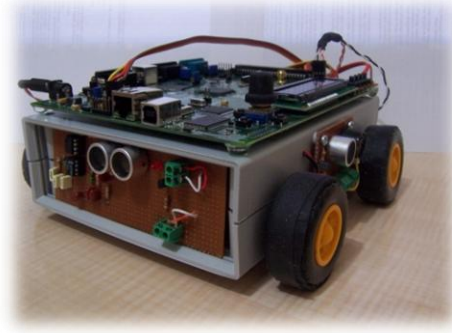


**Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü**

Robotlar Final Projesi



SelBot-1

**2 Motorlu (Sağ/Sol), Ultrasonik Uzaklık Sensörlü,
Tekerlek Adım Sensörlü, Otonom veya Uzaktan
Kumanda Seçenekli Programlanabilir Robot
Uygulaması.**

Selçuk BAŞAK

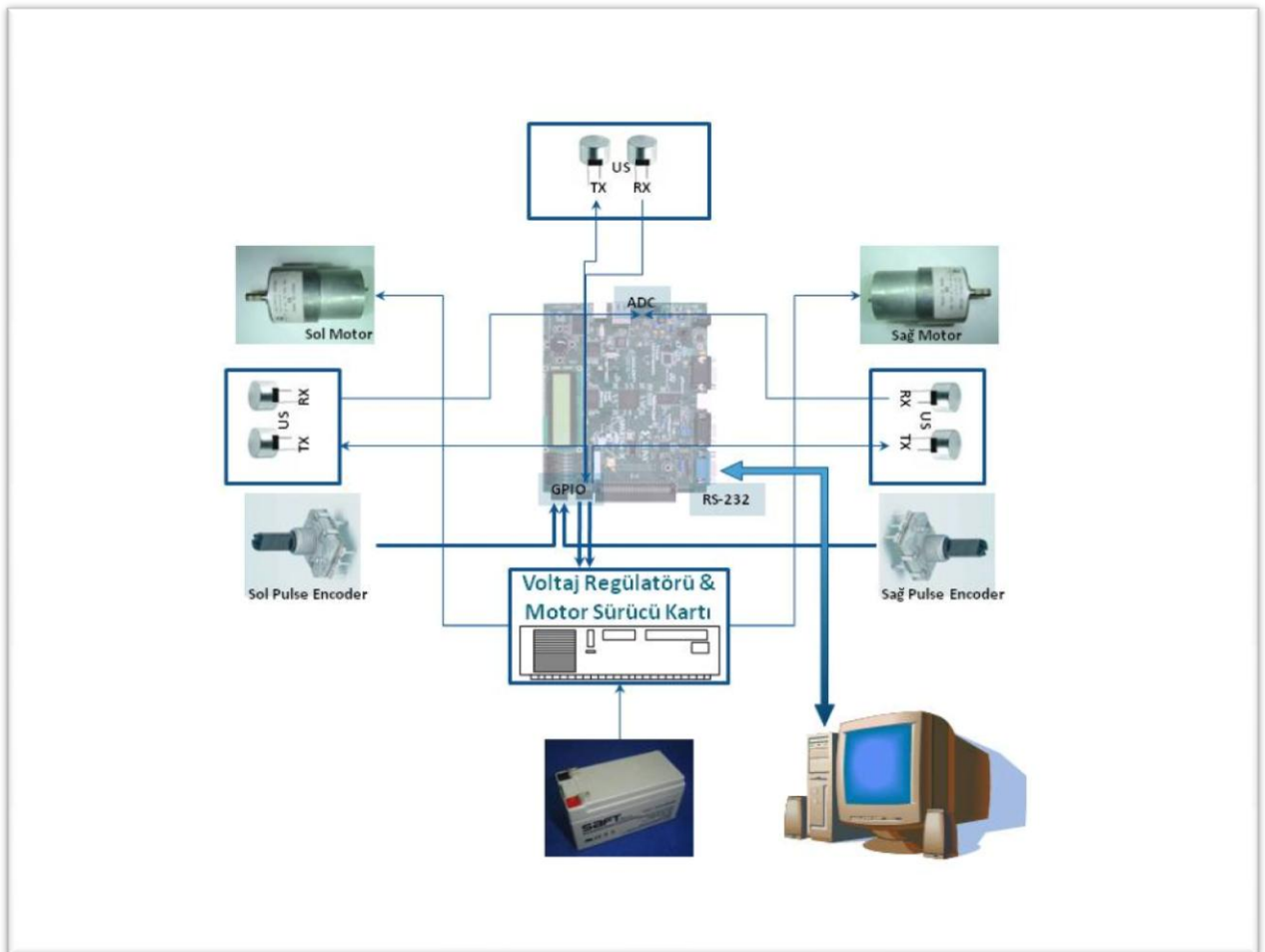
08501008

selcuk@selsistem.com

Giriş

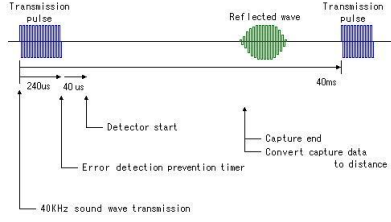
Bu projede 2 Motorlu (Sağ/Sol), ultrasonik uzaklık ve tekerlek adım sensörlü, otonom veya uzaktan kumanda seçenekli programlanabilir robot uygulaması geliştirmek amaçlanmıştır. Robot sistemini kontrolü Xilinx Spartan 3E Starter Kit Kartı kullanılarak yapılmıştır. Kit üzerindeki Sparten 3E FPGA üzerinde SelCPU soft işlemci tabanlı bir gömülü sistem tasarlanmıştır. PWM Motor kontrol, ultrasonic mesafe ölçümü ve (pulse encoder)tekerlek adım sayımları FPGA üzerinde donanımsal modüllerle gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik sensör verici sinyalleri FPGA üzerinde oluşturuldu. Ön ultrasonik alıcı sinyal ölçümü için elektronik olarak opamp ve comparator devresi kullanıldı. Yan ultrasonik devreleri için gelen sinyaller kit üzerindeki programlanabilir amplifier ve adc kullanılarak, SPI ile veri transferi yapılarak