

## Bölünmüş İzge İşleme ile Video Devnim Büyütme Video Motion Magnification Using Split Spectrum Processing

Reyhan Gürleyen<sup>1</sup> , Tayfun Akgül<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
rgurleyen@fsm.edu.tr

<sup>2</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,  
Türkiye  
tayfunakgul@itu.edu.tr

### Öz

Video devnim büyütme, insan gözünün algılayamadığı küçük mertebedeki devnimlerin uygun bir yöntemle büyütülmesi ve bu devnimlerin videoda gözle görülebilir hale getirilmesi işlemidir. Bu algoritmalar, video çerçevelerini hem uzamsal hem de zamansal alanda işleme tabi tutarak minik devnim ve titreşimlerin büyütülüp videoya geri gömülmesi temeline dayanmaktadır. Örneğin, nabız atımının bilekte oluşturduğu devnim, köprü salınımları ve bina titreşimleri gibi algılanması zor olan devnimlerin yanında ses geriçatımı ve optik gibi çeşitli alanlarda da bu yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada video devnim büyütmede kullanılan Euler yönteminin zamansal işleme katmanında, radar ve sesötesi (ultrasound) gibi sinyal işleme alanlarında uygulanan ve sinyal-gürültü oranını artıran Bölünmüş İzge İşleme yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem ve Euler devnim büyütme yöntemi, yapısal benzerlik indeksi üzerinden karşılaştırılmış ve iyileştirmeler gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: devnim büyütme; bölünmüş izge işleme; yapısal benzerlik indeksi.

### Abstract

Video motion magnification is the process of enlarging small-scale movements that cannot be detected by the human eye. To achieve this, first, the video frames are processed in both spatially and temporally via magnifying the subtle movements and vibrations and then, these processed frames are embedded back into the video to create visibility. Various applications in different fields are studied, i.e., magnification of pulse motion on the wrist, oscillations of bridges, vibrations of buildings, and sound recovery of trembling surfaces from video. In this study, a well-known signal processing method, namely, split spectrum processing method which is used to increase the signal-to-noise ratio of returning signals in radar and ultrasound, is successfully employed on the temporal processing layer of popular Euler motion amplification technique for video magnification. Our proposed and classical Euler magnification methods are compared in terms of their structural similarity index and improvements are demonstrated.

Keywords: motion magnification; split spectrum processing; structural similarity index.

### Giriş

İnsanın görme sistemi devnimleri algılamada ve yorumlamada dikkate değer bir özelliğe sahip olsa da hassasiyeti sınırlıdır ve bir eşik değer altında bulunan küçük devnimleri algılayamaz, halbuki bu eşik değer altındaki devnimler büyük önem arz edebilmektedir. Son zamanlarda video işleme algoritmalarında algılanması zor veya imkansız olan bu küçük titreşimleri ölçen ve daha sonra bir büyütec gibi işlem gören yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin, insan derisinin rengi kan dolaşımına bağlı olarak değişmekte, insan el bileğinde nabız atım esnasında çok küçük de olsa bir farklılık meydana gelmektedir [1], [2]. Bu ve buna benzer şekilde düşük uzamsal genliğe sahip devnimleri ortaya çıkarmak, onları büyütme mümkün hale gelmiştir [1]. Devnimli çerçeveler üzerinde uygulanan bu algoritmalar, köprü titreşimleri [3], [4], robotik [5], yüz ifadelerini tanıma [6], sesötesi kayıtları [7] gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca videolarda algılanması güç olan bu devnimleri yapay olarak büyütmenin yanı sıra nesnelerin titreşimlerini ortaya çıkaran ve bu titreşimleri üreten sesi geriçatan çalışmalar da yapılmıştır. Sesin bir nesneye çarptığında nesnenin yüzeyinde küçük titreşimlere neden olduğu bilgisi kullanılarak yapılan bu çalışmalara görsel mikrofon adı verilmiştir. Hızlı kameralar ile saniyede 1 000 ile 20 000 arasında görüntü karesi elde edilmesiyle herhangi bir nesneden ses geriçatımı yapılabilir hale gelmiştir [8].

Yukarıda belirtildiği gibi insan gözünün algılayamadığı devnimleri belirgin hale getiren birçok etkili video büyütme yöntem ve yordamları geliştirilmiştir. Örneğin, *Lagrange Yaklaşımı* diye adlandırılan ilk hareket büyütme yöntemi, optik akışın kestirilmesi, her bir video karesindeki devnimin sezilmesi ve hız vektörlerinin büyütülerek videonun tekrar oluşturulması esasına dayanır [9]. Bu yöntemde, belirgin büyüklükteki hareketler değişmeden bırakılırken, küçük devnimler abartılarak belirgin hale getirilir [9], [10].

