

**TEXNİKA ELMLƏRİ**  
**TECHNICAL SCIENCES**

<https://doi.org/10.36719/2663-4619/112/126-132>

**Əsəd Rüstəmov**

Azərbaycan Texniki Universiteti  
texniki elmlər doktoru

<https://orcid.org/0000-0003-0561-5509>  
asadrustamov1122@gmail.com

**Sadiq Sadiqli**

Azərbaycan Texniki Universiteti

<https://orcid.org/0009-0007-6660-5650>  
sadiq.sadigli.hl@student.aztu.edu.az

**Arzu Axundov**

Azərbaycan Texniki Universiteti

<https://orcid.org/0009-0007-7946-8333>  
arzu.akhundov.aa@student.aztu.edu.az

**Humay Cabarova**

Azərbaycan Texniki Universiteti

<https://orcid.org/0009-0003-2865-9691>  
humay.cabarova.rn@student.aztu.edu.az

**Nəzrin Aliyeva**

Azərbaycan Texniki Universiteti

<https://orcid.org/0009-0001-1253-3037>  
nazrin.aliyeva.rn@student.aztu.edu.az

**Müasir radar texnologiyalarının arxitektura və siqnal emalının  
metodlarının tətbiqi**

**Xülasə**

Məqalədə müasir radar texnologiyalarında tətbiq olunan arxitektura və siqnal emalı metodları ətraflı araşdırılmışdır. Müasir radar sistemləri yüksək dəqiqlik, çoxfunksiyalılıq və çeviklik ilə seçilir ki, bu da rəqəmsal siqnal emalı texnologiyalarının inkişafı nəticəsində mümkün olmuşdur. Radar sistemləri müxtəlif tezlik diapazonlarında işləyir və onların təsnifatı elektromaqnit dalğalarının xüsusiyyətlərinə əsaslanır. Məqalədə bu təsnifatın əsas prinsipləri, fərqli radar növlərinin üstünlükləri və onların tətbiq sahələri geniş izah olunmuşdur. Radar texnologiyalarında istifadə olunan siqnal emalı metodları, siqnalın süzgəclənməsi, aşkarlama və izləmə prosesləri təhlil edilmişdir. Hədəflərin mövqeyinin və sürətinin dəqiq müəyyənləşdirilməsi üçün istifadə olunan əsas siqnal emal texnologiyaları, onların səmərəliliyi və texnoloji yeniliklərə əsaslanan inkişaf istiqamətləri göstərilməklə elektromaqnit dalğalarının yayılma xüsusiyyətləri, maneələrin təsiri və bu maneələrin siqnal emalı vasitəsilə aradan qaldırılması yolları müəyyən olunmuşdur. MATLAB proqramında aparılmış simulyasiya hesablamaları və onların radar sistemlərinin iş prinsiplərinə təsiri təqdim edilmiş, radiotezlik müdaxilələri və onların minimallaşdırılması üsulları araşdırılmış, siqnal-küy nisbətinin radarlara təsiri qiymətləndirilmişdir. Müasir radar sistemlərinin avtomobil sənayesi, kosmik tədqiqatlar, tibbi diaqnostika və müdafiə sənayesində istifadəsi vurğulanmışdır. Radar sistemlərinin getdikcə daha mürəkkəbləşməsi, süni intellekt və maşın texnologiyalarının tətbiqi ilə əlaqədar olaraq, onların funksional imkanlarının genişlənməsi və gələcək inkişaf perspektivləri də nəzərdən keçirilmişdir.

Bundan başqa, radarların meteorologiyada, nəqliyyat idarəetməsində və hərbi strategiyada rolu da araşdırılaraq, radar texnologiyalarının davamlı inkişafı və müasir tələblərə uyğunlaşdırılması məsələləri ətraflı izah olunmuşdur.

