

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ BOYUTLU UZAYDA HAREKET ALGILAMA, TESPİT VE KESTİRİMİ
İÇİN GENİŞLETİLEBİLİR BİR DONANIM TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ersin ÖZKAN**

Anabilim Dalı : Bilgisayar Bilimleri

Programı : Bilgisayar Bilimleri

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Turgay ALTILAR

ARALIK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ BOYUTLU UZAYDA HAREKET ALGILAMA, TESPİT VE KESTİRİMİ
İÇİN GENİŞLETİLEBİLİR BİR DONANIM TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ersin ÖZKAN
704071008**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Aralık 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. D. Turgay ALTILAR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bülent ÖRENCİK (TÜBİTAK)
Yrd. Doç. Dr. B. Berk ÜSTÜNDAĞ (İTÜ)**

ARALIK 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışması süresince özveri ile bana yardımcı olan arkadaşlarım Ferhat Yıldız, Mahmut Dağ, Nihat Kavaklı, Mehmet Çalışkan ve Cem Küççük'e ve tez danışmanım D. Turgay Altılar'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık 2010

Ersin Özkan

Bilgisayar Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Ataletsel Ölçüm Sistemleri ve Uygulamaları.....	3
2. DONANIM TANITIMI	11
2.1 Mikro Denetçi Modülü.....	11
2.2 İvmeölçer.....	13
2.3 Jiroskop	16
2.3.1 IDG-650	18
2.3.2 ISZ-650	18
2.3.3 Jiroskop Duyargalarının Özellikleri.....	19
2.4 Kablosuz Haberleşme Donanımı (Bluetooth)	20
3. SİSTEM TASARIMI	27
3.1 İvmeölçer İçin Yapılan Çalışmalar	27
3.2 Jiroskop İçin Yapılan Çalışmalar	30
3.3 Bluetooth İçin Yapılan Çalışmalar	32
3.4 Donanım Tasarımından Kaynaklanan Kısıtlar ve Problemler	37
3.5 Donanım Kontrol Programı ve Arayüzü	38
3.6 Sistemin Çalışması	41
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	44
4.2 Gelecek Çalışmalar	44
KAYNAKLAR	47
EKLER.....	49

KISALTMALAR

ADC	: Analog Digital Converter
BDM	: Background Debug Monitor
CAN	: Controller Area Network
CS	: Chip Select
GNC	: Guidance, Navigation and Control
GPIO	: General Purpose Input/Output
HMD	: Head Mounted Display
MEMS	: Micro-Electro Mechanical Systems
I²C	: Inter-Integrated Circuit
IDE	: Integrated Development Environment
IMU	: Inertial Measurement Unit
INS	: Inertial Navigation System
MCU	: Micro Controller Unit
MISO	: Master In Slave Out
MOSI	: Master Out Slave In
PDA	: Personal Digital Assistant
PLL	: Phase Locked Loop
PWM	: Pulse Width Modulator
SCI	: Serial Communication Interface
SCL	: Serial Clock
SPI	: Serial Peripheral Interface

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Atalet duyargalarından jiroskopun tarihsel gelişimi	4
Şekil 1.2 : MEMS teknolojisi ile üretilen yeni nesil ataletsel ölçüm sistemleri	4
Şekil 1.3 : IMU cihazlarının son 20 yıldaki teknolojik ve fiziksel gelişim haritası	5
Şekil 1.4 : ADIS16455 ürününün ebatları ve blok diyagramı.	6
Şekil 1.5 : Sabit INS cihazlarının çalışmalarına ait akış diyagramı	7
Şekil 1.6 : IMU cihazının üç eksenindeki açıları ve bu açılar ile gerçek ivmeölçer verisini elde etmek için kullanılan matris.	9
Şekil 2.1 : Freescale CSM12C32	11
Şekil 2.2 : İvmeölçerin farklı pozisyonlarda üç eksende ürettiği veriler	16
Şekil 2.3 : BR-SC40A modülünün boyutu ve içyapısı	22
Şekil 2.4 : BR-SC40A modülünün çıkışları ve karşılıkları	22
Şekil 3.1 : Sabit bekleme ve hareket anında ivmeölçerden alınan işlenmemiş veri...	29
Şekil 3.2 : Bekleme anında jiroskoptan alınan işlenmemiş veri.	31
Şekil 3.3 : Hareket anında jiroskoptan alınan işlenmemiş veri.	31
Şekil 3.4 : CSM12C32 ile Bluetooth kartının bağlanması	36
Şekil 3.5 : CSM12C32 ile seri port kablosunun bağlanması	36
Şekil 3.6 : Donanım kontrol programının arayüzü.	39
Şekil 3.7 : Tüm Sistemde Verinin Akış Yönleri.....	41
Şekil B.1 : MMA7455L İçeren Devrenin Şeması	51
Şekil B.2 : IDG-650 İçeren Devrenin Şeması	52
Şekil B.3 : ISZ-650 İçeren Devrenin Şeması.....	53
Şekil B.4 : BR-S540A İçeren Devrenin Şeması	54

ÜÇ BOYUTLU UZAYDA HAREKET ALGILAMA, TESPİT VE KESTİRİMİ İÇİN GENİŞLETİLEBİLİR BİR DONANIM TASARIMI

ÖZET

Hareketin tespiti ve ölçülmesi geçmişten günümüze farklı çözümler üretilen bir problem olmuştur. Bu problemin çözümüne hem hareket sonucu değişen konum bilgisini elde etmek için hem de hareketin sistemlerin çalışmasına olan etkisini modellemek için ihtiyaç duyulmuştur.

Hareket tespitini algılamak için geliştirilen sistemlerden biri de ataletsel ölçüm sistemleridir. Atalet ölçüm sistemleri hızlanmayı ve açısal değişimi ölçen duyargalar ile yapılmaktadır.

Geçmişte devasa boyuttaki aletlerle ulaşılmaya çalışılan çözümler çok yüksek maliyetli idi. Ayrıca bu çözümlerin uygulama alanı çok dardı. Son yıllarda mikro-elektro makine sistemleri teknolojisinde meydana gelen büyük gelişmeler ataletsel ölçüm sistemleri alanında da etkisini göstermeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak eskiden çok büyük boyutlarda üretilen ataletsel ölçüm duyargalarının başarımı artarken boyutları da ters orantılı olarak ufalmış ve bu duyargalar günlük hayatta kullanılan birçok elektronik cihaza girmeye başlamıştır. Tüm bu olumlu etkilerinin yanında maliyetler de eskiye oranla oldukça düşmüştür.

Atalet ölçüm sistemleri hareketli mekanik sistemlerin konumunun tespiti ve hareketin sistemin çalışması üzerine etkisini ortadan kaldırmak için kullanıldığı gibi gerçek dünyadaki üç boyutlu hareketlerin sanal ortama aktarılmasında da kullanılmaktadır. Bu sistemlerin avantajı dış dünyalarından bağımsız olarak ölçüm yapabilmeleridir.

Hareketin tespitine yönelik yapılacak algoritma geliştirme ve sinyal işleme çalışmalarında başarımların gözleme ve test aşamasında farklı donanımlar ile test yapılması gerekmektedir. Her ne kadar ataletsel ölçüm duyargalarının fiyatları düşmüş olsa da paket olarak geliştirilen çözümlerin fiyatları en az onlarca kat mertebesinde yüksektir. Bu durumda yüksek fiyatlar ve temin edilen donanım paketlerinin karakteristiksel kısıtları sebebiyle test imkânları azalmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı test maliyetlerini düşürüp çeşitliliği arttıracak bir donanım geliştirmeye karar verilmiştir.

Ayrıca toplanan verilerin iletimi için Bluetooth teknolojisi kullanılarak veri iletimi gerektirecek her türlü uygulamada kullanılabilecek kablosuz, uzun mesafesi ve yüksek veri aktarım kapasiteli donanım geliştirmeye karar verilmiştir.

A HARDWARE FRAMEWORK DESIGN FOR 3D MOTION SENSING, DETECTION AND ESTIMATION

SUMMARY

Sensing and measuring motion of an object has become a problem which has been solved in various ways in years. The solution to this problem is required to detect displacement of an object and to model the impact of movement on operations of systems.

Inertial measurement unit is one of the systems that developed to sense and measure motion. Sensors that detect acceleration and angular rate change are used to produce inertial measurement units.

Previous solutions utilizing huge devices were expensive. In addition, it was hard to apply these solutions to different research areas. Improvements in MEMS technology has started to affect inertial measurement units in recent years. As a result, huge sized sensors are replaced with smaller and better performing sensors. These sensors started to take their place in most of electronic devices that are used in daily life. Beside these positive affects, costs become lower than before.

Other than determining the position and movement of the moving mechanical system to eliminate the effect of such movements, inertial measurement units are used to simulate three dimensional movements of real world in virtual environments. The advantage of these systems is being independent from the outside world to be able to make measurements.

Developing algorithms and signal processing applications to detect motion requires performance observation and testing with different hardware. Although prices of inertial sensors are low nowadays, inertial measurement packages are at least ten times more expensive than sensor prices. In this case, the high prices and restrictions due to the characteristics of the hardware package decreases testing facilities. Because of all these reasons, it is decided to develop hardware to reduce testing costs and increase variation of tests.

Finally, using Bluetooth is decided to transmit collected data with wireless, long distance and high data rate communication. Another purpose and advantage of Bluetooth is having a wireless communication module to use in all kinds of applications that require data transmission.

1. GİRİŞ

Üç boyutlu uzayda hareket tespiti ve ölçümü son yıllarda üzerinde oldukça çalışılan ve günlük hayatımızdaki uygulamalarda giderek daha çok yer almaya başlayan bir alandır. Yarı iletken teknolojisinin son yıllardaki gelişimi ile ivmeölçer, jiroskop, manyetometre gibi önceleri devasa boyutlara sahip duyargalar artık bir direnç kadar küçük bir paket olarak sunulabilmektedir. Mikro-Elektro Mekanik Sistemler (MEMS) adı verilen bu teknolojinin gelişimiyle mekanik elemanlar, duyargalar ve mantıksal sürücüler mikro fabrikasyon ile üretilmeye başlanmıştır. Yakın zamanda üretilen bu mikro boyuttaki duyargalar özellikle elde taşınabilir cihazlarla hayatımıza girmeye başlamıştır. Özellikle Nintendo Wii oyun konsollarının kumandaları ve iPhone telefonlar bu alandaki öncü uygulamalar olmuştur. Hareket tespiti, eğlenceye yönelik uygulamaların yanında hayatın tüm alanında uygulamaların başarımını ve çalışmaların doğruluğunu arttırmada kullanılmaya başlanmıştır; sistem tasarımlarındaki başarımı arttırmaya yönelik üretilen çözümlere bir parametre olmuştur. Bu alanların yanı sıra sistemlerde oluşabilecek sorunları algılamada da kullanıldığı alanlar mevcuttur. Tez çalışması kapsamında hedeflenen uygulama alanı sanal gerçeklik uygulamalarıdır.

Sanal gerçeklik kullanıcının, bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış gerçek veya sanal bir ortam ile etkileşimde bulunmasına izin veren bir teknolojidir. Sanal gerçeklik ile çok yakından ilgili olan insan-makine arayüzü tasarımı teknolojileri de kullanıcıların bilgisayar programları ile etkileşimini en üst düzeye çıkarma amacına sahiptir. Sanal gerçeklik, bilgisayar bilimleri dalında son yıllarda önemi giderek artan bir alandır. Eğitim amaçlı benzetim teknolojilerinden oyun sektörüne kadar geniş bir yelpazede birçok yenilikçi uygulamaya sahiptir ve sınırları insanların hayal gücü ile doğru orantılı olarak genişlemektedir. Temelinde kullanıcıların kendilerini içinde hissettikleri ve karşılıklı etkileşimde buldukları üç boyutlu bir model bulunmaktadır. Bu model kullanıcı dikkatini daha fazla üzerinde toplar ve uygulamaların başarımını artırır. Tıp, eğitim, e-ticaret, imalat, eğlence gibi alanlarda sanal ilk örneklerin oluşturulup benzetim modelleri ile desteklenmesi ile

gerçeklerinden daha ekonomik sistemler geliştirilebilmektedir. Benzetim sistemlerinin birebir gerçekliğe uygunluğunun elde edilmesi zor ve maliyetli olduğu için sanal gerçeklik uygulamaları eğlence ve oyun sektöründe daha fazla yaygınlaşmıştır. Sanal gerçeklik uygulamalarında gerçekliğin artırılması için sistemin insana daha doğal gelecek yollarla kullanılabilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu noktada insan bilgisayar etkileşimi sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. İnsan bilgisayar etkileşimi sistemlerinin amacı bilgisayarları daha hızlı ve insana daha doğal gelecek yollarla kullanılabilir hale getirmektir. Bu amaçla yalnızca standart fare ve klavye girişlerini kullanmak yerine, kullanıcının nereye baktığı bilgisini veren göz izleme donanımları, kullanıcının el, ayak, baş vb hareketlerinin bilgisini veren gelişmiş hareket izleme donanımları kullanılarak daha gerçekçi ve etkileşimli sistem yönetimi sağlanabilir. Geliştirilen donanımın, kullanıcı ile sanal ortam arasında insan makine arayüzünü sağlayarak üç boyutlu hareketi sağlayacak yazılıma kullanıcının hareketlerine göre değişime uğrayan, böylece kullanıcının kendisini içinde hissettiği bir sanal ortam oluşturması amaçlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan tez çalışmasının amacı üç boyutlu uzayda hareket ve yönelimin tespitinde ve ölçülmesinde kullanılacak bir geliştirme donanımı yapmaktır. Hem piyasadaki mevcut sistemlerin pahalı olması hem de hazır alınan sistemlerde kullanılan donanım elemanlarının yetenekleri ile kısıtlı kalınması yönelim ve hareket tespiti için yapılacak çalışmaları kısıtlayacaktır. Geliştirilen donanım ile farklı tipte duyarların farklı çalışma kipleri ve çözünürlükleri de kullanılabilir hale gelecektir. Bu sayede farklı duyarların da başarımı karşılaştırılabilecektir. Üretilen her bir duyarğa devresinin ve Bluetooth modülünün ayrı projelerde de kullanılabilmesi ileriye dönük kapsamlı bir tasarım yapmak hedeflenmiştir. Tüm bu özelliklerle birlikte farklı tip duyarların da sisteme eklenebileceği bir ortam hazırlanmıştır. Özetle hareket ve yönelim tespiti çalışmalarında dışa bağımlılığı ortadan kaldırmak hedeflenmiştir. Ayrıca bilgisayar ortamından donanımın her bir ögesinin çalışma kiplerini ayarlayacak ve atayacak arayüz hazırlayarak kullanıcı dostu bir kullanım imkânı sağlamak hedeflenmiştir. Böylece tespiti ve ölçümü yapılmak istenen hareket ve yönelimin özelliklerine göre donanımın farklı yeteneklerle çalışmasını sağlamak amaçlanmıştır.

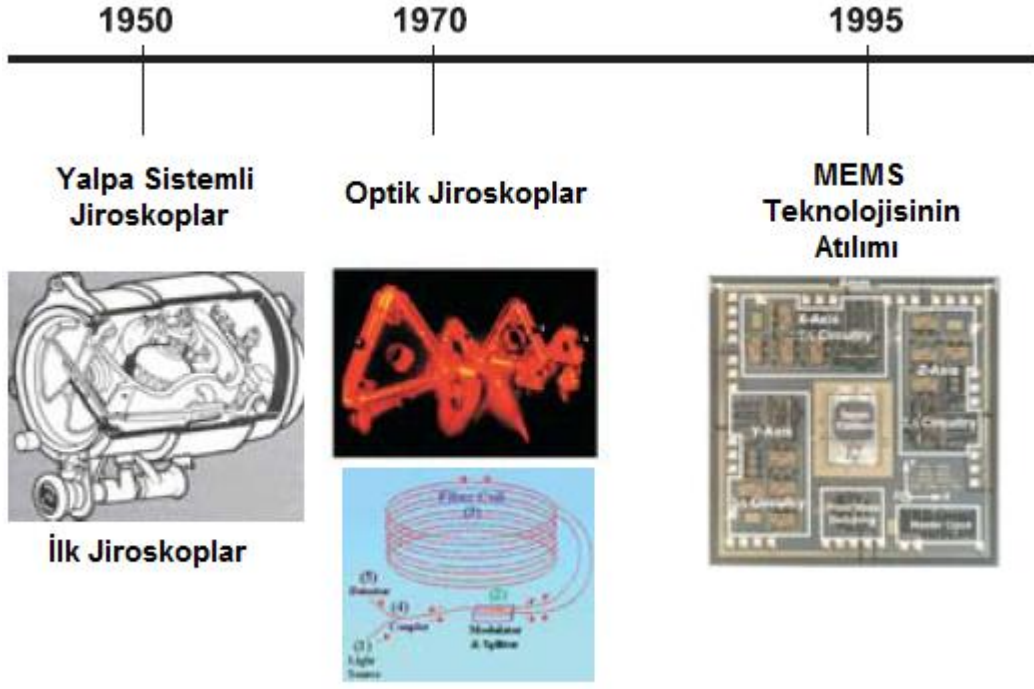
Hareket tespiti ve ölçümleri için hazır olarak alınacak ataletsel ölçüm sistemleri geliştirilecek algoritmaları ve yapılacak testleri kendi yeterlilikleriyle kısıtlar. Buna karşın farklı ataletsel ölçüm duyarlarının değişmeli veya birlikte kullanılabilmesi, tamamen kullanıcının istekleri doğrultusunda çalıştırılabilen ve kablosuz iletişim imkânı sağlayabilen bir donanım dış dünyaya bağımlılığı azaltırken yapılacak ar-ge faaliyetlerini de kolaylaştıracaktır. Bu sebeple üretilecek bir geliştirme platformu en iyi araştırma ve gözleme olanaklarını sağlayacaktır.

