

Panoramik Görüntülemeye Yansımali Sistemlerin Matematik Modelleri (Mathematical Models Of Catadioptric Systems In Panoramic Imaging)

Cumhur ŞAHİN, S. Özgür UYGUR, Bahadır ERGÜN

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli
csahin@gyte.edu.tr

ÖZET

Çok yönlü (omni directional) görüntüler elde etmek için kabaca üç farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar çoklu standart kamera kullanımı, özel mercekli kamera kullanımı ve bir ayna ile birlikte geleneksel kamera kullanımıdır. Burada bahsedilen en son teknik yansımali (katadioptrik) algılayıcı tekniği olarak bilinir. Genel anlamıyla yansımali sistem görüş açısını arttırmak için ayna ve mercek sisteminin bir araya getirilmesidir. Gelişen bilgisayar ve görüntü işleme teknolojileri ile beraber yansımali sistemler artık fotogrametrik amaçlarla özellikle iç ve dış mekanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu yayında yansımali sistemlerin gelişimi, kullanılan donanımlar ve sistemin matematiksel modeli incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çok yönlü görüntüleme, yansımali sistemler, ayna çeşitleri.

ABSTRACT

There are roughly three ways to obtain omnidirectional images. These are using camera cluster, using cameras with specific lens and using conventional cameras together with a mirror. The last technique mentioned here is known as catadioptric sensor technique. In the general sense catadioptric systems are the combination of mirror and lens systems in order to improve the field of view. With the developing computer and image processing technologies the catadioptric systems have been used for photogrammetric purposes, particularly for indoor and outdoor applications. In this paper the development of catadioptric systems, equipments used and mathematical model of the system are examined.

Keywords: Omnidirectional imaging, catadioptric systems, mirror types.

1. GİRİŞ

Gözetleme, telekonferans, sanal gerçeklik için model elde edilmesi gibi hesaplanabilir görüntü uygulamalarının çoğu fotogrametrik olarak kullanılabilir, üzerinden ölçü alınabilecek geniş görüş açılı görüntülere ihtiyaç duyar. Bununla beraber hareketli objelerin izlenmesi ve hareket tahmini gibi diğer pek çok uygulamada geniş görüş açısından yararlanır. Ne yazık ki; geleneksel görüntüleme sistemlerinin, görüş açısı bakımından ciddi şekilde sınırlı olmasından dolayı, araştırmacılar ve uygulayıcılar tüm sahne

görüntüsünü elde etmek amacıyla çoklu kameralara ya da döner kameralara başvururlar (Baker vd., 1998).

Görüş açısını genişletmek için diğer bir efektif teknikte merceklerle bağlantılı aynaları kullanılmaktadır. Genel olarak aynalarla birleştirilmiş geleneksel görüntüleme sistemleri yansımali (katadioptrik) görüntüleme sistemleri olarak adlandırılır. Yansımali algılayıcı sistemler, daha fazla görüş açısı elde etmek için ayna ve mercek sisteminin dikkatli bir konfigürasyon ile bir araya getirilmesini kullanır (Baker vd., 1998). Şekil 1'de ayna mercek kombinasyonlu bir sistem görülmektedir.



Şekil 1. Ayna mercek kombinasyonlu bir algılayıcı sistemi (Bastanlar, 2005)

Yansımali sistem dizayn edilirken, aynaların şekli ideal olarak tüm yansımali sistemin tek bir gerçek merkeze sahip olmasını sağlayacak şekilde seçilmelidir (Baker vd., 1998).

Rees (1970), Yamazawa vd. (1995), Nalwa (1996), ve Nayar vd. (1997) de işaret edildiği gibi yansımali sistemin tek izdüşüm merkezine (tek merkezli) sahip olması arzulanır. Tek merkezli sistemin arzulanmasının sebebi bu tarz yansımali sistemler ile üretilen görüntülerden elde edilen perspektif görüntülerin geometrik düzeltmelere olanak vermesidir. Bu perspektif görüntüler

sonradan hesaplanabilir görüntü olarak yeniden düzenlenir (Baker vd., 1998).

Yansımali algılayıcının bir diğer önemli özelliği geniş görüş açısının çözünürlüğüdür. Bir yansımali sistemin çözünürlüğü, onun elde edilmesinde kullanılan algılayıcının çözünürlüğü ile aynı değildir. Baker vd. (1998) de yansımali sistemin çözünürlüğü ile geleneksel görüntü sisteminin çözünürlüğü arasındaki ilişki açıklanmıştır.

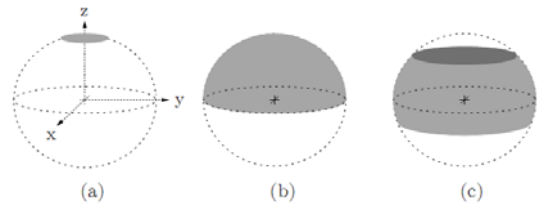
Yansımali sistemin bir diğer özelliği de odaklanmadır. İyi bilinmektedir ki; eğri aynalar görüntü bulanıklığını arttırmaktadır (Hecht vd., 1974). Yansımali sistemde bulanıklığa iki faktör sebep olur. Birincisi mercek açıklığının sınırlı boyutu, ikincisi aynanın eğriliği. Baker vd. (1998) de ilk önce çoklu odak noktasından kaynaklanan netlik bozukluğuna sebep olan bu iki etki arasındaki iletişim analiz edilmiştir ve hiperbolik ayna için sayısal sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki; eğri ayna kullanılan yansımali sistemlerdeki odak ayarı, geleneksel algılayıcılarda gereksinim duyulandan oldukça farklıdır (Baker vd., 1998).

Bu çalışmanın, ikinci bölümünde çokyönlü görüntü elde etme sistemlerinden tek aynalı yansımali sistemler hakkında genel bilgiler verilmiş, üçüncü bölümünde bu sistemlerin tarihçesi ve ayna dizaynı incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise yansımali sistemler için kullanılan en yaygın tek merkezli aynalardan parabolik ve hiperbolik aynaların görüntü üretimi detaylı olarak açıklanmıştır. Aynı zamanda, küresel aynaların geometrik projeksiyonu incelenmiştir.