Devnim büyütme amacıyla hem uzamsal hem de zamansal alanda ayrı ayrı işlem yapmayı gerektiren ancak Lagrange yaklaşımına göre daha etkili, kestirim veya izleme gerektirmeyen *Euler Yaklaşımı* da geliştirilmiştir [2]. Euler devnim büyütme yöntemlerinin, nesne ve kamera sabit iken kan akışını büyütmede, nabız atımı veya küçük solunum

hareketlerini daha belirgin hale getirmede başarılı sonuçlar verdiği savunulmaktadır [2].

Lagrange yaklaşımı salt küçük devinimleri gözle görülebilir hale getirirken, Euler yöntemi hem devinimler hem de renk değişimleri üzerinde etkilidir [2], [10], [11].

Euler temelli bir diğer büyütme tekniği ise faz bilgisini kullanan optik akış yönteminden esinlenilerek üretilmiş zamana bağlı harekette meydana gelen faz değişimlerinin gözlenmesine dayanmaktadır [10]. Bu yöntem, uzamsal alanda ayrıştırma için Laplace piramitleri yerine faz tabanlı görüntü piramitleri kullanarak daha yüksek büyütme değerine sahip ve gürültü duyarlılığı daha düşük bir yaklaşım sunmaktadır [10]. Faz tabanlı video devinim işleme yönteminin hesaplama süresinin kısaltılması için Riesz görüntü piramitlerinin kullanılması da önerilmektedir [11]. Gerek faz tabanlı gerekse de Riesz piramitleri yoluyla video büyütme yöntemlerinin doğrusal bir yaklaşım olan Euler devinim büyütme yöntemine göre gürültü karakteristiklerinin daha iyileştirici olduğu ifade edilmektedir [11], [12].

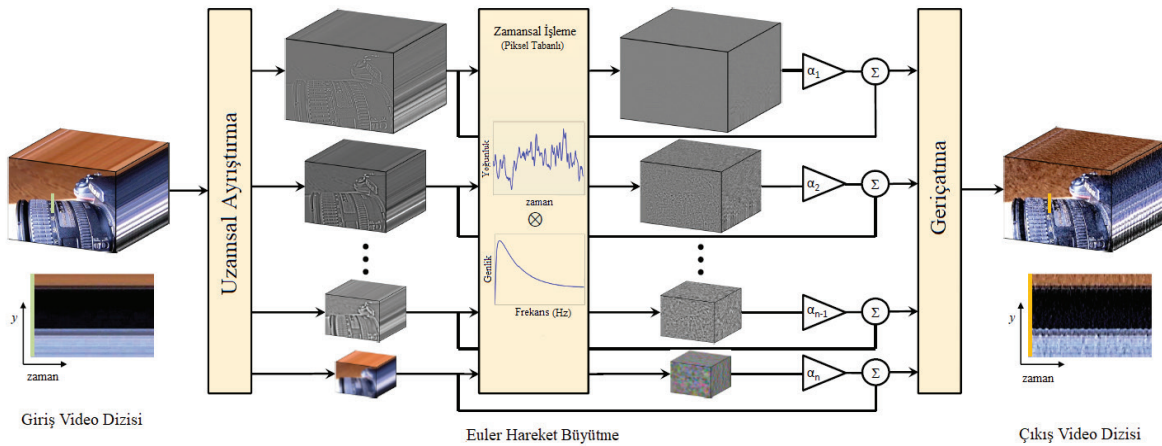
Önceki çalışmalardan farklı, büyük devinimler içerisinde meydana gelen küçük değişimleri büyüten *Katman tabanlı devinim büyütme yaklaşımı* da mevcuttur [13]. Doğrusal yaklaşım, faz tabanlı ve Riesz piramitleri ile video büyütme yöntemleri; belirli bir bölgede tek bir devinimin varlığı varsayımıyla geliştirilmiş algoritmalar [2], [10–13]. Genellikle incelenen bölgenin sınırlarında arka plan sürüklenme etkisi meydana getirebilmektedirler. Katman tabanlı devinim büyütme yöntemi ise ilgilenilen bölgedeki nesneyi arka

plandan ayırarak işleme tabi tutmaktadır. Böylelikle arka plan ve devinimli cisim etrafında meydana gelen gürültülerin giderilmesi söz konusudur [13]. Euler yönteminde süzgeçleme için birinci türev temel alınırken bir diğer çalışmada ikinci dereceden türev esas alınarak zamansal süzgeçleme işlemi de gerçekleştirilmektedir [9]. Böylece hareketli bir kamerayla kaydedilen devinimli nesnelerin veya sahnelerin küçük değişimlerinin büyütülmesi sağlanabilmektedir [9].

