

Support Vector Machine working on FPGA and the segmentation method of brain MR screening

FPGA üzerinde çalışın destek vektör makinası ile beyin mr görüntüsünün bölütleme yöntemi

Fatih Şişik*, Enformatik Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Sütçü İmam Üniversitesi, 46040, Onikişubat, Türkiye
Kahramanmaraş, Türkiye

Eser Sert, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 46040, Onikişubat, Türkiye
Kahramanmaraş, Türkiye

Suggested Citation

Sisik, F. & Sert, E. (2017). Support Vector Machine working on FPGA and the segmentation method of brain MR screening, *International Journal of Innovative Research in Education*. 4(3),120-126.

Gönderim 24 Mayıs 2017; Düzeltme 30 Temmuz 2017; Kabul edilen 20 Eylül 2017.

Seçim ve hakem süreci sorumlusu Assoc. Prof. Dr. Zehra Ozcinar Atatürk Öğretmen Akademisi, Kıbrıs.

©2016 SciencePark Research, Organization & Counseling. All rights reserved

Abstract

Field Programmable Gate Arrays (FPGA Field Programmable Gate Array) are devices containing programmable digital blocks and connections and have the capabilities to work in a fast and flexible way. Complex designs can be easily developed with these programmable digital Gates. FPGA's are small in size and can work as mobile, independent from the computer, at higher speeds. Support vector machine which are important machine learning algorithms is developed to solve the classification problems. In the literature, Support Vector Machines are one of the important machine learning algorithms which are one of the tasks of data mining developed for the solution of the classification problem. Tumor analysis, face recognition, topics such as creating a robotic eye are some of the current, important and difficult problems which researchers are working on intensively in the field of image processing. In tumor analysis performed on the computer, problems of being slow in processing of graphics and pictures and being not mobile are overcome with the FPGA hardware image processing. In this study, it is aimed to find the presence of the tumor region and demonstrating the results of the required analysis by performing more realistic tumor analysis using support vector machines running on the FPGA Hardware. Thus the design of a useful hardware that can be used in the field of health will be carried out. Generally, these processes are done by computers because it is more easier. Therefore, because the number of work is very few which performs the process as described with embedded systems, this project carries originality value. In addition, VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language), which is one of the hardware description languages specific to FPGA will be used. For evaluation of segmentation results Uniformity Measure (UM) it is used.

Keywords: Field Programmable Gate Array, FPGA, very high speed integrated circuit hardware description language, vhdl, segmentation, support vector machine

*ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: **Fatih Şişik**, Enformatik Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Sütçü İmam Üniversitesi, 46040, Onikişubat, Türkiye
Kahramanmaraş, Türkiye. **E-mail adres:** fsisik@gmail.com

Özet

Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array-FPGA) programlanabilir sayısal bloklar ve bağlantılarını içeren cihazlar olup çok esnek ve hızlı çalışabilme özelliklerine sahiptir. Programlanabilen bu sayısal kapılar sayesinde karmaşık tasarımlar kolay bir şekilde geliştirilebilmektedir. FPGA'lar küçük boyutlarda olup bilgisayardan bağımsız mobil olarak ve bilgisayarlardan daha yüksek hızlarda çalışabilmektedirler. Veri madenciliğinin görevlerinden biri olan sınıflandırma probleminin çözümü için geliştirilmiş önemli makine öğrenimi algoritmalarından biri Destek Vektör Makineleri' dir. Literatürde Destek Vektör Makineleri' nin diğer birçok tekniğe göre daha başarılı sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Tümör analizi, yüz tanıma, robotik göz oluşturma gibi konular, araştırmacıların görüntü işleme alanında yoğun olarak üzerinde çalıştıkları güncel, önemli ve zor problemlerden bazılarıdır. Bilgisayarda yapılan tümör analizinde, grafik ve resimlerin işlenmesinde yavaş işlem yapma ve aynı zamanda mobil olmama sorunlarından, FPGA donanımı ile görüntü işlemede bu sorunların üstesinden gelinmektedir. Bu çalışmada FPGA donanımında çalışan destek vektör makinası kullanılarak daha gerçekçi tümör analizi yapılarak tümörlü bölgelerin bulunması ve gerekli analiz sonuçlarının gösterilmesi amaçlanmaktadır. Böylece sağlık alanında da kullanılabilir yararlı bir donanımın tasarımı gerçekleştirilecektir. Dolayısıyla gömülü sistemlerle anlatılan bu işlem süreçlerini gerçekleştiren çalışma sayısı çok az olduğundan çalışma özgün değer taşımaktadır. Buna ek olarak, FPGA' ya özgü donanım tanımlama dillerinden biri olan Çok Yüksek Hızlı Tümlük Devre Tanımlama Dili (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language- VHDL) kullanılacaktır. Bölütleme sonucunun değerlendirilmesi için Uniformity Measure (UM) kullanılmıştır. UM değerlendirme sonucunun başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alan Programlanabilir Kapı Dizileri, FPGA, çok yüksek hızlı tümlük devre tanımlama dili, vhdl, segmentasyon, destek vektör makinesi