2. TEK AYNALI YANSIMALI (KATADİOPTRİK) SİSTEM

a. Çok yönlü (Omnidirectional) Kamera Kavramı

Geniş açılı kameralara yaygın olarak çok yönlü (omni directional) kameralar adı verilir. Fakat burada çok yönlü terimi yanıltıcı olabilir. Konuşurken algılayıcının etrafındaki tüm alan için bu terim kullanılmaktadır. Fakat çoğu çok yönlü kameralar yalnızca belirli bir alanı kaplar. Şekil 2'de görüş alanına göre üç tane olası kamera tanımlanmıştır; Kamera merkezde olduğunda ve Z doğrultusunda yöneltildiğinde gri alanlar görüş alanını tanımlamaktadır (Gaechter, 2001).

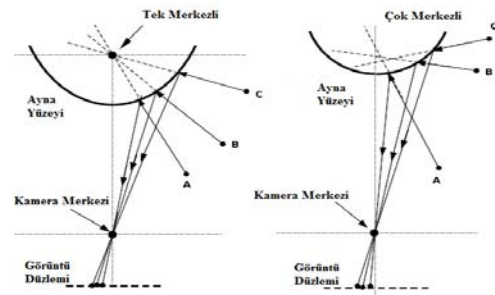


Şekil 2. Üç farklı görüş alanı (a) geleneksel kameranın görüş alanı (b) yarı küresel görüş alanı (c) panoramik görüş alanı (Gaechter, 2001)

b. Yansımali (Katadioptrik) Algılayıcı

Çok yönlü görüntüler elde etmek için kabaca üç farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar çoklu standart kamera kullanımı, özel mercekli kamera kullanımı ve bir ayna ile birlikte geleneksel kamera kullanımıdır. En son teknik yansımali algılayıcı tekniği olarak bilinir. Diğer iki teknikle karşılaştırıldığında; bu teknik, rekabetçi fiyatlarıyla birlikte, talep edilen geniş görüş açısının geometrik optik kurallara uygun olarak kolayca elde edilebilmesine olanak verir. Bu yansımali algılayıcıların ve onun uygulama alanlarının araştırılmasına artan ilginin nedenidir (Gaechter, 2001).

Yansımali sistemler başlıca iki ana sınıfa ayrılabilirler. "Tek merkezli" ve "Çok merkezli". Tek merkezli yansımali sistemden anlatılmak istenen; ışık ışınlarının ayna üzerinde bir tek noktayı hedef almasıdır. Şekil 3(a)'da tek merkezli eğrisel ayna örneği gösterilmektedir. Objeden gelen ve hiperbolik aynanın odak uzaklığına (tek merkeze) hedeflenen A, B, C ışık ışınları kamera merkezinden (iğne deliği-pinhole) geçmek üzere ayna yüzeyinden yansıtılır. (Baştanlar, 2005).

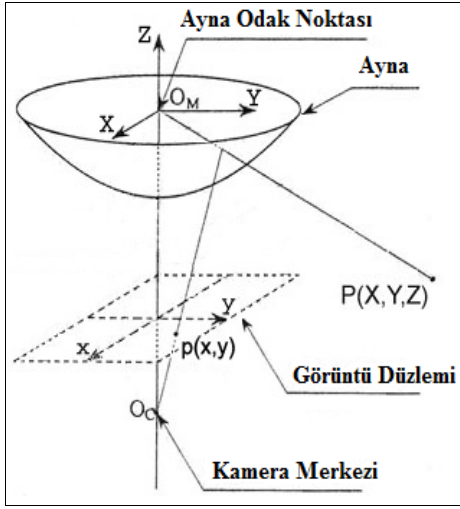


Şekil 3. (a) Tek merkezli ve (b) çok merkezli yansımali sistemlerde ışığın yolları. (Baştanlar, 2005)

Bununla beraber yine Şekil 3(b)'de gösterildiği gibi bazı yansımali sistemlerde ışık ışınları, tek merkezli sistemlerdeki gibi kesin bir noktada

kesişmez. Tek merkezli sistemlerde tek bir izdüşüm merkezi koordinatının hesaplanabilmesi mümkündür. Ancak çok merkezli sistemlerde tek bir iz düşüm merkezi koordinatı hesaplamak mümkün değildir (Baştanlar, 2005).

Hiperbolik ayna kullanan yansımali sistem örneği Şekil 4'te gösterilmektedir. Burada hiperbolik aynadan ışınların yansması ve normal kameranın görüntü düzlemine düşmesi gösterilmektedir. Objeden gelen ışık ışınları, $P(X,Y,Z)$ ayna yüzeyinden yansır ve görüntü düzlemine iz düşürülmek üzere kamera merceğine gider (Baştanlar, 2005).



Şekil 4. Hiperbolik ayna ile panoramik görüntü oluşumu (Baştanlar, 2005)

Şekil 5 ve Şekil 7'de çok yönlü görüntü verilmektedir. Çok yönlü görüntülere geometrik dönüşüm uygulayarak Şekil 6'daki gibi panoramik görüntü ya da Şekil 8'deki gibi perspektif görüntü elde edilebilir (Baştanlar, 2005). Şekil 5'te hiperbolik ayna kullanılarak elde edilen bir çok yönlü görüntü ve Şekil 6'da bu görüntüden üretilmiş panoramik görüntü gösterilmektedir. Şekil 7'de ise parabolik ayna ile elde edilmiş bir çok yönlü görüntü ve Şekil 8'de ise bu görüntüden üretilmiş perspektif görüntüler gösterilmektedir (Baştanlar, 2005).



