

Implementation of Basic Image Processing Applications by FPGA Hardware

Ali Recai Celik

Department of Electrical and Electronics Engineering, Dicle University, 21500,
Diyarbakir, Turkey, ali.celik@dicle.edu.tr

Ahmet Alkan

Department of Electrical and Electronics Engineering, KSU University,
46100, Kahramanmaraş, Turkey

Abstract

At present, the relevancy to image processing is increasing and applications of image processing are developing. Also 'Field Programmable Gate Arrays (FPGA)' is gaining in popularity nowadays. FPGAs are strong in parallel computation and they can work too fast. Because of these advantages, they are preferred in applications which have complex calculations and need high speed. At the first part of this work, an image processing application was implemented on FPGA hardware by using 'diamond-square' algorithm and several image processing techniques. For this application, it isn't necessary to use camera. Because image is generated by using algorithm, then image processing techniques like filtration and rotation are implemented to image. At the second part of work, real-time video motion was used for basic image processing applications. Image was taken by using 5 Megapixel camera, then gray-scale and binary images were obtained. Also Sobel edge detection algorithm was implemented to image with variable threshold. All of these algorithms are obtained by using Verilog hardware description language. Results of applications and information about the performance of hardware were given at the result part of work.

Keywords: diamonds-square algorithm, edge detection, gray-scale image, binary image, Verilog, FPGA.

Temel Görüntü İşleme Uygulamalarının FPGA Donanımı ile Gerçekleştirilmesi

Özet

Gün geçtikçe görüntü işlemeye olan ilgi artmakta ve görüntü işlemenin uygulama alanları genişlemektedir. Aynı şekilde "Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)" donanımının da popülaritesi günümüzde yükselmektedir. FPGA'lar paralel işlem yapabilen ve çok hızlı çalışan donanımlardır. Bu nedenle karmaşık hesaplamaların kullanıldığı ve yüksek hız gerektiren uygulamalarda FPGA donanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmanın ilk bölümünde, 'elmas-kare' isimli algoritma ve çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanılarak FPGA donanımı üzerinde bir görüntü işleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama için kamera gerekmemektedir. Görüntüler algoritma aracılığı ile oluşturulmakta; filtreleme ve döndürme gibi görüntü işleme teknikleri elde edilen görüntüye uygulanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde, uygulamalar hareketli görüntüler üzerinde gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Görüntüler 5 Megapiksel kamera ile alınmış, daha sonra gri-öçekli ve ikili görüntüler elde edilmiştir. Ayrıca farklı eşik değerleri kullanılarak Sobel kenar bulma algoritması gerçekleştirilmiştir. Uygulamalarda kullanılan tüm algoritmalar Verilog donanım tanımlama dili ile oluşturulmuştur. Uygulamaların sonuçları ve donanımın performansı ile ilgili bilgiler sonuç bölümünde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: elmas-kare algoritması, kenar bulma, gri-öçekli görüntü, ikili görüntü, Verilog, FPGA

1. Giriş

Programlanabilir mantık devreleri, kasarımcılar tarafından programlanabilme özelliğine sahip olarak üretilmiş olan devrelerdir. ‘Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)’ de bu amaçla üretilen devrelerden biridir. FPGA’lar, sayısal devre oluşturabilmek için gerekli olan mantık kapılarından oluşurlar. Tasarımcılar, istedikleri fonksiyon ve görevleri gerçekleştirmek amacıyla bu kapı bloklarını programlayabilirler. Bu işlem, Verilog veya Vhdl gibi donanım tanımlama dilleri (HDL) kullanılarak gerçekleştirilir. FPGA kullanılarak yapılan tasarımlar, değiştirilerek tekrar yüklenip çalıştırılabilir. Yani aynı FPGA üzerinde defalarca kod yazma ve silme işlemi yapılabilir. Bu durum kullanıcılar için büyük kolaylık sağlamaktadır (Özçelik 2012). FPGA devrelerinin hızlı işlem yapabilme, içine çoğullayıcı gömülebilme, aritmetik işlemleri başarıyla gerçekleştirebilme gibi özellikleri ve paralel işlem yapabilme yeteneği vardır. Paralel işlem yapabilme yeteneği sayesinde FPGA’lar aynı anda birden fazla görevi yerine getirebilirler. Bu nedenle yüksek hız gerektiren görüntü işleme uygulamalarında FPGA kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. 2002 yılında yapılan bir çalışma ile FPGA üzerinde gerçek zamanlı medyan filtresi tasarlanıp çalıştırılarak, üretim merkezlerindeki hataların görsel olarak belirlenmesini sağlayan bir sistem tasarlanmıştır (Rodriguez et al. 2002). 2009 yılında, insan yüzü tespiti ile ilgili çalışmalar yapılmış, yüz bulma ve tanıma algoritmalarının FPGA ile gerçekleşmesi başarılmıştır (He et al. 2009). 2011 yılında ise MR cihazından alınan beyin görüntülerinde bulunan tümörlerin tespiti için, Xilinx marka bir FPGA geliştirme kartından faydalanılmıştır (Christe et al. 2011).

Sayısal sistem tasarımlarında sık kullanılan FPGA’ların popülaritesi Türkiye’de de son yıllarda artmaya başlamıştır. Örneğin; plaka yerini tespit eden ve plaka içeriğini tanıyan bir sistem FPGA kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Caner 2006). 2007 yılında, FPGA tabanlı gerçek zamanlı görüntü işleme çalışmalarının temel gereksinimi olan görüntünün yakalanması problemine, sensör kartı donanımı tasarlanarak çözüm sunulmuş ve CMOS görüntü sensörü ile FPGA kartı kullanılarak sayısal fotoğraf makinesi gerçekleştirilmiştir (Yeniçeri 2007). 2011’de, FPGA kontrollü robotik göz oluşturulmuş, robotik sistemler için gerçek zamanlı bir görüntü işleme ve tanıma sistemi geliştirilerek, görüntü üzerinde uygulanacak olan tüm işlemler FPGA kontrolü ile yapılmıştır (Taşcı 2011). 2012 yılında ise, FPGA üzerinde gerçek zamanlı olarak görüntüde renk değiştirme, kırmızı renkli nesne takibi, ten rengi tanıma gibi bir takım görüntü işleme uygulamalarının gerçekleştirilmesi sağlanmıştır (Özçelik 2012).