1. Giriş

Tümörler hücrelerin organizmanın kontrolünden çıkıp kontrolsüz ve hızlı bir şekilde çoğalması olarak ifade edilebilmektedir. İnsan vücudunu etkileyen çeşitli dış faktörler ve genetik özelliklerden dolayı günümüzde tümörlere sıklıkla rastlanmaktadır (Tepeli, 2015). Destek vektör makinası (DVM) veri madenciliğinde verilerin sınıflandırılmasında kullanılan, makine öğrenmesi algoritmasıdır (Ayhan & Erdoğan, 2014). Sınıflandırma işlemlerinde başarılı sonuçlar vermesinden dolayı DVM' ler sıklıkla kullanılmaktadır. DVM birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir. Destek vektör makineleri ile yüksek çözünürlüklü görüntülerden binaların belirlenmesi (San & Türker, 2008). Tıbbi Tahminde Alternatif Bir Yaklaşım: Destek Vektör Makineleri (Akşehirli, AnkaralıAydın & Saraçlı, 2013). İmkb-100 endeksinin destek vektör makineleri ile günlük, haftalık ve aylık veriler kullanarak tahmin edilmesi (Tayyar & Tekin, 2012). örnekleri verilebilir.

Destek vektör makinası algoritması bu projede MR görüntüsünde tespit edilmesi amaçlanan tümörlü bölgeleri belirlemek ve bu tümörlü alanı ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır.

Gömülü sistemler, ana veya alt sistemlerin birden çok görevi aynı elektronik donanım üzerinde gerçekleştiren sisteme denir. Günlük hayatımızda kullandığımız birçok cihaz veya donanımda gömülü sistem bulunmaktadır. Bunlardan bazıları cep telefonları, elektronik ev eşyaları (çamaşır makinası, tv vb.), ölçüm cihazları (osilaskop, spektrum analizörü, vb.), abs sistemleri, endüstriyel otomasyon, ev otomasyon sistemleridir(Kaya, 2008).

Gömülü sistemlerin en büyük avantajları maliyetlerinin düşük olması, yüksek hızla çalışmaları, mobil kullanılabilir olmaları, paralel işlem yapmaları, tasarımcı tarafından tekrar tekrar programlanmaları olarak sıralanabilmektedir. Günümüzde en etkili gömülü sistemlerden birisi de Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array (FPGA))'dir. FPGA' lar tıp, kontrol sistemleri, haberleşme, görüntü işleme gibi alanlarda kullanılabilmekte ve başarılı sonuçlar vermektedir (Erdoğan, 2009). FPGA' lar birçok defa programlanıp silinebilmektedir. Bu donanımlar görüntü işleme, şekil tanıma, Bölütleme uygulamaları, trafik işareti bulma ve tanımlama (Yalçın, İrmak, Bulut & Akar, 2013), video bozunum düzeltme (Yavuz, Özsaç & Karakuş, 2013), network uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, beyin MR görüntüsünde bulunan kanserli bölgenin FPGA donanımında çalışan DVM ile Bölütlemenin yapılmasının ardından elde edilen bu Bölütleme görüntüsünün FPGA donanımına bağlı görüntüleyiciyle gösterilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmada Altera DE2-115 model FPGA kullanılmıştır.