Şekil 5. Hiperbolik ayna ile elde edilen çok yönlü görüntü



Şekil 6. Şekil 5'teki çok yönlü görüntüden elde edilen panoramik görüntü



Şekil 7. Parabolik ayna ile elde edilen çok yönlü görüntü



Şekil 8. Şekil 7'den elde edilen perspektif görüntü

3. YANSIMALI SİSTEMLERİN TARİHÇESİ AYNA DİZAYNI VE KAMERA SİSTEMLERİ

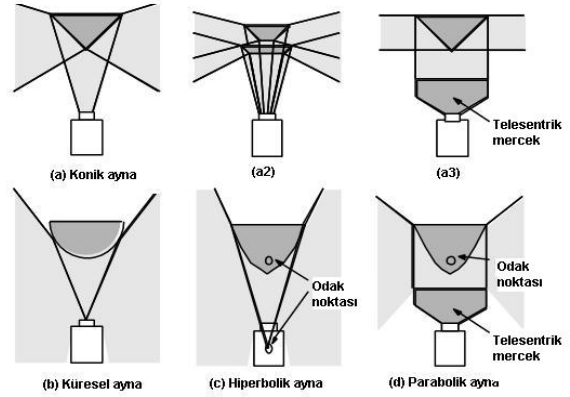
a. Yansımali Sistemlerin Tarihçesi

Geleneksel görüntüleme sistemi ile birleştirilmiş bir aynanın çok yönlü görüntüleme algılayıcıları (ÇYGA) nda kullanım fikri Rees (1970), tarafından (ABD Patent No 3, 505, 465 ile) önerilmiştir (Şekil. 9(c)). Bu fikir; tek projeksiyon merkezine sahip bir çok yönlü görüntü (ÇYG) elde etmek için bir hiperbolik aynanın kullanılmasıdır. Tek projeksiyon merkezine sahip olması nedeniyle ÇYG normal perspektifli, görüntülere dönüştürülebilir (Ishiguro, 1998).

1990 yılında, bilgisayar teknolojilerindeki ilerleme görsel verilerin gerçek zamanlı işlenmesini sağlamış ve araştırmacılar bilgisayarlar ve robotlar için görüş sistemi olarak tekrar pek çok türde ÇYGA yapmıştır. Yağci vd. (1990) konik aynayı kullanarak bir çok yönlü görsel sensör yaptılar (Şekil 9(a)). Hong vd. (1991) küresel bir ayna kullanarak çok yönlü bir görüş sensörü yapmıştır (Şekil 9(b)). Amaçları ÇYGA'larla mobil robotları yönlendirmektir. Bir robotun çok yönlü görüşü, robotun etrafındaki hareketli engelleri saptamak için ve kendisini konumlandırmak için kullanışlıdır. Bunun ardından, Yamazawa vd. (1993) hiperbolik bir ayna kullanarak tekrar bir ÇYGA yapmıştır. Hiperbolik aynadaki, ÇYG'nin perspektif görüntülerine dönüştürülmesi avantajından yararlanarak ÇYGA'ya sahip bir izleme sistemi önermişlerdir (Ishiguro, 1998).

Nayar vd. (1997) aynaları kullanan görüntüleme sistemlerini teorik olarak analiz etmiş ve bir parabolik ayna ve telesentrik mercek kullanarak ideal ÇYGA'yı geliştirmiştir. Hiperbolik ayna kullanan ÇYGA, standart perspektifli kamera ile birlikte tek projeksiyon merkezinden alınan bir görüntü oluşturabilmektedir. Ancak, hiperbolün iki odak noktasından birinin Şekil 9(c)'de gösterildiği gibi kamera merkezine ayarlanması dezavantajı bulunmaktadır. Bu dezavantaj ÇYGA'nın tasarlanmasını zorlaştırır. Diğer yandan, Nayar vd. (1997) tarafından önerilen görüntüleme sisteminin dezavantajı yoktur, çünkü Şekil 9(d)'de gösterilen telesentrik merceği kullanılmaktadır. İy bilindiği gibi, parabolik ayna, parabolik aynanın ana eksenine paralel olan, ışık için bir odak noktasına sahiptir. Dahası, görüntüleme sistemi, bulanık olmayan görüntülerin edinilmesinde üstündür ve aynayı destekleyen boş silindirik veya küresel camın iç

yansımalarını ortadan kaldıracaktır (Ishiguro, 1998).



Şekil 9. Çok yönlü aynalar (Ishiguro, 1998)

(1) Diğer ÇYG elde etme yöntemleri

Aynaları kullanan ÇYGA'lar, ÇYG'leri gerçek zamanlı olarak elde eder. Ancak, çözünürlük çok yüksek olmaz. Yüksek çözünürlüklü ÇYG'leri elde etmek için, Sarachik (1989) ve Ishiguro vd. (1992) tarafından kamerayı döndürme yöntemleri önerilmiştir. Orijinal fikir, ince yarıkli kamerayı döndürerek panoramik manzara fotoğrafları çeken panorama kamerası ile bulunmuştur. Statik ortamlarda görüntü çekmek için bu yöntem çok etkilidir ve çoklu ortam uygulamalarında da kullanılmaktadır. ÇYGA'ların diğer bir sorunu, kamera parametrelerinin, özellikle irisin kontrolüdür. Kamerayı döndürme yönteminde kamera yerel ortamları gözlemler, ancak ÇYGA geniş ortamları gözlemler ve ÇYGA ile çekilen ÇYG çeşitli yoğunlukları içerir. Bu yüzden, ÇYGA'da kullanılan kamera geniş dinamik aralığa ihtiyaç duyar (Ishiguro, 1998).

