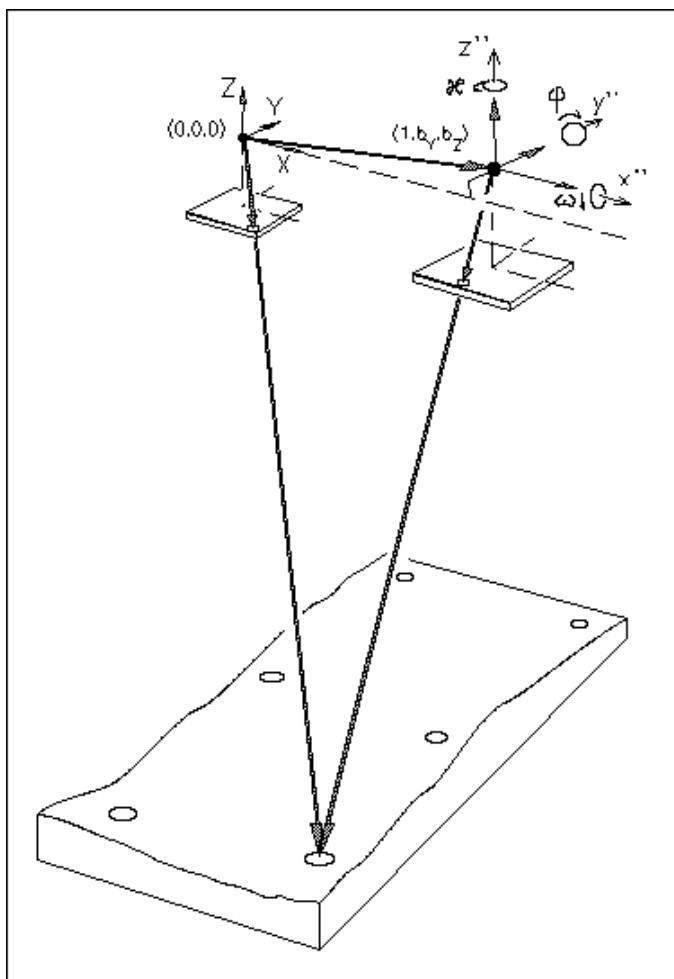


Luento 10: Keskinäinen orientointi

AIHEITA

- [Stereomalli](#)
- [Kuvan orientointiliikkeiden projektiot](#)
- [Laskennallinen keskinäinen orientointi](#)
- [Esimerkki: Riippumattoman kuvaparin keskinäinen orientointi](#)
- [Esimerkki: Kuvaliitosorientointi](#)

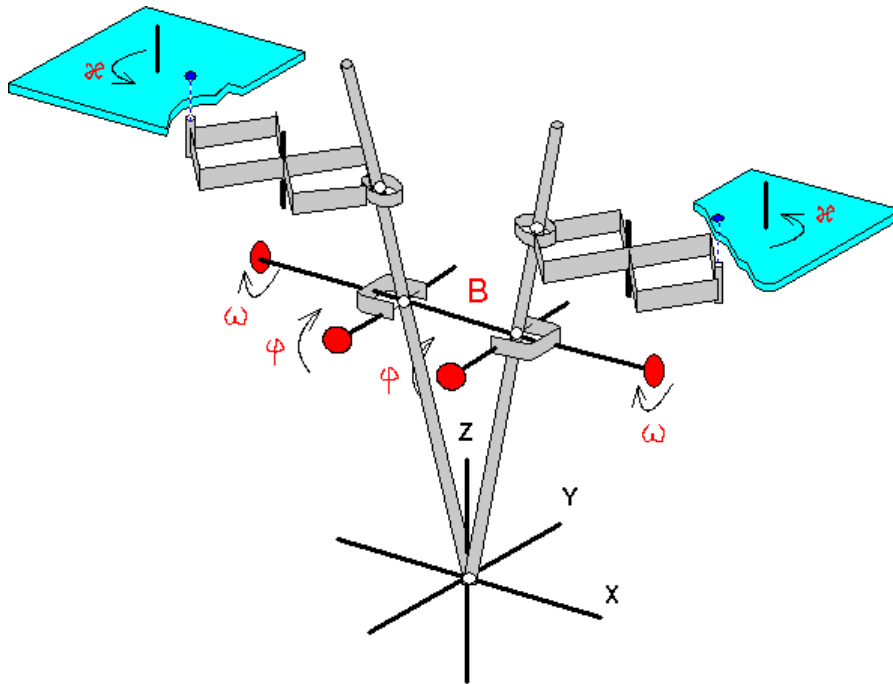
Kun stereomallia tulkitaan stereokartoituskojeella, avaruushjaus perustuu siihen, että kuvapari on keskinäisesti orientoitu. Keskinäinen orientointi tehdään sisäisesti orientoiduille kuville. Orientoinnilla haetaan kuville niiden alkuperäinen kuvaushetkeä vastaava keskinäinen asema. Orientointiin käytetään kummankin kuvan siirto- ja kiertoliikkeitä yhteisessä mallikoordinaatistossa. Orientointi ratkaistaan havaitsemalla pystyparallaksia stereomallin projektotasolla ja poistamalla sitä systemaattisesti kuvien projektiota muuttaen (**kokeellinen keskinäinen orientointi**). Kuvien orientointiliikkeet voidaan myös laskea havaituista pystyparallakseista (**laskennallinen keskinäinen orientointi**).



