

# NOKTA BULUTLARININ FILTRELENMESİNDE KOLONI-ARAMA ALGORİTMASININ KULLANIMI

P. ÇİVİCİOĞLU<sup>1</sup>, A.E. KARKINLI<sup>2</sup>, A. KESİKOĞLU<sup>2</sup>, Ü.H. ATASEVER<sup>3</sup>

T.KURBAN<sup>2</sup>, E. BEŞDOK<sup>4</sup>, C. ÖZKAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, 38039. Kayseri, civici@erciyes.edu.tr

<sup>2</sup>Araş. Gör., Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039. Kayseri, (aekarkinli, akedikoglu,tkurban)@erciyes.edu.tr

<sup>3</sup>Öğr. Gör., Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039. Kayseri, uhatasever@erciyes.edu.tr

<sup>4</sup>Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039. Kayseri, (ebesdok, cozkan)@erciyes.edu.tr

## ÖZET

*Lidar ve Fotogrametrik tekniklere dayalı ölçme yöntemleri yüzey üzerinde çok sayıda ölçü almaya olanak vermektedir. Lidar verileri doğaları gereği gürültü ile yüküldür. Benzer şekilde UAV tabanlı fotogrametrik tekniklerle üretilen nokta bulutları da belirli ölçüde gürültü taşır. Gürültü seviyesi artması nokta bulutlarının segmentasyonunu zorlaştırır. Bu nedenle, nokta bulutlarından nesne tanıma, kenar ve öznitelik-noktası seçme gibi işlemlerin performansı gürültü seviyesi ile yakından ilgilidir. Bu bildiride, nokta bulutlarında gürültü bastırma için kullanılabilir yeni bir filtre tanıtılmıştır. Tanıtılan filtre kayan-en küçük yüzeyler'in Koloni-Arama Algoritması ile optimize edilmesine dayanmaktadır. Ölçüler, optimize edilmiş çok-dereceli yüzeye izdüşürülerek filtrelenmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin klasik filtreleme yöntemlerine göre daha iyi detay koruduğunu ve daha yumuşak düzeyler elde edebildiğini göstermektedir.*

**Anahtar Sözcükler:** Nokta Bulutu, Koloni Arama Algoritması.

## ABSTRACT

### POINT CLOUD FILTERING BY USING COLONI-SEARCH ALGORITHM

*Lidar and photogrammetry based methods allow us to measure huge amounts of values over surfaces. Due to their inherent properties lidar measurements suffer from noise. Similarly, UAV based point clouds produced by photogrammetric methods also involve noise. The increment of noise level makes the segmentation of point-clouds difficult. Therefore, the performance of the operations such as pattern recognition or extraction of edge and invariant-point selection from point clouds strongly depends on noise levels. In this paper, a new filter has been introduced which can be used to suppress noise in point clouds. The proposed filter is based on the optimization of moving-least-squares by using Colonial-Search Algorithm. The measurements are filtered by projecting over the optimized multi-degree surface. Experimental results exposed that the proposed method preserves details more successfully and it produces more smoothed surfaces compared with the classical filters.*

