

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AKILLI SAVUNMA SİSTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM MÜH.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erol EMRE

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI SAVUNMA SİSTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM MÜH.

Bu tez 13/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Erol EMRE

Yrd.Doç.Dr. Feyzullah
TEMURTAŞ

Yrd.Doç.Dr. Ufuk KULA

Jüri Başkanı

Üye

Üye

E. AYDIN

AKILLI SAVUNMA SİSTEMLERİ

MAYIS 2006

TEŞEKKÜR

Akıllı Savunma Sistemleri konulu tezin hazırlanması aşamasında bana her tŸrlŸ desteği veren danıŐman hocam sayın Prof. Dr. Erol EMRE`ye, çalıŐmalarım esnasında bana yardımcı olan, tŸm mesai arkadaşlarıma ve desteğini hiç esirgemeyen eŐim Sayın Bengisu AYDIN`a teŐekkŸrŸ bir borç bilirim.

Ayrıca çalıŐmalarımı yapmak için iş yerinden bana izin veren komutanlarıma da teŐekkŸr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
SAVAŞ	4
2.1. Savaşın Tanımı.....	4
2.2. Savaşın Doğası.....	5
2.2.1. Savaşın seviyeleri.....	5
2.2.1.1. Fiziki seviye	5
2.2.1.2. Psikolojik seviye	5
2.2.1.3. Çözümsel (analitik) seviye.....	5
2.2.2. Savaşların karakteristik özellikleri.....	6
2.2.2.1. Direnç.....	6
2.2.2.2. Belirsizlik	6
2.2.2.3. Etkileşim	6
2.2.2.4. Karmaşa	6
2.2.2.5. Karmaşıklık.....	7

BÖLÜM 3.

SAVUNMA SİSTEMLERİ.....	8
3.1. Hava Savunma Sistemleri.....	8
3.2. Sualtı Savunma Sistemleri.....	8
3.3. Suüstü Savunma Sistemleri.....	8
3.4. Kara Savunma Sistemleri.....	8
3.5. Uzay Savunma Sistemleri.....	9
3.6. Bilgi Savunma Sistemleri.....	9
3.7. Sistemlerin Ortak Özellikleri.....	9
3.7.1. Tespit.....	9
3.7.2. Teşhis.....	9
3.7.3. Veri birleştirme.....	9
3.7.4. Alınacak önlemler belirlenmesi.....	10
3.7.5. Saldırının bertaraf edilmesi.....	10
3.7.5.1. Şaşırtma.....	10
3.7.5.2. Aldatma.....	10
3.7.5.3. Etkisizleştirme.....	10
3.7.5.4. Yok etme.....	11

BÖLÜM 4.

ALGILAYICILAR.....	12
--------------------	----

BÖLÜM 5.

RADARLAR.....	16
5.1. Radarların Tarihçesi.....	16
5.2. Radar Esasları.....	26
5.2.1. Genel esaslar.....	26
5.2.2. Temel radar kavramları.....	27
5.2.2.1. Yatay ve dikey düzlemler.....	29
5.2.2.2. Görüş hattı, mesafe ve irtifa açısı.....	29
5.2.2.3. Hakiki kerteriz.....	29

5.2.2.4. Nispi kerteriz.....	29
5.2.3. Desibel ölçme sistemi	29
5.2.4. Elektromanyetik spektrum	33
5.2.4.1. Radyo dalgaları	36
5.2.4.2. Mikrodalgalar	36
5.2.4.3. Kızılötesi ışınlar	36
5.2.4.4. Görünür ışık	36
5.2.4.5. Morötesi ışınlar	37
5.2.4.6. X ışınları.....	37
5.2.4.7. Gamma ışınları.....	37
5.2.5. Elektromanyetik dalgaların genel özellikleri	37
5.2.6. Frekans kullanımı.....	38
5.2.7. Frekans, dalga boyu ve hız.....	40
5.2.8. Dalga yayılımı.....	42
5.2.9. Dalga polarizasyonu.....	42
5.2.9.1. Yatay polarizasyon.....	43
5.2.9.2. Dikey polarizasyon	43
5.2.9.3. Dairesel polarizasyon.....	44
5.2.10. Radarlarda kullanılan bazı teknik terimler ve anlamları	44
5.2.10.1. Pals	44
5.2.10.2. Pals genişliği	45
5.2.10.3. Taşıyıcı frekansı.....	45
5.2.10.4. PRF.....	45
5.2.10.5. PRT	45
5.2.10.6. Tepe güç.....	45
5.2.10.7. Ortalama güç	45
5.2.10.8. Görev saykılı	46
5.2.10.9. Minimum mesafe	46
5.2.10.10. Maksimum mesafe	46
5.2.10.11. Bim genişliği	46
5.2.10.12. Lob	46
5.2.10.13. Yan loblar.....	47
5.2.10.14. Şüpheli dönüş	47

5.2.11. Mesafe ölçümü	47
5.2.11.1. Hedef yerleşimi	48
5.2.11.2. Minimum mesafe	49
5.2.11.3. Maksimum mesafe	51
5.2.11.4. Maksimum tespit mesafesini etkileyen faktörler	52
5.2.12. Şüpheli dönüşler	54
5.2.12.1. Şüpheli mesafe	54
5.2.12.2. Şüpheli açı	55
5.2.13. Pals tekrarlama frekansı ve güç hesaplamaları	56
5.2.14. Hedef hızı	59
5.2.15. Atmosferik etkiler	60
5.2.15.1. Atmosferik emme	60
5.2.15.2. Kırılma	60
5.2.16. Loblama	63
5.2.17. Anten yüksekliği ve hızı	64
5.2.18. Kerteriz	66
5.2.19. Yükseklik	67
5.2.20. Radar ayırımı	69
5.2.20.1. Mesafe ayırımı	70
5.2.20.2. Kerteriz ayırımı	72
5.2.21. Radar doğruluğu	73
5.2.21.1. Pals şekli	73
5.2.22. Eko sinyallerini tespit etme ve işleme	74
5.2.23. Anten faktörleri	75
5.2.23.1. Anten kazancı	76
5.2.23.2. Anten bım genişliği	76
5.2.24. Hedef kesiti	77
5.2.25. Radarların sınıflandırılması	78
5.2.25.1. Çalışma prensiplerine göre radarlar	78
5.2.25.2. Kullanım alanlarına göre radarlar	78
5.3. Radar Çalışma Prensipleri	79
5.3.1. Radar kısımları	80
5.3.1.1. Synchronizer	80

5.3.1.2. Verici.....	80
5.3.1.3. Duplekser	80
5.3.1.4. Anten sistemi.....	81
5.3.1.5. Alıcı.....	81
5.3.1.6. İndikatör	81
BÖLÜM 6.	
SONARLAR	82
6.1. Sonarların Tarihçesi	82
6.2. Sonarın Tanımı ve Amacı.	83
6.2.1. Sonarın tanımı	83
6.2.2. Sonarın amacı.....	83
6.3. Sonarın Tanımı ve Amacı.	83
6.3.1. Işıldak tipi sonar.....	84
6.3.2. Tarama tipi sonar	84
6.3.3. Dönen yayın	85
6.3.4. Yönlendirilmiş yayın.	85
6.3.5. Aktif sonarın kısımları	85
6.3.5.1. Synchronizer	86
6.3.5.2. Verici.....	86
6.3.5.3. Duplekser	86
6.3.5.4. Tranduser dizini	86
6.3.5.5. Alıcı.....	86
6.3.5.6. İndikatör	86
6.3.5.7. Bim oluşturucu.....	87
6.4. Pasif Sonar	87
6.4.1. Pasif sonar kısımları.....	87
6.4.1.1. Sualtı mikrofon dizgesi	87
6.4.1.2. Bim oluşturucu.....	88
6.4.1.3. Geniş bant ekran.....	88
6.4.1.4. Frekans inceleyici	88
6.4.1.5. Dar bant ekran	89
6.5. Sonarların Kullanım Yerleri.....	89

6.5.1. Eko araması.....	89
6.5.2. Dinleme.....	90
6.5.3. Derinlik ölçme.....	90
6.5.4. Sualtı muhabere.....	90
BÖLÜM 7.	
KIZILÖTESİ.....	91
7.1. Kızılötesi Tarihçesi.....	91
7.2. Kızılötesi Cihazların Kullanım Yerleri.....	91
7.3. Kızılötesi Cihazların Yapısı.....	92
BÖLÜM 8.	
AKILLI SİSTEMLER.....	94
8.1. Çevre.....	96
8.1.1. Çevre hakkındaki bilgilerin elde edilmesi.....	96
8.1.1.1. Uzay gözlemi.....	97
8.1.1.2. Hava gözlemi.....	97
8.1.1.3. Suüstü gözlemi.....	97
8.1.1.4. Sualtı gözlemi.....	97
8.1.1.5. Kara gözlemi.....	97
8.1.1.6. İstihbarat gözlemi.....	97
8.2. Algılayıcılar ve Kaynaklar.....	98
8.3. Veri Birleştirme.....	99
8.3.1. Veri birleştirme nasıl yapılır.....	101
8.4. Tahmin ve Kestirim.....	103
8.5. Kullanıcı Veri Girişi ve Sergileme.....	104
8.6. Cevap Sistemleri.....	105
8.7. Kaynak Yönetimi.....	106
BÖLÜM 9.	
ELEKTRONİK HARP.....	107
9.1. Elektronik Harbin Tanımı.....	107
9.2. Elektronik Harp İmkan ve Kabiliyetleri.....	108

9.3. Elektronik Harbin Özellikleri.....	108
9.4. Elektronik Harbin Bölümleri	109
9.4.1. Elektronik destek.....	109
9.4.1.1. Elektronik desteğin amacı	110
9.4.1.2. Elektronik desteğin uygulama safhaları	110
9.4.2. Elektronik taarruz.....	111
9.4.3. Elektronik korunma.....	112
BÖLÜM 10.	
KALMAN FİLTRESİ	113
10.1. Rudolf E.Kalman	113
10.2. Kalman Filtresi.....	117
10.2.1. Kalman filtresi nedir	117
10.2.2. Adı neden filtredir	118
10.2.3. Kalman filtresinin matematiksel temelleri	118
10.3. Tahmin Metotları	119
10.3.1. Tahmin teorisinin başlangıcı	119
10.3.2. Least-squares metodu.....	122
10.3.3. Olasılık teorisine giriş	125
10.3.4. Wiener filtresi.....	125
10.3.5. Kalman filtresi.....	126
10.3.6. Karekök metodu	133
10.3.7. Kalman filtresinin ötesi	134
BÖLÜM 11.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	136
KAYNAKLAR.	139
ÖZGEÇMİŞ.	141

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 5.1. Elektromanyetik dalgalar ve ekolar üzerine Hertz'in laboratuvar deneyi.....	17
Şekil 5.2. Hull'un orijinal diyodu	17
Şekil 5.3. İyonesferin yüksekliğini ölçmek için Breit ve Tuve tarafından kullanılan metot	19
Şekil 5.4. İlk İngiliz magnetronu	23
Şekil 5.5. Radar ekosu.....	28
Şekil 5.6. Radar referans koordinatları	28
Şekil 5.7. Elektromanyetik spektrum	35
Şekil 5.8. Saykıl ve dalga boyu.....	41
Şekil 5.9. Dalga polarizasyonu	42
Şekil 5.10. Yatay polarizasyon	43
Şekil 5.11. Dikey polarizasyon	43
Şekil 5.12. Dairesel polarizasyon.....	44
Şekil 5.13. Radar-pals ilişkileri.....	51
Şekil 5.14. Maksimum şüphesiz mesafe	55
Şekil 5.15. Pals-enerji içeriği	57
Şekil 5.16. Görev saykılı.....	58
Şekil 5.17. Dalga cephesi yolu.....	61
Şekil 5.18. Atmosferik kırılma nedeniyle radar ufkunun uzaması.....	62
Şekil 5.19. Radar dalgası üzerindeki kanallama etkisi.....	63
Şekil 5.20. Radar ufku.....	65
Şekil 5.21. Gerçek ve nispi kerterizler	66
Şekil 5.22. Kerterizler tespiti	67
Şekil 5.23. Elektronik irtifa taraması	69
Şekil 5.24. Radar ve hedef ayrımı.....	70
Şekil 5.25. Mesafe ayrımı	71

Şekil 5.26. Bim yarı-güç noktaları	72
Şekil 5.27. Pals şekilleri ve etkileri	74
Şekil 5.28. Hedef eko gücü değişimleri	76
Şekil 5.29. Anten yayılım şekli	79
Şekil 5.30. Temel radar çalışması	80
Şekil 5.31. Temel bir radar sisteminin fonksiyonel blok çizimi	81
Şekil 6.1. Aktif sonar çalışma prensibi	84
Şekil 6.2. Aktif sonar fonksiyonel blok diyagramı	85
Şekil 6.3. Pasif sonar fonksiyonel blok diyagramı.....	87
Şekil 6.4. Kerteriz zaman ekranı	88
Şekil 6.5. Şelale göstericisi	89
Şekil 7.1. Tipik bir kızılötesi alıcı.....	92
Şekil 7.2. Elektromanyetik spektrum	93
Şekil 7.3. Bir uçağın kızılötesi kamera kullanarak havaalanına inmesi.....	93
Şekil 8.1. Akıllı savunma sistemi.....	95
Şekil 8.2. Veri birleştirme fonksiyonel modeli	100
Şekil 8.3. Veri Birleştirme Ağacı.....	102
Şekil 8.4. Kullanıcı veri giriş ve sergileme	105
Şekil 8.5. Koordineli saldırı	105
Şekil 8.6. Kaynak yönetimi	106
Şekil 9.1. Elektronik harbin bölümleri	109
Şekil 10.1. Kalman filtresinin temelleri	119
Şekil 10.2. Kalman filtresi döngüsü.....	131
Şekil 10.3. Kalman filtresinin tamamlanmış gösterimi.....	132

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. Radar frekans bantları	23
Tablo 5.2. Desibel güç oranları	32
Tablo 5.3. 10'un kuvvetleri ile desibeller ve Watt'taki önekleri	34
Tablo 5.4. Radar frekans yerleşimleri	38
Tablo 10.1.Tahmin problemi örnekleri	120

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Savunma, Akıllı Sistemler, Savunma Sistemleri, Savunma Teknolojileri, Saldırı Algılama Sistemi.

Savunma sistemleri sayesinde ülkeler diğerlerinden gelen tehditleri bertaraf etmektedirler. Bu savunma sistemlerinin belli ortak, güncel bir yöntem ile değerlendirilmesi gerekliliği vardır.

Bu kapsamda; güncel bir savunma sistemi kuruluşu, içeriği, bağlantıları incelenmiştir.

SMART DEFENCE SYSTEMS

SUMMARY

Key words: Defence, Smart Systems, Defence Systems, Defence Technologies, Sensors.

Countries defend themselves by means of Defence Systems. These defence systems must be re-engineered by common, up-to-date criterias.

By means of this, the structure of the up-to-date defence system and its connections is examined.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi aynı zamanda hırs ve çıkar çatışmalarının da tarihidir. İnsanlar toplu yaşamaya başladıkları günden itibaren kimi zaman küçük çaplı kimi zaman da büyük savaşlar yapmışlardır.

Medeniyetin ilerlemesi ile kendini koruma örgütlü bir şekilde yapılmıştır. Her türlü doğa olayından ve çevredeki kötü niyetli kişilerden savunma ihtiyacı bu örgütlenmenin itici gücünü oluştururken saldıran taraf daha etkin yöntemler geliştirmek zorunda kalmıştır.

Daha iyi örgütlenen savunmacılar aynı zamanda korunması gereken şeylerin de sahipleridir. Bunlar yiyecek, su, değerli taşlar, madenler vb. olabildiği gibi bazen sadece korunmak için yaptıkları yapılar da hasımlar tarafından saldırı sebebi olarak algılanmıştır.

Saldırganlar geliştikçe savunanlarda daha etkin yöntemler geliştirmiştir. Bu sayede bilim de ilerlemelere öncülük edilmiştir.

Bilimin ilerlemesi ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Bilimsel olarak gelişen toplumlar genelde korunması gereken şeylere sahip olan toplumlardır.

Günümüzde jeostratejik konum, doğal kaynaklar, ekonomik vb. nedenlerle savaşlar çıkmaktadır. Ancak doğal olarak artık gerekçeler daha estetik kavramlarla tanımlanmaktadır.

Savunma yapmak gün geçtikçe zorlaşmakta savaş sualtı, su üstü, kara, hava, uzay'da yapılmaktadır. Aslında her alanda ve her zaman bitmek tükenmek bilmeyen bir savaşın içerisindeyiz.

Savaşın içerisinde çabuk ve yıkıcı değişimler, hızla gelen ve kaybolan fırsatlar, yetersiz/eksik bilgi, belirsizlik ve karmaşa durumu hâkimdir. Bu şartlar altında karar vermek ve en uygun pozisyonu yakalamak her seviyedeki komutanın sürekli karşılaştığı bir durumdur. Özellikle bu elektronik çağda bulanık sınırlar ve biçimsiz düşman ortamında bu durum gün geçtikçe daha karmaşık bir hal almaktadır [1].

Askeri stratejinin de değişen şartlara ayak uydurması ve evrimleşmesi gerekmektedir. Bu da manevra savaşlarına daha fazla dikkat harcanmasını demektir. Son 70 yıl içerisinde bu husus daha fazla öne çıkmaktadır.

Savaşın içerisinde her yeni gelişmenin nelere mal olabileceğinin, neler getirip neler götüreceğinin hesaplanması gereklidir. Bu bilgi ışık hızında işlenmek zorundadır. Bu çalışmada savaş yöntemlerinden modern askeri stratejinin manevra harbi bölümüyle ilgileneceğiz.

Manevra harbinin genel amacı çatışma. Çatışma ise düşmanın gücünden sakınarak, hızlı ve saldırgan bir şekilde zayıflıklarını ortaya çıkararak, en fazla zarar verecek yerinden vurmak suretiyle fiziki ve moral olarak etkisizleştirme ve yıkma durumudur.

Bu durumda elde edilmesi beklenen en üst hedef, düşmanın tüm güçlerini yok etmek değil, aksine etkili ve koordine bir şekilde savaşmalarına engel olmaktır. Örneğin manevra harbi uzmanları savunma hatlarına saldırmak yerine arkada bulunan komuta kontrol karargâhını ele geçirmek ve lojistik desteği engellemek üzerine yoğunlaşırlar. Amaç satrançta olduğu gibi amaç tüm taşları yemek değil şahı elde etmektir. Bunun da ötesinde manevra harbi savaşan güçleri kaçınılmaz şekilde etkileyen belirsizlik ve düzensizlikten sakınma veya ona direnmeyi hedeflemez, düşmanı yenmek için bunları anahtar olarak görür.

Manevra harbi düşmanı yenmek değil zayıflıklarını hedef alarak arkadan vurmaya ve durumu analiz edemez hale getirmeye odaklanır.

Stratejik seviyede sormamız gereken soru: “Düşmanı etkisizleştirmek için nelere ihtiyacımız var?”

Her durumda sahip olmamız gereken bilgiler:

Kendi yeterliliklerimiz

- a. Sahip olduğumuz maddi unsurlar ve bunların durumu
- b. Personel durumu ve kalitesi
- c. Moral
- d. Yerleşimimiz
- e. Dağılımımız
- f. Güç dengesi
- g. Zayıflıklarımız
- h. Güçlü yönlerimiz
- i. Olabileceğimiz en iyi durum ve mevcut durumumuz
- j. Vb.

Muhasım(lar) hakkında da aynı bilgilere ihtiyacımız vardır.

Bahse konu bilgilerin tam olarak neler olduğu, nasıl toplandığı, hangi yöntemler kullanıldığı vesaire konumuz harici olduğu için bu çalışmada anılan konulara değinilmeyecek, bir şekilde var oldukları ve elektronik ortamda kullanıma hazır buldukları farz edilecektir.

BÖLÜM 2. SAVAŞ

2.1. Savaşın Tanımı

Savaş, askeri güç kullanmak suretiyle organize gruplar arasında veya çapında zorbalığa varan çıkar çatışmasıdır. Bu gruplar geleneksel olarak örgütlenmiş devletler olabildiği gibi ülkeler arasında ortaklıklar ve hatta organize güç kullanabilecek siyasi yeterlikte ve yeterli büyüklükte siyasal örgütler de olabilir.

Savaşın özünde, iki bağımsız, uzlaşmaz isteğin bir diğerine zorla kabul ettirmek üzere iki gücün zorlu mücadelesi yatar.

Savaş temelde etkileşimli eyleşimsel (diyalektik) bir süreçtir. Bu süreç iki güreşçinin mücadelesine benzer. Biri diğerini güç veya karşı güç uygulayarak muharebe alanından dışarı süpürmeye çalışır. Sürekli olarak hamle ve karşı hamleler ile yeni durumlara uyum süreçlerini beraberinde getirir. Muhasımın durağan sabit bir şey olmadığı, düşünen, karar veren, kendi planlarını uygulamaya çalışan canlı bir varlık olduğu gerçeği göz ardı edilmemelidir. Biz ona kendi fikirlerimizi kabul ettirmeye çalışırken o da boş durmayacak ve bize karşı kendi fikirlerini kabul ettirme yöntemlerini bulmaya çalışacaktır. Karşılıklı çatışan dinamik yapıdaki insan isteklerine saygı duymak ve savaşın doğasını anlamak gereklidir.

Savaşın amacı düşmana isteklerimizi zorla kabul ettirmektir. Bu kapsamda yapılabilecekler organize bir uygulama veya askeri güç kullanımınıdır. Askeri güç düşmanın askeri gücü üzerinde kullanılabilceği gibi tüm halkına karşı da kullanılabilir. Savaş bazen iki muazzam gücün tüm kudreti ile karşı karşıya gelmesi olabildiği (savaş ilanı ile desteklenebilir ama gerekli değildir) gibi çatışmalar, manevralar, gayrı muayyen uygulamalar gibi yaygın olmayan yöntemler vasıtasıyla sinir bozmaya yönelik olarak da yapılabilir.

Politik gruplar arasında barış veya topyekûn savaş durumu sıkça karşılaşılan durumlar değildir. Ancak iki uç noktayı oluşturdukları da bir gerçektir. Savaş için silahlı kuvvetleri kullanma ihtiyacı bu iki uç nokta arasında ortaya çıkabilir. Hatta göreceli barış ortamı bile bu tip bir kararın alınmasına engel teşkil etmez. Bazen savaş kararı sadece kamuyu rahatlatmak adına bile alınabilir. Bu tip bir kararın alınması için bazı toplumlar tüm barışçıl eylemlerin sonucunu beklerken diğerleri hiç tereddüt etmeyebilir.

2.2. Savaşın Doğası

Savaş çok karmaşık bir yapı olduğu için insanlara özgü mücadele seviyelerinde yapılır. Ayrıca savaşların kendilerine has özellikleri de içerirler.

2.2.1. Savaşın seviyeleri

2.2.1.1. Fiziki seviye

Ateş gücü, silah teknolojisi, askerlerin gücü ve lojistik bu seviyede ele alınır.

2.2.1.2. Psikolojik seviye

Moral, liderlik ve cesaret bu seviyede ele alınır.

2.2.1.3. Çözümsel (analitik) seviye

Karmaşık savaş alanı durumları karşısında komutanların yeteneklerinin sınanması, etkin kararlar verebilme, alınan kararların uygulanması için taktiksel açıdan mükemmel çözümler yapılması bu seviyede ele alınır.

2.2.2. Savaşların karakteristik özellikleri

2.2.2.1. Direnç

Direnç temelde düşmandan kaynaklanır. Yapılması düşünülen basit işleri zor, zorları ise imkânsız hale getirmektedir. Hava, yeryüzü şekilleri gibi doğal sebeplerden kaynaklanabilir. Doğanın sağladığı dirençleri de kendi lehimize kullanma yolları araştırılmalıdır. Yanlış/eksik planlama, kötü şans gibi sebeplerden de kaynaklanabilir.

2.2.2.2. Belirsizlik

Savaşta her hareket için belirsizlik hâkimdir. Çevresel faktörlerdeki belirsizlik, düşmanın niyetlerinin ve yeterliliklerinin anlaşılması karar vericinin kaynakları en verimli şekilde kullanmasını engeller.

2.2.2.3. Etkileşim

Her iki tarafça yapılanların sonucunda ortaya çıkan ve sonraki hamlelere etki eden şeylerdir. Bu nedenle pek çok fırsat çıkarken pek çok da öngörülemeyen durum ortaya çıkar. Savaşan tarafların uyum sağlaması gereken gelişen durumlardır.

2.2.2.4. Karmaşa

Direnç, belirsizlik, etkileşim doğal olarak bir karmaşa ortamını da beraberinde getirir. Planlar uyulması imkânsız hale gelebilir. Verilen emirler anlaşılabilir, doğru yorumlanamaz veya anlamını yitirir. İletişim kopabilir. Hatalar yapılabilir. Öngörülemeyecek şeyler olabilir. Her şey zamanla daha da kötüye gidebilir.

2.2.2.5. Karmaşıklık

Savaşta tek bir taraf olmadığı gibi her bir savaşan tarafından tek bir istek tarafından güdülenmesi mevzu bahis değildir. Savaşan taraflar çok karmaşık organizasyonlardan oluşur. Parçalar bütünü oluşturmaktadır. Tek bir bireyin anlayışı ile bu parçalı yapının ihtiyaçları, beklentileri, uygulamadaki yeterlilikleri, hatta düşünce sistemi, algılaması farklılıklar arz edecektir. Yapılan işlemler plana uygun gibi görünse bile bu karmaşık yapının etkileri sonucu belirler. Savaşan her iki taraf için de bu gerçek kaçınılmazdır. Savaşan sistemler gibi görünse dahi sistemi oluşturan bireylerin inançları etkilidir. Bu bireyler çok farklı düşünce, kültür, algı seviyesine sahiptir. Bütünü oluşturan her bir birim direnç, belirsizlik, etkileşim, karmaşa ile kendi yöntemleri ile baş etmek zorundadır. Bu nedenle bir tekillik yoktur. Çokluk, karmaşıklığı doğurmaktadır. Askeri hareket bir emrin toptan uygulanmasından çok, biri diğeri ile alakalı ancak farklı bir çok hareketin eş zamanlı olarak yapılmasıdır.

BÖLÜM 3. SAVUNMA SİSTEMLERİ

Savunma sistemleri ihtiyaç duyulan yere göre çeşitlilikler arz etmektedir.

3.1. Hava Savunma Sistemleri

Havadan gelecek saldırılar için geliştirilmiş sistemlerdir. Tespit amacıyla kullanılan radarlar, diğer algılayıcı sistemler ve mukavemet amacıyla kullanılan silah sistemlerinden meydana gelmiştir.

3.2. Sualtı Savunma Sistemleri

Su altından gelecek saldırılar için geliştirilmiş sistemlerdir. Tespit amacıyla kullanılan sonarlar, diğer algılayıcılar ve mukavemet amacıyla kullanılan silah sistemlerinden meydana gelmiştir.

3.3. Su Üstü Savunma Sistemleri

Su üstünden gelecek saldırılar için geliştirilmiş sistemlerdir. Tespit amacıyla kullanılan radarlar, diğer algılayıcılar ve mukavemet amacıyla kullanılan silah sistemlerinden meydana gelmiştir.

3.4. Kara Savunma Sistemleri

Karadan gelecek saldırılar için geliştirilmiş sistemlerdir. Tespit amacıyla kullanılan algılayıcı sistemler ve mukavemet amacıyla kullanılan silah sistemlerinden meydana gelmiştir.

3.5. Uzay Savunma Sistemleri

Uzaydan gelecek saldırılar için geliştirilmiş sistemlerdir. Tespit amacıyla kullanılan radar, algılayıcı sistemler ve mukavemet amacıyla kullanılan silah sistemlerinden meydana gelmiştir.

3.6. Bilgi Savunma Sistemleri

Günümüzde artan iletişim olanakları, iletişim ortamlarından gelebilecek tehditleri de öngörmek ve gerekli önlemlerin alınması yaşamsal önemdedir.

3.7. Sistemlerin Ortak Özellikleri

Tüm savunma sistemleri kabaca tespit, teşhis, veri değerlendirme, savunma sistemi seçimi ve saldırının bertaraf edilmesi safhalarından oluşur.

3.7.1 Tespit

Tespit veya algılama; saldırma ihtimali olan unsurların özellikle silah ve/veya silah sistemleri taşıma ihtimali olan araçların veya bu araçlara havi unsurlara ait emarelerin belirlenmesi için gerekli donanım, tesis ve altyapılardır.

3.7.2. Teşhis

Teşhis veya tanımlama; saldırı ihtimalinin değerlendirilmesi ve saldırganın/saldırgan olması muhtemel araç/sistemlerin kimliğinin tam olarak belirlenmesidir.

3.7.3. Veri birleştirme

Düşman hakkındaki bilgiler derlendikten sonra, tehdit kıymetlendirmesi, kendi birliklerimizin konumları bilgisi de katılarak, alınabilecek önlemler değerlendirilir, bunlardan en yüksek yararı sağlayacak yol ve alternatifler seçilir.

3.7.4. Alınacak önlemlerin belirlenmesi

Tehdidin ne olduğu belirlendikten sonra bertaraf edilmesi için gerekli işlemlerin incelenmesidir.

Bu safha siyasi, askeri bütün unsurların değerlendirilmesini içine alır.

Askeri tedbir seçilmişse uygun mukavemetin seçilmesi bu safhada yapılır.

3.7.5. Saldırının bertaraf edilmesi

Bu safhada saldırı bertaraf edilir.

Siyasi seçenek uygulanacaksa gerekli işlemler yapılır.

Askeri seçenekler seçilmişse uygun silah/silahlar ve sistemler kullanılır.

Bu safhada şaşırtma, aldatma, etkisizleştirme, yok etme seçenekleri uygulanabilir.

3.7.5.1. Şaşırtma

Saldırgan unsurun görevini yerine getirmesini engelleyecek tedbirleri almaktır.

Kendi amirlerinden gelmiş bir durdurma emri verilmiş izlenimini vermek dahildir.

3.7.5.2. Aldatma

Saldırgan unsurun görevini yaptığı izlenimi vermektir.

3.7.5.3. Etkisizleştirme

Saldırganın silahlarını kullanmasını, gerekirse harp araç ve gerecini kullanmasını engelleyecek tedbirler alınmasıdır.

3.7.5.4. Yok etme

Tehdidin tamamen yok edilmesidir.

BÖLÜM 4. ALGILAYICILAR

Bir sistemin herhangi bir olaya bir “tepki” verebilmesi için öncelikle sisteme bir “etki”yle beslenmesi gerekir. Savunma sistemlerinin kurulabilmesi için öncelikle düşmanın tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Düşmana ait bilgilerin toplanması ve analiz edilebilmesi algılayıcılar sayesinde mümkün olmaktadır.

Algılayıcılar ve algılayıcı sistemler sayesinde düşmanın varlığı, miktarı, yeri, olanakları, hareketleri izlenmektedir. Bu bilgiler sayesinde komutan kısıtlı askeri kaynakları hedefi elde etmek için daha verimli bir şekilde kullanma imkânına kavuşmaktadır.

Savaşta en önemli kozlarından birisi gizlilik ve sürprizdir. Bu iki kozu etkisiz kılmak için düşman hareketini güç yoğunluğu, bunların yer değişimlerinin saptanması büyük önem arz etmektedir. Bir bölgede düşman varlığının tespit edilememesi vahim sonuçlar doğurabilir. Düşmanın kuvvetli olduğu yere zayıf kuvvetler gönderilebilir. Böyle bir durum kuvvetlerimizin gereksiz zayıflığı ile sonuçlanabilir.

Aksi durumda düşmanın bulunduğu değerlendirilen bir yere güçlü bir kuvvet kaydırılarak kaynakların boşa harcanması ve başka bir tehditle karşılaşılması durumunu getirebilir.

Algılayıcılardan toplanan verilerin analiz edilmesi ile elde edilen bilgiler savaşın kazanılmasında hayati önemi haizdir. Farklı algılayıcılardan gelen bilgileri “birleştirilerek” sistem içinde değerlendirip, gerekli tepkiyi oluşturmak gerekmektedir.

Algılayıcılar manevra ve silah sistemleri ile beraber kullanıldığında güç çarpanı olarak harekâta etki etmektedir.

Savunma sistemleri algılayıcılar ile silah sistemlerinin beraber kullanılması ile ortaya çıkmaktadır.

Askeri amaçlarla en çok kullanılan algılayıcılar radar, sonar, kızılötesi, görüntü sistemleridir. Diğer algılayıcılar da kullanılmaktadır.

Çalışmanın örneklenmesi maksadıyla radar, sonar, kızılötesi algılayıcı sistemleri incelenmiştir. Diğer sistemlerin uygulamaları için burada bahsedilen konulardan faydalanılabileceği değerlendirilmektedir.

Önemi nedeniyle algılayıcı sistemlerin tedarikinden, kullanılmasına, kalibrasyonuna ve sürekli en iyi durumda olmasına gerekli özenin gösterilmesi gereklidir. Yanlış tedarik edilen bir algılayıcı sistem ihtiyaçları karşılayamayabilir. Doğru algılayıcıya sahip olunsa bile uygun olarak ayarlanmamış bir algılayıcının verileri güvenilir olmayacaktır. Algılayıcı sistemlerin görevlerini iyi yapması her zaman yeterli değildir. Algılayıcı sistemler sonuçta insanlar tarafından kontrol edilmektedir. İnsan kullanıcıların işlerinde ehil olması gereklidir. Algılayıcı sistemlerin sürekli gözlenmesi ve hangi durumlarda yanlış alarmlar verdiğinin de bilinmesi gereklidir.

Tüm algılayıcı sistemlerin yedekleri olmalıdır. Sürekli çalışması gereken algılayıcı sistemler için yedek sistemler kullanılmazsa acil durumlarda zor durumda kalınabilir.

Algılayıcı sistemler insanların algılama sınırlarının dışında çalıştıkları için verileri uygun ve anlaşılır şekilde sergileyebilmelidir. Kullanımları kolay olmalıdır. Öğrenilebilir sistemler olmalıdır. Geliştirilebilir olmalıdır.

Yedek parçaları depolanmalıdır. Kolayca tamir edilebilir olmalıdır. Yedeklerinin de tasarım aşamasında belirlenmesi gerekmektedir, böylece işlev görmeyebilecek

algılayıcının yedeğinden yararlanılmalıdır. Tamir ve bakım işlemleri için yeterli sayıda ve uygun nitelikte personelle desteklenmelidir. Savaş durumunda gecikmeler, durmalar, kesintiler kabul edilmeyecektir.

Algılayıcılar sistemin merkezinde olacağı için en hassas bölgesidir. Korunmasına önem verilmesi gereklidir. Onlardan gelecek veriler doğrultusunda kararlar alınacak, savaşın gidişatı değiştirilecektir. Bu kapsamda gerekli her tür tedbir alınmalıdır.

Algılayıcı sistemler çeşitli platformlar üzerinde olabilir. Bunlar sabit ve hareketli platformlar olabilir. Sabit platformlar karada konuşlu tesislerdir. Hareketli platformlar ise gemiler, kara araçları, uçaklar, uydular, personel vb.dir.

Algılayıcı sistemler tek başlarına kullanılabildiği gibi bir silah sisteminin parçası veya savunma sisteminin parçası da olabilir. Tek başlarına kullanıldığında savunulmaları amacıyla gerekli önlemler alınmalıdır.

Algılayıcılar pasif veya aktif olabilir. Aktif algılayıcılar, ölçme için gerekli enerjiyi üretir bir sinyalle hedefe yönlendirir, geri dönen sinyalin dönüş zamanı ve gücüne göre hedef hakkında bilgi verirler. Pasif olduklarında ise yönlendirildikleri hedeften gelen sinyalin gücüne ve zaman içerisindeki sinyalin değişimine göre hedef hakkında bilgi verir. Radarlar aktif, sonar ve kızılötesi (Infrared – IR) algılayıcılar hem aktif hem de pasif olarak kullanılabilir. Aktif algılayıcılar yerlerini belirtebilecekleri için savaşın başlarında mümkün olduğunca pasif algılayıcılar tercih edilmelidir [2].

Algılayıcılardan alınan veriler en kısa zamanda işlenmelidir. Veri işleme atış kontrol sistemlerinde gerçek zamanlı, sistem sağlığı kontrol ve birlik kontrol sistemlerinde gerçek zamana yakın, gemi/birlik yer/durum bilgilerinde en kısa zamanda vs. işlenmelidir.

Tüm algılayıcılardan alınan veriler süzölmeli gerekli görülen bilgiler ihtiyaç duyulan birimlerle paylaşılmalıdır. Bu süzme işlemi ihtiyaçlara göre gerçek zamandan, en kısa zamana kadar değişen aralıklarda olmalıdır.

Algılayıcılardan alınan veriler tüm sistem için ortak bir yapıda olmalıdır. Tüm sistemler ortak kullanılan veri formatını anlamalıdır. Bir algılayıcıdan belirli bir süre haber alınmadığı durumda kaybedildiği kabul edilmelidir.

Tüm algılayıcıların doğru sonuçlar ürettiği bir çalışma aralığı vardır. Anlık veya sürekli olarak normal çalışma seviyesinin üzerinde bir güçlü etki ile karşılaşan algılayıcılar kullanılamaz hale gelebilirler. Örneğin alma zamanında bir radara çok kuvvetli bir sinyal gelirse radar alıcı devreleri bozulabilir. Bu gibi durumlar için tasarım safhasında gerekli tedbirler alınmalıdır.

Muhasımın algılayıcılarını kullanmasını önleyecek, güvensiz hale gelmesini sağlayacak veya yanlış bilgi üretmesini sağlayacak sistemler kullanılmalıdır. Muhasımın algılayıcılarının güvensiz hale getirilmesine karıştırma, yanlış bilgiler üretilmesini sağlamaya aldatma denir.

Muhasımın da benzer sistemlere sahip olabileceği unutulmamalıdır. Savaşta önemli bir koz da “aldatma”dır. Muhasım algılayıcılarımızı yanıltmak üzere çeşitli yöntemler uygulayacaktır. Bu nedenle algılayıcıları gerekmedikçe kullanmamalı veya karıştırma, aldatmaya karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

Karıştırma ve aldatma konusu elektronik savaş konusunda işlenecektir.

BÖLÜM 5. RADARLAR

Savunma sistemlerinin kalbini algılayıcılar oluşturur. Algılayıcılar içinde en önemli kısmı radarlar almaktadır.

Düşmana ait bilgilerin toplanması ve analiz edilebilmesinde en çok kullanılan algılayıcı türü radardır.

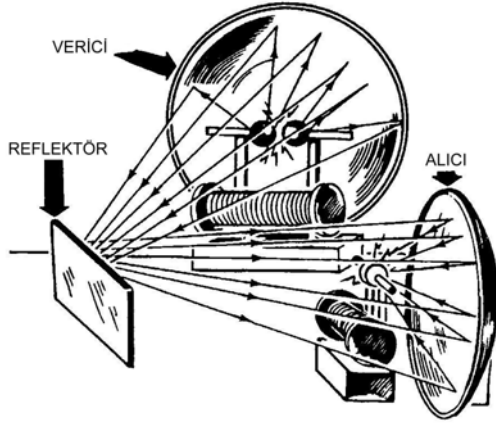
5.1. Radarların Tarihçesi

Radar cihazı II. Dünya Savaşına kadar gelişme göstermemesine rağmen radar tespit prensipleri elektromanyetik teorisi kadar eskiye dayanmaktadır. 1886'da Heinrich Hertz, Maxwell teorisinin deneylerini gerçekleştirerek radyo dalgaları ile ışık arasındaki benzerlikleri göstermiştir (Şekil 5.1). Hertz, radyo dalgalarının madeni ve dielektrik cisimlerce yansıtılabileceğini saptamıştır. Hertz'in ilk deneyleri oldukça kısa dalgalarla yapılmış, daha sonraki çalışmalar ise uzun dalgalarla gerçekleştirilmiştir. Kısa dalgalar 1930'ların sonlarından önce kullanılmamıştır [3].

