

# Yüksek Parlaklıklı Görüntülerde Nicemleme Seviyelerinin Belirlenmesi için Deneysel bir Yöntem

## An Experimental Method to Determine Quantization Levels for High Luminance Patterns

Sevim Begüm Sözer <sup>a,b</sup>, Alper Koz <sup>a</sup>, Ahmet Oğuz Akyüz <sup>b</sup>, Emin Zerman <sup>c</sup>, Giuseppe Valenzise <sup>d</sup>, and Frederic Dufaux <sup>d</sup>

sbegumsozer@gmail.com, koz@metu.edu.tr, akyuz@ceng.metu.edu.tr, emin.zerman@scss.tcd.ie,

{ giuseppe.valenzise, frederic.dufaux } @l2s.centralesupelec.fr

<sup>a</sup>Görüntü Analiz Merkezi (OGAM), <sup>b</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Balgat, 06800, Ankara, Türkiye

<sup>c</sup>School of Computer Science and Statistics, Trinity College Dublin, Dublin, Ireland

<sup>d</sup>Université Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, Laboratoire des Signaux et Systèmes

91190, Gif-sur-Yvette, France

**Özetçe**—Video kodlamada temelde çok önemli bir yer tutan dönüşüm katsayıları nicemleme seviyeleri alçak dinamik oranlı (ADO) geleneksel 8-bit video ve parlaklığı 100-500 cd/m<sup>2</sup> arasında değişen tipik ekranlar için geliştirilmiştir. Şu ana kadar, parlaklığı 4000 cd/m<sup>2</sup> değerlerine kadar ulaşabilen yüksek dinamik oranlı (YDO) ekranlar ve bu ekranlarda gösterilebilecek YDO imge ve videoların kodlanması için dönüşüm nicemleme seviyelerinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada, yüksek parlaklıklı görüntülerde ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) katsayıları için fark edilebilir nicemleme seviyelerinin bulunabilmesi amacıyla YDO ekran tabanlı algısal bir deneysel yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde, ilk aşamada herbir AKD frekansı için farklı genliklerdeki nicemleme gürültüsü örüntüleri, YDO ekranı oluşturan LED katmanı ve LCD katmanı piksel değerlerini tahmine dayalı bir gerçekleştirme algoritması ile YDO ekranda oluşturulmuştur. Daha sonra, iki alternatifli zorlamalı seçim (IAZS) prosedürüne dayalı geometrik arama yöntemi ile farklı genliklerde nicemleme gürültüsü eklenmiş ve eklenmemiş örüntüler görsel deneklere ayrı ayrı rastgele sıralarda sunulmuş ve nicemleme seviyeleri belirlenmiştir. Ortalama luminansı 1000 cd/m<sup>2</sup> olan 30 AKD frekansı için üç denek üzerinden ilk sonuçlar elde edilmiş ve frekans değişimlerine göre yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** — Nicemleme seviyeleri, yüksek dinamik oran, görüntü kodlama, algısal testler, ayrık kosinüs dönüşümü

**Abstract**—The quantization levels, which forms an important basis for video coding, are mainly determined for 8-bit image representation and for low dynamic range (LDR) typical displays with a luminance level of 100-500 cd/m<sup>2</sup>. The quantization levels have not been studied until now for high luminance patterns and high dynamic range (HDR) displays, which can reach up to 4000 cd/m<sup>2</sup>. In this study, an HDR display based perceptual experimental method is proposed in order to determine just noticeable quantization levels for discrete cosine transform (DCT) coefficients on high luminance images. The proposed method first render the quantization noise patterns for different DCT frequencies at different mean luminance levels on HDR display by estimating the pixel values of LED and LCD layers of the display. Then, the quantization levels are determined by a geometric search based two alternative forced choice procedure,

which randomly presents the luminance patterns with and without quantization noise at different amplitudes to the subjects at different intervals. The first results are obtained for 30 DCT frequencies with a mean luminance of 1000 cd/m<sup>2</sup> over 3 subjects and discussed with respect to frequency changes.

