

THE REPORT OF THE PROJECT WHICH IS DEVELOPING CUBE SATELLITE ON FEMTO CLASS INTENDED FUNDAMENTAL SPACE RESEARCHS

TABLE OF CONTENTS

| | |
|--|-----------|
| 1.0 Introduction | 1 |
| 1.1 Goal of The Project | 2 |
| 1.2 Electronic Design and Development..... | 2 |
| 1.3 Embedded System Programming..... | 3 |
| 2.0 Method..... | 4 |
| 3.0 Finding and Applying..... | 4 |
| 3.1 Main Mission Flight Computer Board Design | 4 |
| 3.2 Sensor and RF Antenna Board Design | 5 |
| 3.3 Power and Power Management System Board Design..... | 5 |
| 3.4 Camera Interface Board Design..... | 6 |
| 3.5 Camera Board Design | 6 |
| 3.6 Main Microcontroller Programming | 7 |
| 3.7 Camera Inteface System Programming..... | 9 |
| 3.8 Announcement of Codes | 10 |
| 4.0 Results and Discussions..... | 12 |
| 5.0 Suggestions..... | 12 |
| 6.0 References..... | 13 |

1.0 Introduction

Yapay uydular, Sputnik ile başlayan uzay çağının en önemli elemanları olmuşlardır. Günümüzde bu uydular, gerçekleştirdikleri kritik görevlerle insanlığa hizmet etmektedirler. İletişim, uzaktan algılama, veri toplama, navigasyon, keşif ve bilimsel deneyler kullanıldıkları alanlardan sadece bir kısmını oluşturmaktadır. Uzay teknolojisine yapılan yatırımlar hiç bir zaman boşa gitmemiş, mühendislikte ve bilimdeki ilerlemeleri tetikleyen bir unsur olmuştur. Ayrıca bu gelişmeler de uzay

teknolojisinin ileriye gitmesinde ve gelişmesinde büyük rol oynamıştır. Günümüzün uzay araçları ile onların atalarını karşılaştırdığımızda, bugünün uydularının çok daha küçük, hafif ve kompakt yapılar olduklarını görürüz. Uzayla ilgili bir projenin risk ve maliyet gereksinimlerini dikkate alırsak, bu durum çok önem arz etmektedir. Yüzlerce, hatta binlerce kilogramlık uydular, aynı zamanda görev bütçeleri için de ağır bir yük teşkil etmektedirler. Bu nedenle, küçük uydular tasarımları, testleri, onaylaması ve fırlatma maliyetlerindeki avantajlardan dolayı dikkat çekmektedirler. (Sarı, 2010) (Aslan, 2015).

Son yıllarda küp uyduların artan yetenekleri ile uzay sektöründe büyük atılımlar meydana gelmiştir. Üretilen ve uzayda çalışan ilk küp uydularla uzay kalifiye ürünler de kullanmadan uzay sistemlerinin geliştirilebileceği ve farklı görevlerde kullanılabileceği gösterilmiştir. Bir öğrenci eğitim projesi olarak başlayan küp uydu tasarım projeleri şimdi farklı amaçlarla gelişerek yüksek öncelikli bir konu haline gelmiştir. Birçok kişi ve kurum, bu konu hakkında çalışmaları teşvik etmektedir. (Akay, 2012)

Küp uydular ile temel uzay çalışmaları yapılabildiği gibi, gözetleme uyduları gibi ileri seviye çalışmalar da çoklu küp uydular kullanılarak belli ölçülerde yapılabilmektedir. (Baş, 2017)

1.1 Goal of The Project

Ülkemizde yeni gelişmeye başlayan uzay sektöründe yapılan çalışmaların azlığı sebebiyle küçük çapta uyduların erişimi ve geliştirilmesi göreceli olarak daha kolaydır. Ülkemizde ve dünyada mevcut geliştirilmiş olan Femto (0-100 gr ağırlıklarında) pek az uydu bulunmaktadır. Bu uydular görev olarak temel telemetri verileri gönderebilen altsistemlerden oluşur. Proje kapsamında geliştirdiğimiz uydu platformu ile var olan bu açığı gidererek temel uydu fonksiyonlarını yerine getirebilen ek görev yükü olarak kamera modülünü de bulunduran gömülü sistem çözümü niteliğinde bir platform geliştirmek bu projenin amacını oluşturmaktadır.

1.2 Electronic Design and Development

1.2.1 Component Selection: Projemizde ana işlem birimi olarak uzay ürünleri konusunda geçmiş tecrübesi bulunan Texas Instruments firması tarafından geliştirilen SimpleLink CC1310 RF MCU (cc1310, 2016) tercih edilmiştir. Ultra Low Power sınıfı bir mcu (mikrodenetleyici) olan CC1310 çok düşük güç tüketimi sağlamaktadır. Ayrıca üzerinde gömülü durumda RF (radyo iletişim) çekirdeği de bulunmaktadır. Böylelikle sistem üzerinde iki ayrı ana birimi birleştirerek yerden tasarruf etmeyi sağladık. Sensör kartı üzerinde bulunmakta olan Mpu 9250 (Invensense, 2016) sensör entegresi jiroskop manyetometre ve ivmeölçer sensörlerini barındırmaktadır sensör kartı üzerindeki BME280 (Bosch, 2015) entegresi ısı sıcaklık basınç nem ölçümleri yapabilmektedir.

