

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DSP İLE GERÇEK ZAMANLI SAYISAL VIDEO
STABİLİZASYONU**

Ayhan KÜÇÜKMANİSA

KOCAELİ 2012

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ




DSP İLE GERÇEK ZAMANLI SAYISAL VIDEO
STABİLİZASYONU

Ayhan KÜÇÜKMANİSA

Doç.Dr. Oğuzhan URHAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Sarp ERTÜRK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Cabir VURAL
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.08.2012

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, Texas Instruments TMS320DM6437 DSP geliştirme platformu üzerinde bir video stabilizasyon sistemi gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yapılan çalışmaların bu alana emek verenlere ve bu alanda çalışacak araştırmacılara yararlı olmasını dilerim.

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren kendilerinden çok şey öğrendiğim değerli hocalarım Doç.Dr.Oğuzhan URHAN'a ve Prof. Dr. Sarp ERTÜRK' e, hayatım boyunca bana hem maddi hem manevi olarak benden ilgi desteklerini esirgemeyen dedem Necmi KÜÇÜKMANİSA, babam Abdullah KÜÇÜKMANİSA , annem Emine KÜÇÜKMANİSA, kardeşim Gürkan KÜÇÜKMANİSA ve sözlüm Serap AYDIN başta olmak üzere aileme ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı tarafından 00487.STZ.2009-2'nolu Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) projesi kapsamında desteklenmiştir.

Ağustos - 2012

Ayhan KÜÇÜKMANİSA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELEr DİZİNİ VE KISALTMALAR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. HAREKET KESTİRİM SİSTEMİ.....	4
1.1. Giriş	4
1.2. Hareket Kestirim Teknikleri.....	5
1.3. Faz Korelasyonu	7
2. HAREKET DÜZELTİM SİSTEMİ	10
2.1. Giriş	10
2.2. Hareket Düzeltim Teknikleri.....	10
2.3. Kalman Filtresi ile Video Stabilizasyonu	10
2.4. Kalman Filtresi Varyans Degerlerinin Tanıtılması	13
3. DSP ile SAYISAL VİDEO İŞLEME.....	14
3.1. Giriş	14
3.2. DSP Mimarisi	15
3.2.1. Von Neumann Mimarisi	15
3.2.2. Harvard Mimarisi.....	16
3.3. TMS320DM6437 Sayısal İşaret İşleyicisi.....	16
3.3.1. Video İşleme Alt Sistemi	18
3.3.1.1. Video işleme ön kısmı(VPFE).....	19
3.3.1.2. Video işleme arka kısmı(VPBE)	19
3.3.2. Video Sürücüden YCbCr Verisinin Yakalanması	20
3.4. Code Composer Studio(CCS).....	22
4. DSP İLE GERÇEK ZAMANLI VİDEO STABİLİZASYONU	24
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	29
KAYNAKLAR	30
EKLER.....	32
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	38
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Hareket vektörünün gösterilmesi	4
Şekil 1.2. Hareket gösterim şekilleri	5
Şekil 1.3. Bike video dizisinden örnek iki ardışıl çerçeve	9
Şekil 1.4. Şekil 1.3'deki çerçevelerin faz korelasyonu yüzeyi	9
Şekil 2.1. Kalman filtresi geri besleme döngüsü.....	11
Şekil 3.1. Tipik bir işaret işleme sisteminin blok gösterimi.....	14
Şekil 3.2. Von Neumann mimarisi	15
Şekil 3.3. Harvard mimarisi	16
Şekil 3.4. TMS320DM6437 blok diyagramı.....	18
Şekil 3.5. VPSS blok diyagramı.....	18
Şekil 3.6. YUV422 verisinin yakalanması	20
Şekil 3.7. CCS blok yapısı	22
Şekil 4.1. İki boyutlu faz korelasyonu	25
Şekil 4.2. Kalman filtresi çıkışı.....	27
Şekil 4.3. Önerilen video stabilizasyon sistemi	28

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. İşlem süre tablosu(ms).....	28
--	----

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

- AE : Auto Enlightenment (Otomatik Işıklandırma)
AF : Auto Focus (Otomatik odaklandırma)
AWB : Auto White Balance (Otomatik Beyaz Denge)
CCS : Code Composer Studio
DFT : Discreet Fourier Transform (Ayrık Fourier Dönüşümü)
DSP : Digital Signal Processor (Sayısal İşaret İşleyici)
EDMA: Enhanced Direct Memory Access (Geliştirilmiş Doğrudan Hafıza Erişimi)
FFT : Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FS : Full Search (Tam Arama)
IFFT : Inverse Fast Fourier Transform (Ters Hızlı Fourier Dönüşümü)
MAD : Mean Absolute Difference (Ortalama Mutlak Fark)
MSE : Mean Square Error (Ortalama Karesel Hata)
SIMD : Single Instruction Multiple Data (Tek Komut Çoklu Veri)
VPFE : Video Processing Front End (Video İşleme Ön Tarafı)
VPBE : Video Processing Back End (Video İşleme Arka Tarafı)
VPSS : Video Processing Sub System (Video İşleme Alt Sistemi)

DSP İLE GERÇEK ZAMANLI SAYISAL VIDEO STABİLİZASYONU

ÖZET

Video stabilizasyon sistemlerinin amacı kameralardan elde edilen video görüntülerinde titreşim veya el titremesinden kaynaklanan istenmeyen hareketleri ayrıştırarak, istenen hareketleri koruyan yeni bir video dizisinin elde edilmesidir.

Video stabilizasyon sistemi çerçeveler arası bütünsel hareket vektörlerini belirleyen hareket kestirim sistemi, hareket kestirim sistemi sonucu elde edilen konum vektörlerinden istenmeyen hareketleri ayrıştıran istenen hareketleri koruyarak düzeltilmiş yeni bir video dizisinin oluşmasını sağlayan hareket düzeltim sistemi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen video stabilizasyon sistemi, faz korelasyonu temelli hareket kestirimi ve Kalman süzgeci temelli hareket düzeltimi sisteminden oluşmaktadır. Geliştirilen sistem, Texas Instruments TMS320DM6437 DSP geliştirme platformunda gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: DSP, Faz Korelasyonu, Kalman Filtresi, Video Stabilizasyonu.

REAL TIME DIGITAL VIDEO STABILIZATION WITH DSP

ABSTRACT

The purpose of the stabilization systems is getting new video sequences by reducing unwanted irregular motions caused by unstable handshaking or vibration and keeping wanted changes in video sequence captured by cameras.

Video stabilization system consists of motion estimation system which determines interframe global motion vectors and motion correction system which computes a new corrected video sequences by keeping intentional movements and reducing unwanted movements obtained from motion estimation system.

The video stabilization system developed in this thesis study consists of phase correlation based global motion estimation and Kalman filtering based motion correction. The developed system is implemented on a Texas Instruments TMS320DM6437 evaluation platform successfully in real-time.

Key Words: DSP, Phase Correlation, Kalman Filter, Video Stabilization.

GİRİŞ

Gelişen ve bununla beraber boyutları küçülen kamera teknolojisiyle birlikte, hareketli düzeneğe bağlı veya elle çekim yapan kameralarda yürürken veya hareket halindeyken kamerayı sabit tutmak zordur ve bu durum video görüntülerinde istenmeyen bozulmalara yol açmaktadır. Video stabilizasyon sistemlerinin amacı istenmeyen düzensiz el titremesi yüzünden oluşan hareketlerin veya titreşim kaynaklı istenmeyen değişimlerin(yakınlaştırma, kayma, rotasyon) bastırılarak sadece istenen hareketlerin olduğu yeni bir video dizisinin oluşturulmasıdır.

Video stabilizasyonu geniş bir kullanım alanına sahiptir ve gelişen teknolojiyle beraber kullanım alanları artmaktadır. Video stabilizasyonunun;

- i) Amatör kameraman tarafından yapılan çekimlerde kameranın sabit tutulamamasından kaynaklanan titreşim, yakınlaştırma, rotasyon gibi etkilerin bastırılması,
- ii) Engeli arazide hareket eden araçlardan veya havadan yapılan çekimlerde oluşan titreşim, yakınlaştırma ve rotasyon gibi etkilerin bastırılması,
- iii) Kontrolü uzaktan gerçekleştirilen kamera monte edilmiş robotların mekanik aksamından kaynaklanan titreşim hareketlerinin bastırılmasında,
- iv) Mobil cihazlarda görüntülü görüşme sırasında mobil cihazın hareketinden oluşabilecek titreşimlerin bastırılması gibi kullanım alanları mevcuttur.

Sayısal video stabilizasyon sistemlerinin yukarıda bahsedildiği pek çok alanda gerçek zamanlı olarak çalıştırılması gerekmektedir. Özellikle donanımsal gerçekleştirmenin gerektiği uygulamalarda stabilizasyon uygulamalarının gerçek zamanlı olarak gerekli donanımda çalıştırılması büyük sorun teşkil etmektedir.

Kamera görüntülerinde bütünsel hareket ve yerel hareket olmak üzere iki tür hareketten söz edilebilir. Video stabilizasyonu için bütünsel hareket önemli olmaktadır. Bir videonun bütünsel hareketi ele alınarak görüntüdeki değişim, kameranın kasıtlı olarak hareketinden kaynaklanan istenen değişim ve titreşimlerden kaynaklanan istenmeyen değişim olarak ikiye ayrılır. Dolayısıyla sayısal video stabilizasyon sistemlerinin amacı bir video dizisindeki istenmeyen düzensiz bütünsel hareketlerin tespit edilip bu hareketlerin önlenerek sadece istenen değişimlerin gözlendiği daha düzgün bir video dizisinin elde edilmesidir. Bir sayısal video stabilizasyon sistemi hareket kestirim sistemi ve hareket düzeltim sistemi olarak ikiye ayrılır. Hareket kestirim sistemi, hareket düzeltim sistemine girdi olacak, çerçeveler arası bütünsel hareket vektörlerini kestirmektedir. Hareket düzeltim sistemi ise hareket kestirim sisteminden gelen hareket vektörlerinden istenmeyen hareketlerin bastırıldığı yeni hareket vektörlerini elde etmektedir [1].

Bu tez çalışması kapsamında faz korelasyonu temelli bir bütünsel hareket kestirim yöntemi ile Kalman fitresi temelli bir hareket düzeltim yöntemi kullanan bir video stabilizasyon sistemi gerçek zamanlı olarak bir DSP üzerinde çalıştırılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde ilk olarak video stabilizasyonun iki aşamasından biri olan hareket kestirim sistemi üzerinde durulmuştur. Hareket kestirimi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Hareket kestirim teknikleri genel olarak incelenmiş, çalışma kapsamında video stabilizasyon sisteminin hareket kestirim yöntemi olarak kullanılan faz korelasyonu ayrıntılı incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü kısmında, video stabilizasyonunun ikinci aşaması olan hareket düzeltim sistemi anlatılmıştır. Hareket düzeltim sistemi için kullanılan çeşitli yöntemler karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasında video stabilizasyonu sisteminin hareket düzeltim yöntemi olarak tercih edilen Kalman Filtresi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Çalışmanın dördüncü kısmında, Sayısal İşaret İşleyiciler (DSP) hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Tez çalışmasında video stabilizasyon sisteminin üzerinde gerçekleştirildiği TMS320DM6437 kiti ayrıntılı incelenmiştir.

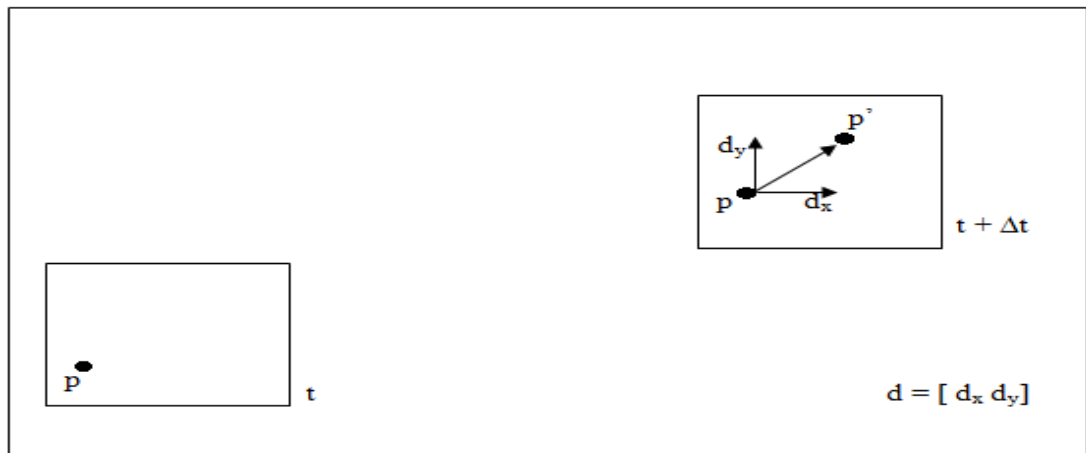
Çalışmanın son bölümünde ise, tez kapsamında geliştirilen video stabilizasyon sisteminin detayları deneysel sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Video stabilizasyon sisteminin geliştirilmesi sırasında kitin kullanımı hakkında bilgiler verilmiştir. Önerilen video stabilizasyon sisteminin DSP üzerinde uygulanmasında karşılaşılan zorluklar ve buna karşın bulunan çözümler detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

1. HAREKET KESTİRİM SİSTEMİ

Video stabilizasyonunda hareket kestirimi, bir video dizininde çerçeveler arası bütünsel hareket vektörlerini belirlemek amaçlı kullanılmaktadır. Hareket kestirim sisteminin çalışması, hareket düzeltim sisteminin başarımını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla hareket vektörlerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi önem arz etmektedir.