Güvenlik sistemlerinde, sağlık sektöründe, robotik uygulamalarda, radar ve uydu sistemleri gibi birçok alanda görüntü işleme uygulamaları kullanılmaktadır. Üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirilecek olan görüntü, kamera aracılığı ile alınan bir video veya fotoğraf görüntüsü olabileceği gibi; kullanıcılar tarafından kırmızı, yeşil, mavi ve bu renklerin birleşimleriyle elde edilen bir görüntü de olabilir. Bu çalışmada iki yöntem de kullanılmıştır. İlk olarak elmas-kare algoritması Verilog donanım tanımlama dili ile gerçekleştirilerek farklı yükseklik seviyelerine sahip şekillerden oluşan bir görüntü elde edilmiştir. RGB renk uzayına göre üç temel renk olan kırmızı, yeşil, mavi renklerin ve bu renklerin kombinasyonlarıyla oluşturulan renklerin, görüntüdeki yükseklik seviyelerine atamaları yapılmıştır. Böylece çeşitli renk ve yükseklik seviyelerinden oluşan bir resmin kuşbakışı görünümü elde edilmiştir. Görüntüdeki görüntüün yani bozucu etkinin azaltılmasında kullanılan ve görüntü işleminin temel tekniklerinden biri olan filtreleme işlemi de FPGA donanımı ile gerçekleştirilmiştir. Son olarak ‘döndürme matrisi’ kullanılarak, 2 boyutlu resmin 3 boyutlu olarak görüntülenmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise görüntüler FPGA donanımına bağlanan bir kamera ile video görüntüsü şeklinde alınmıştır. Alınan görüntü, donanım üzerinde bulunan tuşlar aracılığı ile hem ‘ikili’ görüntüye hem de ‘gri ölçekli’ görüntüye dönüşebilmektedir. Ayrıca görüntü üzerinde ‘kenar bulma’ uygulaması gerçekleştirilmiş ve ‘görüntü eşiklemesi’ yapılmıştır. Bahsedilen tekniklerin ve algoritmaların uygulanması neticesinde oluşan görüntüler, FPGA donanımı üzerinde bulunan VGA çıkış birimi aracılığıyla ekranda görüntülenmiştir.

2. Materyal ve Metod

Mantık kapılarının ve bellek hücrelerinin birbirlerine bağlanması ile oluşturulan devrelere 'programlanabilir mantık devreleri' adı verilir. Mantık kapılarının gerçekleştirdiği fonksiyonların tanımlanmasında, kontrolünde ve birbirleriyle olan giriş-çıkış ilişkilerinin kayıtlı tutulmasında bellek hücreleri kullanılır. Farklı mimarilerde tasarlanıp üretilen çok sayıda ürün aynı temel prensiplerle çalışır. FPGA'lar da bu alanda üretilmiş olan donanımlardan biridir. FPGA'lar, ihtiyaç duyulan mantıksal fonksiyonların tasarımcı tarafından kolaylıkla oluşturulabilmesi amacıyla sahada programlanabilecek şekilde üretilmişlerdir (Gacar 2009).

FPGA, üretimden sonra istenilen fonksiyona göre, donanım yapısı kullanıcı tarafından değiştirilebilen entegre devreler olarak tanımlanabilir. FPGA, içindeki transistörler birbirinden bağımsız ve serbest olarak üretilmiş ham bir entegre olarak düşünülebilir. Kullanıcının belirlediği fonksiyona göre, FPGA içindeki transistörler birbirlerine bağlanır ve istenilen uygulama gerçekleştirilir. FPGA donanımlarında, sayısal işaret işleyici (DSP)'lerin esnek programlanabilen yapısı ile uygulamaya özgü tümleşik devre (ASIC)'lerin yüksek performans özelliği birleşmiştir. Bir FPGA, binlerce mantık elemanından ve küçük boyutta bir rastgele erişimli bellekten oluşur. Tüm bu birimler FPGA içerisinde birbirine bağlıdır. Tasarımcı bu mantık ve hafıza birimlerini istediği şekilde programlar. FPGA'lar teorik olarak sınırsız sayıda yeniden programlanmaya izin vermektedir (Tekdur 2012).

Xilinx, Altera, Lattice, Actel, ve Achronix gibi birçok firma FPGA üretimini ve dağıtımını gerçekleştirmektedir. Bu firmalar arasında öne çıkan ve söz sahibi olan firmalar Xilinx ve Altera firmalarıdır. Bu iki firmanın ürettiği çok çeşitli FPGA platformları vardır. Platformların farklılığını belirleyen temel etmenler; hız, mantıksal blok sayısı, giriş-çıkış birimlerinin sayısı gibi donanımın sahip olduğu özelliklerdir. Altera firmasının ürettiği FPGA kart serileri Starix, Aria ve Cyclone olarak adlandırılırken, Xilinx firmasının ürettiği FPGA kart serileri Artix, Kintex, Virtex ve Spartan olarak adlandırılır.

2.1 Altera DE2 FPGA Platformu

Bu çalışmada, Altera Cyclone II 2C35 serisi bir FPGA geliştirme kartına sahip olan DE2 model FPGA donanımı kullanılmıştır. Kart üzerinde 30.000'den fazla lojik işlem birimi (LES) bulunmaktadır. Bu lojik birimler dışında 8 Mbyte SDRAM ve 512 Kbyte SRAM bulunmaktadır. Donanımın görünümü ve giriş-çıkış portları ile ilgili bilgiler Şekil 1'de görülmektedir (Altera 2014). DE2 FPGA donanımı üzerinde VGA çıkış portu vardır. VGA bağlantı kablosu kullanılarak, elde edilen görüntüler ekranda görüntülenir.