Uydu platformu üzerinde kamera arayüz kartı ve kamera bulundurmaktadır. Kamera olarak dcmi arayüzüne sahip (OV5640,2011) opsiyonel görüntü sensörüne yer verdik. Kamera arayüz kartında ise ST Microelectronics firması tarafından üretilen stm3214 (St MicroElectronics

,2017) serisi Ultra Low Power sınıfı dcmi arayüzüne sahip çok düşük güç tüketimli bir mcu kullandık.

Sistem üzerindeki hafıza kartı (sd card) modülü ile toplanan verilerin kaydedilmesini sağlayarak kapsama alanı dışında elde edilen verilerin kaybolmamasını sağladık.

Enerji ve enerji yönetiminde düşük enerji tüketimine sahip Texas Instruments tarafından üretilen BQ25504 (Texas Instruments, 2015) enerji yönetim entegresi kullanılmıştır.

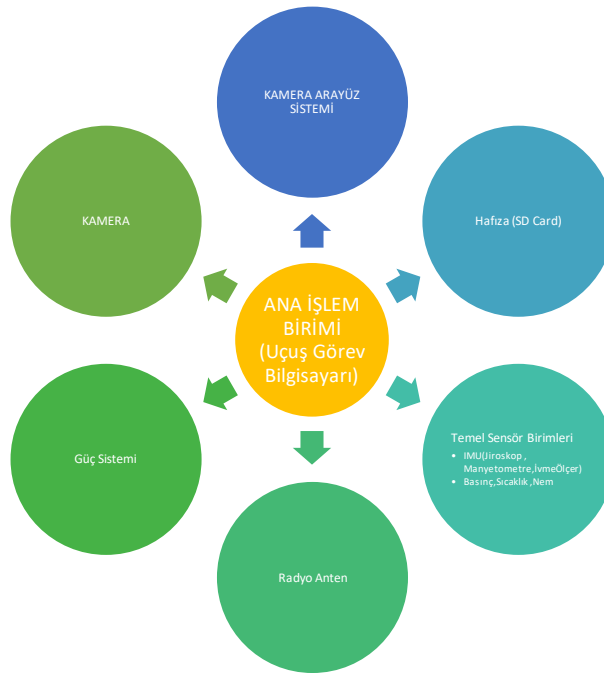
Komponent seçimlerinde uzay kabul edilebilirlik standartları göz önünde bulundurulmuştur. Komponentlerin görev açıklaması ve teknik ayrıntılar raporun ilgili tasarım bölümünde mevcuttur.

1.2.2 Eagle: İlk olarak cadsoft firması tarafından geliştirilen daha sonra da Autodesk firması tarafından satın alınan elektronik tasarım aracı olan Eagle programının projede 8.5.1 sürümü kullanılmıştır. Gelişmiş şematik ve pcb tasarım arayüzü geniş kütüphane desteği sebebiyle Eagle programı tercih edilmiştir. (Autodesk, 2017)

1.3 Embedded System Programming

1.3.1 Sensor Controller Studio and Code Composer Studio: Texas Instruments Tarafından geliştirilen ve kendi gömülü sistem ürünlerini programlamak için geliştirilmiş programlar ve dillerdir. Sensor Controller Studio (Texas Instruments,2017) uyduda kullandığımız cc1310 işlemcisinin içinde bulunan Sensor Controller Engine çekirdeğini c dilinde programlamaya pin konfigürasyonunu yapmaya imkân veren güçlü bir araçtır. Code Composer Studio (Texas Instruments,2017) ile de işlemcimizin ana çekirdeğini programlamak için kullandığımız C dilinde (Deitel, 2010) programlama seçeneği sunan güçlü bir araçtır.

1.3.2 Keil: Kamera arayüzü bloğunda kullandığımız stm32l4 işlemcisini programlamak için kullanılan üreticinin de desteklediği C dilinde bir gömülü yazılım aracıdır. (Keil, 2017)



Şekil 1.0 Femto Satellite General Relation Diagram

2.0 Method

Projede yer alan iki ana sistem olan, kamera sistemi ve ana sistem; iki ana parça olarak, elektronik tasarım ve programlama gerçekleştirilmiştir.

2.1 Proje Yapım Basamakları

2.1.1 Ana Görev Uçuş Bilgisayarı Kartı Tasarımı

2.1.2 Sensör ve RF Anten Kartı Tasarımı

2.1.3 Güç ve Güç Yönetim Sistemi Kartı Tasarımı

2.1.4 Kamera Arayüz Kartı Tasarımı

2.1.5 Kamera Kartı Tasarımı

2.1.6 Ana İşlemci Programlanması

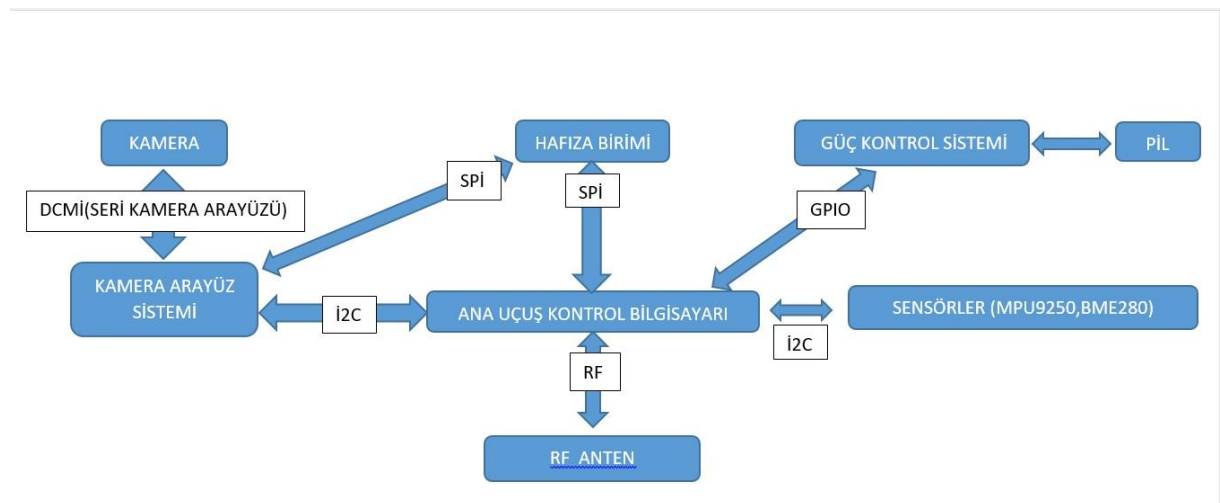
2.1.6.1 Sensör Kontrolcü Çekirdeği Programlanması