ölçüm yapıldı. Kit üzerindeki RS232 portu ile bilgisayar bağlantısı üzerinden uzaktan kontrol yapılabilir ve sensör bilgileri okunabilir. Kit üzerindeki sw3 robotu kapatıp açmak için kullanılıyor. Robot Sw1 on konumunda iken uzaktan kontrol ile, off konumunda iken otonom olarak çalışıyor. Robotun arka tekerlekleri aks olarak pulse encoder kullanıyor.

Uygulama



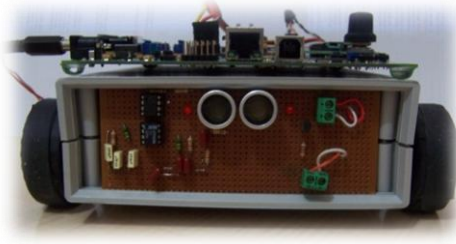
Mimari Yapı

Ultrasonik Mesafe Ölçümü:

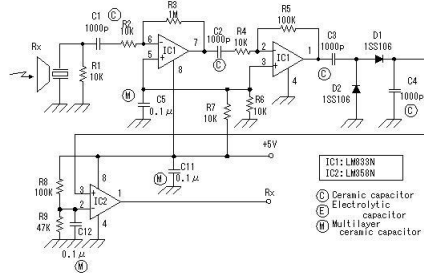


Ultrasonik mesafe ölçümü, verici ile kısa süre için ultrasonik ses sinyali oluşturulur, bu sinyal karşısındaki cisimden geri yansır ve alıcı yansıyan sinyali alır. Ultrasonik sesin gönderime başlaması ile alıcıya gelmesi arasındaki sürenin yarısı ile ses hızının çarpımı mesafeyi verir. Sistemde 3 adet alıcı verici kartı olduğundan FPGA üzerindeki `us_activator` modülü ile 60 ms aralıkla aynı anda bir ultrasonik mesafe ölçümü yapılması sağlanır.

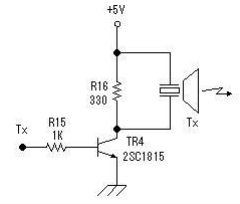
Ön Ultrasonik Sensör Kartı:



Önden Görünüm

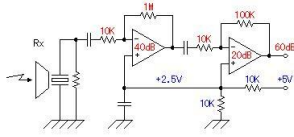


Ön Ultrasonik Alıcı Devresi

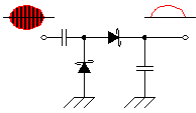


Ultrasonik Verici Devresi

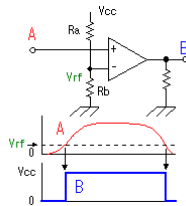
Ön Ultrasonik Alıcı Devresi, üç bölümden oluşur.