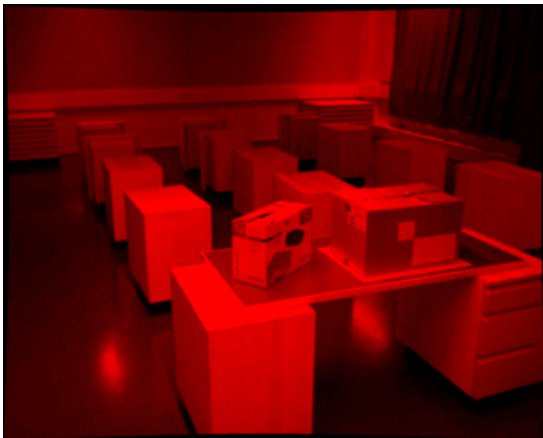
Keskinäinen orientointi tehdään joko **kuvaliitosorientointina** tai **riippumattoman kuvaparin orientointina**. Riippumattomien kuvaparien tapauksessa orientointi tehdään kummankin kuvan orientointiliikkeillä. Kuvaliitosorientoinnissa käytetään orientointiin vain toisen kuvan orientointiliikkeitä. Tämä tulee kyseeseen esimerkiksi kuva-sarjassa, jossa uusi kuva orientoidaan suoraan muiden kuvien yhteiseen mallikoordinaatistoon.

Stereomalli

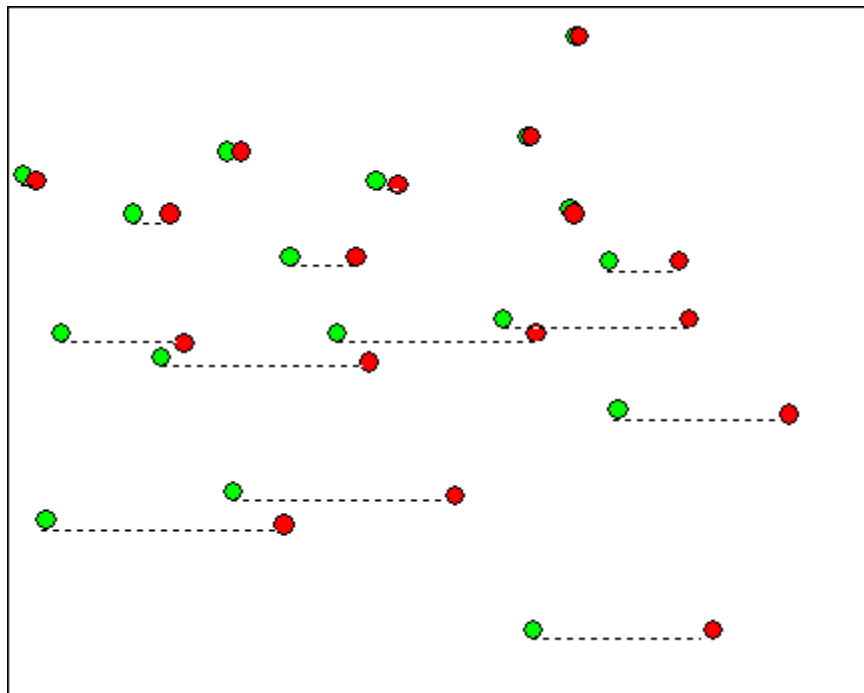
Stereomalli muodostuu, kun kuvat projisioidaan uudestaan kohdetilaan. Sekä vasemmalta että oikealta kovalta projisioituvat vastinvalonsäteet leikkaavat toisensa stereomallin pinnassa. Mallin pinta noudattaa muodoiltaan alkuperäisen kohteen pintaa. Stereomallin mittaamisen edellytyksenä on, että vastinvalonsäteet leikkaavat tarkasti. Tämä on mahdollista vain, jos sädekimput ovat oikean muotoiset (**sisäinen orientointi**) ja jos kuvien keskinäinen asema on sama kuin se oli kuvaushetkellä (**keskinäinen orientointi**).



