184	10.7	10.4
	14	7.8	7.7	7.9
	50	6.5	7.0	7.2
35	3	184	10.9	10
	14	7.8	7.9	7.8
	50	6.5	6.9	7.0

Erorile reziduale rezultate în urma prelucrării imaginilor preluate în cadrul zborului nadiral realizat la înălțimea de 28 m, au fost calculate utilizând 100 puncte de control și sunt trecute în *tabelul 2*. În cazul zborului nadiral realizat la înălțimea de 35 m, erorile reziduale au fost calculate utilizând doar 99 puncte de control și pot fi vizualizate în *tabelul 3*.

Tabelul 2. Erorile reziduale calculate pentru 100 puncte de control în cadrul zborului nadiral la 28 m utilizând metoda „auto-calibrării”, respectiv pre-calibrării la 3 înălțimi de zbor diferite: 23 m, 28 m și 35 m cu două configurații pentru blocul de imagini folosite la calibrare și pentru un număr diferit de puncte de sprijin (GCP)

Înălțime pentru pre-calibrare [m]	Nr. de GCP	Auto-calibrare 28 m înălțime RMSE [cm]	Pre-calibrare RMSE [cm]	
			21 imagini	17 imagini
23	3	58.4	14.7	12.3
	14	9.1	4.2	4.0
	50	7.6	3.3	3.2
28	3	58.4	14.4	9.0
	14	9.1	3.9	4.1
	50	7.6	3.2	2.95
35	3	58.4	12.3	7.93
	14	9.1	3.9	4.11
	50	7.6	3.3	2.96

Tabelul 3. Erorile reziduale calculate pentru 99 puncte de control în cadrul zborului nadiral la 35 m utilizând metoda „auto-calibrării”, respectiv pre-calibrării la 3 înălțimi de zbor diferite: 23 m, 28 m și 35 m cu două configurații pentru blocul de imagini folosite la calibrare și pentru un număr diferit de puncte de sprijin (GCP)

Înălțime pentru pre-calibrare [m]	Nr. de GCP	Auto-calibrare 35 m înălțime RMSE [cm]	Pre-calibrare RMSE [cm]	
			21 imagini	17 imagini
23	3	92.6	9.0	10.2
	14	45.9	6.5	6.2
	50	4.8	5.1	5.0
28	3	92.6	9.6	9.8
	14	45.9	6.4	6.1
	50	4.8	5.1	4.9
35	3	92.6	10	8.8
	14	45.9	6.3	6.2
	50	4.8	5.1	5.2

Erorile reziduale calculate pentru cele 3 zbori nadirale utilizând parametrii orientării interioare obținuți prin metoda “auto-calibrării”, respectiv pe baza câmpului de calibrare propus doar cu blocul de imagini oblice, sunt reprezentate grafic în *figura 2*.

