

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM ROBOT VE KONTROL BİRİMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil DURMUŞ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM ROBOT VE KONTROL BİRİMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Halil DURMUŞ
(5041212366)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ece Olcay GÜNEŞ

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **504121366** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Halil DURMUŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“Otonom Robot ve Kontrol Birimi Tasarımı”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ece Olcay GÜNEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Nil Banu TARIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet ONAT
Sabancı Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **2 Haziran 2015**

ÖNSÖZ

Bu projenin tasarım ve gerçekleme kısımlarında çalışmalarımı yönlendiren ve her aşamada gerek bilgi gerekse motivasyon desteğini eksik etmeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ece Olcay Güneş'e, çalışmalarım ve hayatımın her safasında bana destek olan aileme teşekkür ederim.

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine projenin gerçekleştirilebilmesi için yapmış oldukları desteklerden ötürü teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana burs vererek destek olan TÜBİTAK BİDEB'e teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Halil DURMUş
(Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Tezin Tasarımı ve Genel Yapısı.....	4
2. ROBOTUN YAPISI.....	7
2.1 Robotun Genel Yapısı	7
2.2 Gövde Seviyesi	11
2.2.1 Robotun gövdesi	12
2.2.2 Motorlar ve tekerlekler.....	13
2.2.2.1 Robot ile birlikte gelen motorlar	13
2.2.2.2 Dördün kodlayıcılı motorlar.....	14
2.2.2.3 Kullanılan tekerlekler.....	17
2.2.3 Batarya	17
2.2.4 Batarya sıcaklık sensörleri	18
2.3 Kontrol Birimi Seviyesi	18
2.3.1 Motor sürücü kartı.....	21
2.3.2 Mesafe sensörleri	23
2.3.3 Beaglebone.....	26
2.3.4 Güç kartı.....	26
2.3.4.1 LPC1343 mikrokontrolörü	27
2.3.4.2 Gerilim düzenleyiciler.....	28
2.3.4.3 Akım sensörü	28
2.3.4.4 Batarya gerilimlerinin ölçümü ve koruma devresi.....	29
2.3.4.5 Sıcaklık sensörleri	30
2.3.4.6 Haberleşme.....	30
2.3.4.7 Şarj sistemi	30
2.3.4.8 Çıkış kontrol birimi	31
2.3.4.9 Güç kartı programlanması.....	31
2.3.5 Anakart.....	32
2.3.5.1 LPC1769 mikrokontrolörü	33
2.3.5.2 Gerilim düzenleyiciler.....	34
2.3.5.3 Sensör ve donanım güç kontrol.....	34
2.3.5.4 Dâhili olmayan birimler	35
2.4 Ek Birimler Seviyesi	35

2.4.1	Şarj Sistemi	35
2.4.1.1	Şarj girişi ve şarj güç girişi kontrol	35
2.4.1.2	Şarj cihazı	36
2.4.2	Görüntü Aktarma Sistemi.....	37
2.4.2.1	Kamera	38
2.4.2.2	Kamera yönlendirme sistemi.....	38
2.4.2.3	Görüntü aktarıcı ve görüntü alıcı	38
2.4.3	Açı ve Konum Sensörleri	38
2.4.3.1	Kartın Tasarımı	39
2.4.4	Kablosuz Haberleşme Kartı	40
3.	YAZILIM YAPISI VE KONTROL YÖNTEMLERİ	41
3.1	Yazılım Yapısı.....	41
3.1.1	Güç kartının programları	41
3.1.1.1	Ana program.....	42
3.1.1.2	Başlatma butonu kesmesi	43
3.1.1.3	Zamanlayıcı kesmesi	44
3.1.2	Açı ve konum sensörleri kartının programları	45
3.1.3	Beaglebone kartının programları.....	47
3.1.4	Merkez bilgisayarın programları	47
3.1.5	Ana kartın programları	48
3.1.5.1	Sürme, sensör ve haberleşme seviyesi	49
3.2	Kontrol Yöntemleri	56
3.2.1	Sensör birleştirme ve kontrol seviyesi	56
3.2.1.1	Manuel Kontrol	56
4.	SONUÇ	61
	KAYNAKLAR.....	63
	EKLER.....	65
	ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

ADC	: Analog to Digital Converter (Analogdan Dijitale Çevirici)
Ah	: Amper Hour (Amper Saat)
CAN	: Controller Area Network (Kontrolcü Alan Ağı)
DAC	: Digital to Analog Converter (Dijitalden Analoga Çevirici)
DMA	: Direct Access Memory (Doğrudan Erişimli Bellek)
DIP	: Dual In-Line Package (İki Sıralı Paket)
E2PROM	: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (Elektriksel Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek)
eMMC	: Embedded Multi Media Card (Gömülü Çoklu Ortam Kartı)
GFSK	: Gaussian Frequency – Shift Keying (Gauss Frekans Kaydırmalı Anahtarlama)
GPIO	: General Purpose Input and Output (Genel Amaçlı Giriş ve Çıkış)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
I²C	: Inter – Integrated Circuit (Entegre Arası Devre)
IDE	: Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)
IMU	: Inertial Measuring Unit (Eylemsizlik Momenti Ölçme Birimi)
LiPo	: Lityum Polimer
NTC	: Negative Temperature Coefficient (Negatif Sıcaklık Katsayısı)
NVIC	: Nested Vectored Interrupt Controller (İç İç Vektörlü Kesme Denetleyicisi)
PAL	: Phase Alternating Line (Faz Değiştiren Hat)
PID	: Propotional Integral Derivative (Oransal İntegral Türev)
PRU	: Programmable Realtime Unit (Programlanabilir Gerçek Zamanlı Birim)
PTC	: Positive Temperature Coefficient (Pozitif Sıcaklık Katsayısı)
RAM	: Random Access Memory (Rastgele Erişimli Bellek)
RPM	: Rate Per Minute (Dakikada Dönüş Sayısı)
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevre Birimi Arayüzü)
SRAM	: Static Random Accces Memory (Statik Rastgele Erişimli Bellek)
SSP	: Synchronous Serial Port (Senkron Seri Port)
UART	: Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı ve Verici)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Yolu)
WD	: Wheeled Drive (Tekerlekli Sürüş)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: DAGU 6WD robot platformunun özellikleri (DAGU, t.y.).	13
Çizelge 2.2: Kullanılan motorların özellikleri (Pololu, t.y.).	14
Çizelge 2.3: Batarya özellikleri (Hobbyking, t.y.).	17
Çizelge 2.4: Motor sürücüsünün özellikleri (Sparkfun, t.y.).	23
Çizelge 2.5: Mesafe sensörlerinin özellikleri (Maxbotix, t.y.).	25
Çizelge 2.6: Kablosuz haberleşme kartının özellikleri (Dorji, t.y.).	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: (a) Endüstriyel robot kolu (KUKA Robotics, 2015). (b) “Curiosity” tekerlekli mobil robot (NASA, 2012).....	2
Şekil 1.2: Tezin tasarımının ve genel yapısının şeması.....	6
Şekil 2.1: Robotun son görünümü.....	7
Şekil 2.2: Robotun genel diyagramı.....	8
Şekil 2.3: Robotun seviyelerinin gösterimi.....	10
Şekil 2.4: Gövde seviyesinin diyagramı.....	11
Şekil 2.5: Gövde seviyesi gerçekleşmiş hali.....	12
Şekil 2.6: Dördün kodlayıcının A ve B kanallarındaki sinyaller.....	15
Şekil 2.7: Dördün kodlayıcı kesme algoritması.....	16
Şekil 2.8: Kontrol birimi seviyesinin diyagramı.....	19
Şekil 2.9: Kontrol birimi seviyesinin gerçekleşmiş hali.....	20
Şekil 2.10: H köprüsü yapısı.....	21
Şekil 2.11: Mesafe sensörlerinin yerleşim planı.....	24
Şekil 2.12: Güç kartının diyagramı.....	27
Şekil 2.13: Gerilim bölücü ve koruma devresi.....	30
Şekil 2.14: Çıkış kontrol birimi.....	31
Şekil 2.15: Anakartın diyagramı.....	34
Şekil 2.16: Ek birimler seviyesinin diyagramı.....	36
Şekil 2.17: Ek birimler seviyesinin gerçekleşmiş hali.....	37
Şekil 2.18: Bir uçağın üzerinde Euler açılarının gösterimi (CH Robotics,t.y.).....	39
Şekil 2.19: Açı ve konum sensörleri kartının donanımsal tasarımı.....	40
Şekil 3.1: Yazılım yapısının diyagramı.....	41
Şekil 3.2: Ana programın akış diyagramı.....	42
Şekil 3.3: Başlatma butonu kesmesinin akış diyagramı.....	44
Şekil 3.4: Zamanlayıcı kesmesinin akış diyagramı.....	45
Şekil 3.5: Açı ve konum sensörleri kartının akış diyagramı.....	46
Şekil 3.6: Merkez bilgisayarda hazırlanan program.....	48
Şekil 3.7: PID kontrol diyagramı.....	49
Şekil 3.8: Servo motor haberleşmesi için kullanılan PWM sinyali.....	50
Şekil 3.9: Haberleşme algoritması.....	52
Şekil 3.10: Örnek haberleşme paketi.....	54
Şekil 3.11: Ana programın akış diyagramı.....	57
Şekil 3.12: Robotun hız vektörlerinin gösterimi.....	58
Şekil 3.13: Merkez bilgisayar ile haberleşme programının akış diyagramı.....	59
Şekil A.1: Robotun gerçekleşmiş halinin üstten görünümü.....	66
Şekil A.2: Gövde seviyesinin gerçekleşmiş halinin değişik açılardan görünümü: (a)Yandan. (b)Üstten.....	66
Şekil A.3: Kontrol birimi seviyesinin gerçekleşmiş halinin değişik açılardan görünümü: (a)Yandan. (b)Altan. (c)Üstten.....	67
Şekil A.4: Ek birimler seviyesinin gerçekleşmiş halinin yandan görünümü.....	68

Şekil B.1: Lityum – iyon bataryalar için güvenli çalışma aralığı (Lu ve diğ., 2013).	69
Şekil C.1: Beaglebone üzerinde çalıştırılan görüntü işleme algoritması.	70

OTONOM ROBOT VE KONTROL BİRİMİ TASARIMI

ÖZET

Mobil robotlar günümüzde tarım, mayın tarama, askeri uygulamalar, uzay araştırmaları ve insanların erişemediği veya nükleer santraller gibi insanlara zararlı ortamlarda kullanılmaktadırlar. Ancak bu robotların bazıları bir operatörden bağımsız olarak, diğer bir deyişle otonom olarak çalışmaktadırlar. Dünyada çeşitli alanlarda kullanılmak üzere otonom robot geliştirmek için bir yarış vardır.

Bu tezde çeşitli alanlarda kullanılmak üzere (öncelikli olarak tarım alanında) otonom robot ve kontrol ünitesi tasarlanmıştır ve gerçekleştirilmiştir. Projede tasarım yapılırken modülerlik, düşük maliyet, yerli üretime katkı, çevre şartlarına uygunluk ve özgünlük özelliklerine sahip bir robot tasarlanmaya çalışılmıştır. Robotun kontrol ünitesinin robotun taşıyıcı platformundan bağımsız olmasına dikkat edilmiştir. Çünkü projede kullanılan platformun amaca ve kullanılacağı araziye uygun olarak değiştirilebilmesi istenmektedir.

Tasarlanan kontrol ünitesi içinde batarya kontrol sistemi, bütün sensör verilerini işleyen, diğer kartlarla haberleşen ve robotun motorlarını süren bir anakart ve görüntü işleme görevlerini yerine getirebilecek olan bir mini bilgisayar bulunmaktadır. Anakart aç ve konum sensörleri, mesafe sensörleri, tekerlek hızını ölçen sensörler ve diğer kartlardan bilgiler alarak robotun tekerleklerini motor sürücü vasıtasıyla sürmektedir. Robot platformu altı tekerlek ve alüminyum bir iskeletten oluşmaktadır. Her tekerlek ayrı bir motor tarafından sürülmektedir. Robot kızaklı yönlendirme metodunu kullanarak hareket etmektedir. Yani robotun sağ üç motoru ayrı, sol üç motoru ayrı kontrol edilmektedir. Kızaklı yönlendirme metodu, diferansiyel yönlendirme metoduna çok benzemektedir.

Robotun küçük ve modüler olması istendiği için robot tasarımı üç ayrı seviye halinde yapılmıştır. Bu seviyeler sırasıyla gövde seviyesi, kontrol birimi seviyesi ve ek birimler seviyesidir. Gövde seviyesinde robotun iskeleti, motorları ve bataryaları bulunmaktadır. Gövde seviyesine araç geliştirilirken değişiklik yapılması istenmeyen parçalar yerleştirilmiştir. Ayrıca gövde seviyesi, platforma özgü bir seviyedir. Gövde seviyesi paletli, dört tekerlekli, altı tekerlekli bir platform olabilir. Hatta diferansiyel yönlendirme ile kontrol edilebilen bir deniz aracı bile olabilir. Kontrol birimi seviyesinde, robot için tasarlanmış olan kontrol ünitesi bulunmaktadır. Kontrol birimi seviyesi için kısaca robotun beyni denilebilir. Ek birimler seviyesinde ise amaca uygun parçalar bulunmaktadır. Örneğin, aracın açık arazilerde otonom hareket etmesi istendiği için ek birimler seviyesine aç ve konum sensörleri eklenmiştir. Ek birimler seviyesi, gelecekte robota dâhil edilebilecek birimlerin ekleneceği seviye olarak tasarlanmıştır.

Sonuç olarak, çeşitli amaçlara uygun olan bir otonom mobil robot ve kontrol ünitesi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Şu anda robot manuel kontrol ve merkez ile haberleşme görevlerini yerine getirmektedir. İlerleyen çalışmalarda görüntü işleme ve kontrol yöntemleri uygulanarak robotun otonom hareket etmesi sağlanacaktır.

Robotun ilk olarak tarım alanlarındaki ürün sıraları arasında otonom hareket edebilmesi için açı, konum ve mesafe sensörlerinden aldığı bilgileri, görüntü işleme kartından gelen bilgiler ile birleştirmesi hedeflenmektedir.

DESIGN OF AUTONOMOUS ROBOT AND CONTROL UNIT

SUMMARY

Mobile robots are used at agriculture, land mine searching and disarming, military, space explorations, and other applications where the environment is dangerous or inaccessible to human. In some of these applications, robots perform tasks autonomously. These robots are called autonomous robots. Today in the World, there is race to develop autonomous robot in diversity of fields.

In this thesis, an autonomous robot and its control unit are designed to be used in various fields (especially in agriculture). At the design stage, aim is to create a robot that is modular, low-cost to manufacture, contributing to domestic production, suitable against environmental conditions and original. Control unit of robot has been noted to be independent from the carrier platform. Because it is desired to change robot platform according to intended use and environmental conditions. Designed control unit consists of battery management system, main board and beaglebone (a mini computer board).

In every vehicle, robot or electronic device that powered by Lithium Polymer (LiPo), or similar chemistry batteries must be used with battery management system. Because these battery types have operating voltage, current and temperature range. Out side of this operating range can be dangerous or could result battery death. For example, if LiPo battery is overheated because of high current drawn, it may be explode or burn. Another example, if battery is overdrained, it may die and never work again. To avoid these situations battery pack must be monitored all time.

In this thesis, battery management system is implemented on power board. Power board has ARM Cortex – M3 processor powered LPC1343 micro controller unit. MCU monitors battery voltages, battery temperatures and current that drawn by other parts of robot. Power board always monitors battery state and sends monitored data to mainboard. Power board also controls separated charger. Beacause of limited time, power board only controls connection between charger and battery pack. If input voltage, which comes externally to robot, is sufficient, then power board connects charger to battery. In future, charge operations will be implemented on power board.

Another part of control unit is main board. Main board acts as the brain of the robot. Main board reads all sensors' data, communicates with station, angle and position sensors board, power board and beaglebone, and controls the motors via the motor driver board according to calculations. Main board has ARM Cortex – M3 processor powered LPC1769 MCU. This MCU is faster and has more peripheral than power board's MCU.

Robot platform consists of an aluminium chassis on six wheels. Three wheels on the right and left. Every wheel is driven by one brushed dc motor. Drive method of robot is skid – steering method. Skid – steering is very similar to differential drive. In short, main board separately controls the three motors on the left and the three motors on the right to steer robot. Advantages of skid – steering method is less moving parts means

there is no explicit steering mechanism and this method has more traction. Disadvantages are straight – line travel can be difficult to achieve and skidding cause wheels to lose contact with the ground, which means odometry sensors, cannot accurately track the position of the vehicle.

In addition, robot platform has suspensions at every wheel and wheels are suitable for field conditions. As described earlier, control unit was designed independently from robot platform. This means control unit can drive any skid-steering vehicle and any type of control algorithm can be implemented on control unit.

Main board gathers data from eight distance sensors, two quadrature encoder sensors, angle and position sensors, power board, beaglebone and station via wireless communication board. Also sends data and last state to station. Distance sensors are placed to cover every side of the robot. Distance sensors are used for environment awareness and collision avoidance. These sensors use soundwaves to measure distance. To prevent interference between sensors, all sensors are used in chain algorithm.

Quadrature encoders are attached to middle left and middle right motors to implement PID control with using feedback. By using PID control, motors on the left and right side can be driven more accurately.

Angle and positions sensors board consists of three parts. First one is inertial measuring unit (IMU) sensors board. IMU board has three axis gyroscope, three axis accelerometer and three axis magnetometer chips. Position sensor is well – known global positioning system (GPS), which finds longitude and latitude of robots position. Third part is MCU board. On this board there is a ATMEGA328P MCU, which can be programmed by Arduino. MCU board gathers data from IMU and uses sensor fusion algorithm to find Euler angles of robot, encodes GPS sensor packets to find position, and sends these gathered and calculated data to main board. There is a many IMU and GPS applications and programs on the internet. In thesis, these programs are adjusted for the IMU and GPS chips. Also some filter algorithm are implemented to get more stable values.

Main board and power board MCU's are programmed from register level to system level. These MCU's programmed from low level to use MCU's at high speed, efficient and gain control of program at any level. For both MCU, peripheral libraries are created or pre-built libraries are reprogrammed.

Last part of the control unit is beaglebone black board. This board is mini computer. This board added to control unit because of image processing tasks. But image processing will be implemented in the future.

Hardware design of robot is performed in three levels. Because, one of the design criteria was modularity and there was too many parts. This levels are body level, control unit level and additional units level. Body level consists of robot chassis, motors, batteries and some sensors. Parts in the body level are stationary and unique to robot platform. Control unit level act as a brain of robot. Control unit level is detachable, so that changes can be made. Additional units level was designed application specific. Angle and position sensors board, live video transmitter, charger and cameras for image processing are added to additional units level. Every level connected to each other by power or signal cables.

Now, robot can be controlled manually from station. In manual control operator sends directions to robot from station by using joystick or keyboard. Robot calculates

movement according to operator directions and sensor data. First autonomous application of robot will be IMU and GPS controlled movement at open fields. This section is prepared, but not tested.

As a result low-cost and modular robot and control unit was designed and implemented. In the first stage, project goal was design a robot which acts as a development platform.

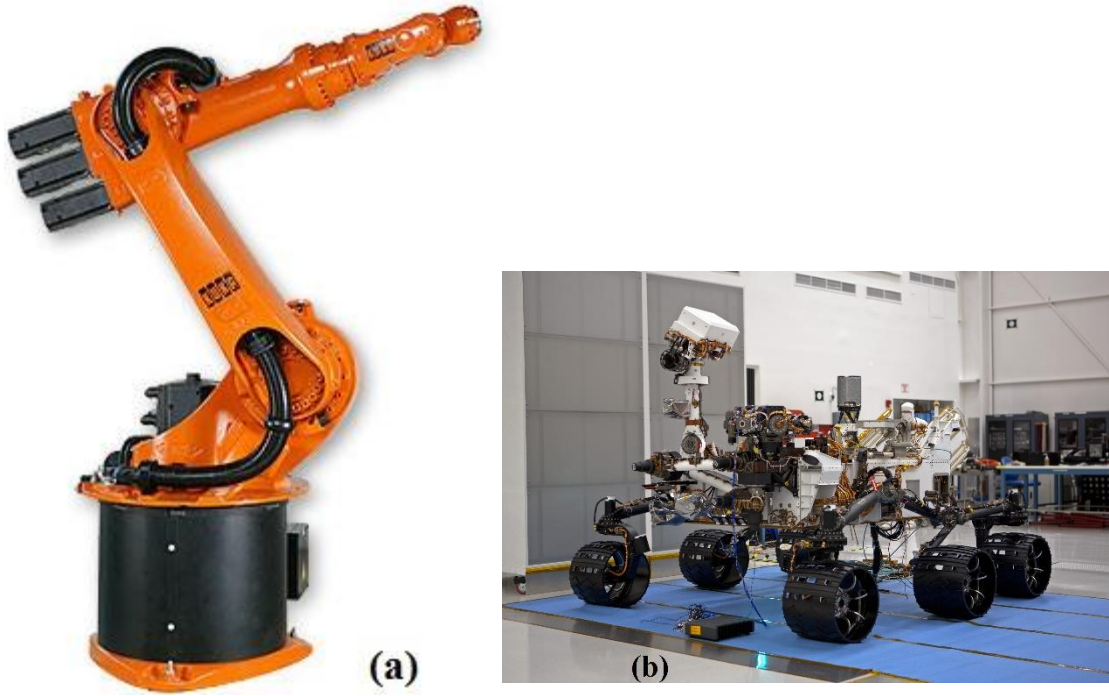
Next stage of the work will be implement control algorithms or methods, such as sliding mode control or fuzzy logic control methods on control unit. Also image processing capabilities will be added to robot. The robot is initially intended to be used to collect data in the fields of agriculture.

1. GİRİŞ

Robot, otonom veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro – mekanik bir cihazdır. Otonom robotlar, sensörleri sayesinde çevreden edindiği bilgilere göre hareket eden ve verilen görevleri kendi kendine yerine getiren robotlardır. Bu robotları geliştirirken en büyük ilham kaynağı canlılardır. Örneğin, pek çok hayvanda ve insanlarda iki göz bulunur, beyin iki gözden gelen sinyalleri işleyerek derinlik algısı oluşturur. Bu durumdan ilham alan araştırmacılar stereo görme tekniğini robotlar üzerinde kullanmaya başlamışlardır. Aynı şekilde yarasaların gözleri bulunmamaktadır. Yarasalar gönderdikleri ses dalgaları ile yön tayin etmektedirler. Bu durumu inceleyen bilim adamları yüksek frekanslı (insan kulağının algılayamadığı frekanslarda) ses dalgalarını hoparlör vasıtasıyla gönderen ve mikrofon vasıtasıyla geri alan mesafe sensörleri geliştirmişlerdir. Son zamanlarda ise bu sensörlerden gelen verileri birleştiren ve oluşturduğu bu bilgiler ile karar veren otonom robotlar geliştirilmektedir.

Robot denilince akla ilk olarak insan gibi yürüyen robotlar gelmektedir. Aslında kullanılan robotların pek çoğu yerinden hareket etmemektedir. Bu robotlar endüstriyel amaçlı kullanılan robot kollarıdır. Şekil 1.1 (a)'da örnek bir endüstriyel robot kolu bulunmaktadır. Yine hareketli robot denilince ilk düşünülen insan veya hayvan yapısındaki robotlardır. Ancak bu tipteki robotlar çoğunlukla ilk örnek aşamasındadır. En çok kullanılan hareketli robot türleri tekerlekli veya paletli hareket sistemi kullanılmaktadır. Şekil 1.1 (b)'de Mars gezegeninde aktif olarak kullanılan “Curiosity” robotu görülmektedir.

Günümüzde otonom robot geliştirmek için ülkeler ve kurumlar birbirleriyle yarışmaktadırlar. Bu yarışın nedeni soğuk savaş yıllarında uzaya araç gönderme yarışında olduğu gibi, saygınlık veya teknoloji seviyesini dünyaya göstermek ve bazı sektörlerde (savaş, tarım vb.) insan gücünden daha verimli bir iş gücü elde etmektir. Ayrıca bu yarışta ekonomik sebepler de büyük rol oynamaktadır. Ülkemizde ise bu sektörün önü açılmaktadır ve teknoloji yarışında diğer ülkelere yetişebilmek için otonom robotlara daha fazla ağırlık verilmelidir.



Şekil 1.1: (a) Endüstriyel robot kolu (KUKA Robotics, 2015). (b) “Curiosity” tekerlekli mobil robot (NASA, 2012).

1.1 Tezin Amacı

En genel anlamda bu tezin amacı düz olmayan arazilerde otonom ve manuel olarak hareket edebilen, üzerinde araştırma ve geliştirme yapmaya uygun bir robot ve kontrol birimi tasarlamaktır. Tasarım yapılırken robotun aşağıdaki özelliklere sahip olması hedeflenmiştir.

- **Modülerlik:** Robotun üzerine amaca uygun birimlerin (sensör, motor ...) eklenip çıkarılabilmesi ve robotun bu birimleri kontrol edebilmesi.
- **Düşük Maliyet:** Piyasada birçok mobil robot bulunmaktadır. Ancak bu robotların fiyatları yüksek olduğundan araştıma ve geliştirme maliyetlerini yükseltmektedir. Ayrıca hazırlanan projenin üretime geçmesi durumunda hazır robotlara göre üretim yapılması maliyeti arttıran ayrı bir etkidir.
- **Yerli Üretim:** Yerli üretim maliyeti azaltan ve özgünlüğü arttıran bir diğer unsurdur. İlk tasarlanan kartlar, aracın akrilik kaplaması ve hazırlanan programlar yurtiçinde hazırlanmıştır. İkinci aşamada aracın iskeletinin de yurtiçinde üretilmesi planlanmaktadır.

- **Çevre şartlarına uygunluk:** Geliştirilen robotun ilk olarak tarım arazilerinde kullanılması hedeflenmektedir. Bu nedenle bu şartlara uygun bir iskeleti olması gerekmektedir.
- **Özgünlük:** Piyasada bulunan birçok robot (geliştirme amaçlı robot) Arduino temelli olarak çalışmaktadır. Bu robotların pek çoğu birbirine benzemektedir ve akademik olarak bir artı sağlamamaktadırlar. Bu robotlar tak-çalıştır mantığıyla çalışmaktadırlar. Bu projede ise ARM temelli mikrokontrolcüler ve üzerinde gerçek zamanlı gömülü Linux işletim sistemi çalışan bir mini bilgisayar kullanılmıştır. Ancak zaman kazanmak ve konunun dağılmaması için aç sensörlerinin verisini işlemek amacıyla Arduino programı üzerinde hazır programlar kullanılarak programlanmış bir mikrokontrolcü kullanılmıştır.

Tasarlanan robotun ilk olarak tarım alanında çalışması hedeflenmektedir. Bu nedenle ileride robot üzerine tarıma yönelik sensör, robot kol, gibi birimlerin eklenmesi ve kontrol algoritmasının bu birimlere göre düzenlenmesi planlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Bu bölümde literatüre geçmiş ve bu projeye örnek olan bazı robotlardan ve çalışmalardan bahsedilecektir. Tasarlanan robotun ilk olarak tarım arazilerinde kullanılması hedeflenmektedir. Bu nedenle araştırma şu ana kadar tasarlanan tarımsal otonom robotlar üzerinden yapılmıştır.

Yaghoubi ve diğ. (2013) dünya çapında hassas tarım teknolojileri alanlarında yapılan geçmiş yıllardaki çalışmaların gelişimlerini ve şu anki durumları hakkında genel bir bakış oluşturmuşlardır. Tarımsal araçların yönlendirme teknolojileri ile ilgili geniş bir inceleme yapmışlardır.

Xue ve Xu (2010) robot platformunu tarla içindeki ürün sıraları arasında bağımsızca sürebilmek için görüntü tabanlı sıra takip metodu önermişlerdir. Bu robot gerçek zamanlı görüntü işleyerek yön tayini yapmaktadır. Robot, dört tekerlekli bir iskelet üzerine kurulmuştur ve her tekerleği bir motor kontrol etmektedir. Robot içinde güç kaynağı, taşınabilir bilgisayar, motor kontrolcü gibi elemanlar bulunmaktadır.