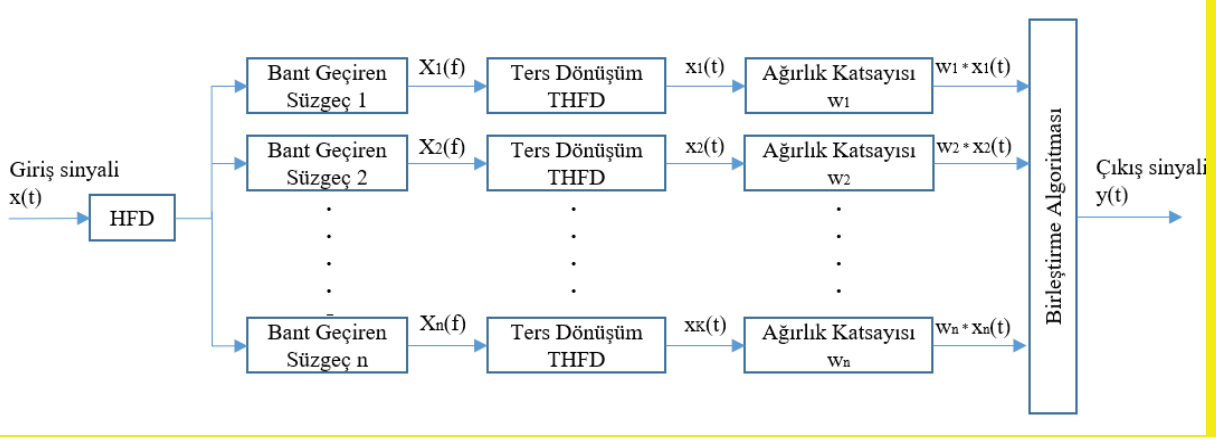
Şekil 1’de görüldüğü gibi, Euler devinim büyütme yöntemi, uzamsal ayrıştırma yaptıktan sonra zamansal süzgeçleme işlemi gerçekleştirmektedir. Kullanılan zamansal süzgeç, büyütme işleminin türüne göre farklılık gösterebilir. Renk değişimlerini ortaya çıkarmak için dar aralıklı bant geçiren süzgeç seçilirken, küçük devinimler için daha geniş bant aralığına sahip bant geçiren süzgeç tercih edilmektedir [2].

Çalışmamızda ise, Euler devinim büyütmede insan bileğinin nabız atım bölgesinde meydana gelen değişimi incelemek için kullanılan sonsuz dürtü yanıtı (*Infinite Impulse Response, IIR*) süzgeç yerine Bölünmüş İzge İşleme (*Bİİ, Split Spectrum Processing*) kullanılarak iyileştirici bir yöntem önerilmektedir. Bir sonraki bölümde, devinim büyütme yöntemlerinin temeli olan ve birinci dereceden Taylor serisine dayanılarak geliştirilen Euler yaklaşımının teorik altyapısı matematiksel ifadelerle açıklanıp çalışmamızda kullanılan Bİİ ile süzgeçleme yöntemi özetlenecektir.

## 2. Materyal ve Yöntem



Şekil 1: Euler devinim büyütme yöntemi, uzamsal ve zamansal işleme olarak iki bölümden oluşmaktadır. Öncelikle girdi video dizisi uzamsal ayrıştırılmaya tabi tutularak Laplace piramitleri elde edilir. Uzamsal ayrıştırmanın amacı, birden fazla pikseli bir araya getirerek zamansal sinyal-gürültü oranını artırarak mevcut olmayan detayları üretmeden azami bilgi içeriğine sahip olmaktır [12]. Bir sonraki işlemde her pikselin yoğunluğuna karşılık gelen zaman serileri tek boyutlu sinyal olarak değerlendirilerek zamansal süzgeçlemeye tabi tutulur. Uzamsal ayrıştırması yapılarak farklı frekans bantlarında ve farklı sinyal-gürültü oranlarına sahip olan süzgeçlenmiş sinyaller bir  $\alpha$  büyütme faktörü ile büyütülür [5], [12], [13]. Büyütülmüş sinyaller orijinal sinyallere eklenir. Ayrıştırılan ve işlemden geçirilen görüntü piramitleri çıkış video dizisi üretmek için geriçatma yapılır.