2.1.6.2 Ana çekirdek Programlanması

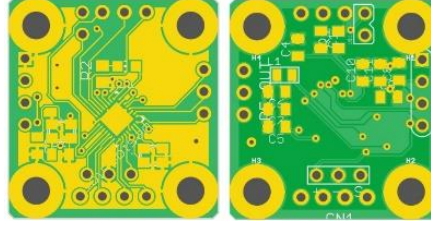
2.1.7 Kamera Arayüzü Sistemi Programlanması

3.0 Finding and Applying

3.1 Main Mission Flight Computer Board Design



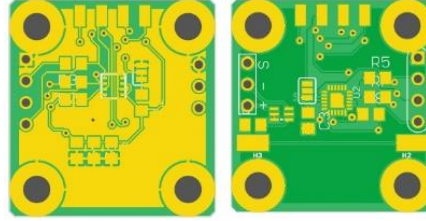
Şekil 1.1 Subsystems General Interface Diagram



Şekil 1.2 Board Design Picture

Ana Görev Uçuş Bilgisayarı Kartı diğer altsistem birimlerinin tümünü yöneten kart konumundadır. Bu nedenle üzerinde bulunan ana işlem birimi cc1310 rfmcu entegresinin giriş ve çıkışları Şekil 1.1 de belirtilmiş olan arayüz diyagramımıza göre tasarlanmıştır. Diğer altsistemler ile gerçekleşecek olan iletişimi sağlamak üzere en uygun yerlere ilgili pinler yerleştirilmiştir. Kart üzerindeki oluşacak ısı, toprak (GND) hattının alt ve üst katmanda genişletilmesi ile dağıtılmıştır. Kart boyutları mekanik tasarım ile küp şeklinin tamamlanması için az bir farkla dikdörtgen konumlandırılmıştır.

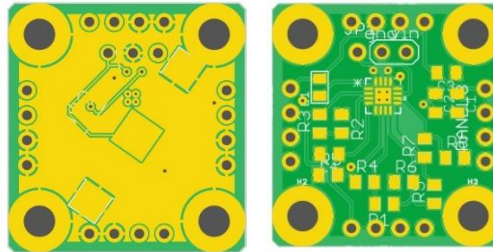
3.2 Sensor and RF Antenna Board Design



Şekil 1.3 Board Design Picture

Sensör ve RF Anten Kartı sistemde bulunan temel sensör birimlerini ve RF (radyo iletişimi) filtresi ile antenini üzerinde bulundur. Ana Görev bilgisayarı ile Şekil 1.1 de belirtilmiş olan iletişimi sağlamak üzere ilgili pinler dahili jiroskop manyetometre ivmeölçer bulunduran MPU9250 IMU sensör entegresi ve dahili atmosferik sensör bulunan BME280 sensör entegresinden sağlanan arayüz çıkışları Ana Görev Uçuş Bilgisayarı Kartı ile üst üste tam oturacak şekilde bırakılmıştır. Bu kartın tasarımında da ısı dağılımı ve mekanik boyutlar gibi konularda Ana Görev Uçuş Bilgisayarı Kartı ile aynı anlayış benimsenmiştir.

3.3 Power and Power Management System Board Design

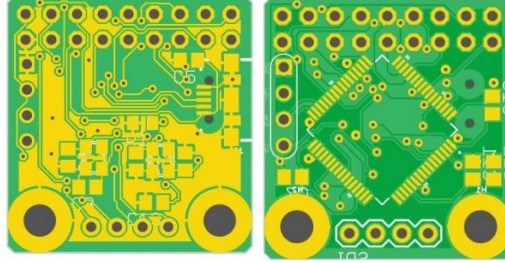


Şekil 1.4 Board Design Picture

Uydumuzun çevresini kaplayarak enerji ihtiyacını sağlayan güneş panel hücrelerinden gelen enerjiyi kontrol ederek pili şarj eden ve sisteme verilen enerjiyi kontrol eden Texas Instruments firması tarafından üretilen BQ25504 enerji yönetim entegresini üzerine

konumlandırmış olduğumuz güç ve güç yönetim kartımız yine diğer alt sistemlerle aynı boyutlarda ve uyum içerisinde tasarlanmıştır. Kartımızın alt katmanında yalnızca pil yuvası bulunmaktadır diğer tüm komponentler üst katmandadır. Ayrıca enerji yönetim entegresi ana kontrol birimine pil hakkında bilgi de vermektedir.