**Keywords:** Point Cloud, Colonial-Search Algorithm.

## 1. GİRİŞ

Aktif bir Uzaktan Algılama tekniği olan laser tabanlı 3D tarayıcıların yaygınlaşması ile birlikte, bu cihazlarla üretilen nokta-bulutları verilerinin kalitesini arttırmak yapılan bilimsel araştırmalarda artmıştır. Laser ölçmeleri doğaları gereği artan mesafe ile genliği artan gürültülerden etkilenirler. Özellikle yersel laser tarayıcılardan elde edilen verilerin artan mesafe ile değişen doğruluk değerlerine sahip olmaları, bu donanımlarla elde edilen nokta bulutlarının çakıştırılmasını zorlaştırır. Farklı doğruluk seviyesine sahip bu ölçüler ortak nokta bulutunda çok kaliteli bir nokta bulutu çakıştırma sonrasında bile "çift-duvar" etkisine neden olabilirler. Nokta bulutlarından kaliteli 3D modeller üretmek için nokta bulutunun mümkün olduğunca tutarlı verilerden oluşmuş olması gerekir. Nokta bulutu işleme algoritmaları analogik olarak görüntü işleme algoritmalarına benzetilebilir. Nokta bulutu işlemede görüntü işlemeye benzer şekilde uzamsal filtreler tasarlanabilir. Nokta bulutlarını uzamsal filtrelerle işlemek için ilgili nokta ve bu noktaya en yakın veya bu noktaya bir eşik değerden daha yakın noktaların oluşturduğu veri seti kullanılır. Nokta bulutları dalgacık teorisi, fourier teorisi, ayrık kosinüs dönüşümü gibi frekans domeni araçları kullanılarak da filtrelenebilir. Bu bildiride nokta bulutlarını filtrelemek için kayan en-küçük kareler metodunun özel bir formu olan kayan lokal düzlemler kullanılmıştır. Laser ölçmeleri bir çok farklı mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır (Abellan 2014, Bretar2010, Chehata 2008, Panholzer 2013, Scaioni 2013, Vega 2012). Bu nedenle laser ölçü verilerini işlemek için gerçekleştirmiş çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Axelsson 1999, Eo 2012, Sithole 2004). Laser tarayıcı yapıları uygulamaya özel olarak geliştirilebilmektedir (Grivon 2014, Sun 2013, Wallace 2012). Mobil laser tarayıcıların performansı Kaartinen (2012) tarafından incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan nokta bulutu filtreleme tekniklerinden bazıları Wu (2012) tarafından incelenmiştir. Bu bildirinin geri kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. 2. bölümde Kullanılan UAV ve Özellikleri tanıtılmıştır. 3. bölüm Uygulama verilmiştir. 4. bölüm Sonuçlar'a ayrılmıştır.

## 2. KOLONİ-ARAMA ALGORİTMASI

Koloni-Arama Algoritması (CSA) Beşdok ve Çivicioğlu tarafından geliştirilmiştir (Beşdok, 2014). CSA, koloni (popülasyon) tabanlı evrimsel bir arama algoritmadır. Diğer evrimsel algoritmalarından farklı bir mutasyon stratejisi kullanır. Her koloni klanlardan oluşur. Mutasyona uğrayacak klan bireyleri, en az bir birey mutasyona uğrayacak şekilde  $[0, p]$  olasılığı ile rassal olarak seçilir. CSA multimodal ve unimodal problemleri çok hızlı bir şekilde çözebilir. Yapısı kompleks hesaplama rutinleri içermez. Bu nedenle de çok hızlıdır ve paralel uyarlamalarını geliştirmek çok kolaydır. Arama doğrultusunu ölçeklemek için standart olarak lognormal dağılımında üretilen rassal bir ölçek değerinden yararlanır, fakat kullanıcılar problemlerine uygun değerler üreten başka bir random sayı üretici kullanmakta serbesttir. CSA'da  $p$  olasılığı problem yapısına göre uyarlanmalıdır. CSA'nın tek kontrol parametresi ( $p$ ) olsa da probleme göre en uygun popülasyon boyutunun seçilmesi çözümü çok hızlandıracaktır. In-Normal dağılımında üretilen sayılar, çoğu problemi çözmek için gerekli lokal-arama fonksiyonu için oldukça yeterlidir. Global-arama fonksiyonu için üretilen rassal sayının tersi rastgele olarak kullanılır. Bu yaklaşım CSA'nın arama uzayını oldukça efektif bir şekilde incelemesine olanak vermektedir. CSA yaygın olarak kullanılan PSO, ABC, DE/rand/1/bin, JADE, SADE, GSA, Harmony-Search gibi algoritmalarından daha basit bir yapıya sahip olmasına rağmen bir çok nümerik problemin çözümünde onlardan çok daha başarılıdır (Beşdok, 2014).

