

# Ardışık Etkinleştirilen Çoklu Derinlik Kameraları Kullanımıyla 3B Nesne Geriçatımı

## 3D Object Reconstruction Using Sequentially Activated Multiple Depth Cameras

Esra TUNÇER ve Şevket GÜMÜŞTEKİN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

İzmir, Türkiye

etuncer@iyte.edu.tr, sevketcumustekin@iyte.edu.tr

**Özetçe**—Bu çalışmada, bir objenin 3-boyutlu yapısının tümüyle elde edilmesi amacıyla objenin çevresine 4 adet derinlik kamerası (Kinect v1) yerleştirilmiştir. Çoklu Kinect kullanımında karşılaşılan bilgisayar bant genişliği ve girişim problemleri eklenmiş USB 2.0 kontrolcüler ve elektronik kontrollü objektif kapakları ile çözülmüştür. Alınan görüntülerin birleştirilmesi için kalibrasyon işlemi kızılötesi görüntüler üzerinde uygulanmıştır. Eşleşme problemleri Döngülü En Yakın Nokta metoduyla giderilmiş ve %3.41 hata oranına sahip eşleşme elde edilmiştir. Farklı geometrik özelliklere sahip nesnelerin 3B modellenmesi için eşleştirilen nokta bulutlarına Meshlab yazılımı aracılığıyla Poisson Yüzey Geriçatımı işlemi uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** — çoklu Kinect; 3B geriçatım; derinlik kamerası kalibrasyonu.

**Abstract**—In this study, 4 depth cameras (Kinect v1) were placed around the object in order to obtain the 3-dimensional structure of an object. Computer bandwidth and interference problems encountered during the operation of multiple Kinects were solved with additional USB 2.0 controllers and electronic shutters. Calibration was performed on infrared images to merge the acquired images. Alignment problems were solved by the Iterative Closest Point method and an alignment with 3.41% error rate was obtained. Poisson Surface Reconstruction was implemented in Meshlab software for 3D modeling objects with different geometrical characteristics.

**Keywords** — multiple Kinect; 3D reconstruction; depth camera calibration.

### I. GİRİŞ

Kamera ve nesnelere arası mesafe tespiti uzun yıllardır bilgisayarla görmenin en önemli konularından biridir. Literatürde, uzaklık hesabı için iki ya da daha fazla sayıda kamera kullanılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak son yıllarda RGBD (-D depth/derinlik anlamında) kameralarının yaygınlaşmasıyla birlikte, özellikle iç mekân uygulamalarında bu kameralar doğrudan derinlik görüntüleri elde etmek için yoğun şekilde kullanılmaktadır.

Derinlik kamerası kısaca dünya uzayındaki bir nokta ile kamera arasındaki mesafeyi farklı yöntemlerle hesaplayan bir alettir. Kullanılan başlıca yöntemler yapısal ışık ve uçuş süresi olarak 2 sınıfa ayrılabilir. Yapısal ışık, bir ikili görme tekniğidir. Şekli bilinen bir desen projektör ile objeye gönderilir ve bir kamera objenin üzerinden yansıyan deseni alır. Objenin şeklinden dolayı oluşan, gönderilen ve alınan desenler arasındaki farklılık  $m(x,y)$ ,  $(x,y)$  noktasındaki derinlik hesabı için şu şekilde kullanılır [1].

$$d = \frac{b \cdot f}{m(x,y)} \quad (1)$$

$b$ ; kamera ve projektör arasındaki mesafe,  $f$ ; odak uzaklığıdır. Uçuş süresi tekniği ise gönderilen ve alınan dalgalar arasındaki faz kaymasından ya da ışığın yolculuk süresinden yararlanılan bir tekniktir [2].

Bu çalışmada, aslen Xbox 360 Oyun Platformu için geliştirilen ancak görüntü işleme ve bilgisayarlı görme alanlarında çok önemli bir yer edinen, Microsoft'un piyasaya sürdüğü ve yapısal ışık teknolojisini kullanan toplamda 4 adet Kinect v1 içeren bir sistem, bir objenin 3 boyutlu yapısının geriçatımı için kurulmuştur.