Şekil 2: Bölünmüş izge işleme blok diyagramı

Devinim büyütme yönteminin ilk aşamasında her bir çerçeve, farklı uzamsal bantlara ayırtırmayı sağlayan görüntü piramitleri işlemine tabi tutulur. Bir görüntü piramidi, bir imgenin hiyerarşik temsili olarak kabul edilir ve birden fazla pikseli birleştirerek sinyal-gürültü oranını artırması hedeflenir [14], [15]. Böylelikle farklı uzamsal bantlarda bulunan ve farklı sinyal-gürültü oranlarına sahip görüntüler ayrı ayrı ele alınıp büyütülerek bilgi enbüyüklenebilir [12]. İlk aşamada uzamsal ayırtırması yapılan görüntüler, sonrasında zamansal işlemeye tabi tutularak istenen frekans aralığındaki devinimlerin elde edilmesi sağlanır.

Zamansal süzgeçleme ile devinim büyütme arasındaki ilişkiyi bir boyutlu bir sinyal üzerinden açıklayıp iki boyutlu devinime aktarabiliriz. Şöyle ki;  $f(x^* + \delta(t))$  fonksiyonu ele alalım. Burada  $x^*$ , sabit bir nokta olarak kabul edilsin. Bu noktanın etrafında bulunan yakın komşularında bir değişme -yani hızlarında artıp azalma olup olmadığı- incelenerek, bu değişimi göstermek için de,  $\delta$ , yer değiştirme terimini kullanalım. Ayrıca yer değiştirmenin de çok küçük olduğunu varsayalım [2]. Herhangi bir görüntüdeki  $x$  konumunda ve  $t$  zamanındaki bir pikselin  $I(x, t)$  yoğunluk değeri için de benzer bir ilişki yazılabilir:

$$I(x, t) = f(x^* + \delta(t)) \quad (1)$$

Devinim büyütmedeki ana amaç,  $\delta$  yer değiştirme teriminin bir büyütme katsayısı  $\alpha$  ile daha belirgin hale getirilmesidir:

$$\hat{I}(x, t) = f(x^* + (1+\alpha)\delta(t)) \quad (2)$$

Taylor serisi yaklaşımı kullanılarak, görüntüde  $t$  zamanında ve  $x$  konumunda bulunan bir piksel,  $\delta$  yer değiştirme terimine bağlı bir fonksiyon olarak yaklaşık elde edilebilir:

$$I(x, t) \approx f(x) + \delta(t)f'(x) \quad (3)$$

Büyütme katsayısı da bu açılıma eklendiği zaman denklem aşağıdaki ifadeye erişir:

$$\hat{I}(x, t) \approx f(x) + (1+\alpha)\delta(t)f'(x) \quad (4)$$

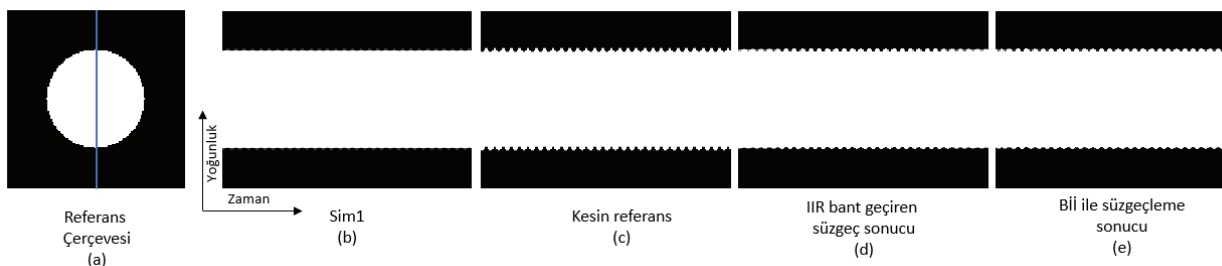
Yer değiştirmenin belirli bir frekans bandı aralığında bulunacağı varsayımı altında istenen değişimin güçlendirilmesi sağlanabilir:

$$B(x, t) = \delta(t) \frac{df(x)}{dx} \quad (5)$$

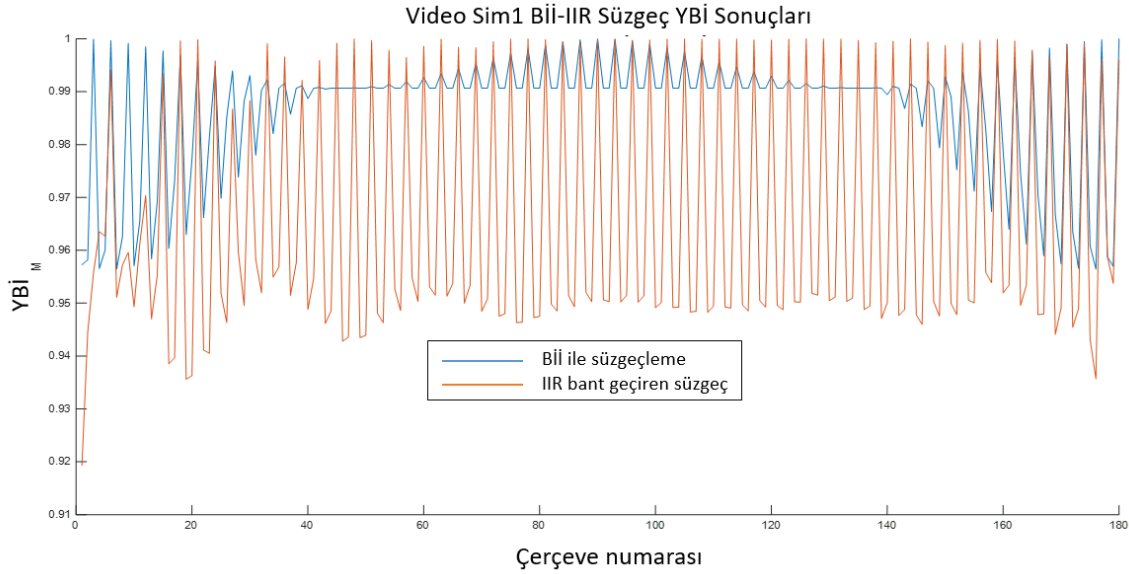
Burada sinyalin bir bant geçiren  $B(x, t)$  süzgeciyle süzgeçlendiği varsayılmakta,  $\alpha$  büyütme katsayısı ile büyütülen yer değiştirme, yeniden sinyalin üzerine eklenerek (4)'teki denklem

$$f(x) + \delta(t)f'(x) + \alpha\delta(t)f'(x) = f(x^* + (1+\alpha)\delta(t)) \quad (6)$$

şeklinde elde edilmekte ve böylelikle (2)'de belirtilen amaç denklemine ulaşılmaktadır.



Şekil 3: Bİİ sonucunun kesin kerteriz doğrulama ile IIR bant geçiren süzgeç ile karşılaştırılması



Şekil 4: Sonsuz dürtü yanıtı bant geçiren süzgeç ve bölünmüş izge işleme ile süzgeçleme sonuçlarının yapısal benzerlik indeks değerleri

Çalışmamızda kullanılan görüntü kareleri devinim büyütme çalışması için hazırlanan bir videodan alınmıştır [2]. Doğrusal yaklaşımda bilekteki atım devinimini ortaya çıkarmak için zamansal işleme bölümünde IIR bant geçiren süzgeç kullanılırken çalışmamızda alternatif bir süzgeçleme tekniği olan Bİİ ile süzgeçleme önerilmiştir. Bİİ başlangıçta radar sinyal işleme alanında kullanılırken sinyal-gürültü oranını iyileştirici etkisinden dolayı sesötesi sinyal işleme alanında da kullanılmaktadır [17-20]. Bİİ çalışma prensibi Şekil 2’de adım adım gösterilmektedir. Giriş sinyali, merkez frekansları farklı bir dizi Gauss alt-bant süzgeç bankası ile çarpılır ve Ters Fourier Dönüşümü (TFD) alınıp bir katsayıyla ağırlıklandırılarak birleştirilir. Birleştirme yordamları, uygulamaya bağlı olarak, zamandaki ayırık-sinyal örneklerinin enküçüklemesi, enbüyüklemesi, ortalama değerlerin alınması veya kutup eşikleme gibi temel işlemlerden oluşabilir [2]. Çalışmamızda, ortalama değer alma tercih edilmiştir:

$$y(t) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k * x_k(t) \quad (7)$$

