Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi
27(1), 9-14, 2015

Fırat Univ. Journal of Engineering
27(1), 9-14, 2015

Gerçek Nesnelerin RGB Görüntüleri Üzerine Kinect-Nokta Bulutlarının Uyarlanması

[*]Erdal ÖZBAY[1], Ahmet ÇINAR[1]
[1]Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ
[*]erdalozbay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 29.12.2014; Kabul/Accepted:26.02.2015)

Özet

Bu çalışma, nesnelerin derinlik görüntüleri kullanılarak elde edilen nokta bulutlarının bilinen RGB görüntüleri ile eşleştirilmesi için bir yöntem önermektedir. Sistem, Kinect kameradan faydalanılarak elde edilen, nesnelerin 3B sayısal verilerinin RGB görüntülere aktarılması üzerine kurulmuştur. Algılayıcı kameradan elde edilen görüntüler ve nokta bulutları sonrasında RGB ve derinlik görüntüleri arasında bir ölçümleme ve dönüşüm süreci tarif edilmektedir. Derinlik verilerini oluşturan nokta bulutlarının tahsis edildiği vokseller RGB görüntülerin piksel değerlerine dönüştürülmektedir. Dönüştürme işlemi sırasında, üç boyutlu nokta bulutu verileri iki boyutlu piksel değerlere dönüştürülür. Veri dönüştürme işlemi için nokta bulutu kitaplığından (PCL) yararlanılır. Nesnelere ait nokta bulutu verilerinin, aynı nesne görüntüsü (RGB) üzerine aktarılması işlemi, uygulama olarak sunulmuştur. Uygulama olarak, bazı 3B nesnelerin RGB görüntülerinde derinlik bilgileri verilerek, önerilen yöntem ile modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nokta Bulutu, Görüntü İşleme, Kinect Kamera, 3D Yeniden Yapılandırma.

Adaptation to Kinect-Point Clouds of Real Objects onto RGB Image

Abstract

This study proposes a method for matching well-known RGB images with point clouds obtained by the depth images of objects. The system has based on 3D digital data of objects transforming to RGB images obtained by utilizing the Kinect camera. We have described a calibration and conversion process between RGB and depth images after obtained the images and point cloud from the sensor camera. The voxels in which assigned to point cloud forming of the depth data are converted to pixel values of RGB images. During the conversion process, three-dimensional point cloud data are converted into a two-dimensional pixel values. When data have obtained for the conversion process, the point cloud library (PCL) is exploited. Point cloud data of objects to be transferred onto the same object image (RGB) the process are presented in the application. As application, 3D some objects are modeled with proposed method which is given depth information in RGB images.

Keywords: Point Cloud, Image Processing, Kinect Camera, 3D Reconstruction.

1. Giriş

Sayısal yöntemler kullanılarak taranmış olan nesneler bir bütün haline getirilseler de bazı özellik çıkarımı çalışmalarında bu halleriyle kullanılmaları doğru sonuçlar üretmez. Verilerin yapısı gereği statik ve dinamik veriler kendi aralarında oransal olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Nesne tanıma, ifade analizi, benzerlik tespiti gibi yapılan çalışmalarda 3B yüzey verileri üzerinde çeşitli işlemler yapılmaktadır [1].

Fiziksel ortamlardaki dünya nesnelerinin, iki boyutlu görüntülerinden uzayda kapladığı gerçek konumlarına ait saptamalar yapmak oldukça zordur. Nesnelerin görüntüleri üzerinden konumlarını çıkarma işlemi, endüstriyel ortamlarda yaygın olarak kullanım ihtiyacı duyulan bir yöntemdir. Bu açıdan nesnelere ait nokta bulutu verilerinin aynı nesne görüntüsü (RGB) üzerine aktarılması işlemi uygulama olarak sunulmuştur.