DE2 donanımında bulunan giriş ve çıkış birimleri şunlardır:

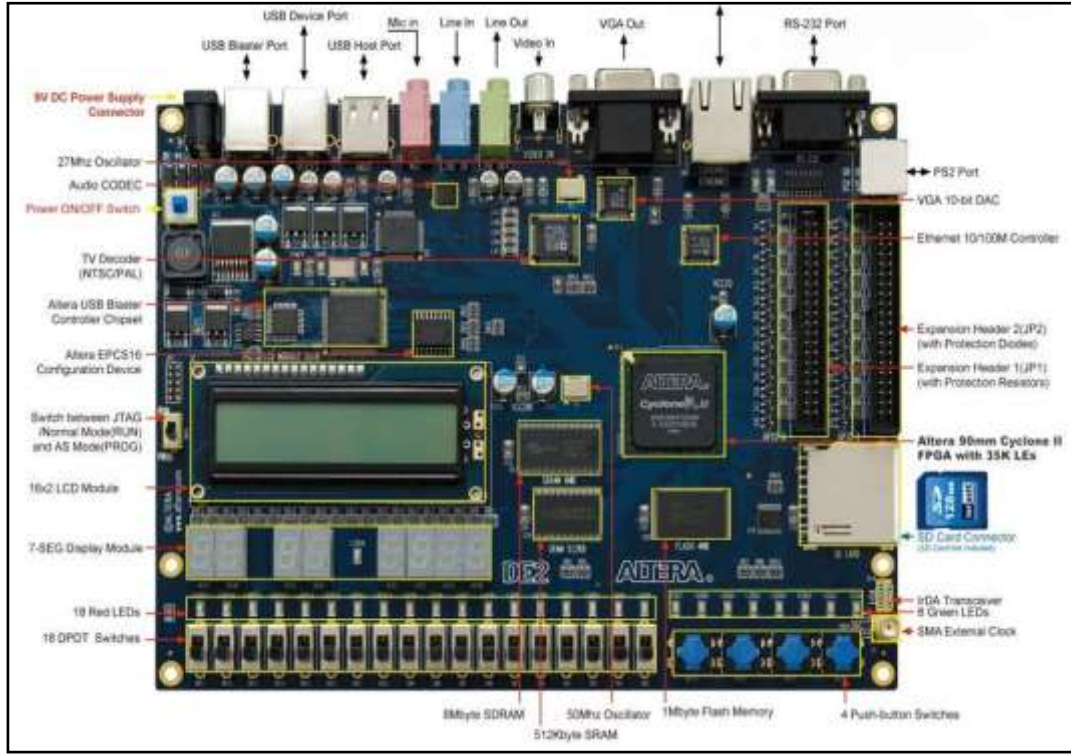
- Dahili FPGA için USB Blaster
- Mikrofon girişi
- Video girişi (NTSC/PAL/Multi-format)
- Video çıkışı (VGA 10-bit DAC)
- RS-232 seri haberleşme birimi
- Kızılötesi portu
- Ethernet bağlantısı
- PS/2 mouse veya klavye bağlantı noktası
- USB 2.0 (A tipi ve B tipi)
- Genişletme başlıkları

DE2 donanımında bulunan hafıza birimleri şunlardır:

- 8 MB SDRAM, 512 KB SRAM, 4 MB Flash Memory

DE2 donanımında bulunan diğer bağlantılar şu şekildedir:

- 18 adet geçiş anahtarı, 4 adet buton anahtarı, 18 adet kırmızı, 8 adet yeşil LED, 8 adet 7-segmentli g österge, 27 Mhz ve 50 MHz osilatör, Dış saat girişi



Şekil 1. Altera DE2 FPGA Donanımı

2.2 Quartus II Yazılımı ve Verilog HDL Programlama Dili

FPGA platformu ile uygulama gerçekleştirmek için, Altera firmasının hazırlamış olduğu Quartus II yazılımı kullanılır. Uygulanacak olan algoritmalar Quartus II arayüzü üzerinde Verilog veya VHDL programlama dillerinden biri kullanılarak gerçekleştirilir. Quartus II yazılımı tamamen entegre bir yazılım geliştirme ortamıdır ve devrenin tasarımı ve simülasyonu, mantık kapılarının tasarımı, HDL kodunun derlenmesi gibi işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlar. Quartus II, FPGA ile programlama gerçekleştirilirken ihtiyaç duyulabilecek tüm birimleri içinde barındırmaktadır. Yazılım kullanılarak, şematik ve HDL dilleri ile tasarım oluşturulur, oluşturulan tasarım sentezlenir ve bu tasarımın FPGA'ya yerleştirilmesi gerçekleştirilir. FPGA'larda algoritmaları oluşturmak için kullanılan programlama dillerine genel olarak 'donanım tanımlama dili' denir. Donanım tanımlama dilleri, FPGA'da bulunan mantıksal blokların uygun şekilde programlanmasında kullanılır. En sık kullanılan diller Verilog HDL ve VHDL programlama dilleridir. VHDL, 'Çok yüksek hızda donanım tanımlama dili' olarak ifade edilir. Verilog programlama dili de elektronik sistemleri modellemek için kullanılan diğer bir donanım tanımlama dilidir.

Verilog; analog, sayısal ve karışık işaretli devrelerin tasarımını, doğrulanmasını ve yürütülmesini değişik düzeylerde desteklemektedir. Verilog donanım tanımlama dili, C programlama diline yakın bir söz dizimine sahiptir. Verilog tasarımında modüller vardır ve bu modüller arasında bir hiyerarşi bulunur. Modüller bir takım giriş, çıkış ve çift yönlü portlar şeklinde tanımlanır. Bir modül içinde yazmaç ve kablo listesi bulunur. Eş zamanlı ve ardışık ifadeler modülün davranışını portların, kabloların ve yazmaçların arasındaki ilişki ile tanımlar. Ardışık ifadeler bir begin/end bloğuna yerleştirilir ve blokla beraber ardışık olarak yürütülür. Tüm eş zamanlı ifadeler ve begin /end blokları koşut olarak yürütülür. Tasarımdaki modüller sadece sentezlenebilir ifadeler içeriyorsa, tasarımın temel bileşenlerini ve bağlantılarını içeren bağlantı listesi

yazılım ile sentezlenir. Elde edilen bu bağlantı listesi bir FPGA'yı tanımlamak amacıyla kullanılır (Pedroni 2004). Bu çalışmadaki tüm uygulamalarda Verilog HDL tercih edilmiştir.

