

Sık Eşleme Yoluyla Görüntü Renklendirme

Image Colorization via Dense Correspondences

Mehmet GÜNEL, Levent KARACAN, Aykut ERDEM, Erkut ERDEM

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Hacettepe Üniversitesi, 06800 Beytepe, Ankara
{b21027075, karacan, aykut, erkut}@cs.hacettepe.edu.tr

ÖZETÇE

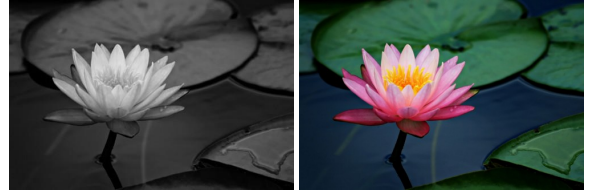
Renklendirme, siyah-beyaz bir resme renk ekleme işlemi, yorucu ve zorlu bir iştir ve genellikle renk uzmanları tarafından elle yapılan yoğun bir çabayı gerektirmektedir. Bu problemin üstesinden gelmek için; literatürde bu işlemi fırça renk çizgileri cinsinden minimal kullanıcı girdisi ya da renkli bir referans resmi kullanarak gerçekleştiren sınırlı sayıda berinsel çalışma mevcuttur ve bunlar görece daha basit çözümler sunmaktadırlar. Bu çalışmada amacımız, resim renklendirme için tamamen otomatik çalışan bir yöntemin araştırılmasıdır. Özellikle, otomatik olarak; büyük bir renkli resim kümesinden en benzer referans resmi seçen ve referans resimden girdi resmine renk bilgisini aktarmak için sık eşlemeler kullanan verilerce yönlendirilen, özgün bir yaklaşım sunulmuştur. Yöntemimizin performansı çok çeşitli doğal resimler üzerinde ölçülmüş ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır.

ABSTRACT

Colorization, the process of adding color to monochrome images, is a tedious and difficult task and often requires intensive manual effort by color experts. To alleviate this problem, a number of computational studies have been proposed in the literature which aim to perform this task in a relatively easy way, either by employing minimal user input in terms of color scribbles or using a colored reference image. Our goal in this paper is to explore a fully-automatic approach to image colorization. In particular, we present a novel data-driven strategy which automatically selects the most similar reference image from a large set of color images and utilizes dense correspondences to transfer the color information from the reference image to the input image. We evaluate the performance of our approach on a variety of natural images and obtain fairly good results.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada ele alınan problem, siyah-beyaz resimlerin kullanıcıdan herhangi bir ek girdi alınmadan otomatik renklendirilmesidir. Bu problemin en belirgin zorluğu girdi verisinde mevcut olan bilgi eksikliğidir zira siyah-beyaz resimler sadece parlaklık değerlerini barındırmaktadırlar. Oysaki renklendirme işlemi düşünüldüğünde belirli bir parlaklık değerine sahip, RGB renk uzayı içerisinde çok farklı renk kombinasyonları bulmak mümkündür. Her bir piksel için bu işlemin gerçekleştirileceği düşünülürse, resimdeki yapıların, dokuların



Şekil 1: Siyah-beyaz bir nilüfer resmi ve asıl renkli hali.

ve nesnelerin anlamlı bir renklendirmeye sahip olabilmeleri için görüntü öğelerinin bütün olarak ele alınması gerekmektedir ve bu durum, çözümü zorlaştıran diğer etkenlerin başında gelmektedir. Ayrıca doğru renklendirilen kısımların da kendi aralarında uyum içerisinde olmaları, renklendirme işleminin başarısı açısından çok önemlidir.

Renklendirme probleminin çözümü için düşünülegelen, görüntü işleme ve daha pek çok alanda kullanılan iki ana yaklaşım bulunmaktadır: (i) örnek tabanlı yaklaşım ve (ii) model odaklı yaklaşım. Örnek tabanlı yaklaşım temel olarak, ne kadar çok örnek barındırılırsa o denli o örnekler kullanılarak başarı sağlanacağını söyler. Bir başka deyişle; bu yaklaşım problemin çözümünü, eldeki verilerin yönlendirebileceğini varsayar. Diğer yandan, model odaklı yaklaşım ise, örnek ağırlıklı yaklaşımın aksine, problemin çözümü için çeşitli modellerin tanımlanmasını vurgular.