**Keywords** — Quantization Levels, High Dynamic Range, Image Coding, Perceptual Tests, Discrete Cosine Transform

### I. GİRİŞ

Günümüze kadar, 8-bit video gösterimi DVD'lerden kameralara, kişisel bilgisayarlardan televizyonlara, internet video yayımından diğer tüketici elektroniği malzemelerine kadar birçok uygulamada yaygınca kullanılmıştır. Fakat yüksek parlaklıkta görüntü yakalayabilen ve gösterebilen kameraların ve ekranların gelişmesiyle beraber 8-bit video gösterimi, görüntüleri daha gerçeğe yakın ifade edebilmek için artık yetersiz kalmaktadır. Yüksek dinamik oranlı (YDO) imge ve video gösterimi, 8-bit gösterimin eksikliklerini gidermek amacıyla önerilmiştir [1]-[7]. Bu gösterimin temel amacı, koyu karanlıktan parlak gün ışığına kadar değişen aralıkta (10-6 cd/m<sup>2</sup>-108 cd/m<sup>2</sup>) gerçek dünya sahnelerini 8-bit gösterim yerine gerçek fiziksel parlaklık değerleriyle (cd/m<sup>2</sup>) yakalamak ve ekran teknolojisinden bağımsız kalıcı bir gösterim sunmaktır.

Böyle bir gösterimin önündeki önemli bir zorluk, rasyonel sayılarla ifade edilen gerçek parlaklık değerlerinden oluşan yüksek hacime sahip YDO görüntü ve videonun etkin bir şekilde kodlanmasıdır. Bu zorluğu çözebilmek için önerilen önceki çalışmalar başlıca iki yaklaşımda sınıflandırılabilir. İlk yaklaşımda [2]-[4], var olan H.264/AVC (Advanced Video Coding) veya HEVC gibi kod çözücülerin 8 bitten 14 bite kadar genişletilebilen yüksek profillerinden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler ilk önce fiziksel parlaklık değerlerini (cd/m<sup>2</sup>), 9-14 bit arası bir bit derinliğine çevirmekte ve daha sonra çevrilen videoya yüksek profilli kod çözücüyü uygulamaktadır. İletim sonrasında, kod çözme ve parlaklık değerlerine geri

döndürme işlemleri uygulanıp, oluşan YDO video YDO ekranda gösterilmektedir.

İkinci yaklaşım [5]-[7] ise alçak dinamik oranlı (ADO) video teknolojidən YDO teknolojiye başarılı bir geçişi sağlamak üzere yaygınca kullanılan 8-bit alet ve ekranlara uyumlu bir kodlamayı hedeflemektedir. Bu yöntemdeki yaklaşımlar ilk önce YDO videoyu, ADO video üretmek üzere ton haritalama kullanarak 8-bit'e döndürmektedir. Üretilen ADO video, standart bir 8-bit video kodlayıcı ile kodlama ve kod çözme işlemlerinden geçer. Daha sonra ADO videodan YDO video ters ton haritalama yöntemi ile elde edilir. Bu yaklaşım, ADO video akımını ayrıca içerdiğinden dolayı, 8-bit ADO ekranlar için geri uyumlu bir yaklaşım olarak göze çarpmaktadır. Fakat YDO ekranlarda video içeriğini gösterebilmek için gerçek zamanlı bir ters ton haritalama işlemi gerekmektedir. Literatürde yer alan bu yaklaşımlar, var olan kod çözücülerin farklı özelliklerini değiştirerek YDO videoya uyarlama çalışması olarak değerlendirilebilir.