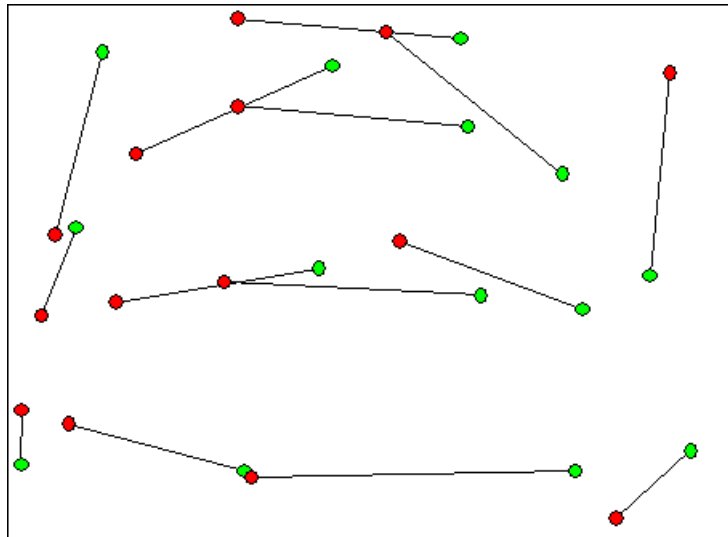
Keskinäinen orientointi edellyttää stereokartoituskojetta, jossa kuvat oikaistaan (**kiertokulmat κ , ϕ , ω**). Kuvien oikaisu voidaan toteuttaa analogisesti kuten tässä (**analogiset stereokartoituskojeet**), analyttisesti eli laskemalla (**analyttiset stereokartoituskojeet**), tai digitaalisesti eli näytteistämällä kuvat uudestaan (**digitaaliset stereokartoituskojeet**). Kuvakannan **B** pituus määrittää mallikoordinaatiston XYZ mittakaavan eikä vaikuta keskinäisen orientoinnin kiertokulmiin.



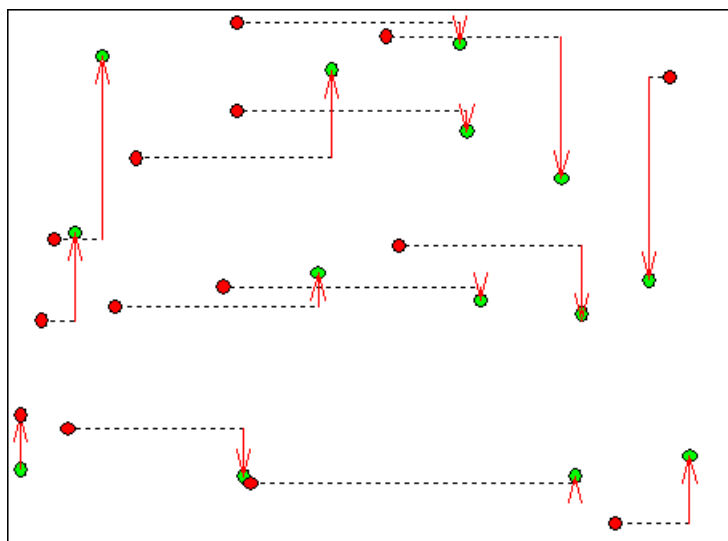
Kun keskinäisesti orientoitu kuvapari projisoidaan tarkastelutasolle, vastipisteet eroavat toisistaan ainoastaan tarkastelukannan suunnassa (**horisontaali- eli vaakaparallaksi**). Parallaksi näkyy tässä anaglyfikuvapariissa punaisen ja vihreän kuvan välisenä yhdensuuntaissiirtymänä ja muuttuu stereotarkastelun yhteydessä etäisyyshavainnoksi. Anaglyfilasein tarkasteltaessa kuvaparin vastinvalosäteet leikkaavat toisensa joko tarkastelutason ylä- tai alapuolella. Kuvista on poistettu optiikan piirtovirheet. (Kuvat: *Petteri Pöntinen*, 1999).