Literatürde FPGA ile ilgili çeşitli görüntü işleme çalışmaları bulunmaktadır. Bunlardan birisi İsmail KOYUNCU ve diğerleri.' nin yaptığı FPGA tabanlı sobel operatör ile kenar belirleme çalışmasıdır (Koyuncu, Çetin, Katircioğlu & Tuna,

2015). Diğer bir çalışma ise Fatih Ahmet ŞENEL ve diğerleri tarafından FPGA tabanlı olarak görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimidir (Şenel & Çetişli, 2013). Başka bir çalışmada Kevin M. Irick ve diğerleri çalışması FPGA tabanlı DVM kullanılarak cinsiyet ayrımı gerçekleştirmiştir (Irick, DeBole, Narayanan & Gayasen, 2008). Madheswaran ve diğerleri tarafından FPGA üzerinde veri regresyonu ve DVM uygulaması gerçekleştirilmiştir (Madheswaran & Dhas, 2015). Umer Javed ve arkadaşlarının çalışmasında FUZZY ve DVM kullanılarak beyin MR'ında doku özelliklerinin sınıflandırılması yapmıştır (Javed, Riaz, Ghafoor & Cheema, 2013). Bu çalışma literatüre katkı olarak kanserli dokunun gömülü sistemle hızlı ve mobil olarak bulunması sağlanmıştır. Böylece tasarlanan sistemle sağlık sektöründe doktorun gözünden kaçabilecek sorunlar en aza indirilmektedir.

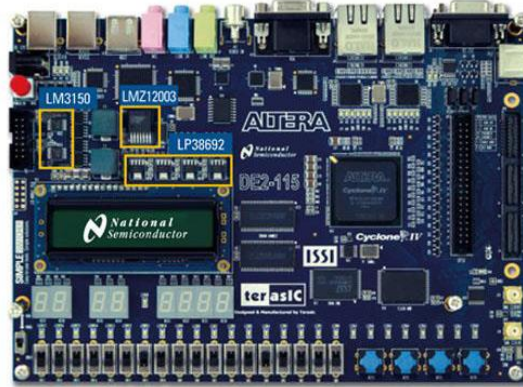
Çalışmada konular aşağıdaki sıra dahilinde açıklanacaktır. İkinci bölümde tasarlanan sistemin teorik altyapısı, üçüncü bölümde FPGA üzerinde çalışan Doğrusal DVM (DDVM) makinası ile MR görüntülerinde bölütleme, dördüncü bölümde deneysel sonuçlar ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

2. Teorik Altyapı

Bu bölümde FPGA donanımı, doğrusal destek vektör makinası ve FPGA ile bölütlemeyen bahsedilecektir.

2.1 FPGA Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array)

FPGA lar yapı itibariyle mantık bloklarından oluşan ve bu bloklar arasında birbirine yollarla bağlanan sayısal tümleşik devrelerdir (Celik, 2014). FPGA donanımının programlanmasında en sık VHDL ve Verilog HDL donanım programlama dilleri kullanılmaktadır (Celik, 2015).

