

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LAZER TARAMA VERİSİNDE GEOMETRİK
OBJE TABANLI ÜÇ BOYUTLU FİLTRELEME
UYGULAMASI

Erdem AY

DANIŞMANI:

Yrd. Doç. Dr. Bahadır ERGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

GEBZE

2009

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU
--	---

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışması Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: LAZER TARAMA VERİSİNDE GEOMETRİK OBJE TABANLI ÜÇ BOYUTLU FİLTRELEME UYGULAMASI

YAZAR ADI: Erdem AY

Günümüzde mimari dokümantasyon ve kültürel mirasın korunması çalışmalarında fotogrametrinin yanı sıra yeni bir ölçme ve modelleme yöntemi olan Yersel Lazer Tarayıcılar (YLT) daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Yakın resim fotogrametrisi ile yeni bir teknoloji olan YLT metotlarının birleştirilmesi, üç boyutlu fotorealistik modellerin sunumu, gerçek objelerin sınıflandırılması ve görsel gerçekliğin yaratılması için yeni fırsatlar sunmaktadır. Mühendislik formasyonu ile bakıldığında esasen bu iki yöntem hem donanım, hem de veri yapısı olarak birbirinden bağımsız yöntemlerdir. Ancak, mimari dokümantasyon ve kültürel mirasın korunması çalışmalarının bir gereği olarak bazı uygulamalarda bu iki yöntemin bir arada kullanılması gerekmektedir. Bu tarz uygulamalarda zaman anlamında kazanç sağlanmakta, fakat veri boyutu önemli ölçüde artmaktadır. Büyük ölçekli çalışmalarda bu iki yöntemin birlikte kullanılmasının optimize edilmesi bir zorunluluktur. Optimizasyon için gerekli olan entegrasyon iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan birincisi donanımsal entegrasyon, ikincisi ise veri entegrasyonudur.

Bu çalışmada; günümüzün yeni veri üretme yöntemlerinden olan Yersel Lazer Tarayıcıların fotogrametrik olarak yapılan mimari ve kültürel mirasın korunması çalışmalarında operatör işlemlerinin minimum seviyeye indirilmesi için bir veri entegrasyonu modeli sunulmuştur.

Bu veri entegrasyonu modeli için kullanılan matematik model ve belirlenen algoritma Matlab 7.0 ortamında yazılım çalışması haline getirilmiş ve orijinal veri seti ile test edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar tartışma ortamında

sunularak yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve tartışma ışığında düşünülen stokastik modelin avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Bu sonuçlar dahilinde geliştirilen stokastik modelin uygulamaya geçirilebileceği ve nesne yönelimli bir yazılım diliyle MS Windows tabanlı geliştirilmesi mümkün görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer Tarayıcı, Yersel Fotogrametri, Veri Entegrasyonu, Filtreleme, Matlab Programlama

SUMMARY

TITLE: 3D GEOMETRIC OBJECT FILTERING APPLICATION IN TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA

AUTHOR: Erdem AY

Nowadays, Terrestrial Laser Scanning and Modeling Technology have been densely used in architectural documentation and cultural heritage studies besides the technique of photogrammetry. In engineering concept, these two methods are independent from one another. However, these two methods have been used together in the essential parts of architectural documentation and cultural heritage studies. In the necessity of the applications, the working procedure has more efficient and the data of work have increased and time consumed also. These methods have necessarily been optimized for working together especially in the large scale studies. This necessity is in two way integration such as that the hardware integration and the data integration.

In this study, a new data integration model has been suggested for the operating process in architectural documentation and cultural heritage studies within terrestrial laser scanning that new data production method with photogrammetry.

The mathematical model and algorithm in the suggested integration model have been programmed in Matlab 7.0 and tested with original data sets. At the end of the study, results have been discussed and commented. In detail the case of results, advantages and disadvantages of the stochastic model are determined and the stochastic model has been described with the object oriented programming languages in MS Windows system.

Key Words: Terrestrial Laser Scanning, Close Range Photogrammetry, Data Integration, Filtering, Matlab Programming.

TEŞEKKÜRLER

Öncelikle, yüksek lisans eğitimime ilk başladığım andan son aşamasına kadar bana bıkmadan, sabırla destek olup yön veren ve gerektiğinde benimle laboratuvarda geç saatlere kadar çalışan, problem çözme yetisi ve bilimsel araştırma yapma yeteneği kazandıran GYTE Öğretim Üyesi Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Bahadır ERGÜN'e ;

Laboratuvarıda beraber çalıştığım ve elinden gelen yardımı esirgemeyerek kimi zaman bir arkadaş, kimi zaman da bir akademisyen olarak bana destek olan GYTE Araştırma Görevlisi Cumhur ŞAHİN'e;

Tahsilimin bu aşamaya gelmesinden, hayatımın her aşamasında maddi manevi her konuda desteklerini esirgemeyen ve herşeyden önemlisi hayatım boyunca sevgilerini, varlıklarını hissetmekten gurur duyduğum, annem Kadriye AY, babam Halil AY ve kardeşlerim Tuğba ve Kübra'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İşlerimizin yoğunluğuna rağmen tez çalışmalarım için ihtiyacım olduğunda beni kırmayarak izinlerimi kullanma imkanı sağlayan birim şefim Etüt Proje Başmühendisi Sayın İsmet ÖZEN'e ve bana destek olan mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜRLER	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. YERSEL LAZER TARAYICILARIN DONANIM ve VERİ YAPISI	5
2.1. Yersel Lazer Tarayıcıların Donanım Yapısı	7
2.2. Yersel Lazer Tarayıcıların Veri Yapısı	12
2.3. Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinin Yersel Fotogrametriye Entegrasyonu	15
3. UYGULAMA	17
3.1. Filtre Fonksiyonunun Matematik Modeli	18
3.2. Yazılım	21
3.3. Deneysel Çalışma	24
3.4. Doğruluk Analizi	31
4. SONUÇ ve ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	37
EKLER	38
EK-1. Leica HDS – 3000 Teknik Özellikleri	39
EK-2. Matlab Geometrik Filtre Kodu	41

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

YLT	: Yersel Lazer Tarayıcı
MS	: Microsoft
YFT	: Yersel Fotogrametri Tekniği
RGB	: Red, Green, Blue
X	: Bilinmeyenler Matrisi
T	: Geometrik Filtre Sonuç Analiz Matrisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Farklı Firmalara Ait Yersel Lazer Tarayıcılar	5
2.2. Uygulamada Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı ve Bileşenleri	7
2.3. Uçuş Zamanlı Mesafe Ölçme Yöntemi	9
2.4. Faz Farkı Sistemi	9
2.5. Lazer Telemetresi Blok Düzeni	10
2.6 YLT Lokal Koordinat Sistemi	12
2.7. Nokta Bulutu Görüntüsü Cyclone 5.2	13
3.1. Uygulama Üç Boyutlu HDS-3000 Nokta Bulutu Görüntüsü	17
3.2. Önerilen Geometrik Filtrenin Program Akış Diyagramı	21
3.3. Birinci Veri Seti Genel Nokta Bulutu Görüntüsü	24
3.4. Tahta ve Duvar Yüzeyleri 3B Görünüm	25
3.5. Birinci Veri Seti Ayrılan Yüzey Grafiği	26
3.6. Birinci Veri Seti T Matrisi Görünümü	26
3.7. İkinci Veri Seti Genel Nokta Bulutu Görüntüsü	27
3.8. Kapı, Pervaz, Duvar ve Kolon Yüzeyleri 3B Görünüm	28
3.9. İkinci Veri Seti Ayrılan Yüzey Grafiği	29
3.10. İkinci Veri Seti T Matrisi Görünümü	29

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Lazer Tarayıcılar ve Teknik Özellikleri	6
2.2. YLT' ların Mesafe Ölçme Yöntemine Göre Sınıflandırılması	8
3.1. Birinci Veri Seti ee_A.txt matrisi	22
3.2. Birinci Veri Seti (ham_data.txt)	22
3.3. 352 Nokta Birinci Yüzey Doğruluk Analiz Tablosu Örneği	32
3.4. 3807 Nokta İkinci Yüzey Doğruluk Analiz Tablosu Örneği	32

1. GİRİŞ

Günümüzde, tarihi ve kültürel yapıların belgelenmesi, restorasyon, röleve amaçlı çalışmalar için sıklıkla kullanılan Yersel Fotogrametri Tekniği (YFT) ile her türlü objenin hızla üç boyutlu olarak modellenmesi ve geometrik veri elde edilmesi çalışmalarında son yıllarda kullanılmaya başlanan Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) teknolojisi arasında yöntem, hassasiyet ve donanımsal olarak bir çok fark bulunmaktadır.

Yersel lazer tarama karmaşık geometriye sahip bina, makine vb. objelerden hızlı ve kolayca veri alınmasını sağlayan yeni bir teknolojidir. Son yıllarda bazı üreticiler özel amaçlar için farklı sistemleri dizayn edip geliştirdiler (Staiger, 2003). Yersel resim fotogrametrisi ile yeni bir teknoloji olan YLT metotlarının birleştirilmesi üç boyutlu fotorealistik modellerin sunumu, gerçek objelerinin sınıflandırılması ve görsel gerçekliğin yaratılması için yeni fırsatlar sunmaktadır (Forkuo and King, 2004).

Objeye üzerinde üç boyutlu geometrik bilgiye ulaşmada hızlı ve etkin çözümler sunan YLT' ların kullanım alanları da her geçen gün artmaktadır.

YLT' ların kullanıldığı bazı önemli çalışma alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Arkeoloji,
- Mimari restorasyon çalışmaları,
- Şehir modellemeleri,
- Sanal fabrikalar, sanal gerçeklik uygulamaları,
- Madencilik ve altyapı projeleri,
- Tünel ve yol ölçümleri,
- İmalat kontrolü,
- Olay yeri inceleme,
- Endüstriyel tasarım çalışmaları vb. (Gümüş ve Erkaya, 2007)

YFT ile YLT tekniklerini bağımsız kullanıldıkları uygulamalar ile birlikte birbirlerini tamamlayıcı yöntemler olarakta düşünebiliriz ki bu sebepten dolayı uygulama alanları gün geçtikçe artmaktadır.

YLT ile YFT arasında bir kıyaslama yapılacak olursa ;

Lazer Tarayıcılar ile;

- 3 boyutlu noktaların doğrudan elde edilebilir olmaları
- Kısa zamanda milimetre sıklığında yoğun nokta bulutu verisi elde edilebilme
- Şekil olarak zor yüzeylerde sorunsuz veri elde edilebilme
- Gerçek renkli görüntü elde edebilme imkanı

Yersel Fotogrametri ile;

- Yüksek çözünürlük
- Düşük maliyet
- Veri elde etme süresi resimleme ile mümkün olduğu için düşük zaman

gibi unsurlar ilk başta sayılabilirler.

Yersel lazer tarayıcılar, ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak, nokta bulutu olarak görüntülenmesini sağlar. Nokta bulutu verisi, ölçülen her nokta için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinat (x,y,z) ve yansıma yoğunluk değeri (ton) bilgisi ihtiva eder. Bu değerler (kutupsal koordinat, ton) başta txt formatı olmak üzere çeşitli formatlarda çıktı olarak alınabilmektedir (Lichti and Gordon, 2004).

Farklı istasyon noktalarından yapılan tarama verilerinin tek bir koordinat sisteminde bütünlenmesi ise yapay hedefler ile gerçekleştirilir. Söz konusu hedeflerin jeodezik yöntemlerle (Total Station vb.) koordinatlandırılması ile de istenilen referans sisteminde obje koordinatları elde edilmiş olur.

YLT nokta bulutu verisi çok yoğun bir veri seti olup, CAD (Microstation, Autocad, vb.) yazılımlarında çalışma yapılabilmesi için donanımsal olarak çok güçlü bilgisayarlara ve çok deneyimli operatörlere ihtiyaç duyulmaktadır.

YLT verisinin yersel fotogrametri de kullanılabilmesi için, resim rektifikasyonunda kullanılacak koordinatları bilinen noktaların tüm YLT nokta bulutu verisi içerisinde ayıklanması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında amaç; yersel lazer tarayıcı ile taranan yüzeylerden alınan nokta bulutu yoğunluğu içerisinde, operatörün yapacağı çalışmayı azaltacak, mimari fotogrametrideki yüzeylerin otomatik olarak ayrılabilirdiği bir filtre üretiminin sağlanmasıdır.

Yersel lazer teknolojisi çalışmada bahsedilen avantajları ve uygulama sahalarının genişlemesi ile beraber, akademisyenlerin ilgisini çeken ve üzerinde çalışılan bir konudur.

Yapılan benzer çalışmalardan birisi, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde "Modeling Stone Walls Using Laser Scanner Data" isimli tez çalışmasıdır. Çalışmada Seddülbahir projesinde kullanılmış olan ve bu çalışmada da kullanılan Leica HDS-3000 YLT verisinin değerlendirilmesinde karşılaşılan zorlukların aşılabilmesi için geliştirilen yazılım konu edilmektedir. SWT adı verilen yazılım, bazı değerlendirme aşamalarının mevcut yazılımlarla otomatik olarak yapılamaması üzerine geliştirilmiştir. SWT, yüzey üzerindeki taş şekillerinin geometrisinin belirlenmesi amacı ile yazılmıştır ve noktaların yükseklik farklarına göre analiz yapar. Eğer bir noktanın uzaklığı kendinden bir önceki ve bir sonraki noktanın uzaklıklarından daha az ise bu noktaya ait bilgiler tutulur ve bu noktalar taşların çerçevesini oluşturmaktadır. Yazılım, şayet taşlar arasındaki derinlik farkları mantıklı ve taş yüzeyleri çok deforme olmamışlarsa iyi bir performans sergilemektedir. Taşların yüzeyleri çok hasar görmüş iseler SWT taşların sınırlarını yakalayamaz yada bazılarını atlayabilir (Yüksel, 2008).