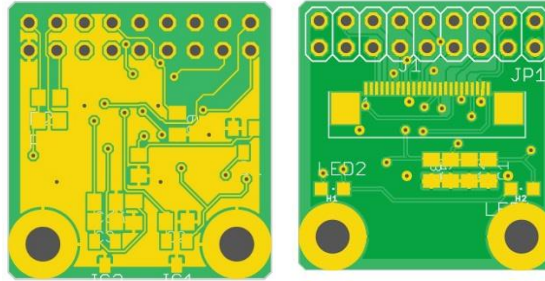
3.4. Camera Interface Board Design



Şekil 1.5 Board Design Picture

Uydumuzu diğer benzerlerinden ayıran en önemli özellik olan kamera bulundurma yetisini kamera verilerini işleyerek fotoğraf haline getirebilen kamera arayüz kartımız kazandırmaktadır. Kartımız üzerinde ARM tabanlı bir mikro işlemci olan STM32L4 mevcut. Kartımız şekil 1.1 da yer aldığı gibi DCMİ (seri kamera arayüzü) portu ile kendi geliştirmiş olduğumuz kamera modülü ve aynı pin çıkışlarına sahip diğer kamera modülleri ile de kullanılmasına imkân veren bir yapıda. Kartımız diğer altsistem kartları ile aynı felsefe ve tam uyum içerisinde tasarlanmıştır.

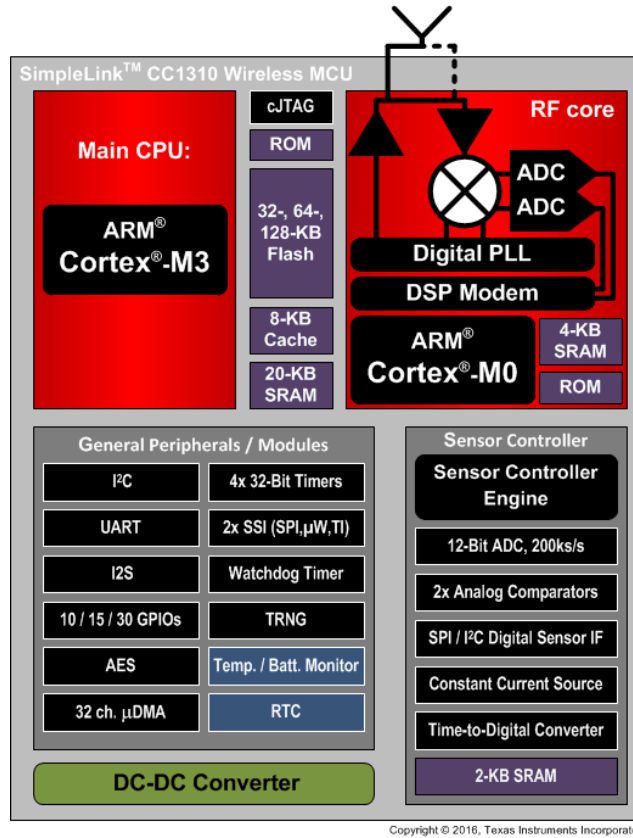
3.5. Camera Board Design



Şekil 1.6 Board Design Picture

Kamera kartımız omnivision firması tarafından geliştirilmiş olan OV5640 görüntü sensörüne tam uyum sağlayarak şekil 1.1 da gösterilen DCMİ portu ile çıkış verilmiştir. Kartımız diğer altsistemlerle tam uyum sağlayan bir yapıdadır (şekil 1.6).

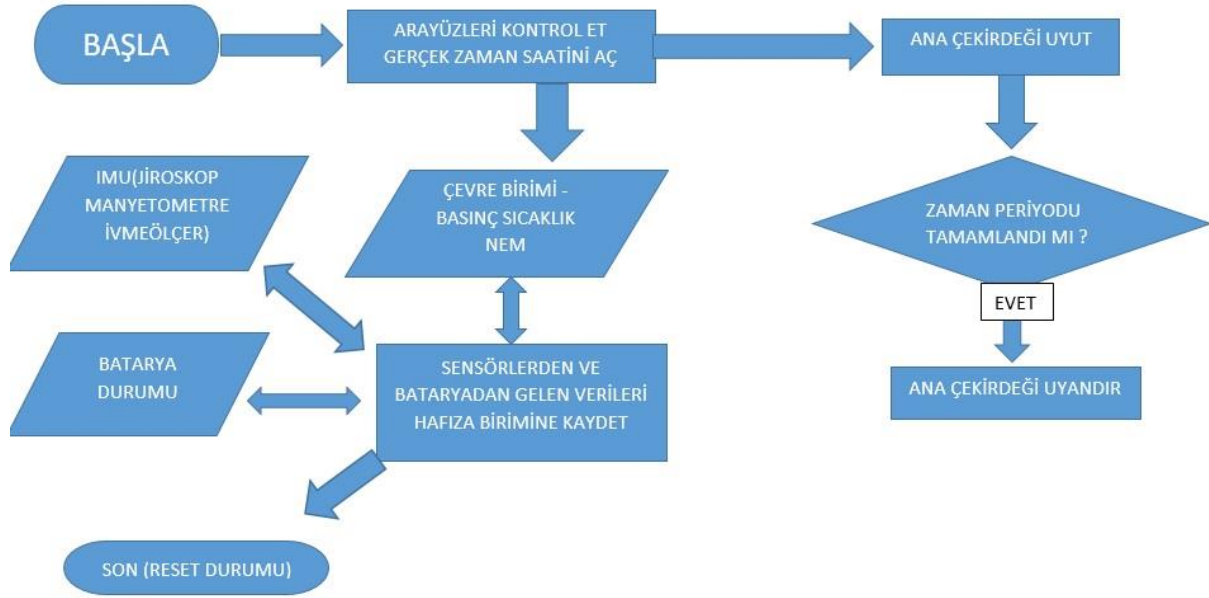
3.6. Main Microcontroller Programming



Şekil 1.7 Main Microcontroller Functional Diagram

Projemizde temel uydu fonksiyonlarını yerine getirirken aynı zamanda enerji tüketimini en alt düzeyde tutmak mecburiyetiyiz. Bundan ötürü sistemimizde kullanmış olduğumuz Ana işlem birimi olan CC1310 RF mcu'su da düşük güç tüketimi odaklı tasarıma sahip . Şekil 1.7 de görebileceğiniz üzere ikisi programlamaya ihtiyaç duyulan biri 3 ayrı çekirdekten oluşmaktadır. Ana çekirdek code composer studio ortamında sensör kontrolcüsü ise sensor controller studio ortamında C dili ile kodlanarak programlanmıştır.