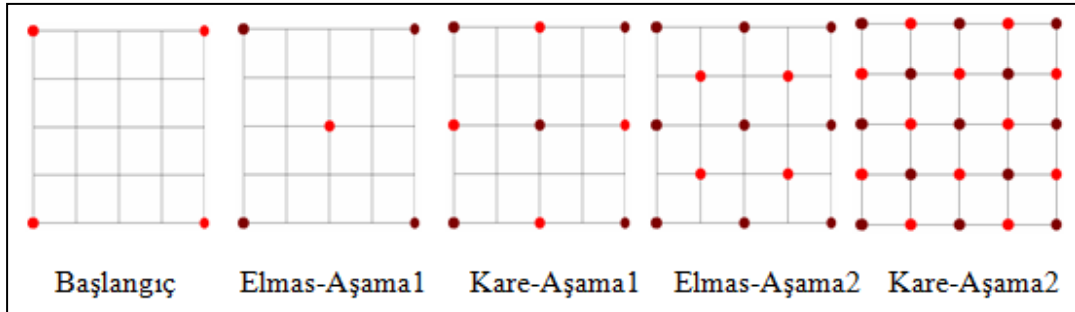
3. Uygulamalar

Bu bölümde öncelikle elmas-kare algoritması hakkında bilgi verilmiş, bu algoritma kullanılarak elde edilen görüntü ve bu görüntü üzerinde gerçekleştirilen 'filtreleme ve döndürme' işlemleri gösterilmiştir. Daha sonra, kamera ile alınan video görüntüsünün 'gri ölçekli' ve 'ikili' görüntüye dönüştürülme işlemleri gösterilmiş, 'kenar bulma' ve 'eşikleme' uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise, DE2 model FPGA donanımının performansı hakkında bilgi verilmiştir.

3.1 Elmas-Kare Algoritması

Bilgisayar grafik ve oyunlarının oluşturulmasında, uçuş simülasyonlarında, animasyon filmlerinde ve daha birçok alanda, doğada var olan şekillerin gerçektekine benzer görüntülerinin oluşturulmasına ihtiyaç duyulur. Bu görüntülerin elde edilmesi için, yükseklik ve doku eşlemelerinin gerçekleştirilmesi gereklidir. Yükseklik eşlemeleri, yükseklik ile ilgili verileri içerir. Doku eşlemeleri ise, bir, iki veya üç boyutlu matris olarak düzenlenen renk değerlerini içerir. Coğrafik şekillerden oluşan bir yeryüzü zemin görüntüsünün, diğer bir ifadeyle arazi resminin oluşturulması için, yükseklik ve renk değerleri belirlenir. Daha sonra çeşitli algoritmalar kullanılarak, elde edilmek istenilen resmin görüntüsü oluşturulur. Kullanılabilecek algoritmalarından biri 'elmas-kare' algoritmasıdır. Elmas-kare algoritması 1986 yılında geliştirilmiş olup, bilgisayar grafiklerinin oluşturulmasında ve arazi resmi oluşturma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Miller 1986).

Elmas-kare algoritmasının işleyişinin anlaşılabilmesi için, 5x5 bölmeden oluşan yani içinde 16 küçük kare bulunan bir büyük kare düşünülün. Başlangıçta bu karenin dört köşesine aynı olacak şekilde yükseklik değerleri atanır. Bu dört değerin ortalaması alınır ve bulunan sonuca rastgele bir değer eklenerek yeni bir değer elde edilir. Elde edilen bu değer, büyük karenin köşegenlerinin kesiştiği noktaya yani merkeze yerleştirilir. Bu işlem neticesinde; dört noktaya sahip karenin yerini, beş noktaya sahip bir elmas şekli alır. Bu aşamaya elmas oluşturma aşaması denir. İkinci aşamada ise elmas şeklin köşelerindeki noktaların ortalamasına rastgele bir değer eklenerek 4 küçük karenin köşeleri elde edilir. Bu aşamaya kare oluşturma aşaması adı verilir. Bu aşamalar tekrarlanarak devam eder. Algoritma diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.

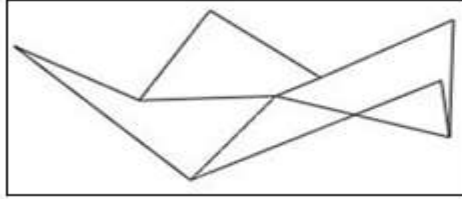


Şekil 2. Elmas-Kare Algoritmasının ilk 2 Aşaması

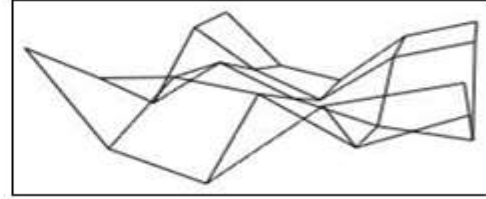
Algoritmanın işleyişine göre; ilk elmas-kare dönüşümünden sonra 4 adet küçük karenin köşe noktaları oluşmuştur. Bu işlemin ikinci tekrarında 16 adet küçük kare elde edilmiştir. Tekrarlama işlemi devam ettiği sürece küçük karelerin miktarı artacaktır. Algoritmadaki en önemli işlem, yükseklik değerlerinin ortalama değerine rastgele bir değer eklenmesidir. Birinci elmas-kare dönüşümünden sonra elde edilen 9 noktanın birbirlerine bağlanması ile Şekil 3'deki gibi bir yüzey şekli elde edilebilir. İkinci tekrardan sonra gerçekleşen elmas-kare dönüşümü ile 16 küçük kare ve 25 nokta oluşur. Bu noktaların birleştirilmesiyle elde edilebilecek yüzey şekli ise Şekil 4'de görülmektedir.