Burada tartışıldığı gibi ÇYG elde edebilen ÇYGA'lar önceki görüntüleme sistemlerine karşı bazı avantajlara sahiptir, fakat iki tane önemli kusurlu bulunmaktadır. Düşük çözünürlük ve bir geniş dinamik alan gereksinimi bu kusurları oluşturur. Yeniden düzenlenen ve yüksek çözünürlüklü kamera teknolojisi ile bu kusurlar ortadan kaldırılabilir. Şimdiki mevcut CCD algılayıcılarla yüksek çözünürlüklü ÇYG'leri elde etmek zordur ve bu sistemin dinamik alanı çok geniş değildir (Ishiguro, 1998).

b. Ayna Dizaynı

Geleneksel kamera, iğne deliği kamera modeline sahiptir ve perspektiftir. İğne deliği

kameranin geometrik modeli, görüntü düzlemine dik optik eksen ve odak uzaklığı ile tanımlanır. Görüş alanındaki tüm noktalar odak uzaklığına dik görüntü düzlemine izdüşürülür. Görüş açısını genişletmek için ayna kullanıldığında çok yönlü kameralar için projeksiyon karakteristiği ve genellikle iğne deliği kamera modeli geçersizdir. Buna rağmen merkezi perspektif projeksiyon hala bazı özel ayna çeşitlerinde geçerlidir. Bazı ayna çeşitleri Baker vd. (1998) tarafından çıkartılmıştır. Pratikte kullanılan şekil hiperbolik aynadır. Chahl vd. (1997) te belirtildiği gibi hiperbolik ayna; polinomal aynaların en özel çözümüdür (Gaechter, 2001).

Şekil 9'da gösterildiği gibi önceden geliştirilmiş dört tür ayna vardır. Aynaların avantajları ve dezavantajları aşağıdaki yönlerden tartışılabilir:

- Aynanın tek bir projeksiyon merkezine sahip bir ÇYG oluşturabilip oluşturamadığı (ÇYG normal perspektifli görüntülere dönüştürülebilir)
- Ayna ve kameradan meydana gelen optik sistemin odak kaymasının (astigmatizm) ne kadar küçük olduğu,
- Optik sistemin standart bir mercek ve kamerayı kullanıp kullanmadığı,
- Dikey görüş açısının ne kadar geniş olduğu (Ishiguro, 1998).

(1) Küresel Ayna

Genel olarak, aynalar şekilli camın üzerine alüminyum film yerleştirilerek yapılır. Normal bir mercek küresel camın bir parçasıdır, bu yüzden geleneksel mercek işlemesi ile küresel ayna yapmak kolaydır (Ishiguro, 1998).

Küresel aynanın bir diğer önemli meziyeti odak kaymasıdır. Şekil 9'da gösterilen diğer aynalarla karşılaştırılınca odak kayması oldukça küçüktür. Dahası, küresel ayna odaklı bir görüntü elde etmek için uzun bir odak uzaklığı gerektirmez. Yani, küresel ayna düşük maliyetli ÇYGA'lar yapmak için üstündür (Ishiguro, 1998). Yani, küresel ayna düşük maliyetli, net temiz görüntüler veren ÇYGA'lar yapmak için üstündür (Ishiguro, 1998).

Fakat küresel aynalı ÇYG tek bir projeksiyon merkezine sahip değildir ve normal perspektif görüntülere dönüştürülemezler. Düşey görüş açısı da geniştir (Ishiguro, 1998).

(2) Konik Ayna

Konik ayna işlem kolaylığı bakımından ikinci küresel aynadır. Konik aynanın özelliği düşey doğrultuda normal yansımaya sahip olmasıdır. Bu yüzden birkaç aynayı birleştirmek kolaydır. Örneğin stereo görüntüler, Şekil 9(a2)'de görüldüğü gibi elde edilebilir. Dahası, Şekil 9(a3) te gösterildiği gibi telesentrik mercekler ile birleşim halinde yatayı gözlemleyebilen özel optik sistemleri elde etmeyi mümkün kılar (Ishiguro, 1998).

Fakat odak kayması geniştir ve ÇYG normal perspektif görüntülere dönüştürülemez. Dahası odaklanmış ÇYG leri elde etmek için uzun odak uzaklığına ihtiyaç vardır. Bir küresel ayna normal mercekler gibi bir odak noktasına sahiptir, diğer taraftan konik ayna aynı özelliğe sahip değildir ve karakteristiği iğne deliğine yakın bir merceğe ihtiyaç duyar (Ishiguro, 1998).

(3) Hiperbolik Ayna

Hiperbolik aynanın işlenmesi zordur fakat tek bir izdüşüm merkezine sahiptir. Hiperbolik ayna ile elde edilen bir ÇYG normal perspektif görüntülere, silindirik görüntülere ve buna benzer görüntülere dönüştürülebilir. Dahası kavislenmesi küçüktür ve astigmatizm çok geniş değildir (Ishiguro, 1998).

Hiperbolik ayna normal kameraları kullanan optik sistemler için en iyisidir. Bununla beraber bir önemli kusuru vardır; o da hiperboliğin odak uzaklığının kameranın merkezine kurulması gerektiği için dizaynın çok esnek olmamasıdır (Ishiguro, 1998).

(4) Parabolik Ayna

En ideal optik sistem parabolik ayna ve telesentrik merceklerle gerçekleştirilebilir. Bu optik sistem tek bir projeksiyon merkezine sahiptir ve bir küçük kavislenmeden dolayı astigmatizm küçüktür. Dahası parabolik ayna odaklanmış ÇYG'ların elde edilmesi için en iyisidir. Telesentrik mercek iki önemli hüner getirir. Projeksiyon ortogonal olduğu için, dizayn esnasında ayna ve mercek arasındaki mesafe

Tablo 1. Çeşitli aynaların karşılaştırılması (Ishiguro, 1998).