### Algorithm 1: Koloni Arama Algoritması(CSA)

```

Input: ObjFun, N, D, p, low, up, maxcycle
Output: globalminimum, globalminimizer
1 function csa(colonysize, dim, p, low, up, maxcycle)
  // INITIALIZATION
2 globalminimum0 = ∞
3 colonyi,j ~  $U(low_j, up_j) | i = 1 : N, j = 1 : D$ 
4 fitcolonyi = ObjFun(colonyi)
5 for g form 1 to maxcycle do
  // SELECTION-I
6 d = colonypermuting(1:N)
7  $S \sim \text{In } N(0, |4 \cdot u|) | u \sim N(0, 1)$ 
8 if  $a_1 < a_2 | a_{1,2} \sim U(0, 1)$  then
9   |  $S = 1/S$ 
10 end
11 mapH = 0 |  $H = N \cdot (i - 1) + j$ 
12 maph = 1 |  $h = u(1 : \lceil p \cdot v \cdot N \cdot D \rceil) | u = \text{permuting}(1 : N \cdot D), v \sim U(0, 1)$ 
13 if  $\sum map_i == 0$  then
14   |  $map_{i,k} = 1 | k \sim U(1, N)$ 
15 end
  // MUTATION (Morphogenesis)
16  $T = colony + (S \circ map) \circ (d - colony)$  //  $\circ$  denotes Hadamard operator
17  $T_{i,j} = \min(\max(low_j, T_{i,j}), up_j)$  // Boundary control
18 fitT = ObjFun(T)
  // SELECTION-II
19 ind ←  $(fitT_{ind} < fitcolony_i) | ind \in \{1, \dots, N\}$ 
20 fitcolonyind = fitTind and colonyind = Tind
21 fitcolonybest ←  $\min(fitcolony_i) | i_{best} \in \{1, \dots, N\}$ 
22 if fitcolonybest < globalminimum then
23   | globalminimum := fitcolonybest
24   | globalminimizer := colonybest
25 end
  // Export globalminimum and globalminimizer

```

Şekil 1: Koloni Arama Algoritmasına ait yakıştırma (pseudo)-kod.

## 3. UYGULAMA

Çalışma alanı Nuh Naci Yazgan Üniversitesi kampüsü olarak seçilmiştir. Çalışma alanına ait nokta bulutu ve yer kontrol noktalarının konumları Şekil 2'te gösterilmiştir. 100m. ortalama uçuş yüksekliğinde toplam 427 resim çekilmiştir. Uçuşlar Spreading Wings S800 UAV kullanılarak yapılmıştır. Uçuş planı ilgili UAV'nin uçuş planlama yazılımı kullanılarak hazırlanmış ve modem-linkle UAV'ye yüklenmiştir. Uçuş süresi 10 dk. ile sınırlanmıştır. Görüntü almak için Canon IS100 kullanılmıştır. Kamera iç yöneltme elamanları düzlemsel kalibrasyon patternlerinin kullanıldığı bir kamera kalibrasyon çalışmasında elde edilmiştir. Görüntülere distorsiyon düzeltmeleri Matlab ortamında uygulanmıştır. Ardından düzeltilmiş görüntüler dense-matching kurallarına uygun olarak

işlenmiştir. Yer kontrol noktaları koordinatları ITRF datumunda jeodezik GPS kullanılarak elde edilmiştir. Yer kontrol noktalarında orijinal ve filtrelenmiş verilerle elde edilen hata değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Test alanında 21.2 milyon nokta bulunmaktadır. Kullanılan bir range-search tekniği ile eğer bir noktaya  $\varepsilon = 1.5m$  kadar yakın noktaların sayısı 5'dan az ise o nokta veri tablosundan silinmiştir. Bir noktanın en yakın N komşusunu hızlıca bulabilmek için K-D ağaç yapısı kullanılmıştır. Tüm filtreleme uygulamaları Matlab'de gerçekleştirilmiştir. Kullanılan filtreleme modeli Şekil 3'de verilmiştir. Kullanılan filtreleme stratejisi, seçilen  $P_i(x,y,z)$  noktasına en yakın N noktanın  $(P_j | j=1,2,3,\dots,N)$  Eşitlik-1'e göre tanımladığı en-iyi düzleme,  $P_i(x,y,z)$  noktasını, veri-kümesine geri-beslemeli olarak, iz-düşürmeye dayanmaktadır. Hesaplama 2 epok olarak yapılmıştır.

$$\operatorname{argmin}_{c, \|n\|=1} \sum_{j=1}^n \left( (p_j - c)^T \cdot n \right)^2 \quad (1)$$



Şekil 2: Çalışma alanına ait nokta bulutu ve yer kontrol noktalarının konumları.