Ko ve diğ. (2013) çalışmalarında tarımsal uygulamalar için dört tekerlekli sürüş platformu üzerinde görüntü tabanlı otonom sürüşü sunmuşlardır. Çalışmada

geliştirilen sürüş platformu herhangi bir yol deseni üzerinde otonom olarak sürülebilmektedir. Bu çalışmanın ana katkısı mobil robotun herhangi bir yol desenini takip edebilmesi için geliştirilen benzersiz yönlendirme yöntemidir.

Xue ve diğ. (2012) tarımsal robotun mısır tarlalarının sıraları arasında hareket edebilmesi için yeni bir değişken görüntü alanı kullanan yeni bir yapay görme metodu önermişlerdir. Kullanılan robot dört tekerlekli ve iki motorlu bir iskelete sahiptir. Robotun hareket kontrolü için kızıllı yönlendirme metodu kullanılmıştır.

Biber ve diğ. (2012) lidar, imu ve gps sensörlerinden aldığı veriler ile tarla içinde sıraları belirleme, sıralar içinde hareket ve haritalama gibi işlemler yapabilen Bonirob robotunu geliştirmişlerdir. Bu robot her tekerleği motorlu ve her motorun bir robot kol benzeri bir sisteme bağlı olduğu bir platform üzerinde çalışmaktadır. Robot dört seviyeli bir program tarafından kontrol edilmektedir. Bu seviyelerin en altında motor sürme işlemleri, en son seviyede haritalama ve tarla sıraları içinde yön bulma işlemleri bulunmaktadır.

González ve diğ. (2009) seralar içinde tarımsal mobil robotların yönlendirme metodları üzerine çalışmışlardır. Hem ihtiyatlı hem de sözde – reaktif teknikler kullanarak mobil robotların seralar içindeki hareket problemini çözmüşlerdir. Çalışmalarında Almeria Üniversitesinde geliştirilen “Fitorobot” mobil platformunu kullanmışlardır. “Fitorobot” platform diferansiyel sürüş yöntemiyle hareket etmektedir. Platform, zeminle geniş temas alanı sağlayan iki lastik paletten oluşmaktadır. Robot üzerinde ses ile çalışan mesafe sensörleri, magnetik pusula, artan kodlayıcı, radar ve güvenlik sensörleri bulunmaktadır.

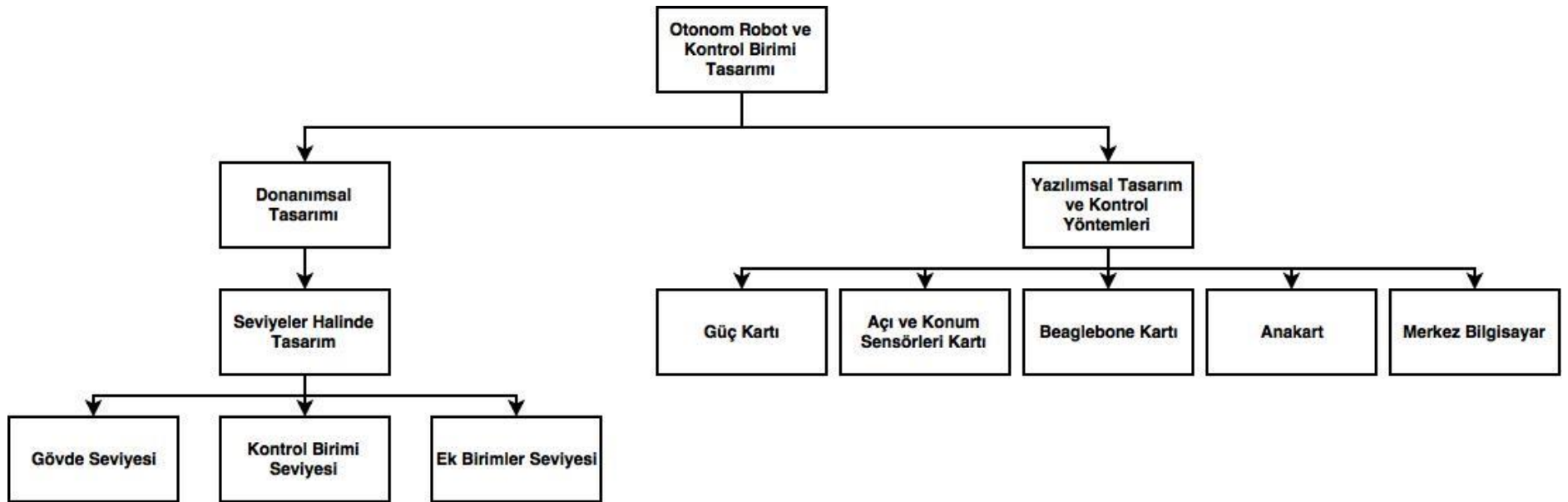
1.3 Tezin Tasarımı ve Genel Yapısı

Şekil 1.2’de tezin tasarımının ve genel yapısının şeması gösterilmiştir. Şekil 1.2’den görüldüğü üzere tezin tasarımı iki bölüme ayrılmıştır. Dolayısıyla tezin yapısı da iki ana başlık altında anlatılmıştır.

Bölüm 2’de robotun yapısı başlığı altında robotun donanımsal tasarımından bahsedilmiştir. Bölüm 2’de ilk olarak robotun genel yapısından ve robotun üzerindeki parçalardan kısaca bahsedilmiştir. Şekil 1.2’den görüldüğü üzere robot seviyeler halinde tasarlanmıştır. Bu seviyeler robotun taşıyıcı platformunun bulunduğu gövde seviyesi, robotun beyni gibi çalışan kontrol birimi seviyesi ve robotun üzerindeki

amaca yönelik birimlerin bulunduğu ek birimler seviyeleridir. Bölüm 2’de bu seviyelerde bulunan birim, parça ve sensör gibi elemanların neden kullanıldığı, bu parçaların neye göre seçildiğı ve seçilen parçaların nasıl kullanıldığı anlatılmaktadır.

Bölüm 3’de ilk önce robotun üzerinde bulunan güç kartı, açı ve konum sensörleri kartı, beaglebone kartı, anakart ve robotu dışardan kontrol etmeye yarayan merkez bilgisayar için yazılmış programlar anlatılmıştır. Bölüm 3’ün devamında kullanılan kontrol yöntemlerinden bahsedilmiştir.



Şekil 1.2: Tezin tasarımının ve genel yapısının şeması.

2. ROBOTUN YAPISI

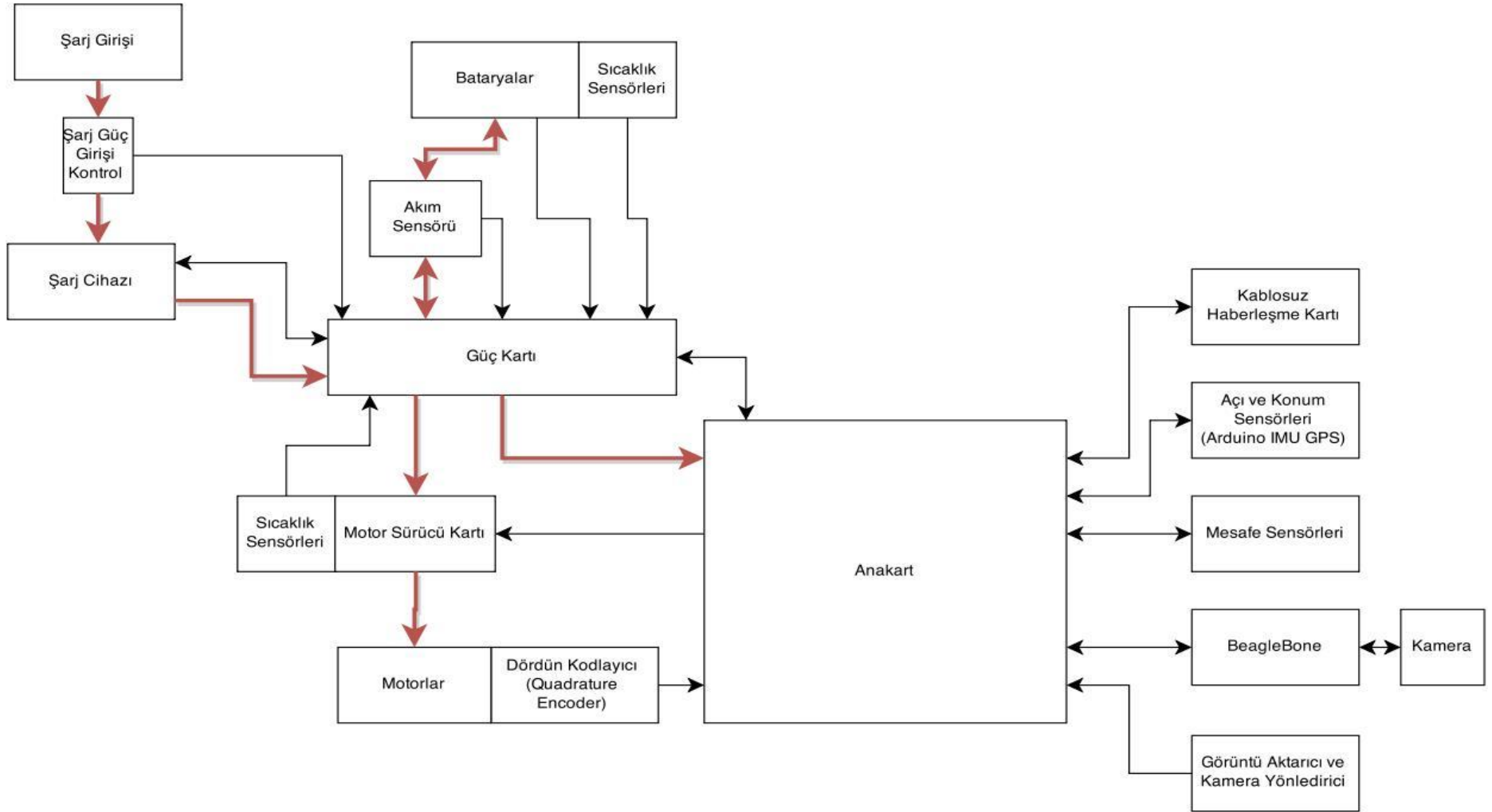
Bölüm 2’de projede kullanılmak üzere tasarlanan robotun donanımsal tasarımı anlatılmıştır. İlk olarak robotun genel yapısından bahsedilmiş, ardından robotun seviyeleri ve bu seviyelerde kullanılan birimler anlatılmıştır.

2.1 Robotun Genel Yapısı

Şekil 2.1’de robotun tezin amacına yönelik tasarımının gerçekleşmiş hali görülmektedir. Şekil 2.2’de ise robotun genel diyagramı gösterilmiştir. Tezin gerçekleştirme aşamasında, Şekil 2.2’deki diyagram arazi şartlarına uygun bir platform üzerinde seviyeler halinde gerçekleştirilmiştir. EK A bölümünde robotun değişik açılardan çekilmiş fotoğrafları bulunmaktadır.



Şekil 2.1: Robotun son görünümü.



Şekil 2.2: Robotun genel diyagramı.

Şekil 2.2’de olan parçalar aracın seviyeleri anlatılırken daha ayrıntılı olarak görülecektir. Ancak robotun yapısının özetlenmesi açısından kullanılan parçaların görevleri kısaca şöyledir:

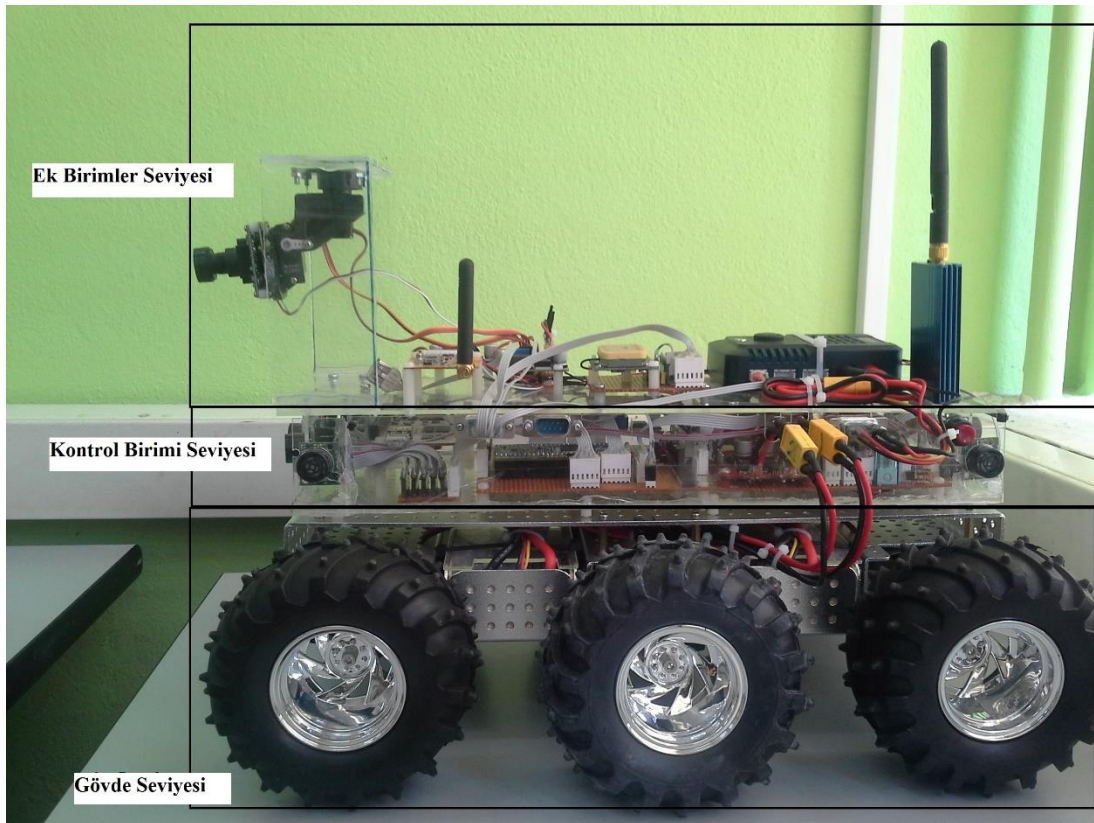
- **Bataryalar:** Aracın güç kaynağını oluşturmaktadırlar. Araç üzerinde iki tane birbirine paralel olarak iki hücreli 6Ah Li - Po bataryalardan kullanılmıştır.
- **Motorlar:** Araç üzerinde üç tane sağda, üç tane solda olmak üzere altı motor bulunmaktadır. Bu motorlar diferansiyel sürüş sistemi ile sürülmektedir.
- **Dördün Kodlayıcı Sensörleri:** Bu sensörler sağ ve sol orta motorlarda bulunmaktadır. Bu sensörler sayesinde motorların pozisyonları ve hızları ölçülebilmektedir.
- **Motor sürücü kartı:** Motor sürücü kartı adından da anlaşılacağı üzere araç üzerindeki motorları, anakarttan gelen sinyaller doğrultusunda sürmektedir.
- **Güç kartı:** Güç kartı aracın batarya sistemini kontrol eden karttır. Bu kart batarya, akım sensörü, sıcaklık sensörü ve şarj girişinden gelen sinyallere göre bataryaları ve sistemi kontrol eder, sürer, korur ve şarj eder.
- **Şarj cihazı:** Şarj cihazı güç kartının kontrolü ile şarj girişine gelen gerilimi bataryaları önceden ayarlı bir akım değerinde şarj eder.
- **Anakart:** Anakart mesafe sensörü, güç kartı, aç ve konum sensörleri, görüntü işleme kartı ve dördün kodlayıcıdan gelen veriler ile motorları kontrol eder. Kablosuz haberleşme kartı sayesinde bilgisayar ile bilgi alış – verişini yapar. Ayrıca sensörlerin ve diğer birimlerin besleme girişlerini kontrol eder.
- **Kablosuz haberleşme kartı:** Bu kart merkez bilgisayar ile veri alış – verişini sağlar.
- **Aç ve konum sensörleri:** Bu kart üzerinde bir mikrokontrolör vasıtasıyla IMU sensörlerinden gelen veriler ile sensör füzyonu yapılarak aç bilgisi ve GPS sensörü sayesinde konum bilgisi elde edilir.
- **Mesafe sensörleri:** Aracın etrafında sekiz tane ses ile çalışan mesafe sensörü bulunmaktadır. Bunlar sayesinde araç, çevresindeki engellerin farkına varabilmektedir.
- **Görüntü işleme kartı:** Bu kart, üzerinde Linux işletim sistemi çalışan bir mini bilgisayardır. Bu kart üzerinde görüntü işleme yapılmaktadır.

- **Görüntü aktarıcı ve kamera yönlendirme sistemi:** Manuel kontrol sırasında araçtan canlı görüntü alabilmek için kablosuz görüntü aktarıcı ve istenilen yönden görüntü alabilmek için kamera yönlendirme sistemi bulunmaktadır.

Robotun Şekil 2.2'deki tasarımı seviyelere bölünmüştür. Bunun sebepleri şunlardır:

- Robot üzerinde kullanılan parçaların (MCU, sensör, ...) sayısının fazla olması.
- Robotun üzerindeki bazı birimlerin değiştirilebilir olmasını sağlamak.
- Bazı birimler değiştirilirken, statik parçaların (Motor, batarya, sensör, MCU ...) yerlerini değiştirmemek.
- Robotun kontrol biriminin başka taşıyıcı platformlar üzerinde çalışabilmesini sağlamaktır.

Kısacası robot modüler bir şekilde tasarlanmıştır. Modüler tasarım sayesinde robot bir platform görevi görmektedir. Böylece üzerine kullanım amacına yönelik sensör, robot kolu vb. birimler de eklenebilir.



Şekil 2.3: Robotun seviyelerinin gösterimi.

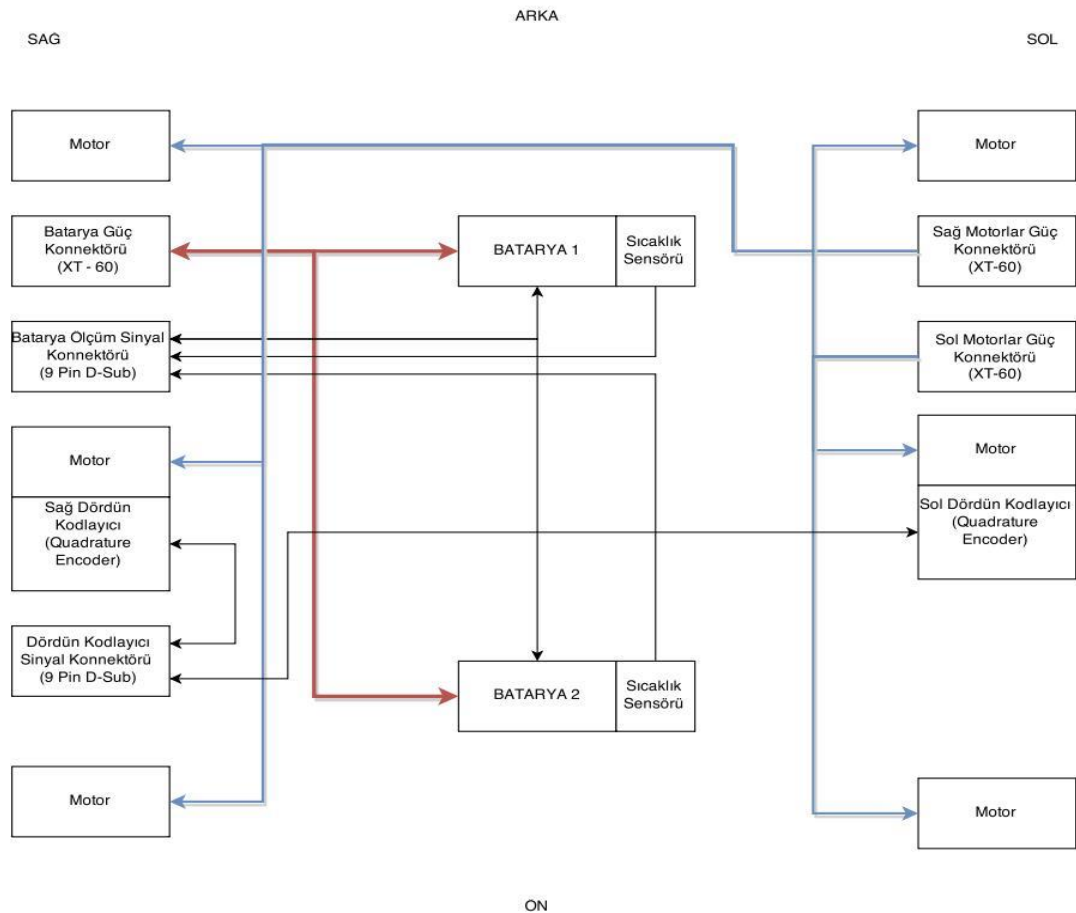
Robotun üzerinde üç seviye bulunmaktadır. Bu seviyelerde şu birimler bulunmaktadır:

- **Gövde seviyesi:** Alüminyum dış iskelet, bataryalar, motorlar, güç ve sinyal dağıtım kabloları ve konnektörleri.
- **Kontrol birimi seviyesi:** Motor sürücü kartı, güç kartı, anakart, görüntü işleme kartı, mesafe sensörleri, akrilik dış kaplama ve konnektör girişleri, güç ve sinyal dağıtım kabloları ve konnektörleri.
- **Kontrol birimi seviyesi:** Şarj cihazı, kablosuz haberleşme kartı, video aktarma sistemi, kamera yönlendirme sistemi, GPS ve IMU kartı, USB kameralar, güç ve sinyal dağıtım kabloları ve konnektörleri.

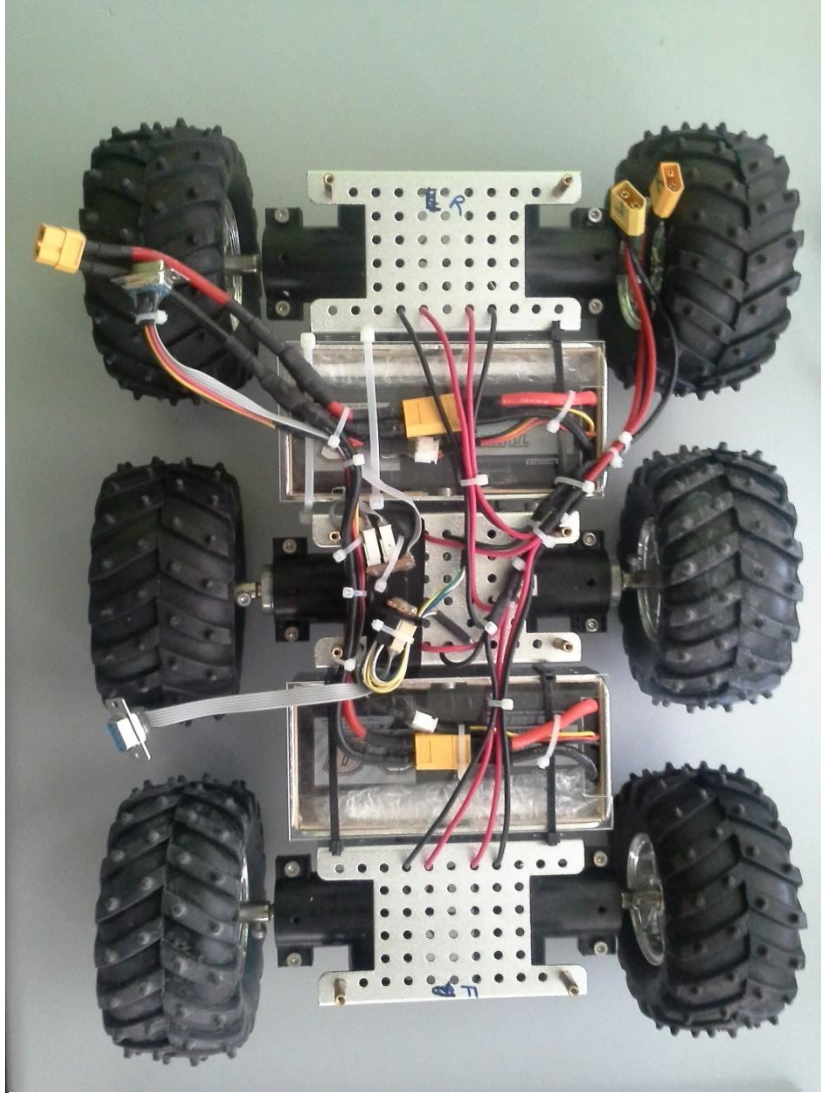
Şekil 2.3'te robotun seviyeleri, robotun son hali üzerinde gösterilmiştir. Bu bölümün devamında robotun bütün seviyeleri detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

2.2 Gövde Seviyesi

Gövde seviyesinde robotun gövdesi, motorları, bataryaları ve kontrol birimi seviyesi ile bağlantılarını sağlayan kablolar ve konnektörler bulunmaktadır. Şekil 2.4'te gövde



Şekil 2.4: Gövde seviyesinin diyagramı.



Şekil 2.5: Gövde seviyesi gerçekleştirilmiş hali.

seviyesinin diyagramı gösterilmektedir. Diyagram üzerindeki yönler (sağ, arka, sol ve ön) robotun yönlerini göstermektedir. Şekil 2.5'te ise gövde seviyesinin diyagramının seçilen robot platformu üzerinde gerçekleştirilmiş hali görülmektedir. Diğer açılardan çekilmiş fotoğraflar EK A bölümünde yer almaktadır.

2.2.1 Robotun gövdesi

Robotun gövdesi, Şekil 2.4'deki gövde seviyesi diyagramının kurulduğu platformdur. Robotun gövdesinin seçimi yapılırken şu kriterler göz önünde bulundurulmuştur:

- Robotun düz ve engebeli arazide hareket edebilmesi.
- Düşük maliyetli olması.

- Robotun tasarımının modüler olması istendiği için gövde üzerinde değişiklik yapılabilmesi.
- Robot üzerinde kullanılacak çok sayıda birim olduğu için faydalı yük taşıyabilmesi.

Bu şartlar altında Şekil 2.5'deki DAGU firmasının 6 tekerlekli robot platformu kullanılmıştır (DAGU, t.y.).

Kullanılan robot platformunun özellikleri Çizelge 2.1'de görülmektedir. Robot platformunda Şekil 2.5 ve Çizelge 2.1'den de görüldüğü gibi 6 tekerlek bulunmaktadır. Bunun sebebi, aracın daha dengeli olmasını sağlamak ve daha fazla faydalı yük taşıyabilmektir. Robotun her tekerleği bir motor tarafından sürülmektedir. Ayrıca tekerlekler yön değiştirememektedir. Bu nedenle robotu kontrol etmek için kızaklı sürüş sistemi kullanılmıştır.

Çizelge 2.1: DAGU 6WD robot platformunun özellikleri (DAGU, t.y.).

Parametre	Değer
Ebatları	42x30x12 cm
Ağırlık	2.7 kg
Yüklü Halde Yerden Yükseklik	6 cm
Azami Faydalı Yük Ağırlığı	5 kg
Dış İskelet Malzemesi	Alüminyum
Motor Sayısı	6

Robotun tasarım amaçlarından birisi de robotun düz olmayan arazilerde hareket edebilmesidir. Platform seçimi yapılırken bu faktör göz önüne alınmıştır. Çizelge 2.1'de seçilen platformun yerden yüksekliğinin 6 santimetre olduğu görülmektedir. Laboratuvar testlerinde robotun 10 santimetre yüksekliğinde kutu şeklindeki engellerden geçebildiği test edilmiştir.

Kullanılan platformda her bir motor için yaylı süspansiyon sistemi bulunmaktadır. Böylece robot düz olmayan zeminlerde de hareket edebilmekte ve engellerin üzerinden geçebilmektedir. Ancak bu durum sistemin matematiksel modelini çıkartmayı ve ileri kontrol metodları uygulamayı zorlaştırmaktadır.

