

**PAN-TİLT KAMERALAR İÇİN ARKA PLAN
MODELLEMENİN DONANIMDA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**HARDWARE IMPLEMENTATION OF BACKGROUND
MODELLING FOR PAN-TILT CAMERAS**

ALPEREN YILDIRIM

DOÇ. DR. ALİ ZİYA ALKAR
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2015

ALPEREN YILDIRIM'ın hazırladığı “**Pan-Tilt Kameralar İçin Arka Plan Modellemenin Donanımda Gerçekleştirilmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Harun ARTUNER
Başkan

.....

Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR
Danışman

.....

Doç. Dr. Umut SEZEN
Üye

.....

Yrd. Doç. Dr. Berkan DÜLEK
Üye

.....

Yrd. Doç. Dr. S. Esen Yüksel
Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Her zaman yanımda olan canım aileme...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

14/04/2015

Alperen YILDIRIM

ÖZET

PAN-TİLT KAMERALAR İÇİN ARKA PLAN MODELLEMENİN DONANIMDA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Alperen YILDIRIM

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR

Nisan 2015, 80 sayfa

Arka plan modelleme hedef takip sistemleri, trafik sistemleri, sınır güvenliği ve gözetleme sistemleri gibi hareketli nesne tespitine dayalı birçok görüntü işleme uygulamasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Arka plan modellemede temel amaç zaman içerisinde alınan piksel ölçümleri kullanılarak piksel, bölge veya görüntü istatistiklerinin belirlenmesidir. Arka plan belirlendikten sonra ise alınan görüntü çerçevelerinden arka plan bilgisi çıkartılarak ön plan tespiti yapılır.

Piksel ölçümlerinin istatistikleri belirlenirken alınan ölçümlerin hep aynı noktadan gelmesi gerektiğinden sabit kamera arka plan modelleme için temel varsayımdır. Kameranın yaptığı dönme hareketi, kameranın takılı bulunduğu platformun hareketiyle kamerada oluşan sarsıntı veya rüzgârdan dolayı kameranın salınım yapması gibi durumlarda ise temel varsayım olan sabit kamera varsayımı geçersiz hale gelmektedir.

Bu tezde yapılan çalışmanın amacı, kameranın baktığı nokta değişirken de arka plan bilgisinin kullanımının devam etmesini az maliyetli ve gerçek zamanlı olarak sağlamaktır. Sunulan çalışmada görüntü içeriğine bağlı olmaması, az kaynak kullanması ve başarımının yüksek olması sebebiyle Gauss dağılımı kullanılarak arka plan modelleme yapılmıştır. Kameranın hareket bilgisi kullanılarak alınan piksel ölçümlerinin yeniden rneklendirilmesiyle ve zaman içinde oluşturulan arka plan modelinin harekete uygun olarak yer değiştirilmesiyle piksel ölçümü arka plan resmi eşleştirilmesi yapılarak arka plan bilgisinin hareket esnasında da kullanımı sağlanmıştır.

Önerilen yöntem gerçek zamanlı çalışan bir donanım üzerinde 1080p@25 video için uygulanmış ve çeşitli görüntü dizileri üzerinde denenerek sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Pan-tilt, arka plan modelleme, hareketli nesne tespiti, hareketsiz kamera, Gauss dağılımı, hareket bilgisi, HD-SDI, FPGA.

ABSTRACT

HARDWARE IMPLEMENTATION OF BACKGROUND MODELLING FOR PAN-TILT CAMERAS

Alperen YILDIRIM

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics
Engineering**

Supervisor: Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR

April 2015, 80 pages

Background modelling is a frequently used method in most of the image processing applications. It is primarily based on moving object detection such as target tracking systems, traffic systems, border security and surveillance systems. The main objective in background modelling is to indicate the statistics of pixel, zone or image by using the pixel measurement taken over time. After determining the background, foreground detection is completed by subtracting the background information from the captured image frames.

The pixel measurements are always sampled from the same point while determining the statistics of pixel measurements. Therefore a still camera is the main assumption for background modelling. The still camera assumption is invalid in situations such as rotational motion of the camera, vibration due to the

movement of the platform at which the camera is attached, or oscillation of the camera due to wind.

The aim of the work carried out at this thesis is to use the background information despite the changing angle of camera in a low cost and real time manner. In this thesis, the background modelling is performed using Gaussian distribution since it requires less resource, is independent from the visual content and yields high performance. The pixel value is obtained by resampling the pixel measurements which are captured by the camera movement information and the constructed background model is relocated in accordance with the movement and the background information could still be used even for images with disturbed motion.

The purposed method is implemented on real time operating hardware for 1080p@25 video and tested on different image sequences to demonstrate its performance.

Keywords: Pan-tilt, background modelling, moving object detection, motionless camera, Gauss distribution, movement information, HD-SDI, FPGA.

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluŐturulmasında sağladığı katkılardan ötürü tez danışmanım Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR'a teŐekkürlerimi sunuyorum.

Her zaman yanımda olan aileme, tez süresince bana moral veren tüm arkadaşlarıma, işyerindeki yöneticilerime, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Kutalmış Gökalp İNCE'ye, Ali DOĞAN'a, Esra KOCAOĞLU'na ve ASELSAN A.Ő.'ye sonsuz teŐekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	viii
ÇİZELGELER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÖRNEK OLABİLECEK ÇALIŞMALAR	5
3. ARKA PLAN MODELLEME	11
3.1. Görüntü Çerçevesi Farkı ile Arka Plan Modelleme	12
3.2. Ortalama Filtresi ile Arka Plan Modelleme	13
3.3. Gauss Tabanlı Arka Plan Modelleme	14
3.3.1. Mahalanobis Mesafesi ve Ön Plan Belirtecinin Hesaplanması	16
3.3.2. Güncelleme Oranına Karar Verilmesi	17
3.3.3. Ortalama Değeri Güncellemesi	17
3.3.4. Varyans Değeri Güncellemesi	18
3.4. Gauss Karışım Metoduyla Arka Plan Modelleme	18
4. TASARIMDA KULLANILAN TEKNİK BİLGİLER	20
4.1. SDI ve HD-SDI Standardı	20
4.1.1. Veri Biçimi	21
4.1.2. Senkronizasyon Paketleri	22
4.2. Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)	23
4.3. Durağan Rastgele Erişimli Bellek (SRAM)	25
5. ÇALIŞMANIN DONANIM ÜZERİNDE GERÇEKLENMESİ	27
5.1. Sistem Tanımı	27
5.2. Bilgisayar ve FPGA Arayüz Programlarının Hazırlanması	31
5.2.1. Seri Kanal Veri Alıcı ve Komut Değerlendirme Bloğu	32
5.2.2. Arka Plan Modelleme Arayüzü Programı	33
5.3. HD-SDI Video Çözücü-Oluşturucu Bloğu	34
5.4. Algoritma Bloğu	38

5.4.1.	5x5 Filtre Modülü	39
5.4.2.	Ondalıklı Hareket Adaptasyon Modülü	42
5.4.3.	Bellek Okuma ve Tam Sayı Hareket Adaptasyon Modülü	45
5.4.4.	Algoritma Modülü.....	48
5.5.	Deneysel Sonuçlar, Başarımlar ve Limitler.....	53
6.	SONUÇLAR.....	61
	KAYNAKLAR.....	62
	EKLER	66
	ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1. Pan-Tilt hareket	2
Şekil 2. Farklı görüntülerden eşleştirme matrisinin çıkarılması [6].....	5
Şekil 3. Eşleştirilmiş resimlerden panorama resminin oluşturulması [6]	5
Şekil 4. Aynı uzama aktarılmış arka plan resimlerinden panorama resminin ve ön plan resminin oluşturulması [7].....	6
Şekil 5. Görüntülerdeki ilgi noktalarının bulunması [9].....	7
Şekil 6. İlgi noktaları birleştirilerek sahne mozaığının oluşturulması [9]	7
Şekil 7. Duran nesnelere kullanılarak arka plan modelleme yapılması [10].....	8
Şekil 8. Tarama yapılarak oluşturulan anahtar görüntü çerçeveleri haritası [11]	9
Şekil 9. Arka plan modelleme örneği [14]	12
Şekil 10. Görüntü çerçevesi farkı ile arka plan modelleme örneği [17].....	13
Şekil 11. Gauss dağılımı	15
Şekil 12. FPGA'lerin iç yapısı [25]	23
Şekil 13. Virtex5 FPGA'li 3U-VPX sinyal işleme kartı	24
Şekil 14. FPGA ve QDR-SRAM'in birlikte çalışma şekli [28]	26
Şekil 15. Görüntü çerçevelerinin simülasyon resminde kaydırılması	28
Şekil 16. Sistem modeli	29
Şekil 17. FPGA bloklarının toplu halde gösterimi	30
Şekil 18. Seri kanal veri alıcı ve komut değerlendirme bloğu	32
Şekil 19. Seri kanal komut değerlendirme bloğu durum makinesi	33
Şekil 20. Arka plan modelleme arayüzü programı	34
Şekil 21. HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğu	35
Şekil 22. Algoritma bloğu	38
Şekil 23. Algoritma bloğuna gelen piksel ölçümlerinin sırayla blok belleklere yazılması	40
Şekil 24. Blok belleklerden gelen verinin çoklayıcıdan geçirilmesi	41
Şekil 25. Yazmaçlarda kaydırılan piksel ölçümlerinin filtreden geçirilmesi ve algoritmaya verilmesi.....	41
Şekil 26. Alınan piksel ölçümlerinin yeniden örneklenmesi	42
Şekil 27. 5x5 Filtre modülünden gelen piksel ölçümlerinin blok belleklere alınması ve çoklayıcıdan geçirilmesi.....	43

Şekil 28. Yazmaçlara alınan piksel ölçümlerinin kaydırılması.....	44
Şekil 29. QDR-SRAM'lerden okuma ve harekete adaptasyon.....	46
Şekil 30. Bellekte bulunan arka plan resminin kaydırılması.....	47
Şekil 31. Dinamik arka planlı görüntü için farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü, ortalama, varyans ve ön plan resimleri.....	55
Şekil 32. Normal arka planlı görüntü için farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü, ortalama, varyans ve ön plan resimleri.....	56
Şekil 33. Hızlı titreşen kameradan farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü ve ön plan resimleri.....	57
Şekil 34. Hızlı titreşen kameradan farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü ve ön plan resimleri.....	58
Şekil 35. Arka plan modelleme projesi FPGA özet sayfası.....	70

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. SDI video standartları [22]	20
Çizelge 2. HD-SDI video akışı [23]	22
Çizelge 3. Bilgisayardan FPGA'e gönderilecek verinin formatı.....	31
Çizelge 4. HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğunun önemli girdileri-çıktıları	37
Çizelge 5. Yatayda 1000 piksele sahip kamera için dönme hızı – ön plan tespitine uygun görüntü yüzdesi ilişkisi	59
Çizelge 6. SMPTE-292M video akışı ve çözümleyici sinyaller.....	66
Çizelge 7. Algoritma bloğunda yapılan İşlemler.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μ	Ortalama
σ^2	Varyans
\approx	Yaklaşık Eşit

Kısaltmalar

BRAM	Block Random Access Memory	Rastgele Erişimli Blok Bellek
DSP	Digital Signal Processing	Sayısal Sinyal İşleme
EAV	End of Active Video	Aktif Video Sonu
ED	Enhanced Definition	Gelişmiş Çözünürlük
FPGA	Field Programmable Gate Array	Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri
HD	High Definition	Yüksek Çözünürlük
HD-SDI	High Definition-Serial Digital Interface	Yüksek Çözünürlüklü Seri Sayısal Video
HDL	Hardware Design Language	Donanım Tanımlama Dili
MGT	Multi Gigabit Transceiver	Çok kanallı Yüksek Hızlı Alıcı-Verici
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor	Metal Oksit Yarı İletkenli Transistör
SAV	Start of Active Video	Aktif Video Başlangıcı
SD	Standart Definition	Standart Çözünürlük
SDI	Serial Digital Interface	Seri Sayısal Arayüz
SMPTE	Society of Motion Picture Television Engineers	Hareketli Görüntü ve Televizyon Mühendisleri Birliği

SRAM	Static Random Access Memory	Durağan Rastgele Erişimli Bellek
VHDL	VHSIC Hardware Description Language	Yüksek Hızlı Devreler İçin Donanım Tanımlama Dili

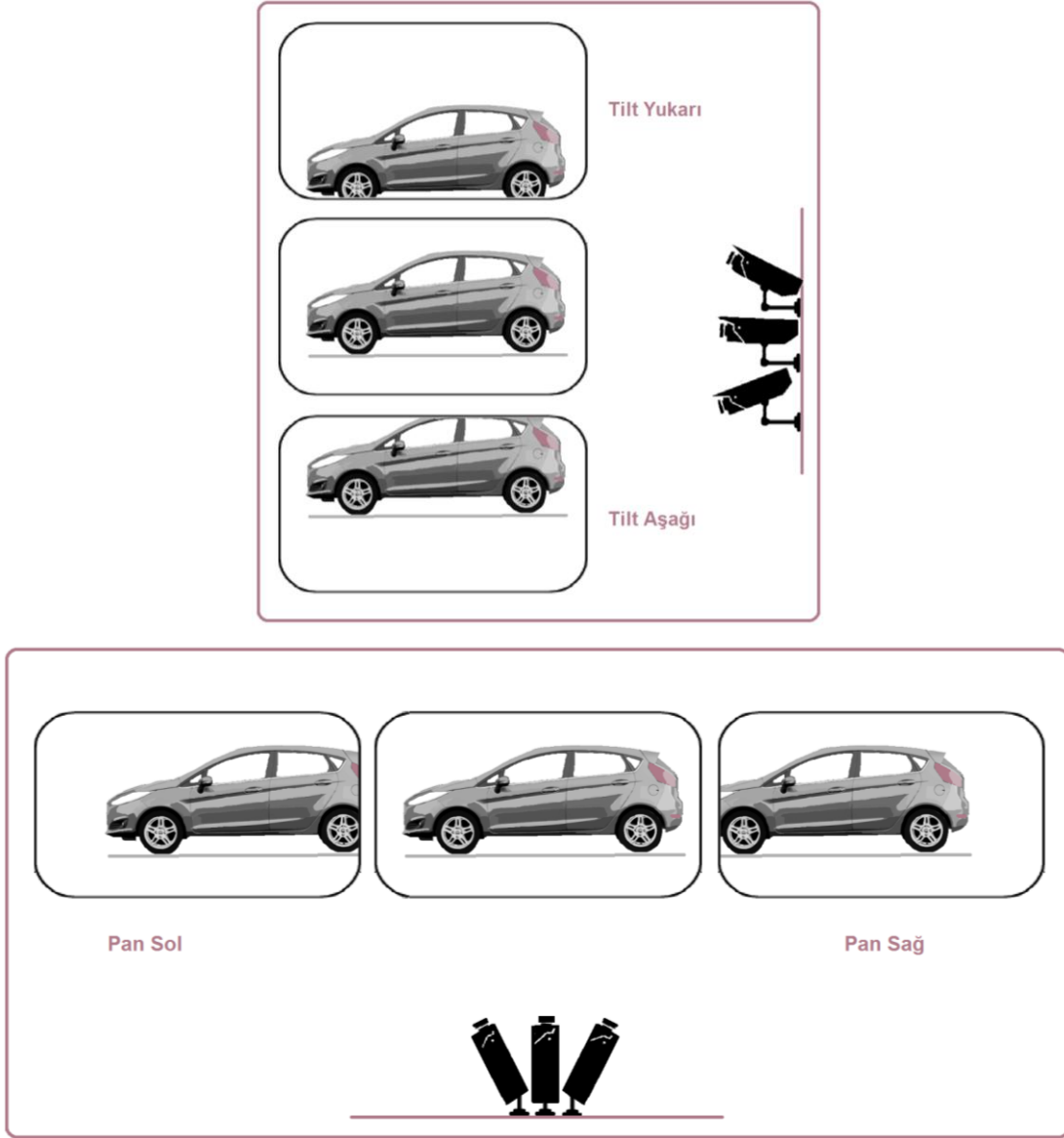
1. GİRİŞ

Görüntü işleme ve bilgisayarlı görü uygulamalarında, hareketli nesne tespit algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı hedef takip, sınır güvenliği ve gözetleme sistemleri görüntüdeki hareketli nesnelerin tespiti üzerine tasarlanmıştır [1]. Görüntüdeki hareketli nesnelerin tespiti ise birçok uygulamada arka planın modellenmesi ile başlar [2]. Günümüzde sıklıkla kullanılmaya başlanılan arka plan modelleme algoritmalarının amacı zaman içerisinde alınan ölçümler kullanılarak piksel, bölge veya görüntü istatistiklerinin belirlenmesidir.

Arka plan modelleme algoritmalarının temel varsayımı kameranın hareketsiz olduğudur [3]. Bu sayede bir piksel için yeni alınan ölçümün, geçmişteki ölçümler ile benzerliğine bakılarak, gözlemlenen noktada değişiklik olup olmadığı belirlenir. Daha önceki ölçümler ile tutarsız olan pikseller muhtemel hareket bölgelerini sağlar. Fakat gerçek uygulama alanlarının çoğunda kameralar hareketsiz değildir [4]. Hedef takip sistemlerinde takibin başlamasından hedefe kilitlemeye kadar geçen sürede, silah sistemlerinde mühimmatın çıkış anında, sınır güvenliği sistemlerinde rüzgârın etkisiyle veya hareketli platformlara takılı kameralarda platformun hareketi sonucu, kameralar dönme ve salınım hareketleri yapmaktadır. Pan (sol-sağ eksen) ve tilt (yukarı-aşağı eksen) olarak sınıflandırabileceğimiz bu hareketler Şekil 1’de gösterilmiştir. Kameranın yeterince uzağa baktığı durumlar için pan ve tilt hareketlerindeki yaklaşma ve uzaklaşma miktarları gözardı edilebilir.

Gerçek zamanlı arka plan modelleme yapılırken kameranın hareketi sonucu var olan arka plan bilgisi sıfırlanarak yeni konuma göre tekrar oluşturulmaya çalışılırsa, piksel istatistiklerinin oluşturulabilmesi için bir süre beklemek gerekecektir. Daha ötesi kameranın salınım yapması durumunda arka plan modelleme yapmak mümkün olmayacaktır. Bu çalışmanın amacı, kamera hareket etse bile var olan arka plan bilgisinin kullanımının devamını sağlayarak hareket anında da arka plan modellemeye devam edebilmektir. Soruna çözüm sunan geçmiş çalışmalar Bölüm 2’de incelenmiştir. Genellikle panorama oluşturmaya dayalı bu çalışmaların yüksek işlem gücü gereksinimi nedeniyle gerçek zamanlı çalışan bir sistemde uygulanmaları oldukça zordur ve yüksek miktarda bellek

ihtiyacı olması sebebiyle maliyetleri ve güç tüketimleri yüksektir. Ayrıca çoğu örnek de panorama görüntü içeriğine bağlı kalınarak oluşturulmuştur.



Şekil 1. Pan-Tilt hareket

Bu çalışmanın amacı maliyetin ve güç tüketiminin önemli olduğu sistemlerde, gerçek zamanlı olarak çalışan, görüntü içeriğine bağlı kalmayan, az miktarda işlem gücü ve bellek kullanarak hareketli kameralarda arka plan modelleme sorununa çözüm bulmaktır. Hareket bilgisinin görüntü içeriğinden bağımsız olarak elde edilmesi için elektro-mekanik hareket algılayıcıların kullanılması önerilmiştir. Bellek ihtiyacını azaltmak için ise panorama oluşturmak yerine, arka plan resminin uzamda yeni gelen kareye eşlenmesi yolu tercih edilmiştir. Bunu yapmak için ya

arka plan resmini piksellerin yeni konumuna göre yeniden örnekleme ya da alınan piksel ölçümlerini arka plan resmine göre yeniden örnekleme gerekmektedir. Hareketin ondalıklı kısmının da olduğunu göz önünde bulundurduğumuzda eğer arka plan resmi harekete göre yeniden örneklenirse bellekten arka plan resmini okumak, matematiksel işlemlerle kaydırmak ve yeniden belleğe yazmak yüksek işlem gücü ve zamanı gerektirecektir. Diğer bir yandan, eğer piksel ölçümleri hareket miktarına göre yeniden örneklenirse de kamera hareketi devam ettikçe bir süre sonra geçerli arka plan resmi kalmayacak eldeki tüm arka plan resmi kameranın eski konumuna ait olacaktır. Bu sebeple hem arka plan resminin hem de alınan piksel ölçümlerinin birbirlerine göre sürekli kaydırılması gerekmektedir.

Hareketin hem tam sayı kısmının hem de ondalıklı kısmının olmasının getirdiği dezavantajlardan kurtulmak için tam sayı kısım ve ondalıklı kısım iki ayrı hareket gibi düşünülmüştür. Bu nedenle ilk olarak hareket tam sayı kısım ve ondalıklı kısım olarak ikiye ayrılır. Yataydaki ve dikeydeki öteleme bilgisinin tam sayı olan kısmı kullanılarak arka plan resmi (her bir pikselin ortalama ve varyans bilgilerinin tutulduğu resim) başlangıç adresi değiştirme şeklinde hareket ettirilir ve yeni konumuna getirilir. Hareket bilgisinin ondalıklı kısmına göre de yeni gelen görüntü karesi yatayda ve dikeyde yeniden örneklenir. Hareketin tam sayı kısmının daha çok veri bulduran arka plan resmine başlangıç adresi değiştirme şeklinde uygulanması ve hareketin ondalıklı kısmının daha az veri bulduran piksel ölçümlerine yeniden örnekleme şeklinde uygulanması sayesinde, daha az işlem yükü ve daha az hata payı ile arka plan resminin keskinliği korunarak, arka plan ve yeni gelen pikseller uzamda eşlenmiş olur. Önerilen yöntem ile kamera hareket etse bile var olan arka plan bilgisinin görüntüde kalan kısmı doğru bir şekilde kullanılarak ön plan tespitine ve arka plan modellemeye devam edilebilir.

Bu çalışmada, görüntü içeriğine ve görüntüdeki hareketli kısmın hızına bağlı olmaması, görüntüdeki salınım yapan pikselleri arka plan olarak işaretleyebilmesi, parametrik olması sayesinde görüntüye uyum sağlayabilmesi, bellek ihtiyacının azlığı ve düşük işlem gücüyle çalışması sebebiyle Gauss tabanlı arka plan modelleme yöntemi tercih edilmiştir. Gauss tabanlı arka plan modellemenin diğer yöntemlerle karşılaştırılması Bölüm 3'te yapılacaktır. Gauss tabanlı arka plan modelleme yapılırken her bir pikselin alınan ölçümlerinin Gauss dağılımına uygun

davrandığı kabul edilerek her bir piksel için ortalama ve varyans değeri bellekte tutulur. Yeni gelen piksel ölçümünün, pikselin o ana kadarki aldığı ölçüm değerleriyle oluşturulan Gauss dağılımında nereye düştüğüne bakılarak ön plan veya arka plan belirlenmesi yapılır.

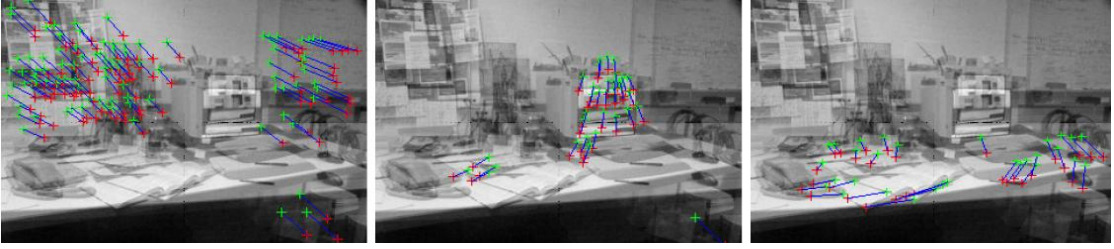
Bahsedilen yöntem HD-SDI (1080p@25) video girdisiyle Virtex5 FX100T alanda programlanabilir kapı dizileri (FPGA) kullanılarak gerçek zamanlı bir şekilde çalıştırılmıştır. Kameranin dönmesi sonucunda görüntü düzleminde oluşan ötelemenin elektro-mekanik algılayıcılardan (dönü ölçer veya kodlayıcı) alınan dönüş bilgisi [5] ile elde edildiği kabul edilmektedir. Bu varsayım MATLAB ortamında HD-SDI formatındaki görüntü çerçevelerinin ilk satırına kameranın hareket bilgisinin yazılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde HD-SDI video donanımında çözümlenirken görüntü çerçevesinin ilk satırından kameranın hareket bilgisi alınmakta ve buna göre önerilen yöntemde bahsedilen yeni alınan piksel ölçümlerinin ve bellekteki arka plan resminin uzamda eşleşme işlemi yapılmaktadır. Son olarak da eşleşen yeni piksel ölçümleri ve arka plan resmi kullanılarak Gauss tabanlı arka plan modelleme gerçekleştirilir.

Bölüm 2'de yapılan çalışma ile ilgili emsal olabilecek geçmiş çalışmalar araştırılmaktadır ve geçmiş çalışmalar ile önerilen yöntem karşılaştırılmaktadır. Bölüm 3'te arka plan modelleme algoritmaları ve çalışmada kullanılan algoritma incelenmektedir. Bölüm 4'te girdi olarak kullanılacak videonun standardı, donanımda kullanılan tümleşik devreler anlatılmaktadır. Bölüm 5'te sistem modeline genel olarak bakıldıktan sonra bilgisayar arayüzü ve FPGA blokları anlatılmaktadır. Son olarak Bölüm 6'da ortaya konulan çalışma değerlendirilmektedir.

2. ÖRNEK OLABİLECEK ÇALIŞMALAR

Arka plan modellemenin görüntü işleme ve bilgisayarlı görü uygulamalarında sıklıkla kullanılması sonucu, arka plan modellemede ortaya çıkan dinamik arka plan ve kamera hareketi gibi sorunlar bazı çalışmalara konu olmuştur. Bu çalışmalardan örnek olarak seçilen [6], [7], [9], [10] ve [11] nolu makaleler sırasıyla incelenecektir.

İlk çalışmada serbest hareket eden bir kamera için çok katmanlı düzlemsel bağlantı ve panorama kullanılarak arka plan modelleme yapılmıştır [6]. Çalışmada kamera hareket ederken eşleştirme matrisinin çıkarılması için bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma kullanılarak kameranın hareketi sonucu baktığı görüntülerin eşleştirilmesi yapıldığında, kameranın baktığı farklı noktalardaki arka plan resimlerinin hareketli bölgelerin aksine aynı düzlemde olduğu Şekil 2’de görülmektedir. Eşleştirilerek aynı düzleme getirilmiş arka plan resimleri kullanılarak Şekil 3’te görüldüğü gibi panorama görüntüsü oluşturulur. Arka plan resimlerinden oluşturulmuş panorama görüntüsü ve alınan görüntü çerçeveleri kullanılarak ön plandaki hareketli nesnelere ortaya çıkarılmaktadır.