Video kodlamada temelde çok önemli bir yer tutan dönüşüm katsayıları nicemleme seviyeleri [8] alçak dinamik oranlı (ADO) geleneksel 8-bit video ve parlaklığı 100-500 cd/ m<sup>2</sup> arasında değişen tipik ekranlar için geliştirilmiştir. Şu ana kadar yazarların bilgisine göre dönüşüm nicemleme seviyelerinin 4000 cd/ m<sup>2</sup> parlaklığa kadar ulaşan görsel örüntüler için belirlenmesine yönelik hem görsel algı bilimi hem de YDO video kodlama kapsamında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Nicemleme seviyelerinin yüksek parlaklık örüntüleri için belirlenmesi ve modellenmesi ileriye yönelik hem temel bilim açısından hem de video kodlama açısından önemli bir katkı olacaktır.

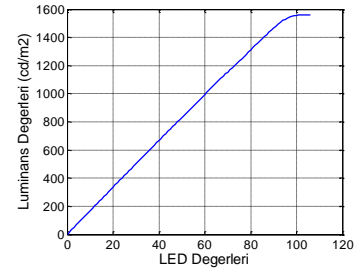
Bu çalışmada, gelişen YDO ekran teknolojilerinden de faydalanılarak, yüksek parlaklıktaki örüntüler için imge ve video kodlamada önemli bir yer tutan ayrık kosinüs dönüşümü nicemleme seviyelerinin belirlenmesine yönelik deneysel bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde, ilk aşamada YDO görüntüyü fiziksel değerlerine en yakın şekilde YDO ekranda oluşturmak amacıyla yeni bir gerçekleştirme algoritması geliştirilmiştir. İlgili algoritma iki katmanlı YDO ekranın LED ve LCD piksel değerlerini en iyi şekilde tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Daha sonra, farklı ortalama luminans seviyelerinde farklı frekansları için farklı genliklerde ekranda üretilen nicemleme gürültüsü örüntüleri geometrik aramaya dayanan iki alternatifli zorlamalı seçim prosedürü ile deneklere sunularak her bir frekans için fark edilebilir nicemleme seviyeleri belirlenmiştir. İlk deneyler, ortalaması 1000 cd/m<sup>2</sup> olan 30 farklı 8x8 AKD frekansı için gerçekleştirilerek elde edilen nicemleme seviyeleri yorumlanmıştır.

Gelecek bölümde, önerilen yöntemin temel aşamaları ayrıntısı ile verilmiştir. Bölüm 3'te deneysel sonuçlar tartışılmış, son bölümde ise çıkarımlar kısaca sunulmuştur.

## II. ÖNERİLEN DENEYSEL YÖNTEM

Önerilen deneysel yöntem başlıca üç aşamadan oluşmaktadır:

1. Ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) katsayılarında nicemleme sonrası oluşan nicemleme gürültüsü için



Şekil 1. YDO ekran için LED değerlerine göre ortalama parlaklık değerleri

farklı frekanslarda, farklı ortalama parlaklık değerlerinde ve farklı genliklerde görsel YDO örüntüleri üretilir.

2. Oluşturulan örüntüler, ilgili LED değerleri ve LCD değerleri hesaplanarak YDO ekranda gerçekleştirilir.
3. Her bir ortalama luminans ve AKD frekansı için geometrik arama yöntemine dayalı algısal deneylerle fark edilebilir nicemleme seviyesi belirlenir.

Aşağıda alt bölümlerde ilgili aşamalar ayrıntısıyla verilmiştir.

### A. Farklı ortalama parlaklık değerlerinde farklı AKD frekansları için nicemleme gürültüleri örüntülerinin üretilmesi

AKD katsayılarındaki nicemleme gürültüsü örüntüleri, farklı ortalama luminans, farklı frekans ve farklı genlikler için aşağıdaki şekilde üretilmiştir:

$$I_{m,n}(x,y) = I_{avg} + Q_{m,n} \cos\left(\frac{\pi m}{2N} [2x + 1]\right) \cos\left(\frac{\pi n}{2N} [2y + 1]\right) \quad (1)$$

Verilen eşitlikte,  $I_{avg}$  fiziksel olarak cd/m<sup>2</sup> cinsinden ortalama luminansı,  $Q_{m,n}$  AKD frekansı (m,n)'nin nicemleme sonrası kalıntısını, diğer kosinüs'lü ifade ise AKD frekansı (m,n)'ye karşılık gelen baz fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu şekilde,  $Q_{m,n}$  genlik değeri değiştirilerek farklı seviyelerde farklı frekans ve ortalama luminans için nicemleme örüntüleri oluşturulmuştur.