**Açar sözlər:** radar texnologiyaları, siqnal emalı, elektromaqnit dalğalar, obyektin aşkarlanması, obyektin izlənməsi, radiotezlik müdaxiləsi, siqnal/kiy nisbəti, MATLAB hesablamaları, radar arxitekturası

**Asad Rustamov**

Azerbaijan Technical University

Doctor of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0003-0561-5509>

asadrustamov1122@gmail.com

**Sadig Sadigli**

Azerbaijan Technical University

<https://orcid.org/0009-0007-6660-5650>

sadig.sadigli.hl@student.aztu.edu.az

**Arzu Akhundov**

Azerbaijan Technical University

<https://orcid.org/0009-0007-7946-8333>

arzu.akhundov.aa@student.aztu.edu.az

**Humay Jabarova**

Azerbaijan Technical University

<https://orcid.org/0009-0003-2865-9691>

humay.cabarova.rn@student.aztu.edu.az

**Nazrin Aliyeva**

Azerbaijan Technical University

<https://orcid.org/0009-0001-1253-3037>

nazrin.aliyeva.rn@student.aztu.edu.az

## Application of Architecture and Signal Processing Methods in Modern Radar Technologies

### Abstract

The article provides a detailed analysis of the architecture and signal processing methods used in modern radar technologies. Modern radar systems are distinguished by high accuracy, multi-functionality, and flexibility, made possible by advancements in digital signal processing. Radar systems operate across various frequency ranges, and their classification is based on the characteristics of electromagnetic waves. The article explains the principles of this classification, the advantages of different radar types, and their applications. It examines signal processing methods, including filtering, target detection, and tracking. The main signal processing technologies used for accurate determination of target position and velocity, their efficiency, and future development prospects in light of modern technological advancements are discussed. The study explores the propagation characteristics of electromagnetic waves, the impact of interference, and methods for mitigating these effects through signal processing.

Additionally, MATLAB-based calculations and their influence on radar system functionality are analyzed. The study evaluates radio frequency interference and techniques for its minimization, as well as the effect of the signal-to-noise ratio on radar performance. The application of modern radar systems in the automotive industry, space research, medical diagnostics, and defense is emphasized. The increasing complexity of radar systems and the expansion of their functional capabilities through the integration of artificial intelligence and machine learning technologies are also discussed. Furthermore,

the study highlights the use of radar in meteorology, traffic management, and military strategy, as well as the continuous development of radar technologies to meet modern demands.

**Keywords:** radar technologies, Signal processing, Electromagnetic waves, Radar classification, Object detection, Object tracking, Radio frequency interference, Signal-to-noise ratio, MATLAB computations, Target classification, Radar architecture.

## Giriş

Radar sistemləri, elektromaqnit dalğalarının əks olunması prinsipinə əsaslanaraq, illər ərzində daha yüksək dəqiqlik və funksionallıq təmin etmək üçün inkişaf etməkdədir. Müasir radar texnologiyası obyektlərin aşkarlanması, izlənməsi və təsnif olunmasında möhtəşəm dəqiqliyi təmin edir (Borden, 2017). Bu, rəqəmsal siqnal emalı metodlarının tətbiqi sayəsində mümkün olmuşdur ki, bununla radarların mürəkkəb məsələlərin həll etmə qabiliyyəti artırılmışdır və obyektlərin yeri, hərəkət sürətini daha dəqiq müəyyən etmək mümkündür. Maneələrin təsirinin azaldılması, siqnalların effektiv süzgəclənməsi və emalı radarların etibarlılığını artırmaqla onun funksionallığını genişləndirməyə imkan yaradır. Müasir radarlar eyni zamanda obyektləri aşkar edə, izləyə və onları təsnif edə bilər.

Radar sistemləri aşağıda göstərilən yeni sahələrdə də tətbiq olunmağa başlamışdır:

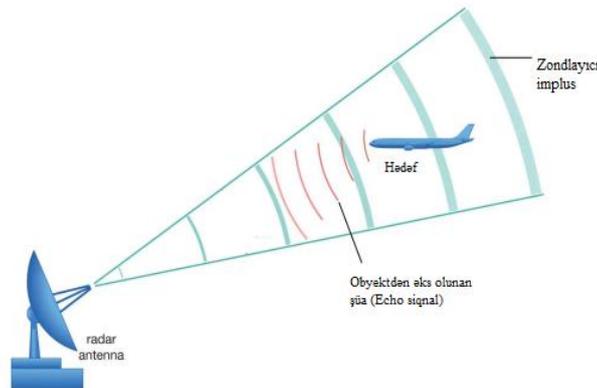
1. Avtomobil təhlükəsizlik sistemləri: radarlar avtomobil qəzalarının qarşısını alma və adaptiv kruiz-kontrol sistemlərində istifadə olunur.
2. Kosmik tədqiqatlar: radar sistemləri planetləri və digər kosmik obyektləri araşdırmağa kömək edir.
3. Tibbi diaqnostika: bəzi radarlar xəstənin həyat göstəriciləri birbaşa təmas olmadan izləmək üçün istifadə olunur.

