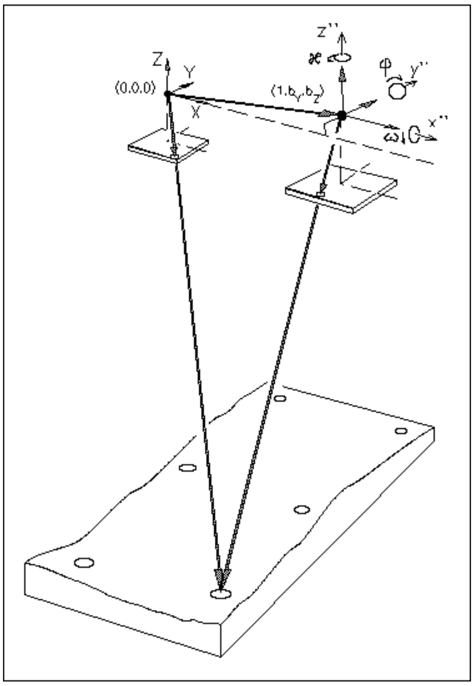
(P. Rönnholm / H. Haggrén, 5.10.2004)

Luento 6: Stereo- ja jonomallin muodostaminen

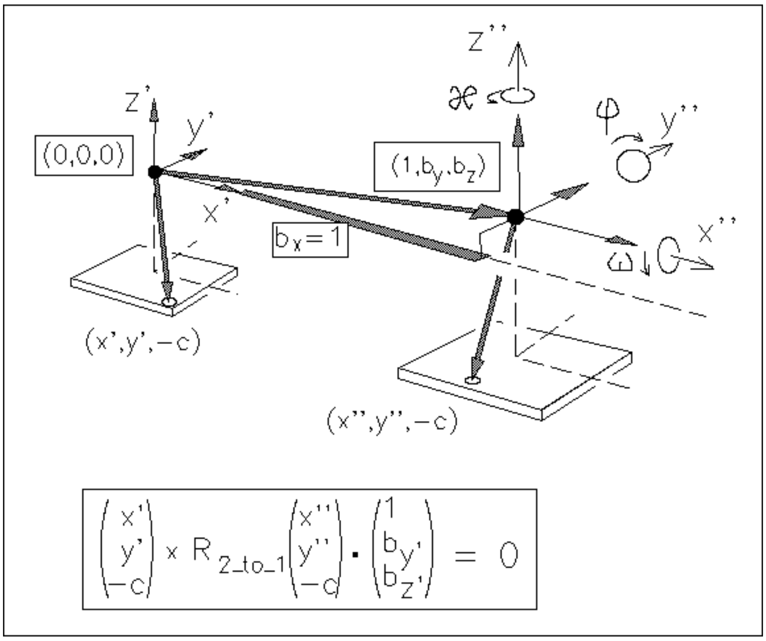
AIHEITA

Keskinäinen orientointi

Keskinäinen orientointi on oleellinen osa stereomittauksia. Tyypillisesti kuvien keskinäinen sijainti ja asento 3D tilassa ei ole tunnettu riittävän tarkasti. Keskinäisen orientoinnin jälkeen voidaan konvergentit kuvat oikaista stereokuvauksen normaalitapaukseen, jonka jälkeen kuvia voidaan tarkastella (ja mitata) stereona. On kuitenkin huomattava, että keskinäinen orientointi antaa yhteisen kohdekoordinaatiston, mutta tämä koordinaatisto on käytännössä täysin vapaasti valittavissa (usein kuitenkin ensimmäisen kuvan koordinaatisto). Vapaasti valittu koordinaatisto ei yleensä vastaa haluttua maastokoordinaatistoa. Keskinäinen orientointi varmistaa mitattavan 3D mallin sisäisen oikeellisuuden. Myöhemmin voidaan huolehtia mallin skaalaamisesta, siirtämisestä ja kiertämisestä lopulliseen kohdekoordinaatistoon.



Kuvaparin keskinäinen orientointi eteenpäinleikkauksen avulla.



Koplanariteettiehto. Havaintovektorit ja kantavektori virittävät tason (vertaa ylempi kuva). Matemaattisesti tilanne voidaan esittää skalaarikolmitulolla. Skalaarikolmitulo kertoo kolmen vektorin muodostaman suuntaissärmiön tilavuuden. Jos vektorit ovat samassa tasossa, tilavuutta ei ole ja skalaarikolmitulo = 0. Kantavektorin b_x-komponentille voidaan antaa mikä tahansa alkuarvo (määrää mallin mittakaavan). Tässä tapauksessa on valittu b_x-komponentille arvo yksi sen yksinkertaisuuden takia.

