

بیتائیدات خداوند متعال
.



دانشکده فنی و مهندسی، گروه کامپیوتر
پژوهش درس ارزیابی و کارایی سیستم های کامپیوتری

گرایش
نرم افزار

عنوان
**سیستم خبره بر پایه مدل های مارکوف پنهان برای شناسایی
هدف های رادار**

استاد
جناب آقای دکتر علی سلیمانی

نگارنده
میلاد جوانشیر

پاییز
۱۴۰۰

فهرست

عنوان.....	شماره صفحه
خلاصه.....	۴
معرفی.....	۴
پایگاه داده‌ای از پژوهش‌های واقعی رادار.....	۸
استخراج ویژگی.....	۱۲
سیستم خبره مبتنی بر مدل‌های مارکوف پنهان.....	۱۵
نتیجه‌ها.....	۱۸
نتیجه‌گیری.....	۲۲
منابع.....	۲۲
پیوست.....	۲۴

خلاصه (Abstract)

طراحی یک سیستم خبره^۱ بر پایه مدل‌های مارکوف پنهان^۲ برای شناسایی هدف‌های راداری در منطقه‌ای از رادار پایش زمینی^۳ در این مقاله ارائه شده است. سیگنال پژواک واقعی رادار^۴ که در قالب مدل‌های اتورگرسیون^۵ به عنوان ورودی سیستم خبره طراحی شده مورد استفاده و نمایش قرار می‌گیرد. پژواک‌های واقعی رادار برای این پژوهش جمع‌آوری شده است. نتیجه‌های به دست آمده نشان می‌دهد که سیستم طراحی شده دارای مزایای ویژه است، ولی چارچوب‌هایی^۶ نیز در شناخت توالی‌های آنالیز شده وجود دارد.

۱- معرفی (Introduction)

یکی از وظایف اصلی در عملیات نظامی^۷ آگاهی از موقعیت است. آگاهی از موقعیت روندی از تلاش آگاهانه برای پردازش داده‌های حسّی^۸ و استخراج اطلاعات قابل اجرا با هدف انجام یک عملیات در یک دوره زمانی با یا بدون تعامل با سیستم حسّی^۹ است [۱]. پیچیدگی کارزارهای جدید مستلزم استفاده کردن از حسگرهایی است که به طور همزمان در بخش‌های مختلف الکترومغناطیسی^{۱۰} کار می‌کنند (رادار^{۱۱}، تلویزیون و دوربین‌های حرارتی^{۱۲}، حسگرهای لرزه‌ای^{۱۳}، صوتی و غیره)، همچنین ترکیب اطلاعات از حسگرهای مختلف جمع‌آوری می‌شود. استفاده کردن از هر یک از این حسگرها دارای مزایا و کاستی‌هایی است. برای مثال، رادار می‌تواند هدف‌ها را در فاصله‌های بیشتر در مقایسه با حسگرهای الکترونیک‌نوری^{۱۴} شناسایی کند. همچنین رادار هدف‌ها را از میان دیوار شناسایی می‌کند. از این گذشته، رادار نیز می‌تواند در شرایط آب و هوایی پیچیده کار کند. به بیان دیگر، وضوح تصویر رادار در مقایسه با حسگرهای الکترونیک‌نوری کمتر است و به دلیل انتشار انرژی فعال رادار به راحتی می‌تواند تصویرها را شناسایی و گردآوری کند.

-
1. Expert System
 2. Hidden Markov Models
 3. Ground Surveillance Radar
 4. Real Radar Echo Signal
 5. Autoregressive Models
 6. Frameworks
 7. Military Operations
 8. Process the Sensory Data
 9. Sensory System
 10. Electromagnetic
 11. Radar
 12. Thermal Cameras
 13. Seismic Sensors
 14. Optoelectronic Sensors

وظایف کلیدی قابل انجام برای رادار پایش زمینی، شناسایی و طبقه بندی هدف ها راداری پویا است. در سیستم های راداری معمولی تشخیص وضعیت هدف هنوز بر پایه تجربه اپراتور^{۱۵} رادار [۲] است. یکی از رایج ترین رادارهای پایش زمینی، رادار پالس – داپلر^{۱۶} به دلیل ساختار ساده اش است. طبقه بندی هدف برای این گونه رادار بر پایه ی اثر داپلر برای هدفی منحصر به فرد است [۳].

طبقه بندی سیگنال رادار پالس – داپلر یک چالش برای پژوهشگران در این بخش است و می توان انتظار داشت که در سال های آینده کار جدی روی این مشکل انجام شود [۴]. از آنجایی که سیگنال های خروجی رادار پایش زمینی از گونه ی متغیرهای زمانی هستند، روش های آنالیز زمان – فرکانس^{۱۷} اغلب مورد استفاده قرار می گیرد [۵]. یکی از پر استفاده ترین روش های آنالیز زمان – فرکانس طیف نگاری^{۱۸} است. ولی روش های پیشنهادی دیگری نیز برای آنالیز زمان – فرکانس سیگنال های راداری وجود دارد. روش جدید زمان – فرکانس برای ردیابی کردن فرکانس داپلر مرکزی در تشخیص هدف و استخراج ویژگی مبتنی بر میکرو – داپلر^{۱۹} در محیط های داخلی و خارجی استفاده می شود [۶]. در حالی که در روش S – چندپنجره ای^{۲۰} برای تخمین فرکانس لحظه ای و کاربرد آن در آنالیز سیگنال رادار، روش چندپنجره ای برای پردازش سیگنال رادار واری زمینی پیشنهاد شده است [۷]. ردیابی کردن فرکانس داپلر مرکزی با استفاده از فیلترهای جزئی^{۲۱} و تغییر شکل اصلاح شده B در تخمین و استخراج ویژگی های سیگنال رادار با استفاده از فیلترهای توزیع اصلاح شده B^{۲۲} نشان داده می شود [۸]. با این حال در آنالیز توزیع های زمان – فرکانس سیگنال های اکو داپلر^{۲۳} رادار باند – ku نشان داده شده اند که طیف نگاری با تمرکز انرژی بیشتری نسبت به روش آنالیز سیگنال چندجزئی فراهم می کند [۹]. در رادار موج – پیوسته^{۲۴} برای آنالیز راه رفتن – یک رویکرد جدید برای طبقه بندی راه رفتن انسان بر پایه نمایش ویژگی های زمان – فرکانس و ویژگی های مبتنی بر طیف نگاری نشان داده شده اند که می توان از آنها برای طبقه بندی هدف ها مختلف راداری استفاده نمود [۱۵ – ۱۰].

15. Operator

16. Pulse – Doppler Radar

17. Time – Frequency

18. Spectrogram

19. Micro – Doppler

20. Multi – Window S – Method

21. Particle Filters

22. Particle Filter and Modified B-transform

23. Doppler Echo Signals

24. Continuous – Wave Radar

نویسندگان در مورد موج پیوسته رادار برای آنالیز راه رفتن اظهار داشته‌اند که طیف‌نگاری نفر پویا مجموعه‌ای از سیگنال‌های انتقال داده شده داپلر است که از قسمت‌های مختلف بدن انسان منعکس می‌شود. استفاده کردن از تبدیل فوریه کوتاه مدت^{۲۵} (STFT) و تبدیل کرپلت^{۲۶} که از پارامترهای مختلف نفر در حال حرکت از سیگنال آنالیز شده استخراج می‌شود. پژوهش‌های تخمین راه رفتن نفر با رادار نشان می‌دهد که اثرهای داپلر استخراج شده با استفاده از طیف‌نگار، اطلاعات دقیقی را در مورد برخی از بخش‌های مختلف بدن یک نفر ارائه می‌دهد. بر این پایه نویسندگان روشی را برای تخمین حرکت نفر با استفاده از اندازه‌گیری‌های راداری پیشنهاد می‌دهند. نویسندگان در آنالیز اثرهای میکرو – داپلر راداری از هلیکوپترهای آزمایشی و داده‌های انسانی از تبدیل موجک^{۲۷} با آنالیز زمان – فرکانس به منظور طبقه‌بندی هلیکوپترها و هدف‌های پیاده استفاده نموده‌اند [۱۲]. در طبقه‌بندی هدف‌ها رادار پایش زمینی بر پایه رویکرد منطق فازی^{۲۸} به عنوان ورودی در سیستم فازی از میانگین فرکانس داپلر مرکزی و عرض طیفی^{۲۹} اطراف آن استفاده شده است [۱۳]. پیشبینی‌های طیف‌نگاری روی محور زمان و فرکانس به عنوان بردار ویژگی^{۳۰} برای طبقه‌بندی سیگنال واقعی رادار در طبقه‌بندی هدف‌ها رادار پویا زمینی با استفاده از آنالیز زمان – فرکانس مشترک به کار رفته است [۱۵].

از این گذشته ویژگی‌های مبتنی بر طیف‌نگاری و ویژگی‌هایی که در تشخیص گفتار^{۳۱} استفاده می‌شوند بیشتر به‌عنوان یک بردار ویژگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبقه‌بندی هدف رادار پایش زمینی با استفاده از مدل تخمین مخلوط گاوسی حریصانه در طبقه‌بندی هدف مبتنی بر مدل تخمین مخلوط گاوسی^{۳۲} برای رادار داپلر پایش زمینی توضیح داده شده است [۲]. از ضریب‌های اسپستروم^{۳۳} و پارامترهای مدل اتورگرسیون (پارامترهای اتورگرسیون) سیگنال خروجی صدای رادار تولید می‌شود که به‌عنوان بردارهای ویژگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طبقه‌بندی میکرو – داپلر برای رادار پایش زمینی با استفاده از ابزار تشخیص گفتار در طبقه‌بندی سیگنال رادار واریسی زمینی با استفاده از ضرایب پیشبینی خطی به‌عنوان بردارهای ویژگی، ضریب‌های اسپستروم و ضریب‌های mel اسپستروم ارائه شده است. طبقه‌بندی سیگنال‌های خروجی رادار پایش زمینی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی^{۳۴} در طبقه‌بندی سیگنال‌های رادار صوتی با استفاده کردن از کارکرد پایه‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شده است [۱۷].