Konuya örnek teşkil edebilecek diğer bir çalışma ise İtalya Valencia’da bulunan Marques de Dos Aguas sarayında uygulanmış bir algoritmadır. Algoritmanın amacı taranmış objenin gerçek yüzeyini elde etmek ve veri hacmini azaltmaktır. Yapının düşey düz yüzeylerini otomatik olarak seçip, ilgisiz noktaları filtreleyen bir yaklaşım sunulmaktadır. Obje yüzeyinin şekline göre üç farklı metot uygulanmıştır. Bu metotlar Düzlem Yüzeylerin Kesişimi, Hough Transformasyonu ve yüzey projeksiyonu temeline dayanan yeni bir tekniktir. Uygulama için, dört farklı duvarı içeren ölçmeler yapılmıştır (Lerma and Biosca, 2005).

2. YERSEL LAZER TARAYICILARIN DONANIM ve VERİ YAPISI

1960' lı yıllardan günümüze dek araştırma konusu olan lazer teknolojisinin ölçme amacı ile kullanımına son yıllarda başlanmıştır. Bir çok araştırmaya konu olan lazer tarama sistemleri geliştikçe uygulama alanları da artmıştır. Uygulama özelliklerine göre IQSun, Leica, Optech, Callidus, Trimbe, Riegl, vb. (Tablo 2.1) firmalarca farklı özellikler de farklı mesafe uzunluklarına göre (1 m – 1500 m) Şekil 2.1'de gösterilen yersel lazer tarayıcılar üretilmişlerdir.



IQSun- IQSun 880



Leica -HDS 4500



Optech -ILRIS 3D



Callidus -CP 3200



Trimble- (Mensi) GS200



Riegl LMS-Z210i

Şekil-2.1. Farklı Firmalara Ait Yersel Lazer Tarayıcılar (Gümüş ve Erkaya, 2007)

Tablo 2.1 Lazer Tarayıcılar ve Teknik Özellikleri (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

Marka	Model	Ölçme Mesafesi(m)	Ölçme Hızı	Tarama Açısı	Mesafe Doğruluğu	Konumsal Doğruluk	İşinsal Açıklık
Leica	Scan Station	300m (%90 yansıtıcı yüzey)	4000 Nokta/San	$270^0(V)$ $360^0(H)$	4 mm @ 50 m	6 mm @ 50 m	4 mm @ 50 m
	HDS3000	300m(%90 yansıtıcı yüzey)	4000 Nokta/San	$270^0(V)$ $360^0(H)$	4 mm @ 50 m	6 mm @ 50 m	4 mm @ 50 m
	HDS4500	53.5 m	500000 Nokta/San	$310^0(V)$ $360^0(H)$	5mm+120ppm (%100yins. y.)	13.7mm @ 25 m	8.5 mm @ 25 m
	HDS6000	79 m (%80 yansıtıcı yüzey)	500000 Nokta/San	$310^0(V)$ $360^0(H)$	5 mm @ 50 m	10 mm @ 50 m	3 mm + 0.22mrad
Optech	Iris 3D	3m-1500m (%80 yansıtıcı yüzey)	2500 Nokta/San	$310^0(V)$ $360^0(H)$	7 mm @ 100 m	8 mm @ 100 m	0.00974^0
Riegl	LMS-Z420	2m-1000m (% 80 yansıtıcı. yüzey)	12000 Nokta/San	$0-80^0(V)$ $0-360^0(H)$	8 mm @ 50 m	10 mm @ 50 m	0.25 mrad
	LMS-Z390	1m-300m (%80 yansıtıcı yüzey)	11000 Nokta/San	$0-80^0(V)$ $0-360^0(H)$	4 mm @ 50 m	6 mm @ 50 m	0.25 mrad
	LMS-Z210	4m-650m (%80 yansıtıcı yüzey)	12000 Nokta/San	$0-80^0(V)$ $0-360^0(H)$	10 mm @ 50 m	15 mm @ 50 m	2.7 mrad
Z – F	Imager 5006	1m – 79 m	500000 Nokta/San	$310^0(V)$ $360^0(H)$	0.1 mm @ 50 m	1 mm @ 50 m	0.22 mrad
Faro	LS 880	1 m – 80 m	12000 Nokta/San	$320^0(V)$ $360^0(H)$	3 mm	5 mm	0.01^0

Tablo 2.1’de ölçme mesafesi ve tarama hassasiyetine göre günümüzde kullanılan farklı lazer tarayıcıların teknik özellikleri (Altuntaş ve Yıldız, 2008) verilmiştir. Bu tabloya göre çalışmada kullanılan YLT sistemi (Leica HDS 3000) nokta konum doğrulukları bilinmektedir.

2.1. Yersel Lazer Tarayıcıların Donanım Yapısı

Bir Yersel Lazer Tarama Sistemi, bu tez çalışması sırasında kullanılan ve Şekil 2.2' de gösterilen yersel lazer tarayıcı gibi;

- Tarayıcı,
- Kontrol ünitesi,
- Güç kaynağı,
- Sehpa bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil-2.2. Uygulamada Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı ve Bileşenleri

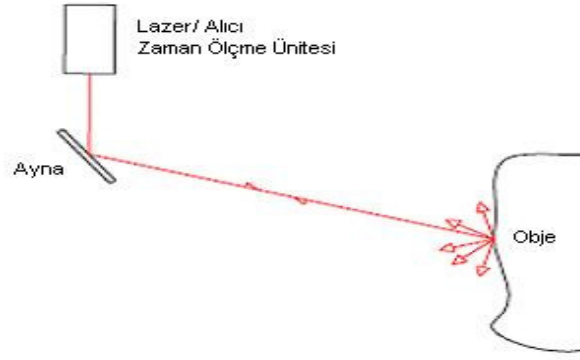
Tarayıcı ünitesi; YLT sisteminde üç boyutlu veriyi elde eden kısımdır. Mesafe ölçme prensiplerine göre de üç grupta incelenmeleri mümkündür.

Tablo 2.2 YLT' ların Mesafe Ölçme Yöntemine Göre Sınıflandırılması (Gümüş ve Erkaya, 2007)

Mesafe Ölçme Teknolojisi	Menzil (m)	Doğruluk (mm)	Üreticiler
Uçuş Zamanlı	<100	<10	Optech, Leica, Mensi, Callidus, Riegl
	<1000	<20	Optech, Riegl
Faz Farklı	<100	<10	IQSun, Leica, Visimage, Z – F
Optik Üçgenlemeli	<5	<1	Mensi, Minolta

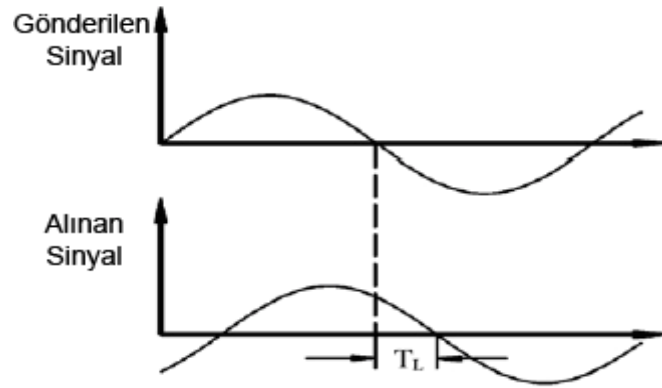
Tablo 2.1 ve 2.2'de görüldüğü üzere tarama yapılacak yere ve istenilen hassasiyete göre bir tarayıcı seçmek gerekir. Örneğin yapımı tamamlanmış bir yol projesinde, yapılan imalatın projesine uygunluğunu denetleme amacı ile veya taş ocağı, kum çakıl, ariyet ocağı gibi büyük kazı sahalarında hacim hesabı için Uçuş Zamanı prensibi ile mesafe ölçen (<1000) Optech, Riegl YLT'larından birisi tercih edilebilir ki <20 mm lik bir hassasiyet bu tarz uygulama sahaları için fazlası ile yeterlidir. Tünel tarzı kesit alanı dar bir yüzeyde ise elbette ölçme menzili <100 m aralığında bir cihaz tercih edilmelidir.

Mesafe ölçme prensibine göre üç ana grupta incelenmesi mümkün olan tarayıcılarda, en yaygın olarak kullanılan uzaklık ölçme yöntemi Tablo 2.2'de gösterildiği gibi uçuş zamanlı (time of flight) yöntemidir. Şekil 2.3'de gösterilen uçuş zamanlı mesafe ölçme yöntemini kullanan YLT sisteminin esası, atımla gönderilen lazer ışının taranan obje yüzeyi noktalarından yansıyıp geri dönen lazer ışınının tarayıcıdan çıkış anı ile yansıyarak geri dönme süresinin yani uçuş süresinin kaydedilerek mesafenin ölçülmesi işlemidir (Gümüş ve Erkaya, 2007).



Şekil-2.3. Uçuş Zamanlı Mesafe Ölçme Yöntemi (Gümüş ve Erkaya, 2007)

YLT' larda mesafe ölçme için yaygın olarak kullanılan prensiplerden ikincisi de Şekil 2.4' de gösterildiği gibi Faz Farkı Metodudur (Phase Difference). Bu yöntemde gönderilen lazer, uyumlu bir dalga ile ayarlanmıştır. Mesafe iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanmaktadır. Kısa mesafelerde etkili tarama yapan YLT' ların çoğu bu yöntemle göre çalışırlar (Boehler and Marbs, 2002).



Şekil-2.4. Faz Farkı Sistemi (Pınarcı, 2007)

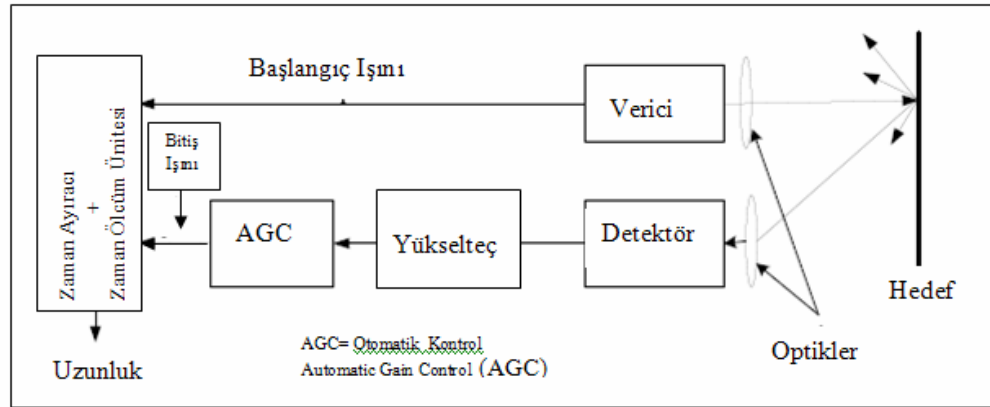
Üçüncü prensip üzerine kurulu olan sistemler, triangulasyon metodu ile çalışan (optical triangulation) sistemlerdir. Kısa mesafe ve <1 mm hassasiyette tarama yapan sistemler bu prensipte çalışırlar. Endüstriyel ve hassas uygulama alanlarında, küçük objelerde kullanılırlar (Boehler and Marbs, 2002).

Tarayıcı ünitesi genel olarak incelenecek olurlarsa;

- Lazer telemetresi ve
- Lazer ışın saptırma ünitesi' nden meydana gelir.

Lazer Telemetresi Blok Düzeni Şekil 2.5' te gösterildiği gibi;

- Transistörlü lazer veya yarı geçirken lazer diot (Verici),
- Dedektör (AGC) (Alıcı Kanal),
- Zaman ayırma, ölçümü ünitesi (TDC),
- Verici ve alıcı optiklerinden oluşur (Gümüş ve Erkaya, 2007).



Şekil-2.5. Lazer Telemetresi Blok Düzeni (Gümüş ve Erkaya, 2007)

Lazer vericisi, aynı anda birisi alıcıya ve diğeri de zaman ölçüm ünitesini başlatmaya yarayan başlangıç lazer atımı yaymaktadır.

Detektör (AGC) yüzeyden yansıyan lazer sinyalinin algılanmasında kullanılmaktadır ve ölçülen objeden yansıyan sinyal, detektör tarafından algılandığında, başlangıç atımı ile başlatılan zaman ölçüm ünitesi de durur (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Hedefin tarayıcıya olan mesafesi;

$$R = c \frac{t}{2} \quad \text{denklemleri ile hesaplanmaktadır.} \quad (2.1)$$

(2.1) denklemindeki c ışık hızını, t ise lazer atımının ölçülen objeye çarpıp geri döndüğünde geçen zamanı ifade etmektedir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Lazer ışın saptırma ünitesi, dikey ve gerektiğinde yatay yönde ışının sapmasını sağlamak için lazer saptırma ünitesi kullanılır ve;

- Döner düz aynalar,
- Döner çokgen aynalar,
- Dalgalı (Galvanometrik) aynalar olmak üzere üç çeşit ayna

kullanılmaktadır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Tarama ünitesi, yapılan tüm tarama işlemini ve elde edilen veriyi kaydetmek ve kontrol etmek için kullanılan Yersel Lazer Tarayıcının yazılımının da yüklü olduğu yüksek kapasiteli, genelde taşınabilir bilgisayarlardır .

