

SAHNE AYDINLATMASINDA KULLANILAN IŞIK KAYNAĞININ RENKLİLİK DEĞERLERİNİN TEK İMGE KULLANILARAK KESTİRİMİ ESTIMATION OF SCENE ILLUMINANT CHROMATICITY BY USING SINGLE IMAGE

Şükrü Ozan¹, Şevket Gümüştekin¹

1.Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gülbahçe

sukruozan,sevketgumustekin@iyte.edu.tr

ÖZETÇE

Bu çalışmada, aydınlatılmış bir sahnede bulunan nesnelere yansıyan ışık yardımı ile ışık kaynağının üç renk kanalına (kırmızı, yeşil, mavi) ait renklilik değerlerinin kestirilmesi hedeflenmektedir. Dikromatik yansıma ve ters-yeşinlik renklilik uzayı tanımlarını kullanarak ifade edilen piksel değerlerinin uygun istatistiksel yöntemlerle analizinin, ışık kaynağının renklilik değerlerine ilişkin değerleri belirli bir hata payı ile de olsa verdiği gözlemlenmiştir. Bu işlemler için yalnızca bir tane imge yeterli olmaktadır. Önerilen yöntemle farklı renklerdeki ışık kaynaklarına ait renklilik değerlerinin yaklaşık olarak hesaplanabildiği görülmektedir.

ABSTRACT

In this study, main goal is to estimate scene illuminant chromaticity values for each of the three color channels (red, green, blue). It is found that analysis of the pixel values, which are expressed by dichromatic reflection and inverse-intensity chromaticity space definitions, with appropriate statistical methods gives approximate values for light source chromaticity within an acceptable error range. Single image of a scene is sufficient for calculations. We saw that chromaticity values of light sources with different colors can be approximately calculated.

1. Giriş

Tonlamadan türetilmiş şekil (TTŞ) algoritmalarında, bir yüzeyin değişik açılardan aydınlatılmış görüntüleri kullanılarak yüzey geometrisinin geri çatılması amaçlanmaktadır. Bu algoritmalarda en önemli varsayım yüzeyin bir Lambert yüzeyi olduğudur [1]. Lambert yüzeylerine ait çift-yönlü yansıma dağılım fonksiyonlarında (ÇYDF) aynasal yansıma bileşeni sıfır kabul edilmektedir. Ancak gerçek hayatta birçok dielektrik malzemenin hem yayınlık hem de aynasal yansıma özellikleri gösterdiğini gözlemliyoruz (örnek:Şekil 1’de görülen değişik renklerde ışık kaynakları kullanılarak aydınlatılmış kurbağa figürü). TTŞ algoritmalarının kullanılabilmesi için eldeki kaynak imgelerin aynasal yansıma bileşeninden arındırılması gerekmektedir. [2] çalışmasında, ışık kaynağının renklilik değerlerinin bilinmesi durumunda, renk uzayı dönüşümü ile yansıma bileşeninden arındırılmış imgenin elde edilebileceği

gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuç yansımadan bağımsız bir yeşinlik imgesidir. Bu imge yüzeyin yayınlık yansıma bileşenine ait geometrik özellikleri koruduğu halde renk bilgisini kaybetmiştir. Bizim bu çalışmadaki öncelikli amacımız ise ışık kaynağını tanımlamaktır. Bunun için de, [3], [4] ve [5] gibi çalışmalarda da kullanılan *dikromatik yansıma modeli* kullanılacaktır.