### II. ÇOKLU KINECT KULLANIMI

Çoklu Kinect kullanımı tek derinlik kamerası kullanımında karşılaşılan kendi kendini örtme (self occlusion) ve görüş alanı dışındaki objeleri görmeme gibi problemleri çözerken ortaya çözülmesi gereken daha farklı problemler ve gereksinimler çıkarmaktadır.

#### A. Gereksinimler ve Sebepleri

Kinect v1, 480 Mbit/s bant genişliğine sahip olan USB 2.0 arayüzü üzerinden çalışmaktadır. Bunun yanında tek bir Kinect yaklaşık olarak 350 Mbit/s'lik bant genişliğine ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeplerden dolayı kullanılan 4 Kinect için 4 adet bağımsız çalışan USB kontrolcüsü kullanmak gerekmektedir. Daha geniş bant genişliğine sahip olan tek bir USB 3.0 kontrolcüsünün (5 Gbit/s) toplam bant genişliği

ihtiyacı sağladığı için kullanılabilirdi. Ancak USB 3.0'ın bant genişliği, USB 2.0 uyumlu bir cihaz kullanıldığında, USB 2.0 seviyesine düşer. Çözüm olarak düşünülebilecek en kolay ve düşük maliyetli olan yaklaşım tüm Kinect'lerin tek bir bilgisayarda toplandığı durumda ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bilgisayar ana kartında bulunan USB 2.0 kontrolcüsüne ek olarak 3 kontrolcü ana karttaki PCI yuvaları kullanılarak sisteme dahil edilmiştir.

### B. Girişim Problemi

İki ya da daha fazla Kinect aynı yüzeyin derinlik bilgisini ölçmek için kullanıldığında, 830 nm dalga boyu ile gönderilen kızılötesi noktalarından oluşan desenler birbirleri ile girişim oluştururlar.

Literatürde girişim problemi için geliştirilen bazı çalışmalar şöyle sıralanabilir. Alex Butler [3] ve Andrew Maimone'nin [4] çalışmalarında Kinect'lere farklı frekanslarda titreşim uygulayarak girişim problemi çözülmektedir. Yannic Schröder'in teknik raporunda [5] kızılötesi projektörün kapatılıp açılması, LCD ve lazer kapağı kullanımı ve dönen diskler gibi bazı farklı yaklaşımlar anlatılmıştır. Ancak bunlar maliyetli, hassas tasarımlı veya yeterli olmamaları sebebiyle tarafımızdan kullanılmamıştır. Çalışmamızda girişim problemini çözmek için her bir Kinect'in kızılötesi projektörünün önünde birer tane elektronik kapak senkronize edilerek kullanılmıştır. Her bir elektronik kapak açıkken diğer üç elektronik kapağın kapalı olduğu ve açık-kapalı durum değişimlerinin 1 saniye aralıklarla olduğu bir sistem üretilip Kinect verilerinin birbirinden etkilenmemesi sağlanmıştır.

### III. ÇOKLU DERİNLİK KAMERASI KALİBRASYONU

Kamera kalibrasyonu bilgisayarlı görmenin en temel konularından biridir. En yaygın kullanımıyla bu problem, odak uzaklığı  $f_x, f_y$  ve optik merkez  $c_x, c_y$  gibi içsel parametrelerin, dolam  $R$  ve öteleme  $t$  gibi dışsal parametrelerin, koordinatı bilinen  $3B$ 'lu noktalar ve bu noktaların projeksiyonlarını bağlayan projeksiyon eşitlikleri ile bulunması şeklinde özetlenebilir.