1.2 Ataletsel Ölçüm Sistemleri ve Uygulamaları

Hareket ve yönelim tespit ve ölçümlerini yapmak için kullanılan sistemlere ataletsel (eylemsizlik) ölçüm sistemleri adı verilmektedir. Atalet ölçüm sistemleri bir cismin hareketinden doğan eylemsizlik kuvvetlerini ölçen duyar paketleridir. Genel kullanım alanları davranış, durum tespiti, düzlem sabitleme ve navigasyondur. Genel kullanım şekli ise üç ana eksenlerdeki ivmelenmeyi ve yönelmeyi ölçmektir.

İlk ataletsel ölçüm sistemleri yalpa (Birbirini karşılıklı düşey vaziyette kesmiş iki dönüş eksenli, yatak ve şaft, bulunan mekanik bir çerçeve) üzerinde dönen mekanik jiroskoplar ile tasarlanan yalpa sistemleridir. Bu sistemler hâlâ hava taşıtlarında kullanılmaktadır. Yalpa sistemlerinin jiroskopun hatasına ek olarak yalpa sisteminin getirdiği hataları ve kilitlenme probleminin olması sebebiyle başarımları ve güvenilirliği düşük kalmıştır.

1970'li yıllarda halka-lazer jiroskoplar ve optik-kablolu jiroskoplar üretilmiş ve yalpa sistemine gerek olmadan çalışma imkânı sağlanmıştır. Halka-lazer jiroskopları günümüzde de en gerçekçi uygulamalar olmakla beraber yüksek maliyeti sebebiyle sadece çok büyük ve önemli projelerde kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 : Atalet duyargalarından jiroskopun tarihsel gelişimi

Mikro-Elektro Mekanik Sistemler, ataletsel ölçüm duyargaları teknolojisinde ilk olarak 1990'ların ortalarında kullanılmıştır ve bu büyük bir başarıyla sonuçlanmıştır. Sonuç olarak ortaya çok güvenilir ve başarımı yüksek ataletsel ölçüm duyargaları ortaya çıkmıştır. MEMS teknolojisiyle yapılan üretim maliyet/başarım oranında da büyük oranda iyileşme sağlamıştır [1].



Şekil 1.2 : MEMS teknolojisi ile üretilen yeni nesil ataletsel ölçüm sistemleri

MEMS teknolojisinde hâlâ çok önemli gelişmeler olmaktadır:

- Advantest firması yeni nesil MEMS anahtar üretimini başlatmıştır.
- Invensense firması MEMS jiroskop duyargalarıyla adını duyurmaya başlamıştır.
- Silex 8 firması yeni tesisleriyle üretime başlamaktadır.
- SiTime firması üretimini her çeyrek sene iki katına çıkarmaktadır.
- STMicroelectronics firması pazarda giderek büyümektedir.
- Walshin Liwha firması Miradia firmasını satın almıştır ve Microvision firması yatırım yapmaya başlamıştır.
- Wispry, Silicon Clocks, Microvision, Siimpel firmalarına yatırımcılar büyük ilgi göstermeye başlamıştır.

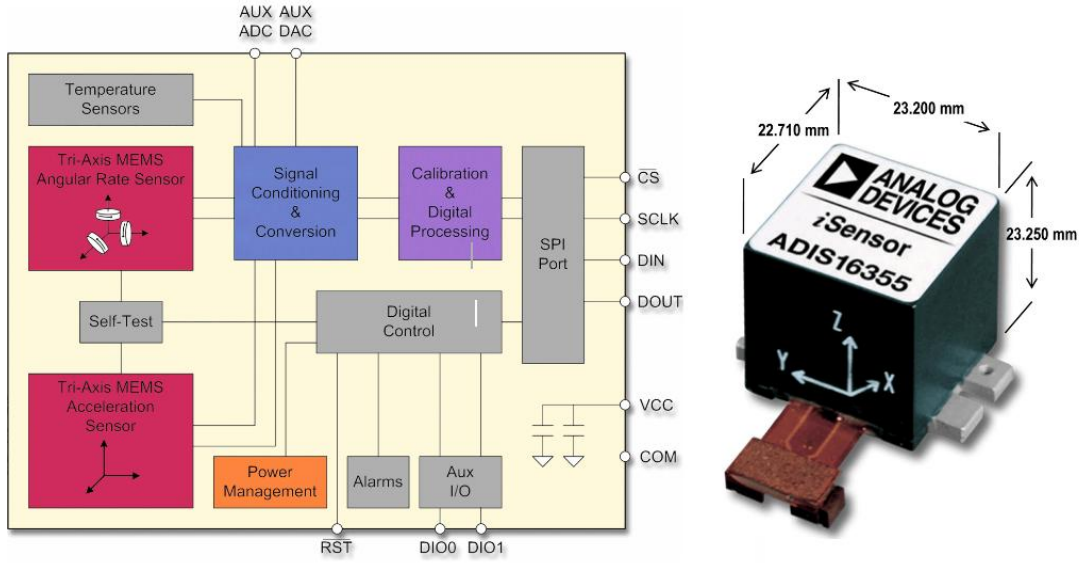
Tüm bu ekonomik ve teknolojik gelişmeler MEMS teknolojisinin geleceğin teknolojisi olacağına işaret etmektedir [2].

MEMS teknolojisinin ataletsel ölçüm duyargaları kullanılmaya başlanmasından sonra üretilen en popüler cihaz ataletsel ölçüm sistemleri (IMU) olmuştur. IMU cihazları GPS cihazlarının aksine hareketini belirlemede kendi kendine yeten ve kendi kendine öğrenebilen sistemlerdir. En küçüğü yaklaşık 2cm en, boy ve genişliğe sahip olacak şekilde üretilen IMU cihazları genel olarak, uygulama amacına göre değişen duyargalar ile bir mikro denetçi ve dış ortamla iletişim arabiriminden oluşan paketlerdir.



Şekil 1.3 : IMU cihazlarının son 20 yıldaki teknolojik ve fiziksel gelişim haritası [3].

IMU cihazlarının en basit e küçük boyutlu örneği olarak Analog Devices firmasının ürettiği ADIS16355 kodlu ürünü verebiliriz. IMU cihazları tanımlanırken serbestlik derecesi ifadesi kullanılır. Her farklı duyarga için her eksen bir serbestlik derecesini ifade etmektedir. ADIS16355 altı serbestlik derecesine sahip bir üründür. İçinde X, Y ve Z eksenlerinde ölçüm yapan bir adet ivmeölçer ve bir adet jiroskop bulundurmaktadır [4].

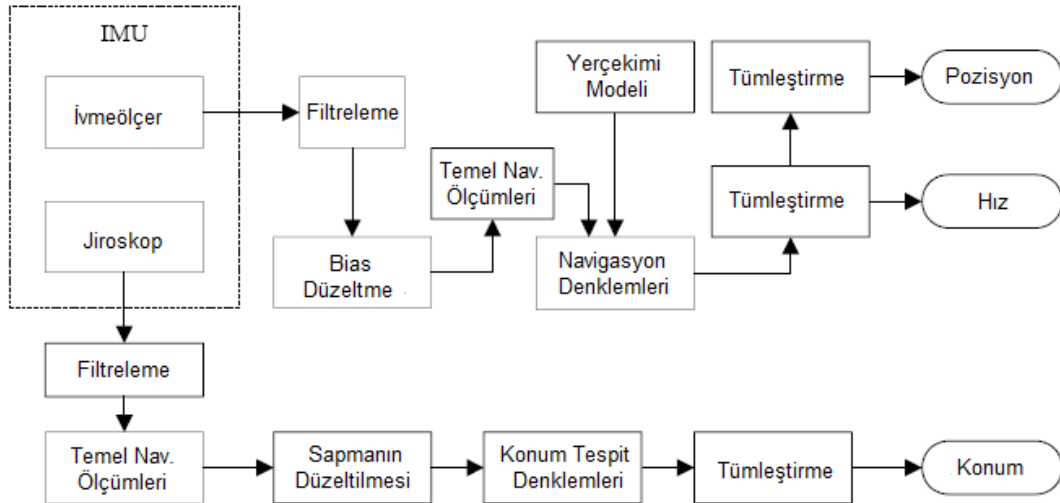


Şekil 1.4 : ADIS16455 ürününün ebatları ve blok diyagramı [4].

IMU cihazlarının insanlı ve insansız hava, deniz ve kara araçlarında geniş kullanım alanı olduğu kadar günümüzün teknolojik askeri mühimmatlarında da kullanılmaktadır. Bu mühimmatlara tahmin dayalı yönlendirilen mühimmat (PGM) denilmektedir. Güdümlü füzeler ve roketler IMU cihazlarının kullanıldığı önemli bir alandır. MEMS teknolojisinden önce üretilen IMU cihazları füzelerdeki ve roketlerdeki yüksek ivmeye dayanamayan, büyük ve pahalı ürünlerdi. MEMS teknolojisi ile geliştirilen IMU cihazları güdümlü mühimmatın doğru noktanın vurulması, askeri hedef dışındaki alan ve kişilere zarar verilmemesi, en az mühimmat harcanarak görevin tamamlanması problemlerine çözüm getirmiştir [5].

MEMS ataletsel ölçüm duyargalarının kendine yetebilen insansız hava araçlarının rota, konumunun belirlenmesi ve kontrolü için kullanımı 2005'li yıllarda başlamış olan oldukça zorlu ve ilginç bir alandır. İnsansız hava araçlarında kullanılan bu MEMS teknolojisine ataletsel seyir sistemleri (INS) denir ve MEMS ataletsel ölçüm duyargaları, küresel konumlandırma sistemleri, manyetometre ve barometreden oluşmaktadırlar. Askeri, yangın gözetleme, tarım, veri toplama, arama kurtarma amacı ile üretilen insansız hava araçlarında, gömülü uçuş kontrol yazılımlarında ataletsel konum belirleme sistemlerinden gelen veriler kullanarak rota, konum, kontrol (GNC) algoritmaları yürütülmüş ve başarı ile uçuş sağlanmıştır. Bu araçlarda kullanılan MEMS ataletsel ölçüm duyargaları yine altı serbestlik dereceli IMU cihazları tarafından sağlanmaktadır. Gömülü yazılım duyargalardan ve ölçüm cihazlarından aldığı verileri harmanlayarak Kalman filtresinden geçirip konum belirleme hatalarını modeller. Arka planda yürütülen veri toplama yazılımı, Kalman filtresi yazılımları ve dış kontrol olarak görev yapan rota belirleme yazılımları uçuş kontrol sistemini oluşturmaktadır [6].

INS cihazları yalpa sistemi üzerine tasarlanabileceği gibi, sabit olarak da yapılabilir. Aradaki fark yönelim değişiminin ölçüm verilerine etkisini göz önünde bulundurmamak olacaktır.



Şekil 1.5 : Sabit INS cihazlarının çalışmalarına ait akış diyagramı

Ülkemizde de insansız hava araçları konusunda büyük araştırma ve geliştirme faaliyetler yürütülmektedir. Baykar Makina firması tarafından tamamen yerli üretim olan 'Bayraktar Mini İHA', 'Helikopter Mini İHA' sistemleri şu an kullanımdadır. 'Taktik İHA Sistemi' adındaki büyük boyutlu araç da yakında kullanılmaya başlanacaktır [16]. Ayrıca Vestel firması da yakın zamanda insansız hava araçları konusunda Ar-Ge faaliyetlerine başlamıştır [17].

Atalet ölçüm sistemlerinin diğer bir kullanım alanı da kaskete takılı görüntüleme sistemleri (HMD) izleme, takip etme, baktığı yönü tespit etmedir. Bu alanda yapılan eski çalışmalar parazite karşı korunmasızlık, görüş alanı kısıtlaması, gecikme, dar ölçüm aralığı, yüksek maliyet, yüksek performans isteyen görüntü işleme algoritmaları yürütme zorunluluğu ve titreşimin getirdiği zorluklar sebebiyle birçok problemi bünyesinde barındırmaktaydı. Atalet ölçüm duyargalarının kullanımıyla ortamdaki bağımsız, düşük maliyetli ve yüksek performanslı izleme sistemleri üretilebilmiştir [7].

Atalet ölçüm sistemlerinin son yıllarda rağbet gören önemli kullanım alanlarından biri de otomobil güvenlik sistemleri ve akıllı otomobil sistemleridir. Otomobillerin güvenliğini, hareket kabiliyetlerini ve sürüş kolaylığını arttırmak için araç üzerinde kritik noktalara yayılmış olan ataletsel ölçüm sistemleri CAN iletişim hattı üzerinden merkezi bir mikro denetçi ile iletişim halindedir [8]. Kaza anında, park ederken, geçişlerde, dönüşlerde tekerleklerin açısı ayarlanırken gelen ölçüm verileri mikro denetçide yorumlanarak aracın mekanik sistemlerinin kullanıcıdan bağımsız hassas kontrolleri sağlanmaktadır [9].

Son olarak ataletsel ölçüm duyargalarının kullanıldığı ve günümüzün en popüler ürünü olan Wii konsollarından bahsetmek uygun olacaktır. Satışa sunulan ilk sürümünün kumandası; Intel 8051 mikro denetçisi, Analog Devices firmasının ADXL330 ivmeölçeri, BCM2042 Bluetooth yongası, H7824HE ses yongası, ST 4128 BWP EEPROM'u ve kızılötesi ışık kaynağı ile Nintendo firmasının tasarladığı düşük hareket çeşitliliğine sahip oyunların hareket tespit kaynağı olmuştur. Oyunların hareket çeşitliliğini ve estetiğini arttırmak için yakın zamanda içinde jiroskop bulunan ve I²C iletişim arabiriminden haberleşmesini sağlayan Wii Motion Plus eklentisi piyasaya sürülmüştür [10].

Bugün Wii kumandaları kullanılarak birçok farklı uygulama gerçekleştirilmektedir [11, 12, 13]. Özellikle Johnny Lee tarafından gerçekleştirilen uygulamalar ilgi uyandırmış ve bu alana yönelmemizi sağlamıştır [13]. Bu noktada dikkatimizi çeken konu Wii oyun kumandasının kapasitesi, kullanım amacı ve geliştirilmesi için bir imkân olmayışı ile kısıtlanmamız olmuştur. Bu noktada kendi donanımımızı üreterek farklı yeteneklerle istediğimiz şekilde çalışma imkânımızı sağlama ve toplanan verileri inceleme fikri ortaya çıkmıştır.

Altı serbestlik dereceli ataletsel ölçüm sistemleri ile konum ve yönelim ölçümünün çözümü Kalman filtreleri ile yapılan uygulamalarla aranmaktadır. Çözüme ulaşmak için tüm ölçüm verilerinin modellenerek gerçek sonuçların elde edilmesi veya hataların modellenerek gerçek hatanın hesaplanıp ölçüm verisinden çıkarılarak gerçek ölçümün bulunması şeklinde iki farklı yaklaşım mevcuttur. Kalman filtresi uygulamaya geçmeden önemli bir probleme çözüm getirilmelidir. İvmeölçer verisi üç boyutlu uzaydaki yönelimine göre farklılık göstermektedir. Bu veriyi yönelimden bağımsız hale getirecek bir yaklaşım bulunmalıdır. Bu noktada jiroskoplara ölçülen yönelim ve üç eksenindeki açılar formüllere dâhil olur [14].

$$a_G = R_{GS}(\theta) a_S$$

$$R^{GS}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$\theta = [\phi \ \theta \ \psi]'$$

Şekil 1.6 : IMU cihazının üç eksenindeki açıları ve bu açılar ile gerçek ivmeölçer verisini elde etmek için kullanılan matris [14].

2. DONANIM TANITIMI

Bu bölümde amaç tüm donanım geliştirilirken kullanılan her bir elemanı ayrı ayrı tanıtmaktır. Elemanlar tanıtılırken güçlü ve zayıf yönleri vurgulanarak yeterli ve yetersiz olduğu noktalar belirtilecektir.

2.1 Mikro Denetçi Modülü

Tez çalışmasının kapsamında bütün donanımı kontrol etmek amacıyla üzerinde HC(S)12 ailesinden olan MC9S12C32 mikro denetçi bulunan CSM12C32 modülü kullanılmıştır. CSM12C32 Freescale tarafından eğitim amaçlı üretilen bir modüldür. Üzerindeki MCU' ya ait giriş çıkışlar için kullanışlı arayüzler sağladığı için doğrudan bir modül kullanma yoluna gidilmiştir. Seri iletişim ara birimi haricinde 40 adet IO bağlantısı mevcuttur. CSM12C32 modülünün genel özellikleri şunlardır:

- 16bitlik veri ve adres yoluna sahip MC9S12C32 mikro denetçisi
- 32K sekizli Flash EEPROM
- 2K sekizli bellek
- SCI ve SPI iletişim birimleri
- 8MHz çalışma frekansı (PLL kullanarak bunu 24Mhz ye çıkarmak mümkündür)
- 8 kanallı ve 8, 10 bitlik analog dijital dönüştürücü.
- Zamanlayıcı ve PWM



Şekil 2.1 : Freescale CSM12C32

Modül 3.3V ile veya 5V gerilimleri arasında çalışmaktadır. Modül fabrika çıkışı olarak adaptörle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. 220V – 12V adaptörden gelen gerilim modül üzerindeki 5V gerilim düzenleyiciden geçerek kullanılır. Daha sonra bu gerilim 3.3V' a düşürülerek devre sürülür. Aslında Bu gerilim J1 bağlantı arayüzü üzerinden de sağlanabilir fakat bu durumda dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Çalışmamızda güç kaynağı olarak pil kullandığımız için J1 bağlantı arayüzü üzerinden devreyi beslemek gerekmiştir ve bazı gerekli değişiklikler yapılmıştır.