	Birleştirme maliyeti	Odak kayması	Odak uzunluğu	Düsey görüntüleme aralığı	Tek projeksiyon merkezi	Mercek
Küresel ayna	düşük	küçük	kısa	-90 10	hayır	normal
Konik ayna	düşük	geniş	uzun	-45 45	hayır	normal
Küçük eğrilikli hiperbolik ayna	yüksek	küçük	kısa	-90 10	evet	normal
Geniş eğrilikli hiperbolik ayna	yüksek	geniş	uzun	-90 45	evet	normal
Küçük eğrilikli parabolik ayna	yüksek	küçük	kısa	-90 10	evet	telesentrik
Geniş eğrilikli hiperbolik ayna	yüksek	geniş	kısa	-90 ... 45	evet	telesentrik

esnek olarak kurulabilir ve cam silindir ya da kürenin iç yansımaları mercek elemine eder. Telesentrik mercekler genellikle pahalıdır ve boyutları çok küçük değildir. (Ishiguro, 1998).

Bu dört aynanın yapısı ile ilgili özellikler Tablo 1'de özetlenmiştir. Tabloya göre bulanık olmayan görüntülerin elde edilmesi için gerekli olan odak derinliği yapılan denemeler sonucu belirlenen düşey görüntü genişliğine göre -90 derece ile 0 derece arasında aşağıya doğru yatay olarak tespit edilmiştir (Ishiguro, 1998).

Sonuçta pratik uygulamalar için aşağıdaki gibi bir çıkarım yapmak mümkündür:

Küresel aynalı sistemler: Küresel aynaları kullanan odak ÇYGA'lar ÇYGA ile aynı yükseklikte bulunan nesnelere gözlemlemek için veya ÇYGA'nın altında bulunan nesnelere net ÇYG'lerini elde etmek için uygundur. Dahası, işleme maliyeti düşük olduğundan, seri üretim gerçekleştirilebilir (Ishiguro, 1998).

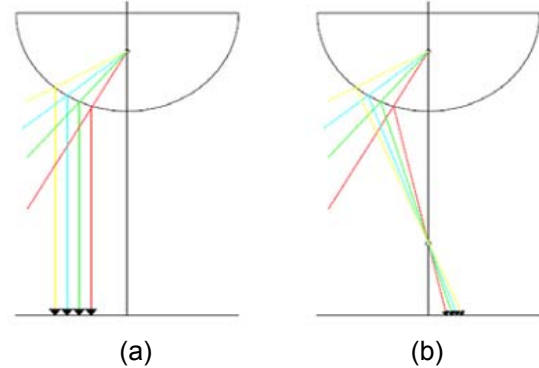
Konik aynalı sistemler: Konik ayna dikey görsel alanının sınırlı olduğu ÇYG'leri elde etmek için yararlıdır (Ishiguro, 1998).

Hiperbolik aynalı sistemler: Normal bir merceklerle birlikte ayna, normal perspektifli görüntülere dönüştürülebilen ÇYG'ler oluşturabilir. Böylelikle, izleme uygulamaları için kullanışlıdır (Ishiguro, 1998).

Parabolik aynalı sistemler: İşleme maliyeti ve telesentrik maliyeti, genellikle yüksektir. Ancak, ÇYG'leri elde etmek için ideal optik sistem budur (Ishiguro, 1998).

c. Merkezi Yansımali Kamera Sistemleri

Yansımali sistemlerde kullanılan kameralar iki çeşittir. Geleneksel (perspektif kameraları) ve ortogonal kameralar. Ortogonal projeksiyon modelinde, ışınlar optik eksene paralel olarak hareket eder, perspektif projeksiyonda ise ışınlar iğne deliği adı verilen bir noktadan geçiş yapar. Her iki kamera sisteminin şeması Şekil 10'da görülebilir (Mosaddegh, 2008).



Şekil 10. Merkezi katadioptrik kamera çeşitleri: (a) ortogonal, (b) perspektif sistem (Mosaddegh, 2008)

Ortogonal sistemde, panoramik görüntüler herhangi bir geometrik dönüşüme gerek olmaksızın doğrudan görülebilir. Fakat bu tip algılayıcılar göreceli olarak pahalıdır ve piksel boyutu ışık duyarlılığına bağımlı bir faktördür (Mosaddegh, 2008).

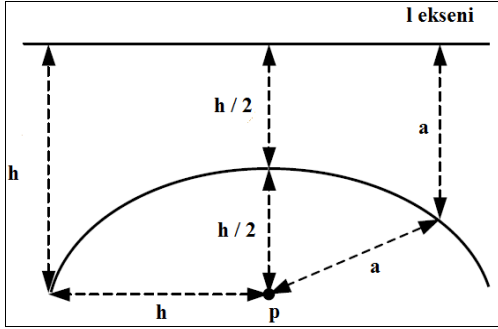
4. YANSIMALI SİSTEMLERDE PANORAMİK VE PERSPEKTİF GÖRÜNTÜ ÜRETİMİ

Bu bölümde, en yaygın tek merkezli aynalardan parabolik ve hiperbolik aynaların

görüntü üretimi detaylı olarak açıklanmıştır. Aynı zamanda, küresel aynanın geometrik projeksiyonu açıklanmıştır.

a. Parabolik Aynalar

Parabol; Şekil 11'de gösterildiği gibi bir I çizgisi ve bir noktadan (p, odak noktasından) eşit uzaklıktaki noktaların biçimlendirdiği geometrik şekildir (Baştanlar, 2005).



Şekil 11. Parabol gösterimi (Baştanlar, 2005).

Paraboloid kesişen kısımları parabol olan bir quadratik yüzeydir. Paraboloid ayna yüzey profili, h, ile tanımlanan bir tek parametreye sahiptir, odak noktasından ayna yüzüne olan yatay mesafe (1) eşitliği ile belirlenir.

