

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİKO UYDU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ TASARIMI
VE ENTEGRASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Taşkın BALTACI**

Anabilim Dalı : İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı

Programı : Uçak - Uzay Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. T. Berat KARYOT

TEMMUZ 2009

**PİKO UYDU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ TASARIMI
VE ENTEGRASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Taşkın BALTACI
(521051105)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Temmuz 2009**

**Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. T. Berat KARYOT (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. A. Rüstem ASLAN (İTÜ)
Prof. Dr. Muhittin GÖKMEN (İTÜ)**

TEMMUZ 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında sonsuz emekleri olan danışmanım Yard. Doç. Dr. T. Berat KARYOT'a öncelikle teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Çalışma süresince, en çaresiz kaldığım zamanlarda bütün çabası ve bilgisiyle bana yol göstermiş ve tüm zorlukları aşmamı sağlamıştır. Bundan dolayı kendisine ne kadar teşekkür etsem yeterli olamaz. Bununla beraber uydu projesinin yürütücülüğünü yapan ve ayrıca bu projenin gerçekleşmesinde öncü adımları atan bölüm başkanımız Prof. Dr. A. Rüstem ASLAN'a da sonsuz teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Çalışma süresince bize yol göstermenin yanında proje ile ilgili tüm ihtiyaçlarımızın en hızlı şekilde karşılanmasını sağlamıştır ve fakültemizin, laboratuvar altyapısı olarak, uluslararası platformda önemli bir yere gelmesini sağlamıştır. Yard. Doç. Dr. Gökhan İNALHAN ve Yard. Doç. Dr. Cuma YARIM'a da çalışmalarımızda yardımlarından ve ilgilerinden ötürü teşekkür etmek istiyorum.

Laboratuvarda birlikte çalıştığım arkadaşlarım Can KURTULUŞ, Murat ULUSOY, Tufan AYDIN ve İlke AKBULUT'a ayrıca sıkıntılı günlerde arkadaşlıklarını hiç eksik etmemiş olan diğer laboratuvarlardan arkadaşlarım olan Murat BRONZ, Miraç AKSUGÜR, Emre KOYUNCU, Serdar ATEŞ, Oktay ARSLAN'a da teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Aileme, benim bu aşamalara gelmemi sağladıkları için ve sonsuz desteklerinden dolayı ne kadar teşekkür etsem yeterli olamaz. Bana her türlü konuda desteklerini hiç eksik etmediler. Son olarak Ayşegül BOZ'a teşekkür etmek istiyorum. Her zaman yanımda olup, hayatın en çekilmez olduğu günlerde bile beni mutlu etmiştir ve tüm dertlerimi unutturmuştur. Bundan dolayı kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran 2009

Taşkın Baltacı

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	V
KISALTMALAR.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
ŞEKİL LİSTESİ.....	XI
ÖZET.....	XIII
SUMMARY.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç	1
1.2 Donanım Gereksinimleri	2
1.3 Yazılım Gereksinimleri	4
1.4 Tercih.....	6
2. DONANIMIN TÜMLEŞTİRİLMESİ.....	9
2.1 PIC işlemcisi	9
2.2 Kamera	10
2.2.1 Genel özellikler.....	10
2.2.2 Operasyonel modlar	13
2.2.2.1 Progressive & interlaced modları.....	13
2.2.2.2 Renk uzayı modları	14
2.2.2.3 One-Line & repetitive modlar	14
2.2.4 Görüntü aktarımı.....	16
2.2.6 Çalışma modları.....	17
2.3 FIFO Bellek	18
2.3.1 Albaştan işlemi	21
2.3.2 Operasyonel bilgiler.....	21
2.3.2.1 Okuma işlemi.....	21
2.3.2.2 Yazma işlemi	22
2.4 Kontrol Veri Yolu: I2C	23
2.4.1 START sinyali.....	24
2.4.2 STOP sinyali.....	24
2.4.3 ACK sinyali	25
2.4.4 Adres baytının formatı	25
2.4.5 I2C veri yolu kullanımı	25
2.5 Sistem Şema ve Devre Çizimleri	26
2.5.1 8 Bitlik sistem.....	26
2.5.2 16 Bitlik sistem.....	29
3. YAZILIMIN TÜMLEŞTİRİLMESİ.....	33
3.1 Kamera - İşlemci Arayüzü.....	33
3.2 Kontrol Arayüzü	36

3.2.1 Kontrol arayüzü.....	36
3.2.2 Kontrol arayüzü menüleri	39
4. SONUÇ.....	43
4.1 Testler.....	43
4.1.1 Isıl test – kamera	43
4.1.1.1 Testin amacı	43
4.1.1.2 Yöntem.....	43
4.1.1.3 Sonuç	43
4.1.2 Isıl test – tüm Sistem	44
4.1.2.1 Testin amacı	44
4.1.2.2 Yöntem.....	44
4.1.2.3 Sonuç	44
4.1.3 Isıl vakum testi	45
4.1.3.1 Testin amacı	45
4.1.3.2 Yöntem.....	45
4.1.3.3 Sonuç	46
4.2 Sistemin Son Değerlendirmesi	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51

KISALTMALAR

I2C	: Inter Integrated Circuit
FIFO	: First In First Out
SRAM	: Static Random Access Memory
EEPROM	: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
SPI	: Serial Peripheral Interface
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USART	: Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
PWDN	: Power Down
RST	: Reset
SDA	: Serial Data Bus
SCL	: Serial Clock Bus
FODD	: Odd Field Active
HREF	: Horizontal Reference Clock
VSYNC	: Vertical Synch Clock
PCLK	: Pixel Clock
EXLK	: External Clock
CMOS	: Complementary Metal Oxide Semiconductor
CCD	: Charge Coupled Device
SCCB	: Serial Camera Control Bus
RE	: Read Enable
OE	: Output Enable
RRST	: Read Reset
RCK	: Read Clock
DEC	: Decouple
WE	: Write Enable
TST	: Test Pin
WRST	: Write Reset
WCK	: Write Clock
LSB	: Least Significant Bit
ACK	: Acknowledge Bit
NAND	: Not And Logic Gate
LED	: Light Emitting Diode
LEO	: Low Earth Orbit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kameraya erişmek için kullanılacak çeşitli adresler	15
Çizelge 2.2 : Yazma operasyonu, değer, offset yazmacına yazılır	16
Çizelge 2.3 : Okuma operasyonu, offset yazmacındaki değer okunması	16
Çizelge 2.4 : Kameranın çalışma modları. Y harfleri uygulanabilir modlardır	18
Çizelge 2.5 : Zaman değerleri	23

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : PIC18F4525'in pin diyagramı.....	9
Şekil 2.2 : C3188A kamerasının pin diyagramı.....	10
Şekil 2.3 : Bayer dizilimi	11
Şekil 2.4 : Aktif pencerenin yazmaçlarla ifade edilişi. HS: Dikey başlangıç, HE: Dikey bitiş, VS: Yatay başlangıç, VE: Yatay bitiş koordinatlarını temsil etmektedir.....	12
Şekil 2.5 : Saat sinyallerinin detaylı senkronizasyon şeması.....	17
Şekil 2.6 : AL422B'nin pin diyagramı	19
Şekil 2.7 : AL422B'nin güç bağlantı şemaları (Soldaki Şekil 5V, sağdaki ise 3.3V'luk uygulamalar içindir)	20
Şekil 2.8 : Okuma işlemi şeması	21
Şekil 2.9 : Yazma işlemi şematik gösterimi	22
Şekil 2.10 : I2C bağlantı şeması.....	24
Şekil 2.11 : START ve STOP sinyalleri. 'S' START sinyalini, 'P' STOP sinyalini gösterir.	25
Şekil 2.12 : Adres baytı	25
Şekil 2.13 : Tipik bir I2C haberleşmesi.	26
Şekil 2.14 : Bitlik sistem şeması	27
Şekil 2.15 : 8 Bitlik sistemin devresi(Sol taraf üst yüzeyi sağ taraf alt yüzeyi göstermektedir).....	29
Şekil 2.16 : 16 bitlik sistemin şeması	30
Şekil 2.17 : 16 Bitlik sistem için basılan devre(Sol taraf üst yüzeyi sağ taraf alt yüzeyi göstermektedir).....	31
Şekil 3.1 : İşlemci – kamera arasında çalışan programın akış çizelgesi.....	34
Şekil 3.2 : Arayüz programı akış çizelgesi	37
Şekil 3.3 : Kamera kontrol arayüzünün açılış penceresi	39
Şekil 3.4 : Kontrol menüsü	40
Şekil 3.5 : Yazmaç ayarları altmenüsü	41
Şekil 3.6 : Genel durum altmenüsü.	41
Şekil 4.1 : Test süresince çekilen resimler (sırasıyla 5., 21., 134. ve 319. çekilen resimler. Toplam 352 adet resim çekilmiştir).....	45
Şekil 4.2 : Isıl vakum test senaryosu(Dikey eksen sıcaklığı, yatay eksen de bölüm numarasını göstermektedir)	46
Şekil 4.3 : Isıl-vakum testinden sonra kameranın lehim civarlarında meydana gelen lekeler. B.irinci resimde, sol tarafta teste girmemiş sağ tarafta da teste girmiş kamera görülmektedir.	47
Şekil 4.4 : Test öncesinde ve sonrasında çekilen fotoğraflar(Üstteki set öncesinde, alttaki set ise sonrasında çekilmiştir.)	47
Şekil 4.5 : ITUPSAT I'in görüntüleme sistemi ile çekilen çeşitli fotoğraflar	48

PİKO UYDU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ TASARIMI VE ENTEGRASYONU

ÖZET

Cubesat türü uydular, ağırlığı en fazla 1 kg. olan 10cm×10cm×10cm'lik modüllerden oluşan uydulardır ve bir çok eğitim kurumunun ortak yürüttüğü bir proje çerçevesinde ortaya konmaktadırlar.

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi olarak, 2005 yılı sonundan itibaren bu projenin bir parçası olmuştur ve ITUpSAT I adını verdiği bir piko görüntüleme uydusu tasarlanmaktadır. ITUpSAT I'in çeşitli görev yükleri bulunmaktadır. Görev yüklerinden birisi olan görüntüleme sistemi, uydunun ilgili alanlardan geçişleri sırasında düşük çözünürlüklü görüntü alması için tasarlanmıştır.

Sistem tasarımı çeşitli kısıtlar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Bu kısıtlardan en önemlisi düşük güç tüketimi zorunluluğudur ve hızlı işlemci kullanımını engellemektedir. Bir diğer kısıt ise kameranın herhangi bir dahili belleğe sahip olmamasıdır.

İki farklı sistem tasarımı yapılmıştır. Bunlardan birisi 8 bitlik çalışma modu için tasarlanmış olan tek bellekli sistem diğeri de 16 bitlik çalışma modu için tasarlanmış olan çift bellekli sistemdir. Her iki sistemde başarıyla çalıştırılmıştır ancak daha sonradan 8 bitlik sistemin bütün görevleri yerine getirebileceği gözlemlendiğinden, sistemde gereksiz karmaşıklık yaratmamak için 8 bitlik sistemle tasarımın devam edilmesine karar verilmiştir.

Sistemin çalıştırılması için bir arayüz geliştirilmiştir. Testlerin daha kolay gerçekleştirilebilmesi için de bu arayüze kameranın parametlerini değiştirebilme özelliği kazandırılmıştır.

Son olarak, testleri başarıyla geçen sistemin devresi basılmıştır. Basılan devreler, geliştirilen arayüz kullanılarak uzay ortamı testlerine tabi tutulmuştur ve sistemin performansı ölçülmüştür. Testler sonucunda elde edilen görüntü kalitesi ve sistemin kararlılığı, uzayda çalışması için yeterli görülmüştür.

DESIGN AND INTEGRATION OF IMAGING SYSTEM OF A PICO SATELLITE

SUMMARY

Cubesats consists of modules of cubes measuring 10 cm. each side which weigh maximum 1 kg. Many educational organizations worldwide are participating in this project.

Istanbul Technical University has also been actively participating in this project since late 2005 as faculty of Aeronautics and Astronautics and since then is developing an imaging satellite called ITUpSAT I. ITUpSAT I has various payloads. One of those payloads is the imaging system which is aiming to take low resolution images of Earth when passing over areas of interest.

When designing the system many constraints have been taken into account. Low power consumption is one of those constraints which prohibits using of high performance microcontrollers. Another constraint is the absence of internal memory on the camera.

Two different system have been designed. One of the systems has been designed to operate in 8 bit mode and the other one in 16 bit mode. Both of the systems were operated successfully however further studies showed that 8 bit system is able to achieve all of the proposed goals with less complex design features. Therefore it has been decided to continue development with the 8 bit system.

An interface has also been developed to operate the system. To make better observations during tests, interface is designed in a way that it can modify and read all parameters of the system.

Finally, the system is tested for various conditions and when all tests were successfully completed a circuit design completed and printed for integration on the satellite. The images that were captured during the tests were good enough in means of proposed quality therefore the system is qualified to operate in space.

1. GİRİŞ

1.1 Amaç

Bu çalışmada, İTÜ Uçak ve Uzay bilimleri fakültesinin “Cubesat” projesi bünyesinde tasarlanmış olan ITU-PSAT I piko uydusunun görüntü algılama sisteminin tasarım ve entegrasyon aşamalarının yapılması hedeflenmiştir.

“Cubesat” projesi, uluslararası platformda 40’tan fazla üniversitenin katılmakta olduğu bir projedir. Bu proje kapsamında her üniversite kendi piko uydusunu yapıp, az maliyetli bir şekilde tasarladıkları uyduları uzayda test etme imkanı bulmaktadırlar. Bu sayede, üniversitelerde ilgili mühendislik bölümlerinde okumakta olan öğrencilerin gerçek bir proje kapsamında tecrübe kazanmaları sağlanmaktadır. Bununla beraber bu proje sayesinde üniversiteler deneysel sistemlerini düşük maliyetlerle uzayda test etme imkanını da kazanmaktadırlar.

Piko uydular her bir kenarı 10 cm olan bir küp boyutundadırlar. Ağırlıkları 1 kg.’ı aşmayacak şekilde tasarlanırlar. Bu kısıtlamalar uydu tasarımında önemli rol oynamaktadır. Özellikle bu boyuttaki bir uydudan enerji üretimi çok düşük miktarda olacağından, enerji tüketen bileşenlerin de olabildiğince tasarruflu bileşenler olması şarttır. Bu konu ile ilgili olarak ITU-PSAT I’ in tasarım aşamalarında yaşanan problemlerden ileriki bölümlerde bahsedilecektir.

Piko uydular; radyo alıcı-vericisi[1] olarak çalışmaları, geliştirilmiş alt sistemlerin denenmeleri [2 - 4], GPS sinyallerinin incelenmesi [5], düşük maliyetli iletişim [6], resim çekmek [7], uzayda çalıştırılması planlanan yeni sistemlerin denenmesi [8] gibi uygulamalı; ve yere yakın uzaydaki radyasyon ölçümleri [9], plazma yoğunluğu ile manyetik alan ölçümü [6] gibi bilimsel amaçlar için kullanılabilir.

Bu bağlamda ITU-PSAT I’ in de görev yükü olarak bir görüntü algılayıcısı ve bir dizi sensöre (manyetik alan algılayıcı, ivme ölçer gibi) sahip olmasına karar verilmiştir. ITU-PSAT I için geliştirilen görüntü algılama sistemi, yukarıda bahsedilen boyut ve güç kısıtlamalarından dolayı yüksek çözünürlüklü olmayacak şekilde tasarlanmıştır.

Yüksek çözünürlüklü bir kameranın fiziksel olarak sığması mümkün olmadığından ve de böylesi bir kameradan aktarılacak çok yüksek miktardaki görüntü verisinin gerçek zamanlı olarak işleyebilecek güçte bir işlemcinin tüketeceği güç, uydunun güç bütçesi için ağır bir yük oluşturacağından, daha basit hedefler seçilmiştir. Öncelikli hedef uydudan anlamlı bir görüntü almak olduğu için VGA kameranın yeterli olacağı düşünülmüştür. Böyle bir kamera ile alçak yörüngeden (uydunun tahmini yörüngesi 650 – 700 km.) alınacak görüntünün kapsayacağı bölge yaklaşık olarak 550 km. x 400 km.'dir.