Time-of-flight (TOF) kameraların en önemli özelliği, her görüntüye ait piksel mesafesini ölçebilme yeteneğidir [2]. Her bir piksele ait bilgi için kamera genliği ve mesafe

ölçümleri kullanılabilir. Ancak her iki özelliği de teknolojik olarak elde etme, teknolojik sorunlar hatalara yol açmaktadır. Hatalar özellikle hem pikseller için renk ve konum değerlerinin hesaplanması sırasında, hem de uzak mesafelerin derinlik bilgilerinin aktarılması sırasında yaşanmaktadır. Diğer taraftan, tespit işlemi genlik uzaklaştıkça azalmaktadır [3].

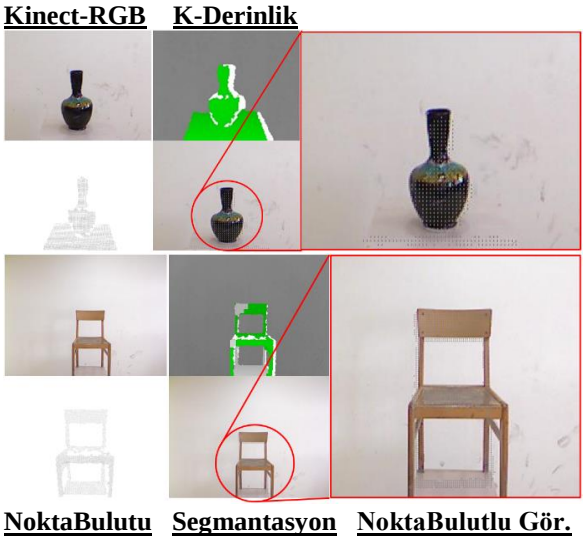
Nesnelerin üç boyutlu olarak görüntüler üzerinde tanınma ve belirlenmesi, özellikle şeffaf olmaları sebebiyle zordur. Tek bir görüntü üzerinden, bir nesnenin hem derinlik bilgisi hem de RGB piksel bilgisine erişim, bilgisayar gösterimi için bir sorundur. Bu uygulama ile yeni bir ölçümleme yöntemi kullanarak, iki boyutlu görüntüler üzerinde nesnelerin 3B derinlik bilgilerini birleştirme için Kinect algılayıcı kameradan elde edilen RGB, RGB-D görüntü ve nokta bulutu (PCL) sahnelerini bir araya getirmek için bir yöntem önermekteyiz.

3B bilgisayar görmesi alanında, 3B nokta bulutu (PCL) nesne tanıma ve poz tahmini için başarıyla kullanılan bir araçtır. Ancak, katı nesnelerin RGB görüntülerinin alınmasının yanı sıra, modern 3B algılayıcılar yardımıyla uzay konumlarına ait bilgilerinin de elde edilmesi belirli bir süreç gerektirmektedir. Nesnelerin RGB görüntüleri üzerinden tanıma işlemleri elde edildiği bakış açısına bağlı olarak kısıtlı kalmaktadır. Bu yüzden aynı görüntü üzerinden nesnelerin hem piksel hem de nokta bulutu verilerine ulaşabilmek yararlı olacaktır. Fakat görüntü içerisindeki piksel değerlerine karşılık gelen nokta bulutu verilerini dönüştürme işlemi zorlu bir süreçtir. Bu nedenle dönüştürme için bir yöntem önerilmektedir.