Müasir radar sistemləri çox mürəkkəb və inkişaf etmiş texnologiyaların tətbiqindən faydalanır. Bu radarlar yalnız obyektlərin mövqeyini və sürətini müəyyən etməklə kifayətlənmir, həmçinin onların xarakterini aşkar etmək və izləmək üçün müxtəlif funksiyaları təmin edir. Texnoloji yeniliklər, mürəkkəb alqoritmlər və yüksək səviyyəli siqnal emalı metodları radar sistemlərinin dəqiqliyini və effektivliyini artırır. Bu texnologiyalar, obyektlərin real vaxtda izlənməsi, onların sürətinin ölçülməsi və mövqelərinin müəyyən edilməsi üçün istifadə olunur (Cohen, 2015).

## Tədqiqat

Radar sistemlərinin tətbiq olunduğu sahələrə gəmilər, təyyarələr, raketlər, peyklər, yerüstü nəqliyyat vasitələrini göstərmək olar. Onların vasitəsilə təyyarələri, raketləri, gəmiləri, peykləri, metal obyektləri, hərəkət edən yerüstü nəqliyyat vasitələrini xarakterizə etməyə və izləməyə çalışırlar.

Radarın işlədiyi elektron prinsip səs dalğasının əks olunması prinsipi ilə eynidir. Şəkil 1-də impuls radar sistemlərinin işləmə prinsip göstərilmişdir. Burada elektromaqnit enerji impulslarından istifadə edilərək radiotezlik (RF) enerjisi obyektə ötürülür və ondan əks olunur. Əks olunan enerjinin kiçik bir hissəsi radar dəstinə qaydır. Bu geri qaytarılan enerji, səs terminologiyasında olduğu kimi, ECHO siqnal adlanır. Radar dəstləri əks etdirən obyektin istiqamətini və məsafəsini müəyyən etmək üçün əks-səradan istifadə edir (Sporer, Papageorgiou, 2007).



Şəkil 1. İmpuls radar sistemlərin işləmə prinsipi

Radarların təsnif olunmasında elektromaqnit dalğalarının tezlik spektrinə görə bölünür. Elektromaqnit dalğalarının spektri 1024 Hz-ə qədər tezliklərə malikdir (Wolff).

Müxtəlif fiziki xüsusiyyətlərə görə bu son dərəcə geniş diapazon bir neçə alt diapazona ayrılır. Tezlik zolaqlarının yeni təsnifatı hazırlanmışdır, çünki tezliklərin müxtəlif diapazonlara bölünməsinə ölçmək üçün istifadə edilən əvvəlki meyarlar köhnəlmiş və tarixən işlənmişdir.

Aşağıda tezlik spektr icmalın (cədvəl 1) və hansı tip radarlar üçün istifadə olunması göstərilir (Cohen, Nathanson, Nathanson, Smith, Reilly, 1999).