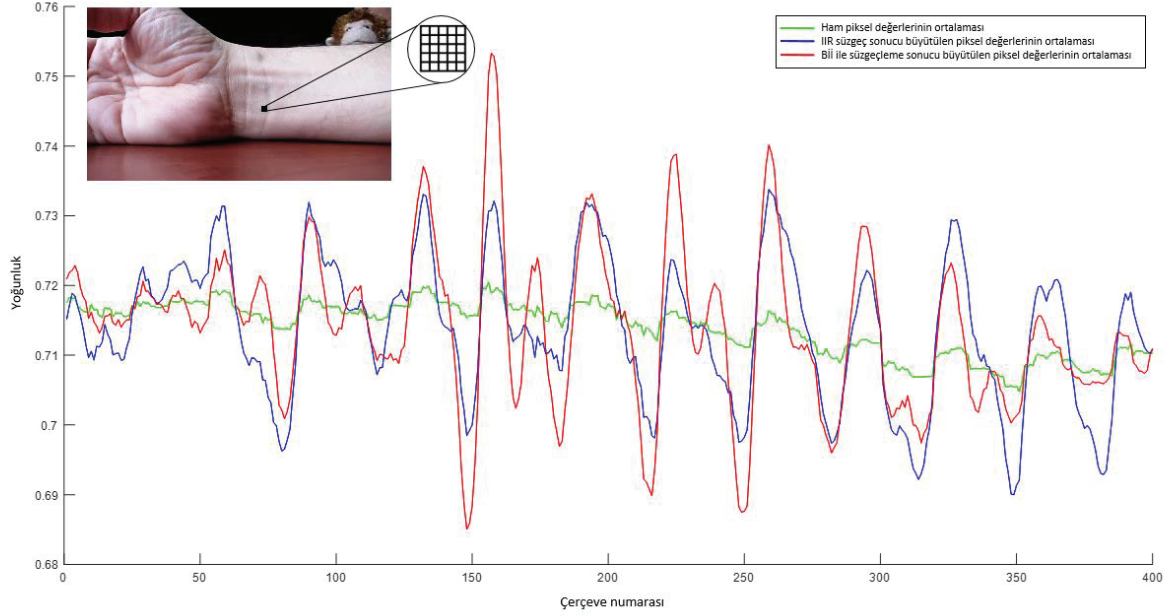
### 3. Sınama ve Karşılaştırma

İnsan bileğinde kan akışından kaynaklı kan damarlarında algılanması güç devinimler meydana gelmekte ve bu devinimleri belirgin hale getirmek için devinim büyütme algoritmaları kullanılmaktadır. Euler devinim büyütme algoritmasında zamansal alanda süzgeçleme işlemi için Sonsuz dürtü yanıtı süzgeç yerine bölünmüş izge işleme kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Kıyaslama için bilek videosu kullanılmakla beraber kontrollü sınamalar yapılarak bölünmüş izge işleminin daha güçlü sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Kontrollü sınama için siyah zemin üzerine bir beyaz daire kerteriz (referans) çerçevesi oluşturulmuştur. Şekil 3(a)’da kerteriz çerçevesi üzerindeki mavi çizgi için uzamsal-zamansal dilim gösterilmiştir. Yapay bir yerel devinim  $d_j = A \sin(2\pi \frac{f}{f_s} j)$ ,  $A=0.25$  piksel,  $f=5$  döngü/çerçeve ve  $f_s=30$  çerçeve/saniye olacak şekilde tanımlanmıştır. Her bir  $j$  çerçevesi toplamda 180 çerçeve,  $d_j$  ile dikey yönde kaydırılarak beyaz dairenin titreştiği Sim1 diye adlandırdığımız Şekil 3(b)’de gösterilen bir video dizisi üretilmiştir.  $A$  ve  $f$  sırasıyla titreşimin genliği ve frekansını temsil etmektedir. Amaç, beyaz dairenin titreşim deviniminin her iki süzgecin büyütme yeteneğine göre karşılaştırmaktır. Karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmek için de “bilinen” kerteriz video dizisi üretilmiştir. Kesin kerteriz dizisi, Sim1 video dizisinde kullanılan yöntemden yararlanılarak üretilmiştir. Bir büyütme katsayısına,  $\alpha$ , denk gelecek şekilde oluşturulan bu dizi, Şekil 3(c)’de gösterilen beyaz dairenin deviniminin  $d_j = A(\alpha+1) \sin(2\pi \frac{f}{f_s} j)$  fonksiyonu ile büyütülmüş halidir. Burada büyütme katsayısı  $\alpha=5$  olarak alınmış ve titreşim yukarıda belirtildiği gibi 5 Hz’te tutulmuştur [4].