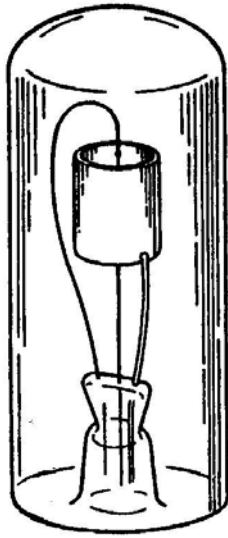
1903 yılında Christian Hülsmeier adında bir Alman mühendisi gemilerden yansıtılan radyo dalgaları ile ilgili deneyler yapmıştır. Hülsmeier, 1904'te birçok ülkede gemi seyir aygıtı ve engel dedektörü için patentler almıştır. Bu deneyleri Alman Deniz Kuvvetlerinde sergilendiyse de fazla ilgi görmedi. O zamanki teknik imkanlar bir milden fazla uzaklığa erişilmesini engelliyordu. Gözün görme sınırını aşamadığından dolayı Hülsmeier'in tespit (detectioan) tekniği fazla ilgi görmedi.

Silindirik bir diyodun eksenine paralel bir manyetik saha içindeki elektronların hareketini belirlemek amacıyla bir araştırma, 1921 yılında A.W.Hull tarafından yapıldı. Bu düzenekteki bir diyot ve manyetik alan, 1-30 santimetre (30000–1000 MHz) arasında dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar üretmekteydi (Şekil

5.2). Daha sonra bu frekans bandı, mikrodalgalar olarak tayin edilmiştir. Mıknatıslı silindirik diyot, devredeki kullanımına göre magnetron veya cyclotron olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 5.1 Elektromanyetik Dalgalar ve Ekolar Üzerine Hertz'in Laboratuar Deneyi



Şekil 5.2 Hull'un Orijinal Diyodu

1922'de Marchese Guglielmo Marconi, kısa dalgaların radyo tespitindeki yararlarını görüp bunların kullanılmasını önerdi. Marconi 1922 yılında New York şehrinde yaptığı konuşmasında, "Hertz tarafından ilk olarak gösterildiği gibi elektrik dalgaları iletken nesnelere tarafından tamamıyla yansıtılabilirler. Benim bazı testlerimde

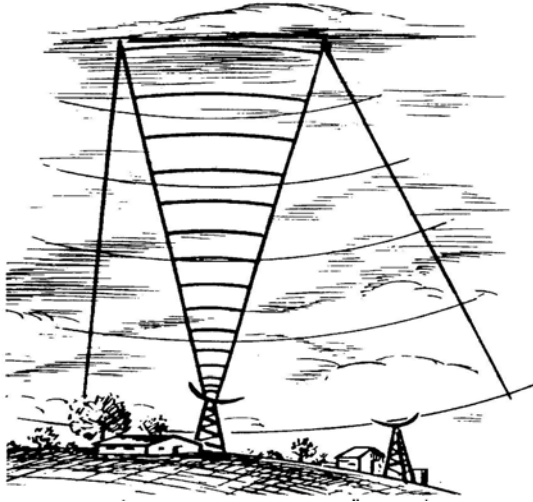
millerce uzaklıktaki metalik nesnelere bu dalgaların yansıma ve sapma etkilerini fark ettim. Bana göre bir gemiden istenilen yönde bu ışınların farklı bir bini çıkararak veya yayan ve daha sonra bu ışınların başka bir vapur veya gemi gibi metalik bir nesneyle karşılaşmasıyla gönderen gemideki lokal vericiden perdelenen bir alıcıya geri yansıtılması ve böylece sis ve yoğun hava şartlarında başka bir geminin mevcudiyetini ve varlığını derhal ortaya çıkaran bir cihazı dizayn etmenin mümkün olabileceği görülüyor” diyordu.

Marconi, kıtalararası radyo haberleşmesini sağlamasına rağmen çok kısa dalgaları içeren diğer projelerini kabul ettiremedi. Bunlardan biri yukarıda bahsedilen radar tespiti, diğeri ise çok kısa dalgaların optik görüş hattından çok uzağa yayılımıydı (propagasyon). Aynı zamanda bir noktadan diğerine kablo kullanmaksızın güç aktarılması için radyo dalgalarının kullanılmasını önerdi.

Marconi'nin düşünceleri, A.H.Taylor ile L.C.Young'ın radyo tespiti üzerindeki fikirlerini deneysel yolla gerçekleştirmelerini sağladı. 1922 sonbaharında alıcı-vericisi olan ve dalga boyu 5 metre olan bir CW radarı ile ahşap bir gemiyi yakaladılar. Çalışmalarına devam etme hususundaki teklifleri kabul edilmedi.

Mesafe ölçümünde darbe (pals) tekniği ilk olarak 1925'de Gregory Breit ile Merle A.Tuve tarafından iyonosferin yüksekliğini saptamak için kullanıldı (Şekil 5.3). Fakat uçakların darbeleri radarla araştırılması on senelik bir sürecin sonunda gerçekleşti.

İlk deneysel radarlar CW olup, vericiden gelen sinyalle hedeften gelen doppler frekans kaymalı darbenin girişiminden etkilenen bir tespite sahiptiler. Bu, uçakların geçişinin televizyon ekranlarında yaptığı etkiye benzeyen bir işaret üretti. Bu tip radarlara CW girişimli radar denirdi. Bugün bu tip radarlara, bistatik CW radar adı verilmektedir. Bu tip radarlar, CW monostatik radar yerine başlangıçta oldukça kullanıldılar. Darbeleri radarlar ise gerekli elemanların, özellikle güç lambalarıyla darbe alıcılarının geliştirilmesiyle ortaya çıktılar.



Şekil 5-3 İyonesferin Yüksekliğini Ölçmek İçin Breit ve Tuve Tarafından Kullanılan Metot

Uçak tespiti ilk olarak 1930 yılında L.A.Hyland tarafından bir rastlantı sonucu yerde bulunan bir uçağın yön bulucu aygıtı ile yapıldı. 33 MHz'lik verici 2 mil uzaklıktaydı. Uçak yayın alanından geçince alınan sinyalin kuvvetinde bir değişme oldu. Bu olay araştırma laboratuvarları tarafından olumlu karşılanıp araştırılmaya başlandı. Fakat çalışmalar yavaş bir şekilde devam etti. 1932'de aygıt, 50 mil mesafedeki uçakları tespit edecek şekilde geliştirildi. 1933'e kadar gizli tutulan bu çalışmalar, Taylor, Young ve Hyland'e verilen bir patentle açıklığa kavuşturuldu. Bu patentte radar, bir CW dalga girişimli radar olarak nitelendirildi. 1934'te 60 MHz'lik bir CW girişimli radar NRL (Navy Research Laboratory – Deniz Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı) tarafından sergilendi.

İlk CW radarlar bir hedefin yerinin değil, sadece varlığının tespitinde kullanılırdı. Bir hedefin yerini saptamak için gerekli işlemler, o zaman için çok karmaşıktı. 1933'te hedefin yer ve hızını saptamak için bir seri verici ve alıcının kullanılması teklif edildi. Fakat bu hiçbir zaman gerçekleştirilmedi.

Hedeflerin tam olarak yerlerinin saptanması için güçlüklerin darbeleri radarlarla yenileceği anlaşıldı ve 1934'te NRL'de darbeleri radarların geliştirilmesi için çalışmalara başlandı. Fakat çalışmaya öncelik tanınmadı ve R.M.Page tarafından yan çalışma olarak yapıldı.

Darbeleri radarların denemelerine ilişkin ilk girişim 1934 ve 1935'te 60 MHz'te yapıldı, fakat başarısızlıkla sonuçlandı. Katot ışın lambasında (CRT-Cathode Ray Tube) eko şekli elde edilemedi. Bunun nedeni, alıcının darbeleri radar yerine CW için tasarlanmış olmasıydı. Bu bozukluklar düzeltilip 28 Nisan 1936'da ilk darbeleri radar ekosu, NRL'de 28.3 MHz'lik bir işaretle 5 μ s'lik darbe ile elde edildi. Mesafe, 2.5 mil idi ve Haziran'da mesafe, 25 mil buldu.

Özellikle gemilerin büyük anten taşıyamaması nedeniyle NRL tarafından frekansın yükseltilmesi gerekliliği öne sürüldü. 28 MHz'lik denemelerin başarısı 200 MHz'lik denemelere yol açtı. 200 MHz frekansında ilk eko, 2 Temmuz 1936'da elde edildi. Bu radar, aynı zamanda ilk duplexer kullanan radar oldu ve mesafesi, 10 ile 12 mil idi. 1937 baharında USS Leary gemisine yerleştirilip denendi. 200 MHz'lik radarın mesafesi, alıcı ile sınırlanmıştı. Yüksek güçlü lambaların geliştirilmesiyle Ocak 1938'de XAF diye bilinen 200 MHz'lik radar geliştirildi. Antenden aktarılan güç sadece 6 kW olmakla beraber 50 millik bir mesafe elde edildi. XAF, USS Newyork gemisinde başarıyla denendi ve 10 ile 21 millik mesafeler elde edildi. Ekim 1939'da, geliştirilmiş bir şekli olan CXAF için gerekli siparişler yapıldı. 1941'e kadar bunlardan 19 adedi donanma gemilerine yerleştirildi.

1936'nın ilk ayında ABD Kara Kuvvetleri, mesafesi 7 mil olan ilk darbe radarını denedi. 1938'de uçaksavar kontrolünde kullanılan bu radar, SCR-268 olup patenti, William R.Blair'e verildi. Bu patentle birlikte eko radyo tespitinin temelleri saptanmış oldu. Albay Blair'in patenti, onu darbeleri radarın icat edicisi olarak gösterse de gerek ABD'de gerekse dış ülkelerde bu tip radarla ilgilenenlerin fazla olması ona bu ünvanın verilmesini zorlaştırmıştır.

SCR-268, arama ışıkları ile birlikte atış kontrolü için kullanıldı. Açısal ayırımın zayıf olmasına karşın bu radarın mesafe ölçme özellikleri, optik yöntemlere oranla daha duyarlıydı. Ocak 1944'te SCR-584 radarı yerini alıncaya kadar SCR-268 radarı, atış kontrolünün standart radarı olarak kullanıldı. SCR-484 ise, arama ışıklarına gerek duymaktaydı.

1939'da ordu, uzun menzilli olan ve erken ihbarda kullanılan SCR-270'i geliştirdi. Aralık 1941'deki Pearl Harbor baskını bir SCR-270 ile saptandı, fakat radar

alıcısındaki ekoların anlamı bombalar patlayıncaya kadar anlaşılmadı. Geliştirilmiş bir SCR-270, 1946'da aydan ilk ekoların alınmasını sağladı.

Darbeli radarın ilk gelişmeleri ordu uygulamalarıyla ilgiliydi. Başlangıçta radar olarak bilinmemesine rağmen "frekans modüleli yükseklik ölçücü", ticari amaçla kullanılan ilk radardır (1936). Çalışma prensipleri FM-CW gibi olan bu radyo yükseklik ölçücünün hedefi yerd.

İngiltere'de radarın gelişmesi ABD'den sonradır fakat, savaşa daha yakın olmaları onların radar üzerindeki çalışmalarını hızlandırdı. İngilizlerin radara girişleri 1935'te Robert Watson Watt'tan ölü bir ışının radyo dalgaları ile üretilmesinin istenmesiyle gerçekleşmiştir. Watt, bunun çok büyük güç gerektirip o zaman için imkansız olduğunu söyledi ve radyo tespitinin araştırılmasını önerdi. Kendisine radyo tespit imkanlarının araştırılması için izin verildi ve 1935'te bir radar sistemi için gerekli şartlar gerçekleştirildi. Aynı zamanda 6 MHz.lik bir haberleşme donanımı kullanılarak bir uçağın tespiti yapıldı. Bu deneme, ABD'deki ilk radar denemesine çok benziyordu. Alıcı ile verici birbirlerinden 5.5 mille ayrılmışlardı. Uçak, alıcıdan uzaklaşınca 8 millik bir menzilden eko alınabiliyordu.

Haziran 1935'te İngilizler uçak hedeflerinin menzillerini ölçmek için darbe tekniğini kullandılar. Bu, NRL denemelerinden bir sene önceydi. Eylül ayına kadar bombardıman uçakları için 40 millik menziller elde edildi. Frekans, 12 MHz. idi. Aynı zamanda yansımış işaretin yükseliş açısını ölçerek, uçağın yerden yüksekliğinin ölçümü yapıldı. Mart 1936'da menzil, 80 mile; frekans ise, 25 MHz'e yükseltildi.

1937 Nisanında 25 MHz'te çalışan bir seri CH (Chain Home) radarı sergilendi. 1938 Eylül'üne kadar istasyonların çoğu çalışır duruma geçirildi. Aynı anda CH radar istasyonları günde 24 saat çalışmaya başladı ve II. Dünya Savaşı sonuna kadar devam etti.

İngilizler, karada mevkenilmiş radarların gece ve kötü hava şartlarında savaş uçaklarını kesinlikle yöneltmeyeceklerini anladılar. Bundan dolayı 1939'da düşman uçaklarını algılayan bir uçak radarını (AI - Aircraft Intercept) uçaklarına

monte ettiler. Bu AI radarı, 200 MHz'te çalışmaktaydı. AI radarının geliştirilmesinde havadan gemi ekolarının algılanabileceği ve ekoların alttaki yerin özelliklerine göre değiştikleri görüldü. Bunun üzerine denizaltı ve gemilerin algılanmasında bu radarlardan faydalanıldı. İkinci özellik ise, daha sonra harita yapımında radarlarca kullanıldı.

1940 ortalarına kadar radarın geliştirilmesi ABD ve İngiltere'de bağımsız olarak devam etti. 1940 yılının Eylül ayında, bir İngiliz heyeti Amerika'ya giderek bilgi alışverişinde bulundu. İngilizler, mikrodalga frekanslarında elde edilebilecek açı seçiciliğinin avantajlarını anladılar. Amerikalılara bir mikrodalga AI radarı ile yine bir mikrodalga uçaksavar kontrol radarı geliştirmeleri önerisinde bulundular. Heyet, Profesör J.T.Randal ve Dr.H.A.H.Boot tarafından geliştirilen magnetronun Amerikalılar tarafından imal edilebilmesi için gerekli bilgiyi verdi. Randell ve Boot magnetronları, 10 cm'lik dalga boyları için 1 kW çıkış gücü verip o zamana kadar geliştirilen ve santimetreler cinsinden dalga boyu olan aygıtlardan 100 kat daha güçlüydüler (Şekil 5.4) [5]. Magnetronun geliştirilmesi, mikrodalga radarlarının geliştirilmesindeki en önemli aşamalardan biridir.

1940 sonlarına doğru mikrodalga başarısı kanıtlanmış gibiydi ve bundan dolayı ABD servis laboratuvarları, VHF bandında (Tablo 5.1) [6] radar geliştirilmesine başladılar. Bunun nedeni, bu banttaki teknik ve aygıtların daha elverişli ve ucuz olmasıydı. Mikrodalga bölgesinin radara uygulanma işi, 1940 Kasım'ında MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından kurulan Radyasyon Laboratuvarına verildi.



Şekil 5.4. İlk İngiliz Magnetronu

Tablo 5.1 Radar Frekans Bantları

Letter designation	Frequency (GHz)	New band designation (GHz)
<i>HF</i>	<i>0.003 - 0.03</i>	<i>A</i>
<i>VHF</i>	<i>0.03 - 0.3</i>	<i>A < 0.25; B > 0.25</i>
<i>UHF</i>	<i>0.3 - 1.0</i>	<i>B < 0.5; C > 0.5</i>
<i>L-band</i>	<i>1.0 - 2.0</i>	<i>D</i>
<i>S-band</i>	<i>2.0 - 4.0</i>	<i>E < 3.0; F > 3.0</i>
<i>C-band</i>	<i>4.0 - 8.0</i>	<i>G < 6.0; H > 6.0</i>
<i>X-band</i>	<i>8.0 - 12.5</i>	<i>I < 10.0; J > 10.0</i>
<i>Ku-band</i>	<i>12.5 - 18.0</i>	<i>J</i>
<i>K-band</i>	<i>18.0 - 26.5</i>	<i>J < 20.0; K > 20.0</i>
<i>Ka-band</i>	<i>26.5 - 40.0</i>	<i>K</i>
<i>MMW</i>	<i>Normally > 34.0</i>	<i>L < 60.0; M > 60.0</i>

1930 yıllarında Fransa ve Almanya’da radar, İngiltere ve ABD’den bağımsız olarak geliştirildi. Japonya, İtalya ve Rusya savaşa girene kadar radarla ilgilenmediler.

II. Dünya Savaşı’nın sonunda, bilimadamları ve mühendisler, barış zamanının amaçlarına uygun olarak radarla ilgilendiler ve radarın gelişme hızı önemli ölçüde düştü. Savaşı takip eden on yılda kullanılan radarlar, savaş süresince geliştirilenlerdi. Bu zamanda AN/FPS-6B, AN/FPS-3 ve AN/FPS-6 yükseklik bulucu radarları uçakların uzun menzilde saptanmalarında kullanıldılar [4]. Fakat 1950’lerin başında, bazı yeni gelişmelerle radarın yetenekleri artırıldı. Bunların en önemlilerinden biri, yüksek güçlü klystron’ların (bir nevi elektromanyetik dalga üreten lamba) geliştirilmesiydi. Klystron, magnetrona oranla daha kararlı olup daha fazla güç üretebiliyordu. Zamanla bunların gelişmesi, MTI radarının gelişmesini sağlamıştır.

Büyük gelişme gösteren radarın bir diğer bölümü ise, alıcıdır. Kristal mikserlerle alçak gürültülü TWT (Traveling Wave Tube – seyahat eden dalga lambası) elemanlarında sağlanan ilerlemeler, mikrodalga alıcılarının duyarlılığını 10 kat arttırmıştır. Parametrik yükseltici ile MASER (Magnetic Amplification Stimulated Emission of Radiation–Uyarılmış Radyasyon Yayılımının Manyetik Yükseltmesi) alıcıları, dış gürültü ve iletim hatları kayıplarının alıcı duyarlılığını saptamada aygıttan daha önemli olacak kadar geliştirildiler.

1930’larda radar frekansları, UHF veya daha düşüktü. 1940’larda ise, çalışmalar mikrodalga bölgesine kaydırıldı. 1950’lerde, özellikle uzun menzilli arama radarlarında UHF’e dönüş olmuştur. Yine 1950’lerdeki gelişmelerden biri, radar sistemi ile silah sisteminin kaynaşıp birleşmesidir. Bu, bilgisayar tekniklerinin gelişmesiyle mümkün olmuştur. AI radarı, normal olarak pilot tarafından yapılan nişan alma ve ateşleme işlemlerinin radar ile bilgisayar tarafından yapılmasını sağlayacak kadar geliştirildi. Silah ile radarın en güzel kaynaşmasını güdümlü mermilerde görmekteyiz. Savunma sistemlerinde, uçakların rotasının çizilmesinde SAGE (Semi-Automatic Ground Environment – Yarı Otomatik Yer Çevresi) tipi bilgisayarlardan yararlanılmıştır.

II. Dünya Savaşı sonrası radarları, savaş zamanındaki radarlardan daha uzun menzilli ve daha hassastırlar. 1950'lerdeki takip radarları 1940'lardaki radarlara nazaran 10 kat daha fazla hassasiyette bilgi vermekteydiler. Monopals takip radarlarının gelişmesi de bu zamana rastlar. Hassas takip ihtiyacı, güdümlü mermi sistemlerine gerek duyulmasıyla önem kazanmıştır. 1950'lerin sonlarında, Sputnik ve kıtalararası balistik mermilerin gelişmesiyle radar menzili de önem kazandı. Bu çok güçlü vericiler, büyük antenli radarların gelişmesine liderlik yapmıştır.

Radarın gelişmesi, askeri gerekliliklerden dolayı hız kazanmış fakat, hava durumu ve deniz araştırmaları gibi birçok sivil uygulamalarda da kullanılmıştır. Radar teknolojisi, halen gelişmektedir ve birçok uygulamalarda tam istenildiği gibi olmasa bile yeni bir yöntem bulununcaya kadar radar, uzun menzildeki enerji yansıtabilen maddelerin saptanmasında tek yöntem olarak kullanılmaya devam edecektir.

Radarlar tabiiatta bulunan doğal radarlardan örnek alınmıştır. Yunus ve yarasaların, elektromanyetik radar, eko ve ultrasonik sonarlara benzer yöntemlerle ultrasonik metotları kullanarak yer saptadıkları bilinmektedir. Yarasalar, mağaralarda hareket edebilecek ve böcek avlayabilecek şekilde ultrasonik bir radara sahiptirler. Yarasalar, süresi 2 milisaniye olan ultrasonik dalgalardan saniyede 10 ile 20 adet pals (darbe) yaymaktadırlar. Yarasa, dururken 5 ile 10 Hz; hareket ederken ise, 50 ile 60 Hz tekrarlama frekansında (saniyede 50 veya 60 adet) palslar yayar. Yarasaların yaymış olduğu darbeler, tam dikdörtgen şeklinde olmayıp ilk önce düşük, sonra belirli bir tepe değerine yükselen ve daha sonra tekrar düşen değere sahiptir. Frekans modüleli transmisyonlar 78 KHz'ten başlayıp 39 KHz'e kadar düşer ve maksimum genlikte ortalama frekans 48 KHz'tir. 2 milisaniyelik ultrasonik palsın uzunluğu 70 santimetre olduğuna göre yarasa, hedef uzaklığını bulmak için frekans değişikliği yapmalıdır.

Yarasalar 5 santimetre uzaklıktaki hedefleri saptayabilirler. Deneysel olarak yarasanın başı 45°lik bir açı yapıyorsa, emisyon kuvveti büyük oranda düşmektedir. Diğer ilginç bir nokta da, binlerce yarasanın birbirlerini etkilemeden bu transmisyon şeklini kullanabilmeleri ve ondan yararlanabilmeleridir.

5.2. Radar Esasları

5.2.1. Genel esaslar

Radar terimi günlük konuşma dilinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hareketli bir nesnenin hızını tespit etmenin metodundan bahsederken büyük bir olasılıkla radarı kullanırız. Radar terimi, **R**Adio **D**etection **A**nd **R**anging (Radyo Tespit ve Mesafe) kelimelerinden oluşan bir kısaltmadır. Terim, yansıyan elektromanyetik enerjinin kullanılması yoluyla nesnelerin varlığını, yönünü, yüksekliğini ve mesafesini belirleyen elektronik cihazı işaret etmek için kullanılır.

Radar, atmosferdeki veya dış uzaydaki insan gözünün yardım kabiliyeti dışında olan uzak mesafelerdeki hedeflerin tespit edilmesini mümkün kılar. Bir radar, görsel tespiti önleyen karanlık, sis, bulut, duman veya diğer birçok engelden etkilenmeksizin hedefleri tespit edebilir. Radarlar, bir hedefin nispi yönünü, mesafesini, hızını ve ivmesini belirleyebilir. Görsel izleme kabiliyetinin dışındaki mesafelerde bu niteliklerin tespitindeki radarın üstünlüğü, hava trafik kontrolünde, çarpışmayı önlemede, meteorolojide, harita yapımında, erken uyarı savunma sistemlerinde ve diğer birçok uygulamalarda radar sistemlerinin kullanımını teşvik etti.

Bugün kullandığımız hayli karmaşık sistemler dahilinde radarların gelişimi, birçok insan ve ulusların gelişimini temsil eder. Radarın genel prensipleri uzun zamandır biliniyordu fakat, kullanışlı bir radar sistemi geliştirilmeden önce birçok elektronik keşifler gerekiyordu. İkinci Dünya Savaşı pratik radarı geliştirmek için bir dürtü sağladı ve ilk uyarlamaları savaş başladıktan çok kısa bir süre sonra kullanımdaydı. Radar teknolojisinde, savaştan bu yana geçen yıllar içinde büyük ilerlemeler sağladı. Şimdi, ilk uyarlamalarından daha küçük, daha etkili ve daha iyi olan radar sistemlerine sahibiz.

Modern radar sistemleri, suüstü ve hava nesnelerinin erken tespiti için kullanılırlar ve son derece doğru mesafe bilgisi sağlarlar. Radar, füzelerin hedefler üzerine güdümlenmesinde ve silah sistemlerinin atışını yönlendirmede kullanılır. Diğer radar çeşitleri, uzun mesafe gözetleme ve seyir bilgisi sağlarlar.

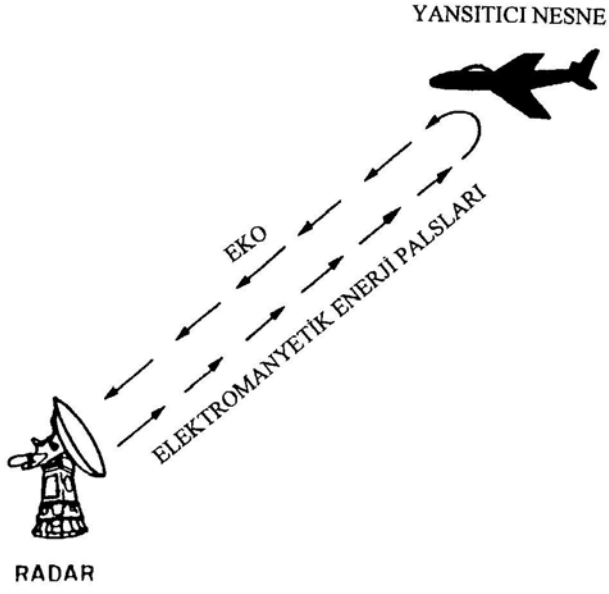
5.2.2. Temel radar kavramları

Radar çalışmasındaki elektronik prensip, ses dalgasının yansıma prensibine çok benzerdir. Eğer kayalık bir uçurum veya mağara gibi ses yansıtan bir nesneye doğru bağırsanız, bir EKO (yankı) işitirsiniz. Eğer, sesin havadaki yayılma hızını bilerseniz (1080 feet/saniye veya yaklaşık olarak 340 metre/saniye), daha sonra nesnenin genel yönünü ve mesafesini tahmin edebilirsiniz. Sesin hızı bilinirse, bir ekonun dönüşü için gereken süre kaba olarak mesafeye çevrilebilir.

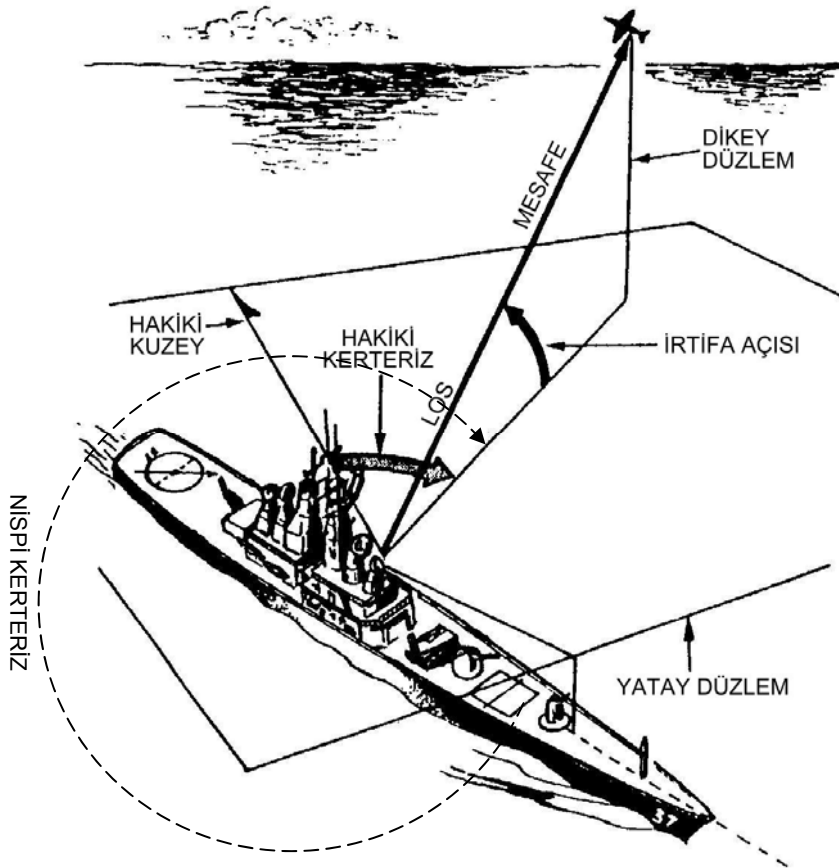
Radar, Şekil 5.5'te gösterildiği gibi, çoğunlukla aynı yöntemde elektromanyetik enerji palslarını kullanır. Radyo frekans (RF) enerjisi gönderilir ve yansıtıcı nesneden yansır. Bu dönen enerji, ses terminolojisinde olduğu gibi EKO (echo) olarak adlandırılır. Radar cihazları, yansıtıcı nesnenin yönünü ve mesafesini tespit etmek için ekoyu kullanır.

Hedef (target), dönüş (return), eko (echo), temas (contact), nesne (object) ve yansıtıcı nesne (reflecting object) terimleri, bir radar sistemi tarafından tespit edilen bir suüstü ve hava nesnesini belirtmek için değişimli olarak kullanılacaktır.

Radar sistemleri teleskoplarla ortak bazı karakteristiklere de sahiptirler. Her ikisi de sınırlı bir sahada görüş sağlarlar ve tespit edilen nesnelerin pozisyonlarını belirlemek için referans koordinat sistemlerine ihtiyaç gösterirler. Bir teleskop içinden gördüğünüz gibi bir nesnenin yerleşimini açıklarsanız, muhtemelen manzaranın en belirgin özelliklerine başvuracaksınız. Radar, daha hassas bir referans sistemi gerektirir. Radarın satıhtan yapılan açısız ölçümleri, normal olarak bir gemi veya bir uçağın baş hattından veya Şekil 5.6'da gösterildiği gibi **Hakiki Kuzey (True North)**'den saat yönünde yapılırlar.



Şekil 5.5 Radar Ekosu



Şekil 5.6 Radar Referans Koordinatları

5.2.2.1. Yatay ve dikey düzlemler

Dünya yüzeyi, bulunulan noktadaki dünya yüzeyine teğet (veya paralel) olan bir hayali düzlem tarafından temsil edilir. Bu hayali düzleme, Yatay Düzlem (Horizontal Plane) denir. Yukarı doğru olan tüm açılar, yatay düzleme dik olan ikinci bir hayali düzlemde ölçülürler. Bu ikinci hayali düzleme, Dikey Düzlem (Vertical Plane) denir. Radar, bu koordinat sisteminin merkezindedir.

5.2.2.2. Görüş hattı, mesafe ve irtifa açısı

Radardan temasa olan doğrusal hatta, Görüş Hattı, Nişan Hattı (Line of Sight) veya kısaca LOS denir. Bu hattın uzunluğuna Mesafe (Range) denir. Yatay düzlem ile nişan hattı (LOS) arasındaki açığa, İrtifa Açısı (Elevation Angle) denir.

5.2.2.3. Hakiki kerteriz

Yatay düzlemde hakiki kuzey ile hedefe doğrudan işaretlenen bir hat arasında saat yönünde ölçülen açığa, Hakiki Kerteriz (True Bearing) veya Drisa Açısı (Azimuth Angle) denir.

Mesafe, kerteriz ve irtifadan oluşan bu üç koordinat, antene göre bir radar temasının bulunduğu mevkisini tanımlamaktadır.

5.2.2.4. Nispi kerteriz

Hedef istikameti ile gemi pruvası arasında kalan açığa, Nispi Kerteriz (Relative Bearing) denir. Gemi pruvasından saat yelkovanı istikametinde ölçülen açıdır.

5.2.3. Desibel ölçme sistemi

Radar cihazlarından bahsederken kullanılan yaygın bir terim, geniş oranların ifadesinin kısaltılmış bir yöntemi olan desibel'dir (dB). Bir indikatörün veya cihazın performansından bahsederken desibel yaygın olarak kullanıldığından dolayı, desibel

ölçme sisteminin temel bir bilgisine sahip olmanız gerekir. Çoğu modern test cihazı, karmaşık matematiksel hesaplamaların gereğini ortadan kaldıran desibel'leri göstermek ve ölçmek üzere dizayn edilir. Buna rağmen desibel olarak ifade edilen cihaz kazanç oranlarının ve dB okumalarının önemini anlamamız için, temel bir desibel ölçme sisteminin açıklaması gereklidir.

Bu sistemde ölçümün temel birimi, desibel değil bel'dir ve bu ölçü birimi, Amerikalı mucit, Alexander Graham Bell'i onurlandırmak için verilmiştir. Bel, verilen herhangi bir eleman, devre veya sistemin giriş ve çıkışı arasındaki logaritmik oranı ifade eden bir birimdir ve voltaj, akım veya güce göre ifade edilebilir. Çoğunlukla giriş ve çıkış gücü arasındaki oranı göstermek için kullanılmaktadır.

$$N = \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{ bel}$$

Bir yükselticinin kazancı, çıkış gücünün (P_1) giriş gücüne (P_2) bölünmesi ve sonuç bölümün 10 tabanına göre logaritmasının alınmasıyla bel olarak ifade edilir. Böylece bir yükselticinin çıkış gücü iki kat arttırılırsa bölüm, 2 olacaktır. Bir logaritma tablosuna başvurduğumuzda, 2'nin 10 tabanına göre olan logaritmasını 0.3 olarak buluruz; böylece yükselticinin güç kazancı, 0.3 bel'dir. Şimdiye kadar edinilen tecrübeler, bel'in oldukça büyük bir değer olduğunu ve uygulamasının güç olduğunu gösterdi. Daha kolay olarak uygulanabilen daha pratik bir birim, desibeldir (1/10 bel). Bel olarak ifade edilen herhangi bir sayı, sayının 10'a bölünmesi veya ondalık noktayı bir basamak sağa hareket ettirerek kolayca desibel'e çevrilebilir. 0.3 bel değerini desibele çevirmek için ondalık noktayı bir basamak sağa hareket ettirdiğimizde, 3 desibel değerini buluruz.

Radarların tartışılmasında kullanılan yaygın bir terim, geniş oranların ifadesinin kısaltılmış bir yöntemi olan desibel'dir (dB). Radar çıkış gücünü 1000 kat arttırırsak, bu 30 dB'lik bir artmadaki gibi aynıdır. Önemli olan hangi güç seviyesiyle sona erdiğimiz değil başladığımız yerdekine kıyasla bitirdiğimiz güç seviyesinin oranıdır. 1 watt'tan 100 watt'a veya 1000 watt'tan 100000 watt'a güç seviyesindeki yükselme 20 dB'lik bir iyileşmedir.

Tersi de doğrudur. 20 dB'lik bir kayıp, gücün eski değerinin %1'ine azalması anlamındadır. 30 dB'lik bir kayıpla, biz ilk gücümüzün binde birine (%1) sahibiz. İlk gücün ne olduğu önemli değildir. 20 dB'lik bir kazanç (veya kayıp), yeni güç seviyesinin 100 kat büyümesi (veya küçülmesi)dir.

Birçok elektronik veya mekanik cihaz, logaritmik bir davranışla çalışır. Güç değişimleri, oranlardan ziyade desibel olarak ifade edildiğinde, sonuçlardaki değişimlerle yakından ilgilidir. İnsan kulağı, böyle bir cihazdır. Gerçekten desibel, ilk olarak insan kulağının tespit edebildiği ses gücü seviyesindeki en küçük değişmeyi ifade etmek için kullanılmıştır.

Bir güç oranının desibel değeri, oranın ortak (taban 10) logaritmasının 10 katına eşittir. Örneğin 50 watt'lık bir çıkışa sahip bir vericinin çıkış güç seviyesini 100 watt'a çıkarmak istiyorsunuz. İki güç seviyesinin oranı, $100/50 = 2$ veya 2:1'lik bir orandır. 2 rakamının ortak logaritması $= 0.30$ 'dur ($\log_{10} 2 = 0.30$). P'nin güç oranı olduğu yerde formüle yerleştirildiğinde ;

$$\text{Desibel} = 10 \log_{10} P = 10 \log_{10} 2 = 10 (0.30) = 3 \text{ dB bulunur.}$$

Zayıflatıcı (attenuator), bir ölçüm birimi olarak desibel'in önemini göstermek için test cihazının yaygın olarak kullanılan bir parçasıdır. Zayıflatıcılar, bir sinyali ölçüm veya kullanım maksadıyla daha küçük bir seviyeye azaltmak için kullanılırlar. Değerli ölçüm cihazlarının hasara uğramasını önlemek için, dB oranı ve zayıflatıcının sağladığı azaltma arasındaki ilişkinin bilinmesi gereklidir. Kaynak seviyesinin ilk basamağı, 10'un üslü kuvvetine uyan rakamla aynıdır; örneğin 40 dB $= 1 \times 10^4$ veya 10000'dir. Örneğin 20 dB'lik bir zayıflatıcı, giriş sinyalini 100 faktörüyle zayıflatacaktır. Diğer bir ifadeyle 100 mW'lık bir sinyal, 1 mW'a azaltılacaktır.

Genellikle yaygın olarak kullanılan desibel güç seviyeleri, Tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2 Desibel güç oranları

Kaynak Seviyesi (dB)	GÜÇ ORANI	Kaynak Seviyesi (dB)	GÜÇ ORANI	Kaynak Seviyesi (dB)	GÜÇ ORANI
0.0	1.00	6.0	3.98	30.0	1000.00
0.5	1.12	7.0	5.01	40.0	10000.00
1.0	1.26	8.0	6.31	50.0	10 ⁵
1.5	1.41	9.0	7.94	60.0	10 ⁶
2.0	1.58	10.0	10.00	70.0	10 ⁷
3.0	2.00	15.0	31.60	80.0	10 ⁸
4.0	2.51	20.0	100.00	90.0	10 ⁹
5.0	3.16	25.0	316.00	100.00	10 ¹⁰

Bir 30 dB'lik zayıflatıcı, 100 mW'lık aynı sinyali 1000 faktörüyle zayıflatacak ve 0.1 mW'lık bir çıkış üretecektir. Gereken değerde bir zayıflatıcı mevcut değilse, istenilen zayıflatma miktarına ulaşmak için birkaç küçük değerli zayıflatıcı seri olarak eklenebilir. Bir 10 dB'lik zayıflatıcı ile bir 20 dB'lik zayıflatıcı seri olarak bağlanırsa, 30 dB'lik bir zayıflatma sağlar. Bir yükseltici, seri bağlı 10 dB'lik iki kademeye sahipse, toplam yükseltici kazancı 20 dB olacaktır.

Normal olarak giriş sinyali referans olarak kullanılmaktadır. Buna karşılık uygulama bazen standart bir referans sinyali kullanımını gerektirir. dB ölçme sisteminde çok yaygın olarak kullanılan referans seviye, 1 mW'lık bir sinyaldir. 1 mW standart referansın kullanımını göstermek için dB'nin standart desibel kısaltması, dBm'e çevrilir. Böylece +3 dBm seviyesindeki bir sinyal, 1 mW'ın üzerinde 3 dB'dir ve -3 dBm seviyesindeki bir sinyal, 1 mW'ın altında 3 dB'dir. DB veya dBm kullanımında bir pozitif (+) işaret (veya hiç işaret yok iken), çıkış sinyalinin referanstan daha büyük olduğunu gösterir; bir negatif (-) işaret, çıkış sinyalinin referanstan daha küçük olduğunu gösterir.

Radar cihazının alıcı hassasiyetini gösteren bir rakam olarak sıkça dBm ölçme sistemi kullanılmaktadır. Tipik olarak bir radar alıcısı, alıcının 1 mW'tan 107 dB

düşük bir sinyali tespit edebileceği anlamına gelen yaklaşık olarak -107 dBm'de oranlanacaktır.

Desibel ölçme sistemini anlamının önemi, alıcı hassasiyeti ölçümleri durumunda kolayca görülebilir. İlk anda -107 dBm kadar büyük bir rakamdan -3 dBm'lik bir kaybın önemsiz olduğu görülebilir. Buna karşılık rakam, desibel sisteminde alıcı hassasiyetini gösterdiğinde bu kayıp, aşırı derecede önemli olur. Hassasiyet -104 dBm'e düştüğünde alıcı, sadece -107 dBm'de olan sinyalin iki katı daha büyük bir sinyali tespit edebilecektir.

