

ORIENTACIÓ D'IMATGES 1-DIMENSIONALS DE SENSORS AEROTRANSPORTATS

R.Alamús,I.Colomina,V.Palà,M.Castillo
Institut Cartogràfic de Catalunya
Balmes, 209-211
E-08006 Barcelona

Resum

L'article tracta el problema de l'orientació de sensors aerotransportats d'1 línia amb el propòsit de poder fer mosaic i fusionar amb la cartografia existent. Tot això, a través de les experiències pròpies amb el sistema *casi-501*. Per a superar les dificultats plantejades cal adoptar les següents solucions: usar un model apropiat per la geometria del sensor i per les característiques dels sensors de posició i actitud, integrar informació auxiliar del terreny i usar tècniques de transferència digital assistida de punts.

1 Introducció

Des de febrer de 1994, i gràcies a la financiació de la DGR-CIRIT (Direcció General de Recerca - Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica), l'ICC (Institut Cartogràfic de Catalunya) posseeix un sistema *casi* amb propòsits ambientals i cartogràfics. El *casi* (Compact Airborne Spectrographic Imager), que ha estat desenvolupat per Itres Research Ltd. (Calgary, Canada), combina les característiques d'un espectògraf amb les d'un escàner de línia.

L'ICC ja va tenir ocasió d'avaluar el potencial dels sensors multiespectrals en la campanya *casi'91* [1]. Aquesta campanya consistí en diversos estudis pilot en diferents localitzacions de Catalunya i amb diferents configuracions espectrals que permetien valorar la qualitat de l'aigua, caracteritzacions geomorfològiques, inventari forestal, usos del sòl... També al llarg de l'any 1994 el sistema *casi* va demostrar ser molt útil en la valoració ràpida de danys produïts per desastres naturals (per exemple incendis), ja que permet de sobrevolar la zona afectada tan bon punt les circumstàncies ho permeten i, com a conseqüència, tenir cartografiada l'àrea en un curt espai de temps.

Tanmateix, les imatges obtingudes amb el *casi* estan afectades per la dificultat d'una correcta orientació del sensor. En aquest treball es demostra la necessitat d'un sistema de determinació d'actitud precís i la conveniència d'usar models d'elevacions del terreny per a l'orientació, a través de les nostres primeres experiències en l'ajust de passades simples i d'un bloc.

2 Sistema *casi-501*, concepte bàsic i descripció

El sistema *casi* té la capacitat de recollir les dades radiomètriques de diferents canals de l'espectre al llarg d'una línia transversal a l'eix de l'avió, característica combinada amb el principi d'escombratge; això és, no es pren la imatge en un "instant" com és el cas de la fotografia, sinó que el sensor està contínuament essent excitat per el feix de llum reflectit pel terreny, feix que és escombrat a mesura que avança l'avió.

Les imatges per a cada passada estan distorsionades degut a la no verticalitat del sensor i al relleu del terreny.

El sistema *casi-501* realitza les fases d'adquisició i normalització del procés complet ANI (Adquisició Normalització i Interpretació). El [sub]sistema d'adquisició està format pel cap del sensor i tres sistemes auxiliars per a posicionament, determinació d'actitud i registre de temps.

Les característiques del sensor més significatives a efectes d'orientació són: FOV (Field Of View) $34.2^\circ \times 0.069^\circ$, IFOV (Instantaneous FOV) 0.067° , distància focal 12.5 mm, mida del píxel $15 \mu\text{m}$, 512 píxels en dimensió espacial i 288 en dimensió espectral. La mida real de la CCD (Charge Coupled Device) és de 612×288 píxels (sensor digital on es recull la imatge).

El sistema té tres modes d'operació: *mode espacial* en què el sensor recull la informació de fins a 19 canals espectrals, configurables per l'usuari, per tots els 512 píxels de la dimensió espacial; *mode espectral* el qual recull tota la informació espectral de fins a 39 píxels espacials i un canal espectral per a la resta; i el *mode complet* on es recull tota la informació que és capaç d'enregistrar la CCD, i que és usada per calibrar radiomètricament el sensor. Tot i la diversitat de modes d'operació el més usual en les nostres campanyes és el mode espacial.

Els subsistemes auxiliars del sistema *casi* són: el sistema de posicionament que és una interfície amb el receptor GPS de l'avió (un Asthech P-12 en l'època dels tests descrits en l'article), que també és usat com a referència pel sistema de temps; el sistema de determinació d'actitud està basat en un sistema de giroscopis Sperry VG-14A que ens dóna observacions de ω i φ (aleteig i capcineig respectivament) per a cada línia de la imatge. Davant la manca de sensor per a tenir mesures de κ , el rumb és determinat a partir del camí aeri definit per les observacions GPS, però encara cal conèixer les derives per a determinar κ correctament.

El *casi* enregistra codi i fase GPS, lectures del giroscopi i les imatges en un exabyte (cinta de vídeo de 8 mm) mantenint la informació (línia a línia) del temps en què s'han obtingut les dades.

El programari i maquinari de normalització permet d'usar i fer el manteniment del sistema, així com la correcció radiomètrica de les imatges. A més, permet fer la correcció geomètrica, però sense punts de control i cada passada individualment.