Şekil 3’te, incelenen her bir çerçeve için (bilinen kerteriz baz alınarak) Yapısal Benzerlik İndeksi (YBİ, *Structural Similarity Index*) kestirilmiştir. YBİ(I1, I2), I1 ve I2 resimleri arasındaki yapısal benzerliği ölçmektedir [15], [21]. Burada YBİ=1, I1 ile I2 resimlerinin birebir benzerliğini gösterirken, YBİ=0 değeri iki resmin benzeşmediğini ifade eder. Şekil 4’te kesin kerteriz ile, çalışmamızda kullandığımız Bİİ yöntemi arasındaki benzerliğin IIR bant geçiren süzgeç işleminden daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir.

Bir diğer karşılaştırmada, saniyede 30 çerçeveye ve 352 x 640 çözünürlüğe sahip olan bilek videosu kullanılmıştır [2]. Şekil 5’te bilek videosuna ait bir çerçeve ve vurgulanmak istenen



Şekil 5: Çalışmada kullanılan bilek videosuna ait bir çerçeve ve nabız atım bölgesi (sol üst) ve bu bölgeye ait ham ve işlenmiş yoğunluk değerlerinin grafiği

nabız atım bölgesi gösterilmiştir. Devinin meydana geldiği bölgedeki piksel değerlerinin her bir çerçevedeki ortalaması yeşil çizgi ile gösterilmiştir. Şekil 1’de belirtildiği gibi öncelikle video çerçeveleri uzamsal alanda işleme tabi tutulmuş ve sonrasında zamansal alanda süzgeçleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için kalp atış hızını içeren frekans bandındaki her iki süzgeç ham sinyaller üzerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar belirli bir büyütme katsayısı ile çarpılarak ham sinyal değerleri üzerine eklenmiştir. Şekil 5’te, Bİİ ile süzgeçleme sonucu büyütülen nabız atım bölgesindeki piksel değerlerinin her bir çerçevedeki ortalama değeri kırmızı çizgi ile, IIR süzgeç kullanılarak büyütülen değerlerin her bir çerçevedeki ortalama değeri ise mavi çizgi ile gösterilmiştir. Yeşil çizgi ile belirtilen arterlerin devinimi belirgin iken devinim büyütme algoritması ile nabız atımı insan gözünün algılayabileceği hale getirilmiştir. Şekil 5’te nabız atım devinimlerinin kırmızı çizgi ile gösterilen Bİİ ile süzgeçleme sonuçlarında daha gürbüz olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Euler devinim büyütme yönteminin kullandığı bant geçiren süzgeç yerine alternatif bir bölünmüş izge işleme yöntemi kullanılması önerilmektedir. Sınamalar, bölünmüş izge işleme ile süzgeçlenip büyütülen devinin yapısal benzerlik indeksi değerleri esas alındığında daha gürbüz sonuç verdiğini göstermektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, devinim yerine ivmenin büyütülmesi için bölünmüş izge işleme tekniğinin uygulanması hedeflenmektedir.

#### Teşekkür

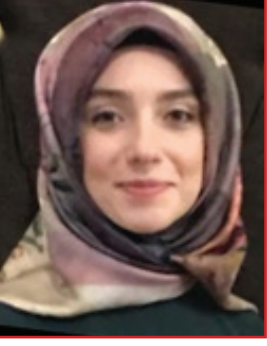
Bu çalışma İTÜ-BAP #41682 kapsamında kısmen desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] C. Liu, A. Torralba, W. T. Freeman, F. Durand, ve E. H. Adelson, “Motion magnification,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 24, no.3, pp. 519-526, 2005.
- [2] H. Y. Wu, M. Rubinstein, E. Shih, J. Guttag, F. Durand, ve W. Freeman, “Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 31, no.4, pp. 1-8, 2012.
- [3] L. Terán, C. Ordóñez, S. García-Cortés, ve A. Menéndez, “Detection and magnification of bridge displacements using video images,” *Optics and Measurement International Conference*, vol. 10151, pp. 1015109, 2016.
- [4] N. Wadhwa, J. G. Chen, J. B. Sellon, D. Wei, M. Rubinstein, R. Ghaffari ve S. H. Kang, “Motion microscopy for visualizing and quantifying small motions,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, no.44, pp. 11639-11644, 2017.
- [5] Y. Zhu, J. Hao, J. Yang, ve E. Dong, “Subtle vibration sensing and dimension measurement with a bio-inspired optical tactile sensor,” *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, pp. 1248-1253, 2019.
- [6] W. Peng, X. Hong, Y. Xu ve G. Zhao, “A boost in revealing subtle facial expressions: A consolidated eulerian framework,” *14th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture*