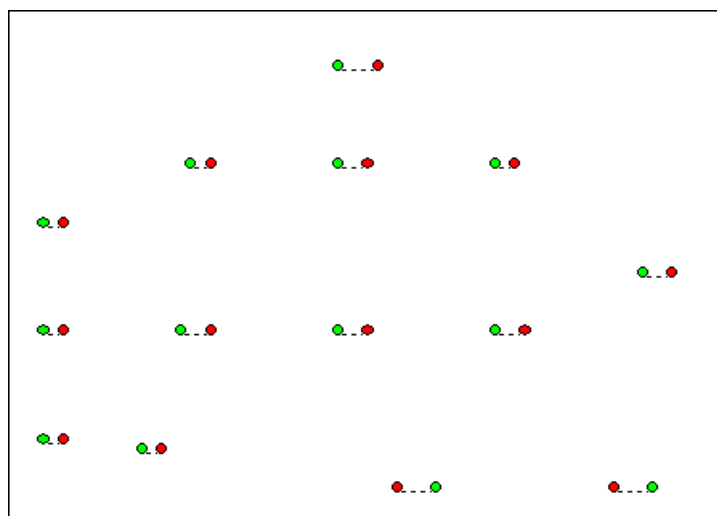
Normaalitapauksen mukaisessa stereokuvauksessa kuvien oikaisutarve on vähäinen. Näissä konvergenttikuvissa tilanne on päinvastoin. Kuvia ei voi edes tarkastella stereoskooppisesti ilman oikaisua.



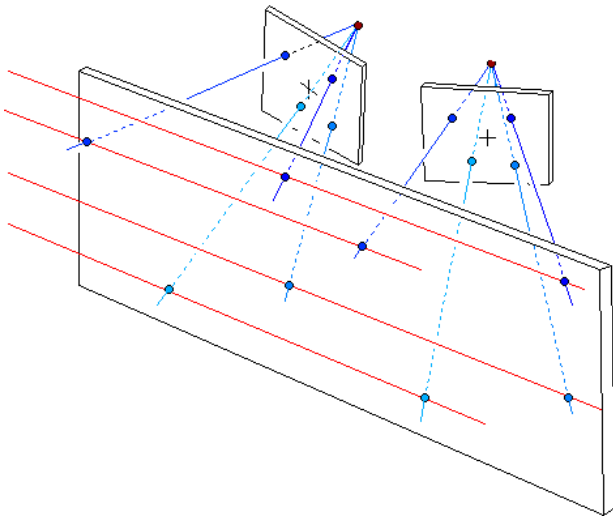
Konvergentin kuvaparin parallaksit.



Parallaksi jaettuna vaak- ja pystyparallaksiksi. Keskinäinen orientointi perustuu pystyparallaksin havaitsemiseen vähintään viidessä pisteessä. Orientointisuuret ratkaistaan laskemalla tai kokeellisesti.



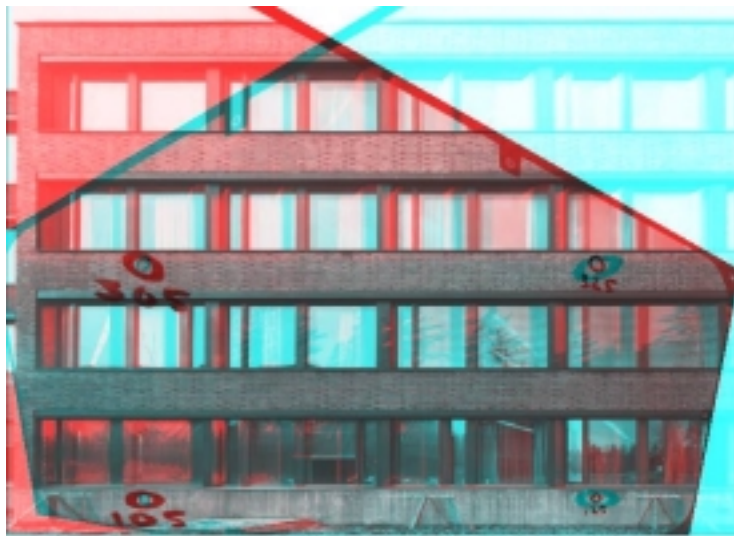
Oikaisu vaikuttaa myös vaakaparallaksiin. Vaakaparallaksin vakio-osa ei vaikuta kohteen muotoon, mutta siirtää kohteen tarkasteluetaisyysprojektiotason suhteen.



Oikaistu kuvapari vastaa stereokuvauksen normaalitapauksen mukaista kuvausta. Kuvat projisoidaan samalle tasolle ja lisäksi vaaditaan, että vastinpisteiden yhdyssuorat tulevat yhdensuuntaisiksi.