### B. Nicemleme Gürültüsü Örüntülerinin YDO ekranda oluşturulması

Üretilen nicemleme gürültüsü örüntülerinin YDO ekranda gerçek değerlere en yakın bir şekilde gösterilebilmesi için ilk olarak literatürde yer alan temel gerçekleştirme algoritmaları [9]-[10] uygulanmış fakat örüntüdeki çok keskin değişimler nedeniyle yerel örüntünün olduğu bölgede halo tarzı bir bozulma gözlemlenmiştir. Bu sonuca göre, üretilen örüntülerin arka planının sabit olduğu göz önünde bulundurularak yeni bir gerçekleştirme algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritmada LCD değerleri sabit tutularak (255), YDO ekranın LED değerleri 0-255 değerleri arasında değiştirilmiş ve ekranda elde edilen sabit luminans değerleri luminans metre ile ölçülerek kaydedilmiştir.

Şekil 1'de değişen LED değerlerine göre elde edilen ortalama luminans değerleri gösterilmiştir. Buna göre, arka plandaki tüm LED'ler kullanılarak 1500 cd/m<sup>2</sup>'ye kadar ortalama luminans değerleri ekranın tamamında elde edilebilmektedir. LED değeri 100 değerlerine ulaşıttıktan sonra ortalama luminans değerleri sabit kalmaktadır.

Elde edilen ortalama luminans LED değeri ilişkisine göre önerilen algoritmanın temel aşamaları şu şekildedir:

- YDO görüntüsünün kendisi ve ortalama luminans değeri algoritmaya girdi olarak girilir. İlgili grafik (arama tablosu) kullanılarak ortalama luminans değerine karşılık gelen LED değeri bulunur ve ekranda LED'lere karşılık değerlere (YDO) ekranın DVI+ modunda yazılır.
- LED değerleri ve YDO görüntü kullanılarak herbir piksele ait LCD değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$LCD_k = \left( \frac{I_k}{LED_k * PSF} \right)^{\delta_k}$$

Eşitlikte  $I_k$  orjinal YDO görüntüsündeki R, G ve B kanallarını göstermektedir.  $\delta_k$  ise her bir kanal için deneysel olarak belirlenmiş gamma düzeltme faktörünü belirtmektedir. PSF ise LED'lere ait noktasal dağılım fonksiyonunu ifade etmektedir. Görüntüler sadece gri tonda oluşturulmuş olup, R,G ve B değerleri aynı alınmıştır.

### C. Görsel Deney Prosedürü

Deneyler için ilk aşamada ortalama luminans 1000 cd/m<sup>2</sup> seçilerek Şekil 2'de verilen 30 AKD frekansı için farklı genlik (nicemleme) seviyelerinde gürültü örüntüleri oluşturulmuştur. Şekil 3'te verilen genel deney prosedürüne göre daha sonra herbir frekans için fark edilebilir nicemleme seviyesi iki alternatifli zorlamalı seçim (IAZS) ile bulunmaya çalışılmıştır. Buna göre, deneklere nicemleme gürültüsü eklenmiş örüntü (uyarım örüntüsü) ve eklenmemiş düz örüntü (referans örüntü) ikili görüntüler halinde farklı sıralarda belli sürelerde gösterilerek hangisinin gürültü örüntüsü olduğu sorulmuştur.