- Recognition*, pp. 1-5, 2019.
- [7] V. Perrot, S. Salles, D. Vray ve H. Liebgott, "Video magnification applied in ultrasound," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.66, no.1, pp. 283-288, 2018.
- [8] A. Davis, M. Rubinstein, N. Wadhwa, G. J. Mysore, F. Durand ve W. T. Freeman, "The visual microphone: Passive recovery of sound from video," *ACM Transactions on Graphics*, vol.33, no.4, pp.1-10, 2014.
- [9] Y. Zhang, S. L. Pinteá ve J. C. Van Gemert, "Video acceleration magnification," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 529-537, 2017.
- [10] N. Wadhwa, M. Rubinstein, F. Durand ve W. T. Freeman, "Phase-based video motion processing," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 32, no.4, pp. 1-10, 2013.
- [11] N. Wadhwa, M. Rubinstein, F. Durand ve W. T. Freeman, "Riesz pyramids for fast phase-based video magnification," *IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)*, pp. 1-10, 2014.
- [12] K. Kamble, N. Jagtap, R. A. Patil ve A. Bhurane, "A review: eulerian video motion magnification," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering (IJRCCE)*, 3, pp. 2384-2390, 2015.
- [13] M. Elgharib, M. Hefeeda, F. Durand ve W. T. Freeman, "Video magnification in presence of large motions," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 4119-4127, 2015.
- [14] V. Kaur ve J. Kaur, "Comparison of Image Fusion Techniques: Spatial and Transform Domain based Techniques," *International Journal of Engineering and Computer Science*, vol. 4, pp. 12109–12112, 2015.
- [15] K. Kalaivani ve Y. A. V. Phamila,, "Analysis of image fusion techniques based on quality assessment metrics," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 31, 2016.
- [16] A. L. Garcia, *Numerical methods for physics*. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 2000.
- [17] M. Karaođuz, N. Bilgutay, T. Akgul ve S. Popovics, "Defect detection in concrete using split spectrum processing," *Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium*, pp.843-846, 1998.
- [18] M. Karaođuz, N. Bilgutay, T. Akgul ve S. Popovics, "Ultrasonic testing of concrete using split spectrum processing," *Materials Evaluation*, vol.57, no.11, pp. 1183-1190, 1999.
- [19] S. Popovics, N. Bilgutay, M. Karaođuz ve T. Akgul, "High-frequency ultrasound technique for testing concrete," *ACI Materials Journal*, vol.97, no.1, pp. 58-65, 2000.
- [20] S. K. Pedram, P. Mudge ve T. H. Gan, "Enhancement of ultrasonic guided wave signals using a split-spectrum processing method," *Applied Sciences*, vol.8, no.10, pp. 1815, 2018.
- [21] I. S. Wahyuni, "Multi-focus image fusion using local variability," Université Bourgogne Franche-Comté (Doctoral dissertation), 2018.

## Reyhan GÜRLEYEN



Reyhan Gürleyen lisans derecesini 2017 yılında FSMVÜ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Bitirme tezini "Otomatik Cilt Kanseri Teşhisi" başlıklı çalışma üzerine gerçekleştirdi. Aynı yıl FSMVÜ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen devam etmektedir. 2020 yılında İTÜ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programı'nı Prof. Dr. Tayfun Akgül danışmanlığında "Video-larda Devinin ve İvme Büyütme Yöntemleri" başlıklı bitirme tezi ile tamamladı. 2020 yılında Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsü'nde Doktora Programı'na başladı.

## Prof. Dr. Tayfun AKGÜL



Prof. Dr. Tayfun Akgül lisans ve yüksek lisans derecelerini, sırasıyla 1985 ve 1988 yıllarında İTÜ Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nde tamamladı. Doktorasını 1994 yılında Pittsburgh Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde bitirdi. 1986 - 1988 arası TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Enstitüsü'nde, Eylül 1988'den itibaren Çukurova Üniversitesi'nde çalışmaya başladı. 1989-1994 arasında Pittsburgh Üniversitesi'nde doktora çalışması yaptı. 1996'da Çukurova Üniversitesi'nde Doçent oldu. 1997-1999 tarihleri arasında Drexel Üniversitesi'nde bulundu. 1999 - 2002 arasında TÜBİTAK-MAM'da Başuzman Araştırmacı unvanıyla çalıştı. Temmuz 2002'den itibaren İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. İTÜ ARIS Lab (Advanced Research on Images and Signals – İleri Sinyal ve Görüntü İşleme) adlı araştırma laboratuvarının kurucusu ve yöneticisidir.