Seuraavissa yhtälöissä on tehty merkintä: -c = z

$$\begin{pmatrix} \bar{x}'' \\ \bar{y}'' \\ \bar{z}'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\varphi\cos\varkappa & -\cos\varphi\sin\varkappa & \sin\varphi \\ \cos\omega\sin\varkappa + \sin\omega\sin\varphi\cos\varkappa & \cos\omega\cos\varkappa - \sin\omega\sin\varphi\sin\varkappa & -\sin\omega\cos\varphi \\ \sin\omega\sin\varkappa - \cos\omega\sin\varphi\cos\varkappa & \sin\omega\cos\varkappa + \cos\omega\sin\varphi\sin\varkappa & \cos\omega\cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix}$$

Kuvan 2 havaintojen kiertäminen kuvan 1 koordinaatistoon.

$$\triangle = \begin{vmatrix} 1 & x' & \bar{x}'' \\ by & y' & \bar{y}'' \\ bz & z' & \bar{z}'' \end{vmatrix} = 0$$

Jos vektorit ovat samalla tasolla, determinantin tulee siis olla nolla.

$$d\triangle = \triangle - \triangle_o = \frac{\partial\triangle}{\partial\, by}\, dby + \frac{\partial\triangle}{\partial\, bz}\, dbz + \frac{\partial\triangle}{\partial\omega''}\, d\omega'' + \frac{\partial\triangle}{\partial\varphi''}\, d\varphi'' + \frac{\partial\triangle}{\partial\varkappa''}\, d\varkappa''$$

Taylorin sarjakehitelmän mukainen differentiaaliyhtälö.

$$\frac{\partial \Delta}{\partial by} = \begin{vmatrix} 0 & x' & \bar{x}'' \\ 1 & y' & \bar{y}'' \\ 0 & z' & \bar{z}'' \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial bz} = \begin{vmatrix} 0 & x' & \bar{x}'' \\ 0 & y' & \bar{y}'' \\ 1 & z' & \bar{z}'' \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \omega''} = \begin{vmatrix} 1 & x' & 0 \\ by & y' & -\bar{z}'' \\ bz & z' & \bar{y}'' \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \varphi''} = \begin{vmatrix} 1 & x' & -\bar{y}'' \sin \omega'' + \bar{z}'' \cos \omega'' \\ by & y' & \bar{x}'' \sin \omega'' \\ bz & z' & -\bar{x}'' \cos \omega'' \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \varkappa''} = \begin{vmatrix} 1 & x' & -\bar{y}'' \cos \omega'' \cos \varphi'' - \bar{z}'' \sin \omega'' \cos \varphi'' \\ by & y' & \bar{x}'' \cos \omega'' \cos \varphi'' - \bar{z}'' \sin \varphi'' \\ bz & z' & -\bar{x}'' \sin \omega'' \cos \varphi'' + \bar{y}'' \sin \varphi'' \end{vmatrix}$$

Virheyhtälökertoimet determinanttimuodossa. Ositteisderivaatat on paremmin hallittavissa, jos tulokset kirjoittaa determinanttimuodossa. Toki mikään ei estä kertomasta determinanttia auki ja tekemästä osittaisderivointeja vasta sitten, mutta lausekkeet tulevat varsin pitkiksi.

$$v_{\Delta} = \frac{\partial \Delta}{\partial by} dby + \frac{\partial \Delta}{\partial bz} dbz + \frac{\partial \Delta}{\partial \omega''} d\omega'' + \frac{\partial \Delta}{\partial \varphi''} d\varphi'' + \frac{\partial \Delta}{\partial \varkappa''} d\varkappa'' + \Delta_0$$

Virheyhtälöt.

Ratkaisu lasketaan pienimmän neliösumman menetelmällä. Koska tällä kertaa ei ole mitään "absoluuttisia" referenssimittauksia, pitäisi käyttää yleistä pienimmän neliösumman menetelmää. Kun yhtälöt puretaan osiin, sen voidaan huomata supistuvan, kun siirrytäänkin tarkastelemaan vain pystyparallakseja. Sopivasti sieventämällä yhtälö muuttuukin virheyhtälötasoituksen muotoon. Sieveneminen perustuu oletukseen, että kuvat ovat lähes pystykuvia. Jos kuvat eivät ole pystykuvia, täytyy tulokset laskea yleisellä PNS-tasoituksella. Seuraavassa esimerkissä on käytetty suoraan virheyhtälötasoitusta.