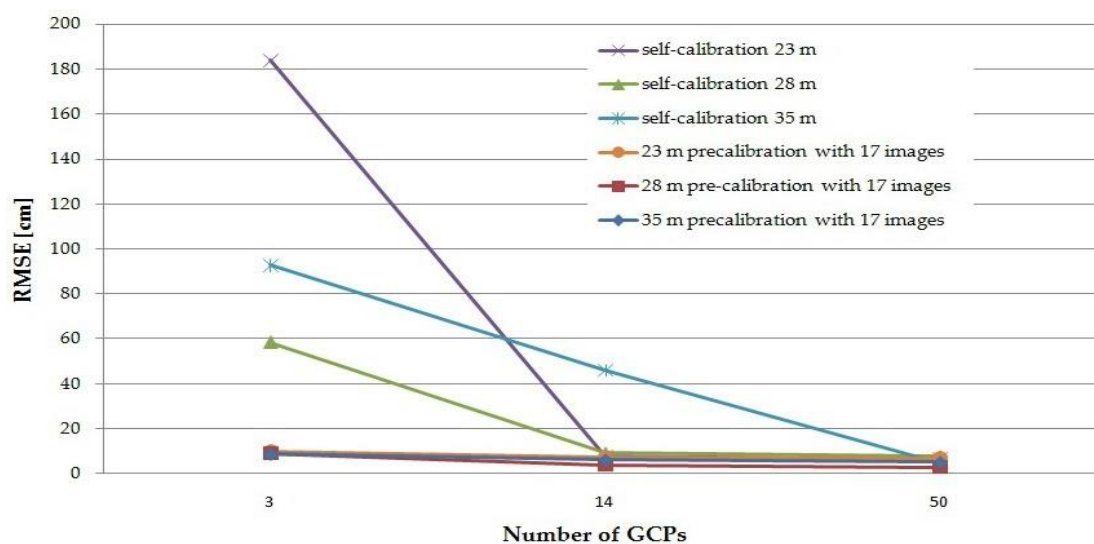


Figura 2. Erorile reziduale (RMSE) rezultate pentru cele 3 zbori nadirale utilizând „auto-calibrarea” și pre-calibrarea doar cu imagini oblice

2. Testarea parametrilor de pre-calibrare pe un zbor oblic

Pentru testarea parametrilor orientării interioare obținuți pe baza câmpului de calibrare propus, s-a ales un proiect UAV de modelare 3D a unei biserici, realizat cu 2 ani înainte de procesul de calibrare. Au fost distribuite uniform 5 puncte de referință în jurul bisericii, asigurându-se o vizibilitate bună pe imagini, fără a fi blocate de vegetația înaltă. Trei dintre aceste puncte au fost utilizate ca și puncte de sprijin la sol (GCP) pentru georeferențierea indirectă a blocului de imagini în sistemul de coordonate dorit și anume “stereografic pe plan secant-unic 1970”, iar celelalte 2 ca puncte de control (*figura 3*).

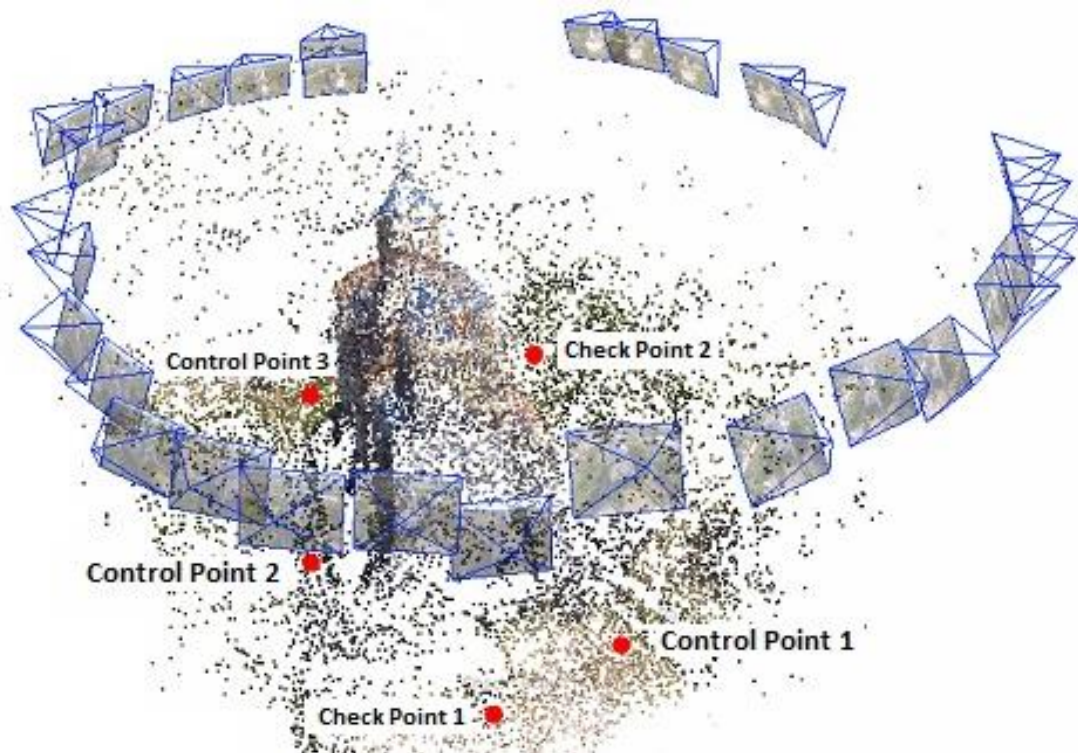


Figura 3. Elementele rezultate în urma realizării procesului de compensare în bloc: pozițiile și orientările camerei, dar și pozițiile spațiale ale punctelor de sprijin și control