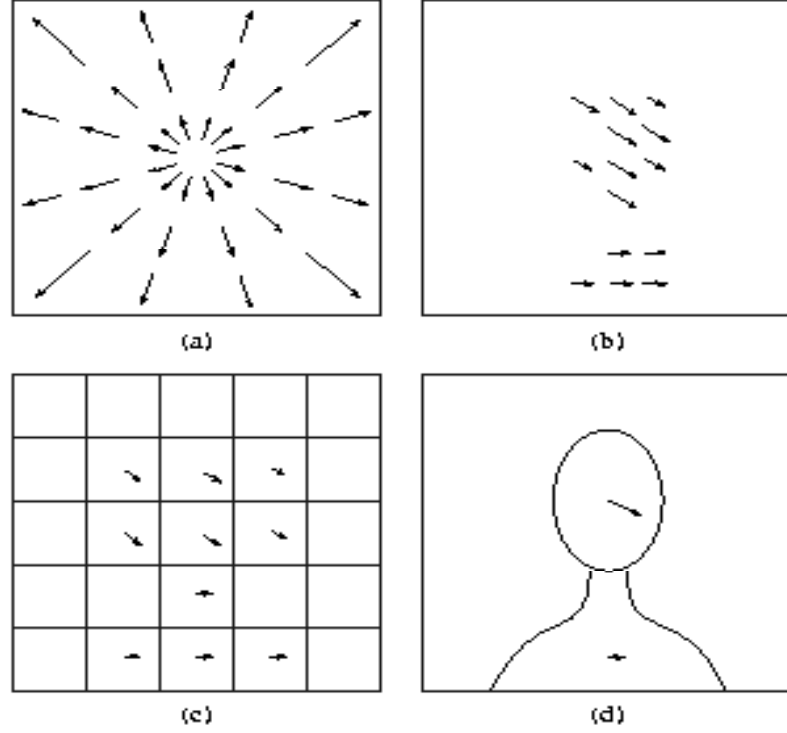
1.1. Giriş

Bilindiği gibi video görüntüleri çerçevelerden oluşmaktadır. Ardışık çerçeveler arası ise global olarak bir değişim söz konusudur. Bu yer değişim hareket vektörü ile ifade edilebilir. Bütünsel hareket kestiriminde hareket vektörü başka bir ifadeyle t anındaki çerçevenin $(t + 1)$ anında genel olarak ne kadar yer değiştirdiğidir. Hareket kestirimi yerel olarak MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.261, H.263, H.264/AVC-2 gibi video kodlama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de bir hareket vektörü gösterilmiştir. t anındaki p noktası $t + \Delta t$ anında p' noktasına taşınmıştır. Dolayısıyla p' noktası ile p noktası arasında yer değiştirme hareket vektörü d ile ifade edilebilir. Bu hareket vektörünün x -yönündeki bileşeni d_x vektörü olurken, y -yönündeki bileşeni ise d_y vektörü olmaktadır.



Şekil 1.1. Hareket vektörünün gösterilmesi [2]

Hareket kestirim sisteminde blok hareket modeli, blok eşleme, öznitelik eşleme ve faz korelasyonu gibi yöntemler kullanılmaktadır. Hareket gösterimi için Şekil 1.2’de gösterilen bütünsel bazlı, piksel bazlı, blok bazlı ve bölge bazlı olmak üzere 4 çeşit gösterim şekli bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Hareket gösterim şekilleri [20] a) Genel bazlı b) Piksel bazlı c) Blok bazlı d) Bölge bazlı

Video stabilizasyonunda çerçevelerin genel hareketi önemli olduğundan bu tez çalışmasında bütünsel hareket kestirimi kullanılmıştır. Bütünsel hareket kestiriminde çerçevenin hepsi kullanılabileceği gibi çerçeveden alınan belirli büyüklükteki bir blok da kullanılabilir. Kullanılacak bloğun büyüklüğü hareket kestiriminin başarımında önemli rol oynamaktadır.

1.2. Hareket Kestirim Teknikleri

Hareket kestirim teknikleri genel olarak ikiye ayrılabilir:

- Zaman Uzayında Çalışan Algoritmalar(Time-Domain Algorithms)
- Frekans Uzayında Çalışan Algoritmalar(Frequency-Domain Algorithms)

Zaman uzayında çalışan algoritmalar ise üçe ayrılmaktadır:

- Blok Eşleme (Block Matching)
- Özellik Eşleme (Feature Matching)
- Ön görümlü Hareket Kestirimi (Predictive of Motion Vectors)

Blok eşleme kriterinde ilgili çerçevenin bloğuyla bir önceki çerçevenin blokları arama penceresinde karşılaştırılmaktadır.

Özellik eşleme blok eşleştirmeden farklı olmakla birlikte çerçeveden çekilen bir resim elemanı arama penceresinde karşılaştırılmaktadır. Morfolojik filtreler yardımıyla eşleştirme yapılabilir.

Ön görümlü hareket kestirimiye bir sonraki hareket vektörünün öncelikli kestirimine dayanmaktadır.

Frekans uzayında çalışan algoritmalar frekans uzayına dönüştürülmüş çerçeveler arasındaki dönüşüm katsayıları arasındaki ilişkiye dayanır. Bu tür hareket kestirim yaklaşımları görüntü dizisi kodlamada genellikle kullanılmaz. Bu tekniklerde bloklar ilk olarak frekans uzayına dönüştürülmelidir. Bazı frekans bazlı algoritmalar aşağıda sıralanmıştır:

- Faz Korelasyonu (Phase Correlation)
- DCT Uzayında eşleme (Matching in DCT domain)
- Dalgacık Uzayında Eşleme (Matching in Wavelet Domain)

Literatürde hareket kestirimi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Öteleme şeklindeki çerçeveler arası hareketin tespitinde bütün çerçeveyi, öteleme hareket vektörlerini tespit etmek için kullanan en etkili yöntem MAD (Mean Absolute Difference) ve MSE (Mean Square Error) uyulmama kriterlerini kullanan, tam arama (Full Search) çerçeve eşleştirme yöntemidir. Ancak tam arama yönteminin hesapsal yükü fazladır ve bu durum gerçek-zamanlı uygulamalar için sorun olmaktadır [1]. Harris özellik noktalarını kullanarak yapılan bir yöntemden [3]'te bahsedilmektedir. Bu yaklaşımda, çerçeveler arası global hareket vektörleri Harris özellikleri ve Lucas-Kanade yöntemi kullanılarak bulunmaktadır. İstenmeyen hareketler ise bir

sönümlendirici süzgeç kullanılarak ayrılmıştır. Bu yaklaşımın, stabilizasyon performansı kabul edilebilir olmasına karşın donanıma uygulanması zor ve hesapsal yükü fazladır. [4]'te bahsedilen Kenar örüntü eşleştirmesi (Edge Pattern Matching) yönteminde, stabilizasyon başarımında kayıplara neden olmasına karşın, donanıma uygulanması için uygun karmaşıklığa sahiptir. Video stabilizasyonu için bit-düzlemi uyumlama tabanlı hızlı hareket kestirimi yöntemleri [5,-8]'de sunulmaktadır. Bu yaklaşımlarda ise, hesapsal karmaşıklık hareket kestiriminde donanımsal olarak verimli olarak gerçekleştirilebilen mantıksal (logical) işlevler kullanılarak azaltılmıştır.

Faz korelasyonu, hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) tabanlı bir çerçeve uyumlama yaklaşımı olarak kullanılabilir [7]. Yerel hareketlerden göreceli olarak az etkilenen yöntem olmasına karşın, tüm giriş çerçevesi üzerinden işlem yapması hesapsal yükü arttırmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında hareket kestirim yöntemlerinden faz korelasyonu yöntemi kullanılmıştır.

1.3. Faz Korelasyonu

Faz korelasyonu ayrık Fourier dönüşümünün temel özelliklerinden faydalanan ve eşit boyutlu iki işaretin veya imgenin benzerliğini belirlemede kullanılan bir korelasyon yöntemidir. Bu doğrultuda $I_k(x,y)$ ve $I_{k+1}(x,y)$, iki ardışık çerçeveyi ve $F_k(u,v)$ ve $F_{k+1}(u,v)$ bu çerçevelerin ayrık Fourier dönüşümü olacak olursa faz korelasyonu yüzeyi Eşitlik (1.1)'deki gibi gösterilebilir.

$$S_{(k, k+1)} = F^{-1} \left[\frac{F_k(u,v) \times F_{k+1}^*(u,v)}{|F_k(u,v) \times F_{k+1}^*(u,v)|} \right] \quad (1.1)$$

Bu eşitlikte F^{-1} , ters ayrık Fourier dönüşümü göstermektedir. Faz korelasyonu, Fourier dönüşümünün özelliklerini kullanarak gürültü azaltma ve video sıkıştırma gibi değişik uygulamaların yanı sıra imge çerçeveleri arasındaki benzerlikleri algılama amaçlı da kullanılmaktadır. Faz korelasyonu yüzeyi iki imge çerçevesi arasında benzerliğin fazla olması durumunda yüksek bir tepe değeri vermektedir.

I_{k+1} imgesini, I_k imgesinin yatay ve dikeyde d_x ve d_y kadar yer değiştirmiş hali olarak ele alırsak I_{k+1} ve F_{k+1} ;

$$F_{k+1}(x, y) = \alpha \times I_k(x-d_x, y-d_y) \quad (1.2)$$

$$F_{k+1}(u, v) = \alpha \times F_k(u, v) e^{-j(u d_x + v d_y)} \quad (1.3)$$

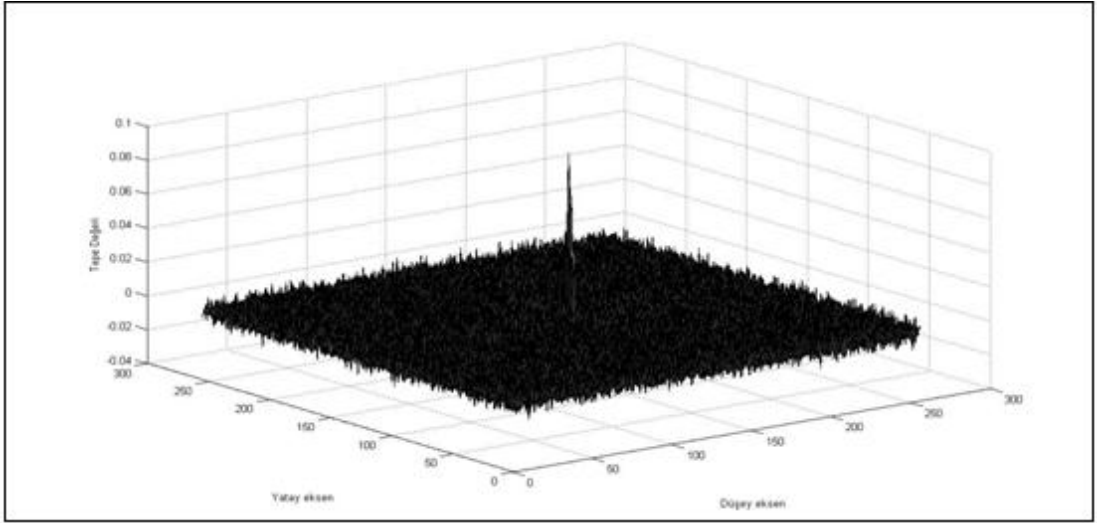
Eşitlik (1.2) ve Eşitlik (1.3)'deki gibi olacaktır. Bu durumda faz korelasyonu yüzeyi ise Eşitlik (1.4)'deki gibi oluşmaktadır;

$$\begin{aligned} S_{(k, k+1)} &= F^{-1} \left[\frac{F_k(u, v) \times F_{k+1}^*(u, v)}{|F_k(u, v) \times F_{k+1}^*(u, v)|} \right] \\ &= F^{-1} \left[e^{-j(u d_x + v d_y)} \right] \\ &= \delta(x+d_x, y+d_y) \end{aligned} \quad (1.4)$$