Desibeller, 1 mW'a (dBm) ilişkili olarak ifade edilebilirler. Desibeller, 1 W'a (dBW) ilişkili olarak ta ifade edilebilirler. Tablo 5.3, 10 'un kuvvetlerini ve dBm ile dBW'a uyan güç seviyelerini ondalık değer ve önekiyle gösterir.

Zayıflatıcı (attenuator), ölçü birimi olan desibel'in önemini göstermek için test cihazlarında yaygın olarak kullanılan bir parçadır. Zayıflatıcılar, bir sinyali kullanılabileceği veya ölçüleceği daha küçük bir seviyeye düşürmek için kullanılırlar. Çoğu zayıflatıcılar, sinyali azaltıldığı desibel sayısı olarak oranlanırlar. Cihazda güç ve sinyal ölçümü amacıyla zayıflatıcıları kullanan personel, zayıflatıcının sunduğu güç azaltması ile dB oranı arasındaki ilişkiyi bilmelidir.

5.2.4. Elektromanyetik spektrum

Dalgalar, mekanik ve elektromanyetik olmak üzere başlıca iki ana kısma ayrılırlar. İkisi arasındaki en önemli fark, mekanik dalgaların yayılması için belirli bir ortam gerekmesidir. Elektromanyetik dalgaların yayılması için herhangi bir ortam gerekli olmayıp boşlukta ve boş olmayan diğer ortamlarda ışık hızıyla yayılırlar. Su dalgaları, yay dalgaları, ses dalgaları, sismik dalgalar gibi dalgalar mekanik dalgalardır. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X (Röntgen) ışınları ve Gamma ışınları elektromanyetik dalgalardır.

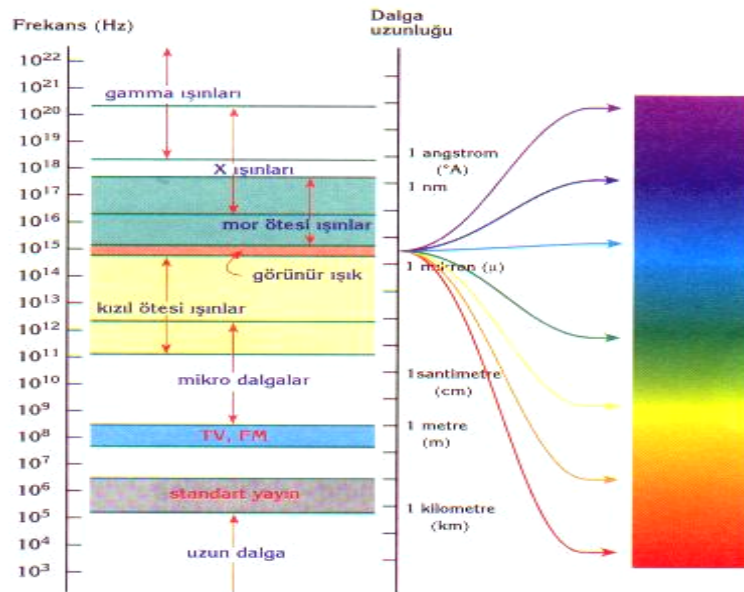
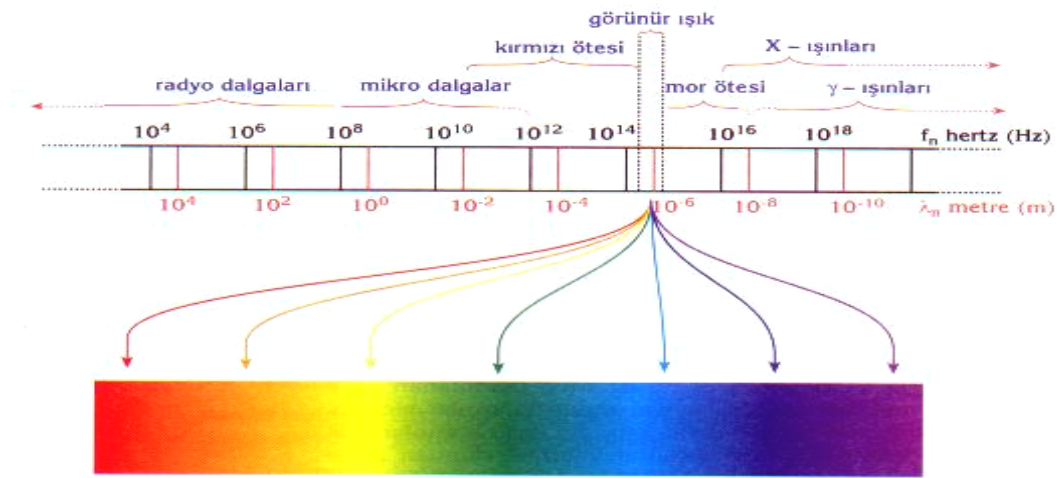
Dalgaları yayılma doğrultusuna göre enine dalgalar ve boyuna dalgalar olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Elektromanyetik dalgalar ve su dalgaları, enine dalgalar; ses

dalgaları, boyuna dalgalardır. Sismik dalgalar hem enine hem de boyuna dalgaları içerir.

Tablo 5.3 10'un Kuvvetleriyle Desibeller (dBm-dBW) ve Watt'taki Önekleri

DBm	DBW	WATT Tam Sayı/Ondalık Sayı	Çarpan/Alt Çarpan	ÖNEK
+150	+120	1.000.000.000.000	10^{12}	1 Terawatt
+140	+110	100.000.000.000	10^{11}	100 Gigawatts
+130	+100	10.000.000.000	10^{10}	10 Gigawatts
+120	+90	1.000.000.000	10^9	1 Gigawatt
+110	+80	100.000.000	10^8	100 Megawatts
+100	+70	10.000.000	10^7	10 Megawatts
+90	+60	1.000.000	10^6	1 Megawatt
+80	+50	100.000	10^5	100 Kilowatts
+70	+40	10.000	10^4	10 Kilowatts (1 Myriawatt)
+60	+30	1.000	10^3	1 Kilowatt
+50	+20	100	10^2	100 Watts (1 Hectowatt)
+40	+10	10	10^1	10 Watts (1 Decawatt)
+30	0	1	10^0	1 Watt
+20	-10	0,1	10^{-1}	100 Milliwatts (1 Deciwatt)
+10	-20	0,01	10^{-2}	10 Milliwatts (1 Centiwatt)
0	-30	0,001	10^{-3}	1 Milliwatt
-10	-40	0,0001	10^{-4}	100 Microwatts
-20	-50	0,00001	10^{-5}	10 Microwatts
-30	-60	0,000001	10^{-6}	1 Microwatt
-40	-70	0,0000001	10^{-7}	100 Nanowatts
-50	-80	0,00000001	10^{-8}	10 Nanowatts
-60	-90	0,000000001	10^{-9}	1 Nanowatt
-70	-100	0,0000000001	10^{-10}	100 Picowatts
-80	-110	0,00000000001	10^{-11}	10 Picowatts
-90	-120	0,000000000001	10^{-12}	1 Picowatt

Elektromanyetik spektrum, Gamma (γ) ışınlarından radyo dalgalarına kadar yayılmış sürekli bir ışımaya dizisidir. Şekil 5-7, elektromanyetik ışımaya kaynağına göre yapılan bir sınıflandırmayı göstermektedir. Elektromanyetik ışımaların fiziksel özellikleri bütün dizide aynıdır. Bütün kısımlardaki ışımalar aynı hıza ve aynı elektromanyetik özelliğe sahiptirler. Aralarındaki tek fark, frekanslarının ve dalga boylarının farklı oluşudur. Spektrum, kesikli değil devamlıdır ve bundan dolayı kesin hatlarla birbirlerinden ayıramazlar.



Şekil 5.7 Elektromanyetik spektrum

5.2.4.1 Radyo dalgaları (radio waves)

İletken anten üzerinde ivmelendirilen yükler tarafından meydana getirilirler. İyonosfer tabakası tarafından yansıtılıp, tuğla ve betondan kolaylıkla geçer, haberleşmenin temelini oluştururlar. Dalga boyları, 30 km ile 1 mm arasında bulunur.

5.2.4.2 Mikrodalgalar (microwaves)

Mikrodalgalar da iletken üzerinde ivmelendirilen yükler tarafından meydana getirilirler. Mikrodalgalar, radyo dalgalarının en kısa dalga boyuna sahip olanlarıdır. Bugün kullandığımız mikrodalga fırınlarının pişirilecek madde üzerine gönderdiği mikrodalgalar, su moleküllerinin tabii dönme frekanslarının biriyle rezonansa gelerek suya enerjisini aktarırlar ve yiyeceklerin içten içe pişmelerini sağlarlar. Ayrıca arabaların hız ölçümünde kullanılan polis radarları, uçakların mevkisini ve hızını ölçen radar sistemlerinde de mikrodalgalar kullanılmaktadır. Mikrodalgaların dalga boyları, 0.01 mm'ye kadar inmektedir.

5.2.4.3. Kızılötesi ışınlar (infrared rays)

Sıcak cisimler tarafından yayılan bu ışınlar çevredeki soğuk cisimler tarafından soğurulduğunda, soğuk cisim ısınır. Sağlam ve hasta bir uzvun yaydığı kızılötesi ışınlar birbirlerinden farklı olduklarından tıpta hastalık teşhisi için kullanılırlar.

5.2.4.4. Görünür ışık (visible light)

İnsan gözünün algılayabildiği ışınlar, çok sıcak cisimlerden yayılırlar. Bu ışınların dalga boyları 3750 Å (Angstrom) ile 7500 Å arasındadır ($\text{Å} = 10^{-10}$ metre). Spektrumda çok küçük bir kısmı oluştururlar.

5.2.4.5. Morötesi ışınlar (ultraviolet Rays)

Bu ışınların çok büyük kısmının kaynağı, güneştir. Güneşten gelen morötesi ışınların çoğu, atmosferdeki ozon tabakası tarafından soğurulur. Yazın kuzey yarım kürede öğle vakti güneş çarpması diye tanımlanan olay, morötesi ışınlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca morötesi ışınlar, elektrik arkları ve gaz boşalmalarından da meydana gelmektedir. Bu ışınlar, canlılarda D vitamini oluşmasında katalizör görevi yaparlar.

Normal camdan geçemeyen morötesi ışınlar, kuartz camından rahatlıkla geçebilmektedir. Dalga boyları bakterileri öldürecek büyüklükte olduklarından dezenfekte ve kokuşmanın önlenmesinde kullanılırlar.

5.2.4.6. X-ışınları (x-rays)

Yüksek enerjili elektronların metal bir hedefe çarptırılarak durdurulması sonucu oluşan ışınlardır. X-ışınları saydam olmayan maddelerden bile geçerler, kurşun levhalar tarafından durdurulurlar, geçtikleri gaz ortamını iyonlaştırırlar. İnsan vücuduna zararlı etkileri vardır.

5.2.4.7. Gamma ışınları (γ -rays)

Doğal ve radyoaktif maddelerin çekirdek reaksiyonlarında çekirdeğin yeniden yapılanması sırasında fark enerji, γ enerjisi olarak uzaya yayılır. γ ışınları, spektrumun en yüksek enerjili, en düşük dalga boylu ışınlarındanır. γ ışınları canlı varlıklar tarafından alınırsa, dokularını tahrip eder, kontrollü kullanılırsa kanserli hücreleri öldürmede işe yararlar. Enerji değerleri birkaç MeV ($1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13}$ joule) büyüklüğünde olup, 8 cm.lik çeliği bile delebilecek enerji seviyesine sahip olanları da vardır.

5.2.5. Elektromanyetik dalgaların genel özellikleri

- Yüklerin ivmeli hareketlerinden meydana gelirler.
- Enerji taşırlar, bunları soğuran cisimler ısınır. Enerji harcamak suretiyle elde edilirler.

- Işık hızıyla yayılan enine dalgalardır.
- Elektrik ve manyetik alanlar birbirine dik olup, yayılma doğrultusu ise elektrik ve manyetik alanın meydana getirdiği düzleme diktir.
- Elektrik ve manyetik alanlar birbirini doğurarak ışık hızıyla yayılırlar. Elektrik ve manyetik alanlar, aynı fazdadırlar ve $E/H = \text{Yayılma Doğrultusu}$ ’dur.
- Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.
- Yayılmaları için herhangi bir ortama ihtiyaçları yoktur. Fakat hızları ortamdaki etkilenir, yansıma, kırılma, kırınım ve girişim yaparlar.
- Hem dalga hem de tanecik karakterlidirler. Düşük frekanslı dalgalar, dalga teorisinin öngördüğü gibi; yüksek frekanslı dalgalar ise tanecik teorisinin öngördüğü şekilde davranırlar.
- Boşlukta ışık hızıyla yayılırlar.

5.2.6. Frekans kullanımı

Radarlar, birkaç megahertz’ten kızılötesi menzile (lazer radarı) kadar tüm elektromanyetik dalga spektrumunu kullanır. Tablo 5.3 Uluslararası Muhabere Birliği (ITU-International Telecommunications Union)’ne göre güncel radar frekans yerleşimlerini gösterir. Tayin edilen birkaç sistem yıllar boyunca kullanıldı. Radar bant tayin sistemi, L, S ve C gibi bir alfabetik tayin yöntemini içeren bir frekans bandını tanımlar.

Bu kodların teknik kitaplarda veya bazı cihazların üzerinde kullanıldıklarını görebiliriz. Tablo 5.4, tayin edilen radar bantlarını göstermektedir.

Tablo 5.4 Radar Frekans Yerleşimleri

RADAR BANT TAYİNLERİ		ITU FREKANS BANTLARI		EW (ECM) FREKANS BANTLARI		RADAR İÇİN İZİN VERİLEN GÜNCEL ITU FREKANSLARI
		HF	3-30 MHz	A	0-250 MHz	

Tablo 5.4 Devam

						216-225 MHz
P	230-1000 MHz	VHF	30-300 MHz	B	250-500 MHz	420-450 MHz
		UHF	300 MHz-3 GHz	C	500-1000 MHz	890-940 MHz
L	1-2 GHz			D	1-2 GHz	1215-1400 MHz
S	2-4 GHz			E	2-3 GHz	2300-2550 MHz
		SHF	3-30 GHz	F	3-4 GHz	2700-3700 MHz
C	4-8 GHz			G	4-6 GHz	5255-5925 MHz
				H	6-8 GHz	
				I	8-10 GHz	8500-10700 MHz
X	8-12.5 GHz			J	10-20 GHz	10-10.68 GHz
Ku	12.5-18 GHz					13.4-14.4 GHz
K	18-26.5 GHz					15.7-17.7 GHz
Ka	26.5-40 GHz			K	20-40 GHz	23-24.25 GHz
						33.4-36 GHz
		EHF	30-300 GHz	L	40-60 GHz	

Tablo 5.4 Devam

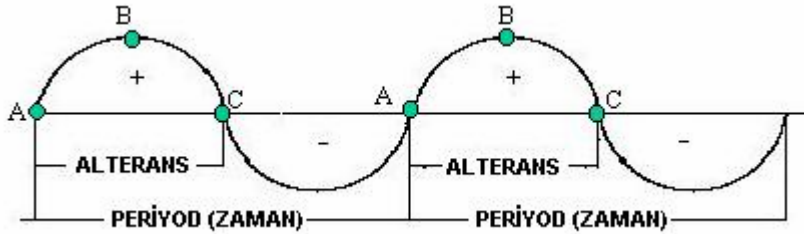
M	>40 GHz					59-64 GHz
M				M	60-100 GHz	76-81 GHz
						92-95 GHz
						95-100 GHz
						126-134 GHz
						134-142 GHz
						144-149 GHz
						231-235 GHz
						238-241 GHz
						241-248 GHz

5.2.7. Frekans, dalga boyu ve hız

Boşluktaki radyo dalgaları, eskiden saniyedeki saykıl (cps : cycles per second) şimdi hertz (Hz) olarak ölçülen salınımın hızı veya sıklığı (f : frequency) tarafından nitelendirilirler ($\text{Hz} = 1/\text{sn}$). Saykıl ise, bitiş noktasında başlangıç noktasındaki şartların aynen olduğu tam bir olaylar zinciridir. Kilo, mega veya giga önekleri sırasıyla 10^3 , 10^6 ve 10^9 'u göstermek için kHz, MHz ve GHz kısaltmalarına uyan Hertz'le kullanılır. Şekil 5.8'de "A" noktaları, "B" noktaları ve "C" noktaları arası 1 saykıldır. Her saykılın oluşması için geçen süreye, periyod (T ile gösterilir) denir. Dalga boyu (λ , Yunan lambda harfi), boşluktaki iki ardışıl dalga tepesinin boşluksal ayrımı olup 1 saykılın uzunluğuna eşittir.

Bu tanımlardan hareketle "bir saniyedeki saykıl arttıkça (frekans yükseldikçe) periyot azalır, dalga boyu kısalır" diyebiliriz. Frekans, radarın kullanım amacını belirler. Uzun menzilli radarlarda düşük frekans, kısa menzilli radarlarda ise yüksek frekans kullanılır. Yüksek frekanslar atmosferden daha çok etkilenirler ve radarın tespit menzili de düşer. Frekans düştükçe elektromanyetik dalgaların yayılma ortamı

tarafından emilmesi azalacağından menzil artar. Kısaca frekans ile menzil, ters orantılıdır.



Şekil 5.8 Saykıl ve Dalga Boyu

Frekans aynı zamanda radarın hassasiyetini de etkiler. Dalga boyunun kısalması (frekansın yükselmesi) daha küçük hedeflerin görülebilmesini sağlar. Frekans, radar hassasiyetini doğru orantılı olarak etkiler. Frekans yükseldikçe hassasiyet artar, düştükçe hassasiyet düşer.

Elektromanyetik dalgalar boş uzayda $c = 186300$ kara mili/saniye, 161875 deniz mili/saniye, 299793 kilometre/saniye; 328 yarda/mikrosaniye veya 984 feet/mikrosaniye hızda seyahat ederler. Bu miktarlar boş uzayda aşağıdaki ifadeyle ilişkilidir :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Boş olmayan uzayda (hava, dielektrik materyallerinin bulunduğu ortamda) yayılma hızı v , genellikle c 'den farklıdır; dolayısıyla dalga boyu $\lambda = v/f$, boş uzay dalga boyundan farklıdır. $c/v = n$ oranı, yayılma ortamının kırılma indisi olarak adlandırılır. Birçok radar için $n = 1$ kabul edilebilir ve bundan dolayı $v = c$ 'dir. c sembolü, özellikle boş uzaydaki (vakum) hız anlamında olmasına rağmen, c hızı, sıklıkla nitelemeksizin radar dalga yayılımının hızı olarak ifade edilir. Dünya atmosferinin iyonizeli olmayan kısmında v , c 'den hafifçe azdır (Bkz. Sayfa 1-32).

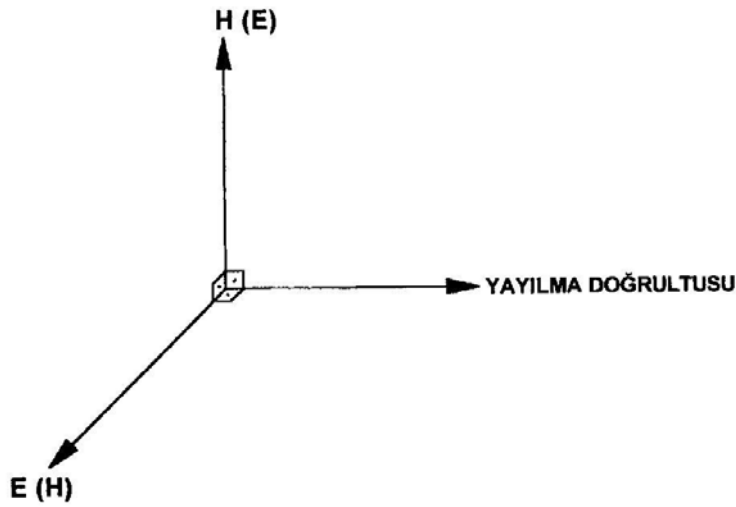
5.2.8 Dalga yayılımı (wave propagation)

Elektromanyetik dalgalar, bir nokta yayın kaynağından dışa doğru ya boş uzayda ya da herhangi bir düzgün yayılma ortamında tüm yönlerde aynı hızda hareket ederler. Onların enerji ve güçleri, genişleyen bir kürenin yüzeyi üzerinde yayılırlar. Bu, kürenin genişlemesiyle verilen herhangi bir sahadaki güç yoğunluğunun azalacağı anlamına gelmektedir.

Eğer kaynaktan olan mesafe 2 faktörüyle artarsa (çiftlerse), gücün yoğunluğu 4 faktörüyle (1/4) azalır. Diğer bir ifadeyle güç yoğunluğu, kaynaktan olan mesafenin karesiyle ters orantılı olarak değişir. Bu, Ters Kare Kanunu olarak bilinir. Bu etki, serbest uzay yayılımında hem dışa doğru hem de dönüş yollarında olduğu için, bir radar hedefinden alınan sinyal gücü (P_r), hedef mesafesinin dörtte bir (1/4) gücü olarak ters etkiyle değişir : $P_r = 1/R^4$

5.2.9. Dalga polarizasyonu

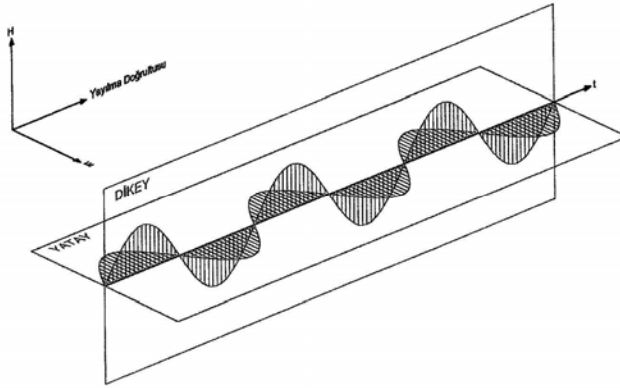
Uzaydaki elektromanyetik dalgalar, üç vektör yönü tarafından nitelendirilirler: (1) yayılmanın yönü; (2) elektrik vektörünün yönü (E); ve (3) manyetik vektörün yönü (H). Uzayda herhangi bir noktada ve belirli bir zaman anında bu üç vektör daima birbirlerine diktirler (Şekil 5.9). Elektrik vektörünün yönü, dalga polarizasyonudur.



Şekil 5-9 Dalga Polarizasyonu (Wave Polarization)

5.2.9.1. Yatay polarizasyon

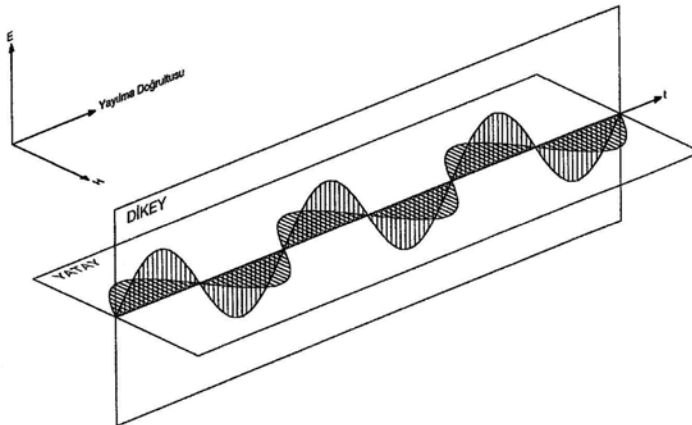
Yatay olarak polarize edilen dalgalar için yayılma vektörü, yataydır (veya yakın olarak öyledir) ve elektrik vektörü de yataydır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Yatay Polarizasyon (Horizontal Polarization-Elektrik Vektörü Yatay)

5.2.9.2. Dikey polarizasyon

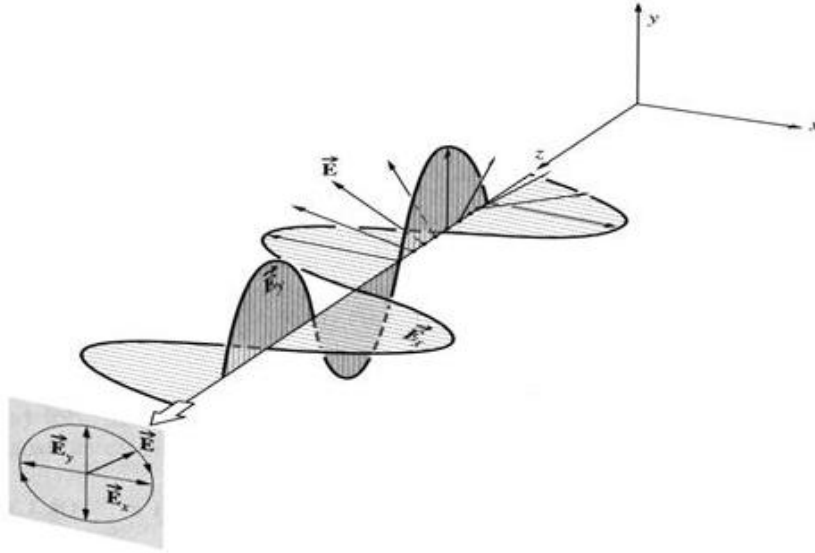
Dikey olarak polarize edilen dalgalar için yayılma vektörü, yataydır (veya yakın olarak öyledir); fakat şimdi, manyetik vektörün yatay olmasıyla elektrik vektörü dikeydir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Dikey Polarizasyon (Vertical Polarization-Elektrik Vektörü Dikey)

5.2.9.3. Dairesel polarizasyon (circular polarization)

Uzayda verilen bir noktada elektrik vektörü radyo frekansında dönerse, elektrik vektörü döndükçe vektör büyüklüğünün değişmesi veya sabit kalmasına bağlı olarak polarizasyon, eliptik veya daireysel olarak adlandırılır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Dairesel Polarizasyon (Circular Polarization)

5.2.10. Radarlarda kullanılan bazı teknik terimler ve anlamları

Aşağıdaki verilen radarla ilgili bazı teknik terimlerin kısa olarak açıklaması yapılmıştır. Bu teknik terimlerin ayrıntılı açıklamaları ise sırası geldiğinde tekrar verilecektir.

5.2.10.1. Pals (pulse)

Radar, çalışma saykılıının çok küçük bir kısmında elektromanyetik enerji gönderimi yapar ve daha sonra uzun bir süre diliminde ise dinleme (alış safhası) konuma geçer. İşte bu elektromanyetik dalgalardan meydana gelen ve darbe veya atım olarak tarif edebileceğimiz enerjinin içeriğine pals adı verilir.

5.2.10.2. Pals genişliği (PW : pulse width veya PD : pulse duration)

Bir radar vericisi tarafından gönderilen elektromanyetik enerji palsının süresine, Pals Genişliği (Pulse Width), Pals Süresi (Pulse Duration) ve bazen de Pals Uzunluğu (Pulse Length) adı verilir.

5.2.10.3. Taşıyıcı frekansı (carrier frequency)

Frekans, sıklık anlamına gelmektedir. Bir radar tarafından yayınlanan palstaki RF enerjinin frekansına, radar sisteminin Taşıyıcı Frekansı (Carrier Frequency) denir. Periyodun tersine eşittir, $f = 1/T$.

5.2.10.4. PRF (pulse repetition frequency – pals tekrarlama frekansı)

Bir radar tarafından bir saniyede gönderilen palsların sayısına, Pals Tekrarlama Frekansı (PRF-Pulse Repetition Frequency) veya Pals Tekrarlama Oranı (PRR-Pulse Repetition Rate) denir ve PRT'nin tersine eşittir. $PRF = 1/PRT$

5.2.10.5. PRT (pulse repetition time – pals tekrarlama zamanı)

Bir palsın başlangıcı ile diğer bir palsın başlangıcı arasındaki zamana, Pals Tekrarlama Zamanı (PRT-Pulse Repetition Time) veya Pals Tekrarlama Aralığı (PRI-Pulse Repetition Interval) denir ve PRF'in tersine eşittir. $PRT = 1/PRF$

5.2.10.6. Tepe güç (peak power)

Bir radar vericisi tarafından gönderilen RF palsın anlık azami güç değeridir.

5.2.10.7. Ortalama güç (average power)

Bir radar vericisinin pals genişliğinde kapsanan gücün (tepe güç) o radarın PRT'si süresince yayılması neticesinde elde edilen gücüne, ortalama güç (average power) denir. Kısaca bir palsın başlangıcından diğer palsın başlangıcına kadar bir vericinin ölçülen çıkış gücüdür.

5.2.10.8. Görev saykılı (duty cycle)

Bir radarın gönderme yaptığı zamanın (PW), gönderme yapmadığı zamana orana Görev Saykılı (Duty Cycle) denir.

5.2.10.9. Minimum mesafe (minimum range)

Bir radar tarafından bir hedefin tespit edilebileceği en düşük mesafe. Pals genişliği ve alıcı geri alma zamanı (receiver recovery time) tarafından etkilenir.

5.2.10.10. Maksimum mesafe (maximum range)

Bir radar tarafından bir hedefin kesin olarak tespit edilebileceği azami menzile. PRF, taşıyıcı frekansı, tepe güç, pals genişliği, alıcı hassasiyeti, anten dönüş sürati, bım genişliği, anten ve hedef yüksekliği, atmosferik olaylar, hedefin yapıldığı materyal ve hedefin radara göstermiş olduğu kesit alanı tarafından etkilenir. Buna karşılık en önemli etkileyen faktör, PRF'tir.

5.2.10.11. Bım genişliği (beam width)

Bir radar anteni tarafından yayınlanan elektromanyetik enerjinin merkez ekseninde güce göre (maksimum güç noktası) elektromanyetik enerjinin gücünün yarıya düştüğü noktalar arasında ölçülen açı, anten bım genişliğini verir. Ölçüm dikey ekseninde yapılırsa dikey bım genişliği (Vertical Beam Width), yatay ekseninde yapılırsa yatay bım genişliği (Horizontal Beam Width) adı verilir.

5.2.10.12. Lob (lobe)

Bir radar anteni tarafından atmosferde oluşturulan bımın şekline kulak memesine benzerliğinden dolayı Lob (Lobe) adı verilmektedir.

5.2.10.13. Yan loblar (side lobes)

Antenden ana transmisyona nazaran anten civarında istenmemesine rağmen daha düşük güce sahip loblar da oluşur. Bu loblara, küçük (minor) veya yan (side) loblar adı verilir.

5.2.10.14. Şüpheli dönüş (ambiguous return)

Birinci transmisyona ait eko, ikinci veya üçüncü transmisyona saykılının dinleme zamanı süresince alınırsa bu ekoya Şüpheli Mesafe (Range Ambiguity) ekosu adı verilir. Ekonun ana lob yerine yan loblardan alınması durumunda Şüpheli Açılı (Angle Ambiguity) oluşur.

5.2.11. Mesafe (range) ölçümü

Yayımlanan elektromanyetik enerjinin özelliğinden dolayı, mesafe veya uzaklığın ölçümü mümkündür. Normal olarak bu enerji, uzayda düz bir hat halinde seyahat eder, fakat meteorolojik ve atmosferik durumlardan dolayı hafifçe değişir.

Daha önce de belirtildiği gibi, elektromanyetik enerji havada yaklaşık olarak saniyede 186000 kara mili veya 162000 deniz milinde ışık hızında seyahat eder. Kara milinin mesafesi, 5280 feet iken; bir deniz mili için mesafe, yaklaşık olarak 6080 feet'tir.

Radar zamanlaması genellikle mikrosaniye olarak ifade edilir. Radar enerjisinin seyahat ettiği mesafeleri radar zamanlamasına ilişkilendirmek için, bir radar cihazından yayımlanan enerjinin 984 feet/mikrosaniye hızla seyahat ettiğini bilmelisiniz. Bir deniz milinin yaklaşık olarak 6080 feet olduğunun bilinmesiyle, aşağıdaki hesaplamayı kullanarak radar enerjisinin 1 deniz miline seyahati için gereken süreyi bulabiliriz :

$$\text{Enerjinin 1 deniz milini kat etme süresi} = \frac{6080 \text{ feet}}{984 \frac{\text{feet}}{\mu\text{sn}}} = 6.18 \mu\text{sn} \text{ (yaklaşık)}$$

Aynı yanıt, feet'in yerine yardanın kullanılmasıyla elde edilebilir. 6080 feet olan bir deniz mili, 2027 yardaya çevrilir ve enerji hızı, mikrosaniyede 984 feet'ten 328 yardaya çevrilir.

$$\text{Enerjinin 1 deniz milini kat etme süresi} = \frac{2027 \text{ yarda}}{328 \frac{\text{yarda}}{\mu\text{sn}}} = 6.18 \mu\text{sn} \text{ (yaklaşık)}$$

Darbeleri (pals) tip bir radar cihazı, elektromanyetik enerjinin kısa bir burst'ünü gönderir. Hedef mesafesi (Target Range), palsın hedefe kadar olan seyahati ile hedeften yansıyıp dönmesiyle geçen zamanın ölçülmesi tarafından belirlenir. İki yönlü seyahat olduğundan dolayı, palsın antenden çıkıp antene dönmesi arasında, her deniz mili için 12.36 (6.18x2) mikrosaniyelik toplam zaman geçmektedir. Bu 12.36 mikrosaniyelik zaman, bazen bir Radar Mili, Radar Deniz Mili veya Deniz Radar Mili olarak ifade edilir. Bir nesneye deniz milinde olan mesafe, bir radar palsının gidip-gelme seyahati (round trip) süresince geçen zamanın ölçülmesi ve ölçülen bu miktarın da 12.36'ya bölünmesiyle bulunabilir. Denklem şeklinde ifade edilirse :

$$\text{mesafe} = \frac{\text{geçensüre} \mu\text{sn}}{12.36 \frac{\mu\text{sn}}{\text{mil}}}$$

Örneğin, bir eko için geçen süre 62 mikrosaniye ise, hedefin gönderme yapan radara uzaklığı, aşağıdaki hesaplamada gösterildiği gibi yaklaşık olarak 5 mildir.

$$\text{mesafe} = \frac{\text{geçensüre} \mu\text{sn}}{12.36 \frac{\mu\text{sn}}{\text{mil}}} = \frac{62 \mu\text{sn}}{12.36 \frac{\mu\text{sn}}{\text{mil}}} \approx 5 \text{ deniz mili}$$

5.2.11.1. Hedef yerleşimi (target location)

Gemi arama radarları, hedefin varlığı ve pozisyonunu tespit etmek için kullanılırlar. Atış kontrol takip radarları, hedef pozisyon bilgisini işlerler. Bir 2-D (iki boyutlu)

radarı, (1) hedef mesafesini (R) ve (2) derece olarak hedef kerterizini tespit eder. Bir 3-D (üç boyutlu) radarı, (1) mesafeyi, (2) kerterizi ve (3) yatay düzleme göre derece olarak irtifa açısını tespit eder. Takip radarları da bir 3-D radar gibi hedef bilgisini tespit eder, fakat doğruluk oranı daha yüksektir.

Hedef mesafesi, bir palsın gönderilmesi ve hedeften geri dönen ekosunun alınması arasında geçen zamanın ölçülmesi ile tespit edilir. Mikrosaniye olarak eko gecikme zamanı (t), radar mili olarak hedef mesafesi (R) ve elektromanyetik enerjinin yayılma sürati (c) arasındaki ilişki aşağıdaki formülle belirlenir :

$$R = \frac{ct}{2} \text{ veya } t = \frac{2R}{c}$$

Bir deniz milinin 2027 yardaya eşit olduğunu düşünürsek, RF dalgalarının 1 mile gidiş ve dönüşü için gereken zaman (toplam katedilen yol, 4054 yardadır), 12.36 mikrosaniyedir.

$$t = \frac{4054 \text{ yarda}}{328 \text{ yarda} / \mu\text{sn}} = 12.36 \mu\text{sn}$$

Radarın mesafe ölçüm doğruluğu, zamanlama palsının ve pals genişliğinin doğruluğu ile sınırlanır. Doğruluk, palsın mesafe uzunluğunun yaklaşık 10'da 1'dir. Bu, pals genişliğinin her mikrosaniyesi için yaklaşık 160 yardadır. Açık ölçme doğruluğu, ölçüm düzlemindeki anten bım genişliği tarafından sınırlanır ve bım genişliğinin 10'da 1'i oranındadır.

5.2.11.2. Minimum mesafe (minimum range)

Duplexer, sadece bir anten kullanılabilirsin diye, verici ve alıcı arasında anteni değişimli olarak süviçler. Enerjinin alıcıya girmesine müsaade edilirse, yüksek güçlü verici palsları alıcıyı hasara uğratabileceğinden dolayı bu süviçleme gereklidir. İhtimal olarak daha önceden farkına vardığınız gibi, bu süviçleme hareketinin zamanı radar sisteminin çalışması için kritiktir. Farkına varamadığımız

nokta ise, radar sisteminin minimum mesafe kabiliyetinin de bu zamandan etkilenmesidir. Bu harekette iki önemli zaman, puls genişliği (pulse width) ve geri alma zamanı (recovery time) dır.

Bu zamanlama hareketi şöyle olmalı : gönderme pulsı (pulse width) süresince antene sadece verici bağlanmalı, puls gönderildikten sonra anten, derhal alıcıya tekrar bağlanabilmelidir. Gönderilen pulsın ön kenarı, duplexer'in anteni vericiye bağlamasına sebep olur. Bu hareket, esas olarak anidir. Gönderilen pulsın sonunda pulsın arka kenarı, duplexer'in anteni alıcıya bağlamasına sebep olur; buna karşılık bu hareket ani değildir. Geri alma zamanı (recovery time) olarak ifade edilen bu noktada, bir miktar zaman geçer.

Bundan dolayı yansıyan pulsı almada alıcının gücünün yetmediği toplam zaman, puls genişliği + geri alma zamanına eşittir. Alıcı antene bağlanmadan önce, yakın hedeflerden dönen herhangi bir yansıyan pulsın tespit edilemeyeceğine dikkat edilmelidir. Bir hedefin tespit edilmesinde yarda olarak minimum mesafe aşağıdaki formül kullanılarak belirlenir :

$$\text{minimum mesafe} = \frac{PW + RT}{2} \times 328 \text{ yarda} = (PW+RT) \times 164 \text{ yarda}$$

PW: Pulse genişliği

RT: Geri alma zamanı

Örneğin, 25 mikrosaniyelik bir puls genişliği ve 0.1 mikrosaniyelik bir geri alma zamanlı (recovery time) bir radar sisteminin minimum mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$\begin{aligned} \text{minimum mesafe} &= (25+0.1) \times 164 \text{ yarda} \\ &= 25.1 \times 164 \text{ yarda} \\ &= 4116 \text{ yarda (yaklaşık)} \end{aligned}$$

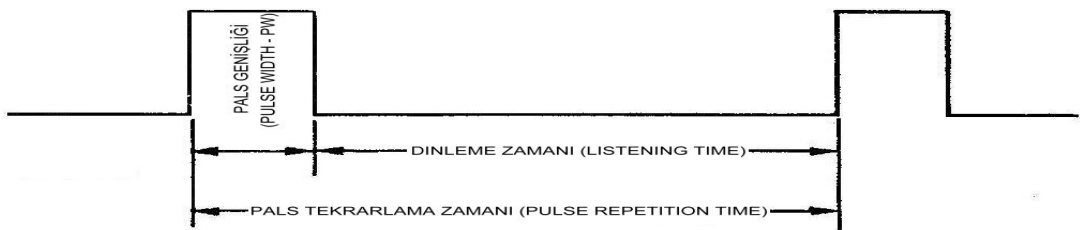
Çoğu modern radar sistemi öyle küçük alıcı geri alma zamanı ile dizayn edilir ki minimum mesafeyi hesaplarken bu hesaplama sıkça ihmal edilir.