Bu anlamda siyah-beyaz resimlerin renklendirilmesinde literatürde ağırlıklı olarak örnek tabanlı yaklaşımı kullanan çeşitli çalışmalar önerilmiştir [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Bu çalışmalardan bizim için ilgi çekici ve yakın tarihli olanlar, Gupta ve diğerleri tarafından önerilen benzer resimler kullanılarak renklendirme gerçekleştiren yöntem [7] ve Chia ve diğerleri tarafından önerilen İnternet resimlerini işleme katan çalışmadır [6]. Bu iki çalışma da, renklendirme işlemini sağlayan örnek referans resimler üzerinden gerçekleştirmektedir. İlk çalışma [7], kullanıcıdan anlamsal olarak benzer bir girdi resmi olarak renklendirme yapmaktadır ve burada anlamsal yakınlık, her iki resimde de benzer öğelerin bulunmasına karşılık gelmektedir; örneğin her iki resimde de gökyüzü, ağaç, çimenlik, vb. ortak alanların bulunması gibi. Kullanılacak referans resim kullanıcı tarafından belirtmekte ve çalışma verilen resmin renklendirilecek resme anlamsal olarak en yakın resim olduğunu kabul etmektedir. İkinci çalışmada [6] ise resim üzerindeki ön planda bulunan nesneler için kullanıcıdan anlamsal olarak etiket bilgisi, sonrasında ise nesnelerin bölütlenebilmesi için çeşitli ipuçları girdi

olarak alınmaktadır. Bu bilgileri kullanarak İnternet üzerinden renklendirilecek resme en yakın resimler bulunmakta ve bu yolla seçilen en yakın referans resim üzerinden renk transferi gerçekleştirilmektedir.

Renklendirme hususunda, oldukça önemli kabul edilen öncül çalışmalardan biri olan Levin ve diğerlerinin yaklaşımı [2], fırça renk çizgileri ile kullanıcıdan alınan renk bilgisinin bir eniyileme yöntemi vasıtasıyla resmin geri kalanına yayılmasına dayanmaktadır. Bu yayılma işlemi, basitçe, benzer parlaklıktaki görece birbirine yakın pikseller benzer renklere sahiptir varsayımı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Daha sonra Luan ve diğerleri [4] bu bahsi geçen yöntemi doku bölütlemesi kullanarak daha az kullanıcı girdisi gerektirecek şekilde iyileştirmişlerdir.

Bu çalışmada önerdiğimiz renklendirme yaklaşımı, renklendirme işlemi için renkli resimlerden oluşan bir veri tabanından görsel yakınlığa bağlı olarak bir referans resmin seçilmesi fikrine dayanmaktadır. Seçilen referans resim üzerinden renklendirme işlemi, kullanıcıdan fırça işaretlemesi almaya gerek kalmadan, siyah-beyaz resim ile referans resim arasında eşlemeye göre belirlenmektedir. Bu amaçla önerilen yöntem, SIFT flow sık eşleme yöntemini [8] kullanarak referans resmin üzerinde yerel eğme-bükmeler gerçekleştirerek bu resmin girdi resmine benzetilmesini sağlamaktadır. Çalışmamızın özgün yönü, yöntemimizin bu anlamda renklendirme işlemi tamamen otomatik olarak yapmasıdır. Diğer çalışmalarda ([2] gibi), farkedileceği gibi, belirli düzeyde kullanıcı gayreti gerekmektedir. Bizim çalışmamızda ise, kullanıcıdan herhangi bir ek anlamsal bilgi veya renk bilgisi sağlanması istenmemektedir. Bu anlamda çalışmamız, diğer çalışmalar da göz önünde bulundurulduğunda, başarılı sonuçlar vermektedir.

Bildirinin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2’de yaklaşımımızda kullandığımız yöntemleri ayrıntılarından bahsedilmiş, Bölüm 3’te bu tekniklerin otomatik renklendirme amaçlı olarak nasıl kullanıldığı açıklanmış ve ardından Bölüm 4 ve 5’te deneysel analize ve sonuçlara yer verilmiştir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Eniyileme Yoluyla Renk Yayılımı