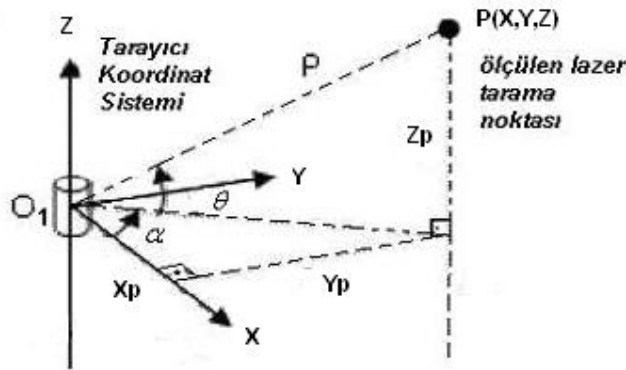
Güç kaynağı, bir veya birden fazla pilden oluşur. Lazer tarayıcı gücünü bu pillerden alır.

YLT' lar, kullanılacakları istasyon noktasına ve kullanılma amaçlarına göre gerektiğinde düzeçlenebilir bir sehpa ile kullanılırlar.

2.2. Yersel Lazer Tarayıcıların Veri Yapısı

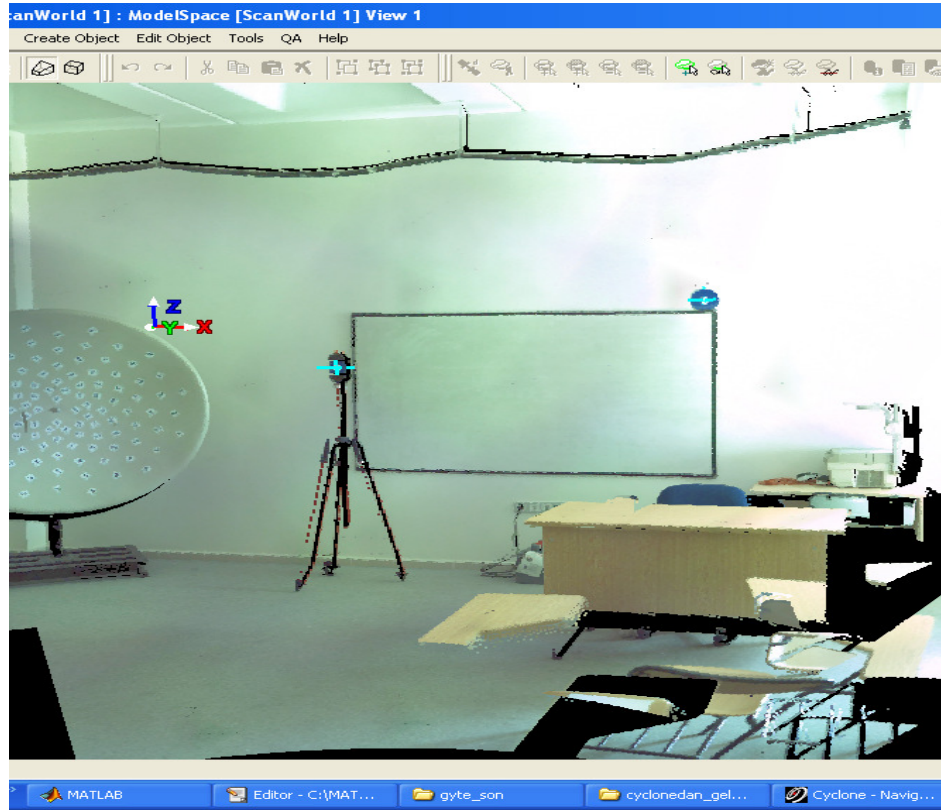
YLT' lar, kurulduğu istasyon noktası alet merkezli koordinat sisteminde, taranacak objenin yüzeyini saniyede binlerce noktanın X,Y,Z kartezyen koordinatlarını elde edecek şekilde taramaktadır. Elde edilen veri, üç boyutlu koordinatlar yanında taranan yüzeyin yapısına ve ölçme uzaklığına bağlı olarak dönen sinyalin yoğunluğunu RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) olarakta içermektedir. Kaydedilen RGB yoğunluk değerleri sayesinde de taranan objenin ve ortamın modellenmesi kolaylaşmıştır. Tarama ile elde edilen bu yoğun veriye nokta bulutu adı verilmektedir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Lazer tarayıcılar, ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu halinde görüntülenmesini sağlarlar. Her lazer noktası için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinatlar ölçülür. Bunlar; ölçülen noktaya olan eğik uzaklık ρ , ölçüm doğrusunun x eksenine yatay düzlemde yaptığı açı α ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı θ dır. Şekil 2.6' da görüldüğü üzere yersel lazer tarayıcılar konumlandırıldıkları noktayı başlangıç noktası kabul ederek tamamen lokal koordinat sistemi tabanlı ölçme yapmaktadırlar (Lichti and Gordon, 2004).



Şekil-2.6. YLT Lokal Koordinat Sistemi (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

Elde edilen nokta bulutu verisi, CAD modelleri için DXF, yüzey modelleme için ASCII, görselleştirme için VRML formatında ve txt vb. bir çok formatta koordinat, açı mesafe olarak alınabilmektedir. Nokta bulutu verisi, kullanılan YLT modellerine göre farklılık gösteren yazılımlarla elde edilirler. Bu yazılımlar ham veriyi elde etmek, elde edilen veri üzerinde çalışma yapılabilir hale getirmek, gerektiğinde doku kaplamak vb. bir çok amaca yönelik modüller halinde mevcuttur. Şekil 2.7’ de Leica HDS – 3000 yersel lazer tarayıcısı ile taranmış, RGB yoğunluk değerleri ile görselleşmiş nokta bulutu verisi görülmektedir.



Şekil-2.7. Nokta Bulutu Görüntüsü Cyclone 5.2

Bu tez çalışmasında YFT ve YLT entegrasyonunu kolaylaştırmak amacı ile YLT verisinin bir filtre ile sadeleştirilmesi amaç edinilmiştir. Bu amaç doğrultusunda nokta ağırlıklarına dayalı 3 boyutlu, obje tabanlı ve matematiksel algoritmaya sahip bir filtre geliştirilmiş ve iki aşamalı olarak iki farklı veri setinde uygulanmıştır. Elde

edilen sonuçlar ve kullanılan veri setleri tez içerisinde verilmiş ve doğruluk analizleri yapılmıştır.

Tezde kullanılacak YLT nokta bulutu verisinin elde edilmesi amacı ile Leica HDS 3000 Lazer Tarayıcı ile GYTE Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü dersliğinde yapılan taramalar kullanılmıştır.

Nokta bulutu verisinin analizi ve gösterilmesi için Microstation, Cyclone 5.2 ve AutoCAD programlarından yararlanılmıştır.

Geliştirilen filtre altlık programlama dili olarak Matlab 7.0 programında kodlanmıştır.

Birinci adımda operatör tarafından belirlenen noktalar ile bir düzlem geçirilmiş ve dengeleme yapılarak düzlem denklemi parametreleri elde edilmiştir.

İkinci adımda elde edilen parametreler ile tüm noktalardaki Δz derinlik farkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama yüzey parametrelerine göre belirlenen Δz parametreleri ile geometrik yüzey modelini içeren bir filtre ile yüzeyler birbirinden ayrılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan geometrik filtre ile eğitilen filtre matrisi daha sonra tüm noktalara uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2.3. Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinin Yersel Fotogrametriye Entegrasyonu

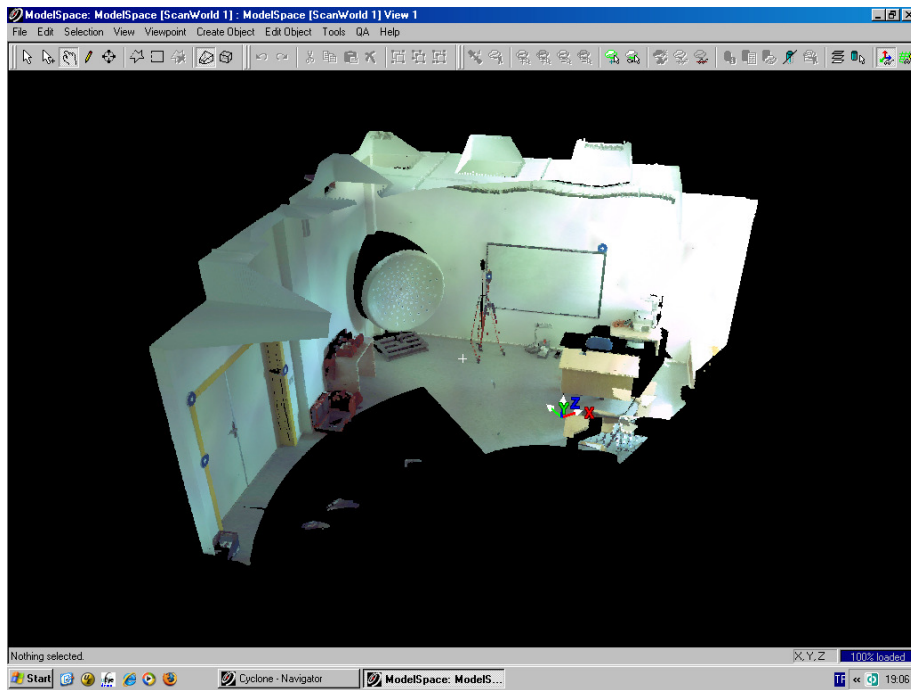
Fotogrametrik veri üretiminde YLT ların kullanılması günümüzde tercih edilen bir yöntemdir. Resim rektifikasyonunda kullanılacak koordinatları bilinen noktaların, tüm YLT verisi içerisinde ayıklanması gerekmektedir. Bu noktalar cisim yüzeyleri üzerinde maximum ve minimum noktalar olarak tanımlanır. Ancak YLT verisi içerisinde farklı tarama açıları nedeni ile yüzeyler üzerinden bu noktaların okunması ve işlenmesi yoğun nokta bulutu verisi nedeni ile zor bir çalışmayı gerektirir ve veri üreten operatör için zaman alıcı olabilmektedir. Özellikle fotogrametrik veri üretiminde mimari restorasyon ve kültürel mirasın korunması çalışmalarında kullanılan veri düşeye çevrilmiş resimlerdir. Bu resimlerin YLT verisi olan nokta bulutu kümesinden alınması ve fotogrametrik resim rektifikasyonunda kullanılması operatör aracılığı ile yapılmaktadır. Bu çalışmayı operatörden bağımsız hale getirebilmek için nokta bulutu verisi üzerindeki farklı derinliğe sahip yüzeylerin birbirinden ayrılması yöntemi bir entegrasyon yöntemi olarak belirlenebilir.

Bu çalışma için entegrasyon yöntemi olarak farklı derinliklere ait farklı yüzeylerin otomatik olarak belirlenebilmesi için bir geometrik filtreleme yöntemi çalışması yapılmıştır. Bu seçilen entegrasyon yöntemi sayesinde fotogrametrik veri üretiminin bir parçası olan resim rektifikasyonu için gerekli verilerin, YLT verisini oluşturan nokta bulutu verisi üzerinde insan faktörü olmaksızın otomatik olarak üretilebilmesi sağlanmış olacaktır. YLT'ların ürettiği veri formatının temelini oluşturan koordinat bilgilerini oluşturan veri dosyası ve fotogrametrik verinin koordinat bilgilerini oluşturacak veri koordinat bilgisi olarak aynıdır. Ancak fotogrametrik verinin otomatik olarak entegre edilebilmesi için düşeye çevrilecek fotoğraflık bilgiye ait verinin doğru olarak bu nokta bulutu verisi içinden seçilebilmesi gereklidir. İşte bu nokta bulutu verisi içerisinde kullanılacak bir filtre algoritması ile sınıflandırılması gerekmektedir. Cyclone 5.2 yazılımı YLT'ların nokta bulutu verilerinin oluşturulmasında kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım ile elde edilen nokta bulutu verilerine ait koordinat bilgileri dökümü yapıldığında veri içerisinde düzenli bir sıralamanın ve tasnifin yapılmadığı görülmüştür. Bu durumda nokta bulutu verisinden nokta koordinatı belirlemek tam anlamıyla yazılımın CAD

arayüzünde operatör yardımı ile manuel olarak yapılabilmektedir. Farklı derinlikteki yüzeylere ait nokta konum verilerinin sınıflandırılabilmesi için elde edilen ham veriye matematiksel bir algoritma yardımı ile bir filtre uygulanıp verinin üç boyutlu sınıflandırılması düşünülmüştür. Bu sınıflandırmayı yapabilecek bir matematiksel algoritma üzerinde çalışılmış ve geometrik konum bilgisine dayalı bir algoritma ile nokta bulutu verisi Matlab ortamında otomatik olarak sınıflandırılmıştır. Böylece operatörsel bir müdahale olmadan nokta bulutu verisi üzerinde fotogrametrik olarak bilgi almak mümkün olacaktır.

3. UYGULAMA

Bu çalışma içerisinde uygulanacak entegrasyon yöntemi matematiksel bir filtre fonksiyonundan oluşmaktadır. Uygulama çalışması içerisinde düşünülen matematik filtre fonksiyonu öncelikle Matlab 7.0 ortamında kodlanmıştır ve çalışabilir bir program haline getirilmiştir. Bu üretilen program iki farklı orijinal nokta bulutu verisi üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.