<b>Radar Məktub Bant Dizayn</b>	<b>Tezlik aralığı</b>	<b>İstifadə</b>
<b>HF</b>	3–30 MHz	Üfüqi arxası radarlar
<b>VHF</b>	30–300 MHz	Çox uzun mənzilli nəzarət
<b>UHF</b>	300–1000 MHz	Çox uzun mənzilli nəzarət
<b>L</b>	1–2 GHz	Uzun mənzilli nəzarət, hava nəqliyyatı idarə etmə
<b>S</b>	2–4 GHz	Orta mənzilli nəzarət, terminal hava nəqliyyatına nəzarət, uzunmüddətli hava nəzarət radarları (200 nmi)
<b>C</b>	4–8 GHz	Uzun mənzilli izləmə, hava şəraiti izləmə radları
<b>X</b>	9–12 GHz	Qısa mənzilli izləmə, raket rəhbərliyi, xəritə dəniz radarı, hava məkanı izlənməsi radarı
<b>Ku</b>	12–18 GHz	Yüksək dərəcəli xəritəçəkmə, Peyk altimetriyası
<b>K</b>	18–27 GHz	Az istifadə olunur
<b>Ka</b>	27–40 GHz	Çox yüksək dərəcəli xəritə, qısa məsafəli izləmə, hava limanını ərazi nəzarət radarı
<b>V,W</b>	40–110 GHz	Uzaqdan idarəetmə
<b>Millimeter</b>	110+ GHz	Eksperimental, uzaqdan idarəetmə

### **Müasir radar texnologiyalarının arxitektura və siqnal emalının metodlarının tətbiqi**

Müasir radarların növündən asılı olaraq siqnal emalı texnologiyası fərqli ola bilər. Radar siqnalının işlənməsi arzuolunmaz siqnalları rədd edərək istənilən məlumatı çıxarmaq üçün rəqəmsal formatında təmsil olunan qəbul edilmiş siqnalın manipulyasiyası kimi müəyyən edilə bilər (Sporer, Papageorgiou, 2007).

Xüsusilə, bir müşahidə radarı, yer örtüyün fərqli olması, radiotezlik müdaxiləsi və səs-küy mənbəyinin yaratdığı radar əks-sədalarnı ləğv edərək hədəflərin aşkar olunmasında və ya hədəfin statusu barədə qərar qəbul edir. Radar texnologiyalarının əsas məqsədi, obyektlərin mövqeyini, sürətini və digər xüsusiyyətlərini mümkün olan ən dəqiq şəkildə təhlil etməkdir. Bu proseslər radar əks-sədalarnın müxtəlif ətraf mühit faktorlarından, məsələn, yer örtüyü, atmosfer müdaxilələri və elektromaqnit sıxlığı kimi təsirlərdən təmizlənməsini tələb edir (Gustav, 2004). Radar sistemləri əks-sədalardan faydalı məlumatı ayırd etmək üçün çoxsaylı filtrasiya metodlarından istifadə edir, məsələn, kalman süzgeçlənməsi və bayes analizi kimi yanaşmalar tətbiq olunur (Hansen, Jonsson, 2011).

İzləmə radarı hədəfi aşkarlamaqdan əlavə olaraq, hədəf kinematik parametrlərinin dəqiq qiymətləndirilməsi ilə məşğul olur. Hədəfin davamlı izlənməsi və təhlili üçün bu radarlar xüsusilə inkişaf etmiş alqoritmlərlə təchiz edilir. Sintetik diafraqma radarı (SAR) və kosmik əsaslı radar sistemləri, yüksək tərtibatlı şəkillər və məlumatların əldə edilməsinə imkan verir. Bu radarlar daha

mürəkkəb hədəf təhlilini və izləməyi təmin edir və məlumatların real vaxtda emalını optimallaşdırır (Levanon, 2012).

Radar sistemi ilə siqnal və məlumat prosessorları tərəfindən yerinə yetirilən əsas əməliyyatlar aşağıdakılardır:

hədəflərin mövcudluğunun aşkar edilməsi;

hədəflərin müvafiq parametrlərinin (mövqe, sürət, forma və elektromaqnit imzası kimi) müəyyən etmək üçün qəbul edilmiş dalğa formasından məlumatın çıxarılması.

