

Моделирование влияния помех

от водной поверхности на антенны

Определение движущихся объектов на фоне шумов является фундаментальной и важной задачей многих систем радиолокационного обнаружения. В свою очередь отражение радиоимпульсов от водной поверхности, в частности от моря, приводит к появлению помех, которые не позволяют с помощью антенн обнаружить некоторые низколетящие объекты, в то время как присутствие других может быть зафиксировано только путем умелой настройки органов управления или с помощью некоторой формы обработки сигналов. Прежде чем обсуждать методы, доступные для подавления помех от моря, уместно резюмировать проблему помех с точки зрения предела обнаружения цели на фоне однородной поглощающей среды.

Дмитрий Игнатьев
dimaignatev1997@mail.ru

Григорий Охоткин, д. т. н.
elius@list.ru

Введение

В модели визуального наблюдения оценка и обнаружение объекта на фоне сильно зашумленной окружающей среды — это технически вычислительно сложная задача. Основная цель статьи — идентифицировать объект из мульти-модели фона с использованием вычитания фона и вычитания влияния интерференции и определить методы удаления шума. Для этого нужно обнаружить и извлечь информацию, отраженную от объекта, из фонового изображения.

После обнаружения объекта может появиться большое количество возможных ухудшений качества принимаемой информации. Общий признак ухудшения приема — размытость, движение и шум. Размытие отражения может возникать, когда объект находится за пределами дальности обнаружения, что приводит к потере информации во время экспозиции.

Результаты исследований

Важное применение — полуактивное самонаведение ракет. Ракета имеет приемник и антенну. Ракетный приемник получает два приема для одной и той же радиолокационной передачи: один по пути «радар-ракета» и один по пути «радар-цель-ракета». Различия в задержке и доплеровском сдвиге между ними, угол к цели, а также скорость их изменения могут полностью или частично использоваться для задач самонаведения. Характеристики отражения цели в различных ситуациях различаются.

Мощность помех на входе приемника РЛС

Помехи от моря — функция f_{nPsea1} , предназначена для расчета мощности мешающих отражений от взволнованной поверхности моря P_M на входе приемника РЛС.

Синтаксис: $y = f_{nPsea1}(P_u, G_m, t_v, t_i, p\%, z_{pm}, kd, fi, H_m, H_a, R, b_5, f_b, e_o, c_1, c_2)$.

Входные формальные параметры:

- P_u — импульсная мощность передающего устройства РЛС (P_u);
- G_m — максимальный КНД антенны РЛС (G_m);
- t_v — длина волны РЛС (λ);
- t_i — длительность зондирующего импульса (τ_u);
- $p\%$ — признак поляризации облучающего морскую поверхность электромагнитного поля: $p\% = 1$ — вертикальная поляризация; $p\% = -1$ — горизонтальная поляризация;
- z_{pm} — потери мощности помехи при обработке (η , дБ);
- kd — удельный (погонный) коэффициент затухания (δ , дБ/км);
- fi — ракурс морской волны (ϕ) — угол между направлением облучения и нормалью к фронту морской волны ($\phi = 0$ при облучении навстречу волне);
- H_m — средняя высота морской волны (h_w);
- H_a — высота расположения антенны РЛС над уровнем моря (h_a);
- R — наклонная дальность до цели (R);
- b_5 — ширина ДНА по уровню половинной мощности в вертикальной плоскости ($\Delta\beta_{0,5}$);
- f_b — уровень боковых лепестков ДНА (f_b);
- e_o — угол подъема оси ДНА над плоскостью горизонта (ϵ_0);
- c_1 — характеристический угол ϵ_1 для косекансной ДНА; равен 0 для симметричной ДНА;
- c_2 — ширина ДНА в вертикальной плоскости по уровню половинной мощности $\Delta\epsilon_{0,5}$ для симметричной ДНА.

Ограничения: $h_a < R$. Кроме того, для упрощения принято, что $\epsilon_3 = 2\epsilon_2$.

В программе использованы функции f_{nRcsm1} , $f_{nFg2\#}$, f_{nFd2} и f_{nApt1} .

Математическое описание задачи

В общем случае сигнал помехи от взволнованной поверхности моря складывается из сигнала, принятого по главному лепестку ДНА, и сигнала, принятого по боковым лепесткам ДНА.