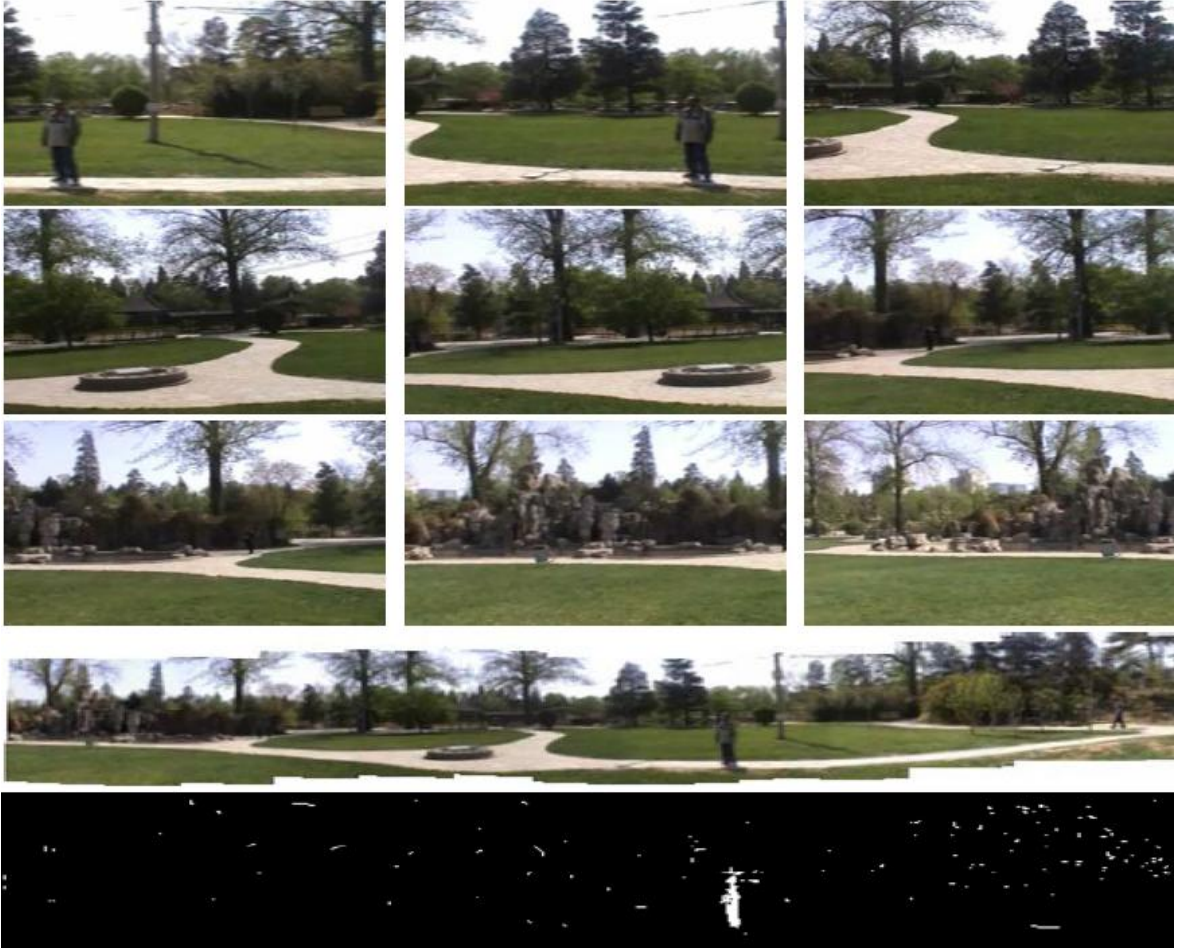


Şekil 2. Farklı görüntülerden eşleştirme matrisinin çıkarılması [6]



Şekil 3. Eşleştirilmiş resimlerden panorama resminin oluşturulması [6]

Panorama oluşturma hareketli kamerada arka plan modelleme yapılabilmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. İkinci makalede [7] anlatılan yöntemde göre kameranın baktığı nokta değişirken alınan piksel ölçümlerindeki optik akış hesaplanarak görüntü çerçevelerindeki hareket miktarı bulunur ve bulunan optik akışa uygun bir kestirici kullanılarak da arka plan resimleri aynı uzama aktarılarak panorama resmi oluşturulur. Şekil 4'te arka plan resimlerinin aynı uzama aktarılmasıyla panorama resminin ve ön plan resminin oluşturulması görölmektedir. Arka plan resimlerinden oluşturulmuş panorama resmi ve yeni alınan piksel ölçümleri kullanılarak arka plan modelleme yapılır. Son olarak da bölütleme yapılarak hareketli nesnelere tespit edilir. Bu Şekilde kamera hareket ederken de arka plan modellemeye devam edilir.



Şekil 4. Aynı uzama aktarılmış arka plan resimlerinden panorama resminin ve ön plan resminin oluşturulması [7]

Üçüncü makalede hareketli nesne bölütleme yöntemi kullanılarak yatay ve dikey dönme hareketleri yapabilen (PTZ) kameralarda arka plan modelleme yapılmıştır [9]. Yöntem sahnenin mozağını çıkarmaya ve mozaik ile arka plan modeli oluşturarak Gauss karışımı arka plan çıkarma algoritması uygulamaya dayanır. Önerilen yöntem, örtüşen görüş alanları olan resimlerin çekilmesini ve Şekil 5'teki gibi bu resimlerin ikişer ikişer ilgi noktalarının bulunarak birleştirilmesiyle Şekil 6'daki sahne mozağının oluşturulmasını içerir. Sahne mozağı çevrimdışı olarak oluşturulur. Sahne mozağı, Gauss karışımı arka plan çıkarma algoritmasına girdi olarak verilerek mozaik arka plan modeli çıkarılır. Kameranın hareketi boyunca oluşturduğu çerçeveler arka plan mozağı ile eşleştirilerek aralarındaki düzlemsel bağıntı hesaplanır. Düzlemsel bağıntı ile hangi pikselin hangi mozaik pikseline karşılık geldiğini belirlemek suretiyle arka plan modeli güncellenir ve hareketli nesneler bölütlenir.



Şekil 5. Görüntülerdeki ilgi noktalarının bulunması [9]



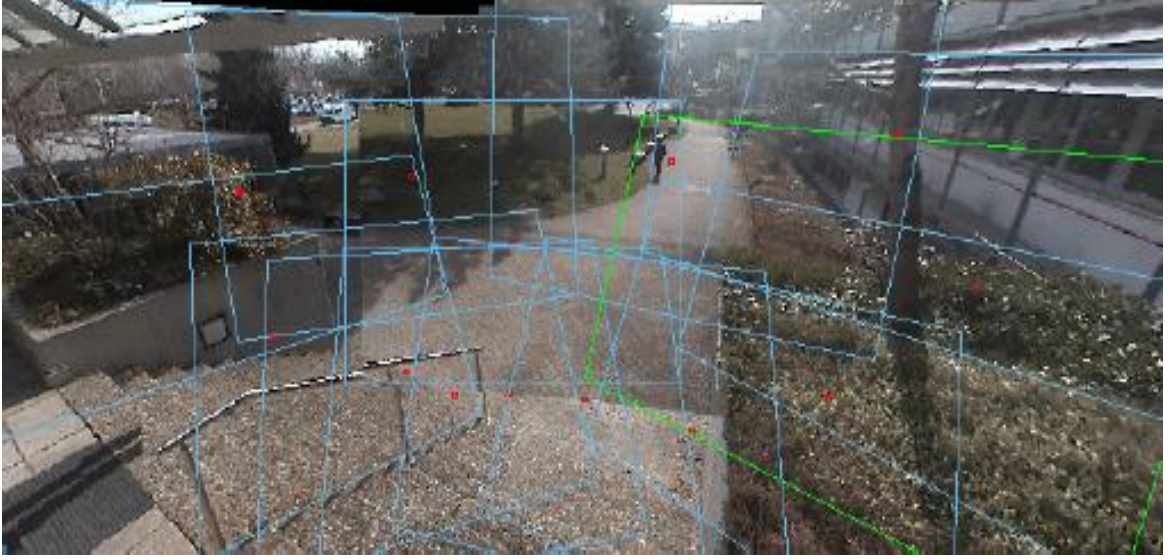
Şekil 6. İlgi noktaları birleştirilerek sahne mozağının oluşturulması [9]

Dördüncü makalede anlatılana göre başarılı ve etkili bir arka plan modelleme algoritması kullanılırsa duran nesnelere kullanılarak yerel sahne değişiklikleri, girdi görüntüsünden ve o ana kadarki hesaplanmış arka plan görüntüsünden belirlenebilir ve bu şekilde de kamera hareketi çıkarılabilir [10]. Kameranın hareket miktarı bulunduğundan sonra kamera hareket ettikçe arka plan resminin panorama resmi oluşturulur. Yeni girdi görüntüsünün oluşturulan bu panorama resmiyle uyuşmayan kısımları ön plan kabul edilerek arka plan modelleme yapılmış olur. Şekil 7'de duran nesnelere kullanılarak arka plan modelleme yapılması gösterilmiştir.



Şekil 7. Duran nesnelere kullanılarak arka plan modelleme yapılması [10]

Beşinci makalede anlatılana göre anahtar görüntü çerçevesi kullanmak, geçmiş çalışmalardan farklı olarak panorama oluşturma işlemini hızlandırır, oluşan hataları ve işlem yükünü azaltır [11]. Öncelikli olarak kamera düzgün bir şekilde işlem yapılacak olan alanı tarar. İlk tarama esnasında alınan görüntü çerçeveleri düzlemsel bağlantı kullanılarak panorama resmine aktarılır ve buna uygun olarak Şekil 8'deki gibi piksel koordinat sistemi ve anahtar görüntü çerçeveleri haritası oluşturulur. Çalışma esnasında ise alınan görüntü çerçevelerinin bu anahtar görüntü çerçeveleri haritasının bir elemanına uyup uymadığına bakılır. Eğer büyük oranda uyum sağlanmışsa başlangıçta hazırlanmış referans koordinatlar kullanılarak alınan görüntünün panorama ile eşleştirmesi hızlıca yapılarak arka plan güncellenmesi ve ön plan tespiti yapılır.



Şekil 8. Tarama yapılarak oluşturulan anahtar görüntü çerçeveleri haritası [11]

Anlatılan geçmiş çalışmalar incelendiğinde kamera hareket ederken de arka plan modellemeye devam edebilmek için çeşitli yöntemlerin önerildiği görülmektedir. Bu yöntemler temel olarak, farklı yollarla kamera hareketini bulma, kamera hareketi bulunduğundan sonra uygun algoritma kullanılarak arka plan resimlerini panorama resmine aktarma ve son olarak da arka plan modelinin güncellemesi ve ön plan tespitinin yapılması şeklinde kurgulanmıştır.

Trafik sistemleri, hedef takip sistemleri ve gözetleme sistemleri gibi birçok video işleme uygulamasında algoritmanın gerçek zamanlı çalışması mecburidir. Anlatılan yöntemlere bakıldığında ise ilgi noktalarının bulunması, düzlemsel aktarımların yapılması, dönüşüm matrislerinin bulunması, anahtar görüntü çerçevelerinin oluşturulması ve panorama oluşturma gibi işlemler ağır işlem yükü getireceği için bu algoritmaların gerçek zamanlı çalışması çok mümkün gözükmemektedir ve bahsi geçen makalelerin hiçbirinde de herhangi bir donanımda gerçekleştirildiği yazmamaktadır. Yine bu çalışmalar incelendiğinde ilgi noktalarının bulunması, düzlemsel bağlantı matrislerinin bulunması ve eşleştirme işlemleri, görüntülerin içeriğine bağlı işlemlerdir. Örnek verilecek olursa, parlaklık değişiminin çok fazla olmadığı, çok fazla içeriğe sahip olmayan basit görüntülerde bu tür içeriğe bağlı işlemlerin yapılması zor olacaktır. Birçok görüntü işleme uygulamasında ise maliyet önemli bir kriterdir. Panorama oluştururken kameranın görebileceği tüm görüntü çerçevelerinin sığabileceği kadar büyük, hızlı erişimli

belleklere ihtiyaç duyulacaktır ve ağır işlem yükü için de hızlı işlemcilerin kullanılması gerekmektedir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde ve arka plan modellemenin görüntü işleme uygulamaları için kritik olduğu düşünüldüğünde, az maliyetli, gerçek zamanlı çalışabilen, başarı oranı yüksek ve etkili bir hareketli kameralar için arka plan modelleme yöntemine ihtiyaç olduğu grlmektedir.

Bu soruna zm olarak tezde önerilen yöntem ise az maliyetli, gerçek zamanlı çalışabilen ve düşük işlem gücü gerektiren bir yöntem olarak geçmiş çalışmalardan ayrılmaktadır.

3. ARKA PLAN MODELLEME

Görüntülerdeki ilgi noktaları genellikle hareketli olan araba, insan veya metin gibi ön plan kısımlarıdır. Arka plan modelleme görüntülerdeki bu hareketli ön plan kısımlarını görüntüden ayırt etmek için görüntü işleme ve bilgisayarlı görü uygulamalarında yaygın şekilde kullanılan bir tekniktir. Bir pikselin zaman içerisinde alınmış ölçümleri kullanıldığı için kameranın hareketsiz olması temel varsayımdır [3]. Temel olarak, bir pikselin zaman içerisinde alınan ölçümlerinin istatistiklerine dayalı olarak çalışır.

Arka plan modelleme için çeşitli yöntemler önerilmiştir [12].

- Görüntü çerçevesi farkı metodu,
- Ortalama filtresi metodu,
- Tek modlu Gauss dağılımı metodu ve
- Gauss karışım metodu

bu yöntemlerden en çok kullanılanlarıdır. Bahsedilen arka plan modelleme algoritmaları sınır güvenliği, trafik izleme, insan tespiti, nesne takibi ve içerik tabanlı video kodlamaya kadar çok farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır [13].

Görüntü çerçevesi farkı yönteminde başarımları görüntünün içeriğine ve görüntüdeki hareketli kısmın hızına bağlıdır ve arka plan resminin yüksek doğrulukla oluşturulması zordur. Ortalama filtresi yönteminde ölçüm değeri belirli bir aralıkta salınım yapan piksellerin arka plan olarak işaretlenmesi zordur ve yüksek olasılıkla ön plan olarak işaretleneceklerdir. Gauss karışım modelinin ise gerçek zamanlı bir donanımda gerçekleştirilmesi zordur. Birden fazla Gauss dağılımını tutmak ancak büyük belleklerle mümkün olacaktır ve birden fazla Gauss dağılımı ile işlem yapmak da yüksek miktarda işlem gücü gerektirecektir. Görüntü içeriğine ve görüntüdeki hareketli kısmın hızına bağlı olmaması, görüntüdeki salınım yapan pikselleri arka plan olarak işaretleyebilmesi, parametrikliği sayesinde görüntüye uyum sağlayabilmesi, bellek ihtiyacının azlığı ve düşük işlem gücüyle çalışması sebebiyle bu çalışmada tek modlu Gauss tabanlı arka plan modelleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 9. Arka plan modelleme örneği [14]

3.1. Görüntü Çerçevesi Farkı ile Arka Plan Modelleme

Hareket takip algoritmaları ön plan veya hareketli nesnelerin arka plandan ayrıştırılıp bölütlenmesi ile başlar. Bunu gerçekleştirmenin en kısa yolu, arka plan olarak kabul edilen bir görüntü çerçevesiyle $B(t)$, t anında alınan görüntü çerçevesini $I(t)$ karşılaştırmaktır [15]. Denklem 1’de görüldüğü üzere karşılaştırma yapılırken $I(t)$ görüntü çerçevesindeki piksel ölçümlerinden $B(t)$ görüntü çerçevesinde aynı pozisyondaki piksel ölçümleri çıkartılarak ön plan resmi $F(t)$ bulunur.

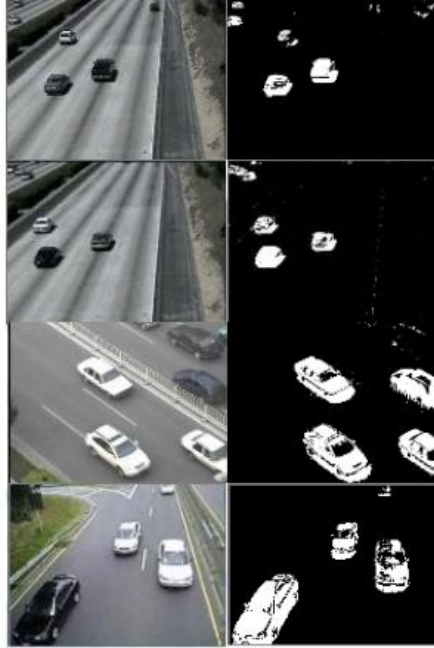
$$F(t) = I(t) - B(t) \quad (1)$$

Burada arka plan olarak alınan görüntü herhangi bir t anında alınan bir görüntüdür. Elde edilen fark görüntüsü iki görüntü çerçevesi arasındaki parlaklık bilgisi değişimlerini gösterir. Bu işlemin düzgün çalışabilmesi için tüm ön plan piksel ölçümlerinin sürekli değişmesi ve arka plan piksel ölçümlerinin sürekli sabit kalması gerekmektedir [16].

Denklem 2'deki gibi bir eşik değeri ile fark görüntüleri eşiklenerek ön plan çıkarım başarısı daha da yükseltilebilir.

$$|F(t + 1) - F(t)| > Eşik Değeri \quad (2)$$

Bu metodun doğruluğu arka plan resminin ne kadar doğrulukta alındığına ve ön plan piksellerinin ne hızda değiştiğine bağlıdır. Arka plan piksellerinin doğru seçimi bazı çalışmalarda görüntü çerçevelerini biriktirip optik akışa bakılarak geliştirilmeye çalışılmıştır [15]. Şekil 10'da anlık görüntüler ve görüntü çerçevesi farkı metodu ile bulunmuş ön plan resimleri gösterilmiştir.



Şekil 10. Görüntü çerçevesi farkı ile arka plan modelleme örneği [17]

3.2. Ortalama Filtresi ile Arka Plan Modelleme

Ortalama filtresi kullanılarak arka plan modelleme yapılırken arka plan resminin bulunması için t anına kadar gelen ardışık görüntü çerçevelerindeki piksel ölçümlerinin ortalaması alınır [12]. Denklem 3'te V görüntü karesi, x ve y pikselin

konumu ve t pikselin alındığı zaman olmak üzere ortalama alma denklemi gösterilmiştir.

$$B(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V(x, y, t - i) \quad (3)$$

Buradaki N ortalama hesaplamak için kullanılan ardışık görüntü çerçevesi sayısıdır, video hızına (bir saniyede alınan görüntü çerçevesi sayısı) ve görüntüdeki hareket miktarına uygun olarak seçilmelidir. Bulunan sonuç, piksel ölçümlerinin ortalama değerini verir ve arka plan resmi olarak kabul edilir. Arka plan resmi $B(x, y)$ bulunduktan sonra Denklem 4'teki gibi t anında gelen bir görüntü çerçevesinden arka plan resmi çıkarılıp bir değer ile eşiklenerek görüntüdeki hareketli kısımlar bulunabilir.

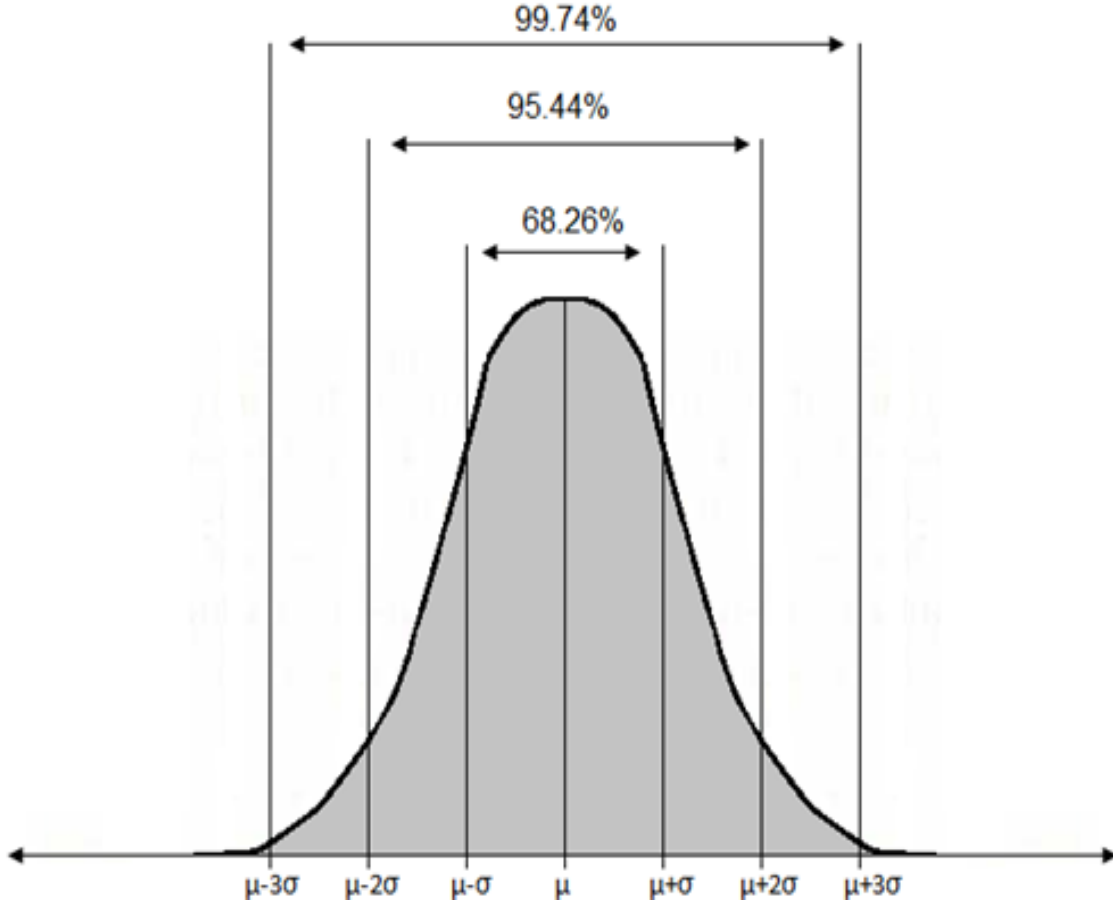
$$|V(x, y, t) - B(x, y)| > Eşik\ Değeri \quad (4)$$

Görüntü çerçevesi farkı ile arka plan modelleme yönteminde ve bu yöntemde sabit ve zamanla değişmeyen bir eşik değeri kullanımı, iki yaklaşımın da doğruluğunu sınırlandıracaktır. Bu nedenle eşik değeri görüntü içeriğine bağlı olarak zaman içinde güncellenebilir olmalıdır.

3.3. Gauss Tabanlı Arka Plan Modelleme

Gauss dağılımı [18] ile arka plan modelleme yapılırken her pikselin zaman içinde Gauss dağılımına uygun davrandığı kabul edilir ve buna uygun olarak her bir piksel için ortalama ve varyans değeri tutulur. Başlangıçta her bir piksel için dağılım ilklendikten sonra, yeni gelen piksel verileri Gauss dağılımının örneklenmiş bir noktası kabul edilerek, yeni alınan ölçüm için her bir pikselin ortalama ve varyans değeri belirli bir oranla güncellenir ve kullanılan bu orana güncelleme oranı denir. Gauss dağılımının görünümü, ortalama değeri, varyans değeri ve

varyans değerine göre dağılımın ortalama değeri etrafındaki birikme yüzdesi Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Gauss dağılımı

Ortalama ve varyans güncelleme oranına, yeni gelen pikselin ön plan mı yoksa arka plan mı olduğu tespitine göre karar verilir. Ön plan kararı verilen pikseller için düşük güncelleme oranı kullanılırken, arka plan kararı verilen pikseller için daha yüksek güncelleme oranı kullanılır. Pikselin ön plan mı yoksa arka plan mı olduğuna da yeni gelen ölçümün Gauss dağılımında nereye düştüğüne bakılarak karar verilir. Bu çalışmada sadece parlaklık bilgisi kullanılarak Gauss tabanlı arka plan modelleme yapılmıştır ve tüm anlatımlar sadece parlaklık bilgisi üzerine gerçekleşmiştir.

3.3.1. Mahalanobis Mesafesi ve Ön Plan Belirtecinin Hesaplanması

Mahalanobis mesafesi [19] bir dağılım ile bir nokta arasındaki mesafe ölçümüdür. Noktanın, dağılımın ortalama değerinden ne kadar standart sapması olduğu hakkında fikir veren çok boyutlu bir ölçümdür. Eğer bu ölçüm sıfır ise nokta, dağılımın ortalama değerindedir, ortalama değerinden uzaklaştıkça da Mahalanobis mesafesi artar.

Denklem 5'te görüldüğü gibi yeni piksel ölçümü geldiğinde ilk olarak bu ölçümün, geçmişte alınan ölçümlerden hesaplanmış ortalama değeriyle olan farkı hesaplanır.

$$d(x, y) = I(x, y) - \mu_k(x, y) \quad (5)$$

Hesaplanan fark değeri yine geçmişte alınan ölçümlerle hesaplanmış olan varyans değerine bölünerek Denklem 6'daki gibi Mahalanobis mesafesi elde edilir.

$$d_n(x, y) = \frac{d^2(x, y)}{\sigma_k^2(x, y)} \quad (6)$$

Denklem 7'de görüldüğü gibi hesaplanan Mahalanobis mesafesi bir sınır değeri ile eşiklenerek yeni alınan piksel ölçümünün ön plana ait bir nokta mı yoksa arka plana ait bir nokta mı olduğuna karar verilir.

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 & d_n(x, y) < \text{Eşik Değeri} \\ 1 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (7)$$

Eşik değerine karar verilirken kameranın baktığı görüntüdeki piksel ölçümlerinin ne kadar geniş bir aralıkta değer aldığı, kameranın hangi görüntüye baktığı ve kameranın özellikleri gibi parametrelere dikkat edilir. Bu çalışmada eşik değeri 1

olarak varsayılmıştır. Yani Mahalanobis mesafesi varyans değerinden büyükse o piksel ön plan pikseli olarak kabul edilmiştir.