Şekil-3.1. Uygulama Üç Boyutlu HDS-3000 Nokta Bulutu Görüntüsü

Uygulama verisi Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi Leica HDS-3000 model YLT ile GYTE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölüm Dersliğinde yapılan tarama ile elde edilmiştir. Tarama sıklığı yaklaşık 9 mm dir. Cihazının dahili hafıza kartı bulunmayıp, tarama esnasında, bağlı bulunan Laptop bilgisayar ve Cyclone yazılımı ile eş zamanlı veri kaydı yapılmıştır. Alet hakkında Tablo 2.1’deki genel özellikleri yanında ayrıntılı bilgi Ek-1’de sunulmuştur.

3.1. Filtre Fonksiyonunun Matematik Modeli

Düşünülen entegrasyon çalışması için seçilen fonksiyonel model logaritmik bir modeldir. Filtre modelinin logaritmik seçilmesinin sebebi matematik modeli oluşturan yüzey fonksiyonunun maksimum ve minimumları içerisinde yüzeye bağlı yükseklik farkları temelinde çalışmasıdır. Yüzeyin matematik denklemi 'n' yüzeye ait nokta sayısı olmak üzere;

$$\begin{aligned}
 ax_1 + by_1 + cz_1 + d_1 &= 0 \\
 ax_2 + by_2 + cz_2 + d_2 &= 0 \\
 &\vdots \\
 ax_n + by_n + cz_n + d_n &= 0
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

ortalama (dengeleme ile hesaplanmış) yüzey denklemdir.

Temelde, matematik yüzey denklemlerini oluşturan $ax + by + cz + d = 0$ matematik modeli içerisinde derinlik fonksiyonunun belirlenmesinin negatif değerlerden arındırılarak yapılabilirliği sağlanmıştır. Logaritmik olarak oluşturulan filtre fonksiyonunda girdi olarak yüzey denklemini oluşturan parametreler ve yüzeyi oluşturan Z değerlerinin minimumlarının negatif değer almaması ve bu değerlerin filtre fonksiyonunda 1.0 eksenine ile çıkışması sağlanmıştır. Bu sayede veri içerisinde sınıflandırılacak yüzey sayısı içinde bir referans sağlanmış olacaktır.

Filtre fonksiyonu olarak logaritmik eksponansiyel bir filtreleme tekniği kullanılmıştır. Filtre fonksiyonu;

$$f(x) = e^{\frac{\Delta z^2 \cdot \cos(g)}{\sqrt{x^2 + y^2}}} \tag{3.2}$$

olarak düşünülmüştür. Bu filtre fonksiyonu herhangi bir yabancı ve yerli literatürde bulunmayıp, bu tez çalışmasına özgüdür.

Burada exponansiyel fonksiyon kullanılmasındaki amaç, filtrede negatif değerlerle işlem yapmamak ve referans yüzeye ait minimum Z değerlerin “1” sayısına atanmasını sağlamaktır.

$$\Delta z : \Delta z = \frac{-(d + by_i + ax_i)}{c} \text{ denklemi ile parametrelere dayalı hesaplanan 'Z' değeri}$$

x_i : YLT ile ölçülen her bir noktanın ‘x’ koordinatı

y_i : YLT ile ölçülen her bir noktanın ‘y’ koordinatı

g : Radyan biriminde noktalar arasındaki eğim açısı olmak üzere;

Fonksiyon matematiksel olarak incelendiğinde, $f(x, y, \Delta z, g)$ fonksiyonun kısmi türevi olmak üzere;

$$\frac{df}{dx}(y, \Delta z, g) = \frac{-x.\Delta z^2.Cos(g)}{(x^2 + y^2).\sqrt{x^2 + y^2}}.e^{\frac{\Delta z^2.Cos(g)}{\sqrt{x^2 + y^2}}} \quad (3.3)$$

$$\frac{df}{dy}(x, \Delta z, g) = \frac{-y.\Delta z^2.Cos(g)}{(x^2 + y^2).\sqrt{x^2 + y^2}}.e^{\frac{\Delta z^2.Cos(g)}{\sqrt{x^2 + y^2}}} \quad (3.4)$$

$$\frac{df}{\Delta z}(x, y, g) = \frac{2.\Delta z.Cos(g)(\sqrt{x^2 + y^2})}{(x^2 + y^2)}.e^{\frac{\Delta z^2.Cos(g)}{\sqrt{x^2 + y^2}}} \quad (3.5)$$

$$\frac{df}{g}(x, y, \Delta z) = \frac{-Sin.\Delta z^2.(\sqrt{x^2 + y^2})}{(x^2 + y^2)}.e^{\frac{\Delta z^2.Cos(g)}{\sqrt{x^2 + y^2}}} \quad (3.6)$$

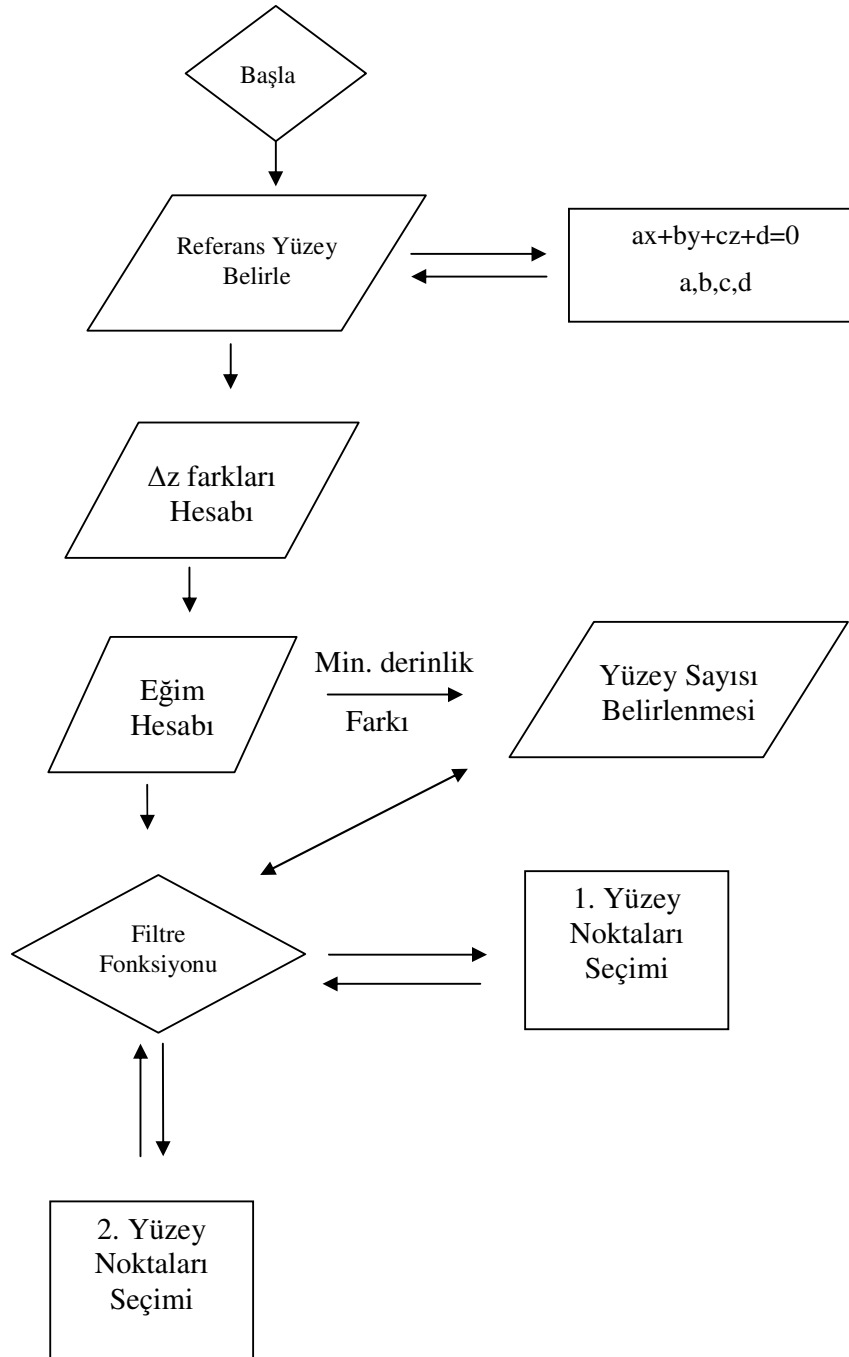
kısmi türevleri fonksiyonun ekstremum değerlerini vermektedir.

Tanımlanan filtre fonksiyonu literatürde daha önce kullanılan filtre fonksiyonlarından farklıdır. Bu fonksiyonun tanımlanması; seçilen iki farklı veri seti ile yapılan çalışmalar sonucunda tamamlanmıştır. Tez çalışmasında oluşturulan ve sunulan bu filtre fonksiyonu sadece Leica Cyclone 5.2 yazılımının oluşturduğu nokta kümeleme sistemini sınıflandırmak ve filtrelemek amacı ile geliştirilmiştir. Sunulan

bu fonksiyon diğ er yazılımlar için denenmemiştir. Matematiksel olarak fonksiyonun türevlerini oluşturan değ erler, sayısal bir değ er olarak hesaplatılmamış ve kullanılmamıştır. Yazılan programda sadece filtre fonksiyonu olarak belirlenen fonksiyon kullanılmış tır.

3.2. Yazılım

Geliştirilen geometrik filtre Matlab 7.0 kullanılarak kodlanmıştır. Kodlanan programın akış diyagramı Şekil 3.2’ de verilmektedir.



Şekil-3.2. Önerilen Geometrik Filtrenin Program Akış Diyagramı

Yazılımda ilk olarak 232 noktalı ve iki yüzeyli eğitim datası kullanılmıştır. Başlangıç olarak yüzey parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yüzey parametrelerinin belirlenebilmesi için düzlem denkleminde bilinmeyen (a, b, c, d) katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Dengelemeli olarak hesaplanabilmeleri için ise bilinmeyen sayısından en az bir fazla ölçü gerekmektedir. Operatör tarafından referans yüzey üzerinden belirlenen 5 nokta, program içerisine ‘ee_A.txt’ dizisi olarak import edilmektedir.

Tablo 3.1 Birinci Veri Seti ee_A.txt matrisi

NN	X	Y	Z
5	0.153229	0.521369	-0.004161
163	0.270996	0.521319	-0.004880
12	0.153229	0.467538	-0.009394
230	0.270874	0.467157	-0.006026
35	0.216461	0.494419	-0.006889

Referans yüzey parametreleri hesabı için en küçük kareler yöntemi metodu ile dengeleme yapılmış ve ‘X’ bilinmeyenler matrisi elde edilmiştir.

İşlenecek ham nokta bulutu verisi Cyclone 5.2 programından txt formatında export edilmiştir. Export edilen nokta bulutu verisi (x,y,z) ‘ham_data.txt’ olarak adlandırılmış ve load komutu ile matlab ortamına dizi olarak atanmıştır.

Tablo 3.2 Birinci Veri Seti (ham_data.txt) Örnek Görünüm

NN	X	Y	Z
1	0.216522	0.485348	-0.006629
2	0.153229	0.485515	-0.007611
3	0.153259	0.494135	-0.003123
4	0.153259	0.512298	-0.003901
5	0.153229	0.521369	-0.004161
6	0.153259	0.503609	-0.007810
..	..	..	..

Hesaplanan referans yüzey ise ‘YUZEY1.txt’ olarak yazdırılmıştır.

$$\Delta z = \frac{-(d + by_i + ax_i)}{c} \quad (3.7)$$

bağıntısı yardımı ile veri içerisindeki tüm noktaların referans yüzeye göre denklem ile elde edilen yükseklikleri belirlenmiştir. Hesaplanan bu değerler bir sütun matrisi olarak veri dosyasına eklenmiştir.

$$\text{Fark} = \Delta z_i - z_i \quad (3.8)$$

bağıntısı ile de tüm noktaların referans yüzeye olan yükseklik farkları belirlenmiştir.

İşlem analiz matrisi olarak ‘T’ matrisi tanımlanmış olup ilk aşamada ham nokta bulutu verisi x,y,z nokta koordinatlarının tamamını içeren bir matristir. Yazılımda ilerleyen aşamalarda hesaplanan veriler arttırılmış matris formunda düzenlenmiştir. $\text{Fark} = \Delta z - z$ bağıntısı ile bulunan yükseklik farkları T matrisinin dördüncü sütununa atanmıştır.

Düşünülen filtre stokastik modeli çerçevesinde kod dosyası içinde Matris_EG ve Matris_DEG noktalar arası radyan ve derece biriminde eğim değeri olarak hesaplatılmış ve ‘T’ işlem matrisine 5. ve 6. sütun olarak eklenmiştir.