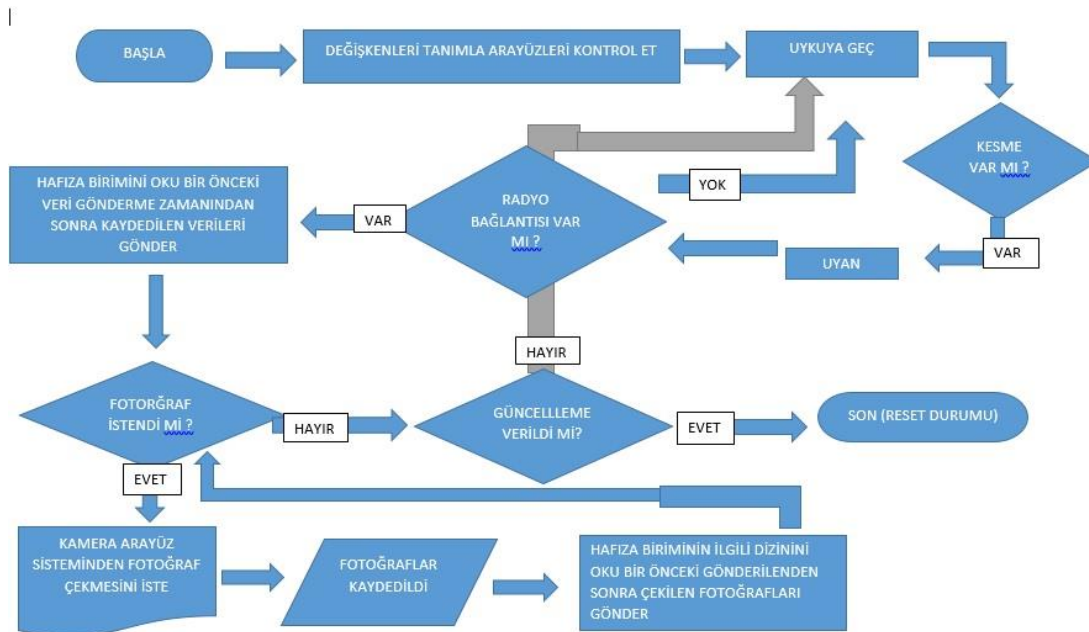
3.6.1. Sensor Controller Core Programming



Şekil 1.8 Sensor Controller Core Algorithm

CC1310 RF mcu'nun içerisinde enerji tüketimini en aza indirmek üzere ana işlemciye bağımlı slave (emir alan) durumunda bir sensör kontrolcü çekirdeği mevcuttur. Bu çekirdeği programlamak üzere Texas Instruments firmasının geliştirmiş olduğu Sensor Controller Studio gömülü yazılım aracını kullandık. Şekil 1.8'de akış şeması gösterildiği gibi Sistem standart durumda ana çekirdek uykuda sensör kontrolcü çekirdeği aktif olarak sensör verilerini okuyarak hafıza birimine yazmak ile görevli. Gerçek zaman saati ile (RTC) periyodik aralıklar ile ana çekirdeği uyandırmaya programladık.