Geometrik aramaya dayalı olarak önerilen görsel deney prosedürü şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Deneye başlamadan önce herbir denek için isim, soyisim, yaş, cinsiyet, görme bozukluğu olup olmadığı bilgileri kaydedilir. Deney prosedürü bir demo üzerinden anlatılır.
- Belirlenen bir AKD frekansı ve ortalama luminans seviyesi için bir saniyelik sürelerle referans örüntü ve ilgili nicemleme seviyesi için oluşturulan uyarım örüntüsü deneğe rastgele sıralarda gösterilir.
- Denek gösterilen iki örüntü arasında fark görüp görmediğini klavyeden “y” (evet) ve “n” (hayır) tuşlarına basarak cevaplandırır.
- Verilen cevabın “y” olması durumunda son gösterilen iki nicemleme seviyesi arasındaki farkın yarısı son gösterilen nicemleme seviyesine eklenerek bir sonraki nicemleme seviyesi hesaplanır.
- Verilen cevabın “n” olması durumunda son gösterilen iki nicemleme seviyesi arasındaki farkın yarısı son gösterilen nicemleme seviyesinden çıkarılarak bir sonraki nicemleme seviyesi hesaplanır.
- Bu prosedür, son gösterilen iki nicemleme seviyesi arasındaki fark belli bir eşik değerinin altına düşene kadar tekrar edilir. Aynı prosedür diğer frekans ve ortalama luminans değerleri için tekrarlanır.

X	X	X	X		X	X
X	X	X	X		X	X
X	X	X				
X	X		X		X	X
X	X		X		X	X
X	X		X		X	X

Şekil 2. Görsel deneyler için seçilen 30 adet 8x8 AKD örüntüleri

### III. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneyler için kapalı ve karanlık bir oda hazırlanmıştır. Deneyler yaşları 25 ile 30 arasında değişen ve herhangi bir görme kusuru olmayan 3 denek üzerinden gerçekleştirilmiştir. Denekler, YDO ekrana yaklaşık olarak 1.85 metrede 30 derecelik açıyla 64 piksel/derecelik görüş açısı oluşturacak şekilde ekran karşısına konumlandırılmıştır. İlgili deney prosedürü için arayüz Matlab ortamında Psychtoolbox kullanarak gerçekleştirilmiştir.

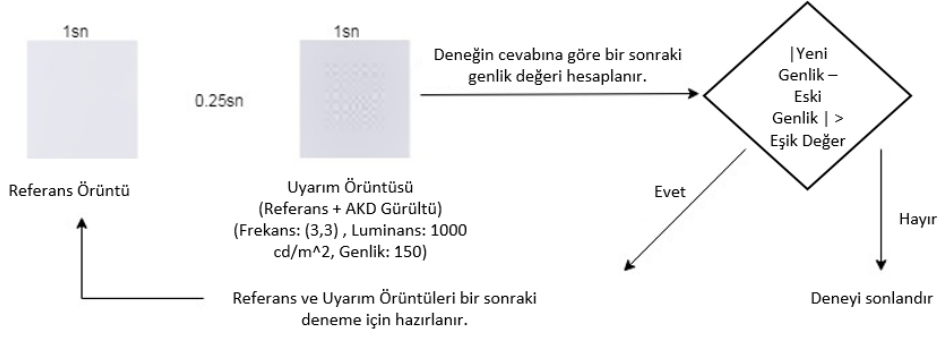
Şekil 4 (a)'da, (1,0) ve (1,7) AKD frekansları için geometrik arama tabanlı aramaya göre, deneme sayısı değiştikçe gösterilen örüntülerin genlik seviyesi bir denek için örnek olarak çizilmiştir. Sonuçlara göre genlik seviyeleri deneme sayısı arttıkça belli bir seviyeye doğru yakınsamaktadır. Her üç denekte de benzer sonuçlar elde edilmiş olup, fark edilebilir nicemleme seviyesine karşılık gelen yakınsanan genlik değerinin (1,7) frekansı için, (1,0) frekansına göre, daha büyük olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, insan görme sistemi (İGS), (1,7) frekansındaki nicemleme gürültüsüne, (1,0) frekansına göre daha az hassastır.