3.3.2. Güncelleme Oranına Karar Verilmesi

Güncelleme oranı, yeni alınan piksel ölçümünün ne oranda arka plan bilgisine ekleneceğini belirler ve bir önceki işlem basamağında oluşturulan yeni alınan piksel ölçümünün arka plana mı yoksa ön plana mı ait olduğu kararına göre Denklem 1'deki gibi belirlenir. Eğer piksel ön plana aitse düşük güncelleme oranı α_f kullanılırken, arka plana aitse yüksek güncelleme oranı α_b kullanılır. Böylelikle ön plan piksellerinin arka plan piksellerine göre daha yavaş bir biçimde arka plan modeline eklenmesi sağlanır. Bu yaklaşım herhangi bir yanlış alarm oluşması durumunda bu alarmın zamanla unutulmasını sağlarken, sürekli hareket halinde olan nesnelerin arka plan modeline etkisini asgari miktarda tutar.

$$\alpha(x, y) = \begin{cases} \alpha_f & f(x, y) = 1 \\ \alpha_b & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (8)$$

Güncelleme oranı algoritmanın kullandığı sistemin ihtiyaçlarına göre belirlenir. Örneğin görüntüdeki hareketli kısımların hızı yeterince yüksekse ön plan güncelleme oranı yüksek alınabilir. Bu sayede görüntüye girip çıkmayan nesneler hızlıca arka plana eklenecek ve hareketli kısımlar işaretlenmeye devam edecektir. Bu çalışmada herhangi bir sistem gereği olmadı için ön plan ve arka plan güncelleme oranları anlık değiştirilebilir yapılmıştır.

3.3.3. Ortalama Değeri Güncellemesi

Ortalama değer, bir pikselin t anına kadar aldığı değerlerin ortalamasıdır ve pikselin oluşturduğu Gauss dağılımının bir bileşenidir. Ortalama değer yeni piksel ölçümleri geldikçe güncellenir. Denklem 9'da görüldüğü gibi güncellenmiş ortalama, geçmiş ortalama ve yeni piksel ölçümünün güncelleme değeri ile ağırlıklandırılmış ortalaması alınarak bulunur.

$$\mu_{k+1}(x, y) = (1 - \alpha)\mu_k(x, y) + \alpha I(x, y) \quad (9)$$

3.3.4. Varyans Değeri Güncellemesi

Varyans değeri, bir pikselin t anına kadar aldığı değerlerin istatistiksel yayılımıdır ve pikselin zaman içinde oluşturduğu Gauss dağılımının bir bileşenidir. Varyans değeri, yeni piksel ölçümleri geldikçe güncellenir. Güncellenmiş varyans, geçmiş varyans değerinin ve ölçülen mesafenin karesinin güncelleme değeri ile ağırlıklandırılmış toplamı alınarak Denklem 10'daki gibi bulunur.

$$\sigma_{k+1}(x, y) = (1 - \alpha)\sigma_k^2(x, y) + \alpha d^2(x, y) \quad (10)$$

Kameranın sabit olduğu durum için bu işlem basamakları takip edilerek Gauss tabanlı arka plan modelleme yapılır.

3.4. Gauss Karışım Metoduyla Arka Plan Modelleme

Bu metotta piksel ölçümünün zaman içinde Gauss karışım modeline [20] uygun olarak davrandığı kabul edilmektedir. Her bir piksel, K tane Gauss dağılımı kullanılarak modellenir. Görüntüdeki bir ağaç yaprağının periyodik olarak bir pikselin sürekli önüne gelip gittiği düşünülürse bu piksel ağaç yaprağı önüne geldiği ve gelmediği durum için iki ayrı Gauss dağılımı oluşturur, eğer tek bir Gauss dağılımı ile ifade edilmeye çalışılırsa doğru bir şekilde ön plan ve arka plan belirlemesi yapılamaz, piksel ölçümü iki ayrı değer arasında sürekli gezindiği için çok büyük bir varyans değerine ve sürekli kayan bir ortalama değerine sahip olur. Bu gibi durumlarda Gauss karışım metodu kullanılarak pikselin aldığı değerler birden fazla Gauss dağılımı ile ifade edilir.

Gauss karışım metodunda öğrenmeye dayalı bir sistemle arka plan olma olasılığı yüksek pikseller belirlenir. Geriye kalan pikseller ise ön plan pikselleridir. Ön plan

olarak belirlenen pikseller iki boyutlu bağılı bileşen analizi yapılarak gruplandırılır. Parlaklık bilgisiyle çalışılabileceği gibi, hem parlaklık hem de renk bilgisiyle de çalışılabilir. Parlaklık bilgisiyle çalışılan durumu inceleyecek olursak, herhangi bir t anında V görüntü karesine ait (x_0, y_0) pikselinin geçmişi Denklem 11'deki gibi belirtilir.

$$X_1, \dots, X_t = \{ V(x_0, y_0, i) : 1 \leq i \leq t \} \quad (11)$$

D değeri sabit ve w değeri ağırlık katsayısı olmak üzere geçmişi Denklem 11'deki gibi belirtilen piksellerin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 13'te verilmiş olan Gauss dağılımlarının ağırlıklandırılmış toplamı alınarak Denklem 12'deki gibi hesaplanır [20].

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \times N(X_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (12)$$

$$N(X_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{D/2}} \times \frac{1}{|\Sigma_{i,t}|^{1/2}} \times \exp\left(-\frac{1}{2}(X_t - \mu_{i,t})^T * \Sigma_{i,t}^{-1}(X_t - \mu_{i,t})\right) \quad (13)$$

4. TASARIMDA KULLANILAN TEKNİK BİLGİLER

Çalışma donanımında gerçekleştirilirken, kayıt cihazına kaydedilmiş ve içerisine hareket bilgisi gömülmüş video, sinyal işleme kartına beslenecektir. Bir bilgisayar aracılığıyla da parametreler ekran seçimi gibi tercihler sinyal işleme kartına gönderilecektir. Bu nedenle bu bölümde kullanılacak videonun standardı, video standardının özellikleri, standardın akış şekli ve kullanılan entegreler sırası ile anlatılacaktır.

4.1. SDI ve HD-SDI Standardı

SDI (Serial Digital Interface), SMPTE (The Society of Motion Picture and Television Engineers) tarafından standardize edilmiş hızlı ve seri sayısal video arayüz ailesidir [22]. HD-SDI (High Definition-Serial Digital Interface) ise SMPTE 292M ile standardize edilen seri, yüksek çözünürlüklü ve yaklaşık olarak 1.5 Gbit/s veri hızına sahip video türünü tanımlar. Çizelge 1'de SDI video standartları, isimleri, çıkış yılları, veri hızları ve örnek video formatları verilmiştir.

Çizelge 1. SDI video standartları [22]

Standart	İsim	Yıl	Veri Hızı	Örnek Video formatı
SMPTE 259M	SD-SDI	1989	143 Mbit/s ve 360 Mbit/s,	480i, 576i
SMPTE 344M	ED-SDI		540 Mbit/s	480p, 576p
SMPTE 292M	HD-SDI	1998	1.485 Gbit/s, ve 1.485/1.001 Gbit/s	720p, 1080i, 1080p
SMPTE 372M	Dual Link HD-SDI	2002	2.970 Gbit/s, ve 2.970/1.001 Gbit/s	1080p

SMPTE 424M	3G-SDI	2006	2.970 Gbit/s, ve 2.970/1.001 Gbit/s	1080p
SMPTE ST-2081	6G UHD- SDI		6 Gbit/s	4Kp30
SMPTE ST-2082	12G UHD- SDI		12 Gbit/s	4Kp30

SDI standardında video sıkıştırılmamış ve şifrelenmemiş olarak aktarılır. İsteğe bağlı olarak video verisinin içine ses ve zaman kodu da yerleştirilebilir. Bu görüntü veri paketleri koaksiyel kablo üzerinden ortalama 300 metre sıkıntısız aktarılabilir. Daha uzun mesafeli aktarımlarda tekrarlayıcılar veya fiber optik sistemler kullanılmalıdır. HD-SDI görüntü, diğer görüntüler gibi koaksiyel kablodan geçerken 75 ohm üzerinden akım çekmektedir. HD-SDI kayıt cihazları, sıkıştırılmamış kaliteli görüntüleri isteğe bağlı olarak sıkıştırılmış görüntü formatlarına çevirmektedir. HD-SDI kayıt cihazları yüksek çözünürlüklü olan bu görüntüleri saklayabilmek için analog kayıt cihazlarından daha fazla sabit diske ihtiyaç duymaktadırlar [23].

Tez çalışmasında kullanılan 1080p@25 video ise HD-SDI video ailesinin bir türü olup saniyede 25 görüntü çerçevesi hızında çalışmaktadır. “P” harfi görüntünün örneklenmesinin tek ve çift alanlar şeklinde değil görüntü çerçevesi boyunca sürekli yapıldığını göstermektedir. 1080p@25 video Yatayda 1920 piksele dikeyde ise 1080 satıra sahiptir ve bu şekilde $1920 \times 1080 = 2073600 \approx 2M$ piksel çözünürlüğü vardır [23].

4.1.1. Veri Biçimi

Eski komposit kodlamalar harici tüm seri video arayüzlerinde olduğu gibi HD-SDI video arayüzü de 4:2:2 YCbCr renk formatında kodlanmaktadır [23]. Çizelge 2’de HD-SDI video arayüzüne göre gelen 4:2:2 piksel parlaklık ve renk ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. HD-SDI video akışı [23]

	1	2	3	4	5	6	7	8
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
C	Cb	Cr	Cb	Cr	Cb	Cr	Cb	Cr

Parlaklık kanalı (Y) tam bant genişliği kapasitesinde 10 bit kodlanırken, iki renk kanalı (Cb ve Cr) yatayda alt örnekleme yapılarak yarı bant genişliğinde 10 bit olarak kodlanır. Y, Cb ve Cr ölçümleri aynı zaman içinde örneklenmiş olup Cb ve Cr kanalları ardışık iki Y elemanı için bir kere örneklenmektedir.

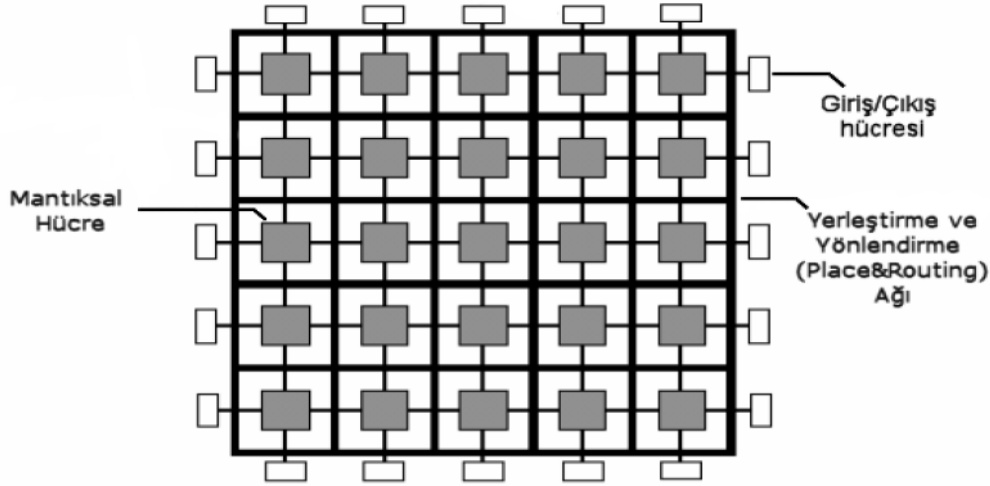
4.1.2. Senkronizasyon Paketleri

Senkronizasyon paketleri, her bir aktif satırın ve görüntü çerçevesinin başında ve sonunda gelen, zamanlama referansı olarak da bilinen 4 tane 10 bitlik veriden oluşan paketlerdir. İlk üç 10 bitlik veri her zaman 0x3FF 0x000 ve 0x000'dan oluşur. Dördüncü 10 bitlik veri ise hata düzeltme verisinden ve üç tane de senkronizasyon verisinden oluşur. Bu şekilde 8 farklı senkronizasyon paketi olabilmektedir. HD-SDI video için bu senkronizasyon paketlerinin parlaklık ve renk kanallarında aynı anda oluşması gerekmektedir [22].

Dördüncü 10 bit içerisinde yer alan üç bitlik senkronizasyon paketleri H (yatay boşluk), F (alan) ve V (dikey boşluk) işaretlerini temsil eder. H=1 olan paketler aktif satırın bittiğini yatay boşluğun başladığını (EAV) belirtirken H=0 olan paketler yatay boşluğun bittiğini aktif satırın başladığını (SAV) belirtir. H ile aynı şekilde V=1 olan paketler aktif videonun bittiğini dikey boşluğun başladığını belirtirken V=0 olan paketler dikey boşluğun bittiğini aktif videonun başladığını belirtir. F alan işareti ise 1080p@25 gibi tek çift şeklinde örneklenmeyen videolarda 0 olarak kalır. Bu şekilde 4 farklı senkronizasyon paketi ile 1080p@25 video için zamanlama referansları ayarlanmış olur [22].

4.2. Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)

Programlanabilir mantık blokları ve bu bloklar arasındaki ara bağlantılardan oluşan ve geniş uygulama alanlarına sahip olan sayısal tümleşik devrelerdir. Tasarımcının ihtiyaç duyduğu mantık işlevlerini gerçekleştirme amacına yönelik olarak üretilmiştir. Dolayısıyla her bir mantık bloğunun işlevi kullanıcı tarafından düzenlenebilmektedir. FPGA ile temel mantık kapılarının ve yapısı daha karmaşık olan devre elemanlarının işlevselliği artırılmaktadır. Alanda programlanabilir ismi verilmesinin nedeni, mantık bloklarının ve ara bağlantıların imalat sürecinden sonra programlanabilmesidir [24]. Şekil 12’de FPGA’lerin iç yapısındaki mantık hücreleri, yerleştirme ve yönlendirme ağı ve giriş çıkış hücreleri gösterilmiştir.



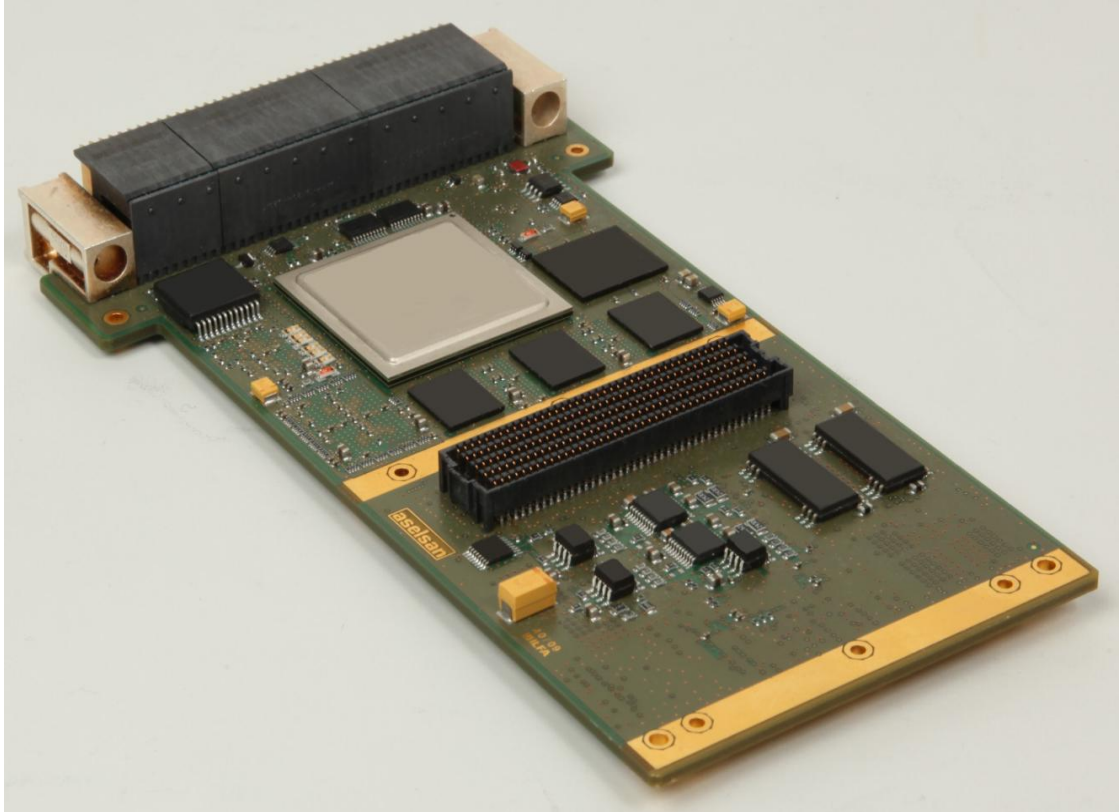
Şekil 12. FPGA’lerin iç yapısı [25]

FPGA, programlanabilir mantık blokları, bu blok dizisini çevreleyen giriş-çıkış blokları ve ara bağlantılar olmak üzere düzenlenebilir üç ana bölümden oluşur. Programlanabilir mantık blokları, ara bağlantılar içerisinde gömülü şekilde bulunur. Programlanabilir mantık bloklarının yapılandırılması ve bu bloklar arasındaki iletişim ara bağlantılar sayesinde gerçekleşir. Giriş çıkış blokları, ara bağlantılar ile bütünleşmiş devrenin paket bacakları arasındaki ilişkiyi sağlar.

Tasarım sırasında büyük esneklik sağlaması ve paralel işlem yapabilme kabiliyeti sebebiyle FPGA kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. FPGA

kullanımının artmasına bağılı olarak fiyatlarının düşmesi, gelişen teknoloji ile birlikte FPGA'lerin kapasitelerinin artması, kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlayan gelişmiş tasarım programları ve örnek uygulamaların kolay erişilebilir hale gelmesi FPGA'ı günümüzde popüler yapan özelliklerdir. Savunma sanayi, sayısal işaret işleme, telekomünikasyon, tıbbi görüntüleme ve otomotiv sanayi FPGA'lerin uygulama alanlarından bazılarıdır. FPGA'leri programlamak için HDL kullanılır. VHDL ile Verilog en yaygın kullanılan iki HDL türüdür.

Bu çalışmada içerisindeki rastgele erişimli blok bellek (BRAM) sayısının yeterliliği, sayısal sinyal işleme bloğu (DSP) sayısının yeterliliği ve HD-SDI videonun alınması için çok kanallı gigabit alıcılarının (MGT bloğu) bulunmasından dolayı Xilinx firmasının Virtex5 Fx100t FPGA'ı kullanılmıştır. Şekil 13'te bu çalışmada kullanılan, Virtex5 Fx100t FPGA, seri kanal arayüzü ve QDR-SRAM belleklere sahip, video taşıyıcı kart takıldığında video alıp basabilen 3U-VPX [27] standardına sahip sinyal işleme kartı gösterilmiştir.

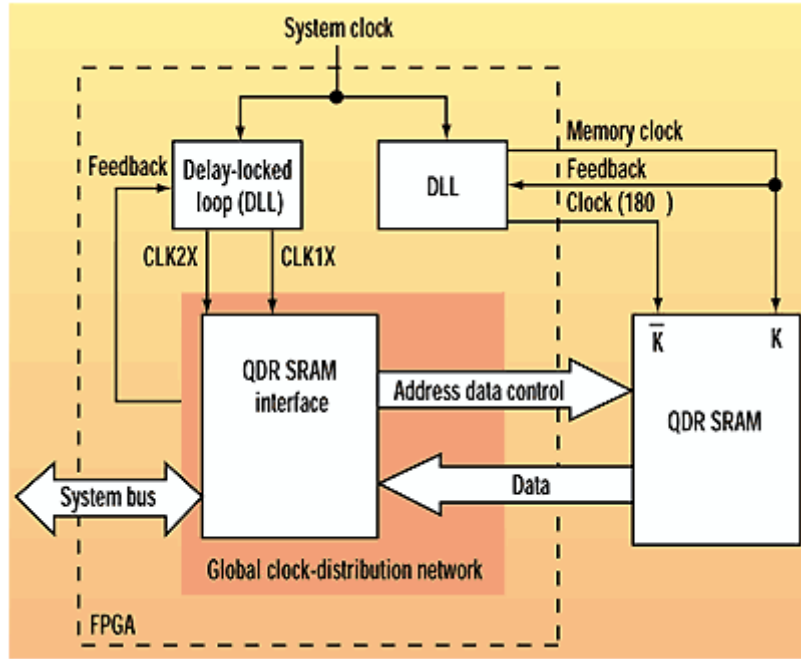


Şekil 13. Virtex5 FPGA'li 3U-VPX sinyal işleme kartı

4.3. Durağan Rastgele Erişimli Bellek (SRAM)

Durağan kelimesi, sürekli tazelenmesi gereken devingen RAM'in (DRAM) aksine, belleğe g verildiği sürece belleğin içeriğini koruduğunu belirtir (Bununla beraber, SRAM, salt okunur bellek ROM ve flaş bellek ile karıştırılmamalıdır). Bakışımlı (simetrik) devre yapısı, bir hafıza konumdaki değerin DRAM'e göre çok daha hızlı okunmasına olanak tanır. SRAM'in daha hızlı olmasını sağlayan DRAM'le arasındaki bir başka fark ise tüm adres bitlerini bir kerede alan özel iplerdir. Buna karşılık DRAM'lerin sahip olduğu yarar iki yarım parça halinde oklanmış adresler kullanmasıdır. İki parça halinde oklanması demek aynı paket içerisindeki pinler üzerinde, boyutları ve maliyeti düşürmek üzere kk değerli bitlerin yüksek değerli bitleri izlemesi demektir. QDR-SRAM, SRAM'in saat işaretinin hem düşünde hem de yükselişinde veri sağlayabilen türüdür ve bu şekilde aynı anda hem okumaya hem de yazmaya izin verir.

Veri boyutu büyük olan arka plan resminin belleğe kolayca yazılmasının ve aynı anda da bellekten kolayca okunmasının sağlanması için bu çalışmada yazma ve okuma arayüzleri birbirinden bağımsız çalışabilen ve statik yapıya sahip olan QDR-SRAM bellek tercih edilmiştir. şekil 14'te FPGA ve QDR-SRAM'in birlikte çalışma şekli gösterilmiştir. QDR-SRAM FPGA'den saat işareti, saat işareti geri beslemesi, adres verisi ve yazılacak veriyi alırken okunan verileri de FPGA'e gönderir.



Şekil 14. FPGA ve QDR-SRAM'in birlikte çalışma şekli [28]

5. ÇALIŞMANIN DONANIM ÜZERİNDE GERÇEKLENMESİ

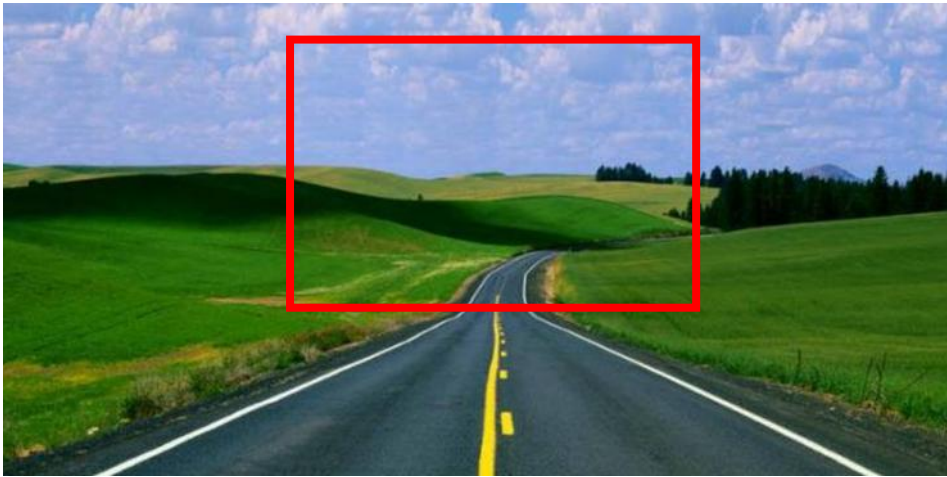
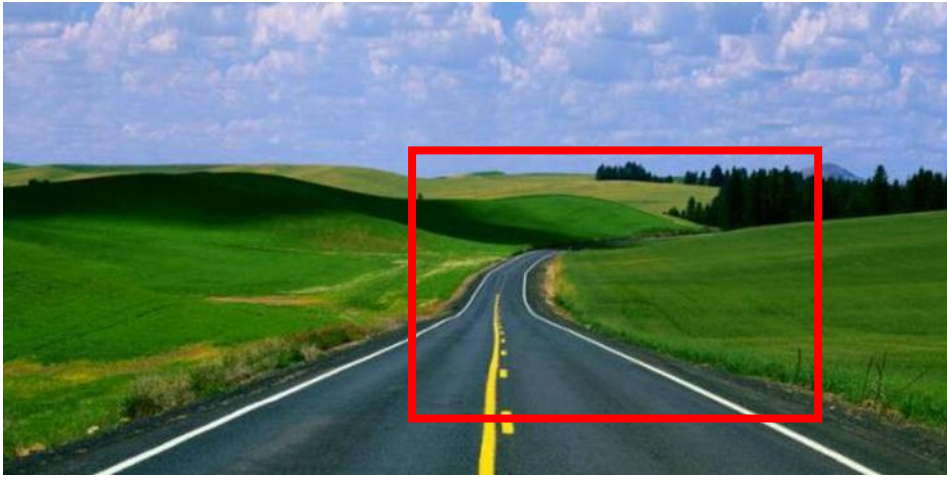
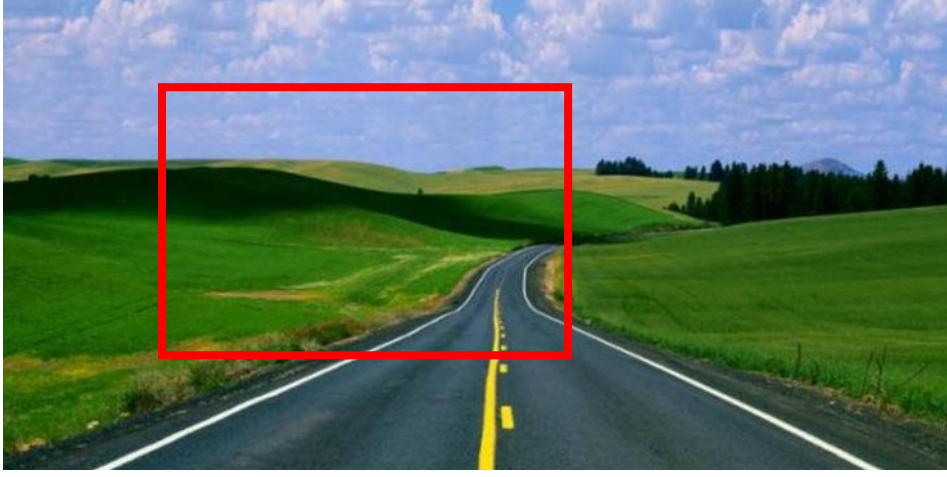
5.1. Sistem Tanımı

Bahsedilen yöntemin uygulanabilmesi için uygun bir sinyal işleme kartına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple sinyal işleme bloğu sayısı, rastgele erişimli blok bellek sayısı parametrelerinin yeterliliği açısından Xilinx firmasına ait Virtex5 Fx100t FPGA bulunduran bir sinyal işleme kartı kullanılmıştır. Bu kart üzerindeki FPGA asma kartı sayesinde video sinyalini uygun seviyeye eşitlenerek FPGA'de kullanılabilir hale getirilir. Bir bilgisayar kullanılarak seri kanal aracılığıyla da sinyal işleme kartına arka plan ön plan güncelleme oranları ve ekrana basılacak görüntünün seçilmesi gibi komutlar iletilir. Çalışmada kullanılacak simülasyon videosu için Matrix Laboratory (MATLAB) programı kullanılmıştır. 1080p@25 formatında çekim yapan hareketsiz bir kamera ile çekilmiş bir video seçildikten sonra bu video üzerinde orijinal görüntü çerçevesi boyutundan daha küçük bir görüntü çerçevesi Şekil 15'teki gibi hareket ettirilerek farklı farklı görüntü çerçeveleri oluşturulur. Oluşturulan yeni görüntü çerçeveleri 1920 piksel ve 1080 satıra yeniden ölçeklendirilir. Tekrar orijinal boyutuna çıkarılmış görüntü çerçevelerinin ilk satırına hareket miktarına ait bilgiler kaydedilir. Daha sonra oluşturulan bu görüntü çerçeveleri birleştirilerek yeni bir video oluşturulur. Oluşturulan video Blackmagic firmasının video kaydedicisine kaydedilir ve bu şekilde de çalışma esnasında sinyal işleme kartına bu video girdi olarak verilir.