2. Dikromatik Yansıma Modeli

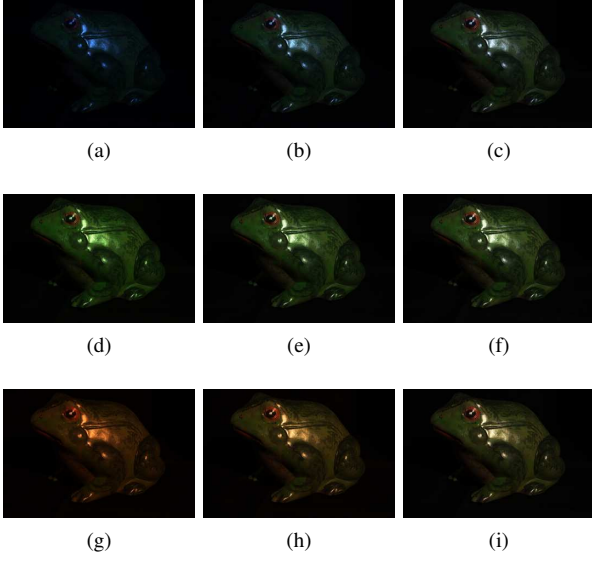
Dikromatik yansıma modeli, nesne üzerinden yansıyan ışığın, yayınlık ve aynasal yansıma bileşenlerinin doğrusal katışımı olarak ifade edilebilmesini sağlamaktadır [6]. Bu ifade Denklem 1 ile gösterilebilir. Bu denklemde $m_{yy}(\mathbf{x})$ ve $m_{ay}(\mathbf{x})$ yayınlık ve aynasal yansıma katsayılarıdır. $\Lambda_r(\mathbf{x})$ ve $\Gamma_r(\mathbf{x})$, yayınlık ve aynasal yansıma bileşenlerine ait renklilik değerlerini göstermektedir. Aynasal yansıma bileşeni ışık kaynağına ait fotometrik bilgileri de içermektedir. Bu yüzden Γ_r aynı zamanda ışık kaynağına ait renklilik değerini de ifade etmektedir. \mathbf{x} vektörü imge üzerindeki imgecik konaçlarını, r indisi (KYM) renk kanallarını göstermektedir. İşlemler piksel düzeyinde gerçekleştirildiğinden bundan sonraki gösterimlerde \mathbf{x} vektörüne yer verilmeyecektir.

$$I_r(\mathbf{x}) = m_{yy}(\mathbf{x})\Lambda_r(\mathbf{x}) + m_{ay}(\mathbf{x})\Gamma_r. \quad (1)$$

İmgeye ait renklilik (σ_r) Denklem 2 ile ifade edilebilir. Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak basit cebirsel işlemler yardımıyla m_{ay} ve m_{yy} arasında renklilik değerleri cinsinden bir bağıntı bulmak mümkündür (Denklem 3). Denklemlerin bulunuşuna ilişkin daha detaylı gösterimler [4] çalışmasında bulunabilir.

$$\sigma_r = \frac{I_r}{\sum_{i=K,Y,M} I_i}. \quad (2)$$

$$m_{ay} = m_{yy} \frac{\Lambda_r - \sigma_r}{\sigma_r - \Gamma_r}. \quad (3)$$



Şekil 1: Gerçek hayatta dielektrik özellikteki birçok malzeme yayınlık ve aynasal yansıma özellikleri göstermektedir. Yukarıdaki resimlerde bu özellikleri gösteren bir kurbağa imgesinin farklı renklerdeki ışık kaynakları ile aydınlatılmış görüntüleri görülmektedir. (a), (b), (c) farklı mavi yoğunluğuna sahip ışık kaynakları ile aydınlatılmış görüntüler. (d), (e), (f) farklı yeşil yoğunluğuna sahip ışık kaynakları ile aydınlatılmış görüntüler. (g), (h), (i) farklı turuncu yoğunluğuna sahip ışık kaynakları ile aydınlatılmış görüntüler

3. Ters-yeğinlik Renklilik Uzayı

Tan ve Ikeuchi [4] çalışmalarında, Denklem 3 bağıntısı uyarınca yeni bir parametre (p_r) tanımlamayı önermişlerdir. Denklem 4 şeklinde tanımlanan bu yeni parametre ile Denklem 2, Denklem 5 şeklinde yeniden yazılabilir. Aynı çalışmada bu denklemin türetilmesiyle birlikte, ters-yeğinlik ($1/\sum_i I_i$) renklilik (σ_r) uzayı (TYRU) tanımlanmıştır.

