Szakmai beszámoló

A korszerű számítástechnikai rendszerek megjelenése utat nyitott a fotogrammetriában is a képi információk digitális feldolgozására. Az analitikus módszerekről a digitálisra történő átmenet jelenti jelenleg ennek a kutatási területnek a legfontosabb kutatási feladatait. A digitális fotogrammetriai problémák két fő csoportba sorolhatók. Az első csoportba tartoznak a 3-D tárgytérről készült 2-D képi információk segítségével történő új alappontok- és nem metrikus kamerák esetén a tájékozási paraméterek meghatározására vonatkozó megoldások. A másik fő kutatási terület a digitális képek automatikus kiértékeléséhez kapcsolódó kutatási problémákat foglalja össze, ahol fontos szerepet játszanak a különböző matematikai módszerek felhasználásával elérhető jelfelismerő és képminőséget javító algoritmusok. A digitális fotogrammetria ezen a területen találkozik a számítógépes látás (computer vision) tudományterületével.

A fotogrammetriában a metrikus kamerákkal készült légi felvételek digitális kiértékeléséhez kapcsolódó kutatások mellet jelentősek a közel-fotogrammetriához (close range photogrammetry) kapcsolódó kutatások is. Különböző műszaki vonatkozású feladatok (mozgásvizsgálatok, építészet, ipari geodézia stb.) automatizálhatók metrikus és nem metrikus analóg vagy digitális kamerákkal készült felvételek digitalizált vagy digitális úton nyert adatainak a segítségével.

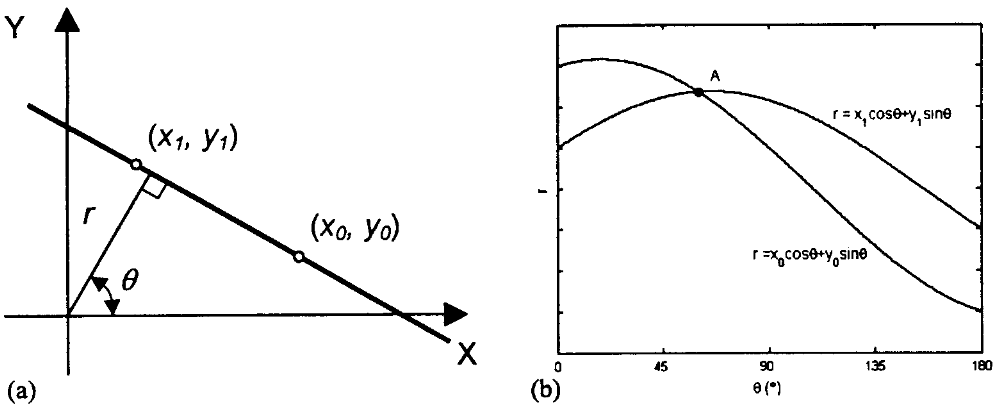
Térbeli információk megszerzése céljából a kiértékelendő területről a szomszédos képek megfelelő átfedésével készült analóg vagy digitális felvételek egymáshoz rendeléséhez (térmodell kialakítása) általában a képeken alapvető geometriai elemként általában jól azonosítható pontokat használnak. Ipari, építészeti vagy régészeti célú alkalmazások esetén a kiértékelések megbízhatósága növelhető azáltal, hogy a térmodell kialakításához és tájékozásához más geometriai elemeket, mint pl. az egyenes, kör vagy felület is felhasználnak.

A metrikus és ismeretlen belsőtájékozású kamerákkal készült kettő vagy több kép egymáshoz kapcsolásához és a tárgyak 3-D visszaállításához egy olyan univerzális robusztus módszert dolgoztunk ki, ami a metszési feltételek kielégítésére az egymásnak megfelelő pontok mellet más alapvető geometriai elemeket (egyenes, felület, kör stb.) is felhasználhatja. Elkészítettük a megfelelő programot és elvégeztük a módszerre vonatkozó pontossági vizsgálatokat.