Öncelikle PWR_SEL bağlantı köprüsünde beslemenin J1 bağlantı arayüzünden sağlanacağını belirten bağlantı yapılır. CT-1 olarak adlandırılmış bağlantı kesilerek LV-1 (low voltage detect) devre dışı bırakılır. LV-1 adaptör girişinden gelen 5V değerinin düşük gelmesi halinde modülü yeniden başlatmaktadır. J1 bağlantı arayüzü üzerinden devreyi 3.3V ile beslediğimizden LV-1 devre dışı bırakılmazsa sürekli düşük voltaj tespiti yapacaktır.

Modül üzerinde ikişer adet tuş ve led bulunmaktadır. Özellikle ledler, çalışma anında oluşan durumların gözlenmesi açısından önemlidir. Tuşlar ve ledler, kullanıcı seçenekleri bağlantı köprüsü ile iptal edilebilir veya aktif hale getirilebilir.

J1 bağlantı arayüzünün sağladığı önemli giriş çıkış arayüzleri şunlardır:

- 8 Bit analog dijital dönüştürücü
- Genel kullanım amaçlı 8 bitlik T bağlantı arayüzü
- 4 Bit SPI arayüzü
- 4 Bit SCI arayüzü
- 2 Bit besleme ve topraklama arayüzü
- 1 Bit debug arayüzü
- 4 Bit PWM arayüzü
- Bir bit IRQ arayüzü
- Bir bit XIRQ arayüzü

Modül üzerinde HCS12 Serial Monitor isimli gömülü bir yazılım bulunmaktadır. Bu yazılım hem modüle kullanıcının yazılımını yüklemesini hem de hata ayıklama işleminin yapılmasını sağlamaktadır. Program ayrıca bellek üzerinde işlemler yapmayı sağlayan bir komut kümesi de sağlamaktadır.

Modül üzerindeki bellek şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Kütükler
- Bellek
- Seri Monitör Programı
- Kullanıcı programı
- Korunmalı kesme vektörü tablosu
- Kullanıcı kesme vektörü tablosu

Belleğin bu şekilde düzenlenmesi proje geliştirme ortamı olan Codewarrior IDE tarafından üretilen “.prm” dosyasında yapılır. Bu dosya seçilen modül tipine göre farklı şekillerde üretilir. Özel durumlarda bu dosya değiştirilerek belleğin özel kısımlarına kullanıcı uygulamaları yerleştirilebilir.

Modül tarafından sunulan kesme hizmetlerinin yorumlanması, farklı programlama arayüzleri için farklı şekilde çalışmaktadır. Serial Monitor ile programlama yapılacağı zaman ya kullanıcı vektör tablosunun tamamının ayrı bir dosyada tanımlanması ya da kullanılacak her bir kesme ile ona ait kesme hizmet programının ilişkisi “.prm” dosyasında belirtilmelidir. BDM üzerinden programlama yapılıyorsa, Codewarrior IDE üzerindeki seçenekler bölümünden kullanılan kesmeler seçilmelidir.

2.2 İvmeölçer

İvmeölçer, yerçekimine göre hızlanmayı ölçen cihazlardır. Tek ve çok eksenli ölçüm yapan çeşitleri bulunur. Ölçüm verileri ile pozisyon değişimini, titreşmeyi ve şok etkisini yorumlamak mümkündür. Günümüzde mikro makine denilen yapıda üretilen ivmeölçerler oldukça yaygınlaşmıştır. Bu küçük boyutlu ivmeölçerler, taşınabilir elektronik cihazlarda ve oyun konsollarında kullanılmaktadır. Donanımımızda kullandığımız ivmeölçer “MMA7455L” de bu tip bir elektronik üründür.

İvmeölçerlerin genel kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir:

- Mühendislik: Taşıtların hızlanmasını ölçmede kullanılarak fren mekanizmaları ve motor, sürüş geliştirmeleri yapılır.
- Biyoloji: Doğal yaşamdaki sürekli gözle gözlenmesi mümkün olmayan hayvanların üzerine yerleştirilerek hareketleri kaydedilir.

- Endüstri: Makinelerin titreşimi ölçülerek sorunların tespiti sağlanır.
- Görüntü sabitleme uygulamalarında
- Oyun konsollarında. Elektronik cihazlarda düşmelerde oluşabilecek zararı önlemek amacı ile serbest düşme tespitinde.
 - Özellikler sabit diskler ve diz üstü bilgisayarlarda
- Cep telefonu ve PDA gibi harekete dayalı kullanım arayüzü sunan cihazlarda menü değişim hareketlerinin algılanmasında
- Hareket, yönelim tespitinde
- Görüntü sabitlemede
 - Hem askeri hem de multimedia cihazlarda
- Kalp atışı kontrolü gibi sağlık uygulamalarında kullanılır.

MMA7455L, Freescale Semiconductors tarafından üretilen düşük güç tüketimli dijital bir ivmeölçerdir. Düşük güç tüketimi ve kendini bekleme (stand-by) konumuna alabilmesi, bu ivmeölçeri gömülü cihazlar için ideal yapmaktadır.

MMA7455L'in sunduğu önemli özellikler şunlardır:

- 3mm x 5mm x 1mm 'lik boyutluyla oldukça az yer kaplamaktadır
- I²C ve SPI hatları üzerinden iletişim sağlamaktadır
- Z ekseninde çalışan test kipi ile doğruluk ve güvenilirlik testi imkânı sağlamaktadır
- Kullanıcıya 0g ölçümü için ölçümleme ayarları sağlamaktadır
- 8-bit ve 10-bit çıkışları aynı anda üretebilmektedir
- 2g, 4g, 8g hassasiyetlerinde çalışma imkânı sağlar
- 3 eksende de ayarlanabilir eşik değerleriyle kesme üretme seçeneği vardır.
- 4 farklı çalışma kipi sunar:
 - Bekleme (Stand-by)
 - Darbe (Pulse)
 - Durum (Level) Gerçekleşen hareketin özelliğini tespit etme
 - Serbest düşme, tireme, şok
 - Ölçüm (Measurement)
- Ortam sıcaklığı çıkışı ile sağlayarak 3 eksende üretilen verilerin doğru yorumlanmasına katkıda bulunacak ek veriler sağlar

- -40 ile +125 derece arasında çalışabilir
- 5000g şok toleransı vardır

İvmeölçer haberleşme için dört hatlı seri iletişim arabirimini ve I²C iletişim arabirimini desteklemektedir. SPI arayüzü iletişimi üç hatlı da yapılabilir ve MMA7455L bu yöntemi desteklemektedir. Bunun için ivmeölçerin ayar kütüğüne uygun değerin yazılması gerekir. İvmeölçer ön tanımlı olarak dört hatlı SPI ile çalışır. Konfigürasyon işlemi okuma gerektirmediğinden MISO hattının MCU modülü tarafında bir önemi yoktur. Üç hatlı çalışma konfigürasyonu yapıldıktan sonra MISO ve MOSI hatları tek bağlantıya indirgenmiş olur.

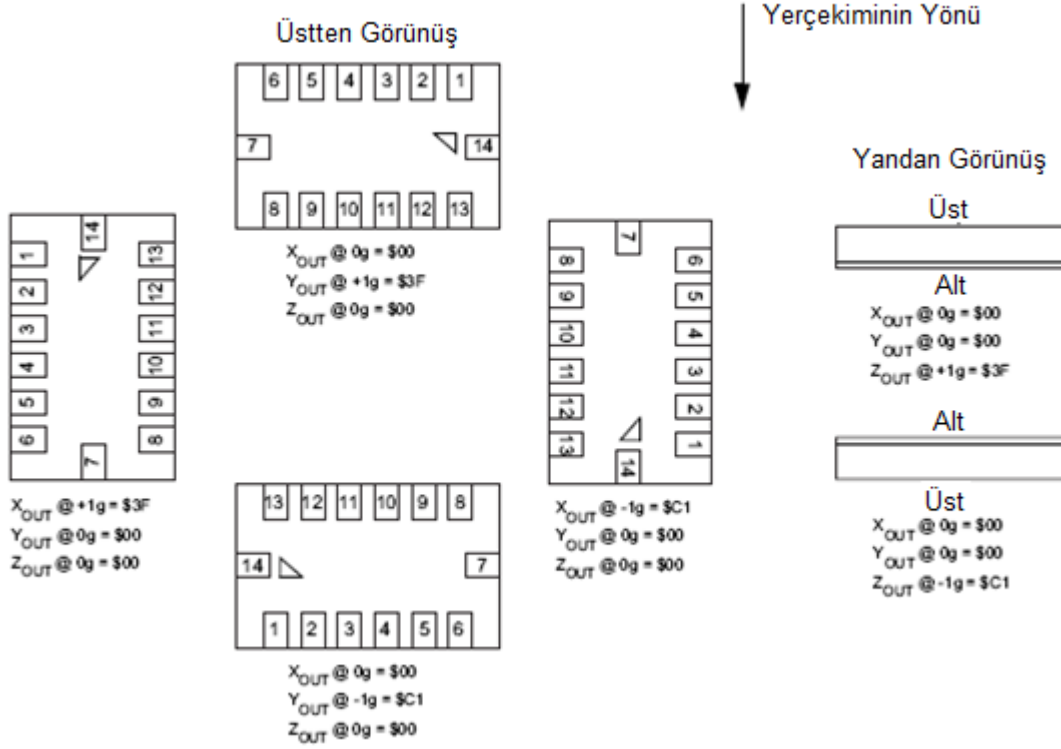
İvmeölçerin çıkış verileri ele alındığında birçok problem görülür.

Bunlardan ilki 'bias' adı verilen ölçüm gürültüsünden farklı olarak ivmeölçer sabit ve yere paralelken ürettiği verilerdir. Bias gürültüleri çok büyük değerler alabilmektedir.

Diğer problem hareket esnasında oluşan gürültüdür ve çıkış verisinde hareket esnasında hem küçük hem de büyük atlamalar meydana gelmesine sebep olur. Öyle ki durmakta olan ivmeölçeri hızlandırıp tekrar duracak kadar yavaşlattığımızda hesaplanan net hız sıfır olmamaktadır. Yani ivmeölçerin üstünde bulunduğu cisim matematiksel olarak bir yöne doğru hareket ediyormuş gibi algılanır.

Bahsettiğimiz iki gürültünün de sinyal işleme algoritmaları ve filtreler kullanılarak etkisinin azaltılması gerekmektedir. Kalman filtresi, ivmeölçer verisini modelleme ve düzeltmede en çok kullanılan yöntemlerdendir. Kalman filtresiyle ölçülen verilerden hesaplanan veriler modellendiği gibi, hatanın ve gürültünün modellenerek çözüme ulaşılmaya çalışıldığı yaklaşımlarda mevcuttur.

İvmeölçer verisini bozan üçüncü etken ivmeölçerin kendi pozisyonudur. İvmeölçerin alt yüzeyi altta kalacak şekilde yere paralel olarak yapılan ölçümler ideal ölçümlerdir. Fakat hem yapmaya çalıştığımız donanımın kullanım amacı gereği hem de dış dünyada çalışılan ortamların ideal düzgün olmaması sebebiyle ivmeölçerin yere olan paralelliğinin bozulması kaçınılmazdır. İvmeölçeri kendi eksenini etrafında bir yöne doğru yatırıp sağa sola veya ileri geri hareket ettirdiğimizde beklenilenden farklı eksenlerde harekete ilişkin veriler aldığımız görülecektir. Bazı temel pozisyonlar için ivmeölçerin ürettiği veriler Şekil (2.2)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : İvmeölçerin farklı pozisyonlarda üç eksende ürettiği veriler

Bu durumun algılanması ve yorumlanması için kullandığımız ivmeölçerin yanında ek olarak jiroskop duyargası kullanılması gerekecektir. Jiroskop duyargasının donanımımızın yönelimine (orientation) ait veriyi sağlayacaktır.

2.3 Jiroskop

Jiroskop açısal momentumun korunması ilkelerine dayanarak tasarlanmış yönelimi ölçme ve elde etme için kullanılan cihazlardır. Genel kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İnsansız hava araçlarında
- Tünel madenciliğinde yön tespitinde
- Manyetik yön tespit duyargaları olan manyetometrelerin kullanılan cihaz veya kullanıldığı ortam sebebiyle çalışmadığı, çalışsa bile yeterli kalitede veri üretilmediği yerlerde yön tespitinde kullanılır.

Jiroskop, hareket tespiti ve modellenmesinde en önemli donanım elemanıdır.

Jiroskopun bu amaçla iki önemli kullanımı vardır:

Bunlardan ilki asıl kullanım amacı olan üç boyutlu düzlemdeki yönelimi tespit etmek ve ölçmektir. Yönelim bir cismin üç ekseninde kendi etrafındaki hareketini ifade etmektedir. Üç ekseninden X ekseninde kendi ekseni etrafındaki harekete yuvarlanma, yalpa (roll) Y ekseninde kendi ekseni etrafındaki harekete yunuslama (pitch) ve Z ekseninde kendi ekseni etrafındaki harekete sapma, savrulma (yaw) denilir. Bu eksenleri daha somut bir şekilde ifade etmek için bir uçağı gözümüzün önüne getirecek olursak uçağın gövdesinin X eksenini, uçağın kanatlarının oluşturduğu doğrunun Y eksenini ve uçağın X ve Y eksenlerinin merkezi ile üç boyutlu düzlemde dik kesişen doğrunun Z eksenini oluşturduğunu düşünebiliriz.

Jiroskopun ikinci kullanım gereği ise ivmeölçer verisinin düzgün yorumlanmasını sağlamaktır. İvmeölçerin üç eksen için ürettiği veriler, ivmeölçerin yönelimine göre değişmektedir. İvmeölçer duyargasının alt yüzeyi yere paralel iken yapılan ölçümler ideal ölçümlerdir ve elde edilen ölçümler doğru değerlerdir. Fakat ivmeölçerin yer yüzeyine paralel eksene herhangi bir derece açı yapacak şekilde hareket ettirilmesi durumunda veya hareket esnasında yönelimin de değişmesi durumunda ölçülen değerler doğru eksenlere ait olmayacaktır.

Şekil (1.6)' daki formülde de görüldüğü üzere jiroskoptan gelen veriler ile yönelim hesaplanmakta, üç eksenindeki açılar tespit edilmekte ve bu açıların etkisi ivmeölçer verilerinin hesaplandığı formüle katılmaktadır.

İçinde bulunduğu tüm devrenin mekanik tasarımı sayesinde bazı ivmeölçerler üzerinde bulunduğu taşıt, cihaz veya cisim ne olursa olsun yer yüzeyine paralel kalabilir. Bu tip tasarımları uçak ve gemilerde görme mümkündür. Mekanik tasarımı sayesinde yere paralel kalan ivmeölçerlerin bulunduğu sistemlerde jiroskop verisinin kullanılmasına gerek yokken özellikle gömülü sistemler üzerine ivmeölçer sabitlenerek yapılan tasarımlarda jiroskop verisi kullanılarak ölçümlerin düzeltilmesi şarttır.

Donanımımızda Invensense Inc. firmasına ait iki jiroskop kullanılmıştır. Üç ekseninde veri toplamayı sağlayan jiroskop duyargalarının maliyeti çok yüksek olduğu için biri iki eksenli diğeri de tek eksenli olmak üzere iki jiroskop kullanılmıştır ve bu şekilde tüm eksenlere ilişkin verilerin toplanılması sağlanmıştır.

Kullanılan jiroskop duyargaları şunlardır:

- Invensense Inc. IDG-650 Dual Axis Gyroscope
- Invensense Inc. ISZ-650 Single Axis Gyroscope

IDG-650 duyargası X ve Y eksenlerindeki yönelimi ölçen çift eksenli bir duyargadır. ISZ-650 duyargası da Z eksenindeki yönelimi ölçen tek eksenli bir duyargadır. Bu duyargaların eksenler açısından çeşitli kombinasyonları da bulunmaktadır.

2.3.1 IDG-650

IDG-650 duyargasının göze çarpan özelliklerini sıralarsak:

- 4mm x 5mm x 1.2mm boyutu ile dünyanın en küçük çift eksenli duyargadır.
- Tek duyarga üzerinde X ve Y jiroskopları birlikte bulunmaktadır.
- İki farklı çıkış verisi ile kullanım amacına uygun veriler sağlamaktadır.
 - X/Y-Out Pinleri: 0.5mV/°/s hassasiyet ile 2000°/s ölçeklendirme aralığına sahiptir.
 - X4.5/Y4.5-Out Pinleri: 2.27mV/°/s hassasiyet ile 440°/s ölçeklendirme aralığına sahiptir.
- Gömülü alçak geçiren filtreleri ve kuvvetlendiricileri vardır.
- Üzerindeki sıcaklık duyargası ile sıcaklık verisi sağlamaktadır.
- Otomatik-Sıfırlama fonksiyonu sağlamaktadır.
- 10000g şok etkisine toleransı vardır.

2.3.2 ISZ-650

ISZ-650 duyargasının göze çarpan özelliklerini sıralarsak:

- 4mm x 5mm x 1.2mm boyutu ile dünyanın en küçük tek eksenli duyargadır.
- Z ekseninde ölçüm yapmaktadır.
- İki farklı çıkış verisi ile kullanım amacına uygun veriler sağlamaktadır.
 - Z-Out Pini: 0.5mV/°/s hassasiyet ile 2000°/s ölçeklendirme aralığına sahiptir.
 - Z4.5-Out Pini: 2.27mV/°/s hassasiyet ile 440°/s ölçeklendirme aralığına sahiptir.
- Gömülü alçak geçiren filtreleri ve kuvvetlendiricileri vardır.
- Üzerindeki sıcaklık duyargası ile sıcaklık verisi sağlamaktadır.