5.2.11.3. Maksimum mesafe (maximum range)

Darbeli bir radar sisteminin maksimum mesafesinin birincil sınırlama faktörü, taşıyıcı frekansı (carrier frequency), gönderilen palsın gücü, pals tekrarlama frekansı (PRF) veya pals tekrarlama oranı (PRR) ve alıcı hassasiyetine bağlıdır. Palsın tepe gücünü, hangi mesafeye palsın seyahat edebileceği ve kullanılabilir bir eko olarak dönebileceği belirler. Kullanılabilir bir eko, bir hedef olarak işlenebilen ve bir indikatör üzerinde sunulabilen bir alıcı sisteminin tespit edilebildiği en küçük sinyaldir.

Bir radar tarafından yayınlanan palstaki RF enerjinin frekansı, radar sisteminin Taşıyıcı Frekansı (Carrier Frequency) olarak ifade edilir. 3000 MHz'in üzerinde radyo frekans enerjisi atmosfer tarafından süratli olarak zayıflatıldığı için bir radar sisteminin maksimum mesafe kabiliyetinde taşıyıcı frekansı, sıkça sınırlayıcı bir faktördür. Bu, radyo frekans enerjisinin kullanılabilen menzilini azaltır. Bundan dolayı taşıyıcı frekansı arttırılırken aynı mesafeyi kapsamaları için gönderilen güç de arttırılmalıdır. Atmosferik durumlar düşük frekans enerjisi üzerinde daha az etkiye sahip olduklarından dolayı, uzun mesafe kaplamaları düşük frekanslarda daha kolay başarılır.

Radar sistemleri gönderme zamanı süresince Şekil 5.13'te gösterildiği gibi taşıyıcı frekansında olan palsları gönderir, dinlenme veya dinleme zamanı süresince ekoların dönüşünü bekler ve daha sonra ikinci bir pals gönderir. Bir saniyede gönderilen palsların sayısı, Pals Tekrarlama Frekansı (PRF-Pulse Repetition Frequency) veya Pals Tekrarlama Oranı (PRR-Pulse Repetition Rate) olarak adlandırılır.



Şekil 5.13 Radar - Pals ilişkileri

Bir palsın başlangıcı ile diğer bir palsın başlangıcı arasındaki zaman, Pals Tekrarlama Zamanı (PRT-Pulse Repetition Time) veya Pals Tekrarlama Aralığı (PRI-Pulse Repetition Interval) olarak adlandırılır ve PRF'in tersine eşittir:

$$PRT = \frac{1}{PRF} \quad \text{veya} \quad PRF = \frac{1}{PRT}$$

5.2.11.4. Maksimum tespit mesafesini etkileyen faktörler

- PRF veya PRR : Maksimum mesafe formülü göz önüne alındığında PRF'in maksimum mesafeyi ters yönde etkilediğini belirtebiliriz ($PRT/12.36$). PRF düştükçe mesafe artacak, PRF yükseldikçe mesafe kısılacaktır.
- Anten ve Hedef Yüksekliği : Hedef ve anten ne kadar yüksekse, radarın maksimum menzili o nispette artar.
- Bim Genişliği : Daha fazla sıkıştırılmış bir gönderme palsı, daha fazla mesafe demektir. Bim genişliği daraldıkça, gücün odaklanması artacağından, enerjinin gideceği mesafe artacaktır.
- Anten Dönüş Sürati : Anten ne kadar yavaş dönerse, maksimum mesafe o kadar artar.
- Frekans : Frekans düştükçe, mesafe artar. Alçak frekanslarda atmosfer tarafından RF enerjinin emilmesi azalacağından dolayı, mesafe artar. Bunun tersi olarak yüksek frekanslarda RF enerjinin emilmesi artacağından dolayı, mesafe azalır.
- Tepe Güç (Peak Power) : Bir radarın tepe gücü, onun kullanışlı olan gücüdür. Radarın mesafesi çıkış gücüyle birlikte doğru orantılı olarak artar. Gücün iki katına çıkarılması, tespit mesafesini yaklaşık %25 oranında arttırır. Uzun menzilli radarlarda yüksek, kısa menzilli radarlarda ise alçak çıkış gücü kullanılır. Çıkış gücü radarın tipi, amacı ve menziline göre tespit edilir.

- Pals Genişliği (Pulse Width/Duration/Length) : Radarın gerçek olarak gönderme yaptığı zamana denir. Genellikle PW ile gösterilir, bazen PD (Pulse Duration – Pals Süresi) ve PL (Pulse Length – Pals Uzunluğu) ile de ifade edilir. l birimi olarak genellikle mikrosaniye kullanılır. Pals genişliği arttıka, daha büyük oranda g gönderildiğinden dolayı, radarın tespit mesafesi de artar. Pals genişliği ayrıca radarın minimum mesafesini ve mesafe ayırım kabiliyetini belirlemede de etkilidir.
- Alıcı Hassasiyeti : Çok hassas alıcı demek radarın uzaktaki hedefleri seçebilmesi demektir.
- Hedefin Şekli : Radarın, elektromanyetik enerjinin yansıma prensibine göre çalıştığını hatırlayalım. Hedefin radar enerjisini yansıtmaya müsait bir Őekle sahip olması, tespit menzili arttıracaktır. Çünkü düz ve köşeli satırlar enerjiyi dağıtmadan geri yansıtırlar. Bombeli ve yuvarlak Őekildeki materyalden yapılan hedef, enerjiyi dağıtarak yansıtacağından antenimize daha az enerji dönecek, tespit mesafesi de azalacaktır.
- Hedefin Büyüklüğü : Hedef ne kadar büyükse, o kadar uzaktan ekosu alınabilir. Bir firkateyn ile bir hcumbot aynı mesafede iseler, firkateyn daha büyük eko verecek ve daha uzak mesafeden tespit edilebilecektir. Hedefin radara göstermiş olduğu kesit alanı da tespit mesafesini etkiler. Radara teğet geçen bir hedef (kesiti büyük), doğrudan radara yaklaşan bir hedeften (kesiti küçük) daha önce tespit edilebilir.
- Hedefin Yapıldığı Materyal : Yapı olarak sert cisimler elektromanyetik enerjiyi daha fazla yansıtırlar. Ahşap bir hcumbot ile metalden yapılmış bir hcumbot farklı mesafelerden tespit edilecektir. Metalden yapılmış olan hcumbot, ahşap hcumbottan çok daha iyi eko verdiğinden dolayı daha uzak mesafeden tespit edilecektir.
- Hedefin Görüş Açısı (Hedef Kesiti) : Bir hedefin tespitinde görüş açısının da rolü büyüktür. Gerek gemi gerekse uçak hedefi düşünüldüğünde, borda gösteren bir gemi ile pruva veya pupa gösteren bir gemi aynı mesafeden tespit edilemeyeceği

gibi kanat gösteren uçakla burun gösteren bir uçak ta aynı mesafeden tespit edilemeyecektir.

- Atmosferik Olaylar : Yağmurlu ve karlı havalarda RF enerjinin emilmesi fazlalaşacağından, mesafeyi kısaltabileceği gibi yakındaki hedeflerin görünmesine de engel olur.

5.2.12. Şüpheli dönüşler (ambiguous returns)

Eğer bir hedef ekosu, ana bım yerine yan loblardan alınır veya birinci transmisyona palsının ekosu, ikinci veya daha sonraki transmisyona saykılarının dinleme zamanı süresince alınır bu tip hedeflere, şüpheli dönüşler (ambiguous returns) adı verilir ve skop üzerinde yanlış hedef yerleşimlerine yol açarlar.

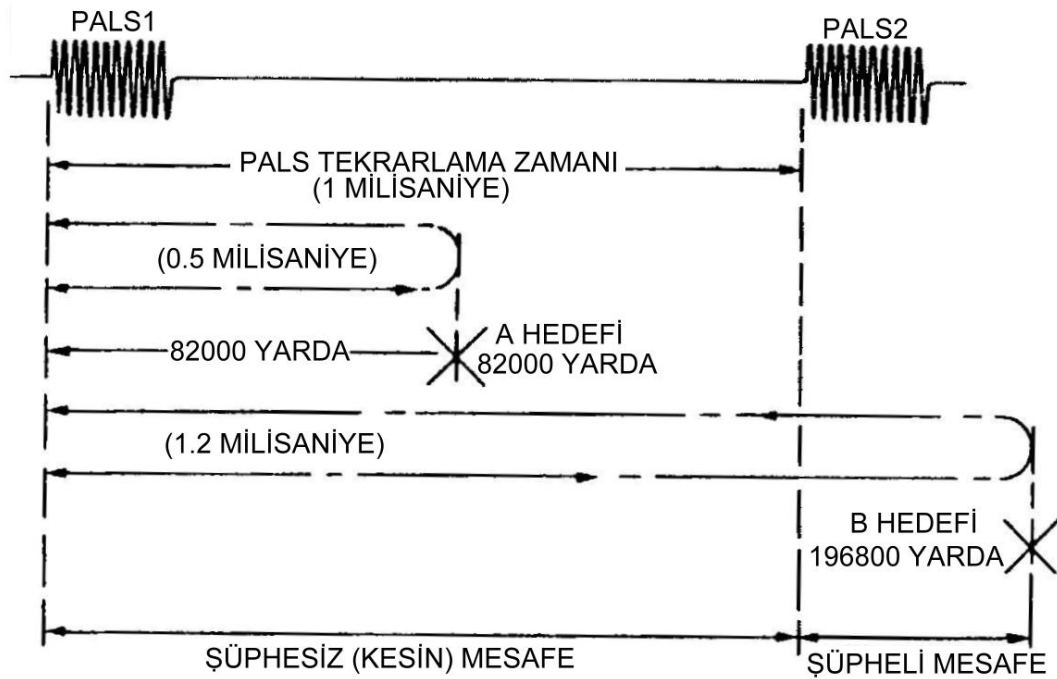
5.2.12.1. Şüpheli mesafe (range ambiguity)

Bir palsın her yayınlanışından sonra, radar zamanlama sistemi reset olmalı (yeniden kurulmalı). Bu, başlangıç zamanından itibaren tespit edilen mesafenin ölçülmesini sağlar. Radar ekranı üzerinde yanlış mesafe yerleşimlerinde oluşan ve radar sistemi PRT'sini aşan hedef dönüş zamanlarından dolayı radar PRT'si, maksimum mesafenin tespitinde etkili olur. Bu yanlış mesafelerde oluşan dönüşler, Şüpheli Dönüşler (Ambiguous Returns), İkinci Süvip Ekoları (Second-Sweep Echoes) veya İkinci Zaman Dönüş (STA-Second Time Around) Ekoları olarak ifade edilirler.

Şekil 5.14, 1 milisaniye süreli PRT'ye sahip bir radar sistemini göstermektedir. Palslar üstte gösterilir ve gönderilen iki palsın hedeflere çarpan ve dönen örnekleri altta gösterilir. A hedefi durumunda, bir palsın 82000 yarıdaki hedef mesafesine gidip-gelme süresi, 0.5 milisaniyedir. 0.5 milisaniye 1 milisaniyeden küçük olduğundan, doğru mesafeyi gösterme problem değildir. Buna karşılık, B hedefi radar sisteminden 196800 yarı uzaklıktadır. Bu durumda, B hedefine palsın toplam seyahat süresi 1.2 milisaniyedir ve bu radar için 1 milisaniyelik PRT süresi aşılmıştır. İlk gönderme palsı B hedefinden dönerken ikinci bir pals gönderilir ve radar sistemi tekrar 0'a reset eder. B hedefinden yansıyıp dönen ilk pals, radar sistemine geri seyahatine devam eder, ama ikinci pals zamanı süresince varır. Bu,

yanlış bir mesafe okumasıyla sonuçlanır. Bu durumda B hedefinden ilk dönüş pulsı, ikinci zaman periyodunda 0.2 milisaniyede varır. Bu, B hedefinin gerçek 196800 yarda yerine 32800 yardalık bir mesafede görülmesiyle sonuçlanır. PRF sınırları içindeki puls dönüşlerinin normal (unambiguous - şüphesiz) mesafelerde görülmesiyle sonuçlanırken, radar PRT'sinin aşımında puls dönüşlerinin şüpheli (ambiguous) mesafelerde görülmesiyle sonuçlandığını bu örnekten izleyebiliriz. Verilen bir radar sisteminin maksimum kesin (şüphesiz) mesafesi (maximum unambiguous range) aşağıdaki formülle belirlenir :

$$R_{\max_unambiguous} = \frac{16200 \text{ mil/sn}}{2} \times PRT$$



Şekil 5.14 Maksimum Şüphesiz Mesafe

5.2.12.2. Şüpheli açı (angle ambiguity)

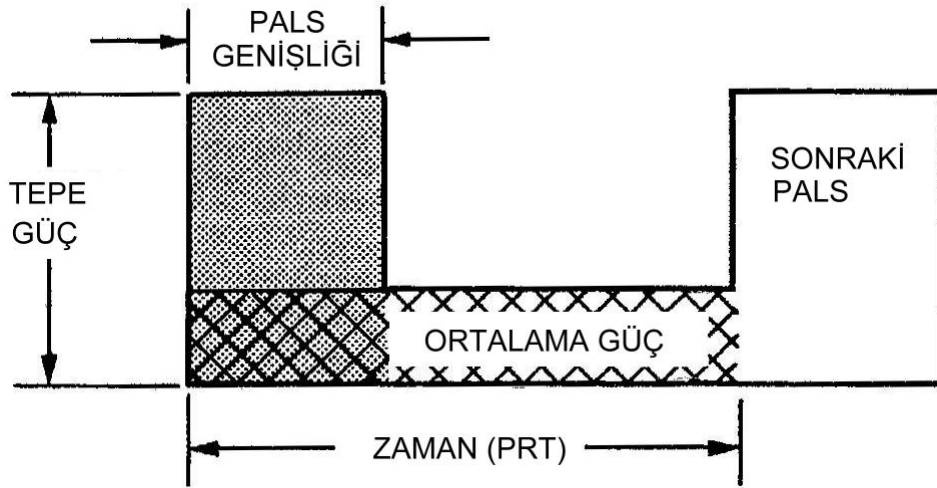
Anten paterni ana loba (main lobe) sahip iken alışı, yan loblardan (side lobes) olursa, şüpheli açı oluşur. Küçük bir lob (minor veya side lobe), bir hedeften tespit edilebilecek bir ekoda sonuçlanacak kadar yeterli güce sahipse, bu eko, bir ana lob

ekosu olarak yorumlanabilir ve onunla ilişkili açı, ana (main) lob ve küçük (minor) lobun açisal ayrımı kadar hatalı olacaktır.

5.2.13. Pals tekrarlama frekansı ve güç hesaplamaları

Bir CW (continuous wave - sürekli dalga) radar gönderiminin enerji içeriği, verici devamlı olarak çalıştığı için kolayca hesaplanabilir. Buna karşılık darbeli radar vericileri her palsta mesafe zamanlama bilgisi sağlamak için ON ve OFF'a süviçlenirler. Bir vericiden çıkan dalga şekli, Şekil 5.13'te gösterilmektedir. Maksimum mesafe, verici çıkış gücüyle doğrudan ilişkili olduğundan dolayı, bu dalga şeklindeki gücün miktarı önemlidir. Radar sistemi ne kadar çok enerji gönderirse, o kadar büyük hedef tespit mesafesi olmaktadır.

Palsın enerji içeriği, pals genişliği tarafından çarpılan palsın tepe güç (maximum power) seviyesine eşittir. Buna karşılık bir radar sisteminde güç ölçmede kullanılan ölçümler, pals genişliğinden daha uzun bir zaman periyodu üzerinde yapılırlar. Bu sebepten dolayı pals tekrarlama zamanı, vericilerin güç hesaplarında içerilir. Böyle bir zaman periyodu üzerinde ölçülen güç, ORTALAMA GÜÇ (Average Power) olarak ifade edilir. Şekil 5.15, palsın toplam enerji içeriği gibi gösterilebilen bu ortalama güç yöntemini çizimle gösterir. Gölge saha, palsın toplam enerji içeriğini temsil eder ve tepe gücün PRT boyunca yayılmasına eşittir (Şekil 5.15'ten görebileceğiniz gibi, darbeli bir radar sisteminde palslar arasında gerçek olarak enerjinin mevcut olmadığı akılda tutulmalıdır. Şekil, sadece ortalama gücün nasıl hesaplandığını göstermek için çizilmiştir).



Şekil 5.15 Pals Enerji İçeriği

Pals tekrarlama zamanı, bir palsin başlangıcından diğer palsin başlangıcına kadar olan toplam zamanı tanımladığından dolayı ortalama gücü hesaplamaya yardım etmek için kullanılır. Ortalama güç aşağıdaki gibi hesaplanır :

P_{avg} = ortalama güç,

P_{pk} = tepe güç,

PW = pals genişliği,

PRT = pals tekrarlama zamanı iken,

$$P_{avg} = P_{pk} \times \frac{PW}{PRT}$$

$PRT = 1/PRF$ olduğundan

$$P_{avg} = P_{pk} \times PW \times PRF$$

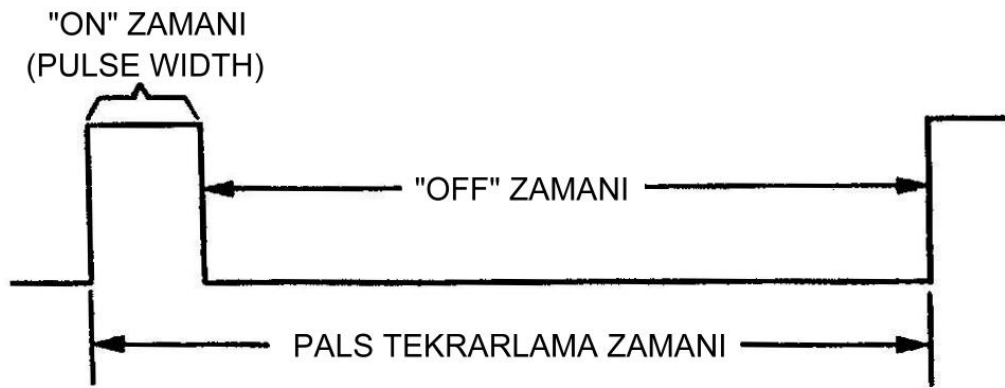
Yukarıdaki formülde pals genişliği (PW) ve pals tekrarlama frekansının (PRF) ürünü, bir radar sisteminin Görev Saykılı (DC : Duty Cycle) olarak adlandırılır. Görev saykılı, Şekil 5.16'da gösterildiği gibi, vericinin ON (devrede) zamanının OFF (devrede değil) zamanına oranıdır. Görev saykılı, bir radar sisteminin hem tepe

gücünü hem de ortalama gücünü hesaplamak için kullanılır. Görev saykılıının formülü aşağıda gösterilir :

$$DC = PW \times PRF$$

veya

$$DC = \frac{PW}{PRT}$$



Şekil 5.16 Görev Saykılı (Duty Cycle)

Bir radarın görev saykılı bilindiği için ortalama gücün en yaygın formülü aşağıdaki gibi

$$P_{avg} = P_{pk} \times DC$$

Yukarıdaki formül P_{pk} için yeniden düzenlenirse bize tepe güç için yaygın olan bir formülü verir:

$$P_{pk} = \frac{P_{avg}}{DC}$$

Ölçüm cihazlarının çoğu doğrudan ortalama gücü ölçtüklerinden dolayı, tepe gücün hesaplanması daha sık olarak yapılmalıdır. Verilen formülleri birleştirerek görev saykılıının formülünü yeniden düzenlersek;

$$DC = \frac{PW}{PRT} = \frac{P_{avg}}{P_{pk}} = PW \times PRF \text{ yazılabilir.}$$

Örnek : $P_{avg} = 2000 \text{ W}$, $PW = 20 \text{ } \mu\text{sn}$ ($20 \times 10^{-6} \text{ sn}$), $PRF = 1000 \text{ Hz}$ veya 10^3 ise, $P_{pk} = ?$

P_{pk} 'i hesaplamadan önce aşağıdaki gibi görev saykılıını (DC) hesaplamalıyız :

$$DC = PW \times PRF = 20 \times 10^{-6} \times 10^3 = 20 \times 10^{-3} = 0.02$$

$$P_{pk} = \frac{P_{avg}}{DC} = \frac{2000}{0.02} = 10^5 \text{ watt}$$

5.2.14. Hedef hızı (target speed)

Genellikle hedef hızı, doğrudan pals radarları tarafından ölçülmez ama radyal kısım, doppler radarları tarafından doğrudan ölçülebilir. Normal olarak hedef hızı, radar kompüteri veya diğer bilgi işlem sistemleri tarafından zamana karşı pozisyon bilgisi tarafından hesaplanır.

Eğer bir hedef t zamanında d mesafesini katederse, onun hızı v , $v = d/t$ tarafından verilir. CW radarlar, gönderilen sinyal ile eko sinyali arasındaki frekans farkının ölçülmesi yoluyla hedef radyal hızının doğrudan ölçümünü yapabilirler. Eğer frekans kayması yukarı doğru artan yönde ise hedef, radara yaklaşan yönde; frekans kayması aşağı doğru azalan yönde ise hedef, radardan uzaklaşan yönde hareket ediyordur. Normal olarak hedef pozisyonunun tespiti, darbeli radarlarla daha kolay ve daha doğru olduğundan dolayı, CW doppler tekniği, gözetleme (arama) radarlarında kullanılmamaktadır.

5.2.15. Atmosferik etkiler

5.2.15.1. Atmosferik emme (atmospheric absorption)

Boş uzayda hareket eden radar dalgaları ilerlerken, küresel yayılma tarafından zayıflatılmalarına rağmen yayılma ortamı tarafından emilmezler. Dünya atmosferinde ve materyal parçacıkları içeren diğer yayılma ortamlarında, ilave kuvvetten düşürmeye veya zayıflatmaya sebep olan bazı dalgaların emilmesi mevcuttur.

Dünya atmosferindeki emmeye, oksijen ve su buharı molekülleri sebep olurlar. Su buharı molekülü ve oksijen içeriği, atmosferde önemli ölçüde değişir. Düşük oranlı bir nemle açık bir günde emilme yoluyla olan kayıp, yağmurlu bir gündekine nazaran daha az olur. Atmosferik kayıpların hesaplanması ayrıntılıdır, en iyisi bu hesaplamayı sistem bilgisayarına bırakmaktır. Frekanstaki değişimler, aynı atmosferik şartlarda kayıpların miktarını da değiştirir. Atmosferik zayıflatma, radar frekans spektrumunun alt kısmında ihmal edilse bile, X bandının üzerindeki frekanslarda büyük önem taşımaktadır. Hatta kullanılan radar frekanslarının üst sınırını tayin eden de bu zayıflatma miktarıdır. Daha yüksek irtifalarda atmosfer daha ince olduğundan dolayı gönderilen dalganın irtifa açısındaki bir değişim, daha yüksek açıyla daha az emme hasil eden emilmenin miktarı da değişir.

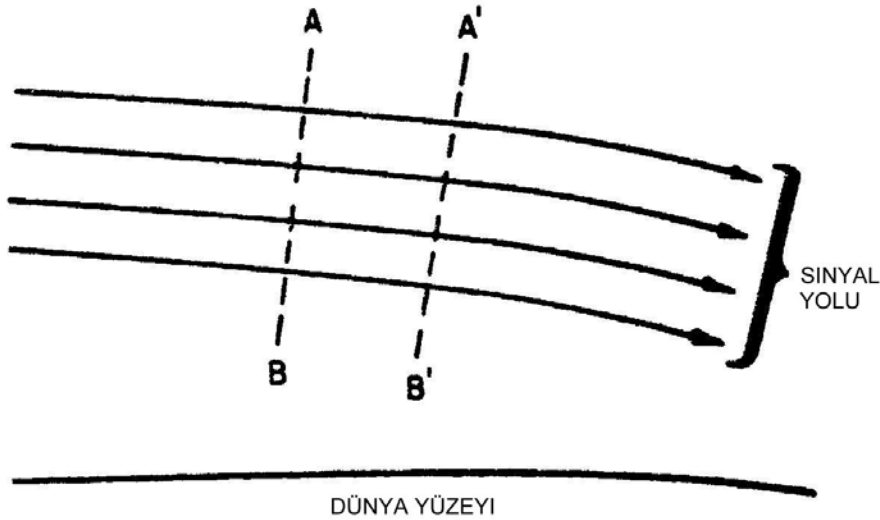
5.2.15.2. Kırılma (refraction)

Elektromanyetik dalga cepheleeri boş uzayda ışık hızında düz hatlar halinde hareket ederler, ama atmosferin kırılma indisi elektromanyetik dalga cephesinin hem hareket yönünü hem de hızını etkiler. Hız ve mesafeyi hesaplamak amacıyla dünya atmosferinin kırılma indisinin 1'e eşit olduğu kabul edilir. Buna karşılık kırılma indisi, deniz seviyesinde 1.0003 ve yükseklik arttıkça 1'e doğru azalır.

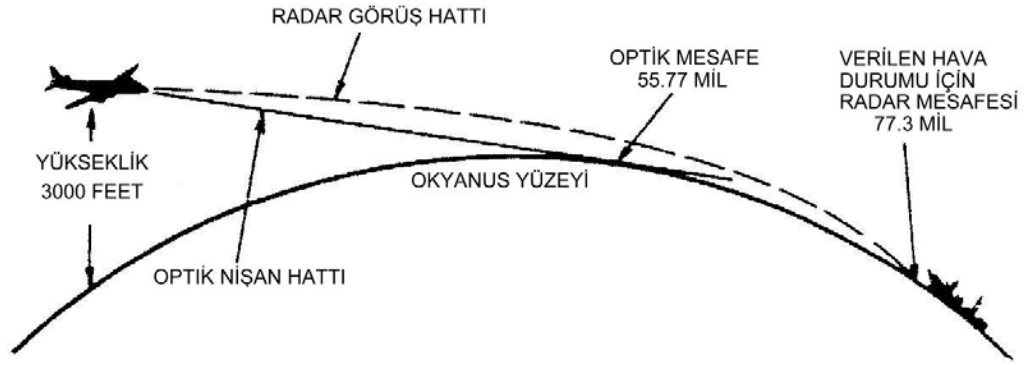
İster doğrudan isterse yansıyan olsun atmosferdeki elektromanyetik enerji tarafından izlenen yol, genellikle hafifçe kıvrımlıdır ve hız, tüm kırılma indisini etkileyen sıcaklık, atmosfer basıncı ve atmosferde mevcut su buharının miktarı tarafından etkilenir. Yükseklik arttıkça normal atmosfer şartlarında bu etkilerin birleşik etkileri,

sinyal hızında küçük aynı oranlı artışa sebep olur. Hızdaki bu artış, Şekil 5.17’de gösterildiği gibi, seyahat yolunun hafifçe aşağı doğru kıvrılmasına sebep olur. Aşağı doğru kıvrım, Şekil 5.18’deki çizimle gösterildiği gibi dünyaya teğet bir hattın ilerisine radar ufkunu uzatır.

Aşağı doğru kıvrımın neticesi, Şekil 5.17’deki AB hattının kullanımıyla çizimle gösterilebilir. AB hattı, B noktasından daha yüksek irtifadaki A noktasıyla bir dalga cephesinin yüzeyini temsil eder. AB dalga cephesi A'B' tarafından temsil edilen noktaya hareket ederken, A ve A' daha büyük irtifada oldukları için A ve A' deki hız, B ve B' deki hızdan daha büyüktür. Bundan dolayı, verilen bir zamanda dalga cephesinin üst kısmı, alt kısmından daha uzağa hareket eder. Dalga cephesi hareket ederken hafifçe ileri doğru sarkar. Enerji yayılımının yönü, bir dalga cephesinin yüzeyine daima dik olduğu için, öndeki dalga cephesi enerji yolunun aşağı doğru kıvrılmasına sebep olur.



Şekil 5.17 Dalga Cephesi Yolu



Şekil 5.18 Atmosferik Kırılma Nedeniyle Radar Ufkunun Uzaması

Kırılma (refraction), dalgaların içinden geçtiği ortamdaki yoğunluk değişmesinin sebep olduğu elektromanyetik dalgaların eğilmesidir. Elektromanyetik kırılmanın görülebilir bir örneği, atmosferdeki ışığın su içine geçerken ışığın kırılması neticesinde sualtı nesnelere görünür yer değişimidir. Bu örneklerden yola çıkarak değişik maddelerin sebep olduğu kırılma veya eğilmenin derecesini gösteren bir kırılma indisi tesis edildi. Atmosferin yoğunluğu yükseklikle değiştiği için kırılma indisi, yükseklikle birlikte yavaşça azalan yönde değişir.

- Sıcaklık terslenmesi (temperature inversion)

Atmosferin sıcaklık ve nem içeriği, normal olarak yükseklikteki bir artışla aynı oranlı azalır. Buna karşılık belirli koşullar altında sıcaklık, yükseklikle ilk önce artar daha sonra düşmeye başlar. Böyle bir durum, Sıcaklık Terslenmesi (Temperature Inversion) olarak adlandırılır.

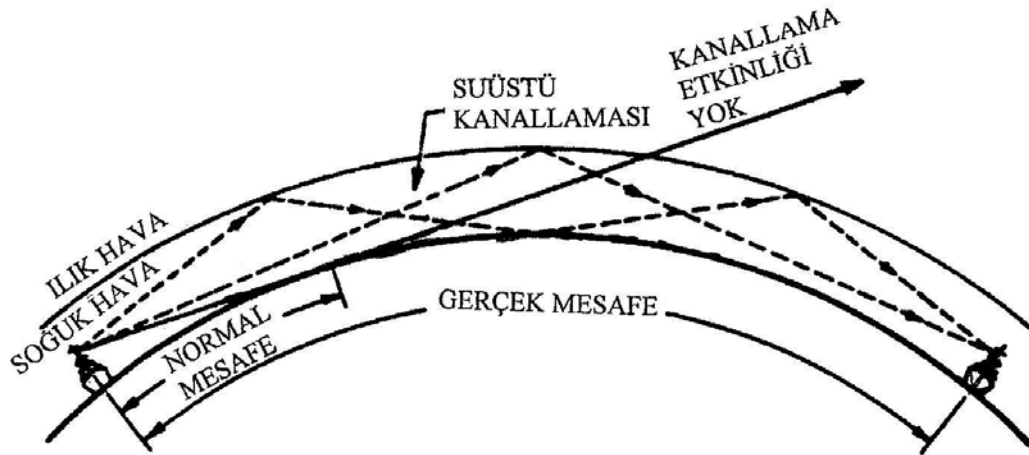
- Nem çökmesi (moisture lapse)

Okyanus üzerinde normalden daha önemli bir sapma olabilir. Çok geniş su kütlelerinin yüzeyine yakın atmosfer, normal miktardaki nemden daha fazlasını içerebileceğinden, nem içeriği denizin hemen üzerindeki yüksekliklerde daha hızlı olarak azalabilir. Bu etki, Nem Çökmesi (Moisture Lapse) olarak bilinir.

- Kanallama (ducting)

Sıcaklık terslenmesi ve nem çökmesinin yalnız biri veya her ikisi birden atmosferin en düşük birkaç yüz feet'inin kırılma indisinde büyük bir değişmeye sebep olabilir. Sonuç, anormal durum içinden geçen radar dalgalarının büyük bir eğilmesidir. Böyle bir durumda artan eğilme, Kanallama (Ducting) olarak adlandırılır ve radar performansını büyük oranda etkileyebilir. Radar dalgalarının eğilme yönüne bağlı olarak radar ufku uzayabilir veya kısalabilir. Radar dalgaları üzerindeki kanallamanın etkisi Şekil 5.19'daki çizimle gösterilir.

Radar performansı üzerinde atmosferin diğer etkisi, havada asılı duran parçacıkların sebep olduğu etkidir. Su damlacıkları ve toz parçacıkları parçalanma yoluyla radar enerjisini emme, yansıtma ve parçalama yoluyla dağıtır ki çok az enerji hedefe çarpar. Sonuç olarak dönen eko daha küçüktür. Tüm etki, hava şartlarına bağlı olarak büyük oranda değişen kullanılabilen mesafedeki daralmadır. Daha yüksek frekanslı bir radar sistemi, yağmur ve bulutlar gibi hava şartlarından daha fazla etkilenir. Dünyanın bazı kısımlarında havada asılı duran toz, yüksek frekanslı radarın normal mesafesini büyük ölçüde etkileyebilir.



Şekil 5.19 Radar Dalgası Üzerindeki Kanallama Etkisi

5.2.16. Loblama (lobing)

Bazı durumlarda radar dalgaları hedefe doğrudan ve yerden yansiyarak iki ayrı yoldan varabilirler. Bu iki dalga, bağıl fazlarına bağlı olarak birbirlerini

kuvvetlendirebilir veya yok edebilirler. Bunun sonucu olarak ta eko sinyali, uzayda olabileceğinden daha kuvvetli veya daha zayıf olabilir. Bu olaya, Loblama (Lobing) adı verilir.

Lob, kulak memesi anlamına gelmektedir ve radar tarafından gönderilen elektromanyetik bimin boşlukta kapsadığı şekli işaret etmektedir.

5.2.17 Anten yüksekliği ve hızı (antenna height and speed)

Radar mesafesini etkileyen bir diğer faktör, anten yüksekliğidir. Dünyanın katı materyali radar sinyalini gölgelediğinden (tıkadığından) dolayı, dünya ufkunun aşağısına giden bir hedef tespit edilemeyebilir. Standart atmosferik kırılma ve kanallama olmadığını farz edersek, bir radar sistemi tarafından gönderilen yüksek frekans enerjisi düz bir hat dahilinde yayılır ve normal olarak dünyanın eğimine uymak için kırılmaz. Bundan dolayı hem anten hem de hedefin yüksekliği, mesafe tespitine etki eden faktörlerdir. Feet olarak radar anten yüksekliği h olduğunda, deniz milindeki yatay sınırlamadan dolayı maksimum ufuk mesafesi aşağıdaki formül tarafından (yaklaşık olarak) verilir :

R : radar ufuk mesafesi (mil)

h : anten yüksekliği (feet) iken,

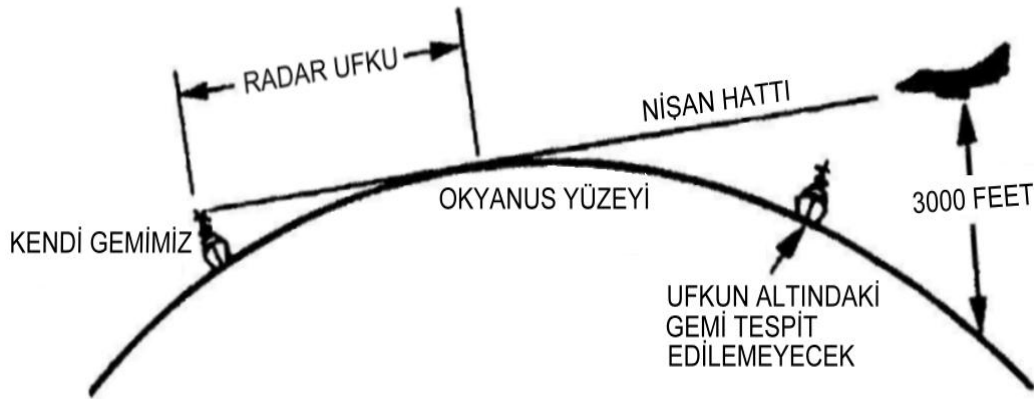
$$R = 1.23\sqrt{h}$$

Örnek olarak anten yüksekliği 64 feet ise radar ufuk mesafesi :

$$R = 1.23\sqrt{h} = 1.23\sqrt{64}$$

$$= 1.23 \times 8 = 9.84 \text{ mil}$$

Radar ufkundan daha büyük mesafedeki bir hedef, ufkun üzerinde yeterli bir yüksekliği olmadıkça tespit edilemeyecektir. Anten ve hedef yüksekliği ilişkisinin bir örneği, Şekil 5.20'de gösterilir.



Şekil 5.20 Radar Ufku (Radar Horizon)

Anten dönüş hızı da maksimum tespit mesafesini etkiler. Bir anten ne kadar yavaş dönerse, bir radar sisteminin tespit mesafesi o kadar büyük olur. Dönüşü 5 rpm (revolutions per minute - dakikadaki dönüş) olan bir anten 10 rpm ile döndürülürse, her hedefe çarpan enerji bimi bir öncekine nazaran yarı oranda olur. Her anten dönüşündeki çarpmaların sayısı her taramadaki vuruşlar (Hits Per Scan) olarak ifade edilir. Her dönme süresince, kullanılabilir bir eko dönüşü için yeterli sayıda pals gönderilmelidir.

Verilen bir sahaya ne kadar çok pals gönderilirse (daha yavaş anten hızlarında), her taramadaki çarpmaların sayısı daha büyük olur.

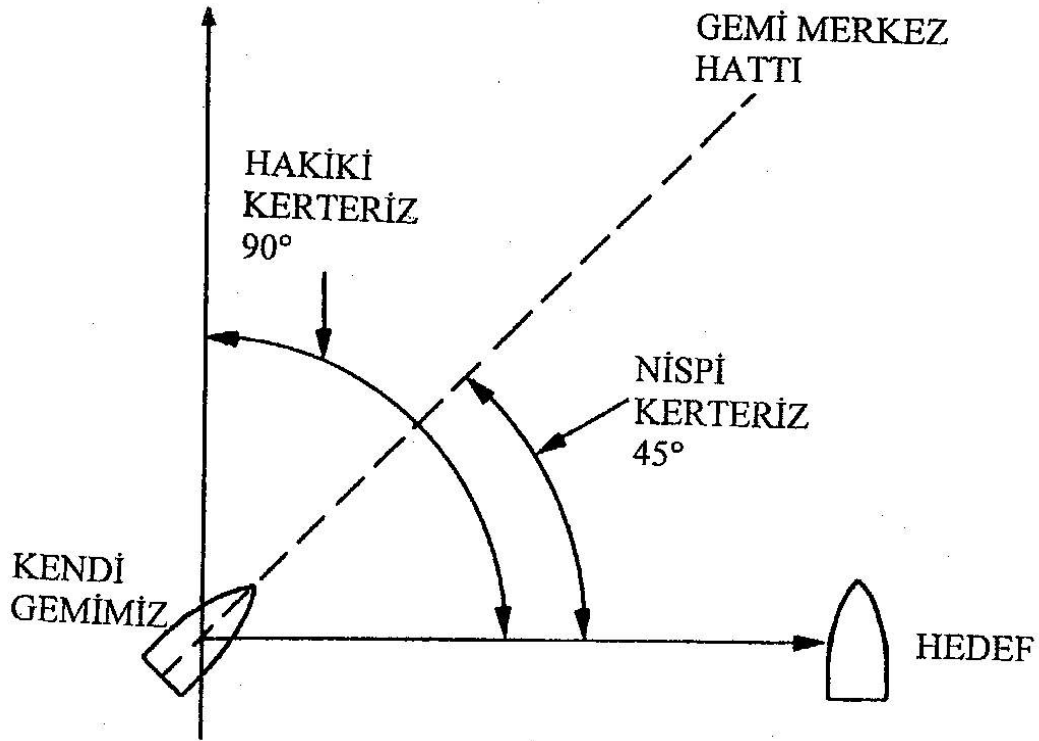
Örneğin 20 rpm.lik dönüşe sahip bir anten, bir dönüşünü 3 saniyede tamamlar. Eğer vericimiz 200 pps'lik bir PRF'e sahip ise bu zaman süresince verici, 600 pals gönderir. Drisanın 360°si kapsandığından dolayı aşağıdaki formül, drisanın her derecesi için gönderilen pals sayısını gösterir :

$$\text{Dereceye gönderilen pals sayısı} = \frac{600 \text{ pulse/cycle}}{360^\circ/\text{cycle}} = 1.67 \text{ pulse/}^\circ$$

Verilen herhangi bir hedef sahası için böyle düşük sayıdaki pals adedi, bazı hedeflerin tamamıyla kaybedilmesi ihtimalini büyük oranda arttırır. Bundan dolayı PRF ve anten dönüş hızı maksimum etkinlik için uydurulmalıdır.