Eşitlik (1.4)'den de anlaşılacağı gibi bu durum iki imge arasında bütünsel öteleme hareketi (global translational shift) olması durumunda dahi geçerlidir [21]. Çünkü bütünsel ötelemenin etkisi sadece faz korelasyon yüzeyinde tepe değerin yer değiştirmesi olarak ortaya çıkmaktadır. İmge çerçeveleri arasındaki benzerlik az ise veya bütünsel hareket sadece basit öteleme hareketi ile çözülemiyorsa korelasyon yüzeyi tepe değeri düşük olacaktır [20]. Benzerlik; faz korelasyonu sonucu oluşan faz korelasyonu yüzeyinin maksimum değerii ile belirlenir. Bu maksimum değer yorumlanarak çerçeveler arası benzerlik belirlenebilir. Çerçeveler arası bütünsel hareket faz korelasyonu yüzeyinin maksimum değerinin yeri yorumlanarak bulunabilmektedir. İki çerçeve arası hareket olmaması durumunda tepe değerin yeri değişmezken, hareket olması durumunda hareket değerine bağlı olarak tepe değerin yeri değişmektedir. Şekil 1.3'te "Bike" video dizisinden örnek iki ardışıl çerçeve gösterilirken, Şekil 1.4'te bu iki çerçevenin faz korelasyonu yüzeyi gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Bike video dizisinden örnek iki ardışıl çerçeve



Şekil 1.4. Şekil 1.3'deki çerçevelerin faz korelasyonu yüzeyi

2. HAREKET DÜZELTİM SİSTEMİ

2.1. Giriş

Hareket düzeltim sisteminin amacı, video dizisinden hareket kestirimi ile elde edilen konum vektörlerinden titreşimlerin arındırılması ile istenen hareketlerin korunduğu yeni konum vektörlerinin elde edilmesidir. Hareket düzeltim sistemlerinde stabilizasyon için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

2.2. Hareket Düzeltim Teknikleri

Hareket düzeltim sistemlerinde kullanılan yöntemlerden biri olan hareket vektör tümleştirme yöntemi (Motion Vector Integration) [9]'da önerilmiştir. Önerilen yöntem görüntü içerisindeki hareketli nesnelere gibi düzensiz değişimlere karşı gürbüzdür (robust). [10]'da ayrık Fourier dönüşümü (Discrete Fourier Transform - DFT) tabanlı çerçeve konum yumuşatma yöntemi sunulmaktadır. Bu yöntem gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olmasına karşın, düzeltilmiş hareket eğrisi gerçek kamera değişimlerine göre gecikmelidir. Kalman filtresi tabanlı hareket düzeltimi ise [11,12]'de önerilmektedir. Bu çalışmada, düşük hesapsal yük ve düzeltim sağlayan Kalman filtresi kullanılmıştır. Kalman filtresi gerçek-zamanlı uygulamalarda büyük avantaj sağlamaktadır.

2.3. Kalman Filtresi ile Video Stabilizasyonu

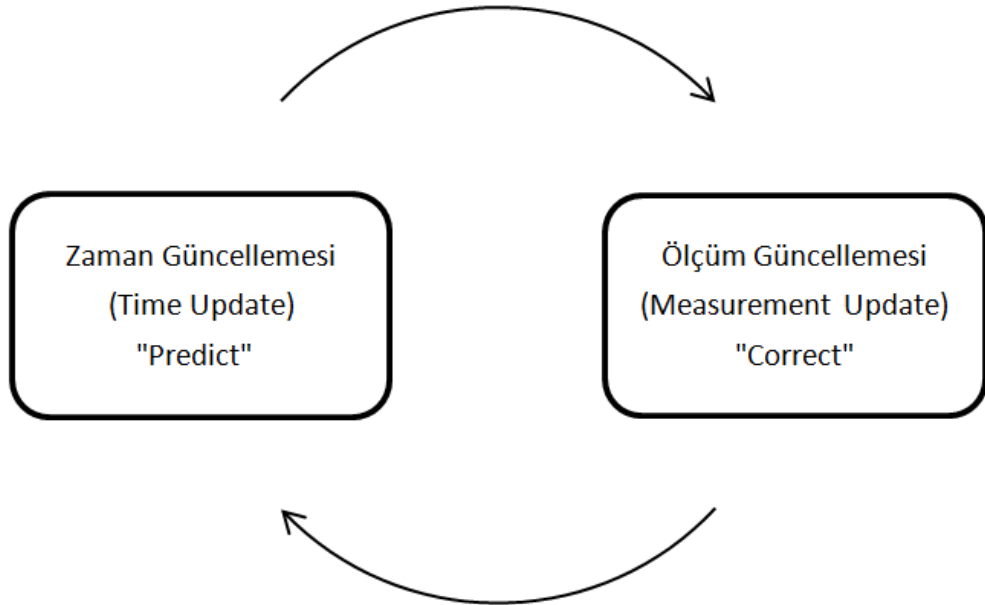
Matematiksel özellikleri bakımından gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olan Kalman filtresi, sistem ve ölçüm gürültüsü Gauss ile temsil edilen doğrusal gözlemlenme modeliyle tanımlanmış bir sistem için durum tahminini gerçekleştirmektedir. Kalman filtresi, bir önceki çerçevedeki yörüngeye dayanan bir hareket tahmini yapabilmektedir. Kalman filtresinin doğrusal dinamik sistem formu Eşitlik (2.1)'de tanımlanmıştır:

$$x(t+1)=Fx(t)+w(t) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte görüldüğü üzere bu sistem F matrisine ve önceki duruma bağlıdır. $w(t)$ ise işlem gürültüsü olarak adlandırılmaktadır. Kalman filtresi durum değişkenlerinin tümüne veya bir kısmına bağlı olarak gözlemler yürütecektir. Gözlemler sistemi ise Eşitlik (2.2)'deki gibi tanımlanmıştır:

$$y(t+1)=Hy(t)+v(t) \quad (2.2)$$

Gözlem değişkenleri doğrusal olarak H matrisinden doğru durum değişkenleriyle ilişkilidir. $v(t)$ ise ölçüm gürültüsü olarak adlandırılmaktadır. Tanımlanması itibariyle Kalman filtresi, işlem ve ölçüm gürültüleri birbirinden bağımsız ve normal olasılık dağılımlarına bağlı olarak $N\sim(0,Q)$ ve $N\sim(0,R)$ şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 2.1'de Kalman filtresinin ölçüm ve işlem gürültüsü değerlerine bağlı olarak geri besleme döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kalman filtresi geri besleme döngüsü

Stabilizasyon işlemi için bulunan konum vektörleri kalman filtresinden geçirilecektir. Yatay ve düşey düzlemde konum vektörleri (x_1, x_2) olmak üzere anlık hız değerleride (dx_1, dx_2) olduğu düşünülürse, doğrusal dinamik sistem Eşitlik (2.3)'deki gibi tanımlanmaktadır:

$$\begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ dx_1(n) \\ dx_2(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n-1) \\ x_2(n-1) \\ dx_1(n-1) \\ dx_2(n-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} wx_1 \\ wx_2 \\ wdx_1 \\ wdx_2 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Hareket tahmin sistemindeki hareket vektörleri kullanılarak gerçek zamanlı konum vektörlerinin kullanıldığı gözleme sistemi Eşitlik (2.4)'deki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ dx_1(n) \\ dx_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} vx_1 \\ vx_2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Kalman filtresi tahmin ve düzeltme kısmı olarak ikiye ayırabiliriz. İlk olarak tahmin sisteminin bir sonraki çerçeveye göre tahmini Eşitlik (2.5)'deki gibi gerçekleştirilmektedir:

$$\hat{x}_{n+1} = F\hat{x}_n \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5)'de \hat{x}_{n+1} , bir sonraki çerçevenin konum tahminini göstermektedir. \hat{x}_n , ise bir önceki konumun düzeltilmiş halini göstermektedir. Bir sonraki konumun kestirimi esnasında olması gereken hata kovaryansı Eşitlik (2.6)'da belirtilmiştir:

$$P_{n+1} = FP_n F^T + Q \quad (2.6)$$

Düzeltilme aşamasındaysa kazanç matrisi kullanılarak düzeltilmiş konum vektörü Eşitlik (2.7) ve Eşitlik (2.8)'deki gibi bulunacaktır:

$$K_n = P_n H^T (H P_n H^T + R)^{-1} \quad (2.7)$$

$$\hat{x}_n = \hat{x}_n^- + K_n (y_n - H\hat{x}_n^-) \quad (2.8)$$

Düzeltilmiş kısmında belirli bir düzeltilmiş hata kovaryansı değeri Eşitlik (2.9)'daki gibi oluşacaktır:

$$P_n = (I - K_n H) P_n^- \quad (2.9)$$

Konum vektörü $X_{orj}(n)$, bu çerçeve için Kalman Filtresinin bulduğu düzgünleştirilmiş konum vektörü $X_{Klm}(n)$ ile gösterilirse, çerçevenin düzeltme vektörü kalman filtrelemesi sonucu elde edilen düzeltilmiş konum vektörlerinden kameradan çekim esnasında kaydedilmiş orijinal konum vektörlerinin çıkartılması sonucu Eşitlik (2.10)'daki gibi elde edilmektedir [15]:

$$V_{düz}(n) = X_{Klm}(n) - X_{orj}(n) \quad (2.10)$$

2.4. Kalman Filtresi Varyans Degerlerinin Tanıtılması

Kalman filtresi yapısı itibariyle aldığı giriş ölçümlerine göre davranışını ayarlayabilmektedir. Bunu filtre yapısında bulunan işlem gürültüsü ve ölçüm gürültüsü ile gerçekleştirmektedir. İşlem gürültüsü ve ölçüm gürültüsü, Kalman filtresinin parametreleridir, ve bu parametreler Kalman filtresinin çalışma biçimini doğrudan etkilediklerinden, bunlar için kullanılan değişinti (variance) değerleri önemlidir. Video stabilizasyonu için Q değerinin 0 ile 1 arasında seçilmesi uygun olmaktadır.

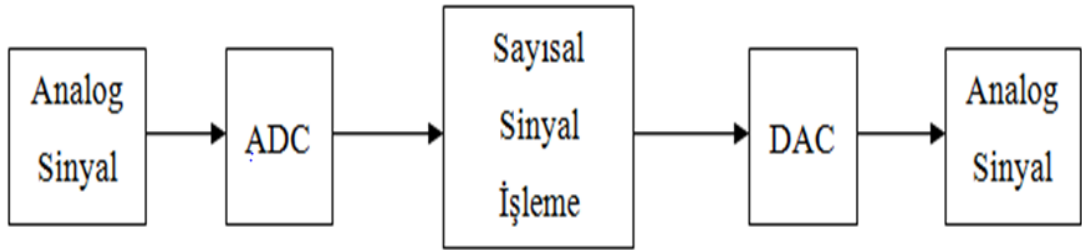
Stabilizasyon işlemi için kamera hareketinin yön ve hızında meydana gelebilecek değişimler işlem gürültüsü varyansı Q sayesinde yakalanabilmektedir. Kalman filtresinin işlem gürültüsü varyansı küçük alındığında harekette meydana gelen değişimleri iyi takip edemezken, buna karşın stabilizasyon başarımı yüksektir. Bu değer büyük alınması ise değişikliklerin yakından takip edilmesine neden olarak, stabilizasyon performansını düşürmektedir.

Ölçüm gürültüsü varyansı R ise, Kalman filtresinin ölçüm değerleri için kabul edilebilecek titreşim bileşeninin değişme miktarını belirler. Bu değer küçük alındığında sistem, ölçüm değerlerini iyi kabul ederek hareketteki en küçük değerli titreşimleri de takip etmektedir. Bu durum stabilizasyon yoğunluğunu düşürmektedir. Varyans değeri büyük alındığında ise sistem ölçüm değerlerini kötü kabul etmektedir. Bu durumda stabilizasyon şiddeti yüksek olmasına karşın sistem ölçüm değerlerine gecikmeli olarak tepki vermektedir [15].

3. DSP İLE SAYISAL VİDEO İŞLEME

3.1. Giriş

Sayısal işaret işleyiciler çok yüksek hesap yükü getiren algoritmaları hızlı şekilde yerine getirmek için kullanılmaktadır. Sensörden alınan işaretler analogdan sayısala dönüştürülüp işlendikten sonra Şekil 3.1’de gösterildiği gibi gerekirse tekrar analog işarete dönüştürülmektedir.



Şekil 3.1. Tipik bir işaret işleme sisteminin blok gösterimi

Bazı genel amaçlı işlemciler ve işletim sistemleri işaret işleme algoritmaları yerine getirebilir fakat daha fazla güç tüketimi ve çip üzerindeki yer problemleri yüzünden cep telefonu gibi taşınabilir cihazlarda bu işlemciler uygun olmadığından işaret işleyiciler kullanılması gerekmektedir. Ayrıca DSP ile tasarım yapmanın mikro işlemcilere göre yüksek hızlı işaret işleme, güvenilirlik, yüksek performans, ucuz sistem maliyeti gibi avantajları da mevcuttur.