Bu işlemler tekrar edilirse, elde edilen şeklin yoğunluğu artmış olur. Örneğin, 5. tekrardan sonra Şekil 5'deki gibi bir yüzey elde edilebilir. Sonuç olarak yükseklik değerleri atanmış bir şekil elde edilir. Yüzey şekli oluşturulduktan sonra doku eşlemi yani renklendirme işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmadaki

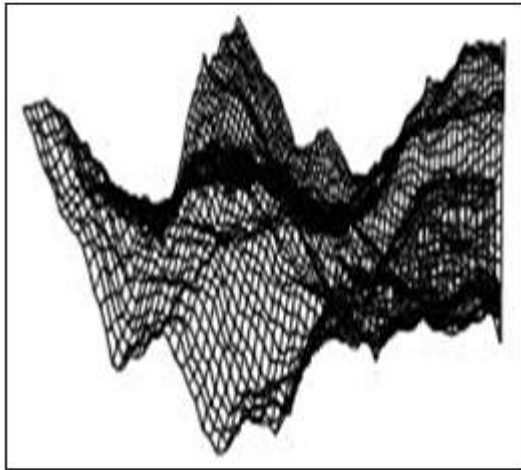
uygulamada; dağ, vadi ve göl gibi farklı coğrafik şekiller, aynı resim içinde gerçek zamanlı olarak üretilmiştir. Elmas-kare algoritmasının kullanıldığı bu uygulamada, farklı yükseklik ve renk değerleri kullanılarak şekillerin gerçektekine benzer görüntülerinin oluşturulması sağlanmıştır. Uygulamada elde edilen bir resmin kuşbakışı görüntüsü Şekil 6'daki gibidir. Sarı renkten oluşan bölümler dağları, yeşil bölümler vadileri, mavi bölümler ise göl ve nehirleri temsil etmektedir.



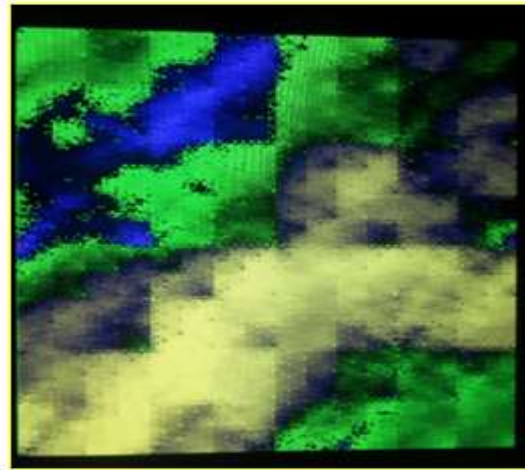
Şekil 3.Elmas-Kare Algoritması ile Oluşan
9 Noktanın Birbirlerine Bağlanması



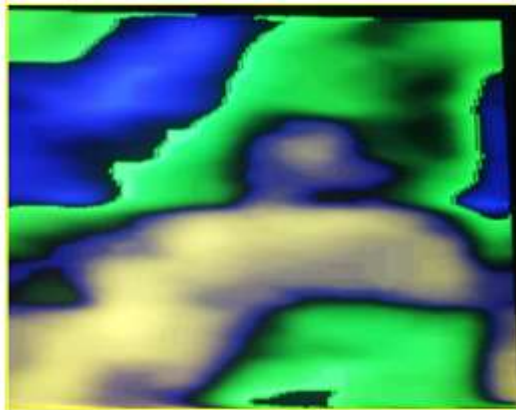
Şekil 4.Elmas-Kare Algoritması ile Oluşan
25 Noktanın Birbirlerine Bağlanması



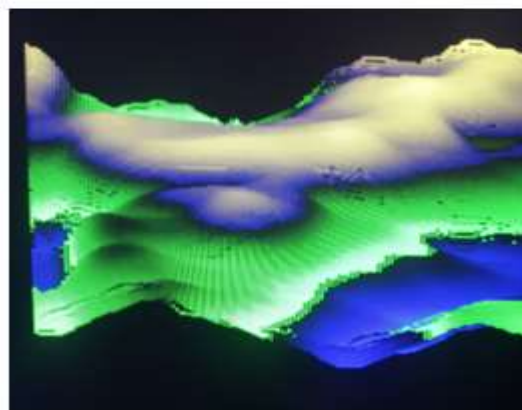
Şekil 5.Elmas-Kare Algoritması Algoritmasında
5. Tekrarlama Sonucu Oluşan Yüzey



Şekil 6.Elmas-Kare Algoritması ile Oluşturulan
Bir Görüntü



Şekil 7.Gauss Filtresinin Uygulanması Sonucunda
Netleştirilen Görüntü



Şekil 8. 45 Derecelik Açılı ile Döndürülen
Resmin Görüntüsü

3.2 Filtreleme ve Döndürme

Görüntüdeki gürültünün yani bozucu etkinin yok edilmesi veya indirgenmesinde görüntü yumuşatma ve iyileştirme operatörleri kullanılır. Bir resim üzerinde düzleştirme ve iyileştirme işleminin yapılmasında kullanılan en önemli teknik filtreleme tekniğidir. Highpass filtresi, Gauss filtresi, Sinc filtresi, Sobel operatörü filtresi, Laplace filtresi gibi filtre çeşitleri vardır. Bu filtrelerden Gauss filtresi blur efektini artırır ve görüntüyü yumuşatır (Taşçı 2011). Bir Gauss filtresinin Şekil 6'daki manzara resmine uygulanması ile meydana gelen yeni görüntü Şekil 7'deki gibidir.