5.2.18. Kerteriz (bearing)

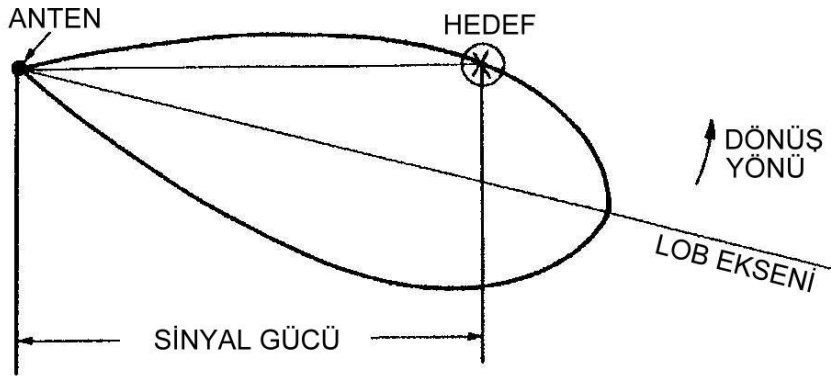
Bir radar hedefinin Hakiki Kerterizi (True Bearing), hakiki kuzey ile hedefe doğrudan işaretlenen bir hat arasındaki açıdır. Bu açı, yatay bir düzlemde ve gerçek kuzeyden saat yönünde ölçülür. Radar hedefine kerteriz açısı, kendi gemimiz veya uçığımızın merkez hattından saat yönünde de ölçülebilir ve bu ölçüm, Nispi Kerteriz (Relative Bearing) olarak adlandırılır. Hem gerçek hem de nispi kerteriz açıları, Şekil 5.21'deki çizimle gösterilir.



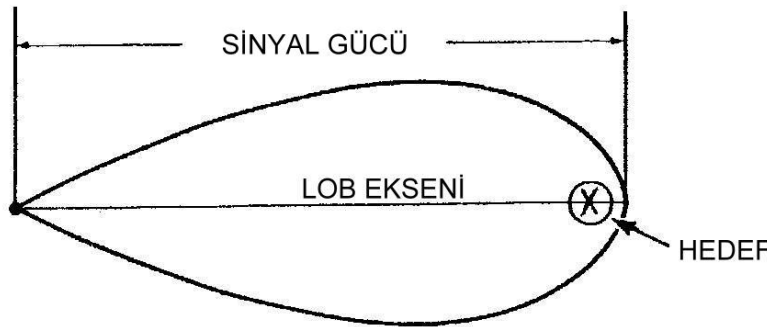
Şekil 5.21 Gerçek ve Nispi Kerterizler (True and Relative Bearings)

Çoğu radar sistemlerinin antenleri, antenin hareketiyle kerterizde basit olarak hareket ettirilebilen lob veya bimin bir doğrultuda enerjiyi yayması için dizayn edilirler. Şekil 5.22'de görebileceğiniz gibi bimin şekli öyledir ki, anten bimi hedef üzerinden geçerken eko sinyal gücü genlik olarak değişir. Anten A pozisyonundayken eko, küçük genliklidir; bim ekseninin doğrudan hedefi gösterdiği B pozisyonunda eko gücü, maksimumdur. Bundan dolayı hedefin kerteriz açısı, ekonun en güçlü olduğu pozisyona antenin hareket etmesiyle elde edilebilir. Gerçek

pratik uygulamalarda arama radar antenleri sürekli olarak hareket ettiklerinden maksimum hedef dönüş noktasına, operatör tarafından gözle veya bir hedef üzerinden geçerken tespit devresi tarafından karar verilir. Silah kontrol ve güdüm radar sistemleri, maksimum sinyal dönüş noktasına pozisyonlanırlar ve elle (manuel olarak) ya da otomatik takip devreleri tarafından bu pozisyonda muhafaza edilirler.



ANTEN "A" POZİSYONUNDA



ANTEN "B" POZİSYONUNDA

Şekil 5.22 Kerteriz Tespiti

5.2.19. Yükseklik (altitude)

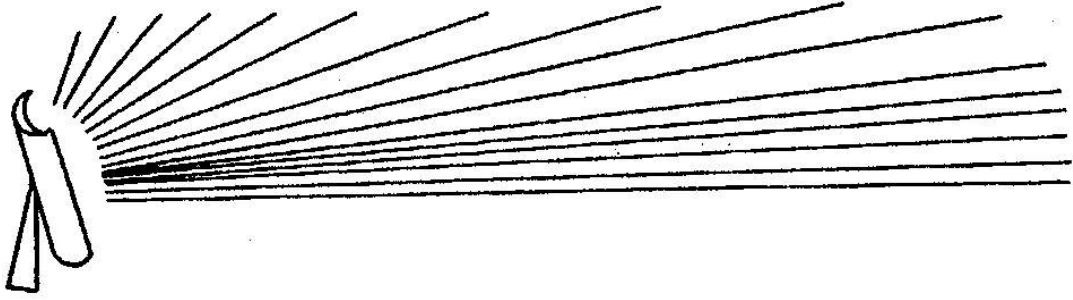
Birçok radar sistemi, bir nesnenin sadece mesafe ve kerterizini belirlemek için dizayn edilirler. Böyle radar sistemleri, İki-Boyutlu (2-D Two-Dimensional) radarlar olarak adlandırılırlar. Çoğu durumlarda bu sistemler, arama radar sistemleri (search radar systems) olarak bilinirler ve boşluğun sadece belirli bir hacmini tarayan erken ihbar cihazları olarak işlev yaparlar. Mesafe ve kerteriz koordinatları, hedefin

uzaklığını, hareket yönünü, nispi hızını ve radar mevkisine nazaran genel bir sahada hedefin mevkisini belirlemek için yeterli bilgi sağlar. Buna karşılık bir hava hedefine karşı müdahalede bulunmak gerektiğinde, yükseklik de bilinmelidir. Mesafe ve kerterize ilave olarak yüksekliği de tespit eden bir arama radar sistemi, Üç-Boyutlu (3-D : Three-Dimensional) radar olarak isimlendirilir.

İrtifa veya yükseklik bulucu arama radarları, dikey düzlemde çok dar bir bim kullanırlar. Hedeflerin kesin olarak yerini belirlemek için bim, mekanik veya elektronik olarak irtifada taranır. Kerterizi de belirleyen yükseklik bulucu radar sistemleri, hem dikey hem de yatay düzlemlerde çok dar olan bir bime sahip olmalıdırlar. Bir arama radar cihazı için elektronik irtifa tarama paterni, Şekil 5.23'teki çizimle gösterilir. Antenden çıkan hatlar, tam irtifa kaplaması için gereken bim pozisyonlarının sayısını gösterir. Pratikte irtifa kaplamasında herhangi bir boşluğu önlemek için, bimler hafifçe birbirinin üzerine bindirilirler. Her bim pozisyonu, yayılan enerjinin frekansında veya fazında hafif bir değişime neden olur. Enerjinin fazındaki veya frekansındaki bir değişme, enerjinin anteni farklı bir açıda terk etmesine sebep olur. Böylece tüm dikey düzlemi kaplayan düzenli bir tarama paterni oluşturmak için frekans veya faz önceden belirlenebilir.

Elektronik tarama, denizdeki bir gemi gibi durağan olmayan bir radar platformu için otomatik karşılama (compensation) sağlar. Hata sinyalleri, geminin yatay (roll) ve dikey yalpası (pitch) tarafından üretilirler ve tam irtifa kaplamasını sağlamak için radar bimini düzeltmede kullanılırlar.

Mekanik irtifa taraması, mekanik olarak hareket eden bir anten veya radyasyon kaynağı tarafından icra edilir. Silah kontrol ve takip radar sistemleri, yaygın olarak mekanik irtifa tarama tekniklerini kullanırlar. Elektronik taramalı radar sistemlerinin çoğu, hava arama radarları olarak kullanılır. Bazı eski hava arama radarları mekanik irtifa arama cihazları kullanırlar, buna karşılık bu tip radarların yerini elektronik aramalı radar sistemleri almaktadır.

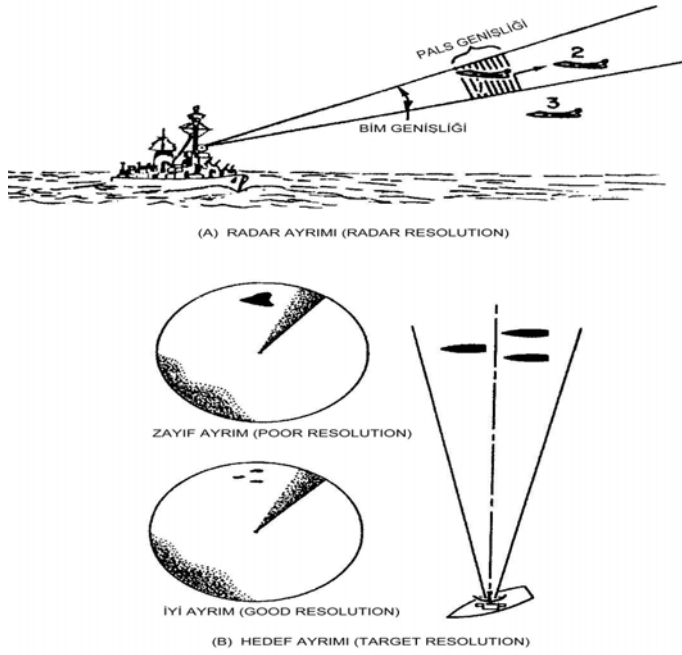


Şekil 5.23 Elektronik İrtifa Taraması (Electronic Elevation Scan)

5.2.20. Radar ayrımı (radar resolution)

Bir radarın hedef ayrımı, mesafe veya kerteriz olarak birbirine çok yakın olan hedefler arasındaki ayırma yeteneğidir ve gönderme palsının mesafe uzaması (pals genişliği) ve ölçüm düzlemindeki anten biminin açısal genişliği (bim genişliği) tarafından yaklaşık olarak belirlenir (Şekil 5.24 A görünüşü). Büyük doğruluk gerektiren silah kontrol radarı sadece yarıdalarla ölçülebilen uzaklıklardaki hedefler arasında ayırım yapabilmelidir. Arama radarı, genellikle daha az doğruluktadır ve hedefler arasında sadece yüzlerce yarda veya hatta millerce mesafe olanları ayırabilir.

Bir A/K radarının gereksinimlerinden biri, kesin doğruluğa sahip hedef mesafe, kerteriz ve irtifa bilgisi sağlayabilmesidir. Bu, radar biminin hedef üzerinde merkezlenmesi ve dönüş palslarının zamanlamasıyla sağlanır. Bir A/K radarının diğer gereksinimi ise, birbirine yakın iki veya daha fazla hedef arasında ayırım yeteneğine sahip olmasıdır. Bu yetenek, Şekil 5.24 B görünüşündeki PPI skop sunumuyla gösterilmektedir.



Şekil 5.24 Radar ve Hedef Ayırımı

Ayırım, genellikle iki sınıfa bölünür: mesafe ayırımı ve kerteriz ayırımı.

5.2.20.1. Mesafe ayırımı (range resolution)

Mesafe ayırımı, aynı kerterizde fakat farklı mesafelerde iki veya daha fazla hedefler arasında bir radar sisteminin ayırma kabiliyetidir. Mesafe ayırımının ölçüsü, gönderilen palsın genişliğine, tipine ve hedefin büyüklüğü ile alıcı ve indikatörün etkinliğine bağlıdır. Pals genişliği, mesafe ayırımında birincil faktördür. Diğer tüm faktörleri maksimum etkinlikte olan iyi dizayn edilmiş bir radar, pals genişliği zamanının yarısındaki mesafe aralıklarında olan hedeflerin ayırımını yapabilmelidir. Buna göre bir radar sisteminin mesafe ayırımı izleyen formülle hesaplanabilir (Şekil 5.25) :

$$\text{mesafe ayırımı (yarda)} = \frac{PW(\mu\text{sec})}{2} \times 328 \text{ yarda}/\mu\text{sec}$$

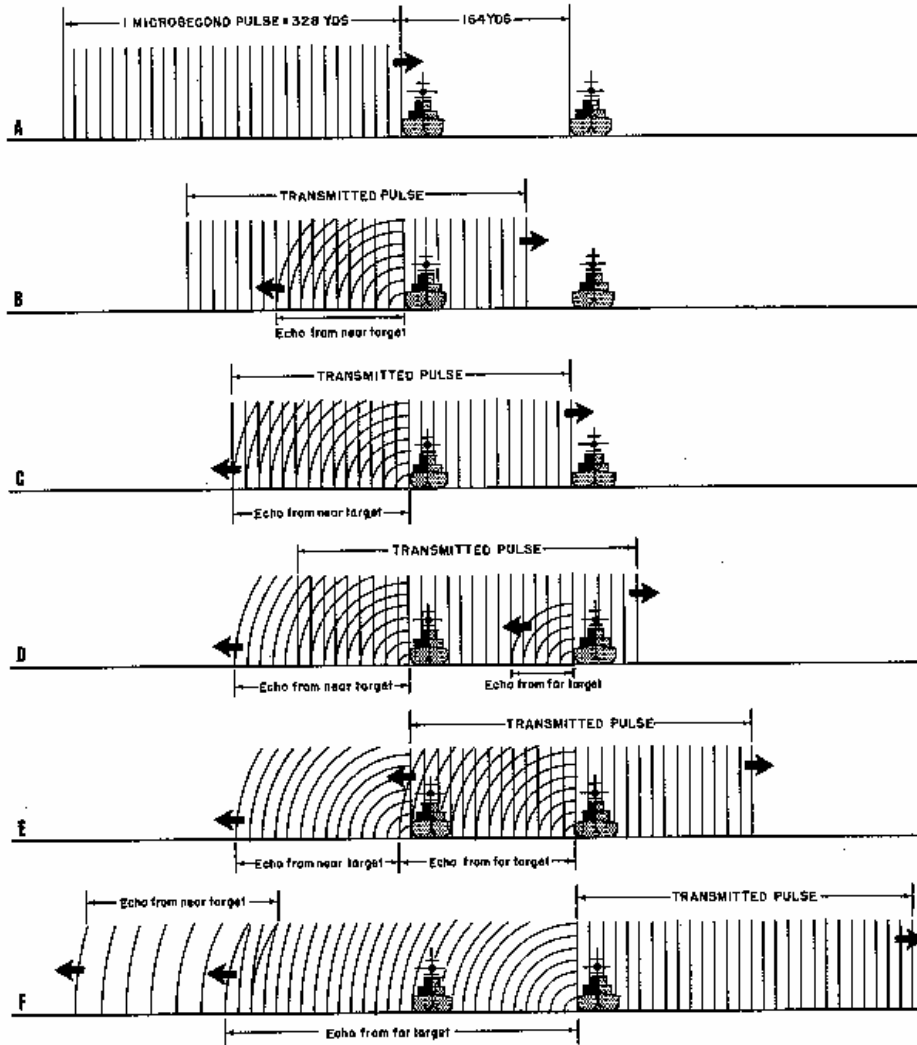
Yukarıdaki formül genelde aşağıdaki gibi yazılır:

mesafe ayrımı (yarda) = $PW(\mu\text{sec}) \times 164 \text{ yarda} / \mu\text{sec}$

Örneğin bir radar sistemi 5 mikrosaniyelik bir pals genişliğine sahipse, bu radarın mesafe ayrımı aşağıdaki gibi hesaplanır :

mesafe ayrımı = $PW \times 164 = 5 \times 164 = 820 \text{ yarda}$

Yukarıdaki örneğe göre, aynı kerterizde olan hedeflerin indikatör üzerinde iki farklı hedef olarak gösterilebilmesi için, aralarındaki mesafe 820 yardan daha fazla olmalıdır



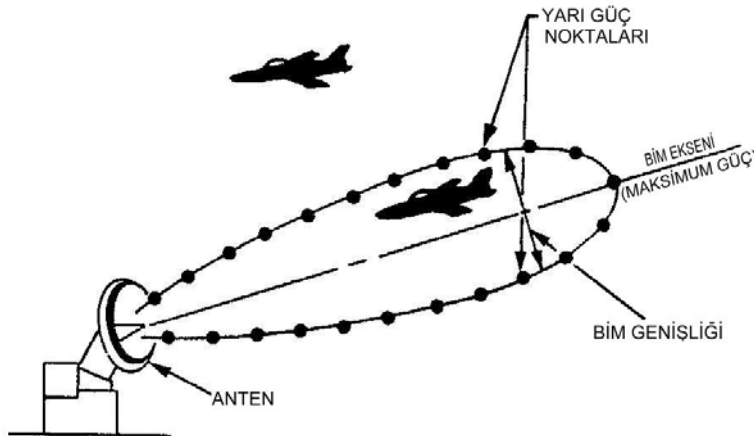
Şekil 5.25 Mesafe Ayrımı

5.2.20.2. Kerteriz ayrımı (bearing resolution)

Kerteriz veya drisa ayrımı, aynı mesafede fakat farklı kerterizlerdeki nesnelerin bir radar sistemi tarafından ayrılması yeteneğidir. Kerteriz ayrımının ölçüsü, radarın yatay bim genişliğine ve hedeflerin mesafesine bağlıdır. Mesafe arttıkça radar biminin yayılmasından dolayı mesafe, kerteriz ayrımında önemli bir faktördür.

Bir radar bimi, Yarı-Güç Noktaları (Half-Power Points) arasındaki genişlik içinde tanımlanır. Yarı-güç noktaları, Şekil 5.26'da gösterildiği gibi bir kavisle antene irtibatlandığında, kavisin sonuç açısal genişliği, Anten Bim Genişliği (Antenna Beam Width) olarak adlandırılır. Antenin fiziksel ölçü ve şekli, bim genişliğini belirler. Bim genişliği, yaklaşık olarak 1° 'den 60° 'ye kadar değişebilir. Şekil 5.26'da sadece yarı güç noktaları içindeki bir hedef kullanışlı bir eko yansıtır. Aynı mesafedeki iki hedefin iki farklı nesne olarak ayrılabilmesi için aralarında en az bir bim genişliği olmalıdır.

Bim eksenine göre düşey ekseninde gücün yarıya düştüğü noktalar arasında ölçülen açığa, Yatay Bim Genişliği (Horizontal Beam Width) denir. Yine bim eksenine göre yatay ekseninde gücün yarıya düştüğü noktalar arasında ölçülen açığa, Dikey Bim Genişliği (Vertical Beam Width) denir.



Şekil 5.26 Bim Yarı-Güç Noktaları (Beam Half-Power Points)

5.2.21. Radar doğruluğu (radar accuracy)

Radar doğruluğu, bir nesnenin doğru mesafe, kerteriz ve bazı durumlarda yüksekliğini belirlemede bir radar sisteminin yeteneğinin ölçüsüdür. Doğruluğun derecesi, öncelikli olarak radar sisteminin ayırımı tarafından belirlenir. Doğruluğu etkileyen bazı ilave faktörler, pals şekli ve atmosferik durumlardır.

5.2.21.1. Pals şekli (pulse shape)

Bir darbeleri radarda RF palsın şekli ve genişliği, minimum mesafeyi, mesafe doğruluğunu ve maksimum mesafeyi etkiler. İdeal pals şekli, dik ön ve arka kenarlara sahip olan bir kare dalgadır. Buna karşılık cihazlar genellikle ideal dalga şekilleri üretmezler.

Verici çalışırken alıcı hedef yansımalarını alamayacağı için, kısa mesafelerde dar bir pals gereklidir. Üretilen toplam güce çok az eklenebilmesine rağmen meyilli bir arka kenar, verici palsının genişliğini uzatır. Bundan dolayı dar bir palsla birlikte arka kenar mümkün olduğu kadar dike yakın olmalıdır.

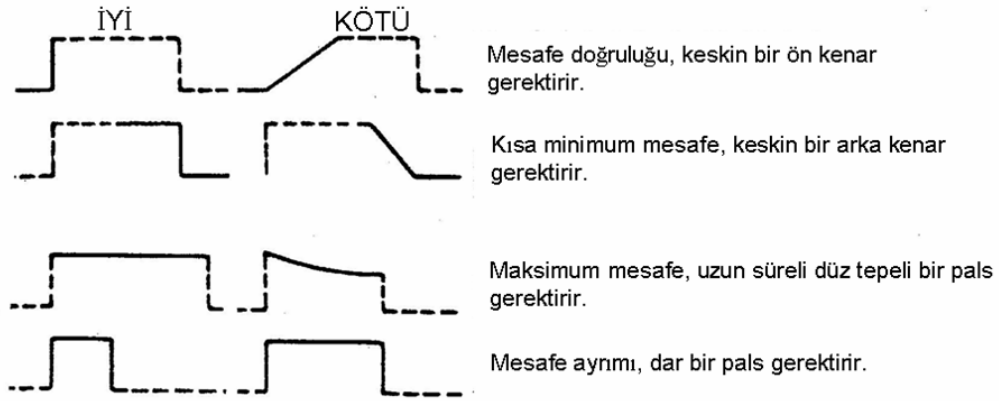
Palsın meyilli bir ön kenara sahip olması, indikatör zaman tabanı üzerinde geçen zamanı ölçmek için kesin nokta sağlamadığı için, mesafe doğruluğu kadar minimum mesafeyi de etkiler. Palsın ön kenarının alt ucunda başlayan bir noktayı kullanarak minimum mesafe artırılabilir. Meyil üzerinde daha yüksek bir başlama noktasının kullanılması, A/K probleminin doğru çözümü için çok hayati olan kısa mesafelerdeki mesafe ölçümlerinin doğruluğunu azaltır.

Maksimum mesafe, pals genişliği veya pals tekrarlama frekansı tarafından etkilenir. Gönderilen gücün sadece çok küçük bir oranında bir hedef ekosu yansıyabildiği için, gönderilen gücün artırılması, ekonun daha büyük kuvvette alınmasına sebep olur.

Böylece gönderilen bir pals, maksimum genliğe hemen yükselmeli, istenilen pals genişliği süresince bu genlikte kalmalı ve sonra aniden sıfıra düşmelidir. Şekil 5.27, pals şekillerinin etkilerini gösterir.

5.2.22. Eko sinyallerini tespit etme ve işleme

Radar alıcıları, mikro-volt veya mikro-mikrowatt ile ölçülebilen çok zayıf eko sinyallerini hemen hemen istenilen herhangi bir seviyeye yükseltme yeterliliğine sahiptirler. Buna karşılık, radar tespitinin işlevlenen kuvvetlendirme miktarını önemsemeksizin başaramayabileceği alıcı girişinde belirli bir sinyal gücü zayıflığı vardır. Zayıf sinyallerin tespitinde asıl sınırlama, gürültü olarak adlandırılan çok küçük voltaj dalgalanmalarının varlığı tarafından oluşturulur. Bu dalgalanmalar, tüm alıcılarda belirli seviyelerde daima mevcuttur. İyi bir alıcı dizaynıyla uygun sinyal işlenmesine rağmen, gürültü etkileri küçümsenebilir fakat, asla tam olarak ihmal edilemezler. Gürültü, dirençler ve iletkenlerdeki elektronların ısı dalgalanması ve diğer önlenemeyen etkilerle oluşur. Uygun bakım-tutum yöntemleri ile bir radar alıcısı, ilave gürültü oluşmasından korunabilir ve düşük sinyal seviyeleri için alıcı hassasiyeti yüksek tutulabilir. Gürültü dalgalanmalarına göre sinyaller daha zayıf olduğunda, alıcı çıkışındaki belirli bir voltaj artmasının, bir sinyal tarafından mı yoksa sadece gürültü dalgalanmasının bir değişimi tarafından mı olduğu hakkında güvenilir bir karar vermek imkansızdır.



Şekil 5.27 Pals Şekilleri ve Etkileri

Bir eko sinyalinin tespit edilebilirliği, ihtimale dayanır. Tespit etme ihtimali, belirli bir sinyal seviyesiyle ilişkilidir. Gerçekte sadece gürültü olan bir sinyalin tespit edilme ihtimali, sakınılamayan bir risktir. Bu oluşumun ihtimali, **YANLIŞ ALARM**

(False Alarm) ihtimali olarak adlandırılır. İdeal durum, yanlış alarm ihtimaline göre tespit ihtimalinin çok yüksek olduğu durumdur.

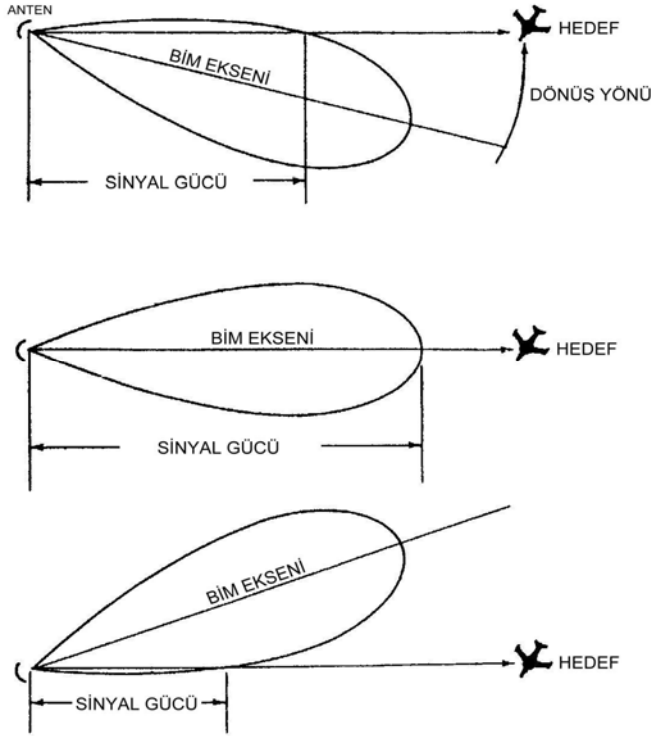
Bir alıcı sisteminde sinyal işlem ve hedef tespitine karar verme metodu, tespit ve yanlış alarm ihtimalleri, tespit için ihtiyaç duyulan sinyal-gürültü güç oranının (S/N Ratio) fonksiyonlarına bağlıdır. Mevcut sinyal-gürültü oranını iyileştirmek için en etkili pratik işlem yolu, ardışıl palsların tümleştirilmesidir. Bu yöntemde tespit, tek bir pals yerine birkaç palsın birleşik (toplamsal) etkisine dayanır.

Bir radar için tümleştirilen palsların sayısı büyük oranda değişebilir. Radar bimi, bir hedefi süpürerek geçen radarlarda tümleştirme için kullanılan palsların sayısı, zaman periyodunun çok daha uzun bir kısmında bimin hedef üzerinde tutulduğu bir takip radarındakinden daha azdır. Arama radar tespitiyle karşılaşılan diğer bir problem, radar bimi hedef üzerinde merkezlenemediğinden dolayı eko genliğindeki büyük oranlı değişimdir. Bim, bir hedef üzerinden süpürüp tespit edilememekten kolayca tespit edilmeye değişirken eko, çok zayıftan kuvvetliye ve daha sonra tekrar zayıfa doğru değişir (Şekil 5.28).

Tespit için gereken en az sinyal gücünün ölçülmesi, en az tespit edilebilir sinyal-gürültü güç oranı olarak adlandırılır. Bu, yaygın olarak MDS (Minimum Detectable Signal - En Düşük Tespit Edilebilir Sinyal) adı altında kısaltılır. MDS, desibel olarak ifade edilir ve 1 mW'a (dBm) referanslıdır. A/K personelinin çalışacağı radarlarda, en az -90 dBm civarında bir MDS bulacaksınız. Bu, radarın 1 mW'tan 90 dB daha küçük veya 1 pikowatt'lık (10^{-12} watt) bir sinyali tespit etme yeteneğidir.

5.2.23. Anten faktörleri (antenna factors)

Anten dizaynı, bir hedefin tespitini büyük oranda etkiler. Değişik gemilere bakıldığında çok çeşitli anten dizaynı olduğu görülür. Her dizayn, uygun bir bim genişliği ve kazanç faktörü sağlamak için kullanmaya sunulur.



Şekil 5.28 Hedef Eko Gücü Değişimleri

5.2.23.1. Anten kazancı (antenna gain)

Bir antenin maksimum güç kazancı, onun yönlendirme ve yayma (radyasyon) etkinliğinin bir fonksiyonudur. Yönlendirme, küresel koordinatlardaki elektrik alan yoğunluğu paternidir. Radyasyon (yayma) etkinliği, gerçek olarak yayınlanan toplam gücün antene dağıtılan güce oranıdır. Anten kazancı, genellikle dB olarak bir güç kazancı şeklinde ifade edilir. Bir alışı fonksiyonu için anten kazancı, bir hedefe çarpıp gelen güçten çıkarılan toplam sinyal gücü ile toplam çarpıp gelen gücün (eko sinyal gücünün) oranıdır. Anten yayma etkinliğinin ters değeri, anten kaybı faktörüdür.

5.2.23.2. Anten bim genişliği (antenna beamwidth)

Bu faktör, anten alışı durumundayken tümleştirme için kullanılabilir ekoların gücüyle tespit etmeyi etkiler. Bim genişliği, anten yönlendirmesini ve bundan ötürü de hedefte kullanılabilir gücün miktarını etkiler. Dar bir bim genişliği, bir takip

radarı için tespit ihtimalini arttırırken, anten tarama yaparken tümleştirme için daha az pals kullanılacağından dolayı bir arama radarının tespit ihtimalini azaltır.

Anten bım genişliği, antenden belirli mesafede alınan güç okumaları tarafından ölçülebilir. Elektromanyetik enerjinin bir bım içinde odaklandığı yönlendirmeli bir antenle bım merkezinden mesafe değiştikçe, yayınlanan sahadaki güç değişir. Şekil 5.29'da A noktası, bım merkezini (maksimum güç) temsil eder. Antenden aynı yarıçapı korurken bım merkezinden uzakta ölçülen güç, mesafe arttıkça azalır. Belli bir mevkide güç seviyesi tekrar artar, ama bım merkezinde ölçülen güce ulaşmaz. Bım merkezinden uzakta gücün arttığı noktalar, yan veya küçük lobların (side veya minor lobes) yerleşimleridir. Bım merkezinden (A noktası) B veya B'ne uzaklaşan yönde hareket etme, güç seviyesinde 3 dB veya yarı güç oranında bir azalma üretir. Kaynak (anten) civarında ölçülen yarı-güç noktaları (B ve B') arasındaki ikiye bölen açı, Bım Genişliği (Beam Width) olarak adlandırılır.

Şekil 5.29 B görünüşünde gösterildiği gibi yayılımın olmadığı noktalar, sıfır (null) noktaları olarak adlandırılır (C). Güç yoğunluğu, A noktasındaki azami değerden C noktasındaki sıfır değerine azalır. C ve C' arasındaki ana radyasyon bölgesi, ana lob (main lobe); düşük radyasyon bölgeleri, yan loblar (side lobes) olarak adlandırılır.

Yan lobların bım genişliği de aynı tekniği kullanarak ölçülebilir. Bım genişliği derece olarak ifade edilir ve 1°den daha dar bımler, bazı atış kontrol radarlarında bulunabilirler. İdeal olarak antenden uzaklaştıkça küresel olarak yayılmayan bir bım istenirdi. Bu ideale en çok yakınlık, sadece lazer gibi tutarlı (coherent) ışıkla başarılır. Şekil 5.29 A görünüşü, ölçümün sadece bir eksenini (iki boyut) gösterir. Çoğu takip radarları, bım genişliğinin hem yatay hem de dikey eksenlerde benzer olduğu ve dairesel bir patern teşkil ettiği simetrik bir bım kullanırlar. İki boyutlu (2-D) arama radarları gibi bazı radarlar, daha geniş bir dikey hacim kaplamaları için dikey ekseninde geniş ve yatay ekseninde dar ve eliptik bir bım kullanırlar.

5.2.24. Hedef kesiti (target cross-section)

Bir hedefin kesit yansıtma alanı da tespit ihtimalini etkiler. Hedef görünüşü değiştikçe, bu hedefin kesiti de değişir. Doğrudan radara yaklaşan bir jet uçağı, çaprazlama geçmesinden daha az yansıtıcı yüzeye sahiptir. Yaklaşan bir seyir füzesi,

yaklaşan çok motorlu bir bombardıman uçağından çok daha küçük bir yansıtma yüzeyine sahiptir.

Hedef tespitini etkileyen faktörlerin çoğunu kontrol etme imkanına sahip değiliz. Kontrol edebileceğimiz faktörler, radar vericisinin, alıcısının, iletim hatlarının ve sinyal işlem cihazının en yüksek çalışma seviyesinde muhafazasının titizlikle kontrolüdür.

5.2.25. Radarların sınıflandırılması (classification of radars)

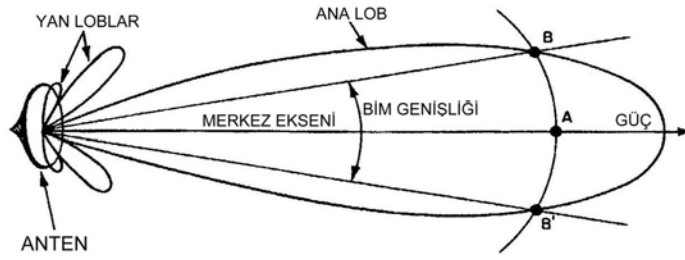
5.2.25.1. Çalışma prensiplerine göre radarlar

- CW (Sürekli Dalga) Radarlar
- FM (Frekans Modüleli) Radarlar
- Darbeli (Pals) Radarlar

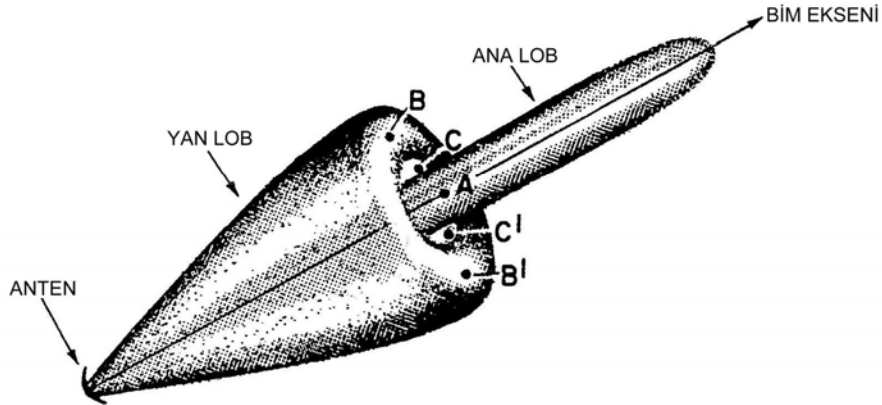
5.2.25.2. Kullanım alanlarına göre radarlar :

Radar sistemleri genel olarak arama radarları ve takip radarları olmak üzere iki ana gruba bölünebilirler. Arama radarları, başlıca olarak gemilerin ve uçakların tespiti ve gözetlemesi için kullanılırlar. Atış kontrol radarları, silah sistem hedef angajmanı için gerekli olan kesin hedef pozisyon bilgisini sağlarlar. İki ana grup dahilinde bölünmelerine rağmen konumuzla ilgili radarları aşağıdaki gibi ayrıntılı olarak sınıflandırabiliriz :

- Hava Arama Radarları (Air-Search Radars)
- Suüstü Arama Radarları (Surface Search Radars)(Seyir Radarları Dahil)
- Yükseklik Bulucu Radarlar (Height Finding Radars)
- A/K Radarları (Fire Control Radars)



(A) Anten Yayılım Şeklinin İki Boyutlu İfadesi



(B) Anten Yayılım Şeklinin Üç Boyutlu İfadesi

Şekil 5.29 Anten Yayılım Şekli (Antenna Radiation Pattern)

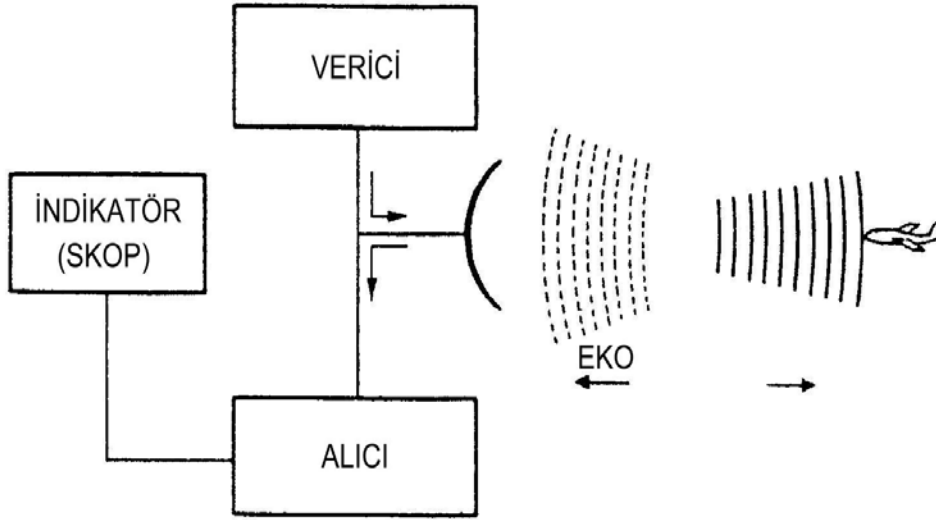
5.3. Radar Çalışma Prensipleri

Radar, mesafesi dahilinde radar üssünü çevreleyen geniş bir bölgedeki tüm nesnelere tespit etmek için kullanılır. Gemi radarlarının nesnelere, normal olarak suüstü gemileri, uçak veya güdümlü mermilerdir.

Radar çalışması, yüksek frekanslı radyo dalgalarının bir vericiden yayımlanması ve bu dalgaların yolundaki nesnelere vericiye doğru yansıtılması gerçeğine dayanır. Yansıyan enerjinin radar alıcısına yeterli güçte sağlanması amacıyla nesnelere, vericinin menzili içinde olmalıdırlar. Temel bir pals (darbe) radarı, verici, yönsel bir verici/alıcı anteni, alıcı ve indikatörden oluşur (Şekil 5.30).

Diğer karmaşık elektronik sistemler gibi radar sistemleri, birkaç ana alt sistem ve birçok bireysel devrelerden oluşur. Bu kısımda çoğu radar cihazları için yaygın olan ana alt sistemlerden bahsedilmekte ve alt sistem çalışma prensiplerinin kısa bir fonksiyonel açıklaması anlatılmaktadır. Bugün kullanımdaki radar sistemlerinin

çoğu, darbeli (pals) radar sisteminin birkaç uyarlamasıdır. Bu kısımda bahsedilen ünitler, darbeli radarlarda kullanılanlar olacaktır.



Şekil 5.30 Temel Radar Çalışması

5.3.1. Radar kısımları

Darbeli radar sistemleri, Şekil 5.31’de gösterildiği gibi fonksiyonel olarak 6 ana kısım dahilinde bölünürler.

5.3.1.1. Synchronizer

TIMER veya KEYER olarak da ifade edilir. İndikatör ve diğer irtibatlı devrelere gönderme palsları zamanında senkronize sinyalleri sağlar.

5.3.1.2. Verici (transmitter)

Kısa, güçlü pals şeklinde elektromanyetik enerji sağlar.

5.3.1.3. Duplekser (duplexer)

Aynı antenin hem gönderme hem de alışı için kullanılmasına izin verir.

5.3.1.4. Anten sistemi

Vericiden gelen elektromanyetik enerjiyi gönderir, yüksekçe yönsel bir bım içinde yayar, dönen her ekoyu alır ve bu ekoları alıcıya gönderir.

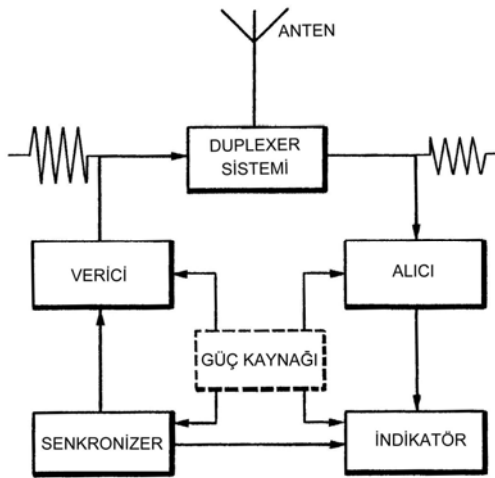
5.3.1.5. Alıcı (receiver)

Yansıyan nesneden dönen zayıf elektromanyetik palsları kuvvetlendirir ve indikatöre gönderilen vidyo palsları olarak yeniden oluşturur.