1.2 Donanım Gereksinimleri

“Cubesat” projesi kapsamında yapılmış olan uyduların bir kısmında ITU-PSAT I'in görev yüküne benzer görev yükleri görülmüştür. Bu uydularda da kullanılan kameralar genelde VGA çözünürlük mertebelerindedir ve amaçları, alınacak görüntüden ticari bir kazanç sağlamaktan ziyade sadece anlamlı görüntü sahibi olmaktır. Bu şekilde amaçları basitleştirilmiş bir sistemde, görüntü kalitesi veya büyüklüğü gibi kriterler üzerinde yoğunlaşmak yerine sistemin entegrasyonu ve uzay yeterliliği testleri üzerinde odaklanmak mümkün olmaktadır. Bu sayede üniversite bünyesinde uzay yeterliliği sağlama kabiliyeti kazanılmış olacak ve ileriki projelerde daha sistem odaklı çalışmak mümkün olabilecektir.

Daha önce cubesat'larında kamerayı görev yükü olarak kullanmış birçok üniversite bulunmaktadır. Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nde tasarlanan CUTE-1 ve CUTE 1.7, Tokyo Üniversitesinin XI-IV ve XI-V'1, Danimarka Teknik Üniversitesinin DTUsat'1, Danimarka'da bulunan Alborg Üniversitesinin AAU Cubesat ve AAUSAT-3'ü, Illionis Üniversitesinin ION'1, Kansas Üniversitesi'nin KUTESat Pathfinder'1, Aerospace Corporation'ın AeroCube-1 ve AeroCube-2'si, Louisiana Üniversitesinin CAPE-1'i, Toronto Üniversitesinin CanX-2'si, Berlin Teknik Üniversitesinin BeeSat'1, Stanford Üniversitesinin KatySat'1, Michigan Üniversitesinin M-Cubed'ü, Texas A&M Üniversitesinin SMARTsat'1, California Üniversitesinin UCIsat-1'i, birçok Avrupa Üniversitesinin ortak girişimi olan SSETI Express gibi birçok projede görev yükü olarak CMOS kamera kullanılmıştır[10].

ITUpSAT I'in görev yüklerinden birisi olan görüntüleme sistemi, uydunun ilgili coğrafi alanlardan geçişleri esnasında düşük çözünürlüklü görüntü almak için

tasarlanmıştır. Alınacak olan görüntülerin kalitesinin ufak oluşumları ayırt etmeyi mümkün kılacak mertebede olması beklenmemektedir. Bu görev yükünün birincil amacı, yeryüzünün anlaşılabilceği şekilde çekilmiş resimlerini saklamak ve yer istasyonuna indirme becerisini test etmektir. Bu yüzden çözünürlükle ilgili beklentiler yüksek değildir. Bu kriterler doğrultusunda uyduda kullanılacak kameranın VGA çözünürlükte bir kamera olmasının yeterli olacağı düşünülmüştür. Yapılan hesaplara göre, bu çözünürlükteki bir kameradan, alçak yörüngede(uydunun tahmini yörüngesi 650 – 700 km.) alınacak bir görüntünün bir pikselinin yerdeki ayak izi yaklaşık 850 m. x 850 m.'lik karedir. Bu durumda bir VGA görüntü yaklaşık 550 km. x 400 km.'lik bölgeyi kapsamaktadır.

Sistem, görüntü algılayıcı olarak C3188A kamerasını kullanmaktadır. C3188A, OV7620 görüntü çipini kullanan bir VGA/QVGA kameradır. RGB, YCbCr gibi renk uzaylarını desteklemektedir ve 8/16 bit modlarında veri transferi yapılabilmektedir. Kamera, I2C veri yolu ile kontrol edilmektedir. Görev yükü işlemcisi olarak PIC18F4525 kullanılmaktadır. Bu işlemci, yaygın olarak kullanılması, çok düşük güç tüketmesi ve görev yükünde kullanılması istenen veriyollarını desteklemesinden dolayı seçilmiştir.

C3188A'nın seçiminde tek önemli faktör kameranın çözünürlüğü değildir. Kameranın I2C veriyolu ile kontrol edilebilmesi de önemli avantajlarından biridir. Bu veriyolu sayesinde, ITUPSAT I'in görev yükünü oluşturan diğer algılayıcılar ve kameranın görev yükü işlemcisi ile arasındaki entegrasyonu kolay bir şekilde yapılmaktadır. I2C veriyolu ile ilgili daha detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir.

C3188A'nın dahili belleğe sahip olmaması tasarım aşamasında birçok problem yaratmıştır. Bellek bulunmaması, çekilen görüntünün seri şekilde veri çıkış yollarından görev yükü işlemcisine yollanmasını gerektirmektedir. Bu durumda görev yükü işlemcisinin giriş portlarından, en azından kameranın çalışma frekansında veri okuma kabiliyetine sahip olması gerekmektedir. Bu da yüksek performanslı, dolayısı ile yüksek güç tüketimine sahip bir işlemci anlamına gelmektedir ve bu durum uydunun düşük güç tüketimi kısıtlamasından dolayı mümkün olmamaktadır. Kamera standart olarak 13.5 MHz.'lik frekansta çalışmaktadır. PIC18F4525 ise giriş/çıkış portlarını yaklaşık 4 MHz.'lik frekansta

okuyabilmektedir. Kameranın çalışma frekansı, PIC işlemcisinin giriş/çıkış portlarını algılama frekansının çok üstünde olduğu için, piksel verilerini direk olarak PIC ile okumak mümkün değildir. Dolayısıyla kamera ile işlemci arasında, bu frekanslarda çalışma kabiliyeti olan bir tampon elemanı eklenmelidir. Bu tampon eleman en azından bir çerçeve saklama kabiliyetinde olmalı ve güç bütçesine etkisi en düşük düzeyde olmalıdır. Bu kriterler göz önünde bulundurulduğunda en uygun eleman olarak AL422B FIFO(First In First Out) belleği kullanımına karar verilmiştir. Bu bellek 8 bitlik birer adet giriş ve çıkış portuna sahiptir. Bu sayede veriler bayt bayt işlenebilmektedir. AL422B FIFO bellek olduğundan, adresleme ihtiyacı olmamaktadır, en son yazılan veri ilk önce alınmaktadır. Dolayısı ile PIC üzerinde büyük oranda pin kullanımından da tasarruf sağlanmıştır.

Tasarım şekillendikçe, daha kaliteli görüntü elde etmek için yöntemler aranmıştır. Bu amaç doğrultusunda iki farklı tasarım yapılmıştır. Tasarımlardan ilki, 8 bitlik veri ile çalışan sistem sadece bir AL422B belleği kullanmaktadır. İkinci tasarım ise 16 bitlik veri ile çalışan ve iki AL422B belleği kullanan sistemdir. Sistemler arasındaki tek farklılık sadece ikinci bir belleğin eklenmesi gibi görünse de, görev yükü işlemcisinde sahip olunan kısıtlı sayıdaki pin sayısından dolayı, ikinci sistemde, ilk sisteme göre daha karmaşık bir sistem elde edilmiştir. PIC üzerinde kullanılabilir olan pinlerin birçoğunun görev yükü devresinde bulunan diğer sensörler tarafından kullanılmasından dolayı, mantıksal kapıların kullanılması yolu ile az pin kullanılarak ikinci belleğin entegrasyonu sağlanmıştır. Ancak bu durum donanımsal olarak daha çok parça kullanımına sebep olmuştur. Tasarlanmış olan her iki sistem ile ilgili detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde verilecektir.

1.3 Yazılım Gereksinimleri

Sistemin çalıştırılması için iki farklı yazılım paralel olarak geliştirilmiştir; bunlar, görev yükü işlemcisinde çalışacak olan program ve bu programı test etmek için geliştirilen arayüzdür. İşlemci üzerinde çalışacak olan program C dili ile, arayüz ise C# ile yazılmıştır. Arayüz programı için C#'ın tercih edilmesinin sebebi "Windows" formlarının kontrolünün ve kullanımının kolay bir şekilde yapılabilmesidir. Arayüz geliştirmek için C veya C++ gibi düşük seviyeli bir dilin kullanımı yerine C# gibi yüksek seviyeli bir dilin kullanımı, geliştirme sürecini hızlandırmıştır.

PIC işlemcisi üzerinde geliştirilen gömülü sistem ile PC’de çalışan arayüz programı tüm iletişimini seri port üzerinden yapmaktadır. Bu iletişim iki yönlü olarak gerçekleşmektedir. PC’den PIC’e olan iletişimde, arayüz, kameranın yazmaçlarının durumunu sorgulayabilmekte, kamera kontrol yazmaçlarına farklı değerler yazıp kamerayı istenilen durumda çalıştırabilmekte ve görüntü alma işlemini başlatma gibi komutlar gönderebilmektedir. PIC’ten PC’ye ise sadece PC’den gelen talep doğrultusunda veri akışı vardır. Bu veri akışı, yazmaç sorgulama talebi geldiği takdirde ilgili yazmaçın değeri veya görüntü al komutu geldiği takdirde görüntü verisinin seçili formatta yollanması biçiminde olmaktadır.

Yollanan görüntü, ‘bayer pattern’ dizilimindedir. Bu dizilim ile ilgili bilgi 2.2.1 bölümünde verilmiştir. Kameradan seçilen formatlar, sadece verinin yollanış sırasını değiştirmektedir. Daha kaliteli bir görüntü elde etmek için ‘bayer pattern’ dizilimini 8 bitlik derinlikten 24 bitlik derinliğe dönüştürmek gerektir. Bu dönüşüm için çeşitli yöntemler bulunmaktadır[11 - 15]. Fazla işlemci zamanı tüketmemek için basit bir metod kullanılmıştır. Bu metod bölüm 3.2.1’de anlatılmıştır.

PC’den PIC’e seri porttan gelen komutların, görüntü sistemi içerisinde işlenebilmesi için, seri yol dışında farklı bir veriyolunun kullanımı gerekmektedir. Çünkü C3188A seri yola sahip değildir, daha önce de belirtildiği gibi I2C veriyolu ile kontrol edilmektedir. Bundan dolayı PC’den seri yol aracılığıyla gelen tüm komutlar I2C veriyolu ile kameraya iletilmelidir. Aynı şekilde I2C veriyolundan alınan veri de seri yoldan PC’ye yollanacak şekilde dönüştürülmeli ve gönderilmelidir.

16 bitlik sistem için ayrı bir yazılım geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen yazılımın farklılığı daha çok görüntü verisinin işlenişinde ve yollanış şeklindedir. Bunun dışında kamera ve işlemci port ayarlarında küçük değişiklikler ile sistemi çalıştıracak yazılım elde edilmiştir.

PC’de çalışan arayüz programı daha önce de belirtildiği gibi C# dili ile geliştirilmiştir. Arayüz programının genel amacı, sistemi, geliştirme ve testler sürecinde çalıştırmak ve durumu ile ilgili bilgi alabilmektir. Bu işlemleri gerçekleştirebilmesi için arayüz programı hem kameranın yazmaçlarını değiştirebilecek hem de bu yazmaçların değerlerini sorgulayıp kullanıcıya gösterebilecek yeteneğe sahiptir. Yazmaçların sorgulanması ve değiştirilmesi dışında, tekrarlı bir şekilde görüntü alma ve alınan görüntülerin işlenmeleri ile ilgili

bazı temel işlemler gerçekleştirebilme yeteneğine de sahiptir. Arayüz programının menüleri ve kullanımı ile ilgili detaylı bilgi 3.2 numaralı bölümde verilecektir.

1.4 Tercih

Tasarımın ilerleyen aşamalarında 8 ve 16 bitlik sistem arasında bir karar verilmesi gerekmiştir. Her iki sistemin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurularak bir tercih yapılmıştır.

8 bitlik sistem hem kapladığı yer açısından hem de üretimi açısından avantajlıdır. Kontrol edilmesi gereken daha az bileşen olduğu için PIC'te, diğer sensörlere ayrılacak daha fazla miktarda pin kalmaktadır. Bununla beraber güç tüketimi de yaklaşık 45 mA civarındadır. Bu avantajların yanında sadece tam bir VGA karesi saklayacak kapasitede belleğe sahiptir ve kameradan belleğe veri aktarımı sadece bir adet 8 bitlik kanaldan yapılabilmektedir.

16 bitlik sistem ise, en başında, hem 8 bitlik hem de 16 bitlik çalıştırılabilme yeteneğine sahip olduğu için avantajlıdır. Bir bakıma 8 bitlik sistemi kapsamaktadır da denebilir. Bununla beraber iki belleğin sınırlı sayıda olan pinlerle kontrol edilmesi, birçok ilave mantık kapısı kullanımını zorunlu kılmıştır ve kullanılan bileşen sayısını ciddi bir şekilde artırmıştır. Güç tüketimi de dolayısı ile artmıştır. 16 bitlik sistemin çektiği akım 120 mA civarındadır. Bu, uydunun çok düşük güç üretimiyle kıyaslandığı zaman büyük bir tüketim miktarına denk gelmektedir. Bundan dolayı sisteme bellekleri ve kamerayı kapatabilme yeteneği verilmiştir. Bileşen sayısının fazlalığı olası bir arıza ihtimalini artırmaktadır. Bununla beraber görev yükü devresine eklenecek olan diğer sensörler de düşünüldüğünde devre için büyük bir tasarım sorunu yaratmaktadır, zira devrenin ebatları 10 cm x 10 cm bile değildir.

Donanımsal avantajların ve dezavantajların yanında görüntü kalitesi açısından da sistemi değerlendirmek gerekir. Alınacak olan görüntünün boyutlarının QVGA veya VGA olması yeterince detay içeremediklerinden çok farketmemektedir. Önemli olan, daha önce de belirtildiği gibi, görüntünün anlaşılır olmasıdır. Bundan dolayı daha yüksek çözünürlüklü ve kaliteli görüntü almak için donanım bazında risk faktörünü artırmak yerine, daha düşük çözünürlüklü görüntü alıp donanım bazında riskleri en

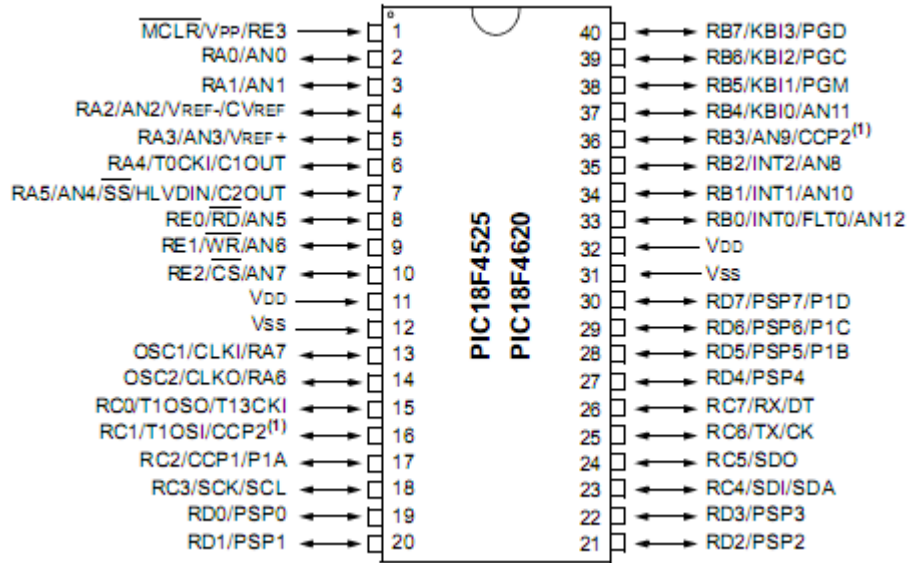
düşük seviyede tutmak tercih edilmiştir. Bundan dolayı tasarıma 8 bitlik sistem ile devam edilmesine karar verilmiştir.

2. DONANIMIN TÜMLEŞTİRİLMESİ

2.1 PIC işlemcisi

Görev yükü işlemcisi olarak PIC18F4525 seçilmiştir. Bu seçimdeki amaç işlemcinin daha önceden yaygın olarak kullanılmıŐ olmasının yanında düşük güç tüketimine göre iyi performans vermesidir.

PIC18F4525, 48KB'lık programlanabilir flash belleğe, 4KB'lık SRAM ve 1KB'lık EEPROM veri belleğine sahiptir. Maksimum 40 MHz'lik frekansta çalıŐabilir. 8 bitlik bir iŐlemcidir ve SPI, I2C, UART/USART gibi birçok veriyolu desteği vardır. Pin konfigürasyonu Şekil 2.1'de görülmektedir.



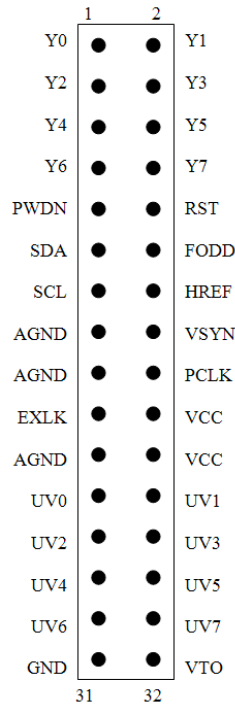
Şekil 0.1. PIC18F4525'in pin diyagramı

C3188A'nın çalıŐtırılmasında sadece I2C veri yolu kullanıldığı için sadece I2C veri yolu bölüm 2.4'te anlatılacaktır.

