



# اصول و سیستم های رادار (بخش دهم)

نیم سال دوم ۹۸-۹۹

رادارهای MTI و پالس داپلر

- مقدمه
- پردازش داپلر با استفاده از بانک فیلتری
- پردازش داپلر با استفاده از تبدیل فوریه گسسته
- تلفات straddling
- نواحی کور

- در رادار MTI فرکانس تکرار پالس به گونه‌ای انتخاب می‌شود که هیچگونه ابهامی در برد وجود نداشته باشد، اما در مقابل سرعت‌های کور زیادی وجود خواهد داشت.
- اگر تأثیر سرعت‌های کور قابل تحمل باشد، رادار MTI عملکرد خوبی در تشخیص اهداف متحرک در کلاتر دارد.
- اما شرایطی وجود دارد که در آن‌ها زیاد بودن تعداد سرعت‌های کور می‌تواند بخش زیادی از فضای داپلر موجود را حذف کند.
- مشکل سرعت‌های کور با افزایش فرکانس بیشتر می‌شود.
- با افزایش فرکانس در صورت ثابت بودن PRF اولین سرعت کور کاهش یافته و تعداد بیشتری از آن‌ها در فضای داپلر مورد نظر ظاهر می‌شود.

- در رادارهای هوابرد که باید در فرکانس‌های بالای مایکروویو کار کنند تا بتوانند با آنتن‌های نسبتاً کوچک پهنای بیم باریکی داشته باشند، افت عملکرد رادار بر اثر سرعت‌های کور قابل توجه است.
- با افزایش PRF اولین سرعت کور افزایش یافته و تعداد صفرها در فضای داپلر کاهش می‌یابد.
- با اینحال افزایش PRF مشکل ابهام در برد را افزایش می‌دهد.
- راداری که PRF خود را به اندازه‌ای افزایش می‌دهد تا از مشکل سرعت‌های کور اجتناب کند، رادار پالس داپلر می‌نامند.
- به صورت دقیق‌تر رادار پالس داپلر با PRF بالا راداری است که در فضای داپلر هیچگونه سرعت کوری ندارد.

- در برخی از شرایط بهتر است که PRF را اندکی کاهش داد و ابهام در دو حوزه برد و داپلر را پذیرفت.
- چنین راداری را پالس داپلر با PRF متوسط می‌نامند.
- بنابراین سه نوع رادار پالسی متفاوت بر مبنای استفاده از داپلر وجود دارد. این رادارها در PRF و نوع ابهامشان با یکدیگر تفاوت دارند:
  - **MTI**: بدون ابهام در برد و با تعداد زیاد ابهام در داپلر
  - **پالس داپلر با PRF بالا**: بدون ابهام در داپلر و ابهام در برد
  - **پالس داپلر با PRF متوسط**: با ابهام در برد و داپلر

□ تفاوت دیگر رادارهای MTI و پالس داپلر در نوع پردازش است.

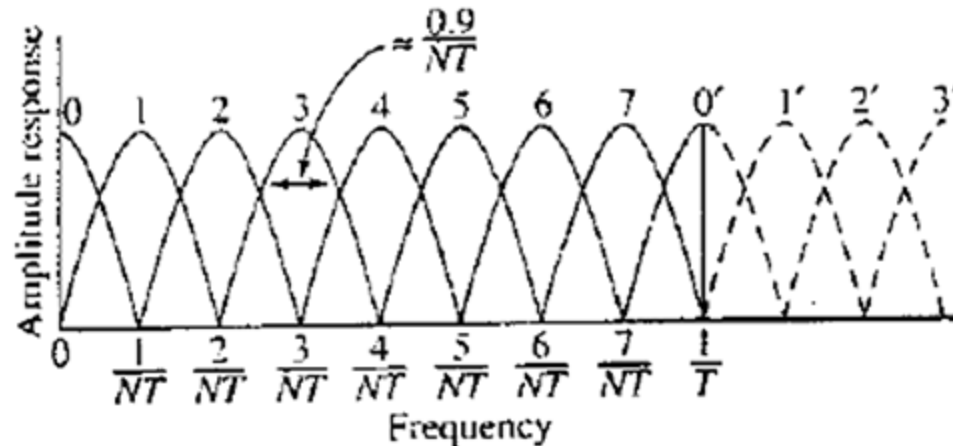
### □ رادار MTI

■ سیگنال زمان آهسته در حوزه زمان و معمولاً توسط یک فیلتر بالا گذر پردازش می شود.

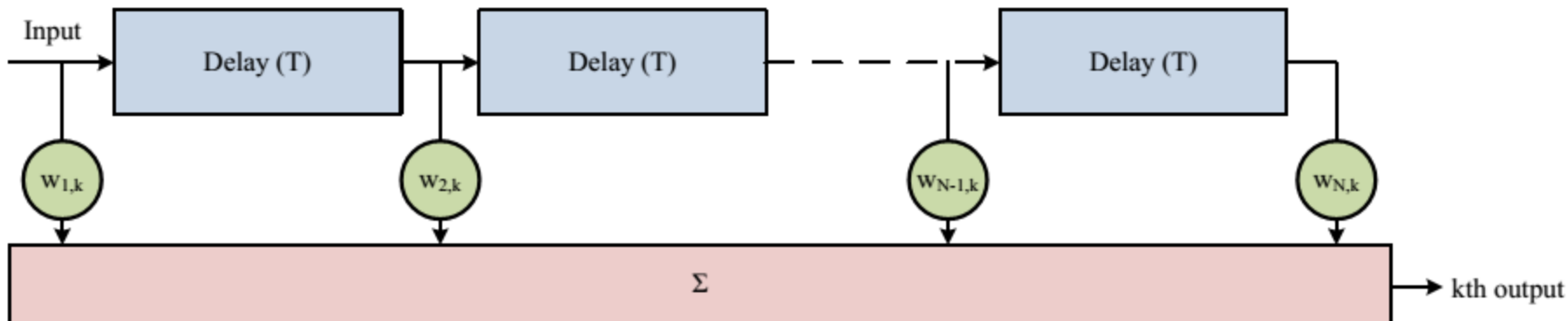
### □ رادار پالسی داپلر

■ سیگنال زمان آهسته از یک بانک فیلتری عبور کرده و یا به عبارت دیگر در حوزه فرکانس و با گرفتن DFT مورد پردازش قرار می گیرد.

- یک بانک فیلتر داپلر مجموعه ای از فیلترهای مجاور هم است که برای آشکارسازی هدف مورد استفاده قرار می گیرد.
- یک بانک فیلتری در مقایسه با یک فیلتر تنها دارای مزایای زیر است:
  - با استفاده از بانک فیلتری می توان چندین هدف متحرک را از یکدیگر تفکیک نمود.
  - سرعت شعاعی هدف قابل تعیین است.
  - فیلترهای داپلر باریک باند، نویز کمتری را در مقایسه با یک فیلتر پهن باند از خود عبور می دهند.