2. Materyal ve Metot

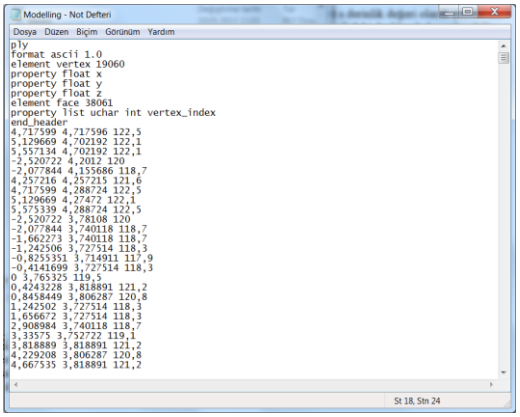
Üç boyutlu fiziksel gerçek nesnelerin dünya konumlarına ait 3B sayısal verilerinin elde edilmesi ve RGB görüntülerinin oluşturulması amacıyla bir algılayıcı kamera olan time-of-flight (TOF) kamera kullanılmaktadır [4]. Gri seviye görüntüler ve 3B sayısal konum bilgileri ile birlikte, aynı zamanda bir sahneye ait RGB olarak görüntüleme sunan yeni tip donanım vardır [5]. Kendi ışık kaynağı bulunan bu kamera matris kullanılarak modüle edilmiş bir kızılötesi ışık yayan led ile yansıma sürelerini hesaplamaktadır [2]. Nesnelerin yüzeyinden yansıyan ışık dalgaları kamera görüş açısına göre tespit edilir. Daha sonra tahmin edilen görüntü derinliği D (x, y) ve iki görüntü imajını A (x, y) her bir piksel konumu genliğini belirlemek için, hesaplanan faz kayması arasında yansıma sinyali oluşturulur. Bunun yanı sıra sayısal 3B derinlik bilgisi D (x, y, z) olarak hedef yüzeyine ait her vokselin derinlik konumları çıkarılır.

Bu uygulamada RGB, RGB-D görüntü ve nokta bulutu (PCL) türetilebilen Kinect algılayıcı kamera iki boyutlu görüntülerde nesnelerin 3B derinlik bilgisini kullanılarak birleştirmek için yeni bir kalibrasyon yöntemi önermekteyiz.



Şekil 1. Nesnelerin nokta bulutu verilerinin RGB görüntüler üzerine aktarım işlemi

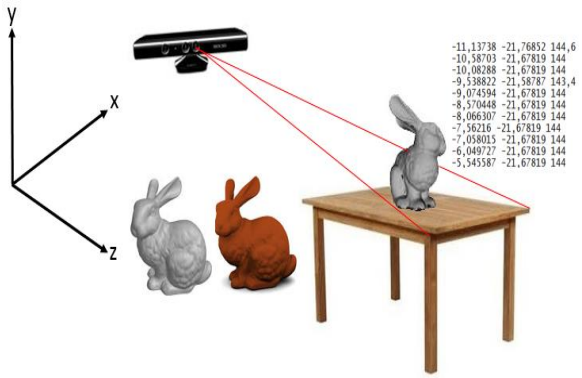
Şekil 1'de nesnelerin gösterildiği tek bir görüntü kullanarak derinlik bilgilerine ait yapılar sunulmuştur. Bunun için algılayıcı kamera yardımıyla sahnenin derinlik bilgisi çıkarılmaktadır. Kinect algılayıcı kamera kullanılarak nesnelerin derinlik görüntüleri üzerinden çıkarılan nokta bulutu ham verileri için bir metin dosyası oluşturulur. Nesneler için azami olarak kameradan 4m'ye kadar olan uzaklıklarda doğru sonuçlar üretebilmektedir. Biz çalışmalarımızdaki dönüşüm işlemlerinin her seferinde aynı oransal yapıyı sağlayabilmek adına nesnelerin ortalama uzaklık mesafesini 2m olarak sabitledik. Şekil 2'de bir nesneye ait elde edilen nokta bulutu ham verilerinin bilgisayara kaydedilen .txt dosyası gösterilmektedir.



Şekil 2. Kinect kamera yardımıyla elde edilmiş bir nesnenin 19060 adet nokta bulutuna ait ham veri dosyası

Nokta bulutu (PCL) ile bu derinlik bilgisinden nesnelerin yüzey koordinatları elde edilir [6]. Önemli olan kısım bu nokta bulutlarının RGB görüntü içerisindeki piksel değerlerine dönüştürülerek eklenmesidir. Bunu yaparken de ölçümleme ve dönüşüm işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Amaç üç boyutlu fiziksel nesneler için RGB görüntü üzerine derinlik verilerini (PCL) eşleştirmektir. Bunun için kamera sabit kalmak şartı ile aynı kamera yardımıyla nesnelere ait RGB ve derinlik görüntüleri elde edilmektedir [7]. Ardından yine bu derinlik görüntüleri üzerinden nesnenin nokta bulutu çıkarılmaktadır. Kullanışlı derinlik verileri maksimize edilmek için, belirli değerler ile oransal olarak artırılmıştır. Maksimize edilen değerler RGB piksel değerleri ile aynı oransal yapıya getirilmiştir [8].