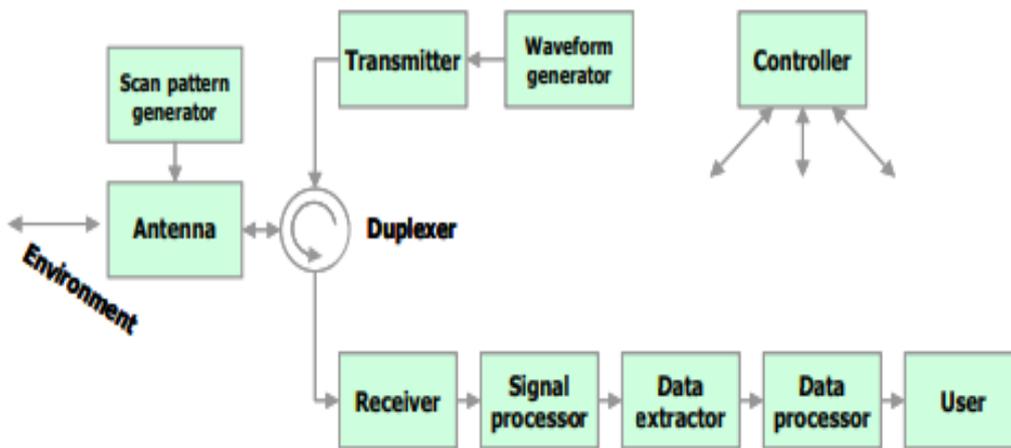
Radar sisteminin dizaynının (şəkil 2) ilk addımı radarın işlədiyi real mühitə daha çox bağlı olan riyazi modellərin formalaşdırılmasında qəbul edilə bilər (Melvin, 2013). Radar aşkarlanması ilə əlaqədar olaraq bir neçə əsas tədqiqat və inkişaf sahələrini ayırd etmək olar:

optimal aşkarlama nəzəriyyəsi;

adaptiv aşkarlama nəzəriyyəsi;

qeyri-qauss ehtimal sıxlığı funksiyasına malik siqnalların aşkarlanması;

çoxölçülü emal alqoritmləri.



Şəkil 2. Müasir radar sisteminin sadələşdirilmiş sxemi (Scan pattern generator – radio şüa formalaşdırıcısı, Waveform generator – radiodalğa formalaşdırıcısı, Transmitter – ötürücü, Duplexer - antena çeviricisi, Signal processor – siqnal prosessoru, Data extractor – məlumat çevricisi, Data processor – məlumat emalı, User – istifadəçi )

Siqnal emalı üsulların seçərkən bir çox parametr nəzərə alınmalıdır bunlara misal olaraq radarın əsas tənliyi (1) və radar sistemlərində siqnal / küy nisbətində nəzər salsaq görərik ki, zondlanmış siqnal və əks olunmuş siqnallar üçün bəzi tələblər ödənilməsi vacibdir

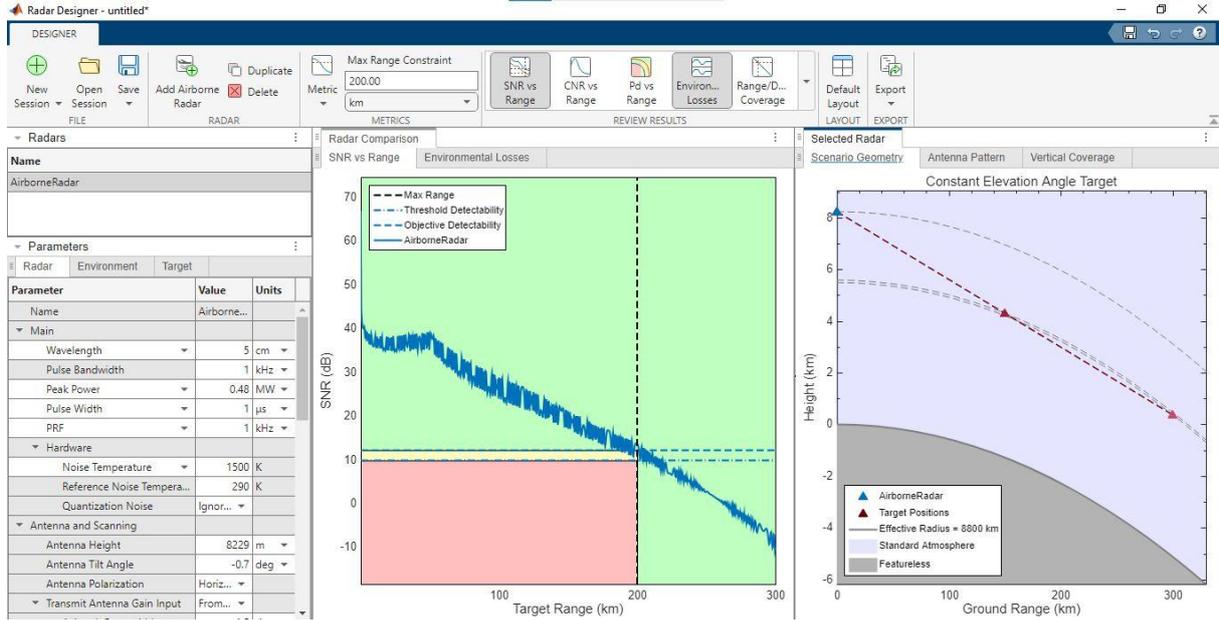
$$P_r = \frac{P_t * G_t * G_r * \lambda^2 * \sigma}{4\pi^3 * R^4 * L} \quad (1)$$