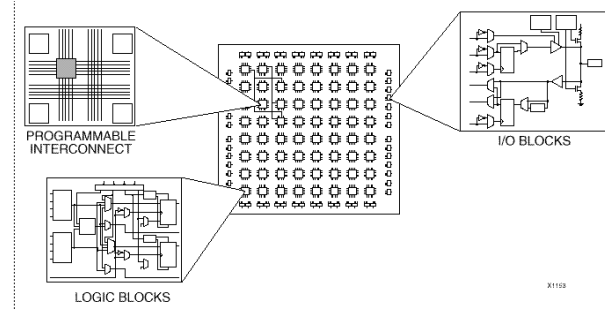


Şekil 1. DE2- 115 FPGA Donanımının Görüntüsü

SPLD (Simple Programmable Logic Device) ve CPLD (Complex Programmable Logic Device) gibi programlanabilir yongalar günümüzde gömülü sistem olarak kullanılabilir. Ancak bu donanımlar geniş ve karmaşık tasarımları desteklememektedir. Bunlara alternatif olarak ASIC (Application Specific Integrated Circuit) vardı. Fakat bu donanım'da pahalı ve uzun zaman alan tasarım sürecine sahipti (Zeidman, 2001).

Bu donanımlara alternatif olarak 1980' li yıllardan sonra FPGA donanımı ortaya çıkmıştır. FPGA Programlanabilir mantık blokları, ara bağlantı birimleri, giriş çıkış bloklarından oluşmaktadır. FPGA birçok işlemciye göre çok daha yüksek hızlarda ve paralel olarak işlem yapabilmektedir. Bundan dolayı bu donanımlar kısa zamanda birçok işlemi icra edebilmekte olup maliyetleri diğer donanımlara oranla düşüktür. FPGA donanımına kamera, görüntüleyici elemanlar, network sistemleri ve birçok ekipman kolaylıkla eklenebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı FPGA' lar diğer donanımlara göre daha avantajlıdır.

Şekil 2 FPGA Fundamentals (2012)' de FPGA' nın donanımsal yapısı görülmektedir.

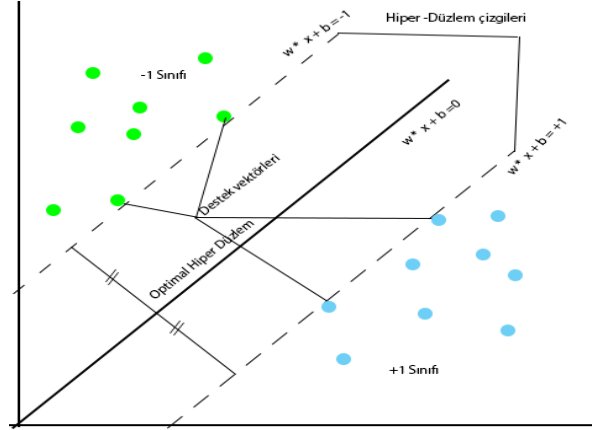


Şekil 2. FPGA'nın parça görüntüsü

FPGA donanımını üreten firmalardan bazıları Xilinx ve Altera'dır.

2.2 DVM'in Çalışma Yapısı

DVM veri madenciliğinde verilerin sınıflandırılmasında kullanılan makine öğrenmesi algoritmasıdır (Erdoğan, 2009). DVM, verileri en iyi şekilde iki farklı gruba ayıran $m - \text{boyutlu}$ bir hiperdüzlem oluşturmaktadır (Yakut, Elmas & Yavuz, 2014). İki farklı şekilde DVM uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi DDVM ikincisi ise doğrusal olmayan DVM (DODVM)'dir (Çölkesen & Kavzoğlu, 2010).



Şekil 3. Doğrusal Destek Vektör Makinası (DDVM)

DDVM ile sınıflandırma yapılırken genellikle $\{-1,+1\}$ bir sınır dahilinde iki farklı gruba ait verilerin sınıflandırılması hedeflenmektedir. Bu sınıflandırma işleminde en yakın noktalar arasındaki uzaklıkları en fazla olacak şekilde ayıracak bir hiper düzlemi oluşturmaktır (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010). Denklem 1 ve 2'de (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010) optimal aşırı düzlem denklemleri verilmiştir. DDVM'nin eğitimi için n sayıda örnekten oluşan eğitim verisinin $\{x_k, y_k\}$, $k=1, \dots, n$ olduğu kabul edilirse, optimum aşırı düzleme ait eşitsizlikler aşağıdaki şekilde olur:

$$w \cdot x_k + b \geq +1 \quad y = +1 \quad (1)$$

$$w \cdot x_k + b \leq -1 \quad y = -1 \quad (2)$$

$x \in R^N$ ve $N - \text{boyutlu}$ bir uzayı,

$y \in \{-1, +1\}$ ise grupları, w aşırı düzleme dik olan normal vektörü ve b ise kayma oranını verir. Optimal aşırı düzlemi ve sınırlarını oluşturmak için paralel iki düzlem belirlenmelidir (Şekil 3) [21]. Paralel iki düzlem arasındaki fark formülü denklem 3'te [21] verilmiştir.

$$\left[\frac{1}{2} \|w\|^2 \right] \quad (3)$$

Sonuç olarak, doğrusal olarak ayrılabilen iki farklı grup problemi için karar fonksiyonu denklem 4 te [21] verilmiştir (Osuna vd., 1997).

$$f(x) = \text{sign}(\sum_{k=1}^n \lambda_k y_k (x_k * x) + b) \quad (4)$$

3. FPGA üzerinde çalışan destek vektör makinası ile beyin mr görüntüsünü bölütleme yöntemi

Bu bölümde FPGA donanımı üzerinde çalışan doğrusal destek vektör makinası ile MR görüntüsünün analizi yapılarak elde edilen sonucun gömülü sistem görüntüleyicisine gönderilmesi açıklanmaktadır. Aşağıda bu işlem adımları özetlenmiştir:

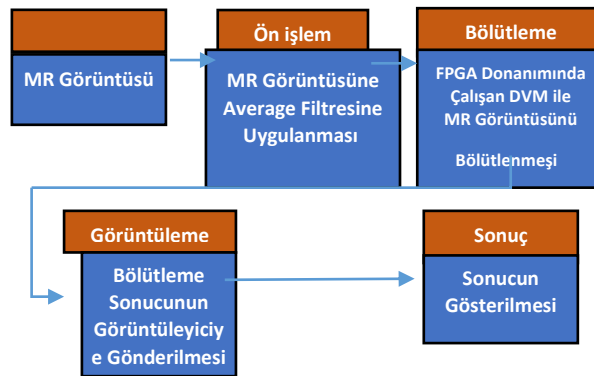
Adım 1: Beyin MR görüntüsünün işlenebilmesi için sayısal formata çevrilmesi ve program editörüne bu verilerin aktarılması.

Adım 2: Sayısal formattaki MR görüntüsünün ön işlemlerden geçirilmesi. Ön işlem olarak average filtresi uygulanarak görüntüdeki piksellerin geçişleri yumuşatılmaktadır.

Adım 3: Elde edilen ön işlenmiş MR görüntüsü üzerinde DDVM algoritması uygulanarak bölütleme işleminin gerçekleştirilmesi.

Adım 4: Bölütleme sonucunun FPGA donanımına bağlı olan görüntüleyiciye gönderilmesi

Şekil 4 de yukarıda açıklanan işlem adımları görselleştirilmiştir.



Şekil 4. Blok Şeması

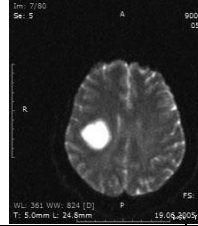
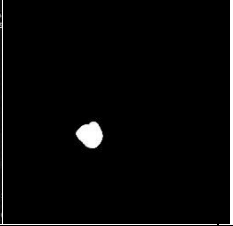
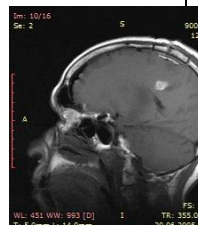
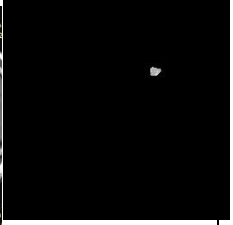
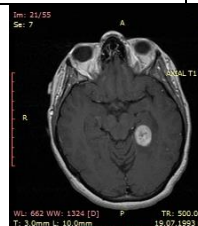

FPGA donanımını programlamak için VHDL dili kullanılmıştır. VHDL dilinin kodlanması Quartus II programı ile yapılmıştır.

