

(۱)  $x_k$  را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

فاصله جسم  $k$  ام تا آنتن  $m$  ام - فاصله جسم  $k$  ام تا آنتن مرکزی  $x_{mk}$

اگر فاصله جسم  $k$  ام تا آنتن  $m$  ام از فاصله این جسم تا آنتن مرکزی کمتر باشد، این اختلاف مقداری مثبت و اگر بیشتر باشد، این اختلاف مقداری منفی است. در هر دو حالت مقدار این اختلاف را می‌توان به طور تقریبی به صورت زیر بدست آورد.

$$x_{mk} = m * \Delta * \cos(\theta_k)$$

که در این عبارت  $m$  شماره آنتن (برای آنتن‌های جهت مثبت محور  $X$  مقداری مثبت و برای آنتن‌های جهت منفی محور  $X$  مقداری منفی است)،  $\Delta$  فاصله بین دو آنتن متوالی و  $\theta_k$  زاویه خط متصل کننده جسم  $k$  ام به آنتن مرکزی و جهت مثبت محور  $X$  است.

با توجه به روابط فیزیکی داریم:

$$\frac{2\pi}{\phi_{mk}} = \frac{\lambda}{x_{mk}}$$

$$\phi_{mk} = \frac{\omega_0}{c} * m * \Delta * \cos(\theta_k) = -\tau_{mk}$$

$$\text{if } \Delta = \frac{\lambda}{2} = \frac{\pi * c}{\omega} \quad \text{then } \tau_{mk} = -\pi * m * \cos(\theta_k)$$

(۲) اگر تنها یک جسم حاضر باشد، سیگمای موجود در رابطه داده شده به یک ترم تبدیل می‌شود و برای آنتن  $m$  ام داریم:

$$\text{if } t = t_0 \text{ (یک زمان مشخص)} \quad \text{then } x[m] = e^{j(-\pi * m * \cos(\theta))} * S_k(t_0) + n_m(t_0)$$

اگر در عبارت بالا از مقدار نویز صرف نظر کنیم و به جای  $S_k(t_0)$  از  $\alpha$  استفاده کنیم، داریم:

$$x[m] = \alpha * e^{j(-\pi * m * \cos(\theta))}$$

حال اگر بخواهیم به عبارت بالا به چشم یک سیگنال در حوزه مکان نگاه کنیم، می‌توانیم مقدار آن در خارج از بازه  $-\frac{M-1}{2} \leq m \leq \frac{M-1}{2}$  صفر در نظر بگیریم.

از آن جایی که تبدیل فوریه گسسته سیگنالی که در بازه  $-\frac{M-1}{2} \leq m \leq \frac{M-1}{2}$  برابر یک و در خارج از این بازه صفر است

به صورت  $\frac{\sin(\frac{\omega * M}{2})}{\sin(\frac{\omega}{2})}$  است و همچنین با ضرب سیگنال در  $e^{j(m * \omega_0)}$  در حوزه زمان، تبدیل فوریه گسسته در حوزه فرکانس به

اندازه  $\omega_0$  منتقل می‌شود، تبدیل فوریه گسسته سیگنال بدست آمده به صورت زیر خواهد بود:

$$X(e^{j(\omega)}) = S_1(t_0) * \frac{\sin(\frac{(\omega + \pi * \cos(\theta)) * M}{2})}{\sin(\frac{\omega + \pi * \cos(\theta)}{2})}$$

بخش عملی:

(۳) با استفاده از تولید تابع داده، تعداد اجسام موجود را برابر یک قرار می‌دهیم. در تعیین مشخصه‌های آغازین این جسم (مکان اولیه و سرعت) به دو صورت می‌توان عمل کرد:

۱- با یک مکان اولیه دلخواه، سرعت را صفر در نظر بگیریم:

در این صورت مکان جسم و در نتیجه زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  ثابت است. بنابراین تبدیل فوریه گسسته سیگنال مکانی در همه زمان‌ها یکسان خواهد بود. به عنوان مثال این شکل را با در نظر گرفتن مقادیر زیر به عنوان مشخصه‌های آغازین جسم رسم می‌کنیم.

Enter Number of Objects you want

\

Object Number 1 Initial X Position

\

Object Number 1 Initial Y Position

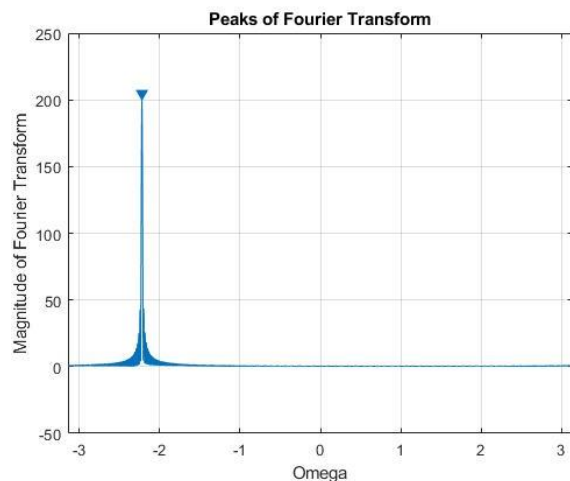
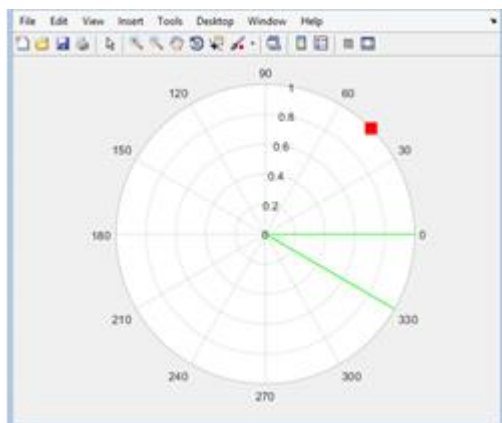
\

Object Number 1 Initial X Speed

.

Object Number 1 Initial Y Speed

.



۲- مکان اولیه و سرعت دلخواه باشد:

در این صورت مکان جسم و در نتیجه زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X ثابت نیست. بنابراین تبدیل فوریه گسسته سیگنال مکانی در همه زمان‌ها یکسان نخواهد بود و با گذر زمان تغییر می‌کند. به عنوان مثال شکل‌های زیر را با در نظر گرفتن مقادیر زیر به عنوان مشخصه‌های آغازین جسم رسم می‌کنیم.

Enter Number of Objects you want

\

Object Number 1 Initial X Position

\

Object Number 1 Initial Y Position

\

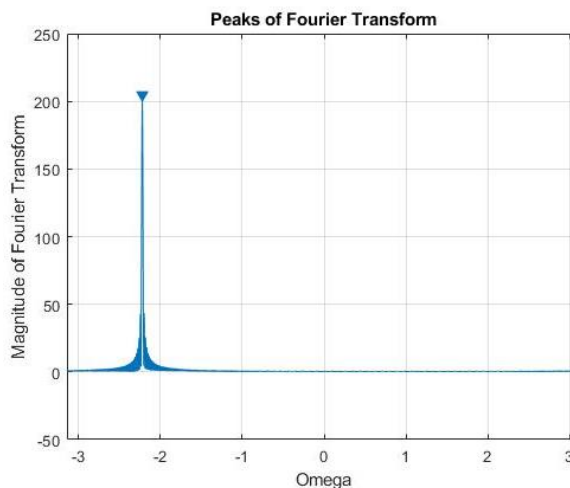
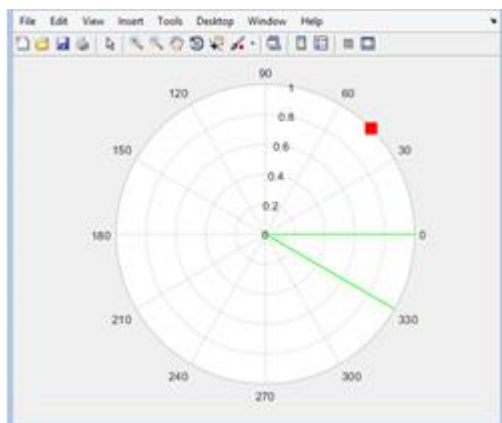
Object Number 1 Initial X Speed

-۵

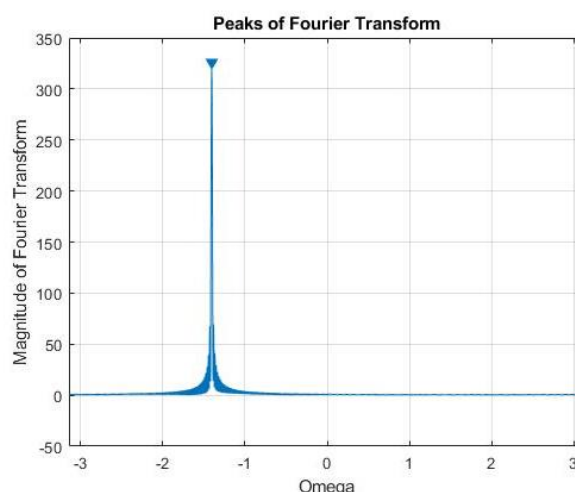
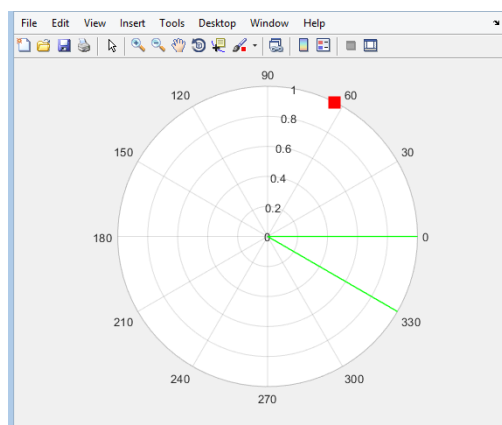
Object Number 1 Initial Y Speed

.

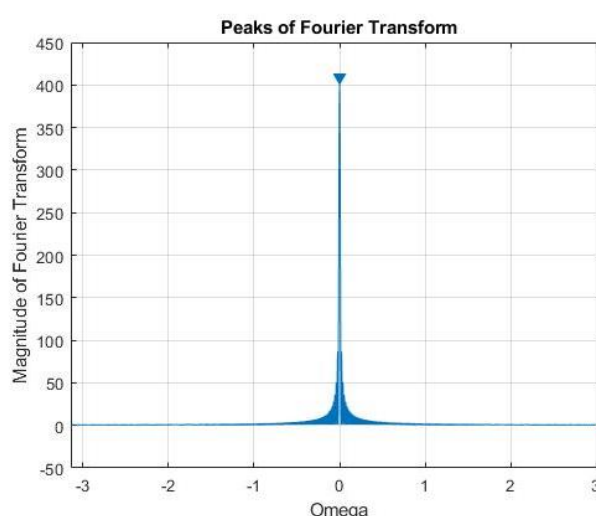
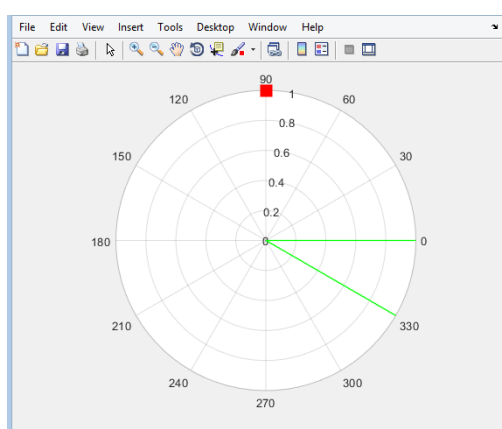
لحظه اول:



لحظه دوم:



لحظه سوم:



(۴) با توجه به نمودار اندازه تبدیل فرکانسی، یک مقدار مناسب به صورت زیر بدست می آید:

$$\text{Threshold} = \text{mean}(X) + \alpha * \text{standard\_diviation}(X)$$

می توان با تغییر مقدار  $\alpha$  بر اساس اندازه و نوع نویزی که روی سیگنال های اصلی قرار می گیرند و همچنین میانگین فاصله اجسام از مبدا مختصات، به مقدار مناسبی برای Threshold دست یافت. همچنین برای انتخاب هر چه دقیق تر مقدار  $\alpha$  می توانیم ابتدا برای تعدادی حالت که نتیجه آن ها را می دانیم و نزدیک به شرایط آزمایشی هستند که می خواهیم انجام دهیم، خروجی برنامه را تست کنیم و هنگامی که مقدار مناسب  $\alpha$  را بدست آوردیم، به انجام آزمایش پردازیم.

(۵) با توجه به محاسبات انجام شده در قسمت های قبلی در صورتی که از نویز صرف نظر کنیم، تبدیل فوریه گسسته سیگنال مکانی آنتن ها به ازای یک جسم در یک زمان مشخص به صورت زیر خواهد بود:

$$X(e^{j(\omega)}) = S_1(t_0) * \frac{\sin\left(\frac{(\omega + \pi * \cos(\theta)) * M}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega + \pi * \cos(\theta)}{2}\right)}$$

ماکزیمم این عبارت در  $\omega = -\pi * \cos(\theta)$  رخ می دهد. در نتیجه با داشتن  $\omega$  ای که در آن  $X(e^{j(\omega)})$  ماکزیمم می شود، می توان  $\theta$  را با استفاده از رابطه  $\theta = \cos^{-1}\left(-\frac{\omega_{\text{peak}}}{\pi}\right)$  بدست آورد.

حال اگر با ثابت بودن فرض قابل صرف نظر بودن نویز، این تبدیل فوریه گسسته سیگنال مکانی آنتن ها را به حالت  $k$  جسم امتداد دهیم، خواهیم داشت:

$$X(e^{j(\omega)}) = \sum_k S_k(t_0) * \frac{\sin(\frac{(\omega + \pi * \cos(\theta_k)) * M}{2})}{\sin(\frac{\omega + \pi * \cos(\theta_k)}{2})}$$

با فرض این که هیچ دو جسمی در یک زاویه قرار ندارند، این عبارت دارای  $k$  ماکزیمم در  $\omega_k = -\pi * \cos(\theta_k)$  است.

در نتیجه می‌توان  $\theta_k$  را با استفاده از رابطه  $\theta_k = \cos^{-1}(-\frac{\omega_{kpeak}}{\pi})$  بدست آورد.