Мощность отраженного от взволнованной поверхности моря сигнала, принимаемого по главному лепестку ДНА $P_{MГ}$, составляет:

$$P_{MГ} = \frac{P_n G_m^2 f^2(\epsilon_M) c \tau_n \lambda^2 V_M \sigma_0 K_3}{2(4\pi)^3 R^3 \cos \epsilon_c 10^{0,1\eta}} \sqrt{\frac{\pi}{5,56}} \Delta\beta_{0,5} \left[2\Phi \left(\frac{\sqrt{11,12} \Delta\beta_M}{2\Delta\beta_{0,5}} \right) - 1 \right],$$

а мощность отраженного от взволнованной поверхности моря сигнала, принимаемого по боковым лепесткам ДНА $P_{MБ}$, равна:

$$P_{MБ} = \frac{P_n G_m^2 f^2 c \tau_n \lambda^2 V_M \sigma_{60} K_3}{2(4\pi)^3 R^4 \cos \epsilon_c 10^{0,1\eta}}.$$

V_M — интерференционный множитель, равный:

$$V_M = \begin{cases} 6, & R < R_{кр} \\ 6 \left(\frac{R}{R_{кр}} \right)^{-4}, & R \geq R_{кр} \end{cases}$$

$$R_{кр} = \frac{4h_M h_a}{\lambda}$$

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

C — скорость распространения радиоволн (3×10^8 м/с); k_3 — коэффициент затухания при распространении радиоволн в тропосфере (см. функцию fnFd2); σ_0 и σ_{60} — удельная ЭПР взволнованной морской поверхности при облучении ее главным и боковыми лепестками соответственно; $f(\epsilon_M)$ — значение нормированной ДНА под углом ϵ_M (см. функцию fnApt1); $\Delta\beta_M$ — ширина главного лепестка ДНА в горизонтальной плоскости на уровне угла облучения морской поверхности относительно оси ДНА, показано на рисунке, рассчитываемая в зависимости от типа ДНА по формулам: для симметричной ДНА:

$$P_{MГ} = \frac{P_n G_m^2 f^2(\epsilon_M) c \tau_n \lambda^2 V_M \sigma_0 K_3}{2(4\pi)^3 R^3 \cos \epsilon_c 10^{0,1\eta}} \sqrt{\frac{\pi}{5,56}} \Delta\beta_{0,5} \left[2\Phi \left(\frac{\sqrt{11,12} \Delta\beta_M}{2\Delta\beta_{0,5}} \right) - 1 \right]$$

$$\Delta\beta_{\text{спр}} = \Delta\beta_{f_0} \sqrt{1 - 4 \left(\frac{\epsilon_{\text{спр}}}{\Delta\epsilon_{f_0}} \right)^2}$$

для косяканной ДНА:

$$\Delta\beta_{\text{спр}} = \Delta\beta_{f_0} \sqrt{1 - 4 \left(\frac{\epsilon_{\text{спр}} + \epsilon_0 - (\epsilon_1 + \epsilon_3) / 2}{\epsilon_1 - \epsilon_3} \right)^2}$$

$$\Delta\beta_{f_0} = 2\Delta\beta_{0,5} \left(\frac{-\ln f_0}{2,78} \right)^{1/2}$$

с заменой угла $\epsilon_{\text{спр}}$ на угол ϵ_M , который равен:

$$\epsilon_M = -(\epsilon_0 + \epsilon_c)$$

$$\epsilon_c = \sin^{-1} \left(\frac{h_a}{R} \right).$$

Общая мощность отраженного от взволнованной поверхности моря сигнала на входе приемника РЛС равна:

$$P_M = P_{MГ} + P_{MБ},$$

если $\epsilon_M \leq \Delta\epsilon_{\text{б}} / 2$ (для симметричной ДНА) или $-\epsilon_c \geq \epsilon_3$ (для косяканной ДНА). При этом:

$$l_6 = R(2\pi \cos \epsilon_c - \Delta\beta_M),$$

$$P_M = P_{MБ}$$

если $\epsilon_M > \Delta\epsilon_{\text{б}} / 2$ (для симметричной ДНА) или $-\epsilon_c < \epsilon_3$ (для косяканной ДНА). При этом $l_6 = 2\pi R \cos \epsilon_c$.

Листинг программы в MatLab:

```
function y = fnPsea1 (Pu,Gm,tv,ti,p,zpm,kd,fi,Hm,Ha,R,b5,fb,eo,c1,c2)
d=2*sqrt(-log(fb)/2.78);
a=4*Ha*Hm/tv;
c3=c2+c2;
if R<a
v=6;
else
v=6*(a/R)^4;
end
a=Ha/R;
e=tan(a/sqrt(1-a*a));
a=75589.534*Pu*Gm*Gm*tv*tv*10^(-.1*zpm)*ti*v*fnFd2(kd,R)/R^3;
v=cos(e);
em=-eo-e;
%Dля c1=0
if c1==0
g=c2*d;
if abs(em)>g/2
v=2;
a=a*fnRcsm1(-1,p,e,fi,Hm)*fb*fb*6.283185307;
return
end
g=em/g;
g=b5*d*sqrt(1-4*g*g);
d=fnApt1(em,eo,c1,c2,fb);
end
%Dля c1 не равного 0
if c1~=0
if -e<c3
v=2;
a=a*fnRcsm1(-1,p,e,fi,Hm)*fb*fb*6.283185307;
return
end
g=(em+eo-(c1+c3)/2)/(c1-c3);
g=b5*d*sqrt(1-4*g*g);
d=fnApt1(em,eo,c1,c2,c3);
end
if v>1
y=a;
else
y=a/v*(b5*.7516878*d*d*fnRcsm1(1,p,e,fi,Hm)*(2*fnFg22(1.6673332*g/b5)-1)+fb*fb*fnRcsm1(-1,p,e,fi,Hm)*(6.283185307*v-g));
end
end
```