4. Deneysel Çalışmalar:

Bu bölümde 30 adet tümörlü MR resminin hazırlanan sistemle analizi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte kullanılan MR resimleri FPGA donanımı üzerinde DDVM kullanılarak segmente edilmiştir. Böylece tümörlü bölgenin bulunması ve ortaya çıkartılması sağlanmıştır. Bölütlemeye kullanılan MR resimleri kanser resim arşivinden alınmıştır. Kanser resim arşivi (2016) adresindeki resimler kullanım erişimine açık verilerdir. Bölütleme başarımını test etmek için Uniformity Measure (UM) kullanılmıştır. UM' nin hesaplanmasında denklem 5 (Levine & Nazif, 1985)' teki UM bağıntısı kullanılmıştır. İlgili denklemde görülen k, UM sonucunun 0 - 1 arasında olmasını sağlayan ayar parametresi; Bölge_x, xth. bölütlenen bölgeyi; Bzi, Bölge_x' in büyüklüğünü ifade etmektedir. BR(i,j) ise BR resminin (i,j) koordinatındaki değeridir. UM sonucu 1' e doğru yaklaştıkça segmentasyon başarısının arttığı anlaşılmaktadır.

$$UM = 1 - \frac{1}{k} \sum_x \left\{ \sum_{(i,j) \in Böl_{g_x}} \left[BR(i,j) - \frac{1}{BZ_i} \sum_{(i,j) \in Reg_x} BR(i,j) \right]^2 \right\} \quad (5)$$

Şekil 5' te test analizi yapılan 3 adet MR resminin analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen UM sonuçlarından başarılı bir şekilde bölütlemenin gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır.

Test No	Test MR Resmi	Bölütleme Sonucu	UM Sonucu
1			0,84
2			0,89
3			0,87

Şekil:5 FPGA donanımı üzerinde DDVM ile MR beyin Bölütleme

Sonuçları Şekil 5' te sunulan 3 adet analize ilave olarak 27 adet MR resmi üzerinde de tümör analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen UM sonuçları ise tablo 1' de sunulmuştur.

Tablo 1. Test Sonuçlarına Bağlı Elde Edilen UM Sonuçları

Test No	UM Sonucu	Test No	UM Sonucu
1	0,84	16	0,83
2	0,89	17	0,82
3	0,87	18	0,90
4	0,81	19	0,84
5	0,82	20	0,89
6	0,87	21	0,87
7	0,85	22	0,84
8	0,89	23	0,84
9	0,82	24	0,87
10	0,91	25	0,90
11	0,80	26	0,84
12	0,82	27	0,82
13	0,83	28	0,87
14	0,87	29	0,89
15	0,91	30	0,85

Tablo 1' deki UM sonuçları üzerinde yapılan istatistiksel analizler yapılmış olup tablo 2' de sunulmuştur.

Tablo 2. İstatistiksel Sonuçlar

UM İçi İstatistiksel Sonuçlar		
Ortalama	Maksimum	Minimum
0,85	0,91	0,80

Yapılan bu test işlemine bağlı olarak elde edilen UM değerlerinin ortalama sonucu 0,85 olarak elde edilmiştir. Buda tasarlanan sistemin kararlı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, MR beyin görüntü işleme uygulaması için DDVM kullanılmıştır. Görüntü işlemek için Altera DE2-115 FPGA donanımı, donanım tanımlama dili olarak VHDL dilinden faydalanılmıştır. Tasarlanan yazılımla, başarılı bir şekilde görüntüdeki tümörlü alanın çıkartılması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ile görüntü işleme sürecinin gömülü sistemlerde başarılı bir şekilde gerçekleştirileceği gösterilmiştir. 30 adet MR resmi üzerinde gerçekleştirilen tümör analizi sonucunda 0,85 değerinde ortalama UM sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bu değer başarılı bir şekilde bölütleme sonucuna ulaşıldığını göstermektedir.