Levin ve diğerleri tarafından önerilen renklendirme yöntemi [2], benzer parlaklık değerlerine sahip komşu piksellerin benzer renklere sahip olması gerektiği varsayımı üzerinden, çeşitli fırça darbeleriyle kullanıcı tarafından belirtilen renklerin bir eniyileme yoluyla resmin geri kalanına yayılmasına dayanmaktadır. Bu işlem, ikinci dereceden bir maliyet fonksiyonunun eniyilemesinin yapılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada renklendirme işlemi için YUV renk uzayında çalışılarak, parlaklık ve renk değerleri birbirlerinden ayrılmış, U ve V kanalları üzerinden eniyileme gerçekleştirilmiştir. Burada, r ve s pikselleri resim üzerinde komşu iseler bu pikseller arası renkler de parlaklık değerleri göz önünde bulundurularak benzer olmalıdır varsayımı üzerinden komşuluğa dayalı olarak tanımlanan şu fonksiyona göre eniyileme yapılmaktadır:

$$J(U) = \sum_r \left(U(r) - \sum_{s \in N(r)} w_{rs} U(s) \right)^2 \quad (1)$$



Şekil 2: Eniyileme yöntemi ile elde edilen örnek bir renklendirme sonucu. Solda siyah-beyaz renklendirilecek resim, ortada kullanıcı işaretlemeleri ve sağda renklendirme sonucu ([2]’den alınmıştır).

Yukarıdaki denklemde w_{rs} ifadesi bir ağırlık fonksiyonunu göstermekte ve $N(r)$ ise r pikselinin belirli ölçekteki komşularının kümesini temsil etmektedir. Şekil 2 üzerinde, bu çalışma kullanılarak renklendirilen bir örnek verilmiştir. Sol tarafta siyah beyaz resim yer alırken, ortada kullanıcıdan alınan fırça renklendirmeleri, sağ tarafta da renklendirme sonucu görülmektedir.

Levin ve diğerlerinin bu çalışması, renklendirme problemi için oldukça önemli bir çıkış noktası oluşturmıştır. Özellikle el ile kullanıcıdan alınan görece az sayıdaki fırça renk çizgileri sayesinde renklendirme işlemi, buna bağlı olarak da renk yayılımı ile daha kolayca sağlanabilmektedir. Böylece renklendirme problemi, kullanıcıdan renk bilgisinin alınması probleminden çıkarak, belirli parlaklık değerleri için sadece renk seçimi problemine indirgenmiştir denilebilir. Bu gelişme, geniş bir kullanım alanında diğer devam çalışmalarında da kendine yer bulmuştur [6, 7] .

2.2. SIFT Flow Sık Eşleme Yöntemi

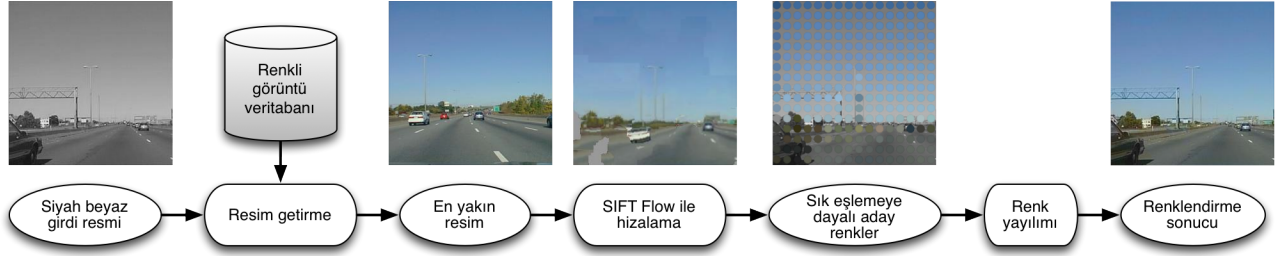
SIFT flow çalışması, kendi içinde sık eşleme işlemi için SIFT [9] öznetliliklerini kullanmaktadır. Bu öznetliliklerden faydalanılarak, verilen iki resim üzerinden yapılan hesaplamalar ile yerel anlamda geometrik eğip bükme yapılmakta ve girdi resmi diğer referans resme benzetilmektedir. Bu benzetim ile ayrıca resimlerin enerji fonksiyonları ile sahne örtüşme miktarları tespit edilebilmektedir.

SIFT flow algoritması, aslen optik akış [10] esasına dayalı çalışmaktadır. Optik akış hesabı içerisinde kullanılan RGB değerleri yerine yukarıda bahsi geçen SIFT öznetlilikleri kullanılmakta ve buna göre bir enerji hesabına gidilmektedir:

$$E(\mathbf{w}) = \sum_{\mathbf{p}} \min(\|s_1(\mathbf{p}) - s_2(\mathbf{p} + \mathbf{w}(\mathbf{p}))\|_1, t) + \sum_{\mathbf{p}} \eta(|u(\mathbf{p})| + |v(\mathbf{p})|) + \sum_{(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \in \epsilon} \min(\lambda|u(\mathbf{p}) - u(\mathbf{q})|, d) + \min(\lambda|v(\mathbf{p}) - v(\mathbf{q})|, d) \quad (2)$$

Denklem (2)’de \mathbf{p} ve \mathbf{q} resim üzerindeki sık piksel koordinatlarını, $\mathbf{w}(\mathbf{p}) = (u(\mathbf{p}), v(\mathbf{p}))$, \mathbf{p} pikselindeki akış vektörünü, s_1 ve s_2 eşlenmesi istenen SIFT görüntülerini, ϵ uzlamsal komşuluğu, η ve λ skalar değerleri ve t ve d eşik değerlerini ifade etmektedir.