US Rx'ten gelen çok düşük sinyali yükseltmek için LM833 OpAmp entegresi ile iki aşamada (x100 ve x10) x1000 sinyal güçlendirmesi yapılır.



Güçlendirilen sinyal shottky barrier diode ve kapasitör ile yarım doğrultma yapılır. Shottky barrier diode kullanılmasının nedeni sinyal yüksek karakteristiğinin iyi olmasıdır.



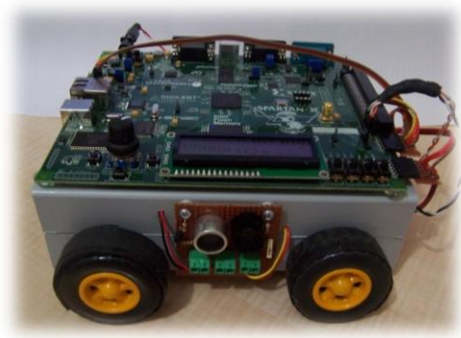
Son olarak LM358 ile oluşturulan sinyal dedektörü devresi ile lojik çıkış sinyali elde edilir.

Ön Ultrasonik Mesafe Kartı, Kit üzerindeki J4[3] => TX , J4[2] <= RX olarak bağlanır. TX direk FPGA üzerinden oluşturulan 40 KHz sürülür. Osiloskop ile yapılan ölçümlerde robotta kullanılan ön ultrasonik alıcı için rezonans frekansı 41,946 KHz olarak tespit edildi ($1/298 \cdot 40ns \cdot 2$) .

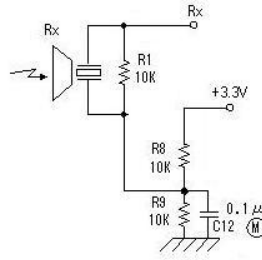
Ön Ultrasonik mesafe ölçümü FPGA üzerinde `us_sensor_controller` modülü ile yapılır. US_TX ve US_RX sinyalleri FPGA pinleri ile direk olarak devreye bağlıdır. `us_sensor_controller` modülü sensöre göre istenilen frekansı parametrik olarak üretecek şekilde tasarlanmıştır.

```
us_sensor_controller front_us (
    .clk(clk2),
    .en(front_us_en),
    .data_out(front_us_data),
    .activate(us_activate[0]),
    .US_TX(front_us_tx),
    .US_RX(front_us_rx),
    .FREQ_COUNTER(31'd298));
```

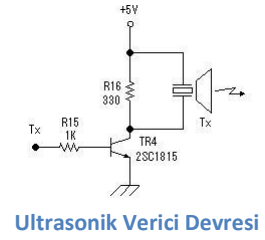
Sağ ve Sol Ultrasonik Sensör Kartları:



Yandan Görünüm



Ultrasonik Alıcı Devresi



Ultrasonik Verici Devresi

Yan ultrasonik kartlarında verici devresi öndeki kart ile aynıdır. Ancak alıcı sinyali 1.65 V seviyesi üzerine bindirilerek Rx çıkışı oluşturulur. Rx, Kit üzerinde programlanabilir preamplifier ile güçlendirilir ve ADC ile okunarak FPGA'e aktarılır. FPGA üzerindeki `adc_control` `adc` modülünde gelen sinyaller belirli bir seviyenin üzerinde ise RX1,RX2 çıkışları 1 olur Bu çıkışlar `us_sensor_controller right_us` ve `us_sensor_controller left_us` RX girişlerine bağlıdır. Böylece ön alıcı devresinin işlevi kit üzerinde amplifier,adc ve FPGA ile gerçekleştirilmiş oldu. Kit üzerindeki ADC ve Programlanabilir Amplifier, FPGA ile veri transferini SPI ile yapar. `adc_control` `adc` modülü SPI ile amplifiyeri x100 olarak programlar sonrasında ADC bilgisini SPI ile alır. Osiloskop ile yapılan ölçümlerde robotta kullanılan yan ultrasonik alıcılar için rezonans frekansı 40,453 KHz olarak tespit edildi ($1/309 \times 40ns \times 2$).