3 Orientació d'imatges d'una línia

La geometria d'aquests sensors és molt feble. El fet que cada línia es capturada en instants diferents de temps —i per tant, cada línia de la imatge té un centre de projecció diferent i una actitud diferent, és a dir, uns paràmetres d'orientació diferents (sis per a cada línia, tres de posició i tres d'actitud)— a més de la baixa densitat de punts identificats per línia —un o, amb sort, dos per cada centenar de línies— fa que la determinació de tots els paràmetres d'orientació que intervenen en una imatge —que està formada per unes 5000 línies en els projectes actuals— no pugui fer-se indirectament. Per tant, cal determinar aquestes dades mitjançant instruments que puguin mesurar-les directament.

S'han considerat dos blocs amb un 20% i un 60% de recobriment entre passades, B20 i B60 respectivament. B20 està format de 4 passades mentre B60 en té 7, de 5000 línies cada una. La mida del píxel és de 2 m que correspon a una alçada d'uns 1660 m segons la geometria del *casi*. Suposem precisions fotogramètriques de mig píxel ($1 \text{ m} \approx 120'' \approx 1/2 \text{ píxel}$) i punts de control aeris (posicions i actituds) lliures de biaxos amb $\sigma_{X,Y,Z} = 0.1 \text{ m}$ i $\sigma_{\omega,\varphi,\kappa} = 120''$.

Sota aquestes condicions hem realitzat simulacions basades en punts de control als extrems del bloc. Les configuracions F contenen 2 punts de control a l'extrem de cada passada (5 + 5 punts en el cas de B20 i 9 + 9 en el de B60) indicats per • en la figura 1. Les configuracions S contenen només 2 + 2 punts de control indicats per ⊙, i les N cap punt de control.

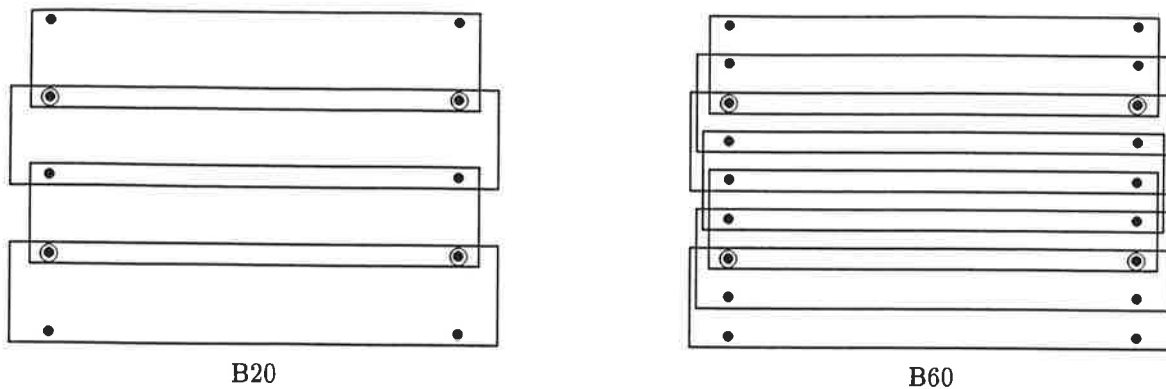


Figura 1: Esquema de les simulacions de blocs a 20% i 60% de solapament.

	B60-F	B60-S	B60-N	B20-F	B20-S	B20-N
$\sigma_{X,Y}$	0.8	0.8	1.5	1.0	1.0	2.0
σ_Z	3.8	4.0	6.3	4.0	4.1	8.3

Taula 1: Exactitud en la determinació de punts en imatges d'una línia (unitats en m).

La taula 1 resumeix el resultat de les simulacions sobre aquests blocs en totes les seves configuracions i sense incloure observacions del DEM (Digital Elevation Model). A la vista del resultat és clar que no és rentable recolzar un bloc amb passades addicionals, ja que en les mateixes condicions, B60 no introdueix millores significatives respecte B20. Només seria justificable un 60% de recobriment entre passades si no podem disposar d'un DEM i cal reconstruir el terreny. Les diferències entre les configuracions F i S no són significatives, essent això un indicador, si el terreny no imposa altres requeriments, de què amb pocs punts de control podem tenir precisions similars.

Si incloem models d'elevacions del terreny (DEM) es redueix el valor de σ_Z al valor de σ_{DEM} , precisió del DEM. Aquest és un punt d'especial importància per a la geometria del *casí*, ja que el petit angle de visió (FOV) fa que tota la imatge sigui observada amb una gran verticalitat, fet que provoca la mala determinació de l'alçada (relació poc favorable entre base i alçada).

En els casos anteriors hem imposat un coneixement precís dels paràmetres d'orientació exterior, però en la pràctica degut a certes fonts d'errors difícilment modelables, és una tècnica habitual introduir paràmetres per a absorbir-les. Si, per exemple, provem d'estimar paràmetres de biaix per a cada passada dels punts de control aeri, aleshores la determinabilitat dels punts empitjora considerablement en les configuracions S (veure taula 2).

Si en aquestes simulacions, provem d'estimar paràmetres de biaix (X, Y, Z) pels punts de control aeri la indeterminació dels punts augmenta considerablement, tal com es pot veure en la taula 2. Si no disposéssim de DEM seria recomanable tenir una configuració F de punts de control. Fent ús d'observacions de DEM en aquestes noves simulacions s'obté $\sigma_Z = \sigma_{DEM}$ pels blocs B20 i B60 en totes dues configuracions F i S, mentre no s'obtenen millores remarcables per σ_X i σ_Y .