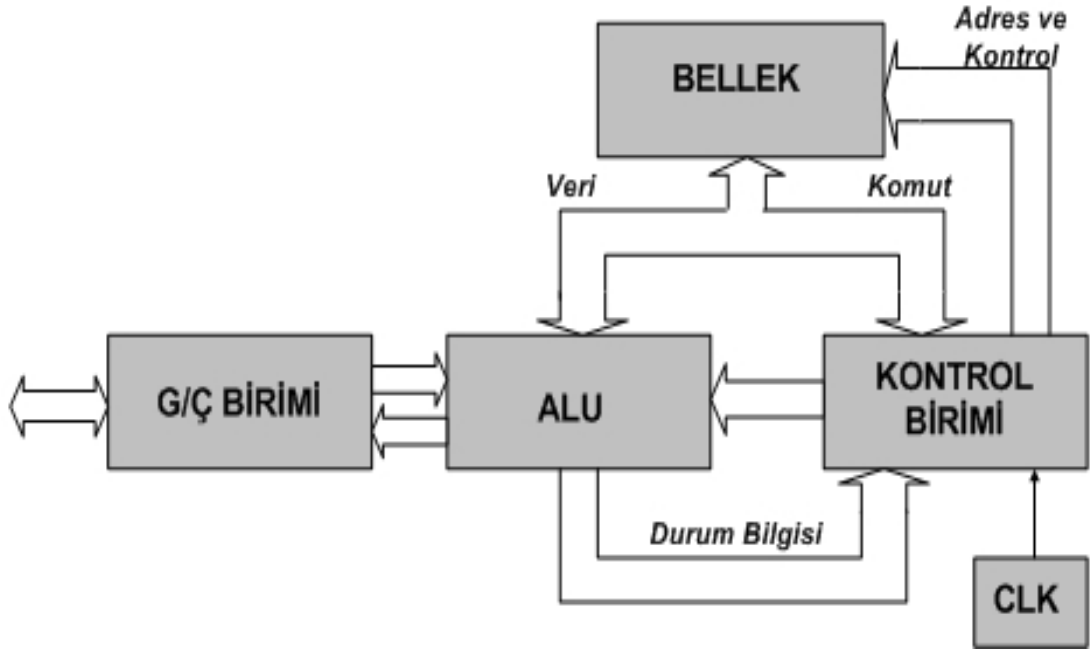
Mikro işlemcilerin yüksek hesap yüküne cevap verememesi nedeniyle Analog Device, Motorola ve Texas Instruments gibi büyük firmalar 1980 yılından itibaren özel sayısal işaret işleme işlemlerini yerine getirecek sayısal işaret işleyicileri geliştirmektedir.

3.2. DSP Mimarisi

Sayısal İşaret İşleyiciler kendilerine özgü kodlarla programlanmaktadır. Program yüklü DSP'lerin her saat çevriminde hangi matematiksel işlemi yerine getireceği tanımlıdır. DSP bellekten gelen verileri ve komutları alır, bu verileri ilgili komutlara göre işler ve tekrardan belleğe geri gönderir. Bu işlemler için iki farklı donanım mimarisi kullanılmaktadır.

3.2.1. Von Neumann Mimarisi

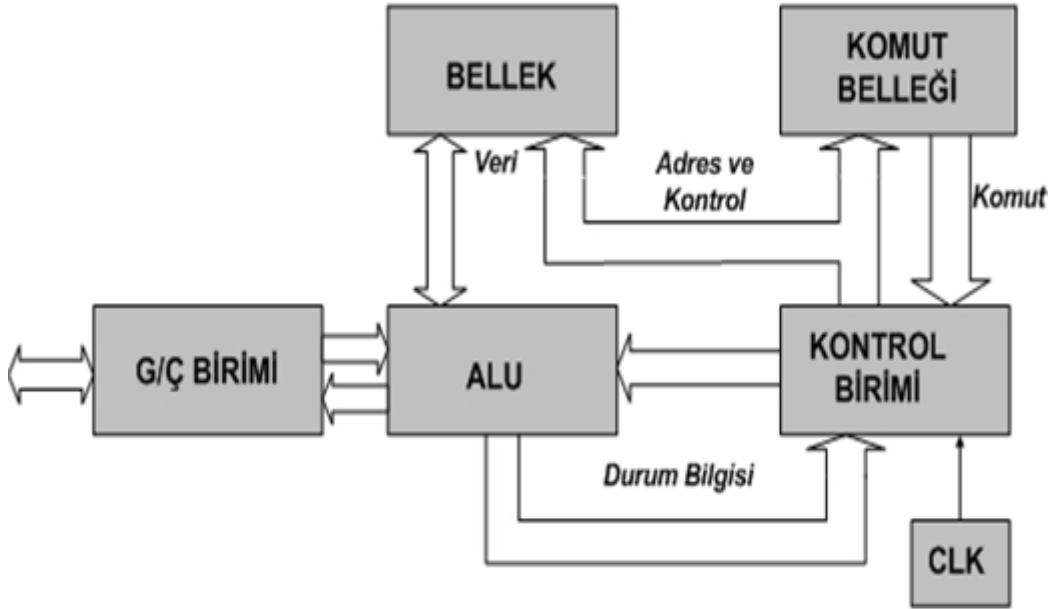
Bilgisayarlarda ilk kullanılan ve adını mimariye yön veren ünlü matematikçi John von Neuman'dan alan bir tasarım yaklaşımıdır. Bazen Princeton mimarisi de denilen bu mimari yapıya sahip ilk bilgisayarlarda, transistör yerine lamba (vakum tüp) kullanılmaktaydı. Von Neumann mimarisi günümüzde bir çok mikroişlemcili sistemde kullanılmaktadır. Von Neuman mimarisinde, veri ve komutlar bellekten tek bir yoldan mikroişlemciye getirilerek işlenmektedir. Program ve veri aynı bellekte bulunduğundan, komut ve veri gerekli olduğunda aynı iletişim yolu kullanılmaktadır. Bu durumda, komut için bir saat çevrimi, sonra veri için diğer bir saat çevrimi gerekmektedir [16]. Şekil 3.2'de örnek bir Von Neumann mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Von Neumann mimarisi [16]

3.2.2. Harvard Mimarisi

Harvard mimarili bilgisayar sistemlerinde, Von Neumann mimarisinden farklı olarak veri ve komutlar ayrı belleklerde tutulmaktadır. Buna göre, veri ve komut aktarımında iletişim yolları da bir birinden bağımsız yapıdadır. Komutla birlikte veri aynı saat çevriminde farklı iletişim yolundan ilgili belleklerden alınıp işlemciye getirilebilir. Getirilen komut işlenip ilgili verisi veri belleğinden alınırken sıradaki komut, komut belleğinden alınıp getirilebilir. Bu önden alıp getirme işlemi, dallanma haricinde hızı iki katına çıkarabilmektedir [16]. Şekil 3.3'te örnek bir Harvard mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Harvard mimarisi [16]

Bu tez çalışmasında kullanılan TMS320DM6437 geliştirme kartının işlemcisi olan TMS320C64x işlemcisi Harvard Mimarisini kullanmaktadır.

3.3. TMS320DM6437 Sayısal İşaret İşleyicisi

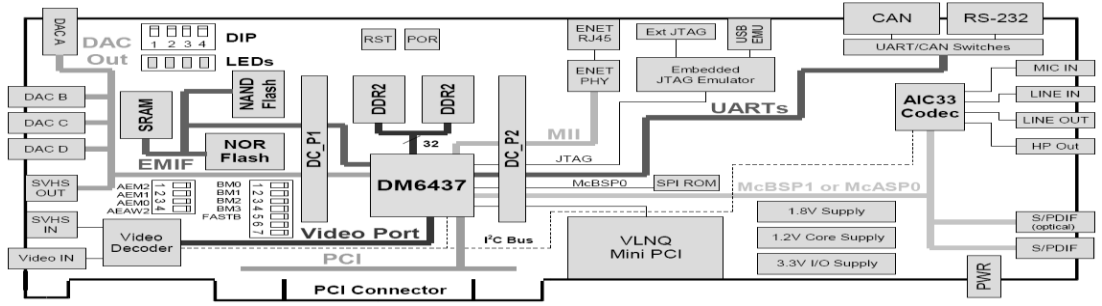
Bu çalışmada üzerinde uygulamalar geliştirilen TMS320DM6437 kullanıcılara PCI tabanlı veya bağımsız olarak video ve ses uygulamaları geliştirebilmesine olanak sağlayan geliştirme platformudur. DM6437 platformunda bir TVP5146M2 video çözücü yardımıyla video dizileri işlemciye yönlendirilmektedir. Çıkışta videoları

gösterme fonksiyonları ise yazılımsal olarak DM6437 işlemcisi tarafından yürütülmektedir. 4 adet DAC çıkışı tarafından ise görüntüler TFT monitöre gönderilmektedir [17]. Video sistemi VPSS(Video Processing Sub System) bölümünde detaylı olarak anlatılacaktır.

Geliştirme kitinin sahip olduğu donanımsal özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- 400, 500, 600, 700 MHz hızlarında çalışabilen işlemci
- TVP5146M2 Video çözücü
- 4 Video DAC çıkışı
- 128 Mbyte DDR2 DRAM
- UART, CAN I/O arayüzleri
- 16 Mbyte Flash hafıza, 64 Mbyte NAND flash hafıza, 2Mbyte SRAM
- AIC33 stereo kodek
- I²C arayüzü
- 10/100 MBS Ethernet arayüzü
- Gömülü JTAG arayüzü
- Tek voltaj güç kaynağı(+5V)
- Daughter Kart kullanımı
- VLYNQ arayüzü
- S/PDIF arayüzü, analog ve optic
- 32 bit DDR2 SDRAM
- İki adet 64 bit genel amaçlı zamanlayıcı
- 64 Mbyte adresleme erişimine sahip genişletilmiş bellek erişimi denetleyicisi(EDMA)
- İki adet çok kanallı seri port (McBSP)
- Video işleme alt sistemi(VPSS)

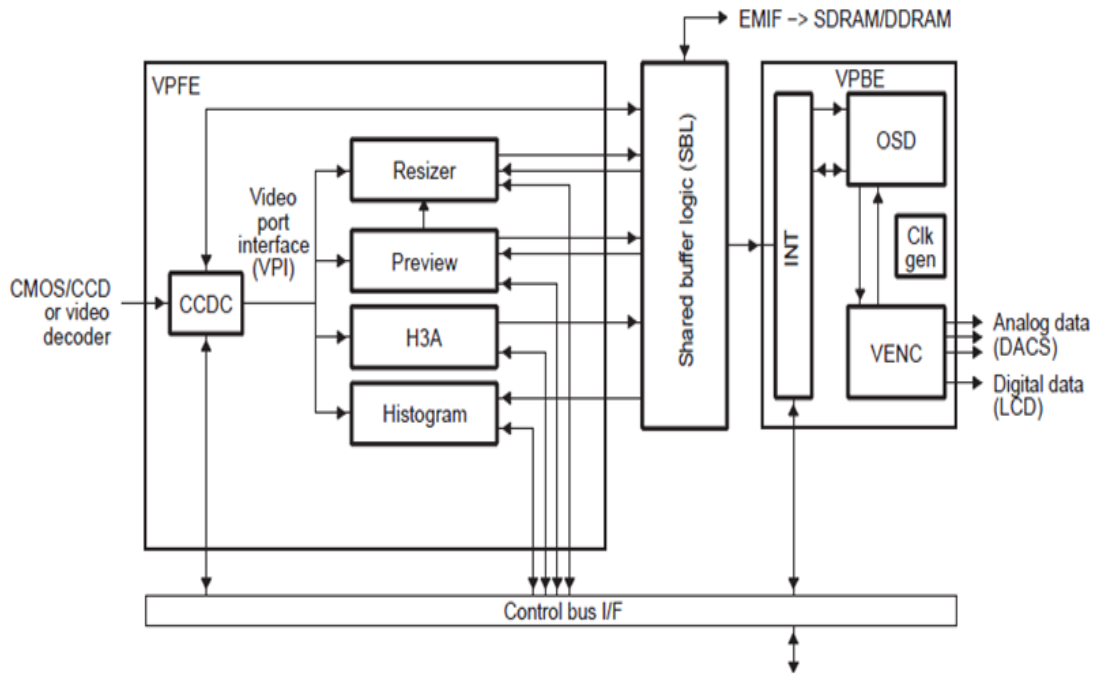
TMS320DM6437 sayısal işaret işleme geliştirme kitinin blok diyagramı Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. TMS320DM6437 blok diyagramı [17]

3.3.1. Video İşleme Alt Sistemi

Video İşleme Alt Sistemi video çözümleri veya görüntü algılayıcılarından görüntü alımı için bir giriş sistemi (VPFE) ve SDTV görüntüleyicileri, dijital LCD'ler gibi çıkış sistemleri için ise bir çıkış sistemi (VPBE) desteklemektedir. Bu çevresel birimlerle birlikte DD2 hafıza denetleyicisini etkin bir şekilde kullanabilmek için tampon hafızası ve doğrudan hafıza erişimi (DMA) denetleyicileri mevcuttur. Paylaşılmış tampon hafıza VPFE ve VPBE modülleri arasındaki haberleşmeyi sağlamasının yanı sıra DDR2 hafıza denetleyicisiyle arasında veri iletimini sağlamaktadır. Video İşleme Alt Sistemi blok diyagramı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. VPSS blok diyagramı [18]

3.3.1.1. Video işleme ön kısmı(VPFE)

VPFE CCD Denetleyicisi(CCDC), önzleyici makine görüntü hattı(IPIPE), donanım 3A istatistiksel yaratıcı(H3A), tekrar boyutlandırıcı ve histogram bloklarından oluşmaktadır. Bu modüller güçlü ve esnek bir ön arayüz sağlamaktadır. Bu modüller iki kısma ayrılabilir.