5.3.1.6. İndikatör

En azından mesafe ve kerteriz bilgisi sağlanması yoluyla eko palslarının görsel bir görüntüsünü üretir.

Radar sistemlerinin fiziksel biçimi farklıyken herhangi bir radar sistemi, Şekil 5.31'deki fonksiyonel blok çizimi tarafından temsil edilebilir. Gerçek bir radar cihazı, bir fiziksel ünit içinde bu fonksiyonel kısımların birkaçına sahip olabilir veya bu fonksiyonlardan sadece biri, birkaç fiziksel ünit gerektirebilir. Buna karşılık temel bir radarın fonksiyonel blok çizimi, hemen hemen her radar cihazının çalışmasını analiz etmek için kullanılabilir.



Şekil 5.31 Temel bir radar sisteminin fonksiyonel blok çizimi

BÖLÜM 6. SONARLAR

6.1. Sonarların Tarihçesi

Lewis Nixon 1906 yılında buz dağlarının tespit için ilk pasif sonarı geliştirdi.

Aktif sonar fikri 14 NİSAN 1912’de Titanic transatlantiğinin büyük bir buzdağına çarparak batması olayından sonra ortaya atıldı. Richardson adında bir bilim adamı “aksi seda” prensibi ile suyun içinde bulunan cisimlerin tespit edilebileceği tezini ortaya koydu. Çalışmaları başlattı, ancak somut bir sonuç alınamadı.

Bu arada I. Dünya Savaşında Alman Denizaltı gemilerinin Müttefik devletlere ait gemileri batırması üzerine diğer devletlerde çalışmalarını yoğunlaştırdı. Grilovski adında Polonyalı bir bilim adamı aksi seda prensibine bağlı tezini Fransız bahriyesine sundu, fakat ciddiye alınmadı.

1915 yılında Paul Langwin ve Constantin Chilowski adında bilim adamları bu konudaki çalışmalarını yoğunlaştırarak, ses dalgaları üreten bir cihaz yaptı (aktif sonar). Bu yöndeki somut gelişmeleri gören müttefik devletler de çalışmalara başladı. 1917 yılında İngiliz İcat ve Araştırma Bürosu (Board of Inventions and Research) ASDIC (Allied Submarine Dedector Investigation Comitte) denizaltı bulucu tetkik komisyonu adı altında toplanarak Langwin’in çalışmalarına bilimsel ve parasal yönden katıldılar. Kanadalı fizikçi Robert Boyle’un katılımıyla komisyon genişledi. Komisyonun çalışma süresi sonunda meydana getirilen cihaza, komisyonun adını oluşturan sözcüklerdeki ilk harfler alınarak ASDIC adı verildi. 1920 yılında İngilizler ilk sonarı HMS Antrim gemisine monte ettiler [8].

ABD Bahriyesinde, I. Dünya Savaşında kaybetmiş gemilerinin çok büyük sayılara yükseldiğini ve denizaltı gemilerinin keşfedilmelerinin hayati önem taşıdığını

görerek bu konuda çalışmalara başladılar. Amerikalı bilim adamı David BUSHNELL bu konuda çok büyük aşamalar yaptı. Sonunda meydana getirilen cihaza Seda ile Seyir ve Mesafe Ölçme (Sound Navigation And Ranging) cümlesini oluşturan sözcüklerin baş harfleri alınarak SONAR adını verdiler.

İlk yapılan SONAR ve ASDIC cihazları, ışıldak (Searchlight) tipinde ve bir defada sadece dar bir sektörü izleme/dinleme kabiliyetinde idi. Bu cihazlar 1924 yılında hizmete girmiştir.

1943–1945 yıllarında Sonar cihazları geliştirilmiş modernleştirilmiş ve çevresel (scanning) her yönü kapsayarak tarama yapacak şekilde tasarlanmıştır.

Başlangıçta 2000 yarda menzili olan Sonar ve ASDIC cihazları II. Dünya savaşı sonrasında 10.000 yarda menzile sahip olmuşlardır.

6.2. Sonarın Tanımı ve Amacı

6.2.1. Sonarın tanımı

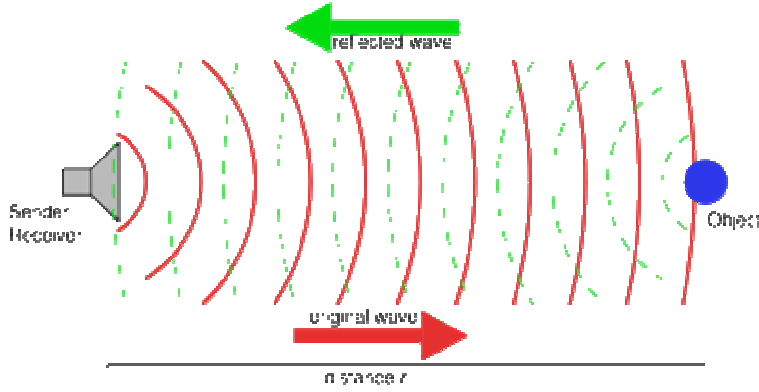
Yankı (Aksı seda) prensibi ile çalışan ve sualtında bulunan cisimlerin varlığını meydana çıkartmak amacıyla yapılmış cihazlara Sonar denir [7].

6.2.2. Sonarın amacı

Sonar; suüstü gemilerinde, denizaltılarda ve helikopterlerde arama, tespit etme, sınıflandırma, izleme ve hücumda kullanılır. Aktif ve pasif olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

6.3. Aktif Sonarlar

Suya seda palsı gönderilir, denizaltından dönen ekodan denizaltının kerteriz ve mesafesi bulunur. Gönderilen ses sinyaline genelde “ping” adı verilir (Şekil 6.1) [8]. Aktif sonarlar çalışma sistemlerine göre 4 gruba ayrılırlar.



Şekil 6.1 Aktif sonar çalışma prensibi

6.3.1. Işıldak tipi sonar (search light)

Seda bimi tıpkı bir ışıldak gibi belirlenen bir kerterize yaklaşık 5° genişlikte gönderilir. Az bir güce ihtiyaç gösterir. En büyük dezavantajı çevresel tarama için uzun zamana ihtiyaç göstermesidir. 5° tarama için 6 saniye 360° tarama için yaklaşık 7 dakikaya ihtiyaç vardır. Bu süre nedeniyle hedefi ararken kaybedilen zaman sonucunda yönüne bağlı olarak hedef kaçabilir. Ayrıca, süratle manevra yapılması durumunda da temas kaybedebilir.

6.3.2. Tarama tipi sonar (scanning)

Seda bütün yönlere (360°) aynı zamanda gönderilir. Dönen ekolar ve sualtından gelen görüntüler gösterici cihazda sergilenir ve sesli olarak duyulur. Gösterici cihaz vasıtasıyla şu bilgiler alınabilir.

- Cismin büyüklüğü
- Cismin mesafesi
- Bulduğumuz yere göre açısı
- Cismin hareketi

- Cismin rotası (yönelimi, gittiği yön)
- Sabit cisimlerden yansımalara göre kendi rotamız ve süratimiz

6.3.3. Dönen yayın (rotational directional transmission)

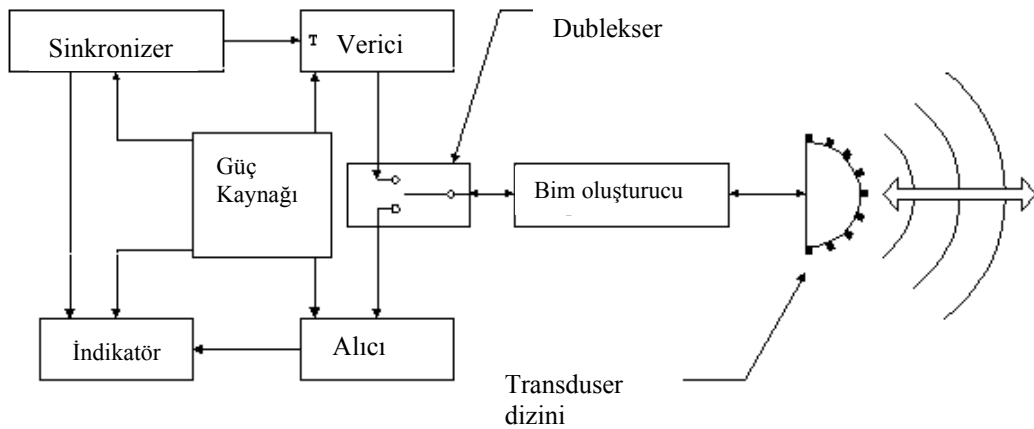
Seda bimi 360° scanning transmision şeklinde gönderildiği gibi 20°-120°arasında belirlenen bir genişlikte de gönderilebilir. RDT sonarlar, scanning ve search light tipi sonarların en iyi özelliklerinin birleştirildiği cihazlardır.

6.3.4. Yönlendirilmiş yayın (streed directional transmision)

Seda bimi kursora bağlı olarak dar bir açıda gönderilir. Arama için uygun değildir. Daha çok hedef sınıflandırmada kullanılır.

6.3.5. Aktif sonarın kısımları

Aktif sonar sistemleri Şekil 6.2'de [7] gösterildiği gibi 7 ana kısımdan oluşur.



Şekil 6.2 Aktif sonar fonksiyonel blok diyagramı

6.3.5.1. Synchronizer

TIMER veya KEYER olarak da ifade edilir. İndikatör ve diğer irtibatlı devrelere gönderme ve alma zamanlarını senkronize sinyalleri sağlar.

6.3.5.2. Verici (transmitter)

Kısa, güçlü pals şeklinde seda enerjisi sağlar.

6.3.5.3. Duplekser (duplexer)

Aynı sistemin hem gönderme hem de alışı için kullanılmasına izin verir.

6.3.5.4. Transduser dizini

Aslında yön belirtmeyen basit elemanlardır. Yön olgusunu yaratacak şekilde dizilmişlerdir. Vericiden gelen enerjiyi gönderir, yüksekçe yönsel bir seda içinde yayar, dönen her ekoyu alır ve bu ekoları alıcıya gönderir. Gürültü azaltma işlevine haizdir.

6.3.5.5. Alıcı (receiver)

Yansıyan nesneden dönen zayıf enerjiyi kuvvetlendirir ve indikatöre gönderilen vidyo palsları olarak yeniden oluşturur.

6.3.5.6. İndikatör

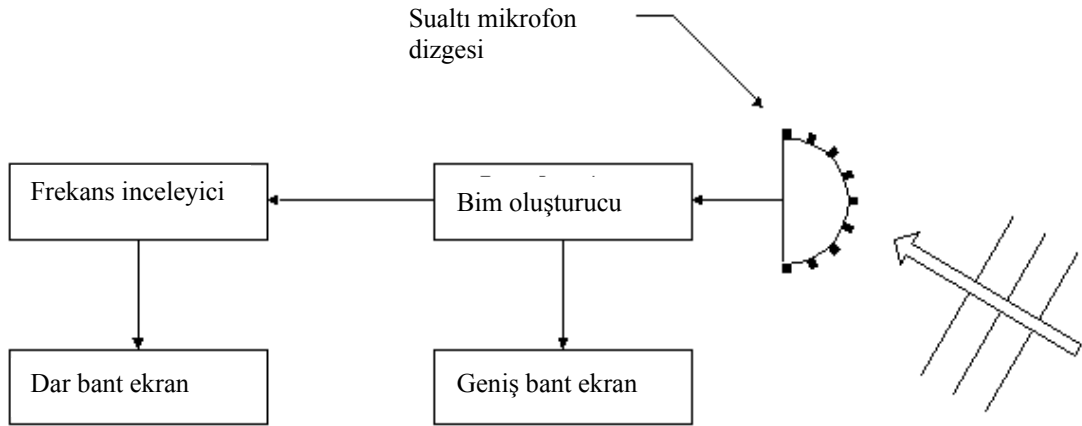
En azından mesafe ve kerteriz bilgisi sağlanması yoluyla eko palslarının görsel bir görüntüsünü üretir.

6.3.5.7 Bim oluşturucu

Tüm transduserlerin giriş ve çıkışları bim oluşturucuya bağlanır. Bu sayede belirlenen yönde daha dar bir bim genişliği sağlanmaya çalışılır. Bu işlem için gerekli zaman geciktirilmesi ve faz değişiklikleri yapılır.

6.4. Pasif Sonar

Denizaltının yarattığı gürültüyü alma esasına göre çalışır ve sadece kerteriz bulunur. Daha çok denizaltı gemilerinde kullanılırlar. Aktif sonarların (şekil 6.3) [7] da aynı amaçlı kullanılma imkânları vardır.



şekil 6.3 Pasif sonar fonksiyonel blok diyagramı

6.4.1. Pasif sonarın kısımları

Pasif sonar sistemleri şekil 6.3'de gösterildiği gibi 5 ana kısımdan oluşur.

6.4.1.1. Sualtı mikrofon dizgesi

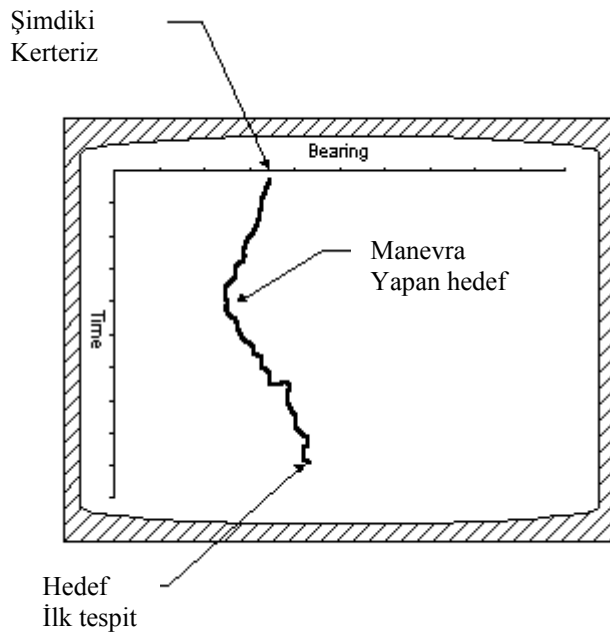
Hedeften yayılan ses enerjisine hassas mikrofonlardan oluşur. Bim genişliğini ayarlamak amacıyla kullanılır. Silindirik veya küresel olarak dizilirler. Bim oluşturucu sayesinde yön ayırımı yapılabilir.

6.4.1.2. Bim oluşturucu

Aktif sistemlerin aksine pasif sistemler tüm yönlerden gelen işaretleri işlemek zorundadır. Bu çok büyük bir bant genişliği demektir. Aynı zamanda dar bir bant genişliği de ilgilenilen hedef için gereklidir. İki görev de bim oluşturucu tarafından yapılır. Temel fikir aktif sistemlerdeki ile aynıdır.

6.4.1.3. Geniş bant ekran

Bim oluşturucunun ıkışı Şekil 6.4'te grldği üzere kerteriz zaman tarihçesi olarak gösterilir (Bearing Time History – BTH).



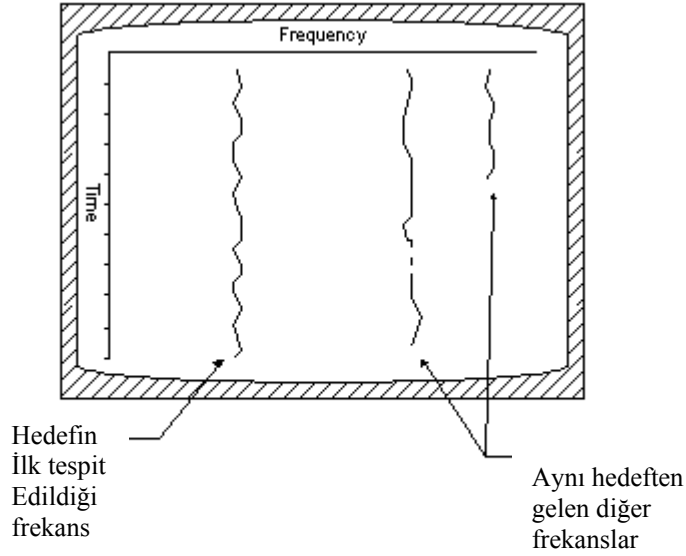
Şekil 6.4 Kerteriz zaman ekranı (BTH)

6.4.1.4. Frekans inceleyici

Frekans inceleyici gelen sinyali değişik frekanslara böler. Bölünen parçalara frekans parçacığı denir. Çalışma maksadıyla bu frekans parçacıklarından biri seçilir.

6.4.1.5. Dar bant ekran

Bim oluşturucunun çıkışındaki her bir bim için kerteriz zaman tarihçesi olarak gösterilir. Buna Şelale göstericisi (waterfall display) (Şekil 6.5) de denir.



Şekil 6.5 Şelale göstericisi (waterfall display)

6.5. Sonarların Kullanım Yerleri

Sonar eko aramasında, dinlemede, derinlik ölçmede ve sualtı muhaberesinde kullanılır.

6.5.1. Eko araması

Ses dalgaları suya gönderilir, su altında kaya parçasına, balık sürüsüne, topuk, batık gemi, dalmış denizaltıya çarpar ve eko olarak yansır. Bu eko, kontrol indikatör üzerinde değerlendirilir. Hedefin mesafesi, kerterizi, genel rotası tespit edilir.

6.5.2. Dinleme

Ses dalgası gönderilmez,, su içindeki sesler alınır. Hoparlörde duyulur. Sedanın yalnız kerterizi tespit edilir. Gemilerin ve denizaltıların oluşturduğu gürültülerin tespiti ve tanımlanması yapılır.

6.5.3. Derinlik ölçme

Deniz derinliğini tespit etmek için kullanılan derinlik iskandili ile deniz derinliği tespit edilebilir.

6.5.4. Sualtı muhabere

Ses dalgaları mors kodu kullanılarak transmisyon şeklinde gönderilir. Suüstü ve denizaltı gemileri bu kodları transdüser vasıtası ile alırlar, hoparlöründe duyarlar. Mors kodları şeklinde cevap verilir.

BÖLÜM 7. KIZILÖTESİ

7.1. Kızılötesi Tarihçesi

Bir astronom olan Sir William Herschel, infraredi 1800 yılında keşfetti. Kendi çalışmaları için teleskop yaptığı için lensler ve aynalar hakkında bilgi sahibiydi. Güneş ışığının renklerden oluştuğunu ve aynı zamanda bir ısı kaynağı olduğunu biliyordu. Bu nedenle ısının hangi renklerden kaynaklandığını bulmak istedi. Bu maksatla bir prizma, kağıt ve termometrelerle bir deney gerçekleştirdi. Değişik renklerin ısını ölçtü. Herschel prizma üzerinden geçen güneş ışığında mordan kırmızıya geçerken bir sıcaklık artışı tespit etti. En sıcak ısının kırmızı ışıktan daha sonra oluştuğunu gözlemledi. Bu sıcaklığın oluşmasını sağlayan ışınım görülebilir değildi. Herschel bu ışımaya "calorific ışınlar" adını verdi [9].

Bu tanım 1880 yılında kızılötesi (infrared) olarak adlandırıldı. Samuel Langley ısıtıldığında direnç farklılıklarını ölçen bolometer olarak adlandırdığı bir cihaz icat etti. Bir bolometre 1901 yılında bir ineği 400 metre mesafeden tespit etti.

2. Dünya savaşından sonra bir çok ülke kızılötesinin askeri uygulamaları için yüklü miktarda para ayırdı.

Daha sonra yapılan icatlar sonucu kızılötesi sistemler algılayıcı sistemler içerisinde yerini aldı. Günümüzde askeri amaçlı en çok kullanılan sistemlerden birisidir.

7.2. Kızılötesi Cihazların Kullanım Yerleri

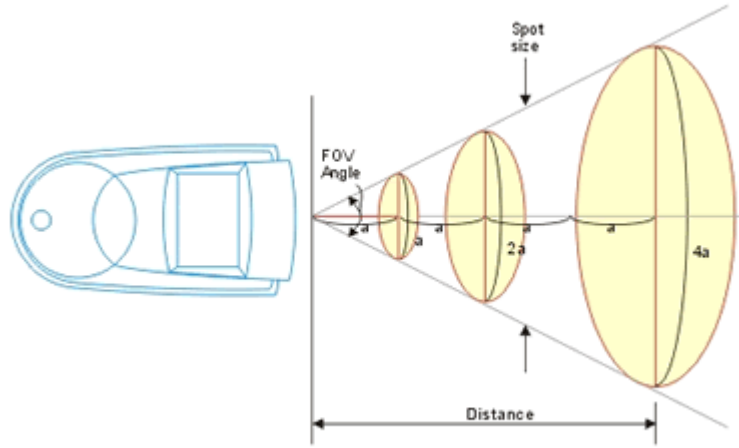
Kızılötesi sayesinde bir cismin sıcaklığı ölçülebilir.

Kızılötesi sıcaklık ölçümü, meteoroloji, astronomi, gece görüş sistemleri, görüntüleme sistemleri, uzaktan ısı ölçümü sistemleri, uzaktan kumandalar, haberleşme, ısıtma, uzaktan ısı kaynağı tespiti ve askeri alanlarda yaygın olarak kullanılır.

7.3. Kızılötesi Cihazların Yapısı

Kızılötesi sistemler ışık toplayıcı olarak mercekler, ısı algılayıcısı, işleyici ve sergileyici olmak üzere 4 ana bölümden oluşur. Bu nedenle lazerlerle birlikte elektro-optik sistemler olarak da adlandırılır.

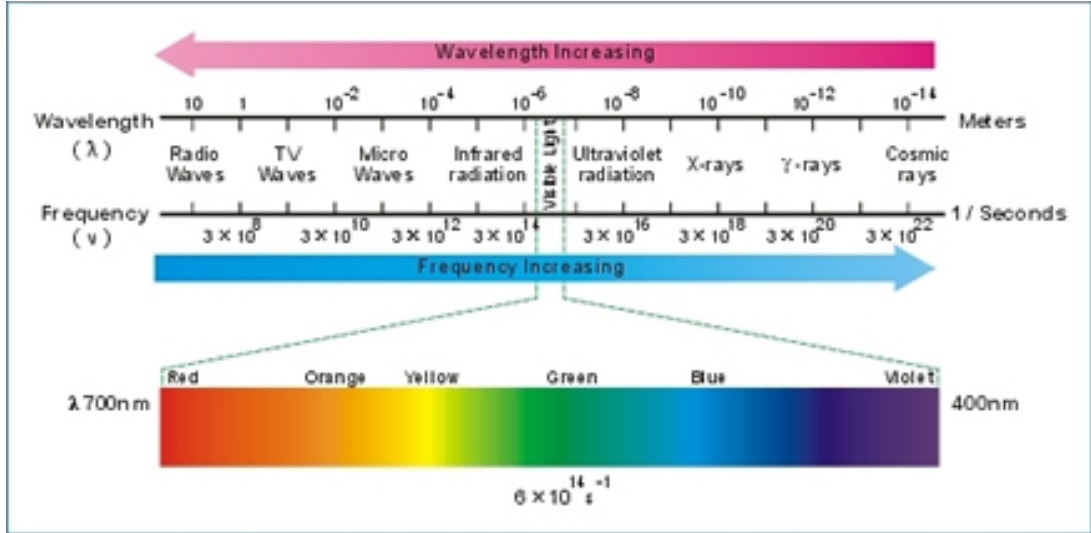
Bir cismin ısını ölçebilmek için kızılötesi algılayıcı sistemin tam olarak hedef üzerinde olması (Şekil 7.1) [10] (hedefin tüm görüş alanını doldurması) gereklidir. Bu alanın içerisine başka hiçbir şey girmemelidir. Bu nedenle çok hassas sistemlerdir.



Şekil 7.1 Tipik bir Kızılötesi alıcı

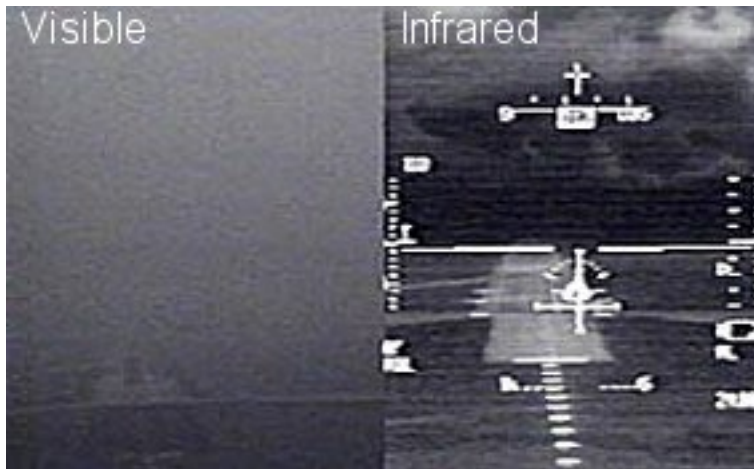
Kullanımı ve bakımı diğer sistemlere göre daha zordur ve karmaşık sistemlerdir.

Kızılötesi dalga boyu 10^{-4} ile 10^{-6} metredir. -273.15° Celsius (0° Kelvin) ve üzerindeki tüm cisimler kızılötesi ışınlar yayarlar. İnsan gözü tarafından görülebilir aralıkta olmadığı için (Şekil 7.2) [11] biz bu ışımayı göremeyiz.



Şekil 7.2 Elektromanyetik spektrum

Görünür ışık ile göremeyeceğimiz pek çok şeyi kızılötesi sistemler sayesinde görebiliriz. Şekil 7.3'te [12] bir uçağın hava alanı yaklaşması sırasında sis nedeniyle normal gözle iniş pistini görüşü ve aynı yerin kızılötesi (infrared) kamera sayesinde nasıl görüldüğü görülmektedir.



Şekil 7.3. Bir uçağın kızılötesi kamera kullanarak havaalanına inmesi

BÖLÜM 8. AKILLI SİSTEMLER

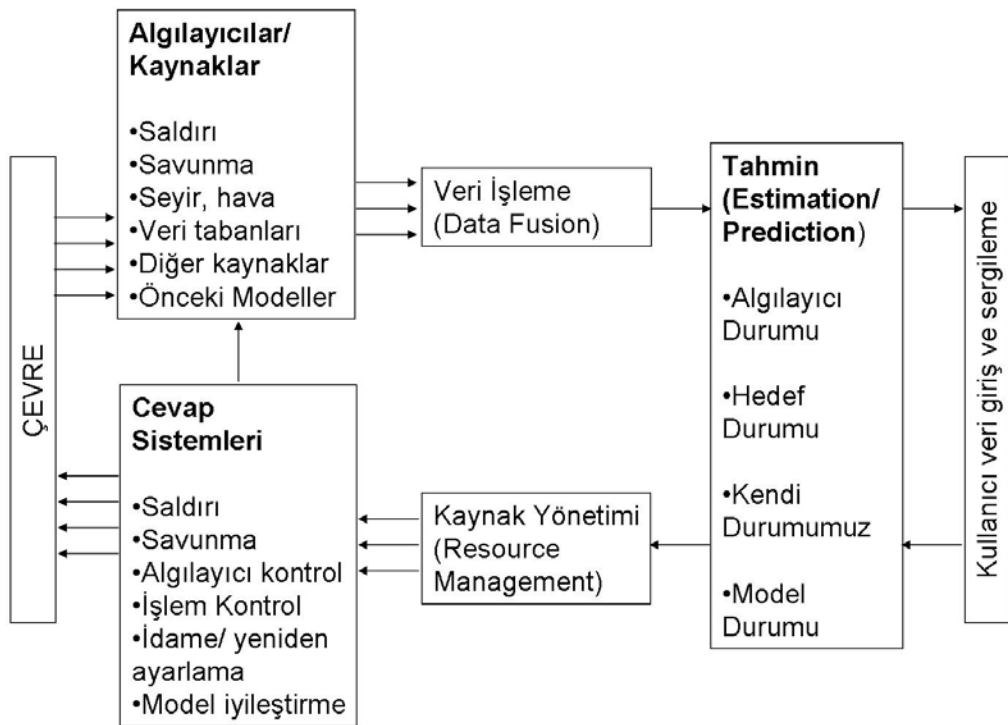
Askeri amaçlı kullanılan sistemler her türlü ortamda çalışabilen, esnek, dayanıklı ve güçlü sistemler olmak zorundadır. Sıradan cihazlardan oluşturulacak sistemler zaman, maliyet, etkinlik, dayanıklılık, esneklik, güvenlik, kullanım kolaylığı vs. açılarından yeterli olmayabilir [13].

Çağımız bilgi toplama değil bilgiyi en iyi şekilde işleme ve en etkin kullanmayı dikte etmektedir. Savaş çok boyutlu olduğu için savaş sistemleri de çok boyutlu ve çok yönlü olmalıdır. Esnek savaş ortamının tüm gereklerine uygun olmalıdır.

Akıllı savunma sistemimiz temel olarak (Şekil 8.1):

- Tüm algılayıcılardan gelen bilgileri toplamalı,
- Farklı algılayıcılardan gelen aynı hedefe ait bilgileri ayıklamalı,
- Bunları süzmeli,
- Yararlı bilgi haline getirmeli,
- Gerekiyorsa veri tabanlarında uygun bilgilerle karşılaştırmalı,
- Elde edilen yeni bilgilerle tehdit değerlendirmesi yapmalı,
- Hedefleri tek bir ortamda hedef önceliklerine göre sınıflandırmalı,
- Sergilemeli,

- Diğer çevresel şartları da kapsayan bir ortamda değerlendirmeli,
- İnsan karar vericinin ihtiyaç duyacağı tüm bilgileri ve olası hal tarzlarını hesaplayarak karar desteği sağlamalı,
- Cevap sistemlerine gerekli bilgileri verebilmeli,
- Algılayıcılardaki hataları algılayabilmeli, gerekli düzeltmeleri yapabilmeli,
- Tüm sistem ve parçaları birbiriyle uyum içerisinde olabileceği ortak bir çalışma (veri iletişim) ortamı içerisinde ortak veri üzerinde çalışabilmeli ve anlaşabilmelidir.



Şekil 8.1 Akıllı Savunma Sistemi

Akıllı sistemimiz, konvansiyonel sistemlerin tüm özelliklerini ve daha fazlasını sağlamalıdır. Bunlar Komuta-Kontrol, iletişim, bilgisayar, istihbarat, teşhis ve tespit (command, control, communications, computers, intelligence, reconnaissance and

surveillance) sistemleridir. Bunlar kısaca C4ISR olarak adlandırılır. Bu sistemler sayesinde birliklerimize emir verebilir, durumlarını bilebilir, sağlıklı bir iletişim ortamı sağlayabilir, ortak veritabanlarını kullandırabilir, ihtiyaçlarını uygun yer ve zamanda karşılayabilir, çeşitli unsurları tespit ve teşhis edebiliriz. Bu olanaklar savaş için sahip olunması imkanların en azını tanımlamaktadır.

Tüm bu sistemlerin sağlıklı çalışabilmesi için kuvvetli bir lojistik desteğin tesisi ve idamesi gereklidir.

Sistemimizde mevcut personelin fiziki ve ruhsal olarak en iyi durumda olması, yapacakları görevlere hazır, eğitimleri tam, tüm ihtiyaçlarının karşılanabiliyor olması hayati önem taşımaktadır.

8.1. Çevre

Tüm harekât alanı ve bu harekât alanı ile ilgili tüm bilgileri kapsamaktadır. Bu kapsamda yapılması gereken temel işlem çevre hakkındaki bilgilerin elde edilmesidir. Bu incelemede meteorolojik teknolojik, sosyal, eytişimsel (diyalektik), etkileşimsel, psikososyal vs. tüm bilgilerin toplanması, değerlendirilmesi ve bize avantaj sağlayacak şekilde kullanılması gereklidir.

Çevrenin çıkarlarımız doğrultusunda kullanımı ilk olarak Sun-Tzu tarafından ortaya atılmış bir kavramdır. Çağlar boyu geliştirilen teknikler ve tecrübelerle günümüzde bir bilim dalı haline gelmiştir.

8.1.1. Çevre hakkındaki bilgilerin elde edilmesi

Harekât alanı ile ilgili bilgileri toplamak ve doğru değerlendirilmesini yapmamız tüm sistemimizin en önemli parçasıdır. Bu safhada elde edilen bilgilerin işlenmesi ile istihbarat bilgileri oluşur ve inceleme sonucunda elde edilecek bilgiler kendi hal tarzlarımızı ve düşmanın imkân ve kabiliyetlerini, yapılabilecek harekât şeklini, başarı durumumuzu, riskleri vs. belirleyecektir.

8.1.1.1. Uzay gözlemi

Uzaydan dünya üzerindeki hareket bölgesinin veya ilgi alanımıza giren bölgelerin incelenmesi ile ilgili tüm konuları kapsar. Uydulardan alınan veriler işlenerek akıllı savunma sistemimize gerekli bilgi girişini sağlar.

8.1.1.2. Hava gözlemi

Çeşitli hava vasıtalarıyla hareket bölgesinin veya ilgi alanımıza giren bölgelerin incelenmesi ile ilgili tüm konuları kapsar. Uçan araçlardan alınan veriler işlenerek akıllı savunma sistemimize gerekli bilgi girişini sağlar.

8.1.1.3. Suüstü gözlemi

Çeşitli suüstü vasıtalarıyla hareket bölgesinin veya ilgi alanımıza giren bölgelerin incelenmesi ile ilgili tüm konuları kapsar. Suüstü araçlarından alınan veriler işlenerek akıllı savunma sistemimize gerekli bilgi girişini sağlar.

8.1.1.4. Sualtı gözlemi

Çeşitli sualtı vasıtalarıyla hareket bölgesinin veya ilgi alanımıza giren bölgelerin incelenmesi ile ilgili tüm konuları kapsar. Sualtı araçlarından alınan veriler işlenerek akıllı savunma sistemimize gerekli bilgi girişini sağlar.

8.1.1.5. Kara gözlemi

Çeşitli kara vasıtalarıyla hareket bölgesinin veya ilgi alanımıza giren bölgelerin incelenmesi ile ilgili tüm konuları kapsar. Kara araçlarından veya insanlardan alınan veriler işlenerek akıllı savunma sistemimize gerekli bilgi girişini sağlar.

8.1.1.6. İstihbarat

Çeşitli kaynaklardan alınan verilerin çeşitli durumlar için incelenmesi sonucu ortaya çıkan bilgilerin kendi menfaatimiz doğrultusunda kullanılması ile ilgili konuları

kapsar. İstihbarat, karşı istihbarat vb. gibi alt dalları vardır. Çok geniş bir konudur, Sadece akıllı savunma sistemimize veri/bilgi kaynağı olarak değerlendirilecektir. Detaylı inceleme yapılmayacaktır.

8.2. Algılayıcılar ve Kaynaklar

Algılayıcılar kendi durumumuz, düşman durumu, etki eden ve ölçülebilir, tespit edilebilir tüm kaynakların durumunu bize gösterir.

Algılayıcılar sistemimizi güncel verilerle besler. Bu bakımdan çok önemlidir. Gerçek zamanlı veya gerçek zamana çok yakın bilgi ihtiyaçları tespit edilmeli ve algılayıcıların oluşturduğu iletişim ortamının aşırı yüklenmesi engellenmelidir.

Algılayıcılar yapılacak göreve uygun olmalıdır. Bir denizaltıda, savaş gemisinde, uçakta vs. kullanılan hassas algılayıcılar büyük bir uyum içerisinde sağlıklı bir çalışma ortamı yaratırlar. Kolayca anlaşılabilceği üzere akıllı sistemimizin her bir birimi de kendi içerisinde çeşitli algılayıcılardan ve bu algılayıcılardan gelen verileri işleyen, bu veriler doğrultusunda sistemi düzenleyen alt sistemlerden oluşur.

Bir savaş birimi için ihtiyaç duyulan algılayıcılar, sıcaklık, nem, yön, mevki, ivmelenme, oksijen miktarı, dönüş sayısı vs. ölçümlerinde kullanılır.

Akıllı sistemimizin algılayıcıları bunlara ek olarak radar, sonar, kızılötesi, laser, manyetik alan ölçücülerini, optik vs. sistemlerden oluşmaktadır.

Asıl algılayıcılarımızı taşıyan sistemlerin hepsine platform adı verilir. Uydular, gemiler, denizaltılar, uçaklar, balonlar, tanklar, radar istasyonları, meteoroloji istasyonları vs. bu platformlar bunların arasında sayılabilir.

Saldırı, savunma sistemleri de kendi içlerinde hem algılayıcı hem de cevap unsurları barındırmaktadır. Hatta bu sistemler temel tespit, teşhis, sınıflandırma, hedef önceliği belirleme gibi fonksiyonların birine veya hepsine sahip olabilir.

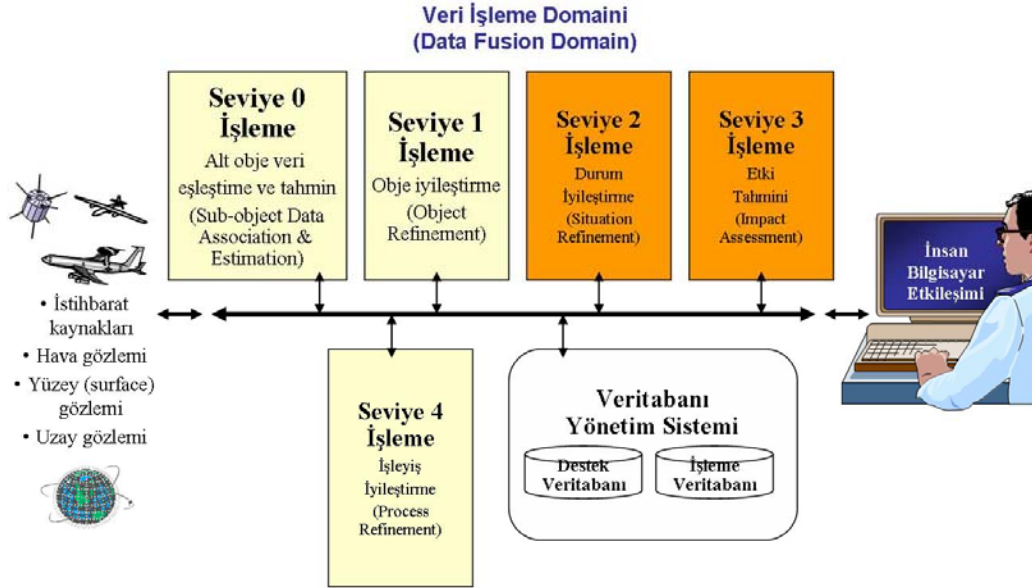
Barış döneminde oluşturulacak veritabanları sayesinde, savaş döneminde muhasımın sahip olduğu olanakların sınıflandırılması, çözümlenmesi kolaylaştırılır. Ayrıca bu veritabanları sayesinde sahip olduğumuz olanaklar, envanter, stok miktarları, malzeme durumları, sistemlerin performans bilgileri, personel yeterlilikleri, lojistik destek unsurları, esneklik, yeterlilik, uygunluk, kabul edilebilirlik kriterleri, modeller, model değişiklikleri, etki-tepki durumları vs. saklanabilir ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir. Bu veritabanlarının var olduğu ve her zaman kullanılabilir olduğu farz edilecektir.

8.3. Veri Birleştirme (Data Fusion)

Veri birleştirme; gözlenen birim için tek veya daha fazla algılayıcıdan gelen veri ve bilgilerin ortak yönlerini bulma (bir araya getirme) (association), ilişki kurma (correlation) ve birleştirme (combination) sonucunda iyileştirilmiş konum (position) ve kimlik (identity) tahminlerinde (estimate) bulunma ve tam, zamanında durum, tehdit ve öneminin değerlendirilmesidir.

Bu işlem; tahmin (estimate) ve değerlendirmelerin (assessment) sürekli iyileştirilmesi (refinement) ve diğer ek kaynaklara olan ihtiyaçların değerlendirilmesi (evaluation) ya da daha iyi sonuçlara ulaşmak amacıyla işleyişin (process) kendisinin değiştirilmesidir (modification).