با تکمیل تابع مورد نظر و ایجاد اندکی تغییر در تابع Save\_Results زاویه مربوط به هر جسم را در هر زمان برای دیتای

داده شده بدست می‌آوریم. خروجی به صورت زیر خواهد بود:

```

1: (4.439222)(90.000000)(134.991348)(149.882705)
2: (2.562559)(15.634599)(90.000000)(132.765549)(134.991348)
3: (2.562559)(21.874833)(90.000000)(122.343911)(134.991348)
4: (2.562559)(25.973069)(90.000000)(115.658099)(134.991348)
5: (2.562559)(28.836453)(90.000000)(111.161622)(134.991348)
6: (2.562559)(31.018606)(90.000000)(107.998976)(134.991348)
7: (3.624307)(32.648079)(90.000000)(105.604770)(134.991348)
8: (3.624307)(33.901262)(90.000000)(103.768529)(134.991348)
9: (3.624307)(35.015185)(90.000000)(102.298218)(134.991348)
10: (4.439222)(35.904069)(90.000000)(101.127913)(134.991348)
11: (5.731968)(36.582456)(90.000000)(100.136857)(134.991348)
12: (7.252247)(37.250190)(90.000000)(99.323002)(134.991348)
13: (9.598638)(37.814489)(90.000000)(98.626927)(134.991348)
14: (14.069868)(38.279322)(90.000000)(98.047846)(134.991348)
15: (26.619730)(38.647774)(90.000000)(97.527382)(134.991348)
16: (39.013287)(90.000000)(97.065273)(134.991348)
17: (39.375944)(90.000000)(96.661307)(134.991348)(153.380270)
18: (39.646111)(90.000000)(96.315316)(134.991348)(165.930132)
19: (39.914749)(90.000000)(95.969555)(134.991348)(170.401362)
20: (40.181891)(90.000000)(95.681589)(134.991348)(172.747753)
21:
22: (40.535802)(90.000000)(95.163607)(134.991348)(175.560778)
23: (40.711802)(90.000000)(94.933531)(134.991348)(176.375693)
24: (40.887176)(90.000000)(94.761027)(134.991348)(176.375693)
25: (41.061931)(90.000000)(94.531088)(134.991348)(176.375693)
26: (41.236078)(90.000000)(94.358682)(134.991348)(177.437441)
27: (41.322925)(90.000000)(94.186316)(134.991348)(177.437441)
28: (41.496171)(90.000000)(94.071426)(134.991348)(177.437441)
29: (41.582573)(90.000000)(93.899122)(134.991348)(177.437441)
30: (41.668827)(90.000000)(93.784272)(134.991348)(177.437441)
31: (41.840901)(90.000000)(93.669438)(134.991348)(177.437441)
32: (41.926722)(90.000000)(93.554618)(134.991348)
33: (42.012400)(90.000000)(93.439813)(134.991348)
34: (42.097935)(90.000000)(93.382415)(134.991348)
35: (42.183330)(90.000000)(93.267630)(134.991348)
36: (42.268584)(90.000000)(93.152859)(134.991348)
37: (42.268584)(90.000000)(93.095478)(134.991348)
38: (42.353700)(90.000000)(92.980725)(134.991348)
39: (42.438676)(90.000000)(92.923353)(134.991348)
40: (42.523515)(90.000000)(92.865984)(134.991348)
41: (42.523515)(90.000000)(92.808618)(134.991348)
42: (42.608218)(90.000000)(92.693894)(134.991348)
43: (42.692784)(90.000000)(92.636536)(134.991348)
44: (42.692784)(90.000000)(92.579181)(134.991348)
45: (42.777215)(90.000000)(92.521828)(134.991348)
46: (42.777215)(90.000000)(92.464478)(134.991348)
47: (42.861512)(90.000000)(92.407131)(134.991348)
48: (42.945676)(90.000000)(92.407131)(134.991348)
49: (42.945676)(90.000000)(92.349786)(134.991348)
50: (43.029707)(90.000000)(92.292443)(134.991348)
51: (43.029707)(90.000000)(92.235102)(134.991348)
52: (43.029707)(90.000000)(92.177764)(134.991348)
53: (43.113606)(90.000000)(92.177764)(134.991348)

```

54: (43.113606)(90.000000)(92.120428)(134.991348)  
 55: (43.197374)(90.000000)(92.063094)(134.991348)  
 56: (43.197374)(90.000000)(92.005762)(134.991348)  
 57: (43.197374)(90.000000)(92.005762)(134.991348)  
 58: (43.281012)(90.000000)(91.948432)(134.991348)  
 59: (43.281012)(90.000000)(91.948432)(134.991348)  
 60: (43.281012)(90.000000)(91.891104)(134.991348)  
 61: (43.364520)(90.000000)(91.891104)(134.991348)  
 62: (43.364520)(90.000000)(91.833778)(134.991348)  
 63: (43.364520)(90.000000)(91.833778)(134.991348)  
 64: (43.447900)(90.000000)(91.776454)(134.991348)  
 65: (43.447900)(90.000000)(91.776454)(134.991348)  
 66: (43.447900)(90.000000)(91.719131)(134.991348)  
 67: (43.447900)(90.000000)(91.719131)(134.991348)  
 68: (43.531152)(90.000000)(91.719131)(134.991348)  
 69: (43.531152)(90.000000)(91.661811)(134.991348)  
 70: (43.531152)(90.000000)(91.661811)(134.991348)  
 71: (43.614277)(90.000000)(91.604492)(134.991348)  
 72: (43.614277)(90.000000)(91.604492)(134.991348)  
 73: (43.614277)(90.000000)(91.547174)(134.991348)  
 74: (43.614277)(90.000000)(91.547174)(134.991348)  
 75: (43.614277)(90.000000)(91.489858)(134.991348)  
 76: (43.697275)(90.000000)(91.489858)(134.991348)  
 77: (43.697275)(90.000000)(91.489858)(134.991348)  
 78: (43.697275)(90.000000)(91.432544)(134.991348)  
 79: (43.697275)(90.000000)(91.432544)(134.991348)  
 80: (43.697275)(90.000000)(91.432544)(134.991348)  
 81: (43.780148)(90.000000)(91.375231)(134.991348)  
 82: (43.780148)(90.000000)(91.375231)(134.991348)  
 83: (43.780148)(90.000000)(91.375231)(134.991348)  
 84: (43.780148)(90.000000)(91.375231)(134.991348)  
 85: (43.780148)(90.000000)(91.317919)(134.991348)  
 86: (43.780148)(90.000000)(91.317919)(134.991348)  
 87: (43.862896)(90.000000)(91.317919)(134.991348)  
 88: (43.862896)(90.000000)(91.317919)(134.991348)  
 89: (43.862896)(90.000000)(91.260609)(134.991348)  
 90: (43.862896)(90.000000)(91.260609)(134.991348)  
 91: (43.862896)(90.000000)(91.260609)(134.991348)  
 92: (43.862896)(90.000000)(91.260609)(134.991348)  
 93: (43.945520)(90.000000)(91.260609)(134.991348)  
 94: (43.945520)(90.000000)(91.203300)(134.991348)  
 95: (43.945520)(90.000000)(91.203300)(134.991348)  
 96: (43.945520)(90.000000)(91.203300)(134.991348)  
 97: (43.945520)(90.000000)(91.203300)(134.991348)  
 98: (43.945520)(90.000000)(91.203300)(134.991348)  
 99: (43.945520)(90.000000)(91.145992)(134.991348)  
 100: (43.945520)(90.000000)(91.145992)(134.991348)  
 101: (44.028020)(90.000000)(91.145992)(134.991348)

۶) با توجه به توضیحات ارائه شده در صورت سوال،  $S_k(t)$  یک موج سینوسی است که دامنه آن متناسب با فاصله جسم از مبدا مختصات تغییر کرده است. بنابراین می‌توان گفت که  $S_k(t)$  در یک زمان مشخص مانند  $t = t_0$  متناسب با فاصله جسم از مبدا مختصات در آن زمان است. از طرفی داریم:

$$X(e^{j(\omega)}) = \sum_k S_k(t_0) * \frac{\sin\left(\frac{(\omega + \pi * \cos(\theta_k)) * M}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega + \pi * \cos(\theta_k)}{2}\right)}$$

با فرض اینکه اختلاف فاز هر دو جسم به قدر کافی زیاد است، می‌توان از تاثیر همه جملات به جز جمله  $k$  ام در ماکزیمم شده مقدار  $X(e^{j(\omega)})$  در  $\omega = \omega_{peak_k}$  صرف‌نظر کرد. در نتیجه داریم:

$$X(e^{j(\omega_{peak_k})}) \approx S_k(t_0) * \frac{\sin(\frac{(\omega_{peak_k} + \pi * \cos(\theta_k)) * M}{2})}{\sin(\frac{\omega_{peak_k} + \pi * \cos(\theta_k)}{2})}$$

در نتیجه با توجه به این که در  $\omega = \omega_{peak_k}$  مقدار عبارت  $\frac{\sin(\frac{(\omega_{peak_k} + \pi * \cos(\theta_k)) * M}{2})}{\sin(\frac{\omega_{peak_k} + \pi * \cos(\theta_k)}{2})}$  ماکزیمم و برابر  $M$  می‌شود،

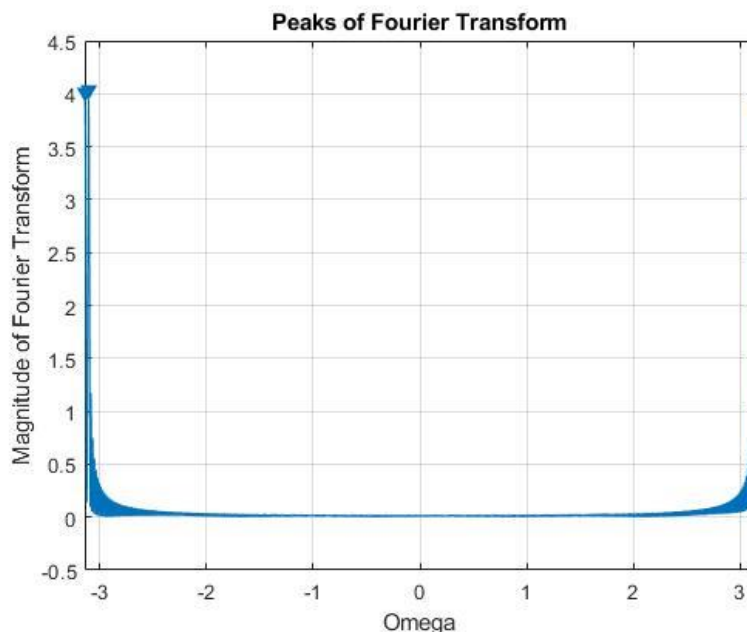
داریم:

$$\begin{aligned} peak_k &\propto r_k * M \\ r_k &\propto \frac{peak_k}{M} \end{aligned}$$

با توجه به عبارت بالا فاصله جسم  $k$  ام تا مبدا مختصات متناسب با نسبت  $\frac{peak_k}{M}$  است. از آن جایی که مقدار  $M$  ثابت است، می‌توان گفت فاصله جسم  $k$  ام تا مبدا مختصات متناسب با  $peak_k$  است. از آن جایی که فاصله جسم  $k$  ام تا مبدا مختصات در آغاز مشخص است، می‌توان ضریب تناسب فاصله جسم  $k$  ام تا مبدا مختصات و  $peak_k$  را بدست آورد و در نتیجه فاصله جسم  $k$  ام تا مبدا مختصات به طور تقریبی بدست می‌آید.

(۷) در این بخش می‌توان دو حالت وجود نویز و عدم وجود نویز را در نظر گرفت. از آن جایی که نسبت به زاویه ۹۰ درجه تقارن وجود دارد تمرکز خود را بر روی زاویه‌های کوچکتر مساوی ۹۰ درجه معطوف می‌کنیم. از آن جایی که امکان بررسی همه زاویه‌ها وجود ندارد، زاویه‌های صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه را به عنوان مثال بررسی می‌کنیم. وجود نویز: ابتدا فرض می‌کنیم نویز وجود داشته باشد.

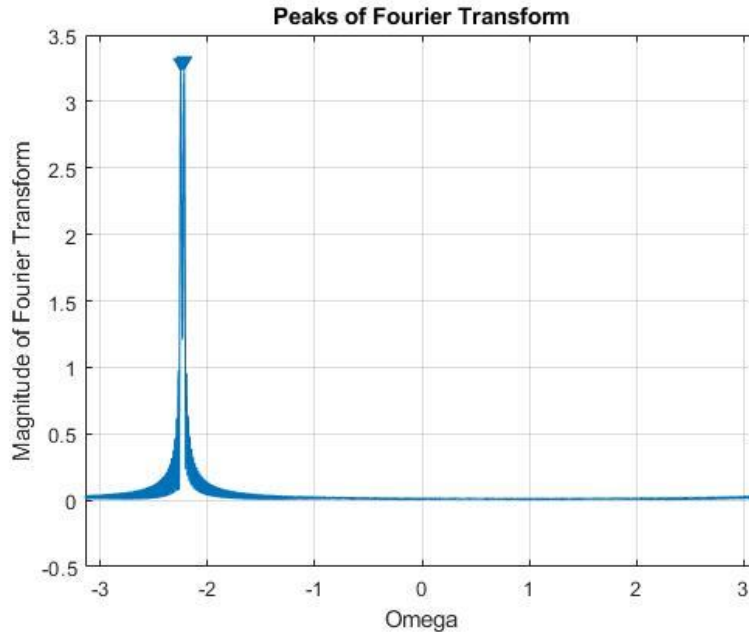
صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(10, 0.5)$  یعنی در زاویه ۲/۸۵ درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(10, a)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  با ثابت نگه داشتن مقدار  $X$  جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $1.475 \leq a \leq 1.525$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۸/۵۳ درجه در نظر گرفت.



۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد.

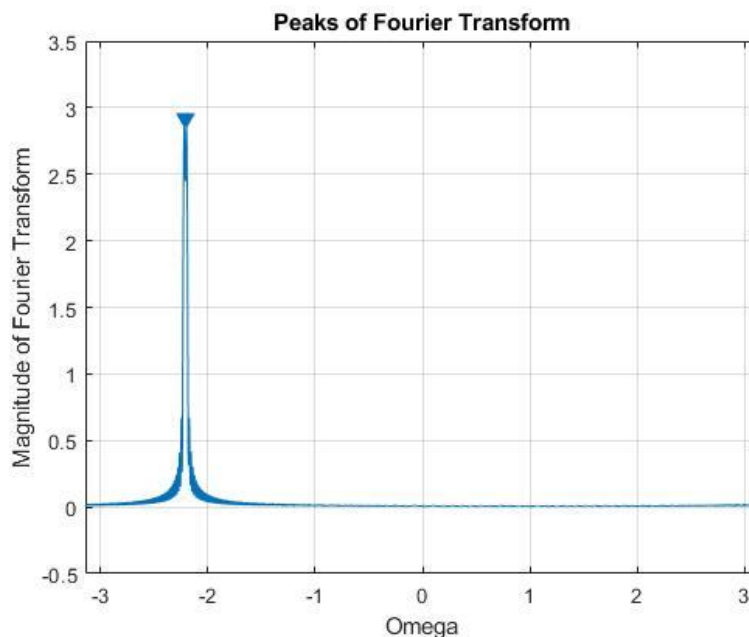
مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.3 \leq a \leq 7.35$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.68$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

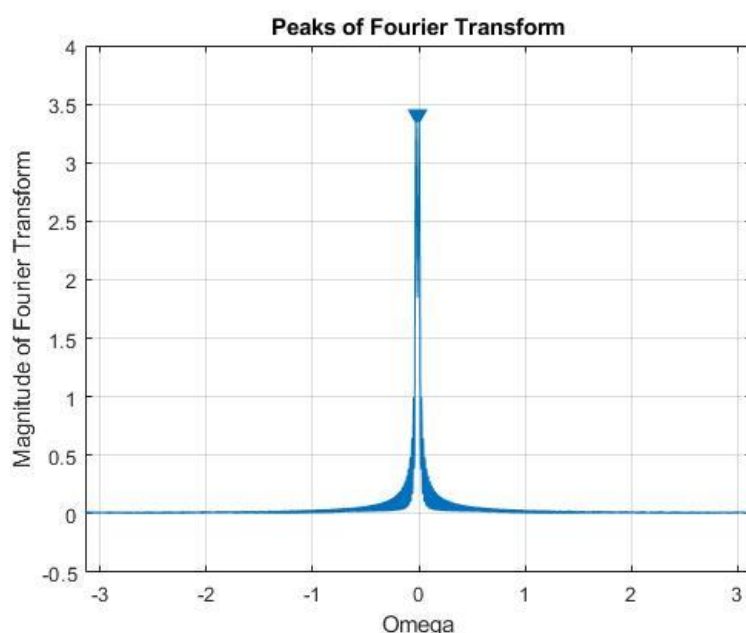
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.625 \leq a \leq 7.675$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.44$  درجه در نظر گرفت.



۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.05 \leq a \leq 0.1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43^\circ$  درجه در نظر گرفت.

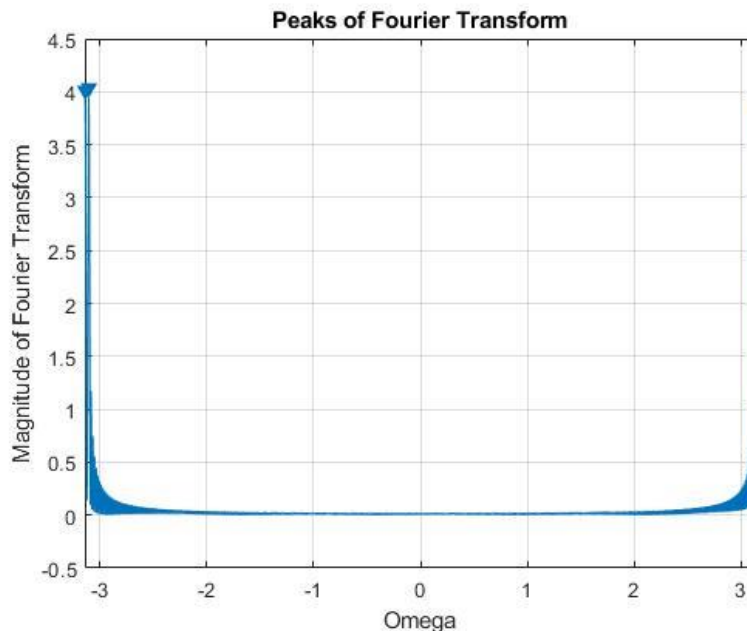


عدم وجود نویز: حال آزمایش را در نبود نویز تکرار می‌کنیم: برای این کار در تابع Data\_Generation\_for\_Students دو خط مربوط به اضافه کردن نویز به سیگنال اصلی را کامنت می‌کنیم.

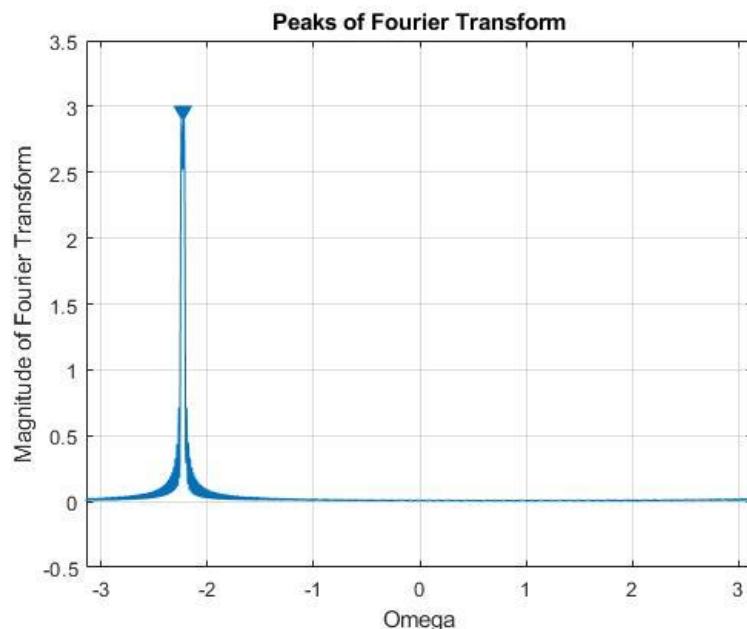
صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (10,0.5) یعنی در زاویه  $2/85$  درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (10,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $1.45 \leq a \leq 1.5$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $8/4^\circ$  درجه در نظر گرفت.

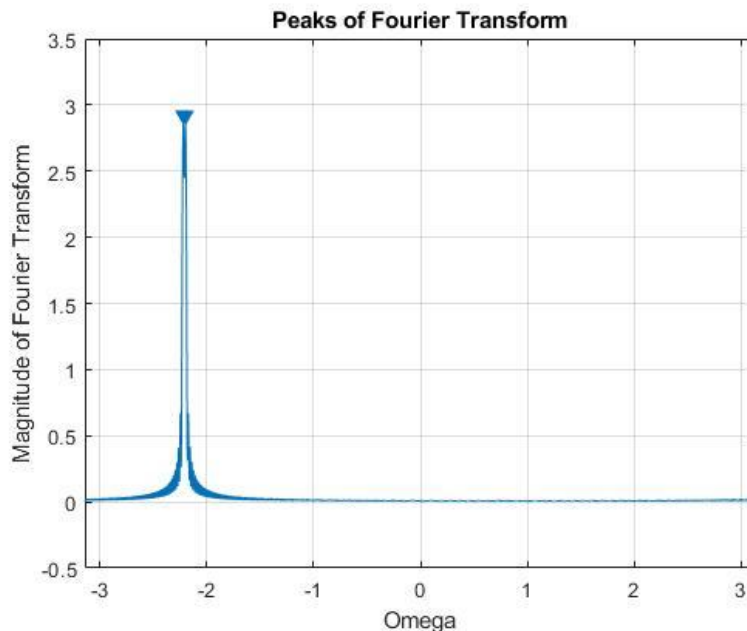




۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد. مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.325 \leq a \leq 7.375$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.58^\circ$  درجه در نظر گرفت.



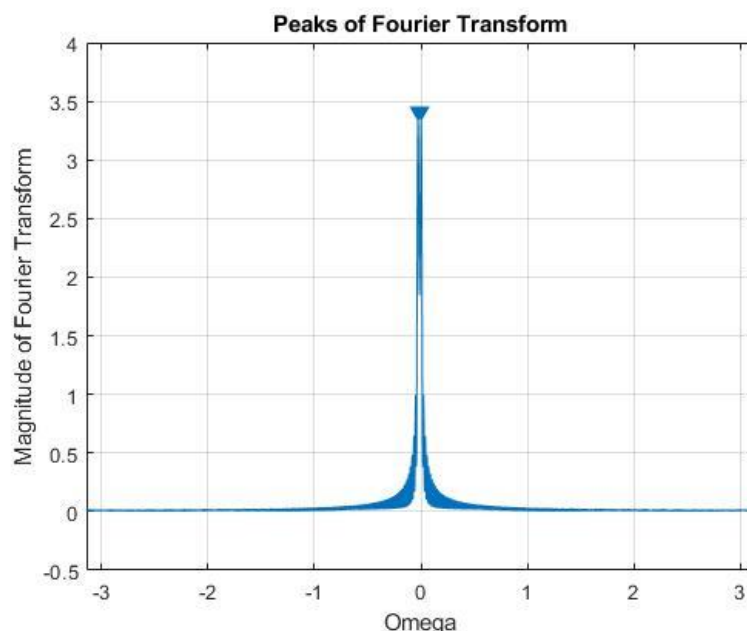
مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.6 \leq a \leq 7.65$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43^\circ$  درجه در نظر گرفت.



۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگاه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.05 \leq a \leq 0.1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۰/۴۳ درجه در نظر گرفت.

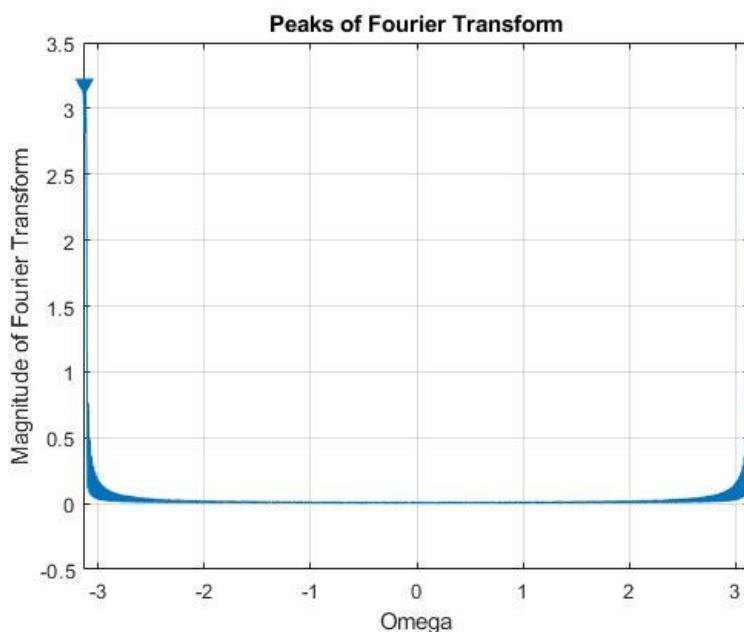


۸) افزایش دقت محور فرکانسی، به منزله افزایش سرعت نمونه‌برداری از تبدیل فوریه گسسته سیگنال مکانی است. لذا باید مقدار Frequency\_Resolution را کاهش دهیم. از آن جایی که امکان بررسی همه مقادیر وجود ندارد، به عنوان نمونه، دو مقدار 0.0001 و 0.00001 را در نظر می‌گیریم.

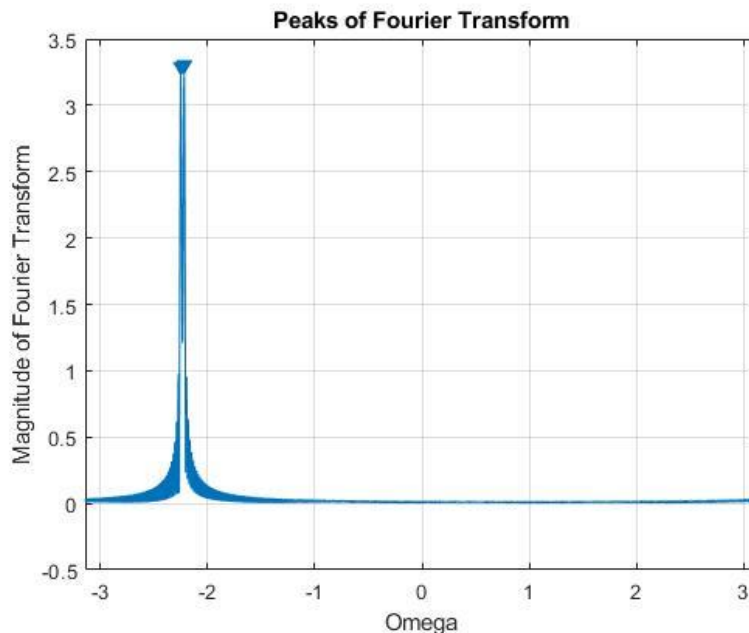
$$\text{Frequency Resolution} = 0.0001$$

وجود نویز: ابتدا فرض می‌کنیم نویز وجود داشته باشد.

صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(10, 0.12)$  یعنی در زاویه  $0.68^\circ$  درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(10, a)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  با ثابت نگه داشتن مقدار  $X$  جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $1.175 \leq a \leq 1.225$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $6/84^\circ$  درجه در نظر گرفت.

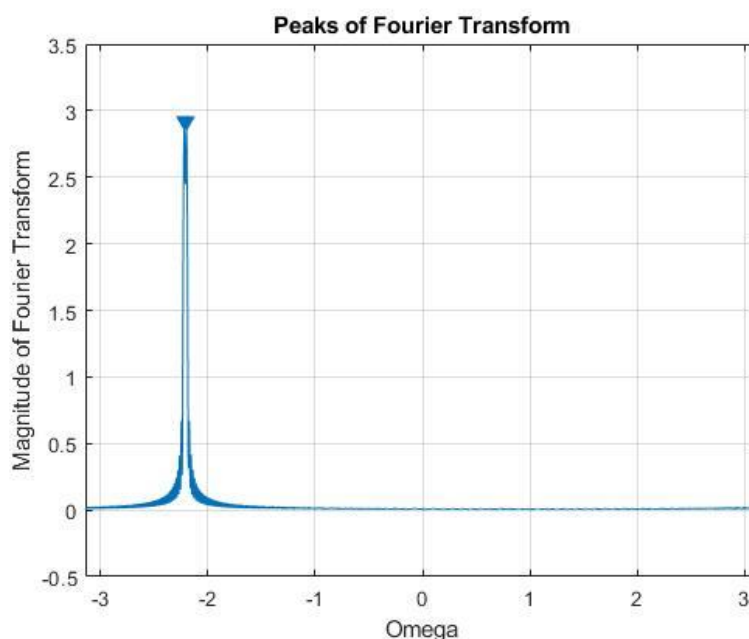


$45^\circ$  درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد. مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(7.5, 7.5)$  قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(7.5, a)$  و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  با ثابت نگه داشتن مقدار  $X$  جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.325 \leq a \leq 7.375$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.58^\circ$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگاه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

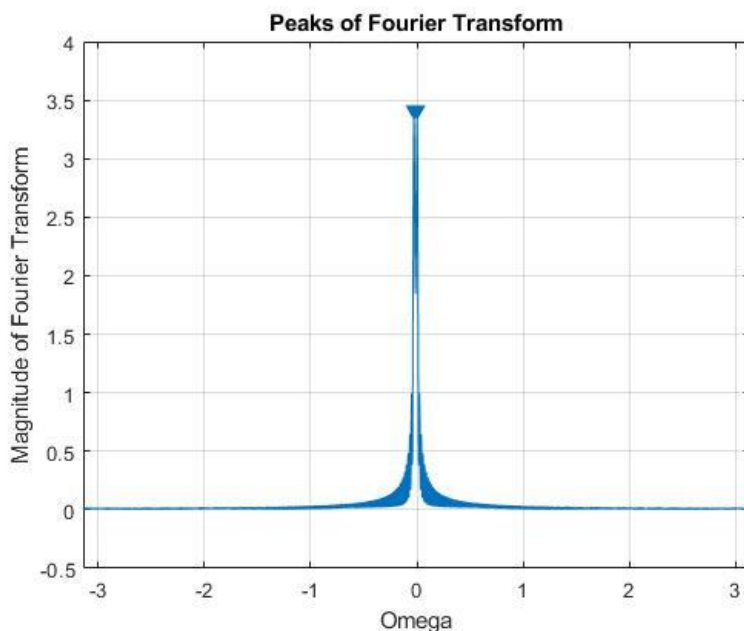
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.6 \leq a \leq 7.65$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43^\circ$  درجه در نظر گرفت.