Burada  $P_j$ ,  $\Pi$  düzleminin normal parametrelerini elde etmek için kullanılan noktalardır.  $c = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n p_j$  olarak tanımlanmaktadır.  $\Pi = n_1 \cdot (x - x_0) + n_2 \cdot (y - y_0) + n_3 \cdot (z - z_0)$  ile tanımlanmıştır. Filtrelenmiş değerler;

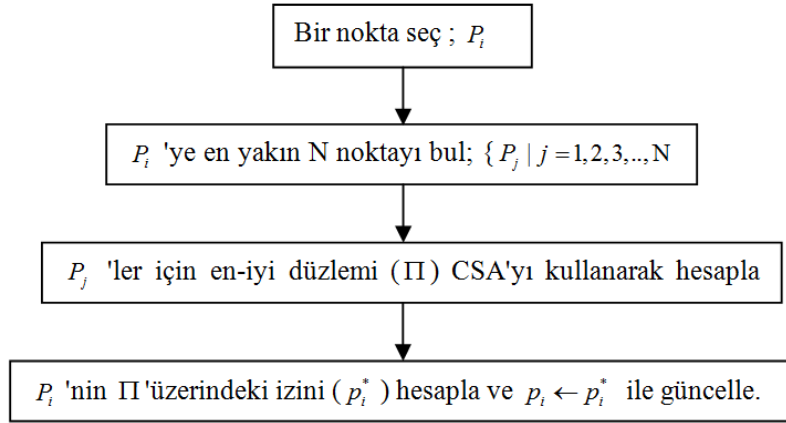
$$\begin{aligned} x_f &= x + n_1 \cdot t \\ y_f &= y + n_2 \cdot t \\ z_f &= z + n_3 \cdot t \end{aligned} \quad (2)$$

ile verilmektedir.  $t$  değeri  $\Pi$  ile  $P(x,y,z)$  arasındaki doğru uzunluğunun parametrik değeridir. Bu bildiride Eşitlik-1 sınır-koşulsuz CSA kullanılarak çözülmüştür.

Hesaplamalar, nokta bulutu çok sayıda nokta içerdiğinden, CPU üzerinde 24-paralel Matlab oturumu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan filtreleme yönteminin genel yapısı Şekil 3'te verilmiştir.

Filtreleme sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ortofoto Şekil 4'te verilmiştir.

Test bölgesine ait bir alanda filtreleme öncesine ve sonrasına ait sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir.

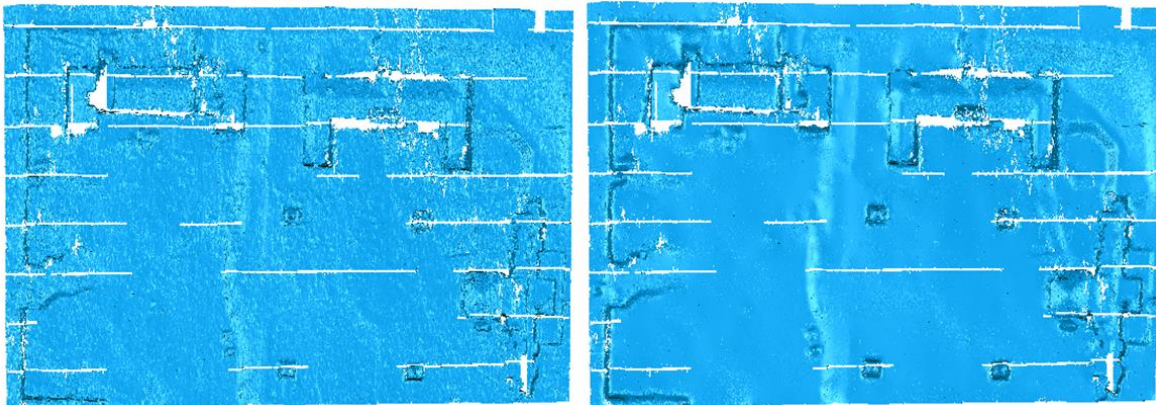


Şekil 3: Kullanılan filtreleme yöntemini genel yapısı.

Yer kontrol noktalarında filtreleme öncesi ve sonrasında gerçekleşen hatalar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de verilen değerler incelendiğinde filtreleme sonrasında konumsal hataların önemli ölçüde iyileştiği görülmektedir.



Şekil 4: Çalışma alanına ait ortofoto.



Şekil 5: Test bölgesine ait bir alanda filtreleme öncesine (solda) ve filtreleme sonrasına (sağda) ait nokta bulutları.

Tablo 1: Yer kontrol noktalarında filtreleme öncesi ve sonrasında gerçekleşen hatalar.