A számítógépes látás és a digitális képfeldolgozás nemzetközi irodalma kiemelten foglalkozik az egyes geometriai elemeket felderítő algoritmusokkal. Ide tartozik az egyeneseket és köröket kiderítő Hough-transzformáció.

A Hough-transzformáció egy általános módszer a digitalizált vagy digitális felvételeken található bizonyos típusú jellemzők helyzetének és tájékozásának azonosítására. Ez a transzformáció úgy működik, hogy az eredeti kép-térben található különböző elhelyezésű jellemzők leírását parametrizálja. A paraméterek által meghatározott térben egy hálózatot generálnak. Minden hálózati ponthoz egy értéket gyűjtenek, ami azt jelzi, hogy a paraméterek által generált tárgy milyen jól illeszkedik az adott képhez. A relatíve nagy értékeket gyűjtő hálózat pontok ezután olyan jellemzőket írnak le, amik visszavetíthetők a képre.

A Hough féle egyenes transzformáció. A képsíkon lévő egyenesek halmaza egy két-paraméteres családot képez. Amikor rögzítjük a család parametrizálását,akkor egy tetszőleges egyenes a paraméter térben kifejezhető egy ponttal. Erre a célra célszerű az egyenest *normál alakban* kifejezni.



Ábra. Hough-transzformáció (a) *x-y* tér (b) paraméter tér

Az. ábra alapján ez a parametrizálás egy egyenest a normálisával bezárt θ szöggel és az origótól való r algebrai távplsággal fejezi ki. Ebben az algebrai vonatkozásban az egyenes egyenlete a következő:

$$x \cos \theta + y \sin\theta = r$$

Amikor a θ szöget a $[0, \pi]$ intervallumra korlátozzuk, akkor egy egyenes normál paraméterei egyértelműek. Ezzel a korlátozással az *x-y* síkon lévő minden egyenesnek egy egyértelmű pont felel meg a θ-r síkon.
Tételezzük fel, hogy rendelkezésünkre áll egy alakzat n számú $\{(x_1, y_1),...(x_n, y_n)\}$ ponthalmaza és keressük a hozzájuk illeszkedő egyenesek halmazát. Az (x_i, y_i) pontokat szinuszoid görbék alakjába transzformáljuk a $r = x_i \cos\theta + y_i \sin \theta$ által meghatározott θ -r síkba. Könnyen belátható,hogy a kollineáris alakzati pontoknak megfelelő görbéknek közös a metszéspontjuk.. Ez a θ -r síkon lévő (θ_o, r_o) metszéspont meghatározza a kollineár pontokon átmenő egyenest. Így a kollineár pontok felderítésének problémája átalakítható az egymást metsző görbék felderítésének a problémájára. Így megállapítható, hogy a pont-görbe transzformáció duális tulajdonsággal rendelkezik. az (x_o, y_o) ponton átmenő egyenesek az (θ, r) paraméter-térben a következő módon fejezhetők ki:

$$r = x_o \cos\theta + y_o \sin \theta\,.$$

Könnyen igazolható, hogy ezek a pontok megfelelnek egy az *x-y* síkon található egyenesnek,ami átmegy az (x_o, y_o) ponton.
A pontról-görbére történő transzformálás fő tulajdonságai a követekezők:
a./ A képsíkon lévő pontnak a paraméter síkon egy szinuszoid görbe felel meg.
b./ A paraméter térben lévő pontnak a képsíkon egy egyenes felel meg.

c./ A képsíkon egy egyenesen fekvő pontoknak a paraméter térben egy közös ponton átmenő görbék felelnek meg.
d./ A paraméter térben egy görbén elhelyezkedő pontoknak a képsíkon egy ponton átmenő egyenesek felelnek meg.
Alkalmazások és alternatív interpretálások.
Tételezzük fel, hogy a képsík minden pontját leképezzük a paraméter síkon lévő megfelelő görbékre. Általában *n* számú görbe az alakzaton lévő egyenes párok egyenesein lévő $n(n-1)/2$ számú megfelelő ponttal fog metsződni. Elvileg az alakzat pontok kollineár részhalmaza található meg úgy, hogy a paraméter térben megegyező metszéspontokat keresünk.