25. Short Time Fourier Transform

26. Chirplet

27. Wavelet Transform

28. Fuzzy Logic

29. Spectral Width

30. Features Vectors

31. Speech Recognition

32. Estimation of Greedy Gaussian Mixture

33. Cepstrum Coefficients

34. Artificial Neural Networks

در این پژوهش از پارامترهای مدل اتورگرسیون سیگنال داپلر صوتی به عنوان بردار ویژگی استفاده شده است. به طور کلی انجام پژوهش‌های نام‌برده شده، فرض بر این است که در تمام طول مسیر در خط‌دید رادار^{۳۵} فقط یک گونه هدف راداری تنها با یک پویایی مشخص نمایش داده شود. به دلیل پیچیده بودن کارزار، بیشتر خوشایند است که کارکرد هدف رادار طبقه‌بندی شود. مدل‌های مارکوف پنهان به عنوان چهارچوبی برای آگاهی از موقعیت در جهت آنالیز داده‌ها و استخراج اطلاعات قابل اجرا، نشان داده‌اند. بنابراین این مدل‌ها برای ترکیب اطلاعات از حسگرهای گوناگونی که در یک مکان قرار گرفته‌اند، استفاده می‌کنند. طبقه‌بندی کارکرد نفرات پیاده با استفاده از مدل‌های مارکوف پنهان و حسگرهای تلویزیونی در طبقه‌بندی رویدادهای پایشی از روی ویژگی‌ها و رفتارها ارائه شده است [۱۸]. مدل‌های مارکوف پنهان ابزارهای مفیدی برای آنالیز تصاویر چند وجهی^{۳۶} با سیستم رادار دارای باند پهن^{۳۷} با وضوح بالا ارائه داده‌اند [۲۲ – ۱۹]. یک روش دیگر برای استفاده از مدل‌های مارکوف پنهان، ردیابی کردن خط^{۳۸} فرکانس در سطح فرکانس زمانی است [۲۳]. در روش طبقه‌بندی داپلر قوی^{۳۹} به منظور طبقه‌بندی سیگنال‌های راداری که از نفرات پیاده، هدف‌های ردیابی شده و وسایل نقلیه زمینی سرچشمه می‌گیرند از مدل مارکوف پنهان استفاده می‌شود [۲۴]. از طیف دامنه تبدیل فوریه سیگنال داپلر جا به جا شده به عنوان بردارهای ویژگی استفاده می‌شود، در حالی که حالت‌های مدل مارکوف پنهان به روشنی تعریف نشده‌اند. علاوه بر برخی از دستاوردهای امیدوارکننده در روش طبقه‌بندی داپلر قوی بر پایه‌ی مدل مارکوف پنهان، همان پژوهشگران برای روش طبقه‌بندی داپلر قوی بر پایه‌ی مدل‌های مارکوف پنهان برخی چارچوب‌ها را در استفاده از مدل مارکوف پنهان برای طبقه‌بندی سیگنال‌های رادار پایش زمینی برجسته می‌کنند [۲۵ – ۲۴].

در این پژوهش سیستم‌خبره مبتنی بر مدل مارکوف پنهان برای شناسایی هدف‌های راداری در منطقه زیرپوشش رادار پایش زمینی برنامه‌ریزی شده است. سیستم‌خبره برنامه‌ریزی شده دارای شش حالت است که با گونه‌های هدف راداری آنالیز شده، سازگاری دارند. پارامترهای سیگنال پژواک واقعی مدل اتورگرسیون رادار^{۴۰} به عنوان بردار ویژگی بشمارآورده شده است. دستاوردهای برآمده بر روی مسیر ویژه نشان می‌دهد که سیستم‌خبره برنامه‌ریزی شده بر پایه‌ی مدل مارکوف پنهان می‌تواند برای شناسایی فعالیت‌های هدف در منطقه رادار پایش زمینی با برخی چارچوب‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. بقیه مقاله به روش زیر سازماندهی شده است:

35. Radar Line – of – Sight

36. Multifaceted Images

37. Width Band

38. Frequency Plane

39. Robust Doppler

40. Parameters of the Real Radar Echo Signal Autoregressive Model

بخش ۲ پایگاه داده ای از پژواک‌های واقعی رادار را توضیح می دهد. بخش ۳ به محاسبه ی پارامترهای سیگنال پژواک واقعی مدل اتورگرسیون رادار می پردازد، که به عنوان بردار ویژگی برای سیستم خبره برنامه ریزی شده مورد استفاده قرار می گیرد. ساختار سیستم خبره بر پایه مدل مارکوف پنهان برای شناسایی هدف‌های رادار پایش زمینی در بخش ۴ توضیح داده شده است، در حالی که برخی از نتیجه‌های سیستم خبره برنامه ریزی شده در بخش ۵ ارائه شده است. سرانجام، نتیجه گیری و شیوه نامه‌های کاری بیشتری را می توان در بخش ۶ پیدا کرد.

۲- پایگاه داده‌ای از پژواک‌های واقعی رادار (Database of real radar echoes)

به منظور انجام این تحقیق از رادار داپلر پالسی منسجم^{۴۱} استفاده شده که با فرکانس تکرار پالس^{۴۲} بالا کار می کند و می تواند برای تشخیص اهداف پویا زمینی در فواصل کم مورد استفاده قرار بگیرد. رادار در باند ku در حالی که فرکانس سیگنال ساطع شده از آن ۱۶٫۸ گیگاهرتز ($f_t=16.8\text{ GHz}$) و میانگین قدرتش ۵ میلی وات ($p_a=5\text{ mW}$) است. فرکانس سیگنال ساطع شده^{۴۳} به گونه ای انتخاب می شود که برای این فرکانس حامل فرکانس دریافتی داپلر در باند صوتی باشد و با تشخیص و گوش دادن به سیگنال داپلر دریافتی بتوان اهداف راداری پویا را شناسایی و طبقه بندی کرد. پهنای باند پالس سیگنال ساطع شده از آن ۱۴٫۶۳ مو ($\tau=16.83\mu\text{S}$) و فرکانس تکرار پالشی ۳۴٫۱۸ کیلوهرتز ($PRF=34.18$) است. محدوده وضوح رادار ۱۵۰ متر ($\Delta R=150\text{ m}$) است، در حالی که ارتفاع و آزیموت^{۴۴} وضوح آن به ترتیب ۷٫۵ درجه ($\Delta\epsilon=7.5^\circ$) و ۵ درجه ($\Delta\phi=5^\circ$) می باشد. رادار از آنتن سهمی شکل با پلارایزیسیون^{۴۵} عمودی و بهره آنتن ۳۲ دسی بل ($G=32\pm 2\text{ dB}$) استفاده می کند. رادار داپلر پالسی نفرات پویا را تا مسافت ۲ کیلومتری ($R_p=2\text{ km}$) و وسایل نقلیه پویا را تا مسافت ۳ کیلومتری ($R_v=3\text{ km}$) تشخیص می دهد. بیشترین سرعت هدف‌های پویا ۷۰ کیلومتر بر ساعت ($v_{max}=70\text{ km/h}$) است. شرح تفصیلی رادار در مقاله آنالیز اثرات داپلر رادار ناشی از داده‌های یک نفر آمده است [۲۶].

رادار داپلر پالسی که در جمع‌آوری داده‌های جهان واقعی استفاده می شود دارای خروجی صدا است و اپراتور به سیگنال صوتی داپلر گوش می دهد تا اهداف پویا را شناسایی و طبقه بندی کند. فرآیند تشخیص و طبقه بندی کاملاً بر اساس تجربه اپراتور است. هنگامی که سیگنال رادار ساطع شده روی هدف پویا می افتد، از قسمت‌های مختلف هدف راداری پراکنده می شود.