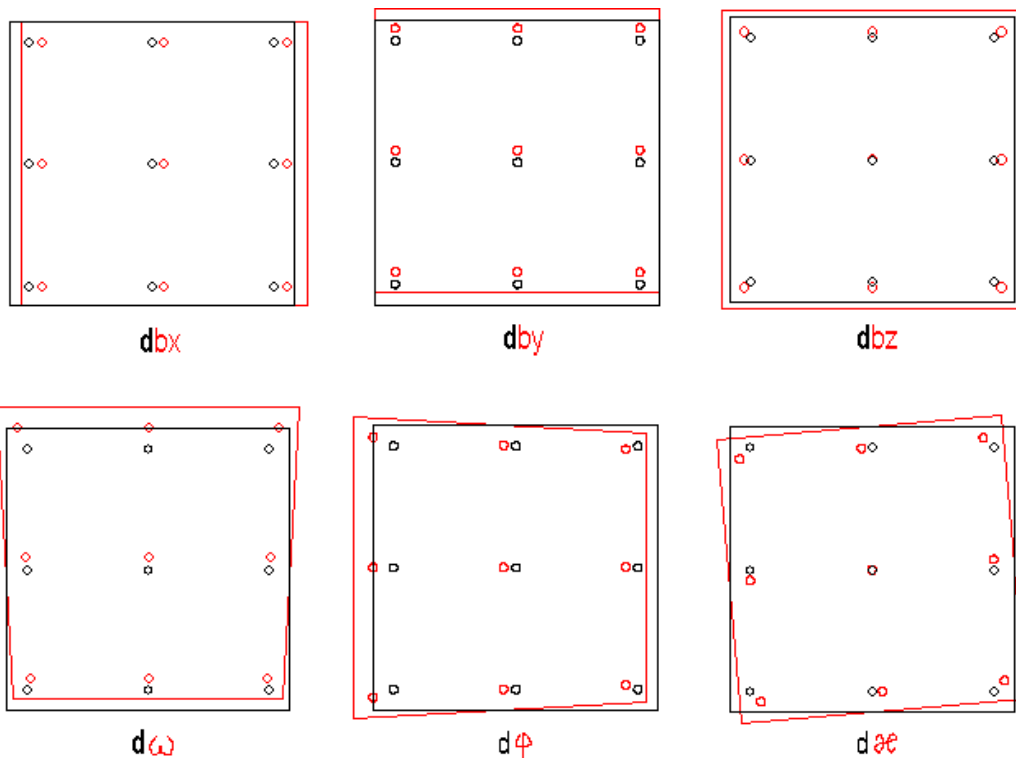
Kuvaparin projektiivinen oikaisu. Konvergentin kuvaparin kuvat on ensin digitoitu ja sen jälkeen oikaistu projektiivisesti stereokuvauksen normaalitapausta vastaavaksi kuvapariksi (Kuvat: *Petteri Pöntinen*, 1999).



Kuvapari anaglyfikuva. Stereotarkastelu on mahdollista, mutta hankalaa, koska kuvaparin kanta-suhde on huomattavan suuri: 2,3 (18 m : 7 m). Toisaalta tällaisen stereomallin mittaustarkkuus on hyvä myös kuvaussuunnassa.

Kuvan orientointiliikkeiden projektiot

- Kuvan orientointiliikkeet ovat
 - kuvan siirtäminen kuvatasolla kannan suunnassa (**bx**-siirto),
 - kuvan siirtäminen kuvatasolla kantaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (**by**-siirto),
 - kuvan siirtäminen kuvataso vastaan kohtisuorassa eli projektion suunnassa (**bz**-liike),
 - kuvan kiertäminen kuvaussuunnan ympäri (**kappa**-kierto),
 - kuvan kallistaminen kuvatason suuntaisen ja kantaa vastaan kohtisuoran vaaka-akselin ympäri (**fi**-kierto), ja
 - kuvan kallistaminen kannan ympäri (**omega**-kierto).
- Oheisessa kuvassa on esitetty kaikkien näiden liikkeiden vaikutus yhden kuvan projektiioon stereomallin tarkastelutasolla.