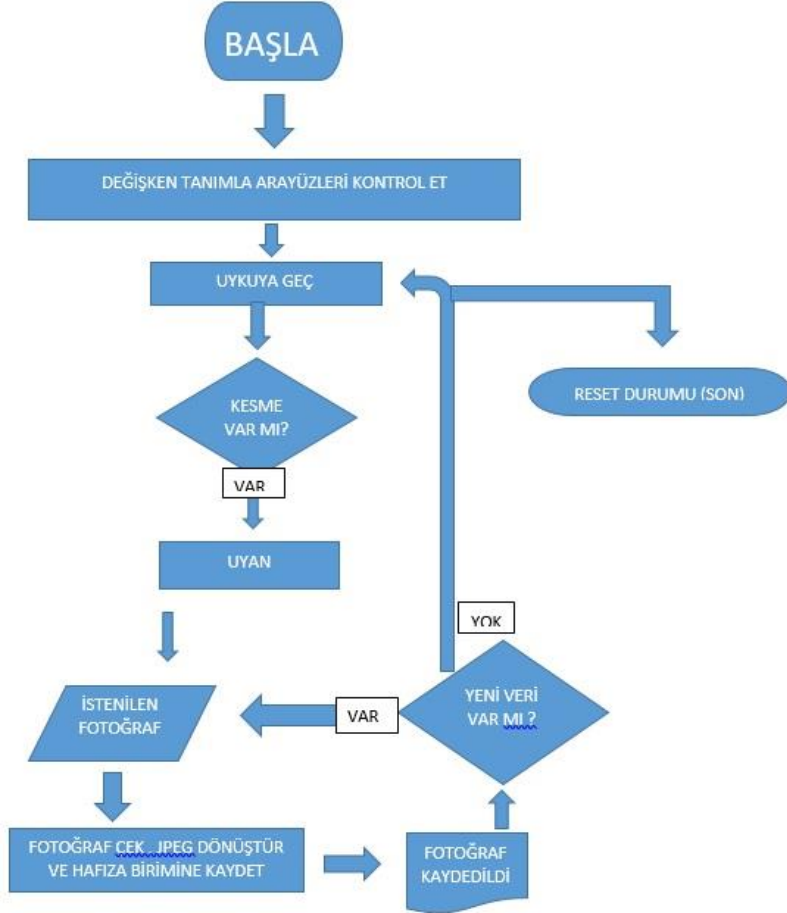
3.6.2. Main Core Programming



Şekil 1.9 Main Core Algorithm

CC1310 RF mcu'nun içerisinde gömülü bulunan ana çekirdek ARM Cortex M3 mimarisine sahiptir. Çekirdek tüm sistemin emir vericisi (master) durumdadır. Açılmasının ardından Şekil 1.9'da görüleceği üzere uykuya geçer. Sensör kontrolcü çekirdeği uyandırdığı zaman yer istasyonu ile RF çekirdeğini kullanarak iletişim kurmaya çalışır eğer iletişim var ise elde edilen veriler paketler halinde gönderilerek tekrar uykuya geçer. Güç tüketimini en alt düzeye indirmek için sürekli uyku durumunda olan kamera altsistemini yalnızca yer istasyonu tarafından istendiği zaman uyandırarak veri göndermesi istenir.

3.7 Camera Inteface System Programming



Şekil 2.0 Camera Interface Algorithm

Platformumuzu diğer çalışmalardan ayrı bir yere koyan en önemli ayrıntı üzerinde kamera bulundurabilmesi oldu. Deneysel Yıldız Tarayıcı (Karabulut, 2017) olarak da kullanılabilecek olan kameramız yer istasyonunun isteğine göre çekim yeteneğine sahiptir. Kamera Arayüz sistemi kendi içerisinde STM32L4 serisi bir mcu bulundurmaktadır. Bu mcu ARM Cortex M4 mimarisine sahiptir. Ana kontrol işlemci bütününe göre emir alan (slave) hafıza birimi ve kameraya göre emir veren (master) durumundadır. Şekil 2.0'da verilen algoritmasında görüldüğü gibi sistem açılışın ardından arayüz kontrollerini yapar kamerayı kapatır ve uyku haline geçer. Uyandırıldığı zaman ana işlemcinin istediği özelliklerde (çözünürlük, poz süresi, poz sayısı vb.), kamerayı uyandırarak görüntü alır. Ardından görüntü verilerini JPEG formatına getirerek hafıza birimine yazar. Bu bilgiyi ana işlemciye göndererek beklemeye başlar eğer yeni bir emir gelmezse tekrar uykuya geçer.

3.8 Announcement of Codes

Gömülü sistemlerde en sık kullanılan dillerden biri olan C dili ile kodladığımız sistemimizin bazı kod parçalarını vererek açıklamaya çalıştık. Bu proje gibi gömülü sistem uygulamalarında elbette aynı algoritma kullanılarak, kodlar elektronikteki son ürüne göre şekillenerek son halini almaktadır. Tüm kodlar geliştirdiğimiz ve ilgili bölümde belirtmiş olduğumuz algoritmalara göre yazılmıştır.

3.8.1 sensor_controller_engine_satellite.c

```
18
19 i2cStart();
20 i2cTx(0x86 | I2C_OP_WRITE);
21 i2cTx(0x04);
22
23 //Eğer Bağlantı başarılı ise
24 if (state.i2cStatus == 0x0000) {
25
26     // İvmeölçer i2c adresi 0x86 kabul edilerek , X/Y/Z eksen verileri alınır
27     i2cRepeatedStart();
28     i2cTx(0x86 | I2C_OP_READ);
29     i2cRxAck(output.x);
30     i2cRxAck(output.y);
31     i2cRxNack(output.z);
32 }
33 i2cStop();
34
35 // Hata var ise
36 if (state.i2cStatus != 0x0000) {
37
38 }
```

Uydu altsisteminin ana kontrol mikrodenetleyicisi içerisinde bulunan sensör kontrolcüsü çekirdeğinin Şekil 1.8 ‘de gösterilen algoritmasına göre kodladığımız Task’ın (Sensor Controller Studio içerisinde kod parçalarına verilen isimdir) bir parçası gösterilmiştir. Burada İvmeölçer sensörünün kontrolünün yapılarak veri alım işleminin yapılması açıklanmıştır. İlgili ayrıntılar yorum satırı olarak eklenmiştir.

3.8.2 main.c(ana çekirdek)

```
70 {
71
72     GPIO_init();
73
74
75     GPIO_write(Board_GPIO_LED0, Board_GPIO_LED_ON);
76
77
78     GPIO_setCallback(Board_GPIO_INT0, gpioInterruptFxn0);
79
80     /* Kesmenin açık hale gelmesi */
81     GPIO_enableInt(Board_GPIO_INT0);
82
83     return (NULL);
84 }
85
```