41. Coherent Pulsed Doppler Radar
42. Pulsed Repetition Frequency
43. Frequency of Emitted Signal
44. Azimuth
45. Polarization

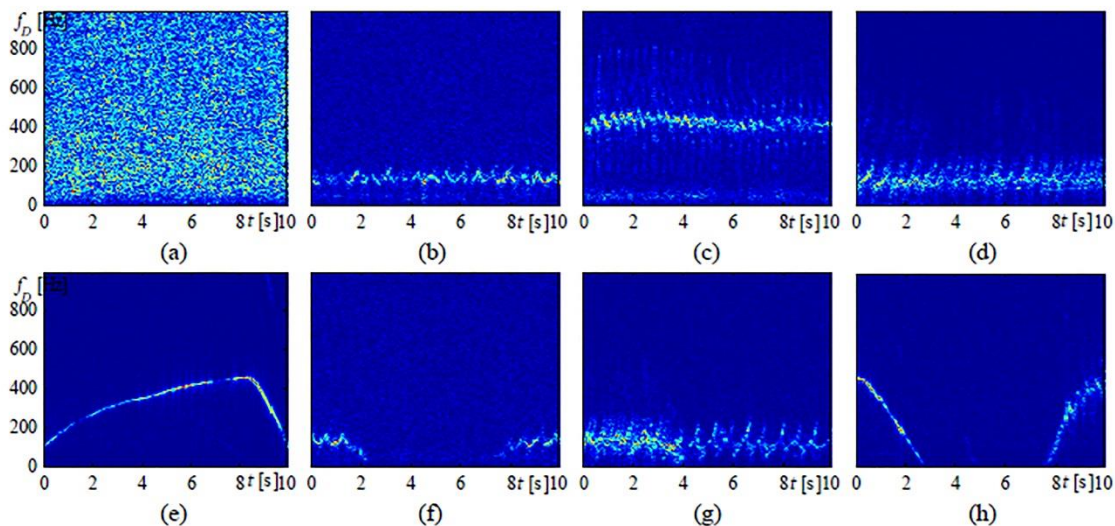
این سیگنال‌ها دارای شیف‌های فرکانس داپلر^{۴۶} متفاوتی هستند که متناسب با سرعت شعاعی^{۴۷} این قطعات است. فرکانس‌های داپلر در باند صوتی قرار دارند. این رادار با یکای اندازه‌گیری کیلوهرتز کار می‌کند و اپراتور می‌تواند با Headphone به سیگنال‌ها گوش بدهد. هنگام گوش دادن به این صداها، می‌توان فهمید که هدف‌های راداری گوناگون صدای یکتایی تولید می‌کنند که به راحتی قابل تشخیص است. برای انجام این پژوهش، هدف‌های راداری پویا با استفاده از رادار پایش زمینی شناسایی و به شکل خودکار ردیابی می‌شوند که به طور مداوم سیگنال‌های اکو راداری را ثبت می‌کنند. فاصله بین رادار و هدف‌ها از ۲۰۰ متر تا ۴۵۰ متر است. هدف‌های رادار در جاده آسفalte به پهنای ۴ متر در خط دید رادار حرکت می‌کنند. حرکت هدف‌ها کاملاً کنترل شده است، در حالی که رادار فقط حرکت مستقیم را بشمار می‌آورد. دلیل اینکه نفرات یک گروه توسط رادار دیده می‌شوند به دلیل حرکت‌های نفرات جلوی گروه است. (آرایش نفرات باید طوری باشد که یک خط مستقیم تشکیل نشود تا با رادار دیده شوند.) شکل ۱ ناحیه‌ای را نشان می‌دهد که برای جمع‌آوری پایگاه داده‌ای از سیگنال‌های پژواک واقعی رادار با هدف‌های راداری روی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱. قسمتی را نشان می‌دهد که برای گردآوری پایگاه داده‌ای از سیگنال‌های پژواک واقعی رادار با هدف‌های راداری روی آن مورد استفاده است.

46. Doppler Frequency Shifts

47. Radial Velocity



شکل ۲. طیف‌نگاری بعضی از توالی‌های ویژه از پایگاه داده پژواک‌های واقعی رادار

(a)111, (b)222, (c)333, (d)444, (e)666, (f)212, (g)422 and (h).613

دامنه داده‌های خام^{۴۸} در رادار داپلر پالسی در محدوده‌ی باند مثبت و منفی ۱ ولت (± 1 V) هستند. خروجی صوتی حسگر رادار با ورودی میکروفن کارت صدای Blaster کامپیوتر و به ورودی حاصل از کارت جمع‌آوری داده‌ها متصل شده و با فرمت دیجیتالی WAV و CSV با نمونه برداری ۴ کیلوهرتز ($f_s=4$ KHz) روی کامپیوتر ضبط می‌شوند. داده‌های دیجیتالی شده را می‌توان به آسانی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB پردازش کرد. برای تشکیل پایگاه‌داده‌ای از سیگنال‌های پژواک واقعی رادار سیزده آزمایش انجام شده است. شرح جزئیات این آزمایش‌ها را می‌توان در مقاله استخراج ویژگی‌های پژواک واقعی رادار با استفاده از طیف‌نگار پیدا کرد [۲۷]. پس از ضبط کردن داده‌های خام روی کامپیوتر، داده‌ها به ترتیبی از هم جدا می‌شوند که ۱۰ ثانیه یا ۴۰۰۰۰ نمونه متوالی داشته باشد. به این ترتیب ۷۴ نمونه متوالی از سیگنال‌های پژواک واقعی رادار استخراج شده که پایگاه داده‌ای از سیگنال‌های پژواک واقعی رادار را تشکیل می‌دهند. تفاوت این پایگاه‌داده با سایر پایگاه‌داده‌های مربوطه در این گزاره است که همیشه یک هدف راداری در صحنه وجود دارد، ولی در طول یک توالی هدف-های راداری گوناگون در منطقه پایش راداری قرار دارند. به منظور سنجش توالی‌های گوناگون، هر توالی با سه رقم کد گذاری شده است که نشان دهنده‌ی یک نوع از هدف‌های راداری در نظر گرفته شده است. (۱- هدف راداری در صحنه نیست، ۲- یک نفر در حال راه رفتن، ۳- یک نفر در حال دویدن، ۴- چند نفر در حال راه رفتن، ۵- چند نفر در حال دویدن و ۶- وسیله نقلیه). رقم نخست نشان دهنده نوع هدف رادار در قسمت

نخست توالی است، رقم دوم نشان دهنده نوع هدف راداری در بخش دوم است و در نهایت رقم سوم نشان دهنده نوع هدف راداری در بخش آخر توالی هاست. برای مثال نشانه‌ی ۶۱۲ نشان می‌دهد که در بخش نخست توالی یک وسیله نقلیه مورد هدف رادار است؛ در بخش دوم هیچ هدف راداری در منطقه پایش راداری وجود ندارد و در بخش سوم یک نفر در حال راه رفتن است.

یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای آنالیز کردن سیگنال‌های داپلری در رادار پایش زمینی، طیف نگاری است [۲۶]. طیف‌نگاری سیگنال آنالیز شده $x[n]$ مطابق فرمول شماره ۱ تعریف می‌شود:

$$S[n, k] = \left| \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x[r] w[n-r] e^{-j2\pi rk/N} \right|^2, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

که در آن n شاخص زمان گسسته، k شاخص فرکانس گسسته، N تعداد نقطه‌ها برای محاسبه تبدیل فوریه گسسته^{۴۹} و $w[n]$ تابع پنجره^{۵۰} است. وضوح طیف‌نگار با اندازه پنجره N_w تعیین می‌شود. یک تابع پنجره‌ای کوچک $w[n]$ دارای وضوح زمانی بالاست، ولی فرکانس با وضوح پایین را نشان می‌دهد. تابع‌های پنجره ممکن است روی هم قرار بگیرند یا از هم جدا شوند. همپوشانی پنجره‌های بزرگتر منجر به یک طیف‌نگاری هموار با وضوح زمانی بالاتر می‌شود. طیف نگاری برخی از توالی‌های ویژه از پایگاه داده سیگنال‌های واقعی رادار در شکل ۲ نشان داده شده است. طیف‌نگاری‌ها با استفاده کردن از پنجره مستطیلی به درازای ۵۱۲ نمونه با همپوشانی ۵۰٪ بین پنجره‌ها محاسبه می‌شوند. تعداد نقطه‌های استفاده شده برای محاسبه تبدیل فوریه گسسته ۱۰۲۴ نقطه است.

در شکل ۲ (a) طیف‌نگاری توالی ۱۱۱ نشان داده شده است. واضح است که هیچ انرژی متمرکزی در صفحه فرکانس زمانی وجود ندارد. طیف‌نگاری توالی مشخص شده به عنوان ۲۲۲ در شکل ۲ (b) نمایش داده شده است، در حالی که طیف‌نگاری توالی ۳۳۳ در شکل ۲ (c) نشان داده شده است. از این شکل‌ها می‌توان متوجه شد که انرژی در اطراف فرکانس داپلر مرکزی متمرکز شده است، در حالی که قسمت‌های پویا بدن مدولاسیون‌های فرکانسی اضافی در اطراف آن ایجاد می‌کنند. فرکانس داپلر مرکزی در هر دو مورد دارای زمانی متفاوت است، در حالی که مقدار آن هنگام دویدن یک نفر یا چند نفر به طور قابل توجهی بالا است. پهنای طیفی در اطراف فرکانس داپلر مرکزی هنگامی که چند نفر در حال راه رفتن هستند، بیشتر است (شکل ۲ (d)). در منطقه پایش راداری میزان فرکانس داپلر مرکزی مشابه حالتی است که فقط یک نفر در دامنه دید رادار وجود دارد. میزان فرکانس داپلر مرکزی از طیف‌نگار توالی ۴۲۲ در شکل ۲ (g) نشان داده شده است. به بیان دیگر، وقتی فقط یک نفر راه می‌رود پهنای طیفی به طور قابل توجهی کم می‌شود. در شکل ۲ (e) طیف‌نگاری از وسیله نقلیه (توالی

49. Discrete Fourier Transform

50. Windows Function

(۶۶۶) نشان داده شده است. از شکل ۲ (e) می‌توان متوجه شد که وسیله نقلیه فرکانس داپلر مرکزی خود را تغییر می‌دهد، در حالی که پهنای طیفی اطراف آن بسیار باریک است. اختلاف بین موقعیت‌هایی که هدف در منطقه پایش رادار است به وضوح در شکل‌های ۲ (f) و ۲ (h) دیده می‌شوند. در این عکس‌ها انرژی با تراکم بالا در صفحه زمان - فرکانس، وقتی هدف‌ها در خط دید رادار و فرکانس داپلر مرکزی باشند، مشاهده می‌شوند. فرکانس داپلری و پهنای اطراف آن از ویژگی‌های هدف‌های آنالیز شده راداری است. پایگاه داده سیگنال‌های پژواک‌های واقعی رادار را می‌توان از مقاله‌ی پایگاه داده سیگنال‌های دارای اکوی راداری دانلود کرد [۲۸].