2.2 Kamera

2.2.1 Genel özellikler

C3188A CoMedia firması tarafından üretilen ve OV7620 (Omnivision) görüntü çipini kullanan bir kameradır. C3188A, temelde basit görevler yerine getirmektedir. Bu görevlerin dışında tek işlevi görüntü çipi için bir arabirim oluşturmaktır. C3188A, çipten çıkış yaptığı analog görüntü bilgisini sayısala çevirir ve bu sayısal veriyi 8/16 bit olmak üzere sayısal çıkış portlarından verir. Şekil 2.2’de kameranın 32 portu, nitelikleri ile birlikte gösterilmektedir.

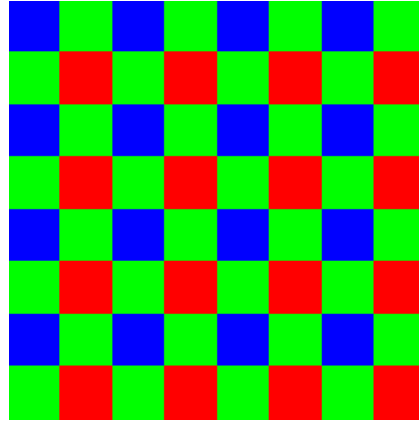


Şekil 0.2. C3188A kamerasının pin diyagramı

Şekilde gösterilen Y0-Y7 pinleri Y data portu için kullanılmaktadır. 8 bitlik operasyonda sadece bu pinler veri çıkışı için kullanılmaktadır. PWDN pini kamerayı “Sleep” moduna sokar (1 yapıldığında). Bu işlem süresince yazmaçların değerleri korunur ancak tüm saatler kapatılır ve işlemler durdurulur. RST pini kameraya albaştan işlemini uygular (1 yapıldığında). SDA/SCL pinleri I2C veriyolunun saat ve veri pinleridir. FODD pini sadece interlaced modda aktif bir pindir, yollanan satırın tek/çift olduğunu belirtir. HREF, VSYNC ve PCLK pinleri veri transferini senkronize eden saatlerdir. EXLK harici saat girişidir. Bu pin kullanılacağı zaman dahili kristal çıkarılmalıdır. VCC 5V besleme girişidir. UV0-UV7 UV data portu

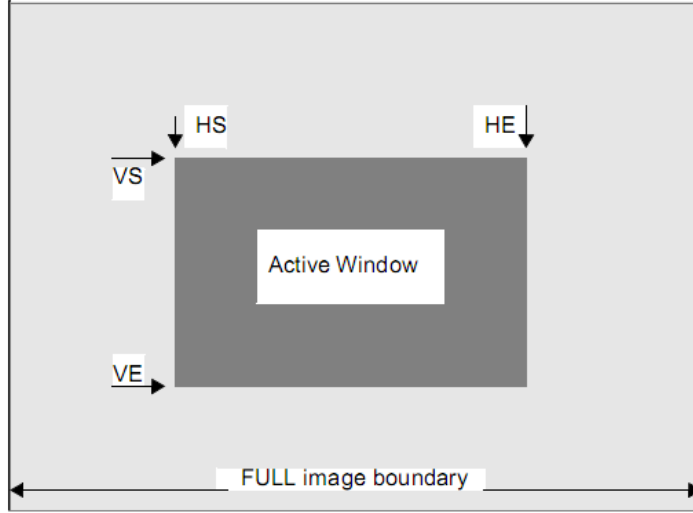
pinleridir. Sadece 16 bitlik modda çalışırken kullanılır. VTO analog görüntü çıkışıdır.

Görüntü çipi OV7620 CMOS algılayıcısıdır. Üzerinde 664x492 renk algılayıcısı bulunmaktadır. Her algılayıcı tek renk bileşenine duyarlıdır ve CMOS algılayıcı olduğundan dolayı tek bir katmana sahiptir, CCD algılayıcılarda olduğu gibi her renk için ayrı bir katmana sahip değildir. Dolayısıyla, tek katmanla RGB derinliğinde görüntü alabilmek için, algılayıcılar “Bayer Pattern” diziliminde yerleştirilmiştir. “Bayer Pattern” dizilimi Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Bu dizilim CMOS algılayıcılar için standart bir dizilim olmakla birlikte, yeşil ağırlıklı olmasının sebebi insan gözünün yeşil renge daha duyarlı olmasıdır. Böylece, insan gözünün daha hassas algılayabildiği dalga boyundaki renk, algılayıcılar tarafından daha hassas bir şekilde aktarılacak ve resim renk derinliği açısından eksik olsa bile insan gözüne daha kaliteli gelecektir.



Şekil 0.3 Bayer dizilimi

Aktarılabak görüntünün boyutu, çipin yazmaçlarından yapılmış olan ayar ile düzenlenmektedir. Bu yazmaçlar aktif bir pencere alanı belirlemektedir(yazmaçlar ile ilgili detaylar için OV7620’nin verikağıdına bakınız[16]). Seçilmiş olan aktif pencere içerisindeki piksellerin çıkışı, çeşitli saatlerle senkronize edilmektedir ve bu saatler aracılığı ile sadece aktif pencereyi ifade eden verinin aktarımı mümkün kılınmaktadır. Bahsedilen saat senkronizasyonu ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Şekil 2.4’de aktif pencere alanının yazmaçlar ile ifadesi gösterilmektedir.



Şekil 0.4. Aktif pencerenin yazmaçlarla ifade edilişi. HS: Dikey başlangıç, HE: Dikey bitiş, VS: Yatay başlangıç, VE: Yatay bitiş koordinatlarını temsil etmektedir

Kameranın çeşitli çalışma modları vardır. Yollanan verinin formatı bu modlara göre değişmektedir. Ayrıca, modların dışında, çipte algılanan ham verinin (RGB Raw Data) dijital çıkış portlarına yollanmadan önce çeşitli işlemlerden geçirilip, işlenmiş halinin çıkışını sağlamakta mümkündür. Renk uzayını değiştirmek, siyah/beyaz piksel oranı, kontrast ayarı vb. gibi ayarlar bu işlemlerden bazılarıdır. Bu işlemler çeşitli yazmaçlar tarafından kontrol edilmektedir. Bu yazmaçlarla ilgili detaylar için OV7620'nin veri kağıdına bakınız[14].

C3188A üzerinde herhangi bir dahili bellek bulunmamaktadır. Dolayısıyla görüntünün Analog/Dijital çevrimi piksel piksel gerçek zamanlı olarak yapılmakta ve dijital çıkış portlarına gerçek zamanlı olarak aktarılmaktadır. Bundan dolayı kameradan aktarılan görüntü verisini saklama işlemi, en azından kameranın çalışma frekansında olması gerekmektedir. Kameranın standart çalışma hızı olan 13.5 MHz dikkate alınacak olursa, oldukça yüksek olan bu frekansta aktarılan verinin PIC tarafından eksiksiz yakalanması mümkün değildir. PIC 40 MHz'lik frekansda çalıştırılırsa, sayısal portlarında yapılan okuma/yazma işlemleri 3-4 Mhz'ı geçememektedir. Sistemi kısıtlayan bir başka etken de PIC'teki yetersiz bellek miktarıdır. Uydu da çalışacak sistem düşünülecek olursa, görüntü son olarak SD bellek kartında saklanacak ancak SD kartta saklanmadan önce tüm görüntü verisinin bir bellekte geçici olarak saklanması gerekmektedir. Bundan dolayı kameranın yüksek frekansına uyum sağlayabilecek bir bellek kullanımı şart olmaktadır.

Kullanılabilecek standart belleklerin ITUpSAT I'in görüntüleme sistemi için en büyük problemi adreslemedir. Adresleme işlemci tarafından yapılacak ise, veri aktarım hızı işlemcinin hızıyla sınırlanmaktadır ki bu zaten sistemde aşılacak istenen kısıtlardan biridir. Adresleme, işlemci yerine 8 bitlik sayaçların seri şekilde bağlanmasıyla da yapılabilir ancak bu da sistemdeki riski artırmaktadır. Herhangi bir sayacın bir şekilde bozulması veya devre dışı kalması durumunda görüntü saklamak olanaksız hale gelecektir. Bu iki sebepten dolayı standart adreslenebilir bellekler yerine FIFO(First In First Out) bellek kullanımı tercih edilmiştir. Bu belleklerin en büyük avantajı, adreslemenin bellek tarafından otomatik olarak yapılmasıdır. Okuma saatinin her periyodu ile birlikte adreste güncellenmektedir. Dolayısıyla kameradan belleğe veri aktarımı sırasında işlemci tamamıyla devre dışı bırakılmış olacaktır. Kullanılan FIFO bellek Averlogic firmasının AL422B model numaralı belleğidir. Bu bileşen ile ilgili detaylı bilgi bir sonraki bölümde verilecektir.

2.2.2 Operasyonel modlar

Kameranın çalışma modları temelde üç kısımda ele alınmaktadır. Birincisi, verinin çipten okunma şekliyle ilgili modlar; ikincisi ise veri okunduktan sonra hangi renk uzayında yollanacağı ile ilgili modlar; son olarak da verinin hangi sırayla yollanacağı ile ilgili modlardır.

2.2.2.1 Progressive & interlaced modları

Görüntü verisinin çipten okunmasıyla ilgili iki mod vardır. Bunlar "Progressive" ve "Interlaced" modlarıdır. Bu modlar televizyon yayınında da kullanılırlar. Progressive mod, görüntü verisinin aktif bölge içerisindeki her satırın okunduğu moddur. Interlaced mod ise, aktif bölgenin birer satır atlanarak okunduğu moddur. Bir çerçevede tek numaralı satırlar okunurken, takip eden çerçevede çift numaralı satırlar okunur. Interlaced modun avantajı, veri bütçesinin kısıtlı olduğu sistemlerde görüntüyü daha az veri kullanarak yollamaktır. İnsan gözü için yollanmayan satırlardaki detaylar fazla belirgin olmaz. Dolayısıyla kullanıcı için ufak bir görsel detay kaybı ile yollanacak görüntü verisi yarıya indirilmiş olmaktadır.

2.2.2.2 Renk uzayı modları

İkinci mod ise renk uzayını ilgilendiren modlardır. Bu kısım için temelde 3 mod vardır; RGB(ham veri), YCbCr, B/W. RGB modunda sensörlerde okunmakta olan verinin üzerinden işlemler yapılır. YCbCr modunda ise, ham veri 2.1 numaralı formülü ile işlenir ve böylece görüntü uzayı dönüşümü sağlanır. B/W mod da ise, görüntü bir bayt derinliğinde renksiz olacak şekilde(256 ton) çıkış portlarından aktarılır.

$$Y = 0.59 \cdot G + 0.31 \cdot R + 0.11 \cdot B$$

$$Cr = 0.713 \cdot (R - Y) \quad (2.1)$$

$$Cb = 0.564 \cdot (B - Y)$$

Belirtilmesi gereken bir başka noktada, renk algılayıcılarından alınan verinin bir dizi görüntü işleme işlemlerinden(Siyah/Beyaz piksel oranı ayarı, kontrast ayarı gibi işlemler) geçtiğidir. Hangi renk uzayının seçilmiş olduğundan bağımsız bir şekilde bu işlemler yürütülür ve veri çıkış portlarına bu şekilde aktarılır. Bu sayede görüntüyü bir dizi önışlemeden geçirmek mümkündür.

2.2.2.3 One-Line & repetitive modlar

Üçüncü ve son olan mod ise renk verisinin yollanma sırası ile ilgilidir. Bu modlar “One-Line” ve “Repetitive” modlardır.

“One-Line” modda veri, her satır için sol kenardan başlayıp sağ kenardan aktif pencere bitene kadar sırayla tek tek yollanır. Bu durumda her piksel için 1 bayt’lık veri yollanır ve verinin hangi rengi ifade ettiği “bayer” diziliminden kolayca takip edilebilir. Standart VGA operasyonu “one-line” modunda düşünülecek olursa verinin yollanma sırası ilk satır için $B_{11} G_{12} B_{13} G_{14} \dots$ şeklinde, ikinci satır için ise $G_{21} R_{22} G_{23} R_{24} \dots$ şeklinde olacaktır.

“Repetitive” modda ise verinin yollanma şekli biraz karışıktır. Bu modda her satır ikişer kez yollanır. Bu yüzden “repetitive” modda görüntü alınacağı zaman, kameradan, görüntü boyutunun iki katı miktarında veri transferi yapılmalıdır. “Repetitive” modun yollama şekli ise ilk satır için $B_{11} G_{21} R_{22} G_{12} B_{13} G_{23} \dots$ şeklinde ikinci satır için ise $B_{31} G_{21} R_{22} G_{32} B_{33} G_{23} \dots$ şeklinde olacaktır.

2.2.3 Serial camera control bus (SCCB)

SCCB, Omnivision'ın kendi geliştirdiği bir veriyoludur. SCCB tüm zamanlama diyagramları ve çalışma şekli ile I2C veriyoluna bire bir benzemektedir. İşlemci tarafından I2C'den yollanan tüm komutlar, görüntü çipinde bu veriyolu aracılığı ile algılanmaktadır.

Kameraya bu veriyolundan erişmek için iki farklı adres kullanılır. Bu adreslerden birisi okuma diğeri ise yazma adresidir. Çizelge 2.1'de adres olarak kullanılabilir çeşitli değerler görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi bir sisteme en fazla 8 tane C3188A kamerası bağlamak mümkündür.

Çizelge 0.1 Kamerası erişmek için kullanılabilir çeşitli adresler

CS<2:0>	000	001	010	011	100	101	110	111
WRITE ID (hex)	42	46	4a	4e	52	56	5a	5e
READ ID (hex)	43	47	4b	4f	53	57	5b	5f

Kameraya standart durumda yazma modunda erişmek için 0x42 adresi, okuma için ise 0x43 adresi kullanılır. Burada dikkat çeken nokta, I2C veriyolunun standardında zaten bu iki adres arasındaki farkın gözlenmesidir. I2C veriyolunda bir cihaza yazma modunda erişmek için ilk yollanan baytın son biti 0 olmalıdır. Okuma modunda erişmek için ise son bit 1 olmalıdır. Okuma ve yazma adresleri arasındaki farklılık bu noktadan kaynaklanmaktadır.

Kameranın herhangi bir yazmacına yazma işlemi yapılacağı zaman, öncelikle yukarıda belirtildiği gibi 0x42 adresi yollanır. Ardından, hangi yazmacın değeri değiştirilmek isteniyorsa bu yazmacın offset (adres) değeri gönderilir ve son olarak yazılmak istenen değer gönderilir. Yazmaçların offsetleri ve yazılması gereken değerlerle ilgili detaylı bilgi OV7620'nin verikağdında bulunabilir [14]. Çizelge 2.2'de standart bir yazma operasyonu gösterilmektedir.

Çizelge 0.2. Yazma operasyonu, değer, offset yazmacına yazılır

	Komut1	Komut2	Komut3
Yazılan	0x42	Offset	Değer
Okunan	-	-	-

Okuma ise biraz daha karışık bir şekilde yapılmaktadır. Öncelikle, hangi yazmaç okunmak isteniyorsa, ilgili yazmaca yazma yapılacakmış gibi 0x42 adresi ile offset değeri yollanır. Ardından I2C veriyoluna STOP sinyali yollanır ve okuma işlemi için 0x43 adresi kameraya yollanır. Son olarak, kamera offset adresindeki yazmacın değerini I2C veriyolundan gönderecektir. Çizelge 2.3’de bu işlemler sırası ile görülmektedir.

Çizelge 0.3. Okuma operasyonu, offset yazmacındaki değer okunması

	Komut1	Komut2	I2C yolunu kapat ve aç	Komut3	Komut4
Yazılan	0x42	offset		0x43	-
Okunan	-	-		-	Offset’in değeri

2.2.4 Görüntü aktarımı

Kameradan görüntünün doğru bir şekilde alınması için 3 farklı saat kullanılmaktadır. Sayısal çıkış portlarından aktif pencere içerisinde olsun veya olmasın bütün algılayıcılardan okunan veri işlenip yollanmaktadır. Dolayısıyla hangi piksellerin aktif pencere içerisinde olduğunun bilinmesi için bir senkronizasyon aracına ihtiyaç vardır.

