


Радиосистема управления беспилотным аппаратом» Часть 3. Физический уровень

 Vladislav Kurochkin, 24 апреля 2017г.

2.3 Моделирование системы передачи

Листинг Главная программа

```
%%Моделирование физического уровня
clear; clc;
%=====
%%ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ
v_mod=2; %вид модуляции (2-QAM)
mPos=16; %позиционность модуляции
SNR=20; %Отношение Сигнал Шум
Ngr = 0; %количество неиспользуемых поднесущих и приходящихся на защитные интервалы
% номера пилотных поднесущих в OFDM-символе
pilotIndexes = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 27 44 61 78 95 112 129 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157];
%Размерность OFDM-символа
Nc=157;
%В качестве примера задан большой блок битов, для передачи которого
%нужно потребовать несколько OFDM-символов
msg_len = 166;% длина передаваемого сообщения, битов
n=100;%Количество передаваемых кадров
%=====
gra1=[];
gra2=[];
mes_sum=[];
rx_sum=[];
for i=1:n
    mes = randint(1,msg_len); %формируется блок битов, моделирующий сообщение с канального уровня
    mes_sum=[mes_sum;mes]; %накопление передаваемого сообщения

%функция передатчика
[Tx_tx_mod]=Transmitter(mes,msg_len,v_mod,mPos,SNR);
gra1=[gra1;Tx_mod]; %накопление сигнала передатчика для построения СКК

%функция приемника
[Rx_rx_mod]=Receiver(Tx_mod,mPos,msg_len);
rx_sum=[rx_sum;Rx];
gra2=[gra2;rx_mod]; %накопление сигнала приемника для построения СКК

end

%Построение СКК передаваемого сообщения
figure(1); plot(gra1,');
title('СКК сигнала, сформированного в передатчике')
ylim([-5.5 5.5]);
xlim([-5.5 5.5]);
%Построение СКК принимаемого сообщения
figure(2); plot(gra2,');
title('СКК сигнала, сформированного в приемнике')
ylim([-5.5 5.5]);
xlim([-5.5 5.5]);

%Расчет количества ошибок с помощью функц. biterr и вывод результатов
er=biterr(mes_sum,rx_sum,'overall');
disp('Количество передаваемых кадров :');
disp(n);
disp('Количество передаваемых пакетов :');
disp(n*msg_len);
disp('Количество обнаруженных ошибок :');
disp(er);
disp('Вероятность ошибки :');
pb=er/(msg_len*n); %Расчет вероятности ошибки
disp(pb);
```