Yer Kontrol Noktası	ITRF-96 koordinatları (m)			Orijinal Ölçülere Göre (cm)			Filtrelenmiş Ölçülere Göre (cm)		
	Y	X	Z	dx	dy	dz	dx	dy	dz
1	448451.4475	4294733.2288	1087.350	5.25	7.32	17.45	4.80	6.96	9.15
2	448471.4865	4295058.8664	1097.867	7.34	9.12	18.21	6.85	5.07	11.73
3	448473.0045	4294895.2040	1092.893	6.27	7.21	15.23	7.59	6.35	10.65
4	448237.1854	4294837.9121	1097.008	4.38	5.56	21.05	5.11	4.37	12.07

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada CSA tabanlı bir nokta bulutu filtreleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada gürültü seviyesi azaltma problemi yüzey sürekliliği probleminden farklı olarak ele alınmış olsa da, filtrelenmiş verilere istenilen süreklilik derecesinde uydurulan nurbs-yüzeylemin kalitesi belirgin şekilde artmıştır. Dolayısıyla tanımsal bir filtreleme uygulanmıştır. Tanımsal filtrelemede elde edilen sonucun görsel kalitesi de önem taşır. Sayısal ve görsel değerlendirmeler sonucunda önerilen filtreleme yaklaşımının çeşitli uygulamalar için yeterli nokta-bulutlu filtreleme becerisine sahip olduğunu göstermektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 110Y309 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. CSA algoritması bu proje kapsamında geliştirilmiştir.

#### KAYNAKLAR

Abellan, A., Oppikofer, T., Jaboyedoff, M., et al., 2014, "Terrestrial laser scanning of rock slope instabilities", *Earth Surface Processes And Landforms*, 39 (1), 80-97.

Axelsson, P.E., 1999, "Processing of laser scanner data - algorithms and applications", *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 54 (2-3), 138-147.

Beşdok E., 2013, "Georeferanslanmış Konuşma Tanıma Tabanlı GIS Veri Toplama Aracı", 110Y309 Tübitak Proje Raporu.

Bretar, F., Chehata, N., 2010, "Terrain Modeling From Lidar Range Data in Natural Landscapes: A Predictive and Bayesian Framework", *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 48 (3), 1568-1578.

Chehata, N., Bretar, F., 2008, "Terrain Modeling From Lidar Data: Hierarchical K-Means Filtering And Markovian Regularization", *IEEE Conference: 15th IEEE International Conference on Image Processing, USA*, vol 1-5, 1900-1903.

Eo, Y.D., Pyeon, M.W., Kim, S.W., et al., 2012, "Coregistration of terrestrial lidar points by adaptive scale-invariant feature transformation with constrained geometry", *Automation In Construction*, 25, 49-58.

Grivon, D.; Vezzetti, E.; Violante, M., 2014, "Study and development of a low cost "OptInertial" 3D scanner", *Precision Engineering-Journal Of The International Societies For Precision Engineering And Nanotechnology*, 38(2),261-269.

Kaartinen, H., Hyyppä, J., Kukko, A., et al., 2012, "Benchmarking the Performance of Mobile Laser Scanning Systems Using a Permanent Test Field", *Sensors*, 12 (9), 12814-12835.

Panholzer, H., Prokop, A., 2013, "Wedge-Filtering of Geomorphologic Terrestrial Laser Scan Data", *Sensors*, 13 (2), 2579-2594.

Scaioni, M., Roncella, R., Alba, M.I., 2013, "Change Detection and Deformation Analysis in Point Clouds: Application to Rock Face Monitoring", *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 79 (5), 441-455.

Sithole, G., Vosselman, G., 2004, "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds", *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 59 (1-2), 85-101.

Sun, Y., Zheng, X., Jia, Z., et al., 2013, "Design of Light-Small Mobile 3D Laser Measurement System", Progress In Industrial And Civil Engineering II, PTS 1-4, vol 405-408, 3032-3036.

Vega, C., Durrieu, S., Morel, J., et al., 2012, "A sequential iterative dual-filter for Lidar terrain modeling optimized for complex forested environments", Computers & Geosciences, 44, 31-41.

Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., et al., 2012, "Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory", Remote Sensing, 4 (6), 1519-1543.

Wu, C.T., Chen, M.C., 2012, "Comparison of 6 Common Noise Filter Methods for Terrestrial Laser Scanner Target", Progress In Civil Engineering, vol. 170-173, 2929-2934.