۳- استخراج ویژگی (Feature Extraction)

در این پژوهش از پارامترهای سیگنال پژواک واقعی مدل اتورگرسیون رادار به عنوان ویژگی‌های طبقه‌بندی استفاده می‌شود. برای تعیین پارامترهای سیگنال پژواک واقعی مدل اتورگرسیون رادار از کوواریانس اصلاح^{۵۱} شده استفاده می‌شود. روش کوواریانس اصلاح شده برای تعیین کردن پارامتر مدل اتورگرسیون به طور خلاصه در بخشی از این مقاله توضیح داده شده است. در حالی که جزئیات روش‌های آن در مقاله‌ی تخمین طیفی مدرن: نظریه و کاربرد توضیح داده شده است [۲۹].

در تخمین طیفی مدرن پیش‌بینی کننده بهینه رو به جلو، سیگنال $x[n]$ مطابق فرمول شماره ۲ تعریف می‌شود:

$$\hat{x}[n] = -\sum_{k=1}^p a[k]x[n-k], \quad (2)$$

و تخمین طیفی پیش‌بینی کننده بهینه رو به عقب، سیگنال $x[n]$ مطابق فرمول شماره ۳ تعریف می‌شود:

$$\hat{x}[n] = -\sum_{k=1}^p a^*[k]x[n+k], \quad (3)$$

در فرمول شماره ۳، $a[k]$ و $a^*[k]$ پارامترهای اتورگرسیون هستند و پارامترهای اتورگرسیون پیچیده مزدوج^{۵۲} سیگنال $x[n]$ زمانی که p بیشینه ترتیب پارامتر مدل اتورگرسیون است. روش کوواریانس اصلاح شده برای تعیین کردن پارامترهای سیگنال $x[n]$ به گونه‌ای پیشبینی می‌شوند که حداقل خطای پیشبینی توان متوسط « به جلو » و « عقب » حاصل شود [۲۹]:

$$\hat{\rho} = 0.5(\hat{\rho}^f + \hat{\rho}^b), \quad (4)$$

جایی که :

$$\hat{\rho}^f = \frac{1}{N-p} \sum_{n=p}^{N-1} \left| x[n] + \sum_{k=1}^p a[k]x[n-k] \right|^2, \quad (5)$$

و :

$$\hat{\rho}^b = \frac{1}{N-p} \sum_{n=0}^{N-1-p} \left| x[n] + \sum_{k=1}^p a^*[k]x[n+k] \right|^2. \quad (6)$$

به این ترتیب برای تعیین پارامترهای بهینه‌ی اتورگرسیون، خطای توانی با توجه به پارامترهای $a[k]$ ، $k=1,2$ و p به حداقل می‌رسد. برای تعیین چنین پارامترهایی می‌توان با حل کردن گرادیان پیچیده^{۵۳} تخمین طیفی مدرن انجام پذیر است [۲۹]. پس از تنظیم مجدد و نوشتن این عبارت‌ها به شکل ماتریسی، پارامترهای مدل اتورگرسیون را می‌توان به عنوان راه حلی برای معادله ماتریس^{۵۴} تعیین کرد [۲۹].

$$\begin{bmatrix} c_{xx}[1,1] & c_{xx}[1,2] & \dots & c_{xx}[1,k] \\ c_{xx}[2,1] & c_{xx}[2,2] & \dots & c_{xx}[2,k] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{xx}[k,1] & c_{xx}[k,1] & \dots & c_{xx}[k,k] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a}[1] \\ \hat{a}[2] \\ \vdots \\ \hat{a}[k] \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} c_{xx}[1,0] \\ c_{xx}[2,0] \\ \vdots \\ c_{xx}[k,0] \end{bmatrix}, \quad (7)$$

52. Conjugate Complex Autoregressive

53. Complex Gradient

54. Matrix equation

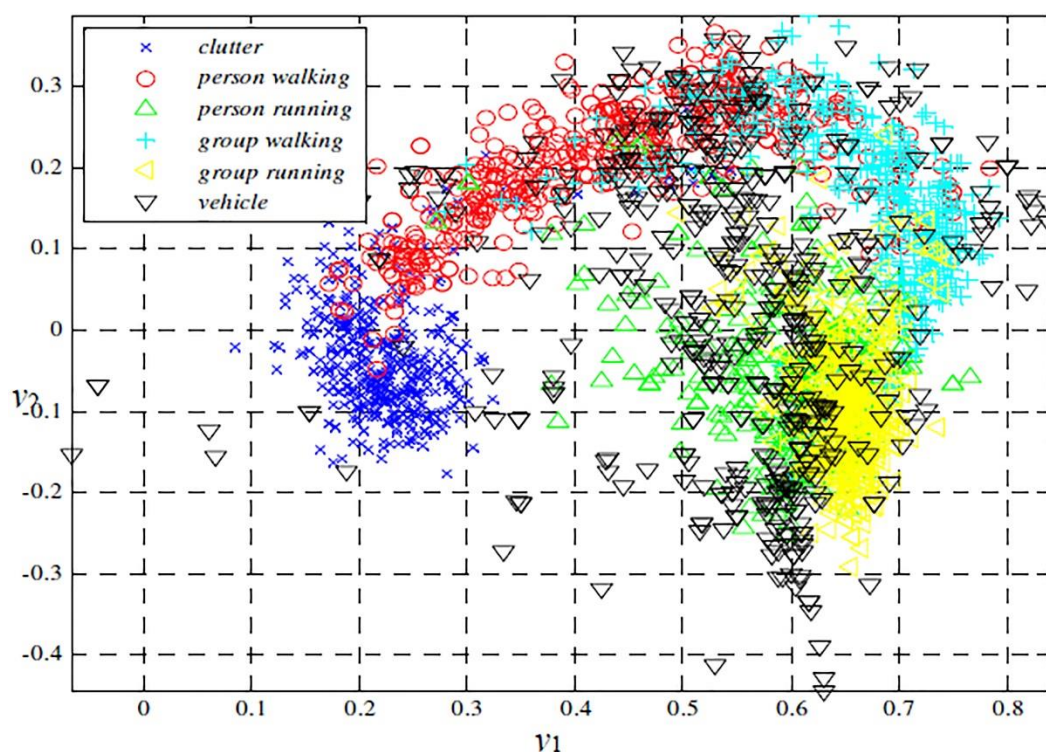
جایی که :

$$c_{xx}[j,k] = \frac{1}{2(N-p)} \left(\sum_{n=p}^{N-1} x^*[n-j]x[n-k] + \sum_{n=0}^{N-1-p} x[n+j]x^*[n+k] \right). \quad (8)$$

پارامتر سیگنال پژواک واقعی مدل اتورگرسیون با روش کوواریانس اصلاح شده تعیین می شود که می تواند بیشتر برای اجرای طبقه بندی هدف های راداری مورد استفاده قرار بگیرد.

یکی از مهمترین موضوع ها در به کار بردن پارامترهای مدل اتورگرسیون انتخاب یک مقدار مناسب از ترتیب پارامتر p است. اگر مقدار پارامتر p دست کم گرفته شود، منجر به تخمین طیف ضعیف می شود. با این وجود، اگر مقدار پارامتر p بزرگ باشد، می تواند منجر به ناپایداری آماری پارامترهای محاسبه شده شود. در این پژوهش، ترتیب پارامتر سیگنال پژواک واقعی رادار مدل اتورگرسیون $p=5$ در نظر گرفته شده است [۳۰].

در شکل ۳، پارامترهای مدل اتورگرسیون از سطح های گوناگون سیگنال های کاهش یافته آنالیز شده راداری در دو بعد y_1 و y_2 نشان داده شده است.



شکل ۳. پارامترهای مدل اتورگرسیون سیگنال های پژواکی کاهش یافته واقعی رادار در دو بعد

از شکل ۳ می‌توان متوجه شد که تفکیک خوبی بین به هم ریختگی و سایر سطوح هدف‌های رادار برقرار است. از این گذشته، سبک^{۵۵} دویدن یک نفر و چند نفر بسیار به هم نزدیک هستند و با هم تلاقی دارند. (تلاقی‌ها در شکل به صورت Legend نشان داده شده اند) مقدار فاصله بیشتری می‌تواند بین سبک راه رفتن یک نفر و سبک راه رفتن چند نفر دیده شود. بردارهای ویژگی کاهش یافته که از یک وسیله نقلیه پویا سرچشمه می‌گیرند در سراسر صفحه مشخص شده هستند و با سایر سبک‌ها تلاقی می‌کنند. از اینرو می‌توان انتظار داشت که بردارهای ویژگی که از وسایل نقلیه سرچشمه می‌گیرند، نمی‌توانند به درستی طبقه‌بندی شوند.