- Otomatik-Sıfırlama fonksiyonu sağlamaktadır.
- 10000g şok etkisine toleransı vardır.

2.3.3 Jiroskop Duyargalarının Özellikleri

İki jiroskop da aynı dış görünümüne sahip olup, sadece kullanılan çıkış pinlerinin sayısı farklıdır. Duyargalar içinde alçak geçiren filtre bulundurduğu gibi ayrıca kullanıcıya dışarıdan ek filtreler ekleme imkânı da sağlamaktadır. Eğer kullanıcı kendi filtresini kullanmayacaksa örneğin X-Out çıkışını X4.5-In girişine bağlar ve bu sinyal içeride kuvvetlendirilerek X4.5-Out çıkışından alınır.

Otomatik-sıfırlama fonksiyonu özellikle sıcaklıkla beraber artan sapmaları en az düzeye indirmek için kullanılır. Duyarganın sıcaklık verisi sağlamasındaki asıl amaç da budur. Jiroskopun yönelim oranı çıkış gerilimi ile ZRO (zero-rate output) değerinin farkının hassasiyete oranı ile hesaplanır. ZRO değeri sıcaklıkla değişmektedir ve oto-sıfırlama fonksiyonu bu değeri ilk değerine döndürür. Otomatik-sıfırlama fonksiyonu değişken sıcaklık şartları altında kullanılacak donanımlarda ölçüm başarımını yüksek düzede arttırmaktadır. Otomatik-sıfırlama fonksiyonu genellikle iki durumda kullanılır:

a) Jiroskopun veya üzerinde bulunduğu donanımın hareketi biliniyorsa

- Sabitse
- Yönelimi ölçen başka duyargalar varsa

b) Jiroskopun çıkışlarının doğru akım bileşeni önemli değilse ve sadece alternatif akım bileşeni önemliyse

- Bu durumda analog RC filtresinden daha iyi sonuç veren sayısal bir AC filtresi ile jiroskop verisi elde edilebilir.

Jiroskop duyargalarının bir eksen için iki farklı veri ürettiği belirtilmişti. Bu farklı verilerin kullanım amaçlarına hizmet eder. Kuvvetlendirilmemiş analog çıkış değerleri hızlı, ani hareketleri ölçmek için daha uygundur. Oyun uygulamaları bu kullanıma örnek gösterilebilir. Daha yavaş hareketler için daha hassas değerler elde edilirken kuvvetlendirilmiş analog çıkışları kullanmak mantıklıdır. Böylece daha az değişimler gösteren hareketlere ilişkin daha hassas veriler elde edilir. Bir uçak veya gemide oluşabilecek hareketler sınırlıdır; ayrıca çok değişken hareketler olması da

beklenmez. Hâlbuki bir oyun kumandasında ya da cep telefonunda bu durumun tam tersi söz konusudur. Kuvvetlendirilmemiş çıkıştan daha az hassas ölçümlerle daha geniş bir aralıkta ölçüm yapmak mümkün iken, kuvvetlendirilmiş çıkışlar hassas ama dar bir aralıkta değişen ölçüm imkânı sağlar. Bu aralık ve hassasiyet değeri duyargaların özelliklerini anlatırken belirtilmişti.

2.4 Kablosuz Haberleşme Donanımı (Bluetooth)

Bluetooth, kablo bağlantısını ortadan kaldırmak için tasarlanmış radyo frekansı teknolojisidir. Elektronik cihazların birbiriyle kablo gereksinimi olmadan görüş doğrultusu olmasa bile 2.4GHz frekans bandında yüksek hızda veri göndermesini sağlar. Bilindiği gibi kızılötesi kablosu haberleşmede kızılötesi uçların birbirini görmesi şarttır.

Bluetooth kullanımıyla, üç boyutlu uzayda hareket kolaylığı sağlanır. Ayrıca, sistem tasarımında kablolu bağlantıda kablodan kaynaklanan gürültüler elenir.

Donanımımızda iletişim iki türlü gerçekleşti. Bunlardan ilki seri iletişim ara birimi ile kablolu, ikincisi de Bluetooth ile kablosuz haberleşmedir. Donanım üzerindeki MCU, duyargalardan topladığı verileri kesintisiz kendisine bağlı bulunan bilgisayara göndermektedir.

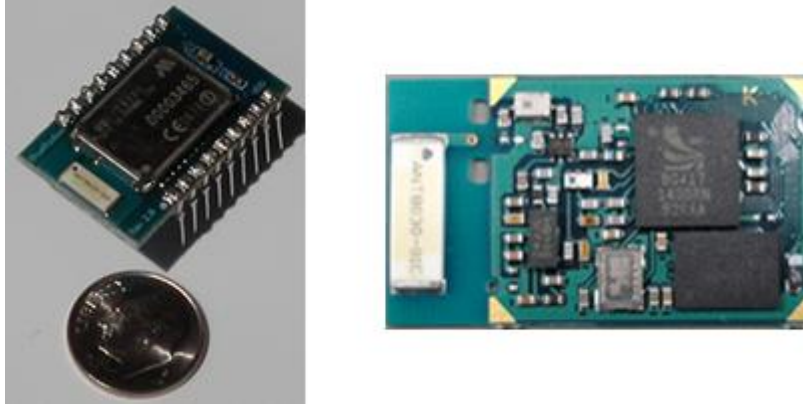
Seri iletişim arabirimi ile haberleşmede kablo kullanımı gerektiğinden alternatif bir haberleşme yöntemi bulma yoluna gidilmiştir. Kablosuz veri iletişimi için Bluetooth'un seçilmesinin nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Bluetooth günümüz bilgisayarlarında ya dahili donanım unsuru olarak gelmekte ya da USB bağlantılı küçük Bluetooth cihazları ucuz fiyata temin edilebilmektedir. Diğer bir ifadeyle Bluetooth günümüz bilgisayar dünyasının vazgeçilemez bir parçası olmuştur. Hem teknolojinin ilerlediği bu yönde araştırma yapmak hem de donanımımızın herhangi bir bilgisayarla rahatça kullanımını sağlamak için Bluetooth seçilmiştir. Kullanılacak farklı kablosuz iletişim araçları için iletişim diğer ucundaki donanıma da takılmak üzere özel bir donanım tasarlanması gerekecektir.
- Bir önceki maddede belirtilen özelliklere dayanarak Bluetooth'un hedefimiz olan tak-çalıştır yapısına daha uygun bir donanım olduğu tespit edilmiştir.

- Seçilebilecek alternatif yöntemlerden birisi ZigBee kullanımıdır. Fakat Bluetooth taşıyabildiği veri kapasitesi ve kullanım amacı ile çalışmamıza daha uygundur. Sürekli veri akışı olan uygulamalar için Bluetooth kullanımı tavsiye edilirken aralıklarla veri kümelerinin yollandığı uygulamalar için ZigBee tavsiye edilmektedir. Donanımımız topladığı duyarga verilerini gerçek zamanlıymışçasına aktaracak şekilde tasarlandığı için Bluetooth kullanımı daha uygun görülmüştür.
- Bluetooth'a diğer bir alternatif olabilecek olan kızılötesi iletişime görüş açısı ihtiyacı duymaması sebebiyle üstünlük sağlamaktadır.
- Bluetooth yüksek veri kapasitesi ile donanım üzerinde yapılacak geliştirmeler ve eklenecek yeni duyargaların getireceği yükü kaldırabilecek özelliğindedir. İleride kullanılması hedeflenen görüntü duyargası (image sensor) sisteme büyük bir veri iletimi yükü getirecektir. Bu göz önünde bulundurularak yüksek veri kapasitesi olan Bluetooth üzerine yoğunlaşmıştır.
- Geliştirilecek Bluetooth devresinin tak-çalıştır yapısına uygun olması için yaygın kullanılan bir iletişim arayüzü sağlaması gerekmektedir. RS232 arayüzü, kullanılacak Bluetooth donanımına ve tüm gömülü cihazlara uygundur. Ulaşılacak istenilen nokta, geliştirilen Bluetooth donanımının sadece bu çalışma kapsamında değil farklı projeler kapsamında yüksek kapasiteli kablosuz veri iletişimi ihtiyacını karşılayabilecek olmasıdır.

Tez çalışması kapsamında BlueRadios Inc. Firmasına ait BR-SC40A Class1 Bluetooth modülü kullanılmıştır.

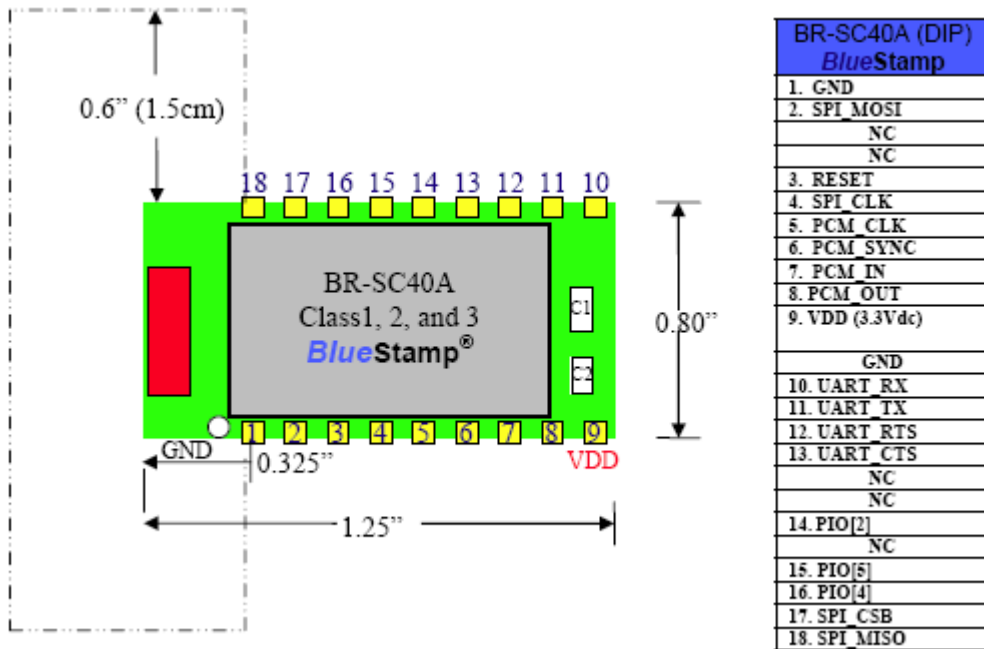
Bluetooth donanımı için ticari bir Bluetooth modülü olan BlueRadios BR-SC40A kullanılmıştır. BR-SC40A düşük güç tüketimli, 18 bacaklı DIP(dual-inline-package), Bluetooth 2.0 sertifikalı, 20.3mm genişliğinde, 5mm yüksekliğinde, 31.8mm uzunluğunda, Class1 sınıfında bir ser raydo modem modülüdür.



Şekil 2.3 : BR-SC40A modülünün boyutu ve içyapısı

BR-SC40A Class1 Bluetooth modülünün özellikleri şöyledir:

- 2.4GHz, Bluetooth v2.0 desteği
- Seramik anten
- UART arayüzü desteği
- AT komut seti ile yönetim
- 100m ve üzeri veri gönderme menzili
- Düşük maliyet
- Düşük güç tüketimi (100mW)
- -40~+70°C çalışma aralığı



Şekil 2.4 : BR-SC40A modülünün çıkışları ve karşılıkları

Yukarıdaki şekilde görülen giriş çıkış bağlantılarından GND, UART_RX, UART_TX, UART_CTS, UART_RTS ve VDD dışındakiler kullanıcılar tarafından kullanılmamaktadır. Bu bağlantılar test ve gözlem amacı için mevcuttur. Şeklin sol tarafındaki kesik çizgilerle kapatılan alan antenin koruma alanıdır ve tasarlanan devrede topraklama dahil hiç bir elektronik unsur bu alanın içine girmemelidir.

BR-SC40A uçtan uca, tekrarlamalı veya çok uçlu haberleşme yapılarını desteklemektedir. AT komutlarıyla modülün çalışma kipi ayarlanmaktadır.

Modülün genel yapısı bir seramik anten, 2Mb büyüklüğünde bir bellek ve BC417 BlueCore4 serisi mikro denetçisinden ve 2.4ghz analog sinyal üreten devreden oluşmaktadır. BC417 mikro denetçisi üzerindeki gömülü yazılım AT komut seti arayüzünü sağlamaktadır.

AT komut seti Bluetooth modülünün kullanımını sağlayan, seri iletişim arabirimi üzerinden gönderilen ASCII karakterler dizilerinden oluşmaktadır. BR-SC40A modülüne gönderilecek verilerin formatı şu şekilde olmalıdır:

- Tüm komutlar "KOMUT" <cr> şeklinde gönderilir.
- Geçerli komutlara <cr_lf>OK<cr_lf> ya da <cr_lf>ERROR<cr_lf> formatında cevap gönderilir.
 - <cr> ASCII tablosundaki 'carriage return'e karşı düşer ve değeri 0x0D' dir.
 - <lf> ASCII tablosundaki 'line feed'e karşı düşer ve değeri 0x0A' dir.
 - <cr_lf> = <cr><lf>
- Bazı özel komutlara cevap dönmez ya da ek cevaplar dönebilir. Bu değerler kullanım kılavuzundan kontrol edilmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus kullanılan modüle gömülü yazılım ile kullanım kılavuzunun yazılımının eş olmasıdır.
- Ardışık gönderilen iki komut arasında 100ms bekleme olmalıdır.
- Sayısal değerler gönderileceği zaman onluk tabanda yollanmalıdır fakat geri dönen cevaplar onaltılık tabanda olacaktır.
- Kullanılan seri iletişim arabirimi gözetim programında 'send line end with line feeds' fonksiyonu iptal edilmelidir. Aksi takdirde komutlar geçerli olmayacaktır.

AT komut setinin kullanımına yönetici (master) ve bağımlı/köle çalışma (slave) kipinde karşı cihaza bağlanma yöntemlerinden bahsederek örnek verilebilir:

Yönetici Kipi

1)Güç verilir ve donanım çalıştırılır. Henüz hiçbir bağlantı yapılmamıştır

2)Çevredeki Bluetooth donanımları taranır

•**Gönderilen:** ATUCL<cr> // Modülün durum bayraklarını temizler ve bekleme konumuna alır

•**Cevap :** <cr_lf>OK<cr_lf>

•**Gönderilen:** ATDI,1,00000000<cr> // tek bir Bluetooth cihazı arar

•**Cevap :** <cr_lf>00A0961F2023,00000104,BLUERADIOS<cr_lf>
<cr_lf>DONE<cr_lf>

3) Bulunan adresteki cihaza yönetici olarak bağlan

•**Gönderilen:** ATDM, 00A0961F2023,1101<cr>

•**Cevap:** <cr_lf>CONNECT,00A0961F008F<cr_lf>

4) Modül hızlı veri yollama kipine alınır

•**Gönderilen :** +++<cr> // Modül komut kipine alınır

•**Cevap:** <cr_lf>OK<cr_lf>

•**Gönderilen:** ATMF<cr> // Hızlı veri yollama kipine geçilir

•**Cevap:** <cr_lf>OK<cr_lf>

5)Yollanacak veriler seri iletişim arabiriminden veri yollanırken kullanılan olağan yöntemlerle gönderilir.

6) Hızlı veri gönderme kipinden çıkmak ve bağlantı durumunu kontrol etmek için:

•**Gönderilen :** +++<cr> // Modül komut kipine alınır

•**Cevap:** <cr_lf>OK<cr_lf>

•**Gönderilen:** AT<cr> // bağlantı kontrol edilir. (başka komut da gönderilebilir)

•**Cevap:** <cr_lf>OK<cr_lf>

Bağımlı Çalışma Kipi

1)Güç verilir ve donanım çalıştırılır. Henüz hiçbir bağlantı yapılmamıştır

2)Bağımlı çalışma kipini geçilir

•**Gönderilen:** ATUCL<cr> // Modülün durum bayraklarını temizler ve bekleme konumuna alır

•**Cevap :** <cr_lf>OK<cr_lf>

•**Gönderilen:** ATDS<cr> // bağımlı/köle çalışmaya geçiş

•**Cevap :** <cr_lf>OK<cr_lf>

oBir süre sonra bir yönetici bağlandığı zaman:

▪ <cr_lf>CONNECT,00A0961F008F<cr_lf>

3) Bağlantı tespit edilince hızlı veri gönderme kipine geçilir ve veri yollarır

•**Gönderilen:** +++<cr> // Modül komut kipine alınır

•**Cevap:** <cr_lf>OK<cr_lf>

•**Gönderilen:** ATMF<cr> // Hızlı veri yollama kipine geçilir

•**Cevap:** <cr_lf>OK<cr_lf>

Hızlı veri gönderme kipi, seri iletişim arabiriminden BC417 mikro denetçisine gelen tüm verilerin komut mu değil mi eğer komutsa hangisi vb. gibi yorumlanma ve değerlendirilme aşamalarına tabi tutulmadan işlenerek antene gönderilmesini sağlamaktadır.

3. SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde sistem tasarımının aşamaları, yapılan testler, olumlu ve olumsuz süreçler, olumsuz süreçlerin detayları ile açıklaması anlatılacaktır.