□ با وزن دهی مناسب فاز، می توان از ساختار فیلتر FIR زیر برای شکل دادن N فیلتر مجاور هم از فرکانس صفر تا  $f_p$  استفاده کرد.



□ ضرایب وزن دهی به صورت زیر هستند

$$w_{i,k} = e^{j[2\pi(i-1)k/N]} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad k = 0, 1, \dots, N - 1$$

متناظر با آمین ضریب
متناظر با k امین فیلتر



# پردازش داپلر با استفاده از بانک فیلتر

□ به عنوان مثال برای تولید بانک فیلتری شامل ۸ فیلتر داریم:

$$w_{i,k} = e^{j[2\pi(i-1)k/8]} \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad k = 0, 1, \dots, 7$$

	فاز ضریب اول	فاز ضریب دوم	فاز ضریب سوم	فاز ضریب چهارم	فاز ضریب پنجم	فاز ضریب ششم	فاز ضریب هفتم	فاز ضریب هشتم
فیلتر اول	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر دوم	0	45	90	135	180	225	270	315
فیلتر سوم	0	90	180	270	0	90	180	270
فیلتر چهارم	0	135	270	45	180	315	90	225
فیلتر پنجم	0	180	0	180	0	180	0	180
فیلتر ششم	0	225	90	315	180	45	270	135
فیلتر هفتم	0	270	180	90	0	270	180	90
فیلتر هشتم	0	315	270	225	180	135	90	45

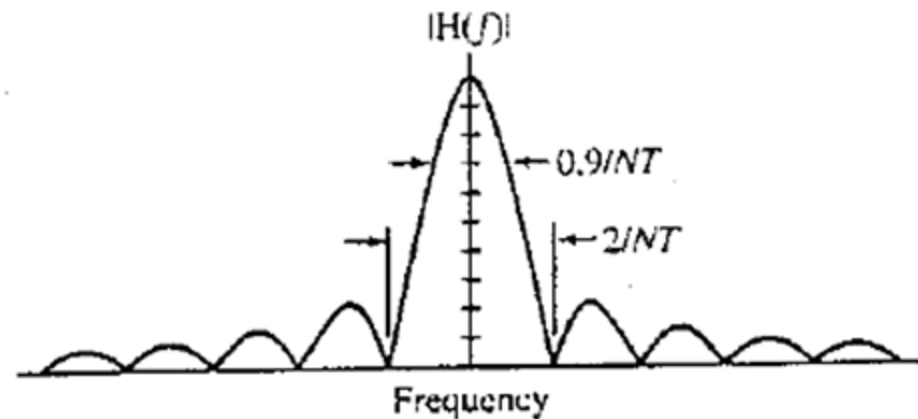
# پردازش داپلر با استفاده از بانک فیلتر

□ پاسخ ضربه فیلتر  $k$ ام از بانک فیلتری

$$h_k(t) = \sum_{i=1}^N \delta[t - (i-1)T] e^{j2\pi(i-1)k/N}$$

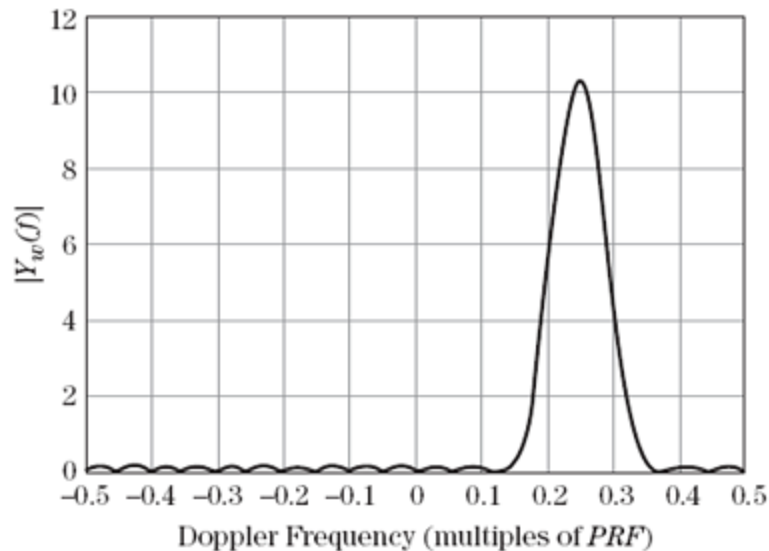
□ پاسخ فرکانسی فیلتر  $k$ ام از بانک فیلتری

$$\begin{aligned} |H_k(f)| &= \left| \sum_{i=1}^N e^{-j2\pi(i-1)[fT - k/N]} \right| \\ &= \left| \frac{\sin(\pi N(fT - k/N))}{\sin(\pi(fT - k/N))} \right| \end{aligned}$$

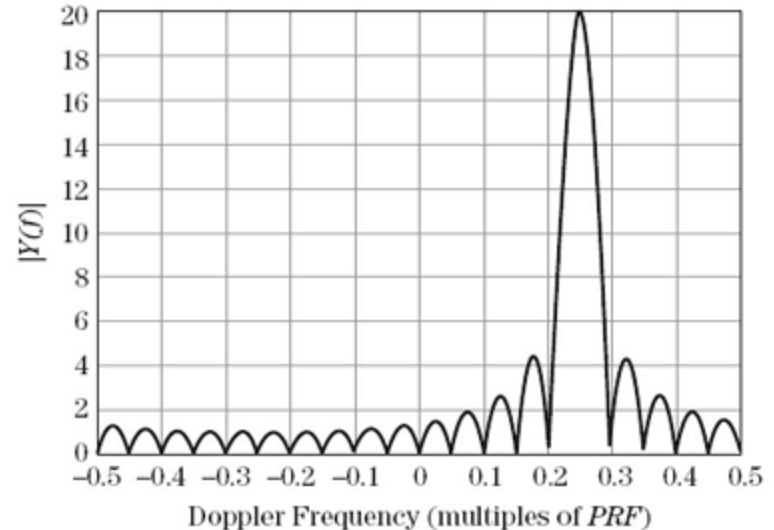


□ در پاسخ فیلتر گلبرگ های فرعی وجود داشته که باعث ایجاد محدودیت در تضعیف کلاتر می شوند.

□ گلبرگ های فرعی را می توان با استفاده از وزن دهی دامنه، علاوه بر وزن دهی فاز) بهبود بخشید.