Elmas-kare algoritması kullanılarak elde edilmiş olan ve Gauss filtresi ile pürüzsüz hale getirilen resimler 2 boyutlu olarak görülmektedir. Bu resimlerin 3 boyutlu olarak görülmesi için x eksenini etrafında döndürülmeleri gerekir. Diğer bir ifadeyle, resim sadece x-y eksenini olarak yani en ve boy olarak görülmektedir. Yükseklik miktarı yani z eksenini görülmemektedir. Resmin x eksenini etrafında belli açı değerleri ile döndürülmesi neticesinde, görüntünün en-boy-yükseklik özellikleri net bir şekilde görülür. Bir görüntünün x eksenini etrafında döndürülmesi için gerekli olan rotasyon matrisi şu şekildedir;

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Rotasyon matrisi kullanılarak resmin x eksenini etrafında 45 derecelik açı ile döndürülmesi sonucunda oluşan görüntü Şekil 8'de, 90 derecelik açı ile döndürülmesi sonucunda oluşan görüntü ise Şekil 9'da görülmektedir. Şekil 8 dikkatle incelendiğinde sarı renk ile belirtilen dağların yükseklik değerinin 45 derecelik açı ile bakıldığında daha net anlaşıldığı görülmektedir. Aynı şekilde vadiler dağın yamacında, göller ise zemin hizasında görülmektedir. Resmin 90 derecelik açıyla döndürüldüğü Şekil 9'da ise, görüntüde dağların arkasında bulunan yeşil bölge artık görülmemektedir.

3.3 Gri-ölçekli ve İkili Görüntü Oluşturma

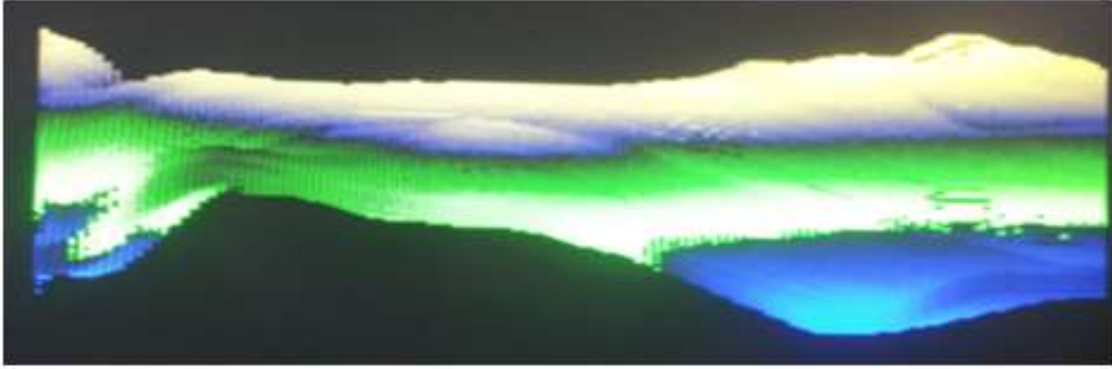
Genellikle renkli görüntüler üzerinde tanıma işlemleri gerçekleştirilmez. Görüntü işleme ve tanıma işlemlerinin gri görüntüler üzerinde yapılması daha kolaydır. Bu nedenle görüntülerin gri tonlar ile ölçeklendirilmesi, görüntü işleminin ilk adımı olarak düşünülebilir. İkili görüntü ise gri renkli resimden elde edilir. Gri seviye bir resimde 256 farklı parlaklık değeri vardır. Belirlenmiş olan bir eşik değerine göre gri seviyedeki resim ikili seviyeye indirgenir. Resim griden ikiliye indirgenirken, eşik değerinin üstündeki parlaklık değerleri 255'e yani maksimum gri seviye parlaklık değerine; eşik değerinin altındaki değerler ise 0'a yani minimum gri seviye parlaklık değerine çekilir. Resim sadece iki parlaklık değerinden oluşur.

Gri ölçekli görüntünün elde edildiği orijinal görüntü Şekil 10'da, gri ölçekli görüntü ise Şekil 11'de verilmiştir. İkili görüntünün elde edildiği orijinal görüntü Şekil 12'de, ikili görüntü ise Şekil 13'de verilmiştir. İki uygulama da hareketli görüntüler üzerinde gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Orijinal görüntü alınırken, Terasic firmasının üretmiş olduğu TRDB-D5M model kamera kullanılmıştır. Uygulama sonuçları FPGA'nın VGA çıkışı birimi kullanılarak ekranda görülmüştür.

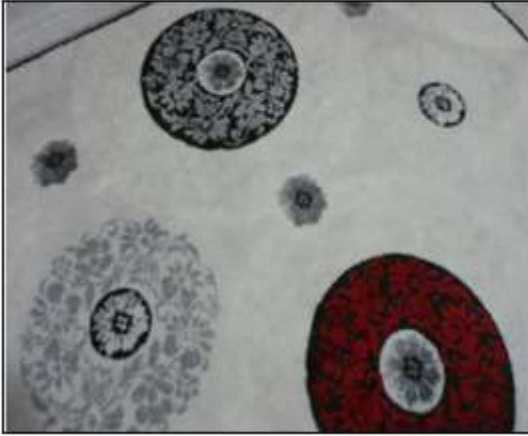
3.4 Kenar Bulma Uygulaması

Nesnelerin tanımlanması için sınırlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulur, bu nedenle kenar bulma uygulaması görüntü işleme ve görüntü analiz sistemleri için en önemli aşamalardan biri olmuştur. Görüntü üzerindeki belirgin geçişler, nesne kenarlarını gösterir ve kenar bulma algoritmaları bu geçişleri bulmayı amaçlar. Prewitt, Sobel, Canny, Marr ve Hildreth filtreleri literatürdeki temel kenar bulma algoritmaları olarak kabul edilmektedir (Aybar 2008). Bu çalışmada Sobel operatörü tercih edilmiştir ve filtre algoritması Verilog programlama dili ile oluşturulmuştur. Kenar bulma algoritmasının uygulandığı orijinal görüntü Şekil 12'de verilmiştir. 'Düşük eşikleme değeri' kullanılarak gerçekleştirilen kenar bulma uygulamasına ait görüntü Şekil 14'de, 'yüksek eşikleme değeri' kullanılarak gerçekleştirilen kenar bulma uygulamasına ait

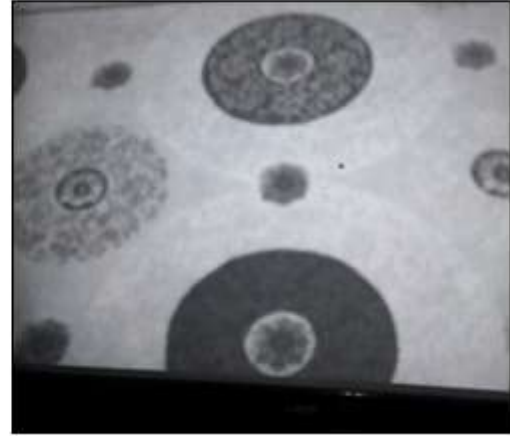
görüntü ise Şekil 15’de görülmektedir.