Tot i això, les condicions que hem imposat en aquests blocs estan molt lluny de la realitat particular del sistema *casí*. Seguint les experiències realitzades, en especial el bloc d'Arbeca descrit en l'apartat 5, hem

	no DEM				DEM			
	B60-F	B60-S	B20-F	B20-S	B60-F	B60-S	B20-F	B20-S
σ_Y	0.8	1.0	1.1	1.2	0.8	1.0	1.0	1.2
σ_X	0.9	93	1.2	98	0.9	92	1.1	98
σ_Z	4.6	396	4.9	396	σ_{DEM}	σ_{DEM}	σ_{DEM}	σ_{DEM}

Taula 2: Precisió en la determinació de punts en imatges d'una línia amb estimació de biaixos (X, Y, Z) en els punts de control aeri (unitats en m).

Precisió en les dades:			
	Control terrestre:	$\sigma_{X,Y} = 0.75$ m	$\sigma_Z = 2$ m
	Control aeri:	$\sigma_{X,Y,Z} = 0.1$ m	$\sigma_{\omega,\varphi,\kappa} = 400$ "
	Control DEM:	$\sigma_{DEM} = 2$ m	
Precisió dels resultats:			
	no DEM:	$\sigma_{X,Y} = 2.7$ m	$\sigma_Z = 16.4$ m
	DEM:	$\sigma_{X,Y} = 2.3$ m	$\sigma_Z = 1.9$ m

Taula 3: Precisió en la determinació dels punts sota condicions reals amb i sense observacions DEM i 5 punts de control, 2 + 2 als extrems i un central.

imposat condicions més reals (veure taula 3), la inclusió del DEM es revela més important; σ_Z decreix de 16.4 m a 1.9 m (valor molt proper a $\sigma_{DEM} = 2$ m).

Amb la mateixa filosofia que les observacions de DEM, hem iniciat l'anàlisi de la influència de la detecció i identificació de línies rectes. Les simulacions fetes identificant diverses rectes en una imatge d'una única passada no han contribuït significativament a l'orientació del sensor. De moment no hem analitzat la influència d'aquestes caraterístiques de lligam en blocs.

En els casos de la nostra experiència diària les observacions estan afectades per més errors a més de biaixos en els punts de control aeri: desalineaments entre el sensor i el giroscopi, manca d'una correcta calibració geomètrica del sensor i una no molt precisa sincronització entre el sistema de registre de temps del *casi* i el temps GPS.

Per tal de resoldre aquests problemes cal:

- Disposar d'una calibració del sensor.
- Determinar posicions i actituds amb precisió i sense biaixos; intentar determinar-los (els biaixos) dificulta la determinació dels punts.
- Un sistema precís —i automàtic— de sincronització. La precisió requerida és 10^{-4} s.
- Augmentar el nombre de punts de lligam entre imatges, usant tècniques d'identificació i transferència de punts automàtica, o en el seu defecte semi-automàtica.

- Ús d'informació addicional del terreny, ja siguin línies o superfícies (DEM), tot i que en simulacions el control DEM s'ha mostrat molt més efectiu.

4 Anàlisi del subsistema d'actitud

Desconexadors de les precisions que el giroscopi Sperry VG-14A ens estava donant per l'aleteig i capcineig, vam procedir a analitzar el seu comportament en règim estàtic i dinàmic.

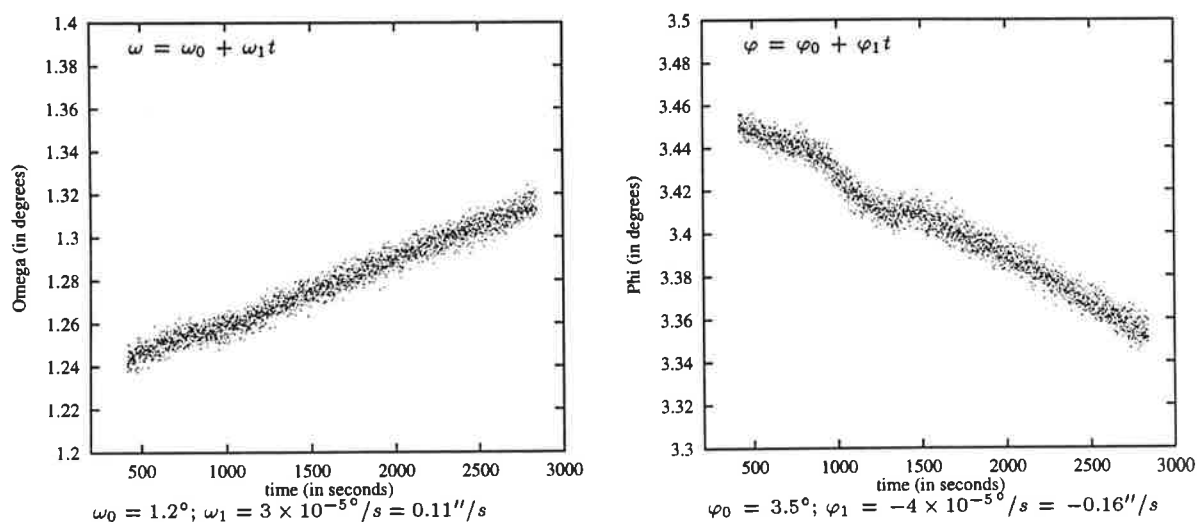


Figura 2: Comportament de ω i ϕ en el test estàtic.