Şekil 4 (b)'da, dikey AKD frekansı 7 tutularak, yatay AKD frekansına göre deneyler sonucu elde edilen fark edilebilir nicemleme seviyeleri çizilmiştir. Nicemleme seviyeleri, her üç denek için de benzer bir seyir izlemektedir. İGS'nin fark edilebilir nicemleme seviyelerinin dikey konumsal frekans arttıkça hızlı bir artış gösterdiği, başka bir deyişle dikey konumsal frekansa göre hassasiyetinin azaldığı görülmektedir. Aynı durum, Şekil 4 (c)'de gösterilen yaray frekans göre nicemleme seviyeleri değişiminde de gözlemlenmektedir.

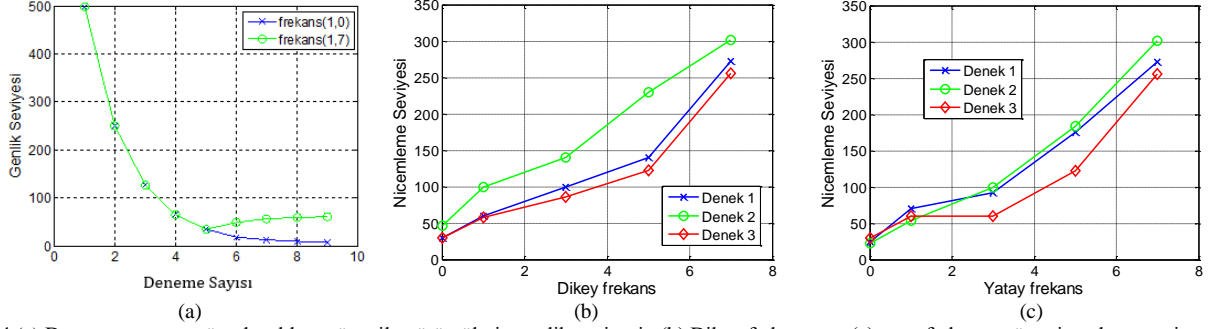
Şekil 5 (a),(b) ve (c)'de tüm 3 denek için elde edilen fark edilebilir nicemleme seviyeleri 30 AKD frekansı için tablolar halinde gösterilmiştir. Üç denek için de elde edilen nicemleme seviyeleri uyumluluk göstermektedir. AKD frekansları arttıkça İGS fark edilebilir nicemleme seviyelerinin arttığı, başka bir deyişle İGS'nin yüksek AKD frekanslarına doğru hassasiyetindeki düşüş, sonuçlarda net bir şekilde gözlemlenmektedir. Devam eden çalışmalarda, 100 cd/m<sup>2</sup> ile 1500 cd/m<sup>2</sup> aralığında farklı ortalama luminans değerleri için de deneyler tekrarlanarak karşılaştırmalar ve modellerler yapılacaktır.

### IV. ÇIKARIMLAR

Yüksek parlaklı görüntülerde AKD frekansları için fark edilebilir nicemleme seviyelerini ölçmek amacıyla YDO ekrana dayalı deneysel bir yöntem önerilmiştir. Yöntem başarılı bir şekilde uygulanarak ortalama luminansı 1000 cd/m<sup>2</sup> olan AKD nicemleme gürültüsü örüntülerinde fark edilebilir nicemleme seviyeleri farklı denekler üzerinde



Şekil 3.Önerilen geometrik arama tabanlı algısal yöntem



Şekil 4.(a) Deneme sayısına göre deneklere gösterilen örüntülerin genlik seviyesi, (b) Dikey frekansa ve (c) yatay frekansa göre nicemleme seviyesi değişimi.