Punctele de referință au fost confecționate din plexiglas, având centrul marcat de intersecția a două triunghiuri negre și dimensiunea de 30 cm × 30 cm. Coordonatele au fost măsurate utilizând tehnologia GNSS, cele finale rezultând ca medie aritmetică a două determinări. Pentru preluarea imaginilor UAV, zborul s-a realizat în mod manual fiind preluate în mod circular 30 imagini din 30 poziții diferite axul optic al camerei orientat la 45° pentru preluarea imaginilor asupra fațadelor în poziție oblică. Ținând cont că zborul s-a realizat în mod manual, altitudinile deasupra terenului pentru fiecare poziție a camerei au variat între 25 m și 30 m, cu o medie de 28 m.

În *tabelul 4* sunt trecute erorile reziduale rezultate în urma procesului de compensare în bloc, calculate pe baza celor 2 puncte de control.

Tabelul 4. Erorile reziduale calculate pentru cele 2 puncte de control, după procesul de compensare în bloc pentru un zbor oblic utilizând „auto-calibrarea”, respectiv pre-calibrarea la 3 înălțimi de zbor diferite: 23 m, 28 m și 35 m

Înălțime pentru pre-calibrare [m]	Auto-calibrare RMSE [cm]	Pre-calibrare RMSE [cm]	
		21 imagini	17 imagini
23	5.2	2.0	1.9
28	5.2	2.0	1.8
35	5.2	2.1	1.9

Principalele concluzii rezultate în urma efectuării acestor experimente sunt următoarele:

- ✓ Cunoscând parametrii orientării interioare, pozițiile elementelor geometrice măsurate sunt de asemenea ajustate după procesul de compensare în bloc, astfel încât, cu cât eroarea medie pătratică (RMSE) calculată în funcție de coordonatele punctelor de control este mai mică, cu atât înseamnă că parametrii orientării interioare au fost estimați corect.
- ✓ Imaginile nadirale rotite în jurul axei optice cu câte 90° ar trebui să fie utilizate în procesul de calibrare pentru a decupla parametrii orientării interioare de cei ai orientării exterioare, dar acest lucru se poate realiza și prin folosirea unui câmp 3D de calibrare și unghiuri mari de convergență pentru preluarea imaginilor.
- ✓ În cazul zborului oblic realizat pentru modelarea 3D a unei mănăstiri cu 2 ani înainte de calibrare, precizia a fost îmbunătățită cu aproximativ 60% prin utilizarea parametrilor orientării interioare calculați pe baza câmpului 3D de calibrare propus, față de precizia obținută prin utilizarea „auto-calibrării”. Chiar și după această perioadă lungă de timp, parametrii orientării interioare nu s-au modificat.
- ✓ Pentru a obține rezultate cu o precizie ridică, înălțimea de zbor pentru calibrare trebuie să fie aceeași cu cea pentru realizarea proiectului UAV.
- ✓ Dacă proiectul UAV se realizează pentru o zonă cu un teren accidentat, cu obstacole sau chiar impracticabil, amplasarea la sol a punctelor de sprijin și de control este un proces foarte mare consumator de timp și poate deveni chiar imposibil. Din moment ce sistemele UAV au fost construite tocmai pentru acest scop și anume preluarea imaginilor asupra zonelor de risc pentru viața umană sau inaccesibile, această situație este des întâlnită. Utilizând parametrii obținuți pe baza câmpului 3D de calibrare, poate fi utilizat un număr de minimum 3 puncte de sprijin la sol pentru realizarea procesului de compensare în bloc a imaginilor pentru obținerea unei precizii de aproximativ un decimetru.
- ✓ S-a demonstrat că parametrii orientării interioare calculați pentru o cameră digitală integrată într-o platformă UAV cu ajutorul unui câmp 3D de calibrare, pot fi transferați cu succes pentru alte proiecte UAV. De asemenea, s-a demonstrat pe baza zborului realizat pentru modelarea 3D a mănăstirii, că camera digitală poate fi calibrată înainte sau după preluarea imaginilor pentru realizarea proiectelor UAV.