Tez çalışması kapsamında üretilen donanım bir adet CSM12C32 mikro denetçi modülü, bir adet MMA7455L üç eksenli ivmeölçer duyargası, bir adet IDG-650 iki eksenli jiroskop duyargası, bir adet ISZ-650 tek eksenli jiroskop duyargası ve bir adet BR-SC40A Bluetooth modülünden oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar ile bu tip bir sistemde duyargaların kullanılabilceği tüm durumlar gerçekleşmiştir. Bu durumlar:

- Sayısal duyargalar ile çalışma
- Analog duyargalar ile çalışma
- 3 eksenli duyargalar ile çalışma
- Birden fazla duyarganın bir araya getirilerek 3 eksenli duyarga elde edilmesi

olarak sıralanabilir.

3.1 İvmeölçer İçin Yapılan Çalışmalar

Donanım çalışmalarının ilk aşaması ivmeölçer duyargasının çalıştırılması oldu. Bu aşamada ivmeölçer için bir devre bastırılmış ve VDD, GND, SPI hattı için bir 'header' ile bağlantı noktaları sağlandı. Bu yapı CSM12C32 modülündeki J1 çoklu bağlantı arayüzüne benzemektedir ve tasarladığımız tüm kartlarda kullanıldı. Kullanılan yapı sayesinde mikro denetçi modülü ile ivmeölçer devresi arasında farklı bağlantı modelleri sadece bağlantı kablolarının yerleri değiştirilerek elde edilebilir. Geliştirme aşamasında özellikle karşılaşılan problemlere çözüm aranırken bu yapı getirdiği esneklik ile çok kolaylık sağladı.

İvmeölçerin dijital iletişim için I²C ve SPI arayüzlerini sağladığı belirtilmişti. Geliştirilen donanımda bu arayüzlerden CSM12C32 modülünün de desteklediği SPI arayüzü kullanılarak ivmeölçer çalıştırıldı. İletişim öncelikle J1 çoklu bağlantı arayüzü üzerindeki T bağlantı arayüzünün dört hattı MOSI (Master Out Slave In), MISO (Master In Slave Out), SCL (Serial Clock) ve CS (Chip Select) bağlantıları gibi kullanılarak gerçekleştirildi. Bu yöntemle çok yavaş çalışan bir SPI hattı elde ederek osiloskopta gözlemler yapıldı. İvmeölçerin komutlara cevap verip vermediği, veriyorsa doğru olup olmadığı incelendi. Ardından yine J1 çoklu bağlantı arayüzü üzerindeki MOSI, MISO, SCL çıkışları ile asıl SPI arayüzü çalıştırıldı. CS bağlantısı T bağlantı arayüzü üzerinde tutuldu. İvmeölçerin bulunduğu devreye ait şema EK B.1’de yer almaktadır. İleride T bağlantı arayüzü üzerinde farklı CS bağlantıları tanımlayarak farklı duyargalarla aynı SPI hattı üzerinden konuşmanın mümkün olacağı düşünüldü.

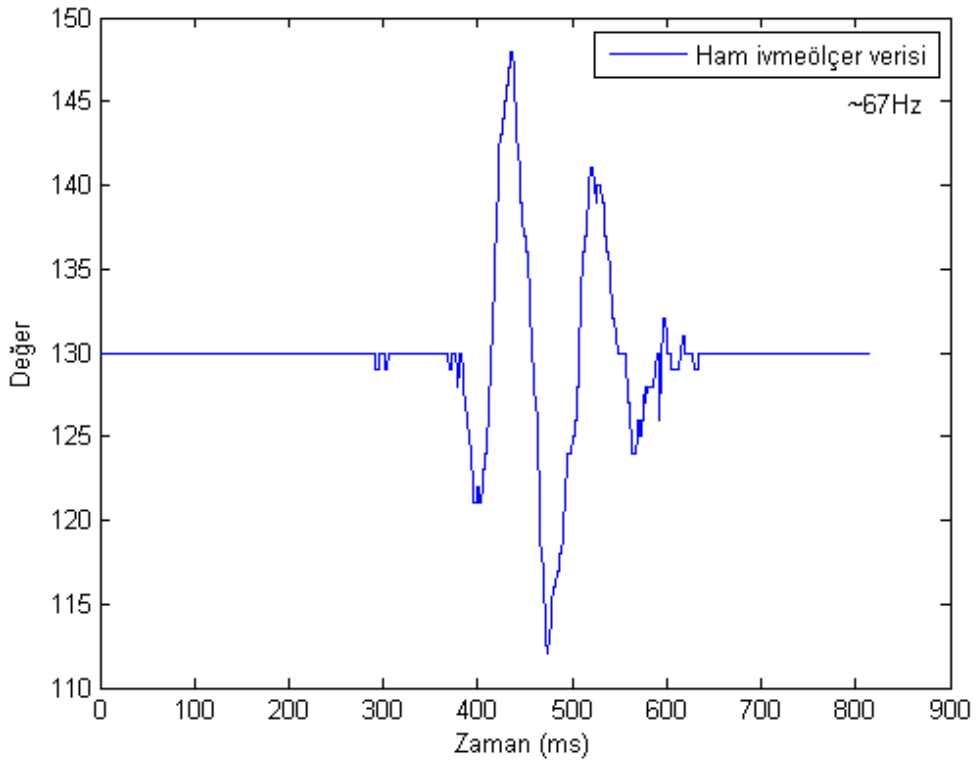
SPI iletişimi basit bir mantık üzerine kurulmuştur. İvmeölçere ardı ardına gönderilen iki sekizliden ilki ivmeölçer üzerindeki kütük adresini, ikincisi bu kütüğe yazılacak değeri ifade eder. Adres değerini tutan sekizlinin en anlamlı biti işlemin okuma veya yazma olduğunu belirtir. Aynı sekizlinin en düşük anlamlı biti ise önemsizdir. Yapılan işlem eğer okuma işlemi ise SPI arayüzünden gönderilecek ikinci sekizlinin bir önemi yoktur; fakat bu sekizli veri okuması için gönderilmelidir. Çünkü SPI, iletişimdeki iki birimin veri kütüklerinin birbirine ötelenmesiyle çalışır. Sekiz saat darbesi içerisinde veri alışverişi gerçekleştirilmiş olur.

Çalışmalarımız esnasında ivmeölçerden veri okuma işlemi kolaylıkla gerçekleşirken, veri yazma işleminin gerçekleşmesi mikrodenetçi modülünün ve ivmeölçerin donanım kılavuzundaki SPI hattının kullanımında yapılan bir hata sebebiyle uzun süre almıştır.

Test aşamasında iki adet ivmeölçer kütüğü ve mikro denetçi modülündeki iki adet ışıklı diyot yardımcı olarak kullanıldı. Bunlardan birisi 0x0D adresli I²C adresini tutan sadece okunabilir kütük, diğeri de çalışma kiplerini ve hassasiyetini belirleyen 0x16 adresli okunabilir/yazılabilir kip kontrol kütüğüdür. İvmeölçerimizin I²C adresi 0x1C’dir ve 0x0D adresinden bu değerin okunması SPI hattının okuma işlevini yerine getirdiğini göstermektedir. Okuma işleminin çalıştığından emin olduktan sonra okunabilir/yazılabilir kip kontrol kütüğüne yapılacak okuma yazma işleminin başarısı gözlenmiştir.

Yapılan üçüncü test ivmeölçerin kip kontrol kütüğündeki STON biti ile sunduğu test imkânı aracılığıyla yapılmıştır. Bu bit lojik '1' iken Z eksenindeki ölçüm değeri sabit ve 1g'yi göstermektedir. Üçüncü test de başarı ile tamamlandıktan sonra olağan ölçümler yapılarak seri iletişim arabirimi üzerinden izlenmiş ve beklenen değerlerin üretildiği görüldü. Son teste kadar yapılan testlerin doğruluğu mikro denetçi modülünün üzerindeki iki adet ışıklı diyotun durumu ile anlaşıldı.

Yapılan ölçümlerde ivmeölçerin sabitken veya hareket esnasında, periyodik olmayan ve uçtan uca değişimi çok büyük olan hatalı çıkış verileri üretebildiği görüldü. İvmeölçerin eksenlerinin yönelim ile kayması sonucu çıkış verilerindeki değişimler gözlemlendi.



Şekil 3.1 : Sabit bekleme ve hareket anında ivmeölçerden alınan işlenmemiş veri.

3.2 Jiroskop İçin Yapılan Çalışmalar

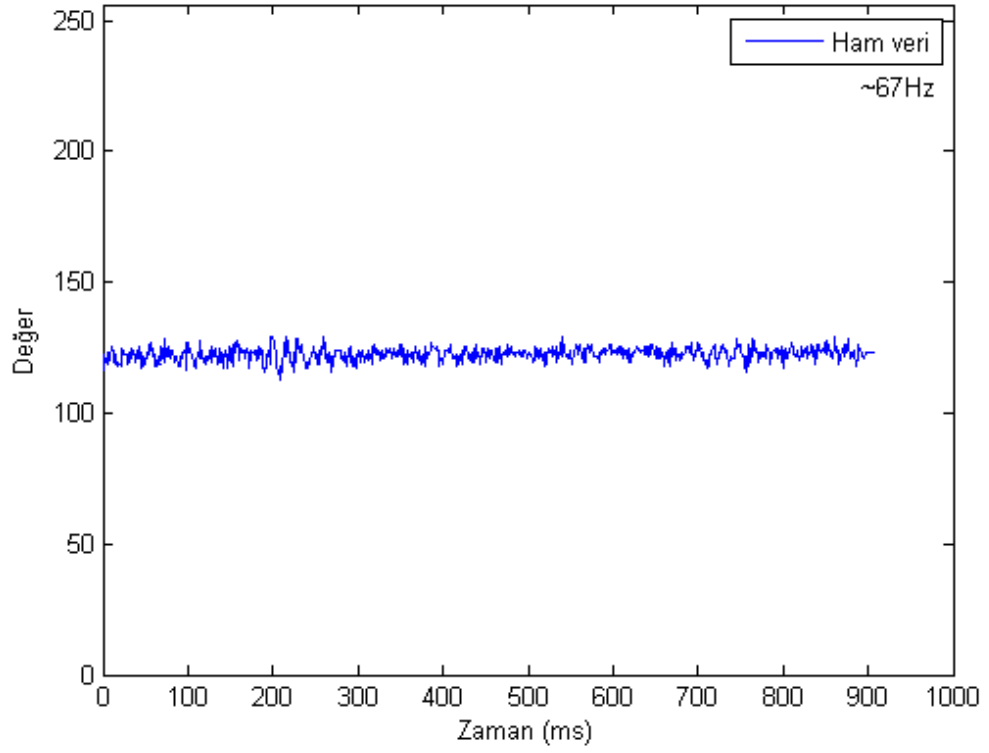
Jiroskop duyargası çalıştırılmadan önce bir darbe duyargası çalıştırıldı fakat performansı yetersiz görüldü ve bu duyarganın işlevinin ivmeölçer verisi yorumlanarak daha iyi gerçekleştirilebileceğine karar verildi.

Kullandığımız iki jiroskop duyargası için ayrı iki devre tasarlandı ve bastırıldı. Jiroskoplar ivmeölçerin aksine analog çıkış verdiği için CSM12C32 modülündeki analog-sayısal çevirici kullanıldı. Bu sebeple önce ADC' nin çalışması sağlandı. 7276R-50k-L.25, 10 Tur, 50k, 5w'lık iki adet potansiyometre kullanılarak hem ADC ile hassas ölçüm testi yapılmış hem de iki kanalın paralel olarak çalıştırılmasına ilişkin testler yürütüldü. Paralel kanal çalıştırma testleri üç eksen için paralel olarak veri toplamamız gerektiği için gereklidir. Modül üzerindeki ADC 8 ya da 10 bit üretecek şekilde çalışmaktadır. Jiroskop duyargaları hem hassas hem de kaba ölçüm verisi vermektedir. Hassas çıkış verileri için ADC' nin de 10 bit çıkış üretecek şekilde ayarlanmış olması daha gerçekçi ve ayrıntılı bilgi taşıyan sonuçlar elde etme açısından faydalı olacaktır.

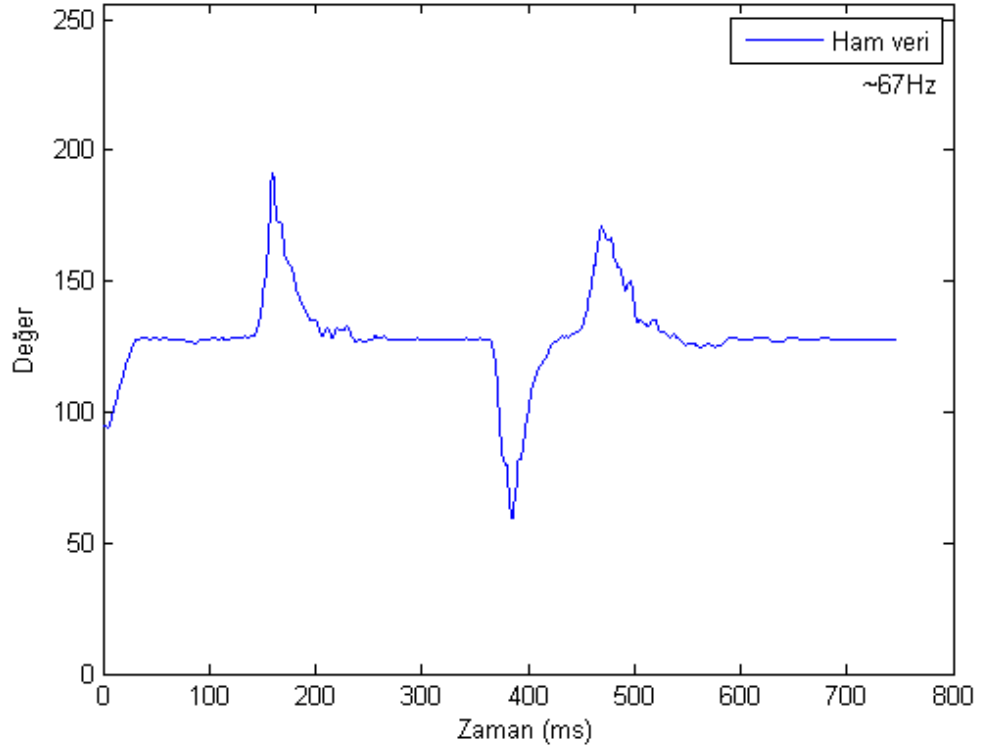
Jiroskop verileri seri iletişim arabirimi üzerinden alınarak gözlemlenmiş ve ivmeölçerin aksine jiroskopların çok daha yüksek başarımla çalıştıkları tespit edilmiştir. Yalnız çalışma süresi uzadıkça elde edilen toplam veriler üzerinden hesaplanan yönelimin gerçeğe oranla giderek kaydığı fark edilmiştir. Bu problem sinyal işleme yazılımı tarafından çözülmelidir.

Dikkat edilmesi gereken önemli bir konu toplam iki adet jiroskop devresi kullanıldığıdır. Bunlardan biri X-Y, diğeri Z ekseninde ölçüm yapmaktadır. İki duyarga bir bütün gibi davranıp üzerinde buldukları cihazın yönelimine ilişkin ölçüm verileri üretecekleri için yerleşimleri her ne kadar test aşamasında dikkat edilmese de son kullanımda çok önemlidir. Jiroskop devreleri, duyargalar aynı Z eksenini paylaşacak şekilde yerleştirilmelidir. Z ekseninde ölçüm yapan ISZ-650 duyargası alt-üst fark etmeyecek şekilde yerleştirilebilir. Sonuçta Z eksenindeki değişimi ölçtüğümüz için sadece ölçümün pozitif veya negatifliği tam terslenmiş olacaktır.

Jiroskopların bulunduğu iki devreye ait şemalar EK B.2 ve EK B.3'te yer almaktadır.



Şekil 3.2 : Bekleme anında jiroskoptan alınan işlenmemiş veri.



Şekil 3.3 : Hareket anında jiroskoptan alınan işlenmemiş veri.

3.3 Bluetooth İçin Yapılan Çalışmalar

Kullanılan BR-SC40A modülü mikro denetçi modülüyle seri iletişim arabirimi üzerinden haberleştiği için verinin geldiği kaynağın mikro denetçi açısından bir farkı yoktur. Mikro denetçi modülü sadece bağlantı kurulurken ve ayar komutları alınırken veri alır. Seri iletişim arabirimi bu durumların dışında toplanan duyurga verilerinin bağlı bilgisayara gönderilmesi için kullanılır.

Başlangıçta düşünülen yöntem çalışma anında da duyurga yönetim ayarlarının değiştirilebilmesiydi. Bu durumda SCI kaynaklı kesmelerin kullanılması şarttı. Fakat SCI kesmeleri kullandığımız mikro denetçi modülünün getirdiği kısıtlar sebebiyle kullanılamadı. SCI kaynaklı kesmelerin kullanıcıya kapalı olduğu tespit edildi.

HCS12 Serial Monitor programı, adından da anlaşılacağı üzere, seri iletişim arabirimi üzerinden çalışan mikro denetçi modülüne gömülü bir programdır. Serial Monitor programı hata ayıklama (debug) ve programlama işlemleri için seri iletişim arabiriminden kaynaklanan kesmeleri yakalamak zorundadır. Bu da SCI kesmelerini kullanıcı uygulamalarına kapamaktadır. Kullanıcı uygulamalarında SCI kaynaklı kesmeleri kullanmak için BDM bağlantı arayüzü üzerinden programlama yapılmalıdır. Bu işlem yük,sek maliyetli bir cihaz gerektirmektedir.