2.2.2 Motorlar ve tekerlekler

2.2.2.1 Robot ile birlikte gelen motorlar

Robot üzerinde fırçalı doğru akım motorları kullanılmıştır. Robot üzerinde kullanılan motorların özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Pololu, t.y.).

Çizelge 2.2: Kullanılan motorların özellikleri (Pololu, t.y.).

Parametre	Değer
Motor Tipi	Fırçalı DC
Motorun Çalışma Voltajı	2 – 7.5 V
Stall Akımı	6.6 A (7.2V)
Boşta Çalışma Akımı	420mA (7.2V)
Dişli Dönüştürme Oranı	75:1
Boşta Çalışma Hızı	160 RPM
Stall Torku	11 kg - cm

Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi motorların dişli oranı olarak 75:1 seçilmiştir. Bu oranın seçilmesinin nedeni robotun yüksek tork sayesinde engelleri aşabilmesinin ve ağır yük taşıırken zorlanmamasının istenmesidir. Formül 2.1’de P motorun gücü, w motor şaftının açısal hızı ve T motor şaftının torkunu sembolize etmektedir. Dişli oranı arttırılarak dişli kutusundan çıkan şaftın torku arttırılmıştır. Ancak bu durumda da dişli kutusu şaftının açısal hızı düşmüştür. Ancak robotun tekerleklerinin yavaş dönmesi istenen bir durumdur. Çünkü robot engebeli arazi şartlarında dengesini koruyabilmek için yavaş hareket etmek zorundadır.

$$P = w \times T \quad (2.1)$$

2.2.2.2 Dördün kodlayıcı motorlar

Robotun hareket kontrolünü yapabilmek için tekerleklerin ne kadar döndüğünün bilinmesi gerekmektedir. Yani tekerleklerin pozisyon bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Robot ile birlikte gelen motorlarda bu tip sensörler bulunmamaktadır. Bu nedenle robotun ortadaki sağ ve sol motorları dördün kodlayıcı sensörlü ve aynı özellikteki (Çizelge 2.2) motorlarla değiştirilmiştir. Sadece orta sağ ve orta sol motorların değiştirilmesinin sebebi robot kızıklı yönlendirme yöntemi ile hareket ettiği için sağdaki ve soldaki üç motor birbirine paralel sürülmektedir. Kullanılan sensör bir dönüşte 48 kere sinyal vermektedir. 75:1 dişli kutusu kullanıldığından tekerleğin bir dönüşü 3592 basamağa bölünmektedir.

Dördün kodlayıcı sensörlerinden gelen veriler anakartta işlenmektedir. Dördün kodlayıcıdan gelen A ve B kanallarındaki sinyaller anakartta kesme özelliği bulunan giriş – çıkış pinlerine bağlanmışlardır. Her pin yükselme ve alçalma kenarında kesme oluşturacak şekilde programlanmıştır.

Şekil 2.6’da dördün kodlayıcı sensörlerinden gelen A kanalı ve B kanalı sinyalleri görülmektedir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi B kanalı A kanalını takip etmektedir. Yani önce A kanalı lojik 1, sonra B kanalı lojik 1 olmaktadır. Bu durumda motorlar saat yönünde dönmektedir. Motorun saat yönünün tersi yönde dönmesi durumunda B kanalı A kanalını takip eder. Anakarttaki işlemci bu A ve B kanallarındaki sinyallerin değişimlerini kontrol ederek motorun dönüş yönünü bulur. Ayrıca A ve B kanallarındaki sinyallerin değişimlerini sayarak motor shaftının veya tekerleğin hızını ve pozisyonunu hesaplar.

Şekil 2.7’deki algoritma dördün kodlayıcılar için kullanılan kesme algoritmasıdır. Bu algoritma iki ayrı dördün kodlayıcı için ayrı ayrı uygulanmıştır. Algoritmada A ve B kanallarının ilk durumları lojik 1’dir. Algoritma kısaca şu şekilde işlemektedir. Dördün kodlayıcıların A veya B kanallarındaki sinyallerin durumlarının değişmesi (0’dan 1’e veya 1’den 0’a) mikrokontrolörde kesme oluşturur. Mikrokontrolör oluşan kesmenin hangi pinde oluştuğunu bulur. Sonra pozisyon sayacını bir artırır ve kanalın



Şekil 2.6: Dördün kodlayıcının A ve B kanallarındaki sinyaller.

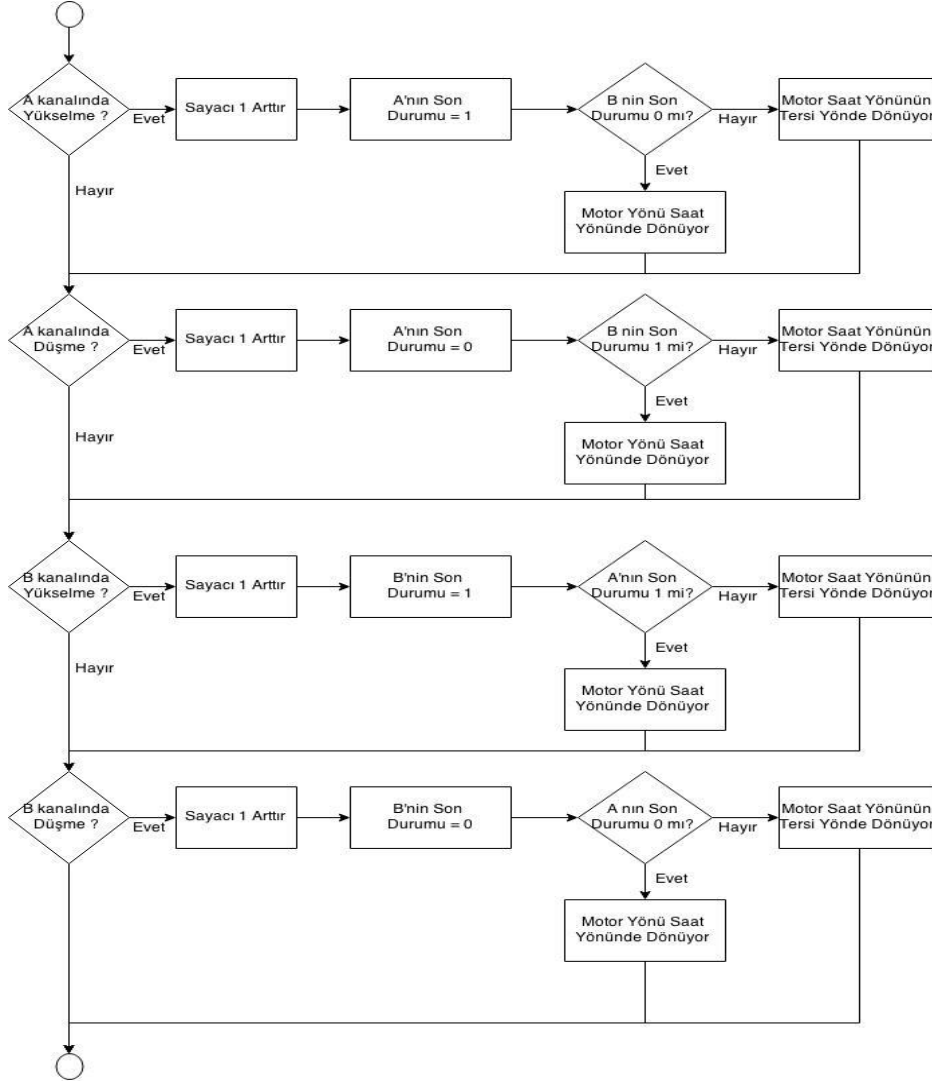
son durumunu değiştirir. Son olarak dönüş yönünü bulmak için diğer kanalın son durumunu kontrol eder. Mikrokontrolörde iki ayrı dördün kodlayıcı için iki ayrı pozisyon sayacı tutulmaktadır. Bu sayaçlar sayesinde mikrokontrolör tekerleğin pozisyonunu ve dönüş hızını bulmaktadır. Mikrokontrolör formül 2.2’yi kullanarak tekerleğin kaç tur döndüğünü bulmaktadır.

$$C = S(\text{sayım}) \times \frac{1 (\text{tur})}{3592 (\text{sayım})} \quad (2.2)$$

Formül (2.2) 'deki C: Tekerleğin attığı tur sayısını, S: mikrokontrolörün saydığı sinyal değişim miktarını sembolize etmektedir.

$$D = 2 \times \pi \times R(\text{cm}) \times C(\text{sayım}) \quad (2.3)$$

Formül (2.3)'teki D, tekerleğin kat ettiği mesafeyi, R: tekerleğin yarıçapını sembolize etmektedir. Tekerleğin yarıçapı 6 cm olarak ölçülmüştür. Mikrokontrolör tekerleğin hızını, iki ölçüm arasındaki sinyal değişimi sayısını iki ölçüm arasındaki zamana bölerek bulmaktadır.



Şekil 2.7: Dördün kodlayıcı kesme algoritması.

2.2.2.3 Kullanılan tekerlekler

Şekil 2.5’de kullanılan tekerlekler görülmektedir. Bu tekerlekler robot ile birlikte gelmiştir. Tekerleklerin her biri 12 cm çapında ve arazi şartlarında zemine tutunabilmek için dikenlidir.

2.2.3 Batarya

Robotta kullanılacak olan batarya seçilirken şu kriterler göz önüne alınarak seçim yapılmıştır:

- Yüksek kapasiteli olması.
- Hafif olması.
- Hızlı şarj edilebilir olması.
- Anlık çıkış akımının yüksek olması.
- Boyut olarak robot üzerindeki batarya yuvasına oturması.
- Batarya voltajının motorların nominal voltajından yüksek olmaması.

Yukarıdaki şartlar göz önüne alınarak Çizelge 2.3’teki özelliklere sahip iki batarya robota yerleştirilmiştir. Böylece toplam kapasite 12000 (mAh) ve toplam deşarj oranı 50 C değerine çıkartılmıştır. Çizelge 2.3’teki özellikler sadece bir batarya içindir.

Çizelge 2.3: Batarya özellikleri (Hobbyking, t.y.).

Parametre	Değer
Batarya Kimyası	Lityum Polimer
Seri Hücre Sayısı	2
Kapasite	6000 (mAh)
Ebatlar	132*48*29 (mm)
Ağırlık	371 (g)
Şarj Oranı	2 (c)
Deşarj Oranı	25 (c)

Lityum polimer bataryalar, daha doğrusu lityum – iyon polimer bataryalar lityum – iyon bataryaların aksine yumuşak ve kese formatındadırlar. Robot üzerinde güç kaynağı olarak LiPo batarya kullanılmasının nedeni LiPo bataryaların kapasite ağırlık oranının diğer batarya tiplerine göre daha yüksek olmasındandır. Ancak bu bataryalar maliyeti arttırmaktadırlar.

Çizelge 2.2’de motorların zorlanma durumunda çektiği akım değerleri görülmektedir. Bir motorun normal çalışma akımı 420 mA’dır. Ancak aracın yük taşıırken ve arazide hareket ederken motorları zorlayacağı öngörülmüştür. Bu nedenle tasarım, motorların

kilitlenme akımlarına göre yapılmıştır. Bu durumda bir motorun 6.6 A akım çektiği düşünülerek tasarım yapılmıştır. Böylece bataryalardan 39.6 A akım çekilecektir, ayrıca diğer sistemlerin de azami 3 A çekeceği varsayılmıştır. Böylece ana hatta çekilecek olan maksimum akım değeri 42.6 A civarında olacağı öngörülmüştür. Bu nedenle bataryalardan çıkış kabloları 10 AWG genişliğinde seçilmiştir. Aynı şekilde batarya bağlantı konnektörleri seçilirken yüksek akıma dayanıklı konnektörler tercih edilmiştir.

2.2.4 Batarya sıcaklık sensörleri

Kullanılan bataryaların kimyası LiPo olduğu için, batarya sıcaklığının sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Bataryalar dâhili bir sıcaklık sensörü ile gelmediğinden bataryalar robotun üzerine yerleştirilirken, her bataryaya bir sıcaklık sensörü bağlanmıştır. Robotta batarya sıcaklığını ölçmek için LM35 sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörlerin seçilme sebebi, standart PTC veya NTC direnç sensörlerinin aksine sensör içinde dâhili bir tümleşik devre olmasıdır. Bu sayede sıcaklık ölçümü lineer olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Sıcaklık sensörleri güç kartına veri göndermektedir. Güç kartındaki mikrokontrolör de Denklem 2.4 'ü kullanarak ADC çevre birimi vasıtasıyla ölçtüğü değerleri sıcaklık değerlerine çevirmektedir.

$$T = V_{olcum} (mV) \times 100 \left(\frac{C}{mV} \right) \quad (2.4)$$

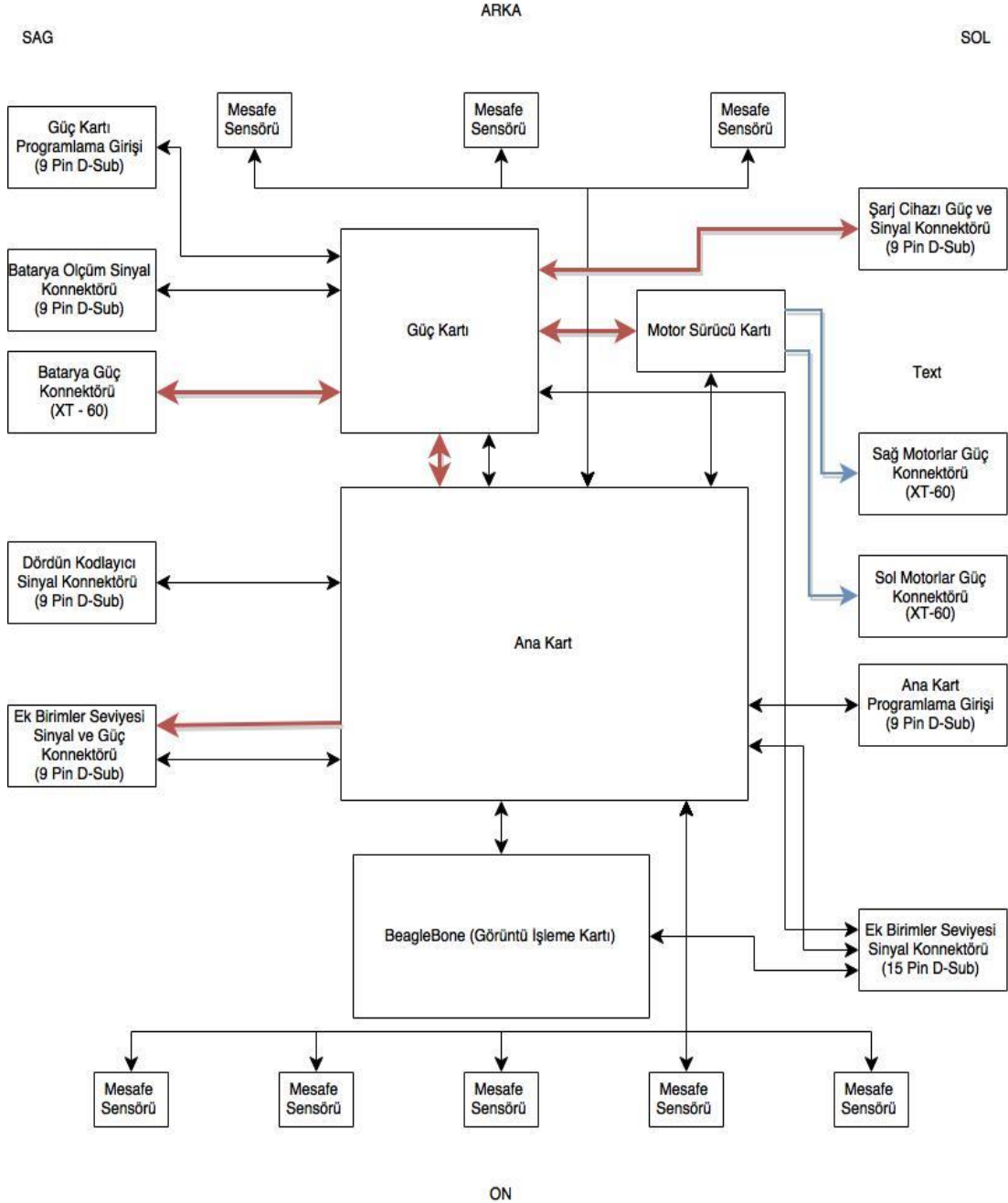
Denklem (2.4)'teki T: Sensörlerin ölçtüğü sıcaklık değerini, V_{olcum} : Mikrokontrolörün ölçtüğü gerilim değerini göstermektedir.

Aynı sıcaklık sensörü motor sürücü kartında da kullanılmıştır.

2.3 Kontrol Birimi Seviyesi

Kontrol birimi seviyesi kısaca robotun beyni olarak adlandırılabilir. Çünkü bu seviyede robotun bataryalarını ve güç dağıtım sistemini kontrol eden güç kartı ve bütün sistemi kontrol eden, sensörlerden bilgi alan, diğer mikrokontrolörlerle haberleşen ve robotu bu bilgiler doğrultusunda kontrol eden anakart bulunmaktadır. Ayrıca bu seviyede görüntü işleme yapabilen beaglebone kartı bulunmaktadır. Şekil 2.8'de kontrol birimi seviyesinin diyagramı görülmektedir. Diyagram üzerindeki yönler (sağ, arka, sol ve ön) robotun yönlerini göstermektedir.

Bu seviyenin tasarımı yapılırken ana düşünce gövde seviyesinin mekanik yapısından bağımsız bir kontrol ünitesi tasarlamaktır. Böylece araç ister engebeli arazide giden paletli bir araç olsun, ister düz zeminde hareket edecek bir platform olsun veya daha büyük bir platform olsun yine de platformu sürebilecek bir kontrol ünitesi tasarlanmıştır.

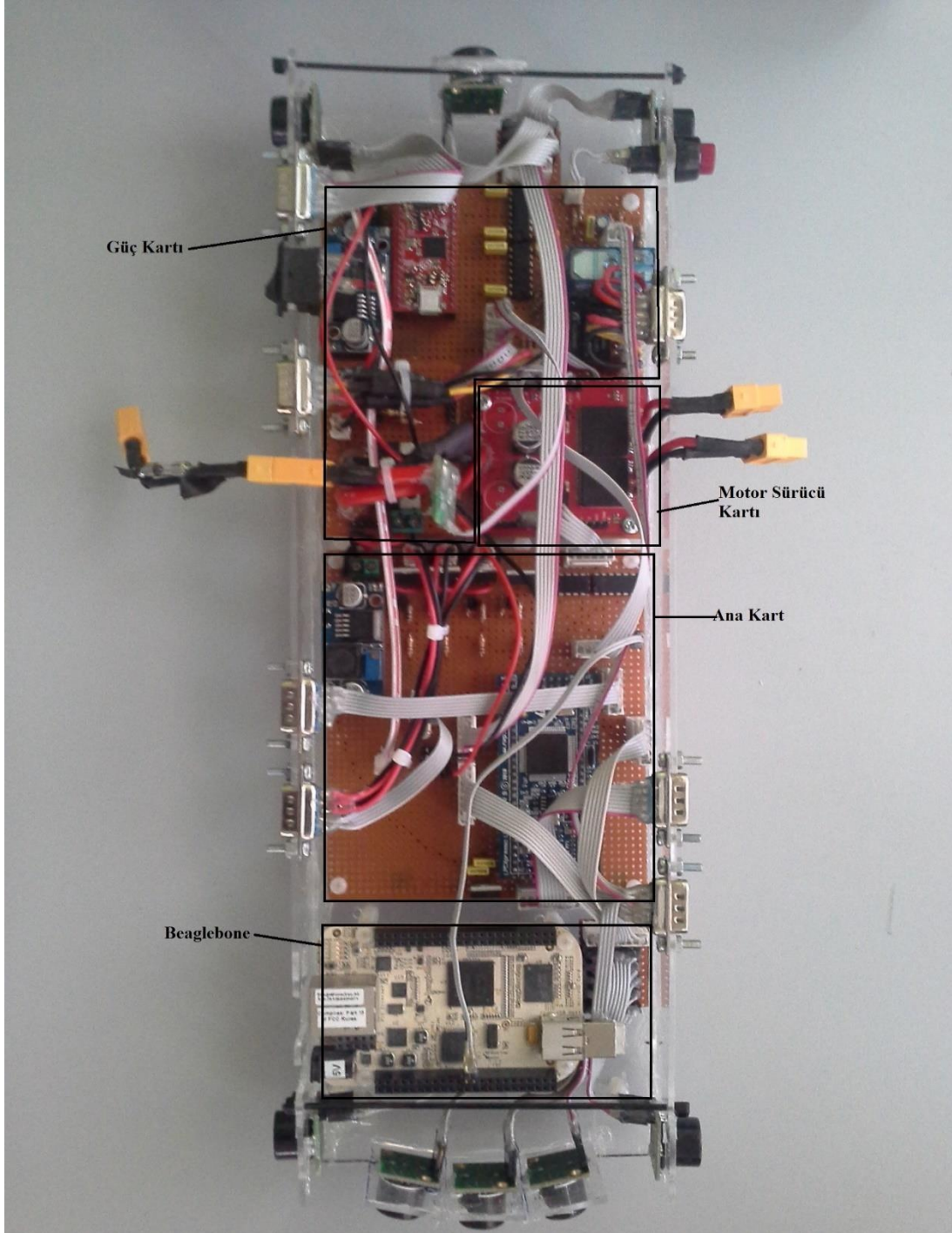


Şekil 2.8: Kontrol birimi seviyesinin diyagramı.

olunmaktadır. Gerekirse, kontrol birimi seviyesindeki sadece motor sürücü değiştirilerek platform değiştirilebilir. Hatta platform olarak bir deniz aracı veya hava aracı da seçilebilir. Şekil 2.8'deki kontrol birimi seviyesi diyagramının gerçekleştirilmiş

hali Şekil 2.9'da görülmektedir. Kontrol birimi seviyesinin değişik açılardan çekilmiş fotoğrafları Şekil 2.8'deki kontrol birimi seviyesi diyagramının gerçekleşmiş hali Şekil 2.9'da görülmektedir. Kontrol birimi seviyesinin değişik açılardan çekilmiş fotoğrafları EK A bölümünde verilmiştir.

Kontrol birimi seviyesinin bir diğer özelliği ek birimler seviyesinden de bağımsız olmasıdır. Yani eklenecek diğer donanımlar kolayca eklenip çıkarılabilir. Böylece araç



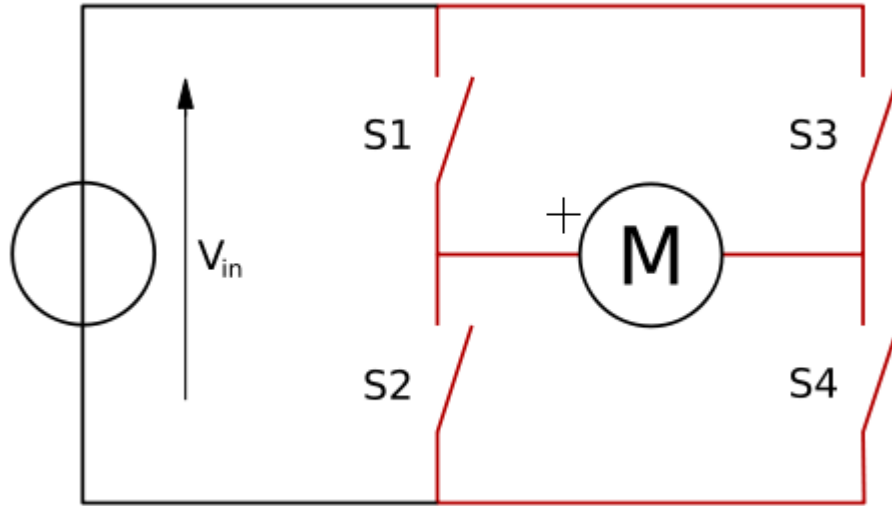
Şekil 2.9: Kontrol birimi seviyesinin gerçekleşmiş hali.

üzerinde istenildiği kadar ek yapılabilir. Yeni eklentilerin kontrolü, anakarta bir konnektör bağlanarak veya beaglebone kartına bağlanarak yapılabilir.

Bu bölümde kontrol birimi seviyesinde bulunan motor sürücü kartı, mesafe sensörleri, güç kartı, anakart ve Beaglebone kartından bahsedilecektir. Güç kartı ve anakartta kullanılan mikrokontrolörler için yazılmış programlardan Bölüm 3'te bahsedilecektir.

2.3.1 Motor sürücü kartı

Fırçalı doğru akım motorlarını çift yönlü sürmek için H köprüsü devre yapısı kullanılmaktadır. Şekil 2.10'da H köprüsü yapısı gösterilmiştir. Şekil 2.10'da görülen M motoru, S1,S2,S3 ve S4 ise anahtarları sembolize etmektedir. Motoru saat yönünde sürmek için S1 ve S4 anahtarları kapatılmalı, saat yönünün tersine sürmek için S2 ve S3 anahtarları kapatılmalıdır. Böylece motorun dönüş yönü kontrol edilebilir.



Şekil 2.10: H köprüsü yapısı.

Motorların hızını kontrol etmek içinse S1,S2,S3 ve S4 anahtarlarına giden sinyallere darbe genişliği modülasyonu (PWM) uygulanmalıdır. PWM sinyali basit bir periyodik kare dalga sinyalidir. Mikrokontrolör kare dalga sinyalinin lojik 1 olduğu zaman aralığını değiştirerek sinyalin ortalama değerini değiştirir. Böylece motorlara giden gerilimin ortalama değeri değişir ve motorun hızı kontrol edilebilir.

H köprüsü gerçekleştirirken Şekil 2.10'daki anahtarlar yerine genellikle yüksek akım geçirebilmeleri, açılma – kapanma hızlarının yüksek olması ve iç dirençlerinin düşük olması nedeniyle MOSFET'ler kullanılmaktadır. Yüksek frekansta (20kHz), MOSFET'lerden yüksek akım (ortalama 3A) geçeceğinden, MOSFET'lerin geçitlerini

sürme işi zorlaşmaktadır. MOSFET’lerin geçitlerini sürmek için ayrı sürücü devreleri oluşturulması gerekmektedir. Bu duruma çözüm olarak H - köprüsü görevini yerine getiren ve H - köprüsünün MOSFET’lerini süren tümleşik devreler geliştirilmiştir. Bu devrelerin en büyük avantajı bütün tümleşik devrelerde olduğu gibi karmaşık yapıların tek bir yonga üzerinde toplanmasıdır. Dezavantajı ise maliyeti arttırmasıdır. Ancak projede H - köprüsü geliştirmeye harcanak zaman ve kaynaktan tasarruf etmek amacıyla tamamen tümleşik H - köprüsü motor sürücü yongası kullanılmıştır.

Robot kızıklı yönlendirme yöntemi ile hareket ettiğinden, motor sürücü kartının robotun sağ tarafındaki üç motoru paralel ve sol üç motoru paralel olarak sürmesi beklenmektedir. Bu nedenle, motor sürücü kartında iki tane motor sürücü yongası bulunması veya bir yonganın iki ayrı motoru sürebilmesi gerekmektedir. Motor sürücü yongaları seçilirken ilk olarak motorların zorlanma akımları ve bataryanın nominal voltajları göz önüne alınmıştır. Motor sürücü yongası seçerken diğer önemli değişkenler PWM sinyali frekansı (kontrol adımını belirleyen faktör) ve H köprüsünde kullanılan MOSFET’lerin iletim direnci (Motor sürücü yongasının verimliliğini belirleyen faktör) olmuştur.

Robot üzerinde motorları sürmek için Çizelge 2.4’teki özelliklere sahip olan Şekil 2.9’da görülen “Monster Moto Shield” (Sparkfun, t.y.) motor sürücü kartı kullanılmıştır.