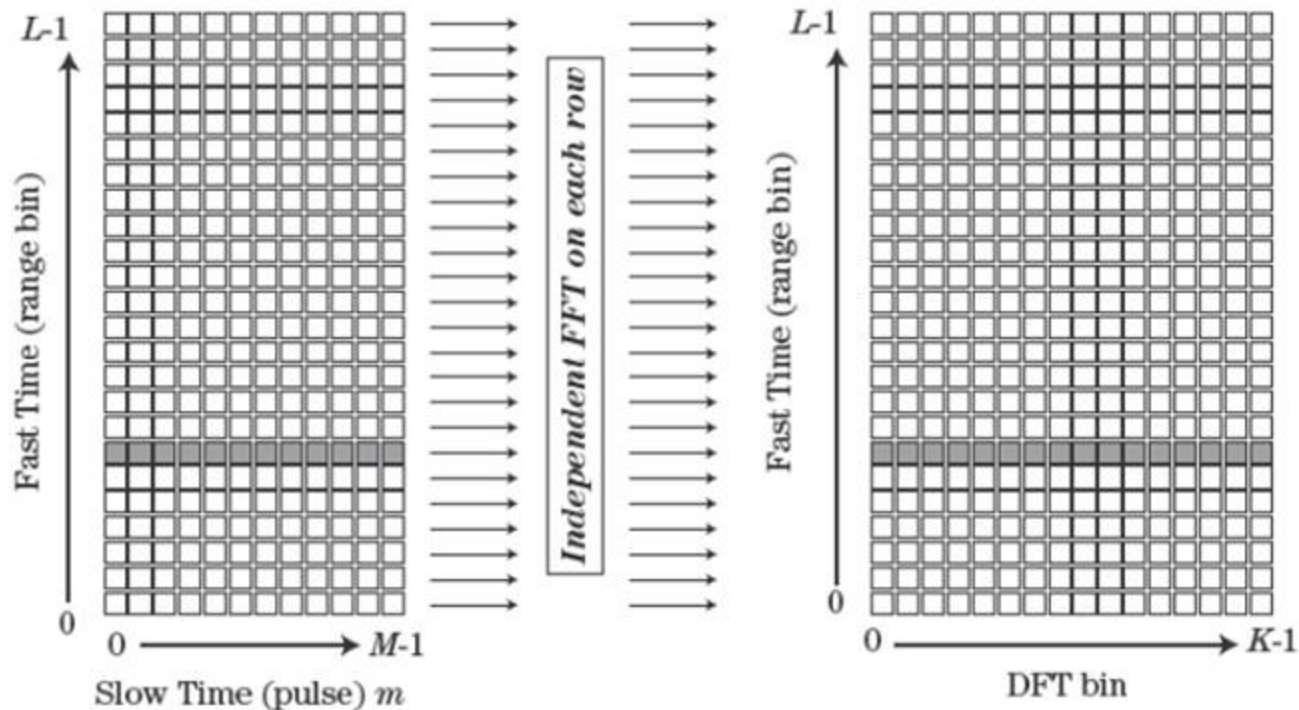
با استفاده از پنجره Hamming



بدون وزن دهی دامنه

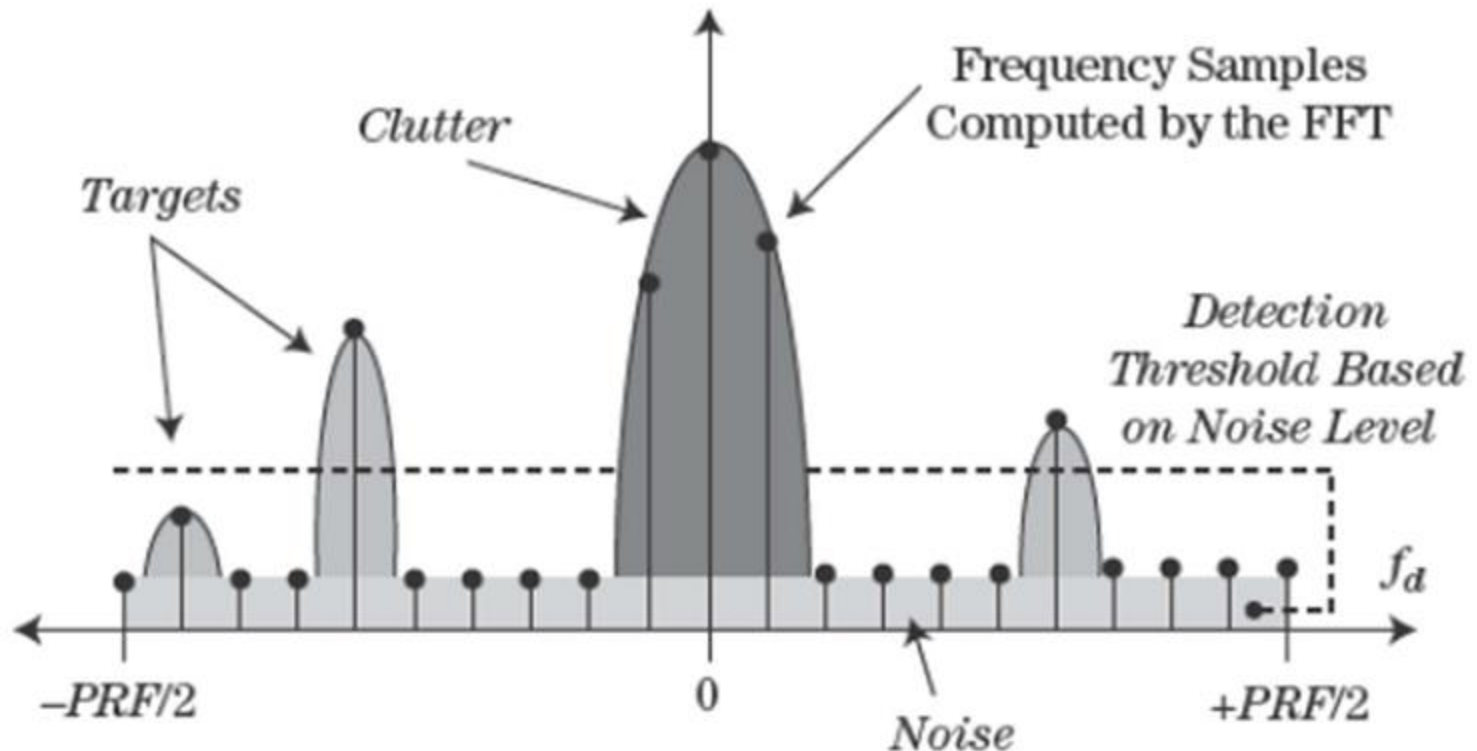
- هنگامیکه  $k = 0$  باشد، پیک پاسخ در  $f = 0, 1/T, 2/T, \dots$  رخ می دهد.
- بنابراین فیلتر  $k = 0$  متناظر با طیف کلاتر بوده و آن را حذف نمی کند.
- تولید  $N$  فیلتر با استفاده از ساختار FIR با  $N$  ضریب وزن دهی، نیاز به  $(N-1)^2$  ضرب دارد.
- این پروسه معادل با تبدیل فوریه گسسته بوده و در نتیجه می توان با استفاده از الگوریتم FFT به محاسبات سرعت بخشید.