$3B$ 'lu noktaların koordinatlarına ulaşabilmek için şekli ve boyutu bilinen ve kolay seçilebilen özellikler barındıran dama tahtası gibi kalibrasyon desenleri kullanılmaktadır. Ancak bu kalibrasyon desenleri derinlik kameraları için uygun değildir. Çünkü derinlik kameraları bu desenlerin üzerindeki siyah ve beyaz kareleri değil sadece dama tahtasının düzlemsel şeklini algılayabilir. Bazı çalışmalarda, siyah kareler yerine delikler içeren dama tahtaları kullanılmaktadır ama bu yaklaşımlarda kızılötesi desenin bazı kısımları deliklerden kaybolurken bazıları dama tahtasında kalmaktadır [6]. Nicolas Burrus'un çalışmasında dama tahtasının köşe noktaları kalibrasyon için tespit edilip kullanılmaktadır [7]. Bir başka yaklaşım ise standart dama tahtasına sabit bir yapı eklemektir [8]. Burada sabit yapının takibi ve normal dama tahtası kalibrasyon işlemi eşzamanlı olarak yapılmakta ve elde edilen sonuçlar birleştirilmektedir.

Kinect'in kızılötesi projektöründen gönderilen kızılötesi desen dama tahtası üzerindeki köşelerin ve çizgilerin üzerini örterek belirlenmelerini engeller. Bu sebeple, bazı çalışmalarda [9][10] kızılötesi projektör tamamen örtülüp ortamın kızılötesi görüntüsü kullanılmaktadır. Bu çalışmalar en iyi çözümün

güneş ışığı, halojen lamba ya da akkor lamba gibi kızılötesi ışık kaynakları kullanmak olduğunu söylemektedir. Dama tahtası, kızılötesi ışık kaynaklarıyla aydınlatıldıktan sonra köşe ve kenarlar daha belirgin olacağından bilinen RGB kalibrasyon metodları kullanılabilir.

Bizim çalışmamızda her bir kenarı 13.7 cm olan 63 kareden oluşan bir dama tahtası kullanılmıştır. Dama tahtasını aydınlatmak amacıyla iki adet kızılötesi lamba kullanılmıştır. Ek olarak Kinect'lerin kızılötesi projektörleri, kesişim noktalarına konumlandırılan dama tahtasını aydınlatacak şekilde kullanılmıştır. Böylece parlaklığı ve kontrastı yüksek görüntüler elde edilmiştir (Şekil 1). Kinect'in kızılötesi kamerası kızılötesi desende bulunan tüm noktaları algılayabilir. Bu noktalar kalibrasyona yardımcı ekstra bilgi vermez, hatta daha önce de belirtildiği gibi karelerin kesişim noktalarını kapattığından seçilebilmelerini zorlaştırır. Bu noktaları engellemek ve dama tahtasını aydınlatmak adına her bir projektörün önüne bir yayındırıcı koyulmuştur. Yayındırıcı bir ışığı yayarak ya da saçarak, yumuşak ve homojen dağılımı yapabilmek amacıyla kullanılan bir malzemedir. Böylece, gün ışığından neredeyse bağımsız olan bir aydınlatma işlemi yapılmıştır.



Şekil 1. Örnek kızılötesi dama tahtası görüntüsü (soldaki şekil) ve tarama için kullanılacak nesnelere (sağdaki şekil)

#### A. Kinect'in kızılötesi kamerasının içsel parametreleri

İçsel parametreleri bulabilmek için 9 farklı taraftan dama tahtasından görüntü alınmış ve bu görüntüler Bouguet'in yaygın kullanılan yazılımı [11] ile kalibrasyon işlemine sokulmuştur. Bu çalışmada kullanılan dama tahtası büyük ve hareket ettirmesi zor olduğundan sabit kalan dama tahtasından, farklı yerlere konumlandırılan kamera ile görüntüler alınmış ve  $K$  içsel matrisi ile gösterilen aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