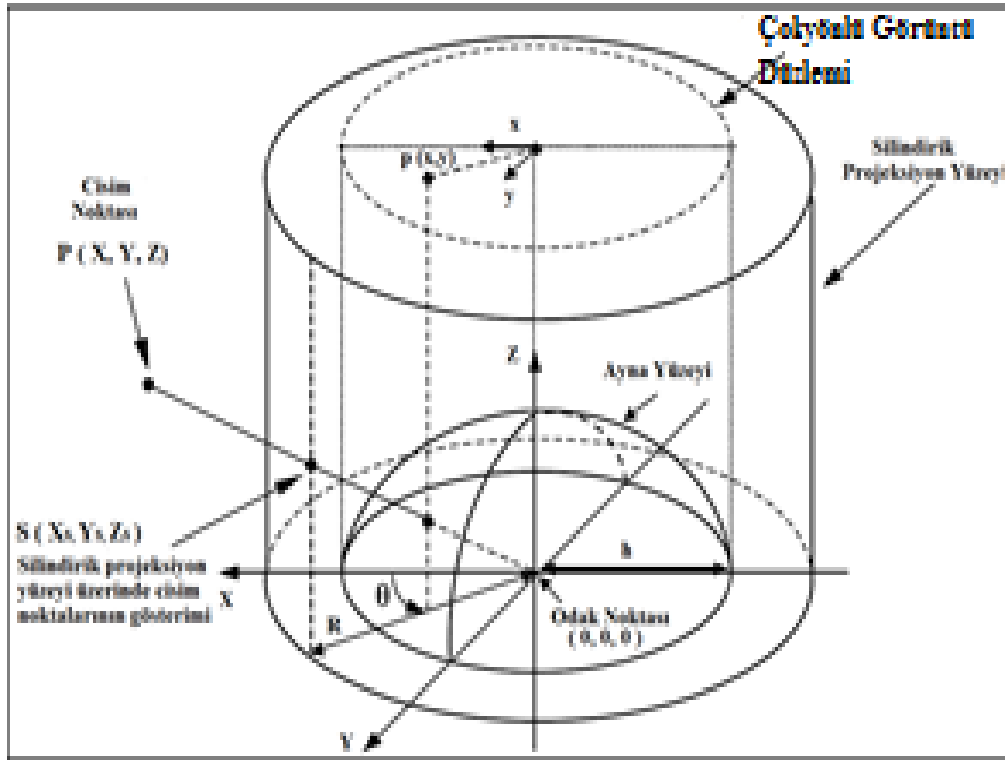
$$z = \frac{h^2 - r^2}{2h} \quad (1)$$

Bu eşitlikte z düşey koordinattır, r yatay koordinattır. Parabolde içinde $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ve radyal simetrik paraboloid ayna için $x=y$ dir (Baştanlar, 2005).

Peri vd. (1997) panoramik ve perspektif görüntü üretimini paraboloid aynalı sistemler için özetlemiştir. Ortamdan gelen ve ayna odak noktasını hedefleyen ışık ışınları ortogonal ayna yüzeyine yansıtılır. Daha sonra, bu ışınlar telesentrik merceğe doğru çok yönlü görüntü için giderler. Sadelik adına Şekil 12'de, çok yönlü görüntü düzlemi parabolik aynalı aynı çapa sahip dairesel olarak gösterilmiştir. Işık ışınları ortogonal olarak yansıtıldığı için; bu görüntü düzlemi (ve telesentrik mercek) projeksiyon yüzeyinden bağımsızdır ve yükseltilebilir.

Panoramik görüntü; aynanın çevresinde bir odak nokta merkezli silindirik projeksiyon sahnesi olarak tanımlanabilir (Şekil 12). Bu yüzden silindirik projeksiyon deyimi kullanılır.

Silindirik projeksiyonda pikselin yoğunluk değerini bulmak için, çok yönlü görüntüdeki ilgili piksel koordinatları (x,y) (2) ve (3) eşitlikleri ile bulunur (Baştanlar, 2005).



Şekil 12. Parabolik aynalı silindirik (panoramik) projeksiyon (Baştanlar, 2005)

$$x = \frac{h}{Z_S + \sqrt{X_S^2 + Y_S^2 + Z_S^2}} \cdot X_S \quad (2)$$

$$y = \frac{h}{Z_S + \sqrt{X_S^2 + Y_S^2 + Z_S^2}} \cdot Y_S \quad (3)$$

Burada h paraboloidin parametresidir, ve X_S , Y_S , Z_S projeksiyonda pikselin üç boyutlu koordinatlarıdır. Panoramik görüntüdeki m . satır, n . sütundaki bir piksel için;

$$Z_S = m, \quad X_S = R \cdot \sin\theta, \quad Y_S = R \cdot \cos\theta = \frac{n \cdot 2\pi}{L}$$

R silindirin yarıçapı, L panoramik görüntünün genişliği ve θ aynanın dönme eksenini etrafındaki radyal açı (azimut) tur.

Düzlem projeksiyon yüzeyi Şekil 13'teki gibi tanımlandığı zaman perspektif görüntü biçimlenir. Perspektif görünüm içinde, sahnedeki tüm doğrusal çizgiler doğrusal olarak render olur ve tüm formlar düzenli kamera görüntüleri içinde

olarak distorsiyondan bağımsız sunulur. Perspektif projeksiyon içinde bir pikselin yoğunluk değerini bulmak için çok yönlü görüntüdeki ilgili piksel koordinatları (x, y) (4) ve (5) eşitlikleri ile verilir (Baştanlar, 2005).