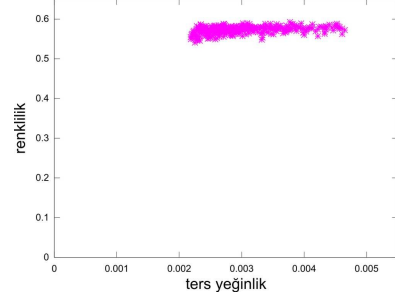
$$p_r = m_{yy}(\Lambda_r - \sigma_r). \quad (4)$$

$$\sigma_r = p_r \frac{1}{\sum_i I_i} + \Gamma_r. \quad (5)$$

4. Kaynak Renkliliklerinin Kestirimi

4.1. İlgili Çalışmalar

Sahne aydınlatmasında kullanılan ışık kaynağına ait renklilik bilgisinin kestirimi için imge üzerindeki aynasal yansıma özellikleri gösteren imgeciklerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için [7] çalışmasında gösterilen şekilde oylama yöntemine dayalı bir algoritma, ya da [8] çalışmasında gösterilen şekilde eşiklemeye dayalı yöntemler kullanılabilir. Biz bu çalışmada [8] çalışmasında önerilen eşikleme yöntemini kullanmayı tercih ediyoruz. Bu yöntemde elimizdeki üç renk kanalı bilgisine sahip imge ile oluşturulabilen yeğinlik (Y) ve doygunluk (D) imgeleri ve bu imgelere ait en büyük değerler



Şekil 2: Denklem 6 ile gösterilen eşikleme yöntemi ile seçilen aynasal yansıma özelliğine sahip imgeciklerin kırmızı kanal değerlerinin ters-yeğinlik renklilik uzayındaki gösterimleri.

(Y_{max} ve D_{max} kullanılmaktadır. Denklem 6'da da görüleceği gibi, yeğinlik ve doygunluk tanımları, bunlara ait en büyük değerler ve $[0.0 \ 1.0]$ aralığında seçilen iki eşik değeri (E_a ve E_b) ile ifade edilen eşikleme kuralına uyan imgecikler seçildiği takdirde, aynasal yansıma özelliklerine sahip bölümlerin önemli bir oranda ayrılabilmesini gözlemledik.

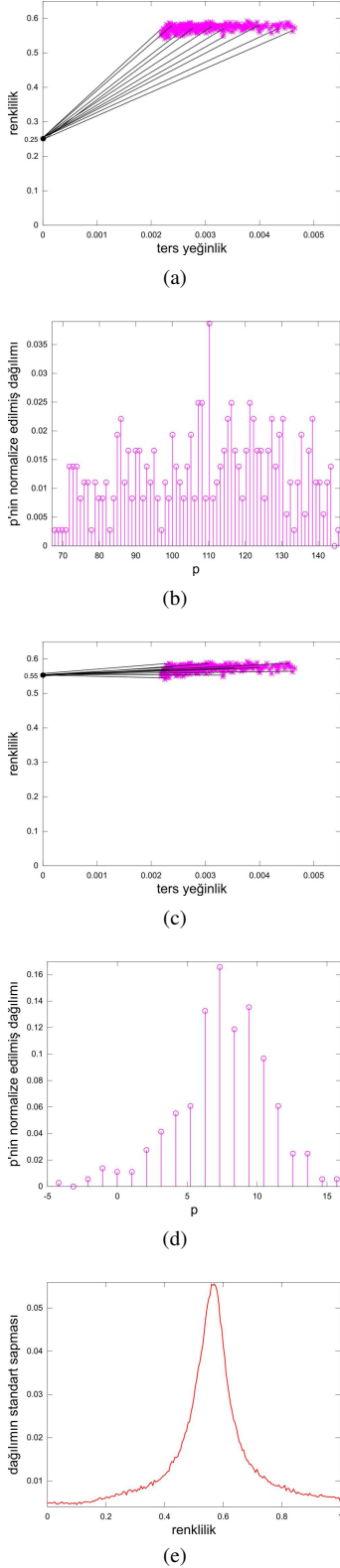
$$Y = \frac{I_k + I_y + I_m}{3} > E_a Y_{max}, \quad (6)$$