Aynı ailenin birkaç benzer modüllerinde seri monitör programının yükleme ve çalışma anlarında farklı hizmet vermesi için anahtar kullanılmaktadır. Bu kullanım SCI kaynaklı kesmelerin istek dâhilinde kullanıcıya bırakılmasını sağlamıştır. Bu modüllere örnek olarak CML9S12DP512 verilebilir. Aslında SCI kesmesinin kullanımı seri monitör programının kaynak kodlarında S12SerMonrxr.def dosyasındaki AllowSci0 parametresinin aldığı değere bağlanmıştır. CSM12C32 modülünde kullanılan seri monitör programında bu değere ön tanımlı olarak 0 atandığı için SCI kaynaklı kesmeler kullanılamamaktadır. Anahtar olan modüllerde ise bu değerden ziyade anahtarın durumu kontrol edilerek kesmeler yönlendirilmektedir.

MC9S12C ailesi mikro denetçileri için kesme vektörü tanımlaması Codewarrior IDE ile geliştirilen projenin “.prm” uzantılı dosyasının sonuna aşağıdaki satırların eklenmesi ile yapılmaktadır.

```
VECTOR 20 SCI_ISR
```

Bu tanımlamanın ardından kaynak kodların içinde:

```
void interrupt SCI_ISR(void) {.....}
```

Ya da

```
#pragma TRAP_PROC  
void SCI_ISR(void) {.....}
```

Şeklinde kesme hizmet programı yazılır.

Eğer kullanıcı tarafından kesme hizmet programı tanımlanmışsa aynalama yapılır. Aynalama, seri monitör programının yakaladığı kesmeleri kullanıcı kesme hizmet programlarına yönlendirmesidir.

Çözüm için aynalama işlemini atlayarak doğrudan orijinal kesme vektör uzayına kesme hizmet programlarımızın adresini yazmak yoluna gidilmiştir. Bunun için yine “.prm” uzantılı dosyada tanımlamalar yapmak gereklidir.

NAMES

END

SEGMENTS

```
RAM = READ_WRITE 0x3800 TO 0x3FFF;  
ROM_4000 = READ_ONLY 0x4000 TO 0x7FFF;  
ROM_C000 = READ_ONLY 0xC000 TO 0xF77F;  
VECTOR_RESERVED = NO_INIT 0xFF80 TO 0xFF8B;  
VECTOR_TABLE = READ_ONLY 0xFF8C TO 0xFFFF;
```

END

PLACEMENT

```
DEFAULT_ROM,  
NON_BANKED,  
INTERRUPT_ROM INTO ROM_C000;  
VECTORS INTO VECTOR_TABLE;  
SSTACK,  
DEFAULT_RAM INTO RAM;
```

END

```
ENTRIES
    vector_table
END

STACKSIZE 0x200
```

Yukarıdaki kaynak kod örneğinde de görüldüğü gibi ‘SEGMENTS’ ifadesi altında bellek alanları ve erişim izinleri tanımlanmaktadır. ‘PLACEMENT’ ifadesi altında hangi verinin hangi tanımlanmış bellek alanına yerleştirileceği ifade edilir. Buradaki ifadeler ‘#pragma” ile kullanılır. ‘ENTRIES’ ifadesinin altında da özel olarak yerleştirmek istediğimiz veriler tanımlanır.

Bu tanımlamalara göre kesme hizmet vektörlerinin hangi bellek adresine yerleşeceği ‘SEGMENTS’ altında tanımlanır. Yukarıda ‘VECTOR_TABLE’ olarak adlandırılmıştır. ‘PLACEMENT’ altında ‘VECTORS’ veri bloğunun ‘VECTOR_TABLE’ adres uzayına yerleştirileceği tanımlanır. Kesme hizmet vektörleri tablomuz ‘ENTRIES’ altına eklenir. Son olarak tablomuz tanımlanırken ‘VECTORS’ ile aşağıda gördüğümüz gibi ilişkisi belirtilir.

```
#pragma CONST_SEG NEAR VECTORS
const uint16 vector_table[] = {.....}
```

Uygulanan bu yöntemle SCI kaynaklı kesmelerde kendi kesme hizmet programımızın yürütülmesi sağlandı; fakat ana programa geri dönüşte yığılda oluşan sorunlar sebebiyle yazılım kaynaklı yeniden başlatma yapıldığı yürütülen testlerle anlaşıldı. Mikro denetçi modülünden kaynaklanan bu problemde kesme hizmet programından dönüşte yığıldan yanlış veri okunarak erişilmemesi gereken bir alana erişilmeye çalışıldığı tahmin edildi. Yığın boyutu değiştirilerek denemeler yapılırsa da bir sonuç elde edilemedi.

Bu noktada farklı bir mikro denetçi modülüne geçene kadar meşgul bekleme yöntemi ile seri iletişim arabiriminden gelen verilerin okunmasına karar verildi. Meşgul bekleme yöntemiyle ayarlama yapılması durumunda çalışma anında duyargalar ile alâkalı ayarlama yapılamayacaktır.

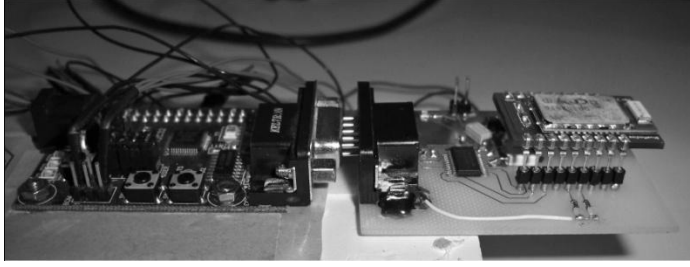
Bluetooth çalışmalarında devre tasarımı işlemine geçmeden önce ilk alışmalar BlueRadios firmasının BR-EC40A kodlu Bluetooth ses ve veri geliştirme kartında yapılmıştır. Bu geliştirme kartına HyperTerminal seri iletişim arabirimi yönetimi programı ile erişilip tüm AT komut seti incelenmiş ve test edilmiştir. Bluetooth bağlantısı ve veri iletimi için C# programlama dili ile test yazımları yazılmış ve BlueRadios firmasının Bluetooth modülleri ile alışılabileceğimizden emin olduktan sonra genel amaçlı kullanılabilecek bir devre tasarımı aşamasına geçilmiştir. C# dili ile Bluetooth yazılımlarının nasıl yazıldığına Bölüm 3.6'da değinilecektir.

Bluetooth ile ilgili çalışmalarda ilk aşamada yine Blueradios firmasına ait BR-C40A modülü kullanılmıştı. Bu modül daha detaylı bacak bağlantıları sunması ve daha ufak boyutta olmasına rağmen sunduğu bacak bağlantıları ile elle lehim yapılmasının neredeyse imknsız olması sebebiyle BR-SC40A modülüne geçiş yapıldı.

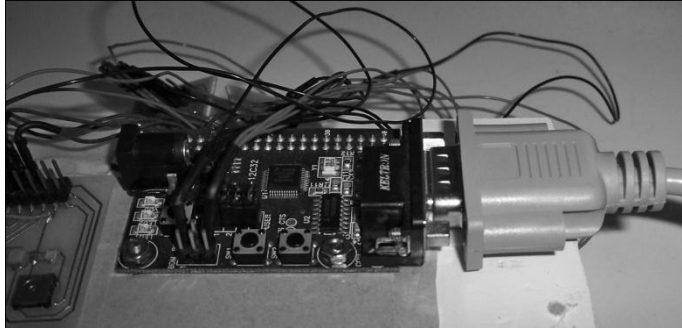
BR-SC40A Bluetooth modülünün seri iletişim arabirimi aracılığı ile kullanım arayüzü sağladığını önceden belirtmiştir. Bluetooth kartı hazırlanırken bu özellikten faydalanılarak CSM12C32 modülüne doğrudan RS232 portu üzerinden bağlanabilecek bir yapı kurulmasına karar verildi. Bu aşamada kritik nokta mikro denetçi modülünün RS232 arayüzünü doğrudan mikro denetçiden gelen hatlarla değil RS232 alıcı-verici yongası aracılığıyla sağlamasıdır. Bu durumda Bluetooth kartında da BR-SC40A modülü ile RS232 portu arasında bir alıcı-verici yongası olmalıdır. Bunun sebebi yongaların eklenmesiyle RX-TX atlarının çalıştığı gerilim aralığının 0-3.3V'tan 0-5V veya daha yüksek mertebelere çıkmasıdır. RS232 alıcı-verici yongaları işlemciye doğrudan yapılacak bağlantıları engelleyerek hatalı yapılacak bağlantılar sonucu oluşacak kısa devrelerde işlemciyi bir tampon vazifesi görür. İki gömülü sistemin üstelik araya RS232 yongaları gelecek Şekilde bağlanacağı bir yapıda RX-TX bağlantılarının karşılıklı olarak doğru eşleşmesine özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Bilgisayarların aksine bu devreler hassastır ve hatalı bağlantılar sonucu onarılamayacak hasarlar oluşabilir. Ayrıca, RS232 bağlantıları her ne kadar tecrübeli olunursa olsun Őematik ve PCB tasarımı esnasında sürekli hata yapılmaya açık unsurlardır. CSM12C32 modülünün sunduğu dişi RS232 portuna karşılık Bluetooth kartı erkek bağlantı sağlayacak Şekilde seri port arayüzü tasarlandı. İlgili devreye ait Şema EK B.4'te yer almaktadır.

Mikro denetçi üzerindeki yazılım, hem seri port kablosu hem de Bluetooth devresi takılı olması durumunda tüm verilerini SCI üzerinden alacaktır. Bu durumda

Bluetooth için farklı bir kodlama yapılması gerekmeyecektir. Kod düzeyinde yapılacak tek ekleme SCI üzerinden AT komut setine ait <ATUCL> <ATDS> komutlarını yollamak olacaktır. Bu komutlar eğer Bluetooth devresi takılı ise Bluetooth modülünün bağımlı/köle (slave) kipine geçmesini sağlayacaktır.



Şekil 3.4 : CSM12C32 ile Bluetooth kartının bağlanması



Şekil 3.5 : CSM12C32 ile seri port kablosunun bağlanması

Bluetooth kartı üzerinde üç adet led bulunmaktadır. İlki güç geldiğinde yanan kırmızı led, ikincisi Bluetooth modülü düzgün olarak başlangıç işlemini gerçekleştirip komut moduna geçtiğinde yanıp sönen kırmızı led ve sonuncusu da bağlantı kurulduğunda yanan yeşil leddir. Bu ledler vasıtası ile çalışan sisteminin durumları gözlenip sorun varsa algılanabilmektedir. Bu üç led dışında “reset işlemi için” bir düğme de kartın üzerinde yer almaktadır.

3.4 Donanım Tasarımından Kaynaklanan Kısıtlar ve Problemler

Donanım tasarımından kaynaklanan kısıtlarların sebep olduğu problemlerin ilki sisteme bağlanabilecek sayısal duyarga sayısıdır. Kullandığımız MC9S12C32 mikro denetçisi sayısal arayüz olarak SPI'ı desteklemektedir. SPI ile yapılan iletişimde CS hattı sayısal 0'a çekilerek bağlı olan karşı birimin gönderilen veriyi alması sağlanır. Birden fazla duyarga ile SPI üzerinden konuşmak gerektiğinde ortak MISO, MOSI ve SCL kullanılabilecekken her duyarga için ayrı bir CS hattı gerekecektir. Bir SPI hattı sadece bir CS hattı sağlamaktadır. İhtiyaç duyulan diğer CS hatları mikro denetçinin sunduğu GPIO bağlantıları ile sağlanır. Bu bilgiler ışığında sisteme bağlanabilecek sayısal duyarga sayısı CSM12C32 üzerindeki J1 bağlantı arayüzü ile sunulan GPIO hatlarının sayısı ile sınırlıdır.

Diğer bir problem sisteme bağlanabilecek analog duyarga sayısı ile ilgilidir. Analog duyargalar sisteme mikro denetçi üzerindeki ADC aracılığı ile bağlanırlar. Bir önceki kısıtla benzer mantığa dayanarak, sisteme bağlanabilecek analog duyarga sayısının kullanılan ADC tarafından sağlanan kanal sayısı ile alâkalı olduğu görülür. Bu durumda analog ya da sayısal duyargalardan hangisinin kullanımı daha kullanışlı olacaktır sorusu ortaya çıkmaktadır.

Sayısal duyargalarda elde edilen verinin çözünürlüğü tamamen duyargaya bağlı iken analog duyargalarda kullanılan ADC'nin yeteneklerine göre değişmektedir. Analog duyargalar bu bakımdan avantajlı gözükse de duyarganın kendi gürültüsünün üstüne ek olarak ADC kaynaklı gürültülerin ekleneceği gerçeği analog duyargaları bu bakımdan dezavantajlı yapmaktadır. Sonuç olarak duyargaların kullanılacakları çalışmaya uygun yapıda olanların testler sonucu belirlenerek seçilmesi gerekecektir. Tasarladığımız donanımın hedeflerinden birisi de zaten bu test ortamını sağlamaktır.

Donanım tasarımından kaynaklanan diğer bir kısıt da bölüm 3.4'te değinilen CSM12C32 modülünün SCI kaynaklı kesmeleri kullanıcıya kapatması olmuştur. Bunun bir sonucu olarak seri iletişim ara biriminden her hangi bir anda gelen verilerin okunması imkânı ortadan kalkmıştır. Çünkü kesmesiz çalışmanın olduğu bir yazılımda meşgul bekleme yapmak gerekecektir ve donanımımızın çalışma ana döngüsüne girdiği andan itibaren, yani duyargalardan veri toplayıp iletişim kanalından bu verileri yollamaya başladığında, meşgul bekleme ile SCI üzerinden veri beklemesi söz konusu değildir.

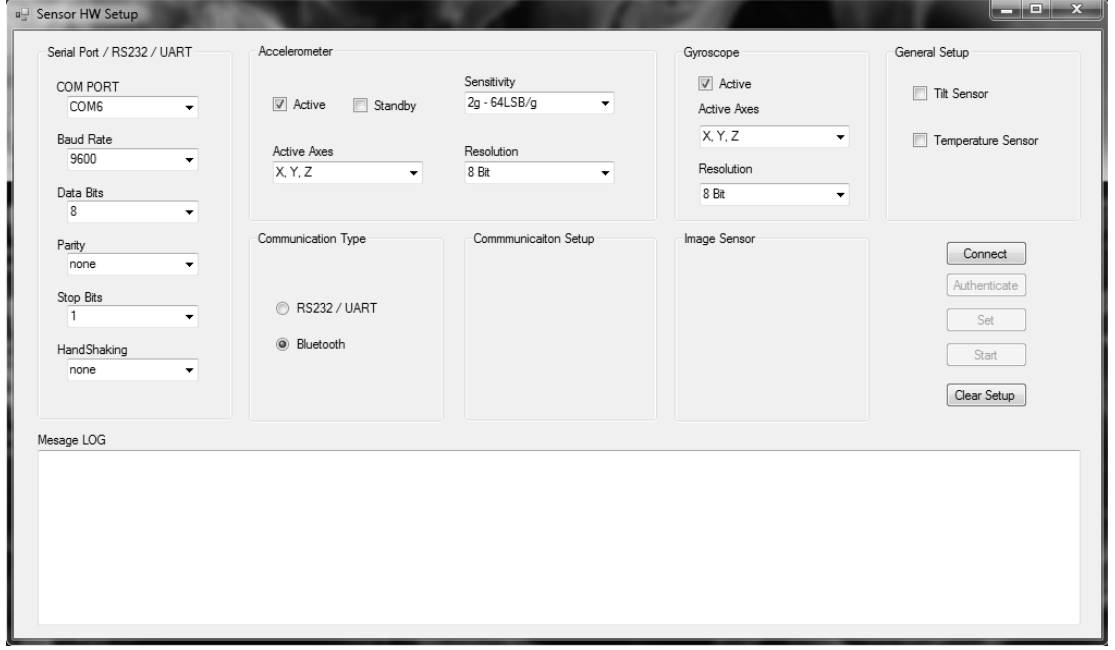
SCI üzerinden kesme kullanmadan veri okumak için ana çalışma döngüsü içerisinde döngünün her adımında SCI'dan veri gelip gelmediğini kontrol etmek de yeterli olmayacaktır. Bu çalışma yönteminde veri kaçırma ihtimali çok yüksektir. SCI kesmelerinin kullanıcıya kapalı olmasının sonucu olarak ana çalışma döngüsünde duyarga ayarlarının değiştirilmesi işlemi, diğer bir deyişle bölüm 3.6'da değinilecek olan donanım kontrol programının kullanımı mümkün olmayacaktır. SCI kesmelerini kullanıcıya açan bir mikro denetçi kullanımı ile sistemimizin çalışması ve sunduğu hizmet bir üst seviyeye çıkarılacaktır. SCI kesmeli çalışmalarda kullanılması gereken yüksek başarımlı çalışma yöntemi, kesme hizmet programında sadece bir tampon bellek doldurularak en kısa zamanda ana programa geri dönmek ve ana döngü içinde tamponun durumu kontrol edilip uygun miktarda ve yapıda veri olması durumunda gerekli işlemi yürütmek olmalıdır.

Dikkat edilmesi gereken son kısıt da mikro denetçi modülünü, duyarga devrelerini ve Bluetooth devrelerini birbirine "header"lar üzerinden bağlayacak kabloların kalitesidir. Özellikle bilgi taşıyan hatlar için kullanılan kablolar gürültüye neden olmayacak ve en az gerilim kaybına sebep olacak türden olmalıdır.

3.5 Donanım Kontrol Programı ve Arayüzü

Geliştirilen donanımın çalışma ayarlarını yapmak üzere C# programlama dili ile bir arayüz geliştirildi. Bu programlama dilinin tercih edilme sebepleri hem kullanım kolaylığının bilinmesi hem de daha önce çalışma fırsatı bulamadığımız bu alanı öğrenmek ve bu alanda tecrübe kazanmaktır. Bu kontrol yazılımı ile, tercih edilen ayarlar özel olarak tanımlanmış bir veri paketi ile donanıma gönderilmektedir. Mikro denetçi bu paketi çözerek donanım üzerindeki gerekli ayarlamaları yapmaktadır.