Hough –transzformációval történő egyenes felderítés algoritmusa:

Egy M x N méretű bináris kép E pixelei a bemenetek, ahol minden $E(i,j) = 1$ élpixel esetén és 0 más esetekben. Legyenek $\boldsymbol{r}_d, \boldsymbol{\theta}_d$ azok az elrendezések amik tartalmazzák az r, θ paraméter diszkretizált intervallumait ($r \in \left[0, \sqrt{M^2 + N^2}\right], \theta \in [0, \pi]$) és jelöljük R,T-vel elemeik számát.

1. Diszkretizáljuk a r és θ paraméter tereket a $\delta r, \delta\theta$ mintalépések segítségével.
2. Kialakítjuk az $A(R,T)$ integer számláló elrendezést; A minden elemét nullázuk.
3. Minden $E(i,j)$ élpixelhez úgy, hogy $E(i,j) = 1$ és $h = 1 \ldots T$;

(a) legyen $r = i \cos \boldsymbol{\theta}_d(h) + j \sin \boldsymbol{\rho}_d(h)$,

(b) az r -hoz legközelebb álló $\boldsymbol{r}_d$ elemhez keressük meg a k indexet;

(c) növeljuk $A(k,h)$-t eggyel ;

4. Keressük meg az összes helyi (k_p,h_p) maximumokat úgy, hogy $A(k_p,h_p) > \tau$, ahol τ a felhasználó által választott küszöbérték.

Az output az E-ben poláris alakban felderített egyeneseket leíró $\boldsymbol{r}_d(k_p)$, $\boldsymbol{\theta}_d(h_p)$ párok halamzai.

A Hough-kör transzformáció.
Egy kör a következő módon parametrizálható:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 .$$

Itt (a, b) az (x,y) ponton átmenő kör középpontjának a koordinátái és r a kör sugara. Mivel az egyenletben három paraméter szerepel, a Hough-transzformáció egy háromdimenziós kép. Ezért ez a transzformáció több számítást igényel.

A fentiek alapján robusztus programokat dolgoztunk ki egyenesek és körök felderítésére.

A számítógépes látásnál és a digitális fotogrammetriai problémák megoldásánál központi szerepet játszik a projektív geometria. Annak ellenére, hogy a projektív geometria jelentős hatást gyakorolt a19.század matematikájára (Hamilton,Grassmann,Clifford) nem tudott integrálódni a modern matematikába. A projektív geometria általános szintézisei és koordinátákra alapozott módszerei nem egyesülnek megfelelően a ma népszerű matematikai formallizmusokkal. Bár Grassmann már a 19. században lefektette ennek az új geometriának az alapjait, Cliffordon kívül, aki ezt a módszert tovább fejlesztette (Clifford-féle algebra), a 20. században csak kevés matematikus vette figyelembe ezt az új lehetőséget. Hesteness amarikai matematikus az 1960-as években újra felfedezte a Clifford-féle algebrát, amit tovább fejlezstett és geometriai algebrának nevezett el. Mivel matematikai vonatkozásban a projektív geometria egy tisztán absztrakt matematika, ami egyesíti a klasszikus euklídeszi geometriát a nem-euklídeszi geometriával, a számítógépes látással foglalkozó kutatásoknál fontos szerepet játszik a projektív geometriának a számítógépes megoldásokhoz jobban alkalmazható a geometriai algebra, azaz a Clifford-féle algebra nyelvére történő átalakítása. Ennek megfelelően kutatásokat végeztünk az analitikus és digitális fotogrammetriai problémák geometriai algebra segítségével történő megoldására. A kutatások eredményeként programokat dolgoztunk ki a projektív invariánsok és a koordináta transzformációk kiszámítására.