Şekil 9. 90 Derecelik Açı ile Döndürülen Resmin Görüntüsü



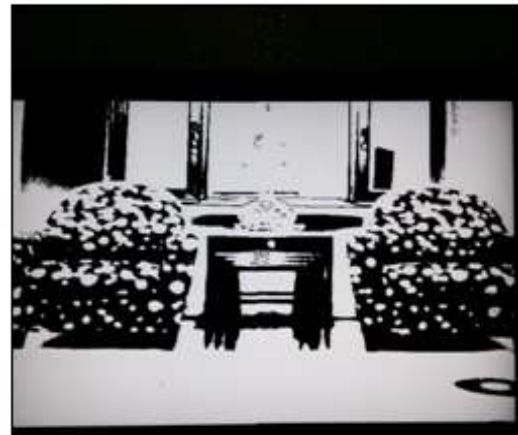
Şekil 10. Gri-ölçekli Görüntüye Dönüştürülecek Olan Orjinal Görüntü



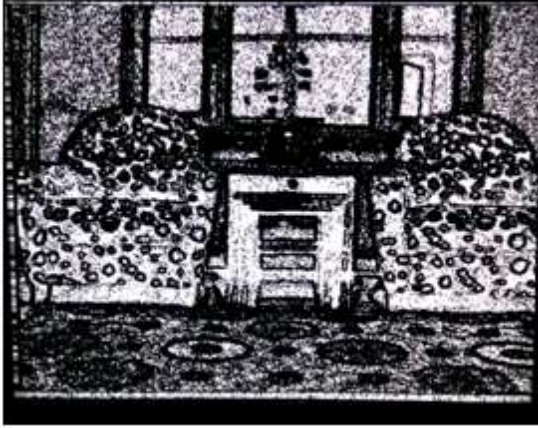
Şekil 11. Gri-ölçekli Görüntü



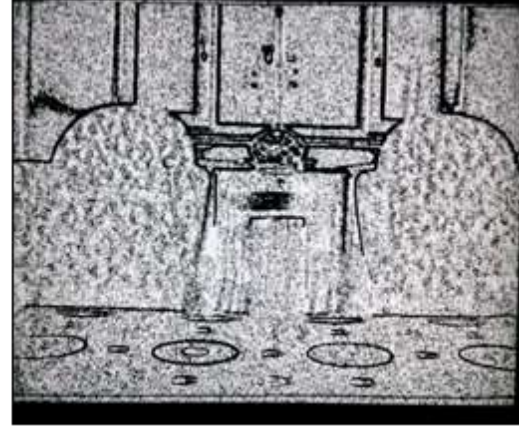
Şekil 12. İkili Görüntüye Dönüştürülecek Olan Orjinal Görüntü



Şekil 13. İkili Görüntü



Şekil 14. Düşük Eşikleme Değeri ile Kenar Bulma Uygulamasına Ait Görüntü



Şekil 15. Yüksek Eşikleme Değeri ile Kenar Bulma Uygulamasına Ait Görüntü

4. Sonuçlar ve Yorumlar

Bu çalışmada gömülü bir sistem olan 'Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)' üzerinde bazı görüntü işleme algoritmaları gerçekleştirilmiştir. İlk uygulamada farklı renk ve yükseklik değerlerinden oluşan yeryüzü şekillerinin gerçektekine benzer görüntülerinin elde edilmesi için 'elmas-kare' algoritmasından yararlanılmıştır. İkinci uygulamada ise, ilk uygulamada elde edilmiş olan görüntü üzerinde filtreleme yapılmıştır. Görüntü iyileştirme algoritması olarak 'Gauss filtreleme tekniği' kullanılmış ve görüntü netleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Netleştirilen resmin farklı açılardaki görüntülerinin elde edilmesi için 'rotasyon matrisi' kullanılmış ve yeni görüntüler elde edilmiştir. Çalışmadaki üçüncü uygulamada, görüntü işlemenin temeli olan 'ikili ve gri ölçekli görüntü' oluşturma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Son uygulamada ise, nesnelerin tanımlanmasında kullanılan ve görüntü analiz sistemlerinin en önemli aşamalardan biri olan 'kenar bulma' uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama için Sobel operatörü tercih edilmiştir.

Uygulamalarda donanım olarak Altera firmasının üretmiş olduğu DE2 çalışma ve geliştirme platformu tercih edilmiştir. Algoritmalar donanım tanımlama dillerinden biri olan Verilog HDL dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamalarda kullanılan modüllerin çalışması için gerekli olan saat sinyalleri, FPGA üzerinde bulunan osilatörler ve Quartus II programında bulunan PLL birimleri aracılığı ile elde edilmişlerdir.

Çalışmanın önemli bir özelliği, uygulamaların hareketli görüntüler üzerinde gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiş oluşudur. Gerçek zamanlı video görüntüleri, donanıma bağlanan 5 Megapiksel çözünürlüğe sahip bir kamera ile alınmıştır. Uygulama sonuçları da yine donanım üzerinde bulunan VGA çıkış birimi aracılığı ile ekranda gösterilmiştir. FPGA donanımı kullanılarak gerçekleştirilen görüntü işleme uygulamalarının yüksek hız ve performansa sahip olacağı bu çalışma neticesinde anlaşılmıştır.