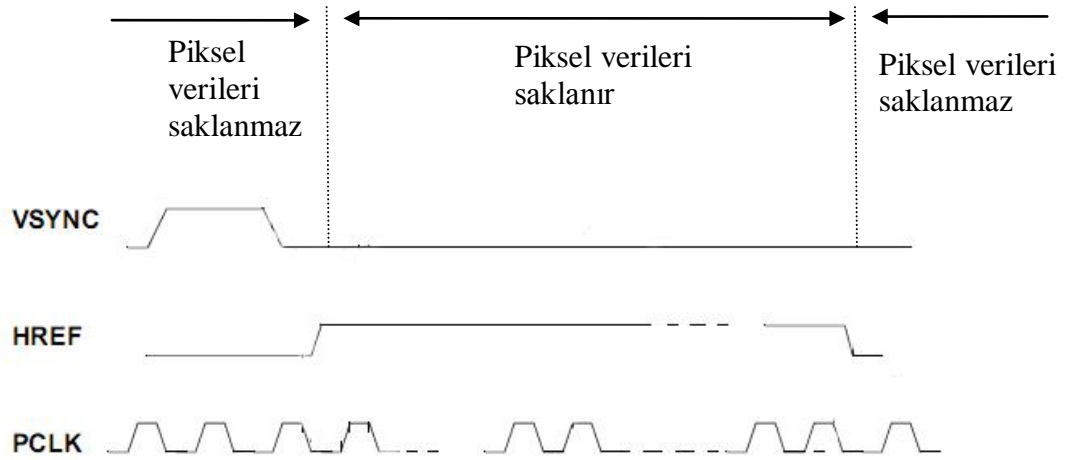
Senkronizasyonda kullanılan saat sinyalleri sırasıyla şunlardır; VSYNC(çerçeve aktarımı), HREF(aktif pencere), PCLK(piksel).

VSNYC sinyali her bir çerçeve başlangıcını darbe sinyali olarak ifade eder. Dolayısıyla kamera saniyede kaç çerçeve FPS(frames per second) için ayarlanmışsa, VSYNC’in frekansı da bu değere eşit olacaktır.

HREF sinyali ise, satır içerisinde aktif pencere sınırları içerisinde girildiği zaman aktif olmaktadır. Bu sayede herhangi bir satırda ne zaman aktif pencereden veri alındığı anlaşılabilir ve sadece bu veriler alınmaktadır.

PCLK sinyali ise genel piksel saat vuruşudur. Bu sinyal sadece piksel gönderimini senkronize eder. Dolayısıyla bu sinyalden ne zaman aktif pencere içerisinde olduğumuzu veya ne zaman yeni çerçeve gönderimi başladığımızı anlamak mümkün değildir. PCLK'nin bir periyodu sonunda sıradaki piksel verisi güncellenmiş olarak sayısal çıkış portlarında hazırlanmış olmaktadır. PCLK sinyalini yavaşlatmak ilgili yazmaçlara gerekli kodları yüklemekle gerçekleştirilebilir.

Bu saat sinyallerinden anlaşılacağı gibi, herhangi bir çerçeve saklanmak istendiği zaman öncelikle VSYNC sinyali takip edilmelidir. VSYNC saatinden bir darbe sinyali alındığı zaman HREF saatine bakılmalı ve HREF aktif olduğu sürece PCLK saati ile veri aktarımı yapılmalıdır. HREF sıfıra indiği zaman, bir olana kadar beklenmeli ve PCLK saati ile tekrar veri aktarımı yapılmalıdır. Bu işlem ikinci bir VSYNC sinyali alınana kadar devam etmelidir. Şekil 2.5'de bu süreç akış diyagramı olarak gösterilmektedir.



Şekil 0.5. Saat sinyallerinin detaylı senkronizasyon şeması

2.2.6 Çalışma modları

Daha önceki bölümlerde kameranın çeşitli çalışma modlarından bahsedilmişti. Ancak bu modlar her zaman istenen kombinasyonda kullanılamamaktadırlar. Örnek olarak, QVGA çözünürlüğünde "One-Line" veri yollama modunu kullanma imkanı

bulunmamaktadır. Çizelge 2.4'den kameranın hangi mod kombinasyonları ile çalıştırılabileceği görülmektedir.

Çizelge 0.4. Kameranın çalışma modları. Y harfleri uygulabilir modlardır

		Interlaced		Progressive Scan	
Resolution		640x480	320x240	640x480	320x240
YUV 4:2:2	16Bit	Y	Y	Y	Y
	8Bit	Y	Y	Y	Y
	CCIR656	Y	Y	Y	Y
RGB	16Bit	Y	Y	Y	Y
	8Bit	Y	Y	Y	Y
	CCIR656 ¹	Y	Y	Y	Y
Y/UV swap ²	16Bit	-	-	-	-
	8Bit	Y	Y	Y	Y
UV swap	YUV ³	Y	Y	Y	Y
	RGB ⁴	Y	Y	Y	Y
YG	16Bit	Y	Y	Y	Y
	8Bit	-	-	-	-
One Line	16Bit	-	-	Y	-
	8Bit	-	-	-	-
MSB/LSB swap ⁵		Y	Y	Y	Y

Bu çizelgeye göre örnek olarak, “One-Line” modu için 16 bit VGA modunda çalışılmalıdır veya 16 bitte çalışırken Y/UV swap yapılamamaktadır.

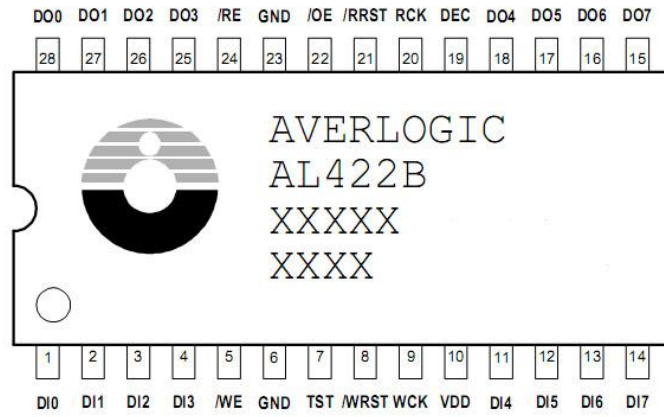
2.3 FIFO Bellek

AL422B, 384KB kapasiteye sahip bir FIFO bellektir. 8 bitlik veri giriş çıkışı yapabilmektedir. FIFO bellek olmasından dolayı adreslemenin işlemci tarafından yapılmasına gerek yoktur. Her yazma veya okuma işleminde ilgili adresi kendisi otomatik olarak güncellemektedir.

Normal bir bellekte 10'dan fazla pini sadece adresleme yapabilmek için kullanmak gerekir. Ayrıca çok yüksek frekanslarda veri algılama gereksinimi olduğunda, işlemcinin bu frekanstan daha yüksek hızlarda işlem yapıp, hem adresi zamanında güncelleyebilmesi hem de veriyi algılayabilmesi gerekmektedir. Görev yükü işlemcisi, kameranın hızına kıyasla çok daha yavaş olduğu için bu seçenek dışı bir tasarımıdır.

FIFO bellek sayesinde adresleme ve saklama işlemleri kamera ile bellek arasında donanım seviyesinde yapılmaktadır, işlemcinin herhangi bir rolü yoktur. Bu sayede görüntü verisi bellekte hızlı bir şekilde saklanıp, ardından istenilen hızda işlemci tarafından okunabilmektedir.

AL422B, hem 3.3V hem de 5V seviyesinde çalışabilen bir bellektir. 5V giriş yapıldığı zaman, içinde bulunan regülatör ile tüm giriş gerilimleri 3.3V seviyesine indirilir. 50 MHz'e kadar yüksek hızlarda çalışabilmektedir ve özellikle VGA görüntü uygulamalarında kullanılmak için yapılmıştır. Şekil 2.6'da AL422B'nin pin diyagramı görülmektedir.



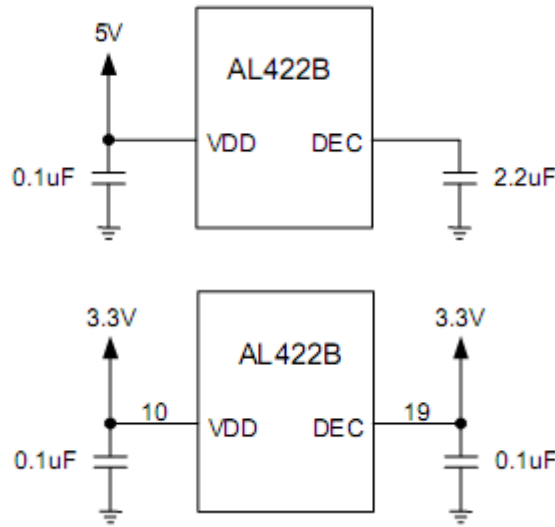
Şekil 0.6. AL422B'nin pin diyagramı

Şekilde gösterilen DO0-DO7 pinleri veri çıkış pinlerini, DI0-DI7 veri giriş pinlerini gösterir. /RE pini belleği okunabilir hale getirir. 0 ise bellek okumaya açıktır 1 ise kapalıdır. /OE belleğin veri çıkışı yapmasını sağlar. 0 ise veri çıkış portlarına yollar, 1 ise çıkış portlarında veri güncellenmez ancak adres güncellenir. /RRST pini, okuma işlemi için albaştan işlemi yürütür. 0 yapıldığında okuma albaştan olur. Okuma adresi sıfırlanır. RCK okuma saati pinidir. Okuma işlemi senkronize eder. Her bir periyotta okuma saati güncellenir(/RE 0 ise). DEC "Decouple" pinidir. Çalışma gerilimine göre dekuplaj yapmakta kullanılır. /WE belleği yazılabilir hale getirir. 0 ise bellek yazmaya açıktır, 1 ise kapalı. TST test pinidir. Bellek çalıştırılırken 0 yapılmalıdır. /WRST yazma işlemi için albaştan işlemi yürütür. 0 yapıldığında yazma albaştan olur. Yazma adresi sıfırlanır. WCK yazma saatidir. Yazma işlemi senkronize eder. Her bir periyotta yazma adresini günceller(/WE 0 ise).

Bellek, yazma ve okuma modları için birbirinden bağımsız şekilde çalışan pinlere sahiptir. Yazma saati ve okuma saati birbirinden ayrıdır ve yazma adresi ile okuma adresi de birbirinden ayrıdır. Her iki adrese ayrı ayrı albaştan yapılabildiği için belleği esnek kullanmak mümkündür. Örnek olarak, yazılmış bir veriyi tekrar tekrar okumak mümkün olmaktadır. Ancak kameranın çalıştırıldığı bu sistemde böyle bir ihtiyaç bulunmamaktadır.

Bu tür bellekler veriyi elektrik sinyali olarak sakladıkları için sakladıkları veriyi belli bir sıklıkla güncellemeleri gereklidir. AL422B, veriyi güncelleme işlemini kendisi yapar ve kullanıcıya bu konu ile ilgili herhangi bir işlem yaptırma gereksinimi yaratmaz. Ancak bu güncellenmenin yeterli hızda olabilmesi için hem WCK hem de RCK saatlerinin en azından 1 MHz frekansında çalışmaları gerekmektedir. Eğer her iki saatte bu hızda çalışmıyorsa en azından birinin 1 MHz'den yüksek olduğundan emin olunmalıdır. Aksi takdirde, bellekte saklanan verinin bozulma ihtimali vardır. Bu sistemde yazma saati kamera tarafından sürüldüğü için standart halinde 13.5 MHz'dir ancak okuma saati 11.1 kHz mertebelerindedir. Okuma saatindeki bu yavaşlık herhangi bir problem yaratmamıştır.

AL422B, daha önce de söylendiği gibi hem 5V hem de 3.3V'da çalışabilmektedir. Ancak hangi gerilimde çalıştırılması isteniyorsa buna göre belleğin güç girişlerinin bağlantıları değişmektedir. Şekil 2.7'de her iki durum için bağlantılar gösterilmektedir.



Şekil 0.7. AL422B'nin güç bağlantı şemaları (Soldaki Şekil 5V, sağdaki ise 3.3V'luk uygulamalar içindir)

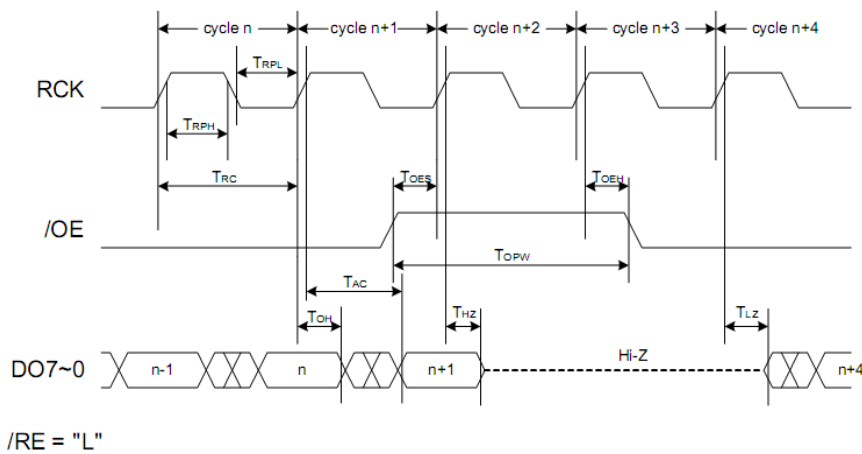
2.3.1 AlbaŖtan iŖlemi

AlbaŖtan iŖlemi ile belleğin adreslerini sıfırlamak m¼mk¼nd¼r. AlbaŖtan, okuma ve yazma i¼in ayrı ayrı yapılabilir. Okuma albaŖtanı i¼in /RRST pinine, yazma albaŖtanı i¼in ise /WRST pinine 0 mantık seviyesi olan gerilim uygulanmalıdır. AlbaŖtan iŖlemi /RE, /WE ve /OE'nin durumundan bağımsız Ŗekilde y¼r¼t¼l¼r. AlbaŖtan yapılırken 0 mantık d¼zeyindeki gerilim, ilgili saat(/WRST i¼in WCK, /RRST i¼in RCK) birkaç periyod boyunca s¼recek kadar uygulanmalıdır. Ardından sinyal tekrar 1 mantık d¼zeyine ¼ıkarılıp albaŖtan iŖlemi bitirilmelidir. İlgili reset pininin 1 seviyesine ¼ıkarılması otomatik olarak yapılmamaktadır, bu kullanıcı tarafından yapılmalıdır.

2.3.2 Operasyonel bilgiler

2.3.2.1 Okuma iŖlemi

Okuma iŖleminin yapılabilmesi i¼in /OE ve /RE giriŖlerinin 0 yapılmıŖ olması gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta, /RE giriŖi 0 yapıldığı andan itibaren her RCK darbesi okuma adresini bir bayt artıracaktır. Bundan dolayı /RE 0 yapıldıktan sonra iŖlemcinin hızlı bir Ŗekilde okumaya hazırlanmıŖ olması gerekir, aksi taktirde okunması gereken bilgiler okunamadan yenileri yerlerine yazılabilir. /RE 0'ken /OE 1 yapılırsa, bu durumda DO0-DO7 portlarında veri g¼ncellemesi yapılmaz(¼ıkıŖ portları y¼ksek empedans olur) ancak her RCK darbesi okuma adresinin g¼ncellenmesine sebep olur. Ŗekil 2.8'de okuma iŖlemi Ŗematik olarak g¼r¼lmektedir. Ŗemada g¼sterilen zamanlar ¼izelge 2.5'de verilmiŖtir.

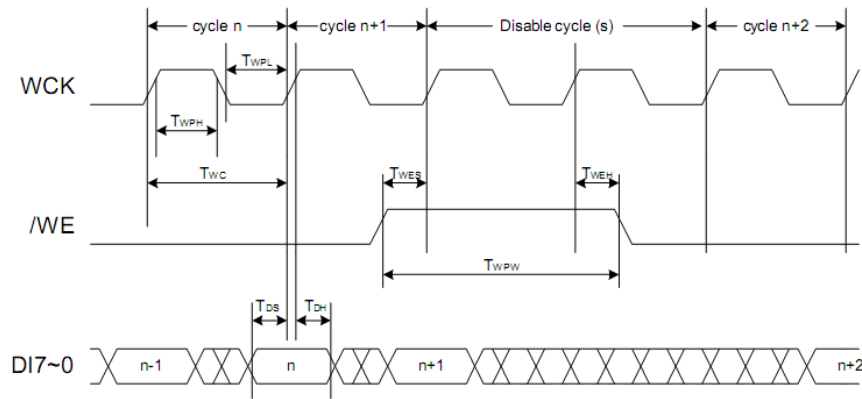


Ŗekil 0.8. Okuma iŖlemi Ŗeması

Okuma işlemi sırasında /RE 1 yapılırsa, RCK darbeleri ile adres güncellemesi yapılmaz ve çıkış portlarında en son hangi veri bulunuyorsa bu veri değişmeden kalır. /RE tekrar 0 yapıldığı zaman en son kalınan adresten işleme devam edilir.