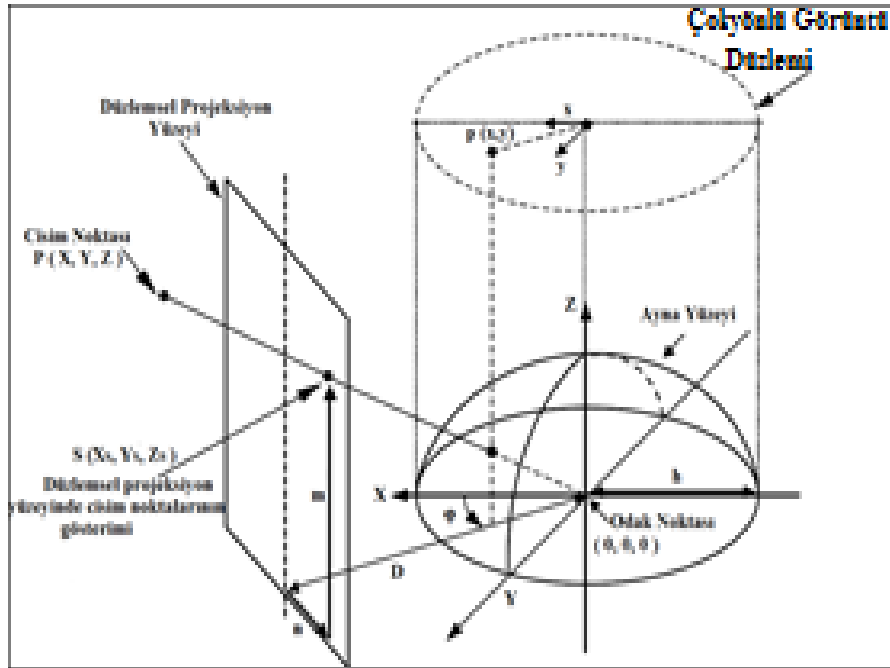
$$x = \frac{h}{Z_S + \sqrt{m^2 + n^2 + D^2}} \cdot X_S \quad (4)$$

$$y = \frac{h}{Z_S + \sqrt{m^2 + n^2 + D^2}} \cdot Y_S \quad (5)$$

Burada h paraboloidin parametresidir. D odak noktadan projeksiyon yüzeyinin yatay merkezine olan mesafedir. X_S , Y_S , Z_S projeksiyonda pikselin üç boyutlu koordinatıdır. Perspektif görüntünün m . satır, n . sütundaki bir pikseli için:

$$Z_S = m, \quad X_S = \sqrt{D^2 + n^2} \cdot \sin\theta, \quad Y_S = \sqrt{D^2 + n^2} \cdot \cos\theta$$

θ ayna dönme ekseninin etrafındaki radyal açıdır (azimut açısıdır).



Şekil 13. Parabolik aynalı perspektif projeksiyon (Baştanlar, 2005)

b. Hiperbolik Aynalar

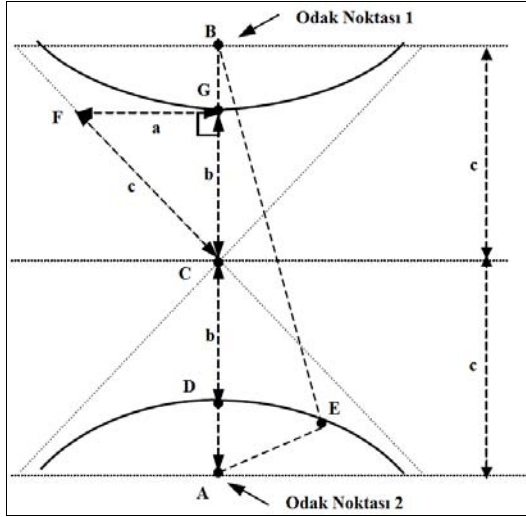
Hiperbol; denklemi (6)'da verildiği gibi, iki odak noktasına mesafe farkı sabit olan noktaların geometrik yeridir. Hiperbolik ayna yüzey profilini tanımlayan iki parametreye sahiptir. c : Odak noktaları arasındaki mesafenin yarısı ve b : Şekil

14'te gösterildiği gibi hiperbol çizgileri arasındaki mesafenin yarısıdır (Baştanlar, 2005).

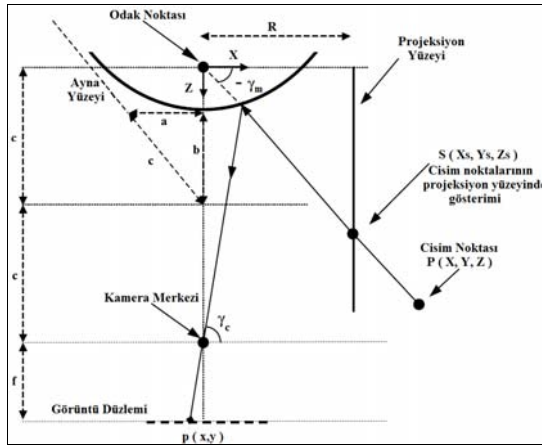
$$\frac{r^2}{a^2} - \frac{z^2}{b^2} = -1 \quad (6)$$

Z: düşey koordinat, r yatay koordinattır. Hiperbolidte $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ eşitliği geçerlidir ve radyal simetrik hiperboloid için x ve y birbirine eşittir.

Yamazawa vd. (1993) bir hiperbolik ayna kullanan çok yönlü görüntüleme sistemi elde ettiler ve Onoe vd. (1998) Şekil 15'te gösterilen bu sistem için panoramik görüntü üretimi tanımladılar.



Şekil 14. Hiperbolün gösterimi (Baştanlar, 2005)



Şekil 15. Hiperbolik ayna projeksiyon geometrisi (Baştanlar, 2005)

Aynaya doğru gelen ve ayna odak noktasını hedefleyen ışık ışınları, hiperbolün diğer odak noktasına geçmesi için yansıtılır. Eğer θ aynanın dönme eksenini etrafındaki radyal açı (azimut) ise, çokyönlü görüntü içerisinde iz düşürülmüş nokta (x,y) 'nin piksel koordinatları eşitlik (7) ve (8) ile verilir. Burada; b ve c parabolik aynanın parametreleridir. R odak uzaklığından projeksiyon yüzeyine olan mesafe, f kameranın

odak uzaklığı, X_s, Y_s, Z_s projeksiyon yüzeyinde pikselin üç boyutlu koordinatlarıdır. (9) eşitliği ile verilen γ_m aynanın yatay eksenini ve aynaya gelen ışın arasındaki açıdır. (10) eşitliği ile verilen γ_c kameraya gelen ışık ve görüntü düzlemi arasındaki açıdır (Baştanlar, 2005).