$$D = 1 - \frac{\min(I_k, I_y, I_m)}{Y} < E_b D_{max}.$$

Eşikleme yöntemi ile seçilen imgecikler her bir renk kanalı için TYRU üzerinde gösterildiğinde, Şekil 2 ile gösterilen türde sonuçlar elde edilmektedir. [4] çalışmasında da belirtildiği üzere, TYRU üzerinde gösterilen imgecikleri birleştiren doğrular çizildiğinde, grafikteki dikey eksen olan renklilik ekseninde (σ_r) bir noktada yoğun olarak kesiştiği gözlemlenmektedir. Bu nokta bize o renk kanalına ait Γ_r renklilik değerini, dolayısıyla ışık kaynağının o kanalına ait renklilik değerini vermektedir. Tan ve Ikeuchi bu kesişim noktasını bulmak için çalışmalarında, Hough Dönüşümü'nü kullanmaktadırlar. Bu dönüşümle ters yeğinlik renklilik uzayındaki noktaların, ışık kaynağı renkliliği (Γ_r) ve p_r (bkz. Denklem 4) uzayında birer doğruya dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Doğrulara ait kesişimlerin en fazla gözlemlendiği noktaya ait Γ_r değerinin aradığımız ışık kaynağı renkliliği değeri olduğu belirtilmektedir. Çalışmadaki yöntem izlendiğinde farklı Γ_r değerleri için birbirine çok yakın kesişim sayısı değerleri olduğu gözlemlenmektedir. Çalışmada yüksek kesişim sayıları veren Γ_r değerlerinin belirli bir kısmının seçilerek ortalamalarının alınmasının daha yaklaşık bir sonuç vereceği belirtilmektedir. Biz kendi çalışmalarımızda Hough Dönüşümü'ne gerek kalmadan ışık kaynağı renklilik değeri için doğru bir kestirim yapılabileceğini gözlemledik.

4.2. Yöntem

Şekil 2'de TYRU üzerindeki her bir nokta ile, renklilik eksenindeki herhangi bir noktadan geçen doğruların eğimlerinin, Denklem 5 uyarınca p' 'ye eşit olduğu görülmektedir. p değerlerinin görülme sayısını, elimizdeki toplam örnek sayısı ile normalize ederek bu dağılımı ($\xi(p)$ diyelim) bir örneklem



Şekil 3: (a) Şekilde renklilik eksenini üzerindeki 0.25 noktası ile grafik üzerindeki noktalardan geçen doğruların bir kısmı görülmektedir. (b) Bu doğruların eğimlerinin normalize edilmiş dağılım fonksiyonu görülmektedir. (c) Renklilik eksenini üzerindeki 0.55 noktası ile grafik üzerindeki noktalardan geçen doğruların bir kısmı görülmektedir. (d) Bu doğruların eğimlerinin normalize edilmiş dağılım fonksiyonu görülmektedir. (e) Renklilik ekseninde [0.0 1.0] aralığında alınan noktalar elde edilen standart sapma değerlerinin grafiği görülmektedir.

uzayı şeklinde ifade etmek mümkündür. Renklilik eksenini üzerinde bir nokta alalım ve buna, ışık kaynağı renklilik değerinin kestirimi anlamına gelecek şekilde Γ'_r diyelim ($r = k, y, m$). Şekil 2 baz alınarak, farklı Γ' değerleri için (örneğin sırasıyla 0.25 ve 0.55 değerlerini seçelim), bu noktadan ve grafik üzerindeki her bir noktadan geçen doğrular ele alındığında Şekil 3a ile Şekil 3c'deki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu doğruların eğim değerlerinin örnek sayısı ile normalize edilmiş dağılımı ($\xi(p)$) Şekil 3b ve 3d'de görülmektedir. Dağılıma ait grafikler incelenecek olursa, aynı zamanda yer gerçekliği değeri olan ve 0.5684 olarak ölçülen değere yaklaşıldığında, dağılımın daha dar bir aralıkta toplandığı gözlemlenmektedir. Bu değişimi sayısal olarak ifade etmek için, birer örneklem uzayı olarak ele aldığımız dağılımlara ait standart sapma değerlerini bir metrik olarak kabul ettik. Γ' 'nın sırasıyla 0.25 ve 0.55 değerlerini aldığı durumlarda standart sapma değerlerinin sırasıyla 0.0069 ve 0.0520 olduğunu gözlemledik. Γ' 'nın [0.0 1.0] aralığında alacağı değerler için, standart sapma değerlerini bir grafik olarak çizdirdiğimizde ise Şekil 3e'yi elde ettik. Bu grafikten görülmektedir ki evrensel enbüyük değerinin görüldüğü noktaya ait renklilik bileşeni, ışık kaynağına ait ilgili renk kanalının renklilik değeri için uygun bir kestirim değeridir.