Arayüz yardımıyla hangi duyargaların çalıştırılacağı, çalışan duyargaların hangi eksenlerde yaptığı ölçümlerin kullanılacağı ve varsa hassasiyet ayarı seçilerek ayar paketi oluşturulur. Seçilen haberleşme türüne göre bağlantı kurulup oluşturulan paket gönderilir. Eğer seri iletişim ara birimi seçilirse, detaylı haberleşme ayarı yapmak mümkün olup ayarlar mikro denetçi ile haberleşilebilecek değerler için öntanımlıdır.



Şekil 3.6 : Donanım kontrol programının arayüzü.

Arayüz ekran görüntüsünde görülen ayarlar için oluşan ayar paketi şu şekildedir:

CRLFA111082gG11108T0S0CRLF

Paket tamamen ASCII karakterlerden oluşmaktadır ve CRLF karakterleri ile başlayıp bitmektedir. "CRLF" ardından gelen 'A' ivmeölçer ile ilgili ayarların verildiğini gösterir. 'A' karakterini takip eden ilk üç karakter sırasıyla X, Y ve Z eksenlerinden hangilerinin kullanıldığını gösterir. Sonraki iki karakter ivmeölçer verilerinin çözünürlük değerini gösterir ve "08" veya "10" değerini alabilir. İvmeölçer ile ilgili son iki karakter hassasiyet bilgisini taşır. Alabileceği değerler "2g", "4g" ve "8g" olarak sıralanır. Jiroskop için ayarlar 'G' karakteri ile başlar ve üç karakter eksen ayarı, iki karakter çözünürlük ayarı tanımlıdır. 'T' darbe duyargasını takip eden karakter de aktif olup olmayacağını belirtir. Aynı şekilde 'S' darbe duyargasını takip eden karakter de aktif olup olmayacağını belirtir. Oluşan uyarılar, hatalar veya mikro denetçiden geri dönen mesajlar en alt kısımda gösterilir.

Boş kalan iki kısım ileride yapılabilecek geliştirmelere ayrılmıştır. Bunlardan biri ilk tasarım aşamasında kullanılması düşünülen görüntü duyargası için, diğeri de haberleşme protokolünde güvenlik vb. geliştirmeler yapılması için kullanılacaktır.

Bluetooth haberleşmesi için 32feet.NET adlı In The Hand firmasına ait ücretsiz Visual Studio C++ kütüphanesi kullanılmıştır [15]. Kütüphanenin tüm uygulama örnekleri Visual Basic ile olup arayüzü yazdığımız C#'a uyarlanması tahmin edildiği kadar kolay olmamıştır. Bunun yanında Bluetooth üzerinden veri alınmasına, bunun için iplik yapısının kurulması ve uygun çalışma kipinin bulunması çalışmanın diğer zor yanları olmuştur.

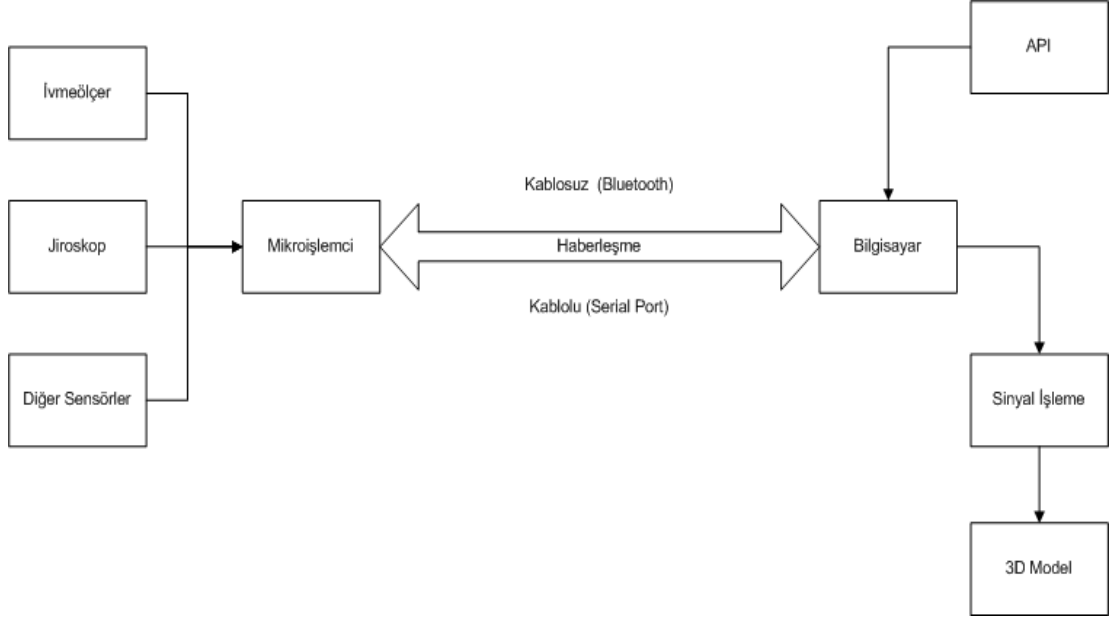
Bluetooth için yazılan bağlantı kurma fonksiyonu şu şekildedir:

```
private void bluetooth_connect()
{
    m_cli = new BluetoothClient();
    devices = m_cli.DiscoverDevices();
    foreach (BluetoothDeviceInfo BTInfo in devices)
    {
        if (BTInfo.DeviceName == "BlueRadios")
        {
            BTAddress = BTInfo.DeviceAddress;
            break;
        }
    }
    m_cli.Connect(BTAddress, BluetoothService.SerialPort);
    if (m_cli.Connected == true)
    {
        m_strm = m_cli.GetStream();
        m_wtr = new System.IO.StreamWriter(m_strm, m_encoding);
        System.Threading.ThreadPool.QueueUserWorkItem(receiveThreadFn);
    }
}
```

Yukarıdaki kod parçasını şu şekilde açıklayabiliriz:

Yeni bir BluetoothClient oluşturulduktan sonra çevredeki tüm Bluetooth cihazları taranır. Bulunan cihazlar isimleri ile birbirinden ayırt edilir. Bu sebeple Bluetooth modülümüze önceden AT komut seti yardımı ile “BlueRadios” ismi atanmıştır. Bu adı taşıyan Bluetooth cihazının adresi kaydedilir. Bu adres daha sonra bağlantı kurulması için kullanılır. Bağlantı kurma fonksiyonundaki kritik nokta servis tipinin yüzlerce farklı seçenek arasından doğru seçilmesidir. Bluetooth’un kullanıldığı kablosuz kulaklık gibi farklı uygulamalar için sunulan ayrı servis tipleri arasından SerialPort bizim donanımız için uygun olanıdır. Çünkü donanımızdan gelen veri, uluslararası geçerli özel bir protokol içermeyen veridir ve bilgisayar üzerinde oluşturulacak sanal seri iletişim arabirimi üzerinden Bluetooth aracılığı ile okunabilir.

3.6 Sistemin Çalışması



Şekil 3.7 : Tüm Sistemde Verinin Akış Yönleri

Şekil 3.7’de sistemin genel unsurlarına ait bir şema oluşturulmuş ve sistemdeki veri akış yönleri gösterilmiştir. Bu şemayı detaylı olarak maddeler halinde incelersek:

1. Sisteme güç verildikten sonra Bluetooth devresi takılı ise “reset” düğmesine basılarak devrenin doğru olarak çalışmaya başlamasından emin olunmalıdır. Eğer “reset” işlemi başarıyla yürütüldüyse kart üzerinde yanıp sönen bir kırmızı ışık görülecektir.
2. Açılıştan yaklaşık bir saniye sonra mikro denetçi Bluetooth kartının takılı olamsı ihtimaline karşı SCI üzerinden “ATUCL” ve “ATDS” komutlarını yollayarak bağımlı/köle (slave) kipine girilmesini sağlar.
3. Bu noktadan sonra donanım kendine bir bağlantı kurulmasını beklemeye başlar.
4. API yardımı ile sistemin ayarları, bağlantı tipi seçilir. “Connect” düğmesine basılır. Şayet Bluetooth bağlantısı seçili ise bu işlem on saniye kadar sürecektir. Seri port kablosu ile haberleşme durumunda ise bağlantı çok hızlı sağlanmaktadır.
5. Bağlantı kurulduktan sonra “Authentication” işlemi yürütülmelidir. Bu işlem iki yönlü olarak özel tanımlı bir kodun alışverişi ve doğrulanması

ile olur. Bu işlem çok az ihtimalli de olsa Bluetooth üzerinden yanlış bir cihaza bağlanılmasını engeller.

6. Doğrulama yapıldıktan sonra “Set” düğmesi ile hazırlanan ayar komutu cihaza seçili olan haberleşme yolu aracılığı ile gönderilir. Cihaz komutu doğru bir şekilde çözüp çözemediğine dair uyarı mesajı ile cevap verir.

Son aşama senör verilerini toplamaya başlaması için donanıma son komutu yollamaktır. Bu komutun kullanılma sebebi hem çalışmaya başlama anına kullanıcının hakim olmasını sağlamak hem de gelen verileri kullanacak sinyal işleme vb. programlar ile kontrol yazılımının birlikte çalışmasını sağlamak yani kontrol yazılımını diğer programların içine gömmek zorunda kalmamaktır. Bu komut yollanmadan önce cihazdan bağlantı istenildiği gibi koparılabilir, yeni bağlantılar kurulabilir. Duyargalardan toplanan veri “START” komutunu gönderen son bağlı bilgisayara aktarılmaya başlanır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında üç boyutlu uzayda hareket tespiti için veri toplayan bir geliştirme ve test donanımı geliştirilmiştir. Donanımın amacı hareket tespiti ve ölçümü yapacak yazılıma farklı ölçüm imkânları sağlamak, dışarıdan hazır olarak temin edilebilecek donanımların kısıtlarından ve yüksek maliyetlerinden soyutlanmayı sağlamaktır.

Çalışma kapsamında ivmeölçer ve jiroskop duyargaları başarı ile üç ekseninde, farklı hassasiyet ve çözünürlükte veri toplayacak şekilde çalıştırılmıştır. Geliştirilen arayüz ile donanımın bağlı olduğu bilgisayardan donanımın kontrolü ve çalışma ayarlarının yapılması sağlanmıştır. Oluşturulan sistem herhangi bir hareket tespiti ve modellemesine yönelik algoritma geliştirme çalışması ile beraber çalıştırılacak uyumluluğa sahiptir. Bilgisayara gönderilen veriler ham veridir ve işlenmesi bilgisayarda çalışacak sinyal işleme uygulamalarına bırakılmıştır.

Toplanan verilerin bilgisayara gönderilmesi için kablolu ve kablosuz olmak üzere iki yöntem gerçekleştirilmiştir. Kablosuz iletişim için Bluetooth seçilmiş ve nedenleri detaylı açıklanmıştır. Kablosuz iletişimin kullanılamayabileceği durumlar düşünerek kablolu yedek bir yapı da tasarlanmış ve bunun için seri iletişim ara birimi tercih edilmiştir. Seri iletişim ara birimi kablosu ve Bluetooth devresi tak-çalıştır hedefine uygun tasarlanmış ve herhangi bir özel ayar gerektirmemektedir. Donanım üzerindeki yazılımın haberleşme yönteminden bağımsız çalışması sağlanmıştır. Veriler seri iletişim arabirimi üzerinden alıcı bilgisayara tasarlanan haberleşme protokolü çerçevesinde gönderilmiştir.

4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Geliştirilen donanımın asıl hedefi ve çıkış noktası sanal gerçeklik uygulamaları için veri toplamak olsa da herhangi bir hareket ölçümü gerektiren uygulamada kullanılacak duyargaların tespiti ve testleri için kullanılabilir. Bunun yanı sıra tamamlanması planlanan Bluetooth devresi ile seri iletişim arabirimi bulunan tüm cihazlarda, özellikle gömülü uygulamalarda, kullanıcının tüm protokole hâkim olduğu kablosuz iletişim sağlanabilir. Bluetooth teknolojisinin getirdiği avantaj ile yüz metre mesafeye ve 790Kbps' ye kadar veri iletimi isteyen tüm uygulamalarda kullanılabilir. Geliştirilen donanımın asıl kullanım amaçlarından biri de TÜBİTAK BİLGEM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü (BTE) tarafından geliştirilen ETMTS-2 (Elde Taşınabilir Mayın Tespit Sistemi - 2) projesinde tarama başlığının hareketinin algılanması, yanlış taramaların engellenmesi ve anten pozisyonunun hesaplanıp ilgili algoritmalara parametre olarak verilmesini sağlayacak verileri toplamaktır.

4.2 Gelecek Çalışmalar

Sistemin geliştirilmesine yönelik çalışmaları maddeler halinde şu şekilde sıralayabiliriz:

- SCI kaynaklı kesmeleri destekleyen bir mikro denetçi modülü ile istenilen zamanda veri gönderilebilecek bir sistem tasarlamak.
- Bu çalışmayı bir ileriki sayfaya taşıyarak hazır mikro denetçi modülü kullanmak yerine giriş çıkış arayüzlerini ayarlayabileceğimiz kendi tasarımıımız olan bir mikro denetçi kartı üretmek.
- Sayısal duyarga sürmek için SPI'dan I²C'ye geçerek I²C'nin getirdiği adres kullanımının avantajlarından yararlanmak. Bu noktada kullanılacak duyargaların da bu iletişim arayüzlerini desteklemesi gerekecektir.
- Mikro denetçi dahilindeki ADC yerine daha gelişmiş bir ADC kullanarak analog verinin çözünürlüğünü ve hassasiyetini arttırmak.
- Sistemin ürettiği veriler ile 3 boyutlu sanal gerçeklik uygulamalarının çalışmasını sağlayarak sonuçlarını görmek, farklı duyargalar için karşılaştırmalar yapmak.

- Duyarga devreleri ve mikro denetçi kartı için uygun bağlantı arayüzleri tasarlayarak hem kablo kullanımından kurtulmak hemde tek bir “connector” yardımı ile tüm bağlantıları oluşturmak.

Sistem tasarımında kullanılan duyargaların daha gelişmişleri ile değiştirilmesi de ileriye yönelik bir çalışma olarak görülebilir. Bu hedef aslında yapacağımız çalışmanın kapsamı ve kullanımını gerektirdiği duyargaların sahip olması gereken niteliklerle de ilgilidir. Sistemimizde kullanılan duyargalar, proje çalışmalarının başladığı zamanlarda fiyat ve başarımlar açısından yapılan çalışmalarda uygun gözükten duyargalardandı. Sistemimizin tasarım amaçlarından biri olan yüksek maliyetli IMU vb. cihazların sunduğu olanakları ucuza gerçekleştirme gâyesi sebebiyle de çok üstün özellikli duyargalar seçilememiştir. Özellikle sayısal ve hatta 3 eksenli jiroskoplar çok pahalı idi. Yakın zamanda STMicroelectronics firması MEMS duyargalar alanında çalışmalarını oldukça ilerletti. 3 eksenli, 16 bit veri çıkışlı, hem SPI hem de I²C iletişim arabirimlerini destekleyen ve düşük güç tüketimli sayısal ivmeölçer (LIS331HH) [18] ve sayısal jiroskopları (L3G4200D) [19] düşük fiyata hizmete sundular. Teknolojideki bu hızlı gelişimle beraber şu an kullandıklarımıza nispeten çok daha gelişmiş duyargaları düşük bir maliyetle sisteme eklemek mümkün olacaktır.

Wii üzerinde kullanılan görüntü duyargasının yapısı mümkün olursa daha gelişmiş özelliklerle gerçekleştirilerek sistemin özellikleri çeşitlendirilebilir. Kullanılan ivmeölçer ve jiroskop duyargalarına ek olarak diğer bir ataletsel ölçüm duyargası olan manyetometre de sisteme eklenebilir. Eklenen her duyarga yönelim ve hareket hesabı yapan sinyal işleme uygulamalarına ek parametreler sağlayarak doğruluğun artmasını ve sapmaların daha düşük seviyeye inmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Inertial Systems, <http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Inertial_pdf/>, alındığı tarih 28.04.2010.
- [2] **Yole Développement**, 2009. Status of the MEMS Industry What are the remaining growth areas?, in *Semicon Japan*, Chiba, Japan, December 2-4, 2009.
- [3] **Barbour et al.**, 2003. Inertial MEMS System Applications, in *International Conference on Advances in Navigation Sensors & Integration Technology*, Cambridge, USA, October 2003.
- [4] <<http://www.analog.com/en/other-products/multi-chip/adis16355/products/product.html?ref=ASC-LH-72>>, alındığı tarih 01.05.2010.
- [5] **Panhorst, D. W. , LeFevre, V. and Rider, L. K.**, 2003: Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS), Inertial Measurements Unit (IMU) Common Guidance Program, in *The Forth Asian Meeting on Ferroelectricity (AMF-4)*, Bangalore, INDIA, December 2003.
- [6] **Huang, Z. J., Fang, J. C.**, 2005: Integration of MEMS Inertial Sensor-Based GNC of a UAV, *International Journal of Information Technology*, Vol. **11**, no. 10, pp. 123-132.
- [7] İnsansız Hava Aracı Sistemleri, <<http://www.baykarmakina.com/>>, alındığı tarih 13.10.2010.
- [8] Vestel Savunma, <<http://b2b.vestel.com.tr/Dev/Vsg/vestelsavunma.htm>>, alındığı tarih 13.10.2010.
- [9] **Foxlin, E., Harrington, M. and Altshuler, Y.**, 1998: Miniature 6-DOF inertial system for tracking HMDs in *SPIE vol. 3362, Helmet and Head-Mounted Displays III, AeroSense 98*, Orlando, FL, April 13-14, 1998.
- [10] **Analog Devices**, 2008. MEMS Inertial Sensors Monitor Vehicles in Motion, in *Automotive Electronics & Electrical Systems Forum*, Stuttgart, Germany, May 6, 2008.
- [11] **Boysel, R. M., Ross, L. J.**, 2009: Development of a Single-Mass Five-Axis MEMS Motion Sensor, in *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2009 Smart Systems for Safety, Sustainability, and Comfort*, p.333, Springer Berlin Heidelberg, Heidelberg, Berlin, Germany.
- [12] <http://www.sparkfun.com/commerce/tutorial_info.php?tutorials_id=43>, alındığı tarih 04.05.2010.
- [13] Homebrew Channel, < http://wiibrew.org/wiki/Homebrew_Channel>, alındığı tarih: 20.08.2010.