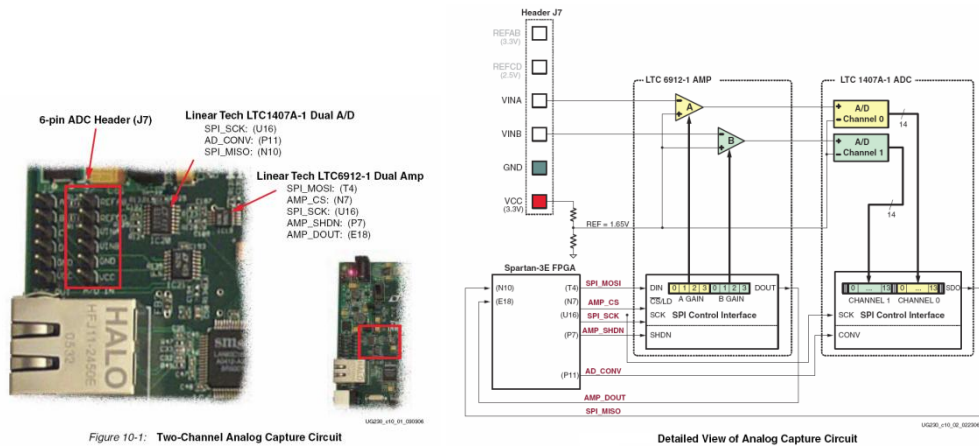
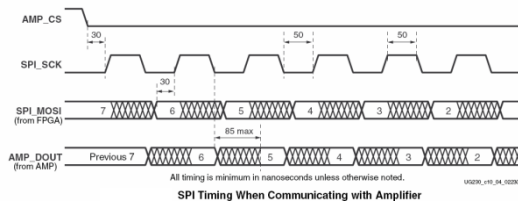
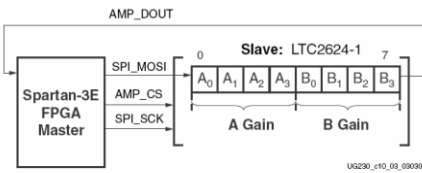


Figure 10-1: Two-Channel Analog Capture Circuit

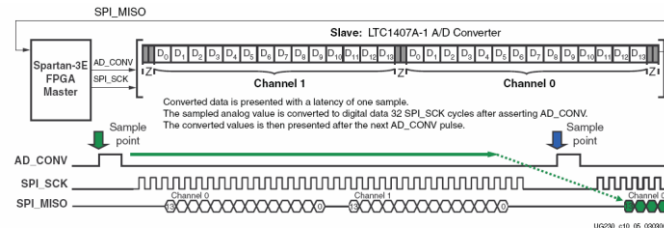
Detailed View of Analog Capture Circuit



SPI Timing When Communicating with Amplifier



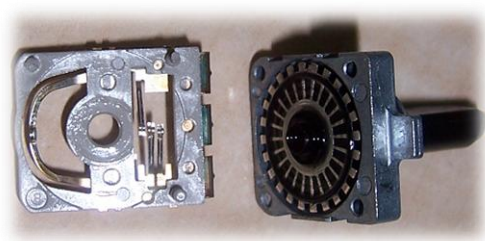
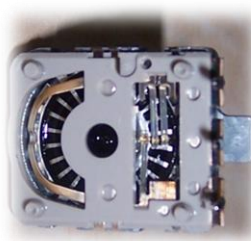
SPI Serial Interface to Amplifier



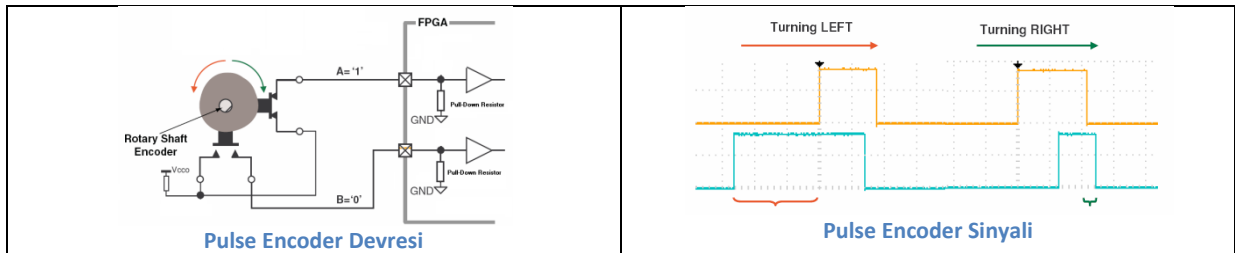
Pulse Encoder / Rotary Shaft Encoder:



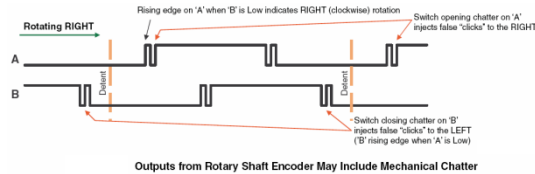
Pulse Encoder



Pulse Encoder
İç Yapısı

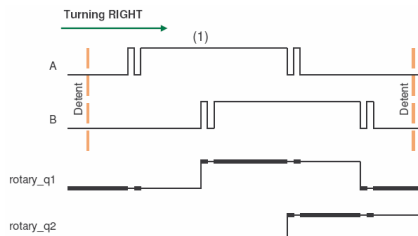


Robotun arka tekerlekleri adım sensörünün şaftına bağlıdır. Bu şekilde robotun ilerlemesi sağ ve sol arka tekerleklerden alınan sinyallerle takip edilebilmektedir. Kullanılan enkoder 24 adımda bir tur dönmektedir. Encoder yukarıdaki yukarıdaki şemada gösterildiği şekilde FPGA pinlerine bağlıdır. Sağa veya sola her adımda yukarıdaki sinyalleri oluşturur. Sağa veya sola dönmesi B sinyalinin "0"dan "1" konumuna geçerken iken A sinyalinin durumuna bakılarak anlaşılabilir. Ancak mekanik hareket nedeniyle oluşacak gürültü("chatter") oluşabilir ve hatalı sayım yapılabilir. Bu gürültünün etkilerini önlemek için bir sinyal değiştiğinde diğeri de değişene kadar diğer değişimleri önemsemek çözüm sağlamaktadır. Bunu sağlamak için FF kullanılmaktadır.



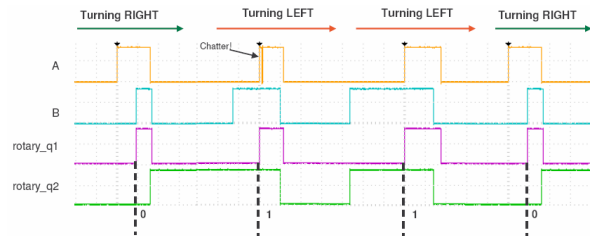
rotary_q1

Set ('1') when A is High and B is High
Reset ('0') when A is Low and B is Low.
Remember current state in all other cases.

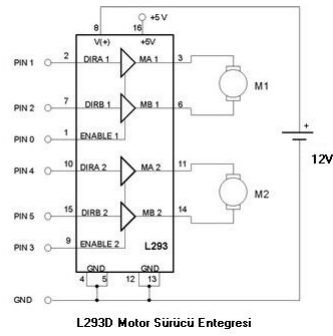
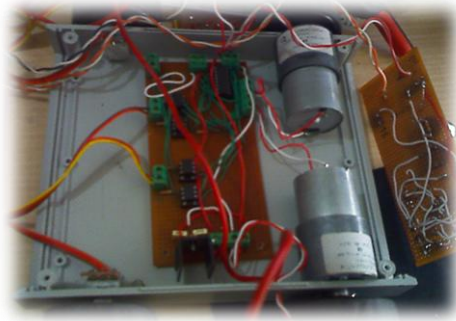


rotary_q2

Set ('1') when A is Low and B is High
Reset ('0') when A is High and B is Low.
Remember current state in all other cases.



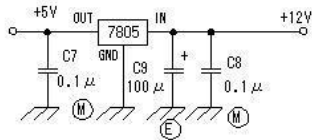
Motor Sürücü Devresi:



Enable	DIRA	DIRB	Fonksiyon
1	1	0	Sağa dön
1	0	1	Sola dön
1	0	0	Dur
0	X	X	Dur

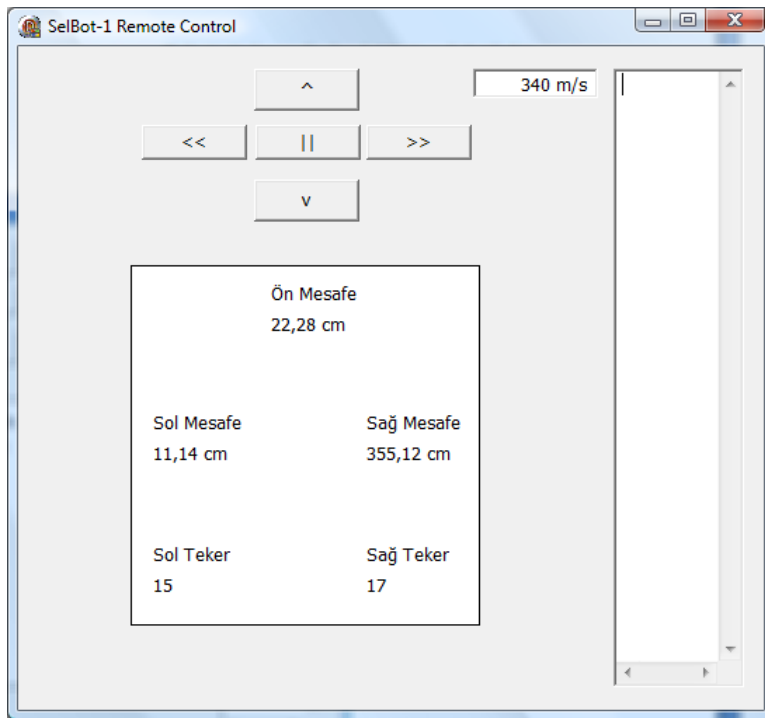
Motor sürücü devresi FPGA üzerinden opto izole olarak L293D entegresi ile sürülmüştür. Robotta 12V 30Rpm DC Motor kullanılmıştır. Tekerlek olarak oyuncak tekerlekleri kullanılmıştır. Tekerleklerin etrafı sürtünmeyi arttırmak için eriyen bant ile kaplanmıştır. FPGA üzerinde `motor_controller` modülü ile PWM motor hız ve yön kontrolü yapılmaktadır.

Voltaj Regülatörü:



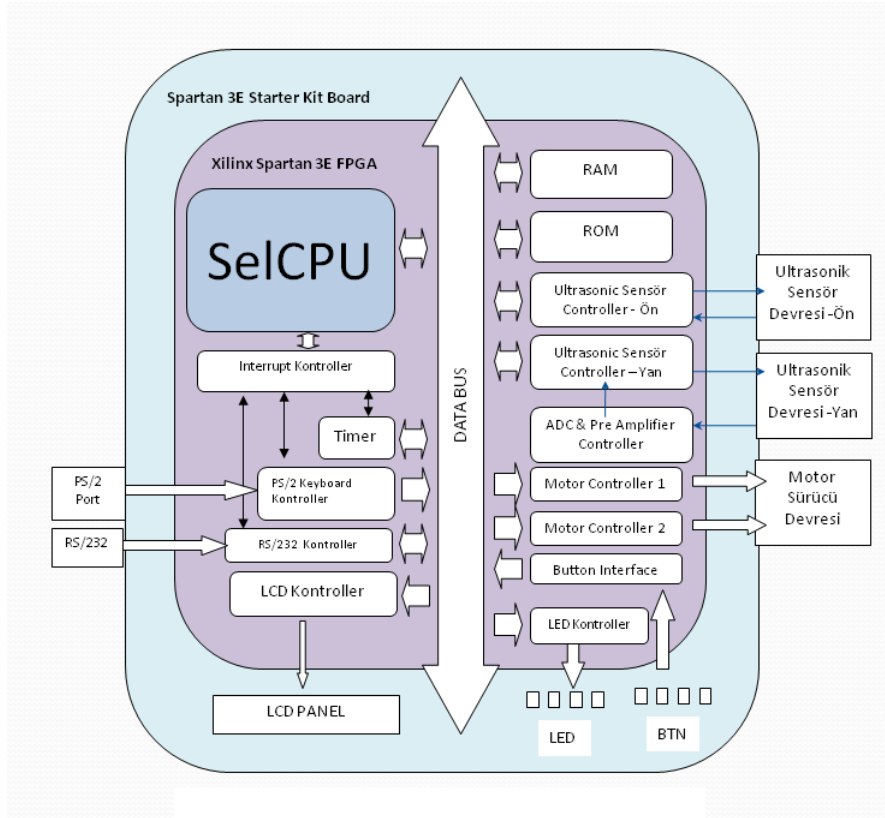
Robot güç kaynağı olarak 12V Lead-Acid akü kullanılmaktadır. Kit ve diğer kartları beslemek için kullanılan 5V, 7805 voltaj regülatörü ile elde edilmiştir.

Uzaktan Kumanda:



Robot sw2 on konumunda iken RS-232 üzerinden kumanda yukarıdaki program ile kontrol edilebilmekte ve sensör bilgileri alınabilmektedir.