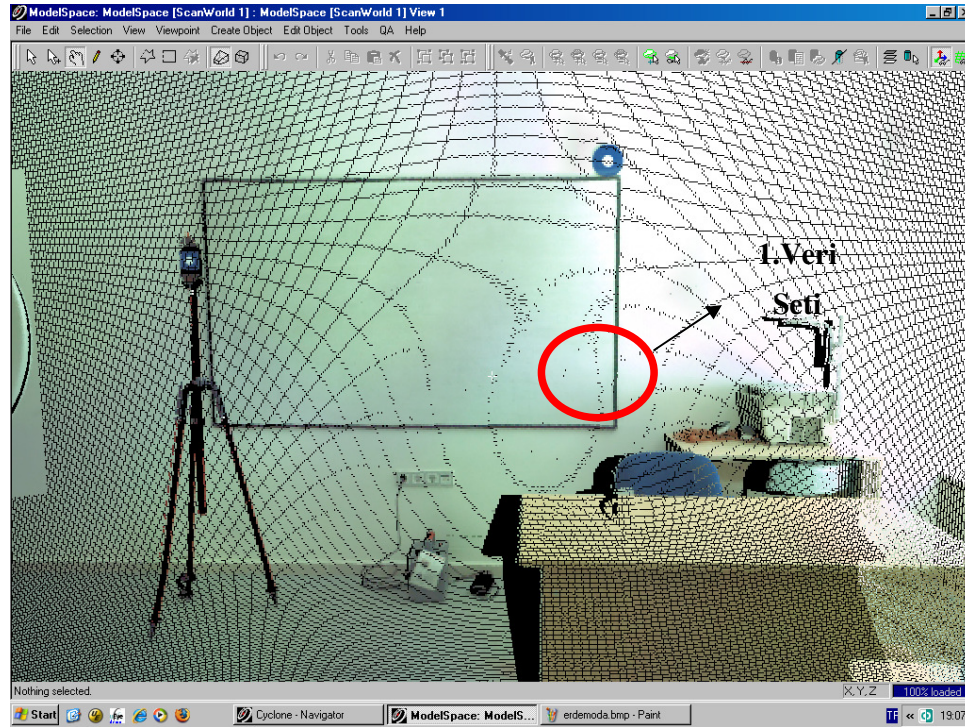
Yüzeylerin birbirinden ayrılabilmesi için ‘M_y_fark’ faktörü tanımlanmış ve çalışmamızda ayrılmasını istediğimiz yüzeyler arası derinlik farkı 1 cm olarak belirlenmiştir.

$$\text{Filtre fonksiyonu olarak kullanılan } f(x) = e^{\frac{\Delta z^2 \cdot \cos g}{\sqrt{x^2 + y^2}}} \quad \text{denklemini}$$

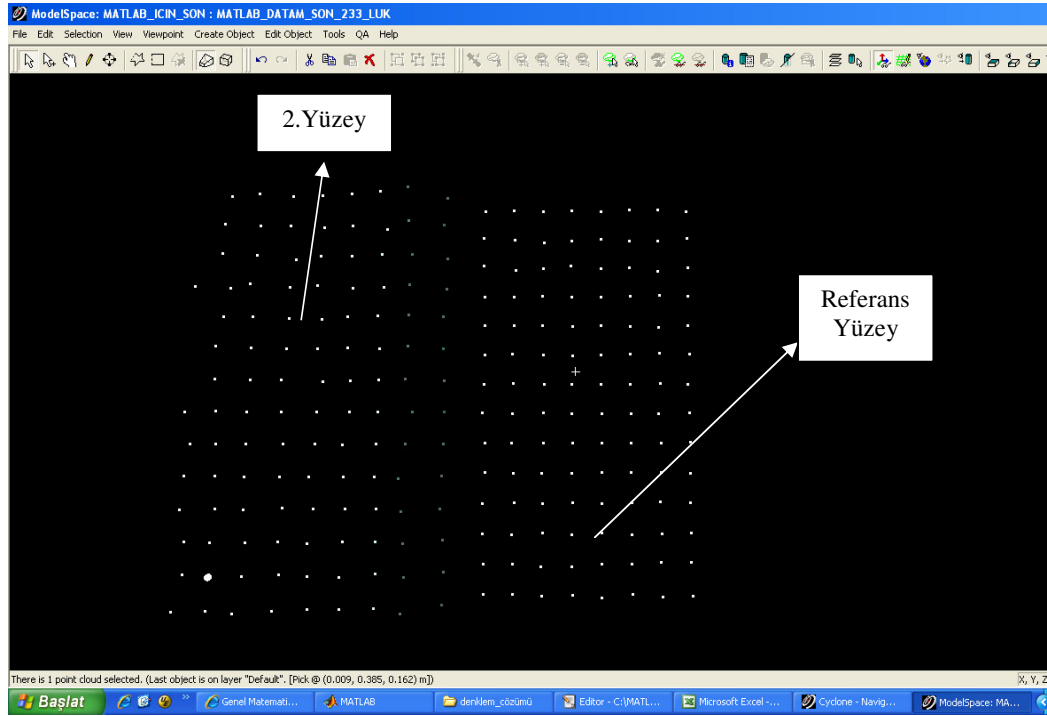
Matris_Oran isminde kodlanarak her nokta için işleme girmektedir. Bulunan değerlerin standart sapmaları değerlendirilerek T arttırılmış matrisi içinde noktaların ait oldukları yüzeylere otomatik yüzey numaraları olarak sınıflandırılmaları sağlanmıştır. Filtre özelliği, iki yüzeyi sınıflandırarak birbirinden ayırdığı için ikiden fazla yüzeyler için filtre, döngü ile yüzey sayısına bağlı sayıda uygulanmaktadır. Yapılan yazılım Ek-2 de Matlab Uygulama Kodu olarak sunulmuştur.

3.3. Deneysel Çalışma

Belirlenen filtre modeli iki farklı orijinal veri setinde test edilmiştir. Şekil 3.3’de gösterilen birinci veri setinde iki farklı yüzeyi içeren 232 noktalı ve yüzeyler arası derinlik farkı yaklaşık 3 cm olan bir veri seti seçilmiştir. Şekil 3.4’de gösterildiği gibi yüzeylerden birincisi yazı tahtası, ikincisi ise duvar zeminidir. Tahta ile duvar arasındaki yükseklik farkı yaklaşık 3 cm dir. Duvar yüzeyi referans yüzey olarak kabul edilmiş ve düzlem denklemi parametreleri hesabı için gerekli minimum 5 nokta yüzeyden seçilmiştir.

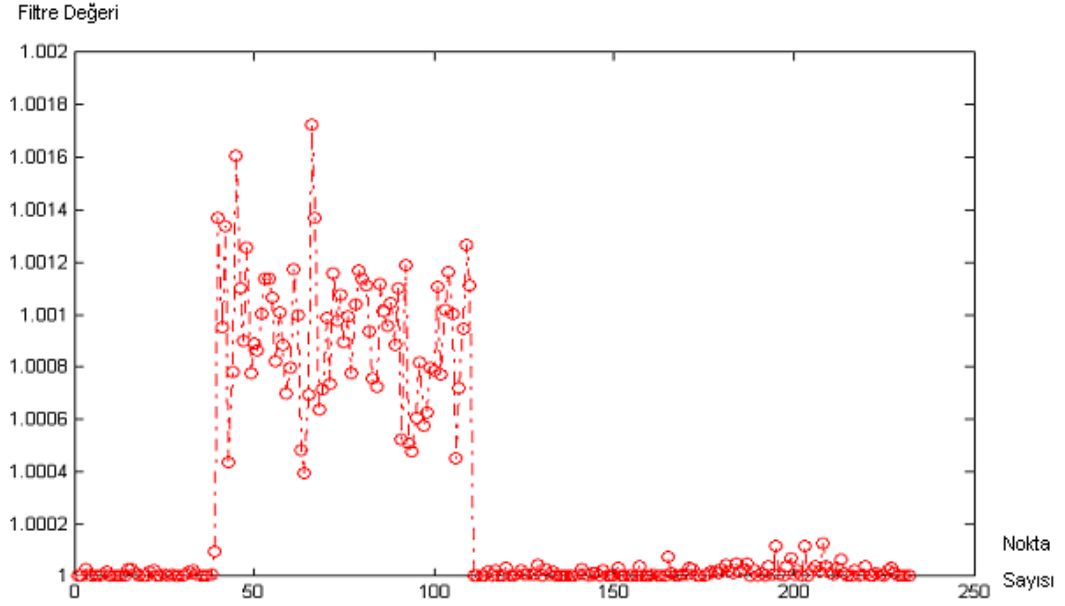


Şekil-3.3. Birinci Veri Seti Genel Nokta Bulutu Görüntüsü



Şekil-3.4. Tahta ve Duvar Yüzeyleri 3B Görünüm

Şekil-3.4’de bir yüzey, referans yüzey olarak kabul edilmiş ve düzlem denklemi parametreleri hesabının ardından uygulanan filtre modeli ile minimum derinlik farkına sahip referans düzleme ait olan noktalar Şekil-3.5’de gösterildiği şekilde 1.000 eksen ile çakışmış, ikinci yüzeye ait noktalar ise eksenin üst kısmında görülmektedir. Bu kullanılan filtre fonksiyonunun özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ekspansiyel bir fonksiyon kullanıldığından minimum derinlik farkına sahip noktalar 1.000 sayısına yaklaşan filtre değeri ile geri dönmektedir. Buradan otomatik olarak birinci yüzey seçilen noktalar, bu yüzeye atanmaktadırlar. Şekil-3.6’da bu filtre sonucunda yapılan sınıflandırma ile oluşan matris ve bu matrisin son sütununda her noktanın atandığı yüzey sayıları gözükmemektedir. Normalde bunu belirlemek için CAD modelden nokta bulutu verisi açılarak operatörün buradaki nokta bulutunu üç boyutlu olarak incelemesi ve tek tek manuel olarak karar vermesi gerekmektedir.



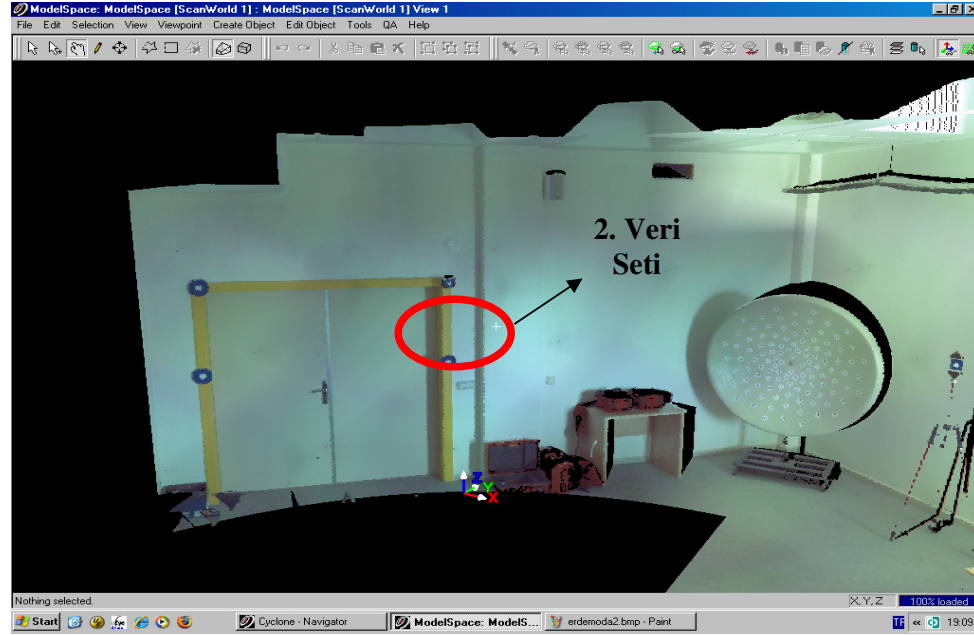
Şekil-3.5. Birinci Veri Seti Ayrılan Yüzey Grafiği

Microsoft Excel - kucukdataT								
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help								
K37								
	A	B	C	D	E	F	G	H
30	0.1987	0.52148	-0.005733	-0.00088155	-0.0018731	-0.10732	1	1
31	0.19858	0.50355	-0.007685	-0.0017917	-0.0039626	-0.22704	1	1
32	0.21646	0.51204	-0.002039	0.0031674	0.0066173	0.37915	1	1
33	0.21671	0.52171	-0.008377	-0.0037348	-0.0076392	-0.4377	1	1
34	0.20764	0.52153	-0.006464	-0.0017131	-0.0035716	-0.20464	1	1
35	0.21646	0.49442	-0.006889	-0.00065947	-0.0014308	-0.081979	1	1
36	0.20752	0.50354	-0.00747	-0.0016728	-0.0036281	-0.20787	1	1
37	0.20752	0.49448	-0.007382	-0.001059	-0.0023428	-0.13423	1	1
38	0.21661	0.50352	-0.007536	-0.0018366	-0.0039064	-0.22382	1	1
39	0.20783	0.51305	-0.012587	-0.0073452	-0.015592	-0.89337	1.0001	1
40	0.15283	0.37607	0.009792	0.023585	0.079979	4.5825	1.0014	2
41	0.15305	0.421	0.009497	0.020679	0.062528	3.5826	1.001	2
42	0.15299	0.43858	0.014777	0.024938	0.072088	4.1304	1.0013	2
43	0.15311	0.44836	0.004746	0.014338	0.040466	2.3185	1.0004	1
44	0.15302	0.4301	0.008244	0.018897	0.05585	3.1999	1.0008	2

Şekil-3.6. Birinci Veri Seti T Matrisi Görünümü

Şekil 3.7' de gösterildiği gibi ikinci veri seti olarak dört farklı yüzeyi içeren ve yüzeyler arası derinlik farkları 7 cm den 20 cm ye kadar farklı olan kapı, pervaz,

duvar ve kolon yüzeylerini içeren 3807 noktalı orjinal bir veri seti seçilmiştir. Bu veri setini içeren yüzeylerin üç boyutlu görünüşleri ise Şekil 3.8’de verilmiştir.