Birinci kısım veri akış yolunda bulunan ve giriş görüntü dizi verilerini etkilemektedir. Bu kısımda bulunan CCD denetleyicisi görüntü algılayıcıları ve sayısal görüntü kaynaklarına arayüz sağlamaktadır. Önzleyici makine IPIPE video kaydetme modları, video çerçeve oranları ve iyi görüntü kalitesi elde etmek için kendine ait görüntü işleme bloklarını parametrelendirmektedir. Boyutlandırıcı ise giriş görüntü veri dizisini video kodlama çözünürlüğüne ve istenen çıkışa boyutlandırmayı sağlar.

İkinci kısımdaysa kamera sistem tasarımcılarına yardım etmek için gelen görüntü verilerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. H3A modülü CCD kameradan alınan ham görüntü verilerinde otomatik odaklandırma (Auto Focus-AF), otomatik beyaz denge (Auto White Balance-AWB), otomatik ışıklandırma (Auto Enlightenment-AE) için kontrol döngüleri sağlamak için tasarlanmıştır. Histogram modülü giriş renk piksellerini genliğe bağlı olarak ayarlamaktadır. Ayrıca son görüntü, video çıkışı kanal ayarlarını sağlamaktadır. Histogram modülü CCD denetleyicisinden yada DD2' den ham alınan görüntülerde işlem yapabilmektedir.

3.3.1.2. Video işleme arka kısmı(VPBE)

VPBE bloğu ekran göstericisi (OSD) ve video kodlayıcı (VENC) modüllerinden oluşmaktadır.

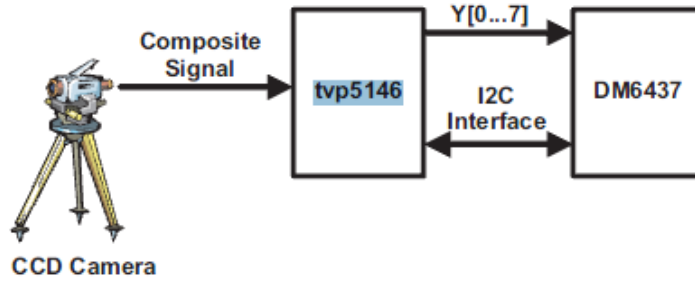
Ekranda gösterici (OSD) grafik hızlandırıcı donanımsal gösterim pencerelerinde verilerin gösterilmesini sağlar. Aynı zamanda pencerelerin karıştırılarak tek bir çerçevede gösterilmesini yetkilendirmektedir.

Video kodlayıcı (VENC) ekran göstericisinden gösteri çerçevelerini alır ve istenen çıkış formatına dönüştürür. Veri, saat ve eşzamanlandırma gibi çıkış sinyallerini gösterim arayüzlerine göndermektedir. VENC üç alt bloktan oluşmaktadır:

- Analog video kodlayıcı NTSC/PAL televizyon gösterimlerine gönderilen sinyalleri yaratır.
- Sayısal LCD denetleyicisi çeşitli sayısal LCD gösterim formatlarına uygun arayüzleri destekler.
- Zamanlama jeneratörü analog video çıkışı ve sayısal video çıkışları için zamanlama sinyalleri oluşturmaktadır.

3.3.2. Video Sürücünden YCbCr Verisinin Yakalanması

Analog sinyali sayısal YUV422 verisine dönüştüren TVP5146 video çözücüsüne CCD kamera bağlanmıştır. 8-bit veri yolundan doğru YUV422 verisi DM6437 işlemcisine gönderilmektedir. TVP5146 video çözücüsünü yapılandırmak için TVP5146 ile DM6427 (I²C) protokolü ile haberleşmektedir. Sistemin temel blok diyagramı Şekil 3.6’te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. YUV422 verisinin yakalanması [19]

Veriyi yakalamak ve göstermek için VPFE sürücüsü aşağıdaki gibi basamaklar yürütülmektedir:

- CCDC kanalı yaratmak ve parametreleri aktarmak için FVID_Create() fonksiyonu çağrılmaktadır. Veri akışı PSP_VPFE_CCDC_YCBCR_8 olarak seçilmiştir. Verinin çerçeve genişliği ve uzunluğuyusa çalışmamda PAL televizyon sistemi kullanıldığından 720 x 576 olarak seçilmiştir. TVP5146 video

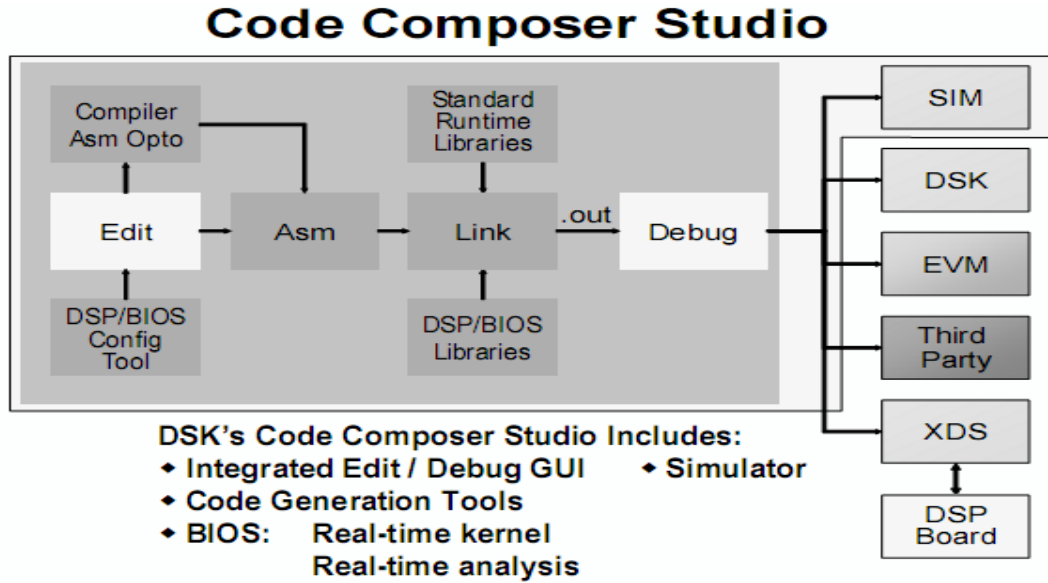
çözücüsüne ilişkin 3 fonksiyon da VPFE sürücüsündeki CDCC parametrelerine aktarılmaktadır.

- ❖ PSP_VPFE_TVP5146_Open() fonksiyonu DM6437 ve TV5146 çözücüsü arasında I²C arayüzü yetkilendirmek için CCDC kanalı yaratıldığında çağrılmaktadır.
- ❖ PSP_VPFE_TVP5146_Close() fonksiyonuysa I²C arayüzünün yetkilendirilmesi kaldırıldığında çağrılmaktadır.
- ❖ PSP_VPFE_TVP5146_Control() TVP5146' nın seçeneklerini yapılandırmak gerektiğinde çağrılmaktadır.
- CCDC kanalı yaratıldıktan sonar FVID_Control() komutuyla TVP5146 video çözücüsü yapılandırılmaktadır. Çoğu yapılandırma parametreleri tipik kullanım açısından optimum bir şekilde oluşturulduğundan, bu komut TVP5146' nın tekrar yapılandırılması durumunda kullanılmaktadır.
- FVID_alloc() fonksiyonunun çağrılmasıyla CCDC modülü için iki çerçeve tampon yer ayrılır. Ve tamponlar FVID_queue() fonksiyonuyla sürücüye yüklenir.
- VPBE' deki VIDWIN0 kanalı VID_create() fonksiyonu yardımıyla yaratılır ve YUV422 formatından yakalanan verilerin gösterilmesi için VIDWIN0' I yapılandırılan parametreler oluşturulur.
- FVID_alloc() fonksiyonunun çağrılmasıyla VIDWIN0 için iki çerçeve tampon için yer ayrılır. Tamponlar sürücüye FVID_queue() fonksiyonu yardımıyla yüklenmektedir.
- VPBE' deki VENC kanalı VID_create() fonksiyonu yardımıyla yaratılır ve sinyallerin gösterilmesi için VENC modülünü yapılandıran parametreler oluşturulur.
- Belirli zamanlarda giriş video sinyallerini yakalamak ve göstermek için döngü oluşturulur. Döngünün içerisinde şu işlemler yürütülmektedir:
- ❖ FVID_exchange() fonksiyonu yardımıyla yeni bir video çerçevesi yakalanır ve CCDC modülüne transfer edilir. Fonksiyon CCDC modülü yeni bir çerçeve yakaladıktan sonar geri döndürülür.

- ❖ FVID_exchange() komutu kullanılarak yakalanmış veriyi içeren çerçeve tamponunu VIDWIN0' a transfer edilip yeni bir çerçeve tampon alınmaktadır.
- Döngü tamamlandığında bütün kanallar ve çerçeve tamponları serbest bırakılmaktadır:
- ❖ VIDWIN0 için iki çerçeve tamponunu serbest bırakmak için FVID_free() iki defa çağrılır. VIDWIN0 kanalını serbest bırakmak içinse FVID_delete() çağrılır.
- ❖ CCDC için iki çerçeve tamponunu serbest bırakmak için FVID_free() iki defa çağrılmaktadır. CCDC kanalını serbest bırakmak içinse FVID_delete() fonksiyonu çağrılır.
- ❖ VENC kanalını serbest bırakmak içinse FVID_delete() çağrılır.

3.4. Code Composer Studio(CCS)

Code Composer Studio (CCS) programı, bütün TI DSP çeşitlerinin yazılımsal programlama aracıdır. CCS sayesinde kodlar yazılıp derlenir, çalıştırılabilir dosya üretilebilir ve programlar debug özelliği sayesinde çalışma zamanında izlenebilmektedir [23]. Şekil 3.7’de CCS blok yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. CCS blok yapısı [23]

CCS, derleyici ,assembler ve bağlayıcı(linker) birimlerini bir arada bulundurduğundan ayrı ayrı programlar kurulmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ve

tam versiyonlarında ek olarak DSP simülatörleride bulunmaktadır. Ayrıca TI DSP/BIOS gerçek zamanlı işletim sistemi DSP'lerin içine gömülerek çalıştırılabilmektedir. DSP/BIOS kesme kaynaklarını, bilgisayar haberleşmesini, giriş çıkışları gerçek zamanlı yürüterek daha önemli işlere yüksek öncelik verilmektedir. Programlar, C, C++ ve assemblyde dillerinde yazılabilmektedir. Tez kapsamında geliştirilen video stabilizasyon sistemi CCS kullanılarak TMS320DM6437 platformuna uygulanmıştır. CCS'nin kullanımı ile temel bilgiler Ek-1'de verilmiştir.

4. DSP İLE GERÇEK ZAMANLI VIDEO STABİLİZASYONU

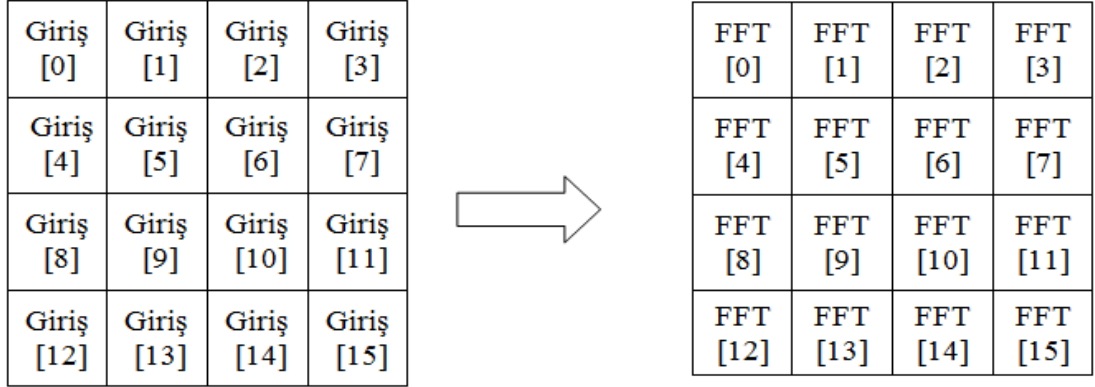
Önerilen video stabilizasyon sistemi Texas Instruments'ın DaVinci DSP TMS320DM6437 kitinde uygulanmıştır. Analog kameradan alınan sayısallaştırılmış ardışık görüntü çerçevelerinin faz korelasyonu (1.1)'deki gibi hesaplanmaktadır.