Şekil 3. Algılayıcı ile nesnenin derinlik bilgisi ve RGB görüntüsünün yakalanması

Şekil 3'de gösterildiği gibi bir stereo algılayıcı kamera yardımıyla, nesne hareket ettirilmeden ve kamera sabit kalmak şartıyla bir nesneye ait öncelikle derinlik ve RGB görüntüleri oluşturulur. Yine her ikisi sabit kalacak şekilde nokta bulutu kütüphanesini (PCL) kullanarak nesneye ait yüzey verileri oluşturulur. Birleştirmek üzere elde edilen bu yapılar farklı skaler değer aralıklarına sahip olduklarından bir dönüşüm işlemi gerçekleştirilmelidir. Bunun için RGB piksel değerleri ve derinlik verileri arasında bir koordinasyon sağlanmalıdır. Öncelikle derinlik bilgilerine ait verilerin parametreleri incelenmiştir [9].

$$s.\begin{bmatrix} u_{ToF} \\ v_{ToF} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{x,ToF} & 0 & c_{x,ToF} \\ 0 & f_{y,ToF} & c_{y,ToF} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Formül (1)'de u_{ToF} ve v_{ToF} ToF kameradan elde edilmiş, her bir pikselin koordinat değerleridir. s bir ölçek faktördür, X, Y ve Z değerleri 3B noktaların koordinat değerlerine karşılık gelmektedir. ToF kamera bize her bir noktanın mesafesini sağladığı gibi, ölçek faktörü s derinlik değeri olarak çözülebilir ve 3 boyutlu koordinatlar aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = z_{TOF} . \begin{bmatrix} f_{x,ToF}^{-1} & 0 & c_{x,ToF} . f_{x,ToF}^{-1} \\ 0 & f_{y,ToF}^{-1} & c_{y,ToF} . f_{y,ToF}^{-1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} u_{ToF} \\ v_{ToF} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Formül (2)'de z_{TOF} değeri (u_{ToF}, v_{ToF}) koordinatlarına ait derinlik değeridir. X, Y ve Z değerleri Formül (3)'deki RGB kameraların koordinat sistemleri ile gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = R. \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + T = z_{TOF} . R. \begin{bmatrix} f_{x,ToF}^{-1} & 0 & c_{x,ToF} . f_{x,ToF}^{-1} \\ 0 & f_{y,ToF}^{-1} & c_{y,ToF} . f_{y,ToF}^{-1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} u_{ToF} \\ v_{ToF} \\ 1 \end{bmatrix} + T \quad (3)$$

Formül (3)'de X', Y' ve Z' RGB kameraya göre elde edilen 3B koordinat noktalarıdır. RGB kamera için oluşturulan ToF model formül (4)'de gösterilmiştir.

$$s' . \begin{bmatrix} u_{RGB} \\ v_{RGB} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{x,RGB} & 0 & c_{x,RGB} \\ 0 & f_{y,RGB} & c_{y,RGB} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (4)$$

Formül (4)'de u_{RGB} ve v_{RGB} RGB görüntüsündeki pikselin koordinat değerleridir ve s bir ölçek faktörüdür. Z'nin sıfır olmadığı göz önüne alındığında, RGB görüntüdeki koordinatlar aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$u_{RGB} = f_{x,RGB}.{}^{X'}/_{Z'} + c_{x,RGB}$$
$$v_{RGB} = f_{y,RGB}.{}^{Y}/_{Z'} + c_{y,RGB} \quad (5)$$