Motor sürücü kartını anakart üzerindeki mikrokontrolör sürmektedir. Bir motor sürücü yongası ile mikrokontrolör arasındaki bağlantılar şunlardır.

- Bir tane 20 kHz frekansında PWM sinyali; bu sinyal ile mikrokontrolör motorun dönüş hızını kontrol etmektedir.
- İki tane çıkış sinyali (A ve B); bu sinyaller motorun hareketini belirler. Eğer A sinyali lojik 1 ise motorlar saat yönünde, eğer B sinyali lojik 1 ise motorlar saat yönünün tersi yönde dönerler. İkisinin birden 0 veya 1 olması durumunda motorlar durur.
- Bir tane hata kontrol sinyali; bu sinyal motor sürücünde bir hata oluşması durumunda lojik 0 olur.
- Bir tane motorların çektiği akımın ölçülebildiği analog sinyal;

Çizelge 2.4: Motor sürücüsünün özellikleri (Sparkfun, t.y.).

Parametre	Değer
Sürücü yonga modeli	VNH2SP30
Sürücü yonga sayısı (Kanal sayısı)	2
Azami gerilim girişi	16V
Azami sürekli akım çıkışı	14A
Azami anlık akım çıkışı	30A
Azami PWM frekansı	20 kHz
MOSFET iletim direnci	19 mΩ

Uygulama esnasında mikrokontrolörün motor sürücü yongasını istenildiği gibi kontrol edemediği görülmüştür. Multimetre ve osiloskop ile yapılan ölçümler sonucunda bu sorunun nedeninin mikrokontrolörün motor sürücü yongasının girişlerini sürememesi olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunu aşmak için anakarta PWM ve çıkış sinyallerini 3.3V'tan 5V'a çeviren tampon devresi kurulmuştur.

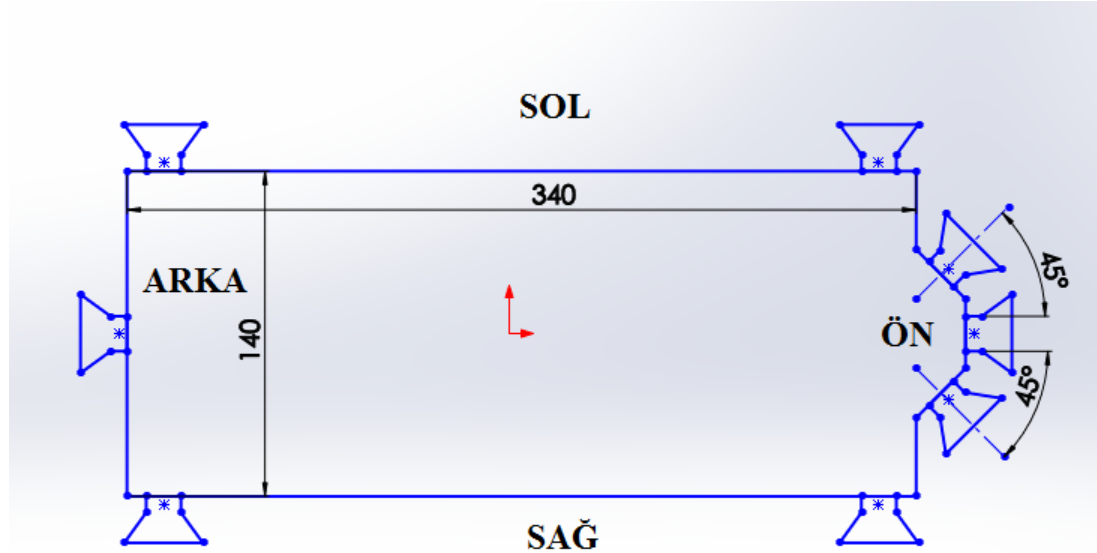
Eğer kontrol birimi seviyesi başka bir platform üzerinde kullanılmak istenirse bu kartın istenilen sistemi sürüp süremeyeceği kontrol edilmelidir. Kartın sistemi sürememesi durumunda bu kart değiştirilmeli veya amaca uygun motor sürücü tasarlanmalıdır. Örneğin fırçasız motorlar kullanılmak istenirse fırçasız motor sürücü kullanılmalıdır.

2.3.2 Mesafe sensörleri

Mesafe sensörleri aracın çevresiyle olan etkileşimini kontrol eden sensörlerdir. Günümüzde mobil robot uygulamalarında genellikle iki çeşit sinyal gönderen mesafe sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörlerin ilki kızıl ötesi (IR) sinyaller aracılığıyla, ikincisi ise ses dalgalarını (SONAR) kullanarak mesafe ölçümü yapmaktadır. IR sensörler genellikle tek sensörden oluşan yani sinyal gönderen IR LED ve sinyal alan foto transistordan oluşan yapıdadır. Bu sensörlerin en büyük dezavantajı görüş açısının düşük olmasıdır. Ancak son zamanlarda kızıl ötesi sinyaller ve görüntü işlemenin birleştirilmesiyle üç boyutlu haritalama yapabilen LIDAR sensörleri kullanılmaktadır. LIDAR sensörleri derinlik analizi yapabilmektedirler. Tez çalışmasının bu aşamasında hem çalışmanın ilerlemesini dallandırmamak hem de maliyeti arttırmamak için LIDAR sensörleri kullanılmamıştır. Ancak ilerleyen aşamalarda kullanılması planlanmaktadır.

SONAR'ların avantajlarıysa geniş görüş açısına sahip olmaları ve maliyetlerinin düşük olmasıdır. Tezin bu aşamasında SONAR'lar çarpışma önlemek için kullanılmaktadırlar. Çalışmanın ilerleyen safhalarında SONAR'lardan alınan veri ve görüntü işleme birleştirilerek nesneden kaçınma ve ortam haritalama gibi işlemlerin yerine getirilmesi hedeflenmektedir.

Kullanılan SONAR sensörleri aracın üzerine Şekil 2.11'deki gibi yerleştirilmiştir. SONAR sensörlerinin görüş açılarının aracın hareket yönünü kapsamasına dikkat edilmiştir. Robotun önünde üç tane sensör koyulmasının sebebi robotun yolun üzerindeki objelerden kaçış manevrasını yapacağı yönünü seçebilmesini kolaylaştırmaktır. Soldaki ve sağdaki sensörler dönüş manevrası sırasında çarpışmayı engelleme amaçlı olarak yerleştirilmişlerdir. Ayrıca ilerde bu sensörler kullanılarak koridor takibi yapılması hedeflenmektedir.



Şekil 2.11: Mesafe sensörlerinin yerleşim planı.

Sensör seçimi yapılırken ilk önce, seçilen sensörlerin görüş alanlarının Şekil 2.11'de görülen yerleşim planına uygun olmasına çalışılmıştır. Yani sensörlerin görüş alanlarının çok dar veya çok geniş olmamasına dikkat edilmiştir. Kullanılan sensörlerin özellikleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Robot üzerinde birden fazla SONAR kullanıldığından, bu sensörlerin gönderdiği sinyallerin birbirine karışmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. SONAR seçimi sırasında bu husus göz önüne alınmıştır. Seçilen MB1010 sensörleri zincirleme çalışabilmektedirler. Böylece bir sensör ölçüm işlemini tamamladığında diğer sensöre ölçüme başlaması için sinyal göndermektedir.

Çizelge 2.5: Mesafe sensörlerinin özellikleri (Maxbotix, t.y.)

Parametre	Değer
Sensör modeli	Lv-MaxSonar – Ez1 (MB1010)
Sensör adedi	8
Sinyal tipi	Ses
Menzil	14 – 645 cm
Çalışma gerilim aralığı	2.5 – 5 V
Çözünürlük	2.54 cm
Okuma sıklığı	20 Hz
Sinyal frekansı	42 kHz

Bütün mesafe sensörleri anakarta sinyal göndermektedir. Anakart mesafe sensörlerinden ölçüm almanın yanı sıra mesafe sensörlerinin ölçüme başlama sinyalini kontrol etmektedir. Karışmayı önlemek için robotun önündeki sinyaller ayrı olarak, robotun arkasındaki sinyaller ayrı olarak kontrol edilmektedir. Robot ileri doğru gidiyorken robotun önündeki sensörler, robot geri gidiyorken robotun arkasındaki sensörler ve robot dönüyorken ön ve arka sensörler birlikte çalıştırılmaktadır.

Kullanılan MB1010 sensörlerinde veri okumak için üç yöntem vardır. Bu yöntemler şunlardır:

1. Birinci yöntem: Sensör kartının gerilim çıkışından ADC birimi ile ölçüm yaparak sensörün ölçtüğü mesafeyi bulmaktır.
2. İkinci yöntem: Sensör kartının gönderdiği sinyalin genişliğini ölçerek sensörün ölçtüğü mesafeyi bulmaktır.
3. Üçüncü yöntem: Seri haberleşme yoluyla sensörden bilgi almaktır.

Bu çalışmada, sensörden veri okumak için sinyal genişliğini ölçme metodu kullanılmıştır. Sensör bu yöntemde ölçtüğü mesafeyi PWM sinyali ile göndermektedir. Sensörden gelen sinyalin genişliğini ölçmek için mikrokontrolörün bir pinine, hem yükselen kenar hem de düşen kenar için kesme tanımlanmıştır. Program yükselen kenar için oluşan kesme ile düşen kenar için oluşan kesme arasını zamanlayıcı ile ölçer. Bu uzunluk (t_{ON}) aşağıdaki formülde (2.4) yerine konulur.

$$d_{sens} = t_{ON} (\mu s) \times \frac{1}{147} \left(\frac{in\check{c}}{\mu s} \right) \times 2.54 \left(\frac{cm}{in\check{c}} \right) \quad (2.4)$$

(2.4) formülünde d_{sens} santimetre cinsinden sensörün ölçtüğü uzunluktur.

Sensörler zincirleme olarak çalıştırıldığından ön veya arka zincirin sonundaki sensör ölçümü tamamladığında, zincirin başındaki sensör tetiklenir ve ölçüme tekrar başlar.

2.3.3 Beaglebone

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında robotun kontrol sistemine görüntü işleme ve 3G üzerinden bulut servislerine bağlanabilme özelliklerinin eklenmesi hedeflenmektedir. Bu işlemler için hazır protokoller (3G haberleşme protokolü), kütüphaneler (görüntü işlemek için OpenCV kütüphanesi), kullanılan parçalar için sürücüler (USB kamera ve 3G modem) ve en önemlisi yüksek işlem gücü gerekmektedir. Bu nedenle bu işlemleri gerçekleştirebilmek için araca gömülü Linux işletim sistemiyle çalışan Beaglebone kartı eklenmiştir.

Pek çok projede mobil robotlar üzerinde görüntü işleme yapabilmek için masaüstü bilgisayar kasaları veya dizüstü bilgisayarlar kullanılmaktadır. Bu durumda işlem gücü artmakta ve yazılım geliştirmek kolaylaşmaktadır. Ancak bu bilgisayarları kullanmanın dezavantajı yüksek güç çekmeleri ve çevre birimlerinin az olmasıdır. Bu nedenlerden ötürü projede Beaglebone kartı kullanılmıştır. Beaglebone kartı AM335x 1GHz ARM Cortex – A8 işlemcisi ile çalışmaktadır. Üzerinde 512MB DDR3 RAM ve benzer kartlardan farklı olarak 4GB eMMC flash hafıza (boot edebilmek için ekstra bir SD karta ihtiyaç duymamaktadır) bulunmaktadır. Bu özelliklere ek olarak standart mikrokontrolörlerde bulunan giriş – çıkış portları, UART, SPI, I2C, ADC gibi çevre birimleri de kart üzerinden kullanılabilir.

Şekil 2.9’da beaglebone kartı görülmektedir. Çalışmada, Beaglebone kartının besleme girişi anakart tarafından kontrol edilmektedir. Beaglebone kartı anakarta UART üzerinden veri ve komut göndermektedir. Beaglebone kartı ile haberleşme ve uygulama amaçlı hazırlanan görüntü işleme programı Bölüm 3’de anlatılmıştır.

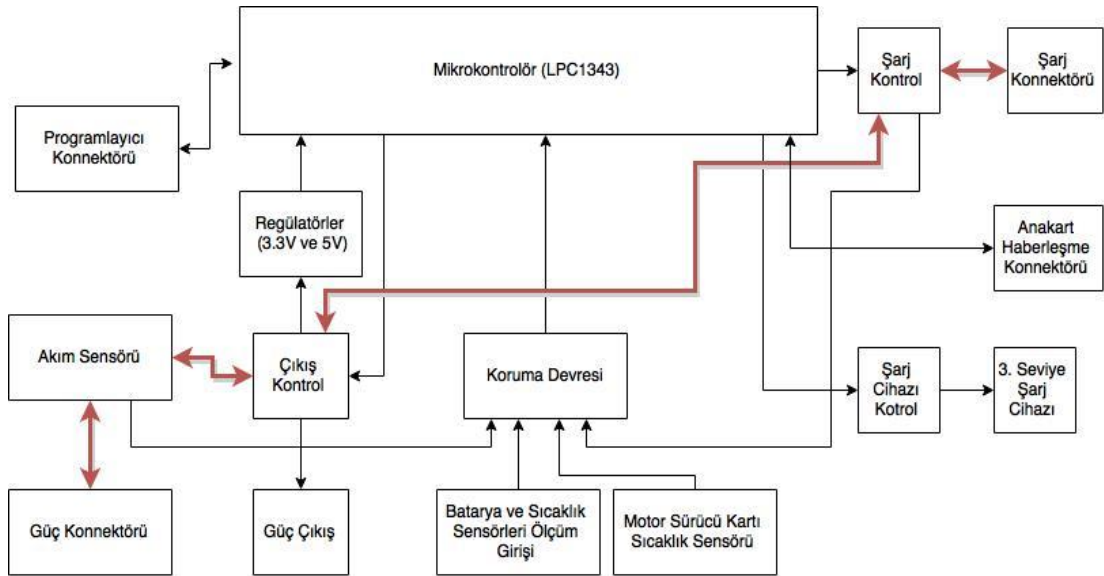
2.3.4 Güç kartı

Yaygın olarak kullanılan bataryalara kıyasla lityum – iyon bataryalar, yüksek enerji kapasiteleri, yüksek güç kapasiteleri, uzun ömürlü ve çevre dostu olmaları özellikleriyle öne çıkmaktadırlar ve bu özellikleri nedeniyle tüketici elektroniği alanındaki uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Lu ve diğ., 2013). Lityum – iyon bataryaların dezavantajları ise güvenlik sorunları ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Lityum – iyon bataryaların güvenli çalışma aralığını gösteren grafik EK B bölümünde

gösterilmiştir. Bu nedenle lityum – iyon batarya uygulamalarında bataryaları kontrol altında tutmak için bir batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Batarya kontrol sistemi LiPo bataryaların gerilim, akım ve sıcaklık değerlerini ölçerek, batarya sisteminin şarj ve deşarj olmasını kontrol eder. Batarya kontrol sistemi uygulamalarında hazır sistemler kullanılabileceği gibi maliyetleri düşürmek ve sistem üzerinde araştırma ve geliştirme yapabilmek için yeni sistemler de oluşturulabilir.

Projede robotun batarya paketine özgün bir batarya kontrol sistemi oluşturulmuştur. Batarya kontrol sistemi için ayrı bir mikrokontrolör ve sistemden ayrı bir devre kartı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.12’de güç kartının diyagramı gösterilmiştir. Diyagram üzerindeki kalın kırmızı çizgiler bataryadan çıkan güç hattını, siyah çizgiler ise sinyal kablolarını ve bağlantılarını göstermektedir. Şekil 2.12’de görülen güç kartının diyagramının gerçekleştirilmiş hali şekil 2.9’da görülmektedir. Bu bölümün devamında batarya yönetim sistemi olarak tasarlanan güç kartının bölümlerinden, gerçekleştirme esnasında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunlara bulunan çözümler anlatılacaktır. Güç kartı için yazılmış olan kontrol programları Bölüm 3’de anlatılmıştır.



Şekil 2.12: Güç kartının diyagramı.

2.3.4.1 LPC1343 mikrokontrolörü

Güç kartı üzerindeki mikrokontrolör bir batarya yönetim sistemi olarak çalışacağı için kısa zaman aralıklarında çok fazla ölçüm alması ve bu ölçümleri kontrol etmesi gerekmektedir. Bu nedenle kullanılacak mikrokontrolörün işlemci frekansının ve ADC ölçüm hızının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenlerden ötürü güç kartını kontrol

etmesi için LPC1343 mikrokontrolörü kullanılmıştır. LPC1343 mikrokontrolörü 32 bitlik ve 72 MHz frekansında çalışan ARM Cortex – M3 mikroişlemcisi ile çalışmaktadır. Ayrıca mikrokontrolörün bir UART haberleşme birimi, 8 pin üzerinde çoklayıcı 10 bitlik ADC birimi, 26 tane giriş – çıkış pini, USB SPI ve I²C birimleri bulunmaktadır (Embedded Artists, t.y.).

Robot geliştirme aşamasında olduğu için PCB üzerine devre kurmak yerine robot üzerinde “Embedded Artists” firmasının ürettiği LPC1343 hızlı başlama kartı kullanılmıştır. Bu kartın en büyük faydası mikrokontrolörün pinlerini DIP sokete çevirmesidir. Ayrıca kart üzerinde programlama konnektörü, mikrokontrolör için gerekli olan kristal bulunmaktadır.

2.3.4.2 Gerilim düzenleyiciler

Güç kartı üzerinde kullanılan birimler için gerekli besleme ve referans gerilimlerini oluşturmak için gerilim düzenleyiciler kullanılmıştır. Güç kartı üzerinde 5 V oluşturmak için LM7805 lineer gerilim düzenleyicisi kullanılmıştır. 5V sadece röleler ve RS-485 çevirici için gereklidir, bu nedenle LM7805 lineer gerilim düzenleyicisi yeterli olmuştur.

Güç kartı üzerinde 3.3 V oluşturmak için önce LM1117T lineer gerilim düzenleyici kullanılmıştır. Ancak bu gerilim düzenleyicinin çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve çıkış akımına göre değişmektedir. Güç kartı üzerindeki LPC1343 mikrokontrolörü analog ölçüm yaptığı için besleme geriliminin her durumda aynı kalması gerekmektedir. Bu nedenle LM2596 anahtarlama modlu gerilim düşürücü (Buck çevirici) kullanılmıştır.

2.3.4.3 Akım sensörü

Güç kartı, bataryaları kontrol ederken bataryaları ve sistemi de koruması gerekmektedir. Bu nedenle, bataryalardan çekilen ve bataryalar şarj edilirken bataryalara gönderilen akımı ölçmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bataryaların çıkışına güç kartına bağlı olacak şekilde bir akım sensörü yerleştirilmiştir.

Güç kartı üzerinden geçmesi tahmin edilen azami anlık akım değeri 43 A olarak hesaplanmıştır. Kart üzerinden normal çalışma şartlarında geçmesi beklenen akım değeri 0 – 10 A arası olarak belirlenmiştir. Ayrıca araç şarj olurken güç kartı üzerinden ters yönde -5 – 0 A arası akım geçmesi beklenmektedir. Bu şartlar altında ACS711EX kartı akım sensörü olarak seçilmiştir.

Mikrokontrolör bu kartın analog çıkışını okur ve (2.6) formülünü kullanarak bataryalardan çekilen akım değerini bulur.

$$i = 73.3 A \times \frac{V_{out}}{V_{cc}} - 36.7 A \quad (2.6)$$

(2.6) formülündeki V_{out} : Mikrokontrolör tarafından okunan değer, V_{cc} : Akım sensörünün besleme gerilimidir (3.3 V).

2.3.4.4 Batarya gerilimlerinin ölçümü ve koruma devresi

LiPo bataryalar için oluşturulan batarya yönetim sistemlerinde en önemli veri bataryaların hücresel gerilimleridir. Projede kullanılan batarya sistemi iki tane iki hücreli LiPo bataryanın paralel bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Bu durumda mikrokontrolörün batarya paketinden iki tane gerilim değeri okuması gerekmektedir. Birincisi, birinci hücrenin gerilimi (0 – 4.2 V), diğeri ikinci hücrenin (4.2 V-8.4 V) gerilimidir.

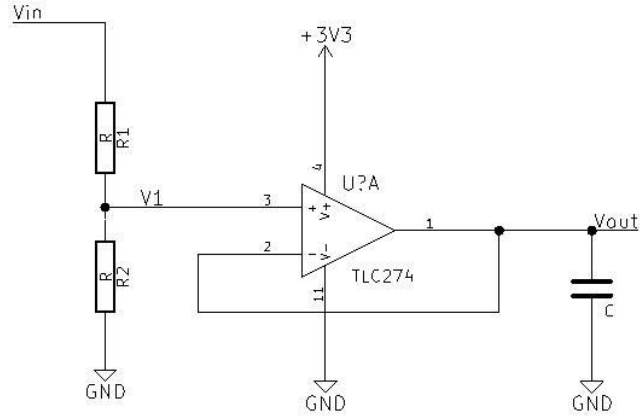
Kullanılan mikrokontrolörün besleme gerilimi 3.3 V olduğu için, ADC birimi tarafından ölçülebilecek en yüksek gerilim değeri 3.3 V'dur. Bataryalardan gelen sinyalleri istenilen gerilim seviyeye çekmek için Şekil 2.13'teki gerilim bölücü devresi oluşturulmuştur. Kullanılacak direnç değerleri formül (2.6)'daki gerilim bölücü devresinin formülü kullanılarak belirlenmiştir.

$$V_1 = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.6)$$

(2.6) formülündeki V_1 : Koruma devresine giden gerilim, V_{in} : Batarya hücrelerinden gelen gerilim, R_1 ve R_2 : Gerilim bölücünün dirençleridir.

Birinci batarya hücresi (0 - 4.2 V) için gerilim bölücü, gelen gerilim değerini 2'ye (0 – 2.1 V), ikinci hücre için (4.2 – 8.4 V) için 4.3'e (0.98 – 1.95 V) bölecek şekilde ayarlanmıştır.

Koruma devresi mikrokontrolörün ADC birimine gelen gerilim sinyallerinin 0 ile 3.3 V arasında kalmasını sağlamaktadır. Böylece sensörlerin bozulması, yanlış takılması veya beklenmeyen bir sinyal göndermesi durumunda mikrokontrolörün ADC birimine zarar gelmemesi sağlanmaktadır. Koruma devresi Şekil 2.13'te görüldüğü gibi opamp'lı tampon devresidir. Mikrokontrolörün ADC birimine giden bütün sinyaller Şekil 2.12'de görüldüğü üzere koruma devresinden geçmektedir. Bu devre (opamplı tampon devresi) her sinyal için ayrı ayrı kurulmuştur.



Şekil 2.13: Gerilim bölücü ve koruma devresi.

2.3.4.5 Sıcaklık sensörleri

Robot üzerindeki sıcaklık sensörleri bataryaların ve motor sürücünün sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Sıcaklık sensörleri güç kartına veri göndermektedir. Güç kartına gelen sinyaller koruma devresinden geçtikten sonra mikrokontrolörün ADC pinlerine bağlanmaktadır. Güç kartı mikrokontrolörü de bu sıcaklık değerlerinin istenilen seviyelerde kalmasını sağlamaktadır. Sensör olarak gövde seviyesinde anlatıldığı gibi LM35 sensörleri kullanılmıştır.

2.3.4.6 Haberleşme

Güç kartının bir diğer görevi de anakart ile haberleşmesidir. Güç kartı ölçtüğü verileri ve sistem durumunu anakarta gönderir ve anakarttan komut alır. Haberleşme için ilk olarak RS – 485 arayüzü seçilmiştir. Çünkü güç kartının ayrı bir seviyede (1.seviye) su geçirmez bir bölümde tutulması düşünülmüştür. Ancak tasarımın değişmesinden dolayı güç kartı 2.seviyede anakartın yanına yerleştirilmiştir. RS-485 birimi sistemde eşleme sorunu oluşturduğu için kaldırılmıştır. Bunun yerine UART seri haberleşme arayüzü kullanılmıştır. Haberleşme programları Bölüm 3’te anlatılmıştır.

2.3.4.7 Şarj sistemi

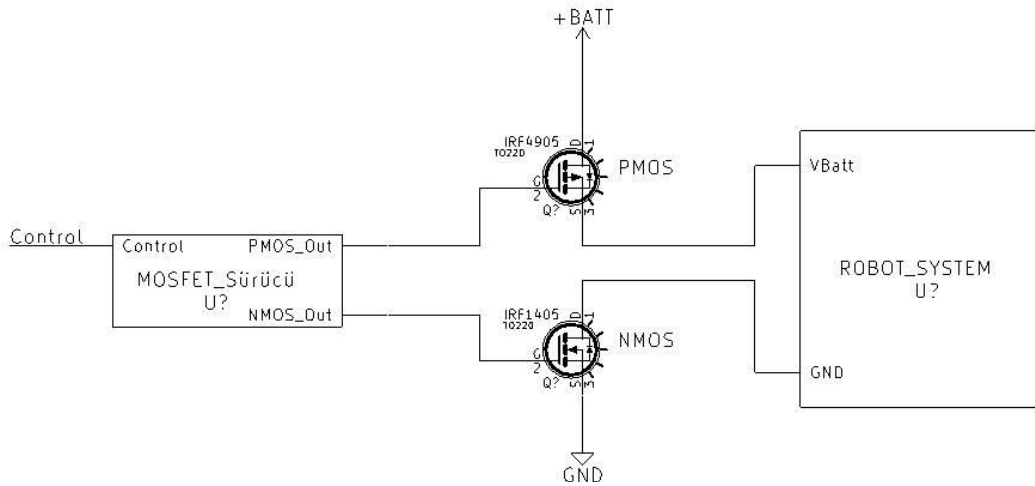
Şekil 2.12’de görüldüğü üzere şarj birimi iki parçadan oluşmaktadır. Birincisi şarj kontrol, ikincisi şarj cihazı kontrol birimidir. Şarj cihazı kontrol birimi güç kartı dışında güç kartı mikrokontrolörü tarafından gerçekleştirilir. Bu birimde güç kartı ölçtüğü şarj girişine göre şarj cihazını röle yardımıyla açar veya kapatır.

Şarj kontrol birimi ise LiPo bataryalardan gelen balans sinyallerini (batarya ölçüm) röleler aracılığıyla şarj cihazına bağlar.

2.3.4.8 Çıkış kontrol birimi

Çıkış kontrol birimi güç kartının bütün robotun güç hattını kontrol etmesini sağlayan birimdir. Güç kartı sensörlerden gelen veriler doğrultusunda bu birimi sürerek robotu açar veya kapatır. Çıkış kontrol birimi tasarlanırken en çok çıkış kontrol biriminde harcanacak olan enerjinin minimuma indirilmesi hedeflenmiştir. İlk tasarım röle kullanılarak yapılmıştır. Ancak rölenin bobininde harcanan ve bobinin kontaklarında kaybolan enerjiden tasarruf etmek amacıyla vazgeçilmiştir. Ayrıca bobinlerde kontak sınır akımı aşılması durumunda bobinlerin kontakları kilitlenmektedir. Bu nedenlerden ötürü yarım köprü yapısı ile tasarıma devam edilmiştir. Şekil 2.14'te çıkış kontrol biriminin devre şeması gösterilmiştir. Şekil 2.14'ten görüldüğü üzere çıkış kontrol birimi bir PMOS ve bir NMOS'un yarım köprü şeklinde kullanılmasından oluşmaktadır. Çıkış kontrol biriminde hem PMOS hem de NMOS kullanılmasının sebebi bataryayı şarj veya deşarj ederken sistemde bir sorun oluşması durumunda mikrokontrolörün bataryayı robotun sisteminden izole edebilmesini sağlamaktır.