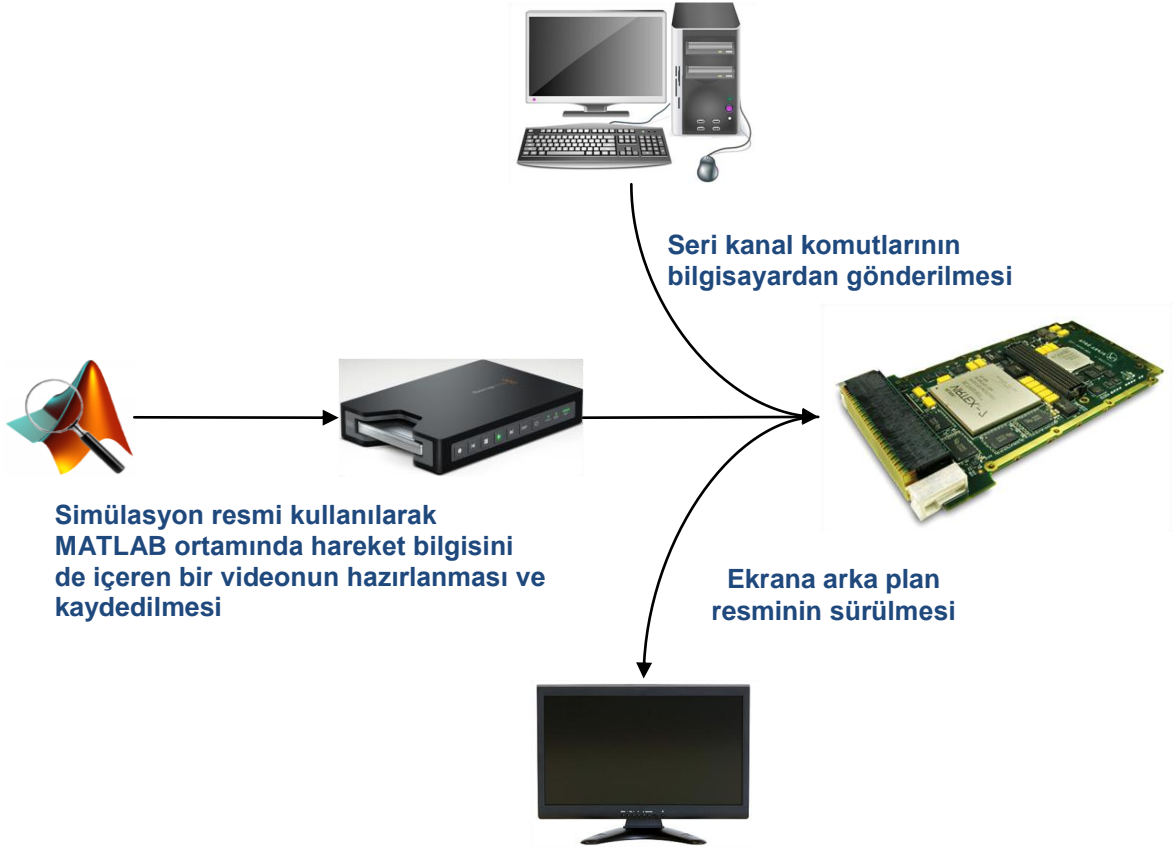
Sinyal işleme kartında oluşturulan bu simülasyon videosu ve bilgisayardan gelen seri kanal parametreleri kullanılarak Gauss tabanlı arka plan modelleme yapılır ve simülasyon videosunun ilk satırına yazılmış hareket bilgisi giriş bölümünde anlatıldığı gibi kullanılarak da kamera hareketine rağmen arka plan modellemeye devam edilir.

Şekil 16'da donanımsal olarak bilgisayar, kayıt cihazı, sinyal işleme kartı ve ekrandan oluşan sisteme genel bakış gösterilmiştir.

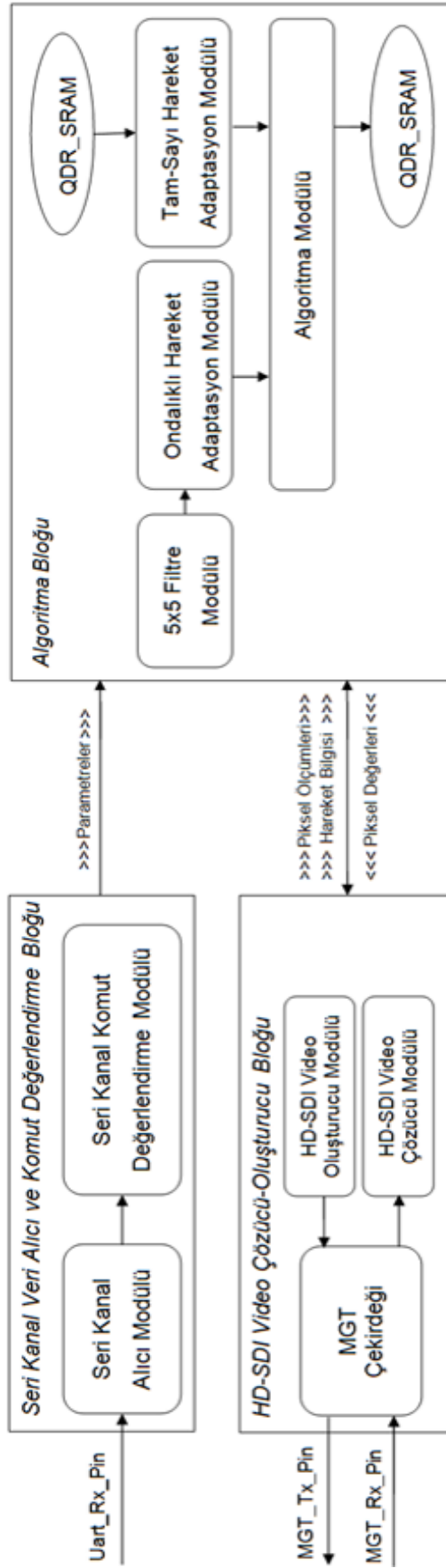
Şekil 17'de ise FPGA içinde kullanılan VHDL bloklarının anahatları gösterilmiştir.



Şekil 15. Görüntü çerçevelerinin simülasyon resminde kaydırılması



Şekil 16. Sistem modeli



Şekil 17. FPGA bloklarının toplu halde gösterimi

5.2. Bilgisayar ve FPGA Arayüz Programlarının Hazırlanması

Bölüm 3'te anlatıldığı üzere Gauss tabanlı arka plan modelleme yapılırken kullanılan ön plan güncelleme oranı ve arka plan güncelleme oranı bulunmaktadır. Bu farklı güncelleme oranları ön plan piksellerinin arka plan güncellenmesine olan etkisini azaltmak, yanlış alarmların kolayca kaybolmasını sağlamak ve arka plan olduğu belirlenen piksellerin güncellemeye olan etkisini artırmak için kullanılır. Arka plan ve ön plan güncelleme oranlarının sisteme etkisini görmek ve anlık olarak değiştirip denemeler yapabilmek için bilgisayarla FPGA arasında bir seri kanal arayüzü kullanılacaktır. Ayrıca bu arayüz programını ekranda izleyeceğimiz arka plan resimleri (varyans, ortalama ve hareket resmi) arasında geçiş yapmak içinde kullanılacaktır.

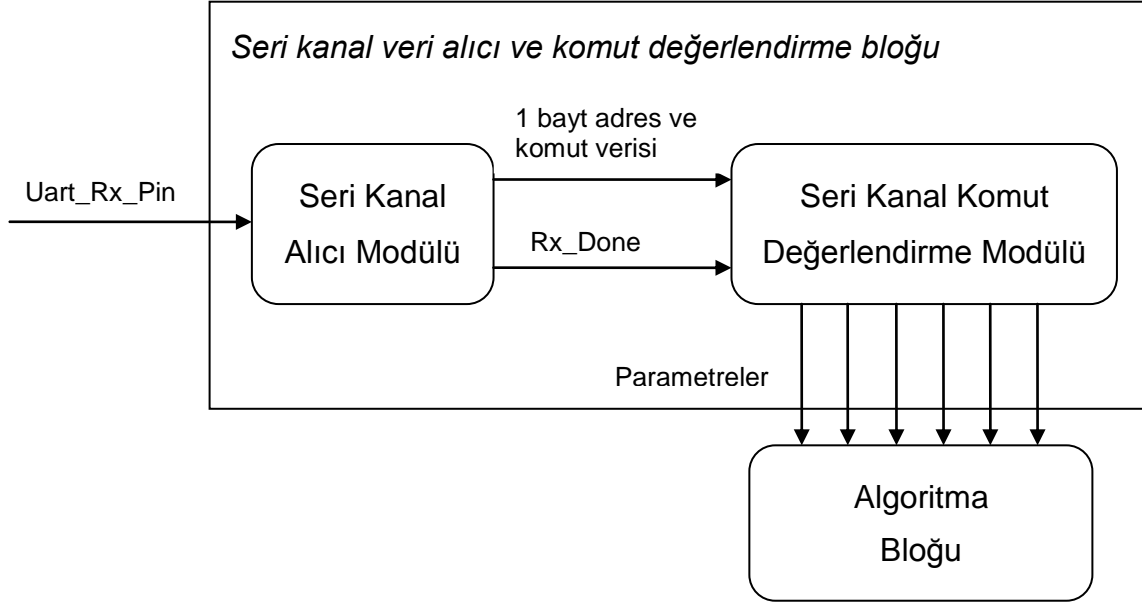
Öncelikli olarak bilgisayar ile FPGA arasındaki bu iletişim için ortak bir veri formatı olması gerekmektedir. Arka plan güncelleme oranı ve ön plan güncelleme oranı 8 bitlik yani bir baytlık verilerdir. Açılış komutu ve ekran görüntüsü değiştirme komutu olarak da birer baytlık veriler kullanılacaktır. İlk olarak bir bayt adres bilgisi gönderilerek değiştirilecek parametre seçilir ve daha sonra ilgili komut gönderilerek parametre ayarlanır. Çizelge 3'te bilgisayardan sinyal işleme kartına gönderilecek komutların veri formatı gösterilmektedir (xx yazan yerlere güncelleme oranları gelmektedir).

Çizelge 3. Bilgisayardan FPGA'e gönderilecek verinin formatı

	Açılış Komutu	Ekran Görüntüsü Komutu			Ön plan Güncelleme Oranı (α_f)	Arka plan Güncelleme Oranı (α_b)
Adres baytı	0x00	0x10			0x20	0x30
Parametre baytı	0x55	Hareket Resmi	Ortalama (μ)	Varyans (σ)	0xXX	0xXX
		0x12	0x14	0x16		

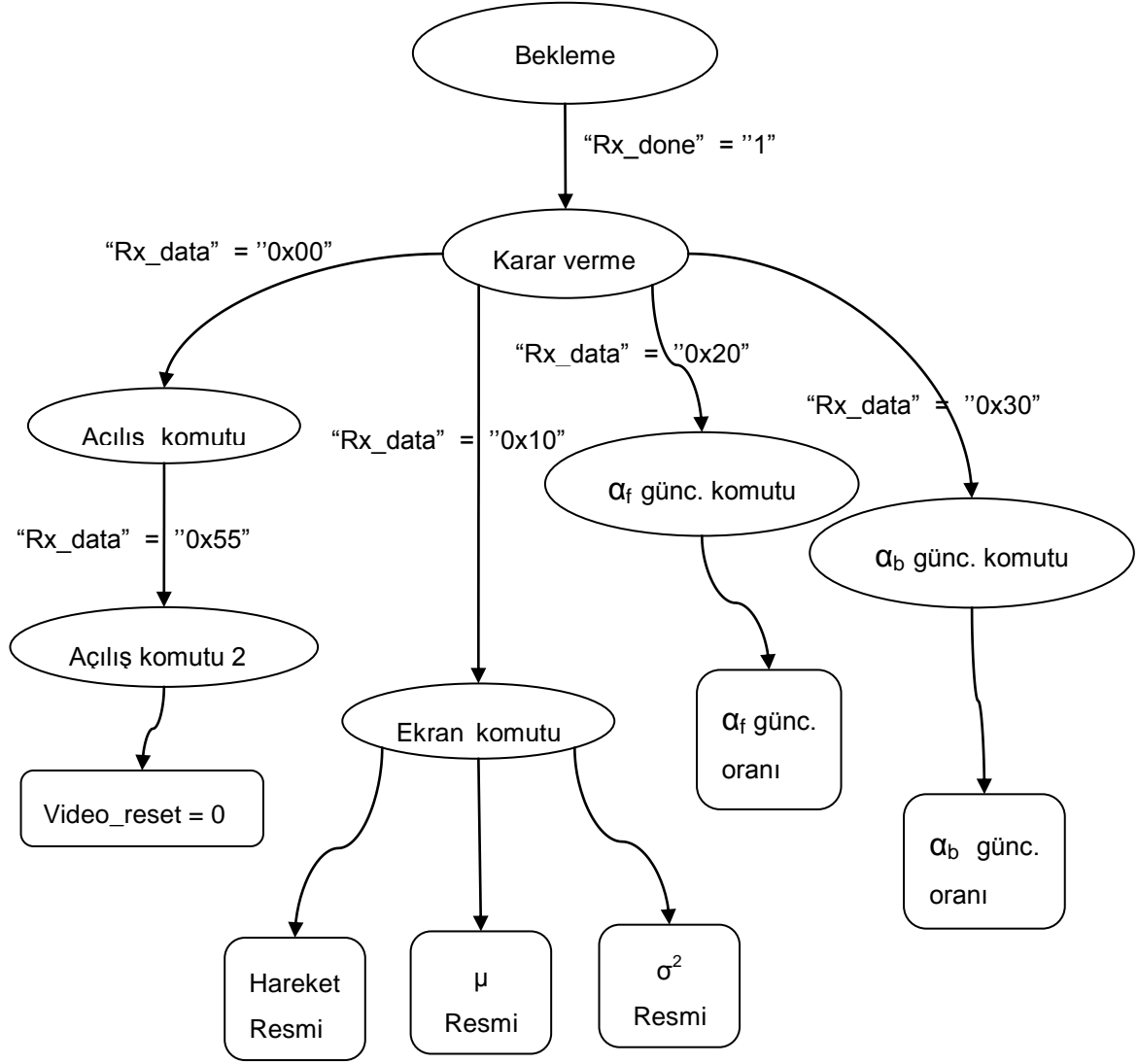
5.2.1. Seri Kanal Veri Alıcı ve Komut Değerlendirme Bloğu

Bu blok bilgisayardan gelen seri kanal verisini alıp bir baytlık verilere çeviren ve değerlendirmesini yapıp uygun parametreleri değiştirerek arka plan modelleme bloğuna süren bir bloktur. Şekil 18’de seri kanal veri alıcı ve komut değerlendirme bloğunun modeli gösterilmiştir.



Şekil 18. Seri kanal veri alıcı ve komut değerlendirme bloğu

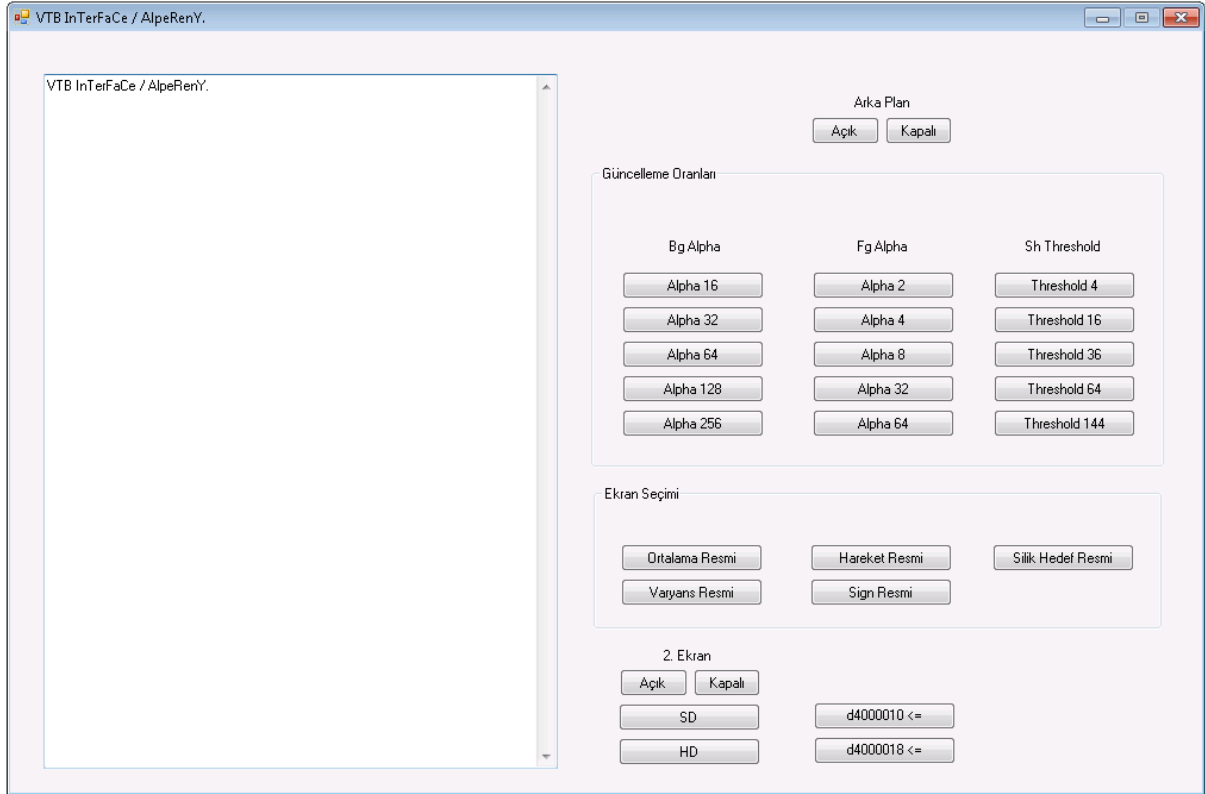
İki ayrı modülden oluşmaktadır. Birinci modül 115200 baud hızında 8 bit olarak RS232 hattından gelen seri kanal verisini örnekleyerek FPGA içinde kullanılabilir, video saat işaretine senkron 1 baytlık paketlere çevirir. 1 baytlık bu paketlerde sırasıyla adres baytı ve komut baytı gelmektedir. Adres baytı ve komut baytı seri kanal komut değerlendirme modülünde Çizelge 3’e göre değerlendirilerek açılış komutu tüm bloklara gönderilir, ön plan ve arka plan güncelleme oranları ve ekran sürme seçimleri arka plan modelleme bloğuna gönderilir. Şekil 19’da seri kanal veri alıcı ve komut değerlendirme bloğunda çalışan durum makinesinin çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 19. Seri kanal komut değerlendirme bloğu durum makinesi

5.2.2. Arka Plan Modelleme Arayüzü Programı

Bilgisayardan FPGA'e seri kanal komutlarının gönderilebilmesi için C# kullanılarak bir program yazılmıştır. Bu program basılan butona göre 115200 baud hızında seri kanal üzerinden açılış komutu, güncellenecek arka plan modelleme parametreleri ve ekrana sürülen görüntü seçimini seri kanal hattı ile bilgisayardan FPGA'in seri kanalına göndermektedir. Bu sayede anlık olarak ekranda görülen arka plan resimleri arasında geçiş yapılabilmekte, istenilen arka plan modelleme parametreleri değiştirilebilmekte ve başlangıç komutu atılabilmektedir. Şekil 20'de C# kullanılarak hazırlanan programın ekran görüntüsü verilmiştir.

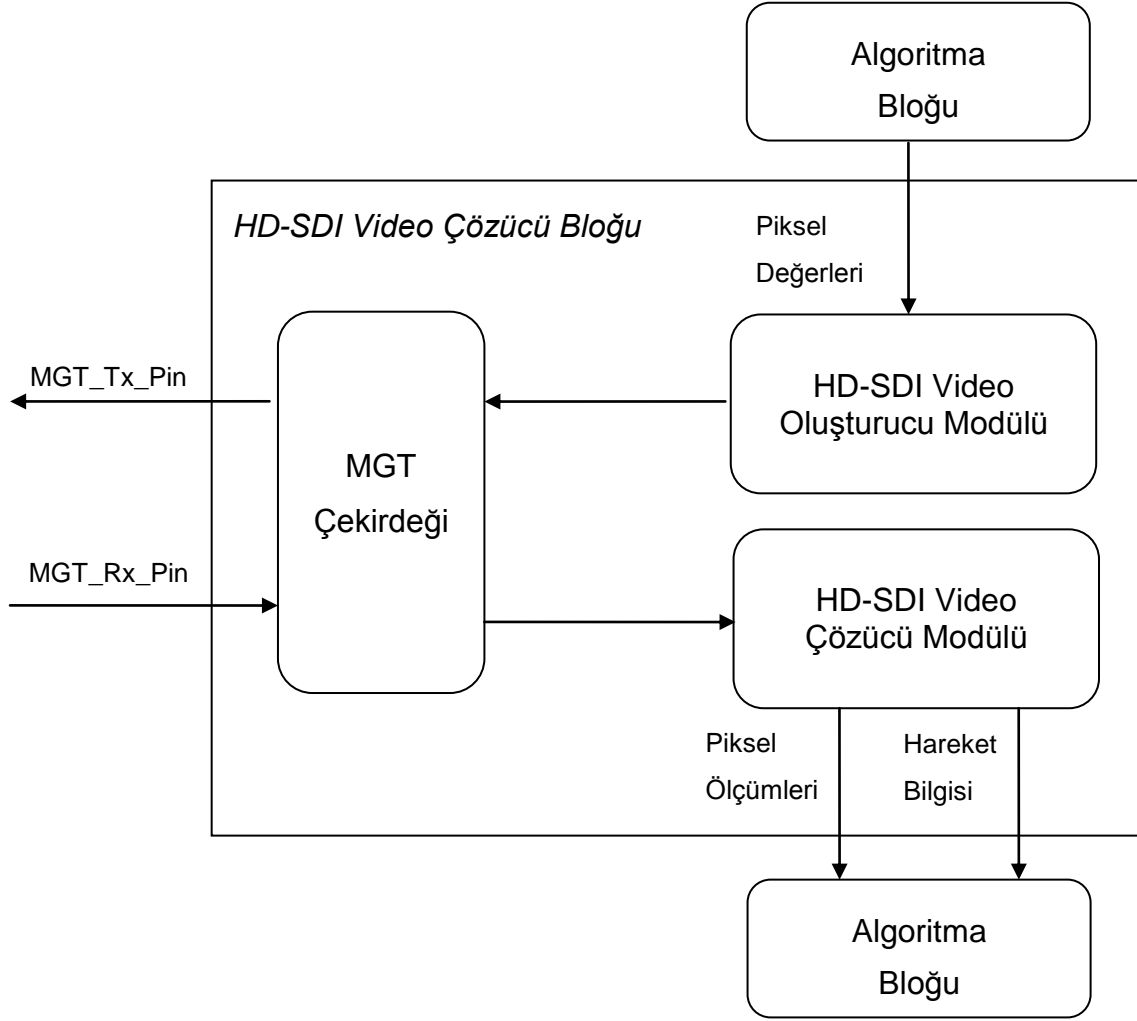


Şekil 20. Arka plan modelleme arayüzü programı

Programın sol tarafındaki yazı alanında gönderilen veriler yer almaktadır. Sağ taraftaki güncelleme oranları bölümünde arka plan ve ön plan pikselleri için belirtilen güncelleme oranları bulunmaktadır. Ekran seçimi bölümünde ekrana basılmak istenen resim seçilebilmektedir. Açılış butonu ile de tüm bloklara başlangıç komutu atılabilmekte ve arka plan modelleme başlatılabilmektedir.

5.3. HD-SDI Video Çözücü-Oluşturucu Bloğu

HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğu videonun çözümlendiği, içerisinde piksel ölçümlerinin ve daha önce MATLAB ortamında içerisine yerleştirilmiş hareket bilgisinin çıkarıldığı ve algoritma bloğundan gelen piksel değerleri ile HD-SDI video oluşturup dışarı veren bloktur. Şekil 21'de HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğunun alt modülleri, video sinyali girdisinin MGT'ye alınması, video sinyali çıktısının MGT'den çıkılması, piksel ölçümlerinin ve hareket bilgisinin algoritma bloğuna verilmesi gösterilmiştir.