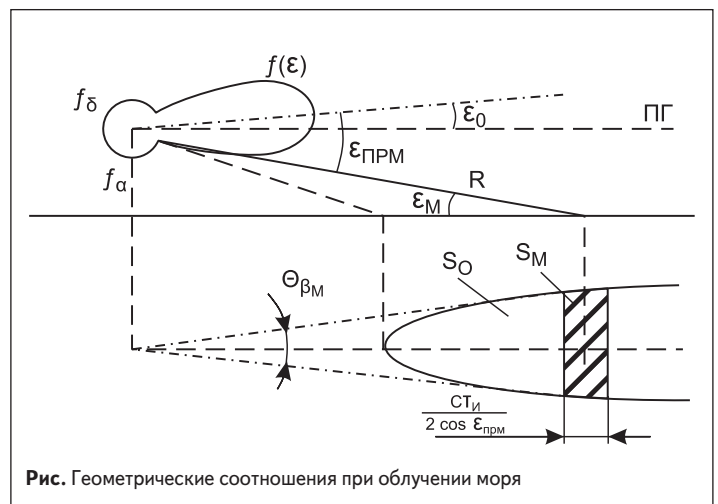


Рис. Геометрические соотношения при облучении моря

Результаты работы программы

В данном примере в качестве исходных заданы следующие величины:

- $P_u = 100\ 000$ — импульсная мощность передающего устройства РЛС;
- $G_m = 1000$ — максимальный КНД антенны РЛС;
- $t_v = 0,1$ м — длина волны РЛС;
- $T_i = 10^{-6}$ — длительность зондирующего импульса;
- $p = 1$ — признак поляризации облучающего морскую поверхность электромагнитного поля, в примере использована вертикальная поляризация;
- $z_{pm} = 5$ — потери мощности помехи при обработке (дБ);
- $k_d = 0,2$ — удельный (погонный) коэффициент затухания (дБ/км);
- $f_i = 1$ — ракурс морской волны (ϕ) — угол между направлением облучения и нормалью к фронту морской волны;
- $H_m = 2$ — средняя высота морской волны;
- $H_a = 20$ — высота расположения антенны РЛС над уровнем моря;
- $R = 10\ 000$ — наклонная дальность до цели;
- $b_5 = 0,1$ — ширина ДНА по уровню половинной мощности в вертикальной плоскости;
- $f_b = 0,01$ уровень боковых лепестков ДНА.

Вычисления проводились для общей мощности отраженного от взволнованной поверхности моря сигнала на входе приемника РЛС:

1. При $c_1 = 0$ рассматривали симметричную диаграмму направленности, $c_2 = 0,1$, ширина ДНА в вертикальной плоскости по уровню половинной мощности $\Delta\epsilon_{0,5}$ для симметричной ДНА, для разных значений угла подъема оси ДНА над плоскостью горизонта e_0^{\wedge}
 $ans = 5,2598e-17$ при $e_0 = 0,01$;
 $ans = 4,3509e-17$ при $e_0 = 0,011$;

$ans = 4,0800e-17$ при $e_0 = 0,012$.

2. При $c_1 = 1$ характеристический угол ϵ_1 для косекансной ДНА, рассматривали косекансную ДНА, $e_0 = 0,2$ угол подъема оси ДНА над плоскостью горизонта (ϵ_0); для разных значений характеристического угла ϵ_2 для косекансной ДНА:
 $ans = 3,0024e-15$ при $c_2 = -0,01$;
 $ans = 3,0981e-15$ при $c_2 = -0,011$;
 $ans = 2,2504e-15$ при $c_2 = -0,005$.

Выводы

Для симметричной антенны с увеличением угла подъема оси диаграмма направленности антенны над плоскостью горизонта и общая мощность отраженного от взволнованной поверхности моря сигнала на входе приемника РЛС повышается.

Для косекансной антенны с уменьшением характеристического угла c_2 отраженная от взволнованной поверхности мощность на приеме РЛС уменьшается. ■

Литература

1. Шабалин В. Н. Математическое и программное обеспечение решения задач радиолокации на микроЭВМ «Электроника ДЗ-28». Л.: ВМА, 1991.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981.
3. Журавлев А. К., Лукошкин А. П., Поддубный С. С. Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. Л., ЛГУ, 1983.
4. Пудовкин Ю. Н., Панасюк Ю. Н., Чернышова Т. И. и др. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС: учебное пособие. Тамбов, Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013.