۴- سیستم خبره مبتنی بر مدل‌های مارکوف پنهان (Expert System based on Hidden Markov Models)

مدل‌های مارکوف پنهان از ابزارهای مهمی برای طبقه‌بندی فعالیت‌های گوناگون هستند. مدل‌های مارکوف پنهان گسسته می‌توانند با المان‌هایشان توصیف شوند [۳۱]:

- تعداد مدل‌های مارکوف پنهان، N و توپولوژی^{۵۶} این حالت‌ها^{۵۷}
- تعداد نمادهای گوناگون قابل مشاهده، M
- احتمالات انتقال بین چند حالت گوناگون، a_{ij}
- تراکم احتمال که توزیع مشاهده‌های ساطع شده از حالت j را توصیف می‌کند، b_{jk}
- احتمال پیشامد حالت اولیه، π_i

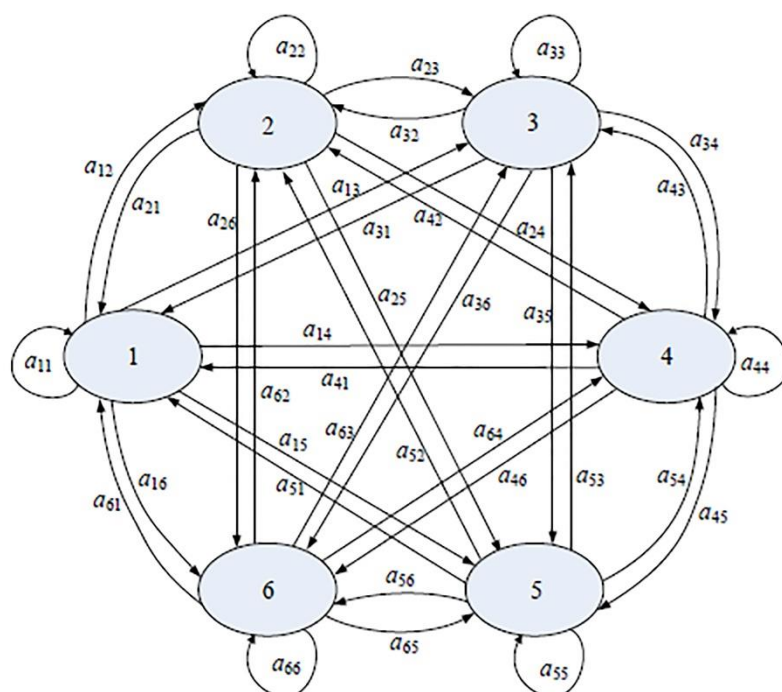
مدل مارکوف پنهان می‌تواند با دو پارامتر N و M ، تعریف نمادهای قابل مشاهده و تعریف سه پارامتر A ، B و π از تراکم احتمالی بیان شود. بر این اساس مدل مارکوف پنهان را می‌توان به صورت فرمول شماره ۹ تعریف کرد [۳۱]:

$$\lambda = (A, B, \pi). \quad (9)$$

نخستین گام در اجرای مدل مارکوف پنهان انتخاب حالت و توپولوژی این حالت‌ها است. حالت‌های مدل مارکوف پنهان به عنوان کلاس‌های هدف راداری در نظر گرفته می‌شوند: ۱- هیچ هدفی در منطقه پایش راداری وجود ندارد.

55. Class
56. Topology
57. States

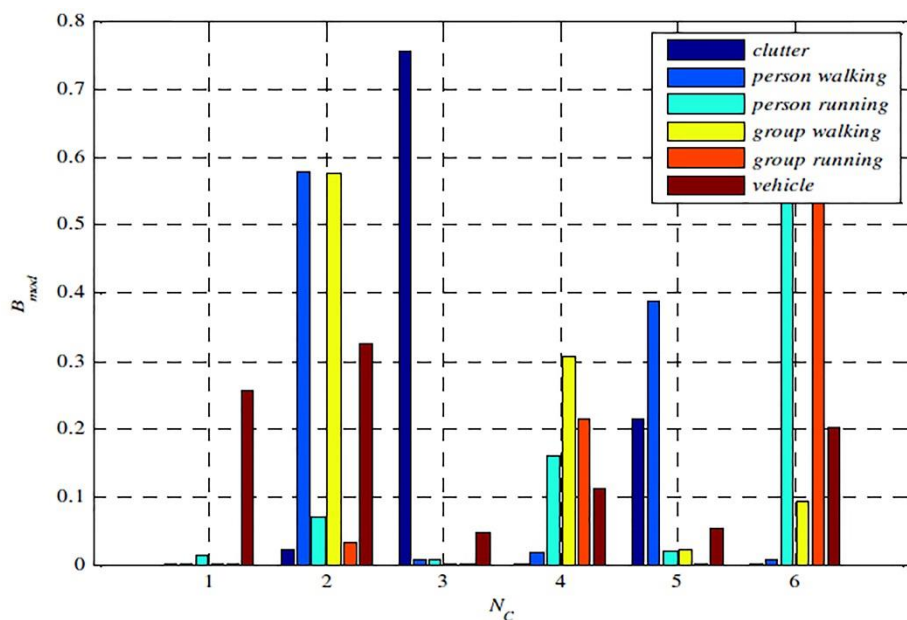
۲- یک نفر در حال راه رفتن است. ۳- یک نفر در حال دویدن است. ۴- چند نفر در حال راه رفتن هستند. ۵- چند نفر در حال دویدن هستند. ۶- وسیله نقلیه. مشاهده های انجام شده به شکل پارامترهای پژواک های واقعی رادار مدل های اتورگرسیون تعریف می شوند. پس از تعریف حالت های مدل مارکوف پنهان و مشاهده ها برای توپولوژی مدل مارکوف پنهان، مدل مارکوف پنهان ارگودیک^{۵۸} انتخاب می شود که ساختارش در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. توپولوژی ارگودیک مدل مارکوف پنهان با ۶ حالت مورد استفاده برای تشخیص هدف

برای توپولوژی داده شده می توان نتیجه گرفت که هر حالتی می تواند از حالتی دیگر بدست آورد و ماتریس A به صورت فرمول شماره ۱۰ تعریف می شود :

$$\mathbf{A} = \frac{1}{6} \mathbf{E}_{6 \times 6}, \quad (10)$$



شکل ۵. مقادیر اولیه ماتریس توزیع مشاهدات مدل پنهان مارکوف برای ویژگی های کاهش نیافته

انتخاب مقادیر اولیه ماتریس مشاهدات چالش حیاتی برای پیاده سازی مدل مارکوف پنهان است، مبنای تشخیص گفتار است. برای بردارهای ویژگی مقدار کلاستر^{۵۹} $N_c=6$ انتخاب شده است. برای کاهش تعداد ناکافی ویژگی های فراگرفته شده در مشاهده ماتریس توزیع احتمال تغییر داده شده است. این تغییر شامل فرآیندی است که در آن المان های ماتریس B مساوی صفر هستند، با مقدارهایی که برابر دست کم ۱۰٪ مقدارهایی که مساوی صفر نیستند جایگزین می شود. (با مقدارهایی جایگزین شوند که برابر دست ۱۰٪ مقدارهایی باشند که مساوی صفر نیستند. تراکم احتمالی ماتریس تغییر داده شده B در شکل ۵ نشان داده شده است. از این عکس می توان اظهار داشت که پارامترهای اتورگرسیون که از وسایل نقلیه حاصل می شوند می توانند در تمام کلاسترهای آنالیز شده در حالی که پارامترهای مدل اتورگرسیون وقتی که هدف در خط دید رادار نباشند، عمدتاً در یک کلاستر قرار بگیرند. به بیان دیگر، از شکل ۵ می توان درک کرد که بردارهای ویژگی که از سایر سطوح آنالیز شده سرچشمه گرفته اند (یک نفر در حال راه رفتن، یک نفر در حال دویدن، چند نفر در حال راه رفتن و چند نفر در حال دویدن (عمدتاً در دو کلاستر متمرکز شده اند. گذشته از این، هویدا است که بردارهای ویژگی انتخاب شده که از یک نفر در حال راه رفتن و چند نفر در حال راه رفتن سرچشمه می گیرند و همچنین برای بردارهای ویژگی که از یک نفر در حال دویدن و چند نفر در حال دویدن سرچشمه می گیرند، از کلاسترهای یکسان با احتمال های تقریباً مساوی. بردارهای ویژگی می توانند منجر به این نتیجه شود که سیستم خبره پیشبینی^{۶۰} شده مبتنی بر مدل های مارکوف پنهان با طبقه بندی مناسب این گونه سطوح مشکل دارد.

59. Cluster

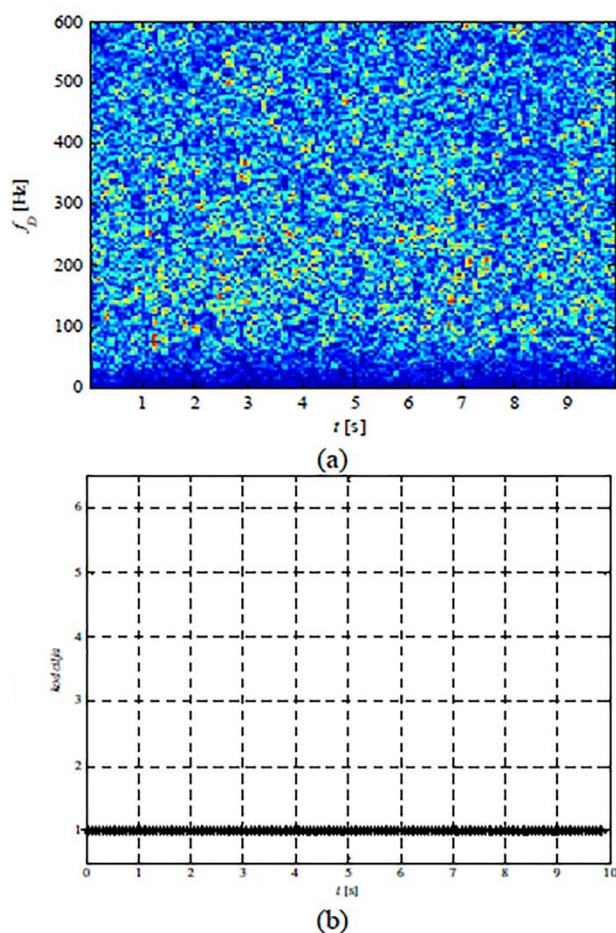
60. Projected Expert System

۵- نتیجه‌ها (Results)

در این بخش از مقاله، نتیجه‌های شناسایی هدف در منطقه پایش رادار پایش زمینی ارائه شده‌اند. این سناریوها در پنج توالی که از پایگاه داده سیگنال‌های واقعی رادار انتخاب شده‌اند، ارائه می‌شوند.