5. Sonuçlar

Bir önceki bölümde anlattığımız yöntemi üç renk kanalına (kırmızı, yeşil, mavi) ayrı ayrı uyguladığımız taktirde, ışık kaynağına ait renklilik değerlerini yaklaşık olarak hesaplayabildiğimizi gözlemledik. Ölçümlerimizde dayanak olarak kullandığımız yer gerçekliği değerlerini (YGD) bir beyaz dengesi kartının aynı ışıklandırma koşulları altında çekilmiş fotoğraflarındaki renklilik bilgisi yardımı ile hesapladık. Şekil 1'deki farklı renklerdeki ışık kaynakları ile aydınlatılmış sahnelerdeki kaynağına ait renklilik değerlerinin kestirim sonuçları (KD) ve ilgili yer gerçekliği değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Görülmektedir ki tek bir imge ve yukarıdaki çözümleme ile farklı renk tonlarındaki ışık kaynaklarının renkliliklerine ilişkin yaklaşık bir kestirim yapılabilmektedir.

Işık kaynağının saf beyaz olduğu durumlarda $\Gamma = \{1/3, 1/3, 1/3\}$ olmaktadır. Ancak gerçek hayatta karşımıza çıkan birçok ışık kaynağı bundan farklı renklilik değerlerine sahiptir. Bununla birlikte ışık kaynağının renklilik değerlerinin bilinmesi durumunda imgenin normalize edilerek saf beyaz ışık altındaki görüntüsünün nasıl olacağı bulunabilmektedir. Bunun için Denklem 1 ve ışık kaynağına ait bir önceki adımda gerçekleştirdiğimiz kestirme işlemi sonucunda elde edilen değerler ($\Gamma' = \{\Gamma'_k, \Gamma'_y, \Gamma'_m\}$) kullanılarak Denklem 7 yazılabilir. Şekil 4a'de görülen imge bu denklem yardımı ile normalize edildiğinde Şekil 4b elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} \mathbf{I}^n &= \frac{\mathbf{I}}{\Gamma'}, \\ &= m_{yy}^n \Lambda^n + m_{ay}^n \Gamma^n, \\ \text{Öyle ki, } \Gamma^n &= \left\{ \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem 7 üç renk kanalı için ayrı ayrı Denklem 8 şeklinde yazılabilir. Bu yazım şeklinde görüleceği gibi, nor-

Tablo 1: Şekil 1’de farklı renkte ışık kaynaklarıyla aydınlatılmış kurbağa imgeleri için kaynakların renklilik değerlerine ait yer gerçeklik (YGD) ve kestirim değerleri (KD).

İlgili Işık Kaynakları	Γ_k	Γ_y	Γ_m
Şekil 1a (YGD)	0.1362	0.2810	0.5827
Şekil 1a (KD)	0.1590	0.3067	0.5493
Şekil 1b (YGD)	0.2270	0.3221	0.4507
Şekil 1b (KD)	0.2493	0.3425	0.4036
Şekil 1c (YGD)	0.2876	0.3260	0.3863
Şekil 1c (KD)	0.3072	0.3378	0.3537
Şekil 1d (YGD)	0.3211	0.4329	0.2458
Şekil 1d (KD)	0.3249	0.4157	0.2568
Şekil 1e (YGD)	0.3340	0.3735	0.2924
Şekil 1e (KD)	0.3323	0.3663	0.3044
Şekil 1f (YGD)	0.3418	0.3474	0.3107
Şekil 1f (KD)	0.3327	0.3549	0.3178
Şekil 1g (YGD)	0.5684	0.2960	0.1354
Şekil 1g (KD)	0.5667	0.3151	0.1177
Şekil 1h (YGD)	0.4633	0.3330	0.2035
Şekil 1h (KD)	0.4326	0.3432	0.2190
Şekil 1i (YGD)	0.3834	0.3417	0.2745
Şekil 1i (KD)	0.3626	0.3415	0.3071