8	8	8	8	X	16	X	22
8	14	16	28	X	28	X	54
8	14	10	X	X	X	X	X
8	22	X	24	X	70	X	100
X	X	X	X	X	X	X	X
22	28	X	52	X	60	X	184
X	X	X	X	X	X	X	X
46	100	X	140	X	230	X	302

8	10	10	14	X	14	X	24
8	14	22	30	X	30	X	70
8	16	24	X	X	X	X	X
10	16	X	30	X	46	X	92
X	X	X	X	X	X	X	X
14	28	X	40	X	132	X	176
X	X	X	X	X	X	X	X
30	60	X	100	X	140	X	272

10	8	8	8	X	14	X	30
8	10	8	10	X	16	X	60
8	10	10	X	X	X	X	X
8	10	X	16	X	16	X	60
X	X	X	X	X	X	X	X
16	16	X	16	X	30	X	122
X	X	X	X	X	X	X	X
30	58	X	86	X	122	X	256

Şekil 5. Üç denek ve 30 AKD frekansı için elde edilen nicemleme seviyeleri

belirlenmiştir. Nicemleme seviyelerinin 3 denek için de benzer seyirler gösterdiği, yüksek AKD frekanslarında arttığı fark edilmiştir. İlerideki çalışmalarda farklı deneklerle deney sayısı artırılarak farklı luminans seviyeleri için tekrarlanacak ve ortalama luminans ve frekansa göre modeller üzerinde çalışılacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Fransa Dışişleri Bakanlığı'nın BOSPHORUS ortak araştırma programı altında TÜBİTAK ARDEB 115E830 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Advanced High Dynamic Range Imaging by Francesco Banterle, Alessandro Artusi, Kurt Debattista, and Alan Chalmers, 278 pages by AK Peters (now CRC Press), 2011.
- [2] R. Mantiuk, A. Efremov, K. Myszkowski, and H. P. Seidel, "Backward Compatible High Dynamic Range Mpeg Video Compression," ACM Trans. Graphics (Proc. SIGGRAPH), Vol. 25, No. 3, pp. 713–723, 2006.
- [3] A. Segall, "Scalable Coding of High Dynamic Range Video", Vol. 1, in Proc. IEEE ICIP, 2007.
- [4] S. Liu, W. S. Kim, and A. Vetro, "Bit-depth Scalable Coding for High Dynamic Range Video" in Proc. SPIE Vis. Commun. Image Process.

- [5] Z. Mai, H. Mansour, R. Mantiuk, P. Nasiopoulos, R. Ward, and W. Heidrich, "Optimizing a Tone Curve for Backward-Compatible High Dynamic Range Image and Video Compression", IEEE Transactions on Image Processing, pp. 1558-1571, Vol. 20, No. 6, June 2011.
- [6] D. Gommelet, A. Roumy, C. Guillemot, M. Ropert and J. LeTanou, "Rate-Distortion Optimization of a Tone Mapping with SDR Quality Constraint for Backward-Compatible High Dynamic Range Compression", in Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2016), Arizona, USA.
- [7] R. Boitard, R. Cozot, D. Thoreau, K. Bouatouch, "Motion-Guided Quantization for Video Tone Mapping", in Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2014), Chengdu, China.
- [8] H. A. Peterson, A. J. Ahumada and A. B. Watson, "Visibility of DCT Quantization Noise", in Digest of Technical Papers, Society for Information Display, Playa, 1993, pp. 942-945.
- [9] E. Zerman, G. Valenzise, F. Dufaux, "A dual modulation algorithm for accurate reproduction of high dynamic range video" in proc. of IEEE 12th Image, Video and Multidimensional Signal Processing Workshop (IVMSP), 2016.
- [10] H. Seetzen, W. Heidrich, W. Stuerzlinger, G. Ward, L. Whitehead, M. Trentacoste, A. Ghosh, and A. Vorozcovs, "High dynamic range display systems," ACM Trans. Graph., vol. 23, no. 3, pp. 760–768, Aug. 2004.