□ محاسبه DFT از سیگنال های زمان آهسته با استفاده از الگوریتم FFT



□  $K$  (تعداد نمونه های DFT) باید برابر یا بزرگتر از  $M$  (تعداد پالس ها) باشد.

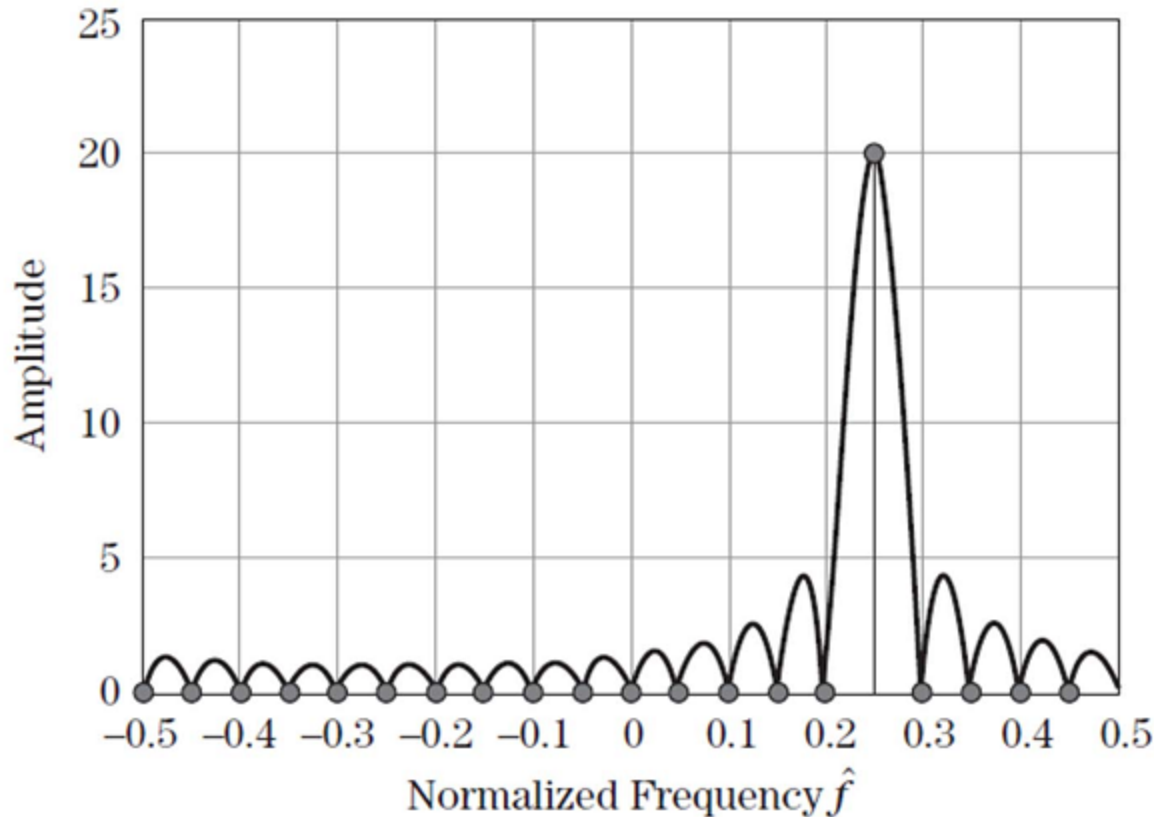
□ پردازش داپلری با استفاده از تبدیل فوریه گسسته برای آشکارسازی اهداف متحرک در یک سلول برد