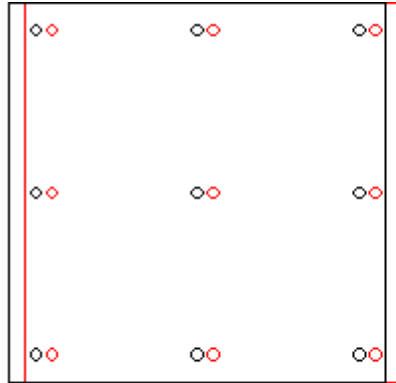


Laskennallinen keskinäinen orientointi

- Laskennallinen keskinäinen orientointi perustuu lausekkeisiin, joilla vaaka- ja pystyparallaksi kuvataan eri orientointiliikkeiden differentiaalisten muutosten funktioina. Differentiaalifunktiot ovat linearisoituja ja tuottavat orientoinnille ratkaisun, joka ei ole tarkka. Stereokuvauksen normaalitapauksen mukaisissa kuvauksissa tällä likimääräistyksellä ei ole oleellista vaikutusta, koska orientointiliikkeet ovat useimmiten niin pieniä, että jo ensimmäinen orientointikierto tuottaa tyydyttävän ja mittauskelpoisen stereomallin. Konvergenteilla kuvapareilla ratkaisu on iteroitava eli orientointi on toistettava.
- Keskinäinen orientointi on ns. viiden tuntemattoman tehtävä. Kaikkiaan 12 orientointisuureesta voidaan käyttää keskinäiseen orientointiin mitkä tahansa viisi, jotka vaikuttavat pystyparallaksiin ja ovat toisistaan riippumattomia. Tämän vuoksi **d_{bx}** ei käy ja sille voidaan antaa mikä arvo hyvänsä. Koska kummankin kuvan omega-kierto määrittää kiertoa yhteisen kantasuoran ympäri, omega_1 ja omega_2 eivät yhdessä käy, mutta niiden ero käy. Viidenneksi muuttujaksi merkitään näiden ero, yleensä **omega_2**, jolloin **omega_1 = 0**.
- Orientointi perustuu parallaksihavaintoihin. Pystyparallaksi havaitaan vähintään viidessä pisteessä eri puolella stereomallia. Peruskaaviona käytetään yleisesti ns. Gruberin kuutta pistettä, jotka on valittu erityisesti analogiakojeilla tehtävää keskinäistä orientointia ajatellen.

Laskennallisessa orientoinnissa havainnot tehdään yleensä 10 - 15 pisteessä eri puolilla mallia. Koska jokainen havainto muodostaa yhden havaintoyhtälön, ratkaisu voidaan tehdä tasoittuen.

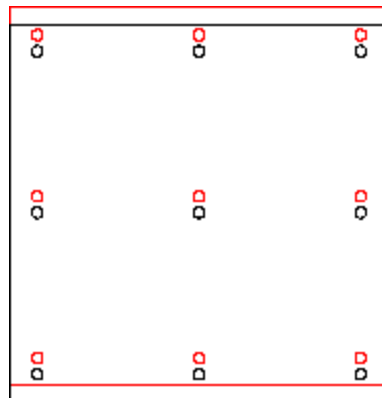
- Keskinäinen orientointi jaetaan kahteen perustapaukseen.
 1. **Riippumattomien kuvaparien menetelmässä** orientointi tehdään kummankin kuvan kiertoliikkeillä **kappa_1**, **kappa_2**, **phi_1**, **phi_2**, sekä **omega_2**.
 2. **Kuvaliitosmenetelmässä** orientoidaan uusi kuva jonolla jo orientoituun kuvaan. Tällöin käytetään vain uuden kuvan orientointisuureita **by**, **bz**, **kappa_2**, **phi_2** ja **omega_2**.
- Parallaksit yhdellä kuvalla. Kaavoissa kuvakoordinaatiston origo on kuvan keskellä. **Z**-koordinaatilla kuvataan projektion tarkasteluetaisyyttä.