$90^\circ$  درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگاه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

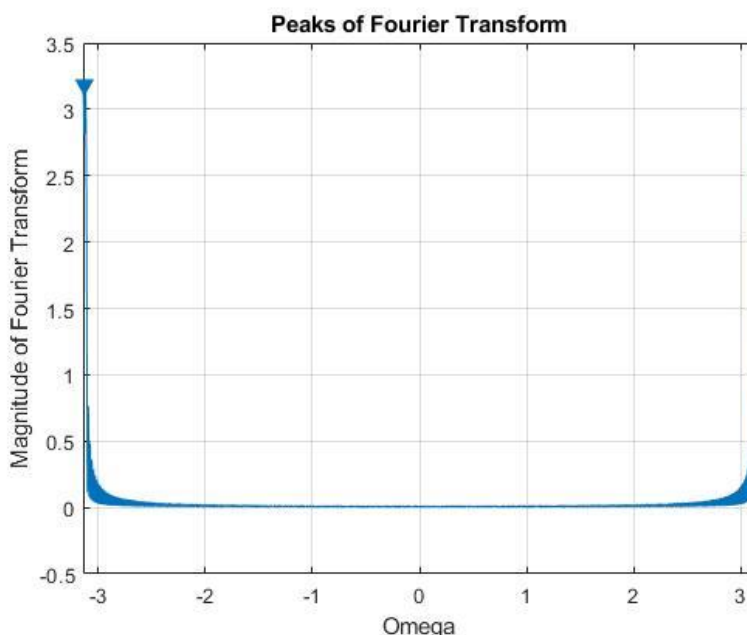
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.05 \leq a \leq 0.1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43^\circ$  درجه در نظر گرفت.



عدم وجود نویز: حال آزمایش را در نبود نویز تکرار می‌کنیم: برای این کار در تابع Data\_Generation\_for\_Students دو خط مربوط به اضافه کردن نویز به سیگنال اصلی را کامنت می‌کنیم.

صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(10, 0.12)$  یعنی در زاویه  $0.68^\circ$  درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(10, a)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

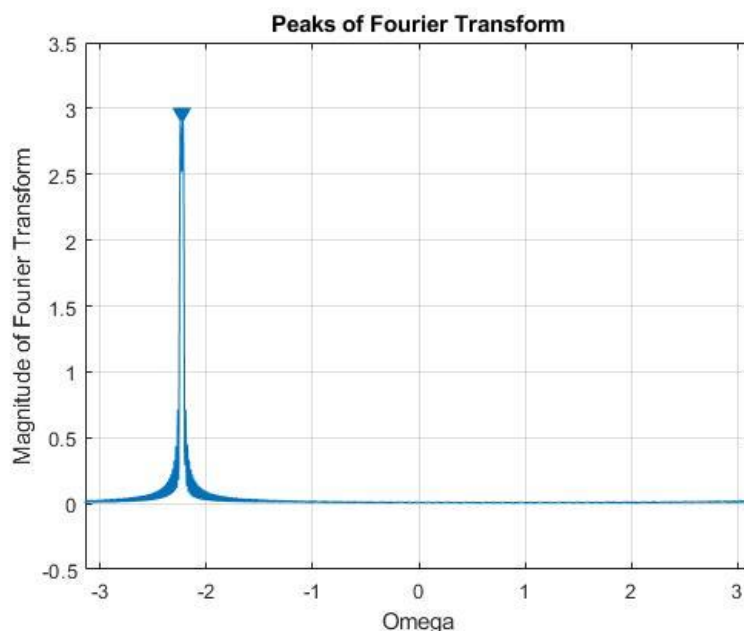
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $1.15 \leq a \leq 1.2$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $6.75^\circ$  درجه در نظر گرفت.



$45^\circ$  درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد.

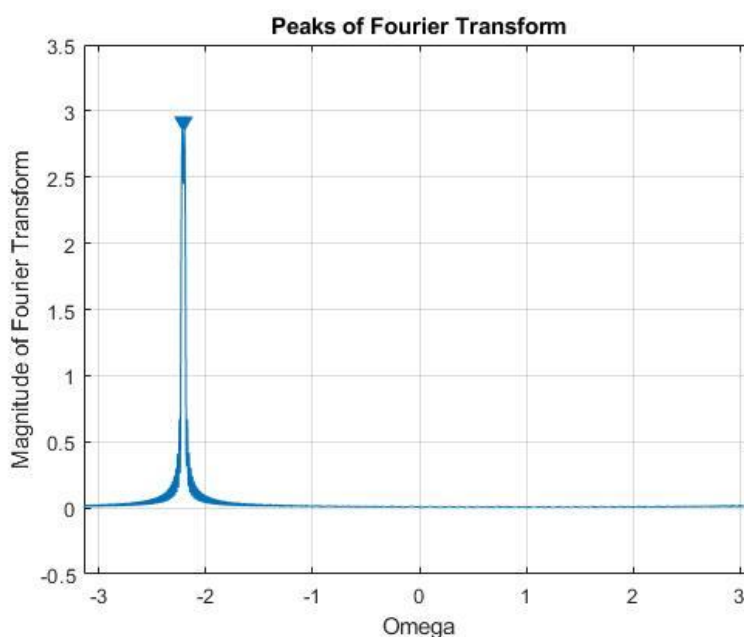
مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.4 \leq a \leq 7.35$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.50^\circ$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

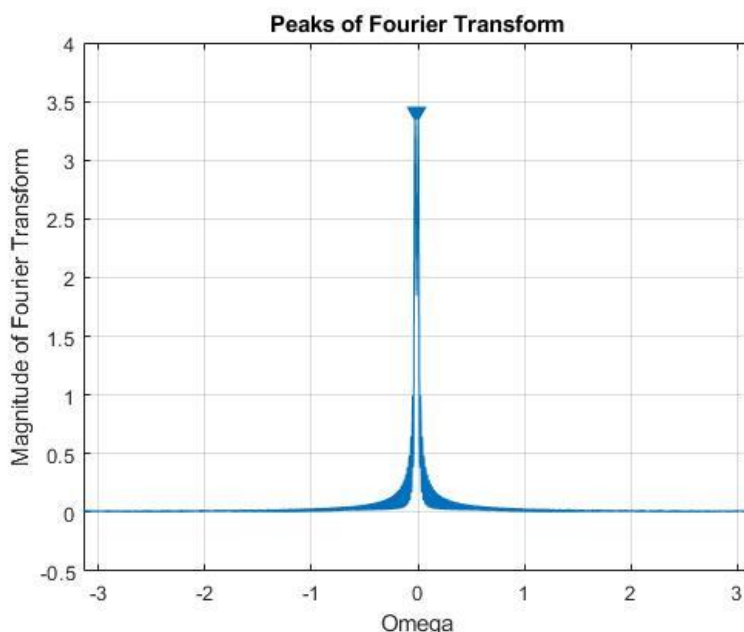
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.65 \leq a \leq 7.6$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43^\circ$  درجه در نظر گرفت.



۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.05 \leq a \leq 0.1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43^\circ$  درجه در نظر گرفت.

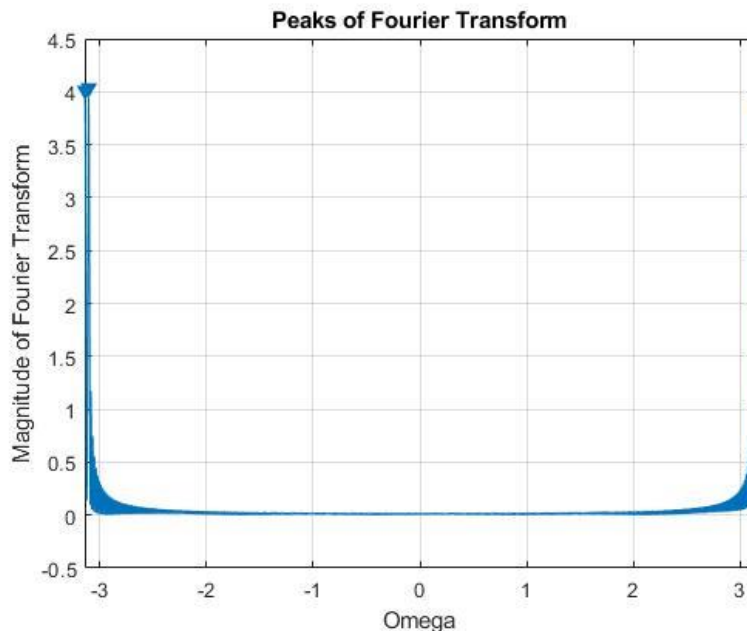


Frequency Resolution = 0.00001

وجود نویز: ابتدا فرض می‌کنیم نویز وجود داشته باشد.

صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (10,0.02) یعنی در زاویه  $0.11^\circ$  درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (10,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

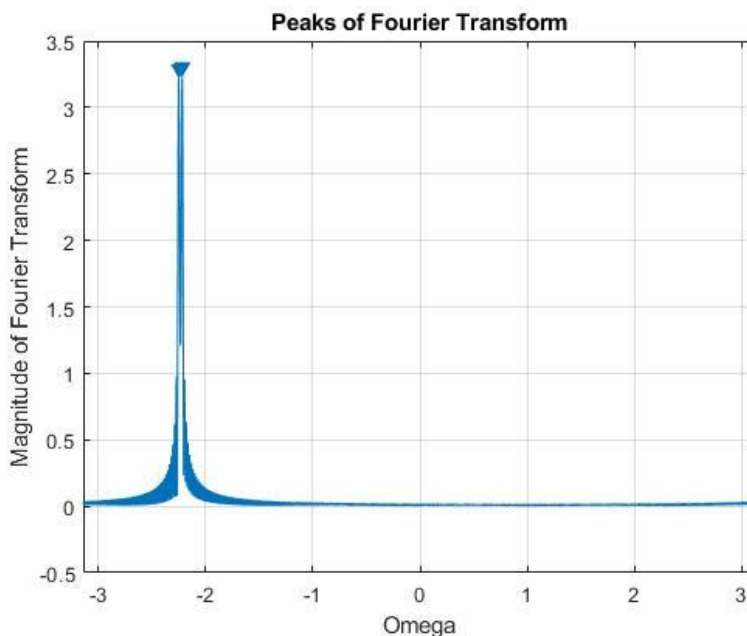
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.975 \leq a \leq 1.025$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $5/71^\circ$  درجه در نظر گرفت.



۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد.

مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

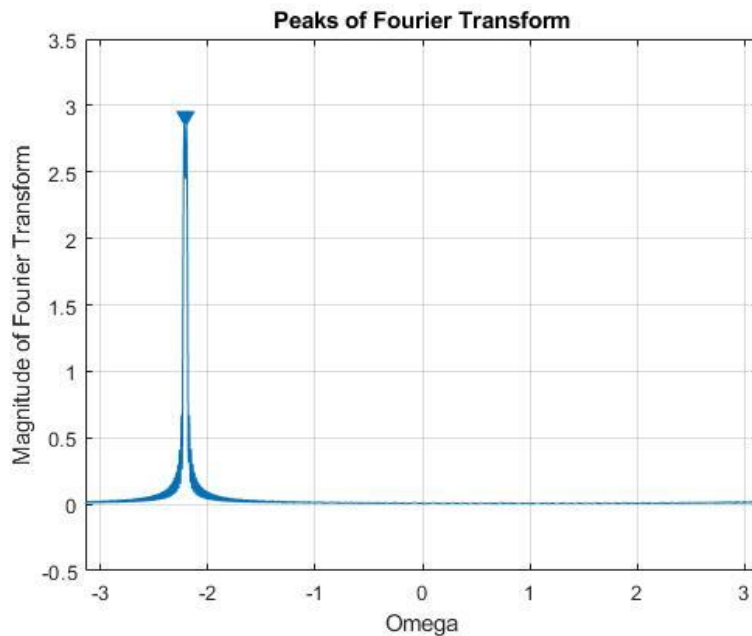
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.4 \leq a \leq 7.35$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.49$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.65 \leq a \leq 7.6$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.43$  درجه در نظر گرفت.

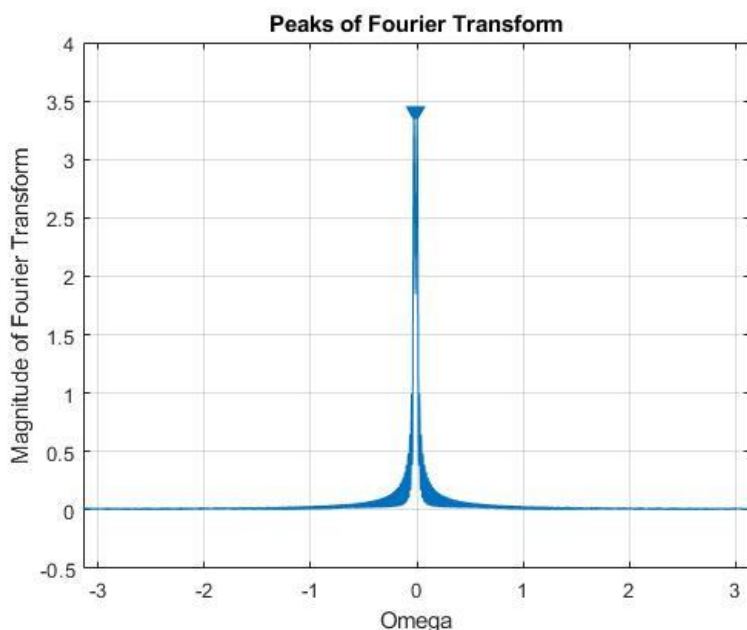




۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(0,10)$  قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(a,10)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  با ثابت نگه داشتن مقدار  $X$  جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

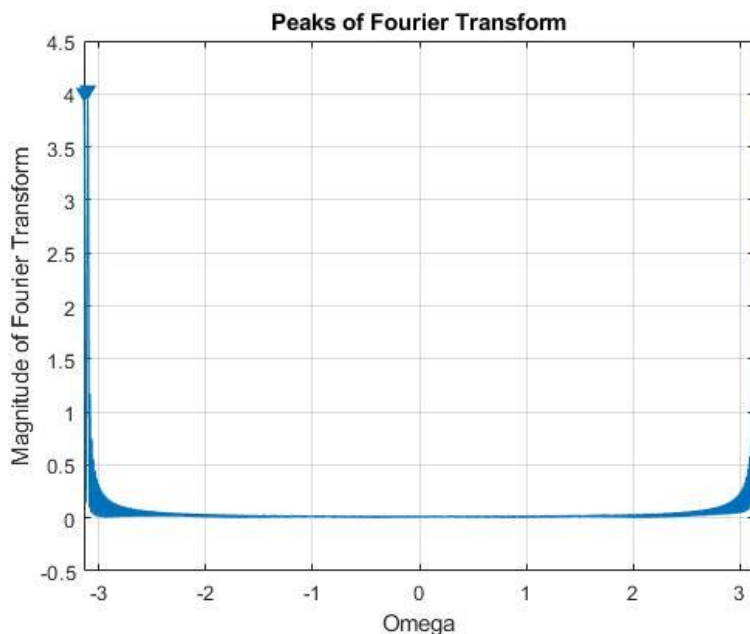
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.05 \leq a \leq 0.1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $43^\circ$  درجه در نظر گرفت.