(a)



(b)



(c)

Şekil 4: (a) Mavi tonlarındaki bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış imge. (b) (a)’nın Denklem 7 yardımı ile normalize edilmiş aynasal yansımaya özelliklerinden arındırılmış hali. (c) Denklem 9 yardımı ile elde edilen yansımadan bağımsız imge.

malize edilmiş imgeye (I^n) ait renk kanalı değerleri dikromatik yansıma modeli uyarınca yazıldığında, aynasal yansıma bileşeninin üç renk kanalı için de aynı olduğu görülmektedir.

$$\begin{aligned} I_k^n &= m_{yy}^n \Lambda_k^n + m_{ay}^n \frac{1}{3}, \\ I_y^n &= m_{yy}^n \Lambda_y^n + m_{ay}^n \frac{1}{3}, \\ I_m^n &= m_{yy}^n \Lambda_m^n + m_{ay}^n \frac{1}{3}. \end{aligned} \quad (8)$$

[3] çalışmasında anlatıldığı şekilde, normalize edilmiş imgeden (I^n) yansımadan bağımsız imge (\tilde{I}) elde edilmesi Denklem 9 ile yapılabilmektedir. Bu denklemden de görüleceği gibi en küçük kanal değeri her bir kanaldan çıkarıldığında yansımadan bağımsız bir imge ortaya çıkmaktadır. Bu işlem Şekil 4b’de görülen normalize edilmiş imge üzerinde uygulandığında Şekil 4c elde edilmektedir. Elde edilen bu imge TTŞ algoritmalarında kullanılan Lambert yüzeyi varsayımını karşılamaktadır.

$$\tilde{I}_r = I_r^n - \min(I_k^n, I_y^n, I_m^n) \quad (9)$$

6. KAYNAKÇA

- [1] Prados E. and Faugeras O. 2005. “Shape from shading: a well-posed problem?” *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005.*, 2005, VOL. 2, p. 870-877.
- [2] Mallick S.P, Zickler T.E., Kriegman D.J. and Belhumeur P.N. 2005. “Beyond Lambert: reconstructing specular surfaces using color” *Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’05)*, 2005, VOL. 2, p. 619-626.
- [3] Shen H.L., Zhang H.G., Shao S.J. and Xin J.H. 2008. “Chromaticity-based separation of reflection components in a single image” *Pattern Recognition*, 2008, VOL. 41, NO. 8, p. 2461-2469.
- [4] Tan R.T., Nishino K. and Ikeuchi K. 2003. “Illumination chromaticity estimation using inverse-intensity chromaticity space” *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2003)*, 2003, VOL. 1, p. 673-680.
- [5] Tan R.T. and Ikeuchi K. 2005. “Separating reflection components of textured surfaces using a single image” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (2005)*, 2005, VOL. 27, NO. 2, p. 178-193.
- [6] Shafer S. 1985. “Using color to separate reflection components” *Color Research & Application*, 1985, VOL. 10, NO. 4, pp. 210-218.
- [7] Yoon K.J and Kweon I.S. 2004. “Voting-based separation of diffuse and specular pixels” *Electronics Letters*, 2004, VOL. 40, NO. 20, p. 1260-1261.
- [8] Lehmann T.M. and Palm C. 2001. “Color line search for illuminant estimation in real-world scenes” *J. Opt. Soc. Am.* 2001, 2001, VOL. 18, NO. 11, p. 2679-2691.