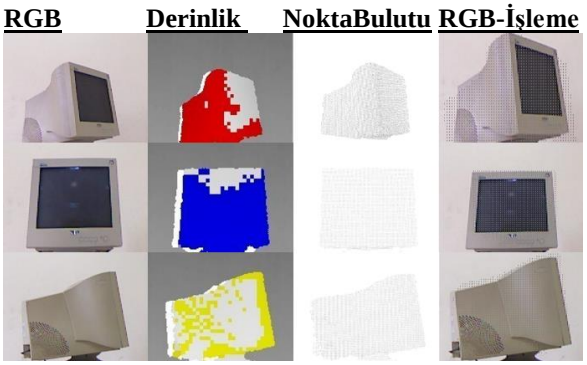
Formül (5) bize derinlik görüntüsünden RGB görüntü üzerine doğru piksel değeri hesaplamaktadır.

$$P_{RGB}(i,j) = D_{ToF}(320 - 4d_x, 240 - 4d_y) \quad (6)$$

Yukarıda nesnelerin derinlik verilerini elde etme aşamasında kullanılan formüllere ek olarak [9], Formül (6)'daki P_{RGB}, RGB görüntüler üzerindeki piksel değerlerini ifade etmektedir. D_{ToF} elde edilen x ve y derinlik verileri ile bu derinlik verilerinin d_x ve d_y şeklinde 2B, RGB piksel değerlerine dönüştürülmesine karşılık gelmektedir. Denklemin derinlik verilerinin tatmin edici şekilde dönüşüm işlemi için RGB piksel değerleri 640x480 görüntü formatında bir Kinect algılayıcı kullanıldığında ortalama olarak, 320 ve 240 değerleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kalibre olan veri transferi ile RGB görüntülerde aynı görüntünün derinlik bilgisi ile piksel hatalarının giderilmesi amaçlanmıştır. Bu yazıda aynı sahneye ait farklı çıkarımları birleştirmek için yeni bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde renkli RGB ve derinlik görüntüleri Nokta bulutlu (PCL) ile kalibre edilir [10]. Bunun için, görüntüler, mesafe bilgileri ve 3B yüzey verilerinin piksel değerleri kamera kullanılarak elde edilir ve daha sonra uzak piksel genliği gelen değişiklik ile birleştirilir. Bu yöntemin yardımı ile daha anlamlı bir yapı kurulur ve bilinen 3B bir sahne bilgisi bir 2B RGB görüntüye aktarılır.

Şekil 4'te görüldüğü üzere temel anlamda nesnelerin nokta bulutu verileri (PCL), görüntü piksel verilerine aktarılırken Kinect yardımıyla elde edilen sayısal x,y,z,RGB verileri, x,y,RGB'ye dönüştürülmektedir. Buna ilişkin ilk olarak, üç boyutlu arka plan sahne derinlik bilgisi çıkarımı ve RGB görüntü işleme konuları ile ilgili olarak incelemeler yapılmıştır.



Şekil 4. Bilgisayar ekranına ait RGB görüntüye derinlik verilerinin (PCL) işlenmesi

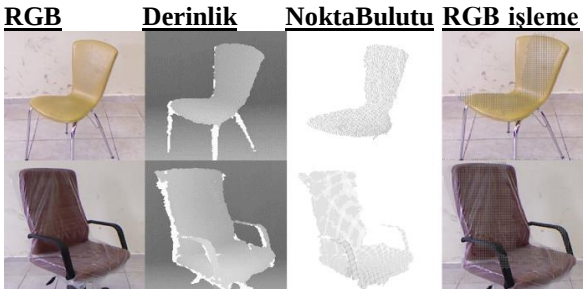
Bu uygulama ile RGB görüntüler üzerine aynı görüntüye ait derinlik verilerinin, kalibre edilerek aktarılması ile görüntüsel yanlışlıkların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Aynı sahneye ait elde edilen, RGB, derinlik görüntüleri ve nokta bulutlarını (PCL) renkli görüntü üzerinde kalibre edilerek birleştirme için bir yöntem sunulmaktadır. Bunun için görüntülerin piksel değerleri, mesafe bilgileri ve 3B yüzey verileri, kamera genliği kullanılarak elde edilmiş daha sonra uzak mesafe piksellerin modifikasyonu ile birleştirilmiştir. Bu yöntemle bir sahnenin bilinen 2B RGB görüntüsü içerisine 3B sahnesinin bilgileri aktarılarak daha anlamlı bir yapı oluşturulmuştur.