2.3.2.2 Yazma işlemi

Yazma işlemi için sadece /WE'nin 0 seviyesine getirilmesi yeterlidir. Bu işlemden sonra her WCK darbesi yazma adresini bir bayt artıracaktır. Veri girişi DI0-DI7 portlarından yapılmaktadır. Şekil 2.9'da yazma işlemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 0.9. Yazma işlemi şematik gösterimi

Yazma işlemi sırasında /WE 1 yapılırsa, yeni yazma işlemi gerçekleşmez ve WCK darbeleri yazma adresini güncellemez. /WE tekrar 0 yapıldığı zaman, yazma işlemine en son kalınan adresten devam edilir.

Çizelge 2.5'de, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da kullanılan zaman değerleri görülmektedir.

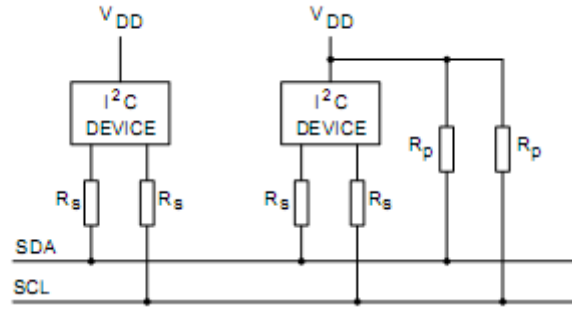
Çizelge 0.5. Zaman değerleri.(V_{DD} = 5V or 3.3V, V_{SS} = 0V, T_{AMB} = 0 to 70°C)

Parameter		3.3V application		5V application		Unit
		Min	Max	Min	Max	
T _{WC}	WCK Cycle Time	20	1000	20	1000	ns
T _{WH}	WCK High Pulse Width	7	-	7	-	ns
T _{WL}	WCK Low Pulse Width	7	-	7	-	ns
T _{RC}	RCK Cycle Time	20	1000	20	1000	ns
T _{RH}	RCK High Pulse Width	7	-	7	-	ns
T _{RL}	RCK Low Pulse Width	7	-	7	-	ns
T _{AC}	Access Time	-	15	-	15	ns
T _{OH}	Output Hold Time	4	-	4	-	ns
T _{HZ}	Output High-Z Setup Time	3	15	4	15	ns
T _{LZ}	Output Low-Z Setup Time	3	15	4	15	ns
T _{WR}	/WRST Setup Time	5	-	6	-	ns
T _{WH}	/WRST Hold Time	2	-	3	-	ns
T _{RR}	/RRST Setup Time	5	-	6	-	ns
T _{RH}	/RRST Hold Time	2	-	3	-	ns
T _{DS}	Input Data Setup Time	5	-	6	-	ns
T _{DH}	Input Data Hold Time	2	-	3	-	ns
T _{WR}	/WE Setup Time	5	-	6	-	ns
T _{WH}	/WE Hold Time	2	-	3	-	ns
T _{WPW}	/WE Pulse Width	10	-	10	-	ns
T _{RR}	/RE Setup Time	5	-	6	-	ns
T _{RH}	/RE Hold Time	2	-	3	-	ns
T _{RPW}	/RE Pulse Width	10	-	10	-	ns
T _{OR}	/OE Setup Time	5	-	6	-	ns
T _{OH}	/OE Hold Time	2	-	3	-	ns
T _{OPW}	/OE Pulse Width	10	-	10	-	ns
T _{TR}	Transition Time	2	20	3	20	ns
C _I	Input Capacitance	-	7	-	7	pF
C _O	Output Capacitance	-	7	-	7	pF

2.4 Kontrol Veri Yolu: I2C

I2C veri yolunda sadece 2 hat kullanılır. Bu hatlardan biri seri saat(SCL) diğeri ise seri veri(SDA) yoludur. I2C'nin çalışma prensibi çok basittir, zaten bu avantajından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. 100kHz ile 400 kHz olmak üzere iki farklı çalışma frekansı vardır. I2C'nin çalışma prensibi belli bir dizi işlemden oluşur. Haberleşmeye başlamadan önce bir START sinyali yollarır. Ardından çalışma moduna göre 8 veya 16 bitlik adres bilgisi gönderilir. Bu adres bilgisine göre veri

yoluna bağı olan cihazlardan ilgili olan seçilir. Adres bilgisinin ardından, veri hattına yazılan bilgiler sadece seçilmiş olan cihaz tarafından algılanır. Her başarılı veri yollama işleminin ardından bir ACK sinyali yollanır. Bütün istenen veriler yollandıktan sonra STOP sinyali ile veri yolunda kurulmuş olan iletişim sonlandırılır. I2C yolunun çalıştırılması için Şekil 2.10'de görülen bağlantı şeması uygulanmalıdır.



Şekil 0.10. I2C bağlantı şeması

Şekilde görülen R_p dirençleri bağlanması şart olan dirençlerdir. R_s dirençleri ise, sadece gürültüyü azaltmak amaçlı olduğundan istenirse kullanılmayabilirler. R_p dirençlerinin görevi, veri yolunu kullanılmadığı zamanlarda 1 mantık seviyesinde tutmaktır. Veri yolundan 0 sinyali gönderilmek istendiğinde, yol topraklanır böylece 0 sinyali yollanmış olur. 1 sinyali gönderilmek istendiğinde ise herhangi bir işlem yapılmaz, R_p yukarı çekme dirençleri sayesinde yol 1 seviyesinde tutulacaktır. R_p ve R_s direnç değerleri keyfi olarak seçilemez. Her ikisi de V_{dd} giriş gerilimi ve yolun kapasitesine göre farklı aralıklarda değer alırlar. Bu değerler "I2C Bus Specifications"([17], s.40) dokümanından görülebilir.

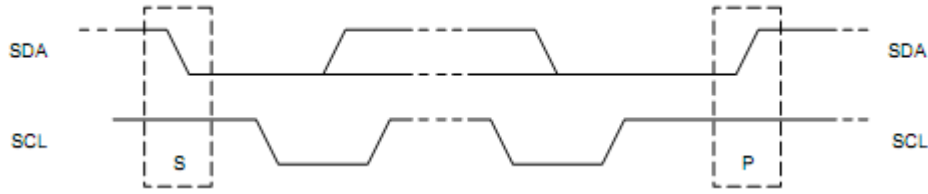
2.4.1 START sinyali

START sinyali, I2C veri yolunu tetikleyen ve bir transfer işleminin gerçekleşeceğini belirten sinyaldir. SCL 1 seviyesinde sabit iken, SDA'nın 1'den 0 seviyesine inmesi START sinyali verildiğini işaret eder.

2.4.2 STOP sinyali

STOP sinyali, I2C veri yolundaki transfer işleminin bittiğini belirten sinyaldir. Bu sinyalden sonra, bir sonra ki START sinyaline kadar I2C cihazlarında herhangi bir aktivite olmaz. SCL hattı 1 seviyesinde sabit iken, SDA hattının 0 seviyesinden 1

seviyesine çıkması bu sinyali işaret eder. Şekil 2.11’de START ve STOP sinyalleri grafik olarak gösterilmektedir.



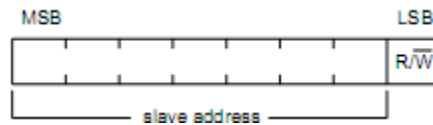
Şekil 0.11. START ve STOP sinyalleri. ‘S’ START sinyalini, ‘P’ STOP sinyalini gösterir.

2.4.3 ACK sinyali

ACK sinyali her 8 bitlik verinin transferinden sonra, verinin doğru şekilde aktarıldığını belirtmek için yollanır. Her 9. SCL sinyalinde SDA hattının 0 seviyesinde tutulması ACK sinyalinin olumlu olduğu anlamına gelir. Eğer bu sinyal 0 seviyesi değilse 1 seviyesi olarak verilirse o zaman veri transferi sırasında bir sorun oluşmuş demektir. Bu durumda STOP sinyali veya tekrar bir START sinyali oluşturulmalıdır.

2.4.4 Adres baytının formatı

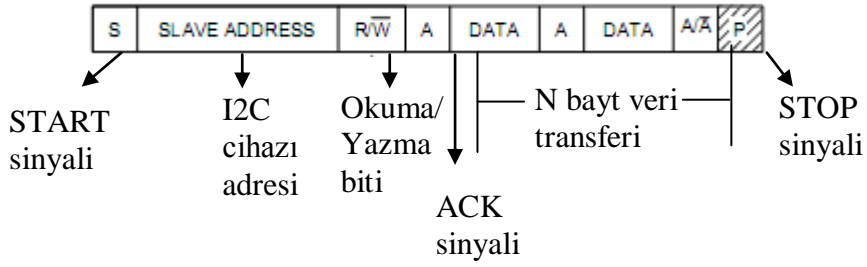
Sistem, sadece 8 bitlik modda çalıştırıldığı için, 16 bitlik adreslemeden bahsedilmeyecektir. Adres baytının aslında sadece ilk 7. biti adres bilgisi içerir. LSB(Least Significant Bit) biti okuma veya yazma yapılacağını ifade eder. Şekil 2.12’de adres baytının detayları görülmektedir.



Şekil 0.12. Adres baytı

2.4.5 I2C veri yolu kullanımı

Bütün I2C veri yolunu özetlenecek olursa, öncelikle bir START sinyali ile yol etkinleştirilir. Ardından adres baytı yollanır ve böylece ilgili I2C cihazı seçilir. Adres baytının ardından veri transferi başlar ve her 8 bitlik transferden sonra ACK sinyali takip edilir. Son veri de yollandıktan sonra STOP sinyali ile iletişim sonlandırılır ve yol kullanıma kapatılır. Şekil 2.13’de bu işlemler sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 0.13 Tipik bir I2C haberleşmesi.

I2C yolunu PIC’te kullanmak için ilgili verikağıdına başvurunuz ([18] no’lu referans doküman s. 170).

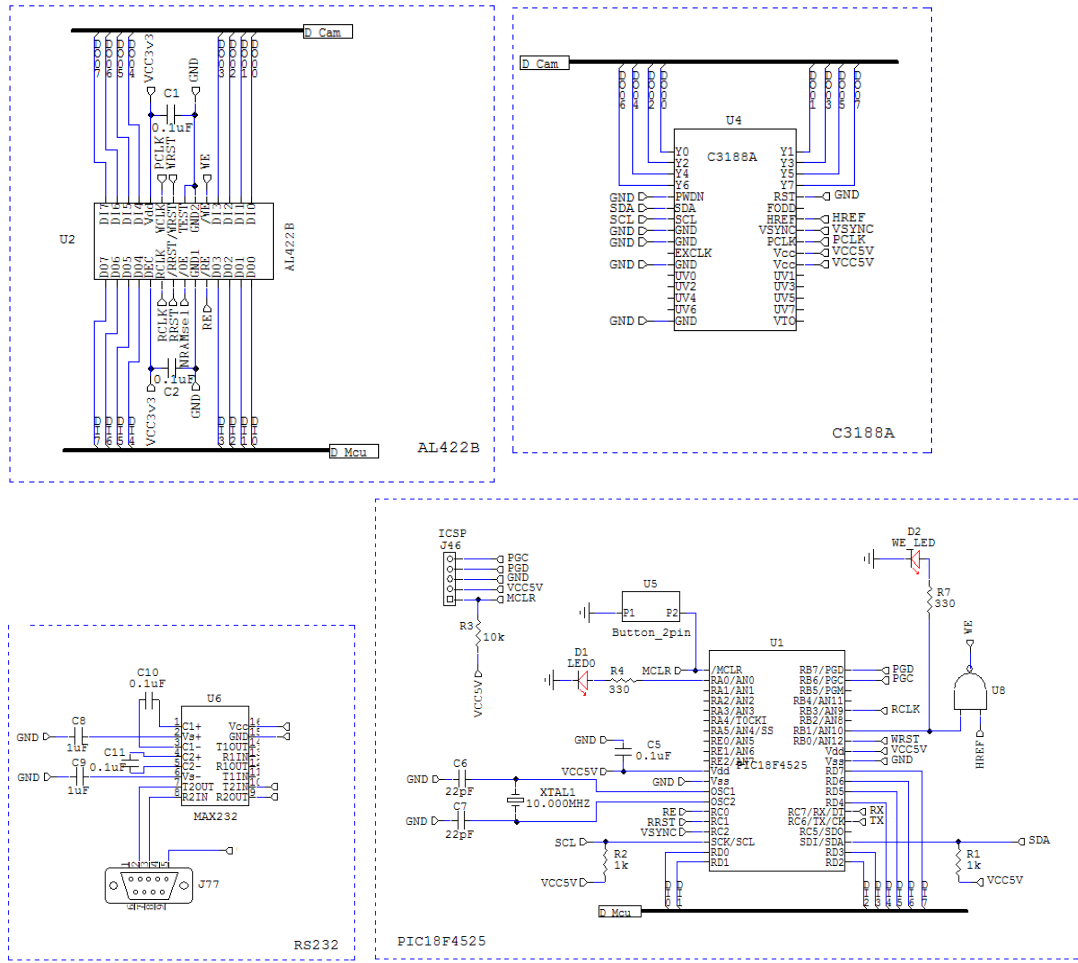
2.5 Sistem Şema ve Devre Çizimleri

Bu bölümde, sistemin bir bütün olarak çalışabilmesi için gereken bağlantıların nasıl ve ne amaçla yapıldığı anlatılacaktır. İlgili bölümün sonuna sistem şeması ve basılan devrelerin çizimleri de eklenecektir.

Çalışmakta olan iki sistem bulunmaktadır. İlk sistem 8 bitlik operasyon için tasarlanmış olan ve bir AL422B belleğinin kullanıldığı sistemdir. İkinci sistem ise iki AL422B belleğinin kullanıldığı 16 bit çalışma modu için ayarlanmış olan sistemdir. Bu sistemlerin şema çizimleri tamamlandıktan sonra öncelikle “breadboard” üzerinde çalıştırılmışlardır ardından devre basımı yapılmıştır.

2.5.1 8 Bitlik sistem

Tasarlanmış olan bu sistem C3188A’nın sadece Y data hattını kullanmaktadır. Bu sistem ile QVGA modunda RGB görüntü almak mümkündür. VGA modunda görüntü almak bu sistemde denenmiştir ve “One-Line” mod da renksiz VGA görüntü alma işlemi başarıyla tamamlanmıştır. Sistem şeması Şekil 2.14’de görülmektedir.



Şekil 0.14 Bitlik sistem şeması

Sistem tasarımında dikkat edilen önemli bir nokta, kameranın belleğe yazma işlemi yaparken işlemcinin herhangi bir şekilde devreye girmesinin engellenmesidir. İşlemci, kameradan sadece VSYNC (çerçeve saati) sinyalini takip etmektedir. Fotoğraf çekme komutu geldiği anda, VSYNC sinyaline göre, kameranın ilk yolladığı çerçeveyi belleğe saklayacak şekilde kontrol edecek bir vedeğil NAND mantık kapısı(74HCT00) kullanılmıştır.