Şekil 21. HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğu

HD-SDI video sinyali yüksek hızlı olduğu için (1,485 Gbit/s) normal FPGA giriş-çıkış pinlerinden FPGA içerisine alınamaz. Bu sebeple HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğu içerisindeki çok kanallı gigabit alıcı bloğu (MGT) kullanılarak video sinyali FPGA'in içerisine alınır veya FPGA'den çıkarılır. FPGA'in MGT bloğu ile alınan video sinyali buradan HD-SDI video çözücü modülüne gelir. Bu modülde SMPTE-292M standardına göre akan video Bölüm 4.1.2'de anlatılan senkronizasyon baytları kullanılarak çözülür (EK1- Çizelge 6. SMPTE-292M video akışı ve çözümleyici sinyaller). Bu çözümleme durum makineleri ile yapılarak piksel parlaklık ölçümleri (Luma_Data_out), satır sayısı (Decoder_line_number) ve aktif piksel (Pixel_enable_out) sinyalleri video sinyali içerisinden elde edilir. Luma_Data_out, piksel ölçümlerini içeren 8 bitlik sinyaldir. Pixel_enable_out

sinyali Luma_Data_out sinyali üstünde geçerli piksel ölçümü olduğunu belirten sinyaldir. HD-SDI video oluşturucu modül algoritma bloğundan gelen piksel değerlerine Bölüm 4.1.2’de anlatılan senkronizasyon baytlarını ekleyerek ekrana basılacak SMPTE-292M’ye uygun video sinyali oluşturur ve MGT’ye gönderir. Luma_Data_in, piksel değerlerini içeren 8 bitlik sinyaldir. Pixel_enable_in sinyali Luma_Data_in sinyali üstünde geçerli piksel ölçümü olduğunu belirten sinyaldir.

Piksel ölçümleri, satır sayısı gibi sinyaller bu blokta çıkartılırken daha önce MATLAB ortamında hazırlanmış videonun ilk satırına yerleştirilmiş hareket bilgisi de bu blok içinde durum makineleri kullanılarak çıkartılır. Hareketin tam sayı kısmının bellek üzerinde adres değişikliği metoduyla ondalıklı kısmının ise alınan görüntüde yeniden örnekleme şeklinde kullanılacağı Bölüm 1’de anlatılmıştır. Bu sebeple hareket bilgisi tam sayı sol-sağ hareket miktarı(u_i , Integer_Mov_R_L), tam sayı yukarı-aşağı hareket miktarı (v_i , Integer_Mov_U_D), ondalıklı sol-yukarı hareket katsayısı ($I(x,y)$, Fractional_Mov_L_U), ondalıklı sağ-yukarı hareket katsayısı ($I(x+1,y)$, Fractional_Mov_R_U), ondalıklı sol-aşağı hareket katsayısı ($I(x,y+1)$, Fractional_Mov_L_D) ve ondalıklı sağ-aşağı hareket katsayısı ($I(x+1,y+1)$, Fractional_Mov_R_D) şeklinde videonun ilk satırına MATLAB ortamında kaydedildiğinden aynı şekilde durum makineleri kullanılarak videonun ilk satırından bu blok içinde geri çıkartılır. 8 bit olarak çıkartılan tam sayı hareket bilgisinin 8. biti hareketin yönünü belirtmektedir. Mantık 1 olduğunda hareket sol veya yukarı yönlü iken mantık 0 olduğunda hareket sağ veya aşağı yönlüdür.

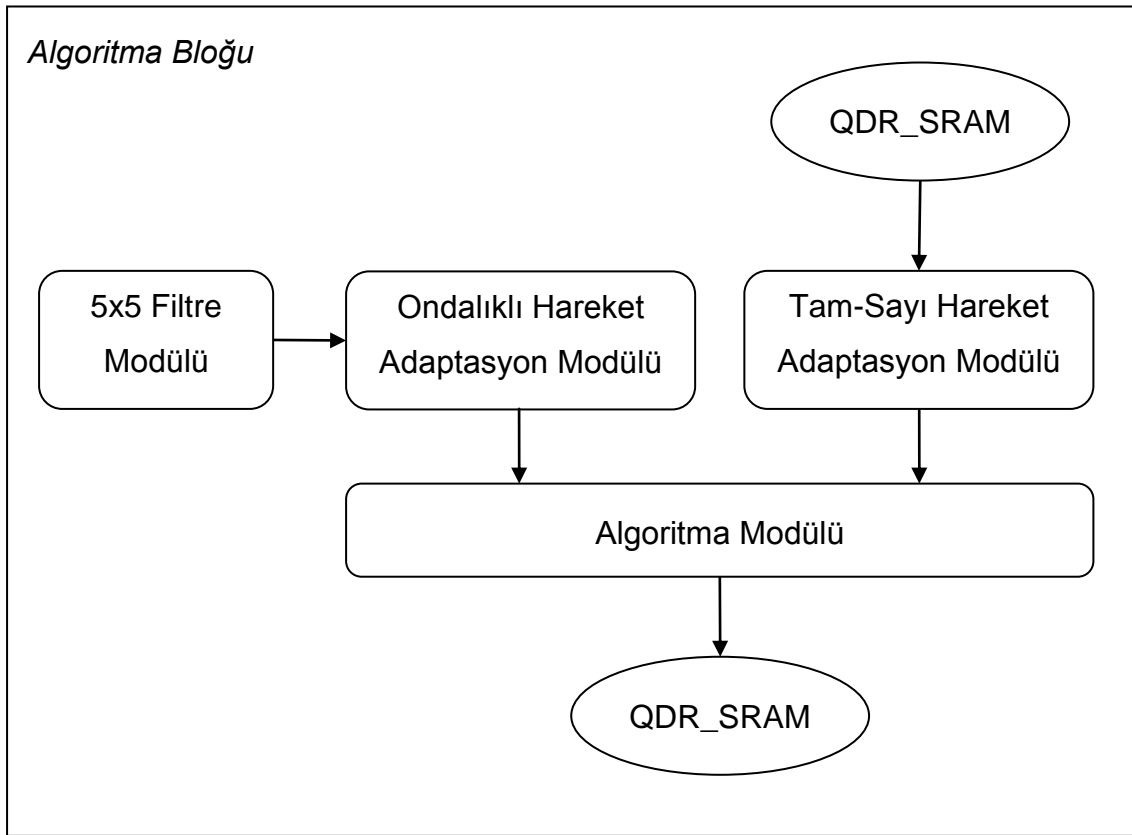
Çıkartılan bu hareket bilgileri, piksel ölçüm bilgileri, piksel aktif bilgisi ve satır sayısı bilgisiyile beraber algoritma bloğuna gönderilerek orada kullanılması sağlanır. HD-SDI Video çözücü-oluşturucu bloğunun önemli girdi ve çıktıları Çizelge 4 üzerinde daha net olarak görülebilir.

Çizelge 4. HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğunun önemli girdileri-çıkıtları

Pin İsmi	Girdi-Çıktı	Bit Sayısı	Açıklama
Video_Data_in	G	20	MGT bloğundan gelen SMPTE-292M video verisidir.
Video_Data_out	Ç	20	MGT bloğuna giden SMPTE-292M video verisidir.
Luma_Data_in	G	8	Piksel değerlerini içeren sinyaldir
Pixel_enable_in	G	1	Luma_Data_in üzerinde geçerli piksel ölçümü olduğu belirtir.
Luma_data_out	Ç	8	Piksel ölçümlerini içeren sinyaldir
Pixel_enable_out	Ç	1	Luma_Data_out üzerinde geçerli piksel ölçümü olduğu belirtir.
Decoder_line_number	Ç	11	Gönderilen piksel ölçümünün kaçınıcı satıra ait olduğunu belirtir
Integer_Mov_R-L	Ç	8	Tam sayı hareketin sol-sağ miktarını belirtir
Integer_Mov_U-D	Ç	8	Tam sayı hareketin yukarı-aşağı miktarını belirtir
Fractional_Mov_L_U	Ç	8	Ondalıklı hareketin sol-yukarı katsayısını belirtir
Fractional_Mov_R_U	Ç	8	Ondalıklı hareketin sağ-yukarı katsayısını belirtir
Fractional_Mov_L_D	Ç	8	Ondalıklı hareketin sol-aşağı katsayısını belirtir
Fractional_Mov_R_U	Ç	8	Ondalıklı hareketin sağ-yukarı katsayısını belirtir

5.4. Algoritma Bloğu

Algoritma bloğu bellekten gelen arka plan resmi (ortalama, varyans görüntüleri) ve yeni gelen piksel ölçümlerinin kullanılarak arka plan modelleme yapılan ve yeni oluşturulan arka plan resminin belleğe kaydedildiği bloktur. Yeni gelen piksel ölçümleri öncelikli olarak 5x5 filtre modülüne girerek kenar bilgileri kaybolmadan görüntüye karşı filtrelenir. Filtrelenen piksel ölçümlerinin 2x2'lik bir karede ondalıklı harekete adaptasyonu sağlanır ve yeniden örneklenmiş piksel ölçümleri oluşturulur. Bellekteki arka plan resmi de tam sayı harekete uygun olarak belleklerden okunur. Tam sayı harekete adapte olmuş arka plan resmi ve ondalıklı harekete adapte olmuş piksel ölçümleri kullanılarak ön plan tespiti, arka plan tespiti ve ortalama varyans güncellemeleri yapılır. Güncelleme yapılan arka plan resmi yeniden belleğe kaydedilirken, bir yandan da elde edilen çıktılar HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğuna gönderilir. Şekil 22'de algoritma bloğu ve alt modülleri gösterilmiştir.



Şekil 22. Algoritma bloğu

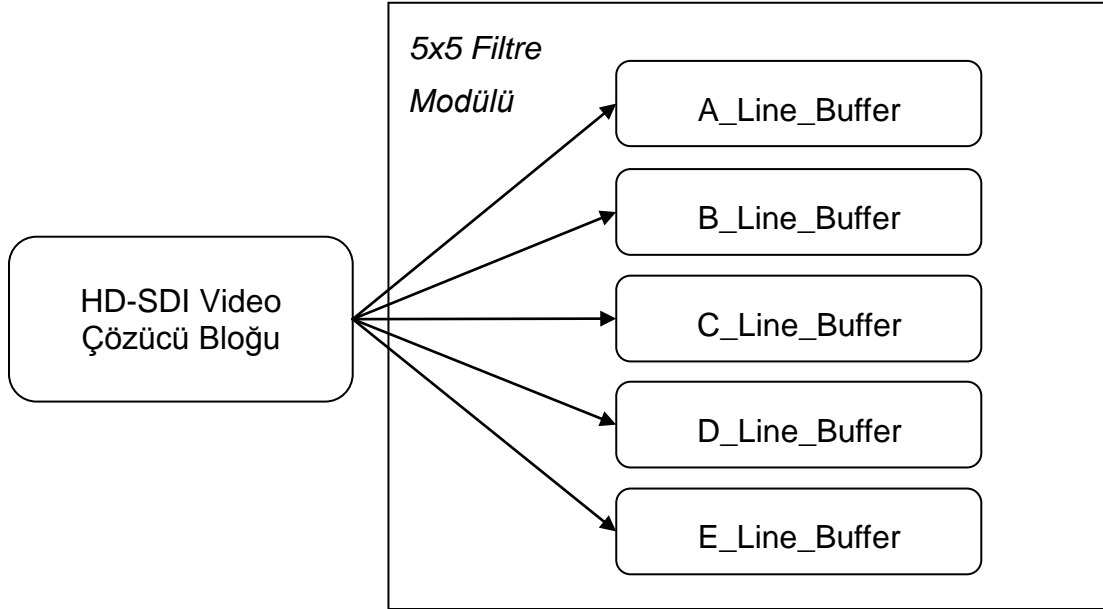
5.4.1. 5x5 Filtre Modülü

Sistemlerde çalışan kameralarda kimi zaman patlak pikseller olabileceği gibi kimi zamanda bir piksel alıcısı hatalı ölçüm yapılabilmektedir. Arka plan modelleme yapılacak bir sistemde böyle bir hata oluşması durumunda ise ölçümü yanlış olan piksel direkt ön plan olarak işaretlenecek ve güncellemeler yapıldıktan sonrada o zamana kadar oluşturulmuş ortalama ve varyans değerlerine zarar verecektir. Bu nedenle bu tür hatalı piksellerin algoritmada işleme sokulmadan elenmesi veya yumuşatılması gerekmektedir. Bunu sağlamak için 5x5 eleme filtresi kullanılmıştır. Bu filtre ortanca piksel ölçümünün 5x5'lik kare içindeki en küçük piksel ölçümünden daha küçük olmasını ve 5x5'lik kare içindeki en büyük piksel ölçümünden daha büyük olmasını engeller. Eğer ortanca piksel ölçümü 5x5'lik kare içindeki en küçük piksel ölçümünden daha küçükse en küçük piksel ölçümüne eşitlenirken, 5x5'lik kare içindeki en büyük piksel ölçümünden daha büyükse de en büyük piksel ölçümüne eşitlenir. Eğer ortalama filtresi kullanılsaydı piksel ölçümleri sürekli yumuşatılacak, düzenli bir arka plan resmi oluşturulamayacak ve ön plan oluşturmak imkansız olacaktı, bu sebeple ortalama filtresi yerine bu şekilde bir eleme filtresi kullanılmıştır. FPGA kaynaklarını optimum kullanmak ve pikseller büyük bir kare içinde karşılaştırılırsa görüntüde bozulmalar olacağı için ve ayrıca 3x3'lük kare de yetersiz kalabileceği için filtre 5x5 olarak kullanılmıştır. Filtre içindeki pikselleri $I(1:5, 1:5)$ 'e şeklinde ifade edersek filtre çıktısı olan $I'(x,y)$ Denklem 14'teki gibi bulunur.

$$I'(x,y) = \begin{cases} I'(x,y) = I(1:5,1:5)_{\max} & I'(x,y) > I(1:5,1:5)_{\max} \\ I'(x,y) = I(1:5,1:5)_{\min} & I'(x,y) < I(1:5,1:5)_{\min} \\ I'(x,y) = I(3,3) & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (14)$$

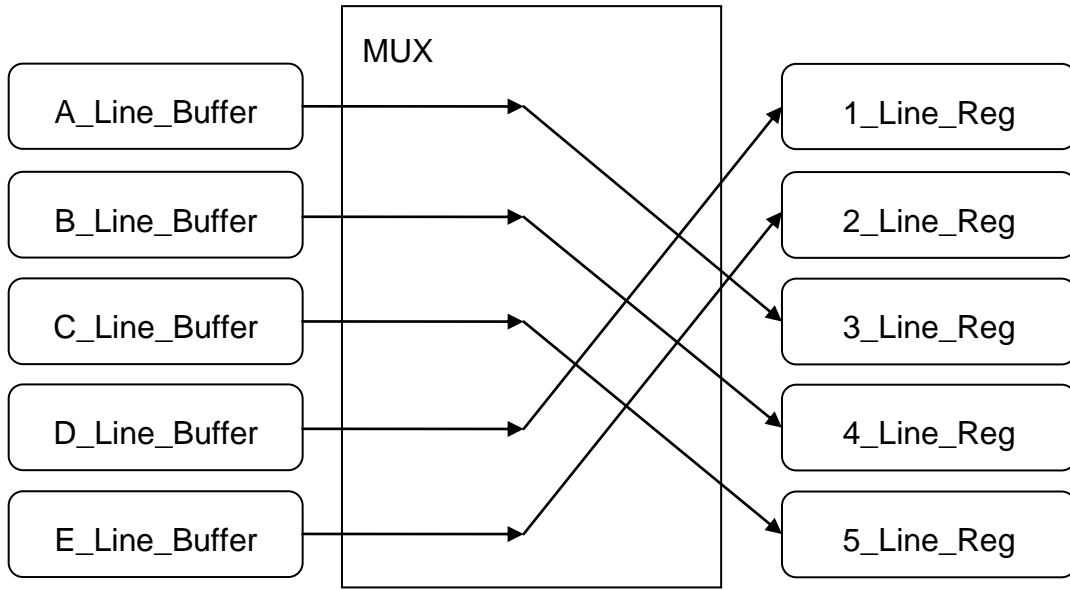
Video çözücü bloğundan gelen piksel ölçümleri isimleri A_line_buffer, B_line_buffer, C_line_buffer, D_line_buffer ve E_line_bufffer olan 5 tane blok belleğe Şekil 23'te görüldüğü gibi sırayla ve sürekli olarak yazılır. Veri sinyali ve

adres sinyali bütün blok belleklere girerken yazma aktif sinyali her bir blok bellek için ayrıdır ve o anki yazılacak blok belleğin veri yazma sinyali aktif edilir.

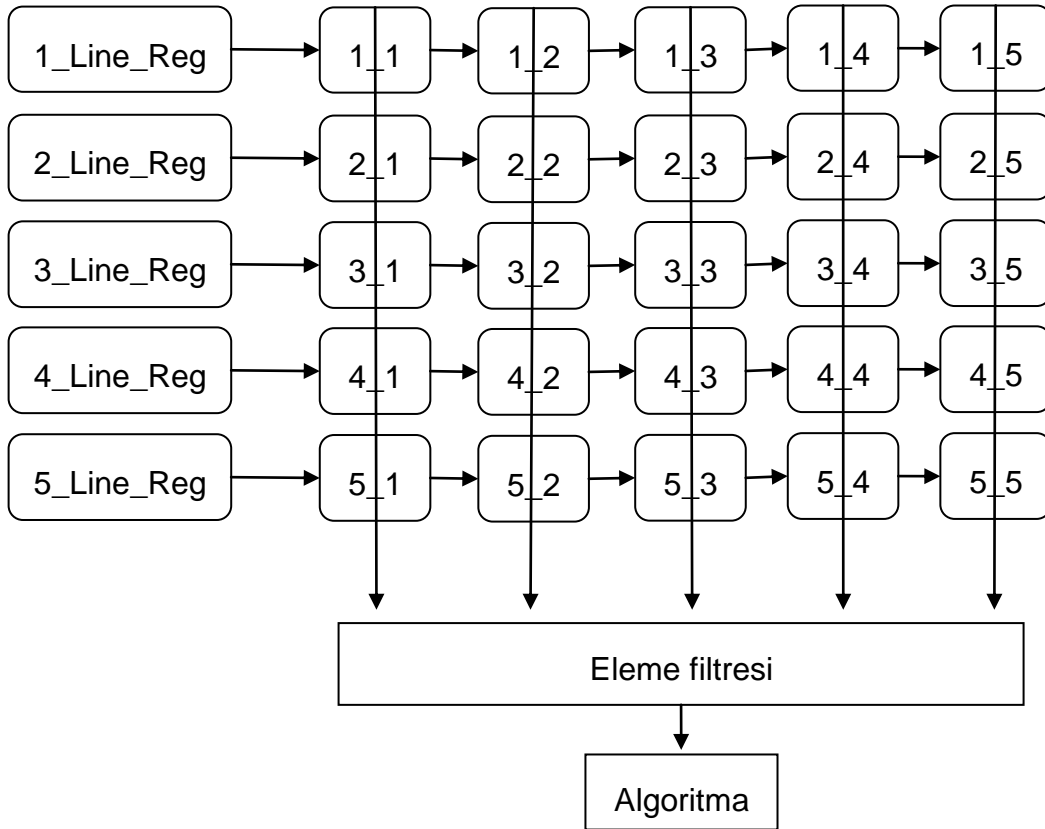


Şekil 23. Algoritma bloğuna gelen piksel ölçümlerinin sırayla blok belleklere yazılması

Blok belleklere sırayla yazılan bu satırların filtreye alınabilmesi için o anki gelen satır en altta olacak şekilde yeniden sıraya dizilmelidir. Bu sebeple blok belleklerin veri çıkış sinyalleri çoklayıcıdan geçirilir. Çoklayıcıdan geçen video sinyalleri artık 1_Line_Reg, 2_Line_Reg, 3_Line_Reg, 4_Line_Reg ve 5_Line_Reg şeklinde sıralanmıştır. Yapının işleyişini anlatmak için en son C_Line_Buffer'a piksel ölçümlerinin yazıldığı durum Şekil 24'te örnek bir gösterim olarak verilmiştir. Bu şekilde satırlara ait piksel ölçümleri sıraya dizildikten sonra her bir satıra ait piksel ölçümleri Şekil 25'te görüldüğü gibi yazmaçlara (register) alınarak kaydırılır ve 25 piksel ölçümü aynı anda kullanılarak eleme filtresinin çalışması sağlanmış olur.



Şekil 24. Blok belleklerden gelen verinin çoklayıcıdan geçirilmesi

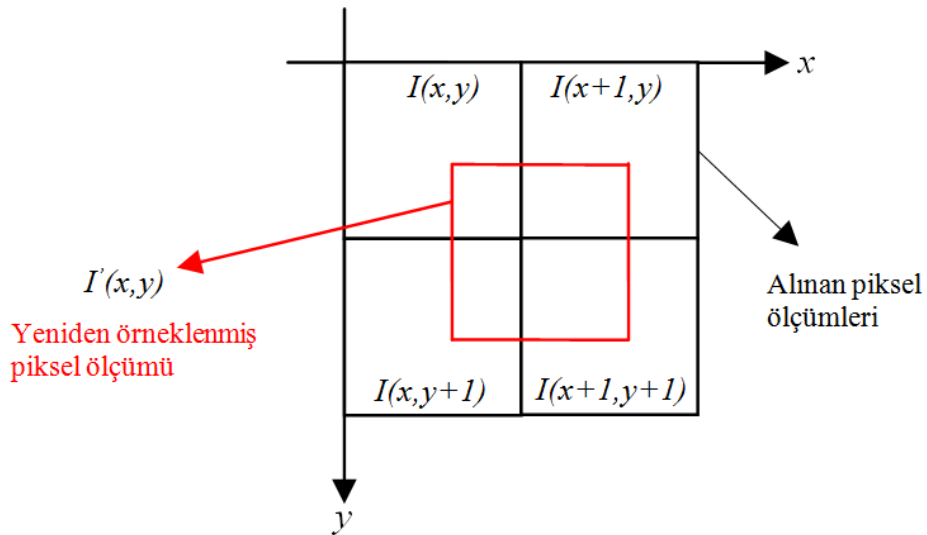


Şekil 25. Yazmaçlarda kaydırılan piksel ölçümlerinin filtreden geçirilmesi ve algoritmaya verilmesi

5.4.2. Ondalıklı Hareket Adaptasyon Modülü

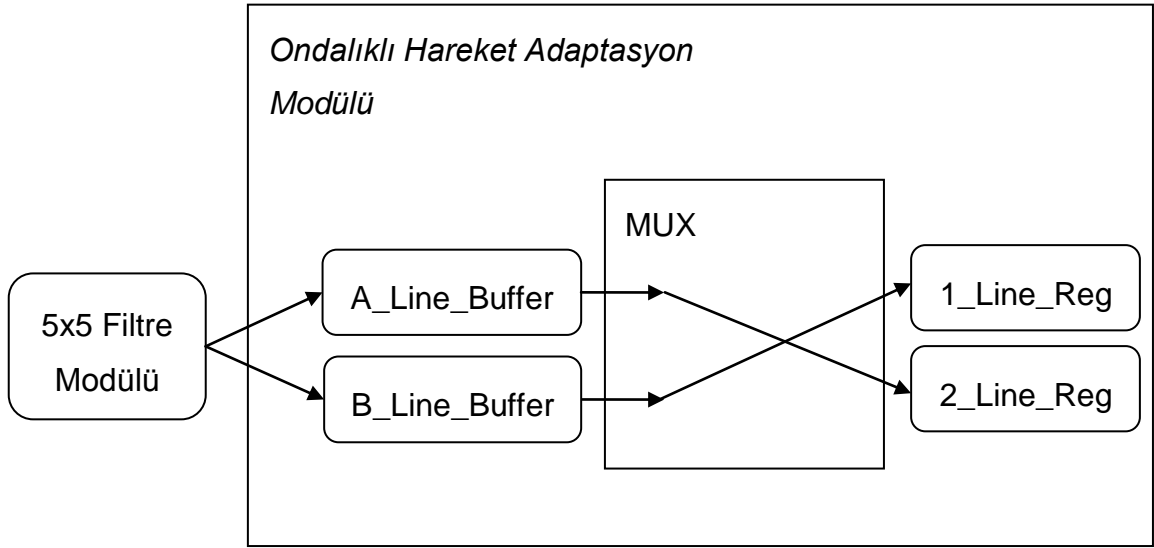
Kamera hareketine adaptasyon sağlamak için hareketin tam sayı ve ondalıklı hareket olmak üzere iki ayrı parçaya bölüdüğünden ve ondalıklı hareketin algoritmaya giren görüntüye uygulanacağından Bölüm 1’de bahsedilmişti. Şekil 26’da alınan piksel ölçümlerinin Denklem 15’teki gibi ondalıklı hareket miktarına göre yeniden örneklendirilmesiyle oluşturulmuş piksel ölçümü gösterilmiştir. Bu modülde, HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğundan gelen ve videonun içinden çıkarılmış olan ondalıklı hareket bilgisi ve 5x5 filtre modülünün çıktısı kullanılarak piksel ölçümlerine yeniden örnekleme yapılır ve ondalıklı harekete adaptasyon sağlanır.

$$\begin{aligned} I'(x,y) = & I(x,y) \times (1 - \text{sola_hareket_miktarı})(1 - \text{yukarıya_hareket}) + \\ & I(x+1,y) \times (\text{sola_hareket_miktarı})(1 - \text{yukarıya_hareket_miktarı}) + \\ & I(x,y+1) \times (1 - \text{sola_hareket_miktarı})(\text{yukarıya_hareket_miktarı}) + \\ & I(x,y+1) \times (\text{sol_hareket_miktarı})(\text{yukarıya_hareket_miktarı}) \end{aligned} \quad (15)$$



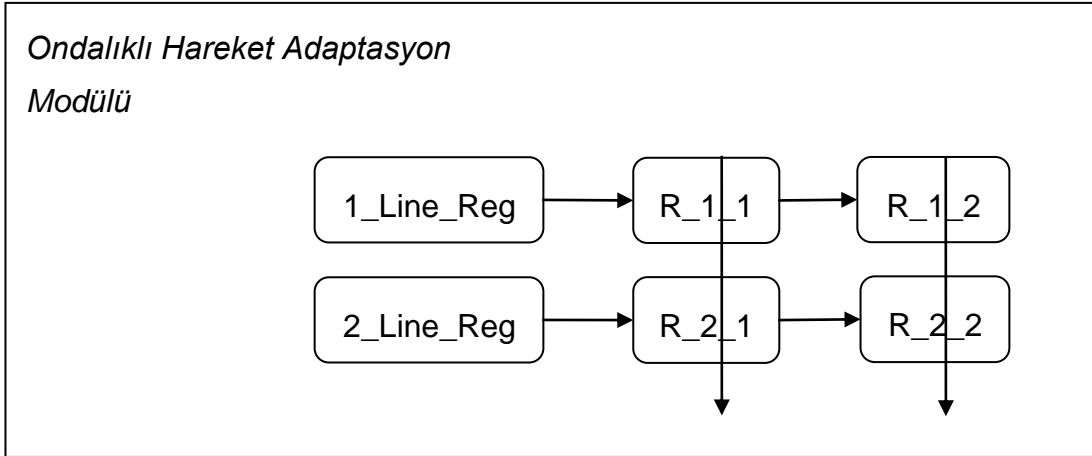
Şekil 26. Alınan piksel ölçümlerinin yeniden örneklenmesi

5x5 filtre uygulamasında olduğu gibi 2 satırın piksellerinin blok belleklerde tutulması gereklidir. Bu sebeple gelen piksel ölçümleri sırayla ve sürekli olarak A_line_buffer ve B_line_buffer olmak üzere iki blok belleğe yazılır. Daha sonra Şekil 27’de görüldüğü gibi piksel ölçümleri yeni gelen satır bilgisi sürekli altta olacak şekilde çoklayıcıdan geçirilerek 1_Line_Reg ve 2_Line_Reg olmak üzere iki yazmaca alınır.