Çalışma, nesne görüntülerinde 3B derinlik verilerini içeren derinlik algılayıcı kamera uygulamaları (örn: ToF) kullanılarak gerçekleştirilmiştir [11]. Çeşitli yaklaşımlar birçok mesafe ölçümleri veya bir dizi çoklu algılayıcı kamera kullanılarak sunulmuştur [12]. Tek bir kaynak kullanımı açısından önemli bir avantaj sağladığı söylenebilir.

Bu yaklaşım ile ilgili mevcut konular, çok renkli derinlik algılayıcı kamera ile bir dizi verinin görüntüler üzerine kalibre edilmesi olarak tanımlanabilir [13]. Stereo kamera derinlik verileri ile RGB görüntü verilerinin birbiri türünden kalibrasyon edilmeye çalışılması temel sorun olarak kabul edilir [14]. Birbirleriyle ilişkilendirilmeye çalışılan farklı genlik değerlerine sahip olan bu iki sonucun birleştirilmesi için bir yöntem gösterilmektedir [15].

Fiziksel nesnelere ait RGB görüntü ve üç boyutlu derinlik veri (PCL) eşleştirmesi sürecinde, kamera sabit nesnenin sahne içinde

kalması şartıyla aynı sahnenin RGB ve derinlik görüntüleri elde edilir. Sonra, nesnenin derinlik görüntülerinden nokta bulutu verisi oluşturulur [7]. Kullanışlı bazı derinlik verileri, maksimize edilmek için orantılı olarak artırılır. RGB piksel değerlerine karşılık bu değerler aynı oransal yapı haline getirilir [16].



Şekil 5. Sandalye nesnesine ait RGB görüntüye derinlik verilerinin (PCL) aktarılma süreci

Nesnelerin nokta bulutlarını ve görüntülerinin çıkarılması sırasında Kinect algılayıcının Windows sensör kamera modeli kullanılmıştır. Öncelikle nesnenin derinlik görüntüsünden nokta bulutu oluşturulup bir dosyaya kaydedilmiştir. Nesne ve kamera yerinde sabit kalacak şekilde bir de RGB görüntüsü yakalanmıştır. Bu yakalanan görüntü içerisine elde edilen nokta bulutlarına dönüşüm işlemi gerçekleştirilerek aktarılmıştır. Uygulamanın, algılayıcı kamera yardımı ile fiziksel nesneler için RGB görüntülere sayısal 3B veri aktarım süreci Şekil 5'te sunulmaktadır. Nokta bulutu verileri PCL kullanılarak elde edilmiştir. Bu işlem Visual Studio.Net ortamında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu iki farklı sonuç yine bir .Net uygulaması ile kombine edilmiştir. Bu uygulama, RGB görüntü ve elde edilen 3B nokta bulutu verilerinin birleştirilmesi için kullanılmıştır.

3. Sonuç

Nesnelerin 3B model yüzeylerini analiz etmek için farklı metotlar geliştirilmiştir. Nesnelerin modelleri ile onlara ait özellik çıkarımları ve farklarını ayırt edebilmek için karakteristik uzaklık, bozulabilir modeller, aktif şekil model parametreleri, 2B gösterim analizi ve hareket tabanlı özellikler gibi birçok farklı özellik tabanlı metot kullanılmıştır.