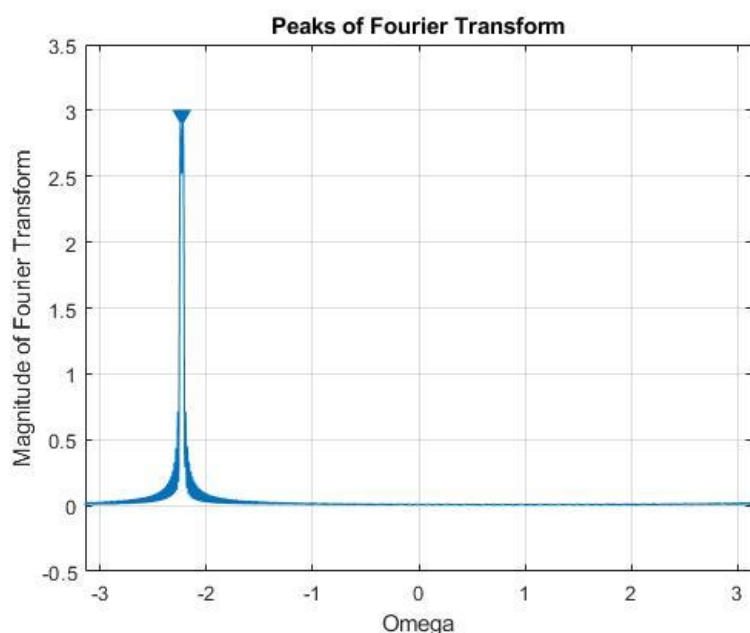
عدم وجود نویز: حال آزمایش را در نبود نویز تکرار می‌کنیم: برای این کار در تابع `Data_Generation_for_Students` دو خط مربوط به اضافه کردن نویز به سیگنال اصلی را کامنت می‌کنیم.

صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت

ساکن در مختصات (10,0.02) یعنی در زاویه ۰/۱۱ درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (10,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.95 \leq a \leq 1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۵/۵۶ درجه در نظر گرفت.

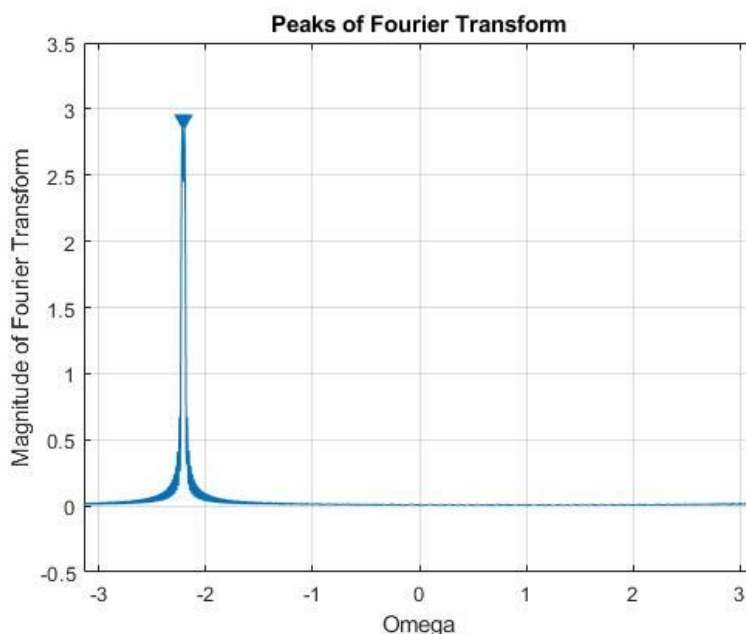


۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد. مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.375 \leq a \leq 7.425$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۰/۴۲ درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

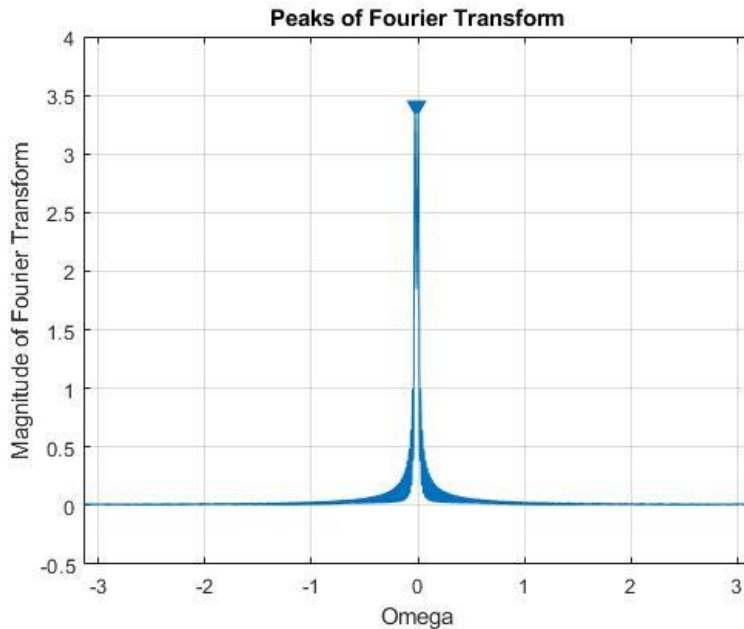
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.6 \leq a \leq 7.65$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.42^\circ$  درجه در نظر گرفت.



۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.05 \leq a \leq 0.1$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.42^\circ$  درجه در نظر گرفت.



به طور کلی به جز زاویه صفر در زاویه‌های دیگر، از جایی به بعد افزایش Frequency Resolution تاثیر چندانی در کاهش خطا ندارد و دقت به مقدار حدی خود که عددی در حدود  $0.4^\circ$  درجه است، می‌رسد.

۹) یک شرط لازم برای اینکه رادار بتواند دو جسم (دو قله) را تشخیص دهد، این است که Frequency Resolution حداقل از نصف اختلاف فرکانس‌هایی که قله‌ها در آن‌ها اتفاق می‌افتند، کوچکتر باشد تا در بهترین حالت بتواند بین نمونه‌های مربوط به دو قله، حداقل یک نمونه دیگر بردارد. این نمونه نشانه این است که در این مکان دو قله وجود دارد.

$$\text{Frequency Resolution} < \frac{1}{2} |\omega_{peak_i} - \omega_{peak_j}|$$

$$\text{Frequency Resolution} < \frac{\pi}{2} |\cos(\theta_i) - \cos(\theta_j)|$$

می‌توان به گونه دیگری نیز مسئله را بررسی کرد. با توجه به نمودارهای بدست آمده یک شرط کافی برای اینکه رادار بتواند دو جسم (دو قله) را تشخیص دهد، این است که اختلاف فرکانس‌هایی که قله‌ها در آن‌ها اتفاق می‌افتند، بیشتر از نصف مجموع پهناهای peak های اصلی دو سیگنال باشد تا مطمئن باشیم که peak های اصلی دو سیگنال تداخل ندارند.

$$|\omega_{peak_i} - \omega_{peak_j}| > \frac{2 * \pi}{M}$$

$$|\cos(\theta_i) - \cos(\theta_j)| > \frac{2}{M}$$

پس اختلاف زاویه‌های دو جسم برای اینکه رادار بتواند هر دو را تشخیص دهد، باید از مقداری وابسته با زاویه آن دو بیشتر باشد. این مقدار تعیین کننده دقت رادار است.

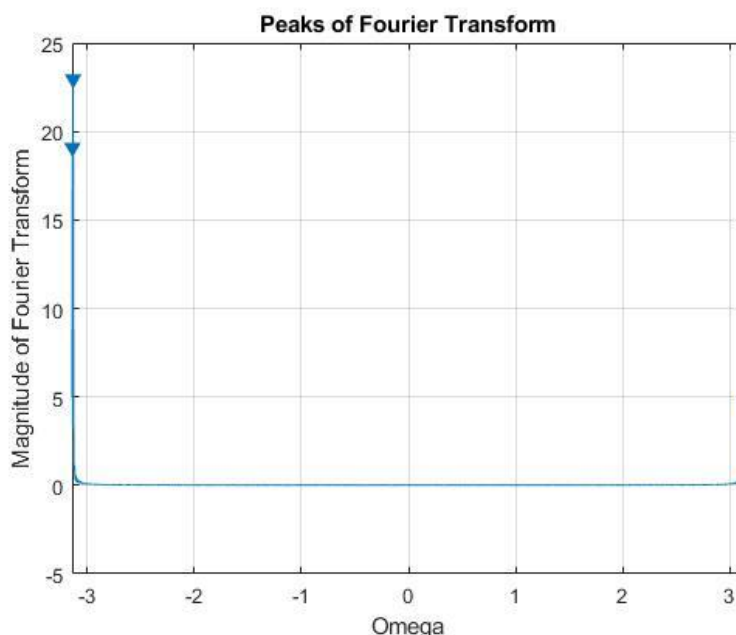
۱۰) افزایش تعداد آنتن‌ها، به منزله افزایش طول سیگنال زمانی است. لذا باید مقدار  $M$  را افزایش دهیم. از آن جایی که امکان بررسی همه مقادیر وجود ندارد، به عنوان نمونه، دو مقدار 2501 و 10001 را در نظر می‌گیریم.

$M = 2501$

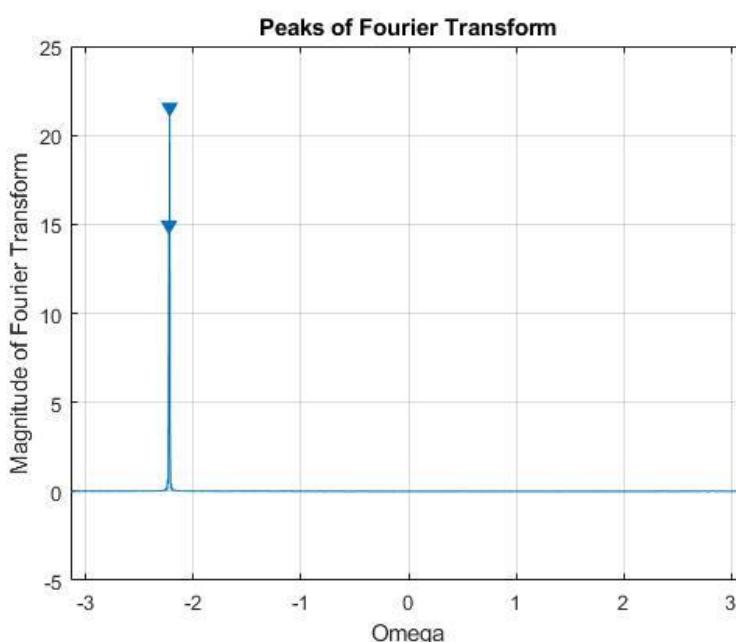
وجود نویز: ابتدا فرض می‌کنیم نویز وجود داشته باشد.

صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(10, 0.35)$  یعنی در زاویه ۲ درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(10, a)$

و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.725 \leq a \leq 0.775$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $4/28$  درجه در نظر گرفت.



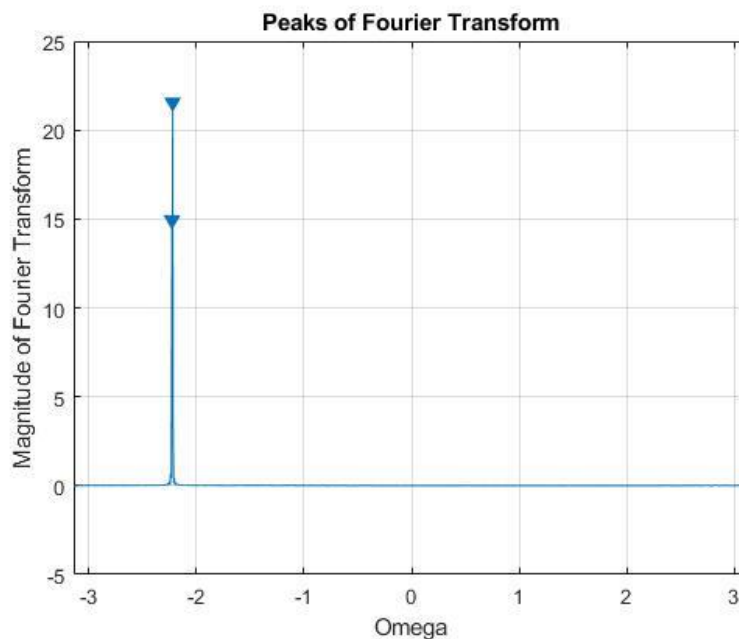
۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد. مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.425 \leq a \leq 7.475$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0/20$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط

متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

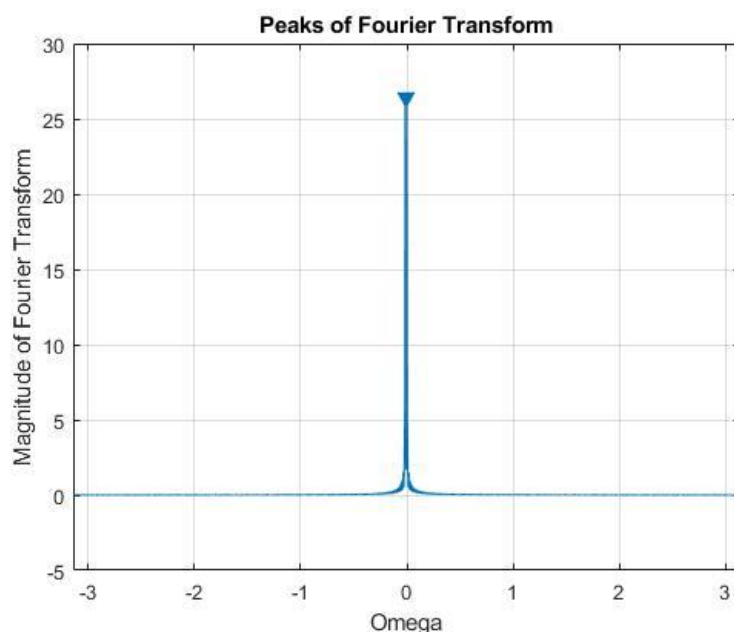
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.525 \leq a \leq 7.575$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.19^\circ$  درجه در نظر گرفت.



$90^\circ$  درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(0,10)$  قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(a,10)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

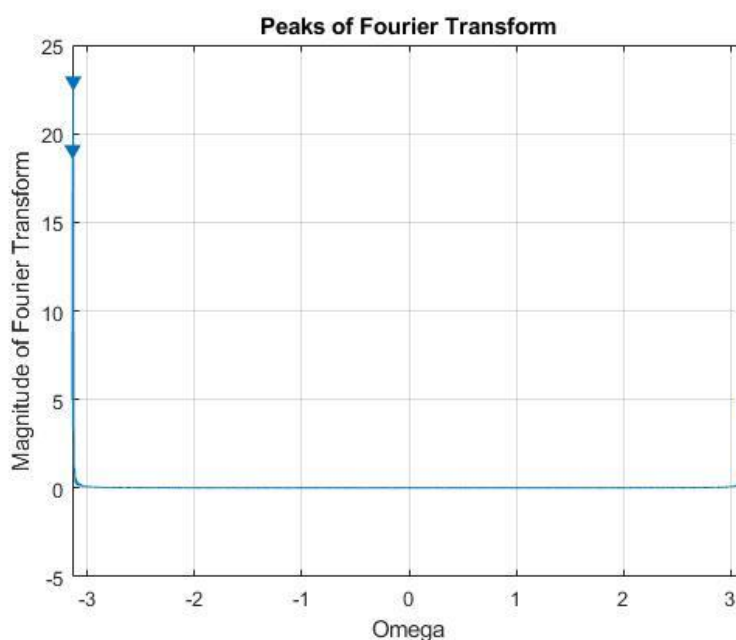
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.01 \leq a \leq 0.025$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.10^\circ$  درجه در نظر گرفت.