SIFT flow çalışması, yazında öncelikli olarak resimlerin sahne hizalamalarında kendine yer bulmaktadır. Bununla beraber, büyük veri kümeleri içerisinde verilen bir girdi görüntüsüne en yakın görüntülerin tespitinde de kullanılmaktadır. Ayrıca videolar üzerinde hareketli nesnelerin



Şekil 3: Önerilen otomatik renklendirme yaklaşımının aşamaları.

algısında bu nesnelerin farklı videolara taşınması gibi uygulama alanlarında da yer bulmaktadır.

3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Önerdiğimiz siyah-beyaz resimlerin otomatik renklendirilmesi yaklaşımında Bölüm 2’de açıklanan çalışmalar ve bu çalışmaların sunduğu tekniklerden faydalanılmıştır. Kısaca, SIFT flow yönteminin sağladığı hizalama üzerinden belirlenen aday renklerin eniyileme yoluyla yayılması önerilmiştir. Geliştirdiğimiz otomatik renklendirme algoritmasının detayları şu şekildedir:

Renklendirme işlemi gerçekleştirilirken siyah-beyaz girdi resmi için, öncelikle GIST [11] global görüntü özneliğine dayalı olarak renkli görüntülerden oluşan bir veri tabanı içinde bir yakınlık sıralaması yapılmış, bunun ardından gelen sıralı resimler üzerinden seçilen belli sayıdaki en yakın resim için SIFT flow tekniğiyle daha doğru bir sıralamaya gidilerek referans resim olarak kullanılacak en yakın resim elde edilmiştir. Girdi resmi ve elde edilen referans görüntü için halihazırda hesaplanan SIFT flow sonucuna göre bu referans görüntü girdi resmine deforme edilerek benzetilmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından doğrusal örnek alma yoluyla, yani düzgün aralıklı olarak, deforme edilen referans resminin içinden seçilen renkler siyah beyaz resme aktarılmıştır. Bu renk aktarımı aşaması için YUV renk uzayında çalışılmış ve düzgün aralıklarla referans resimden renk aktarımı yapılan siyah-beyaz resim üzerindeki renkler, eniyileme yoluyla renklendirme tekniği kullanılarak resmin geri kalanına yayılmıştır.

Şekil 3’te yaklaşımımızın çalışma şeması görülmektedir. Sol tarafta bulunan görüntü, renklendirilecek sahne resmidir. Ardından girdi resmine yakınlığına göre veri tabanından seçilen referans resmi, SIFT flow tekniği ile referans resmin girdi resmine hizalanmış hali ve iki resim arasında düzgün aralıklı renk örneği alımı ve en sağda da renklendirilmiş sonuç resim gelmektedir.

4. DENEYSEL ANALİZ

Renklendirmede kullanılacak resimler için LabelMe [12] veri tabanının bir alt kümesi olan LMO (LabelMe Outdoor) [13] veri tabanı kullanılmıştır. LMO veri tabanı içerisinde 2688 adet farklı kategorilerde açık mekan resimleri mevcuttur ve resimlerin hepsi aynı boyuttur. Bu resimler içerisinde 200 adet resim restgele seçilmiş ve bu resimler üzerinde renklendirme işlemi uygulanmıştır.

Deneylerimizde kullandığımız resimlerde düzgün aralıklı

renk aktarımı yaparken, aralık miktarı 10 piksel olarak alınmıştır. Böylece hem yatayda hem de dikeyde onar piksel atlayarak renk alımı gerçekleştirilmiştir. Sonuçta deforme edilen resimden bir ızgara şeklinde örnek alımı yapıldığı söylenebilir. Aralık miktarı resimden resme değişebilen bir parametre olup, kullandığımız resim boyutuna göre uygun olarak belirlediğimiz bir büyüklüktür.