En el test pel mode estàtic es va procedir a enregistrar per un període de més de 40 minuts les dades d'actitud proporcionades pel *casi*. La figura 2 representa les lectures d'aquestes dades al llarg del temps. El soroll d'aquestes observacions és d'uns 0.02° . Després d'ajustar rectes als núvols de dades, els pendents resultants són de $0.11''/s$ i de $-0.16''/s$ respectivament.

El 18 de març de 1994 es va volar el test de Calaf amb la intenció de valorar el comportament del giroscopi en condicions normals de treball, d'obtenir la informació necessària per a desenvolupar els futurs models d'aerotriangulació pel *casi* i d'avaluar les propietats lligades a la geometria d'aquest sensor. El test està format per una única passada volada d'est a oest a una velocitat de 316 km/h i alçada de 2000 m sobre el terreny. La passada és de 18 km de llarg (amb més de 8400 línies) per 1.2 km d'ample, la mida del píxel per aquesta passada és de $2.38 \text{ m} \times 2.11 \text{ m}$ sobre el terreny. En aquesta imatge es van identificar 92 punts de control sobre l'ortofotomapa digital de Catalunya a escala 1:5000, que té una precisió d'uns 0.5 m i el píxel del qual té una mida de $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$. L'alçada es va obtenir de la base de dades digital d'elevacions del terreny de Catalunya. Els punts de control aeri van ser calculats a partir de les observacions de fase GPS.

La figura 3 mostra els residus dels angles ω i ϕ després de l'ajust d'aquesta passada en què hem inclòs un model per a determinar la matriu de desalineament entre el giroscopi i la plataforma on està instal·lat el sensor. Els pendents de les rectes ajustades sobre aquests residus (resultants de l'ajust de les dades) són $-11''/s$ i $1.5''/s$. Cal observar que els residus de les observacions dels angles són 0.24° per ω i de 0.13° per ϕ , que són 3 i 2 cops la mida del píxel (IFOV). Aquests valors pels r.m.s. (error quadràtic mig), afegits al problema de la mala determinació del tercer angle (κ) converteixen la feina de fer mosaics en una tasca feixuga.

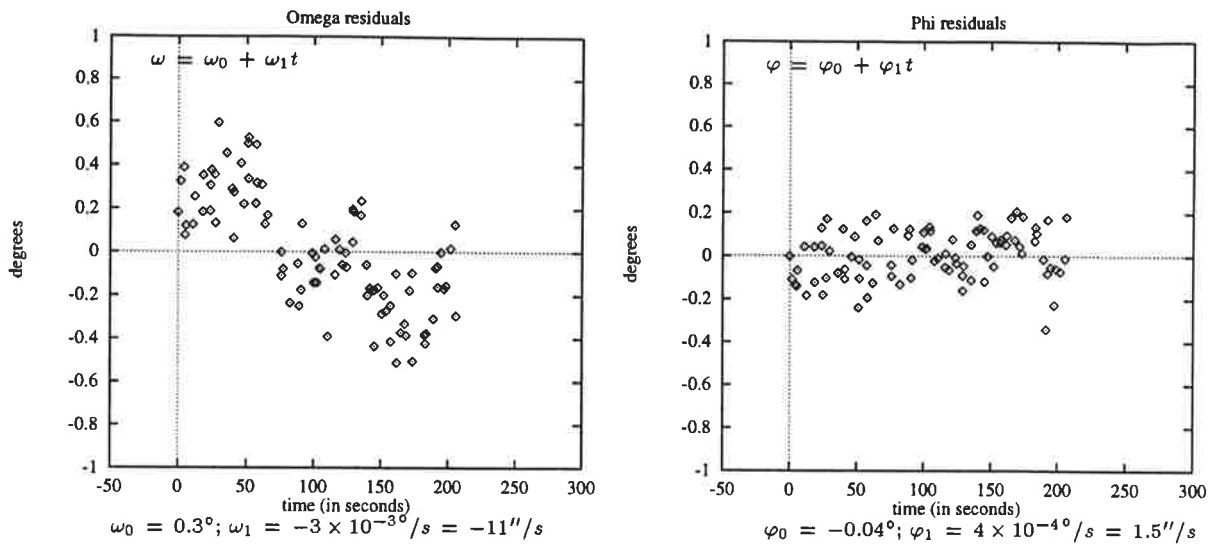


Figura 3: Comportament de ω i φ en el test dinàmic (vol de Calaf).

5 Bloc d'Arbeca

El bloc d'Arbeca va ser volat el 19 de juliol de 1994, està format per 4 passades d'un total de 14 que formen el projecte original que recobreixen el terme municipal d'Arbeca amb l'objectiu de fer un estudi de l'agricultura de la zona. Les passades van ser volades de sud a nord i de nord a sud alternativament.

Van ser identificats 9 punts de control i, a més, 49 punts de comprovació en els ortofotomapes digitals d'escala 1:25000 de Catalunya, que tenen un píxel de $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ i una precisió aproximada de 2.5 m. (Per tant els nostres càlculs posteriors estan afectats per aquestes precisions.) Les alçades també han estat extretes de la base de dades d'elevacions del terreny de Catalunya, que té una precisió estimada en 2 m, així com també les observacions de DEM han estat extretes d'aquesta mateixa base de dades. A més, els punts de control aeri han estat calculats usant les observacions de fase GPS i les observacions de l'actitud han estat obtingudes mitjançant el giroscopi del sistema *cas*.