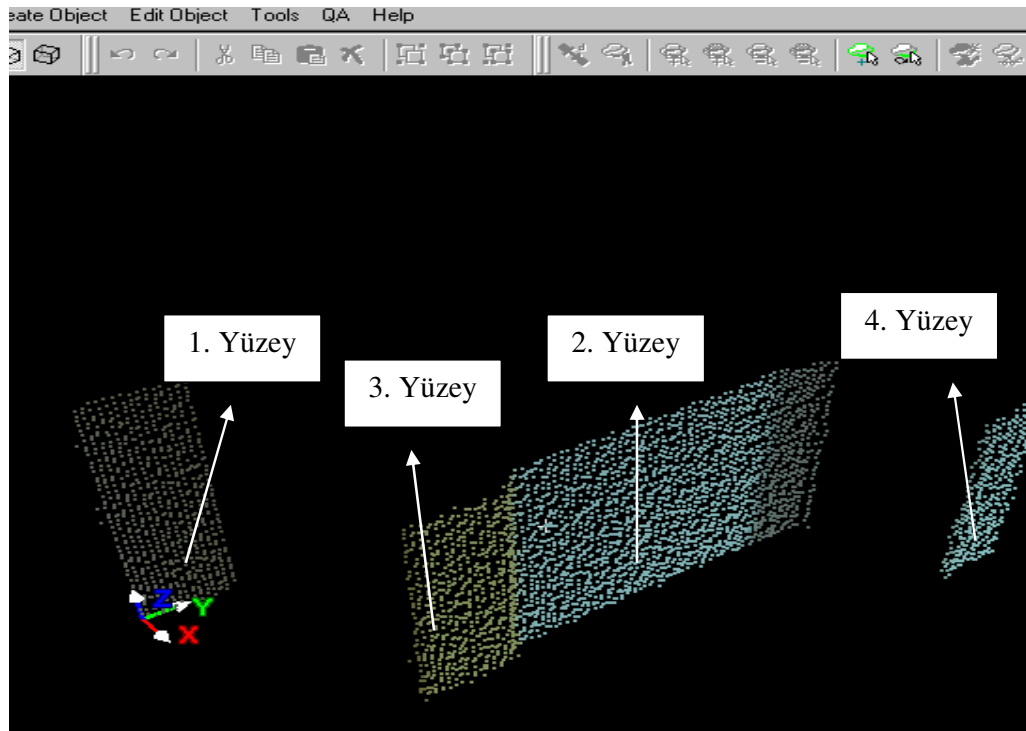


Şekil-3.7. İkinci Veri Seti Genel Nokta Bulutu Görüntüsü

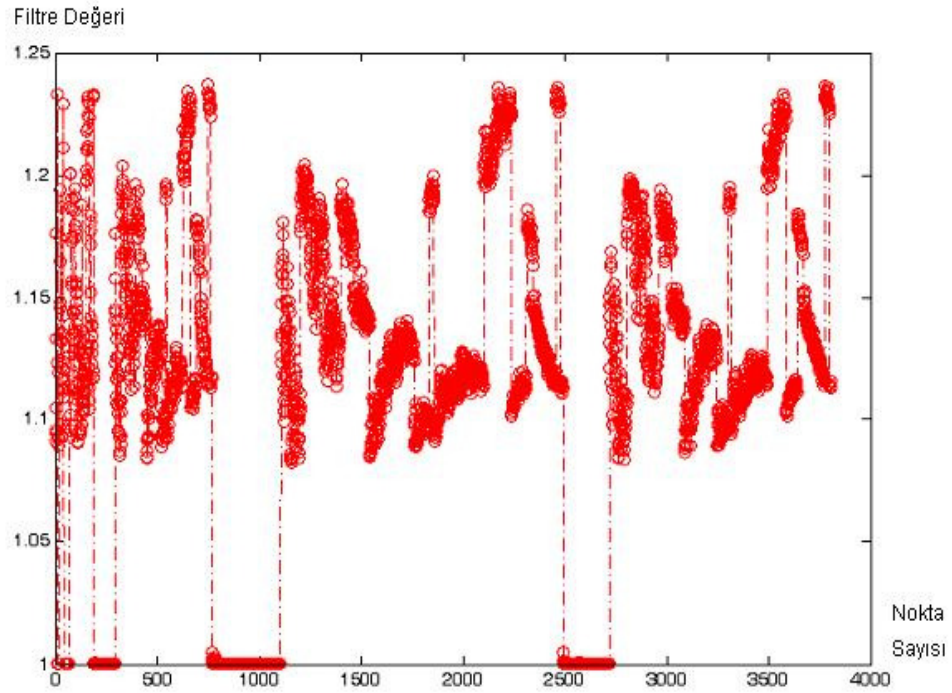
Şekil-3.8’de üç boyutlu nokta bulutu ile gösterilen ikinci veri seti yüzeyleri ve uygulanan filtre ile elde edilen sonuçların gösterildiği Şekil-3.9’da anlaşılabacağı üzere filtre fonksiyonu içinde elde edilen yüzey sayısı veri seti içinde önceden bilinmemesine rağmen, kullanıcı tarafından verinin dört farklı yüzeye ayrılacağı ve minimum derinlik farkında 1 cm olacağı yazılan programa girilmektedir. Bir önceki veri setinde ise sadece iki yüzey bulunduğundan bu bilgilerin belirtilmesine gerek yoktur. Çünkü filtre temelde iki farklı derinlikte yüzeyi birbirinden ayırmak üzere Matlab ortamında kodlanmıştır. Yüzey sayısı arttığında ise minimum derinlik farkı dikkate alınmakta ve yüzey sayısına bağlı bir döngü ile yazılan kod çalışmaktadır. Burada yine birinci yüzeye ait olan değerlerin 1.000 ile çakıştıkları ve otomatik olarak ilk yüzeye atandıkları Şekil-3.9. incelendiğinde görülmektedir.

İkinci yüzey olarak atanan noktalar içerisinde yüzey sayısına bağlı olarak üçüncü ve dördüncü yüzeylere ait noktalar da bulunmaktadır. İlk adımda hesaplanan filtre değerlerinin standart sapmalarına bağlı olarak ikinci yüzey aynı filtre

algoritması ile tekrar sınıflandırılmış ve ikinci yüzeye ait noktalar da ayıklanmıştır. Bu durumda üçüncü yüzeye ait noktalar içerisinde üçüncü ve dördüncü yüzeye ait noktalar da bulunmaktadır. Yine aynı filtre değerlerinin standart sapma değerlerine bağlı olarak üçüncü ve dördüncü yüzeyler arasındaki üçüncü yüzeye ait noktalar iki yüzeye ayırma metodu ile dördüncü yüzey noktalarından ayrılıp, üç numaralı yüzey numarası ile sınıflandırılmışlardır. Toplam ayrılacak yüzey sayısı dört olduğu bilindiğine göre geriye kalan sınıflandırılmamış noktaların hepsi dördüncü yüzeye atanmıştır.



Şekil-3.8. Kapı, Pervaz, Duvar ve Kolon Yüzeyleri 3B Görünüm



Şekil-3.9. İkinci Veri Seti Ayrılan Yüzey Grafiği

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0.042114	0.27423	0.21858	0.23153	1.1018	63.128	1.0913	3
2	0.047058	0.28413	0.21897	0.23263	1.0685	61.219	1.0947	3
3	0.046967	0.29389	0.21998	0.23428	1.0534	60.354	1.0955	3
4	0.045746	0.14249	0.23046	0.23478	1.2966	74.288	1.1049	3
5	0.17102	0.13668	0.23349	0.23885	0.89958	51.542	1.1759	3
6	0.042206	0.28457	0.21731	0.23094	1.0808	61.924	1.0912	3
7	0.17349	0.27785	0.22289	0.23756	0.75851	43.46	1.1332	3
8	0.042114	0.29391	0.22001	0.23425	1.0691	61.253	1.093	3
9	0.16934	0.2998	0.21538	0.23145	0.72885	41.76	1.1231	3
10	0.16882	0.42289	0.35001	0.37417	0.82211	47.103	1.2328	3
11	0.045624	0.020038	0.002288	-0.00145	-0.03143	-1.801	1	1
12	0.1066	0.025564	-0.00074	-0.00342	-0.03185	-1.8249	1.0001	1
13	0.17255	0.025276	0.000176	-0.00177	-0.01025	-0.58711	1	1
14	0.045868	0.046005	0.000903	-0.00112	-0.02337	-1.3389	1	1
15	0.10663	0.045212	0.004728	0.00334	0.030729	1.7606	1.0001	1
16	0.17276	0.045717	0.001038	0.000434	0.002483	0.14228	1	1
17	0.23364	0.025305	-0.00075	-0.00201	-0.00857	-0.49094	1	1
18	0.23389	0.045697	0.000605	0.000693	0.002936	0.16825	1	1
19	0.055267	0.14165	0.23437	0.23874	1.2651	72.488	1.1194	2
20	0.046326	0.1802	0.21584	0.22265	1.2306	70.511	1.093	2
21	0.041534	0.2041	0.21983	0.22816	1.2212	69.967	1.0894	2

Şekil-3.10. İkinci Veri Seti T Matrisi Görünümü

Uygulanan filtre sonucunda şekil 3.6 ve 3.10’ da görülen ‘T’ analiz matrisi 7. sütun (G kolonu) değerleri filtre değerleri olarak belirlenmiştir. Bu filtre değerlerinin standart sapma değerlerine bağlı olarak yüzeyler sınıflandırılmıştır. Yüzey numarasına göre sınıflandırılan değerler her noktanın karşısına gelecek şekilde 8. sütunda (H kolonu) sayısal değer ve yüzey numarası olarak görülmektedir.

Birinci veri seti yüzeyleri ve birinci veri seti için yazılım tarafından oluşturulan T matrisi 8. sütun (H kolonu) incelendiğinde 2 adet noktanın yanlış yüzeye atandığı, ikinci veri seti yüzeyleri ve ikinci veri seti için T analiz matrisi incelendiğinde ise 279 adet noktanın ait olduğu yüzey dışında sınıflandırıldığı görülmüştür.

Yazılıma, T analiz matrisine nokta numaralarını ‘ham_data.txt’ dosyasından okuyup 9. sütun olarak atayan kod yazılmıştır. Ayrıca filtrelenen veri setinde, hangi yüzeyde kaç adet nokta bulunduğu, belirlenen yüzeylerde her yüzeye ait olan minimum ve maksimum noktaları (rektifikasyon noktaları) ile belli olan yüzey sınırlarını hesaplayıp, çalıştırıldığı dizine txt dosyası olarak yazan eklentiler mevcut ve çalışmaktadır.

3.4. Doğruluk Analizi

Yazılan filtre programı ve fonksiyonun verdiği doğruluğun analiz edilebilmesi oldukça emek yoğun ve zaman alan bir çalışma olmaktadır. Veri setleri nokta bulutu veri yapısına sahip olduklarından gerçek doğruluğun belirlenmesi için operatörsel yapılan görsel ayıklama ile karşılaştırma yapılmalıdır. Bu nedenle elde edilen doğruluk oranları uygulamada kullanılan iki veri seti üzerinden yapılmış ve bu uygulamalarda ulaşılan doğruluklar belirlenmiştir. Bu analiz için birinci veri seti ve ikinci veri seti nokta bulutları CAD ortamında tek tek operatör tarafından analiz edilmiş ve her bir nokta koordinat bilgisinin hangi yüzeye ait olup olmadığı görsel olarak belirlenerek kayıt edilmiştir. Bu elde edilen kayıtlar ile kullanılan filtre ile elde edilen yüzey sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda birinci veri setinde kullanılan ve sınıflandırılan iki yüzey için toplam 232 adet nokta içinde 2 noktanın farklı yüzeylerde sınıflandırıldığı, toplam 352 noktalı iki yüzeyin sınıflandırılmasında 17 noktanın farklı yüzeylerde olduğu görülmüştür. Bu doğruluk birinci veri seti için yaklaşık %90-98 doğruluğu temsil etmektedir. İkinci veri seti ise toplam 3807 noktalı ve 4 yüzeye ait bir veri setidir. Bu veri setinde yapılan değerlendirmede ise 279 noktanın farklı yüzeylerde sınıflandırıldığı belirlenmiştir. Bu oran yüzde olarak yine yaklaşık %92'ye karşılık gelmektedir. Bu hatalı sınıflandırılan noktaların konumları incelendiğinde genellikle yüzey geçişlerinde yüzey sınırına en yakın noktalarda hataların oluştuğu görülmektedir. Bu filtre modeli içinde kullanılan eğimsel parametrelerin daha iyi bir metod ile kullanılmasının gereğini ortaya çıkarmaktadır. Bu eğimsel parametreler daha fazla iyileştirilmeli ve ağırlıkları fonksiyon içinde daha çok yükseltilmelidir.

Tablo 3.3 ve tablo 3.4'te programda filtreye giren veri setleri doğruluk analizleri için, Excel programında oluşturulan tablolardan örnekler verilmiştir. Bu tablolarda birinci kısım T analiz matrisi çıktıları, ikinci kısım ise ait olduğu yüzeye göre ham veriden ayrılmış olan gerçek değerlerdir. Fark sütunu ise X koordinat farklarını temsil etmektedir. Fark sütunu sıfır değerini alan satırlardaki noktalar birbiri ile aynıdır ve o satırdaki noktanın doğru yüzeyde olduğu sonucun belirtmektedir. Tüm veri setleri için karşılaştırma tabloları Ek-3 de verilmiştir.