Faz korelasyonu işlemi için iki çerçevenin ayrık Fourier dönüşümünün hesaplanması gerekmektedir. Ayrık Fourier hesabı için Texas Instruments firmasının DSPLib adını verdiği kendi sayısal işaret işleme donanımları için geliştirdiği kütüphaneden faydalanılmıştır. Sistemimizde iki boyutlu video çerçevelerimiz YCbCr(4:2:2) formatta 8 bit piksel derinliğinde tek boyutlu bir dizi şeklinde elde edilmektedir. Bu durum iki boyutlu veriye direk erişim sağlanamadığından ek işlem maliyeti getirmektedir. Bu durumda faz korelasyonu için gerekli olan 2- boyutlu(2D) FFT'nin işlem basamakları ise şu şekildedir:

- Bütün satırların FFT'si alınır.
- Sonuç matrisinin devriği (transpose) alınır.
- Bütün sütunların FFT'si alınır.
- Sonuç matrisinin devriği alınır.

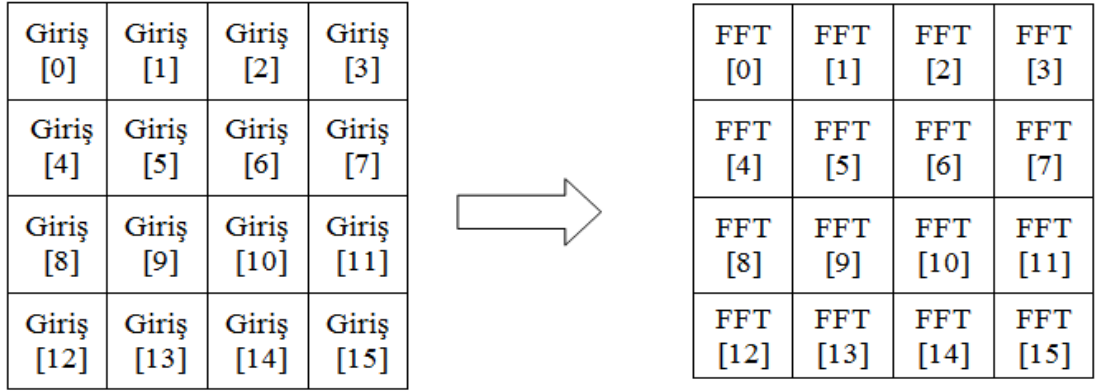
Aynı şekilde ters FFT işlemi de FFT yerine IFFT kullanılarak gerçekleştirilebiliriz. DSPLib'in FFT işlemi için kullandığımız fonksiyonu giriş verisi üzerinde değişikliğe neden olduğundan orijinal verinin bozulmaması için bu fonksiyona girdi olarak verilecek dizi değerlerinin öncelikle başka bir geçici diziye kopyalanması ve işlemin bu dizi üzerinden gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çalışmalar sonucunda, geçici kopyalama işleminde indis değerleri uygun şekilde ayarlanıp ek bir işlem olarak devrik alma işleminin kullanılmamasının faz korelasyonu sonucuna etki etmediği görülmüştür. Bu durumun ayrıca işlemsel yük açısından da kazanç sağladığı gözlemlenmiştir

Şekil 4.1’de bu işlemlerin nasıl gerçekleştiği matrisler üzerinden gösterilmektedir.



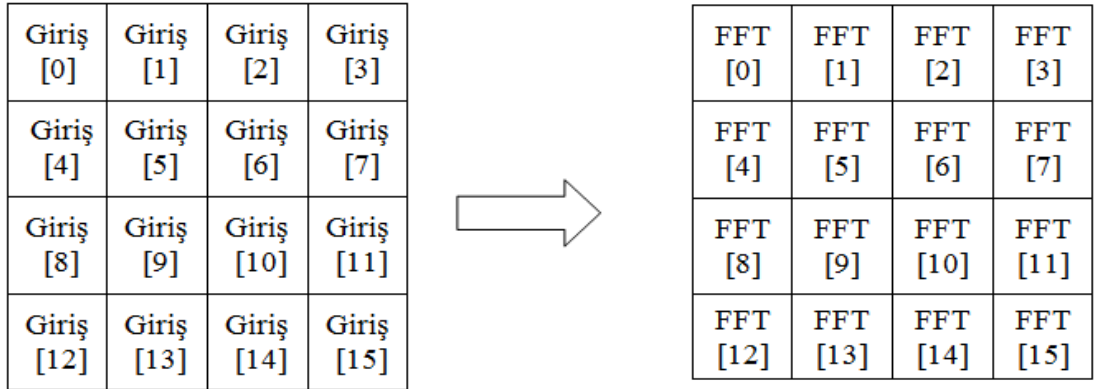
a)

b)



c)

d)



e)

f)

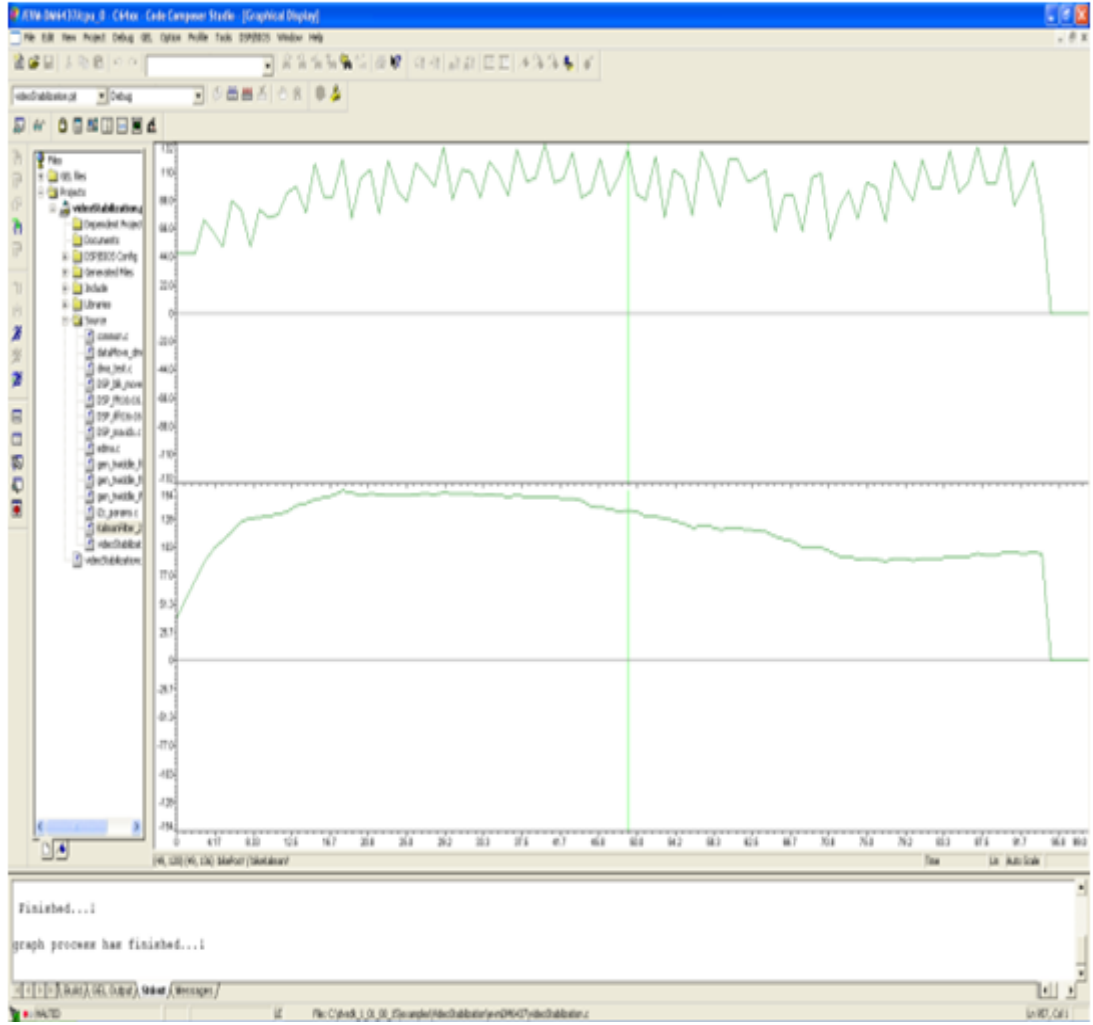
Şekil 4.1. İki boyutlu faz korelasyonu a) Giriş değerleri b) Giriş matrisinin satırlarının FFT matrisi c) Giriş matrisinin sütunlarının FFT matrisi d) Ara işlemler sonrası oluşan sonuç matrisinin satırlarının FFT matrisie) Ara işlemler sonrası oluşan sonuç matrisinin sütunlarının FFT matrisi f) Faz korelasyon sonucu

FFT işlemi için DSPLib kütüphanesinde bulunan daha düşük eleman değerleri üzerinden işlem yapabilen düşük boyutlu işlemler için kullanılan FFT fonksiyonunun kullanımının ek bir işlem olarak ölçekleme işlemini getirmesine rağmen hesapsal yükü azalttığı görülmüştür.

2D FFT için satır ve sütun işlemlerinde gerekli olan hafıza aktarım işlemlerinde CPU'dan bağımsız bir şekilde verilerin hızlı bir şekilde kaynak adresten hedef adrese aktarılmasına olanak sağlayan EDMA (Enhanced Direct Memory Access) kullanılması uygun görülsede, EDMA ön ayarlamalarının sürekli çağırılmasının sonucu olarak hesapsal yükü arttırdığından, gerçek-zamanlı işlemlerde yeterli başarıyı sağlamadığı görülmüştür. Bu yüzden DSPLib içerisinde bulunan blok hafıza aktarım fonksiyonlarının kullanılması uygun bulunmuştur.

Faz korelasyonunda 2D FFT işleminden sonra kompleks çarpım, karekök, mutlak değer hesabı gibi işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. İlk olarak C kütüphanesinin çarpım, karekök ve mutlak değer alma gibi fonksiyon ve operatörleri kullanılmıştır. Bu işlemlerde giriş çerçevelerinin boyutu büyüdükçe hesapsal yük arttığından sistemin gerçek-zamanlı çalışması zorlaşmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için "intrinsic" adı verilen ve derleyici tarafından derleme zamanında assembly diline çevrilmesi sağlanan fonksiyonlardan yararlanılmıştır. Bu fonksiyonlar SIMD (Single Instruction Multiple Data) yapısını kullanmaktadır. SIMD mimarisinde, aynı komut bir çok farklı veri üzerinde paralel olarak yürütülür. Böylece C kütüphanesinde bulunan aynı işlemi yerine getiren fonksiyon ve operatörler yerine intrinsic fonksiyonların kullanılmasının zamansal açıdan başarıyı arttığı görülmüştür.

Bu çalışmada Kalman filtresinin uygulaması için Texas Instruments'ın kullanıcılar için sağladığı gerçek-zamanlı uygulamalarda kullanılacak olan VLIB kütüphanesinin Kalman filtresi fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyona girdi olarak faz korelasyonu sonucu elde edilen hareket vektörleri verilerek, ölçüm gürültüsü varyansı ve işlem gürültüsü varyansı için belirlenen en uygun değerlere göre, Kalman filtresiyle düzgünleştirilmiş yeni hareket vektörleri elde edilmektedir. Şekil 4.2'te örnek bir hareket vektörü dizisi ve ona bağlı olarak oluşan kalman filtresi sonucu gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Kalman filtresi çıkışı

Geri çatma işleminde ara değerlendirme yöntemi gerçek-zamanlı bir sistem için ek işlemsel yük getirdiğinden, bu çalışmada 720×576 olan video boyutu 660×516 olarak ayarlanmıştır. İki boyutlu video çerçevelerinin YCbCr formatta tek boyutlu bir dizi şeklinde elde edilmesinden dolayı iki düzlemde olacak olan geri çatma işlemi gösterici değişimi veya basit kopyalama işlemleriyle gerçekleştirilememektedir. Bu yüzden EDMA'nın iki boyutlu kopyalama işleminden faydalanılmıştır. EDMA iki boyutlu kopyalama işleminin yanı sıra geri çatma işlemi için gerekli işlemsel yükü de azaltmaktadır. Geri çatma işleminde video boyutunu azaltmak için çerçevenin geri kalan kısmının belirli bir renk değeriyle doldurularak, böylece görüntü ekranında kullanıcının sadece stabilize edilmiş görüntüyü izleyebilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistemin örnek görüntüsü Şekil 4.3'te verilmektedir.