Gömülü Sistem Mimarisi:



Robot kontrolü için kullanılan gömülü sistem SelCPU soft işlemci tabanlı bir sistemdir. Yukarıda sistemin bileşenleri ve bir birleriyle bağlantıları gösterilmiştir. Sistem verilog ile Xilinx ISE Foundation üzerinde geliştirilmiş ve gerçekleştirilmiştir.

Robot Kontrol programının temel işlevlerinin dökümü aşağıda gösterilmiştir

```

START:      MOVI    SP,$400
            LW      R1,[$F0000020]      ; READ SW0 = ENABLE INT
            CMPI    R1,1
            BRNEQ   CLRINT
            STI
            BRA     INIT

CLRINT:     CLI
INIT:       MOVI    R1,0
            SW      R1,[$F0000008]      ; SAĞ TEKER SAYAÇ
            SW      R1,[$F0000009]      ; SOL TEKER SAYAÇ
            MOVI    R1,0
            SW      R1,[$F0000003]      ; SAĞ MOTOR
            SW      R1,[$F0000004]      ; SOL MOTOR
LOOP:       LW      R1,[$F0000023]      ; READ SW3 = ON/OFF CONTROL
            CMPI    R1,1
            BRNEQ   START
            CLI
            ;DISPLAY
GETDIST:    LW      R1,[$F0000005]      ; ÖN MESAFE
            CMPI    R1,60000           ; MAX
            BRHI    SAVE_DIST
            ;CMPI    R1,7002           ; MIN
            ;BRHI    SAVE_DIST
GETDIST1:   LW      R2,[$F0000005]      ; ÖN MESAFE
            NOP
            NOP
            LW      R3,[$F0000005]      ; ÖN MESAFE
            CMP     R3,R2
            BREQ    GETDIST1
GETDIST2:   NOP
            NOP
            LW      R1,[$F0000005]      ; ÖN MESAFE
            CMP     R3,R1
            BREQ    GETDIST2
            SUB     R2,R1,R3
    
```



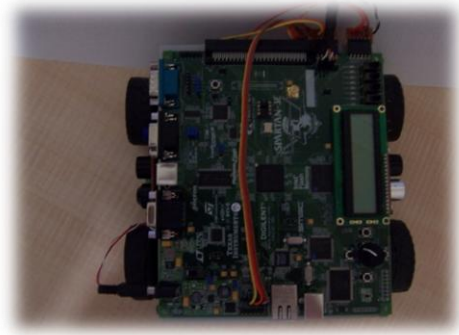
```

        CMPI      R2,3500
        BRPOS     GETDIST
        SUB       R2,R3,R1
        CMPI      R2,3500
        BRPOS     GETDIST
SAVE_DIST: PUSH      R1                ;SAVE R1
        MOVI      BR,$F100001F        ; IKINCI SATIRA YAZ
        BRL       SAYI_YAZ
        SRL       R1,R1,11
        CMPI      R1,255
        BRLO      L1
L1:      MOVI      R1,255
        BRL       SEND_INFO
        LW        R1,[$F0000006]      ; SAĞ MESAFE
        SRL       R1,R1,11
        CMPI      R1,255
        BRLO      L2
L2:      MOVI      R1,255
        BRL       SEND_INFO
        LW        R1,[$F0000007]      ; SOL MESAFE
        MOVI      BR,$F1000017        ; IKINCI SATIRA YAZ
        BRL       SAYI_YAZ
        SRL       R1,R1,11
        CMPI      R1,255
        BRLO      L3
L3:      MOVI      R1,255
        BRL       SEND_INFO
        LW        R1,[$F0000008]      ; SAĞ TEKER
        BRL       SEND_INFO
        MOVI      BR,$F100000F        ; BİRİNCİ SATIRA YAZ
        BRL       SAYI_YAZ
        LW        R1,[$F0000009]      ; SAĞ TEKER
        BRL       SEND_INFO
        MOVI      BR,$F1000007        ; BİRİNCİ SATIRA YAZ
        BRL       SAYI_YAZ
        MOVI      R1,$AA
        BRL       SEND_INFO
        MOVI      R1,$55
        BRL       SEND_INFO
        ;CONTROL
        POP       R1                ;RESTORE
        LW        R2,[$F0000021]      ; READ SW1 : IS REMOTE CONTROL ACTIVE
        CMPI      R2,1                ;
        BRNEQ     AUTO_CONTROL
REMOTE_CONTROL:     LW        R2,[$F0000010]      ; GET CONTROL WORD
        ANDI      R2,R2,$00FF; MASK lower 8 bit
        SW        R2,[$F0000000]      ; SHOW ON LEDS
        CMPI      R2,11
        BREQ      GO_ON
        CMPI      R2,10
        BREQ      GERI_GIT
        CMPI      R2,5
        BREQ      SOLA_DON
        CMPI      R2,21
        BREQ      SAGA_DON
        BRA       STOP
AUTO_CONTROL:      CMPI      R1,50000    ; TOO CLOSE
        BRHI      GO_ON
STOP:      MOVI      R1,$0000
        SW        R1,[$F0000003]      ; SAĞ MOTOR
        SW        R1,[$F0000004]      ; SOL MOTOR
        BRA       DONE_CONTROL
SOLA_DON: MOVI      R1,$00FF
        SW        R1,[$F0000003]      ; SAĞ MOTOR
        MOVI      R1,$0000
        SW        R1,[$F0000004]      ; SOL MOTOR
        BRA       DONE_CONTROL
SAGA_DON: MOVI      R1,$0000
        SW        R1,[$F0000003]      ; SAĞ MOTOR
        MOVI      R1,$00FF
        SW        R1,[$F0000004]      ; SOL MOTOR
        BRA       DONE_CONTROL
GERI_GIT:  MOVI      R1,$01FF
        SW        R1,[$F0000003]      ; SAĞ MOTOR
        SW        R1,[$F0000004]      ; SOL MOTOR
        BRA       DONE_CONTROL
GO_ON:      MOVI      R1,$00FF
        SW        R1,[$F0000003]      ; SAĞ MOTOR
        SW        R1,[$F0000004]      ; SOL MOTOR
DONE_CONTROL:     NOP;BRL      WAIT_100MS
        BRA       LOOP

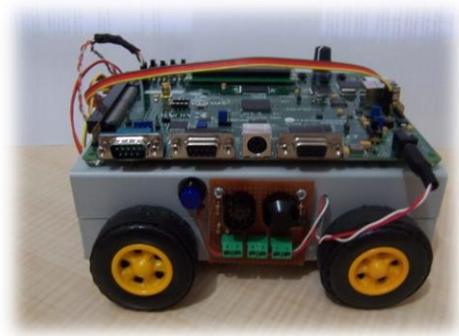
```