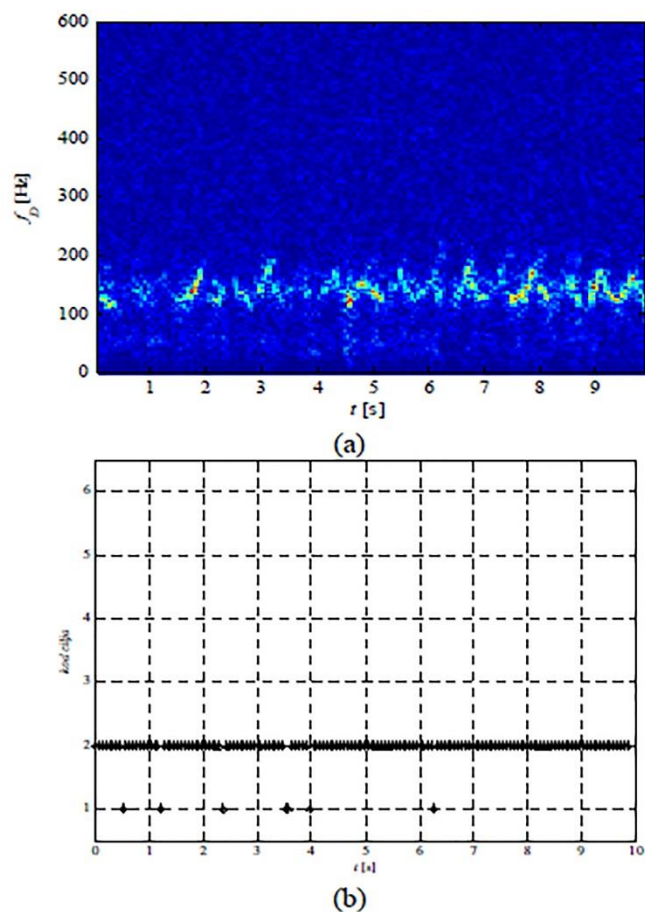
سناریوی الف: هدفی برای رادار وجود ندارد (*A. Scenario: no radar target*)

نخستین آزمایش تصمیمی را از سیستم خبره پیشبینی شده مبتنی بر مدل مارکوف پنهان برای سناریویی که هدفی در خط دید رادار نیست، ارائه می‌دهد. در شکل ۶ طیف‌نگاری این سناریو نشان داده شده است.

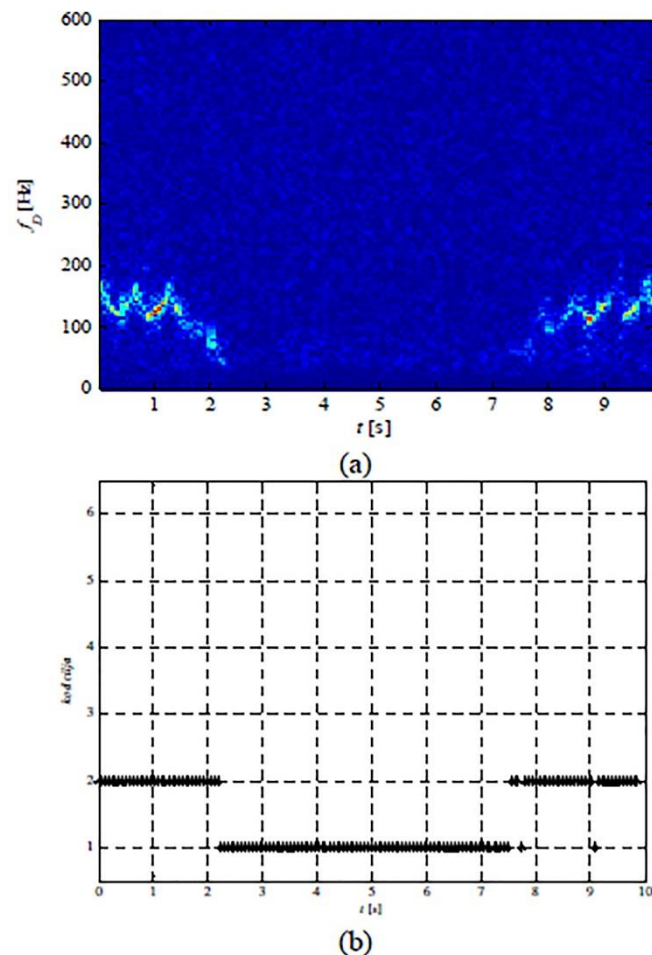


شکل ۶. الف) طیف‌نگاری توالی جایی که هیچ هدفی در خط دید رادار وجود ندارد (۱۱۱)، ب) تصمیم‌های سیستم خبره پیشبینی شده بر اساس مدل مارکوف پنهان برای سناریو آنالیز شده

شکل ۶. تصمیم سیستم خبره پیشنهاد شده را برای توالی آنالیز شده نشان می‌دهد. از این شکل می‌توان نتیجه گرفت که سیستم خبره پیشبینی شده به درستی برای این توالی تصمیم می‌گیرد.



شکل ۷. الف) طیف نگاری از توالی راه رفتن یک نفر (۲۲۲)، ب) تصمیم‌های سیستم‌خبره پیشبینی شده بر اساس مدل مارکوف پنهان برای سناریو آنالیز شده



شکل ۸. الف) طیف نگاری از توالی راه رفتن یک نفر، توقف و ادامه حرکت، ب) تصمیم‌های سیستم‌خبره پیشبینی شده بر اساس مدل مارکوف پنهان برای سناریو آنالیز شده

سناریو ب: یک نفر راه می‌رود (B. Scenario: Person walking)

این آزمایش توالی واقعی رادار را که در آن یک نفر در حال راه رفتن است را آنالیز می‌کند. طیف‌نگاری این سناریو در شکل ۷(a) نشان داده شده است. تصمیمات (نقطه‌ها و خط‌ها)ی مربوط به سیستم‌خبره پیشبینی شده مبتنی بر مدل مارکوف پنهان در شکل ۷(b) نشان داده شده است. از این شکل می‌توان نتیجه گرفت که سیستم‌خبره پیشبینی شده مبتنی بر مدل‌های مارکوف پنهان دارای خطای احتمالی کمی هستند. در مواردی که سیستم‌خبره پیشبینی شده به اشتباه تصمیم می‌گیرد، نفر مورد نظری که در حال راه رفتن است به عنوان یک مورد وقتی که هیچ هدفی در خط دید رادار نباشد، در نظر گرفته می‌شود. این اشتباه سیستم‌خبره پیشبینی شده را می‌توان

انتظار داشت چون ویژگی‌های استخراج شده (ساز و برگ استخراج شده) یک نفر که در حال راه رفتن است با یک نفر دیگر که توسط رادار اشتباه در نظر گرفته شده به هم نزدیک هستند.

سناریو پ: یک نفر در حال راه رفتن، توقف و ادامه راه رفتن (*C. Scenario: Person walking , stops and continue walking*)

آزمایش سوم، توالی واقعی راداری را که در آن یک نفر در حال راه رفتن، توقف و ادامه راه رفتن است را آنالیز می‌کند. طیف‌نگاری این توالی در شکل 8(a) نشان داده شده است. از این شکل می‌توان فهمید که یک نفر ۲ ثانیه راه رفته، سپس تا حدود ثانیه هفتم متوقف می‌شود. سپس یک نفر دوباره شروع به راه رفتن به سمت بقیه‌ی مسیر می‌کند. تصمیمات (نقطه‌ها و خط‌ها)ی مربوط به سیستم خبره پیشبینی شده در شکل 8(b) نشان داده شده‌اند. از این تصمیمات (نقطه‌ها و خط‌ها) می‌توان دریافت که این سیستم خبره در بیشتر موارد درست تصمیم می‌گیرد.