$$S/N = P_s/P_\zeta \quad (2)$$

burada  $P_r$ - alınan siqnal gücü;  $P_t$ - göndərilən siqnal gücü;  $G_t$  - ötürücü antenanın gücü;  $G_r$ - qəbuledici antenanın gücü;  $\lambda$ - siqnalın dalğa uzunluğu;  $\sigma$  - hədəfin radar kəsik sahəsi (RCS);  $R$ - hədəfə qədər olan məsafə;  $L$  - sistem itkiləri;  $P_s$  - siqnalın gücü;  $P_n$  - küyün gücüdür (Zhou, Liu, 2014).

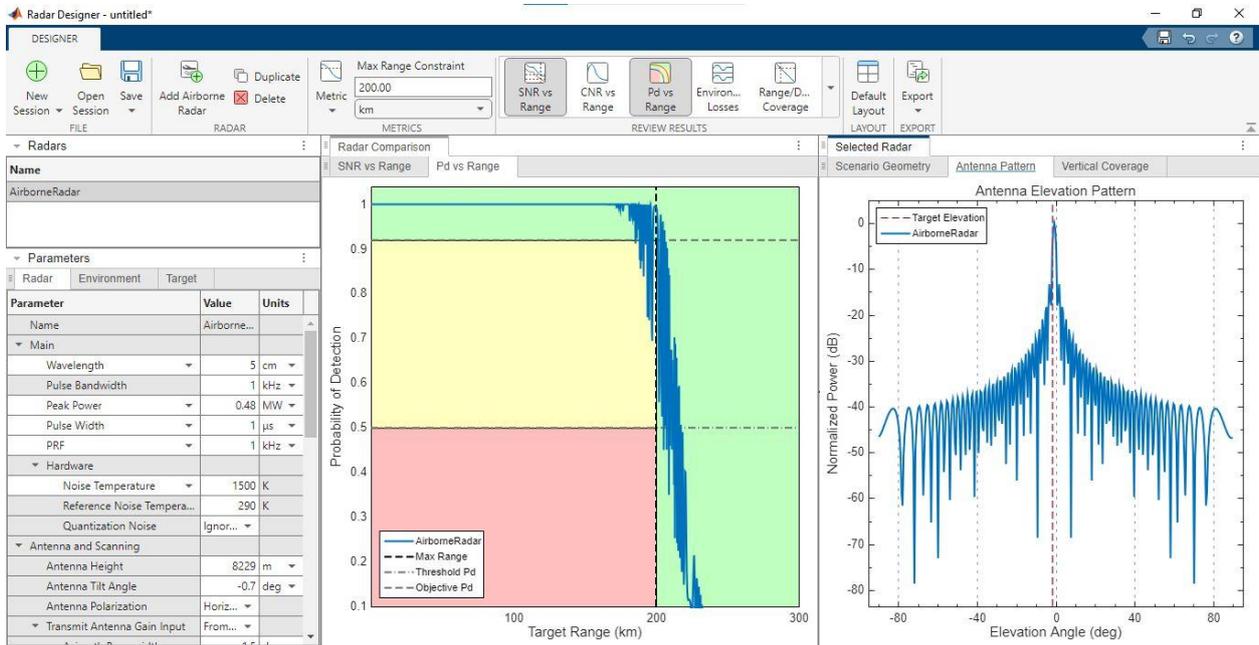
Siqnal emalının əsas məqsədi hədəfin sürətini və sürətini qiymətləndirmək, gələcək hədəf mövqeyini proqnozlaşdırmaq və müvafiq vaxt ortasından istifadə edərək ölçmə xəталarını minimuma endirmək üçün hədəf radar ölçmələrini (məsələn, məsafə, azimut, yüksəklik və məsafə dərəcəsi) emal edir (Misra, Venkataramanan, 2011).