Els punts de control (9) estan distribuïts als extrems (4+3) i als centres (1+1) de les passades laterals, mentre que els punts de comprovació estan distribuïts uniformement pel centre del bloc (veure figura 1).

Com els punts de control aeri han estat calculats a partir de les observacions de fase GPS resolent un únic conjunt d'ambigüitats per a les quatre passades (amb precisions estimades en 0.1 m pels punts de control aeris i un biaix global menor de 5 m), caldria esperar que un únic grup de paràmetres pels biaixos aeris (X,Y,Z) bastaria. Però aquests paràmetres estan absorbint altres errors a més dels propis del posicionament cinemàtic GPS. Aquestes altres fonts d'error són el desalineament del giroscopi amb el sensor, la incompleta calibració geomètrica del sensor i els errors d'una sincronització imperfecta entre el subsistema de registre de temps del *cas* i el temps GPS. Així, tot i que vàrem introduir en el model una matriu de desalineament entre el giroscopi i el sensor, va resultar necessari usar dos grups de paràmetres per biaixos aeris; un per a les passades de nord a sud i l'altre per a passades de sud a nord. (Els valors per a la Y —direcció del vol— d'aquests paràmetres són molt diferents: -850 m i 520 m respectivament.)

En aquest bloc hem assajat diversos models matemàtics per tal de poder modelitzar el comportament del giroscopi. El model bàsic és el de les equacions de colinearitat:

Tipus de sensor	<i>CASI 501</i>	num. de punts	134
focal	12.5 mm	num. grups de biaix aeri	2
alçada de vol	1819 m	Punts de control	
velocitat de vol	254 Km/h	<i>passada</i>	<i>punts en passada</i>
solapament de passades	40 %	I	4
llargària	17200 m	II	3
amplada	2868 m	III	3
temps entre línies	31 ms	IV	5
mida del pixel	2.2m × 2.2m	num. total punts de control	9
num. de passades	4	Punts de comprovació	
<i>passada</i>	<i>línies en passada</i>	<i>passada</i>	<i>punts en passada</i>
I	5199	I	16
II	5108	II	35
III	5501	III	35
IV	5294	IV	16
num. total de línies	21102	num. total punts de comprovació	49
num. d'obs. foto.	266		
obs. foto. per punt	1.99		
obs. foto. per línia	0.013		

Taula 4: Principals paràmetres del bloc d'Arbeca.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{T_i} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{CP_j} + \lambda^j R(\omega^j, \varphi^j, \kappa^j) \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{pmatrix}_{I_j^j}$$

on $(X, Y, Z)_{T_i}^T$ són les coordenades del terreny del punt i , $(X, Y, Z)_{CP_j}^T$ són les coordenades del centre de projecció de la línia j , λ^j és el factor d'escala per a la línia j , $\omega^j, \varphi^j, \kappa^j$ són els paràmetres de la matriu de rotació R i $(0, y, -f)_{I_j^j}^T$ són les coordenades d'un punt i de la línia j .

Per a modelitzar el comportament del giroscopi intentem ajustar una recta per a cada passada-imatge, i així tenim

$$\begin{pmatrix} \omega_g^j \\ \varphi_g^j \\ \kappa_{GPS}^j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s \omega^j \\ s \varphi^j \\ \kappa^j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \omega_0 + \omega_1(t^j - t_m) \\ \varphi_0 + \varphi_1(t^j - t_m) \\ \kappa_0 \end{pmatrix},$$

on ω_g^j i φ_g^j són les dades d'actitud proporcionades pel *casi* per la línia j , κ_{GPS}^j és el valor aproximat per κ a partir de la trajectòria GPS per la línia j , $\omega_0, \omega_1, \varphi_0$ i φ_1 són paràmetres de offset i derives dels giroscopis, t_m és la mitjana aritmètica del registre del temps de totes les línies que intervenen en l'ajust, t^j és el registre de temps per la línia j i s és un paràmetre d'escala de les observacions dels angles, ja que en el procés del sistema *casi* cal estimar mitjançant un procediment visual el valor òptim per aquest paràmetre.

Un altre aspecte a modelitzar són els angles de desalineament entre el giroscopi i el sensor. Així, al introduir una matriu de desalineaments substitueix $R(\omega^j, \varphi^j, \kappa^j)$ per $R(\omega^*, \varphi^*, 0)R(\omega^j, \varphi^j, \kappa^j)$ on ω^* i φ^* són els angles de desalineament comuns per a totes les passades del bloc, no usem cap κ^* ja que no disposem de cap sensor per κ .

Com a resultat dels ajustos usant els diferents models hem obtingut:

- Intentar determinar la matriu de desalineaments, no introdueix cap millora, ja que els angles ω^* i φ^* queden mal determinats i a més introdueix una forta correlació entre aquests i els paràmetres d'orientació exterior; és a dir, al intentar determinar aquests angles es perd precisió en la determinació de les posicions dels centres de projecció i dels biaixos GPS, en especial en la direcció del vol.
- Tampoc intentar estimar les derives del giroscopi introdueix cap millora, ja que queden mal determinades les actituds dels centres de projecció.

Però, en canvi hi ha d'altres paràmetres que sí han introduït millores:

- El paràmetre κ_0 per a determinar un offset mitjà per passada, el paràmetre diferència entre el rumb determinat a partir del trajectòria GPS i el valor real de κ . Pretendre ajustar el bloc sense aquest paràmetre introdueix errors sistemàtics en els punts de lligam: es produeixen errors de 15 a 20 m en la direcció del vol i de signe oposat a un i altre costat de la imatge.