Esimerkki

	Observed image coordinates [mm]			
	Image_1		Image_2	
Point	x	y	x	y
1301	10.753	-31.801	-9.258	-29.078
1102	-17.41	30.379	-35.292	31.028
1104	19.961	-25.445	-38.199	-22.44
1201	7.177	-7.758	-11.199	-5.729
1203	-2.118	12.527	-21.393	14.067
1302	39.421	-24.783	20.092	-22.797
1303	36.627	29.503	17.767	31.253
1304	21.396	30.493	1.894	31.929
1305	32.942	-5.954	14.532	-4.063
2106	37.665	-3.729	18.709	-1.835

Ratkaistaan keskinäisen orientoinnin tuntemattomat PNS-menetelmällä. Schutin keskinäisen orientoinnin menetelmä on iteratiivinen: iteraatiokierroksen tulos otetaan 0-asennoksi seuraavaan linearisointiin.

1. iteraatio. Rakennematriisi A ja "vakio-osa" D_o_i, joka saadaan lasekemalla koplanariteettiehdon arvo sen hetkisillä likiarvoilla (erikoistapaus) ja kertoo oikeasti havaintoparien aiheuttaman pystyparallaksin määrän (pitäisi jakaa vielä kameravakiolla ja b_x:llä):

k(by)	k(bz)	k(omega")	k(phi")	k(kappa")	D_o_i
1203.862	-607.089	4543.935	-294.414	-556.961	163.8157
1075.781	531.9382	4561.825	1072.136	-2123.17	39.04384
1097.198	-524.049	4190.211	-971.974	-2298.05	180.7808
1105.5	-127.999	3663.671	-86.8818	-673.732	122.0646
1159.584	238.1962	3795.443	267.9901	-1287	92.6464
1162.833	-400.741	4184.204	497.94	1208.735	119.4778
1134.618	620.5238	4541.283	-524.18	1068.863	105.28
1173.24	625.3991	4592.837	-57.7537	113.943	86.38976
1107.546	-47.3198	3643.417	86.52353	874.2451	113.7626
1140.393	0.650586	3626.068	69.76586	1125.533	113.943

Tulos on muutoksia lähtölikiarvoihin (alkuarvot ovat yleensä nollia):

d(by)	d(bz)	d(omega")	d(fii")	d(kappa")	D_o_i
0.051753	-0.05383	0.000979	-0.041	0.000742	52.97728
0.010968	0.000902	0.001002	0.000669	0.000312	11.3023
			1.04554	0.999687	
			4	2551.147	
			4.372618	13943.99	
-0.05175	**0.053831**	**0.000979**	**-0.041**	**0.000742**	

Lasketaan saatujen tulosten mukaiset uudet kuvahavainnot kierretylle kuvalle:

	Observed			Transformed		
	Image_1			Image_2		
Point	x	y	z	x	y	z
1301	10.753	-31.801	-60.16	-11.7377	-29.1296	-59.7006
1102	-17.41	30.379	-60.16	-37.7052	30.99675	-58.6942
1104	-19.961	-25.445	-60.16	-40.6494	-22.4689	-58.5211
1201	7.177	-7.758	-60.16	-13.6597	-5.77907	-59.6446
1203	-2.118	12.527	-60.16	-23.8304	14.02489	-59.2468
1302	39.421	-24.783	-60.16	17.59234	-22.8715	-60.9099
1303	36.627	29.503	-60.16	15.30938	31.18023	-60.8692
1304	21.396	30.493	-60.16	-0.54977	31.86865	-60.2193
1305	32.942	-5.954	-60.16	12.05091	-4.13321	-60.7009
2106	37.665	-3.729	-60.16	16.22605	-1.90848	-60.8744

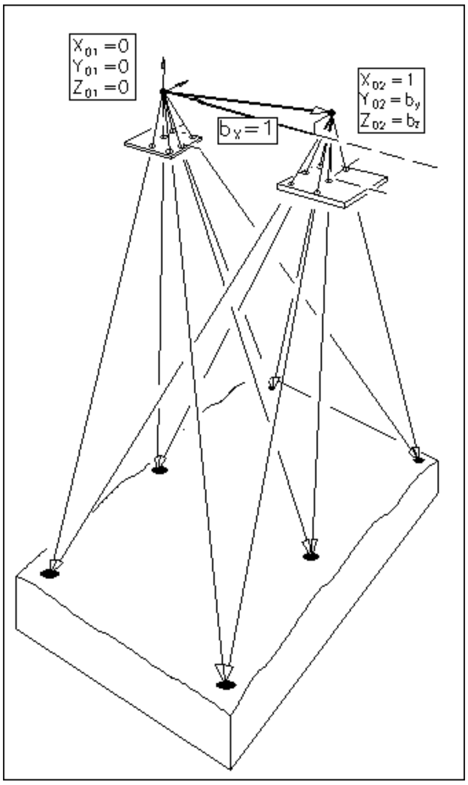
Käytetään saatuja uusia kuvakoordinaatteja seuraavalla iteraatiokierroksella. 2. kierroksen tulokset yhdistetään 1. kierroksen tuloksiin (alin rivi):