Şəkil 3-də MATLAB proqramından istifadə edərək bort radar sisteminin hesablamaları əks olunmuşdur. Nəticə olaraq radar sistemlərində radiosiqnalın emalının nə qədər vacib olduğu və hansı tip parametrlərdən asılı olduğu görünür.



Şəkil 3. Siqnal küy nisbətinin məsafəyə olan təsiri

Şəkil 4-də zondlanmış siqnalın gücündən asılı olaraq aşkarlama uzağılığı və hədəf doğruluq diaqramı göstərilmişdir.



Şəkil 4. Zondlanmış siqnalın gücündən asılı olaraq aşkarlama uzağılığı və hədəf doğruluq diaqramı

Radarlar həmçinin metal obyektləri, hərəkət edən yerüstü nəqliyyat vasitələrini, raketləri və pəykləri izləmək üçün istifadə olunur. Hər bir radar növü spesifik tətbiqlər üçün xüsusi olaraq optimallaşdırılmışdır. Məsələn, hərbi tətbiqlərdə raket izləmə radarları çox yüksək dəqiqliklə

obyektlərin hərəkətini izləyir və bu da strateji qərarların qəbul edilməsinə imkan verir (Skolnik, 2001).

### Nəticə

Müasir radar texnologiyalarının arxitekturası, siqnal emalı metodları və onların müxtəlif sahələrdə tətbiqi araşdırılaraq radar sistemlərinin yüksək dəqiqlik və funksionallıq təmin etməsi elektromaqnit dalğalarının xüsusiyyətlərindən və siqnal emal üsullarından asılı olduğu müəyyən edilmişdir. Siqnal / küy nisbətinin optimallaşdırılması və radiotezlik müdaxilələrinin minimallaşdırılması radarların etibarlılığını artırır. MATLAB proqramında aparılmış hesablamalar radar siqnal emalının effektivliyini qiymətləndirmək üçün istifadə olunmuş, həmçinin müasir radarların avtomobil sənayesi, kosmik tədqiqatlar və tibbi diaqnostika kimi sahələrdə geniş tətbiq olunduğu müəyyən edilmişdir.

### Ədəbiyyat

1. Borden, A. (2017). *Radar Engineering Handbook*. Cambridge University Press.
2. Cohen, H. (2015). *Modern Radar Systems: Theory and Applications*.
3. Cohen, M. N., Nathanson, A. J., Nathanson, L. H., Smith J. N., Reilly, J. P. (1999).
4. Gustav, H. (2004). *Radar Signals: An Introduction to Theory and Application*.
5. Hansen, A. T., & Jonsson, G. (2011). *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. Wiley.
6. Levanon, N. (2012). *Radar Principles*. Wiley-Interscience.
7. Melvin, W. L. (2013). *Principles of Modern Radar. Volume 2*
8. Misra, S., & Venkataramanan, R. (2011). *Signal Processing for Radar Systems*. Artech House.
9. Skolnik, M. I. (2001). *Introduction to Radar Systems* (3rd Edition, McGraw-Hill).
10. Sporer, S., & Papageorgiou, S. (2007). *Radar Systems: Design and Analysis*.
11. Zhou, Y., & Liu, C. (2014). *Synthetic Aperture Radar: Applications and Techniques*. Wiley.
12. Wolff, C. (n.d.). *Waves and Frequency Ranges*  
<https://www.radartutorial.eu/07.waves/Waves%20and%20Frequency%20Ranges.en.html>

Daxil oldu: 28.11.2024

Qəbul edildi: 31.01.2025