□ نمونه های تبدیل فوریه گسسته از یک تابع سینوسی مختلط با فرکانس  $f_d = PRF/4$

□ تعداد پالس ها (M): ۲۰

□ تعداد نقاط DFT (K): ۲۰

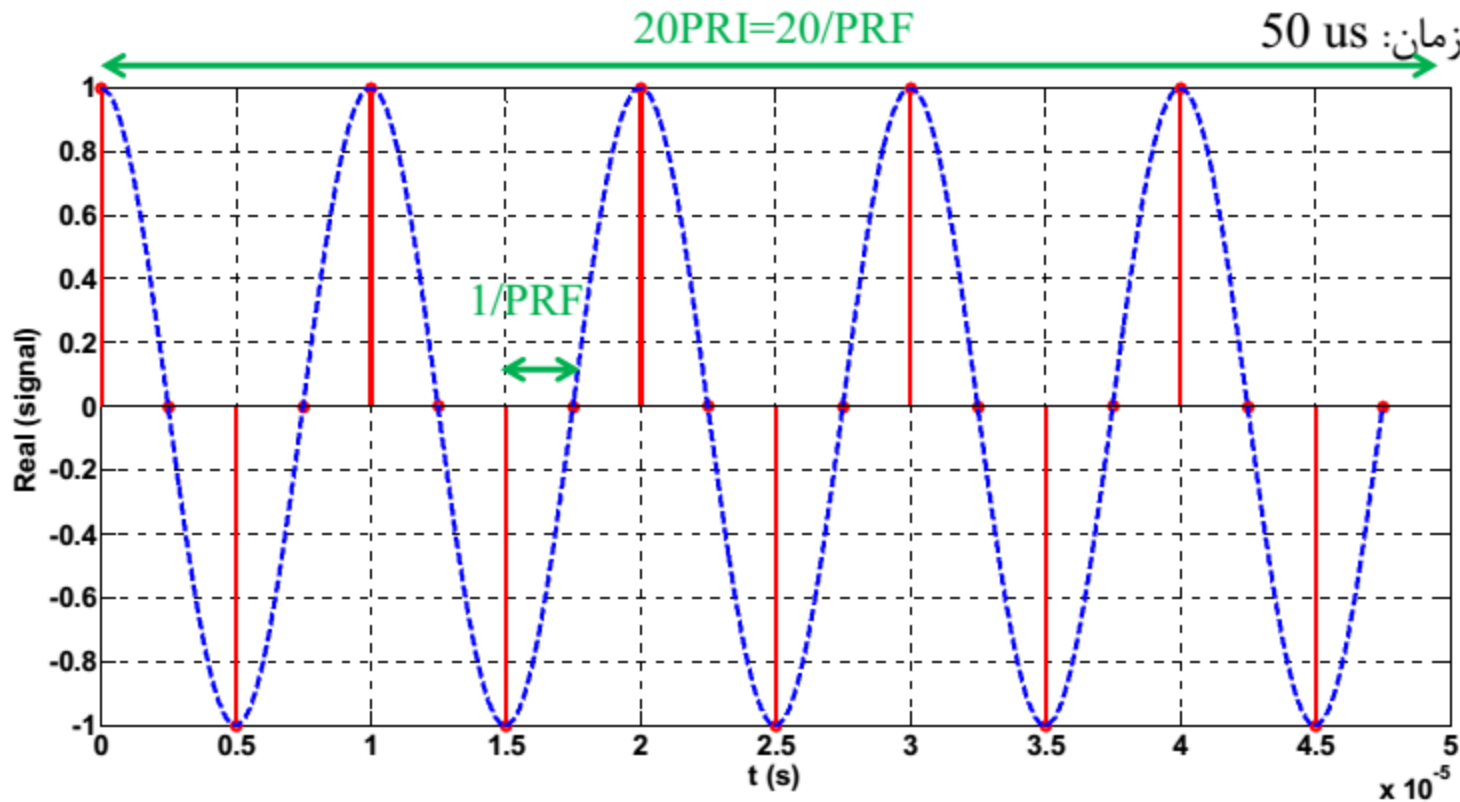


بدون تلفات straddling

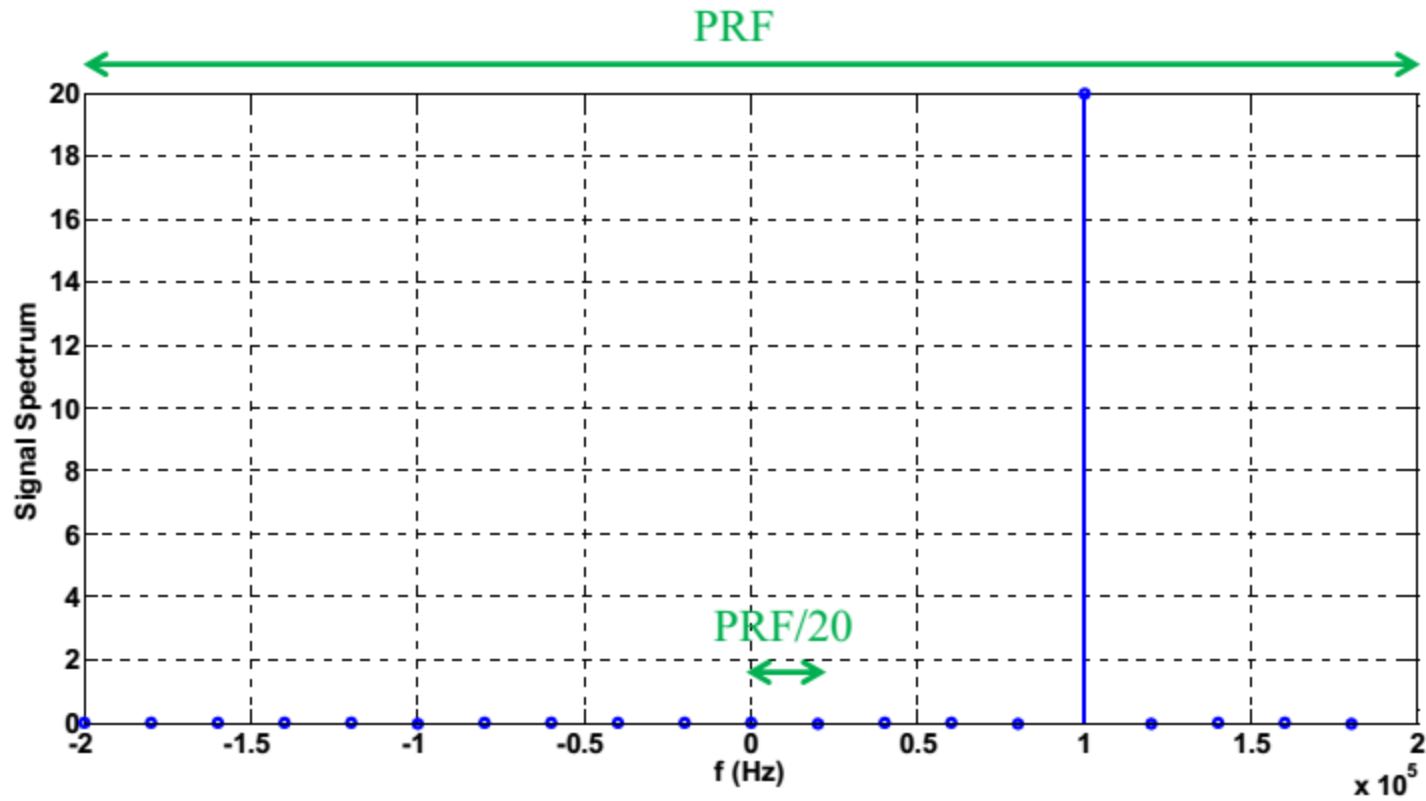
□ فرکانس داپلر: 100 kHz

□ فرکانس تکرار پالس: 400 kHz

□ کل زمان: 50 us



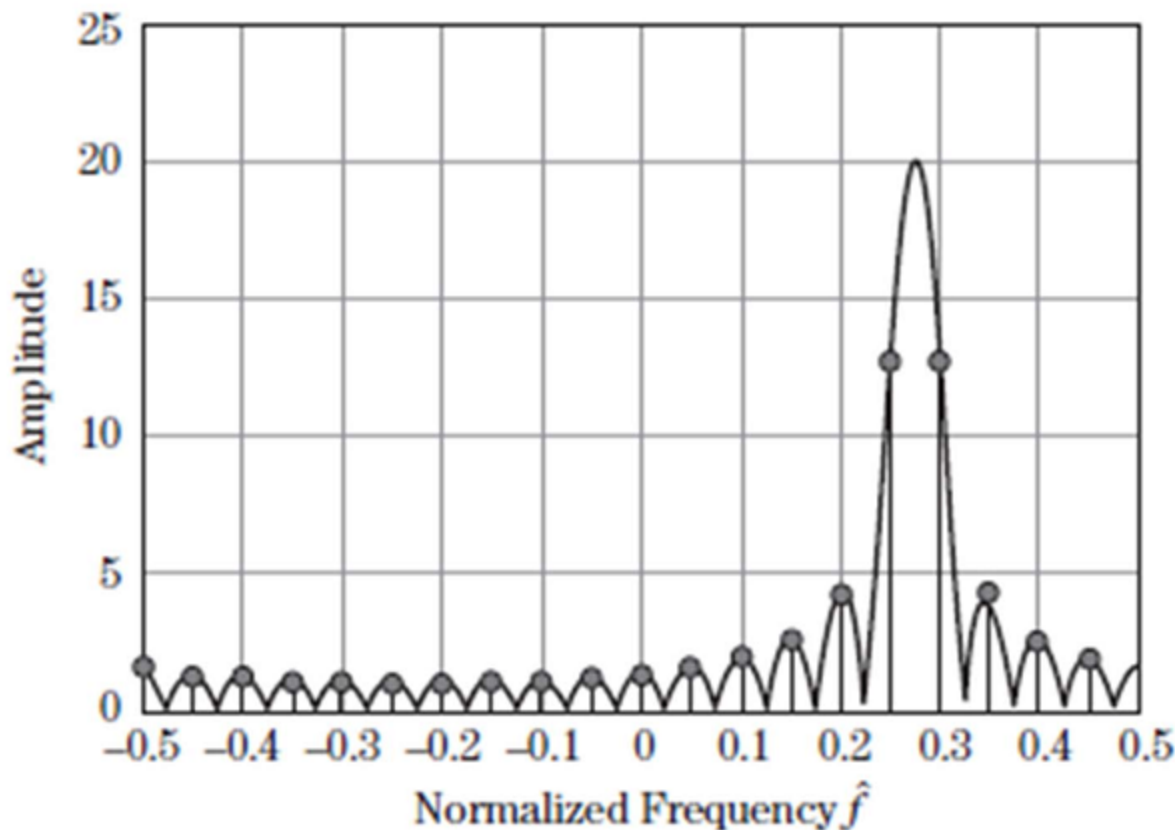




□ نمونه های تبدیل فوریه گسسته از یک تابع سینوسی مختلط با فرکانس  $f_d = 0.275$  PRF