- [14] Wii Homebrew Channel, <<http://www.wiihomebrew.com/>>, alındığı tarih: 20.08.2010.
- [15] Lee, J.C., Wii, <<http://johnnylee.net/projects/wii/>>, alındığı tarih 12.09.2009.
- [16] **Rahni, A.A.A. and Yahya, I.**, 2007. Obtaining Translation from a 6-DOF MEMS IMU – an Overview: *2007 Asia-Pasific Conference On Applied Electromagnetics Proceedings*, Melaka, Malaysia, December 4-6, 2007.
- [17] In the Hand .NET Components for Mobilty,
<<http://inthehand.com/content/32feet.aspx>>, alındığı tarih 20.06.2010.
- [18] <http://www.st.com/stonline/products/families/sensors/motion_sensor/s/lis331hh.htm>, alındığı tarih 13.10.2010.
- [19] <<http://www.st.com/stonline/products/families/sensors/l3g4200d.htm>>, alındığı tarih 13.10.2010.

EKLER

EK A.1 : Sözlük

EK B.1 : İvmeölçer İçeren Devrenin Şeması

EK B.2 : İki Eksenli Jiroskop İçeren Devrenin Şeması

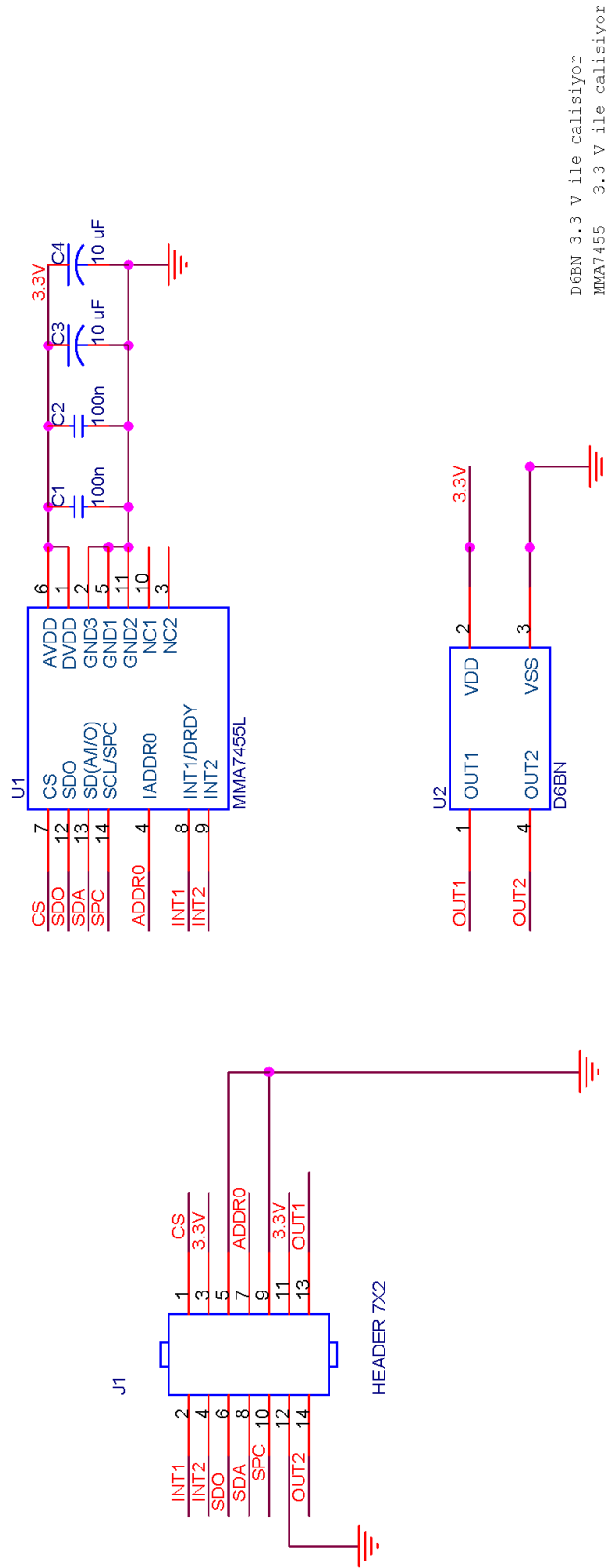
EK B.3 : Tek Eksenli Jiroskop İçeren Devrenin Şeması

EK B.4 : Bluetooth Modülü İçeren Devrenin Şeması

EK A.1

ADC (Analog Digital Converter)	: ASD (Analog Sayısal Dönüştürücü)
BDM (Background Debug Monitor)	: AHAM (Arkaplan Hata Ayıklama Monitörü)
GNC (Guidance, Navigation and Control)	: Kılavuzluk, Seyrüsefer ve Kontrol
HMD (Head Mounted Display)	: Başa Monte Edilmiş Ekran
MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems)	: Mikro Elektronik Mekanik Sistemler
IDE (Integrated Development Environment)	: Tümüleşik Yazılım Geliştirme Ortamı
IMU (Inertial Measurement Unit)	: Ataletsel Ölçüm Birimi
INS (Inertial Navigation System)	: Ataletsel Seyir Sistemi
PDA (Personal Digital Assistant)	: Elde Taşınabilir Bilgisayar
PLL (Phase Locked Loop)	: Mikrodeneçide çalışma frekansını saat işaretinin katlarında arttıran devredir.
PWM (Pulse Width Modulator)	: Mikrodenetçide istenilen genişlikte ve bekleme süresine sahip darbe üretimini sağlayan devredir.
Inertial Navigation	: Ataletsel, eylemsizlik.
RAM	: Sefer, seyrüsefer.
	: Yazılabilir ve Okunabilir Bellek

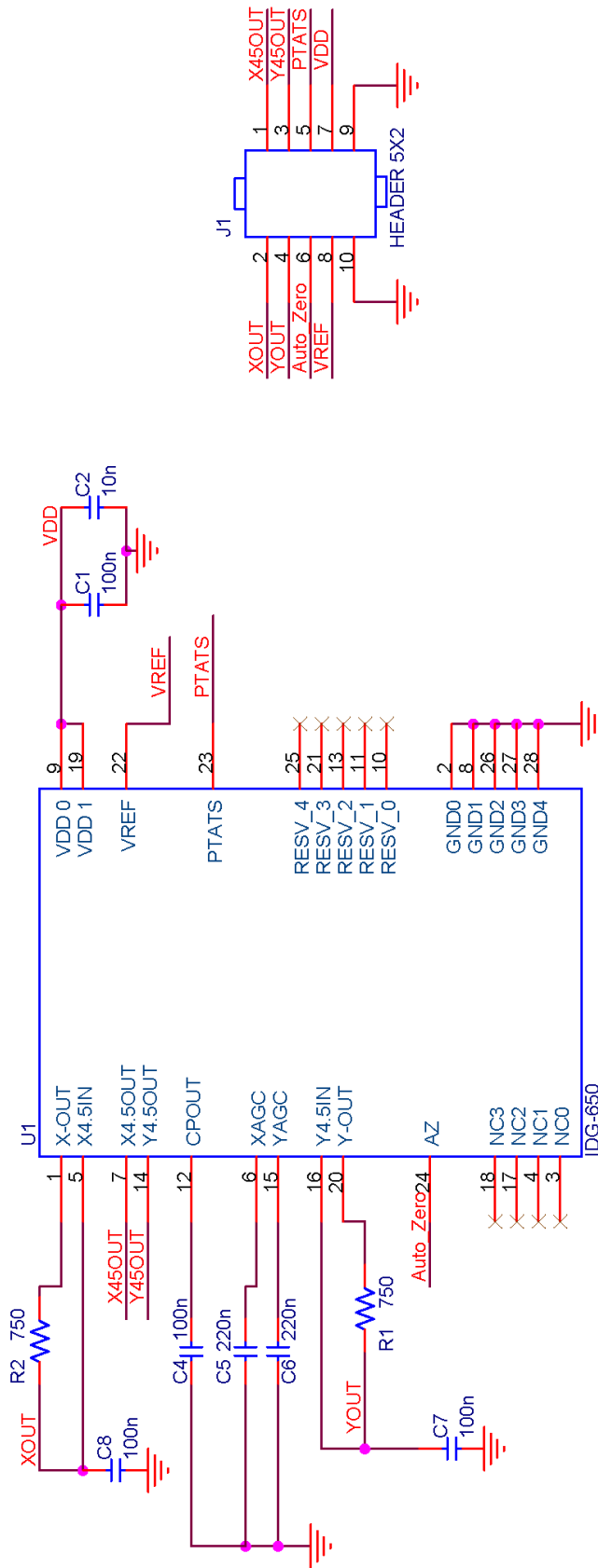
EK B.1



D6BN 3.3 V ile çalışıyor
MMA7455 3.3 V ile çalışıyor

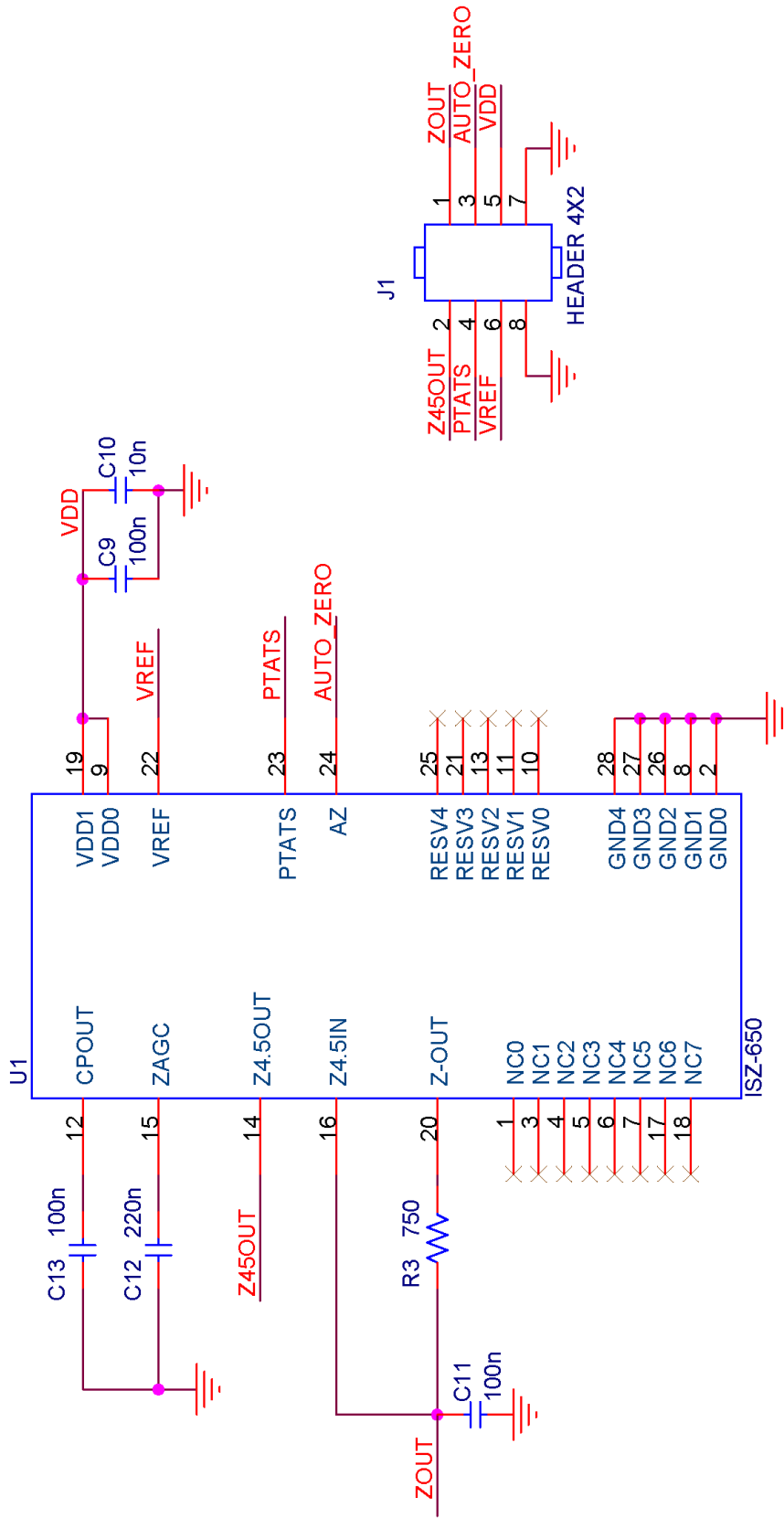
Şekil B.1 : MMA7455L İçeren Devrenin Şeması

EK B.2



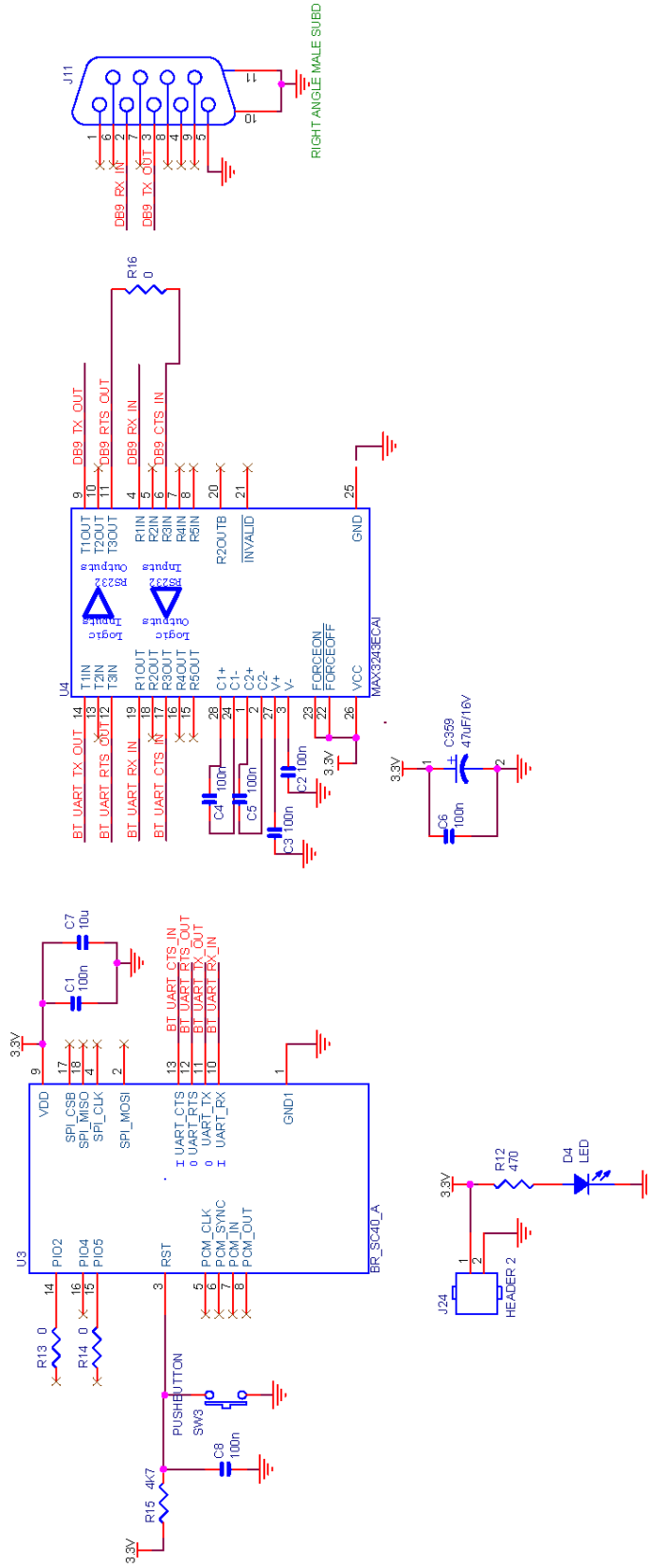
Şekil B.2 : IDG-650 İçeren Devrenin Şeması

EK B.3



Şekil B.3 : ISZ-650 İçeren Devrenin Şeması

EK B.4



Şekil B.4 : BR-SC40A İçeren Devrenin Şeması

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ersin Özkan
Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa, 24.10.1985
Adres: TÜBİTAK BİLGEM BTE Gebze/KOCAELİ
Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Özkan, E.** , Küççük, C. , Altılar, D.T., 2010: A Hardware Framework Design for 3D Motion Sensing, Detection and. Estimation. *International Science and Technology Conference*, Turkish Republic of Northern Cyprus, October 27-29, 2010.
- Küççük, C. , **Özkan, E.** , Altılar, D.T., 2010: A Novel Software Framework for 3D Motion Estimation with A 6-DOF MEMS IMU for A Virtual Reality Environment. *International Science and Technology Conference*, Turkish Republic of Northern Cyprus, October 27-29, 2010.