by	bz	omega"	phi"	kappa"	D_o_I
0.021084	0.009095	-0.0009	1.93E-06	-0.00075	20.43459
0.008568	0.00052	0.000639	0.000391	0.000189	9.900329
			0.61283	0.991885	
			4	97.78846	
			1.502243	183.6275	
-0.07284	**0.044737**	**7.9E-05**	**-0.041**	**-1.1E-05**	

3. iteraatiokierroksen vaikutukset ovat jo hyvin pienet ja iteraatio voidaan lopettaa:

by	bz	omega"	phi"	kappa"	D_o_l
6.55E-05	7.55E-05	-4.2E-05	-0.00011	-5.9E-06	20.35151
0.008611	0.000506	0.000645	0.000392	0.000191	9.948256
			0.615889	0.019097	
			4	0.015575	
			1.517278	0.029539	
-0.0729	**0.044661**	**3.66E-05**	**-0.0411**	**-1.7E-05**	

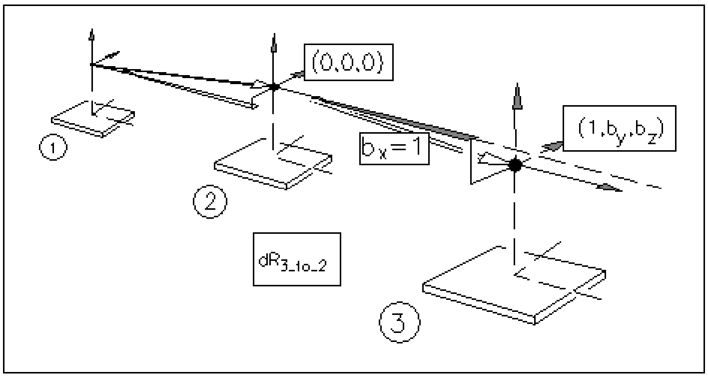
Mallikoordinaattien laskeminen



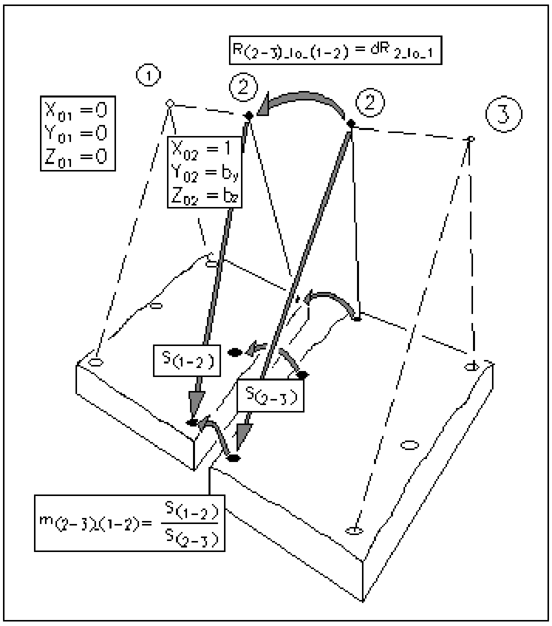
Mallikoordinaattien laskeminen.

Jonomallin muodostaminen

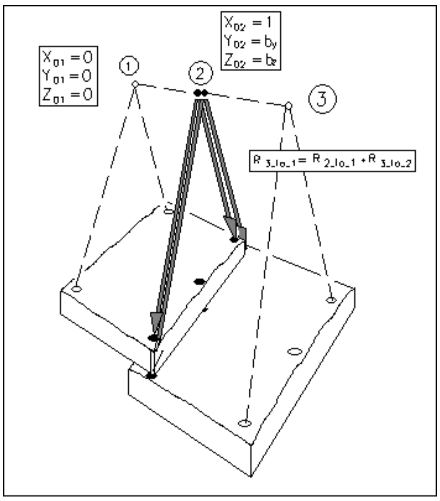
- Keskinäinen orientointi tehdään kuvaliitosmenetelmällä analyyttisesti. Kun jonoa kasvatetaan, kuvaliitosorientoinnilla ratkaistaan koordinaatistomuunnos (3 kiertoa, 3 siirtoa) uudelta kuvalta jonon edelliselle kuvalle.
- Mittakaava voidaan yliviedä liitospisteen mallikoordinaattien korkeuslukemilla periaatteella, että kahden peräkkäisen mallin z-havaintojen täytyy olla samassa pisteessä samat. Jos ei ole, uuden mallin mittakaavaa muutetaan kantaa pidentämällä tai lyhentämällä.
- Jonomallin koordinaatisto on 1. stereomallin koordinaatisto eli 1. kuvan koordinaatisto, kunnes jonolla on mitattu riittävästi lähtöpisteitä sen muuntamiseksi kohdekoordinaatistoon.
- Jonomallin muodostaminen tulee kyseeseen ilmakolmiointia alustavana työvaiheena, jolla tuotetaan likiarvot kolmioinnin orientointi- ja pistetuntemattomille.