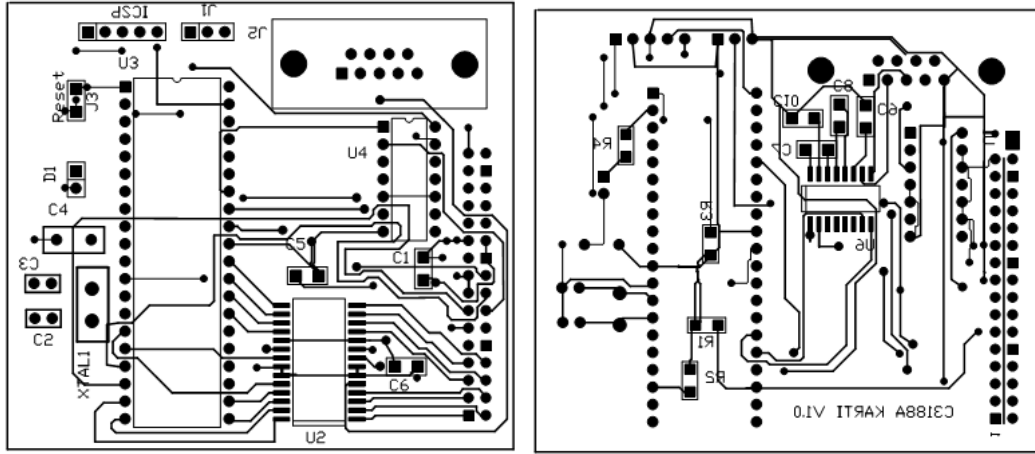
NAND kapısının bir girişi kameradan gelen HREF sinyali ile diğer girişi ise işlemciden beslenmektedir. Çıkış ucu belleğin /WE girişine bağlıdır. Bu sayede, NAND kapısından 1 mantık seviyesinde sinyal çıkışı yapıldığı sürece bellek yazma işlemine kapalı olacaktır. 0 mantık seviyesinde sinyal yollandığında ise bellek yazılabilir durumda olacaktır. Buradaki amaç, HREF sadece aktif bölgedeki pikseller gönderildiği zaman 1 seviyesinde olduğundan, görüntü verisini elde etmek istediğimiz bölgede olup olmadığını HREF sinyalinin 1 mantık seviyesinde olması

ile anlaşılıyor olması ve yazma işleminin bu sinyal ile kontrol edilmesidir. /WE girişi ters mantık olduğu için, HREF'in 1 seviyesinin mantıksal olarak değillenip 0 seviyesine getirilmesi gerekmektedir. Bu değilleme gereksiniminden dolayı AND yerine NAND kapısı kullanılmıştır. Ancak, yazma operasyonu bu saat ile senkronize edilemez çünkü HREF tüm aktif bölge boyunca 1 seviyesinde kalmakta dolayısı ile piksellerin gönderilme hızı ile ilgili bilgi vermemektedir. Piksellerin gönderimini senkronize eden saat PCLK saat sinyalidir. Dolayısıyla belleğe yazma işlemi senkronize eden saat de PCLK(Piksel) saatidir. Bu senkronizasyon PCLK saatinin belleğin yazma saati girişi olan WCK girişine bağlanması ile sağlanmıştır. Veri aktarımı için ise kameranın Y veri hattı, belleğin DI(Data Input) hattına bağlanmıştır.

İşlemciye, ana bilgisayardan görüntü alma komutu geldiği zaman, işlemci NAND kapısına giden ucunu 1 mantık seviyesine yükseltecek böylece NAND kapısı HREF sinyalini geçirgen hale gelecektir. HREF 1 seviyesinde olduğu sürece NAND kapısının çıkışı 0 olacak dolayısıyla aktif bölgede bulunduğu sürece bellek yazılabilir durumda kalacaktır. İşlemcinin, NAND kapısına ne kadar süreliğine 1 sinyali yollayacağını ve bu sinyalin ne zaman başlayıp ne zaman biteceğine karar vermesine VSYNC sinyali yardımcı olmaktadır. Görüntü al komutundan sonra işlemci kendini VSYNC sinyali ile senkronize eder. Bir başka şekilde açıklanacak olursa, ilk geçerli VSYNC darbesinden sonra işlemci NAND kapısına 1 seviyesinde sinyal yollamaya başlar. Bu sinyal ikinci VSYNC darbesi gelene kadar devam eder ve bu darbenin gelmesi ile NAND kapısına bağlı ucunu 0 mantık seviyesine indirip NAND kapısı aracılığı ile belleği yazılamaz hale getirir.

Belleğin /OE bacağı toprak hattına bağlanmıştır. Bunun sebebi ise bu bellekten veri çıkışını engelleme gibi bir duruma hiçbir zaman ihtiyaç duyulmamasıdır. 16 bitlik sistemde böyle bir ihtiyaç bulunduğundan bu uçta işlemci tarafından kullanılacaktır ancak 8 bitlik sistemde böyle bir ihtiyaç yoktur.

Kameradan belleğe görüntü aktarımı tamamlandıktan sonra, görüntü verisi yavaş bir şekilde işlemci tarafından okunup seri yoldan bu veriyi kamera kontrol arayüzüne yollamaktadır. Bellekten veri okuma hızı yaklaşık 11.1 kHz'dir. Yazma hızı ise kameranın standart PCLK frekansı olan 13.5 MHz'dir. Şekil 2.15'da bu sistem için basılmış olan devrenin çizimi görülmektedir.

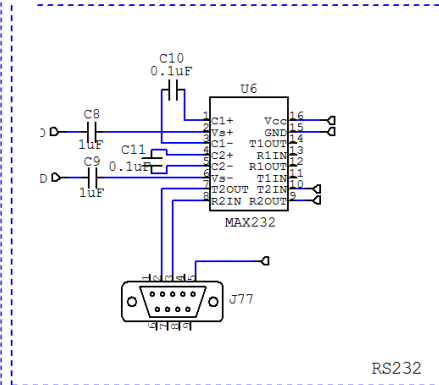
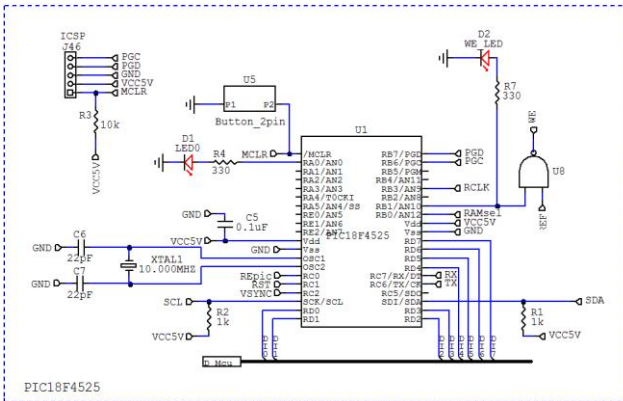
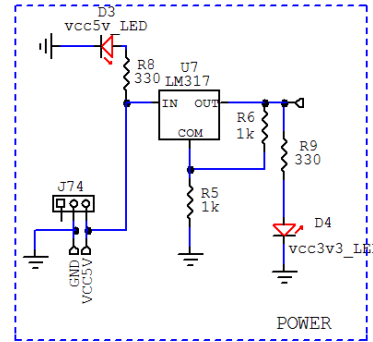
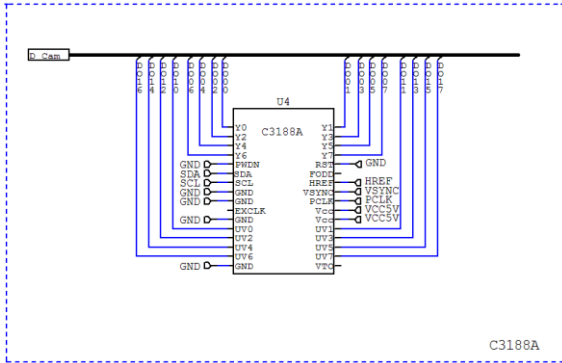
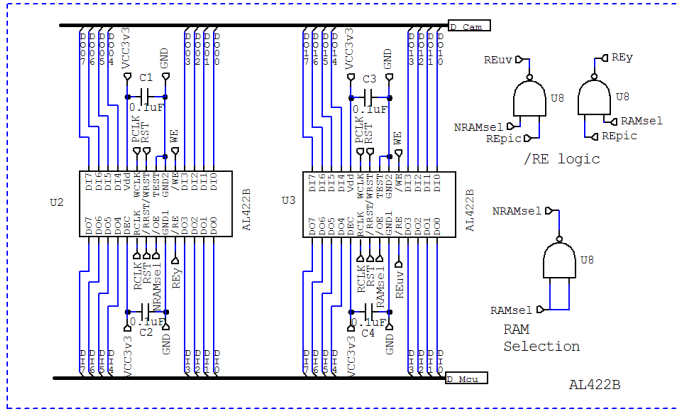


Şekil 0.15. 8 Bitlik sistemin devresi(Sol taraf üst yüzeyi sağ taraf alt yüzeyi göstermektedir).

2.5.2 16 Bitlik sistem

Bu sistem, tasarlanmış olan ilk sisteme çok benzemektedir. Tek temel farkı bir AL422B yerine iki tane AL422B belleği kullanıyor olmasıdır. İkinci belleğin sisteme entegrasyonu karmaşık bir tasarım gerektirmemektedir ancak PIC işlemcisi üzerinde kullanılabilir kısıtlı sayıda uç bulunduğundan, uçlar bazında optimizasyon yapılmıştır. PIC işlemcisi tüm görev yükü devresinin işlemcisi olduğundan, görüntü sisteminin kullandığı uçlar dışındaki uçlar, diğer sensörler tarafından kullanılmaktadır. Bu kısıt sonucunda yapılan optimizasyon ile 8 bitlik sistemde tek NAND kapısı kullanılırken 16 bitlik sistemde bu sayı 4'e çıkmıştır.

16 bitlik sistemde kameranın bütün çalışma modları desteklenmektedir. 8 bitlik sistem en fazla 384 KB saklayabilirken bu sistemde iki bellek kullanılmasından dolayı kapasite iki katına çıkmıştır. C3188A bir çerçeveyi en fazla 614,4 KB ile ifade edebilir(VGA modda tekrarlı çalıştırıldığı durum). Bu durum da bile 16 bitlik sistemde bellekler rahat bir şekilde bir çerçeveyi saklamak için yeterli olmaktadır. Bu sistemin bir başka avantajı ise istenildiği zaman 8 bit olarak çalıştırılabilmesidir. Dolayısıyla, bu sistem diğer sistemi kapsamakla beraber ek özelliklerde barındırmaktadır. Sistem şeması Şekil 2.16'de görülebilir.



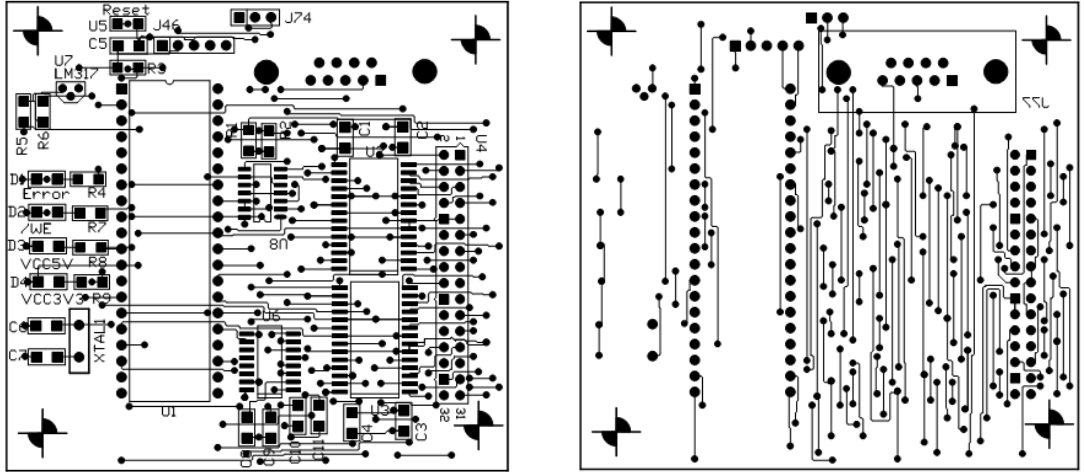
Şekil 0.16. 16 bitlik sistemin şeması

Sistem görüntü alma mantığı açısından 8 bitlik sistemle tamamıyla aynıdır. Bundan dolayı görüntü alma işlemi tekrar açıklanmayacaktır(görüntü alma ile ilgili detaylar için 8 bitlik sistem incelenebilir).

Şekil 2.16'dan görüleceği gibi iki belleğin işlemciye girişi sadece D portundan yapılmaktadır. Dolayısıyla iki bellekte aynı anda veri çıkışı yapmamalıdır. Bunun için işlemcinin, belleklerden birini çalıştırırken diğerini kapalı tutması yani yüksek empedansta buldurması gerekmektedir. Bellek seçim işlemi, işlemci tarafından tek

bir uçla yapılmaktadır. NAND kapılarından kurulan mantık ile her iki belleğin aynı anda çalışması engellenmiştir.

Herhangi bir belleğin veri çıkışının engellenmesi için, ilgili belleğin /OE bacağına 1 seviyesi sinyal verilmelidir. Bu durumda “DO” çıkış pinleri “tri-state” moduna sokuluyor ve sistemden izole edilmiş oluyorlar. Şekil 2.17’de sistem için tasarlanan devre gösterilmektedir.



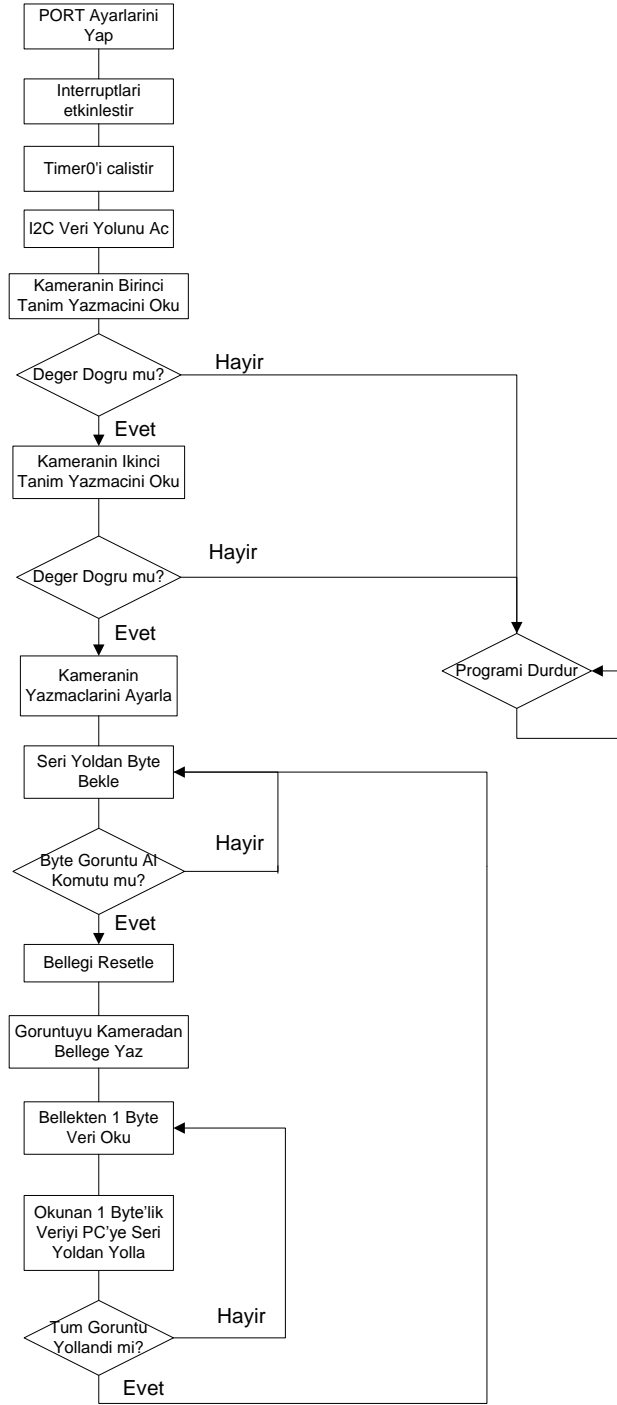
Şekil 0.17. 16 Bitlik sistem için basılan devre(Sol taraf üst yüzeyi sağ taraf alt yüzeyi göstermektedir).

3. YAZILIMIN TÜMLEŞTİRİLMESİ

3.1 Kamera - İŞlemci Arayüzü

İŞlemci - kamera arasında çalışmakta olan program, sistemin PIC ile C3188A arasındaki iletişimini içermektedir. Program tamamıyla C dili ile geliştirilmiştir ve PIC'in, kamera üzerinde tam kontrole sahip olması sağlanacak Şekilde program kodlanmıŐtır. Bu sayede kamerada istenilen her türlü ayar yapılabilir. PIC'in herhangi bir işlem yürütmesi için ise arayüz programından komut alması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığı zaman, bu program arayüz ile kamera arasında bir aracı gibi de düŐünülebilir. Şekil 3.1'de PIC işlemcisinde çalışmakta olan programın akış izelgesi görülmektedir.

C3188A – PIC Akis Çizelgesi



Şekil 3.1 İşlemci – kamera arasında çalışan programın akış çizelgesi

Şemadan da görüleceği gibi, işlemci ilk olarak sahip olduğu portları gerektiği şekilde ayarlamaktadır. Bu ayarlar belli portları giriş belli portları çıkış portu yapma ve bazı portların ise sahip olduğu özel fonksiyonları(RS232 arabirimi bağlantısı için seri port ayarları gibi) kullanmak için yapılan ayarları içermektedir. Bu ayarların

ardından kesmeler “Interrupt”lar etkinleştirilmektedir. Kesmeler sadece “Timer0”ın kullanımını için gereklidirler. “Timer0”ın tek kullanım amacı ise AL422B belleğinin okuma saati olarak kullanılmasıdır. Bu saati “Timer0” yerine herhangi bir I/O portundan sağlamakta mümkündür ancak böyle bir işlem “Timer0” ile yaratılan saatle kıyaslandığında çok daha fazla işlemci zamanı istemektedir. Bu sebeple kesme kullanılmasına karar verilmiştir.