عدم وجود نویز: حال آزمایش را در نبود نویز تکرار می‌کنیم: برای این کار در تابع Data\_Generation\_for\_Students دو خط مربوط به اضافه کردن نویز به سیگنال اصلی را کامنت می‌کنیم.

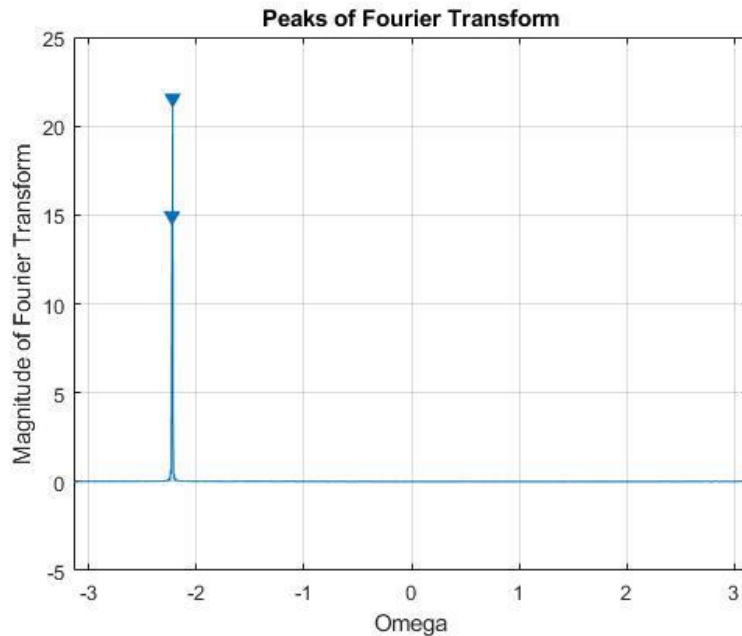
صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(10, 0.35)$  یعنی در زاویه ۲ درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(10, a)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  با ثابت نگه داشتن مقدار  $X$  جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.7 \leq a \leq 0.75$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $4/14$  درجه در نظر گرفت.



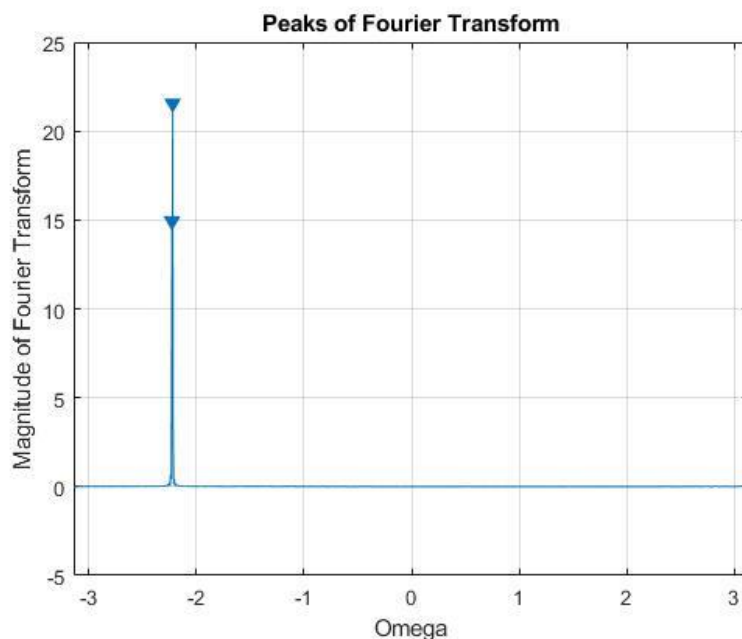
۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد. مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(7.5, 7.5)$  قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(7.5, a)$  و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور  $X$  با ثابت نگه داشتن مقدار  $X$  جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.425 \leq a \leq 7.475$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0/18$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.525 \leq a \leq 7.575$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.18^\circ$  درجه در نظر گرفت.

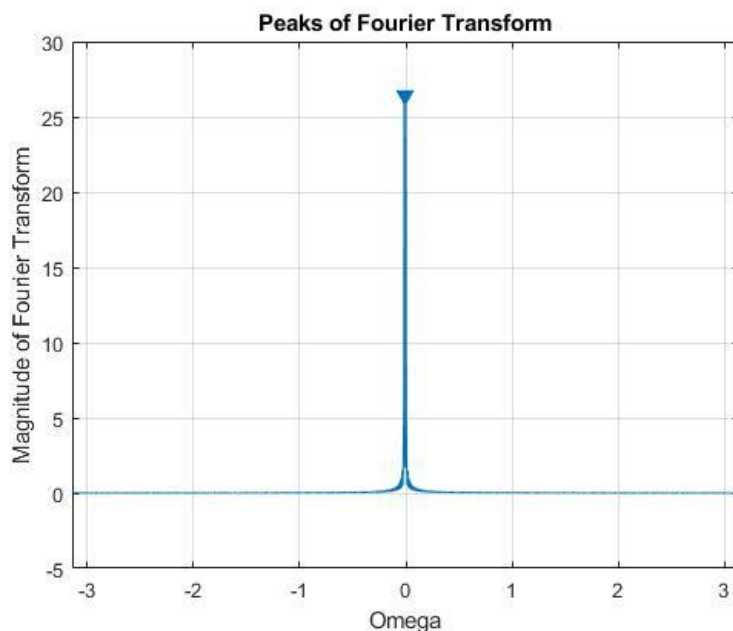


$90^\circ$  درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه‌داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.



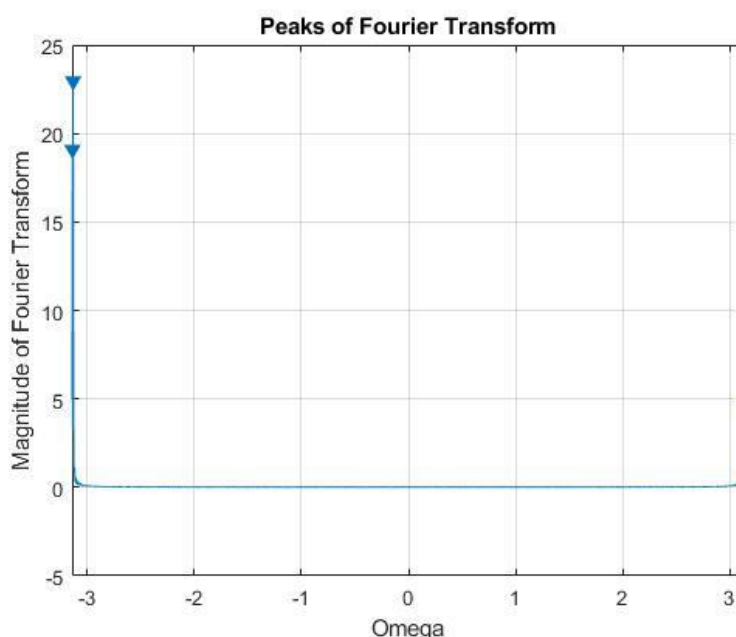
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.01 \leq a \leq 0.025$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.1^\circ$  درجه در نظر گرفت.



$$M = 10001$$

وجود نویز: ابتدا فرض می‌کنیم نویز وجود داشته باشد.

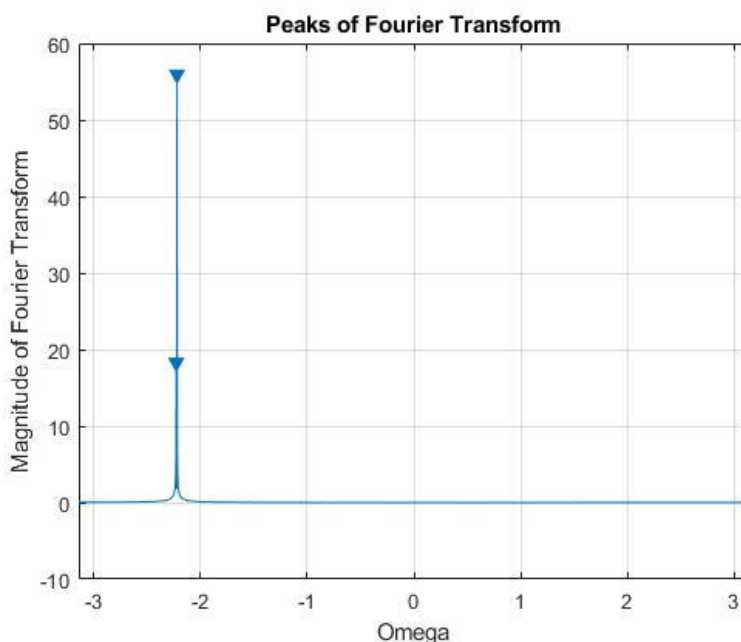
صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات  $(10, 0.03)$  یعنی در زاویه  $1/71^\circ$  درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات  $(10, a)$  و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.625 \leq a \leq 0.675$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $3/71^\circ$  درجه در نظر گرفت.



$45^\circ$  درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد.

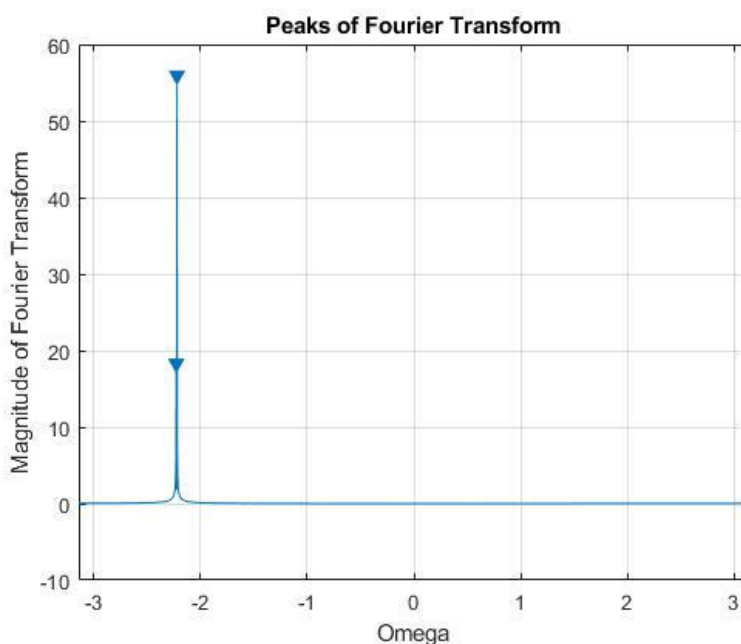
مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.45 \leq a \leq 7.5$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.15^\circ$  درجه در نظر گرفت.



مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5,7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

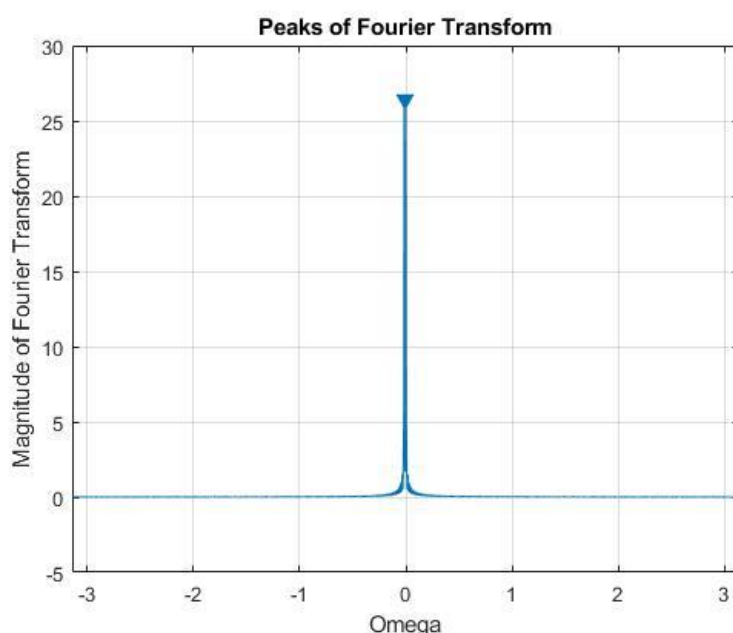
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.5 \leq a \leq 7.55$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $0.14^\circ$  درجه در نظر گرفت.



۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

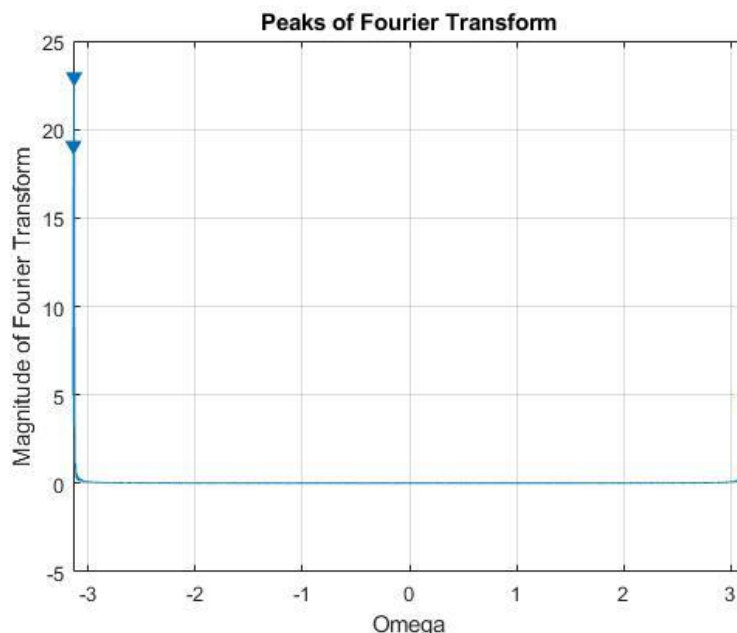
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.01 \leq a \leq 0.025$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۰/۱۰ درجه در نظر گرفت.