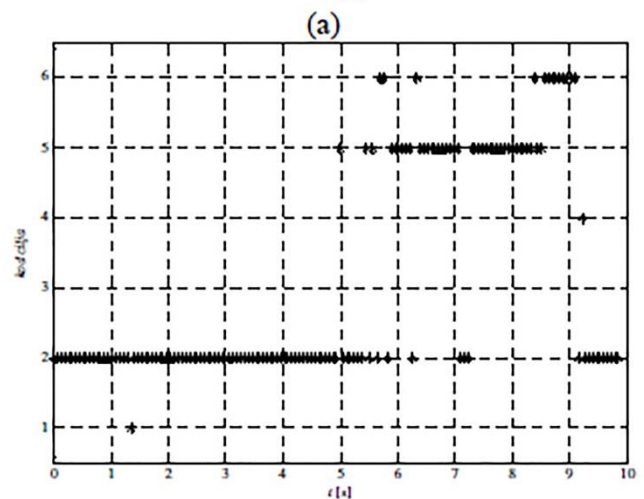
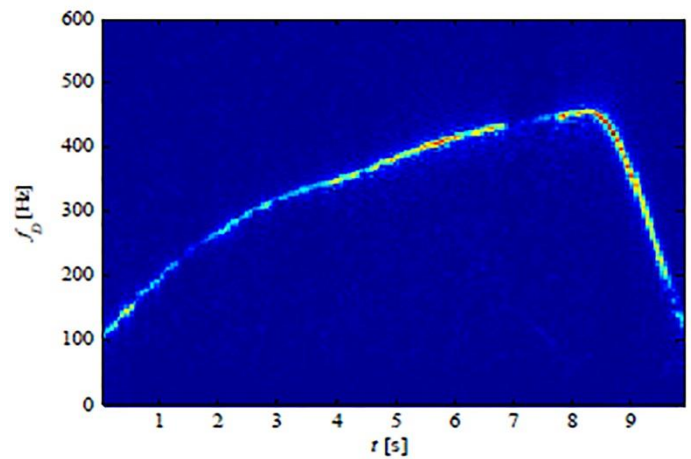
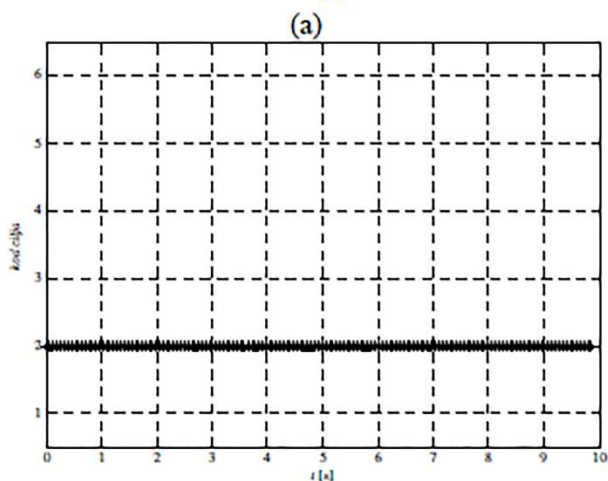
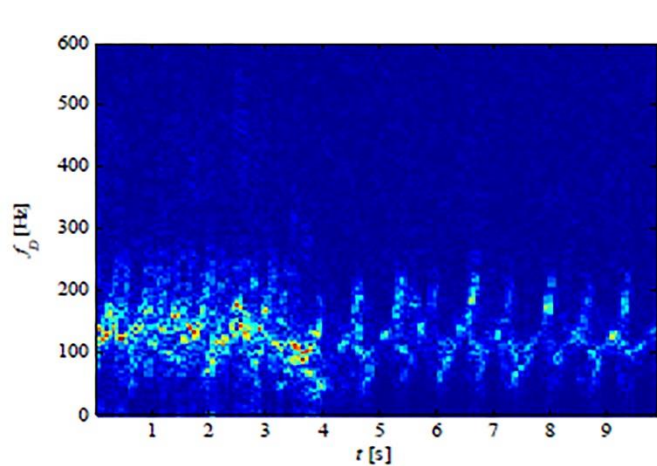
سناریو ت: چند نفر در حال راه رفتن، یک نفر در حال راه رفتن (*D. Scenario: Group of persons walking , person walking*)

آزمایش چهارم، توالی ۴۲۲ را در پایگاه داده پژواک‌های واقعی رادار آنالیز می‌کند. طیف‌نگاری این توالی در شکل 9(a) نشان داده شده است. در شکل 9(a) مشاهده شده که چند نفر تا ثانیه چهارم در خط دید رادار هستند. هنگامی که متوقف می‌شوند فقط یک نفر به راه رفتن ادامه می‌دهد. تصمیمات (نقطه‌ها و خط‌ها)ی سیستم خبره مبتنی بر مدل مارکوف پنهان در شکل 9(b) نشان داده شده‌اند. از تصمیمات (نقطه‌ها و خط‌ها)ی نشان داده شده در شکل 9(b) می‌توان نتیجه گرفت که سیستم پیشبینی نمی‌تواند این وضعیت را سر و سامان دهد. این نتیجه را می‌توان از سیستم پیشبینی انتظار داشت چون تفاوت بین سبک راه رفتن یک نفر و سبک راه رفتن چند نفر در فضای ویژه بسیار کوچکی برای پارامترهای مدل اتورگرسیون استفاده می‌شود.

سناریو ث: وسیله نقلیه (*E. Scenario: vehicle*)

این آزمایش نتیجه‌های تشخیص توالی را که در آن وسیله نقلیه در منطقه پایش راداری قرار دارند را آنالیز می‌کند. شکل ۱۰ (a) طیف‌نگار آنالیز شده از وسیله نقلیه‌ای را نشان می‌دهد. از شکل شماره ۱۰ می‌توان دریافت که در طی تمام طول توالی فقط یک وسیله نقلیه در خط دید رادار وجود دارد. این وسیله نقلیه سرعتش را به آرامی تا ثانیه هشتم افزایش می‌دهد و پس از آن سرعت خود را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. در شکل شماره

۱۰ نتیجه‌های حاصل از سیستم خبره مبتنی بر مارکوف پنهان این توالی نشان داده شده‌اند و می‌توان مشاهده کرد که سیستم خبره پیشبینی شده مبتنی بر مدل مارکوف پنهان در همه موارد درست تصمیم نمی‌گیرد. این را می‌توان با توجه به این واقعیت که ویژگی‌های ناشی از وسیله نقلیه در سراسر فضای ویژگی هستند و اینکه فرکانس داپلر مرکزی نقش کلیدی در تعیین پارامترهای مدل اتورگرسیون دارد.



شکل ۹. الف) طیف‌نگاری از توالی راه رفتن چند نفر و راه رفتن یک نفر،
ب) تصمیم‌های سیستم خبره پیشبینی شده بر اساس مدل مارکوف پنهان
برای سناریو آنالیز شده

شکل ۱۰. الف) طیف‌نگاری از حرکت کردن یک وسیله نقلیه، ب)
تصمیم‌های سیستم خبره پیشبینی شده بر اساس مدل مارکوف
پنهان برای سناریو آنالیز شده

۶- نتیجه گیری (Conclusion)

سیستم خبره مبتنی بر مدل مارکوف پنهان برای شناسایی هدف در منطقه اطراف رادار پایش زمینی ارائه و توضیح داده شده است. حالت‌های مدل مارکوف پنهان برای نمایش سطح‌های گوناگون هدف‌های راداری مورد مطالعه قرار می‌گیرند، در حالی که پارامترهای دریافت شده سیگنال مدل اتورگرسیون رادار مشاهده می‌شوند. نتیجه‌های انجام شده نشان می‌دهد که سیستم طراحی شده در موردی که هدف برای رادار وجود ندارد یا کسی در خط دید رادار راه می‌رود، با احتمال خطای بسیار پایینی روبرو است، در حالی که سیستم خبره طراحی شده برای پایش وسیله نقلیه به خوبی کار نمی‌کند. بیشتر پژوهش‌های ما بر استخراج ویژگی‌های گوناگون به عنوان ورودی در سیستم خبره و همچنین استفاده از توپولوژی‌های گوناگون و سیستم خبره سلسله مراتبی پروژه متمرکز خواهد بود.

منابع

۱. مدل مارکوف پنهان به عنوان یک چارچوب برای آگاهی از موقعیت
۲. طبقه‌بندی هدف مبتنی بر مدل مخلوط گاوسی حریصانه برای رادار داپلر پایش زمینی
۳. اثر میکرو - داپلر در رادار
۴. اثرهای میکرو - داپلر - بررسی، چالش‌ها و چشم‌اندازها
۵. فرکانس زمانی برای تصویربرداری رادار و آنالیز سیگنال
۶. شناسایی هدف و استخراج ویژگی مبتنی بر میکرو - داپلر در محیط‌های داخلی و خارجی
۷. روش S - چند پنجره ای برای تخمین فرکانس لحظه‌ای و کاربرد آن در آنالیز سیگنال رادار
۸. تخمین و استخراج ویژگی‌های سیگنال رادار با استفاده از فیلترهای B اصلاح شده
۹. آنالیز توزیع‌های فرکانس زمانی سیگنال‌های اکو داپلر باند ku - رادار
۱۰. موج پیوسته راداری برای آنالیز راه رفتن
۱۱. تخمین زدن راه رفتن یک نفر با استفاده از رادار