Tablo 3.3 352 Nokta Birinci Yüzey Doğruluk Analiz Tablosu Örneği

Program Çıktısı				Orijinal Veri 1. Yüzey			
X	Y	Z	Y.N.	X	Y	Z	Kontrol X
0,0785220	0,40471	-0,002459	1	0,0785217	0,404715	-0,024586	-0,0000003
0,0786130	0,37763	-0,002509	1	0,0786133	0,377631	-0,025091	0,0000003
0,0786440	0,38669	-0,00248	1	0,0786438	0,38669	-0,024799	-0,0000002
0,0788880	0,33255	-0,002592	1	0,0788879	0,350549	-0,025142	-0,0000001
0,0788880	0,35055	-0,002514	1	0,0788879	0,332547	-0,025916	-0,0000001
0,0984800	0,32326	-0,002011	1	0,078949	0,368543	-0,023656	-0,0195310
0,0789490	0,35953	-0,002412	1	0,078949	0,359534	-0,024119	0,0000000
0,0791320	0,34151	-0,002425	1	0,0791321	0,341505	-0,024246	0,0000001
0,0792850	0,39549	-0,0021	1	0,0792847	0,395494	-0,020997	-0,0000003
0,0875550	0,40479	-0,002581	1	0,0875549	0,404788	-0,025814	-0,0000001
0,2014800	0,32273	-0,001071	1	0,0877075	0,332633	-0,028482	-0,1137725
0,0877690	0,37766	-0,002582	1	0,0877686	0,377661	-0,025824	-0,0000004
0,0880740	0,36855	-0,002437	1	0,0880737	0,368551	-0,024369	-0,0000003
0,0984800	0,32326	-0,002011	1	0,0882568	0,395582	-0,02311	-0,0102232
0,0883790	0,35945	-0,002268	1	0,0883789	0,359452	-0,022675	-0,0000001
0,0888060	0,35038	-0,002105	1	0,0888062	0,350378	-0,021046	0,0000002
0,0972600	0,40465	-0,002362	1	0,0972595	0,404653	-0,023617	0,0000005
.	.	.	1	.	.	.	.
.	.	.	1	.	.	.	.

Tablo 3.4 3807 Nokta İkinci Yüzey Doğruluk Analiz Tablosu Örneği

Program Çıktısı				Orijinal Veri 2. Yüzey			
X	Y	Z	Y.N.	X	Y	Z	Kontrol X
0,0328369	0,3457570	0,2140753	2	0,0328369	0,3457570	0,2140753	0,00000
0,0328674	0,3558072	0,2144537	2	0,0328674	0,3558072	0,2144537	0,00000
0,0328979	0,3607536	0,2148979	2	0,0328979	0,3607536	0,2148979	0,00000
0,0329285	0,3704611	0,2164029	2	0,0329285	0,3704611	0,2164029	0,00000
0,0329895	0,3659124	0,2146190	2	0,0329895	0,3905043	0,2174159	0,00000
0,0329895	0,3805984	0,2163755	2	0,0329895	0,3805984	0,2163755	0,00000
0,0329895	0,3905043	0,2174159	2	0,0329895	0,3659124	0,2146190	0,00000
0,0744934	0,1364970	0,2352521	2	0,0330200	0,3858122	0,2158834	-0,04147
0,0330811	0,3958577	0,2163480	2	0,0330811	0,3958577	0,2163480	0,00000
0,0330811	0,4009570	0,2163684	2	0,0330811	0,4009570	0,2163684	0,00000
0,0331726	0,4108378	0,2174723	2	0,0331726	0,4108378	0,2174723	0,00000
0,0332336	0,4069457	0,2131742	2	0,0332336	0,4166092	0,2150874	0,00000
0,0332336	0,4166092	0,2150874	2	0,0332336	0,4069457	0,2131742	0,00000
0,0364075	0,1546124	0,2197993	2	0,0364075	0,1546124	0,2197993	0,00000
0,0364990	0,1600594	0,2174183	2	0,0364990	0,1600594	0,2174183	0,00000
0,0408630	0,1320048	0,2336225	2	0,0365601	0,1745574	0,2190564	-0,00430
0,0365906	0,1699335	0,2174628	2	0,0365906	0,1699335	0,2174628	0,00000
0,0366211	0,1653550	0,2158285	2	0,0366211	0,1653550	0,2158285	0,00000
0,0746460	0,1325353	0,2306476	2	0,0366211	0,1795070	0,2190469	-0,03802
0,0366821	0,1897474	0,2175339	2	0,0366821	0,2040320	0,2203057	0,00000
0,0366821	0,2040320	0,2203057	2	0,0366821	0,1897474	0,2175339	0,00000
..	..	..	2	..	..	..	..

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Önerilen filtre modeli ve seçilen örnek verilerle yapılan uygulamalar sonucunda elde edilen analiz matrisi ile yüzeylerin belirlenmesi ve geliştirilen yazılımın analizi yapılmıştır.

Bütün bu veriler ışığında, seçilen modelin kullanılabilirliği ve doğruluğu belirlenmiş olup, istatistiksel olarak analizlerinin yapılması ile yaklaşık olarak % 90 doğrulukla 9 mm tarama sıklığındaki veriler için doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Ancak; uygulanan stokastik model ve filtreleme tekniği nokta verisi tabanlı çalıştığı için veri oranı büyüdükçe işlem süresi ve program hızının düştüğü açıktır. Bununla birlikte, lokal veriler ve özellikle Lidar kaynaklı verilerde denenmesi ve sonuçlarının analiz edilmesi gereklidir.

Yapılan çalışma sonucunda, elde edilen çekirdek yazılım ve ortaya konan stokastik model için genel bir avantaj – dezavantaj ayrımı aşağıda sunulmuştur.

Avantajları;

- 1 – İki farklı derinliğe sahip yüzeyleri yaklaşık %90 doğrulukla ayırmaktadır.
- 2 – Matlab ortamında üretilen bir programdır.
- 3 – Nesne tabanlı ve Windows altyapısında geliştirilebilir yapıya sahiptir.
- 4 – Küçük ölçekli veri yoğunluğuna sahip çalışmalarda, operatörden daha hızlı ve doğru sonuç verebilir.
- 5 – Donanımsal veri entegrasyonu sağlamaktadır.

Dezavantajları;

- 1 – Veri yoğunluğu arttırıldığında işlem süresi artmaktadır.
- 2 – Veri yoğunluğu ve farklı veri tiplerinde güvenilirliği belirlenmemiştir.
- 3 – Donanım ve işlemci sınırlamalarına karşı açıktır.
- 4 – Nesne yönelmeli bir fonksiyon yapısına sahip değildir.
- 5 – Büyük ölçekli fotogrametrik çalışmalarda denenmemiştir.

Yapılan bu çalışma ışığında görülmektedir ki; yersel lazer tarayıcılar (YLT) ve fotogrametrik teknikler için en başta gerekli olan işlem adımı donanımsal ve veri tabanlı entegrasyondur. Açıkça görülmektedir ki; YLT'lar kendi algoritma ve optiksel (Lazer) yapısına bağlı bağımsız donanımlardır. Fotogrametrik teknikler ise görünen ışık tabanlı yine bağımsız donanımlar (kamera) ile kullanılan tekniklerdir. Bu iki bağımsız ölçme donanımı için bir arada kullanılmaları gerektiğinde mutlaka bir entegrasyon gereklidir. Bu donanımsal entegrasyon sağlanamadığı zaman en azından bir veri entegrasyonu şarttır. Mevcut YLT donanımları ve alt yazılımlarının bir kısmı bu entegrasyonun bir bölümünü karşılamakta ancak bu entegrasyon tam olarak operatörlerden bağımsız halde kullanılamamaktadır. İşte veri entegrasyonunun bir şekli için yapılan bu çalışma ile bu aşamadaki işlem ve zorluklar belirlenmiş, bunların çözümü için bir yaklaşım yöntemi sunulmuştur.

Yersel lazer tarayıcı koordinat sisteminde yapılan bu çalışmada afin transformasyonu kullanılmamıştır. Böylelikle Cyclone 5.2 yazılımının karışık olarak sıraladığı nokta bulutu verisi yüzey tabanlı olarak sınıflandırılmış, dolayısı ile bir filtreden geçirilmiştir.

Sonuçta, YLT verisinin fotogrametrik, üç boyutlu modelleme çalışmaları içerisinde kullanılmasında, operatöre bağımlı iş adımlarının azaltılmasında ve nokta analizi çalışmalarında yazılımsal ve donanımsal entegrasyon yöntemleri ile birlikte kullanılabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

Altuntaş C., Yıldız F., Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2008/1 Sayı 98, 2008

Boehler W., Marbs A., 3D Scanning Instruments, University of Applied Sciences, Mainz, Germany, 2002

Ek-1, Leica HDS-3000 Teknik Özellikleri

http://www.leica-geosystems.com/hds/en/Leica_HDS3000.pdf

Forkuo K., King B., Automatic Fusion Of Photogrammetric Imagery And Laser Scanner Point Clouds, XXth ISPRS Congress, İstanbul, pp.475 , 2004

Gümüş K., Erkaya H., Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2007

Lerma J.L., Biosca J.M., Segmentation And Filtering Of Laser Scanner Data For Cultural Heritage, CIPA XX International Symposium, pp. 896-901 Torino, 2005

Lichti D. D., Gordon S. J., Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording, FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004

Pınarcı E., İki Boyutlu Kalman Filtresinin Yersel Lazer Tarama Verisine Uygulanması, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2007

Staiger R., Terrestrial Laser Scanning Technology Systems and Applications, 2'nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, Vol 1, 2003

Yüksel B., Modeling Stone Walls Using Laser Scanner Data, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2008

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Doğum Tarihi : 01.06.1979

Doğum Yeri : Turhal/TOKAT

Öğrenim Durumu:

2005 - Y. Lisans : GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Müh.

1998 – 2003 Lisans : Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak.

Jeodezi ve Fotogrametri Müh.

1994-1997 Lise : Kastamonu Kuzeykent Süper Lisesi

İş Yaşamı:

2004 – 2005 : Tüsan Taş A.Ş. Eskişehir (Etüt Ekip Şefi)

2005 – 2006 : Ada Harita Ltd. Şti. Fethiye (Teknik Ofis)

2006 – 2007 : Biltek Harita Ltd. Şti. Bitlis (Teknik Ofis)

2007 – 2007 : Yapı Proje Merkezi A.Ş. İstanbul (Şantiye Şef Yrd.)

2007 – - : Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Etüt Proje Başmühendisliği
(Kontrol Mühendisi)

EKLER

EK-1: Leica HDS – 3000 Teknik Özellikleri

EK-2: Matlab Uygulama Kodları

EK-3: Doğruluk analizi Excel tabloları CD ortamında verilmiştir.

Ek-1: Leica HDS3000 Teknik Özellikleri

Leica HDS3000 Versatile, high-accuracy 3D laser scanner



Leica Geosystems HDS versatile, highaccuracy, long-range 3D laser scanner

Leica HDS3000 sets the standard

With a familiar survey instrument feel, including a 360° x 270° field-of-view, the Leica HDS3000 sets the standard for versatile, high-accuracy laser scanners. Since it was introduced, the Leica HDS3000 has become the industry's most popular laser scanner for both demanding and "everyday" as-built and topographic surveys.

Mission-critical data

Leica HDS300's high-accuracy, low-noise scan data combined with its narrow beam and ultra-fine scanning have made it the preferred choice for mission-critical projects ... when it has to be right.

Versatility and productivity

Leica HDS3000's integration of high accuracy, excellent useful range, full field-of-view, and robotic operation into a single scanner results in significantly reduced as-built survey costs for a wide range of everyday projects.

Powerful visualization

With an integrated high-resolution camera and the option to use external digital cameras, the Leica HDS3000's 3D laser scans provide users with powerful site visualization capabilities.

The right tool for the job

Fully complementary with traditional surveying methods, the Leica HDS3000 delivers significant benefits for civil, plant, architectural and related projects.

Get more information or contact Leica Geosystems for a demonstration at: www.leica-geosystems.com/hds

Leica HDS3000

Product Specifications

GENERAL	
INSTRUMENT TYPE	High speed, high accuracy laser radar scanner with 360° x 270° field-of-view
USER INTERFACE	Notebook PC
SCANNER DRIVE	Servo motor
OPTICAL VIEWER	Integrated video camera

SYSTEM PERFORMANCE

SINGLE POINT ACCURACY*

Position	6mm
Distance	4mm
Angle (horizontal)	60 micro-radians
Angle (vertical)	60 micro-radians

MODELED SURFACE PRECISION**

	2mm
--	-----

TARGET ACQUISITION ACCURACY†

	1.5mm
--	-------

DATA INTEGRITY MONITORING Periodic accuracy self-checking during operation and at startup

* All specifications shown @ 1m - 50m range

** Subject to modeling methodology

† Algorithmic fit to planar HDS targets

LASER SCANNING SYSTEM

TYPE	Pulsed; proprietary microchip
COLOR	Green
LASER CLASS	Class 3R (IEC 60825-1)
RANGE	
Optimal effective range	1m-100m
To 10% reflectivity targets	Up to 100m (typical)

SCAN RATE

Up to 1800 points/second*

* Maximum scan rate dependent on scan resolution and selected field-of-view

SCAN DENSITY (RESOLUTION)

Spot size	≤ 6mm from 0-50 meters
Selectability	Independently selectable vertical and horizontal point-to-point measurement spacing †
Point Spacing	Select by total number of points per unit area or minimum distance between points (at specified range) †

Maximum Sample Density	1.2mm †
Scan row (horizontal)	20,000 points/row, maximum †
Scan column (vertical)	5,000 points/column, maximum †

FIELD-OF-VIEW (PER SCAN)

Horizontal	360° (maximum) †
Vertical	270° (maximum) †
Aiming/Sighting	Optical sighting using QuickScan™ button

SCANNING OPTICS Single mirror, panoramic, dual-window design †
Environmentally protected by housing and two glass shields

SCAN MOTORS

Direct drive, brushless
Contact-free: optical data link and inductive power transfer

COMMUNICATIONS

Static Internet Protocol (IP) Address
User-defined pixel resolution: Low, Medium, High †
Single 24" x 24" image: 1024 x 1024 pixels (1 megapixel) @ "High" setting