Şekil 27. 5x5 Filtre modülünden gelen piksel ölçümlerinin blok belleklere alınması ve çoklayıcıdan geçirilmesi

Yazmaçlara alınan piksel ölçümlerinde 4x4 karede işlem yapabilmek için piksel ölçümleri iki ayrı yazmaca daha alınarak Şekil 28’deki gibi kaydırılır.



Şekil 28. Yazmaçlara alınan piksel ölçümlerinin kaydırılması

R_1_1, R_1_2, R_2_1 ve R_2_2 yazmaçlarına alınan piksel ölçümleri (8 bit) HD-SDI video çözücü-oluşturucu bloğundan gelen ondalıklı hareket verileri (8 bit) ile çarpılarak piksel ölçümlerinin hareket miktarına göre ağırlıklandırılmış yeni değerleri (16 bit) Denklem 16,17,18 ve 19'daki gibi bulunur. İşlemleri kolaylaştırmak için hareket miktarı katsayıları direkt çarpılacak katsayılar olarak gelmektedir.

$$R_{1_1_weighted_{16b}} = R_{1_1_{8b}} \times Fractional_Mov_L_U_{8b} \quad (16)$$

$$R_{1_2_weighted_{16b}} = R_{1_2_{8b}} \times Fractional_Mov_R_U_{8b} \quad (17)$$

$$R_{2_1_weighted_{16b}} = R_{2_1_{8b}} \times Fractional_Mov_L_D_{8b} \quad (18)$$

$$R_{2_2_weighted_{16b}} = R_{2_2_{8b}} \times \text{Fractional_Mov_R_D}_{8b} \quad (19)$$

Daha sonra bulunan bu ağırlıklandırılmış piksel ölçümleri Denklem 20, 21 ve 22'de görüldüğü gibi kendi aralarında ikişerli toplanarak yeni piksel ölçümünün ağırlıklandırılmış toplamı (18 bit) bulunur. Bulunan yeni piksel ölçümlerinin fazlalık olarak katsayı çarpımlarından gelmiş 10 biti atılarak Denklem 23'teki gibi bit derinliği yeniden 8 bite indirilir.

$$R_{1_weighted_{17b}} = R_{1_1_weighted_{16b}} + R_{1_2_weighted_{16b}} \quad (20)$$

$$R_{2_weighted_{17b}} = R_{2_1_weighted_{16b}} + R_{2_2_weighted_{16b}} \quad (21)$$

$$R_{weighted_{18b}} = R_{1_weighted_{17b}} + R_{2_weighted_{17b}} \quad (22)$$

$$\text{New_Sampled_Piksel}_{8b} = R_{weighted_{18b}} / 2^{10} \quad (23)$$

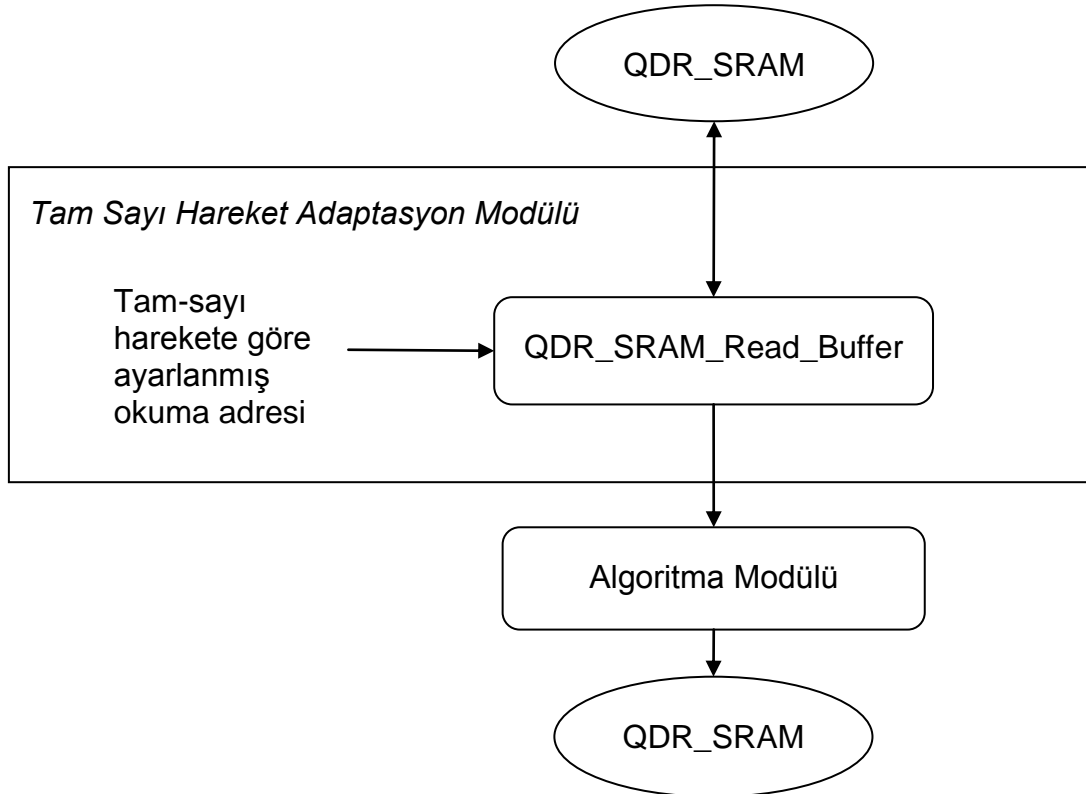
5.4.3. Bellek Okuma ve Tam Sayı Hareket Adaptasyon Modülü

QDR-SRAM aynı anda okuma ve yazma yapılabilen statik bellekler olduğu için tercih edilmiştir. Bu sayede QDR-SRAM'e okuma ve yazma yapan durum

makineleri birbirinden bağımsız çalışabilmekte ve doğası gereği okuma isteğine döneceği cevap aralığı kestirilebilmektedir.

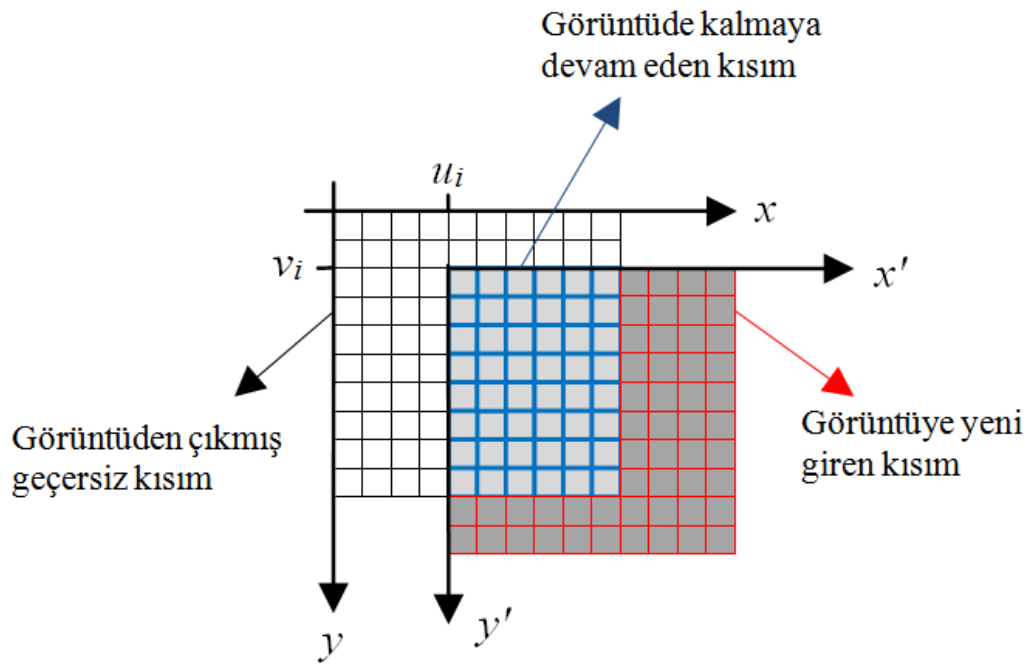
QDR belleğe yazılacak veya okunacak veriler ilk önce bir ara belleğe kaydedilir ve oradan algoritmaya verilir veya algoritmadan alınır. Bu şekilde bellek kısa süreli olarak kullanılır ve diğer bloklar için belleği kullanma zamanı bırakılır.

Bir piksel konumuna ait zaman içinde oluşturulmuş *ortalama* (20bit) ve *varyans* (24bit) değerleri QDR-SRAM bellekte tutulur. Algoritma başlamadan önce bu veriler bellekten okunur ve algoritma tamamlandıktan sonrada güncellenmiş değerler belleğe yeniden yazılır. Tam sayı harekete adaptasyon sağlamak için de bellekten okunan verinin harekete uygun olarak farklı noktadan okunmaya başlanması gerekmektedir. Şekil 29'da QDR-SRAM'lerden okuma ve harekete adaptasyon bloğu, bu bloğun alt modülleri, blok içinde tam sayı harekete uygun olarak okuma adresinin ayarlanması gösterilmiştir.



Şekil 29. QDR-SRAM'lerden okuma ve harekete adaptasyon

Bellekten okunan verinin başlangıç adresi değiştirildiğinde mevcut durumlara göre arka plan görüntüsü satırlarının bellekte bulunduğu konumlar da değişmektedir. Hareket sonrası arka plan resminin bellekteki son noktası da değişmekte ve başlangıç adresinden bir önceki adres olmaktadır. Eski resimle yeni resmin kesiştiği yerlerdeki arka plan bilgisi hem önceki görüntüde olan ve hem de yeni görüntüde olan pikseller olduğu için hala geçerli olarak kalırken görüntüye yeni giren piksellerin arka plan bilgisi artık geçersiz kabul edilir ve modellemeye yeniden başlanır.



Şekil 30. Bellekte bulunan arka plan resminin kaydırılması

Şekil 30'u incelersek hareket sonrası yeni durumda başlangıç noktası u_i ve v_i noktalarının kesişim noktasıdır. Artık arka plan resmi bu adresten okunmaya başlanır ve bir önceki adreste dairesel okuma şeklinde bitirilir. Şekildeki mavi bölgeler hem hareket öncesinde hem de sonrasında ortak geçerli bölgelerdir, bu kısımdaki piksellere ait ortalama ve varyans resimleri hala geçerlidir ve kullanılmaya devam edilir. Kırmızı bölgeler ise önceki durumda geçerli olan ama artık geçerliliği olmayan bölgelerdir. Bu bölgeler hareket sonrası beyaz renkli

kısımlara denk gelir ve verileri artık geçersiz olduğundan gelen piksel ölçümlerine göre yeni bir ortalama ve varyans değeriyle Gauss dağılımları ilklendir.

5.4.4. Algoritma Modülü

Algoritma modülü algoritma bloğu içinde çalışan sırasıyla ön plan tespiti, ortalama ve varyans güncellemelerinin yapıldığı yerdir. Kayan noktalı işlem yapmak yüksek miktarda FPGA kaynağı gerektirdiğinden bu blokta sayılar, tam sayı ve ondalıklı kısım tek bir mantık vektöründe olacak şekilde ifade edilir. Geçen zamana kadar oluşturulan ortalama değeri (20bit, 4bit kesir) ve varyans değeri (24bit, 4bit kesir) hareket miktarının tam sayı kısmına göre ayarlanarak belleklerden okunur ve algoritma modülüne gelir. Ondalıklı harekete adaptasyon sağlanarak yeniden örneklenmiş 8 bit piksel ölçümü de sonuna ve başına 4'er sıfır biti eklenerek 16 bite çıkartılır (bu işlem algoritmanın 16 bit girdi görüntüsü ile de çalışabilmesi için yapılmıştır, bazı termal kameralar 16bit görüntü vermektedir). 16 bite çıkan girdi görüntüsüne 4 bit daha sıfır biti eklenerek, 4 bitlik kesir kısmı eklenmiş olur bu sayede ilerideki işlem basamakları daha hassasiyetli yapılabilecektir. Harekete adapte olmuş ortalama değerleri, varyans değerleri ve yeni piksel ölçüm değerleri kullanılarak algoritma adımları gerçekleştirilir. Matematiksel işlemlerin tablo halinde toplu gösterimi ve işlem yapılan elemanların tam sayı kesir kısımları EK-2 Çizelge 7'de verilmiştir. Ortalama ve varyans değerlerinde yazan k harfi geçmiş değer anlamına gelirken k+1 ise yeni değer anlamına gelmektedir.

Yeni alınan piksel ölçümü ile arka plan ortalaması arasındaki farkın mutlak değeri Denklem 24'teki gibi (*Pixel_Mean_Diff*) hesaplanır. Mutlak değeri bulmak için ortalama değerinden piksel ölçümünün çıkarıldığı ve piksel ölçümünden ortalama değerinin çıkarıldığı iki sonuç elde edilir. Bulunan bu sonuçların birinci biti mantık sıfır olan pozitif değerdir ve mutlak değer olarak kabul edilir (Birinci bit sıfır değil bir olsaydı bu çıkarılan sayının daha büyük olduğu anlamına gelecekti). Elde edilen 20bitlik farkın 16biti tam sayı, 4biti kesirdir.

$$\text{Pixel_Mean_Diff}(x, y) = \begin{cases} \text{Mean}(x, y) - \text{Pixel}(x, y) & \text{Pixel}(x, y) < \text{Mean}(x, y) \\ \text{Pixel}(x, y) - \text{Mean}(x, y) & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (24)$$

Normalize mesafe hesaplamasında ihtiyaç olacağı için FPGA içerisindeki DSP blokları kullanılarak piksel ölçümü-ortalama farkının karesi Denklem 25'teki gibi alınır. Bulunan 40 bitlik sonucun 32 biti tam sayı 8 biti kesirdir.

$$\text{Pxl_Mn_Diff_Sq}(x, y) = \text{Pixel_Mean_Diff}(x, y)^2 \quad (25)$$

Olası ani piksel değişimlerinin Gauss dağılımını bozmasına engel olmak için piksel ölçümü ortalama farkının karesine bu aşamada Denklem 26'da görüldüğü gibi taşma kontrolü yapılır. Eğer fark değerinin karesi 28 bitten (20 bit tam sayı, 8 bit kesir) büyükse 28 bitle sınırlandırılır.

$$\text{Pxl_Mn_Diff_Sq2}(x, y) = \begin{cases} \text{Pxl_Mn_Diff_Sq}_{[27 \text{ to } 0]} & \text{Pxl_Mn_Diff_Sq} < 2^{28} \\ 2^{28} - 1 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (26)$$

Elde edilen taşma kontrolü yapılmış fark görüntüsünün karesi Denklem 27'deki gibi o ana kadarki hesaplanan varyans değerine (24bit, 20bit tam sayı, 4bit kesir) bölünür. Bu işlem sonucu yeni gelen piksel ölçümünün t anına kadar oluşturulmuş

Gauss dağılımına uzaklığını belirten 20 biti tam sayı 4 biti kesir olan 24 bitlik normalize mesafe uzaklığı ($Pxl_Mn_Diff_Nor$) hesaplanmış olur.

$$Pxl_Mn_Diff_Nor(x,y) = \frac{Pxl_Mn_Diff_Sq2(x,y)}{Varyans(x,y)} \quad (27)$$

Hesaplanan normalize mesafe uzaklığı kullanılan kameraya ve bakılan çerçeveye göre değişen bir parametreyle eşiklenerek Denklem 28'deki gibi ön plan tespiti yapılır ve ön plan maskesi belirlenir.

$$Foreground(x,y) = \begin{cases} 0 & Pxl_Mn_Diff_Nor < 1 \\ 1 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (28)$$

Buradaki eşik değerine karar verilirken kameranın baktığı görüntü, piksellerin ne kadar geniş bir aralıkta değer aldığı, kameranın özellikleri ve sistemin ne kadar piksel değeri farkını ön plan olarak sayması gerektiği dikkate alınır. Tüm bu değerler göz önüne alınarak eşik değeri belirlenir. Bu çalışma için eşik değeri 1 olarak alınmıştır yani Mahalanobis mesafesi varyans değerinden büyükse o piksel ön plan olarak kabul edilmiştir. Ön plan tespiti yapıldıktan sonra ortalama ve varyans değerlerinin yeni gelen piksel ölçümlerine göre güncellenmesi ve belleğe kaydedilmesi gerekmektedir. Güncelleme işlemi yapılırken ön plan piksellerinin daha yavaş arka plan piksellerinin de daha hızlı güncelleneceği önceki kısımlarda anlatılmıştı. Bu sebeple seri kanal arayüzünden ayrı ayrı gelen ön plan ve arka plan güncelleme oranlarından (8 bit) Denklem 29'da görüldüğü gibi ön plan

belirlenen pikseller ön plan güncelleme oranını kullanırken arka plan belirlenen pikseller de arka plan güncelleme oranını kullanırlar.

$$\text{Update_Rate}(x, y) = \begin{cases} \alpha_f & \text{Foreground}(x, y) = 1 \\ \alpha_b & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (29)$$

Güncelleme oranı algoritmanın kullandığı sistemin ihtiyaçlarına göre belirlenir. Örneğin görüntüdeki hareketli kısımların hızı yeterince yüksekse ön plan güncelleme oranı yüksek alınabilir. Bu sayede görüntüye girip çıkmayan nesnelere hızlıca arka plana eklenecek ve hareketli kısımlar işaretlenmeye devam edecektir. Bu çalışmada herhangi bir sistem gereği olmadığı için ön plan ve arka plan güncelleme oranları anlık değiştirilebilir yapılmıştır. Ortalama ve varyans güncellemeleri yapılırken güncelleme oranlarıyla beraber güncelleme oranlarının tümleyicileri de kullanılır. Bu sebeple bu işlem basamağında ön plan ve arka plan güncelleme oranlarının tümleyicileri Denklem 30'da görüldüğü gibi hesaplanır.

$$\text{Update_Rate_C}(x, y) = 2^8 - \text{Update_Rate}(x, y) \quad (30)$$

Ön plan tespitinin ve güncelleme oranlarının belirlenmesi yapıldıktan sonra geriye yeni ortalama ve varyans değerlerinin hesaplanması ve belleğe kaydedilmesi kalır.

Ortalama değer güncellemesi yapılırken Denklem 31'de görüldüğü gibi güncelleme oranının tümleyicisiyle (8 bit) geçmiş ortalama değeri (20 bit) çarpılır ve güncelleme oranı (8 bit)-piksel ölçümü (20 bit) çarpımıyla toplanır.

$$\begin{aligned} \text{Mean_Pre}_{k+1}(x,y) = \\ \text{Update_Rate_C} * \text{Mean}_k(x,y) + \text{Update_Rate} * \text{Pixel}(x,y) \end{aligned} \quad (31)$$

Elde edilen ortalama görüntüsünde 8 bit güncelleme oranı çarpımlarından gelen fazlalık bulunmaktadır. Bu fazlalık da atılarak yeni ortalama değeri Denklem 32'deki gibi hesaplanır ve bir sonraki karede kullanılmak üzere belleğe atılır.

$$\text{Mean}_{k+1}(x,y) = \text{Mean_Pre}_{k+1} [27 \text{ to } 8](x,y) \quad (32)$$

Varyans değeri güncellemesi yapılırken, t anına kadar oluşturulmuş varyans değeri, taşma kontrolü yapılmış fark değerinin karesi, güncelleme oranı ve güncelleme oranı tümleyicisi kullanılır. Denklem 24'te elde edilen taşma kontrolü yapılmış piksel ölçümü ortalama farkının karesi (28 bit) kesir kısımlarının eşitlenmesi için önce 2^4 'e bölünür ve sonra güncelleme oranı (8 bit) ile çarpılır. t anına kadar hesaplanmış varyans değeri (24 bit) de güncelleme oranı tümleyicisiyle (8 bit) çarpılır. İki çarpım toplanarak 12 biti kesir olan 32 bitlik varyans ara değeri Denklem 33'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Varyans_Pre}_{k+1}(x,y) = \\ \text{Update_Rate} * \text{Pxl_Mn_Diff_Sq2} [27 \text{ to } 4] + \text{Update_Rate_C} * \text{Varyans}_k \end{aligned} \quad (33)$$

Hesaplanan yeni varyans değerindeki güncelleme oranları çarpımından gelen 8 bitlik fazlalık atılarak güncellenmiş varyans değeri Denklem 34'te görüldüğü gibi elde edilir.

$$\text{Varyans}_{k+1}(x, y) = \text{Varyans_Pre}_{[31 \text{ to } 8]}(x, y) \quad (34)$$

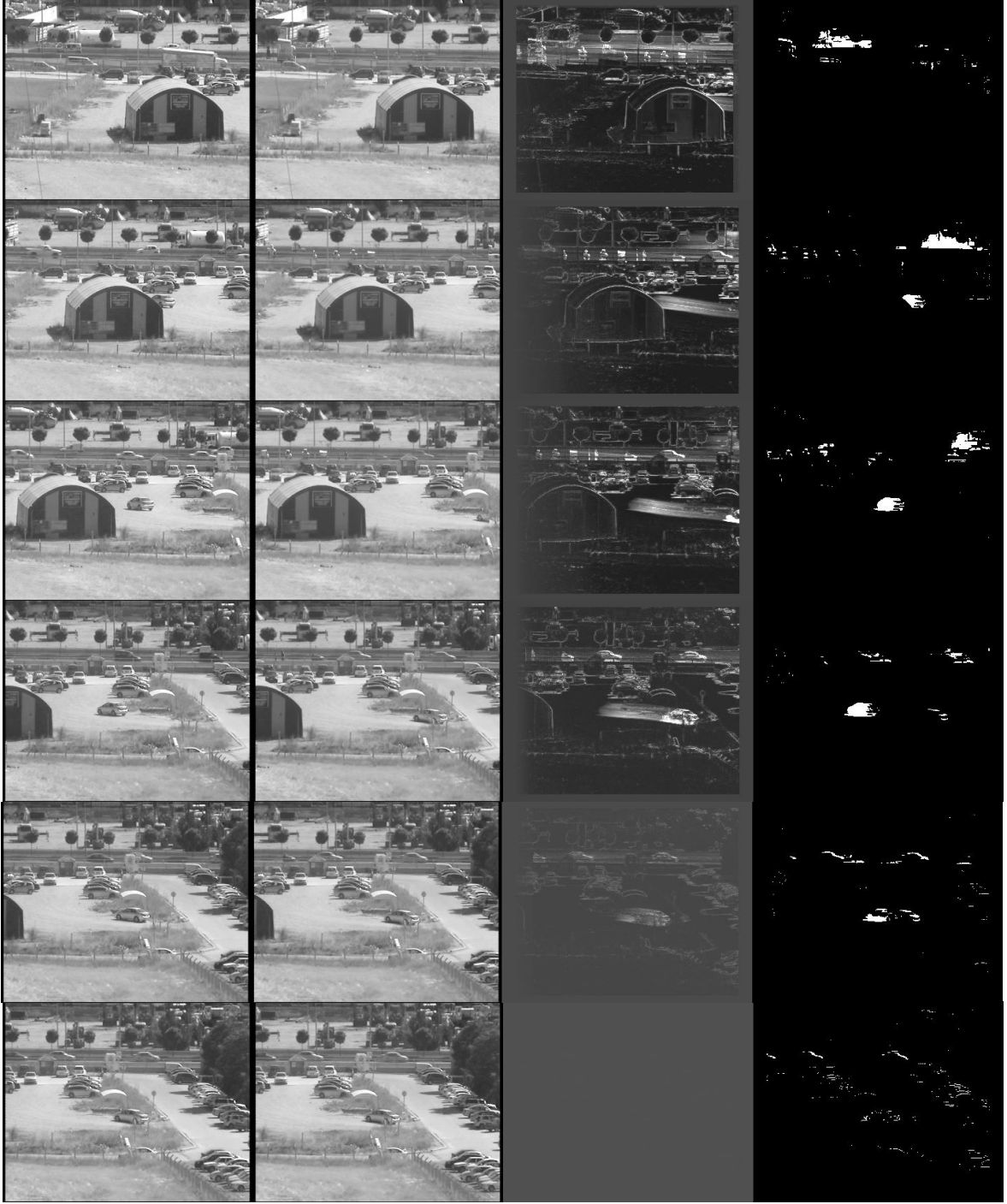
Hesaplanan yeni varyans değeri bir sonraki karede kullanılmak üzere hesaplanan ortalama değeriyle beraber belleğe kaydedilir. Yeni gelen görüntü çerçevesinde ön plan tespitinin yapılması ve yeni gelen görüntü çerçevesine göre ortalama ve varyans değerlerinin güncellemesinin yapılmasıyla arka plan modelleme tamamlanmış olur.