$$K_{kamera\_no} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

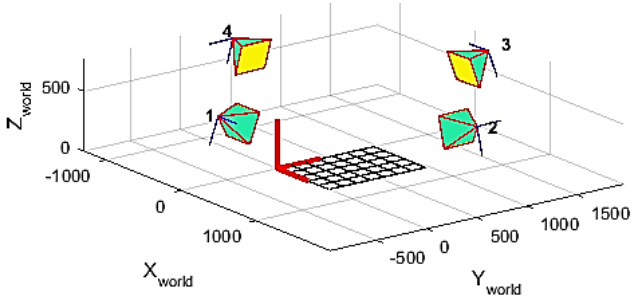
$$K_1 = \begin{bmatrix} 586.4 & 0 & 320.6 \\ 0 & 587.5 & 246.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} K_2 = \begin{bmatrix} 586.5 & 0 & 314 \\ 0 & 588 & 247.7 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_3 = \begin{bmatrix} 589.8 & 0 & 319.2 \\ 0 & 587.7 & 251.3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} K_4 = \begin{bmatrix} 584.8 & 0 & 325.4 \\ 0 & 585.7 & 249.6 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

#### B. Kinect'in kızılötesi kamerasının dışsal parametreleri

Dışsal parametreleri bulabilmek için sabit duran dama tahtasından, her bir kamera 1 tane görüntü alacak şekilde

toplamda 4 tane görüntü alınmış ve yine Bouguet'in araç çubuğu [11] ile işlenmiştir. 3B koordinatta aynı noktaya karşılık gelen bir nokta belirlenip tüm görüntülerde orijin olarak seçilmiştir. Şekil 2 kameraların hesaplanan konum ve yönelimlerini göstermektedir.



Şekil 2. Kameraların hesaplanan konum ve yönelimleri

### C. Derinlik verisi ve görüntü koordinatlarından dünya koordinatlarına dönüşüm

Derinlik bilgisi Kinect tarafından kullanıcıya milimetre cinsinden ve 13 bitlik ikili sistem sayısı olarak verilmektedir. 4 metreye kadar derinlik bilgisini ölçebilmekte, ancak kullanılan ölçüm teknolojisi sebebiyle 80 cm'den daha kısa mesafeleri ölçememektedir. Windows için Kinect yazılım geliştirme kiti derinlik bilgisini "short" veri tipi ile yani 16 bit ile kodlayarak kullanıcıya gönderir. Bu 16 bitlik kodun 13 biti derinlik için, 3 bitlik kısmı da kamera önündeki kullanıcılar ve uzaklıklarını tanımlamak için kullanılır. Bizim çalışmamız için bu 3 bitlik kısım önemli olmadığından 16 bit gönderilen veri sağa doğru 3 bit kaydırılarak kullanıcı bitleri temizlenmiştir.

İçsel ve dışsal kalibrasyon parametreleri elde edildikten sonra amacımız görüntü koordinatlarından dünya koordinatlarına geçmektir. Bunun için ilk adım olarak iğne deliği kamera modeli ile içsel parametreleri kullanıp görüntü koordinatlarından  $(x, y, z)$  kamera koordinatlarına  $(X, Y, Z)$  şu eşitlikler kullanılarak geçilir.

$$X = -\frac{(x - c_x) * d(y, x)}{f_x}$$

$$Y = -\frac{(y - c_y) * d(y, x)}{f_y} \quad (2)$$

$$Z = d(y, x)$$

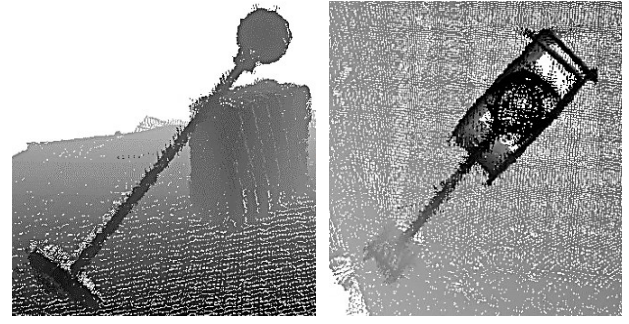
$d(y, x)$ ; kameradan okunan Şekil 1'deki nesnelerin derinlik verisidir. Bir sonraki aşama ise dışsal parametreleri kullanıp kamera koordinatlarından  $(X, Y, Z)$  dünya koordinatlarına  $(X_w, Y_w, Z_w)$  aşağıdaki eşitliği kullanarak geçmektir.

$$P_w = R^{-1}(P - T) \quad (3)$$

Şekil 3'te, 4 kameradan (bire) alınan derinlik verilerinin parametreler ile elde edilmiş dünya koordinatlarındaki nokta bulutunun farklı açılardan görünümü bulunmaktadır.