dbx

$$px = -1 \cdot dbx$$

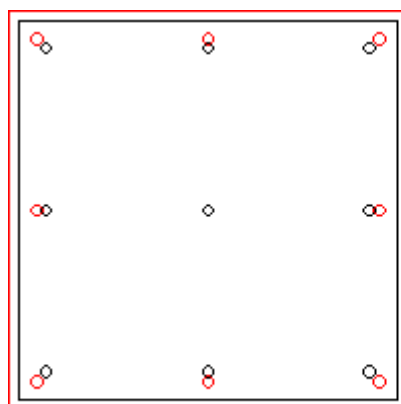
$$py = 0 \cdot dbx$$



dby

$$px = 0 \cdot dby$$

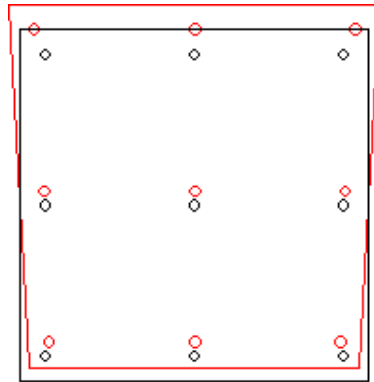
$$py = -1 \cdot dby$$



dbz

$$px = +\frac{x}{z} \cdot dbz$$

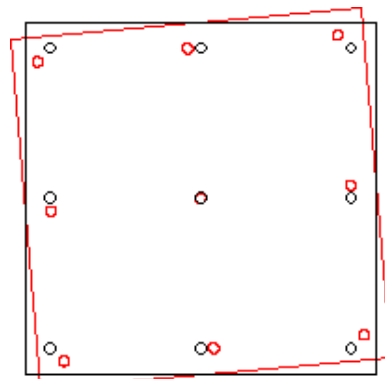
$$py = +\frac{y}{z} \cdot dbz$$



$$p_x = + \frac{xy}{z} \cdot d\omega$$

$$p_y = + z \left(1 + \frac{y^2}{z^2} \right) \cdot d\omega$$

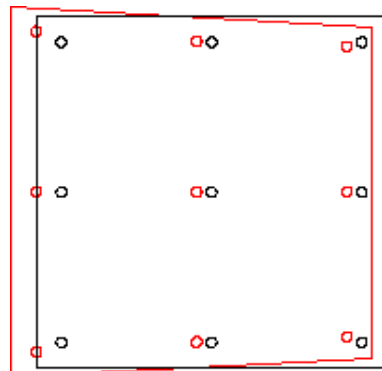
$d\omega$



$$p_x = + y \cdot d\epsilon$$

$$p_y = - x \cdot d\epsilon$$

$d\epsilon$



$$p_x = - z \left(1 + \frac{x^2}{z^2} \right) \cdot d\phi$$

$$p_y = - \frac{xy}{z} \cdot d\phi$$

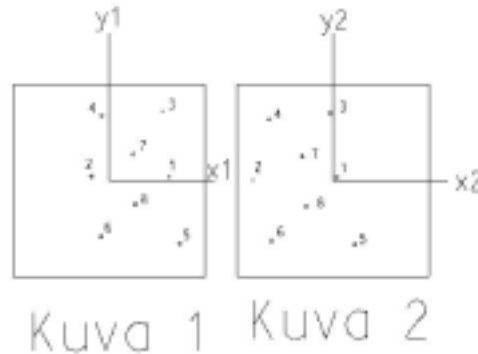
$d\phi$

$$\begin{aligned} p_y = & - x_{-1} \cdot d\epsilon_1 + x_{-2} \cdot d\epsilon_2 \\ & + \frac{x_{-1} y_{-1}}{z} \cdot d\phi_1 - \frac{x_{-2} y_{-2}}{z} \cdot d\phi_2 \\ & - \left(z + \frac{y_{-1}^2}{z} \right) \cdot d\omega_1 + \left(z + \frac{y_{-2}^2}{z} \right) \cdot d\omega_2 \\ & + 1 \cdot dby_1 - 1 \cdot dby_2 \\ & - \frac{y_{-1}}{z} \cdot dbz_1 + \frac{y_{-2}}{z} \cdot dbz_2 \end{aligned}$$

Pystyparallaksi kuvaparilla.

Esimerkki: Riippumattoman kuvaparin keskinäinen orientointi

- Orientointi tehdään kummankin kuvan kiertoliikkeillä **kappa_1**, **kappa_2**, **phi_1**, **phi_2**, sekä **omega_2**.
- Kuvahavainnot ovat esimerkistä, joka löytyy Kraussin kirjasta, s.127.
- Havaintopiirros kuvista (kuvakokoa ei ole kerrottu kirjassa, joten kuvan rajausta on symbolinen)



Observation equations:

$$v = -x_1 \cdot d_kappa1 + x_2 \cdot d_kappa2 + x_1 \cdot y_1 / c \cdot d_phi1 - x_2 \cdot y_2 / c \cdot d_phi2 + (c + y_2 \cdot y_2 / c) \cdot d_omega2 - py$$

Observations	x_1	y_1	x_2	y_2	y_1 - y_2
1	93.176	5.89	6.072	5.176	0.714
2	-27.403	6.672	-112.842	1.121	5.551
3	83.951	107.422	-4.872	105.029	2.393
4	-11.659	101.544	-99.298	95.206	6.338
5	110.326	-97.8	34.333	-99.522	1.722
6	-12.653	-87.645	-96.127	-93.761	6.116
7	37.872	40.969	-48.306	37.862	3.107
8	41.503	-37.085	-42.191	-40.138	3.053

Observation equations	d_kappa1	d_kappa2	d_phi1	d_phi2	d_omega2	-py
-93.176	6.072	3.594725	-0.20586	152.8455	0.714	
27.403	-112.842	-1.19757	0.828558	152.6782	5.551	
-83.951	-4.872	59.06979	3.351682	224.9245	2.393	
11.659	-99.298	-7.75464	61.92288	212.0411	6.338	
-110.326	34.333	-70.6745	22.38088	217.5461	1.722	
12.653	-96.127	7.263851	-59.0356	210.2525	6.116	
-37.872	-48.306	10.16295	11.97984	162.0597	3.107	
-41.503	-42.191	-10.0815	-11.0923	163.2226	3.053	