Full 360° x 270° dome: 111 images, approx. 64 megapixels, spatially rectified

STATUS INDICATORS 3 LED's (on base) indicate system ready, laser on, and comm. status

ELECTRICAL

POWER SUPPLY	12V input, OTY (2) Power Supply units provided with system
POWER CONSUMPTION	< 80W average
BATTERY TYPE	Sealed lead acid
POWER PORTS	2, simultaneous use, "hot swap" capable
TYPICAL DURATION	Up to 6 hours continuous use (nominal temp.)
POWER STATUS INDICATORS	5 LEDs indicate charging status and power levels (low/medium/high)

ENVIRONMENTAL

OPERATING TEMP.	0°C to 40°C
STORAGE TEMP.	-25°C to 65°C
LIGHTING	Fully operational between bright sunlight and complete darkness
HUMIDITY	Non-condensing atmosphere
SHOCK	40G's (max. to scanner transport case)
DUST/HUMIDITY	IEC Specification IP52

PHYSICAL

	DIMENSIONS	WEIGHT
SCANNER	10.5 D" x 14.5" W x 20" H 265mm D x 370mm W x 510mm H w/o handles, w/o table stand	16 kg (35lbs), nominal
POWER SUPPLY UNIT	6.5" D x 9.25" W x 8.5" H 165mm D x 236mm W x 215mm H w/o handles	12 kg (26lbs), nominal

STANDARD ACCESSORIES

Scanner transport case
Tribrach (Leica Professional Series)
Surveying tripod
Ethernet cable for connection of scanner to notebook PC
Two Power Supply cases. Each includes:
Power Supply
Cable for battery connection to scanner
Power Supply charger
Cyclone™ SCAN software

HARDWARE OPTIONS

Notebook PC (Standard or Enhanced)
HDS scan targets and target accessories
Service agreement for HDS3000

NOTEBOOK PC FOR SCANNING †

COMPONENT	REQUIRED (minimum)
Processor	1.4 GHz Pentium M or similar
RAM	512MB SDRAM
Network card	Ethernet
Display	SVGA +
Operating system	Windows XP (Professional or Home Edition, SP1 or higher) Windows 2000 (SP2 or higher)

† Minimum requirements for modeling operations are different. Please refer to Cyclone datasheet for specifications.

CYCLONE – SCAN

"Fly-around," pan & zoom, and freely rotate point clouds, true-color intensity mapped clouds, wire meshes, "shrinkwrap" surfaces, and models in 3D

Real-time 3D visualization while scanning †

Point cloud and 3D model Level of Detail (LOD) for fast visualization

Fast "shrinkwrap" rendering of point clouds to meshes

Decimation of point clouds (nth point)

View point clouds with intensity or true-color mapping

Limit box for efficient viewing and interaction of selected regions

Targeted, single-shot pre-scan ranging †

CYCLONE – SCAN (CONT.)

Automatic creation of panoramic digital image mosaic †

Panoramic digital image viewer †

Georeferencing over known or assumed survey point †

Instrument height (H.I.) input during data capture †

Target height input during data capture †

Point-and-scan QuickScan™ feature to interactively set horizontal field-of-view †

Scan filtering to optionally exclude data based on:

Area of interest via rectangular or free form polygonal areas †

Range †

Return intensity †

Pre-set drop-down list or custom settings †

User-defined quality-of-fit checks

Atmospheric correction

Measure & dimension point clouds and models

Slope distances

ΔX, ΔY, ΔZ distances

Create and manage annotations

Create and manage layers

Assign colors & materials to objects

View scanner locations and field-of-view

Environmental lighting

Save/restore views

Save screen image as image file

Undo/redo support

Automated acquisition of HDS targets †

Scanner command scripting †

DIRECT IMPORT FORMATS

ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, PTX, TXT)

RIEGL 3DD

Cyclone Object Exchange (COE) format (COE Data Transfer Products)

CGP

BMP, JPEG, TIFF

DIRECT EXPORT FORMATS

ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, PTX, TXT)

BMP, JPEG, TIFF

Cyclone Object Exchange (COE) format (COE Data Transfer Products)

INDIRECT EXPORT FORMATS

AutoCAD (via COE for AutoCAD plug-in)

MicroStation (via COE for MicroStation plug-in)

PDS (via MicroStation, COE for MicroStation plug-in)

AutoPLANT (via AutoCAD, COE for AutoCAD plug-in)

ORDERING INFORMATION

Contact Leica Geosystems HDS Division (Cyra Technologies, Inc.) or authorized manufacturer's representatives

All specifications are subject to change without notice.

All ± accuracy specifications at 1 sigma unless indicated otherwise

† SmartScan™ Technology feature



Leica
Geosystems

Cyra Technologies, Inc.
4550 Norris Canyon Road
San Ramon, CA 94583
www.cyra.com

Ek-2: Matlab Geometrik Filtre Kodu

```

clear all;
clc;
format long g;
load 'ee_A.txt';
load 'ham_data.txt';
%ayrılacak yüzey sayısını operatör belirlenir(sayi)-----
sayi=4;
%-----
%minimum derinlik farkı (min_der) yüzeyler arasında yakalanmak
istenen minimum derinlik farkı(metre biriminde olmalıdır)
%-----
min_der= 0.010;
%-----
tek_no=sayi;
%-----
I=ones(4,1);
N=transpose(ee_A)*(ee_A);
n=inv(N)*I;
X=inv(N)*(I);
[t,k]=size(ham_data);
int i;
int j;
i=1;
j=1;
matris_X=ones(t,1);
matris_Y=ones(t,1);
matris_Z=ones(t,1);

for j=1:k;
    for i=1:t;
        c=ham_data(i,j);
        if j==1
            matris_X(i,1)=c;
        elseif j==2
            matris_Y(i,1)=c;
        elseif j==3
            matris_Z(i,1)=c;
        end
    end
end

a=X(1,1);
b=X(2,1);
c=X(3,1);
d=X(4,1);

YUZEY1=dlmread('YUZEY1.txt');

for i=1:t;
    Zhes(i,4)=(-(d+b*ham_data(i,2)+a*ham_data(i,1))/c);
End

Zhes = nonzeros(Zhes);
csvwrite ('Zi.txt',Zhes);
csvwrite ('matris_Z.txt',matris_Z);

```

```

Fark = (matris_Z)-(Zhes);
csvwrite ('Fark.txt',Fark);

Fark=dlmread('Fark.txt');
FARK=abs(Fark);

y_min=min(matris_Y);
x_min=min(matris_X);
y_max=max(matris_Y);
x_max=max(matris_X);

T=[ham_data,Fark];
[ns,ss]=size(T);
ham_data_Z2=[ham_data,Zhes];

KY=ham_data_Z2(:,2);
KX=ham_data_Z2(:,1);
KZ=ham_data_Z2(:,4);
DATA=[KX,KY,KZ];

Matris_EG = ones(ns-1,1);

for i=1:ns;

    Matris_VOV(i,1) = T(i,4);

end

for i=1:ns;

    Matris_HYATT(i,1) = sqrt(T(i,1)*T(i,1))+T(i,2)*T(i,2));

end

    for i=1:ns;
        Matris_EG(i,1) = atan(Matris_VOV(i,1)/Matris_HYATT(i,1));
        Matris_DEG(i,1) =Matris_EG(i,1)*180/pi;
    end

T=[T,Matris_EG,Matris_DEG];

MaxZ= max(matris_Z);
MinZ= min(matris_Z);
MinDZ= min(Fark);
MinDZ=abs(MinDZ);
MaksDZ=max(Fark);
MaksDZ=abs(MaksDZ);
Maksege = max(Matris_EG);
Minkor = min(Matris_HYATT);

%-----
%---Yüzey sayısı iki yüzey olmalıdır-----
M_y_fark = min_der;
%metre biriminde girilmelidir
%-----

```

```

%-----
%Filitre
%-----

for i=1:ns;
    Matris_Oran(i,1) =
exp((T(i,4)*T(i,4)*cos(abs(T(i,5))))/sqrt(T(i,1)*T(i,1)+T(i,2)*T(i,2)
));
end

Kesme_Kriteri = std(Matris_Oran);

%-----
%-----

kes = Kesme_Kriteri;
gebze = max(Matris_Oran);
cayir = min(Matris_Oran);

%-----
% yüzeyleri ikiye sınıflandırma
%-----

if (sayi >= 2)
    for i=1:ns;
        if (Matris_Oran(i,1) < 1.00000+kes)
            Matris_KEGIT(i,1) = 1;
        elseif(Matris_Oran(i,1) > 1.00000+kes)
            Matris_KEGIT(i,1) = 2;
        end
    end
end

T=[T,Matris_Oran];
T=[T,Matris_KEGIT];

tekno=0;
for i=1:ns;
    if(T(i,8)==2)
        tekno=tekno+1;
    end
end
tekno;
yuzey_nol=ns-tekno;
yuzey_nol;
csvwrite ('1.yuzey_noksay.txt', yuzey_nol);
csvwrite ('2.yuzey_noksay.txt', tekno);
if (sayi >= 3)

kes2=(kes*min_der)/MaxZ;
kes1=kes-kese2;

for i=1:ns;
    if (T(i,8) == 2)
        G(i,1)= T(i,7);
    end
end
end

```

```

G=nonzeros(G);
g=min(G);
g;

for i=1:ns;
    if (T(i,8)==2) && (T(i,7) > g+kes1)
        T(i,8) = 3;
    end
end

tekno=0;
for i=1:ns;
    if(T(i,8)==3)
        tekno=tekno+1;
    end
end
tekno;
yuzey_no2=ns-tekno-yuzey_no1;
yuzey_no2;
csvwrite ('2.yuzey_noksay.txt', yuzey_no2);
yuzey_no3=ns-(yuzey_no2+yuzey_no1);
yuzey_no3;

end

if (sayi >= 4)
    for i=1:ns;
        if (T(i,8) == 3)
            G2(i,1)= T(i,7);
        end
    end
end

G2 = nonzeros(G2);

g = min(G2);
ga= max(G2);
al= sayi*((ga-g)* min_der)/MaxZ;
kes3= kes - al;

for i=1:ns;
    if (T(i,8)==3) && (T(i,7) > (g+(kes3)))
        T(i,8) = 4;
    end
end

end

tekno=0;
for i=1:ns;
    if(T(i,8)==4)
        tekno=tekno+1;
    end
end

yuzey_no4=tekno;
yuzey_no4;
yuzey_no3=yuzey_no3-yuzey_no4;
yuzey_no3;

csvwrite ('3.yuzey_noksay.txt', yuzey_no3);

```

```

csvwrite ('4.yuzey_noksay.txt', yuzey_no4);

edit_nokno = yuzey_no1+yuzey_no2+yuzey_no3+yuzey_no4;
edit_nokno;
csvwrite ('filtrelenen_noksay', edit_nokno);

for i=1:ns;
    Matris_KEGIT(i,1)=T(i,8);
end

Fig1 = plot(Matris_Oran,'-.or');
NN(ns,1) = 0;
for i=1:ns;
    NN(i,1) = i;
end
csvwrite ('Tüm_yüzeyler.txt', Matris_KEGIT);
csvwrite ('Nokta_No.txt', NN);
T=[T,NN];
csvwrite ('T.txt',T);
% -----
% %Fotogrametrik Rektifikasyon Noktaları
% -----

for i=1:ns;
    if(Matris_KEGIT(i)==1)
        Yuzey1X(i,1)=T(i,1);
        Yuzey1Y(i,1)=T(i,2);
        Yuzey1Z(i,1)=T(i,3);
    elseif (Matris_KEGIT(i)==2)
        Yuzey2X(i,1)=T(i,1);
        Yuzey2Y(i,1)=T(i,2);
        Yuzey2Z(i,1)=T(i,3);
    elseif (Matris_KEGIT(i)==3)
        Yuzey3X(i,1)=T(i,1);
        Yuzey3Y(i,1)=T(i,2);
        Yuzey3Z(i,1)=T(i,3);
    else (Matris_KEGIT(i)==4)
        Yuzey4X(i,1)=T(i,1);
        Yuzey4Y(i,1)=T(i,2);
        Yuzey4Z(i,1)=T(i,3);
    end
end

Yuzey1X=nonzeros(Yuzey1X);
Yuzey1Y=nonzeros(Yuzey1Y);
Yuzey1Z=nonzeros(Yuzey1Z);
FotREK1 = [max(Yuzey1X),max(Yuzey1Y),min(Yuzey1X),min(Yuzey1Y)];
csvwrite ('1.yuzey_noktaları.txt', FotREK1);

Yuzey2X=nonzeros(Yuzey2X);
Yuzey2Y=nonzeros(Yuzey2Y);
Yuzey2Z=nonzeros(Yuzey2Z);
FotREK2 = [max(Yuzey2X),max(Yuzey2Y),min(Yuzey2X),min(Yuzey2Y)];
csvwrite ('2.yuzey_noktaları.txt', FotREK2);

Yuzey3X=nonzeros(Yuzey3X);
Yuzey3Y=nonzeros(Yuzey3Y);
Yuzey3Z=nonzeros(Yuzey3Z);
FotREK3 = [max(Yuzey3X),max(Yuzey3Y),min(Yuzey3X),min(Yuzey3Y)];
csvwrite ('3.yuzey_noktaları.txt', FotREK3);

```

```
Yuzey4X=nonzeros(Yuzey4X);  
Yuzey4Y=nonzeros(Yuzey4Y);  
Yuzey4Z=nonzeros(Yuzey4Z);  
FotREK4 = [max(Yuzey4X),max(Yuzey4Y),min(Yuzey4X),min(Yuzey4Y)];  
csvwrite ('4.yuzey_noktaları.txt', FotREK4);
```