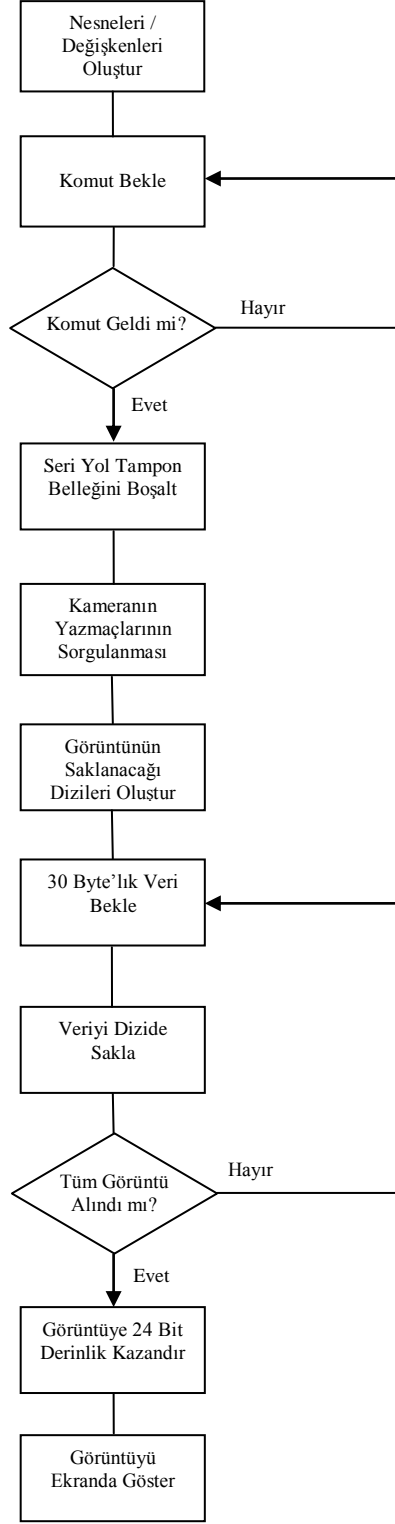
Bu işlemlerin ardından I2C veriyolu aktif hale getirilir. Bu veriyolu sistemin çalışması için hayati önem taşımaktadır çünkü PIC ile kamera arasındaki tüm iletişim bu veriyolu aracılığıyla yapılmaktadır. Olası kilitlenmelere karşı, bu veriyolunun yazılım seviyesinde kapatılıp tekrar açılabilme yeteneğine sahip olması şarttır.

I2C veriyolu etkinleştirildikten sonra, iletişim sağlıklı yapılabiliyor yapılamadığının kontrolü yapılmalıdır. Bu amaç için C3188A’nın iki adet yazmacı vardır. Bu yazmaçlar sayesinde işlemci ile kamera arasındaki I2C bağlantısında bir problem olup olmadığını anlamak mümkündür. Bu yazmaçlar her sorgulamada sabit değerler dönmektedirler. Bundan dolayı program ilk çalıştırıldığında ve I2C veriyolu aktif hale getirildiğinde yapılan ilk işlem bu yazmaçların sorgulamasıdır. Bu sorgulama doğrultusunda iki yazmaçtan alınan değerlerin herhangi birinin yanlış olması durumunda programın çalıştırılması durdurulmaktadır ve bir problem olduğu belirtmek için LED yakılmaktadır. Eğer sorgulama her iki yazmaçta da başarı ile sonuçlanmış ise bu durumda bir sonraki adım olan kameranın ayarlanması aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada kameranın genel çalışma ayarları yapılmaktadır. Bu ayarlar QVGA boyutunda görüntü alma, progressive ve repetitive mod seçimi gibi ayarları içermektedir. Bu ayarlar ile ilgili detaylı bilgi C3188A’nın anlatıldığı bölümde verilmiştir. Bu aşamadan da sonra PIC son olarak seri yoldan komut beklemeye başlar. Şekil 3.1’de görüntü alma komutu alındığı zaman yapılan işlemler gösterilmiştir. Görüntü alma komutu dışında yollanılabilen komutlar arasında yazmaç okuma/yazma, kamerayı resetleme, I2C veriyolu durum sorgulaması gibi komutlarda bulunmaktadır.

3.2 Kontrol Arayüzü

3.2.1 Kontrol arayüzü

Kontrol arayüz programı, kullanıcının kolay bir şekilde kamerayı kumanda edebilmesi ve görüntü alabilmesini sağlayan bir programdır. C# dili ile geliştirilmiştir. Ağırlıklı olarak seri port haberleşmesine dayanmaktadır ve kameranın tüm kontrolünü sağlayan alt seviye işlemlerin, üst seviyede yapılmasını sağlamaktadır. Programın akış çizelgesi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Arayüz programı akış çizelgesi

Program çalıştırıldığı zaman ilk olarak seri port ve çeşitli kaynakların(nesneler, değişkenler, windows formları vb.) oluşturulması işlemleri yapılır. Bu kaynakların

oluşturulmasından sonra arayüz, kullanıcıdan komut bekler. Çizelgede görüntü alma komutu yollandığı zaman yapılan işlemler adım adım gösterilmiştir.

Görüntü alma komutu yollandıktan sonra ilk olarak seri yol tampon belleği boşaltılır. Bu boşaltma işlemi seri yol önbelleğinde bulunan ve önceki işlemlerden kalmış olan herhangi bir veriyi silecektir. Bu işlemin yapılmadığı zamanlarda, önbellekte bulunan eski verilerin, sistemin çalışması ile ilgili birçok sorun yarattığı görülmüştür. Bundan dolayı ilk olarak bu işlemin yapılmasına karar verilmiştir.

Belleği boşaltmanın ardından kameranın, görüntü formatı ile ilgili bazı yazmaçları sorgulanır ve bu sorgulamanın sonucu doğrultusunda ne boyutta ve hangi sıra ile veri alınması gerektiğine karar verilir. Alınması gereken verinin boyutuna göre verinin saklanacağı dizi nesnelere oluşturulur. Alınan her veri parçası bu nesnelere yazılacaktır.

Bu işlemlerin ardından, arayüz PIC'ten gelecek verileri saklamak için hazırdır. Her baytın okuma ve kopyalama işlemlerinin tek tek yapılmaması için, PIC'ten toplam 30 baytlık veri beklenir. Bu veri geçici bir belleğe yazılır ve bu bellekten görüntü verisinin formatı değiştirilmeden dizi nesnesinde saklanır. Eğer, bu noktada herhangi bir sebepten dolayı programın çalışmasında bir yavaşlık söz konusu olursa, PIC veri yollamaya devam edecektir ve arayüz programı meşgul olduğu için bu verileri işleyemeyecektir. Bu durumda, seri yol, yazılımsal olarak oluşturulmuş olan ve programın çalışması başında içeriği tümüyle silinmiş olan tampon belleğe yazma yapacaktır. Bu bellek seri yoldan gelen ve okunmayan verilerin sıraları ile saklanmasını sağlar. Tampon belleğin boyutu, bir karelik görüntü verisinin boyutundan çok daha fazladır. Bundan dolayı, arayüzde meydana gelecek herhangi bir yavaşlama ciddi bir probleme sebebiyet vermeyecektir.

30 baytlık her paketten sonra, program tüm verinin alınıp alınmadığını kontrol eder. Bu kontrolü, daha önce sorgulama sonucunda öğrenilmiş olan görüntü boyutu üzerinden yapar. Eğer tüm görüntü verisi alınmış ise, seri yol ile ilgili işlemler bitirilir.

Veri alma işlemi sonrasında görüntü verisine 24 bit derinlik kazandırılır. Alınan görüntü "Bayer Pattern" formatındadır. Bu format 8 bitlik derinliğe sahiptir. "Bayer Pattern" Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Bu verinin 24 bitlik derinlik kazandırılması işlemi çok basit bir şekilde yapılmaktadır. Her piksel için, eksik olan 16 bitlik değer

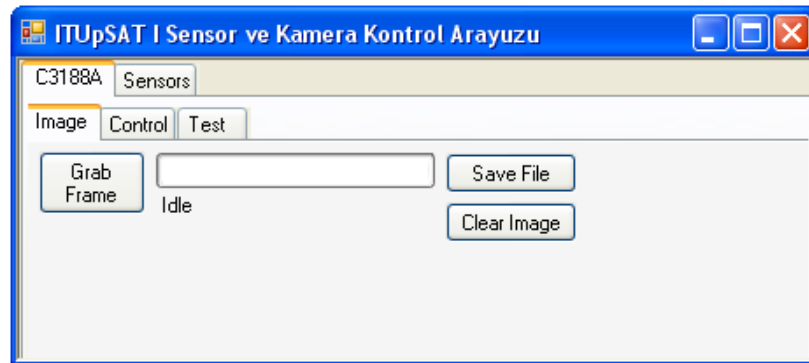
komşu piksellerden alınır. Örnek olarak, yeşil renk değerinin okunduğu bir pikselde kırmızı ve mavi renk değerleri, biri yanındaki diğeri de altındaki komşu pikselden alınmaktadır. Bu veriler C#'ın "Bitmap" sınıfından oluşturulmuş bir nesnede saklanmaktadır.

Görüntüye 24 bitlik derinlik kazandırdıktan sonra, görüntü ekrana yansıtılır. Ekrana yansıtılan görüntü, daha sonradan tekrar görüntülenebilmesi için BMP dosyası olarak saklanabilme özelliğine sahiptir.

Görüntü al komutu dışında, çeşitli yazmaçların değiştirilmesi veya okunması gibi komutlar da yollanabilir. Ancak bu komutlar sadece veri alışverişinden meydana geldiği için ve gösterilmeye değer herhangi bir özel operasyonları bulunmadığı için çizelgede gösterilmemiştir.

3.2.2 Kontrol arayüzü menüleri

Kamera Kontrol Arayüzü(buradan itibaren sadece arayüz denilecektir), masa üstü bilgisayarında çalışan, C# diliyle yazılmış ve kamerayı kontrol edip görüntü verisini görsel hale getiren bir programdır. Arayüz, kamerayı PIC aracılığı ile kontrol eder. Aslında, bu anlamda arayüz PIC'i kumanda ediyor da denilebilir. Çünkü, arayüz ile kamera arasında direk bir bağlantı yoktur. Arayüz PIC ile seri porttan konuşmaktadır. PIC'te, aldığı komutlar doğrultusunda kamerayı I2C veri yolundan kumanda etmektedir ve kameradan okunan tüm veriler (görüntü veya yazmaç verisi) seri yoldan arayüze geri aktarılmaktadır. Şekil 3.3'de arayüzün açılış penceresi görülmektedir.



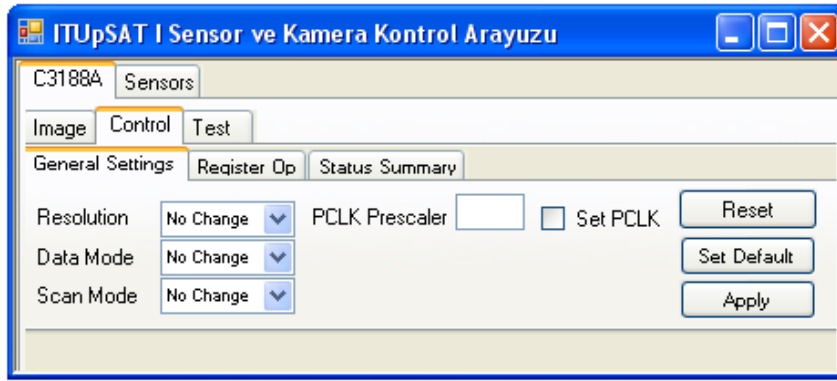
Şekil 3.3. Kamera kontrol arayüzünün açılış penceresi

Bu arayüz görev yükü devresi için yazıldığından, sensörleri kumanda edecek ve sensörlerden veri okuyacak menüye de sahiptir ancak bu menüden bu dokümanda bahsedilmeyecektir.

Arayüz kameranın kontrol edilmesi için 3 menüye sahiptir. Bunlar “tab” halinde “Image”, “Control” ve “Test” menüleri olarak görülmektedir.

“Image” menüsü görüntü aktarımı işlemini yürütmektedir. Bu menü Şekil 3.2.2.1’de de görülmektedir. Aktarılan görüntü, işlem bittikten sonra saklanabilmektedir.

“Control” menüsü, kameranın yazmaçlarının değiştirildiği veya okunabildiği menüdür. Şekil 3.4’de bu menü görülmektedir.



Şekil 3.4. Kontrol menüsü

Bu menü de 3 altmenüden oluşmaktadır. “General Settings” altmenüsü, görüntü verisiyle ilgili en temel ayarların kolay bir şekilde yapılabilmesini mümkün kılan altmenüdür. Sadece en temel ayarları içermektedir ancak bu ayarların yapılması için de yazmaç adresi girişine gerek yoktur. Ayrıca, bu altmenüden “Reset” düğmesi ile kameraya yazılım bazında reset yaptırmak ve “Set Default” düğmesi ile de kamerayı, ilk açıldığı zaman yapılan ayarlarına geri döndürmek mümkündür.

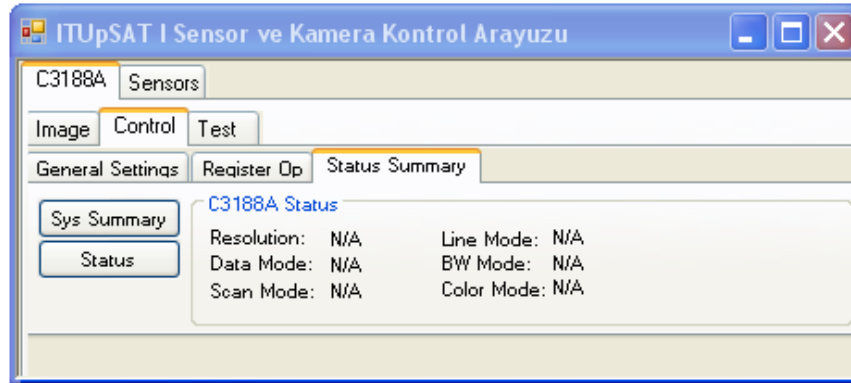
“Register Op” altmenüsü ise, yazmaçların direk olarak değiştirilebildiği veya okunabildiği menüdür. Bu menü kullanılırken mutlaka OV7620 verikağıdına başvurulmalıdır. Şekil 3.5’de bu altmenü görülmektedir.



Şekil 3.5. Yazmaç ayarları altmenüsü

Bu menüdeki tüm kutular 10'luk tabanda sayı girdisi almaktadırlar. 16'lık tabanda(Hexadecimal) sayı girdisi desteklenmemektedir. Yazmaç değerini değiştirmek için, "Offset" kutusuna yazılmak istenen yazmacın adres değeri ve yazılmak istenen değerde "Value" kutucuğuna girilir. Ardından "Set Reg" düğmesine basılır. Yazmaç değeri okumak için de, sadece "Offset" kutusuna okunmak istenen yazmacın adres değeri girilir. "Read Reg" düğmesine basıldığında, ilgili yazmacın değeri "Value" kutusunda gösterilecektir.

Son altmenü olan "Status Summary" ise, kameranın genel durumu ile ilgili bilgi vermektedir. Şekil 3.6'de bu altmenü görülmektedir.



Şekil 3.6 Genel durum altmenüsü.

Bu altmenüde kameranın çözünürlük, veri modu, tarama modu, renk uzayı gibi ayarlarında hangi modlara ayarlanmış olduğunu görmek mümkündür. Bunun için "Sys Summary" düğmesine basmak yeterlidir. Bütün ayarlar, kameradan I2C veri yolu aracılığı ile sorgulanacak ve kullanıcıya gösterilecektir. "Status" düğmesi ise,

I2C veri yolunun durumunu sorgulamaktadır. Veri yolunun çalışıp çalışmadığından sphelenildiği zaman bu dğme ile veri yolu kontrol edilebilir. Veri yolunun kontrol işlemi kameranın iki “Manufacture ID”sinin okunup bu değerlerin kontrol edilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

“Test” menüsü, sadece seri yoldan veri okumaktadır. Seri yolun çalışma durumunun kontrolü için yazılmıştır.

4. SONUÇ

4.1 Testler

Görüntüleme sistemi için yapılması planlanan testler ısı, ısı-vakum ve titreşim testleridir. Isıl ve ısı-vakum testleri yapılmıştır ancak titreşim testi, görev yükü devresinin son halinin bitmemiş olmasından dolayı yapılmamıştır. Yapılan testlerde, sistem maksimum yüklemeye maruz bırakılmıştır, ITUpSAT I'in maruz kalacağı yüklerin en şiddetlisi düşünülmüştür.