Yarım köprü yapısı MOSFET'lerden oluştuğu için rölelerin bobinlerindeki gibi bobin açık kaldığı sürece sürekli akım çekmesi gerekmemektedir. Yarım köprü tasarımı yapılırken PMOS ve NMOS'lar savak – kaynak arası dirençlerine göre seçilmişlerdir. Seçilen PMOS'un 20 mΩ ve NMOS'un 5 mΩ drain – source direnci vardır. Ayrıca seçilen MOS'ların azami gerilim ve akım değerlerinin sistemin ihtiyaçlarından yüksek olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 2.14: Çıkış kontrol birimi.

2.3.4.9 Güç kartı programlanması

Güç kartında LPC1343 mikrokontrolörü bulunmaktadır. Bu mikrokontrolör ve anakart üzerindeki LPC1769 mikrokontrolörü LPCXpresso IDE'si ile C dili kullanılarak

programlanmıştır. Mikrokontrolörler LPC – Link adı verilen bir kart vasıtasıyla ile programlanmaktadır. LPC – Link kartı SWD protokolünü kullanmaktadır. Bu protokol sayesinde programa kırılma noktası konulabilmekte, işlemcinin ve çevre birimlerinin kullandığı yazmaçlara ve program değişkenlerine erişilebilmektedir.

Güç kartı mikrokontrolörünün kullandığı GPIO, TIMER, ADC ve UART çevre birimleri için yazmaç seviyesinde kütüphaneler baştan yazılmış veya kullanıma yönelik olarak düzenlenmiştir.

LPC1343 mikrokontrolörünün ADC çevre birimi donanımsal – tetiklemeli dönüşümü desteklemektedir. Bu sayede mikrokontrolörün her ADC kanalında tek tek ölçüm yapmasına gerek kalmamaktadır. ADC birimi önceden belirlenmiş kanalların hepsinde ölçümler yapmakta ve en son kanalın ölçümü bittiğinde kesme oluşturmaktadır. Böylece yüksek hızda ölçüm yapılabilir.

Güç kartı programlanırken ölçülen ADC sinyallerinde dalgalanma olduğu tespit edilmiştir. Bu dalgalanmaları aşmak için mikrokontrolör her ADC kanalından 50 ayrı ölçüm almaktadır. Ölçümler tamamlandığında mikrokontrolör aldığı ölçümlerin ortalamasını alarak sinyal ölçümlerini filtrelemektedir. Güç kartı için hazırlanan kontrol programları Bölüm 3’te anlatılmıştır.

2.3.5 Anakart

Anakart aracın beyni gibi çalışır. Anakart sensörlerden aldığı veriler neticesinde hesaplama yapar ve bu hesaplamalar sonucunda motorları, motor sürücü kartı üzerinden sürer. Anakartın görevleri şunlardır:

- Güç kartı ile haberleşmek.
- Dördün kodlayıcılardan ve mesafe sensörlerinden veri almak.
- Kablosuz haberleşme kartı üzerinden bilgisayar veya merkez ile haberleşmek.
- Açık ve konum sensörleri kartı ile haberleşmek.
- Beaglebone ile haberleşmek.
- Sensörlerin ve diğer birimleri çalıştırıp, kapatmak. Canlı görüntü aktarım kamerasını yönlendirmek.
- Haberleşmeler ve ölçümler sonucu oluşturulan bilgi ile işlem yaparak motorları sürmek.

Şekil 2.15’de anakartın diyagramı ve şekil 2.9’da anakartın gerçekleşmiş hali gösterilmiştir. Bu bölümün devamında tasarlanan anakartın donanımsal tasarımından bahsedilecektir. Hazırlanan programlar ve kontrol yöntemleri Bölüm 3’te anlatılmıştır.

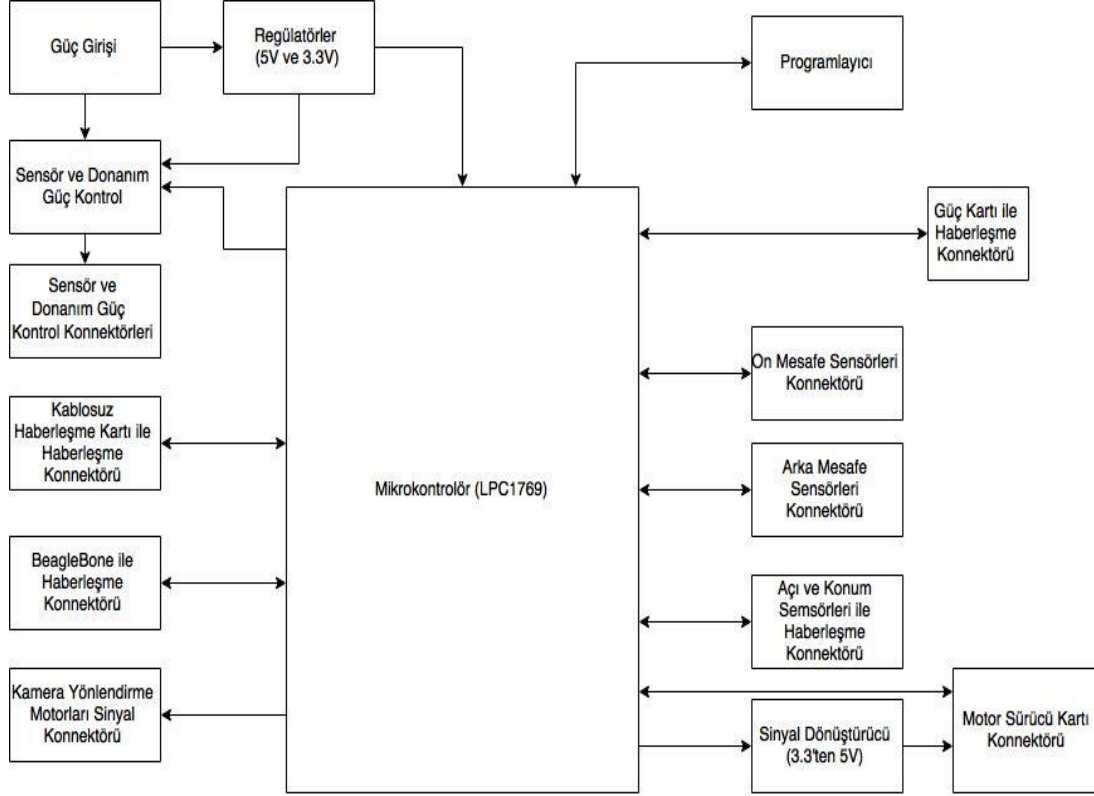
2.3.5.1 LPC1769 mikrokontrolörü

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi anakart bütün verilerin toplandığı, işlendiği ve işlenen verilerin sonucuna göre robotu hareket ettiren karttır. Bu nedenle anakart üzerinde kullanılan mikrokontrolörün yüksek hızda çalışması, çok sayıda sensör okuması, birden fazla haberleşme yapması, toplanan veriler ile kontrol metodları gibi karmaşık matematiksel işlemler yapması gerekmektedir. Anakart mikrokontrolörü üzerinde birden fazla kontrol yöntemi ve çok sayıda alt programlar bulunacağından dolayı program hafızasının geniş olması gerekmektedir. Ayrıca her birim, fonksiyon ve algoritma ayrı ayrı değişkenler ve diziler tutacağı için mikrokontrolörün veri hafızasının da geniş olması gerekmektedir. Mikrokontrolör seçimindeki bir diğer faktör de mikronkontrolörün çevre birimlerinin (özellikle giriş – çıkış pini ve haberleşme birimlerinin) sayısının fazla olması ve mikrokontrolörün bu birimlerden gelen kesmeleri hızlı bir şekilde işleyebilmesi gerekmektedir. Son olarak hazırlanan robot geliştirme amaçlı olduğundan güç kartı mikrokontrolöründe olduğu gibi SWD veya JTAG protokolleri gibi programlama ve programı kontrol etme protokollerinden birini desteklemesi gerekmektedir.

Bu kıstaslar göz önüne alınarak ve daha önceden kullanılmış olması dolayısıyla anakartı kontrol etmesi için LPC1769 mikronkontrolörü seçilmiştir. LPC1769 mikrokontrolörünün özellikleri şunlardır (Embedded Artists, t.y.):

- 32 bitlik ve 120 MHz frekansında çalışan Cortex – M3 mikroişlemcisi.
- 512 kB program hafızası ve 64 kB veri hafızası (SRAM).
- Sekiz kanallı genel amaçlı doğrudan belleğe erişim (DMA) birimi.
- İç içe yönlendirilmiş kesme denetleyicisi (NVIC).
- Önyükleyici yazılım sayesinde sistem içinde programlama ve uygulama içinde programlama.
- Ethernet, USB, 4 UART, 1 SPI, 2 SSP, 3 I2C, 2 CAN, 70 pin giriş çıkış, 12 bit 8 kanallı ADC, 12 bit 1 kanal DAC, 4 zamanlayıcı.

LPC1769 mikrokontrolörü LPC1343 mikrokontrolörü gibi bilgisayar üzerinde LPCxpresso IDE'si ve LPC – Link kartı ile programlanabilmektedir. LPC1343 mikrokontrolünde olduğu gibi LPC1769 mikrokontrolörü için de hazır kart kullanılmıştır.



Şekil 2.15: Anakartın diyagramı.

2.3.5.2 Gerilim düzenleyiciler

Anakart üzerinde yine güç kartında olduğu gibi 3.3 V ve 5 V gerilimlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle 5 V üretmek için LM2596 gerilim düzenleyici kartı kullanılmıştır. 3.3 V içinse LM1117T lineer gerilim düzenleyicisi kullanılmıştır.

2.3.5.3 Sensör ve donanım güç kontrol

Güç tasarrufu sağlamak için, robot üzerinde bazı birimlerin kullanılmadığı zamanlarda kapatılması istenmiştir. Bu nedenle anakarta PMOS'lerden oluşturulmuş bir güç kontrol devresi konulmuştur. Güç kontrol devresinde PMOS'ların kullanılmasının sebebi tasarım ile alakalıdır. PMOS'lar sayesinde her birimin besleme gerilimi kontrol edilebilmektedir. Böylece birimlere giden toprak (GND) bağlantıları aynı hat üzerinden gönderilebilmektedir. Güç bağlantıları şu şekildedir:

- Hep açık birimler: LPC1769 mikrokontrolörü ve kablosuz haberleşme kartı.

- 1. Grup: Dördün kodlayıcı, motor sürücü, aç ve konum sensörleri kartı ve mesafe sensörleri (5V).
- 2. Grup: Beaglebone, USB kamera, USB kamera yönlendirme (5V).
- 3. Grup: Canlı görüntü aktarıcı, kamera, kamera yönlendirme motorları (Batarya gerilimi).
- 4. Grup: İleride eklenebilecek birimler için boş bırakılmıştır (Batarya gerilimi).

Bu birim sayesinde yüksek güç çeken beaglebone ve görüntü aktarıcı birimleri isteğe bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. Ayrıca araç şarj olurken bütün birimler kapatılarak şarj verileri bilgisayara aktarılabilir.

2.3.5.4 Dâhili olmayan birimler

Şekil 2.15’de anakarta bağlanan birimler görülmektedir. Ancak önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, bu birimlerin birçoğu anakarta dâhil değildir. Yani bu birimler ana kart üzerindeki konnektörlerle LPC1769 mikrokontrolörüne bağlanmaktadır.

2.4 Ek Birimler Seviyesi

Ek birimler seviyesi ve üzeri seviyeler araç üzerine seçime bağlı olarak konulan parçalardan oluşmaktadır. Örneğin aracın manuel sürüş sırasında görüntü aktarması istendiğinden ek birimler seviyesine bir görüntü aktarıcı, kamera ve kamera yönlendirme sistemi eklenmiştir. Aynı şekilde tezde konum ve aç destekli otonom sürüş yapılması istendiği için aç ve konum sensörü eklenmiştir. Şekil 2.16’da üçünü seviyenin diyagramı ve Şekil 2.17’de ek birimler seviyesinin gerçekleşmiş hali gösterilmiştir. Ek A’da ek birimler seviyesinin değişik açılardan çekilmiş fotoğrafları bulunmaktadır.

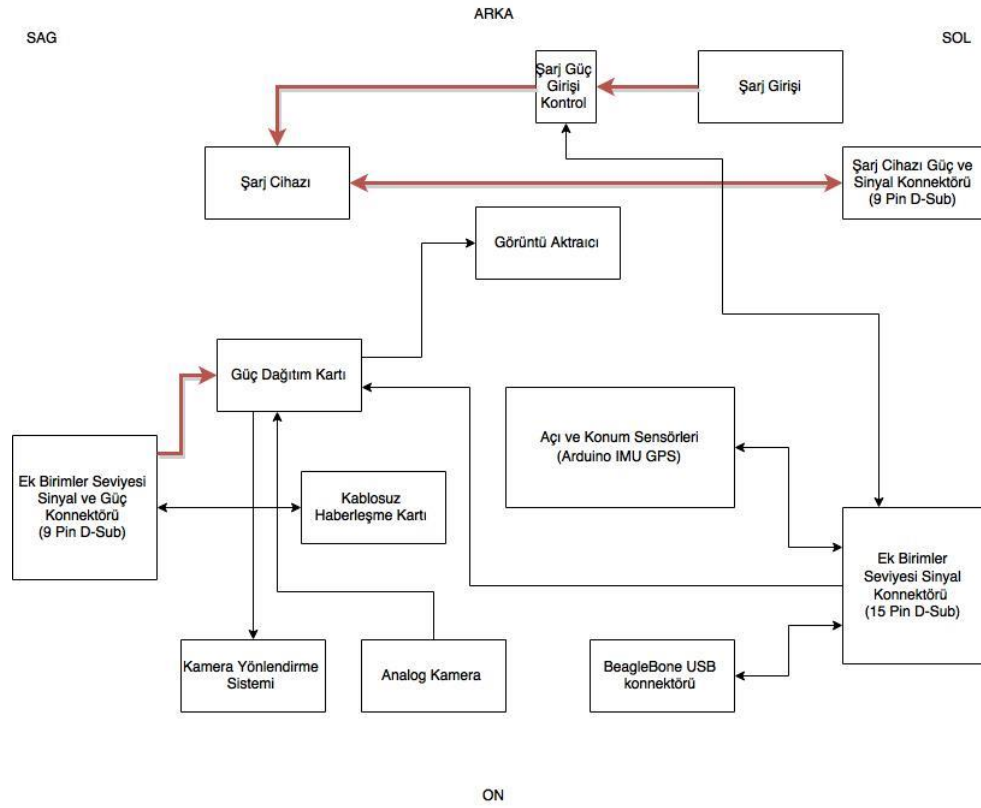
2.4.1 Şarj Sistemi

Şarj sistemi robotun bataryalarını şarj eden sistemdir. Şarj sistemi güç kartı tarafından kontrol edilmektedir. Bu sistemde, aracın şarj girişine gelen gerilim güç kartı tarafından ölçülmektedir ve ölçüm sonucuna göre güç kartı robotun bataryalarını şarj etmesi için şarj cihazını açmaktadır.

2.4.1.1 Şarj girişi ve şarj güç girişi kontrol

Şarj güç girişi, robotun bataryalarını şarj etmek için dışarıdan gelen gücün araca girdiği yerdir. Bu giriş gerilimi güç kartı tarafından ölçülmektedir, eğer giriş gerilimi 11 V’un

üzerindeyse güç kartı şarj cihazının güç girişini kontrol eden röleyi açar. Böylece şarj cihazı aracı şarj etmeye başlar.



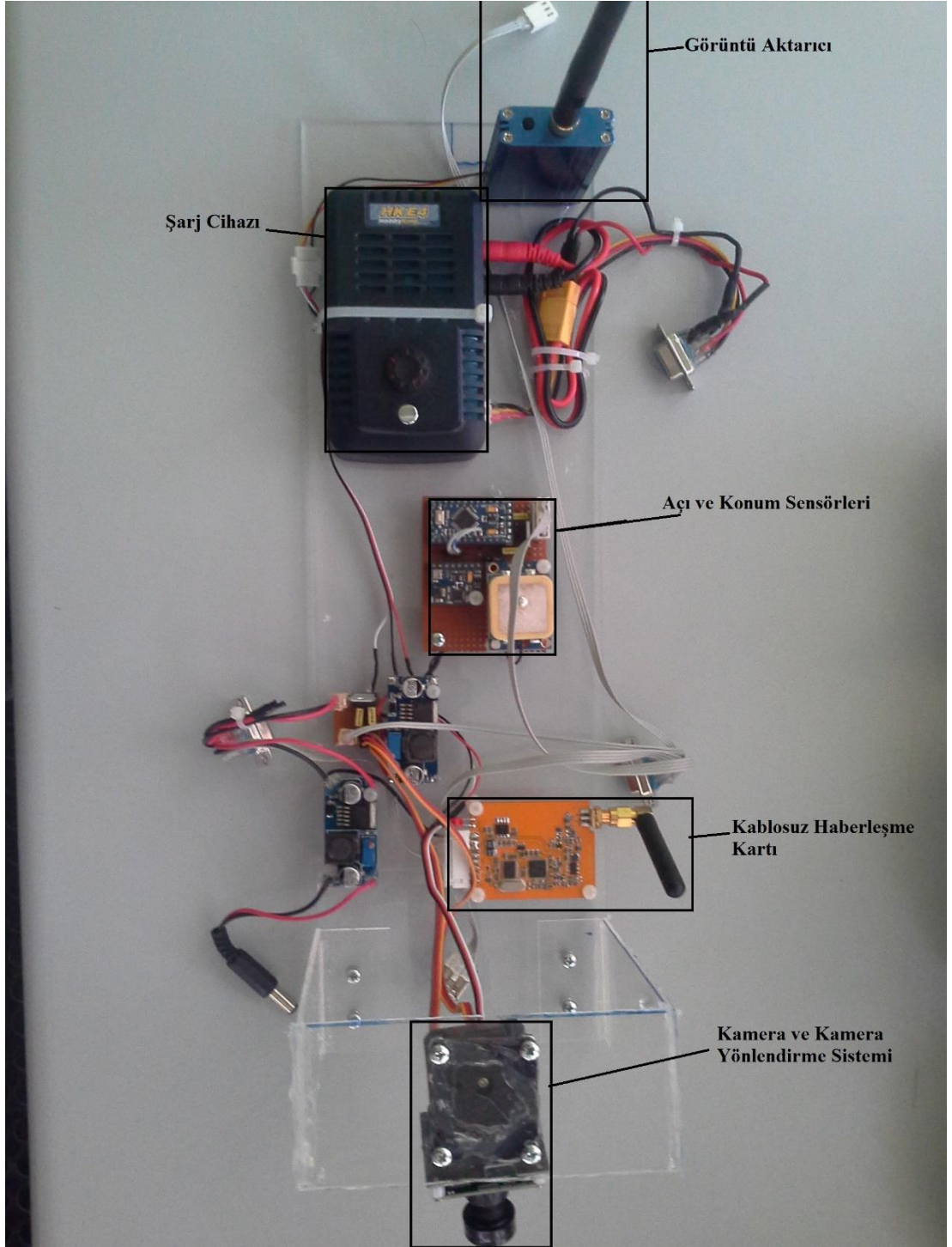
Şekil 2.16: Ek birimler seviyesinin diyagramı.

Şarj girişine gerilimin güç kartından ölçülebilmesi için güç kartında giriş gerilimini beşe bölen gerilim bölücü oluşturulmuştur. Gerilim bölücüdün çıkan sinyal diğer sensör girişlerinde olduğu gibi koruma devresine bağlanmıştır.

2.4.1.2 Şarj cihazı

Şarj cihazı seçilirken kullanılan LiPo bataryaların özellikleri göz önüne alınmıştır. Kullanılan LiPo bataryalar iki hücreli olduğundan şarj cihazının iki hücreli LiPo bataryaları dengeli olarak şarj edebilmesine dikkat edilmiştir. Şarj cihazı seçerken bir diğer kistas da şarj akımının değeri olmuştur. Seçilen LiPo bataryaların şarj akımları 2C'dir. Burada C değeri bataryaların kapasitesini göstermektedir. Robot üzerinde kullanılan bataryaların kapasitesi 6 Ah'dir. İki paralel batarya kullanıldığından toplam kapasite 12 Ah olmuştur. Yani bataryalar azami 24 A'lık akım ile şarj edilebilmektedir. Yüksek şarj akımları bataryaların ömrünü azalttığından ve yüksek akım ile şarj eden

şarj cihazlarının maliyeti yüksek olduğundan 5A ile şarj eden şarj cihazı seçilmiştir. Ancak bu durumda aracın şarj süresi uzamıştır. Şekil 2.17’de şarj cihazı gösterilmiştir.



2.4.2 Görüntü Aktarma Sistemi

Görüntü aktarma sistemi manuel kontrol sırasında veya otonom kontrol sırasında aracın hareketlerini izleyebilmek için robot üzerine eklenmiş bir canlı görüntü aktarma

sistemidir. Sistem üç parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar kamera, görüntü aktarıcı ve kamera yönlendirme sistemidir.

2.4.2.1 Kamera

Bu sistemde kullanılan kamera, görüntü aktarıcı ile beraber paket halinde alınmıştır. Kamera 500(Y)*582(D) çözünürlükte PAL standartında analog video çıkışı vermektedir. Şekil 2.17’de kamera, görüntü ve aktarıcı görülmektedir.

2.4.2.2 Kamera yönlendirme sistemi

Görüntü aktarma sisteminde kullanılan kamera ile etrafa bakılabilmesi için iki servo motordan oluşan bir kamera yönlendirme sistemi eklenmiştir. Şekil 2.17’de kamera yönlendirme sistemi gösterilmiştir.

2.4.2.3 Görüntü aktarıcı ve görüntü alıcı

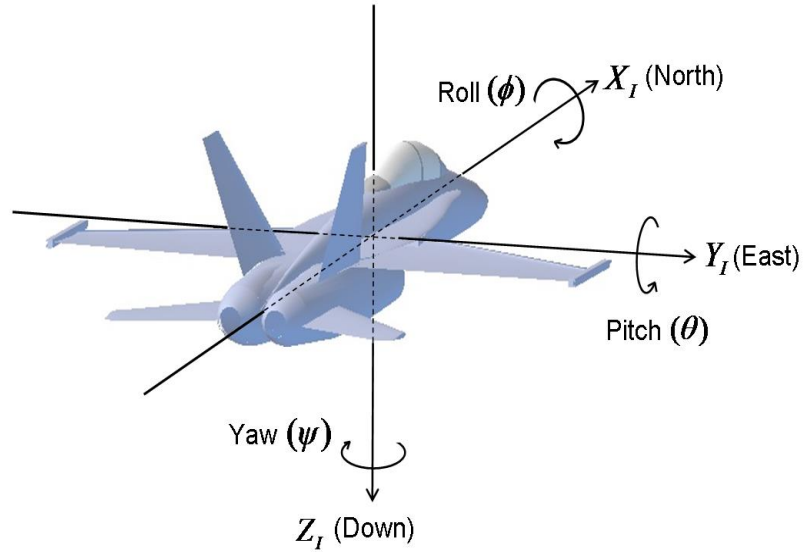
Görüntü aktarma sistemi, 2.4 GHz frekansında ve 1 Watt gücünde kablosuz olarak görüntü aktarmaktadır. Görüntü aktarıcı robot üzerine montajlanmıştır. Görüntü alıcı da merkez istasyona bağlanmıştır. Böylece araç üzerinden canlı görüntü alınmaktadır. Kullanılan görüntü aktarıcısının besleme gerilimi 12 V’tur. Batarya gerilimi, bataryaların doluluğuna göre 7 – 8.4 V değeri arasında değişmektedir. Sistemde 12 V oluşturmak için anahtarlama modlu gerilim yükseltici (Boost) kullanılmıştır.

2.4.3 Açık ve Konum Sensörleri

Aracın dünya üzerindeki konumunu bulmak için GPS sensörü ve aracın dünyaya göre duruşunu bulabilmek için açı sensörlerine (IMU) ihtiyaç duyulmaktadır. Açık sensörleri aracın Euler açılarını bulur. Şekil 2.18’de bir uçak üzerinde Euler açıları gösterilmiştir. Euler açıları üç ayrı açıdan oluşmaktadır. Bu açıların adları roll, pitch ve yaw açılarıdır. Bu üç açı bir aracın veya cismin koordinat merkezine göre duruşunu (oryantasyonunu) belirlemek için yeterlidir. Otonom robot üzerinde koordinat merkezi, araç üzerinde IMU sensörünün bulunduğu yerdir.

IMU sensörü robotun ilk haldeyken aracın önünün (x – ekseninin) kuzeye, aracın altının (z – ekseninin) ise dünyanın merkezine baktığını referans alarak ölçüm yapar. Yani araç referans pozisyonundayken roll açısı sıfır, pitch açısı sıfır ve yaw açısı sıfırdır. Aracın en küçük hareketinde bu açıları yeniden hesaplanır böylece aracın dünyaya göre üç boyutlu uzaydaki duruşu yeni Euler açıları tarafından ifade edilir. Konum sensörü olan GPS sensörü ise aracın dünyada nerede olduğunu gösteren enlem

ve boylam bilgisini gönderir. Açı ve konum sensörlerinin birleşimi sayesinde aracın dünyada nerede olduğu ve dünyaya göre duruşu bilinmiş olur.



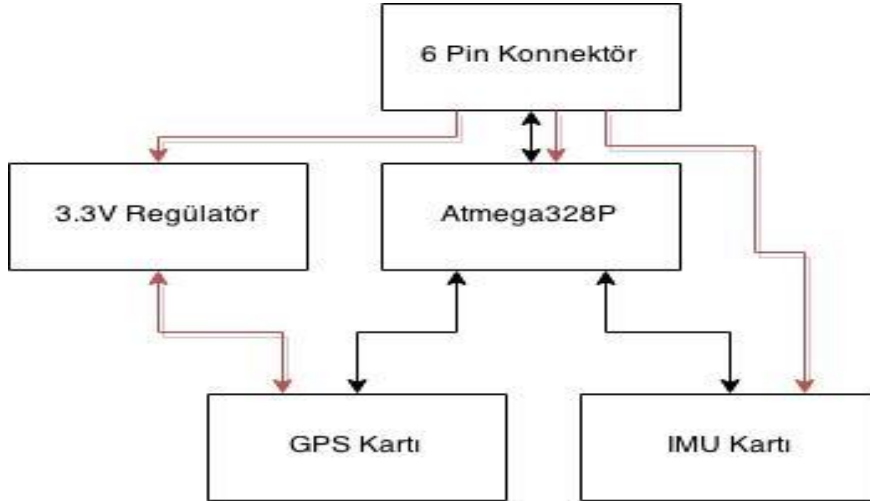
Şekil 2.18: Bir uçağın üzerinde Euler açılarının gösterimi (CH Robotics,t.y.).

2.4.3.1 Kartın Tasarımı

Açı ve konum sensörleri kartı üç tane kartın birleşiminden oluşmaktadır. Bu kartlar şunlardır:

1. **GPS kartı:** Ublox Neo 6m yongasının bulunduğu karttır. Bu yonga karta dahil bir anten ile dünya üzerindeki konumu bulur ve seri UART haberleşmesini kullanarak bulduğu verileri gönderir.
2. **IMU kartı:** Bu kartın üzerinde MPU6050 yongası (3 eksenli ivme ölçer, 3 eksenli jiroskop), HMC5883L yongası (3 eksenli manyetometre) ve MS5611 (basınç ölçer) yongası bulunmaktadır. Bu yongaların hepsi I²C haberleşme protokolünü kullanmaktadırlar.
3. **Arduino kartı:** Bu kartın üzerinde sensörlerden gelen verileri işleyen ve anakarta gönderen ATMEGA328P mikrokontrolörü bulunmaktadır.

Şekil 2.19’da açı ve konum sensörleri kartının diyagramı görülmektedir. Kartın gerçekleştirilmiş hali Şekil 2.17’de görülmektedir. Karta 6 pin konnektör üzerinden 5 V gelmektedir. GPS kartı 3.3 V ile çalıştığından kart üzerine bir gerilim düzenleyici eklenmiştir.



Şekil 2.19: Açık ve konum sensörleri kartının donanımsal tasarımı.