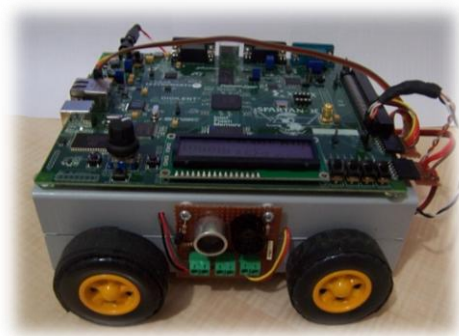

Önden Görünüm



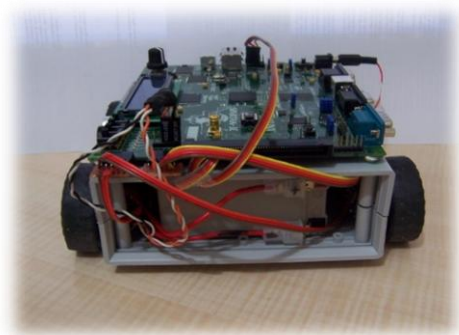
Üstten Görünüm



Sağdan Görünüm



Soldan Görünüm



Arkadan Görünüm

Sonuç

SelBot-1 başarıyla otonom ve uzaktan kumanda ile çalıştırılmıştır. Akü ağırlık merkezini arkada oluşturduğundan dönmede biraz problem yaşanmıştır. Bu problem robotun üzerinde biraz yük konularak çözülebilmektedir. Bu proje ile ultrasonik sensör sürme, opamp kullanımı, SPI iletişimi, ADC ve programmable amplifier, DC motor sürücü devresi, pulse encoder, voltaj regülatör, yüksek frekansta transistor kullanımı gibi bir çok konu tecrübe edilmiş oldu.

Kaynaklar

- 1- Spartan-3E Starter Kit Board User Guide, Xilinx
- 2- Rotary Encoder Interface for Spartan-3E Starter Kit Ken Chapman, Xilinx Ltd 20th February 2006
- 3- “Ultrasonic Range Meter “ http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/e_pic6_6.htm
- 4- L293D Datasheet