Isıl vakum testi tüm sistemi kapsamamaktadır. Sadece, C3188A vakum ortamına sokulmuş ve ısı yüküne maruz bırakılmıştır. Isıl testler ise iki aşamada yapılmıştır. İlk aşamada sadece kamera fırına sokulmuş ve yüksek ısı yüküne maruz bırakılmıştır. İkinci aşamada ise tüm sistem yüksek ısı yüküne maruz bırakılmıştır.

4.1.1 Isıl test – kamera

4.1.1.1 Testin amacı

Yapılan ilk testin amacı, sadece kameranın yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra çalışabilirliğinin incelenmesidir. Bu testin ardından tüm sistemin teste sokulması düşünülmektedir. Böylece herhangi bir testten sonra sistem çalışmazsa, sorunun hangi bileşenden kaynaklandığı daha rahat bulunabilir.

4.1.1.2 Yöntem

Test, standart bir fırında gerçekleştirilmiştir. Kamera fırına koyulup 90°C'de 90 dakika boyunca tutulmuştur. Test sonucunda kameranın hala görüntü verip veremediğine bakılmıştır.

4.1.1.3 Sonuç

Test sonucunda, kameranın, 90°C'lik ısı yüklenmeden sonra bile çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu testin ardından tüm sistemin aynı şekilde teste sokulmasına karar verilmiştir.

4.1.2 Isıl test – tüm Sistem

4.1.2.1 Testin amacı

Yapılan ikinci testin amacı, ilk testinki gibi çalışabilirliğin incelenmesidir. Kameranın tek başına bu testten geçtiği gözlenmiştir, dolayısıyla tüm sistemin test edilmesine karar verilmiştir. Bu testte çalışabilirliğin yanında, yüksek sıcaklık altında kameradan alınan görüntülerde bozulma olup olmadığıda incelenmiştir.

4.1.2.2 Yöntem

Testte 8 bitlik sistem kullanılmıştır. Sistem fırın içerisine koyulmuş ve güç beslemesi için güç hatları ile arayüzle haberleşme için seri kablo fırından dışarıya verilmiştir. Arayüz yazılımı modifiye edilip belli aralıklarla görüntü alma komutu(dakikada 3 adet) yollayacak şekilde düzenlenmiştir.

Test, 70°C'lik sıcaklık yükü altında 120 dakika sürdürülmüştür.

4.1.2.3 Sonuç

Test sonucunda çekilen resimlere bakıldığında kameranın ısıl yük altında görüntü kalitesinde bozulma olduğu gözlenmiştir. Bu bozulma kontrastın düşmesi ve bir miktar gürültü olarak gözlenmektedir. Şekil 4.1'de çekilen çeşitli resimler görülmektedir.



Şekil 4.1. Test süresince çekilen resimler (sırasıyla 5., 21., 134. ve 319. çekilen resimler. Toplam 352 adet resim çekilmiştir)

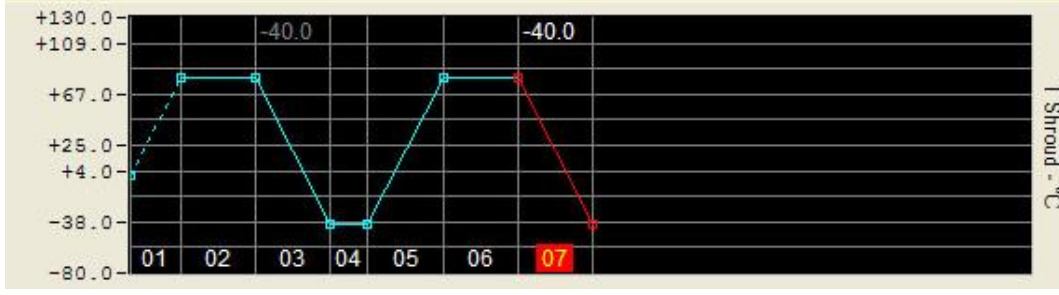
4.1.3 Isıl vakum testi

4.1.3.1 Testin amacı

Isıl vakum testinin amacı, kameranın plastik aksamalarının veya lehimlerinin vakum ortamındaki davranışını incelemektir. C3188A ticari bir kamera olduğu için, vakum ortamına dayanıklı olacak şekilde üretilmemiştir. Dolayısıyla, kamera üzerinde vakum testlerin yoğun bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

4.1.3.2 Yöntem

Yapılan ısıl vakum testi yaklaşık 17 saat sürmüştür. Test de koşulan senaryo Şekil 4.2'de görülebilir.



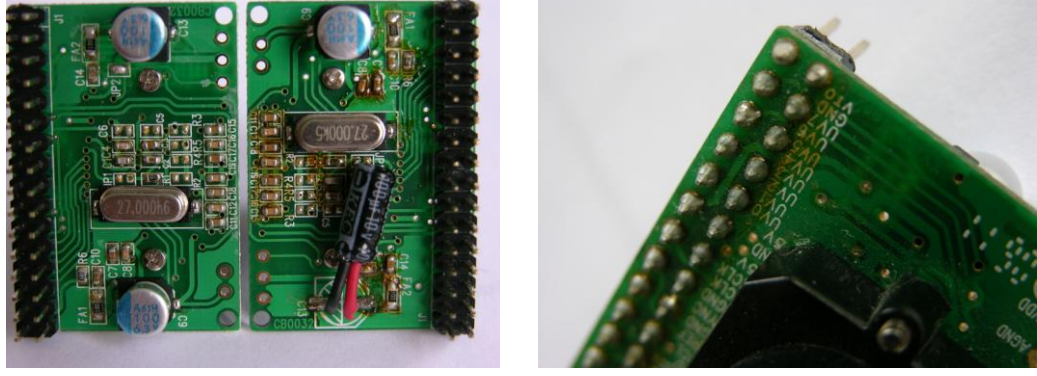
Şekil 4.2. Isıl vakum test senaryosu (Dikey eksen sıcaklığı, yatay eksen de bölüm numarasını göstermektedir)

Şekilde görülen senaryo 3 kez koşulmuştur ve standart bir senaryodur. LEO yörüngedeki uyduların periyotları yaklaşık 90 dakikadır. Bunun 30 dakikasını gölgede 60 dakikasını güneşte geçirirler. Gölgede iken, sıcaklıkları en kötü ihtimalle -40°C 'ye kadar düşer. Güneşte iken ise $+80^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar çıkabilirler. Bu durumun, ITUPSAT I için geçerli olacağı düşünülmektedir çünkü uydu sadece 2 eksende kontrollü olduğu için sürekli spin hareketi yapıyor olacaktır. Bu spin hareketinden dolayı, yüzeyle arasında daha homojen bir sıcaklık dağılımı olacaktır. Görece küçük boyutlarından dolayı ise ısıl gradyanları yüksek olmayacaktır. Test senaryosunda da en kötü koşul düşünülerek, kamera, $+80$ ile -40°C arasında ısıl yüklemeye maruz bırakılmıştır.

Test sonrasında değerlendirme yapabilmek için bir test düzeneği kurulmuştur. Bu test düzeneğinde kameranın odak ayarı ve örnek resime olan mesafesi, test öncesinde ve sonrasında kıyaslama yapabilmek için, kaydedilmiştir. Testten önce ve sonra aynı örnek resimden 3'er adet fotoğraf alınmıştır ve bu fotoğraflar birbiriyle kıyaslanmıştır.

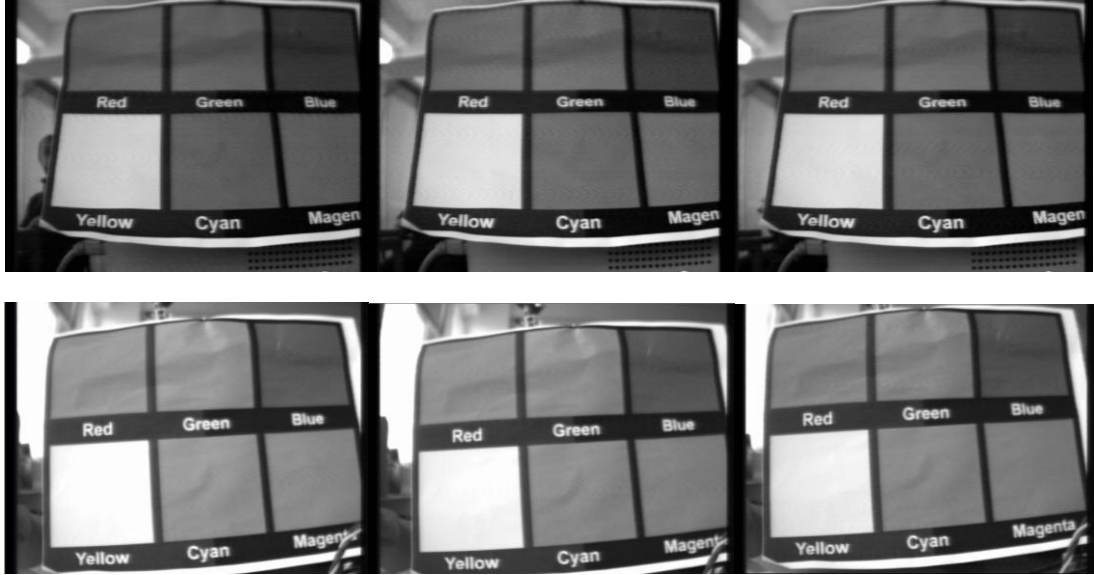
4.1.3.3 Sonuç

Test sonucunda kameranın lehimleri civarında kimyasal etkileşim izlerine rastlanmıştır. Bu etkileşimin "outgas" eden gazların ısıl yük altında kimyasal reaksiyona girmesinden olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.3'de bu etkileşimin izleri turuncu lekeler olarak görülmektedir.



Şekil 4.3. Isıl-vakum testinden sonra kameranın lehim civarlarında meydana gelen lekeler. Birinci resimde, sol tarafta teste girmemiş sağ tarafta da teste girmiş kamera görülmektedir.

Test öncesinde ve sonrasında çekilen fotoğraflara bakıldığında ise herhangi bir bozulma görülmektedir. Şekil 4.4’de bu fotoğraflar görülebilir.



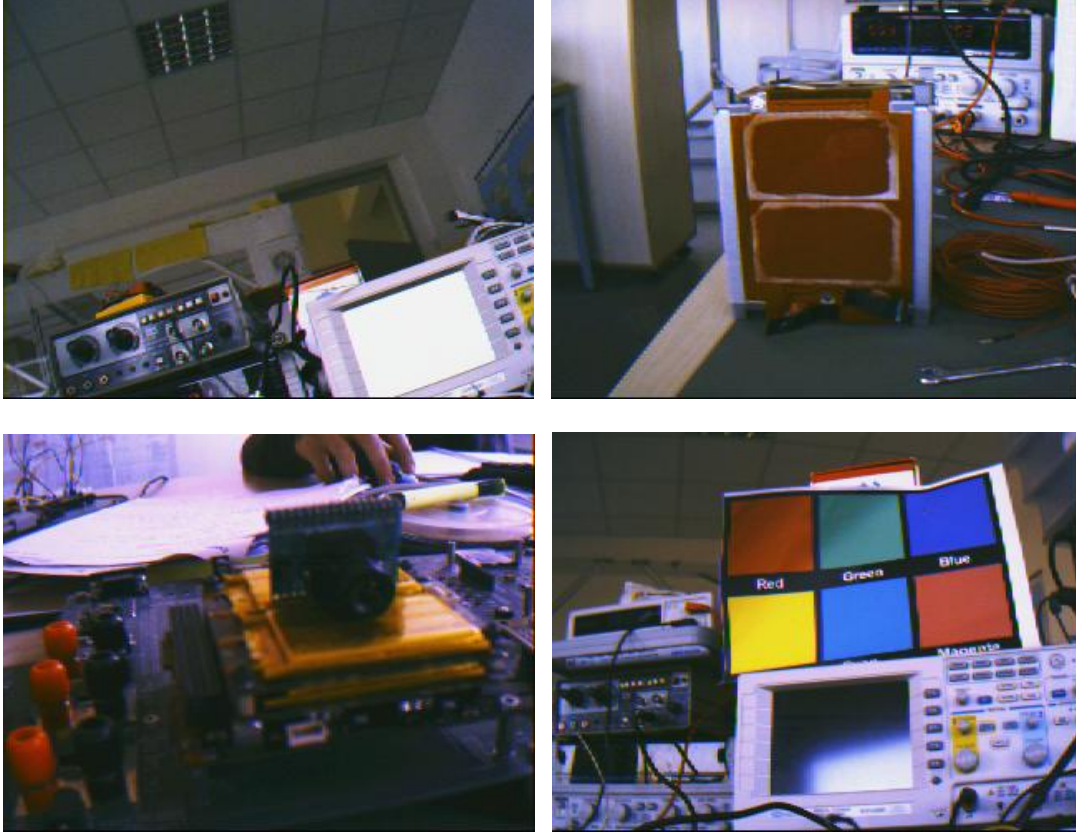
Şekil 4.4. Test öncesinde ve sonrasında çekilen fotoğraflar(Üstteki set öncesinde, alttaki set ise sonrasında çekilmiştir.)

Bu test sonucunda kameranın vakum testinden geçtiği gözlenmiştir. Test sadece 17 saat sürmesine rağmen, kameranın ileriki testlerden de geçebileceği düşünülmektedir. Çünkü bu süre içerisinde kamera tamamiyle “outgas” etmiştir ve “outgas” sonucunda herhangi bir bileşeninde bozulma görülmemiştir. Ancak ısıl-vakum testlerinin günler veya haftalar süren senaryolar şeklinde uygulanması planlanmaktadır.

4.2 Sistemin Son Değerlendirmesi

Yapılan testler sonucunda sistemin çalışabilirliğinde herhangi ciddi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Tek problem, ikinci yapılan ısıl yüklemeye testinde görüntü kalitesinde düşme olarak gözlenmiştir. Ancak bu testlerin en ağır koşulları içerdiği ve bu koşullara rağmen sistemin çalışmaya devam edebildiği gözlemlendiği için, sistem yeterlilik testlerinden geçmiştir.

Şekil 4.5’de sistem ile oda şartlarında çekilen çeşitli fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 4.5. ITUPSAT I’in görüntüleme sistemi ile çekilen çeşitli fotoğraflar

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** < <http://space.auburn.edu> >, alındığı tarih 12.09.2006
- [2] **Url-2** < <http://polysat.calpoly.edu/> >, alındığı tarih 12.09.2006
- [3] **Url-3** < <http://courses.ece.uiuc.edu/cubesat/mission.htm> >, alındığı tarih 13.11.2006
- [4] **Url-4** < <http://www.und.nodak.edu/org/zamboni/> >, alındığı tarih 06.12.2006
- [5] **Url-5** < <http://www.mae.cornell.edu/cubesat/> >, alındığı tarih 08.12.2006
- [6] **Url-6** < <http://www.css.tayloru.edu/~physics/picosat/indexes/purpose.htm> >, alındığı tarih 07.01.2009
- [7] **Url-7** < <http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/cubesat/index-e.html> >, alındığı tarih 04.01.2009
- [8] **Url-8** < <http://www.conolley.com/cubesat/> >, alındığı tarih 09.01.2009
- [9] **Url-9** < <http://www.ssel.montana.edu/merope/mission/goals.html> >, alındığı tarih 09.01.2009
- [10] **Url-10** < <http://mtech.dk/thomsen/space/cubesat.php> >, alındığı tarih 10.01.2009
- [11] **Lukin A., Kubasov D.**, 2004. An Improved Demosaicing Algorithm, *Graphicon '2004 conference*, Moscow, Russia.
- [12] **Kimmel R.**, 1999. Demosaicing: Image Reconstruction from Color CCD Samples, *IEEE Transactions On Image Processing*, Vol. 8, No. 9, 1221-1228
- [13] **Malvar H., He L., Cutler R.**. High-Quality Linear Interpolation For Demosaicing of Bayer-Patterned Color Images, *Microsoft Research*, Redmond, USA
- [14] **Jean R.** Demosaicing with The Bayer Pattern, *Department of Computer Science*, University of North Carolina.
- [15] **Gupta M., Chen T.** Vector Color Filter Array Demosaicing, *Information Systems Laboratory, Department of Electrical Engineering*, Stanford University.
- [16] **Omnivision Technologies INC.**, 2000. OV7620 Product Specifications -Rev. 1.3.

[17] **Philips Semiconductors**, 2000. The I²C Bus Specification Version 2.1

[18] **Microchip Technology Inc.**, 2004. PIC18F2525/2620/4525/4620 Data Sheet.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Taşkın Baltacı

Doğum Yeri ve Tarihi: 1982 İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi – Uzay Mühendisliği