Kart üzerinde ATMEGA328P mikrokontrolörünün seçilmesinin başlıca nedeni ARDUINO arayüzü kullanarak programlanabilmesidir. Böylece hazır IMU ve GPS kütüphaneleri kullanılmıştır. Kullanılan IMU algoritması ve GPS programından Bölüm 3’te bahsedilmiştir.

2.4.4 Kablosuz Haberleşme Kartı

Kablosuz haberleşme kartı robotun merkez ile veri alış verişi yapmasını sağlayan karttır. Merkez bilgisayarı bu kart üzerinden, robot üzerindeki karta veri gönderir. Anakart da bu kart üzerinden veri alarak aracı sürer. Ayrıca anakartta toplanan sensör verileri (güç kartı, mesafe sensörleri, hız sensörleri, ...) kablosuz haberleşme kartı aracılığıyla merkez bilgisayara gönderilir. Kablosuz haberleşme kartı Şekil 2.17’de ve özellikleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Kart üzerinden haberleşme Bölüm 3’te haberleşme protokolleri ile anlatılmıştır.

Çizelge 2.6: Kablosuz haberleşme kartının özellikleri (Dorji, t.y.).

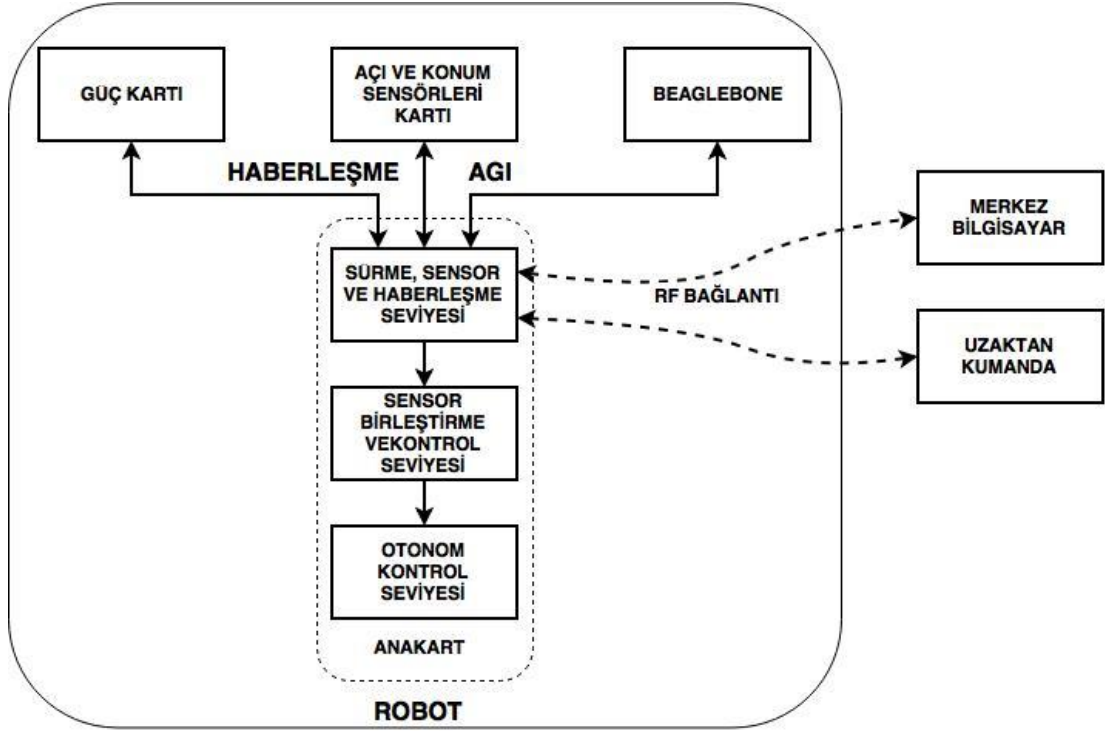
Parametre	Değer
Kablosuz haberleşme modülasyonu	GFSK
Kablosu haberleşme frekansı	433 MHz
Sinyal çıkış gücü	27dBm (azami)
Seri haberleşme hızı	9600 baud
Besleme gerilimi	4.7 – 8 V

3. YAZILIM YAPISI VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Bu bölümde robot için hazırlanmış yazılım yapısı ve kontrol yöntemleri anlatılacaktır.

3.1 Yazılım Yapısı

Robot üzerinde dört ayrı karta ve merkez bilgisayara programlar yazılmıştır. Şekil 3.1’de robot üzerindeki sistemdeki parçalar görülmektedir. Şekil 3.1’deki sürekli çizgiler robot üzerindeki haberleşme bağlantılarını, kesikli çizgiler ise kablosuz haberleşme bağlantılarını göstermektedir. Bu bölümün devamında bütün kartların ve merkez bilgisayarın yazılımlardan bahsedilecektir.



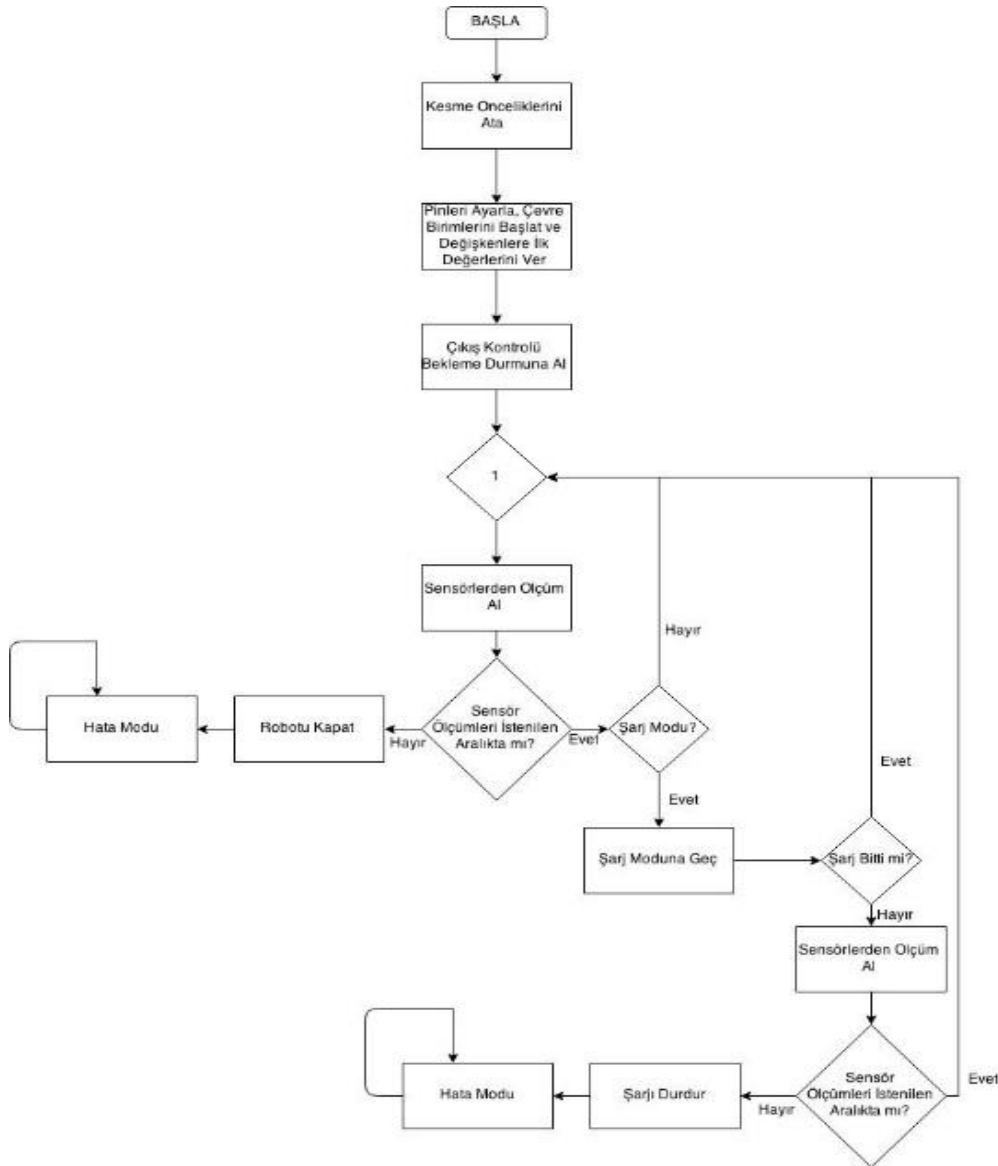
Şekil 3.1: Yazılım yapısının diyagramı.

3.1.1 Güç kartının programları

Bölüm 2.3.4’te güç kartının batarya yönetim sistemi şeklinde çalıştığından bahsedilmişti. Bu bölümde ise güç kartı için yazılmış programlar ve akış diyagramları anlatılacaktır. Güç kartının program yapısı üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde başaltma butonu kesmesi, ikinci bölümde zamanlayıcı kesmesi ve son bölümde ana program bulunmaktadır.

3.1.1.1 Ana program

Ana programın akış diyagramı Şekil 3.2’de görülmektedir. Ana program batarya yönetim sistemi olarak çalışmaktadır. Ana programda ilk olarak kesmelere öncelik ataması yapılmıştır. Kesme öncelikleri sırasıyla ADC, GPIO, TIMER ve UART şeklinde tanımlanmıştır. Kesme önceliklerine hangi çevre birimi daha önemli ve hangi birimler birbiriyle çakışabilir şeklinde düşünülerek karar verilmiştir. Ancak kesme öncelikleri en son halini gerçekleştirme safhasında almıştır. Programın devamında mikrokontrolör kullanacağı pinleri ayarlar, çevre birimlerini başlatır ve değişkenlere ilk değerleri verir. Bütün çevre birimler çalışmaya başladıktan sonra LPC1343 mikrokontrolörü bekleme moduna geçer. Güç kartında dört tane çalışma modu vardır. Bu modlar aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 3.2: Ana programın akış diyagramı.

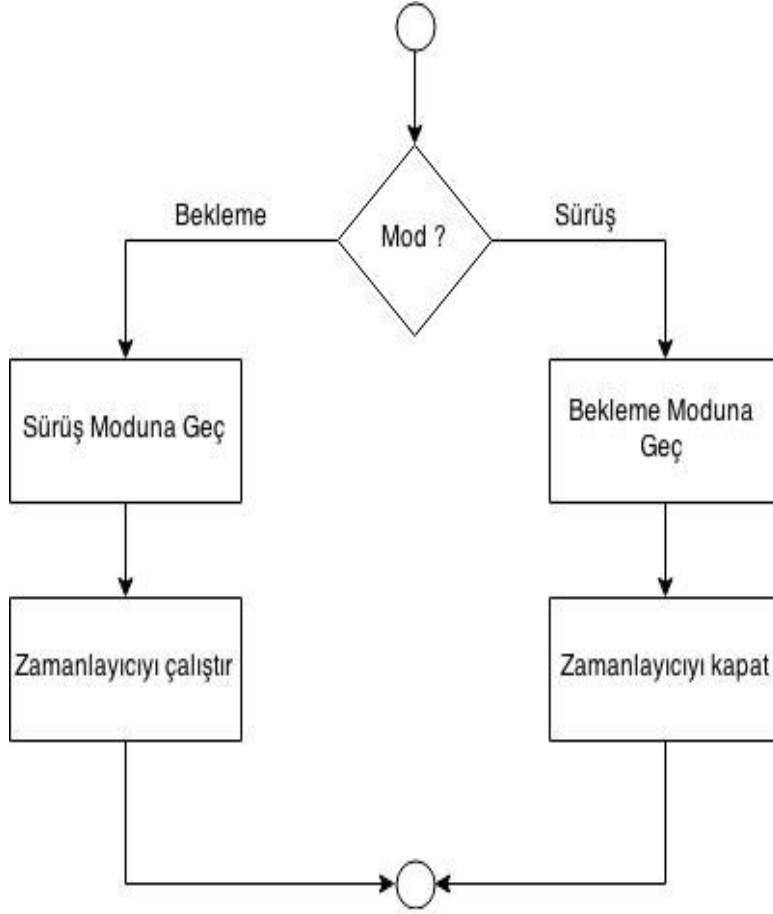
1. **Bekleme modu:** Güç kartı bekleme modundayken çıkış kontrol birimi robotu kapatır, şarj sistemi kapalıdır ve durum LED'i kapalıdır.
2. **Hata modu:** Hata moduna mikrokontrolörün aldığı ölçümlerin istenilen seviyelerde olmaması veya anakarttan cevap alınamaması durumunda geçilmektedir. Hata modunda çıkış kontrol birimi robotu kapatır, şarj sistemi kapalıdır, durum LED'i yanıp söner ve bütün kesmeler kapatılır.
3. **Sürüş modu:** Sürüş modunda çıkış kontrol birimi robotu çalıştırır. Durum LED'i her döngüde değişir (yanar veya söner) ve şarj sistemi kapalıdır. Ayrıca bu modda iken TIMER kesmesi 100ms aralıklarla anakarta veri gönderir.
4. **Şarj modu:** Şarj modunda şarj sistemi çalıştırılır. Çıkış kontrol birimi robotu kapatır ve durum LED'i sürekli yanar.

Güç kartı bataryaları sürekli olarak kontrol edebilmek için sonsuz döngüye girmektedir. Sonsuz döngüde iken sürekli olarak sensörlerden veri okumakta ve her verinin ayrı ayrı üst ve alt limitlerin arasında olup olmadığını kontrol etmektedir. Verilerde hata olması durumunda hata moduna geçmektedir. Verilerde hata olmaması durumunda mikrokontrolör şarj modunu kontrol etmektedir. Şarj moduna geçmek için şarj girişinde 12V'luk bir sinyal ve anakarttan komut gelmesi gerekmektedir. Eğer şarj moduna geçilmişse mikrokontrolör sürekli sensör verilerini ölçer ve şarj limitlerini kontrol eder. Bir hata olması durumunda şarjı kapatır. Şarj bittiğinde, şarj girişinde yeterli gerilim olmadığında veya anakarttan komut gelmemişse mikrokontrolör sonsuz döngü başına gelir.

Programın sonsuz döngüde çalıştırılmasının nedeni çok hızlı ve sürekli bir şekilde sensör verilerinin ölçülmesi ve kontrol edilmesini sağlamaktır. Sonsuz döngüde, bir döngü osiloskop ile 1.2ms olarak ölçülmüştür.

3.1.1.2 Başlatma butonu kesmesi

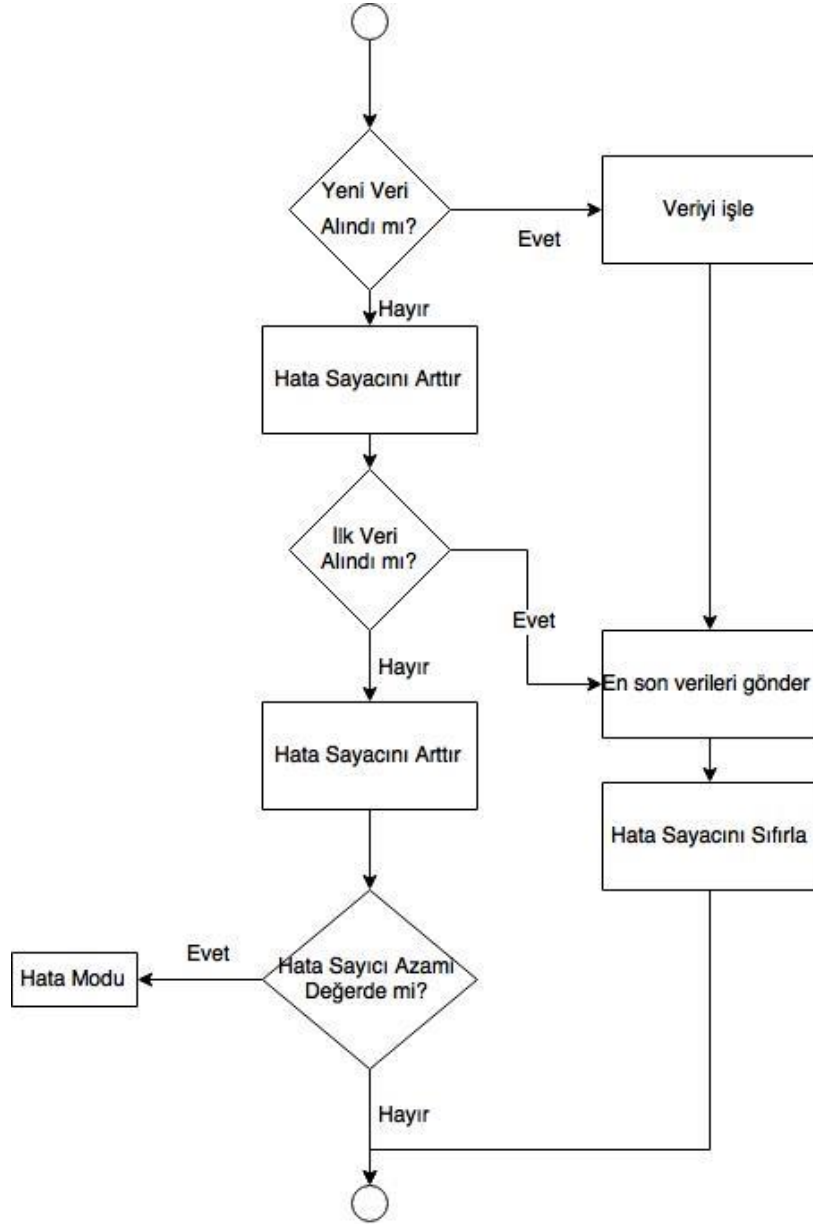
Bu kesme başlatma butonuna basıldığında oluşmaktadır. Bu kesme eğer robot bekleme modundaysa robotu sürüş moduna, eğer sürüş modundaysa bekleme moduna geçirir. Ayrıca bekleme modundan sürüş moduna geçerken zamanlayıcıyı çalıştırır. Şekil 3.3'te başlatma butonu kesmesinin akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.3: Başlatma butonu kesmesinin akış diyagramı.

3.1.1.3 Zamanlayıcı kesmesi

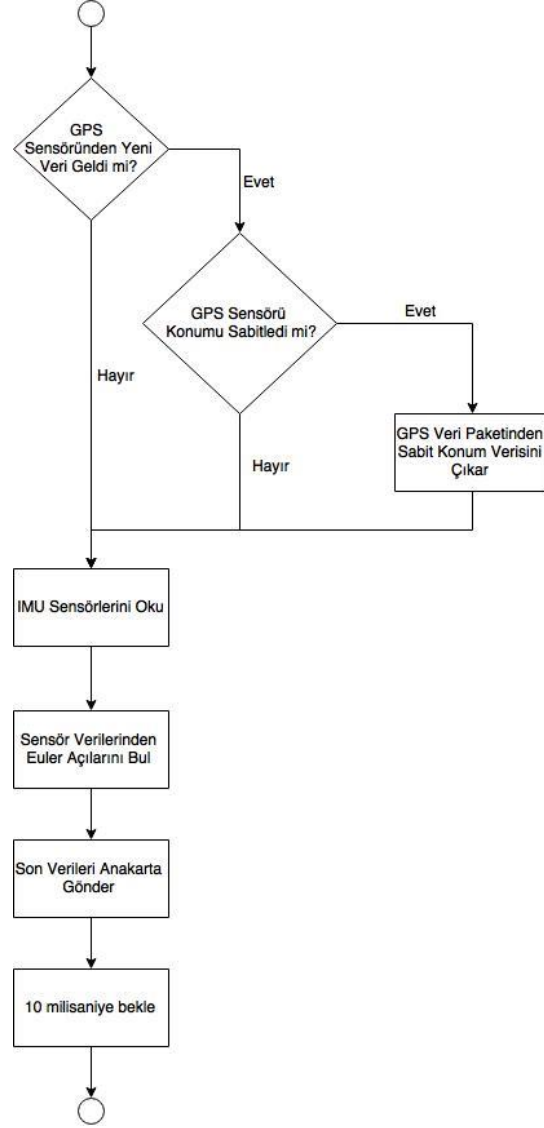
Zamanlayıcı kesmesi 100 milisaniye aralıklarla oluşmaktadır. Zamanlayıcı kesmesi kısaca anakart ile haberleşmeyi sağlamaktadır. Şekil 3.3’de zamanlayıcı kesmesinin akış diyagramı görülmektedir. Şekil 3.3’deki akış diyagramında görüldüğü gibi ilk veri alınmaması veya yeni veri alınmaması durumunda hata sayacı artmaktadır. Hata sayacının azami değere ulaşması durumunda güç kartı hata moduna geçmektedir. Yeni veri alınması veya ilk veri alınmış olması durumunda mikrokontrolör en son ölçtüğü verileri anakarta göndermektedir. Güç kartı anakarta batarya gerilimler, batarya sıcaklıkları, bataryalardan çekilen akım ve komutlar göndermektedir.



Şekil 3.4: Zamanlayıcı kesmesinin akış diyagramı.

3.1.2 Açık ve konum sensörleri kartının programları

Bu bölümde açık ve konum sensörleri kartı üzerinde ATMEGA328P mikrokontrolörüne Şekil 3.5’te görülen akış diyagramı uygulanmıştır. Bilindiği gibi Arduino arayüzü ile mikrokontrolör programlarken iki ana fonksiyon bulunmaktadır. Birinci fonksiyon çevre birimlerinin çalıştırıldığı ve değişkenlere ilk değerlerin verildiği sadece programın başında çalışan “setup” fonksiyonudur. İkinci fonksiyon ise sonsuz döngü içinde çalışan “loop” fonksiyonudur. Şekil 3.5’teki akış diyagramı “loop” fonksiyonu için de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5: Aç ve konum sensörleri kartının akış diyagramı.

Programda kullanılan GPS fonksiyonları Mikal K. (t.y.) tarafından yazılan TinyGPS kütüphanesinden alınmıştır. IMU fonksiyonları ise Versano F. (2012) tarafından yazılan FreeIMU kütüphanesinden alınmıştır.

Kullanılan GPS kütüphanesinde yazılımsal UART birimi kullanılması mikrokontrolörü yavaşlatmasından dolayı donanımsal UART birimi kullanılmıştır. Kullanılan IMU kütüphanesi kullanılan IMU kartına uyumlu hale getirilmiştir. Ayrıca hesaplanan Euler açılarında oluşan kaymaların giderilmesi için jiroskop ölçümleri filtrelenmiştir.

Halen araç hareket ederken aracın “yaw” açısında kayma oluşmaktadır ve GPS sensörü binaların içinde sabit konum bulamamaktadır.

3.1.3 Beaglebone kartının programları

Beaglebone kartı robota görüntü işleme, 3G ve Wi – Fi üzerinden haberleşme işlemlerini gerçekleştirebilmek için eklenmiştir. Bu işlemlerin ileride gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Ancak test etmek amacıyla renkli nesne takibi programı yazılmıştır. Nesne takip programının akış diyagramı Ek C bölümünde verilmiştir. Ayrıca ileri kullanımlar için Beaglebone kartı ile anakart arasındaki haberleşme protokolü de oluşturulmuştur.

3.1.4 Merkez bilgisayarın programları

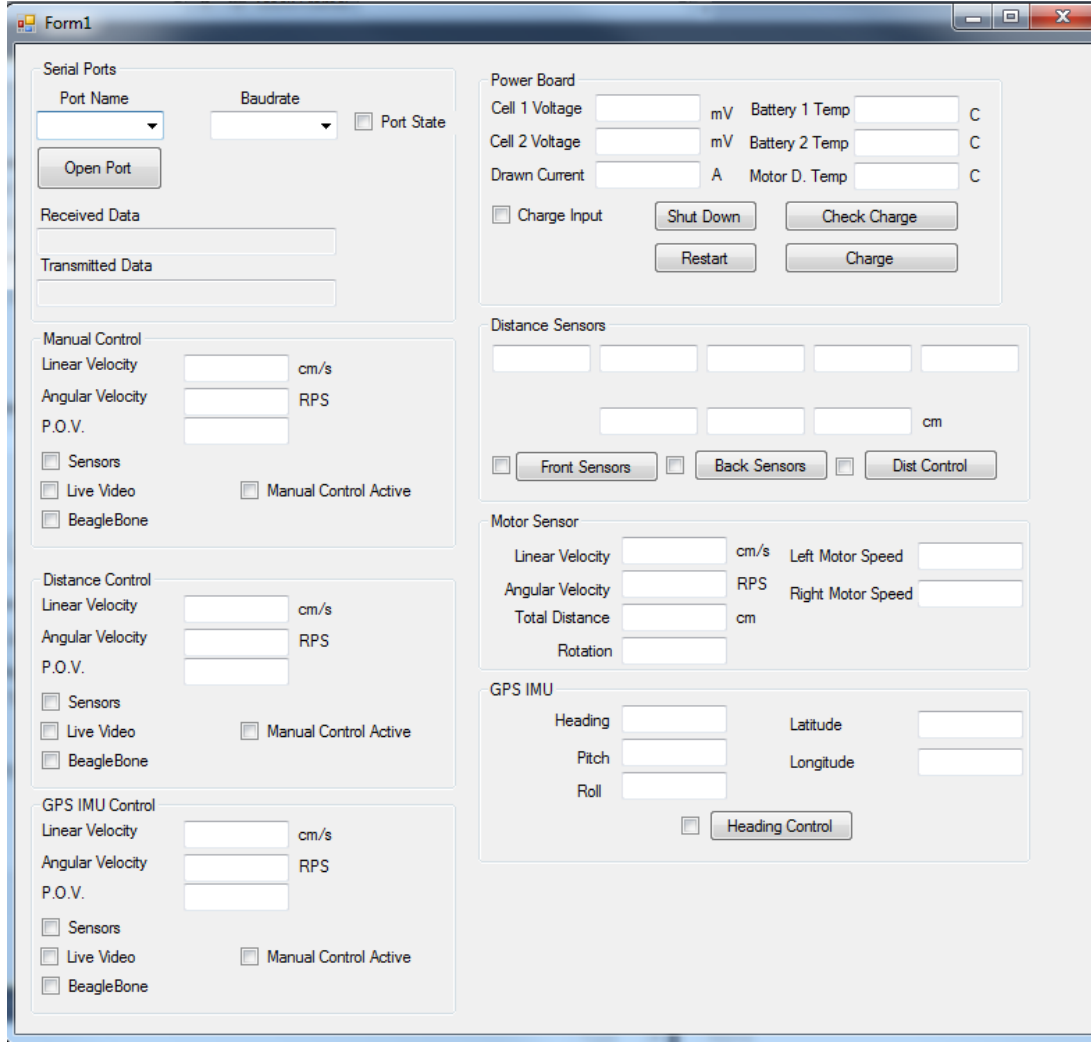
Merkez bilgisayarda Microsoft Visual Studio’da C++ diliyle yazılmış bir form uygulaması çalışmaktadır. Bu program robot üzerindeki program gibi saniyede 20 kere oluşan bir zamanlayıcı kesmesiyle çalışır. Her kesme oluştuğunda bilgisayar joystick’ten okuduğu verileri bir USB – seri port aracılığıyla robota gönderir. USB port bir USB – UART çeviriciyle kablosuz haberleşme kartına bağlıdır. Şekil 3.6’da merkez bilgisayar için hazırlanan program görülmektedir.

Şekil 3.6’daki programda sol alttaki kısım otonom kontrol için hazırlanmıştır. Henüz otonom kontrol programları bitmediğinden, manuel kontrol için hazırlanan sekme kopyalanmıştır.

Bilgisayarda hazırlanan merkez arayüzü manuel kontrol modunda çalışırken robottan gelen verileri Şekil 3.6’da görülen kutucuklara yazmaktadır ve joystick’ten gelen veriler ile manuel kontrol paketini oluşturmaktadır. Son olarak bu paketi seri port üzerinden robota göndermektedir.

Ayrıca merkez bilgisayarda çalıştırılacak olan MATLAB programları için anakartta protokol üzerinde çalışılmaktadır. Böylece anakartta toplanan veriler anlık olarak bilgisayara gönderilebilecek, bilgisayarda çalışan MATLAB programı da bu verileri grafiksel olarak gösterebilecek veya verileri işleyip anakart üzerinden robotu kullanarak test yapabilecektir.