Bu uygulama ile yakalanan her bir ölçümden RGB ve derinlik görüntüleri elde edilir, ayrıca nesnelerin derinlik dizilerinden ham veri değerlerini içeren bir metin dosyası oluşturulmaktadır. Biz bu nokta bulutu değerlerini RGB görüntü içerisine yerleştirmiş bulunmaktayız. Kinect ile elde edilmiş derinlik ölçümleri nesnenin RGB görüntüsünün her bir piksel değeri için ölçeklenerek ortalama bir değere dönüştürülmektedir. Derinlik ölçümlerine ait veriler referans alınarak aktarılan nokta bulutları bu RGB görüntülerin doğruluğu için daha fazla güven vermek adına 2B yapıya dönüştürülmüştür. Kinect algılayıcı ile yaklaşık 1 ile 4m arasındaki nesnelerin 3B modelleme verilerinin RGB görüntüler üzerinde birleştirilmesi sağlanmıştır. Bu da 1m'den 4m'ye kadar derinlikteki nesnelerin daha ayrıntılı ayırt edilmesinde ve anlamlı bilgiler sağlayarak özellik çıkarımları için katkıda bulunmaktadır. İki boyutlu RGB görüntüler üzerinde çalışmalarda sağlanan kolaylıklar, aynı veya farklı renkteki nesneler ile bunların pozisyonları için belirlemeler yapılabilmesine olanak sağlamalarıdır. Bu açıdan algılayıcı kameralar kullanılarak elde edilen 3B veriler ile yalnızca 2B RGB görüntülerine bakılarak nesnelerin derinlik bilgileri hakkında daha fazla ayrıntı tespit edilebilmektedir. Bu nedenle, nesnelerin yakalanmış RGB görüntülerinden daha detaylı bilgi almak için bu yöntemi önermekteyiz.

4. Kaynaklar

1. Sandbach G., Zafeiriou S., Pantic M., Rueckert D., Recognition of 3D facial expression Dynamics, Image Vision Comput, 2012.
2. Oprisescu S., et al. Measurements with ToF cameras and their necessary corrections. Signals, Circuits and Systems. International Symposium on. Vol. 1. IEEE, 2007.
3. Oggier T., et al. An all-solid-state optical range camera for 3D real-time imaging with sub-centimeter depth resolution. Optical Systems Design. vol.5249, pp.534–545. 2004.
4. Kaufmann R., et al. A time-of-flight line sensor: development and application. Photonics Europe. International Society for Optics and Photonics, vol.5459, pp.192–199, 2004.
5. Lange R., 3D time-of-flight distance measurement with custom solid-state image sensors in CMOS/CCD-technology. Ph.D. dissertation, University of Siegen, 2006.

6. Ozbay E., Cinar A., A Novel Approach To Smoothing on 3D Structured Adaptive Mesh of Kinect-Based Models. Computer Science ICAITA, pp: 13–22, © CS & IT-CSCP., 2013.
7. Ozbay E., Cinar A., 3D Reconstruction Technique with Kinect and Point Cloud Computing. Global Journal on Technology V:03, pp:1748-1754. 2012.
8. Hinterstoisser S., et al. Multimodal templates for real-time detection of texture-less objects in heavily cluttered scenes. In IEEE International Conference on Computer Vision, 2011.
9. Van den Bergh M., Van Gool L., Combining RGB and ToF cameras for real-time 3D hand gesture interaction. Applications of Computer Vision, Workshop on IEEE. 2011.
10. Kim Y. M., et al. Design and calibration of a multi-view TOF sensor fusion system. In CVPR Workshop on Time-of-flight Computer Vision pp:1-7 2008.
11. Henry P., et al. RGB-D mapping: Using Kinect-style depth cameras for dense 3D modeling of indoor environments. The International Journal of Robotics Research 31.5 pp: 647-663, 2012.
12. Khoshelham K., Elberink S. O., Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications. Sensors 12.2 pp: 1437-1454, 2012.
13. Chiu W., Ulf B., Mario F., Improving the Kinect by Cross-Modal Stereo. BMVC. Vol. 1. No. 2. 2011.
14. Felzenszwalb P. F., Huttenlocher D. P., Efficient belief propagation for early vision. International journal of computer vision. pp: 41-54. vol. 70 (1), 2006.
15. Reulke R., Combination of distance data with high resolution images. ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology, Vol. 2. pp 25–27, 2006.
16. Guan L., Pollefeys M., A unified approach to calibrate a network of camcorders and tof cameras. IEEE workshop on Multi-camera and Multi-model Sensor Fusion Algorithms and Applications, 2008.