### IV. DERİNLİK HATASININ GİDERİLMESİ VE SONUÇLAR

Kinect, kendisinin veya objenin konumunda değişiklik olmasa bile ölçülen aynı nokta için farklı derinlik bilgisi vermesinden dolayı tekrar edebilirliği düşük bir cihazdır.



Şekil 3. Kalibre edilmiş nokta bulutları (yandan ve üstten görünüm)

Kinect v1 daha önce de belirtildiği gibi 80 cm ile 400 cm arası mesafeleri ölçebilmektedir. Ancak kızılötesi projektör ile kamera arası mesafenin (7.4 cm) kısa olması sebebiyle ölçülen mesafe arttıkça ölçüm hatası da artmaktadır [12]. Pagliari [12] ve Wasenmüller [13] yapmış oldukları çalışmalarda bir duvarı referans olarak kullanıp Kinect'in derinlik hatalarını incelemişler ve birbirleriyle tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmalara göre bizim çalışma uzaklığımızda (1-2 metre), ölçülmesi gereken derinlik değerini 15-35 milimetre civarında artıran bir hata bulunmaktadır. Yine bu çalışmalarda Kinect v1 ve v2'nin karşılaştırması yapılmış ve yaklaşık 2 metreye kadar her iki cihazın hatalarının neredeyse aynı olduğu görülmüş, 2.5 metre ve sonrası mesafelerde ise cihazlar arasındaki hata farklılığının arttığı belirtilmiştir. Buna göre bizim çalışma aralığımız için Kinect v1 ya da v2'nin hata bakımından bir farkı olmadığından düşük maliyetli Kinect v1 tercih edilmiştir.

Derinlik hatasından kaynaklandığını düşündüğümüz Şekil 3'ün üstten görünümünde görülen eşleşme hatasının giderilmesi adına tüm nokta bulutlarına Döngülü En Yakın Nokta [14] (DEYN-Iterative Closest Point (ICP)) metodu uygulanmıştır. DEYN metodu, döngülü bir şekilde nokta bulutlarına katı dönüşüm uygulayarak nokta bulutları arasındaki en iyi eşleşmenin bulunabildiği bir yöntemdir. Bu çalışmada, DEYN metodu kalibre edilmiş nokta bulutlarına uygulanmıştır. En iyi eşleşmeyi sağlayan aşağıda verilen dolam  $R$  ve öteleme  $t$  sonuçları nokta bulutlarına uygulanarak %3.41'lik eşleşme hatası ile Şekil 4'teki sonuçlar elde edilmiştir.

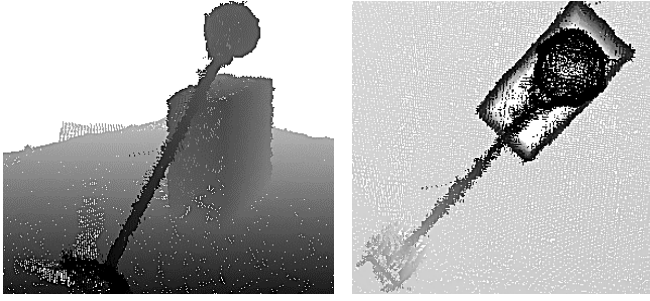
$$C_{kamera\_no} \rightarrow [R | t]$$

$$C_1 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & -0.01 & -0.01 & 6.59 \\ 0.01 & 1 & 0 & -4.37 \\ 0.01 & 0 & 1 & -5.03 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_2 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0.01 & -0.03 & 22.01 \\ -0.01 & 1 & -0.03 & 39.33 \\ 0.03 & 0.03 & 1 & -28.43 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_3 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & -0.02 & -0.01 & 2.18 \\ 0.02 & 1 & -0.02 & 14.33 \\ 0.01 & 0.02 & 1 & -17.32 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_4 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & -0.07 & -0.01 & 19.81 \\ 0.07 & 1 & -0.03 & -0.31 \\ 0.01 & 0.03 & 1 & -23.38 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