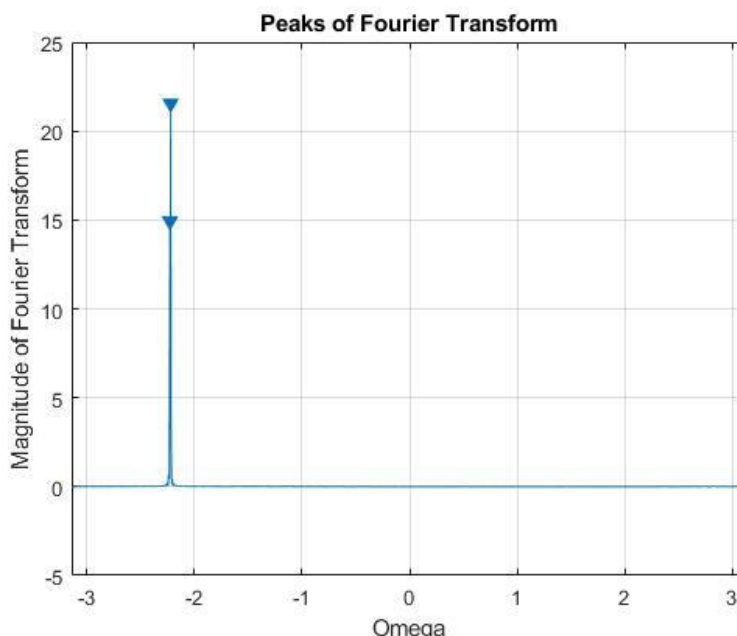
عدم وجود نویز: حال آزمایش را در نبود نویز تکرار می‌کنیم: برای این کار در تابع Data\_Generation\_for\_Students دو خط مربوط به اضافه کردن نویز به سیگنال اصلی را کامنت می‌کنیم.

صفر درجه: چون زاویه بین خطوط متصل کننده مکان اجسام و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X همواره در بازه  $(0, \pi)$  است، برای این زاویه فقط امکان نزدیک شدن از مقادیر بزرگتر وجود دارد. برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، از آن جایی که رادار زاویه‌های خیلی نزدیک به صفر را تشخیص نمی‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (10,0.3) یعنی در زاویه  $1/71$  درجه قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (10,a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

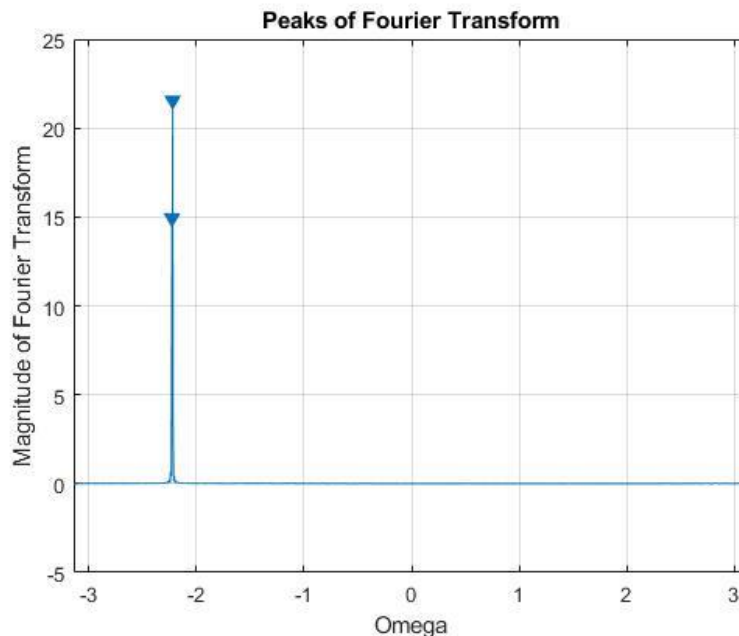
با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.6 \leq a \leq 0.65$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را  $3/56$  درجه در نظر گرفت.



۴۵ درجه: برای این زاویه امکان نزدیک شدن هم از مقادیر کوچکتر و هم از مقادیر بزرگتر وجود دارد. مقادیر کوچکتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5, 7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5, a) و افزایش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.45 \leq a \leq 7.5$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۰/۱۵ درجه در نظر گرفت.



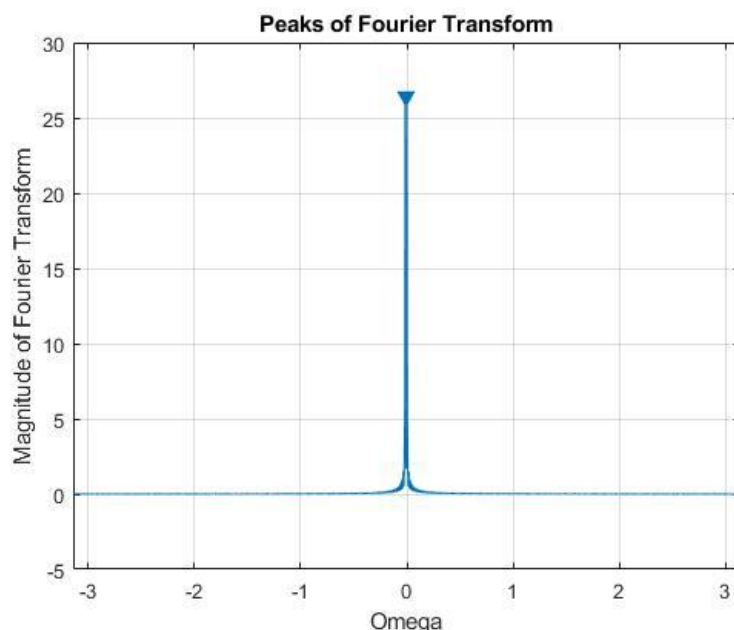
مقادیر بزرگتر: برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (7.5, 7.5) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (7.5, a) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم. با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $7.5 \leq a \leq 7.55$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۰/۱۴ درجه در نظر گرفت.



۹۰ درجه: برای این زاویه به علت تقارن نزدیک شدن از مقادیر کوچکتر یا بزرگتر فرقی ندارد. بنابراین فقط مقادیر کوچکتر را بررسی می‌کنیم.

برای بدست آوردن کمترین زاویه‌ای که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، جسم اول را به صورت ساکن در مختصات (0,10) قرار می‌دهیم و سپس با قرار دادن جسم دوم در مختصات (a,10) و کاهش تدریجی زاویه بین خط متصل کننده مکان جسم دوم و مبدا مختصات و جهت مثبت محور X با ثابت نگه داشتن مقدار X جسم دوم، کمترین زاویه‌ای را که رادار دو جسم را تشخیص می‌دهد، بدست می‌آوریم.

با انجام آزمایش‌های متعدد در می‌یابیم، کمترین زاویه بسته به میزان نویز در  $0.01 \leq a \leq 0.025$  رخ می‌دهد. پس می‌توان به طور تقریبی کمترین زاویه را ۱۰/۰ درجه در نظر گرفت.



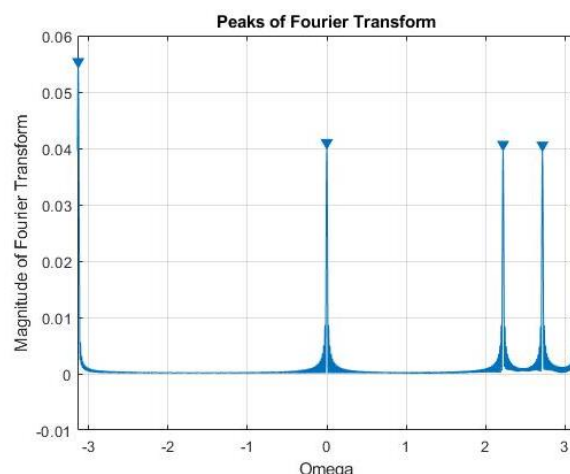
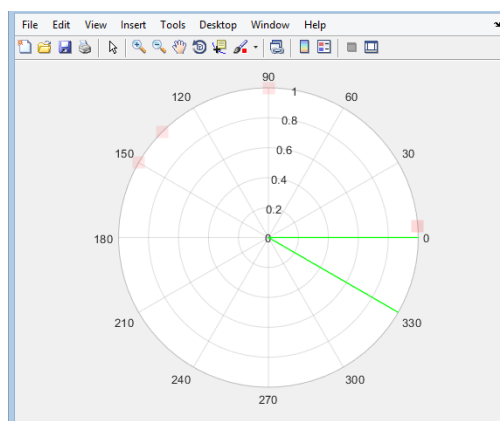
به طور کلی به جز زاویه صفر در زاویه‌های دیگر، از جایی به بعد افزایش M تاثیر چندانی در کاهش خطا ندارد و دقت به مقدار حدی خود که عددی در حدود ۱/۰ درجه است، می‌رسد.

۱۱) اندک تغییراتی در کد اعمال می‌کنیم تا به جای این که دیتا را از ورودی بگیرد آن را از Data\_1 بخواند. همچنین اندکی تابع Save\_Results را تغییر می‌دهیم تا خروجی با فرمت دلخواه چاپ شود. خروجی به صورت زیر خواهد بود:

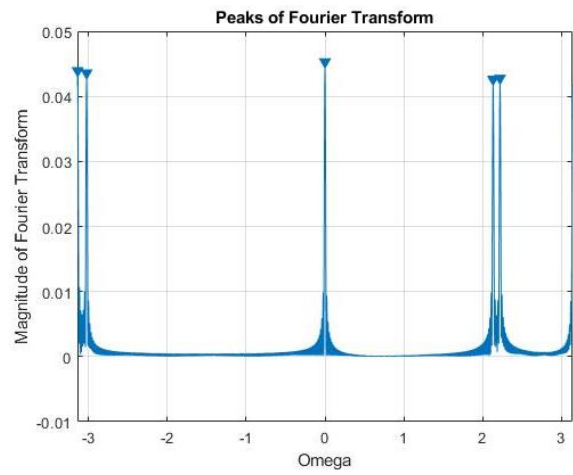
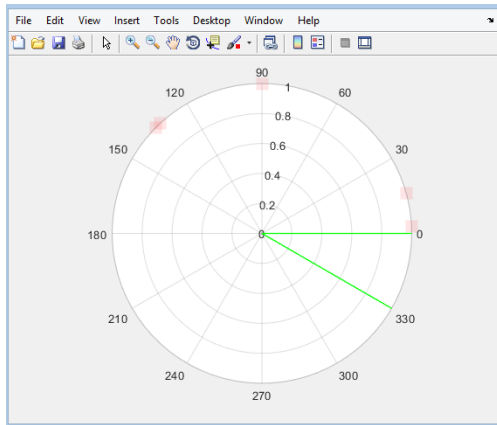
1:(4.439222,0.150000)(90.000000,0.100000)(134.991348,0.100000)(149.882705,0.100000)  
2:(2.562559,0.100000)(15.634599,0.100000)(90.000000,0.100000)(132.765549,0.100000)(134.991348,0.100000)  
3:(2.562559,0.150000)(21.874833,0.100000)(90.000000,0.100000)(122.343911,0.100000)(134.991348,0.150000)  
4:(2.562559,0.150000)(25.973069,0.150000)(90.000000,0.200000)(115.658099,0.150000)(134.991348,0.200000)  
5:(2.562559,0.250000)(28.836453,0.250000)(90.000000,0.250000)(111.161622,0.200000)(134.991348,0.200000)  
6:(2.562559,0.300000)(31.018606,0.250000)(90.000000,0.250000)(107.998976,0.250000)(134.991348,0.250000)  
7:(3.624307,0.300000)(32.648079,0.300000)(90.000000,0.300000)(105.604770,0.300000)(134.991348,0.300000)  
8:(3.624307,0.350000)(33.901262,0.350000)(90.000000,0.350000)(103.768529,0.350000)(134.991348,0.350000)  
9:(3.624307,0.400000)(35.015185,0.400000)(90.000000,0.450000)(102.298218,0.450000)(134.991348,0.400000)  
10:(4.439222,0.450000)(35.904069,0.450000)(90.000000,0.500000)(101.127913,0.500000)(134.991348,0.450000)  
11:(5.731968,0.550000)(36.582456,0.550000)(90.000000,0.500000)(100.136857,0.500000)(134.991348,0.500000)  
12:(7.252247,0.550000)(37.250190,0.550000)(90.000000,0.600000)(99.323002,0.550000)(134.991348,0.550000)  
13:(9.598638,0.600000)(37.814489,0.600000)(90.000000,0.650000)(98.626927,0.600000)(134.991348,0.600000)  
14:(14.069868,0.700000)(38.279322,0.650000)(90.000000,0.650000)(98.047846,0.650000)(134.991348,0.650000)  
15:(26.619730,0.700000)(38.647774,0.750000)(90.000000,0.750000)(97.527382,0.750000)(134.991348,0.700000)  
16:(39.013287,0.750000)(90.000000,0.850000)(97.065273,0.800000)(134.991348,0.750000)  
17:(39.375944,0.850000)(90.000000,0.800000)(96.661307,0.800000)(134.991348,0.800000)(153.380270,0.800000)  
18:(39.646111,0.900000)(90.000000,0.900000)(96.315316,0.850000)(134.991348,0.900000)(165.930132,0.900000)  
19:(39.914749,0.900000)(90.000000,0.950000)(95.969555,0.950000)(134.991348,0.900000)(170.401362,0.900000)  
20:(40.181891,0.950000)(90.000000,0.950000)(95.681589,0.950000)(134.991348,0.950000)(172.747753,0.950000)  
21:  
22:(40.535802,1.000000)(90.000000,1.000000)(95.163607,1.000000)(134.991348,0.950000)(175.560778,0.950000)  
23:(40.711802,0.900000)(90.000000,0.900000)(94.933531,0.900000)(134.991348,0.950000)(176.375693,0.900000)  
24:(40.887176,0.850000)(90.000000,0.900000)(94.761027,0.850000)(134.991348,0.850000)(176.375693,0.850000)  
25:(41.061931,0.800000)(90.000000,0.800000)(94.531088,0.800000)(134.991348,0.850000)(176.375693,0.800000)  
26:(41.236078,0.800000)(90.000000,0.750000)(94.358682,0.750000)(134.991348,0.800000)(177.437441,0.800000)  
27:(41.322925,0.750000)(90.000000,0.750000)(94.186316,0.750000)(134.991348,0.750000)(177.437441,0.750000)  
28:(41.496171,0.700000)(90.000000,0.700000)(94.071426,0.700000)(134.991348,0.650000)(177.437441,0.700000)  
29:(41.582573,0.600000)(90.000000,0.600000)(93.899122,0.600000)(134.991348,0.650000)(177.437441,0.650000)  
30:(41.668827,0.550000)(90.000000,0.550000)(93.784272,0.550000)(134.991348,0.600000)(177.437441,0.550000)  
31:(41.840901,0.500000)(90.000000,0.550000)(93.669438,0.550000)(134.991348,0.550000)(177.437441,0.500000)  
32:(41.926722,0.450000)(90.000000,0.500000)(93.554618,0.500000)(134.991348,0.450000)  
33:(42.012400,0.400000)(90.000000,0.450000)(93.439813,0.400000)(134.991348,0.450000)  
34:(42.097935,0.350000)(90.000000,0.350000)(93.382415,0.350000)(134.991348,0.400000)  
35:(42.183330,0.300000)(90.000000,0.300000)(93.267630,0.300000)(134.991348,0.350000)  
36:(42.268584,0.250000)(90.000000,0.250000)(93.152859,0.250000)(134.991348,0.300000)  
37:(42.268584,0.200000)(90.000000,0.250000)(93.095478,0.250000)(134.991348,0.250000)  
38:(42.353700,0.200000)(90.000000,0.200000)(92.980725,0.200000)(134.991348,0.150000)  
39:(42.438676,0.150000)(90.000000,0.150000)(92.923353,0.150000)(134.991348,0.100000)  
40:(42.523515,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.865984,0.100000)(134.991348,0.100000)  
41:(42.523515,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.808618,0.100000)(134.991348,0.100000)  
42:(42.608218,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.693894,0.100000)(134.991348,0.100000)  
43:(42.692784,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.636536,0.100000)(134.991348,0.100000)  
44:(42.692784,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.579181,0.100000)(134.991348,0.100000)  
45:(42.777215,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.521828,0.100000)(134.991348,0.100000)  
46:(42.777215,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.464478,0.100000)(134.991348,0.100000)  
47:(42.861512,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.407131,0.100000)(134.991348,0.100000)  
48:(42.945676,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.407131,0.100000)(134.991348,0.100000)  
49:(42.945676,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.349786,0.100000)(134.991348,0.100000)  
50:(43.029707,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.292443,0.100000)(134.991348,0.100000)  
51:(43.029707,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.235102,0.100000)(134.991348,0.100000)  
52:(43.029707,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.177764,0.100000)(134.991348,0.100000)  
53:(43.113606,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.177764,0.100000)(134.991348,0.100000)  
54:(43.113606,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.120428,0.100000)(134.991348,0.100000)  
55:(43.197374,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.063094,0.100000)(134.991348,0.100000)  
56:(43.197374,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.005762,0.100000)(134.991348,0.100000)  
57:(43.197374,0.100000)(90.000000,0.100000)(92.005762,0.100000)(134.991348,0.100000)  
58:(43.281012,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.948432,0.100000)(134.991348,0.100000)  
59:(43.281012,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.948432,0.100000)(134.991348,0.100000)  
60:(43.281012,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.891104,0.100000)(134.991348,0.100000)  
61:(43.364520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.891104,0.100000)(134.991348,0.100000)  
62:(43.364520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.833778,0.100000)(134.991348,0.100000)  
63:(43.364520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.833778,0.100000)(134.991348,0.100000)  
64:(43.447900,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.776454,0.100000)(134.991348,0.100000)  
65:(43.447900,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.776454,0.100000)(134.991348,0.100000)