Un altre aspecte que aporta millores importants és l'ús d'observacions de DEM, aquestes introdueixen grans millores en el càlcul de l'alçada. Sense aquestes observacions l'rms per Z és superior a 30 m mentre que al usar DEM aquest es redueix a 0.5 m, millores que ja es preveien a partir de les simulacions de la secció 3.

Així doncs, el model apropiat ha quedat establert en les equacions de colinearitat abans esmentades, on $\omega^j = \omega_g^j$, $\varphi^j = \varphi_g^j$, $\kappa^j = \kappa_{GPS}^j + \kappa_0$, i a més $(X, Y, Z)_{CP_j}^T = X_{GPS_j} + R(\omega^j, \varphi^j, \kappa^j) X_a + X_{biaix}$ on X_{GPS_j} són les coordenades de la posició obtinguda a partir de les observacions GPS, X_a és l'excentricitat de l'antena GPS respecte el centre de projecció i X_{biaix} és el grup de biaixos per a les posicions GPS comuns a tota una passada. A més introduïm característiques de la superfície del terreny mitjançant una interpolació bilineal del DEM.

Sota aquest model els residus per a les observacions angulars ω i φ són de 0.14° i 0.13° respectivament, és a dir, sobre uns 2 cops el IFOV, és a dir, 2 píxels.

En aquestes condicions, amb les que hem obtingut els millors resultats en el bloc, l'rms sobre els punts de comprovació és de 5.8 m en la direcció del vol, 4.3 m en la direcció perpendicular al vol i 0.5 m en alçada, tenint en compte que la mida del píxel sobre el terreny és de $2.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$, aquests errors són de 2.7, 1.9 i 0.25 píxels respectivament. Cal observar però, que l'rms per l'alçada predicable pel resultat de les simulacions hauria de ser de 2 m (≈ 1 píxel $\approx \sigma_{DEM}$). Aquest valor és millor degut a que totes les alçades han estat observades i després contrastades amb les pròpies observacions.

Aquests resultats, permeten fer mosaic d'ortofotos a partir de passades-imatges *casi* del mateix bloc, però no garanteixen la superposició sobre la cartografia existent ni sobre altres treballs fets amb anterioritat pel mateix sensor *casi*.

6 Conclusions

Les febleses geomètriques d'aquesta mena de sensors predites en la secció 3 mitjançant simulacions i confirmades en l'anàlisi del bloc d'Arbeca ens fan concloure que és necessari calibrar geomètricament en laboratori el sensor, de desenvolupar algoritmes per tractar les observacions GPS per a la determinació de punts de control aeri lliures de biaxos, d'un sistema d'actitud precís i consistent amb la resolució del sensor, d'un sistema de sincronització automàtic i robust entre els diferents subsistemes del sensor i de les eines de transferència digital automàtica de punts (ja desenvolupades pel bloc d'Arbeca).

7 Agraïments

El sistema *casi-501* va ser finançat per la DGR-CIRIT (Direcció General de Recerca - Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica). Estem agraïts a Julià Talaya qui va fer el procés cinemàtic GPS amb programari desenvolupat en el contexte del projecte NOSA [4], a Assumpció Térmens per l'ajuda a l'afegir els models del *casi* al sistema GeoTeX i a Toni Ruiz per l'ajuda amb la informació DEM. Cristina Ruiz realitzà les mesures fotogramètriques amb programari de transferència de punts digital desenvolupat per Pep Navarro i Pere Rios.

Referències

- [1] Baulies, X., 1994. The CASI'91 campaign in Catalonia. *Terra. Revista Catalana de Geografia, Cartografia i Ciències de la Terra*, Vol. 9, pp. 19-27.
- [2] Baulies, X., Pons X., 1995. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 16, No. 1, pp. 61-80.
- [3] Colomina, I., Navarro, J., Térmens, A., 1992. GeoTeX: a general point determination system. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 29, Comm. III, pp. 656-664.
- [4] Colomina, I., Talaya, J., Baulies, X., 1995. The N.O.S.A. project and concept for sensor orientation. *3rd International Workshop HIGH PRECISION NAVIGATION*, Stuttgart, Germany
- [5] Petsa, E., Patias, P., 1994. Sensor attitude determination using linear features. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Como, Italy, Vol. 30, Comm. I, pp. 62-70.