5.5. Deneysel Sonuçlar, Başarımlar ve Limitler

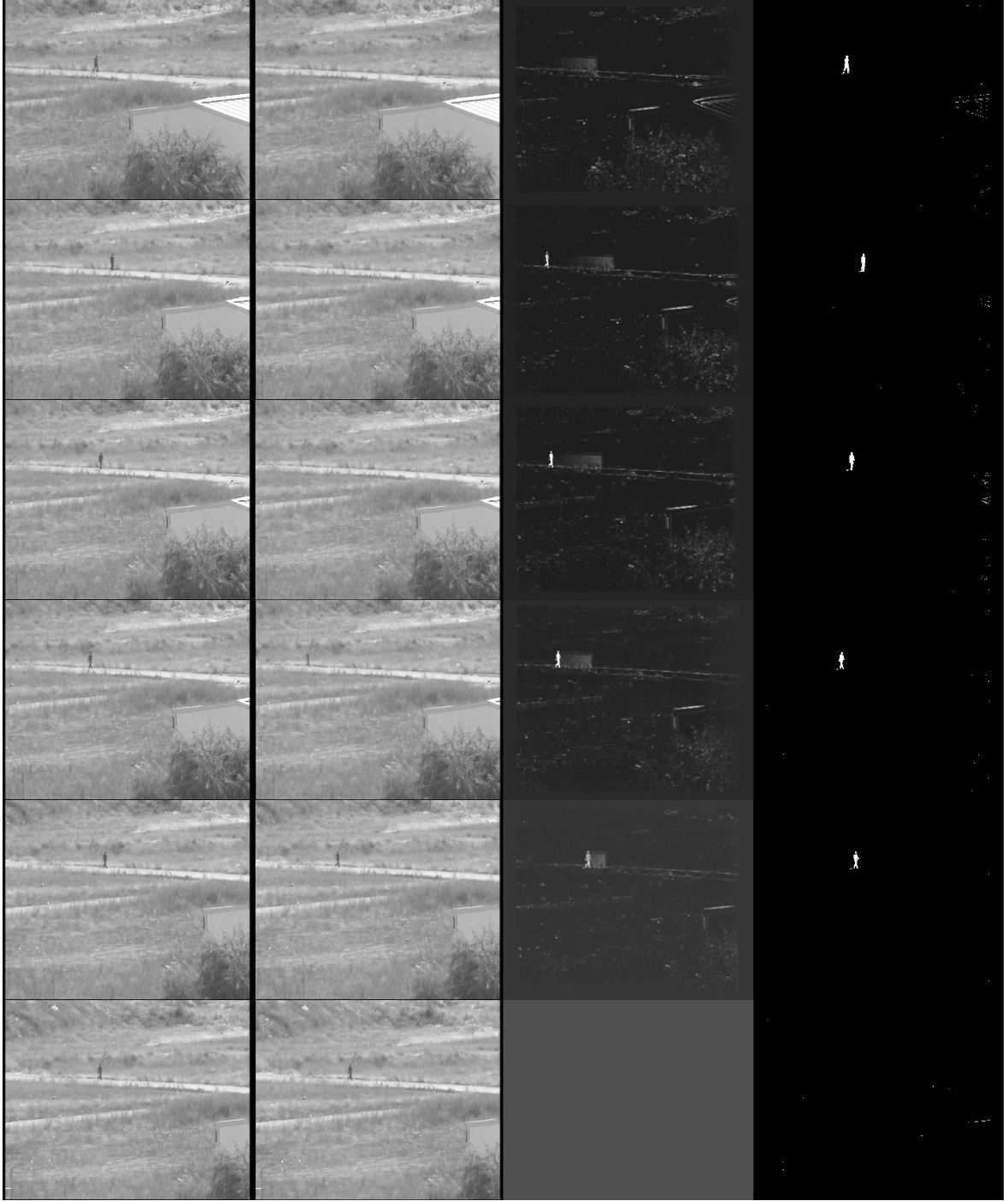
Yapılan bu çalışmada kullanılan bellek büyüklüğünü, işlem miktarını (EK-5, Şekil 35'te FPGA'in kaynak kullanımı gösterilmiştir) ve kullanılan eleman sayısını en aza indirerek gerçek zamanlı arka plan modelleme yapılmaya çalışılmıştır. Dn ler ve kodlayıcılardan gelmesi gereken hareket verisi simüle olarak video içine gömülüp FPGA içine bu Şekilde alınıp kullanılmıştır.

Alınan piksel ölçümleri yeniden örneklenirken iki video satırı FPGA içindeki belleklerde tutulup daha sonra işlem yapıldığı için iki video satırı zamanı kadar bir gecikme oluşmaktadır ve bunun haricinde sistemde bir gecikme yoktur. Sayısal video standartların tümünde bulunan dikey boşluk kısmı (video karesinin ya da bir video alanının bittiği diğer video karesine veya video alanına başlanacak kısım, vertical blanking [23]) sayesinde bir görüntü karesi bitmeden algoritma uygulanmış ve tamamlanmış olur. Bu da demektir ki anlatılan yöntem dikey boşluğu olan bütün sayısal video standartlarında ve hızlarında gerçek zamanlı olarak uygulanabilir.

Şekil 31 ve Şekil 32'de FPGA'de uygulamaya geçilmeden MATLAB ortamında yapılan denemeler görülmektedir. Hareket bilgileri faz korelasyonu [30] metoduyla bulunmuş hareketli olarak çekilen iki farklı görüntü dizisi için algoritmanın girdileri ve çıktıları gösterilmektedir. İlk video dinamik arka plana sahip iken, ikinci videoda arka plan daha sabittir. Her iki videoda da geniş çaplı bir pan hareketi (Dizi A için 277 piksel / 180 kare, Dizi B için 108 piksel / 210 kare) vardır. Piksel altı ötelemelerin yeni gelen kareye uygulanması sayesinde, arka plan ortalama resminde keskinliğin korunduğu görülebilir. Hareketli nesnelere arka plan ortalama resminde görünmemektedir. Algoritmanın ürettiği ön plan resimleri incelendiğinde, kameranın hareketine rağmen hareketli nesnelere arka plandan ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 31. Dinamik arka planlı görüntü için farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü, ortalama, varyans ve ön plan resimleri



Şekil 32. Normal arka planlı görüntü için farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü, ortalama, varyans ve ön plan resimleri

Şekil 33 ve Şekil 34'te ise araziye bakan bir kameradan alınmış görüntülerden oluşturulan hareket bilgisi video içine gömülmüş hızlı titreşen kamera görüntüsü için elde edilen FPGA çıktıları verilmiştir. Sol taraftaki ekranda gözle çok zor

görülebilmesine rağmen sağ taraftaki ekranda yukarıda kuşlar, aşağıda tarla fareleri tespit edilmiştir.



Şekil 33. Hızlı titreşen kameradan farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü ve ön plan resimleri



Şekil 34. Hızlı titreşen kameradan farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); gelen görüntü ve ön plan resimleri

Anlatılan yöntemin hareketi tespit etme oranı, hareket bilgisinin tam doğrulukta alındığını varsaydığımızda Gauss tabanlı arka plan modellemenin başarımına bağlıdır. Çünkü kameranın hareket miktarı tam doğrulukta alındıysa arka plan resmi ve alınan piksel ölçümleri uzamda düzgün bir şekilde eşleştirilmiştir. Çalışmanın limiti ise kamera hareketinin hızıdır. Görüntüye yeni giren piksel ölçümlerinin ortalama ve varyans değerlerinin oluşturulması için belli bir süre gerekecektir. Eğer kamera hızlı bir şekilde dönüyor ve görüntüye yeni giren pikseller arka plan modelleri oluşturulamadan görüntüden çıkıyorsa bu şekilde ön plan tespiti mümkün olmayacaktır. Bir pikselin Gauss dağılımının oluşturulması için geçmesi gereken süreyi 2 saniye olarak varsayarsak görüntüye yeni girmiş bir pikselin ön plan tespitinde kullanılabilmesi için en az 2 saniye görüntüde kalması gereklidir. Yatayda 1000 piksele sahip bir görüntü karesi için eğer kamera saniyede 50 piksel dönüyorsa, birinci saniyede 50 piksel geçersiz olur ve ön plan tespitine uygun görüntü yüzdesi 95 olur. İkinci saniyede bir 50 piksel daha görüntüden çıkar ve ön plan tespitine uygun görüntü yüzdesi 90'a düşer. Üçüncü saniyede bir 50 piksel daha görüntüden çıkar fakat 2 saniye önce görüntüye girmiş 50 pikselin arka plan bilgisi hazır olur ve geçerli görüntü yüzdesi artık 90'da sabit kalır.

Çizelge 5'te yukarıda anlatılan durumda ve yatayda 1000 piksele sahip bir görüntü çerçevesi için kameranın dönme hızı (kameranın sadece pan hareketi yaptığı varsayılmıştır, tilt hareket içinde aynı oranlar geçerlidir) ve geçen saniyeye göre görüntünün yüzde olarak ön plan tespitine uygunluğu ilişkisi verilmiştir.

Çizelge 5. Yatayda 1000 piksele sahip kamera için dönme hızı – ön plan tespitine uygun görüntü yüzdesi ilişkisi

Kameranın dönme hızı Piksel/Saniye	Geçen saniyeye göre görüntünün yüzde olarak ön plan tespitine uygunluğu				
	1.Saniye	2.Saniye	3.Saniye	...	N.Saniye
50	%95	%90	%90	...	%90
100	%90	%80	%80	...	%80

150	%85	%70	%70	...	%70
200	%80	%60	%60	...	%60
250	%75	%50	%50	...	%50
...
450	%55	%10	%10	...	%10
500	%50	%0	%0	...	%0

Yukarıda parametrelere göre eğer ön plan tespiti için görüntünün en az %50'sinin geçerli olması isteniyorsa kamera en fazla 250 piksel/saniye hızında dönmelidir. Bir pikselin Gauss dağılımının oluşması için geçmesi gereken süreye T_{Gauss} , görüntü çerçevesinin yataydaki veya dikeydeki piksel sayısına M_{piksel} , görüntüde yapılmak istenen ön plan tespitinin yüzdesine de $P_{önplan}$ diyelim. Bu durumda algoritmanın izin verdiği kameranın maksimum dönme hızı V_{kamera} Denklem 35'teki gibi bulunur.

$$V_{kamera} = \frac{M_{piksel} \times (100 - P_{önplan})}{T_{Gauss} \times 100} \quad (35)$$

6. SONUÇLAR

Arka plan modelleme kullanımı gittikçe artan ve birçok görüntü işleme uygulaması alanında sıklıkla kullanılan görüntü işleme uygulamalarından biridir. Kameranın sabit olması varsayımına dayalı bu sistemlerin kamera hareketinde de çalışabilmesi ise sistemlere fazlaca yetenek katabilecek ve kullanım alanını da artıracaktır. Güç tüketiminin, maliyetin, sistemin kapladığı alanın ve gerçek zamanlı çalışmanın çok kritik olduğu askeri ve benzer sistemlerde ise harekete adaptasyonun minimum kaynaklarla ve gerçek zamanlı yapılması önem arz etmektedir. Genel olarak bakıldığında hareketli kamerada arka plan modelleme için sunulan çözüm yöntemlerinden (panorama vb.) daha farklı bir bakış açısıyla çözüm sunan bu çalışma dönü ölçer ve kodlayıcı kullanılan tüm sistemlerde, güç tüketimini, kaynak miktarını ve kapladığı alanı fazlaca artırmadan piksel altı ötelemeler sayesinde arka plan resminin keskinliğini koruyarak, hareketli kamerada gerçek zamanlı arka plan modelleme yapılmasına imkan tanımaktadır.

FPGA içine alınan hareket verisi tam sayı ve ondalıklı kısım olmak üzere iki parçaya bölünüp, tam sayı kısım bit derinliği fazla olan arka plan resmine bellekte adres değiştirme metoduyla uygulanmış ve ondalıklı kısım da bit derinliği daha az olan piksel ölçümlerine yeniden örnekleme metoduyla uygulanarak harekete adaptasyon sağlanmıştır. Tam sayı hareketin bit derinliği fazla olan bellekteki arka plan görüntüsüne adres değiştirme metoduyla uygulanması ve ondalıklı hareketin bit derinliği arka plan resmine göre daha az olan piksel ölçümlerine uygulanmasıyla matematiksel işlemlerin hepsi bit derinliği az olan veriyle yapılmış, bu sayede de işlem miktarı, işlemlerden gelecek hatalar ve dönü ölçer ve kodlayıcılardan gelecek hatalar azaltılmış, arka plan resminin keskinliği korunarak gerçek zamanlı çalışma sağlanmıştır.

Belleklerde bir görüntü karesi boyutunda arka plan resmi tutulduğu için eğer kamera bir hareket yaptıktan sonra hemen eski konumuna dönerse ilk arka plan bilgisi kaybolmaktadır. Gelecek çalışmalarda bellek boyutu biraz daha büyük tutulup geçmişe ait bilgiler hemen silinmezse titreşim hareketinde algoritmanın başarısı arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kumar, K.S., Prasad, S., Saroj, P.K., Tripathi, R.C., Multiple cameras using real time object tracking for surveillance and security system, *3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET)*, 19-21 Kasım, **2010**.
- [2] Subudhi, B.N., Ghosh, S., Ghosh, A., Moving object detection using Gaussian background model and Wronskian framework, *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, sf. 1775,1780, 22-25 Ağustos, **2013**.
- [3] Zhang, X., Liang, L., Huang, Q., Huang, T., Gao, W., A background model based method for transcoding surveillance videos captured by stationary camera, *Picture Coding Symposium (PCS)*, sf. 78-81, 8-10 Aralık, **2010**.
- [4] Saunders, J., Beard, R., Tracking a target in wind using a micro air vehicle with a fixed angle camera, *American Control Conference*, sf. 3863-3868, 11-13 Haziran, **2008**.
- [5] Layshot, N., Yu, X.H., Modeling of a gyro-stabilized helicopter camera system using artificial neural networks, *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, sf. 454-458, 6-8 Haziran, **2011**.
- [6] Jin, Y., Tao, L., Di, H., Rao, N.I., Xu, G., Background modelling from a free-moving camera by multi-layer homography algorithm, *15th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, sf. 1572-1575, 12-15 Ekim, **2008**.
- [7] Rao, N.I., Di, H., Xu, G., Panoramic background model under free moving camera, *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, cilt. 1, sf. 639-643, 24-27 Ağustos, **2007**.
- [8] Shcherbakov, V.V, Garganeev, A.G, Shakirov, I.V, The stabilization algorithm based on the Lucas-Kanade method in Wavelet spectrum, *IEEE 13th International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*, sf. 285-289, 2-6 Temmuz, **2012**.

- [9] Topcu, O., Kalem, A., and Esen, E., Background subtraction with a moving camera," *21st Signal Processing and Communications. Applications Conference (SIU)*, sf. 1-4, 24-26 Nisan, **2013**.
- [10] Zou, X., Zhao, X., Chi, Z., A robust background subtraction approach with a moving camera, *7th International Conference on Computing and Convergence Technology (ICCT)*, sf. 1026-1029, 3-5 Aralık, **2012**.
- [11] Monari, E., Pollok, T., A real-time image-to-panorama registration approach for background subtraction using pan-tilt-cameras, *8th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS)*, sf. 237-242, 30 Ağustos-2 Eylül, **2011**.
- [12] Benezeth, Y., Emile, B., Laurent, H., Rosenberger, C., Jodoin, P.M, Review and evaluation of commonly-implemented background subtraction algorithms, *19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, sf. 1-4, 8-11 Aralık, **2008**.
- [13] Long, Y., Xiao, X., Shu, X., Chen, S., Vehicle tracking method using background subtraction and Meanshift algorithm, *International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*, sf. 1-4, 7-9 Kasım, **2010**.
- [14] Colmenarejo, A., Escudero-Vinolo, M., Bescos, J., Class-driven Bayesian background modelling for video object segmentation, *Electronics Letters*, cilt. 47, sf. 1023-1024, 1 Eylül, **2011**.
- [15] Lu, N., Wang Q.H., Wu Q.H., Yang Li., An improved motion detection method for real-time surveillance, *IAENG International Journal of Computer Science*, **2008**.
- [16] Patel N, Motion detection based on multi frame video under surveillance system, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, cilt. 2, **2012**.
- [17] Zhang, H., Wu, K., A vehicle detection algorithm based on three-frame differencing and background subtraction, *Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*, cilt. 1, sf. 148-151, 28-29 Ekim, **2012**.

- [18] Alecu, T.I, Voloshynovskiy, S., Pun, T., The Gaussian transform of distributions: definition, computation and application, *IEEE Transactions on Signal Processing*, cilt. 54, sf. 2976-2985, Ağustos, **2006**.
- [19] Ji, H., Xu, M., Ran, F., Auto classification of skin symptom based on Mahalanobis distance, *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, cilt. 6, sf. 299–302, 20-22 Ağustos, **2010**.
- [20] Stauffer, C., Grimson, W.E.L., Adaptive background mixture models for real-time tracking, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, cilt. 2, sf. 252, **1999**.
- [21] Shimada, A., Arita, D., Taniguchi, R.I., Dynamic control of adaptive Mixture-of-Gaussians background model, *06th IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, sf. 5, 5 Kasım, **2006**.
- [22] Rumsey F., Watkinson J., *Digital Interface Handbook*, 3. Baskı, Focal Press, **2004**.
- [23] Poynton C.A, *Digital Video And HDTV Algorithms and Interfaces*, 9. Baskı, Morgan Kaufmann Publishers, **2007**.
- [24] Qasim, S.M., Abbasi, S.A., Almashary, B., An overview of advanced FPGA architectures for optimized hardware realization of computation intensive algorithms, *International Conference on Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies*, sf. 300-303, 14-16 Mart, **2009**.
- [25] Uyanık Ö, *Video Aslının ve Bütünlüğünün FPGA ile Doğrulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2011**.
- [26] Keshavarzi, A., Maheshwari, D., Mattos, D., Kapre, R., Krishnegowda, S., Whately, M., Gopalswamy, S., Directions in future of SRAM with QDR-WideIO for high performance networking applications and beyond, *IEEE Proceedings of the Custom Integrated Circuits Conference (CICC)*, sf. 1-6, 15-17 Eylül, **2014**.
- [27] Anonim, White Paper (GE Intelligent Platforms) : Overviews VPX as an update to the VMEbus, <http://www.geautomation.com/download/vpx-vmebus-21st-century?cid=wikvpx> (Mart, **2015**).

- [28] Rajesh Manapat, Quad-Data-Rate SRAM Subsystems Maximize System Performance, <http://electronicdesign.com/digital-ics/quad-data-rate-sram-subsystems-maximize-system-performance> (Nisan, **2015**).
- [29] Pandey, S.L., Umamageswaran, K., Wilsey, P.A., VHDL semantics and validating transformations, *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol.18, sf. 936-955, Temmuz, **1999**.
- [30] Jin, B., Zhang Z., Introducing phase correlation into the course of signals and systems, *2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, sf. 1870-1872, 21-23 Nisan, **2012**.

EKLER

EK-1

Çizelge 6. SMPTE-292M video akışı ve çözümleyici sinyaller

		Parlaklık Kanalı	Renk Kanalı	Piksel_ Enable	Video_ Start	
Dikey Boşluk (45 satır)	EAV (aktif video sonu)	3FF	3FF	0	0	
		000	000	0	0	
		000	000	0	0	
		XYZ	XYZ	0	0	
	Yatay Boşluk (712 piksel)	-	-	0	0	
		--	--	0	0	
		---	---	0	0	
	SAV (aktif video başlangıcı)	3FF	3FF	0	0	
		000	000	0	0	
		000	000	0	0	
		XYZ	XYZ	0	0	
	(1920 piksel)	-	-	0	0	
		--	--	0	0	
		EAV (aktif video sonu)	3FF	3FF	0	0
			000	000	0	0
			000	000	0	0
XYZ			XYZ	0	1	
Yatay Boşluk (712 piksel)		-	-	0	1	
		--	--	0	1	
		---	---	0	1	
SAV (aktif video başlangıcı)		3FF	3FF	0	1	
		000	000	0	1	
		000	000	0	1	
		XYZ	XYZ	0	1	
Parlaklık ve Renk Bilgisi (1920 piksel)		Y ₁	Cb ₁	1	1	
		Y ₂	Cr ₂	1	1	
		Y ₃	Cb ₃	1	1	
		Y ₄	Cr ₄	1	1	
		-	-	1	1	
		--	--	1	1	
EAV (aktif video sonu)		3FF	3FF	0	1	
		000	000	0	1	
		000	000	0	1	
		XYZ	XYZ	0	1	

EK-2

Çizelge 7. Algoritma bloğunda yapılan işlemler

Sonuç	İşlem	1. Eleman	2. Eleman	No
<u>Pixel_Mean_Diff</u>	<u>Çıkarma</u>	<u>Mean</u>	<u>Pixel</u>	22
(20bit,4bit kesir)	20bit – 20bit	(20bit,4bit kesir)	(20bit, 4bit kesir)	
<u>Pxl_Mn_Diff_Sq</u>	<u>Çarpma</u>	<u>Pixel_Mean_Diff</u>	<u>Pixel_Mean_Diff</u>	23
(40bit, 8bit kesir)	20bit * 20bit	(20bit,4bit kesir)	(20bit,4bit kesir)	
<u>Pxl_Mn_Diff_Sq2</u>	<u>Taşma Kontrolü</u>		<u>Pxl_Mn_Diff_Sq</u>	24
(28bit, 8bit kesir)	28bit <? 40bit		(40bit, 8bit kesir)	
<u>Pxl_Mn_Diff_Nor</u>	<u>Bölme</u>	<u>Pxl_Mn_Diff_Sq2</u>	<u>Varyans</u>	25
(24bit, 4bit kesir)	28bit/24bit	(28bit, 8bit kesir)	(24bit, 4bit kesir)	
<u>Update_Rate_C</u>	<u>Çıkarma</u>	<u>2^8</u>	<u>Update_Rate</u>	28
(8bit)	8bit – 8bit	(8bit)	(8bit)	
<u>Temp1</u>	<u>Çarpma</u>	<u>Update_Rate_C</u>	<u>Mean</u>	29
(28bit,12bit kesir)	8bit * 20bit	(8bit)	(20bit, 4bit kesir)	

<u>Temp2</u>	<u>Çarpma</u>	<u>Update Rate</u>	<u>Pixel</u>	
(28bit, 12bit kesir)	8bit * 20bit	(8bit)	(20bit, 4bit kesir)	
<u>Mean_Pre_{k+1}</u>	<u>Toplama</u>	<u>Temp1</u>	<u>Temp2</u>	
(28bit, 12bit kesir)	28bit + 28bit	(28bit, 12bit kesir)	(28bit, 12bit kesir)	
<u>Mean_{k+1}</u>	<u>Bölme</u>	<u>Mean_Pre_{k+1}</u>	<u>2⁸</u>	30
(20bit, 4bit kesir)	28bit/8bit	(28bit, 12bit kesir)	(8bit)	
<u>Temp1</u>	<u>Çarpma</u>	<u>Update Rate</u>	<u>Pxl Mn Diff Sq2/(2⁴)</u>	
(32bit, 12bit kesir)	8bit * 24bit	(8bit)	(24bit, 4bit kesir)	
<u>Temp2</u>	<u>Çarpma</u>	<u>Update Rate C</u>	<u>Varyans</u>	31
(32bit, 12bit kesir)	8bit * 24bit	(8bit)	(24bit, 4bit kesir)	
<u>Varyans_Pre_{k+1}</u>	<u>Toplama</u>	<u>Temp1</u>	<u>Temp2</u>	
(32bit, 12bit kesir)	32bit + 32bit	(32bit, 12bit kesir)	(32bit, 12bit kesir)	
<u>Varyans_{k+1}</u>	<u>Bölme</u>	<u>Varyans_Pre_{k+1}</u>	<u>2⁸</u>	32
(24bit, 4bit kesir)	32bit/8bit	(32bit, 12bit kesir)	(8bit)	

EK-3

Background_Modelling Project Status			
Project File:	aurora_rx.xise	Parser Errors:	No Errors
Module Name:	Background_Modelling	Implementation State:	Programming File Generated
Target Device:	xc5vfx100t-1ff1136	• Errors:	
Product Version:	ISE 14.7	• Warnings:	
Design Goal:	Timing Performance	• Routing Results:	All Signals Completely Routed
Design Strategy:	SmartXplorer - maplogicopt	• Timing Constraints:	All Constraints Met
Environment:	System Settings	• Final Timing Score:	0 (Timing Report)

Device Utilization Summary				[-]
Slice Logic Utilization	Used	Available	Utilization	Note(s)
Number of Slice Registers	5,375	64,000	8%	
Number used as Flip Flops	5,375			
Number of Slice LUTs	3,944	64,000	6%	
Number used as logic	3,599	64,000	5%	
Number using O6 output only	3,101			
Number using O5 output only	330			
Number using O5 and O6	168			
Number used as Memory	320	19,840	1%	
Number used as Shift Register	320			
Number using O6 output only	265			
Number using O5 output only	55			
Number used as exclusive route-thru	25			
Number of route-thrus	387			
Number using O6 output only	353			
Number using O5 output only	34			
Number of occupied Slices	2,241	16,000	14%	
Number of LUT Flip Flop pairs used	6,724			
Number with an unused Flip Flop	1,349	6,724	20%	
Number with an unused LUT	2,780	6,724	41%	
Number of fully used LUT-FF pairs	2,595	6,724	38%	

Number of unique control sets	164			
Number of slice register sites lost to control set restrictions	325	64,000	1%	
Number of bonded IOBs	465	640	72%	
IOB Flip Flops	67			
Number of BlockRAM/FIFO	22	228	9%	
Number using BlockRAM only	15			
Number using FIFO only	7			
Number of 36k BlockRAM used	12			
Number of 18k BlockRAM used	5			
Number of 36k FIFO used	7			
Total Memory used (KB)	774	8,208	9%	
Number of BUFG/BUFGCTRLs	5	32	15%	
Number used as BUFGs	5			
Number of IDELAYCTRLs	2	22	9%	
Number of BUFIOs	2	80	2%	
Number of DCM_ADVs	2	12	16%	
Number of DSP48Es	8	256	3%	
Number of ISERDESs	36			
Average Fanout of Non-Clock Nets	2.70			

Performance Summary				[-]
Final Timing Score:	0 (Setup: 0, Hold: 0)	Pinout Data:	Pinout Report	
Routing Results:	All Signals Completely Routed	Clock Data:	Clock Report	
Timing Constraints:	All Constraints Met			

Şekil 35. Arka plan modelleme projesi FPGA özet sayfası

EK-4

SIU 2014 Bildirisi

PAN TILT KAMERALAR İÇİN ARKA PLAN MODELLEME BACKGROUND MODELLING FOR PAN TILT CAMERA

Alperen Yıldırım¹, Ali Ziya Alkar², Kutalmış Gökalp İnce¹

1. Savunma ve Sistem Teknolojileri Grubu
ASELSAN A.Ş.
{alpereny.kgince}@aselsan.com.tr

2. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
HACETTEPE Üniversitesi
alkar@hacettepe.edu.tr

ÖZETÇE

Arka plan modelleme görüntü işleme uygulamalarında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Kameranın yaptığı dönme hareketi, kameranın takılı bulunduğu platformun hareketiyle kamerada oluşan sarsıntı veya rüzgârdan dolayı kameranın salınım varsayımı olan sabit kamera varsayımı geçersiz hale gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, kameranın baktığı nokta değişirken de arka plan bilgisinin kullanımının devam etmesini sağlamaktır. Sunulan çalışmada Gauss dağılımı kullanılarak arka plan modelleme yapılmıştır. Kameranın hareket bilgisi ile yeni görüntü karesi ve var olan arka plan modeli eşlenerek arka bilgisinin kullanımı sağlanmıştır. Önerilen metod gerçek zamanlı çalışan bir donanım üzerinde 1080p@25 video için uygulanmış ve çeşitli görüntü dizileri üzerinde denenerek sonuçlar sunulmuştur.