66:(43.447900,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.719131,0.100000)(134.991348,0.100000)  
67:(43.447900,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.719131,0.100000)(134.991348,0.100000)  
68:(43.531152,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.719131,0.100000)(134.991348,0.100000)  
69:(43.531152,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.661811,0.100000)(134.991348,0.100000)  
70:(43.531152,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.661811,0.100000)(134.991348,0.100000)  
71:(43.614277,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.604492,0.100000)(134.991348,0.100000)  
72:(43.614277,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.604492,0.100000)(134.991348,0.100000)  
73:(43.614277,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.547174,0.100000)(134.991348,0.100000)  
74:(43.614277,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.547174,0.100000)(134.991348,0.100000)  
75:(43.614277,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.489858,0.100000)(134.991348,0.100000)  
76:(43.697275,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.489858,0.100000)(134.991348,0.100000)  
77:(43.697275,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.489858,0.100000)(134.991348,0.100000)  
78:(43.697275,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.432544,0.100000)(134.991348,0.100000)  
79:(43.697275,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.432544,0.100000)(134.991348,0.100000)  
80:(43.697275,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.432544,0.100000)(134.991348,0.100000)  
81:(43.780148,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.375231,0.100000)(134.991348,0.100000)  
82:(43.780148,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.375231,0.100000)(134.991348,0.100000)  
83:(43.780148,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.375231,0.100000)(134.991348,0.100000)  
84:(43.780148,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.375231,0.100000)(134.991348,0.100000)  
85:(43.780148,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.317919,0.100000)(134.991348,0.100000)  
86:(43.780148,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.317919,0.100000)(134.991348,0.100000)  
87:(43.862896,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.317919,0.100000)(134.991348,0.100000)  
88:(43.862896,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.317919,0.100000)(134.991348,0.100000)  
89:(43.862896,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.260609,0.100000)(134.991348,0.100000)  
90:(43.862896,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.260609,0.100000)(134.991348,0.100000)  
91:(43.862896,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.260609,0.100000)(134.991348,0.100000)  
92:(43.862896,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.260609,0.100000)(134.991348,0.100000)  
93:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.260609,0.100000)(134.991348,0.100000)  
94:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.203300,0.100000)(134.991348,0.100000)  
95:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.203300,0.100000)(134.991348,0.100000)  
96:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.203300,0.100000)(134.991348,0.100000)  
97:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.203300,0.100000)(134.991348,0.100000)  
98:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.203300,0.100000)(134.991348,0.100000)  
99:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.145992,0.100000)(134.991348,0.100000)  
100:(43.945520,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.145992,0.100000)(134.991348,0.100000)  
101:(44.028020,0.100000)(90.000000,0.100000)(91.145992,0.100000)(134.991348,0.100000)

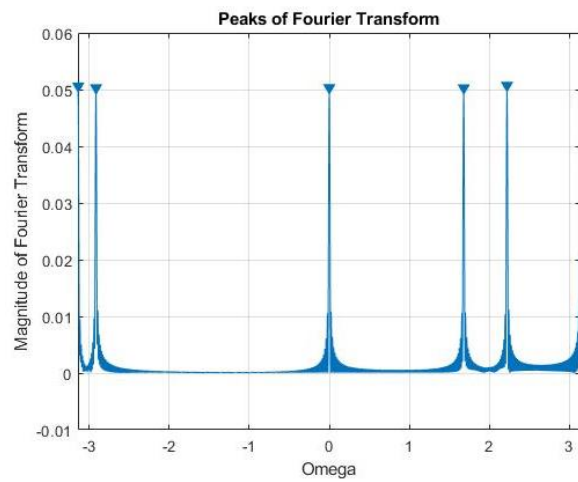
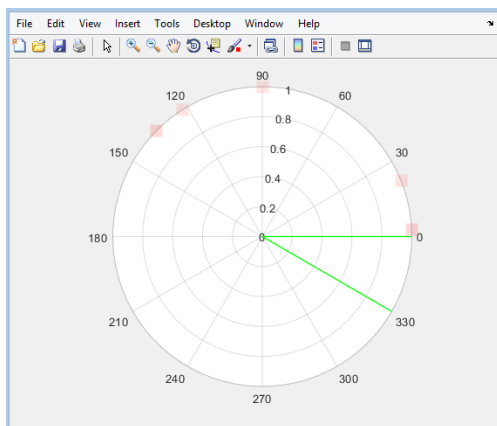
به عنوان مثال ۵ نمونه اول اندازه تبدیل فرکانسی بر حسب فرکانس را برای Data\_1، رسم می کنیم. در این نمودارها قله ها با علامت های کوچک به شکل مثلث کوچک مشخص شده اند.  
لحظه اول:



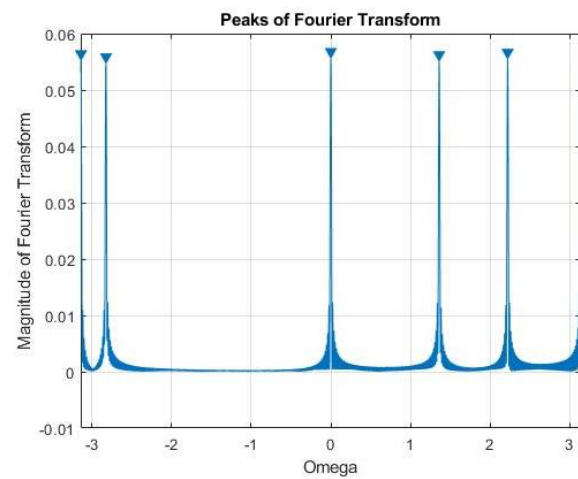
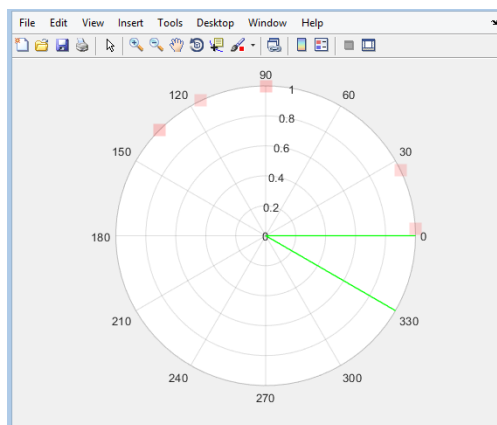
لحظه دوم:



لحظه سوم:

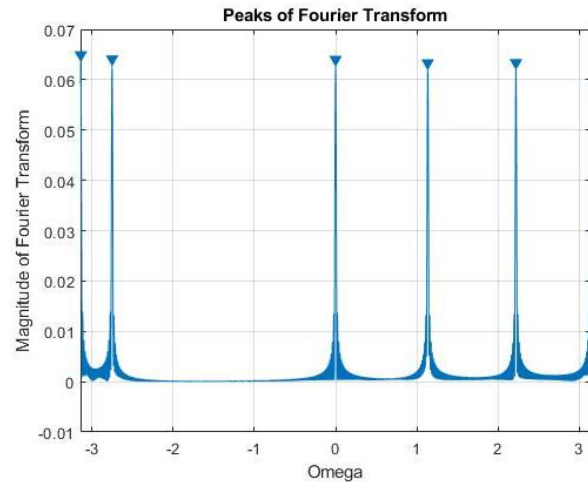
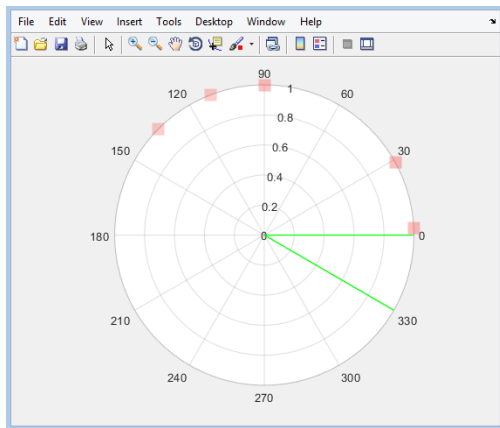


لحظه چهارم:

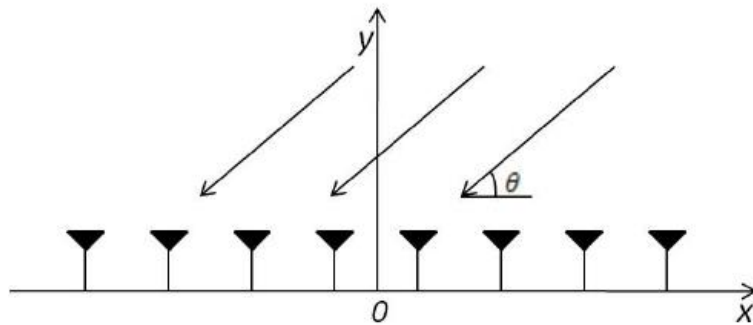


لحظه پنجم:



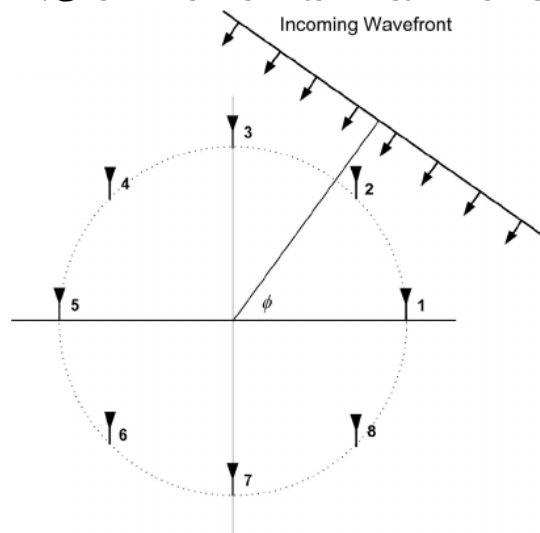


۱۲) روشی که در این پروژه مورد بررسی قرار گرفت، ULAs (uniform linear arrays) نام دارد.

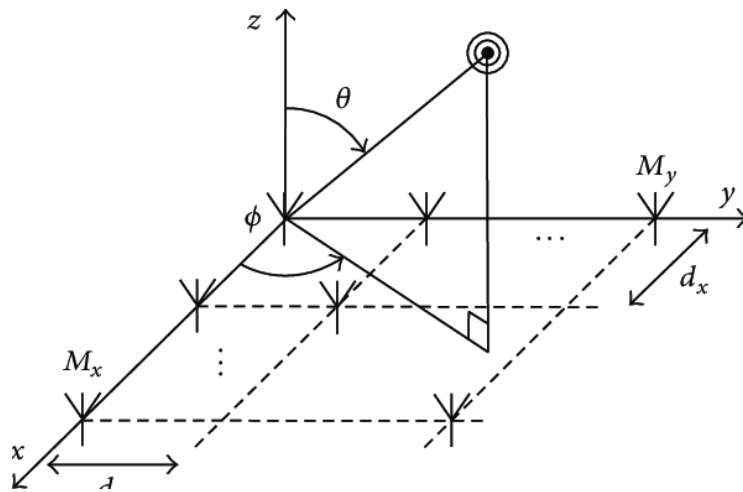


روش‌های بسیار زیادی برای تشخیص زاویه اجسام وجود دارد. تفاوت اصلی این روش‌ها در نحوه چین‌آنها برای تشخیص زاویه نهفته است. در زیر به ترتیب به بررسی حالت‌های مختلف این چیدمان می‌پردازیم:

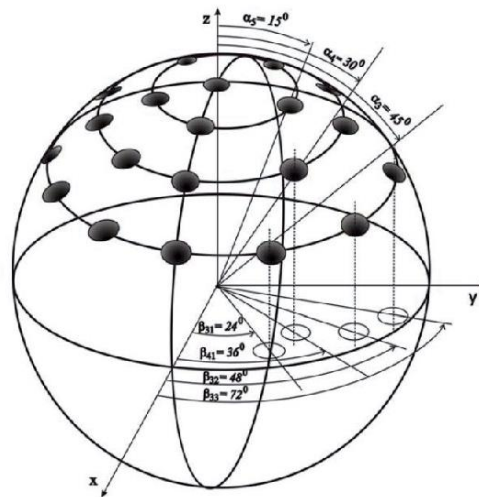
۱- چیدمان دایروی (uniform circular arrays) UCAs: در این روش به جای این که آنتن‌ها را در یک ردیف و به صورت خطی کنار یکدیگر قرار دهند، آن‌ها را به صورت دایروی در کنار یکدیگر می‌چینند.



۲- چیدمان مستطیلی (uniform rectangular arrays) URAs: در این روش آنتن‌ها را به صورت درایه‌های یک ماتریس کنار یکدیگر می‌چینند.



۴- چیدمان کروی (uniform spherical array) USAs: در این روش برای تشخیص دقیق تر زاویه، آنتن‌ها را در ارتفاع‌های مختلف قرار می‌دهند و آن‌ها را بر روی محیط یک کره فرضی می‌چینند.



۴- چیدمان استوانه‌ای (uniform Cylindrical array) UCAs: در این روش آنتن‌ها را بر روی محیط یک استوانه قرار می‌دهند. این چیدمان مانند ترکیبی از چیدمان‌های دایروی در ارتفاع‌های مختلف است. در نتیجه از دقت بهتری برخوردار است.

در انتها لازم به ذکر است که در کدهای که داده شده، چند اشتباه ریز رخ داده بود که در حین انجام پروژه اصلاح گردید. کدهای اصلاح شده همراه با نتایج آپلود شده اند.