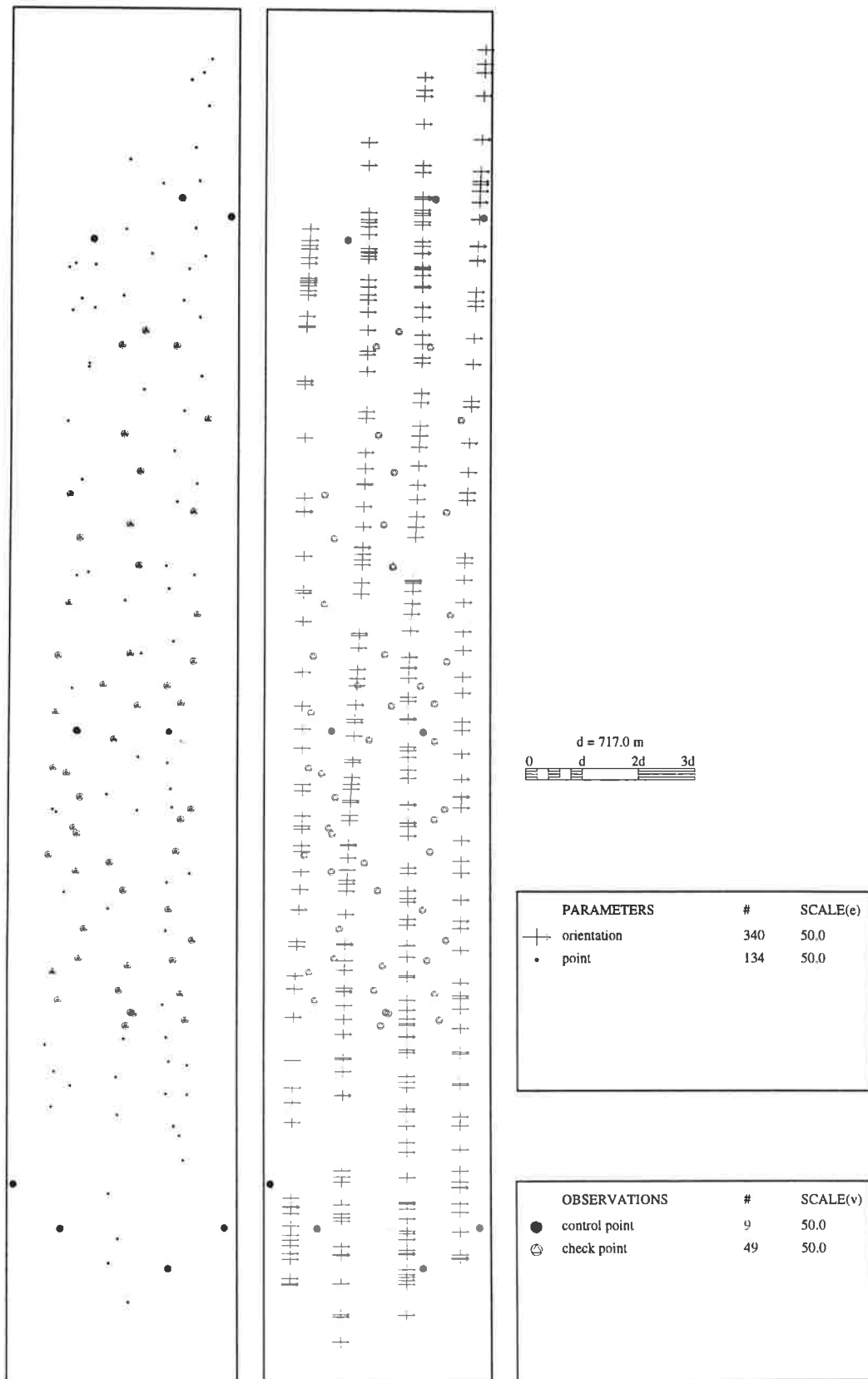


Figure 1: Punts i imatges en el bloc d'Arbeca.