Kaynaklar

- Akşehirli, Ö. Y., Ankaralı, H., Aydın, D., & Saraçlı, Ö. (2013). Tıbbi Tahminde Alternatif Bir Yaklaşım: Destek Vektör Makineleri. *Türkiye Klinikleri. Journal of Biostatistics*, 5(1), 19-28.
- Ayhan, S., & Erdoğan, Ş. (2014). Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1).
- Celik, A. R. (2015). Image processing on Field Programmable Gate Arrays. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2015 23th (pp. 1501-1504). IEEE. ISO 690
- Çelik, A. R. (2014). *Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri ile Görüntü İşleme Uygulamaları Image Processing on Field Programmable Gate Arrays*.
- Çölkesen, I., & Kavzoğlu, T. (2010). Farklı Boyutta Eğitim Örnekleri İçin Destek Vektör Makinelerinin Sınıflandırma Performansının Analizi.
- Erdoğan, S. (2009). Karmaşık Algoritmaların Gerçek Zamanlı Gomu Sistemlerde Gerçekleşmesi. 4. *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara, 265-269
- FPGA Fundamentals (2012) 18 Nisan 2016 tarihinden <http://www.ni.com/white-paper/6983/en/> adresinden erişilmiştir.
- Irick, K., DeBole, M., Narayanan, V., & Gayasen, A. (2008). A hardware efficient support vector machine architecture for FPGA. In *Field-Programmable Custom Computing Machines*, 2008. FCCM'08. 16th International Symposium on (pp. 304-305). IEEE.
- ISO 690
- Javed, U., Riaz, M. M., Ghafoor, A., & Cheema, T. A. (2013). MRI brain classification using texture features, fuzzy weighting and support vector machine. *Progress In Electromagnetics Research B*, 53, 73-88.
- Kanser resim arşivi (2016). 19 Nisan 2016 tarihinde <https://wiki.cancerimagingarchive.net/display/Public/REMBRANDT> adresinden erişildi.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
- Kaya, A. (2008). *Gömülü Sistemler ve Uygulama Alanları*. Akademik Bilişim Konferansları 2008 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, 677-683
- Koyuncu, İ., Çetin, Ö., Katircioğlu, F., & Tuna, M. (2015). Edge dedection application with FPGA based Sobel operator. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2015 23th (pp. 1829-1832). IEEE.
- Levine, M. D., & Nazif, A. M. (1985). Dynamic measurement of computer generated image segmentations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 7(2), 155-164.
- Madheswaran, M., & Dhas, D. A. S. (2015). Classification of brain MRI images using support vector machine with various Kernels. *Biomedical Research*.
- San, D. K., & Türker, M. (2008) *Binaların Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinden Destek Vektör Makineleri Sınıflandırma Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı
- Şenel, F. A., & Çetişli, B. (2013). *Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi* (Doctoral dissertation). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Tayyar, N., & Tekin, S. (2012). İMKB-100 Endeksinin Destek Vektör Makineleri İle Günlük, Haftalık ve Aylık Veriler Kullanarak Tahmin Edilmesi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(26), 189-218.
- Tepeli, E. (2015). <http://www.herbalisterdogantepeli.com>, Erişim Tarihi: 28.07.2015
- Yakut, Y. B. E. T. Y., Elmas, B., & Yavuz, S. (2014). Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 139-157.
- Yalçın, H., İrmak, H., Bulut, M. M., & Akar, G. B. (2013). Real-time Traffic Sign detection and Recognition on FPGA. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2013 21st (pp. 1-4). IEEE.
- Yavuz, E., Özaraç, İ., & Karakuş, F. (2013). FPGA based real time video distortion correction. In *Signal Processing and Communications*
- Zeidman, B. (2001). *Introduction to CPLD and FPGA Design*. The Chalkboard Network.