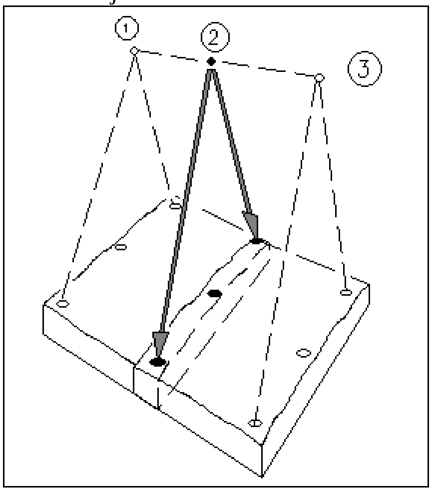
Uuden kuvan orientointi jonolle.



Uuden mallin muuntaminen edellisen mallin koordinaatistoon.



Mallin 32 siirtäminen ja kiertäminen mallin 21 koordinaatistoon.



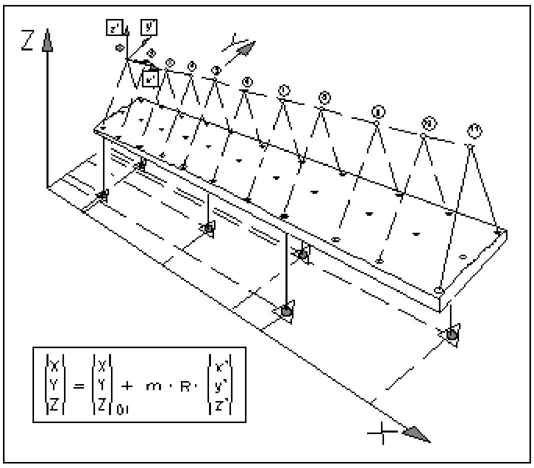
Mallin 32 mittakaavan muuttaminen mallin mallin 21 mukaan.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{(1-2)} = \begin{pmatrix} 1 \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix}_{(1-2)} + \frac{S_{(1-2)}}{S_{(2-3)}} \cdot dR_{2\_to\_1} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{(2-3)}$$

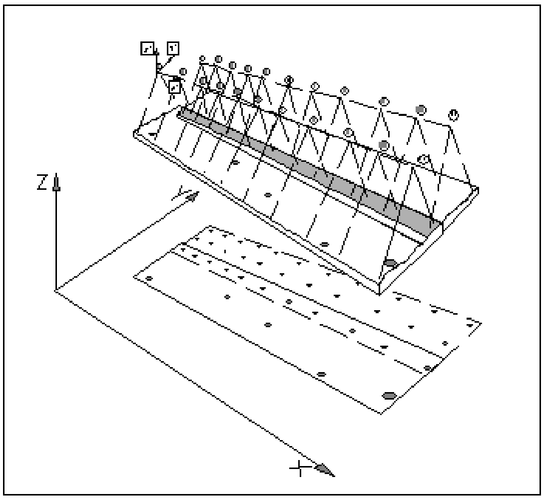
Uuden mallin muuntaminen edellisen mallin koordinaatistoon.

Absoluuttinen orientointi

Absoluuttinen orientointi tarkoittaa stereokuvilta, kuvajonolta tai kuvablokista mitatun 3D-mallin orientoimista haluttuun kohdekoordinaatistoon. Esimerkiksi heti keskinäisen orientoinnin jälkeen voidaan mitata 3D malli kohteesta, mutta emme saa mitatulle 3D-mallin elementeille oikeita kohdekoordinaatteja ennen absoluuttista orientointia.



Jonon muodostaminen yhteenliitetyistä malleista ja sen orientointi maastokoordinaatistoon.



Jonojen liittäminen toisiinsa.