□ تعداد پالس ها (M): ۲۰

□ تعداد نقاط DFT (k): ۲۰

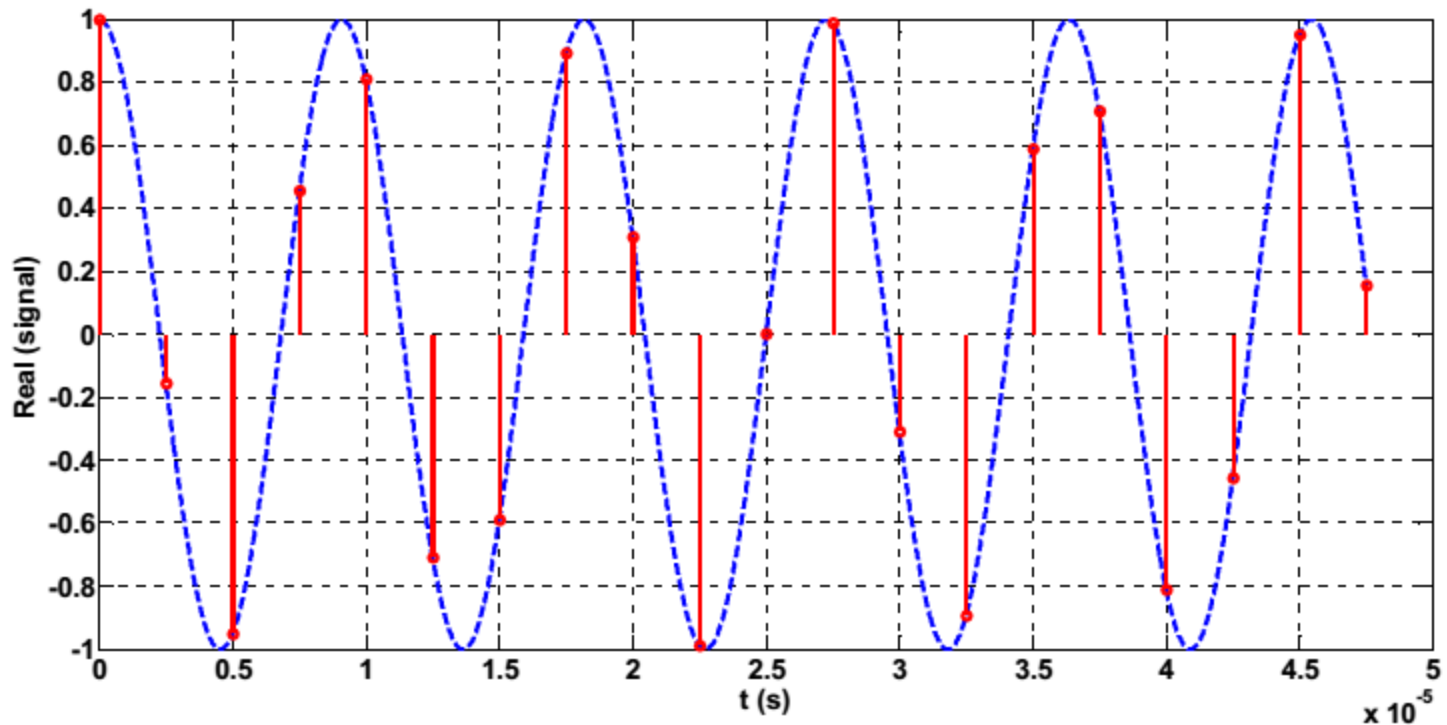


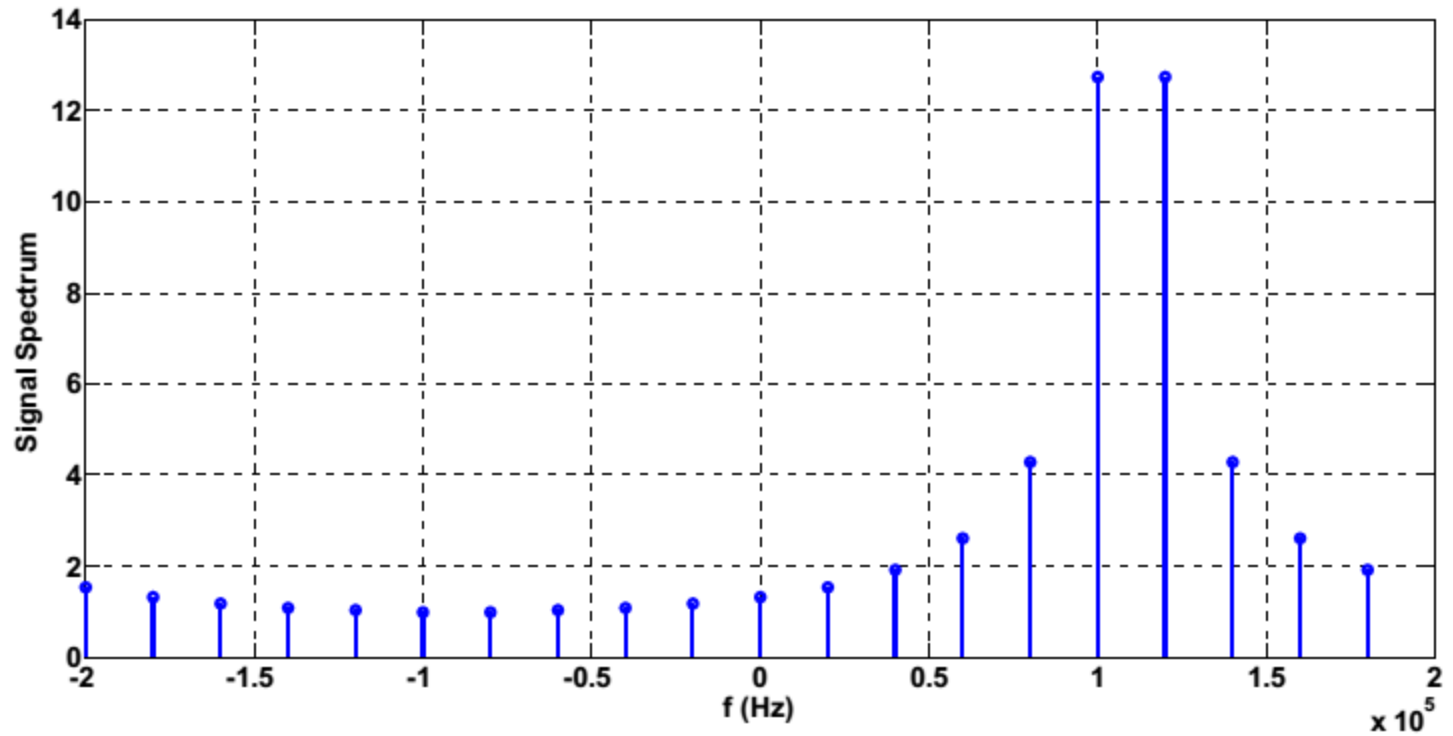
با تلفات straddling

□ فرکانس داپلر: 110 kHz

□ فرکانس تکرار پالس: 400 kHz

□ کل زمان: 20PRI

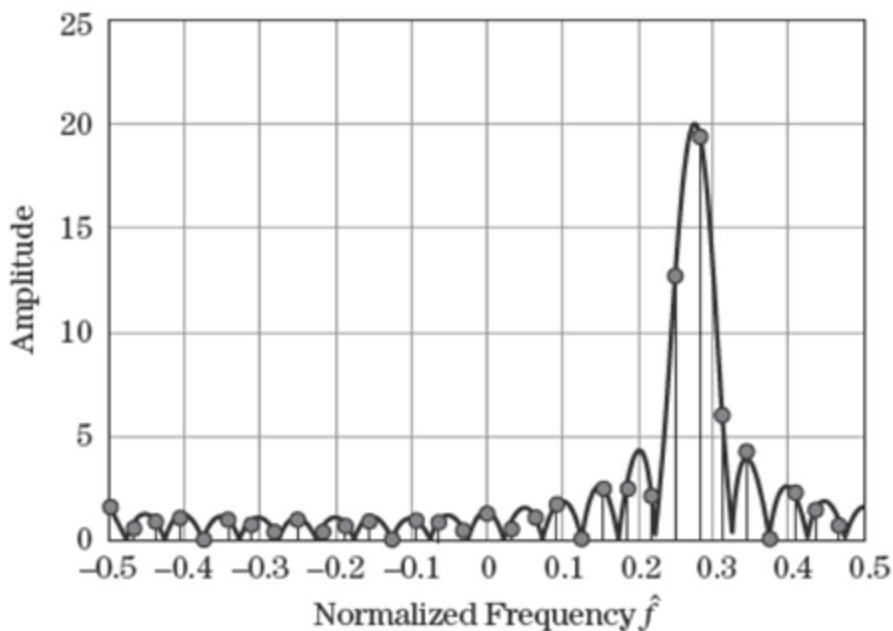




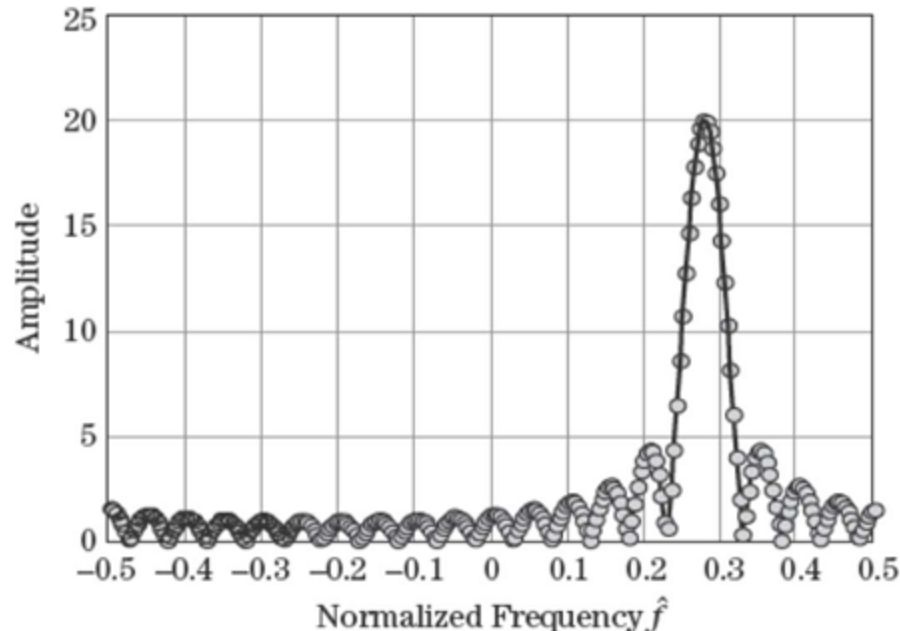
- به ازای یک  $M$  مشخص برای سیگنال، تلفات straddling هنگامی ماکزیمم می شود که فرکانس سیگنال دقیقاً بین نمونه های DFT قرار گیرد.
- به ازای یک فرکانس مشخص، حداکثر تلفات straddling با کاهش تعداد نمونه های DFT افزایش می یابد.
- در صورت استفاده از پنجره وزن دهی، حداکثر تلفات straddling کاهش می یابد.
- زیرا پهنای بیم گلبرگ اصلی در صورت استفاده از پنجره بیشتر می شود.