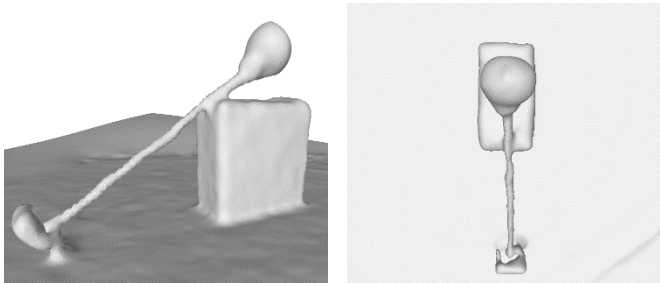
Şekil 4. DEYN uygulanmış nokta bulutları (yandan ve üstten görünüm)

Şekil 3 ve Şekil 4'ün özellikle üstten görünümüne bakılarak, kalibrasyon ile tam olarak çözilemeyen derinlik ölçümünden kaynaklanan hatanın DEYN metoduyla giderildiği görülmektedir. Elde edilen nokta bulutlarına Nokta Bulutu Kütüphanesi (Point Cloud Library-PCL) aracılığıyla aykırı değer reddi için İstatiksel Aykırı Değer Reddi metodu, gürültü temizleme için de Hareketli En Küçük Kareler metodu uygulanmıştır.

Şekil 4'te gösterilen sonuçlar hala noktalardan oluşan bir yapı şeklindedir. Bu noktaların bir objeyi ifade edebilmek için yüzeylerden oluşmaları gerektiğinden bir yüzey geriçatım metodu uygulanmalıdır. Yüzey geriçatım metodlarının birçoğu nokta bulutlarında bulunan noktaların normal bilgilerine ihtiyaç duyar.

Hoppe'nin çalışmasında [15] noktaların normallerini bulabilmek için düzlem yuvarlama yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşımda, işlem yapılacak olan noktaya ve  $k$  komşuluğundaki noktalara karşılık gelen düzlem, en küçük kare metodu ile bulunur. Bulunan düzleme ait olan normal ise işlem yapılan noktanın normali olarak kabul edilir. Bu metod, nokta bulutunun tüm noktalarına uygulanıp bütün normaller elde edilir. Bu yaklaşıma çok benzer olarak Pauly [16] ve Welch'in [17] çalışmaları da gösterilebilir.

Normalleri kestirilen nokta bulutlarına uygulanan Poisson Yüzey Geriçatım [18] sonuçları Şekil 5'te verilmektedir. Poisson Yüzey Geriçatım metodu yönlü nokta bulutlarından kapalı yüzeyler oluşturur.



Şekil 5. Poisson Yüzey Geriçatım Sonuçları

Çalışmamızda objelerin düşük maliyetli ve hızlı bir şekilde 3 boyutlu yapılarının kısa bir sürede taranabilmesi amacıyla bir sistem geliştirilmiştir. Sistemin gerçek zamanlı veri üretebilmesi için çalışmalarımız devam etmektedir. Çoklu derinlik kamerası kullanımıyla çalışan sistemdeki girişim problemi elektronik kontrollü objektif kapaklarıyla çözümlenip, tek bilgisayarla 4 kamerayı çalıştırma hedefi de eklenti USB