Sistemin yöneticisi durumdaki ana çekirdeğin güç tüketimini asgari düzeyde tutmak için kesmeler (interrupt) kullanılmaktadır. Sayfada genel giriş çıkış noktası üzerinden uyanarak kart üzerindeki LED’in yanmasını gösteren bir kod örneği verilmiştir.

```

103
104 /* Radyo Erişim Talebi */
105 rfHandle = RF_open(&rfObject, &RF_prop, (RF_RadioSetup*)&RF_cmdPropRadioDivSetup, &rfParams);
106
107 /*Frekans belirleme */
108 RF_postCmd(rfHandle, (RF_Op*)&RF_cmdFs, RF_PriorityNormal, NULL, 0);
109
110 /* Anlık zamanı çekme */
111 curtime = RF_getCurrentTime();
112 while(1)
113 {
114     /* Verilerin paket haline getirilmesi */
115     packet[0] = (uint8_t)(seqNumber >> 8);
116     packet[1] = (uint8_t)(seqNumber++);
117     uint8_t i;
118     for (i = 2; i < PAYLOAD_LENGTH; i++)
119     {
120         packet[i] = rand();
121     }
122
123     /* Otomatik güç yönetimini kullanmak gönderim zamanı belirleme */
124     curtime += PACKET_INTERVAL;
125     RF_cmdPropTx.startTime = curtime;
126
127     /* Paket Gönderme */
128     RF_EventMask result = RF_runCmd(rfHandle, (RF_Op*)&RF_cmdPropTx, RF_PriorityNormal, NULL, 0);
129     if (!(result & RF_EventLastCmdDone))
130     {
131         /* Hata */
132         while(1);
133     }
134
135     PIN_setOutputValue(ledPinHandle, Board_PIN_LED1, !PIN_getOutputValue(Board_PIN_LED1));
136 }
137 }

```

Uydu altsisteminin yer istasyonu ile iletişimini sağlayan gömülü RF çekirdeği ana çekirdek tarafından yönetilmektedir. Sayfada verilen parçada yer istasyonu ile iletimi sağlamak amacıyla veri kaybının önüne geçen paket gönderim yöntemi ile yazılmış bir kod mevcuttur. Ayrıntıları açıklama satırlarında mevcuttur.

3.8.2 kamera_arayuz.c (kamera arayüz sistemi)

```

uint8_t kamera_deger=0;
SCCB_Start();//port açılır
SCCB_WR_Byte(OV5640_ADDR);
    SCCB_WR_Byte(reg>>8);
    SCCB_WR_Byte(reg);
SCCB_Stop();

SCCB_Start();
SCCB_WR_Byte(OV5640_ADDR|0X01);
    kamera_deger=SCCB_RD_Byte();
    SCCB_No_Ack();//arayüzde herhangi bir aktivite olup olmadığını kontrol eder
    SCCB_Stop();//kapanır
    return kamera_deger;//islenen deger döndürülür

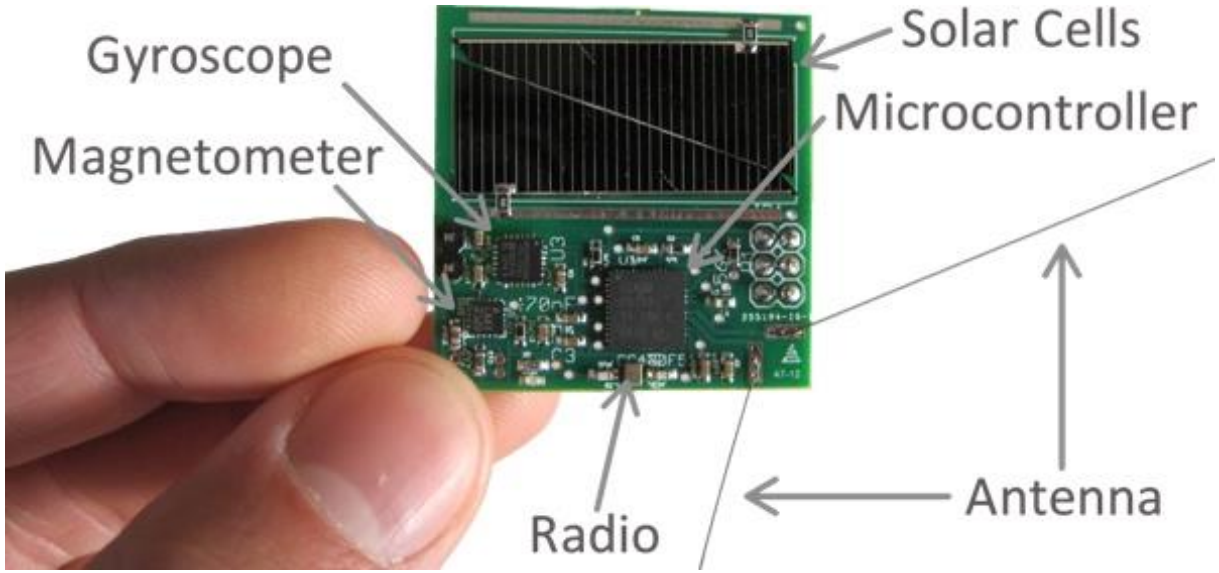
```

Uydumuzun görüntü alımını sağlayan kamerayı kullanmak üzere oluşturmuş olduğumuz kamera arayüz sistemi sccb ile dcmi arayüzlerini birleyerek görüntü sensörünün kullanımını sağlamakta. Bu sayfada yer alan kodda kamera arayüz çekirdeği arayüzünü kontrol altına alıyor. Ayrıntılar açıklama satırlarında mevcuttur.

Burada kodlarımızı açıkladığımız bölümün sonuna geldik. Algoritmaya bağlı kalarak güç tüketimi ve başarıyı önceleyerek projemizi kodladık.