$$x = \frac{f}{\tan \gamma_c} \cdot \sin \theta \quad (7)$$

$$y = \frac{f}{\tan \gamma_c} \cdot \cos \theta \quad (8)$$

$$\gamma_c = \tan^{-1} \left[\frac{(b^2 + c^2) \cdot \sin \gamma_m - 2bc}{(b^2 - c^2) \cdot \cos \gamma_m} \right] \quad (9)$$

$$-\gamma_m = \tan^{-1} \left[\frac{Z_s}{R} \right] \quad (10)$$

5. SONUÇ

Günümüzde gelişen bilgisayar ve görüntü işleme teknikleri sayesinde artık panoramik görüntülerin iç ve dış mekanlarda fotogrametrik amaçlar ile kullanılması sağlanmaktadır. Hesaplama problemlerinin temelini tek merkezli iz düşümün hesaplanacağı görüntülerin elde edilmesi oluşturmaktadır. Tek merkezli iz düşümün oluşturulması bilgisayar ortamında oluşturulduktan sonra fotogrametrik olarak bu görüntülerin kullanılması için ise dört farklı hesaplama modeli bulunmaktadır (Schneider, D., 2009). Elde edilen sonuç görüntü için bu dört farklı model içerisinde yer alan sistematik hataların hepsi distorsiyon modeli ve katsayı matematiği ile demet dengelemesinde bilinmeyen olarak hesaplanabilmektedir. Fotogrametrik olarak panoramik görüntünün çözünürlüğü ve fotoğraf koordinatlarındaki hassasiyet göze alındığında hassas bir demet dengelemesi için düzeltme denklemlerinde bu dört modelinde elde edilen görüntü için kullanılması ve en iyi sonucu hangisinin verdiği mutlaka tespit edilmelidir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmalarda bu dört modelin de ayrı ayrı her bir sistem için denendiğini görmek mümkündür.

Gelecekteki çalışmalarda özellikle panoramik fotogrametri tekniklerinin hem iç hem de dış uygulamalarda çok sık kullanıldığını görmek mümkün olacaktır. Özellikle gelişmekte olan algılayıcı teknolojilerinin kamera donanımlarına getirdiği yenilikler göz önüne alındığında panoramik görüntüleme ile kullanılan

fotogrametrik uygulamalar daha sık kullanılan bir uygulama yöntemi olacaktır.

KISALTMALAR

ÇYG: Çok yönlü görüntü

ÇYGA: Çok yönlü görüntüleme algılayıcıları

KAYNAKLAR

Baker, S., and Nayar, S.K., 1998, **A theory of catadioptric image formation**, In Proceedings of the International Conference on Computer Vision, pages 35–42.

Baştanlar, Y., 2005, **Parameter Extraction and Image Enhancement for Catadioptric Omnidirectional Cameras**, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Enformatik Enstitüsü, Ankara.

Chahl, J., and Srinivasan, M., 1997, **Reflective surfaces for panoramic imaging**. Applied Optics, 36(31):8275–85, November 1997.

Gaechter, S., 2001, **Mirror Design for an Omnidirectional Camera with a Uniform Cylindrical Projection when Using the SVAVISCA Sensor**, Research Reports of CMP, CTU-CMP-2001-3, Czech Technical University, Prague, Czech Republic.

Hecht, E., and Zajac, A., 1974, **Optics**, Addison-Wesley.

Hong, J., Tan, X., Pinette, B., Weiss, R., Riseman, E. M., 1991, **Image-based homing**, Proc. 1991 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Sacramento, CA, April 1991, 620, 625.

Ishiguro, H., Yamamoto, M., and Tsuji, S., 1992, **Omni-directional stereo**, IEEE Trans. Pattern Analysis & Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 257-262.

Ishiguro, H., 1998, **Development of low-cost and compact omnidirectional vision sensors and their applications**, Proceedings of the International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis, pp. 433–439.

Mosaddegh, S., 2008, **Line Matching Across Catadioptric Images**, MSc Thesis, CREA laboratory Université de Picardie Jules Verne, A Thesis Submitted for the Degree of

MSc Erasmus Mundus in Vision and Robotics (VIBOT) 2008, Amiens, France.

Nalwa, V.S., 1996, **A true omnidirectional viewer**, Technical report, Bell Laboratories, Holmdel, NJ 07733, USA, February 1996.

Nayar S.K., and Baker, S., 1997, **Catadioptric image formation**, Proc. 1997 DARPA Image Understanding Workshop, pp. 1431-1437, New Orleans, May 1997.

Onoe, Y., Yamazawa, K., Takemura, H., Yokoya, N. (1998), **Telepresence by Real-time View-Dependent Image Generation from Omnidirectional Video Streams**, Journal of Computer Vision and Image Understanding, Vol.71, Number 2, 154-165, August 1998.

Peri, V., Nayar, S.K. (1997). **Catadioptric Omnidirectional Camera**, Proc. of DARPA Image Understanding Workshop, New Orleans, May 1997.

Rees. D. W., 1970, **Panoramic television viewing system**, United States Patent No.3,505,465, April 1970.

Sarachik, K., 1989, **Characterizing an indoor environment with a mobile robot and uncalibrated stereo**, Proc. Int. Conf. Robotics and Automation, Vol 2, pp. 984-989 14-19 May 1989.

Schneider, D., Schwalbe, E., Mass H.-G., 2009, **Validation of geometric models for fisheye lenses**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 64, pp. 259-266.

Yagi Y., and Kawato, S., 1990, **Panoramic scene analysis with conic pojection**, IEEE international workshop on Intelligent Robots and Systems, pages 181-187, 3-6 july 1990.

Yamazawa, K., Yagi, Y., Yachida, M. (1993). **Omnidirectional Imaging with Hyperboloidal Projection**, Proc. of IEEE/JRS Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, 1029-1034, 26-30 jul 1993.

Yamazawa, K., Yagi, Y., and Yachida, M., 1995, **Obstacle avoidance with omnidirectional image sensor Hyperomni Vision**, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, pages 1062-1067, Nagoya, Japon, 21-27 May1995