Veri birleştirme işleminde çok sayıda kaynaktan gelen (radar, sonar vs.) veriler işlenir. Kullanılabilir hale getirilir. Bu işlemin sonunda hedef hakkında dost/düşman/tarafsız olduğu, hedefi, etki derecesi, kimliği, etkili menzili vs. bilgileri elde edilir. Bu bilgiler bir sonraki basamak olan tahmin ve kestirmeye temel olacak bilgilerdir. Örneğin bir radarın tespit ettiği hedef incelenmesi sonucu, suüstü, hava hedefi olduğu, savaş gemisi/uçağı, sivil gemi/uçak olduğu, savaş gemisi veya uçağı ise hangi tip olduğu dost/düşman olduğu vb. gibi yararlı bilgiler çıkartılabilir.



Şekil 8.2. Veri Birleştirme Fonksiyonel Modeli

Veri birleştirme fonksiyonel modeli Şekil 8.2.'de olduğu gibidir.

- Seviye 0 Alt obje veri eşleştirme ve tahminleri: nokta/sinyal seviyesi verilerle çalışılır.
- Seviye 1 Obje iyileştirme: gözlem-rota eşleştirme, sürekli durum (state) tahmini (estimation) (örneğin kinematik) ve ayrık durum tahmini (örneğin hedef tipi ve kimliği) ve kestirim (prediction)
- Seviye 2 Durum iyileştirme (Situation refinement): kuvvet yapısı ve kuvvetler arası ilişkileri, iletişim, fiziki durumu da içeren obje kümeleme ve ilişkisel incelemeler vs.
- Seviye 3 Etki tahmini (impact assesment): tehdit iyileştirilmesi, tehdit niyetinin tahmini, olay tahmini, önem kestirimi (consequence prediciton), hassasiyet ve zarar görme incelemeleri
- Seviye 4 İşleyiş İyileştirilmesi (Process refinement) uyarlanabilir arama ve işleme (kaynak yönetimi elemanı)

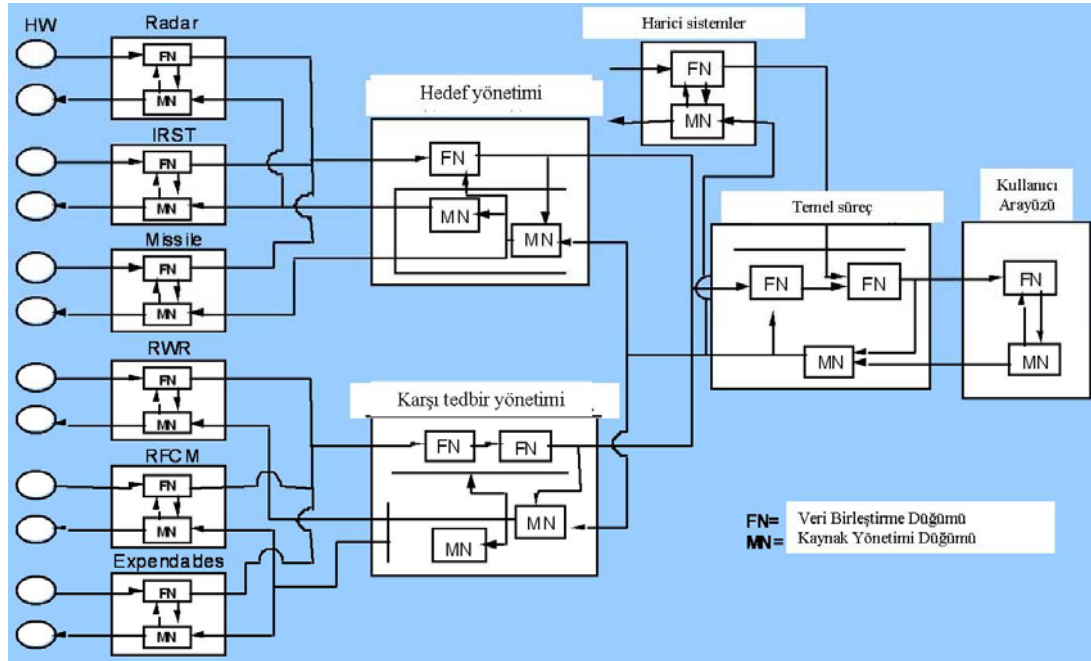
8.3.1. Veri birleştirme nasıl yapılır

- Seviye 0'de birleştirici optimizasyonlar (combinatoric optimization), sayısal (numerical) ve istatistiki (statistical) teknikler kullanılır.
- Seviye 1'de birleştirici optimizasyonlar, sayısal ve istatistiki teknikler ve desen tanıma (pattern recognition) kullanılır.
- Seviye 2'de birleştirici optimizasyonlar, sayısal ve istatistiki teknikler ile bilgi tabanlı (Knowledge-based), sembolik teknikler kullanılır.
- Seviye 3'te birleştirici optimizasyonlar, sayısal ve istatistiki teknikler ile bilgi tabanlı, sembolik teknikler kullanılır.
- Seviye 4 uyarlanabilir kontrol algılayıcı (adaptive control sensor) kaynak yönetiminde bilgiteorisi (info-theoric), işleyiş uyarlamasında (process adaptation) kontrol teorisi (control-thoric) teknikleri kullanılır.

Her bir veri birleştirme düğümünde (data fusion tree node) yapılan işlemler;

- Çatışan verilerin tespiti ve düzeltilmesi
- Gelen verilerin ortak zaman ve koordinat sistemine uyarlanması,
- Kaynağın sebep olduğu uyumsuzlukların giderilmesi
- Kabul edilebilir ve onaylanmış eşleştirmelerin oluşturulması ve yönlendirilmesi
- Veri eşleşmelerinin puanlanması
- Veri eşleşmelerini seçme, silme veya geri besleme

- Obje ve birleştirilmiş durumun tahmini/kestirimi (kinematik bilgiler, kimlik vs. dost düşman ayırımına göre)
- Algılayıcı/kaynak uyumsuzluklarının tahmini
- Kaynak/algılayıcı durumunun ileri beslemesi



Şekil 8.3 Veri birleştirme ağacı

Veri işleme ağacından (Şekil 8.3) görülebileceği üzere veri birleştirme kaynaklardan gelen verileri, önce bilgi, sonra malumat, sonra anlayış ve daha sonra da karara götürecek yöntemlerin önemli bir parçasıdır.

Veri birleştirme sistemine gelen verilerin kaynağı; milli, uluslar arası, dağınık veya yerel olabilir.

Veriler; algılayıcılardan gelen veriler, referans verileri, onaylanmış veriler olabilir.

Algılayıcılardan gelen veriler; radarlardan, sonarlardan, elektro-optik sistemlerden (özellikle kızılötesi), elektronik destek tedbirleri sistemlerinden vs. gelebilir.

Onaylanmış veriler; incelenmiş, irdelenmiş, başka bir veri birleştirme sisteminden gelmiş veya insan kullanıcı tarafından sisteme girilmiş olabilir.

Referans verileri; arşivlenmiş, daha önceki tecrübelerden elde edilmiş, verici karakteristiği, platform karakteristiği vb. olabilir.

8.4. Tahmin ve Kestirim

Veri işleme sonucunda elde ettiğimiz bilgileri kullanarak algılayıcıların, hedefin, kendi durumumuzun, model durumunun tahmin edilmesi kestirilmesidir.

Özellikle savaş sistemleri için bu konu farklı bir önem taşımaktadır. Bir hedefin belirli bir süre sonunda bulunacağı yerin tahmin edilmesi, o hedefi imha etmek için gerekli en az kaynağın kullanılmasını gerektirecek, gereksiz, uygun olmayan kaynak kullanımını engelleyecektir.

Örneğin bir savaş uçağının bulunacağı durumun incelenmesi ve tahmin edilmesi ile pahalı güdümlü mermi yerine ucuz uçaksavar topu ile yok edilmesi mümkün olabilecektir. Bu durumda hem maliyet, hem zaman, hem de kaynak tasarrufu yapılabilecektir.

Ancak bu söylendiği kadar kolay yapılabilecek bir iş değildir. Doğrusal yöntemlerin her zaman çalışmaması nedeniyle daha karmaşık yöntemlerin bulunması gerekmiştir. Bunlar rasgele (stochastic) sistem analizlerinde kullanılan yöntemlerdir. Bunların askeri amaçlarla en çok kullanılanı Kalman Filtreleridir.

Yine örneğimizi bir uçak için verelim. Her uçağın hedefi farklı ve hedefe yaklaşma deseni benzer olsa bile pilotun insan olması ve durum karşısında tepkilerinin farklı olması nedeniyle daha az tahmin edilebilir hareketler yapacaktır. Bu nedenle sıradan yöntemler çalışmayacaktır. Ancak yine de tahmin edilebilirliği arttırabilmek için istatistiksel tahmin sürecinden yararlanılabilir. Bu durumda tam olarak tahmin edilemese de kabul edilebilir bir hatayla bir tahminde bulunulabilir.

Tahmin kestirim ile ilgili Kalman filtresi konusunda daha detaylı açıklama yapılacaktır.

8.5. Kullanıcı Veri Giriş ve Sergileme

Tüm sistemimiz, karar vericiye ihtiyaç duyduğu bilgilerin aktarılması ve bunların uygun, anlaşılır bir şekilde sergilenmesi ile karar vermesini kolaylaştırmak ve verilen kararın sisteme geri beslenmesi ile uygun cevabın verilmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Şu ana kadar anlatılan basamaklar sayesinde algılayıcılardan alınan bilgiler düzenlenmiş, ihtiyaç duyulan diğer verilerle harmanlanmış, hataları ayıklanmış, gerekli bilgiler ve bu bilgiler sonucunda tahminlerle kabul edilebilir hata payları içinde karar vericiye en kısa sürede taktik resim verilmiştir.

Bundan sonra karar verici duruma uygun kararını verir ve sisteme bu kararı girdiği takdirde sistem gerekli tepkiyi verecektir.

Harekat sahamızın içerisinde suüstü gemileri, hava vasıtaları olduğunu düşünürsek, sistemimiz tüm hareket alanındaki birimler ile ilgili verileri radar, sonar vs.'den toplayarak bize tüm takip edilen unsurların dost mu, düşman mı olduğunu, ne tip gemi veya uçak olduğunu, ne tür bir tehdit oluşturduğunu, bizim yerleşimimizi, düşmanın yerleşimini, silah menzillerini çıkartmış durumdadır. Bu hareket için gerekli taktik resim (Şekil 8.4) [14] üzerinde sergilenmektedir. Yani büyük bir haritanın üzerinde konumu ve özellikleri çeşitli şekil ve renklerle belirtilmektedir. Bundan sonra yapabilecekleri de tahmin edildiği kadarıyla sergilenmektedir. Artık durum analizi yaparak hangi vasıtalarla hücum geliştireceğimizi, düşman unsurlara ne seviyede zarar verebileceğimiz öngörülebilir.



Şekil 8.4 Kullanıcı veri giriş ve sergileme

8.6. Cevap Sistemleri

Sistemimizin vermesini istediğimiz tüm tepkiler cevap başlığı altında toplanabilir. Savunma ve saldırı sistemleri ile fiili cevap olabildiği gibi, algılayıcı kontrolleri, algılayıcılara gerekli düzeltmelerin, kalibrasyonun yapılması, bakım, yeniden yapılandırma ve model iyileştirmeleri de bu sistemler sayesinde yapılır.

Askeri anlamda cevap verme silahla hedefin yok edilmesi demektir. Şekil 8.5'te tipik bir koordineli saldırı gösterilmektedir [15]. Burada birden fazla unsur belirli bir hedefe saldırı gerçekleştirmekte ve bu saldırı etkili bir şekilde yapılmaktadır.

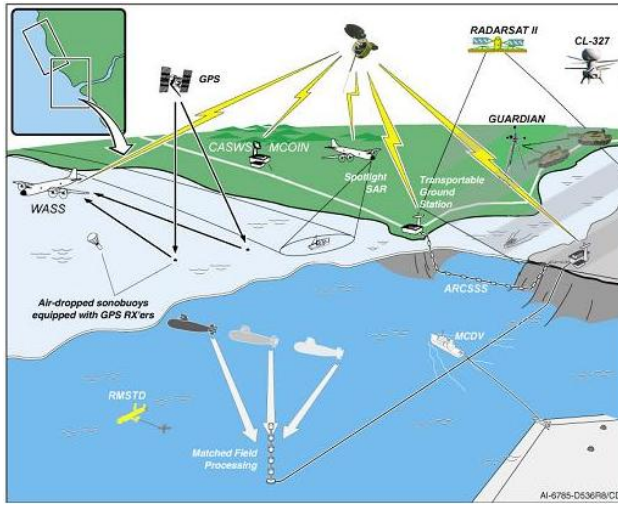


Şekil 8.5. Koordineli saldırı

8.7. Kaynak Yönetimi

Kaynak yönetimi (Şekil 8.6), mevcut kısıtlı kaynakların etkin bir şekilde kullanılması için kullanılan sistemdir. Yapılan tahminlere göre hangi saldırı/savunma silahının seçileceğini, algılayıcılar üzerinde ne tip işlem yapılacağını vs. kontrol ve koordine eder [16].

Konumuz harici olduğu için bu çalışmada derinlemesine incelenmeyecektir.



Şekil 8.6. Kaynak yönetimi

BÖLÜM 9. ELEKTRONİK HARP

Modern savaşlarda algılayıcılar elektromanyetik spektrumun çeşitli bölgelerinde çalışarak akıllı sistemimize veri beslemektedir. Elektromanyetik spektrumun çeşitli bölgeleri için geliştirilmiş algılayıcılar bulunmaktadır. Bu algılayıcılar sayesinde biz ve düşman aynı olanaklara sahip olabilecektir. Bu nedenle amacımız elektromanyetik spektrumu en etkin şekilde kullanmak ancak düşmanın veya düşman olması muhtemel unsurların bu olanaktan hiç veya kısıtlı olarak yararlanmasını sağlamak. Düşmanın elektromanyetik spektrumu kullanmasının engellenememesi durumunda elektromanyetik spektrumu daha etkin kullanmak ana amaçtır. Tali amaç olarak da düşmanın veya düşman olması muhtemel unsurların bu olanaktan en az şekilde yararlanmasını sağlamaktır [17].

Algılayıcıların kullanılamaz hale getirilmesi veya etkin şekilde kullanılmasının engellenmesinin yanı sıra iletişim sistemlerinin de susturulması, güvensiz hale getirilmesi veya bizim istediğimiz bilgilerin geçmesinin sağlanması da bu kapsamda incelenebilir.

9.1. Elektronik Harbin Tanımı

Elektronik sinyalleri tespit ederek kimliklerini belirlemek, düşmanın elektromanyetik spektrumu kullanmasına mani olmak veya kullanma yeteneğini azaltmak, dost kuvvetlerin elektromanyetik spektrumu etkin kullanımını sağlamak amacıyla icra edilen faaliyetlere elektronik harp denir.

Elektro-optik sistemler (laser, kızılötesi) elektromanyetik spektrumu kullandıkları için elektronik harp kapsamında ele alınır.

9.2. Elektronik Harp İmkan ve Kabiliyetleri

Elektronik harp uygulayarak elde edebileceğimiz imkan ve kabiliyetler:

- Düşman sinyallerini karıştırıp bozarak, düşman haberleşmesi geciktirilebilir veya engellenebilir.
- Düşmanın radarlara dayalı silah sistemlerinin karıştırılması ile bu silah sistemleri engellenebilir veya etkisi azaltılabilir.
- Bir hareketin maksadı hakkında düşmana yanlış bilgi verilerek, aldatılabilir.
- Dost haberleşmeler, dost karıştırıcılar tarafından gizlenebilir.
- Hedef vericilerin yerleri tespit edilebilir.

9.3. Elektronik Harbin Özellikleri

- Elektronik Harp bir silah sistemi olarak kabul edilmelidir.
- Bu silah sistemi soft kill silahı olarak adlandırılmaktadır.
- Son derece tekniktir.
- EDT bölümü ile istihbarat yeteneği vardır.
- Milletleri sıcak çatışma aşamasına getirmeden uygulanabilme olanağı vardır.
- Uygulaması insanidir.
- Barışın korunmasına yardımcıdır.
- Ucuza mal olmaktadır

9.4. Elektronik Harbin Bölümleri

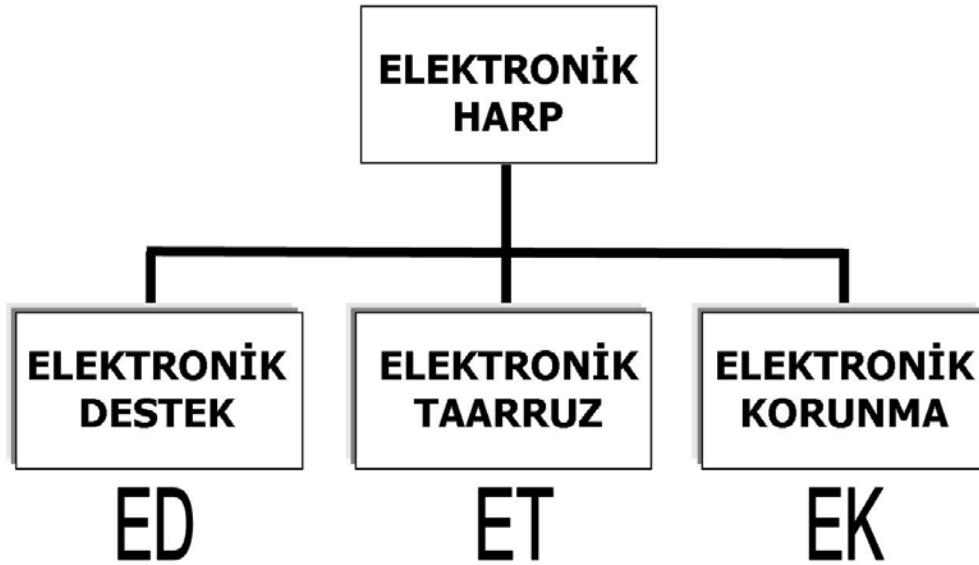
Tanımdan da anlaşılacağı üzere elektronik harp üç temel alanda (Şekil 9.1) icra edilmektedir.

- Elektromanyetik sinyalleri tespit ederek kimliklerini belirlemek Elektronik Destek (ED)
- Düşmanın elektromanyetik spektrumu kullanmasına mani olmak veya kullanma yeteneğini azaltmak Elektronik Taarruz (ET)
- Dost kuvvetlerin etkin kullanımını sağlamak Elektronik Korunma (EK)

9.4.1. Elektronik destek

Tehdidin en kısa zamanda tanımlanması maksadıyla icra edilir.

Elektromanyetik yayınları arama, yakalama, kaynağını belirleme faaliyetlerini içerir. Ayrıca Elektronik Harbin diğer bölümleri ve diğer Taktik Faaliyetlerin icrasına yönelik çabuk karar verilebilmesi için gerekli diğer bilgilerin kaynağını da oluşturur.



Şekil 9.1. Elektronik harbin bölümleri

9.4.1.1. Elektronik desteğin amacı

Elektronik destek sistemleri vasıtasıyla elektromanyetik spektrumdaki hareketleri tespit etmek suretiyle;

- Taktik değer taşıyan hareket bilgilerini elde etmek,
- Erken ihbar ve hedef yakalama imkanı sağlamak,
- Tehdit ikazı sağlayarak sakınma ve kaçınma yapılmasına yardımcı olmak,
- Elektronik Karşı Tedbirler ve Elektronik Koruyucu Tedbirlere yardım etmek,
- Dost unsurların elektromanyetik spektrumu kullanma durumunu takip ve kontrol etmektir.

Elektronik harbin amaçlarından taktik değer taşıyan hareket bilgileri düşmanın;

- Konuş, kuruluş ve teşkilatı,
- Birliklerinin harp düzeni,
- Birliklerinin muharebe hazırlıkları,
- Gelecekteki faaliyetleri,
- Mevcut ve geliştirdiği Elektronik sistemleri,
- Destek silahları ve birlikleri,
- Elektronik teçhizatı ve bilgisidir.

9.4.1.2. Elektronik desteğin uygulama safhaları

Elektronik desteğin uygulama safhaları: Arama (ham bilgi toplama), analiz, yön bulma, sınıflandırma, teşhis, kaydetmedir.

Arama frekans spektrumundaki faaliyetleri tespit etmek amacıyla yapılır. Frekans spektrumundaki belirli bir bant genişliğinin aranması veya daha önceden belirlenen frekansların dinlenmesi olarak ayrılır.

Analiz safhasında elektronik cihazların kendine has özellikleri ve parmak izleri çıkarılır.

Yön bulma safhasında elektromanyetik sinyal kaynağının yönü tespit edilir. Bunun için değişik zamanlarda kaynağın yönü ölçülerek çeşitli kaynaklardan gelen verilerle üçgenleme diye adlandırılan bir metot uygulanır. Bu mümkün değilse ve hareket kabiliyeti varsa belirli bir rotada hareket edilerek sinyal kaynağının bize göre açısı ölçülerek yeri tespit edilmeye çalışılır.

Sınıflandırma; yayın kaynağının özellikleri ve mevkisine göre ne olduğu ve özellikleri tespit edilir.

Teşhis safhasında; tüm veriler birleştirilir ve kütüphane bilgileri ile karşılaştırılarak kaynağın platformu (... tipi gemi veya tipi tank vs.) tespit edilmesidir. Eğer yeterli veri ve kütüphane bilgisi varsa örneğin gemi ismi dahi tespit edilebilir.

Kayıt safhasında, tüm yapılan işlemler ileride yapılacak incelemeler için kaydedilir. Bazen ilk inceleme sonucunda sınıflandırma yapılsa bile teşhis yapılamayabilir. Yapılan kayıt sonucunda daha sonra aynı kaynakla karşılaşıldığında ve daha fazla bilgiye ulaşma imkanı doğduğunda kesin teşhis daha sonra da yapılabilir. Bu bilgiler kütüphanede saklanarak daha sonraki çalışmalarda kullanılabilir.

9.4.2. Elektronik taarruz

Düşmanın elektromanyetik enerjiyi kullanarak;

- Elektromanyetik spektrumdan etkin bir şekilde yararlanmasına tamamen engel olmak,
- Veya etkin kullanımını azaltmak maksadıyla

icra edilen faaliyetlerdir.

Elektronik Taarruz;

- Elektronik harbin taarruzi kısmını oluşturur.
- Bu nedenle ET cihazları "Softkill" silahları olarak adlandırılır.
- ET, Emisyonların kasıtlı olarak yansıtılması, karıştırılması veya tekrar yansıtılması faaliyetlerini kapsadığından, düşman tarafından tespit edilebilir.

Etkin bir silah olmasına karşın düşmanın tespit edebilmesinden dolayı dikkatli olarak kullanılmalıdır.

9.4.3. Elektronik korunma

Elektronik Harbin; düşmanın elektromanyetik enerjiyi kullanmasına karşın; elektromanyetik spektrumun dost kuvvetler tarafından etkin kullanılmasını sağlayan faaliyetleri içeren bölümdür.

Bu kapsamda elektronik sistemlerin kullanımının sınırlandırılması, sinyal çıkış güçlerinin ayarlanması, verilerin/bilgilerin şifrelenmesi, frekans değişiklikleri, şifre değişiklikleri, şifre sistemi değişiklikleri vb. gibi konuları kapsar.

BÖLÜM 10. KALMAN FİLTRESİ

Veri birleştirme konusunda algılayıcılardan gelen verilerin veri işleme sayesinde yararlı bilgiler haline getirildiği ve daha sonra bu bilgilerin tahmin ve kestirim işleminden geçtiği, bu aşamaların nasıl yapıldığı incelenmiştir. Hedefin mevcut durumundan sistem reaksiyon zamanı kadar sonrasında hangi duruma geleceği bilgisi atış kontrol probleminin en önemli safhasıdır.

Gün geçtikçe hızlanan savaş ortamında hedeflerin takibi kadar hassas bir şekilde nerede olacağını da tahmin edilmesi gerekmektedir. Tek bir hedef için bu çok kolay gibi görünmesine rağmen uçak örneğinde olduğu gibi çok hızlı ve çevik cisimlerin müstakbel mevkiinin hesaplanması doğrusal yöntemlerden fazlasına gereksinim duymaktadır. Savaşın kazanılmasında kaynakların (zaman, silah, personel, malzeme, mühimmat vs.) verimli ve etkin kullanılması açısından incelendiğinde tahmin/kestirimin önemi daha iyi anlaşılabilir.

Silah, personel, mühimmat miktarımız aynı kalmak kaydıyla tahmin/kestirim metotları sayesinde daha az zamanda daha fazla atış gücüne ve etkinliğe sahip olabiliyoruz.

Tahmin ve kestirimin tarihi boyunca pek çok alanda olduğu gibi büyük ilerlemeler yaşanmıştır. Halen etkin olarak kullanılan tahmin ve kestirim metotlarından zamanını ve daha sonrasını belki de en çok etkileyen yöntem Kalman filtreleri olmuştur. Askeri sistemlerde en çok kullanılan metot Kalman filtreleridir.

10.1. Rudolf E. Kalman

Rudolf Emil Kalman 19 Mayıs 1930 yılında Budapeşte şehrinde, Otto ve Ursula Kalman'ın çocuğu olarak dünyaya geldi. 2.Dünya Savaşında Macaristan'dan

Amerika'ya taşındılar. 1944 yılında Youngstown Ohio'ya yerleştiler ve Youngstown Kolejine gitmeye başladı. 3 sene sonrada MIT' ye girdi. Elektrik Mühendisliği dalında 1953 yılında lisansını, 1954 yılında da yüksek lisansını tamamladı [18].

DuPont şirketi için büyük analog kontrol sistemleri yaptıktan sonra 1955 sonbaharında Columbia Üniversitesinde okutman ve doktora öğrencisi olarak başladı. O zamanlarda Columbia Üniversitesi John R. Ragazzini, Lofti A. Zadeh'in kontrol teorileri alanında yaptığı çalışmalarla ünlüydü. 1957 yılında doktorasını bitirene kadar Columbia Üniversitesinde öğretmenlik yaptı [19].

1953 yılında, Ragazzini'nin makalesini okuduktan sonra sistem teorileri üstünde çalışmaya başladı. Bir süre sonra artık doğrusal sistemlerle, sürekli sistemlerin çok farklı olmadıklarını fark etti. Bu olay, sistem teori ile cebirin bağlantısına olan ilgisini arttırdı.

1954 yılında Kalman kontrol edilebilirlik üstünde çalışmaya başladı ve esas amacı, bir dinamik sistemi sıfır durumuna sokabilecek girdi olup olmamasıydı. Kalman daha sonra kontrol edilebilirlik için cebir şartlarını araştırdı ve sonucu matris operasyonlarında buldu. Bu gelişme cebir ile sistem teorisinin bağlantısını ortaya çıkardı.

İlk çalışmaları durum değişkenlerinin gösterimi nosyonu, basit problemlerden yola çıkmakta ancak matematik olarak gelişmiş bir çalışmaya dayanıyordu. Bu ilk günlerde bile parlak kariyeri boyunca devam ettiği araştırmaya kendine has bakış açısını gösterdi.

1957-1958 yılları arasında New York Poughkeepsie'deki IBM Araştırma laboratuvarlarında yönetici mühendis olarak görev yaptı. İkinci dereceden (quadratic) performans kriteri kullanan doğrusal örneklenmiş-veri kontrol sistemlerinin tasarımına aynı zamanda kontrol sistemleri tasarım ve incelenmesine Lyapunov teorisinin kullanılmasında önemli katkılar yapmıştır. Daha o zamandan büyük ölçekli sistemlerde sayısal bilgisayarların önemini öngörmüştü.

1958 yılında çalışmaları Solomon Lefschetz tarafından başlanılan İleri İncelemeler Araştırma Enstitüsü'ne (Research Institute for Advanced Study - RIAS) katıldı. İşe araştırmacı matematikçi olarak başladı. Daha sonra Araştırma Eş Yöneticisi (Associate Director of Research) konumuna yükseltildi. Modern kontrol teorisine öncülük eden çalışmaları bu dönemde (1958–1964) olmuştur. Bu dönemdeki konferansları ve yayınları olağanüstü yaratıcılığının ve kontrol hakkında birleştirilmiş bir teori araştırmasının işaretlerini vermiştir. Kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik gibi temel sistem kavramları üzerindeki çalışmaları en önemli mühendislik sistem yapısal bakış açıları için sağlam bir teorik altyapı sağlamıştır. İkinci derece kriter (quadratic criteria)'e göre doğrusal sistem tasarımı ve teorisinin zamanda ayırık (discrete time) ve zamanda sürekli (continuous-time) durumlarını birleştirmiştir. Optimal kontrol teorisindeki Caratheodory çalışmasının tanıtılmasında ve Hamilton-Jacobi-Bellman denklemi aynı zamanda genel olarak değişken cebir (variational calculus) ile Pontryagin'nin maksimum prensibi ile arasındaki ilişkilerin açıklanmasında faydalı olmuştur. Çalışması, matematik genellemesi olmasının yanında kontrol sistemlerinin ve tasarım sürecinin bir parçası olarak sayısal bilgisayarların kullanılması ile de yönlendirilmiştir.

RIAS'daki çalışmaları sırasında belki de en önemli katkılarından olan ve kendi adıyla anılan "Kalman filtresi"ni geliştirmiştir. 1958 sonlarıyla 1959 başlarında da bu problemin ayırık-zaman (zamanda ayırık)(discrete-time) (örnekli veri (sampled data)) uyarlamasının sonuçlarına ulaşmıştır. Wiener, Kolmogorov, Bode, Shannon, Pugachev ve diğerlerinin filtreleme üzerinde daha önce yaptıkları temel çalışmaları modern safha uzay (stage space) bakış açısıyla birleştirmiştir. Ayırık-zaman problemine kendi çözümü doğal olarak problemin sürekli-zaman (zamanda sürekli) (continuous-time) tipinin de çözümüne götürmüştür. 1960-1961 yılları arasında R.S.Bucy ile beraber Kalman filtresinin zamanda sürekli tipini geliştirmiştir.

Doğrusal olmayan problemlere Kalman filtresi ve daha sonraki gelişmeleri modern kontrol teori kapsamında belki de en çok kullanılan yöntem olmuştur. Uzay araçlarında seyir ve kontrol (örneğin Apollo aracında), ABM uygulamalarında radar hedef takibi algoritmalarında, proses kontrol ve sosyoekonomik sistemlerde kullanılmıştır. Uygulamadaki popülerliğinin sebebi sayısal bilgisayarların tasarım aşamasında olduğu kadar uygulama safhasında etkin bir şekilde kullanılmasından

kaynaklanmaktadır. Teorik açıdan bakıldığında filtreleme ve kontrol gibi alakalı konuları ve bunlar arasındaki dualite problemlerinin aynı çatı altında toplamayı başarmıştır.

1964 yılında Kalman, Elektrik Mühendisliği, Makine ve Yöneylem Araştırma bölümlerinde çalıştığı Stanford Üniversitesine gitti. Bu dönemde araştırmalarının yönü gerçekleştirme teorisi (realization theory) ve cebirsel sistem teori (algebraic system theory)'ne doğru değişti. Bir kez daha yeni ve temel bir alanda araştırma yolu açtı ve yeni bir dal olan modern sistem teorisi araştırmaları alanını şekillendirmeye yardımcı oldu.

Kalman 1971 yılında Gainesville Florida'da bulunan Filorida Üniversitesinde mezun araştırma profesörlüğüne (graduate research professor) atandı. Matematik sistem teori merkezinin yöneticisi oldu. Eğitim ve araştırma çalışmaları elektrik mühendisliği, endüstri mühendisliği ve matematik bölümleriyle ilgiliydi. Aynı zamanda Fransa Paris'te konuşlu Ecole des Mines'in araştırmacılar merkezine bilimsel danışmanlıkta yapmaktadır.

Kalman sadece modern kontrol teorisini şekillendirmemiş aynı zamanda yaygın kullanımına katkıda da bulunmuştur. Karizmatik kişiliği ve üniversitelerde, konferanslarda ve endüstriye verdiği konferanslar onun fikirlerinden etkilenen sayısız araştırmacının ilgisini çekmiştir. Uluslar arası fikir teatisinde katalizör olarak görev yapmaktadır.

1973'ten beri ETH (İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü/Zürich)'te matematik sistem teori başkanlık koltuğundadır. 1974 yılında IEEE Onur madalyası, 1984 yılında IEEE Centennial Madalyası, 1985 yılında Japon Inamory vakfı,ileri teknoloji Kyoto ödülü, 1987 yılında Amerikan Matematik Topluluğu Steele ödülünü ve 1997 yılında Bellman ödülünü aldı. 16 Kasım 2005 tarihinde Columbia Mühendislik Okulu Mezunlar Birliğinin Tanınmış Mühendislik Gelişmeleri Egleston Madalyası ile ödüllendirilmiştir. Amerikan Ulusal Bilim Akademisinin, Amerikan Ulusal Mühendislik Akademisinin ve Amerikan Sanat ve Bilim Akademisinin bir üyesidir. Macar, Fransız, Rus bilim akademilerinin yabancı üyesi olup birçok onur doktorası

ile ödüllendirilmiştir. Constantina nee Stavrou ile evli olup Andrew ve Elisabeth adlarında iki çocuğu vardır.

10.2. Kalman Filtresi

10.2.1. Kalman filtresi nedir

Teoride Kalman Filtresi doğrusal quadratik dediğimiz problemler (gürültü tarafından karışmış olan doğrusal dinamik sistemin anlık durumunu bulma problemi) için bir kestiricidir (estimator) [20]. Ortaya çıkan tahmin, herhangi bir quadratik fonksiyonun tahmin hatasına göre istatistiksel olarak optimumdur [21].

Pratikte Kalman Filtresi, istatistiksel tahmin teori tarihinin en büyük buluşlarından biri olup, 20.yy.ın kesinlikle en önemli buluşudur. İnsanoğlunun Kalman filtresi kullanmadan yapamayacağı birçok şeyi mümkün kılmıştır ve elektronik sektöründeki silikon gibi vazgeçilmez bir araç olmuştur. Kullanılan ilk uygulamaları karışık dinamik sistemlerin yer aldığı, sürekli üretim sistemleri, uçaklar, gemiler ve uzay mekikleridir. Dinamik bir sistemi kontrol etmek için ilk önce konuya çok iyi hakim olmak gerekir. Bu tarz uygulamalarda her değişkeni kontrol etmek veya ölçmek mümkün olmayabilir ve Kalman Filtreleri bu gibi durumlarda eksik veya gürültülü verilere rağmen gerekli olan değerleri almamızı sağlayan bir yöntemdir. Kalman Filtreleri ayrıca, su taşkınları durumunda nehrin akışını ya da ticari malların gelecekteki fiyat durumları gibi kontrolü mümkün olmayan dinamik sistemlerin gelecekteki durumlarını da tahmin etmek amacıyla da kullanılabilir.

Kalman filtresi;

Bir araçtır. Fiziki bir araçtan çok matematiksel bir araçtır. Tam ve etkin olarak faydalanabilmek için nasıl kullanıldığı, neler yapabildiği tam olarak bilinmelidir.

Bilgisayar uygulamaları için biçilmiş kaftandır. Kolayca bilgisayar programı haline getirilebilir. Tahmin problemine sonlu (finite) sayıda değişken kullanarak sonlu bir gösterim olanağı verir. Tahmin problemini sonlu ve yönetilebilir hale getirmesinden dolayı kullanılması kolaydır.

Tahmin probleminin istatistiki olarak tam bir gösterimidir. Tahmin etmesi istenilen değişkenlerin tüm olasılık dağılımlarını üretebildiği için bir tahmincinin (estimator) ötesindedir.

Kısıtlı bir bakış açısına göre öğrenen bir metottur. Tahmin problemini çözmek için kullandığı model fenomen (phenomena) (gözleyebildiğimiz şeyler) ile nomen (noumena) (aslında olanlar, aklımızla olduğunu bildiğimiz) arasında ve gözlemlerden türetilebilecek aslında olanlar hakkındaki malumat durumumuz hakkında ayırım yapabilmektedir.

10.2.2. Adı neden filtredir

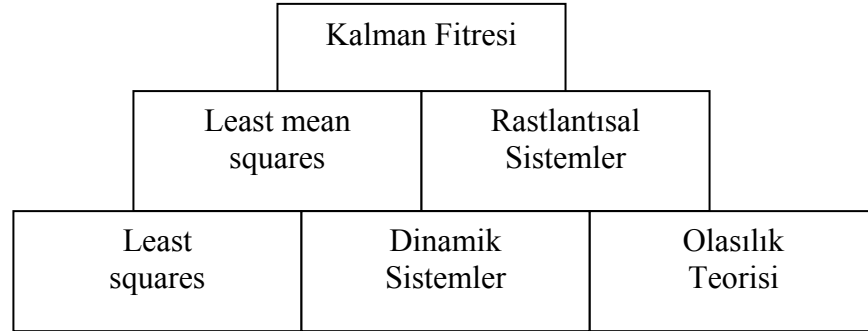
Bir kestiriciye (estimator) filtre denmesi biraz garip gelebilir. Aslında filtre gerçek anlamda bir karışımındaki istenmeyen kısımları ayırmaya yarayan fiziksel bir araçtır. Orijinal olarak filtre gaz-sıvı-katı karışımındaki istenmeyeni ayırmak için kullanılırdı. Kristal radyo vakumlu tüpler zamanında, filtreler analog devrelere uygulanmış ve elektronik sinyalleri ayırmakta kullanılmıştır. 1930 ve 1940'larda bu konsept daha da genişleyerek sinyaller üzerinde oluşan istenmeyen gürültülerin ayıklanmasında kullanılmıştır. Kolmogorov ve Wiener sinyalin ve gürültünün toplamının verildiği yerlerde kendi olasılık dağılımlarının istatistiki özellikleriyle sinyalin optimum tahmininde kullanmayı başardılar.

10.2.3. Kalman filtresinin matematiksel temelleri

Kalman filtresinin matematiksel temelleri Şekil 10.1'de olduğu gibidir. Burada sanki piramidin tepesinde yer alıyormuş gibi görünse de aslında modern kontrol teori ve istatistiki karar teorisinin temelinde yatmaktadır.

Dinamik sistemlerin durumlarının tahmini etmek. Evrende sabit olan neredeyse hiçbir şey yoktur. Çevremizdeki az sayıdaki sabit olgular dışında hemen her şey dinamik bir sistem içinde gelişir. Gökteşlerinin yörüngesi veya sabit duruyor gibi gözüken yıldızlar bile hareket halindedir. Neredeyse düzgün orbital hareket yoktur. Gerçekten bir gezegene gitmiyorsak onun yaklaşık yörüngesini bilmek bizim için

yeterlidir. Ancak bir uzay aracına binip o gezegene gitmek istersek durum değişir. Gezegenin gerçek hareketini belirlemeye ihtiyacımız olacaktır. Bu durumda olayların karakterlerini zaman içinde bulmak için olayların dinamiklerini göz önünde bulundurmamız gerekecektir.



şekil 10.1. Kalman filtresinin temelleri

Buradaki problem sistemin dinamiklerinin çoğu zaman hassas bir şekilde bilinmemesidir. Kalman Filtreleri, rasgele davranışları olan dinamik sistemlerin anlık durumlarını bulmamıza yardımcı olur. Bu konudaki bazı rnekler Tablo 10.1'in ikinci sütununda verilmiştir.

Tahmin Sistemlerinin Analizi: Tablo 1'in 3. sütununda dinamik sistemlerin durumunu tahmin etmekte kullanılabilecek bazı algılayıcılar verilmiştir. Dizayn analizinin amacı bu algılayıcıların verilen dizayn kriterleri içinde nasıl en iyi şekilde kullanılacağına karar vermektir. Bu kriterler tahmin doğruluğu ve sistemin maliyetiyle ilişkilidir.

10.3. Tahmin Metodları

10.3.1. Tahmin teorisinin başlangıcı

Gürültülü veriden optimum bir tahmin yapma metodu ilk olarak Carl Friedrich Gauss'a aittir ve adı da least-squares metodudur. Ve 1795 yılında bulunmuştur. Aslında lm hataları daha önceden ilk olarak Galileo Galilei zamanında fark edilmiş olmasına rağmen konuyla ilgili ilk resmi metot least-squares'dir. Gauss

metodu ilk olarak matematiksel astronomide doğrusal olmayan tahmin amacıyla kullanmıştır. Çok dramatik bir olay sonucu ortaya çıkmıştır.