4.1 Quartus II Derleme Raporu ve Yorumlanması

Uygulamalar için hazırlanan tasarım ve yazılan kodlar FPGA donanımına yüklenmeden önce, Quartus II yazılımı kullanılarak derlenir. Derleme neticesinde hata yok ise, oluşturulan proje ile ilgili derleme raporu Quartus II tarafından üretilir. Şekil 16'da örnek olarak verilmiş olan rapora göre; Elmas-Kare algoritmasının uygulanması ve görüntü üzerinde filtreleme-döndürme işlemlerinin Cyclone II 2C35 serisi bir geliştirme kartına sahip olan DE2 model FPGA donanımı ile gerçekleştirilmesi için, donanımda mevcut olan 33216 mantık işlem biriminin sadece 2997 adetinin kullanılması yeterli olmuştur. Gri-ölçekli ve ikili görüntü oluşturma ve görüntü üzerinde kenar bulma uygulamasına ait derleme raporu ise Şekil 17'de verilmiştir. Bu uygulamalar için 3036 adet mantık birimi kullanılmıştır. İki rapordan da görüleceği üzere, kullanılan mantık birimleri toplam mantık birimlerinin yaklaşık % 9'una tekabül etmektedir. Temel seviye uygulamaların bu şekilde gerçekleştirilmesi, ileri seviye ve karmaşık görüntü işleme uygulamalarında

FPGA kullanımının isabetli olacağını göstermektedir.

Flow Summary	
Flow Status	Successful - Tue Mar 10 13:50:33 2015
Quartus II 32-bit Version	12.0 Build 178 05/31/2012 SJ Web Edition
Revision Name	DE2_Default
Top-level Entity Name	DE2_Default
Family	Cyclone II
Device	EP2C35F672C6
Timing Models	Final
Total logic elements	2,997 / 33,216 (9 %)
Total combinational functions	2,804 / 33,216 (8 %)
Dedicated logic registers	1,111 / 33,216 (3 %)
Total registers	1111
Total pins	425 / 475 (89 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	36,864 / 483,840 (8 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	8 / 70 (11 %)
Total PLLs	1 / 4 (25 %)

Şekil 16. Elmas-Kare Algoritması Kullanılarak Görüntü Oluşturulması ve Görüntü Üzerinde Filtreleme-Döndürme İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi ile İlgili Quartus II Derleme Raporu

Flow Summary	
Flow Status	Successful - Mon Feb 16 10:31:50 2015
Quartus II 32-bit Version	12.0 Build 178 05/31/2012 SJ Web Edition
Revision Name	DE2_D5M
Top-level Entity Name	DE2_D5M
Family	Cyclone II
Device	EP2C35F672C6
Timing Models	Final
Total logic elements	3,036 / 33,216 (9 %)
Total combinational functions	2,328 / 33,216 (7 %)
Dedicated logic registers	2,064 / 33,216 (6 %)
Total registers	2064
Total pins	425 / 475 (89 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	213,028 / 483,840 (44 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	30 / 70 (43 %)
Total PLLs	1 / 4 (25 %)

Şekil 16. Gri-ölçekli ve İkili Görüntü Oluşturulması ve Görüntü Üzerinde Kenar Bulma Uygulamasının Gerçekleştirilmesi ile İlgili Quartus II Derleme Raporu



Acknowledgements

The early form of this study was presented at the AB15 Academic-Informatics Conference, 4-6 February 2015, in Eskişehir, Turkey.

References

- Altera Corporation (2014), "Altera DE2 Development and Education Board User Manual".
- Aybar, E. (2008), "Sobel İşleci Kullanılarak Renkli Görüntülerde Kenar Bulma", *AKU Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1): 217-230.
- Caner, H. (2006), "FPGA Donanımı Üzerinde Araç Plakası Tanıma Sistemi", *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Christe, S.A., Vignesh, M. & Kandaswamy, A. (2011), "An Efficient FPGA Implementation of MRI image filtering tumour characterization using Xilinx System Generator", *International Journal of VLSI Design & Communication Systems*, 2(4): 95-109
- Gacar, A. (2009), "FPGA Tabanlı Görüntü İşleme Arabirimi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü.
- He, C., Papakonstantinou A. & Chen, D. (2009), "A Novel SoC Architecture on FPGA for Ultra Fast Face Detection", *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Computer Design*, 412-413.
- Miller, G.S. (1986), "The Definition and Rengering of Terrain Maps, Proceedings Siggraph", *13th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 39-48.
- Özçelik, F. (2012), "Görüntü İşleme Algoritmalarının FPGA Üzerinde Gerçeklenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü.
- Pedroni, V. (2004), "Circuit Design with VHDL", *Massachusetts*, MTI Press.
- Rodriguez, M., Sanchez-Perez, J. & Gomez-Pulido, J.A. (2002), "An FPGA Based Implementation for Median Filter Meeting the Real-Time Requirements of Automated Visual Inspection Systems", *Proceedings of the 10th Mediterranean Conference on Control*, 7-8.
- Taşçı, M. (2011), "FPGA Kontrollü Robotik Göz", *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tekdur, O. (2012), "Sayısal Görüntü İyileştirme Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Bu Algoritmaların Gerçek Zamanlı Gömülü Sistemlerde Gerçeklenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeniçeri, R. (2007), "CMOS Görüntü Sensörü ve FPGA ile Sayısal Fotoğraf Makinesi Gerçeklenmesi", *Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği.

Ali R. Celik was born in Diyarbakir, Turkey, in 1989. He received the Electrical and Electronics Engineer degree from the Gaziantep University, Turkey, in 2011. He received the M.S. degree in Electrical and Electronics Engineering from the Sutcu Imam University, Turkey, in 2013. Since 2013 he has been research assistant in Dicle University, Turkey. His research interests include signal processing and embedded systems.

Ahmet Alkan, received his BSc. degree from Gaziantep University, MSc. Degree from KSU and Ph.D. from Sakarya University/ Turkey, all in electrical engineering. He is currently an Associate Professor of Electrical & Electronics Engineering at Kahramanmaraş Sutcu Imam University/Turkey. Dr. Alkan is a recipient of TÜBİTAK-BİDEB postdoctoral research grant for Guest Scientist Support Program (June. 2009 - March. 2010) in the Department of Biomedical Informatics at the Ohio State University. He has been a reviewer for many scientific journals. His research interests include biomedical signal processing, artificial neural networks, image analysis and understanding.