Estimates	d_kappa1	d_kappa2	d_phi1	d_phi2	d_omega2	py
[rad]	0.027658	-0.01247	-0.00537	0.000729	0.021914	0.04135
[deg]	1.584711	-0.71475	-0.30743	0.041768	1.255582	
[gon]	1.76079	-0.79416	-0.34159	0.046409	1.395091	
Standard errors of estimates						
[rad]	0.004244	0.004192	0.000457	0.000227	0.000179	0.38034
[deg]	0.243153	0.240197	0.026179	0.013019	0.010236	
[gon]	0.27017	0.266886	0.029088	0.014466	0.011374	

Esimerkki: Kuvaliitosorientointi

- Orientointi tehdään uuden kuvan orientointiliikkeillä **d_by**, **d_bz**, **kappa_2**, **phi_2**, sekä **omega_2**.
- Kuvahavainnot ovat esimerkistä, joka löytyy Kraussin kirjasta, s.127.
- Viimeisessä taulukossa on esitetty orientoinnin jälkeen lasketut mallikoordinaatit ja vastaavat jäännösparallaksit.

Observation equations:

$$v = -c/z*d_by + y_2/z*d_bz + x_2^2*d_kappa2 - x_2*y_2/c*d_phi2 + (c + y_2^2/c)*d_omega2 - py$$

Observations							
	x 1	y 1	x 2	y 2	y 1 - y 2	x 1 - x 2	z
1	93.176	5.89	6.072	5.176	0.714	-87.104	-175.273
2	-27.403	6.672	-112.842	1.121	5.551	-85.439	-178.689
3	83.951	107.422	-4.872	105.029	2.393	-88.823	-171.881
4	-11.659	101.544	-99.298	95.206	6.338	-87.639	-174.203
5	110.326	-97.8	34.333	-99.522	1.722	-75.993	-200.9
6	-12.653	-87.645	-96.127	-93.761	6.116	-83.474	-182.895
7	37.872	40.969	-48.306	37.862	3.107	-86.178	-177.157
8	41.503	-37.085	-42.191	-40.138	3.053	-83.694	-182.415

Observation equations						
	d_by	d_bz	d_kappa2	d_phi2	d_omega2	-py
	0.87104	-0.02953	6.072	-0.20586	152.8455	0.714
	0.85439	-0.00627	-112.842	0.828558	152.6782	5.551
	0.88823	-0.61106	-4.872	3.351682	224.9245	2.393
	0.87639	-0.54652	-99.298	61.92288	212.0411	6.338
	0.75993	0.495381	34.333	22.38088	217.5461	1.722
	0.83474	0.512649	-96.127	-59.0356	210.2525	6.116
	0.86178	-0.21372	-48.306	11.97984	162.0597	3.107
	0.83694	0.220037	-42.191	-11.0923	163.2226	3.053

Estimates						
	d_by	d_bz	d_kappa2	d_phi2	d_omega2	py
[mm, rad]	-2.63485	0.552844	-0.0402	0.006194	0.021939	-0.07915
[deg]			-2.30318	0.354874	1.257029	
[gon]			-2.55908	0.394304	1.396699	
Standard errors of estimates						
[mm, rad]	0.306256	0.033125	6.55E-05	0.000214	0.000127	0.274648
[deg]			0.003751	0.012278	0.007275	
[gon]			0.004168	0.013642	0.008083	

Intersected coordinates after first iteration							
	X 1	Y 1	Z 1	X 2	Y 2	Z 2	Y 1 - Y 2
1	106.0918	6.706455	-173.833	106.0918	6.82576	-173.833	-0.11931
2	-31.4066	7.646783	-174.975	-31.4066	7.756762	-174.975	-0.10998
3	98.1037	125.5315	-178.408	98.1037	126.4945	-178.408	-0.96303
4	-13.4339	117.0025	-175.912	-13.4339	117.9775	-175.912	-0.97501
5	135.6554	-120.254	-187.721	135.6554	-120.974	-187.721	0.720638
6	-14.4497	-100.09	-174.349	-14.4497	-100.846	-174.349	0.75592
7	43.99102	47.58841	-177.337	43.99102	47.99029	-177.337	-0.40188
8	48.14647	-43.0213	-177.108	48.14647	-43.2895	-177.108	0.268224