2.0'lar ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen derinlik görüntülerinin geriçatılması için ihtiyaç duyulan içsel ve dışsal parametreler standart RGB görüntü kullanımından farklı olarak kızılötesi dama tahtası görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir. Kinect'in derinlik hatasından kaynaklanan nokta bulutlarındaki eşleşme hatası DEYN metodu yardımıyla %3.41'lik bir hatayla giderilmiştir. Temizlenmiş nokta bulutlarına yüzey oluşturmak amacıyla uygulanan Poisson Yüzey Geriçatım metoduyla düzlemsel, küresel ve silindirik objelerin 3B yapıları elde edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Sarbolandi, Hamed & Lefloch, Damien & Kolb, Andreas. (2015). Kinect Range Sensing: Structured-Light versus Time-of-Flight Kinect. Computer Vision and Image Understanding. 10.1016/j.cviu.2015.05.006.
- [2] Horaud, R.; Hansard, M.; Evangelidis, G.; Ménier, C. An overview of depth cameras and range scanners based on time-of-flight technologies. Mach. Vis. Appl. 2016, 27, 1005–1020.
- [3] D Butler, Alex & Izadi, Shahram & Hilliges, Otmar & Molyneux, David & Hodges, Steve & Kim, David. (2012). Shake'n'sense: Reducing interference for overlapping structured light depth cameras. Proc. of SIGCHI. 1933-1936. 10.1145/2208276.2208335.
- [4] Maimone, Andrew & Fuchs, Henry. (2012). Reducing Interference Between Multiple Structured Light Depth Sensors Using Motion. Proceedings - IEEE Virtual Reality. 51-54. 10.1109/VR.2012.6180879.
- [5] Schröder, Y., Scholz, A., Berger, K., Ruhl, K., Guthe, S., and Magnor, M., 2011, Multiple Kinect studies (Braunschweig, Germany: Institut für Computergraphik, TU Braunschweig)
- [6] Auvinet, Edouard & Meunier, Jean & Multon, Franck. (2012). Multiple depth cameras calibration and body volume reconstruction for gait analysis. 478-483. 10.1109/ISSPA.2012.6310598.
- [7] <http://nicolas.burrus.name/index.php/Research/KinectCalibration>
- [8] Avetisyan, Razmik & Willert, Malte & Ohl, Stephan & Staadt, Oliver. (2014). Calibration of Depth Camera Arrays. 10.13140/2.1.2488.6720.
- [9] Smisek, Jan & Jancosek, Michal & Pajdla, Tomas. (2013). 3D with Kinect. 10.1007/978-1-4471-4640-7\_1.
- [10] [http://wiki.ros.org/action/show/openni\\_launch/Tutorials/IntrinsicCalibration?action=show&redirect=openni\\_camera%2Fcalibration](http://wiki.ros.org/action/show/openni_launch/Tutorials/IntrinsicCalibration?action=show&redirect=openni_camera%2Fcalibration)
- [11] [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/index.html#parameters](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html#parameters)
- [12] Pagliari, Diana & Pinto, Livio. (2015). Calibration of Kinect for Xbox One and Comparison between the Two Generations of Microsoft Sensors. Sensors. 15. 27569-27589. 10.3390/s151127569.
- [13] Wasenmüller, Oliver & Stricker, Didier. (2016). Comparison of Kinect V1 and V2 Depth Images in Terms of Accuracy and Precision. 10.1007/978-3-319-54427-4\_3.
- [14] Besl, Paul & McKay, H.D. (1992). A method for registration of 3-D shapes. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. 14. 239-256. 10.1109/34.121791.
- [15] Hoppe, H. & Deroose, T. & Duchamp, T. & McDonald, J. & Stuetzle, W. (1992). Surface reconstruction from unorganized point clouds.
- [16] Zwicker, Matthias & Pauly, Mark & Knoll, Oliver & Gross, Markus. (2002). Pointshop 3D: An Interactive System for Point-Based Surface Editing. ACM Transactions on Graphics. 21. 322-329. 10.1145/566570.566584.
- [17] Welch, William & Witkin, Andrew. (1995). Free-Form Shape Design Using Triangulated Surfaces. Computer Graphics Proceedings. Annual Conference Series 1994. 28. 10.1145/192161.192216.
- [18] Kazhdan, Michael & Bolitho, Matthew & Hoppe, Hugues. (2006). Screened Poisson Surface Reconstruction. ACM Transactions on Graphics. 32. 61-70. 10.1145/1281957.1281965.