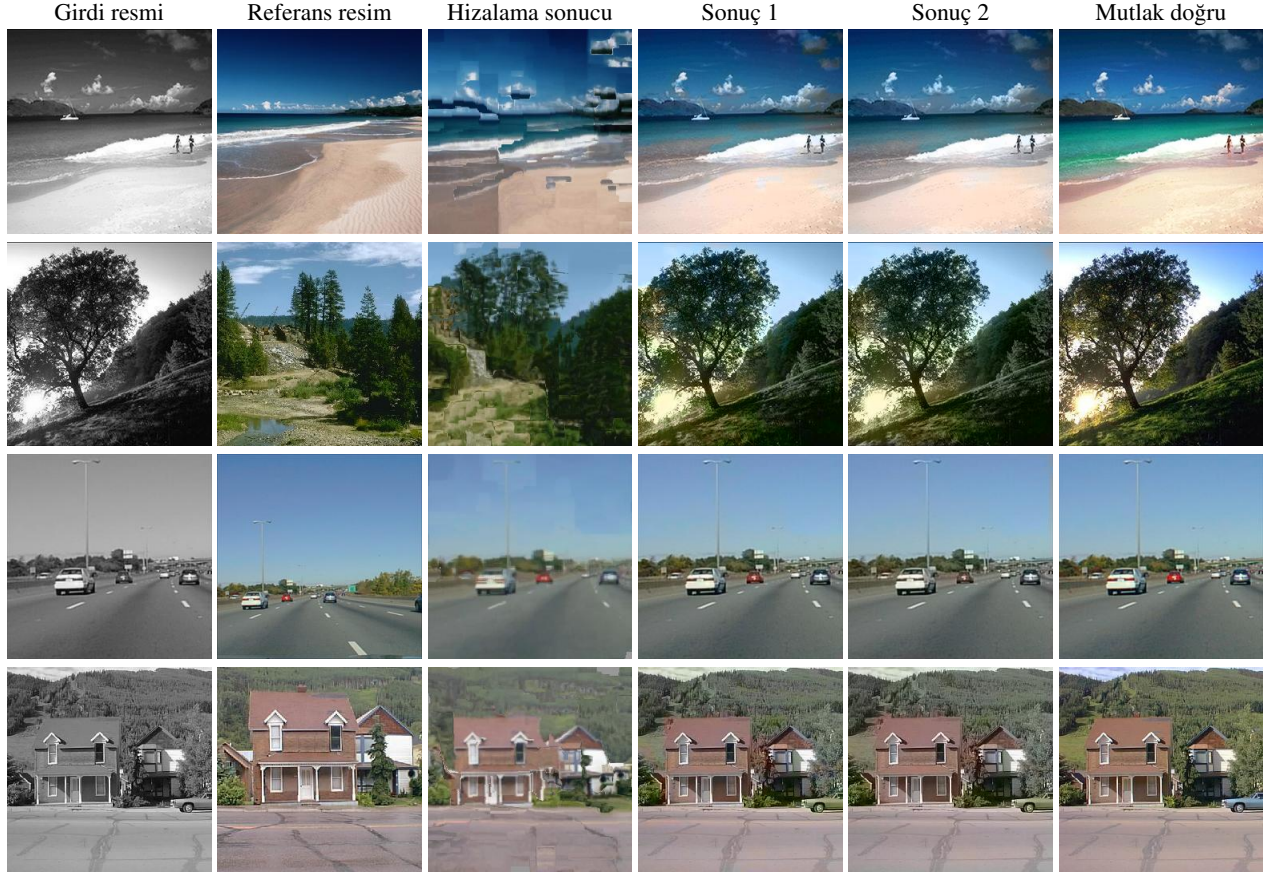
Deneylerimizde ayrıca, düzgün aralıklı renk aktarımı yaparken, doğrudan karşılık gelen piksel renk değerini atamak yerine, karşılık gelen pikselin komşuluklarının da dikkate alınmasına yönelik testler gerçekleştirilmiştir. Bunun için karşılık gelen pikselin 3×3 ’lük tüm komşulukları arasında, renk aktarımı yapılacak piksele en yakın parlaklık değerine sahip pikselin renk değerleri atanmıştır. Böylece deforme edilen resim üzerinde deformasyondan kaynaklanabilecek hataları da azaltma yoluna gidilmiş olunmuştur. Sonuçta deneylerimizde her iki şekilde de renk aktarımını test edilmiştir. Bildiride yer verdiğimiz örneklerin dışında, test amacıyla kullandığımız 200 siyah-beyaz resim için elde ettiğimiz tüm sonuçlara bu çalışma hazırladığımız İnternet sayfasından erişilebilir ¹.