Şekil 4.3. Önerilen video stabilizasyon sistemi

Yapılan çalışmalar sonucu geliştirme aşamalarında her işlemin hesapsal yük açısından sağladığı kazanç, toplam işlem süresi ve sistem saniyede işleyebildiği çerçeve sayıları (fps) Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. İşlem süre tablosu(ms)

İşlem	FFT	Ara işlemler	Toplam PHC	Stabilizasyon	Geri Çatma	FPS
	20,8	33,8	77,9	(----	(----	14
Intrinsic İşlemler	20,8	20,1	66,8	(----	(----	15
FFT iyileştirmesi	18,9	12,6	53,7	(----	(----	18
Düşük boyutlu FFT	14,8	6,7	36,5	(----	(----	25
Kalman ile Stabilizasyon	"	"	"	0	(----	25
Geri Çatma	"	"	"	0	22,19	16
İki Boyutlu EDMA kullanılarak geri çatma	"	"	"	0	0,99	25

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada faz korelasyonu yöntemiyle çerçeveler arası hareket vektörleri hesaplanarak, Kalman filtresi kullanılarak hesaplanan hareket vektörlerinden istenmeyen hareket vektörlerinin bastırılıp sadece istenen hareketlerin korunduğu donanımsal bir sistem gerçekleştirilmiştir.

Faz korelasyonun yerel hareket değişimlerinden etkilenmeyerek, bütünsel hareket kestirimde başarılı olduğu görülmüştür. Kalman süzgeci düşük hesapsal yük değerine karşın, yüksek stabilizasyon performansına sahiptir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen video stabilizasyon sistemi Texas Instruments'ın DaVinci DSP DM6437 kitinde 25 çerçeve/s 660×516 çözünürlüklerde yüksek stabilizasyon başarımıyla uygulanmıştır.

Literatürde video stabilizasyon sistemimize benzer bir çalışma [22]'de önerilmektedir. Bu çalışmada hareket kestirim aşamasında düşük hesapsal yüke sahip olmasına rağmen hareket kestirim başarımı düşük olan alt-imge temelli hareket kestirimi kullanılırken hareket düzeltim aşamasında ise Kalman filtresi tercih edilmiştir. [22]'de önerilen video stabilizasyon sistemi 28 çerçeve/s 360×240 çözünürlüklerde DM6437 kitinde çalışmaktadır. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen video stabilizasyon sistemi daha güvenilir bir stabilizasyon yöntemi kullanarak yaklaşık olarak aynı çerçeve/s çalışma hızına sahip olmasına rağmen daha yüksek çözünürlüklerde çalışarak benzeri çalışmalardan ayrılmaktadır.

Önerilen sistem tüketici elektroniği, kurtarma robotları, el-kameraları v.b. uygulama alanlarına sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Erturk S., Digital image stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2003, **49**, 1320-1325.
- [2] Akbulut O., DSP ile Video Stabilizasyonu, Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2005.
- [3] Huang K. Y., Tsai Y. M., Tsai C. C., Chen L. G., Feature-based Video Stabilization for Vehicular Applications, *2010 IEEE 14th International Symposium*, Kaliforniya, Amerika, 28-31 Ağustos 2010.
- [4] Pail J. K., Park Y. C., Kim D. W., An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1992, **38**, 607-615.
- [5] Ko S. J., Lee S. H., Lee K. H., Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1998, **44**, 617-622.
- [6] Ko S. J., Lee S. H., Jeon S. W., Kang E. S., Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, **45**, 598-603.
- [7] Yeni A. A., Ertürk S., Fast Digital Image Stabilization using One Bit Transform Based Sub-Image Motion Estimation, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2005, **51**, 917-921.
- [8] Urhan O., Ertürk S., Single Sub-Image Matching based Low Complexity Motion Estimation for Digital Image Stabilization using Constrained One-Bit Transform, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2006, **52**, 1275-1279.
- [9] Erturk S., Dennis T. J., Image Sequence Stabilization Based on DFT Filtering, *IEEE Proc. on Image Vision and Signal Processing*, 2000, **147**, 95-102.
- [10] Erturk S., Image sequence stabilisation: Motion vector integration (MVI) versus frame position smoothing (FPS), , *Proc. 2nd Int. Symp. Image Signal Process. Anal.*, Pula, Hırvatistan, 19-21 Haziran 2001.
- [11] Erturk S., Real-time digital image stabilization using Kalman filters, *Real-Time Imaging*, 2002, **8**, 317-328.

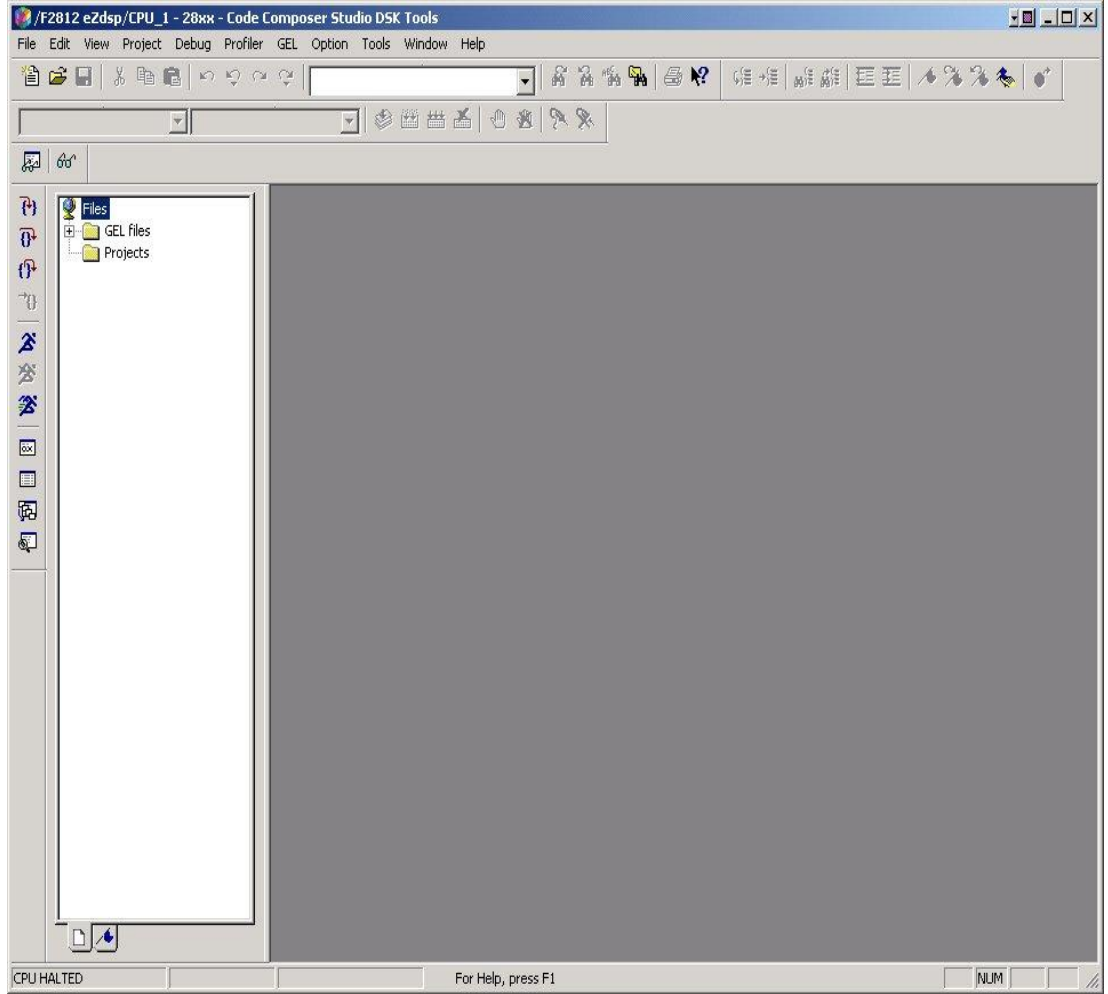
- [12] Güllü M. K., Yaman E., Ertürk S., Bulanık Denetleç Uyumlaması Kullanan Kalman Filtresi ile Görüntü Stabilizasyonu, Bursa, Türkiye, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar mühendisliği Sempozyumu (ELECO'02)*, Denizli, Türkiye, 18-20 Nisan 2002.
- [13] Ertürk S., Image sequence stabilisation based on Kalman filtering of frame position, *Electronics Letters*, 2001, **37**, 1217-1219.
- [14] Ertürk S., Yaman E., Image stabilisation by Kalman filtering using a constant velocity camera model with adaptive process noise, *International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO' 2001*, Bursa, Türkiye, **37**, 152-157.
- [15] Ertürk S., Yaman E., Görüntü Stabilizasyonu için Paralel İşlev Gören İki Kalman Filtresiyle İşlem Gürültü Varyansının Adaptifleştirilmesi, *10. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'2002)*, Denizli, Türkiye, 18-20 Nisan 2002.
- [16] http://www.cizgi-tagem.org/resource/vfiles/tagem/dms_file/1328/2Mikroi%C5%9Flemci%20mimarisi.pdf (Ziyaret Tarihi: 11.08.2012).
- [17] <http://www.ti.com/lit/ug/spruev6/spruev6.pdf> (Ziyaret Tarihi: 11.08.2012).
- [18] <http://www.ti.com/lit/ug/spru977d/spru977d.pdf> (Ziyaret Tarihi: 11.08.2012).
- [19] <http://www.ti.com/lit/an/spraap3a/spraap3a.pdf> (Ziyaret Tarihi: 11.08.2012).
- [20] Tekalp A. M., “*Digital Video Processing*”, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [21] Urhan O., Güllü M. K., Ertürk S., Modified Phase-Correlation Based Robust Hard-Cut Detection with Application to Archive Film, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2006, **16**, 753-770.
- [22] Hsiao J., Hsu C., Shih T., Hsu P., Yeh S., Wang B., Real-time video stabilization for the Rescue Robot, *ICROS-SICE International Joint Conference*, Fukuoka, Japonya, 18-21 Ağustos 2009.
- [23] <http://www2.informatik.hu-berlin.de/~huettl/dsp/ccs.pdf> (Ziyaret Tarihi: 11.08.2012).

EKLER

Ek-1

CODE COMPOSER STUDIO KULLANIMI

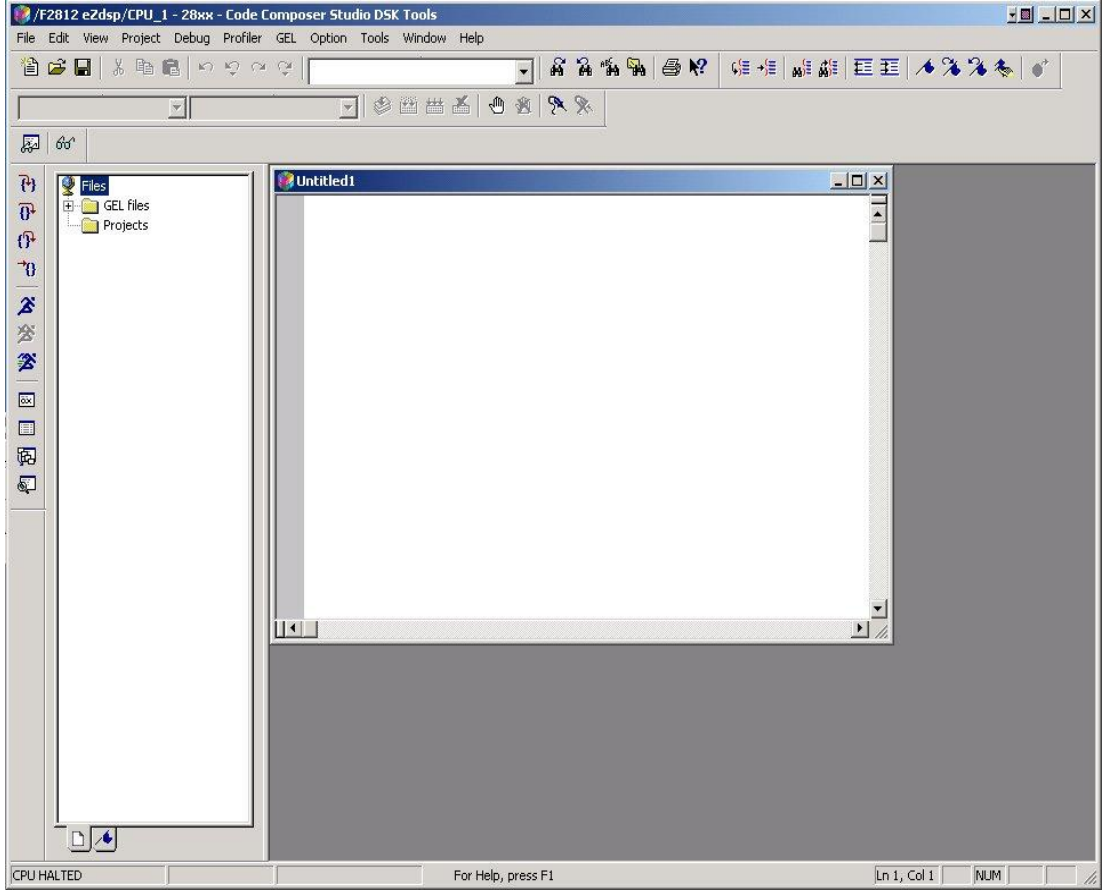
CCS IDE programının açılışından sonra CCS'nin ilk açılış ekranı Şekil Ek-1.1'de gösterilmektedir.