4.0 Results and Discussions

Ülkemizde ve dünyada pek az örneği bulunan femto uydulara yönelik bir araştırma ardından geliştirme çalışması yaptık. Benzer diğer çalışmalardan biri Hintli bir gencin geliştirmiş olduğu KALAM-SAT mevcut bu uyduda amaç yalnızca 4 saat yörüngede kalarak elde ettiği sensör verilerini dünyaya aktarmaktı. 22 Haziran 2017 tarihinde de fırlatması gerçekleşti. Platformumuzun bu çalışmadan üstün yanları, tekrar şarj edilebilmek üzere güneş panelleri bulundurması, kamera bulundurması, daha küçük boyutlarda olması (Kalamsat yaklaşık 37 mm kenar boyutlarında bir küp, geliştirmiş olduğumuz platform ise yaklaşık 27 mm kenarlı bir küp) , daha uzun süreli ve çeşitli (örn. Serbest uzay araştırması) görevlere elverişli olması. Bir diğer çalışma ise Cornell Üniversitesinden Z. Manchester isimli doktora öğrencisinin (kicksat, 2011) geliştirmiş olduğu ve kickstarter platformu üzerinden fonlayarak uzaya göndermiş olduğu KickSat projesi jiroskop ve manyetometre verilerini dünyaya aktararak serbest uzayda veya dünya yörüngesinde görev yapmak amaçlı geliştirildi. İlk versiyonu olan KickSat 1 teknik bir arıza sebebiyle görevini gerçekleştiremedi. İkinci versiyonu geliştirilme aşamasında.



Şekil 2.1 KickSat Platformu Görseli

Platformumuzun bu çalışmadan üstün yanları üzerinde şarj edilebilir bir batarya bulundurarak ışık enerjisinin olmadığı ortamlarda da ölçüm yapabilmesi, üzerinde kamera bulundurması, daha küçük kenar yapısında olması (KickSat 35x35 mm boyutlarında bir tek kart, Geliştirmiş olduğumuz platform yaklaşık 27 mm kenarlı bir küp) ve daha güçlü işlem yapısı sıralanabilir. Zayıf yanı olarak da daha büyük bir hacme sahip olmasını söyleyebiliriz.

Projenin yazıldığı tarih olan 01.01.2018'te platformumuz üzerinde kamera bulundurabilen en küçük uydı sıfatını taşımaktadır.

5.0 Suggestions

Küçük uyduların popülerleşmesi elektronikteki gelişmelere paralel olarak ucuzlayan ürünlerin ulaşılabilirliğinin artması ile olmuştur. Projemizin geliştirme aşamasında pratikte el yapımı üretime elverişli olması maliyet olarak ucuz olması belirleyici unsurlardan biri oldu. Örnek verecek olursak el ile prototiplemeye uygun olması için 805 kılıflı direnç ve kapasitörler kullandık ve daha ucuz olması için 2 katlı bir pcb tasarladık. Bu yüzden eğer daha fazla bütçeye ve kalifiye kişiye sahip ekipler ar-ge çalışması yaparsa daha küçük boyutlar elde edilebilir.

Proje kapsamı, aynı kicksat projesinde olduğu gibi, 30x10 cm standartlarında bir 3U uydu yapısı içerisine çok sayıda femto uydunun konularak yaylı bir fırlatıcı ile uzayda ikinci bir dağılımını da içine alarak genişleyebilir.

Projede enerji ihtiyacı ve boyutları itibariyle iyon motorları tepki tekeri gibi hareket elemanlarına yer vermedik. Fakat farklı görevler dahilinde bu tür bir hareket elemanı da entegre edilebilir.

Projede kullandığımız kameramız yıldız tarama işlemi için deneysel nitelikte. Sadece yıldız tarama için geliştirilmiş kamera sistemlerinin yeniden tasarlanarak daha küçük boyutlara getirilebilmesi mümkün.

6.0 References

Sarı, Ö. (2010). İTÜpSAT1 Uydusunun Entegrasyonu ve Testleri. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) .İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akay, M.C. (2012). İTÜpSAT11: Yönelim Kontrolüne Sahip Nano Uydular İçin Yüksek Yeterlilikli Platform Geliştirilmesi. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) .İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Baş, M.E (2017). Küp Uydular İçin Tümlşik Uçuş Bilgisayarı ve Haberleşme Sistemi. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) .İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karabulut, B. (2017) Nano/Micro Uydular İçin Yıldız Tarayıcı Tasarımı. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) .İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deitel P./Deitel H. (2010) C How to Program, 6/e C Programlama Dili

Texas Instruments (2016) SimpleLink™ Sub-1 GHz Ultra-Low Power Wireless Microcontroller: <http://www.ti.com/product/CC1310>

Invensense (2016) MPU-9250 Product Specification : <http://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>

Bosch (2015) BME-280 Product Specification: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-11.pdf

Omnivision (2011) OV5640 : https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/OV5640_datasheet.pdf

St MicroElectronics (2017) STM32L4A6xG : <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l4a6rg.html>

Texas Instruments (2015) BQ25504 : <http://www.ti.com/product/BQ25504>

Texas Instruments (2017) Sensor Controller Studio : <http://www.ti.com/tool/sensor-controller-studio>

Texas Instruments (2017)Code Composer Studio: <http://www.ti.com/tool/CCSTUDIO>

Keil (2017) Arm Keil MDK : <http://www.keil.com>

Autodesk (2017) EAGLE : <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
Aslan, A. R. (2015) <http://www.hho.edu.tr/uzhaf/pdf/RustemASLAN.pdf>
KalamSat (2017) Wikipedia : https://en.wikipedia.org/wiki/Kalam_SAT
Manchester Z. (2011) Kicksat <http://kicksat.github.io>