Test ettiğimiz bazı girdi resimleri için elde ettiğimiz sonuçlar Şekil 5’te gösterilmiştir. En solda siyah-beyaz girdi görüntüsü, onun sağ tarafında veri tabanından getirilen en yakın görüntü, sonrasında SIFT flow tekniği ile deforme edilmiş görüntü, düzgün aralıklı (Sonuç 1) ve 3×3 aralıklı komşulukları dikkate alan sonuçlar (Sonuç 2) ve en sağda girdi görüntüsünün asıl renkli hali yer almaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmamızda siyah-beyaz resimlerin otomatik renklendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen örnek tabanlı yaklaşım, renklendirmede kullanılacak referans resmin seçilmesinde en yakın komşuluk prensibine dayandığı için yöntemin başarısının kullanılan veri tabanının büyüklüğünden etkileneceği açıktır. Sonucu etkileyen bir diğer faktör ise, SIFT flow tekniğine dayalı elde edilen hizalama sonucunun hangi oranda başarılı olduğudur (Şekil 5). Bununla ilişkili olarak, veri tabanının büyüklüğü arttığında veri tabanında girdi görüntüsüne daha yakın resimler bulunma olasılığı artacağından, gerçekleştirilen hizalamanın bu oranda daha doğru yapılabileceği de tartışma götürmez bir gerçektir. Bu bağlamda, gelecekte çalışmamızda kullanılan 2688 resimden oluşan LMO veri kümesi yerine daha büyük veri kümesi

¹<http://dev.cs.hacettepe.edu.tr/~b21027075/SIU/>



Şekil 4: Bazı örnek renklendirme sonuçları.



Şekil 5: Hatalı bir renklendirme sonucu.

olan SUN (Scene Understanding) [14] veri tabanının kullanılması hedeflenmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, "Transferring color to greyscale images," *ACM Trans. Graph.*, vol. 21, no. 3, pp. 277–280, July 2002.
- [2] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "Colorization using optimization," *ACM Trans. Graph.*, vol. 23, no. 3, pp. 689–694, Aug. 2004.
- [3] R. Irony, D. Cohen-Or, and D. Lischinski, "Colorization by example," in *EGSR*, 2005, pp. 201–210.
- [4] Q. Luan, F. Wen, D. Cohen-Or, L. Liang, Y.-Q. Xu, and H.-Y. Shum, "Natural image colorization," in *EGSR*, 2007, pp. 309–320.
- [5] G. Charpiat, M. Hofmann, and B. Schölkopf, "Automatic image colorization via multimodal predictions," in *ECCV*, 2008.
- [6] A. Y.-S. Chia, S. Zhuo, R. K. Gupta, Y.-W. Tai, S.-Y. Cho, P. Tan, and S. Lin, "Semantic colorization with internet images," *ACM Trans. Graph.*, vol. 30, no. 6, pp. 156:1–156:8, Dec. 2011.
- [7] R. K. Gupta, A. Y.-S. Chia, D. Rajan, E. S. Ng, and H. Zhiyong, "Image colorization using similar images," in *ACM MM*, 2012, pp. 369–378.
- [8] C. Liu, J. Yuen, and A. Torralba, "Sift flow: Dense correspondence across scenes and its applications," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 33, no. 5, pp. 978–994, May 2011.
- [9] D. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *Int. J. Comput. Vision*, vol. 60, no. 4, pp. 91–110, 2004.
- [10] B. K. P. Horn and B. G. Schunck, "Determining optical flow," *Artificial Intelligence*, vol. 17, pp. 185–203, 1981.
- [11] A. Oliva and A. Torralba, "Modeling the shape of the scene: A holistic representation of the spatial envelope," *Int. J. Comput. Vision*, vol. 42, no. 3, pp. 145–175, 2001.
- [12] B. C. Russell, A. Torralba, K. P. Murphy, and W. T. Freeman, "Labelme: A database and web-based tool for image annotation," *Int. J. Comput. Vision*, vol. 77, no. 1-3, pp. 157–173, May 2008.
- [13] C. Liu, J. Yuen, and A. Torralba, "Nonparametric scene parsing: Label transfer via dense scene alignment," in *CVPR*, 2009.
- [14] J. Xiao, J. Hayes, K. A. Ehinger, A. Oliva, and A. Torralba, "SUN database: Large-scale scene recognition from abbey to zoo," in *CVPR*, 2010.