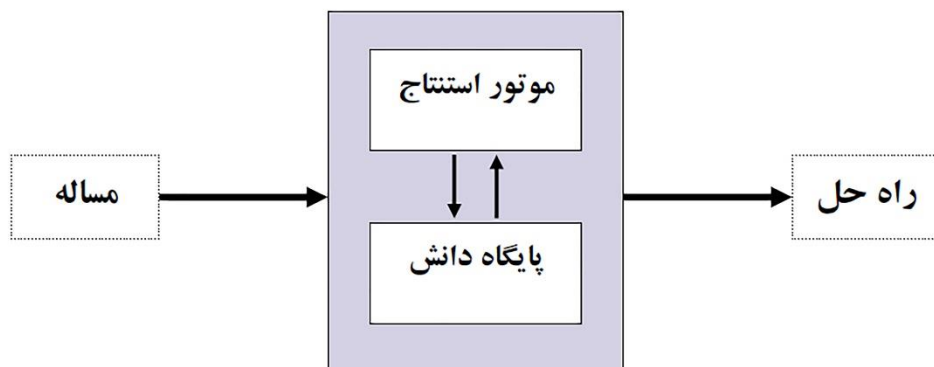
۱۲. آنالیز اثرهای میکرو – داپلر راداری از هلیکوپترهای آزمایشی در داده‌های انسانی
۱۳. طبقه‌بندی هدف رادار پایش زمینی مبتنی بر رویکرد منطق فازی
۱۴. طبقه‌بندی هدف‌های راداری پویا زمینی با استفاده از آنالیز زمان مشترک فرکانس
۱۵. یک نگرش جدید برای طبقه‌بندی راه رفتن یک نفر مبتنی بر نمایش ویژگی‌های فرکانس زمانی
۱۶. طبقه‌بندی میکرو – داپلر برای رادار پایش زمینی با استفاده از ابزارهای شناسایی گفتار
۱۷. طبقه‌بندی سیگنال‌های رادار صوتی با استفاده کردن از کارکرد اساسی شبکه‌های عصبی مصنوعی
۱۸. طبقه‌بندی رویدادهای پایشی از روی ویژگی‌ها و رفتارها
۱۹. مدل‌های مارکوف پنهان برای طبقه‌بندی هدف‌های چندوجهی
۲۰. شناسایی هدف‌های زمینی از روی اثرهای رادار با وضوح بالا
۲۱. شناسایی هدف با استفاده از اثرهای راداری با برد بالا با وضوح چندوجهی با به کارگیری مدل مارکوف پنهان
۲۲. مدل مارکوف پنهان برای ردیابی کردن هدف با سیستم رادار فوق پهن باند
۲۳. ردیابی کردن خطّ فرکانس با استفاده از مدل‌های مارکوف پنهان
۲۴. روش طبقه‌بندی داپلر قوی مبتنی بر مدل مارکوف پنهان
۲۵. درست کردن روش طبقه‌بندی داپلر قوی مبتنی بر مدل‌های مارکوف پنهان
۲۶. آنالیز اثرهای داپلر رادار از داده‌های یک نفر
۲۷. استخراج ویژگی‌های پژواک واقعی رادار با استفاده از طیف‌نگار
۲۸. پایگاه داده سیگنال‌های اکو داپلر
۲۹. تخمین طیفی نوین : نگره و کاربرد
۳۰. انتخاب ترتیبی پارامتر مدل اتورگرسیون برای طبقه‌بندی هدف‌های رادار پایش زمینی
۳۱. مبانی شناسایی گفتار

پیوست

الف) سیستم خبره (Expert System):

سیستم خبره یک برنامه کاربردی است که با استفاده از دانش (Knowledge) و روند آنالیز (Analytical Tools) تعریف شده توسط متخصصان آن بخش، تصمیم می‌گیرد یا مشکلاتی را در زمینه خاصی مانند شناسایی، پایش و شبیه سازی (Simulation) حل می‌کند. سیستم خبره برای نتیجه‌گیری از دو مؤلفه پایگاه دانش (Knowledge Base) و موتور استنتاج (Inference Engine) استفاده می‌کند. برای پیاده‌سازی سیستم‌های خبره از ابزار (Tools)، زبان (Language) و پوسته (Shell) استفاده می‌شود.

- زبان (Language): امکانات لازم برای کدنویسی را فراهم می‌کند. زبان‌های برنامه‌نویسی مانند C، Prolog و Lisp برای ایجاد سیستم‌های خبره استفاده می‌شوند.
- ابزار (Tools): محیط برنامه‌نویسی است که علاوه بر قابلیت‌های یک محیط برنامه‌نویسی وظیفه‌های دیگری همچون مدیریت فایل‌ها، نمایش گرافیکی و تبدیل کدها به زبان دیگر را فراهم می‌کند. برخی از این ابزارها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که کاربر لازم نیست کدی را وارد کند و می‌تواند روش حل مسئله را به صورت جدول‌ها یا نمودارهایی وارد نماید و پس از آن ابزار مزبور، کد را ایجاد نماید. مانند ابزاری به نام Kvision که دانش را به صورت دیداری ایجاد می‌نماید.
- پوسته (Shell): معمولاً به سیستم خبره‌ای فاقد دانش اشاره دارد و کاربر برای ایجاد آن فقط باید پایگاه دانش را پر نماید. به طور مثال سیستم خبره پزشکی MYCIN، سیستم خبره‌ای برای تشخیص بیماری مننژیت می‌باشد. حال اگر این سیستم فاقد دانش تشخیص بیماری خاص باشد به یک shell تبدیل می‌شود که آن را Empty MYCIN یا E-MYCIN می‌نامند که اگر دانش بیماری دیگری در آن قرار داده شود سیستمی برای تشخیص بیماری دیگری خواهد بود.



شکل ۱۱. ساختار کلی یک سیستم خبره

ب) فرآیند مارکوف (Markov Process):

مدلی برای نمایش دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی است که در آن احتمال رویداد هر پیشامد فقط به پیشامد قبلی وابسته است. به این ترتیب احتمال رخداد پیشامدها در چنین مدلی فقط به زمان قبل وابسته بوده و بقیه پیشامدها در میزان احتمال دخالت نمی‌کنند. چنین وضعیتی را برای فرآیند تصادفی گاهی خاصیت «عدم حافظه» (Memoryless) نیز می‌نامند. این مدل به افتخار ریاضی‌دان روسی «آندری مارکوف» (Andrey Markov) که در سال‌های اولیه قرن بیستم در این زمینه دست به نوآوری زده بود، فرآیند مارکوف نامیده می‌شود. سه شرط کلی برای سیستم‌های مارکوف عبارتند از:

- سکون رفتار سیستم (احتمال ثابت برای تغییر وضعیت) یا Stationary بودن
 - فقدان حافظه برای فرآیندهای اتفاقی (عدم وابستگی به گذشته)
 - وجود حالت‌های مشخص و قابل تشخیص (Identified States)
- یک فرآیند مارکوف فرآیندی تصادفی است که در آن با توجه به حال، فرآیند آینده مستقل از گذشته است. بدین ترتیب، فرآیندهای مارکوف آنالوگ‌های تصادفی طبیعی از فرآیندهای قطعی هستند که با معادلات دیفرانسیل (Differential Equations) توضیح داده می‌شوند. فرآیندهای مارکوف یکی از مهمترین گونه‌های کلاس‌های فرآیند تصادفی هستند.

یک فرآیند مارکوف، یک توالی تصادفی از یک ماشین حالت متناهی است. در یک فرآیند مارکوف، انتقال حالت احتمالی است و در مقابل یک ماشین حالت متناهی سیستم ورودی نمی‌گیرد. علاوه بر این، سیستم در هر مرحله زمانی فقط در یک حالت است. (عدم قطعیت ماشین‌های حالت متناهی را نباید با تصادفی بودن فرآیندهای مارکوف اشتباه گرفت)

زنجیره مارکوف زمانی مفید است که ما نیاز به محاسبه احتمال توالی از رویدادهایی داریم که می‌توانیم در جهان مشاهده کنیم.

انواع فرآیندهای مارکوف	
1. Continuous – Time & Continuous – State	۱- فرآیند مارکوف با پیوستگی زمانی و پیوستگی حالت
2. Continuous – Time & Discrete – State	۲- فرآیند مارکوف با پیوستگی زمانی و گسستگی حالت
3. Discrete – Time & Continuous – State	۳- فرآیند مارکوف با گسستگی زمانی و پیوستگی حالت
4. Discrete – Time & Continuous – State	۴- فرآیند مارکوف با گسستگی زمانی و گسستگی حالت

ج) مدل مارکوف پنهان (Hidden Markov Model) :

مدل مارکوف پنهان یک مدل احتمالی برای یادگیری ماشین است. مدل مارکوف پنهان بیشتر در شناسایی گفتار استفاده می‌شود و تا حدی برای کار طبقه‌بندی استفاده می‌شود. با استفاده از مدل مارکوف پنهان می‌توان سه گونه مسئله (ارزیابی (Evaluation)، رمزگشایی (Decoding) و یادگیری برای پیدا کردن طبقه‌بندی بیشترین احتمال) را حل کرد.

مدل مارکوف پنهان یک مدل مارکوف آماری است که در آن سیستم مدل شده به صورت یک فرایند مارکوف با حالت‌های مشاهده نشده (پنهان) فرض می‌شود. یک مدل پنهان مارکوف می‌تواند به عنوان ساده‌ترین شبکه بیزی پویا در نظر گرفته شود.

تعریف شبکه بیزی پویا (Dynamic Bayesian Network) : شبکه‌ای است که متغیرهای مرتبط با یکدیگر را در طول مراحل زمانی مجاور مرتبط می‌سازد. شبکه Bayesian بیشتر Two – Time Slice خوانده می‌شود، زیرا هر نقطه‌ای در زمان T ، مقدار متغیری است که می‌تواند با رگرسیون‌های داخلی و مقدار نخستین فوری محاسبه شود.

در مدل عادی مارکوف، حالت به‌طور مستقیم توسط ناظر قابل مشاهده است و بنابراین احتمال‌های انتقال بین حالت‌ها تنها پارامترهای موجود است. در یک مدل مارکوف پنهان، حالت به‌طور مستقیم قابل مشاهده نیست، ولی خروجی، بسته به حالت، قابل مشاهده است. هر حالت یک توزیع احتمال روی نمادهای خروجی ممکن دارد. مدل‌های مخفی مارکوف بیشتر به دلیل کاربردشان در بازشناخت الگو، مانند تشخیص صدا و دست خط، تشخیص اشاره و حرکت، برچسب‌گذاری اجزای سخن، بیوانفورماتیک و ... شناخته شده هستند.

مدل مارکوف پنهان زیر مجموعه زنجیره مارکوف است که در آن متغیرها به طور مستقیم قابل مشاهده نیستند، ولی متغیرهای نوین مربوطه مشاهده می‌شوند. متغیرهای پنهان مشاهده نشده به صورت X_1, X_2, \dots و متغیرهای مشاهده شده به صورت O_1, O_2, \dots نمایش داده می‌شوند.