ABSTRACT

Background modeling is commonly used in image processing applications. Stationary camera assumption, the basic assumption of background modeling, becomes invalid in some cases such as movement of camera, movement of platform on which the camera is mounted, oscillation of camera due to wind etc. The purpose of this study is to keep providing the background information while the view point of the camera changing. Proposed method models the background with a Gaussian distribution. Previous background model and current frame are registered with the motion information which allows utilizing the previous background model. The proposed method is implemented on real time operating hardware for 1080p@25 video and tested on different image sequences to present the performance.

1. GİRİŞ

Görüntü işleme uygulamalarında, hareketli nesne tespit algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı hedef takip, sınır güvenliği ve gözetleme sistemleri görüntüdeki hareketli nesnelerin tespiti üzerine kurgulanmıştır [1]. Görüntüdeki hareketli nesnelerin tespiti ise birçok algortmada arka planın modellenmesi ile başlar [2]. Arka plan modellenmenin amacı zaman içerisinde alınan ölçümler kullanılarak piksel, bölge veya görüntü istatistiklerinin belirlenmesidir.

Arka plan modelleme algoritmalarının temel varsayımı kameranın hareketsiz olduğudur [3]. Bu sayede bir piksel için yeni alınan ölçümün, geçmişteki ölçümler ile benzerliğine bakılarak, gözlemlenen noktada değişiklik olup olmadığı belirlenir. Daha önceki ölçümler ile tutarsız olan pikseliler muhtemel hareket bölgelerini sağlar. Fakat gerçek uygulama alanlarının çoğunda kameralar hareketsiz değildir [4]. Hedef takip sistemlerinde takibin başlamasından hedefe kilitlenmeye

kadar geçen sürede, silah sistemlerinde mühimmatın çıkış anında, sınır güvenliği sistemlerinde rüzgârın etkisiyle veya hareketli platformlara takılı kameralarda platformun hareketi sonucu, kameralar dönme, öteleme ve salınım hareketleri yapmaktadır. Bu hareket sonucu var olan arka plan bilgisi sıfırlanarak yeni konuma göre tekrar oluşturulmaya çalışılırsa, piksel istatistiklerinin oluşturulabilmesi için bir süre beklemek gerekecektir. Daha ötesi kameranın salınım yapması durumunda arka plan modelleme yapmak mümkün olmayacaktır. Bu çalışmanın amacı, kamera hareket etse bile var olan arka plan bilgisinin kullanımının devamını sağlayarak hareket anında da arka plan modellemeye devam edebilmektir.

Bu çalışmada, Gauss dağılımı ile arka plan modelleme kullanılmıştır. Her bir piksel için dağılım ilklendikten sonra, yeni gelen piksel verileri bu Gauss dağılımının örneklenmiş bir noktasi kabul edilerek, her yeni ölçüm için her bir pikselin ortalama ve varyans değeri belirli bir oranla güncellenir. Bu orana, yeni gelen pikselin ön plan mı yoksa arka plan mı olduğu tespitine göre karar verilir. Ön plan kararı verilen pikseller için düşük güncelleme oranı kullanılırken, arka plan kararı verilen pikseller için daha yüksek güncelleme oranı kullanılır. Pikselin ön plan mı yoksa arka plan mı olduğuna da yeni gelen ölçümün Gauss dağılımında nereye düştüğüne bakılarak karar verilir.

Önerilen yöntemde, her bir pikselin ortalama ve varyans değeri yanında bir de o pikselin kameranın dönmesi sonucu görüntüye yeni mi girdiği yoksa önceden de görüntüde de var mı olduğu bilgisi tutulur. Eğer piksel görüntüye yeni girmişse o piksel için ön plan belirlenmesi yapılmaz ve bir süre öğrenme sürecine bırakılır. Kameranın dönmesi sonucunda görüntü düzleminde oluşan öteleme elektro-mekanik algılayıcılardan (dönü ölçer veya kodlayıcı) alınan dönüş bilgisi [5] ile elde edilir. Yataydaki ve dikeydeki öteleme bilgisinin tam sayı olan kısmı kullanılarak arka plan resmi (her bir pikselin ortalama ve varyans bilgilerinin tutulduğu resim) hareket ettirilir ve yeni konumuna getirilir. Hareket bilgisinin ondahlıklı kısmına göre de yeni gelen kare yatayda ve dikeyde yeniden örneklenir. Hareketin tam sayı kısmının daha çok veri bulduran arka plan resmine uygulanması ve hareketin ondahlıklı kısmının daha az veri bulduran yeni ölçümlerine uygulanması sayesinde, daha az işlem yükü ve daha az hata payı ile arka plan ve yeni gelen pikseller uzamda eşlenmiş olur. Bu yöntem ile kamera hareket etse bile var olan arka plan bilgisinin görüntüde kalan kısmı doğru bir şekilde kullanılarak ön plan tespitine ve arka plan modellemeye devam edilebilir.

Arka plan modelleme için çeşitli yöntemler önerilmiştir. *Basic Motion Detection, Kernel Density Estimation, One-d Gaussian, Gaussian Mixture Model* bu çalışmalardan bazılarıdır [6]. Bu algoritmalarından en çok tercih edilenleri Gauss tabanlı olanlardır. Bahsedilen arka plan modelleme

algoritmaları sınırlı güvenliği, trafik izleme, insan tespiti, nesne takibi ve içerik tabanlı video kodlama gibi çok farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır [7]. Bu uygulamalarda ortaya çıkan dinamik arka plan ve kamera hareketi gibi sorunlar ise bazı çalışmalara konu olmuştur. Bu çalışmada incelenen hareketli kamera ile arka plan modelleme için de [8], [9], [10] ve [11] gibi çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde, kamera hareket ettiğinde arka plan modellemenin görüntü içeriği kullanılarak (ilgi noktası bulma, panoroma oluşturma v.b) yapılmaya çalışıldığı ve bu sebeple de görüntü içeriğine bağlı kaldığı görülmektedir. Görüntü içeriğine bağlı yöntemler her görüntüde kullanılamayacağı gibi görüntü üzerindeki ek operasyonlar da işlem yükünü arttırmaktadır. Askeri sistemler gibi gerçek zamanlı çalışmanın zorunlu ve kaynak kullanımının sınırlı olduğu durumlarda ise bu tür yöntemlerin kullanılması mümkün olmayacaktır. Önerilen yöntemde ise görüntü içeriğinden bağımsız çalışılmakta ve kamera hareketinden kurtulmak için kısıtlı bir kaynak kullanılmaktadır. Bu yönleriyle önerilen yöntem, kullanılabilirliğinin daha yüksek olmasının yanında, arka plan modellemenin kullandığı uygulamalarda kritik bir sorunu da ortadan kaldırmaktadır.

Bildirinin 2. bölümünde arka plan modelleme, 3. bölümünde hareket bilgisinin kullanılması ve 4. bölümünde ise önerilen yöntemin uygulaması ve sonuçları yer almaktadır.

2. ARKA PLAN MODELLEME

Gauss dağılımı tabanlı arka plan modelleme için kullanılacak algoritma dört alt başlık altında anlatılmıştır. Bu kısımda kameranın hareketsiz olduğu varsayılmıştır.

Arka plan modellemeye başlarken her pikselin ortalamasına başlangıç değeri olarak ilk gözlemlenen değer ve her pikselin varyansına da başlangıç değeri olarak varsayılan bir değer atanır. Zaman içinde yeni piksel ölçümleri geldikçe pikselin sürekli güncellenen ortalama ve varyans değerleri piksele ait Gauss dağılımını oluşturacaktır.

2.1. Mahalanobis Mesafesi ve Ön Plan Belirticinin Hesaplanması

Yeni ölçüm geldiğinde ilk olarak her bir pikselin yeni ölçümü ile ortalama değerinin farkı hesaplanır.

$$d(x, y) = I(x, y) - \mu_k(x, y) \quad (1)$$

Fark değeri bir önceki görüntü karesinde hesaplanan varyans değerine bölünerek Mahalanobis mesafesi [7] elde edilir.

$$d_n(x, y) = d^2(x, y) / \sigma_k^2(x, y) \quad (2)$$

Mahalanobis mesafesi, bir sınır değeriyle eşiklenerek ön plan tespiti yapılır.

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 & d_n(x, y) < \text{LimitDeğeri} \\ 1 & d.d \end{cases} \quad (3)$$

2.2. Güncelleme Oranına Karar Verilmesi

Güncelleme oranı, yeni piksel ölçümünün ne oranda arka plan bilgisine ekleneceğini belirler ve bir önceki işlem basamağında oluşturulan yeni ölçümün arka plana mı yoksa ön plana mı ait olduğu kararına göre belirlenir (4). Eğer piksel ön plana aitse düşük güncelleme oranı (α_f) kullanılırken, arka plana aitse de yüksek güncelleme oranı (α_b) kullanılır.

Böylelikle ön plan piksellerinin arka plan piksellerine göre daha yavaş bir biçimde arka plan modeline eklenmesi sağlanır. Bu yaklaşım herhangi bir yanlış alarm oluşması durumunda bu alarmın zamanla unutulmasını sağlarken, sürekli hareket halinde olan nesnelere arka plan modeline etkisini asgari miktarda tutar.

$$\alpha(x, y) = \begin{cases} \alpha_b & f(x, y) = 1 \\ \alpha_f & d.d. \end{cases} \quad (4)$$

2.3. Ortalama Güncellemesi

Ortalama değer, bir pikselin t anına kadar aldığı değerlerin ortalamasıdır ve pikselin zaman içinde oluşturduğu Gauss dağılımının bir bileşenidir. Ortalama değer yeni piksel ölçümleri geldikçe güncellenir. Güncellenmiş ortalama, geçmiş ortalama ve yeni piksel ölçümünün ağırlıklandırılması ortalaması alınarak bulunur.

$$\mu_{k+1}(x, y) = (1 - \alpha)\mu_k(x, y) + \alpha I(x, y) \quad (5)$$

2.4. Varyans Güncellemesi

Varyans değeri, bir pikselin t anına kadar aldığı değerlerin istatistiksel yayılımıdır ve pikselin zaman içinde oluşturduğu Gauss dağılımının bir bileşenidir. Varyans değeri, yeni piksel ölçümleri geldikçe güncellenir. Güncellenmiş varyans, geçmiş varyans değerinin ve ölçülen mesafenin ağırlıklandırılması toplamı ile elde edilir.

$$\sigma_{k+1}(x, y) = (1 - \alpha)(\sigma_k^2(x, y) + \alpha d^2(x, y)) \quad (6)$$

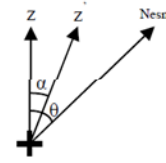
Kamera sabit olduğu durumda bu işlem basamakları takip edilerek Gauss tabanlı arka plan modelleme yapılır.

3. HAREKET BİLGİSİNİN KULLANILMASI

Kameranın hareketli olduğu durumda kameranın dönüş bilgisi elektro-mekanik algılayıcılardan alınmaktadır. Algoritma elektro-mekanik algılayıcı verileri olmadan kaydedilmiş videolarda çalıştırılmak istenirse, görüntü üzerindeki hareket, optik akış yöntemleri [12] ile bulunabilir.

3.1. Ölçülen Hareketin Kamera Düzlemine İzdüşümü

Kamerada gerçekleşen dönü hareketinin sisteme etkisini Şekil 1 üzerinden inceleyelim.



Şekil 1: Kameranın eski, yeni konumu ve nesne.

Kameranın bakış hattının (z) θ açısı kadar uzağında bir nesne olsun. Bu nesnenin kameradan alınan görüntünün merkezine olan uzaklığı nesnenin açılal konumu ve odak uzaklığı (f) ile belirlenir (7).

$$x = f \tan(\theta) \quad (7)$$

Kamera α kadar döndüğü durumda ise nesnenin kameranın bakış hattına uzaklığı ($\theta - \alpha$) olur. Nesnenin yeni kamera konumu için izdüşümünü bu açı kullanılarak bulunabilir.

$$x' = f \frac{\tan(\theta) - \tan(\alpha)}{1 + \tan(\theta)\tan(\alpha)} \quad (8)$$

Eğer α yeterince küçük ise bu ifadeye payda bire yaklaşır. Bu durumda da nesnenin yeni konumu yaklaşık olarak bulunur:

$$x' \equiv f \tan(\theta) - f \tan(\alpha) \quad (9)$$

Bu ifadenin sağ tarandaki ilk terimin, kameranın ilk konumu için nesnenin görüntü üzerindeki izdüşümü olduğu görülebilir. Yani, geçmiş ve yeni kare arasındaki dönüşüm tüm görüntü üzerinde sabit bir öteleme ($u = -f \tan(\alpha)$) ile ifade edilebilir:

$$x' = x - u \quad (10)$$

Bulduğumuz bu eşitlik için diyebiliriz ki, eğer kameranın dönme hareketi yeterince küçükse bu hareket görüntüde öteleme olarak kabul edilebilir. Kameranın iki kare arasında büyük miktarda döndüğü durumlarda ise kameranın gördüğü alan geniş çapta değişeceği ve yüksek açısız hızlarda görüntüde hareket kaynaklı bulanma olacağı için arka plan modellemenin devam ettirilmesi uygun olmayacaktır.

Yapılan çalışmada kameranın baktığı noktanın kameradan yeterince uzak olduğu varsayıldığından kamerada gerçekleşen öteleme hareketinin alınan görüntüye etkisi ise ihmal edilebilir olacaktır.

3.2. Hareket Bilgisi ile Arka Plan Modeli ve Piksel Ölçümlerinin Çakıştırılması

Yataydaki veya dikeydeki hareketin piksel olarak karşılığı ondalıklı bir değer olabilir. Bu durumda ondalıklı piksel hareketinin hepsinin arka plana yansıtılması, ortalama değer ve varyans hesaplamasındaki hatayı artıracığı gibi işlem yükü açısından da verimli olmayacaktır. Bu sebeple hareketin tam sayı kısmı arka plan üzerine uygulanırken, ondalıklı kısmı yeni kare üzerine uygulanacaktır. Bu sayede arka plan modelinin keskinliği de korunacaktır.

Ölçülen hareketin görüntü düzlemine izdüşümü (u, v) , tamsayı (u_i, v_i) ve kesir (u_f, v_f) olarak ifade edilebilir. Hareketin tam sayı kısmı ile arka plan resmi kaydırılarak, yeni bir koordinat sistemi oluşturulur. Geri kalan piksel altı ötelemeler, yeni alınan ölçümün bu koordinat sisteminde yeniden ömkenmesini gerektirir. Yeniden ömkenme için Şekil 2'de gösterilen doğrusal ara değerlendirme kullanılmıştır:

$$I'(x, y) = \begin{bmatrix} 1 - v_f & v_f \\ v_f & 1 - u_f \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I(x, y) & I(x+1, y) \\ I(x, y+1) & I(x+1, y+1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - u_f \\ u_f \end{bmatrix} \quad (11)$$

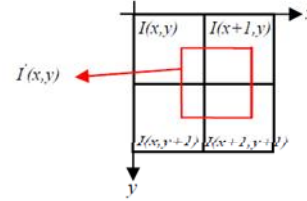
Yeniden ömkenmiş görüntü, tam sayı ötelemeleri ve geçmiş arka plan bilgisi kullanılarak yeni koordinat sistemindeki arka plan Şekil 3'de gösterildiği gibi oluşturulur. Geçmiş kareler ile örtüşen pikseller (mavi) için daha önceden öğrenilen piksel istatistikleri kullanılırken, görüntüye yeni giren piksellerin (kırmızı) ortalama değeri gözlenen değer, varyans değeri ise varsayılan bir değer ile ilklenir:

$$\mu'_k(x', y') = \begin{cases} \mu_k(x + u_i, y + v_i) & (x + u_i, y + v_i) \in I \\ I'_{k+1}(x, y) & d.d. \end{cases} \quad (12)$$

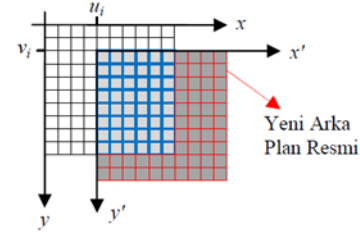
$$\sigma'_k(x', y') = \begin{cases} \sigma_k(x + u_i, y + v_i) & (x + u_i, y + v_i) \in I \\ \sigma_{def} & d.d. \end{cases}$$

Bu kaydırma işlemleri sonucu elde edilen yeniden ömkenmiş ölçüm ve ötelenmiş arka plan istatistikleri ile denklem (1-6)'da verilen adımlar takip edilerek arka plan güncelleme ve ön plan tespiti yapılır. Bölüm 2.1'de verilerden farklı olarak, ön plan tespitinde görüntüye yeni giren piksellerin ön plan sayılmaması ve hızlı bir şekilde güncellenmesi için ek bir kontrol konulur:

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 & d_n(x, y) < LimitDeğeri, (x + u_i, y + v_i) \notin I \\ 1 & d.d. \end{cases} \quad (13)$$



Şekil 2: Piksellerin eski konumu ve yeniden ömkenmiş hali.

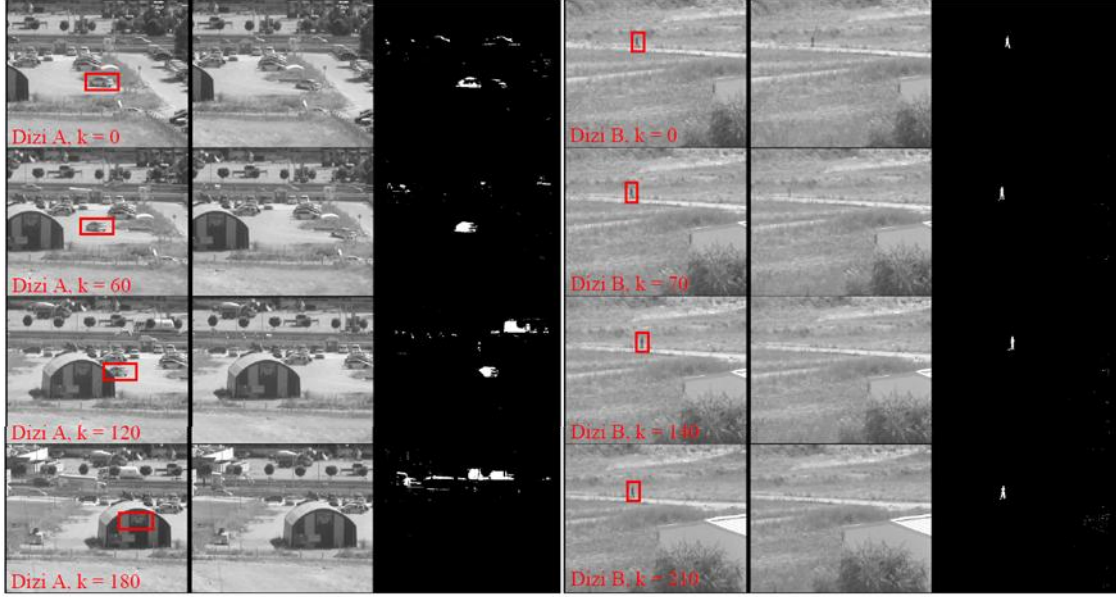


Şekil 3: Arka plan resminin kaydırılması.

Veri boyutu daha büyük olan arka plan resminin tam sayılarda hareket ettirilmesi, donanımsal olarak, adres değişiklikleri ile halledilebilir. Yeni alınan piksel ölçümlerinin daha işleme katılmadan 2x2'lik bir karede yeniden ömkenmesi de, sisteme görece düşük bir işlem yükü getirecektir. Elektromekanik algılayıcıların mevcut olduğu durumda, gerçek zamanlı çalışmanın zorunlu ve kaynakların sınırlı olduğu sistemler için arka plan modellemedeki kamera hareketi sorunu bu yaklaşım ile ortadan kaldırılabilir.

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Önerilen yöntem kamera, FPGA, FPGA için gerekli elemanlar, hareketli platform ve hareket algılayıcıları bulunan bir sistemde gerçek zamanlı olarak ve sınırlı FPGA kaynağı kullanılarak 1080p@25 video için gerçekleştirilmiştir. FPGA uygulamasının detayları ve sistem üzerinde alınan sonuçlar gizlilik nedeniyle paylaşılacaktır. Bu sebeple PC üzerinde bir benzetim ortamı oluşturulmuş ve bu benzetim ortamından alınan sonuçlar sunulmuştur. PC ortamında hareket bilgisi faz korelasyonu metodu [12] ile video üzerinden çıkarılmıştır. Gauss yöntemi ve diğer arka plan modelleme yöntemlerinin başarımları oranları [13] den incelenebilir.



Şekil 4: İki ayrı görüntü için farklı zamanlarda alınmış (soldan sağa); yeni gelen görüntü, ortalama ve ön plan resimleri

Şekil 4'te iki farklı görüntü dizisi için algoritmanın girdileri ve çıktıları gösterilmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi ilk video dinamik arka plana sahip iken, ikinci video daha sabit bir arka plana sahiptir. Her iki videoda da geniş çaplı bir pan hareketi (Dizi A için 277 piksel/180kare, Dizi B için 108 piksel/210kare) ve kısıtlı miktarda tilt hareketi vardır. Piksel altı ötelemelerin yeni gelen kareye uygulanması sayesinde, arka plan ortalama resminde keskinliğin korunduğu görülebilir. Hareketli nesnelere arka plan ortalama resminde görülmemektedir. Varyans resimlerinde görüntüye yeni giren piksellerin varsayılan değeri ile iklendiği görülmektedir. Bu pikseller yeterli ölçüde gelene kadar öğrenme sürecine bırakılmaktadır. Algoritmanın ürettiği ön plan resimleri incelendiğinde, kameranın hareketine rağmen sistemin başarılı bir şekilde çalıştığı, hareketli nesnelere arka plandan başarılı bir şekilde ayrılırken, sınırlı sayıda yanlış alarm ürettiği görülmektedir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Susheel Kumar, K.; Prasad, S.; Saroj, P.K.; Tripathi, R.C., "Multiple Cameras Using Real Time Object Tracking for Surveillance and Security System," *Emerging Trends in Engineering and Technology*, pp.213,218, 2010.
- [2] Subudhi, B.N.; Ghosh, S.; Ghosh, A., "Moving object detection using Gaussian background model and Wronskian framework," *Advances in Computing, Communications and Informatics*, pp.1775,1780, 2013.
- [3] Xianguo Zhang; Luhong Liang; Qian Huang; Tiejun Huang; Wen Gao, "A background model based method for transcoding surveillance videos captured by stationary camera," *Picture Coding Symposium*, pp.78,81, 2010.
- [4] Saunders, J.; Beard, R., "Tracking a target in wind using a micro air vehicle with a fixed angle camera," *American Control Conference*, pp.3863,3868, 2008.
- [5] Layshot, N.; Xiao-Hua Yu, "Modeling of a gyro-stabilized helicopter camera system using artificial neural networks," *Information and Automation, IEEE International Conference*, pp.454,458, 2011.
- [6] Benezeth, Y.; Jodoin, P.-M.; Emile, B.; Laurent, H.; Rosenberger, C., "Review and evaluation of commonly-implemented background subtraction algorithms," *ICPR*, pp.1,4, 2008.
- [7] Yonghong Long; Xiyu Xiao; Xiaohua Shu; Shenglan Chen, "Vehicle Tracking Method Using Background Subtraction and MeanShift Algorithm," *ICSEE*, pp.1,4, 2010.
- [8] Yuxin Jin; Linmi Tao; Huijun Di; Rao, N.I.; Guangyou Xu, "Background modeling from a free-moving camera by Multi-Layer Homography Algorithm," *ICIP*, pp.1572,1575, 2008.
- [9] Rao, N.I.; Huijun Di; Guangyou Xu, "Panoramic Background Model under Free Moving Camera," *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, International Conference*, pp.639,643, 2007.
- [10] Topcu, O.; Kalem, A.; Esen, E., "Background subtraction with a moving camera," *Signal Processing and Communications Applications Conference*, pp.1,4, 2013.
- [11] Xiaochun Zou; Xinbo Zhao; Zheru Chi, "A robust background subtraction approach with a moving camera," *Computing and Convergence Technology*, pp.1026,1029, 2012.
- [12] Sanjeev Kumar; Azartash, H.; Biswas, M.; Truong Nguyen, "Real-Time Affine Global Motion Estimation Using Phase Correlation and its Application for Digital Image Stabilization," *Image Processing, IEEE Transactions*, pp.3406,3418, 2011.
- [13] Man Zhu; Shuifa Sun; Shuheng Han; Hongying Shen, "Comparison of moving object detection algorithms," *World Automation Congress*, pp.35,38, 2012.

EK-5

Terimler Sözlüğü

Akım	Stream
Aktif	Active
Alan	Field
Altörneklem	Downsampled
Ara bellek	Buffer
Arayüz	Interface
Arka plan	Background
Asma kat	Mezzanine
Bant genişliği	Bandwidth
Bayt	Byte
Bellek	Memory
Biçim	Format
Blok	Block
Bölütleme	Segmentation
Çip	Chip
Çoklayıcı	Multiplexer
Çözünürlük	Resolution
Devingen	Dynamic
Devre	Circuit
Dikey boşluk	Vertical blanking
Donanım	Hardware

Durağan	Static
Durum makinesi	State machine
Düzlemsel bağlantı	Homography
Erişim	Access
Gerçek doğruluk	Ground truth
Görüntü çerçevesi	Frame
Hafıza hücresi	Bit
Hat listesi	Netlist
Hız	Speed
Kanal	Port
Kart	Card
Kayan noktalı	Floating point
Kestirici	Estimator
Kodlama	Encoding
Mantık	Logic
Mantık vektörü	Logic vector
Piksel	Pixel
Rastgele	Random
Saat	Clock
Satır	Line
Sayısal	Digital
Senkron	Synchronous
Senkronizasyon	Synchronization
Seri	Serial

Seri	Serial
Simülasyon	Simulation
Sinyal	Signal
Sürekli	Progressive
Tersleyici	Inverter
Tetik	Trigger
Veri	Data
Yatay boşluk	Horizontal blanking
Yazmaç	Register

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Alperen YILDIRIM
Doğum Yeri : ANKARA
Medeni Hali : Bekar
E-posta : alperennn@gmail.com.tr
Adresi : 8. Cad 11/7 Demetevler/ANKARA

Eğitim

Lise : Sivas Fen Lisesi
Lisans : Hacettepe Üniversitesi

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : Çok iyi düzeyde

İş Deneyimi

Aselsan A.Ş Silah ve Savunma Sistemleri Sayısal ve Gömülü Sistemler Elektronik
Tasarım Mühendisliği (2011-Devam Ediyor)

Deneyim Alanları

Gömülü sistemler, gömülü yazılımlar, görüntü işleme

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

- Yıldırım, A.; Alkar, A.Z.; Ince, K.G., "Background modelling for pan tilt camera," Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), sf. 1191-1194, 23-25 Nisan, **2014**.

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

- Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014 Trabzon.