Sisteme en son eklenen uzaktan kumanda ise sıklıkla model araçlarda kullanılan kumanda tipindedir. Bu kumandanın sisteme dâhil edilmesinin sebebi, saha testlerinde aracın manuel olarak kontrol edilebilmesini sağlamaktır.



Şekil 3.6: Merkez bilgisayarda hazırlanan program.

3.1.5 Ana kartın programları

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere anakartın programları üç ayrı seviyeye bölünmüştür. Bu seviyeler kısaca şunlardır:

1. **Sürme, sensör ve haberleşme seviyesi:** Bu seviyede robotun motorlarını sürme, anakarta bağlı sensörleri okuma ve haberleşme programları bulunmaktadır.
2. **Sensör birleştirme ve kontrol seviyesi:** Bu seviyede anakartın haberleşerek veya ölçerek topladığı verilerin birleştirilmesini gerçekleştiren ve kontrol metodlarını içeren programlar bulunmaktadır. Bu seviye Bölüm 3.2’de anlatılmıştır.
3. **Otonom kontrol seviyesi:** Bu seviye otonom kontrol programlarından oluşmaktadır. Bu seviye henüz gerçekleştirilememiştir.

3.1.5.1 Sürme, sensör ve haberleşme seviyesi

Sürme sensör ve haberleşme seviyesi kendi içinde üçe ayrılmaktadır. Bu bölümde her seviye detaylı olarak anlatılmıştır.

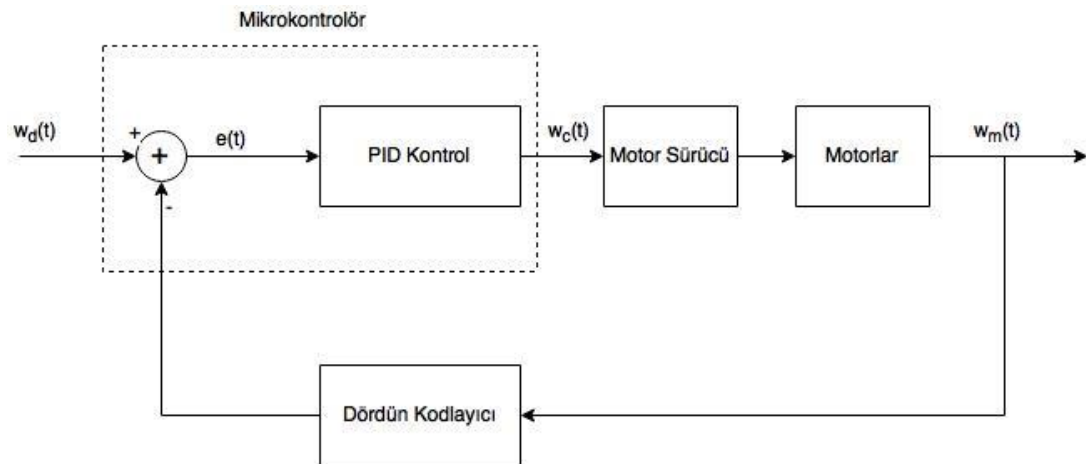
Sürme programları

Hareket motorlarını kontrol etme

Robotun motorlarını hız kontrolü yapmadan sürmek için basit motor sürme fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu fonksiyon hız kontrolü yapmadan motorları sürmeye yarar. Aslında ileride gösterilecek bütün kontrol yöntemlerinin temelidir. Bu fonksiyon anakarttan motor sürücüsüne giden yön sinyallerini ve hız sinyali olan PWM sinyalini kontrol etmektedir.

Robotun hareketinin daha kontrol edilebilir, daha keskin ve daha mantıksal olması için motorlara takılı olan dördün kodlayıcılardan gelen geri besleme sinyalleri kullanılarak PID kontrolü LPC1769 mikrokontrolörü üzerinde gerçekleştirilmiştir. PID kontrolü tekerleklerin dönüş hızlarını kontrol etmek için kullanılmıştır.

Şekil 3.7’de PID kontrol diyagramı gösterilmiştir. PID kontrolü için ilk olarak, istenilen açısal hız (w_d) ile ölçülen açısal hız (w_m) arasındaki fark bulunur. PID kontrolün amacı bu farkın yani hatanın (error) minimuma indirgenmesidir.



Şekil 3.7: PID kontrol diyagramı.

$$error(t) = e(t) = w_d(t) - w_m(t) \quad (3.1)$$

Sonra hesaplanan bu hata ($e(t)$) aşağıdaki formülde (3.2) yerine konulur.

$$w_c(t) = \left(K_p \times e(t) \right) + \left(K_d \times \frac{d}{dt} e(t) \right) + \left(K_i \int e(t) dt \right) \quad (3.2)$$

Formül (3.2) Şekil 3.7'deki PID kontrol bloğunun formülüdür. Formül (3.2)'de üretilen $w_c(t)$ sinyali motor sürücüyü oradan da motorlara uygulanır.

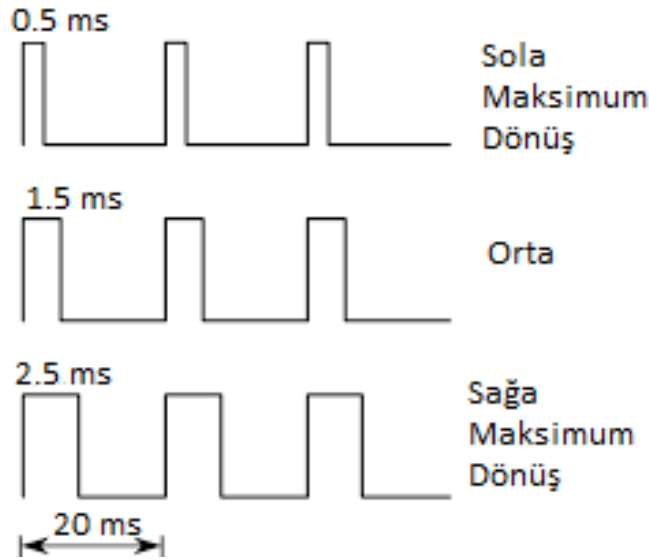
Burada kullanılan formül zamanda sürekli olduğu için mikrokontrolör içinde gerçekleştirilemez. Bu nedenle ayrık zamanlı PID kontrolcü mikrokontrolör üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki formül (3.3) ayrık zamanlı PID kontrol formülüdür.

$$w_c[n] = (K_p \times e[n]) + (K_d \times \frac{(e[n] - e[n-1])}{t}) + (K_i \times t \times \sum_{i=0}^n e[i]) \quad (3.3)$$

Kullanılan motorların motor parametreleri bilinmediği için motorun transfer fonksiyonu çıkarılamamıştır. Bu nedenle kullanılan PID katsayıları (K_p , K_d ve K_i) deneme yanılma yoluyla bulunmuştur.

Servo motor kontrol

Robot üzerinde canlı görüntü aktaran kamerayı yönlendirmek için iki tane servo motor bulunmaktadır. Servo motor kullanımı için Şekil 3.8'deki PWM sinyalinin üretilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.8: Servo motor haberleşmesi için kullanılan PWM sinyali.

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi 20 ms periyodu olan bir PWM sinyalinin 0.5 – 2.5 ms arasında sinyal genişliğini kontrol ederek servo motorun hareketi kontrol edilebilmektedir.

LPC1769 mikrokontrolörünün üzerinde sadece bir tane PWM modülü vardır. Bu modülün altı tane çıkış kanalı vardır. Tek bir PWM modülü olduğu için bütün kanallara aynı periyotta sinyal uygulanır. PWM modülü, robotun hareket motorlarını kontrol etmek için kullanıldığından servo motor sürmek için zamanlayıcı modüllerden bir tanesini kullanarak yazılımsal PWM modülü oluşturulmuştur.

Sensör okuma programları

Dördün kodlayıcı sensörleri ve mesafe sensörleri anakarta sinyal göndermektedirler. Bu sensörlerden veri okuma programları, dördün kodlayıcı sensörleri için Bölüm 2.2.2.2’de ve mesafe sensörleri içinse Bölüm 2.3.2’de anlatılmıştır.

Haberleşme programları

Anakart üzerindeki LPC1769 mikrokontrolörü UART seri haberleşme protokolünü kullanarak dört ayrı birim ile haberleşmektedir. Bu birimler güç kartı, aç ve konum sensörleri kartı, kablosuz haberleşme kartı üzerinden merkez bilgisayar ve beaglebone kartıdır. Haberleşme işlemleri için LPC1769 mikrokontrolörünün DMA birimi kullanılmıştır. Böylece yüksek hızlı haberleşme ve senkronizasyon sağlanmıştır.

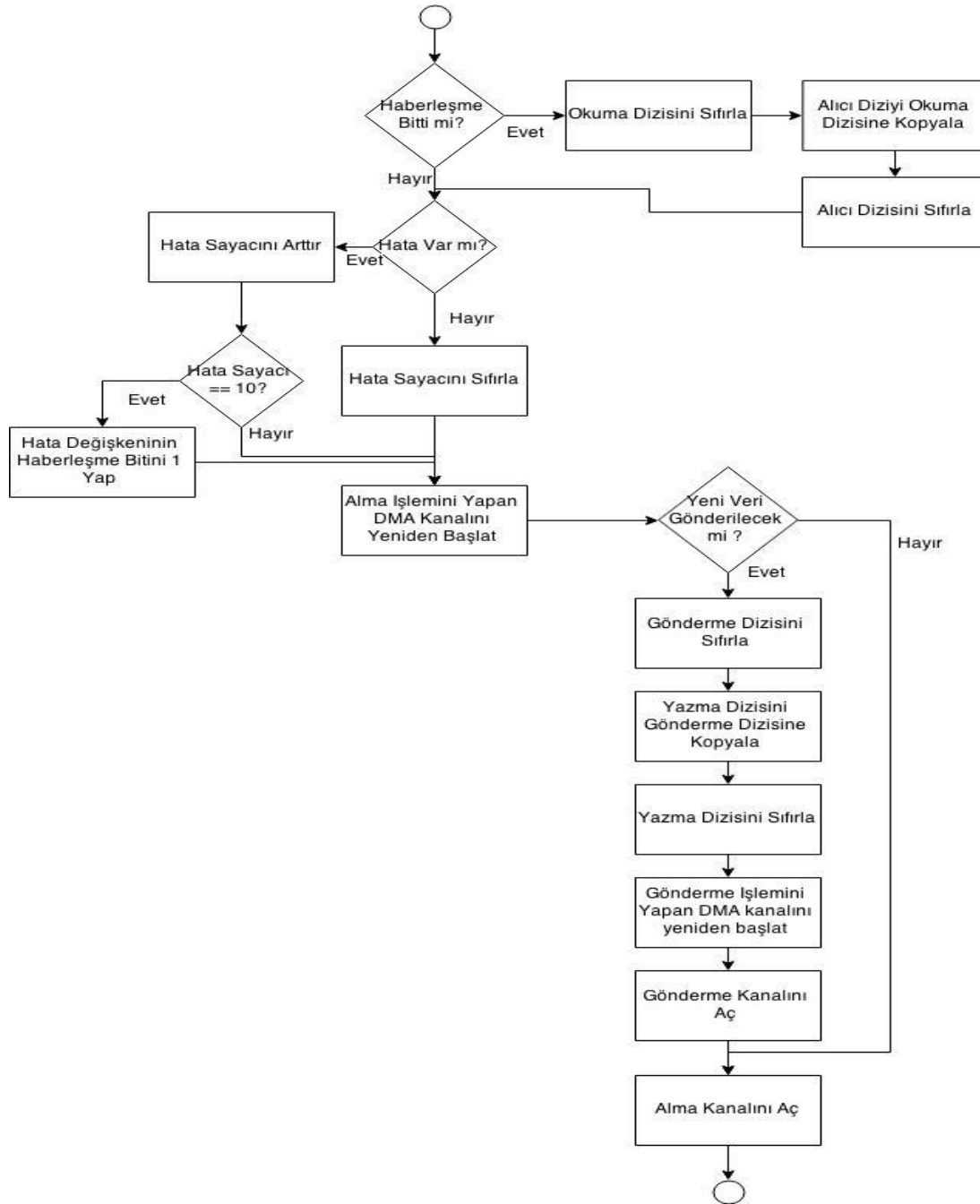
Haberleşme altyapısı

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi haberleşme protokolü olarak UART seri haberleşmesi kullanılmıştır. Standart UART haberleşmesinde veri alışını, işlemci bir kesme fonksiyonu içerisinde yapar, bu işlem sırasında başka bir kesme oluşması durumunda veri kaybı oluşabilmektedir. Ayrıca alınan her veri için kesme oluşması mikrokontrolörü zaman kaybına uğratmaktadır. Veri gönderirken ise işlemci bir veriyi gönderdikten sonra, diğer veriyi göndermek için haberleşme hattının boşalmasını bekler. Bu bekleme sırasında bir kesme oluşması yine veri kaybı ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu durumlar sadece bir haberleşme yapıyorken veya kontrol hızına göre önemsenebilir. Ancak bu çalışmada dört haberleşme aynı anda kullanılmaktadır, ayrıca dışarıdan çok sayıda kesme gelmektedir. Bu nedenle LPC1769 mikrokontrolöründe bulunan DMA birimi kullanılmıştır.

DMA birimi sayesinde mikrokontrolör sadece verinin tamamı gönderildiğinde veya verinin tamamı alındığında kesme fonksiyonuna girmektedir. Yani işlemci diğer görevleri yerine getirirken DMA birimi işlemci arkasında bütün haberleşme protokolü işlemlerini gerçekleştirir. DMA biriminin tek dezavantajı kesme oluşturmak için gönderilecek veya alınacak verinin boyutunun sabit olmasıdır. Ancak bu durum da

protokol işlemlerini kolaylaştırmaktadır. UART seri haberleşmesi DMA birimi ile birlikte kullanılınca haberleşme verileri RAM'deki dizilere kendiliğinden yazılır. İşlemci sadece haberleşme bittiğinde DMA kanallarını yeniden düzenler.

Şekil 3.9'da UART birimlerinin alıcı kanalları için tanımlanmış olan DMA biriminde oluşan kesme fonksiyonunun akış diyagramı gösterilmiştir. DMA biriminde kesme oluştuğunda mikrokontrolör kesmenin haberleşmenin bitmesinden mi yoksa hata olmasından dolayı mı gerçekleştiğini kontrol eder. Eğer haberleşme gerçekleştiğinden



Şekil 3.9: Haberleşme algoritması.

dolayı kesme oluşmuşsa gelen diziye okur. Eğer hata olmuşsa hata sayıcısını artırır, hata sayacı azami değerin üzerine çıkarsa hata değişkeninin ilgili bitini 1 yapar.

Kesme fonksiyonunun devamında mikrokontrolör haberleşme kanalını yeniden başlatır ve yeni veri gönderilip gönderilmeyeceğini kontrol eder. Eğer yeni veri gönderilmeyecekse DMA kanalını bir sonraki haberleşme için açar. Eğer yeni veri gönderilecekse ilgili UART kanalı için tanımlanmış DMA kanalını yeniden başlatır ve gönderilmesi istenen veriyi yazar. Mikrokontrolör fonksiyonunun devamında hem veri alma hem de veri gönderme işlemleri için DMA kanallarını açar.

Şekil 3.9’da alıcı kanal ve verici kanallar için ayrı ayrı tanımlanmış iki dizi görülmektedir. Alıcı kanal için okuma ve alıcı dizisi, verici kanal için gönderme ve yazma dizileri tanımlanmıştır. Mikrokontrolör veri okumak için okuma dizisini, veri yazmak için yazma dizisini kullanmaktadır. DMA kanalı da UART biriminden gelen verileri alıcı dizisine yazar, UART birimine veri göndermek içinse verici dizisini kullanmaktadır. Böylece mikrokontrolör işlemcisinin ve DMA kanalının çakışması engellenmiş olur.

Haberleşme protokolleri

LPC1769 mikrokontrolörü daha önce de belirtildiği gibi dört ayrı birimle UART birimi üzerinden haberleşmektedir. UART biriminin alıcı ve verici kanallarındaki haberleşme sinyalleri sadece veri biriminden gönderilen dizilerden oluşmaktadırlar. Yani sinyaller asenkron olarak gönderildiği için dizinin başını veya sonunu belirten, bir karakter veya sinyal bulunmamaktadır. Örneğin SPI haberleşmesinde SCK sinyali sayesinde senkron olarak haberleşilebilmektedir veya CAN haberleşmesinde adres verisi kullanılmaktadır. Ayrıca veri olarak sayı değişkenleri gönderilmesi durumunda sayı değişkenleri arasında birbirine karışabilmektedir. Örneğin veri olarak 1 ve 0 gönderilecekse okunan veri 10 olmaktadır. Bu nedenle iki değişken arasına önceden belirli ayırıcı karakter koymak gerekmektedir. Gönderilecek verilerin paket halinde kullanılmasının bir diğer faydası da gönderilecek verilerin türü, uzunluğu gibi bilgiler gönderilerek haberleşme işlemlerinin kısaltılabilesidir. Haberleşme paketlerinin özellikleri şunlardır:

1. Her protokolün ayrı bir başlangıç karakteri vardır.
2. Her protoklün ikinci karakteri veri tipini belirler.
3. Her protokolün dizi uzunluğu sabittir ve hepsinin ayrı bir bitiş karakteri vardır.

4. Eğer protokolün dizi uzunluğu istenilen boyutta değilse, istenilen uzunluğa gelene kadar dizi sonuna bitiş karakteri eklenir.
5. Her veri veya komut arasında ‘,’ (virgül) vardır.

Şekil 3.10’da aracın manuel kontrolleri için merkez bilgisayar tarafından gönderilen veri paketi gösterilmektedir. Başlangıç karakteri olarak “?”, bitiş karakteri olarak “/” seçilmiştir. Bu haberleşme için paket boyutu 40 byte olarak tanımlanmıştır. Paket boyutu 40 byte’ın altına düşerse bitiş karakteri tekrarlanmaktadır. Değişkenleri birbirinden ayırmak için “,” karakteri kullanılmıştır. Şekil 3.10’da görüldüğü gibi değişkenler sayı formatındadırlar. Bu sayıları karakter formatına çevirmek için tip dönüşümü yapılmaktadır. Hazır paket oluşturmak için C dilinin standart fonksiyonlarından “sprintf” fonksiyonu ve hazır paketten veri okumak için “sscanf” fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar sayesinde sayı değişkenleri haberleşme dizilerine dönüştürülmüştür.

Başlangıç Karakteri	Veri Tipi	,	Değişken (int)	,	Değişken (int)	,	Değişken (uint8)	,	Değişken (uint8)	,	Bitiş Karakteri
?	M	,	Linner Hız	,	Açısal Hız	,	POV	,	Komut	,	/////
?	M	,	120	,	4	,	9	,	1	,	/////

Şekil 3.10: Örnek haberleşme paketi.

Kartlar arasında sayı değişkenleri gönderildiğinden sayı limitleri kontrol edilmelidir. Örneğin -1000 ile 1000 arasında değişen bir değişken gönderilirken 1000 ile toplanıp gönderilirse, değişken artık 0 – 2000 arasında değişmektedir. Böylece veri gönderilirken “-“ karakteri gönderilmesine gerek kalmamaktadır. Aynı şekilde ondalık sayılar gönderilirken ondalık nokta karakteri için sayı uygun bir sayıyla çarpılabilir.

Şekil 3.10’daki örnek pakette, merkez bilgisayar robota 20 cm/s (lineer hız -100 ile 100 arasında değiştiğinden 100 ile toplanarak gönderilmektedir) lineer hızla ve 0 RPS (açısal hız -4 ile 4 arasında değiştiğinden 4 ile toplanarak gönderilmektedir) açısal hızla hareket etmesi, kameraları 9 yönünde döndürmesi ve Komut 1 göndererek hata kontrolü yapması için paket göndermektedir. Mikrokontrolör bu paketin manuel kontrol paketi olduğunu paketin ikinci karakteri olan “M” karakterini kontrol ederek öğrenmektedir.

Bu haberleşme protokolleri bütün kartlar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bölümün devamında bu haberleşmeler esnasında gönderilen veriler kısaca anlatılmıştır.

Anakart ile güç kartı arasındaki haberleşme

Anakart, güç kartına sistemi kapat, yeniden başlat, şarj girişi kontrolü yap, şarj moduna geç ve benzeri komutlar gönderir. Haberleşme paketi uzunluğu 5 byte'tır.

Güç kartı, anakarta batarya gerilimlerini, bataryalardan çekilen akımı, batarya sıcaklıklarını, motor sürücü kartı sıcaklığını ve komutlar göndermektedir. Bu komutlar hata kontrolü yap, motorları durdur gibi komutlardır. Haberleşme paketi uzunluğu 40 byte'tır.

Anakart ile aç ve konum sensörleri kartı arasındaki haberleşme

Anakart, aç ve konum sensörleri kartına ölçüme başla ve yeniden başla komutlarını gönderir. Haberleşme paketi uzunluğu 5 byte'tır.

Aç ve konum sensörleri kartı, anakarta aracın Euler açılarını ve GPS sensöründe ölçtüğü enlem ve boylam değerlerini göndermektedir. Haberleşme paketi uzunluğu 50 byte'tır.

Anakart ile beaglebone kartı arasındaki haberleşme

Anakart, beaglebone kartına EK C'deki akış diyagramını çalıştırması için komut gönderir. Haberleşme paketi uzunluğu 5 byte'tır.

Beaglebone kartı, anakarta EK C'deki akış diyagramını kullanarak bulduğu nesnenin görüntü içindeki konumunu ve kapladığı alanı göndermektedir. Haberleşme paketi uzunluğu 25 byte'tır.

Anakart ile merkez bilgisayar arasındaki haberleşme

Anakart, merkez bilgisayara dört ayrı paket göndermektedir. Haberleşme paketlerinin uzunluğu 40 byte'tır. Gönderilen paketler şunlardır:

1. Güç kartından aldığı veriler.
2. Mesafe sensörlerinden ölçülen veriler.
3. Aç ve konum sensörlerinden ölçülen veriler.
4. Motorlardan ölçülen veriler.

Merkez bilgisayar, anakarta manuel kontrol komutları olan lineer hız, açısal hız, kameranın bakış yönü ve komut değişkenlerini göndermektedir.

3.2 Kontrol Yöntemleri

3.2.1 Sensör birleştirme ve kontrol seviyesi

Bu seviye anakartın programlarının ikinci seviyesini oluşturmaktadır. Bu seviyenin görevleri aşağıda belirtilmiştir.

- Manuel kontrol.
- SONAR sensörleri ile haritalama ve koridor takibi.
- SONAR sensörleri ve görüntü işleme kullanılarak engelden kaçınma.
- Açık ve konum sensörleri kullanılarak hareket etme.
- Kontrol metodlarının uygulanması.

Yukarıda belirtilen görevlerden sadece manuel kontrol uygulanabilmektedir. Diğer bölümler için ileride çalışılması planlanmaktadır.

3.2.1.1 Manuel Kontrol

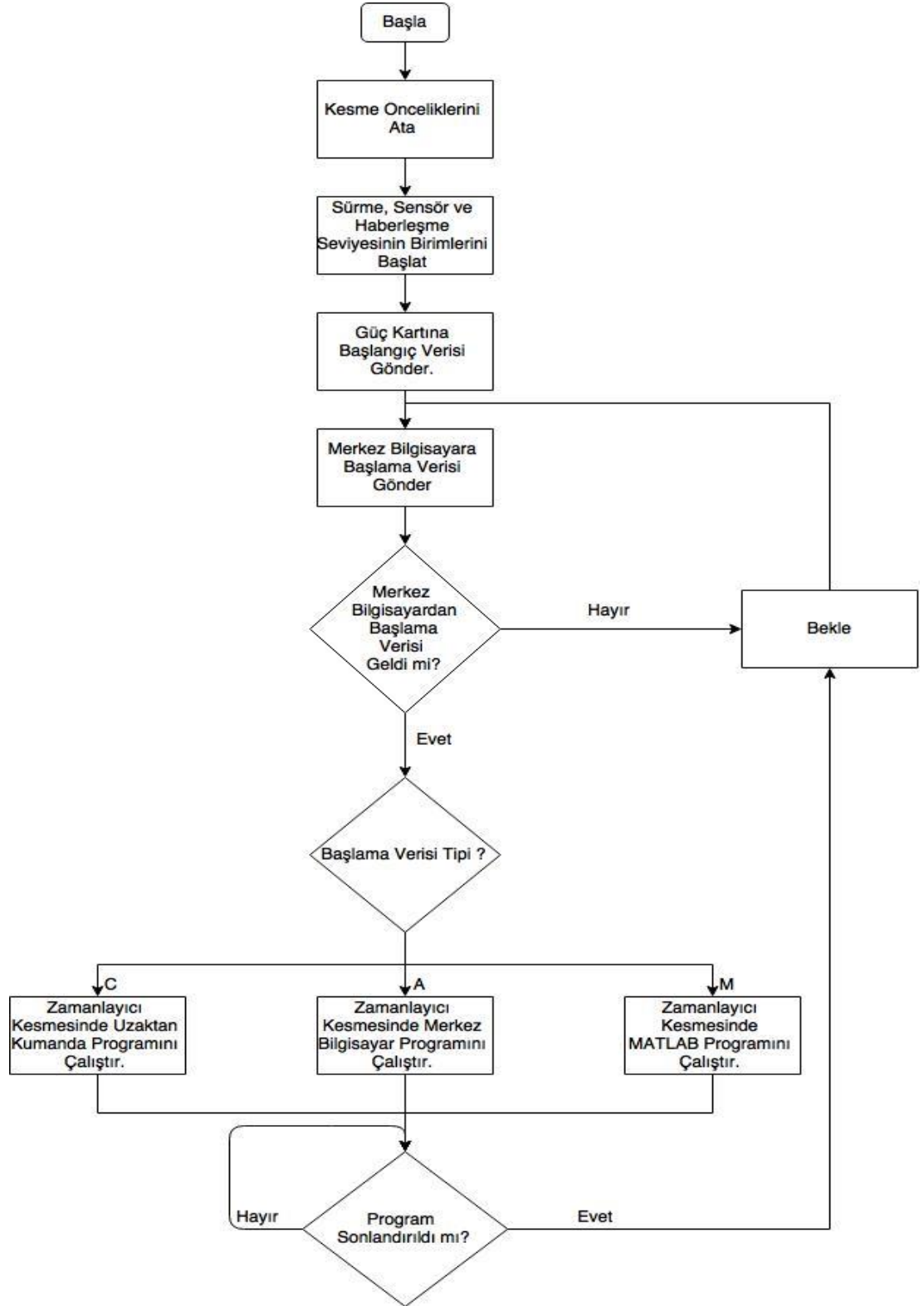
Manuel kontrol, joystick kullanılarak el ile veya merkez bilgisayardaki kontrol programlarıyla robotun kontrol edilmesini kapsamaktadır. Manuel kontrol için merkez bilgisayarda yazılmış program, Bölüm 3.1.4’te anlatılmıştır. Bu bölümde robot üzerinde yazılmış ana program ve manuel kontrol algoritması anlatılacaktır.

Ana program

Ana programın akış diyagramı şekil 3.10’da gösterilmiştir. Mikrokontrolör bütün çevre birimleri kesmeler üzerinden çalıştığı için ilk olarak kesme önceliklerini düzenlemektedir. Ardından mikrokontrolör sürme, sensör ve haberleşme seviyesinde bulunan programları başlatmaktadır.