Şekil Ek-1.1. CCS açılış ekranı

Yeni bir dosya oluşturulması

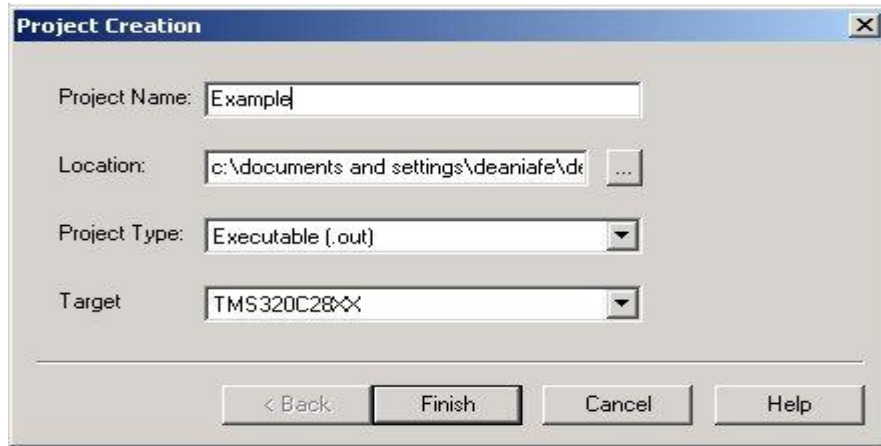
File->Source File tıklanır. Ana pencerede "Untitled1" penceresi açılmaktadır. Şekil Ek-1.2'de yeni pencere oluşturulması gösterilmektedir.



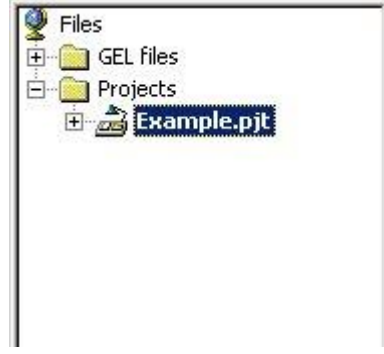
Şekil Ek-1.2. Yeni pencere oluşturulması

Yeni bir proje oluşturulması

Bir önceki adımda oluşturulan dosyaları Project->New seçilerek oluşturulan yeni projede kullanabilir. Yeni proje oluşturulması Şekil Ek-1.3'te gösterilmektedir. Proje oluşturulduktan sonra Şekil Ek-1.4'teki gibi CCS ana menüsünden erişim sağlanabilmektedir.



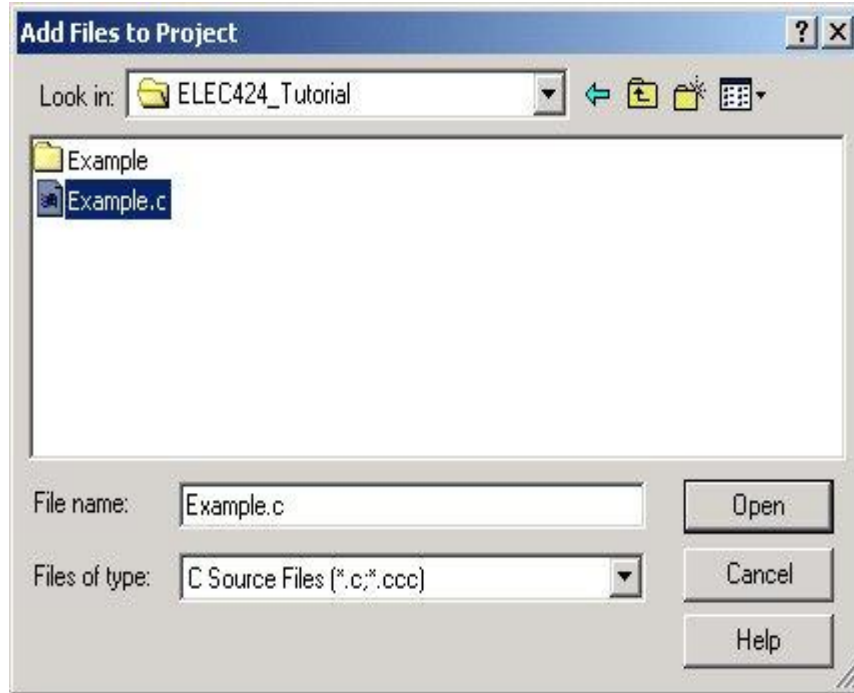
Şekil Ek-1.3. Yeni proje oluşturulması



Şekil Ek-1.4. Yeni oluşturulan projeye CCS ana menüsünden erişim

Oluşturulan Projeye Dosya Eklenmesi

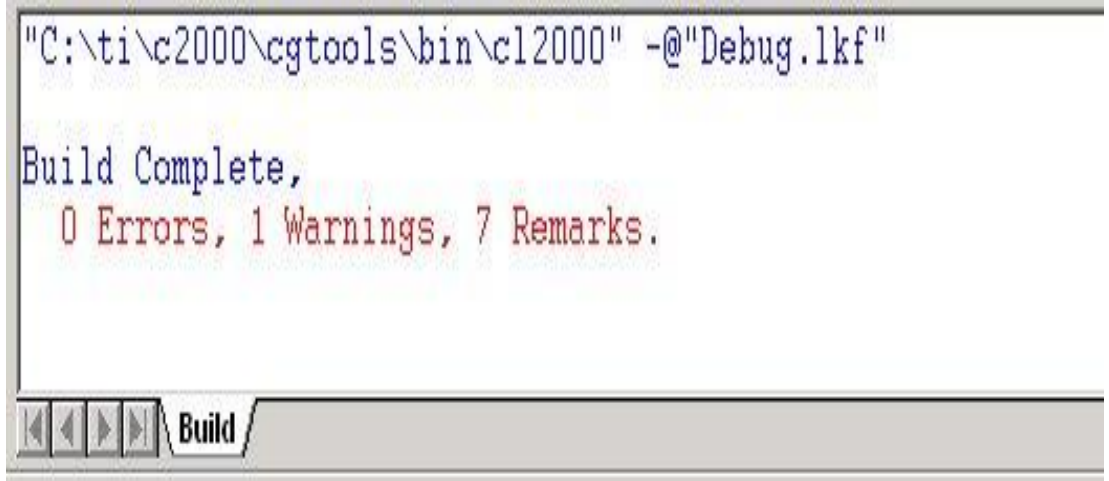
Şekil Ek-1.5'te gösterildiği gibi Select->Add Files to Project seçilerek projeye yeni dosyalar eklenmesi gerçekleştirilebilir.



Şekil Ek-1.5. Oluşturulan projeye dosya eklenmesi

Geliştirilen Projenin Derlenmesi

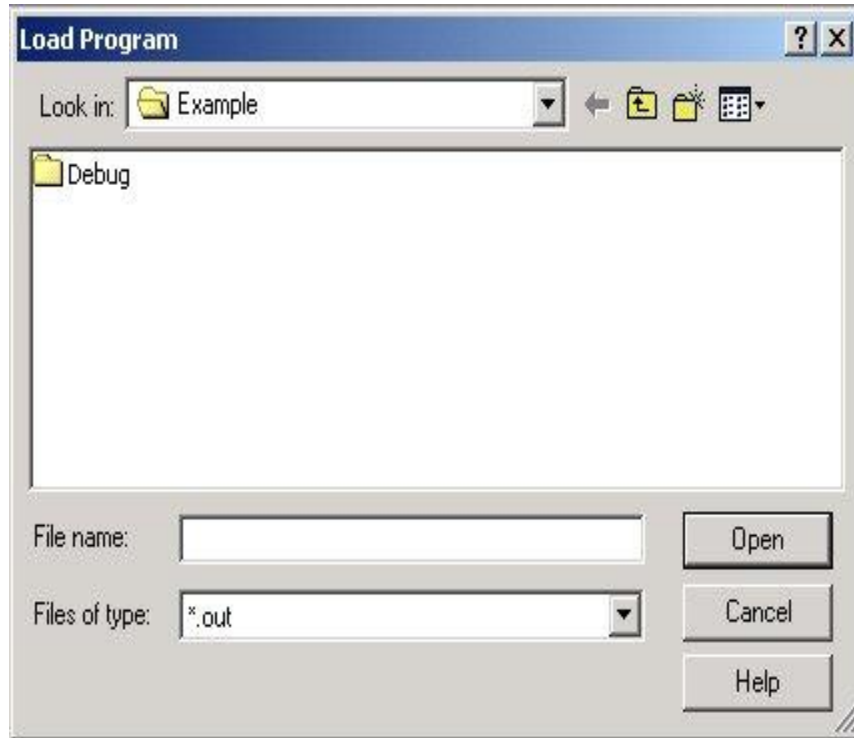
Geliştirilen proje Project->Build All/Rebuild All seçenekleriyle derlenebilmektedir. Örnek bir başarılı proje derleme sonucu Şekil-Ek1.6' da gösterilmektedir.



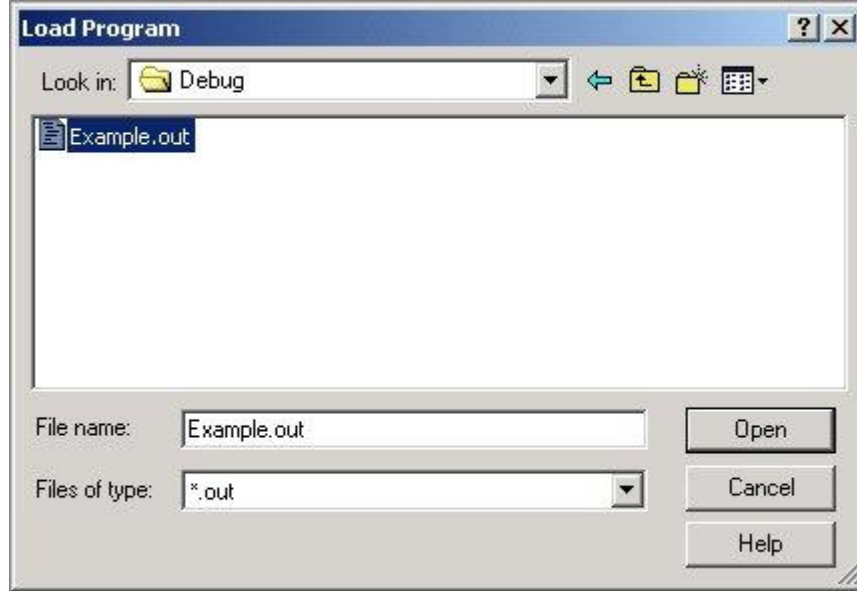
Şekil Ek-1.6. Örnek bir başarılı proje derleme sonucu

Program Yüklenmesi

Geliştirilen proje başarılı bir şekilde derlendikten sonra CCS,.out uzantılı bir DSP içine yükleyebileceğimiz bir sonuç programı üretir. Bu .out uzantılı Şekil Ek-1.7 ve Şekil Ek-1.8’de gösterildiği gibi dosya File->Load Program seçeneğiyle DSP içine yüklenir.



Şekil Ek-1.7. DSP' ye yüklenecek program seçimi



Şekil Ek-1.8. DSP' ye program yüklenmesi

Çalışma zamanında değişkenlerin görüntülenmesi

Wiev->Watch Window seçeneğiyle istenen değişkenin değeri Şekil Ek-1.9'daki gibi görüntülenebilmektedir.

Name	Value	Type	Radix
AdcRegs.ADCCTRL3.b	11	[unsigned int:6:2]	bin

At the bottom of the window, there are two tabs: 'Watch Locals' and 'Watch 1'.

Şekil Ek-1.9. Değişken değerlerinin görüntülenmesi

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

- [1] **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Güllü M. K., Ertürk S., Faz Korelasyonu Temelli Gerçek-Zamanlı Video Stabilizasyonunun DSP Üzerinde Gerçeklenmesi, 20. *IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2012)*, Muğla, Türkiye, 18-20 Nisan 2012.
- [2] Güvenel Ç., Tekyıldız A., Türkoğlu Ç., Yıldız Ç., **Küçükmanisa A.**, Çelebi A., Urhan O., Güllü M. K., Ertürk S., Gerçek Zamanlı Gömülü Hedef Takibi Yapabilen Soğutmasız Kızıl Ötesi Kamera, 20. *IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2012)*, Muğla, Türkiye, 18-20 Nisan 2012.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Sakarya' nın Pamukova ilçesinde doğdu. İlköğretim eğitimini Hasan Leyli İlköğretim okulu, lise eğitimini Fenerbahçe Süper Lisesi olmak üzere İstanbul'da tamamlamıştır. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında mezun olma durumundadır. 2010 Eylül ayından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü İşaret ve Görüntü İşleme Laboratuvarında Araştırmacı olarak görev yapmaktadır.