Tablo 10.1. Tahmin Problemi Örnekleri

Uygulama	Dinamik sistem	Algılayıcı tipi
Proses kontrol	Kimya fabrikası	Basınç Isı Gaz akış hızı Gaz inceliyici
Su baskını tahmini	Nehir sistemi	Su seviyesi Yağmur göstergesi Hava radarı
Hedef takibi	Uzay aracı	Radar Görüntüleme Sistemi
Seyir	Gemi	Sekstant Kayıt Cayraskop Hızlanma ölçücü GPS alıcısı

01 Ocak 1801'de Güseppe Piazzı yıldız katalogunda bir yıldızı kontrol ediyordu. Ancak bilmediği şey katalogun yazar tarafından yanlışlıkla yazılan bir veri olduğuydu. Kayıp yıldızı ararken Ceres adlı en büyük asteroiti buldu. Ancak daha bu keşfinin farkında değildi. 41 gün boyunca sabit yıldızlara göre hareketlerini takip etti ve ölçtü. Ancak çalışması bölündü. Tekrar işe döndüğünde maalesef Ceres'i tekrar bulamadı. 24 Ocak'ta buluşunu Johann Bode'ye mektupla bildirdi. Bode en çok gezegenlerin güneşten uzaklığını astronomik birimlerle tanımladığı Bode kanunu ile tanınmaktadır. Dizi şu şekildedir.

$$d_n = \frac{1}{10}(4 + 3 \times 2^n) \quad n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad (10.1)$$

Aslında 1772 yılında bu formülü öne süren Johann Tietz'dir. O zamanlar sadece altı gezegen bilinmekteydi. 1781 yılında Friedrich Herschel formülde $n=6$ yazıldığındaki yerine tam uyan Uranüs'ü keşfetti. $n=3$ için hiçbir gezegen bulunamamıştı. Bode'nin desteğiyle yaklaşık otuz yıl boyunca astronomlar kayıp sekizinci gezegeni aradılar. Piazzini bu çalışmalara katılmamasına rağmen Bode'ye durumu bildirdi.

Piazzini'nin mektubu Bode'ye 20 Mart'a kadar ulaşmadı. Bode Piazzini'nin keşfinin kayıp gezegen olduğundan kuşkulanasına rağmen o zaman mevcut yöntemlerle yörüngesel hareketini çözmek için yeterli bilgi bulunmuyordu. Newton'un kendisinin açıkladığı üzere bu durum matematiksel astronominin en zorları arasında yer alan doğrusal olmayan (nonlinear) denklem problemi idi. Kimse bu problemi çözemediği için sonuçta Ceres uzayda kayboldu.

Piazzini'nin keşfi 1801 yılının sonbaharına kadar yayınlanmadı. Yeni bir gezegenin keşfi ve daha sonra kaybedilişi ilginç bir hikayeydi. Bu durum saygı duyulan filozof Georg Hegel tarafından da desteklenen kuramlarla çelişmekteydi. Georg Hegel yedi tane gezegen olmasından dolayı sekizinciye aramanın zaman kaybı olduğu konusunda astronomları uyaran bir kitap yazmıştı. Bu yeni gezegen entelektüel çevrelerde konuşulan bir konu haline geldi. Şans eseri bu durum 24 yaşındaki Göttingenli matematikçi Carl Friedrich Gauss'un dikkatini çekti.

Gauss yörünge tespiti problemiyle birkaç hafta önce ilgilenmesine rağmen başka konularla ilgilenmek üzere bu konuyu bir kenara koymuştu. Zamanının çoğunu bu probleme adadı. Aralık ayında Ceres'in tahmini yörüngesini çıkardı ve sonuçlarını Piazzini'ye gönderdi. Yeni gezegen kendisini yılın ilk günü keşfeden kişi tarafından yılın son günü tekrar bulundu.

Gauss yörünge tahmininde kullandığı metodu 1809 yılına kadar yayınlamadı. Bu yayınında ayrıca Ceresi'nin yörüngesinin tahminini iyileştirmek için kullandığı 1795 yılında 18 yaşındayken keşfettiği least squares metodunu açıkladı.

Ceres keşifler tarihinde önemli bir rol oynamasına rağmen artık sadece entelektüel bir çalışmadan başka bir şey değildir. Ancak least squares metodu ilgi çekici ve

faydalı olmaya devam ediyor. İlk optimal tahmin metodudur. Deneysel ve teorik bilimler arasında önemli bir bağ oluşturmaktadır. Bu metot bilim adamlarına teorik modellerin bilinmeyen parametrelerini tahmini için pratik bir yöntem sunmaktadır.

10.3.2. Least-squares metodu

Aşağıdaki örnek görülen en yaygın problemidir. Ancak aslında least-squares method çok daha fazla alandaki değişik problemlere uygulanabilir.

Tespit edilmemiş doğrusal sistemin least-squares çözümü [22].

Gauss eğer denklemleri matris formunda aşağıdaki gibi yazarsa

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & \cdots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & \cdots & h_{2n} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & \cdots & h_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{l1} & h_{l2} & h_{l3} & \cdots & h_{ln} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_m \end{bmatrix} \quad (10.2)$$

Yada

$$Hx = z \quad (10.3)$$

Şeklinde problemin çözümü tahmini \hat{x} değerini bulmaya dönüştürülebilir. \hat{x} , bu da $H\hat{x} - z$ 'nin tahmini ölçüm hatasını minimize eder. Tahmin hatası Euclidean formunda $\|H\hat{x} - z\|$ olarak veya eşleniği karesi şeklinde:

$$\mathcal{E}^2(\hat{x}) = \|H\hat{x} - z\|^2 \quad (10.4)$$

$$\mathcal{E}^2(\hat{x}) = \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^n h_{ij} \hat{x}_j - z_i \right]^2 \quad (10.5)$$

Bu $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \dots, \hat{x}_n$ gibi gösterilebilen n bilinmeyenli sürekli diferansiyel edilebilen bir fonksiyondur. Bu fonksiyon $\mathcal{E}^2(\hat{x}) \rightarrow \infty$ ve her bir komponenti $\hat{x}_k \rightarrow \pm\infty$. Sonuç olarak \hat{x}_k 'ya göre tüm türevleri sıfır olduğunda minimum değerine ulaşır. Bu şekilde türetilebilecek n denklem (equation) vardır.

$$0 = \frac{\partial \mathcal{E}^2}{\partial \hat{x}_k} \quad (10.6)$$

$$= 2 \sum_{i=1}^m h_{ik} \left[\sum_{j=1}^n h_{ij} \hat{x}_j - z_i \right] \quad (10.7)$$

$k=1, 2, 3, \dots, n$ için bu son denklem

$$\sum_{j=1}^n h_{ij} \hat{x}_j - z_i = \left\{ H \hat{x} - z \right\}_i \quad (10.8)$$

$H \hat{x} - z$ 'nin i 'nci satırı ve en dış (outermost) toplamı, $H \hat{x} - z$ 'in H 'nin k 'inci sütunuyla çarpımına eşit olur. Buradan formül 10.7 şu şekilde

$$0 = 2H^T \left[H \hat{x} - z \right] \quad (10.9)$$

$$0 = 2H^T H \hat{x} - 2H^T z \quad (10.10)$$

veya

$$H^T H \hat{x} = H^T z$$

yazılabilir.

Transpose matris H^T şu şekilde tanımlanabilir.

$$H^T = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} & h_{31} & \cdots & h_{m1} \\ h_{12} & h_{22} & h_{32} & \cdots & h_{m2} \\ h_{13} & h_{23} & h_{33} & \cdots & h_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{1n} & h_{2n} & h_{3n} & \cdots & h_{mn} \end{bmatrix} \quad (10.11)$$

Least squares probleminin normal denklemi. Denklem

$$H^T H \hat{x} = H^T z \quad (10.12)$$

Normal eşitlik (equation) veya least squares probleminin normal formu olarak adlandırılır. Bilinmeyenlerin sayısına eşit miktarda skalar eşitliğe sahiptir.

Least squares probleminin Gramian'ı. Normal eşitliğin çözümü

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T z$$

olması için

$$\mathcal{G} = H^T H \quad (10.13)$$

Tekil olmayan (nonsingular) (örneğin terslenebilir (invertible)) olması gerekir. Bu eşitlikteki $\mathcal{G} = H^T H$ Gramian matrisi olarak adlandırılır. Gramian matrisin determinanı H 'nin sütun vektörünün lineer olarak bağımsız olup olmadığını gösterir. Determinant sıfıra eşitse H lineer olarak bağımsızdır ve \hat{x} tekil olarak belirlenemez. Eğer sıfırdan farklıysa \hat{x} tekil olarak belirlenebilir.

Least-squares çözümü. Eğer Gramian matris tekil değil (nonsingular) (örneğin terslenebilir (invertible)) ise \hat{x} overdetermined lineer inversion probleminin least-squares çözümü olarak adlandırılır. Bilinmeyen ölçüm hataları hakkında hiçbir öngörüle bulunmaz. Aslında Gauss bu ihtimalden tanımında bahsetmiştir. Belirsizliğin resmi çözümü ilerleyen zaman içerisinde ortaya çıkacaktır.

10.3.3. Olasılık teorisine giriş

Olasılık hesaplamaları sayesinde karşılaştığımız problemlere ‘bilmiyorum’ demekten daha uygun cevaplar verebiliyoruz. Aslında olasılık konusu gerektiğinden çok sonraları bulunmuştur. Romalılar ve eski İtalyanlar riskli iş sektörlerine sigorta sistemi uyguluyorlardı. İlk bilinen olasılık hesaplamaları Girolamo Cordano (1501-1576) tarafından zar atma oyununa uygulandı. Arka arkaya zar atmanın birbirinden bağımsız olaylar olduğunu belirtti ve Hintli yazar Brahmagupta’yla birlikte deneme sayısının fazlalaşmasıyla daha sağlıklı istatistikler elde ettiklerini ispat etmeksizin öne sürdüler. Bu görüş daha sonraları bazı kuralların temelini oluşturmuştur.

10.3.4. Wiener filtresi

Norbert Wiener (1894-1964) 20.yüzyılın en ünlü dahilerinden biridir. 9 yaşında liseye girene kadar babası tarafından eğitildi. 11 yaşında liseyi bitirdikten sonra 3 yıl içinde Tufts Üniversitesi Matematik bölümünü bitirdi. 18 yaşında Harvard Üniversitesinde Matematik dalında doktorasını bitirdi. Yurt dışında 6 yıl çeşitli işlerde çalıştıktan sonra 1919 yılında MIT (Messachusetts Institue of Technology) Üniversitesinde öğretmenlik yapmaya başladı. Hayatının geri kalan kısmını MIT’ de geçirdi.

Bilimsel basında Wiener, Wiener Filtresi çalışmalarından daha fazla sibernetik alanındaki ünüyle tanınır. Matematiksel en büyük başarılarının bazıları genel harmonik alanındadır. Burada Fourier çevirmelerini genişleterek bir çok başarıya imza atmıştır.

Wiener Filtrelerinin Gelişimi. İkinci dünya savaşının ilk yıllarında Wiener radardan gelen bilgiye göre uçaksavarı otomatik olarak yönlendiren bir kontrol sistemi üzerinde çalışıyordu. Uçağın hızı merminin hızının göz ardı edilemeyecek bir oranı olması nedeniyle bu sistem neredeyse geleceğe ateş ediyordu. Yani kontrolörün gürültülü radar verilerine göre hedefin gelecekteki rotasını tahmin etmesi gerekiyordu.

Wiener least mean squared tahmin hatalarının çözümünü sinyal ve gürültünün otodüzeltilme fonksiyonlarıyla ifadesiyle buldu. Bu çözüm analog devrelerce entegral işlemlerinin yapılmasına dayanıyordu.

Benzer bir çalışma 1941 yılında zamanda ayırık sistemler için A.N.Kolmogorov tarafından yayınlandı.

Weiner'in çalışmaları 1940'lı yılların sonlarına kadar gizli kaldı. Çalışması üniversite öğrencilerinin anlayamayacağı kadar karmaşıktı. Yine de mühendisler üzerinde çalışarak sıkça kullandılar.

10.3.5. Kalman filtresi

Kalman filtresinin bulunuşu.

1958 Kasımında Princeton Üniversitesinden Baltimore'a trenle dönerken baş ağrısı çektiği sırada aklına gelen bir soru Kalman Filtresinin başlangıcı oldu. 'Wiener Filtresine durum değişkenleri fikri uygulanırsa ne olur?' Birkaç çalışmadan sonra ilave edilen sonlu-boyutlandırma parametreleriyle Wiener Filtresi, bugün bilinen Kalman Filtresine dönüştürülebildi. Durum formuna dönüşmesiyle, türev için gereken matematik altyapı bilgisi çok kolaylaştı ve ispatlar bazı matematik öğrencileri için bile yapılabilir hale geldi.

Kalman filtrelerine giriş

Kalman Filtresi hak ettiği ilgiyi 1960 yılında Kalman'ın NASA'ya yaptığı ziyaret sırasında gördü. Stanley F. Schmidt, Kalman Filtresinin Apollo mekiğinin yörünge tahminlerinde ve kontrol problemlerinde kullanılabiliniceğini farkettiler. Bugün ki adıyla genişletilmiş Kalman Filtresini ortaya çıkardı. 1961 yılında Schmidt sonuçları MIT den Richard H. Battin'e gösterdi. Battin uzay araçları için yol gösterici sistemler üzerinde çalışıyordu ve Kalman Filtresini Apollo'nun rehber sisteminin bir parçası olarak kullandı. Kalman Filtre'si mekiğin yörünge tahminleri için gerekli olan radardan gelen ve iç algılayıcıların verilerini birleştirme problemini çözdü. O

zamandan beri bütün yörünge tahminlerinde ve kontrol sistemlerinde kullanılmaya başlandı.

Burada Kalman'ın 1960 yılında formüle ettiği orijinal makalesindeki formülasyon tanımlanacaktır. Yani zamanda ayrık (discrete-time) olarak ölçümler yapılmakta ve durum tahminleri yapılmaktadır.

Kalman filtresi aşağıdaki formülle belirlenen zamanda ayrık (discrete-time) kontrollü işlemin (process) durumunu $x \in \mathfrak{R}^n$ tahmin etmek üzere kullanılır. Lineer stokastik fark denklemi

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \quad (10.14)$$

$z \in \mathfrak{R}^n$ ölçüldüğünde yani

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (10.15)$$

Rastgele (random) değişkenler w_k işleyiş (process) ve v_k ölçüm gürültüsünü gösterir. Birbirlerinden bağımsız oldukları farz edilmektedir. Tamamen rastlantısal (white) ve normal dağılım olasılık dağılımlarıyla

$$p(w) \sim n(0, Q) \quad (10.16)$$

$$p(v) \sim n(0, R) \quad (10.17)$$

Pratikte işleyiş gürültü kovaryansı (covariance) Q ve ölçüm gürültü kovaryansı R matrisleri her zaman basamağı veya ölçümde değişebilir. Yine de biz onların sabit olduğunu farz edeceğiz.

10.14'teki fark denklemindeki (difference equation) $n \times n$ matris A üretim fonksiyonu veya işlem gürültüsünün olmaksızın bir önceki basamak olan $k-1$ 'deki durumla ilişkilidir. Pratikte her basamakta değişebilir olmasına rağmen burada sabit olduğu varsayılacaktır. $n \times l$ matris B x 'in durumuna bağlı olarak opsiyonel kontrol

girişi $u \in \mathfrak{R}^l$ ile ilişkilidir. Ölçüm denklemini 10.15'teki $m \times n$ matris H ölçüm z_k ile ilişkilidir. H her basamakta değişebilir olmasına rağmen burada sabit kabul edilecektir.

$\hat{x}_k^- \in \mathfrak{R}^n$ step k dan önceki (a priori) durumdan step k ya beslenen tahmin bilgisi olarak alırsak ve $\hat{x}_k \in \mathfrak{R}^n$ 'yi da z_k 'nin ölçülmesiyle step k daki (a posteriori) durum tahmini olarak alırsak. Öncül (a priori) ve daha sonraki (a posteriori) hata tahminlerimiz şöyle olacaktır.

$$e_k^- \equiv x_k - \hat{x}_k^-$$

ve

$$e_k \equiv x_k - \hat{x}_k$$

A priori tahmin hatası kovaryansı (covariance) bu durumda

$$p_k^- \equiv E[e_k^- e_k^{-T}] \quad (10.18)$$

Ve a posteriori tahmin hata kovaryansı

$$p_k \equiv E[e_k e_k^T] \quad (10.19)$$

Kalman filtresi denklemlerini çıkarmak için yeni durum tahmini \hat{x}_k önceki durum tahmini \hat{x}_k^- , ölçüm z_k , bir önceki ölçme kestirimi $H \hat{x}_k^-$ kullanılmıştır.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - H \hat{x}_k^-) \quad (10.20)$$

10.20'deki $(z_k - H\hat{x}_k^-)$ farkına ölçüm değişikliği (innovation) veya fark (residual) adı verilir. Fark tahmin edilen ölçüm $H\hat{x}_k^-$ ile gerçekte ölçülen z_k arasındaki farkı (discrepancy) verecektir. Farkın sıfır olması ikisinin örtüştüğünü gösterir.

10.20 deki $n \times m$ matris K kazanç (gain) veya birleştirme faktörü olarak seçilmiştir. Böylece hata kovaryans denklemi minimize olur. 10.19'daki denklemi minimize eden sonuçların bir gösterimi

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (10.21)$$

$$K_k = \frac{P_k^- H^T}{H P_k^- H^T + R}$$

10.21'deki denklem incelendiğinde ölçüm hata kovaryansı R sıfıra yaklaşmaktadır. Kazanç (gain) K farka (residual) ağır basmaktadır. Spesifik olarak

$$\lim_{R_k \rightarrow \infty} K_k = H^{-1}$$

Ancak diğer yandan a priori tahmin hata kovaryansı P_k^- sıfıra yaklaşmaktadır. Kazanç K farkı (residual) o kadar fazla bastırmaktadır. Spesifik olarak

$$\lim_{P_k^- \rightarrow \infty} K_k = 0$$

K 'nın ağırlığını düşünmenin başka bir yöntemi ölçüm hatası kovaryansı olarak R 'nin sıfıra yaklaşması gerçek ölçüm z_k 'ya daha fazla güvenilmesi aynı zamanda kestirilen ölçüm $H\hat{x}_k^-$ 'ye daha az güvenilmesi demektir. Diğer yandan a priori tahmin hata kovaryansı P_k^- 'nin sıfıra yaklaşması, gerçek ölçüm z_k 'ya daha az güvenilmesi aynı zamanda tahmin edilen ölçüm $H\hat{x}_k^-$ 'ya daha fazla güvenilmesi demektir.

10.20'deki denklemin ispatı daha önceki tüm ölçümlerle z_k şekillenen a priori tahmin \hat{x}_k^- olasılığından kaynaklanır. (Bayes'in kuralı) Şimdilik durum dağılımının ilk iki momentinin yeterli olduğunu farz edelim.

$$E[x_k] = \hat{x}_k$$

$$E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T] = P_k$$

A posteriori durum tahmin denklemi (10.20) durum dağılımının ortalaması (ilk anı) yansıtacaktır. 10.16 ve 10.17 durumlar karşılanıyorsa normal olarak dağılmalıdır (normal distribution). 10.19'daki a posteriori tahmin hata kovaryans eşitliği durum dağılımının varyansını gösterecektir. Diğer bir deyişle

$$\begin{aligned} p(x_k | z_k) &\sim N(E[x_k], E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T]) \\ &= N(\hat{x}_k, P_k) \end{aligned}$$

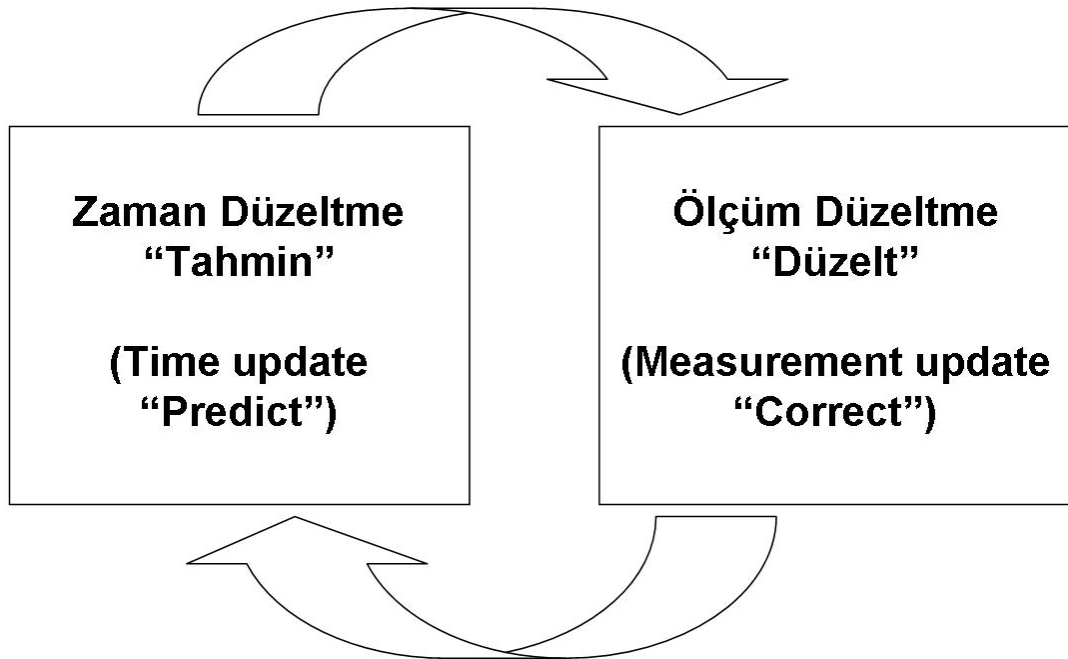
Zamanda ayırık Kalman filtresi algoritması

Bu bölümde önce üst seviye bakış açısıyla zamanda ayırık (discrete) Kalman filtresini inceleyeceğiz.

Kalman filtresi bir süreci geri beslemenin bir türüyle tahmin eder. Filtre sürecin durumunu bir zamanda tahmin eder ve daha sonra geri beslemesini gürültülü (noisy) ölçümlerle alır. Bu nedenle Kalman filtresi denklemleri iki gruba ayrılır zaman güncelleme (time update) ve ölçüm güncelleme (measurement update) eşitlikleri. Zaman güncelleme denklemleri şimdiki durum, hata kovaryans tahminleri ve önceki durum tahminlerinden hareketle bir sonraki step için ileriye projeksiyon yapmaktan sorumludur. Ölçüm güncelleme geri beslemeden sorumludur.

Zaman güncelleme denklemleri kestirim (predictor) denklemler olarak düşünülebilirken ölçüm güncelleme denklemleri ise düzeltici (corrector) denklemler olarak düşünülebilir. Aslında Şekil 10.2'den de görüleceği üzere sonuçta ortaya

çıkan tahmin algoritması sayısal problemlerin çözümünde kullanılan kestirim-düzeltilici (predictor-corrector) algoritmasına benzemektedir.



Şekil 10.2 Kalman filtresi döngüsü

Zamanda ayırık (discrete-time) Kalman filtresi zaman güncelleme denklemi

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k \quad (10.22)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (10.23)$$

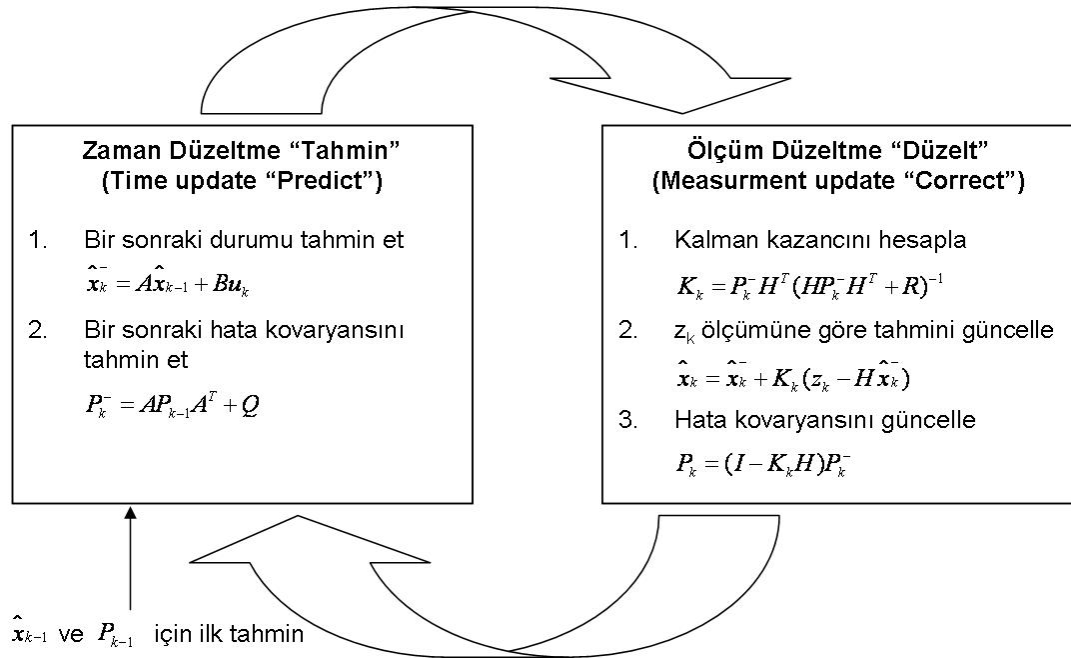
Zamanda ayırık (discrete-time) Kalman filtresi ölçüm güncelleme denklemi

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (10.24)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (10.25)$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^- \quad (10.26)$$

Tüm başlıkları birleştirdiğimiz de Şekil 10.2’de gösterilen Kalman filtesinin tamamlanmış şeklini (Şekil 10.3) elde ederiz.



Şekil 10.3. Kalman filtresinin tamamlanmış gösterimi

Kalman Filtresinin Teknolojik Etkisi

20.yy deki kontrol problemleri ve tahmin teorileri hakkında kesinlikle en büyük buluştur. Uzay çağı için çok büyük bir etki yapmıştır. Uzay mekiklerinin güneş sistemindeki dikkatli ve verimli yolculukları Kalman Filtresi etkileri olmadan yapılması imkansızdı.

Kalman Filtresi – Wiener Filtresi

- Analog elektronikte Wiener Filtresi dijital olan Kalman Filtresinden çok daha verimli çalışır.

- Kalman Filtresi ortaya çıktığında analog devreler artık yerini, tahmin ve kontrol mekanizmaları için dijital bilgisayarlara devrediyordu ve Kalman Filtresi de algoritma formunda bilgisayara uyarlanabilmektedir.
- Wiener Filtresinin, sinyal ve gürültü için sonlu-boyutsal tahmini yöntemlere ihtiyacı yoktur.
- Kalman Filtresi. Dinamik sistemlerin optimum kontrollerinin durum-uzay (state-space) formülüyle uyumludur ve Kalman bu sistemler için yararlı bilgiler sağlayabilir.
- Kalman Filtresi, Wiener Filtresinden daha kolay bir matematiğe sahip olduğu için günümüzün modern kontrol mühendislerine üniversite zamanında öğretilenmektedir.

10.3.6. Kare-kök metodu

Kare-kök metodu Ricatti denkleminin yapısal olarak tekrar formülize edilmiş şekli olarak algılanabilir. Kare-kök uygulamalarının ilki Potter ve Stern tarafından 1963 yılında Apollo'nun uzay yolculuğu için yapılmıştır. Potter ve Stern, kovaryans matrixi çarpanlara ayırma fikrini tanıttırmışlardır. Buna da Cholesky çarpanları denmiştir.

$$P = CC^T$$

Hesaplama zorluğu çıkarmasına rağmen sonuç olarak filtre uygulamasının daha iyi bir rakamsal istikrarı sağlandı diyebiliriz.

Kare-kök filtreleri

Dyer ve McReynolds'ın NASA'da yaptığı bir çalışmada Cholesky çarpanlarını yenilemesi sonucu 1970'lerde kare-kök filtre metotları için gerekli olan algoritma metotları çok hızlı bir şekilde geliştirmiştir. Kare-kök kovaryansı ve bilgi filtrelerinin genişlemesi Kaminski'nin Stanford Üniversitesindeki tezinde yer almıştı

Çarpanlara Ayırma Metodu

Kare-kök metodu daha önceden least-square problemi için türetilmiş olan matris ayrıştırma yöntemini kullanır. Ortogonal matris (Q) ve üçgensel matris (R)'nin çarpımından oluşan QR ayrıştırmasını da kapsar. R matris'i orijinal matris'e ortogonal transformasyon uygulandıktan sonra elde edilen matris'tir. Bu ortogonal transformasyonlar çok iyi rakamsal şartlara bağlıdır. Bu transformasyonlara 'üçgenleme' orijinal matris denir ve Kalman Filtresini yuvarlama hatalarına karşı daha güçlü yapar.

10.3.7. Kalman filtresinin ötesi

Genişletilmiş kalman filtresi ve Kalman-Schmidt filtresi

Kalman Filtresi doğrusal denklemler için dizayn edilmiş olsa da, büyük başarıyla doğrusal olmayan denklemleri, doğrusal denklemlere kısmi türevler kullanarak yaklaştırmıştır. Schmidt, durum değişkenlerinin tahmini değerlerinde bu kısmi türevleri değerlendirme fikrini ortaya çıkarmış ve buna genellikle Genişletilmiş-Kalman Filtresi denilse de bazı eski yayınlarda Kalman-Schmidt Filtresi olarak geçer.

Doğrusal olmayan rastlantısal diferansiyel denklemler.

Uzun zamandır istatistiksel mekaniklerde rasgele dinamik sistemleri içeren problemler incelenmektedir. Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin olasılık dağılımının zamanla yayılmasını, Fokker-Planck denklemi denilen doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemlerle çözülmüştür. Einstein, Fokker, Planck, Kolmogorov, Stratonovich, Baras ve Mirelli tarafından çalışılmıştır. Stratonovich dinamik sistemlerin gürültülü ölçümlerinden alınan bilginin olasılık dağılımına etkisini modellemiştir ve bunada conditioning denmiştir. Bu etkileri kapsayan diferansiyel denklemlere de Fokker-Planck denklemi denmiştir. Kushner, Bucy ve başkaları tarafından da Kiyosi Ito'nun tahmini hesaplarını kullanılarak çalışılmıştır. Ortaya çıkan model, Kalman Filtresinin sonlu temsili karakteristiğini

kullanamıyordu. Ayrıca hesaplama zorluğu geleneksel Kalman Filtresinin hatırı sayılır yükünü çok daha fazla aşıyordu.

Nokta işlemi ve tespit problemi

Bir olayın ya da objenin zaman ve uzay içinde yayılmasını modellemeye nokta işlem denir. Bir iletişim merkezinden mesaj gelmesi ya da gökyüzünde bir yıldızın yeri gibi. Ayrıca birçok tahmin problemi içinde, sistemin ilk durumları içinde model oluşturur. Bir uçağın radar altında izlenmesi veya okyanusta bir denizaltının yeri gibi. Bu izleme uygulamalarında, tespit problemi, tahmin problemi (örneğin Kalman Filtresiyle objeleri takip etmek) başlamadan önce çözülmelidir. Kalman Filtresi her obje için başlangıç durumu ister ve başlangıç durumu onu tespit etmekle elde edilir. Tespit ve takip işlemi Richardson tarafından bir optimum tahmin metoduna indirilmiştir. Bir tane obje için tespit ve takip etme problemi conditioned Fokker-Planck denklemi ile temsil edilir. Richardson bu tek objeli modelden, obje yoğunluğunu temsil eden sonsuz hiyerarşide kısmi diferansiyel denklemler çıkartmıştır. Bununla birlikte çalıştıktan sonra ortaya çıkan objelerin yoğunluklarının yaklaşık değişimlerini gösteren kısmi diferansiyel denklemdir. Bunun yardımıyla başlangıç durumları nokta işlem ile verilen dinamik objeleri tespit problemine çözüm gelmiş oldu.

BÖLÜM 11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Akıllı savunma sistemleri incelenmiştir. Akıllı savunma sistemleri çevre, algılayıcılar, veri birleştirme (data fusion), tahmin/kestirim, kullanıcı veri girişi ve sergileme, kaynak yönetimi, cevap sistemlerinden oluşmaktadır.

Çevre; tüm harekât alanı ve bu harekât alanı ile ilgili tüm bilgileri kapsamaktadır. Bu kapsamda yapılması gereken temel işlem çevre hakkındaki bilgilerin elde edilmesidir. Bu incelemede meteorolojik teknolojik, sosyal, eytışimsel (diyalektik), etkileşimsel, psikososyal vs. tüm bilgilerin toplanması, değerdendirilmesi ve bize avantaj sağlayacak şekilde kullanılması gereklidir.

Algılayıcılar radar, sonar, kızılötesi, lazer vs. gibi sistemlerdir. Bunlara her ülke sahiptir. Algılayıcılar kendi durumumuz, düşman durumu, etki eden ve ölçülebilir, tespit edilebilir tüm kaynakların durumunu bize gösterir.

Veri birleştirme; gözlenen birim için tek veya daha fazla algılayıcıdan gelen veri ve bilgilerin ortak yönlerini bulma (bir araya getirme) (association), ilişki kurma (correlation) ve birleştirme (combination) sonucunda iyileştirilmiş konum (position) ve kimlik (identity) tahminlerinde (estimate) bulunma ve tam, zamanında durum, tehdit ve öneminin değerdendirilmesidir.

Bu işlem; tahmin (estimate) ve değerdendirmelerin (assesment) sürekli iyileştirilmesi (refinement) ve diğer ek kaynaklara olan ihtiyaçların değerdendirilmesi (evaluation) ya da daha iyi sonuçlara ulaşmak amacıyla işleyişin (process) kendisinin değerdendirilmesidir (modification).

Veri birleştirme işleminde çok sayıda kaynaktan gelen (radar, sonar vs.) veriler işlenir. Kullanılabilir hale getirilir. Bu işlemin sonunda hedef hakkında dost/duşman/tarafsız olduğu, hedefi, etki derecesi, kimliği, etkili menzili vs. bilgileri elde edilir. Bu bilgiler bir sonraki basamak olan tahmin ve kestirmeye temel olacak bilgilerdir. Örneğin bir radarın tespit ettiği hedef incelenmesi sonucu, suuşt, hava hedefi olduğu, savaş gemisi/uçağı, sivil gemi/uçak olduğu, savaş gemisi veya uçağı ise hangi tip olduğu dost/duşman olduğu vb. gibi yararlı bilgiler çıkartılabilir.

Veri birleştirme sonucunda elde ettiğimiz bilgileri kullanarak algılayıcıların, hedefin, kendi durumumuzun, model durumunun tahmin edilmesi kestirilmesidir.

Tahmin ve kestirim özellikle savaş sistemleri için bu konu farklı bir önem taşımaktadır. Bir hedefin belirli bir süre sonunda bulunacağı yerin tahmin edilmesi, o hedefi imha etmek için gerekli en az kaynağın kullanılmasını gerektirecek, gereksiz, uygun olmayan kaynak kullanımını engelleyecektir.

Kullanıcı veri giriş ve sergileme; tüm sistemimiz, karar vericiye ihtiyaç duyduğu bilgilerin aktarılması ve bunların uygun, anlaşılır bir şekilde sergilenmesi ile karar vermesini kolaylaştırmak ve verilen kararın sisteme geri beslenmesi ile uygun cevabın verilmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Cevap sistemleri; savunma ve saldırı sistemleri ile fiili cevap olabildiği gibi, algılayıcı kontrolleri, algılayıcılara gerekli düzeltmelerin, kalibrasyonun yapılması, bakım, yeniden yapılandırma ve model iyileştirmeleri de bu sistemler sayesinde yapılır.

Askeri anlamda cevap verme çoğu durumda uygun silahla hedefin yok edilmesi demektir.

Kaynak yönetimi, mevcut kısıtlı kaynakların etkin bir şekilde kullanılması için kullanılan sistemdir. Yapılan tahminlere göre hangi saldırı/savunma silahının seçileceğini, algılayıcılar üzerinde ne tip işlem yapılacağını vs. kontrol ve koordine eder.

Yapılan inceleme sonucunda akıllı bir savunma sistemini oluşturan alt sistemlerin çokluğu ve karmaşıklığı düşünüldüğünde uygun kaynakların seçimi, personel yetiştirilmesi, sistemlerin en iyi performansı sağlayacak durumda bulundurulmasının hayati önemi haiz olduğu tespit edilmiştir. İlk planlamadan uygulamaya geçene kadarki süreçlerin çok detaylı olarak incelenmesi, bilinmesi ve uygulanması önem arz etmekle birlikte bu çalışmalar uzun zamana yayılacaktır. Bu hassas çalışmanın koordinesi ve yürütülmesi ülke güvenliği açısından önemi nedeniyle tek merkezden ve sabırlı bir şekilde yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Clemons, Eric K., Santamaria, Jason A. Maneuver Warfare Can Modern Military Strategy Lead You to Victory Harward Business Review USA: 3-11,Nisan 2002
- [2] MINKOFF, J.R., Signals, Noise and Active Sensors: Radar, Sonar, Laser Radar ABD, 1992
- [3] SWORDS, S.S. Technical History of the Beginnings of Radar (Radar, Sonar, Navigation and Avionics) Institution of Electrical Engineers, ABD, 1986
- [4] www.rl.af.mil/History/1950s/1950s_Radar.html
- [5] www.sciencemuseum.org.uk
- [6] MAHAFZA, B. R., Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, CRC Press, ABD, 2000, Sayfa 2.
- [7] http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw_sys/asw_sys.htm
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Sonar>
- [9] http://www.flirthermography.com/turkey/about/ir_history.asp
- [10] www.zytemp.com/tutorial/history.asp
- [11] http://www.metrisinst.com/infrared_tutorial.php
- [12] http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_kids/learn_ir/index.html
- [13] www.infofusion.buffalo.edu/tm/Dr.Llinas'stuff/DataFusionOverview.ppt

- [14] www.rgb.com
- [15] www.mts-consultants.com
- [16] halifax.mda.ca
- [17] <https://ewhdbks.mugu.navy.mil/>
- [18] http://www.ieee.org/organizations/history_center/legacies/kalman.html
- [19] <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanBiblio.html>
- [20] Bar-Shalom, Y, Rong Li, X., Kirubarajan, T., Estimation with Applications to Tracking and Navigation, John Wiley & Sons, ABD, 2001
- [21] GREWAL, S, M, ANDREWS, P, A, Kalman Filtering Theory and Practice Using MATLAB, John Wiley & Sons, ABD, 2001
- [22] http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Erkan AYDIN 1968 yılında İZMİR’de dünyaya gelmiştir.

İlk öğrenimini sırasıyla Ankara Ayrancı İlkokulu, Ankara Demetevler Oğuzlar İlkokulu ve Ankara Bayrak İlkokulu’nda yapmıştır.

Orta öğrenimini Ankara Gölbaşı Dr. Şerafettin Tombuloğlu Lisesinde tamamlamıştır.

Lise öğrenimini Deniz Lisesi’nde tamamlamıştır.

Deniz Harp Okulu Elektrik/Elektronik (Bilgisayar) bölümünden 1991 yılında Deniz Subayı olarak mezun olmuştur.

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bünyesindeki çeşitli gemilerde Branş Subayı ve Bölüm Amirliği görevlerini ifa etmiştir.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde Otomatik Bilgi İşlem Temel Subay Kursunu müteakip OBİ (Otomatik Bilgi İşlem) Subayı olmuştur.

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı ve bağlısı birliklerde Ağ İşletim Subayı, OBİ Subayı, Envanter Kontrol ve Bilgi İşlem Şube Müdürü olarak görev yapmıştır.

Halen Karamürselbey Eğitim Merkezi Komutanlığı Bilgi Sistem Şube Müdürü olarak görev yapmaktadır..

Bayan Bengisu AYDIN ile evli olup Dorukhan adında bir oğlu vardır.

İngilizce ve Almanca bilmektedir.