Programın devamında LPC1769 mikrokontrolörü güç kartına, çalışmaya başladığını göstermek için komut gönderir. Merkez bilgisayara başlama verisi gönderir. Eğer merkez bilgisayardan cevap gelmez ise aralıklarla başlama verisi göndermeye devam eder. Eğer merkez bilgisayar başlama verisi göndermişse veri tipine göre uzaktan kumanda, merkez bilgisayardaki arayüz veya MATLAB programı için yazılan fonksiyonlardan birini zamanlayıcı kesmesi içinde çalıştırır. Merkez bilgisayar programı tamamladığında, mikrokontrolör zamanlayıcı kesmesini kapatır ve tekrar veri

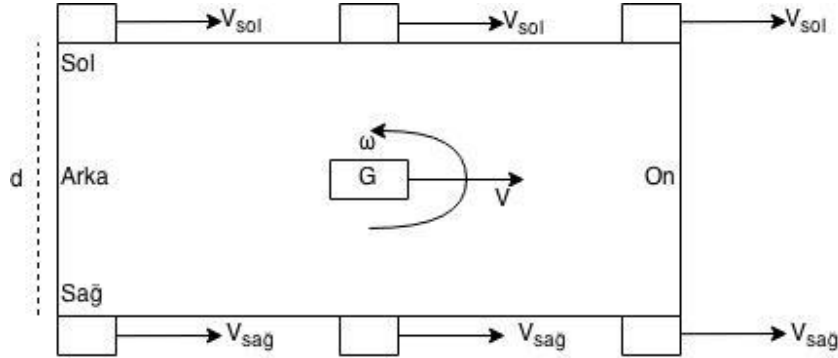
bekleme moduna geçmektedir. Uzaktan kumanda programı ve MATLAB ile haberleşme programı ilerleyen çalışmalarda kullanılacaktır.



Şekil 3.11: Ana programın akış diyagramı.

Merkez bilgisayar ile haberleşme programı

Bu programda, merkez bilgisayar üzerinden robota iki komut aktarılır. Bu komutların ilki robotun gitmesi istenen lineer hız, ikincisiyse açısal hızdır.



Şekil 3.12: Robotun hız vektörlerinin gösterimi.

Şekil 3.12’ de manuel kontrolde kullanılmak için en basit haliyle çıkarılan hız vektörleri görülmektedir. Robotun sağ uç ve sol uç motorları aynı hızda sürüldüğünden sanki solda ve sağda birer motor olduğu kabul edilmiştir. Yani diferansiyel yönlendirme mantığı kullanılmıştır.

Şekil 3.12 kullanılarak robotun lineer hızı V aşağıdaki formül (3.4) ile bulunur.

$$V = \frac{V_{sağ} + V_{sol}}{2} \quad (3.4)$$

Eşitlikte $V_{sağ}$: Sağ motorların lineer hızı, V_{sol} : Sol motorların lineer hızını göstermektedir.

Robotun açısal hızı ω ise formül (3.5) ile bulunur.

$$\omega = \frac{V_{sağ} - V_{sol}}{d} \quad (3.5)$$

d : Robotun genişliğidir.

Formül (3.4) ve (3.5) birleştirilerek sağ ve sol tekerleklerin hızları aşağıdaki formüldeki (3.6) gibi bulunur.

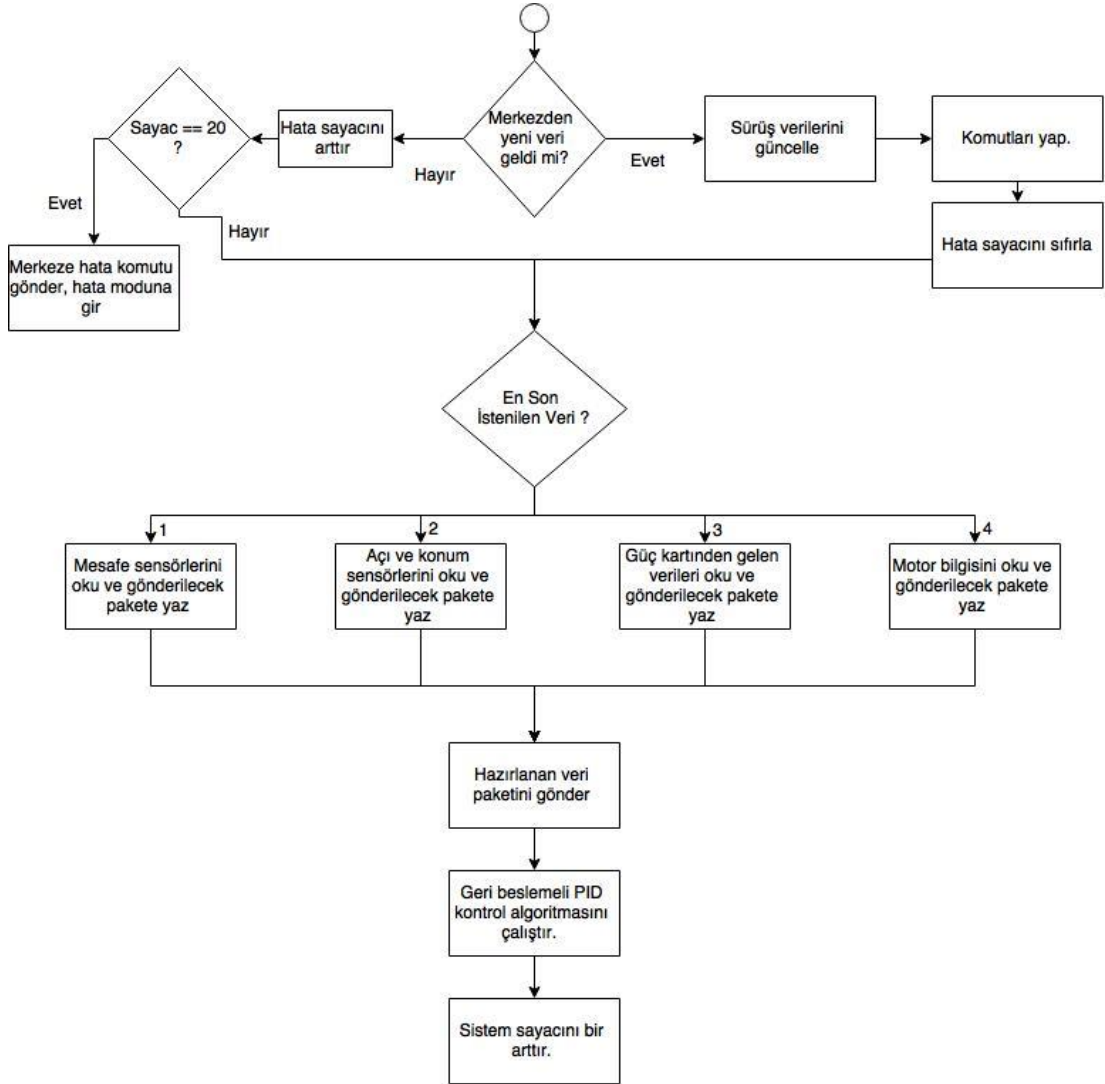
$$V_{sağ} = V + \frac{\omega \times d}{2} \quad V_{sol} = V - \frac{\omega \times d}{2} \quad (3.6)$$

Bulunan bu hızlar tekerleklerin çizgisel hızlarını göstermektedir. Formül (3.7) kullanılarak tekerleklerin açısal hızları hesaplanır.

$$V_{sağ} = \omega_{sağ} \times r \quad V_{sol} = \omega_{sol} \times r \quad (3.7)$$

Son olarak hesaplanan bu tekerlek hızları bölüm 6.6.1.2’de anlatılan geri beslemeli PID kontrol algoritmasına gönderilir ve motorlar sürülür.

Şekil 3.13’te merkez bilgisayar ile haberleşme programının akış diyagramı gösterilmiştir. Bu program zamanlayıcı kesmesi içinde saniyede 20 defa çalışmaktadır. Program akışında mikrokontrolör merkezden veri gelmişse sürüş verilerini günceller, verilen komutları yapar ve hata sayacını sıfırlar. Eğer veri gelmemişse hata sayacını arttırır ve kontrol eder. Hata sayacı azami limiti aşarsa hata moduna geçer ve ana programa geri döner.



Şekil 3.13: Merkez bilgisayar ile haberleşme programının akış diyagramı.

Merkezden en son istenilen veri ilk döngü için güç kartı verileridir. Diğer veriler merkezden gelen komutlara göre gönderilir. Programın devamında anakart en son hareket verileri ile motorları PID kontrolü ile sürer. Son olarak sistem sayacını arttırır ve kesme fonksiyonu sonlanır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, pek çok alanda kullanılabilecek bir otonom robot ve kontrol birimi tasarlanmış ve tasarım gerçekleştirilmiştir. Tezin amacı büyük maliyetler ödemedi, tasarimsal birimleri ölkemizde yapılmış, ortam şartlarına uygun, modüler ve özgün bir robot üretmektir. Bu amaçların hepsi yerine getirilmiştir.

İleride şu çalışmaların yapılması hedeflenmektedir.

- Sensör birleştirme ve kontrol seviyesinin tamamlanması.
- Otonom kontrol seviyesinin tamamlanması.
- Robotun ilk kullanım alanı olarak tarım alanları seçilmiştir. Tarım alanlarında otonom olarak hareket yeteneğinin kazandırılması.

KAYNAKLAR

- Beagleboard.** (2015, 03 09). Mayıs 29, 2014 tarihinde Beagleboard Web Sitesi: beagleboard.org/BLACK adresinden alındı
- Biber, P., Weiss, U., Dorna, M., & Albert, A.** (2012). Navigation System of the Autonomous Agricultural Robot “BoniRob”. *Proceeding IROS Workshop on Agricultural Robotics*.
- CH ROBOTICS.** (tarih yok). CH ROBOTICS Web Sitesi: <http://www.chrobotics.com/library/understanding-euler-angles> adresinden alındı
- DAGU.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Dagü Hi - Tech Electronic Web Sitesi: <http://www.dagurobot.com/goods.php?id=152> adresinden alındı
- Dorji.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Dorji Applied Robotics Web Sitesi: http://www.dorji.com/pro/RF-module/High_power_transceiver.html adresinden alındı
- Embedded Artists.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Embedded Artists Web Sitesi: <http://www.embeddedartists.com/> adresinden alındı
- González, R., Rodríguez, F., Sánchez - Hemosilla, J., & Donaire, J. G.** (2009). Navigation Techniques for Mobile Robots in Greenhouses. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Cilt 25(2)*, 153 - 165.
- Hart, M.** (tarih yok). Arduiniana Web Sitesi: <http://arduiniana.org/libraries/tinygps/> adresinden alındı
- Hobbyking.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Hobbyking Web Sitesi: www.hobbyking.com adresinden alındı
- Jinlin, X., & Liming, X.** (2010). Autonomous Agricultural Robot and Its Row Guidance. *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*.
- Ko, H. M., Kim, C. K., Ryuh, B. S., Suprem, A., & Mahalik, N. P.** (2013). Development of Autonomous Traveling for Agricultural Robot Drive Platform by Using a Single Camera. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. San Francisco.
- Kuka Robotics.** (2015). 04 29, 2015 tarihinde Kuka Robotics Web Sitesi: <http://www.kuka-robotics.com/en/> adresinden alındı
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Minggao, O.** (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 272-288.
- Maxbotix.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Maxbotix: http://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors/MB1010.htm adresinden alındı
- NASA.** (2012). 04 29, 2015 tarihinde NASA Web Sitesi: http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html adresinden alındı
- Pololu.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Pololu Robotics & Electronics Web Sitesi: <https://www.pololu.com/> adresinden alındı
- Sparkfun Electronics.** (tarih yok). 04 29, 2015 tarihinde Sparkfun Electronics Web Sitesi: www.sparkfun.com adresinden alındı

- Versano, F.** (2012). FreeIMU Web sitesi:
<http://www.varesano.net/projects/hardware/FreeIMU> adresinden alındı
- Xue, J., Zhang, L., & Grift, T. E.** (2012). Variable Field-of-View Machine Vision Based Row Guidance of an Agricultural Robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85-91.
- Yaghoubi, S., Akbarzadeh, N. A., Bazargani, S. S., Bazargani, S. S., Bamizan, M., & Asl, M. I.** (2013). Autonomous Robots for Agricultural Tasks and Farm Assignment and Future Trends in Agro Robots. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:13 No:03*.

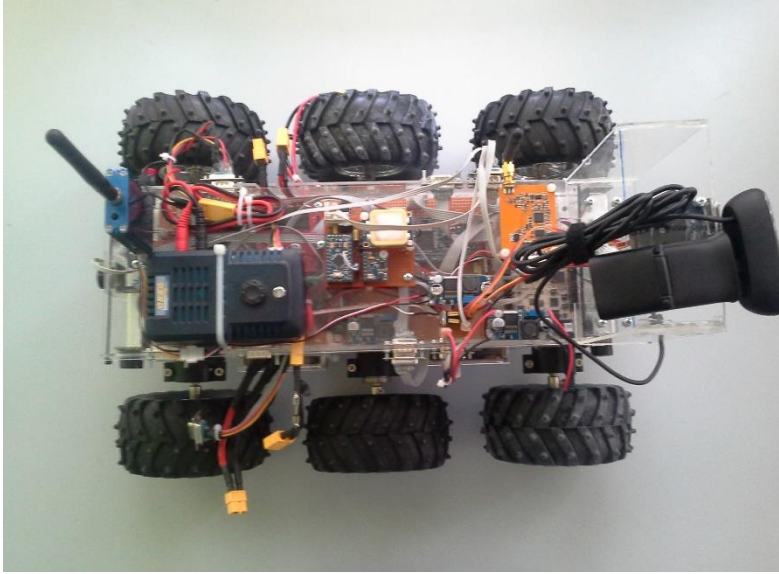
EKLER

EK A: Robotun Gerçekleşmiş Halinin Değişik Açılardan Çekilmiş Fotoğrafları.

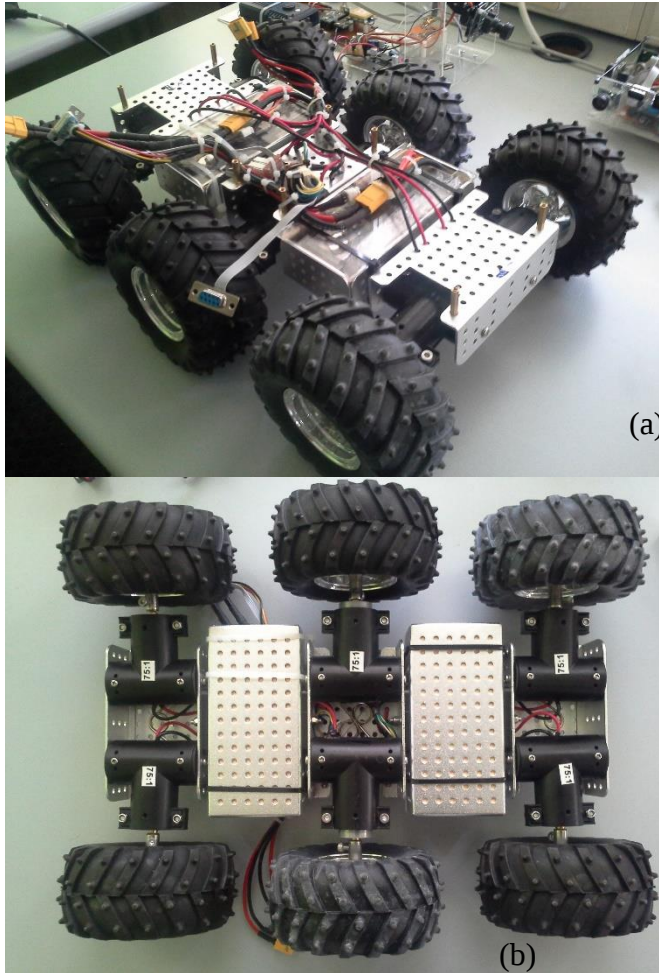
EK B: Lityum – İyon Bataryaların Güvenli Çalışma Aralığı.

EK C: Beaglebone Üzerinde Çalıştırılan Görüntü İşleme Algoritması.

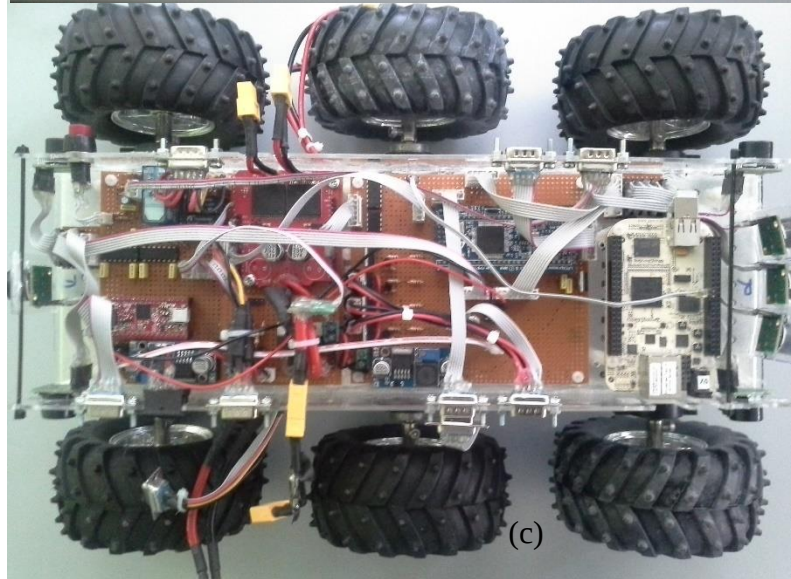
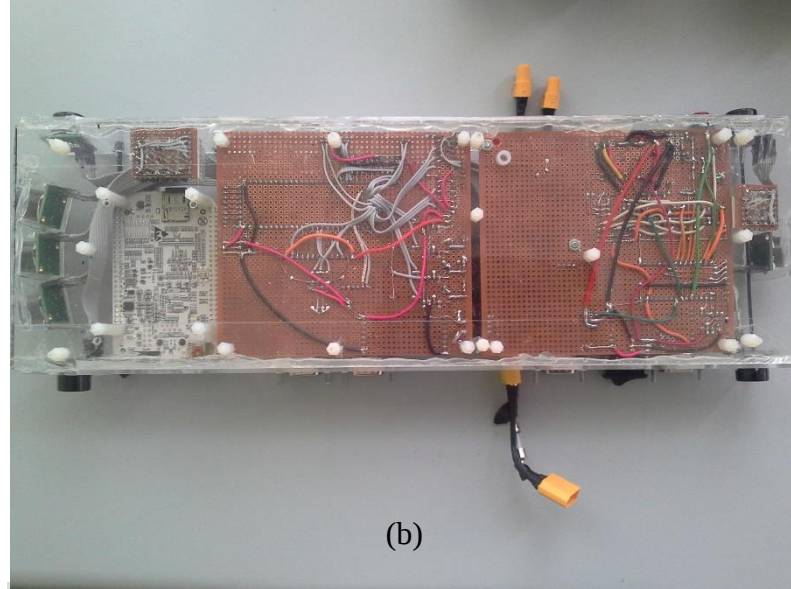
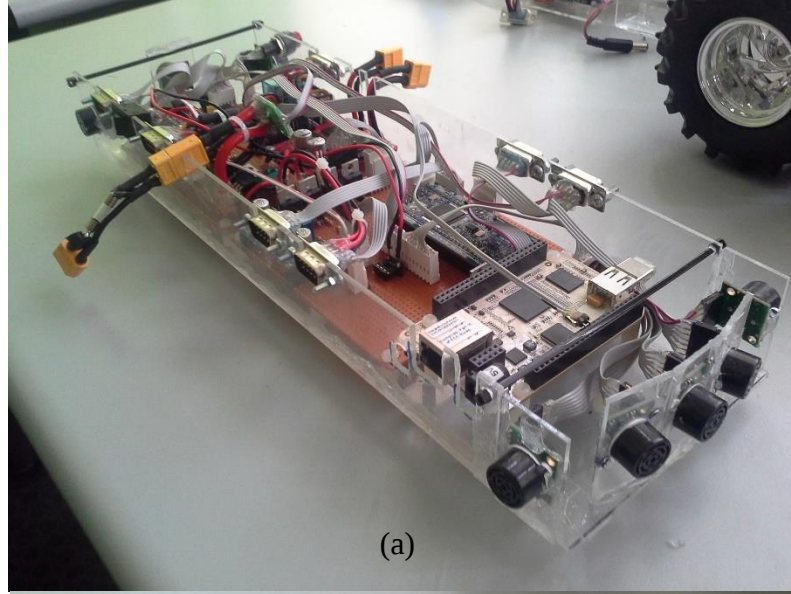
EK A



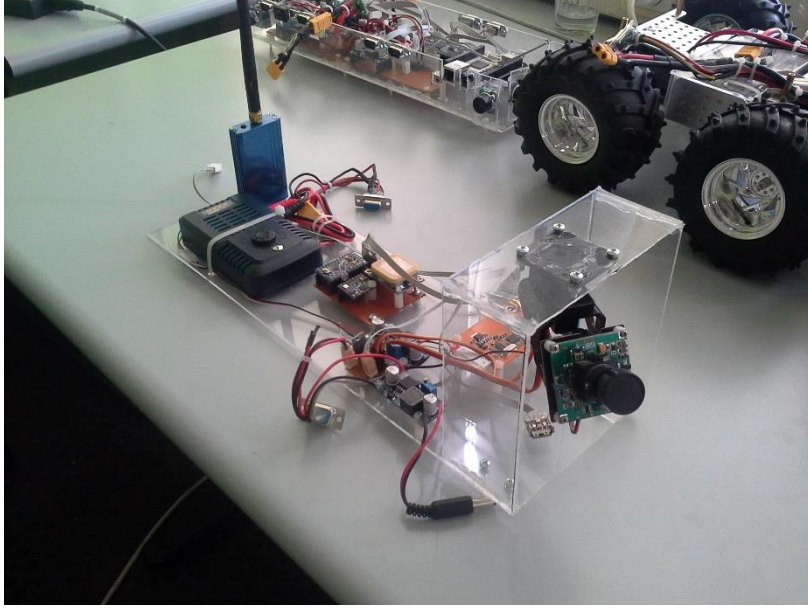
Şekil A.1: Robotun gerçekleştirilmiş halinin üstten görünümü.



Şekil A.2: .Gövde seviyesinin gerçekleştirilmiş halinin değişik açılardan görünümü: (a)Yandan.
(b)Üstten.

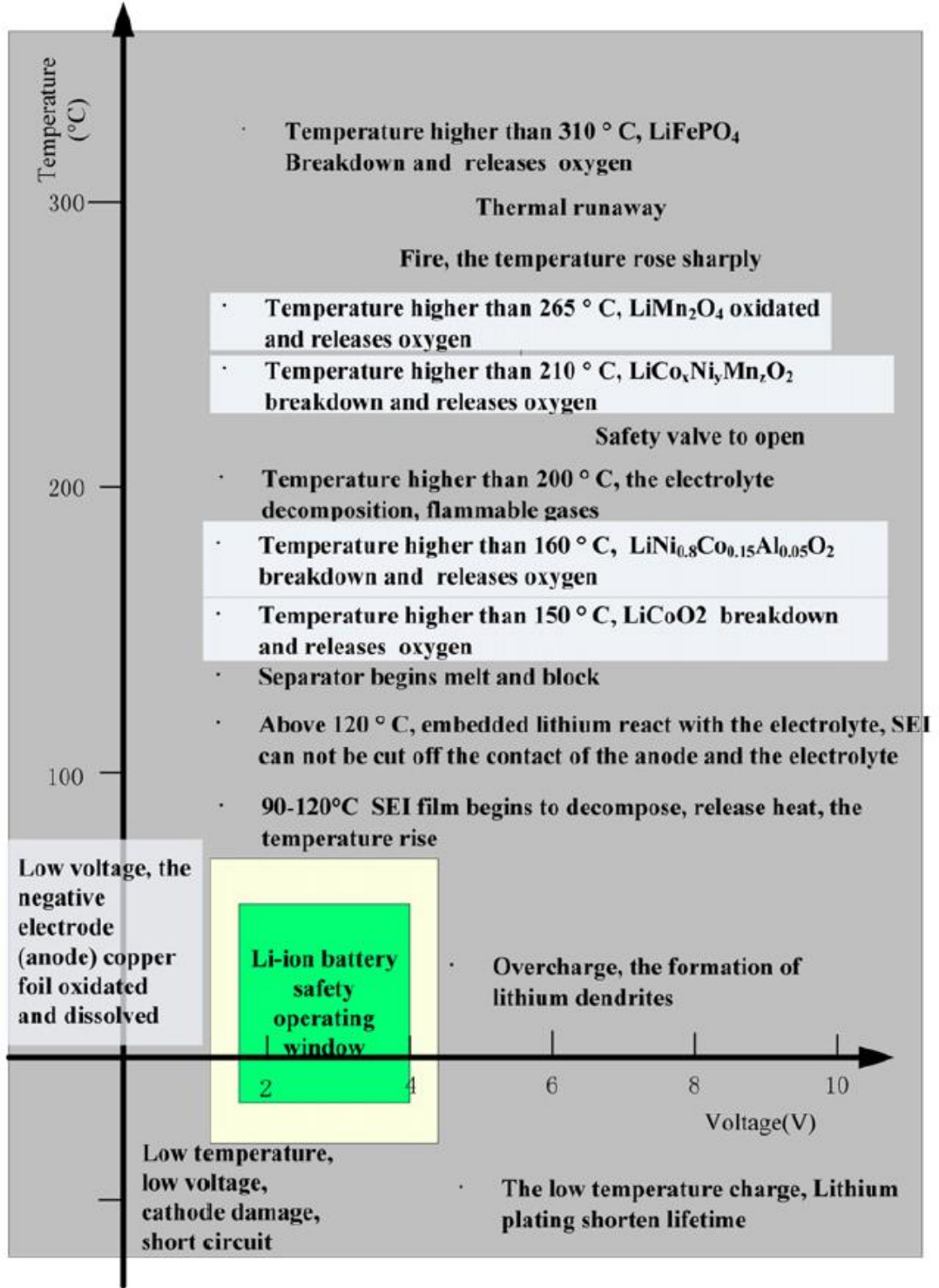


Şekil A.3: Kontrol birimi seviyesinin gerçekleştirilmiş halinin değişik açılardan görünümü: (a)Yandan. (b)Alttan. (c)Üstten.



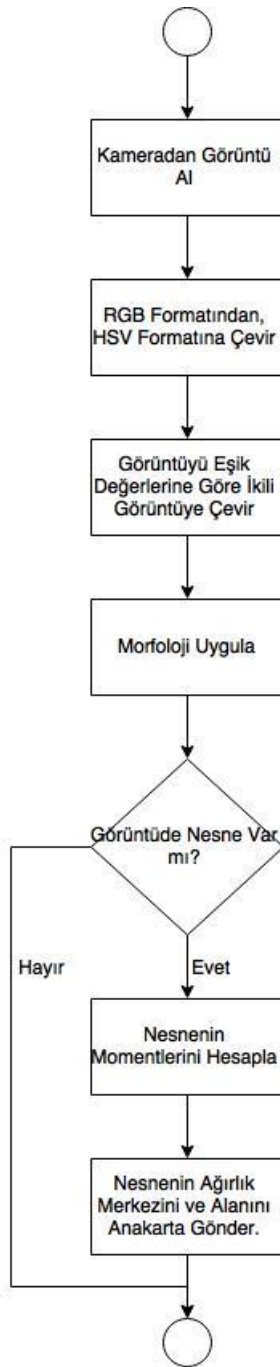
Şekil A.4: Ek birimler seviyesinin gerçekleşmiş halinin yandan görünümü.

EK B



Şekil B.1: Lityum – iyon bataryalar için güvenli çalışma aralığı (Lu ve diğ., 2013).

EK C



Şekil C.1: Beaglebone üzerinde çalıştırılan görüntü işleme algoritması.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Halil DURMUŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : Adalar/İstanbul 13.08.1990

E-Posta : durmushalil@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği (3.77/4.00)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER

- **2012 – 2013** Altınay Robot Teknolojileri San. Tic. A. Ş. (5 Ay)
Donanım ve Yazılım Geliştirme Mühendisi
- **Haziran 2012** Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Okul Birinciliği
- **2011 – 2012** Altınay Robot Teknolojileri San. Tic. A. Ş. (5 Ay)
Stajyer Mühendis