□ یک راه برای کاهش تلفات straddling، انتخاب تعداد نمونه های  $K > M$  به گونه ای است که

□ با استفاده از zero padding

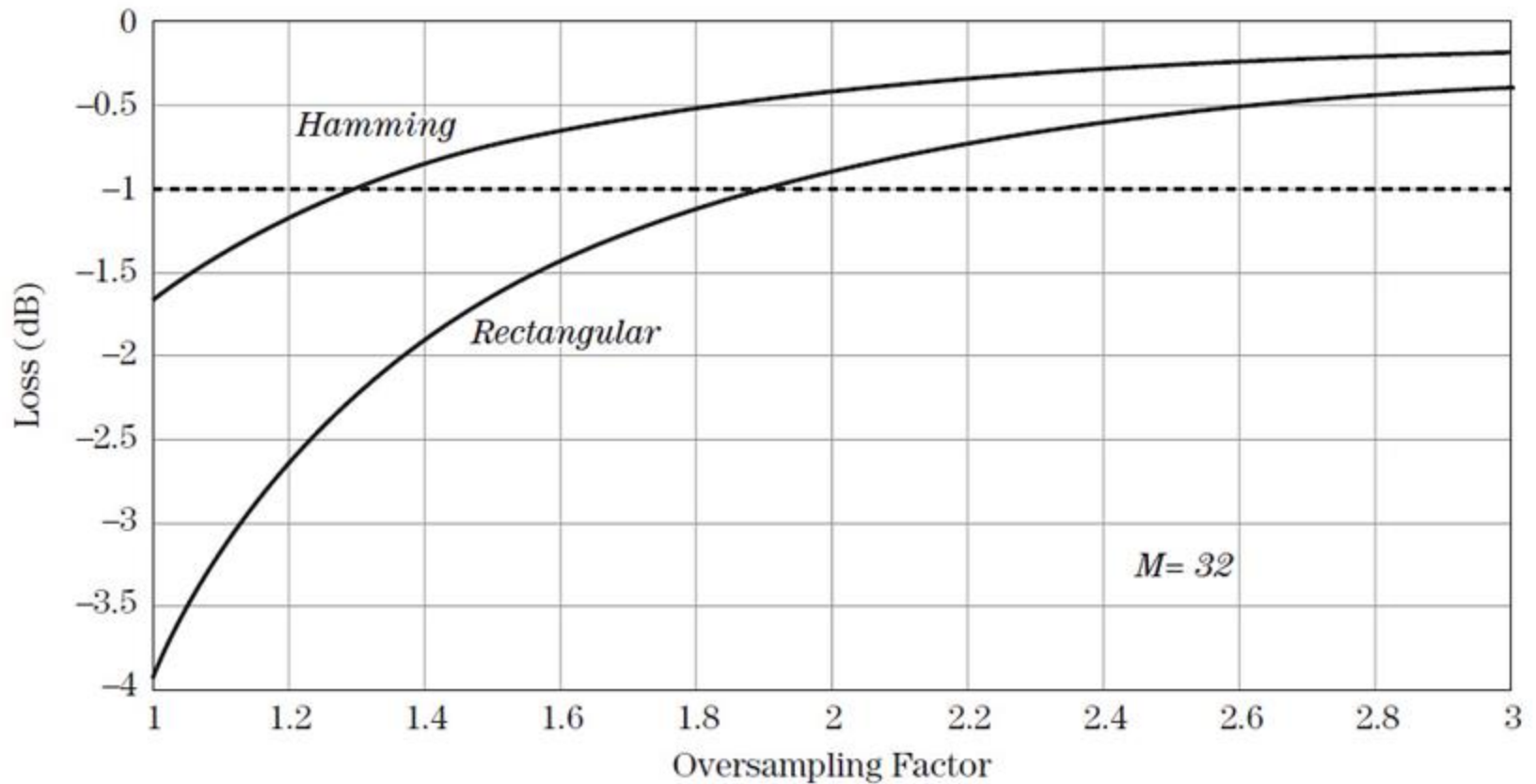


$K = 32$



$K = 256$

□ حداکثر تلفات straddling بر حسب نسبت  $K$  به  $M$



- به ازای یک PRF مشخص، رادار اهدافی را که فرکانس داپلر ناشی از آن ها مضر بی از PRF باشد، نمی بیند.
- رادار اهدافی را که برد آن ها متناظر با زمانی است که فرستنده در حال ارسال پالس است نیز تشخیص نمی دهد.
- این زمان برابر با عرض پالس در ابتدای هر PRI است.
- دیاگرام نشان دهنده مقادیر برد و سرعتی که به ازای آن ها رادار قادر به تشخیص هدف نیست را نقشه نواحی کور گویند.



## پالس داپلر (۳) MTI و

25

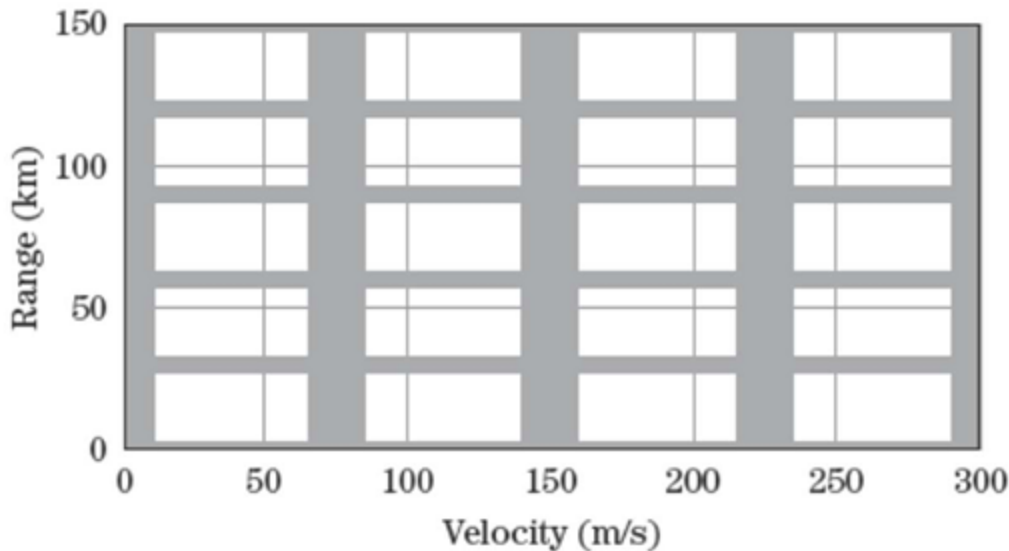
□ راداری با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:

$$f = 10 \text{ GHz} \quad \square$$

$$\tau = 10 \mu\text{s} \quad \square$$

$$\text{PRI} = 200 \mu\text{s} \quad \square$$

□ عرض طیف کلاتر: 20 m/s



برد بدون ابهام: 30 km

بازه سرعت بدون ابهام: 75 m/s