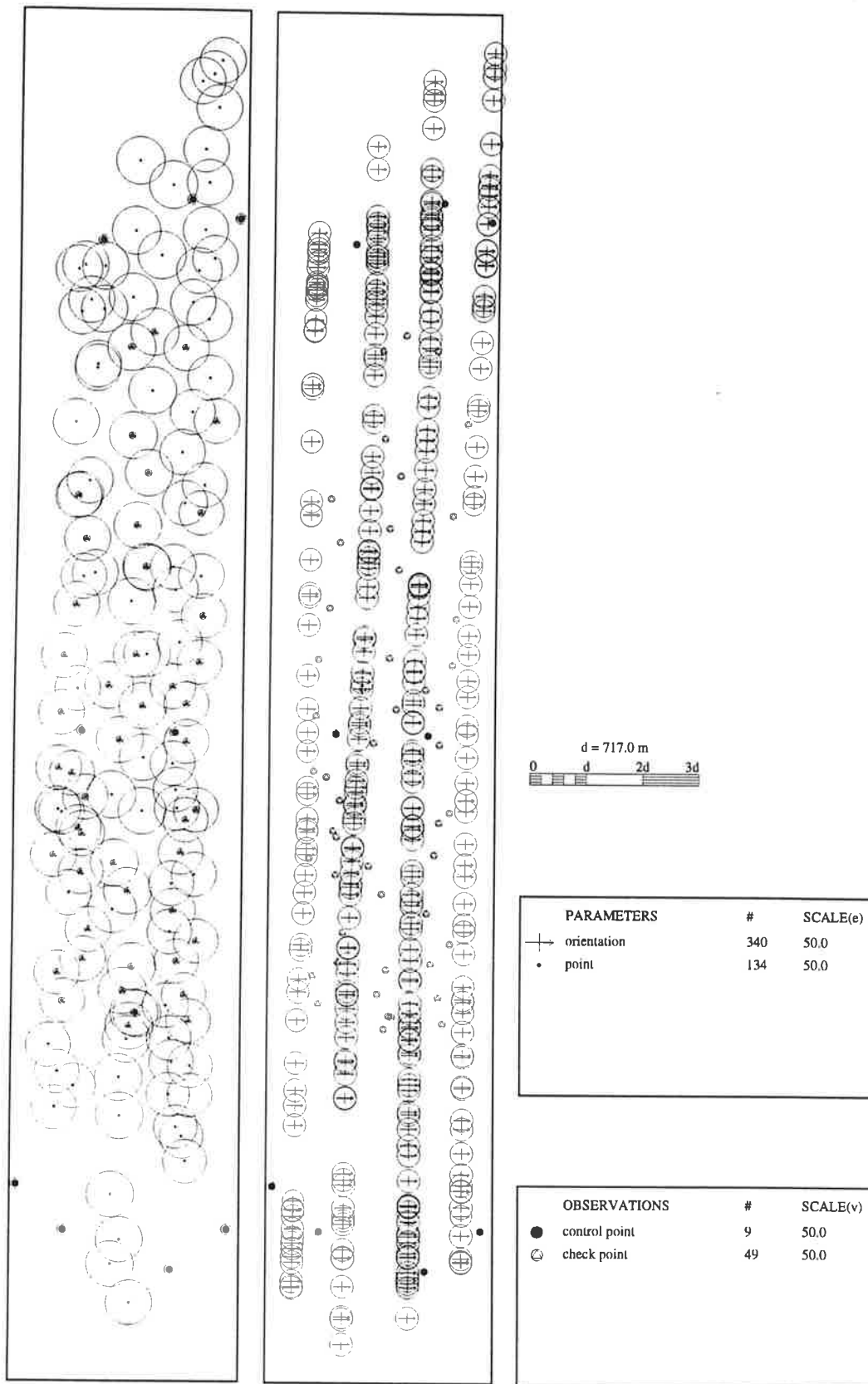


Figure 2: El·lipses d'error pels paràmetres de punt i posició d'orientacions ajustats (X, Y).

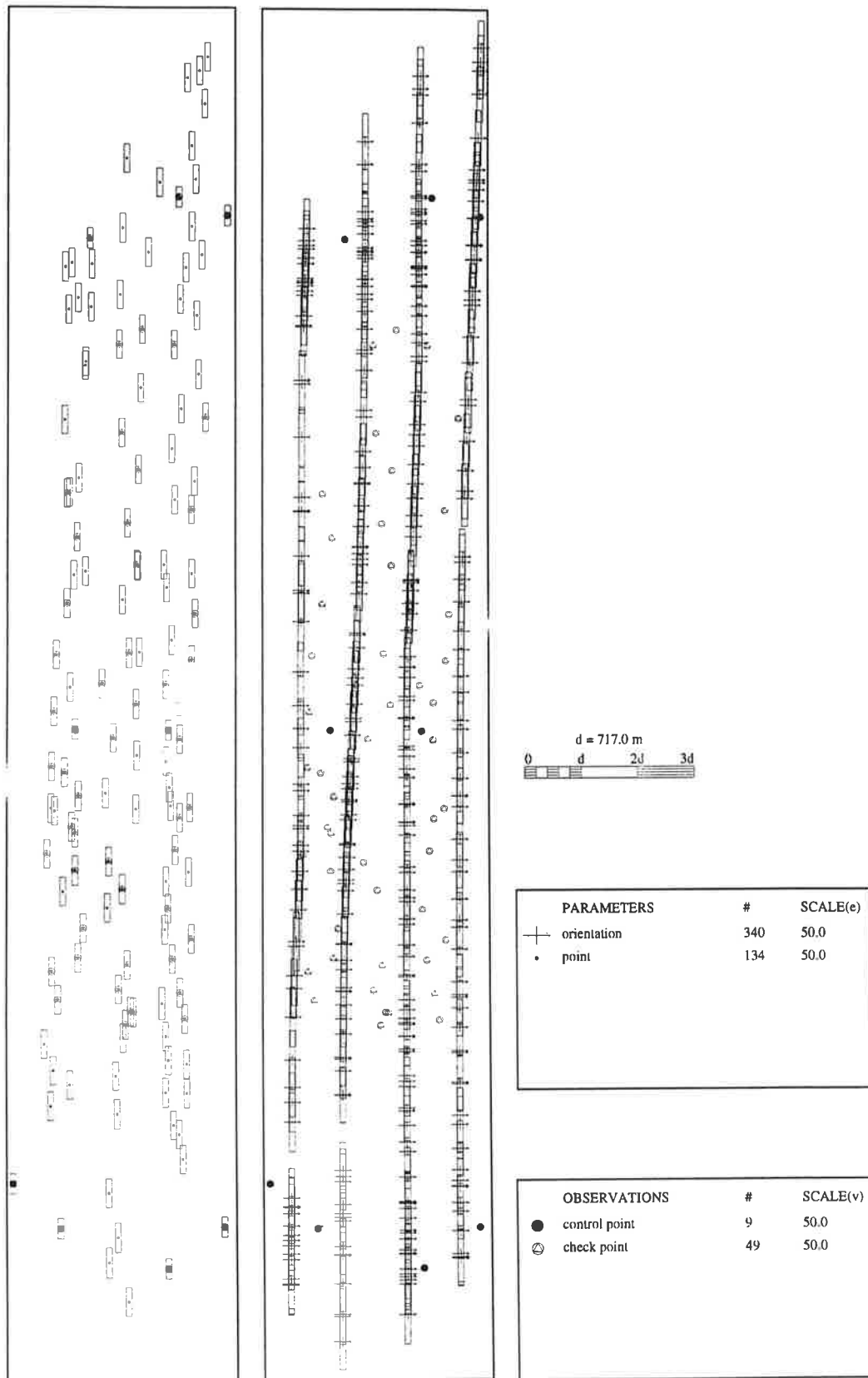


Figure 3: Barres d'error pels paràmetres de punt i posició d'orientacions ajustats (Z).