Функция передатчика

```
%%Передатчик
function [chan_fr_IQ_signal]=Transmitter(mes,msg_len,l_v_mod,l_mPos,l_SNR)
%clear;
%clc;
global pilotIndexes;
global Nc;
%Дополнительные данные функции:
data_I2=mes;
msg_l=msg_len/2;
v_mod=v_mod/2;
mPos=mPos/2;
SNR=SNR/2;
% В примере ниже рассматривается построение пакета OFDM-символов, способных
% передавать msg_length битов.
%=====
%%ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАТЧИКА
Ngr = 0; %количество неиспользуемых поднесущих и приходящихся на защитные интервалы
% номера пилотных поднесущих в OFDM-символе
pilotIndexes = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 27 44 61 78 95 112 129 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157];
%Размерность OFDM-символа
Nc=157;
%=====
%Сверточное кодирование
trellis = poly2trellis(7,[171 133]);
data = convenc(data_I2,trellis);
%Длина сообщения на выходе сверточного кодера
msg_length=msg_l*2;
% количество поднесущих с данными
Ndata = Nc-length(pilotIndexes); % поднесущие для передачи данных
% количество битов, передаваемых в одном OFDM-символе
s_length = Ndata * log2(mPos); % биты с учетом QPSK
ns = floor(msg_length/s_length)+1; % сколько потребуется OFDM-символов
% сколько потребуется добавить незначащих битов - как разница между тем
% количеством битов, что обеспечивает расчетное количество OFDM-символов, и
% количеством блоком в передаваемом сообщении
fill_zero = zeros(1,ns*s_length - msg_length);
```

```

% Параметры квадратурной модуляции

v_mod=2;%QAM
h = modem_qammod(mPos);
h.inputtype = 'bit';
h.SymbolOrder = 'gray';
h.PhaseOffset = 0;

%Дополнение блока битов сообщения нулями до той величины, которую
%способны транспортировать рассчитанное выше количество OFDM-символов.
%В практическом случае параметры физ. уровня надо рассчитать таким образом,
%чтобы положительных "звонков" не было.
data = [data fill_zero];

%Квадратурная модуляция
IQ_signal = modulate(h, data);

%Формирование OFDM-символов
ofdmFrame = makeOfdmFrame(IQ_signal, ns);

%Формирование символов преамбулы
%Идея построения заимствована из 802.11a (модуль tx_gen_preamble)
%соответствующей лабораторной работы)
%Короткие символы - для подстройки частоты (синхронизация по частоте)
ShortTrainingSymbols = sqrt(13/6)*[0 0 1+j 0 0 0 -j 0 0 0 1+j 0 0 0 -j 0 0 0 1+j 0 0 0 0 0 0 -j 0 0 0 -j 0 0 0 0 ...
1+j 0 0 0 1+j 0 0 0 1+j 0 0 0 1+j 0 0 0];

short_symbols = ifft(ShortTrainingSymbols);
% выделение первых 16 отсчетов
Strs = short_symbols(1:16);
% Формирование 10 коротких символов преамбулы на основе выбранного набора
short_trs=[Strs Strs Strs Strs Strs Strs Strs Strs Strs Strs];

%длинный символ преамбулы
LongTrainingSymbols=[0 0 0 0 0 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 1 1 1 1 1 ...
1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0];
long_symbol = ifft(LongTrainingSymbols);
long_trs = [long_symbol(32*2^16+1:32) long_symbol long_symbol];

%Пакет физического уровня (символы преамбулы и OFDM-символы)
phy_frame = [short_trs long_trs ofdmFrame];
% figure(2);
% plot(abs(phy_frame), title('Сформированный OFDM кадр'));
%Иммитация канала связи.
%chan_fr=phy_frame;
chan_fr=awgn(phy_frame,SNR,'measured');
end

```

Функция формирования OFDM-символов

```

function ofdmFrame = makeOfdmFrame(dataMod, NumOfdm)

global pilotIndexes;
global Nc;

%символы пилотных поднесущих промодулированы псевдослучайным кодом (для
%примера, код Баркера), как результат - BPSK
seqBarker = [-1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1]*4/3;
ofdmSymbol = [];
ofdmFrame = [];
indexOPilot = 1;
indexOData = 1;
for i=1:NumOfdm
for j=1:Nc % собираются IQ-символы будущего OFDM-символа
if (j==pilotIndexes(indexOPilot))
ofdmSymbol(j)=seqBarker(indexOPilot);
indexOPilot=indexOPilot+1;
else
ofdmSymbol(j)=dataMod(indexOData);
indexOData=indexOData+1;
end
end
indexOPilot=1;
ofdmSymbol = ifft(ofdmSymbol);
%Формирование циклического префикса, как часть OFDM-символа, используется 1/8
%Может также принимать значения 1/4, 1/16, 1/32
cp = ofdmSymbol(Nc:Nc/8+1:Nc);
% добавление ЦП в начало OFDM-символа (32 IQ-символа)
ofdmSymbol=[cp ofdmSymbol];
% Сборка информационных OFDM-символов пакета физического уровня
ofdmFrame=[ofdmFrame ofdmSymbol];
ofdmSymbol=[];
end
end

```

Функция приемника

```

%%Приемник
function [L2_msg_out,IQ_signal_rev]=Receiver(in_msg,v_mod,mPos Lmsg_L)
%Входные данные функции:
mPos=mPos 1;
v_mod=v_mod 1;
msg_length=msg_L;
ofdmFrame_rev = in_msg(336:end); %выделение OFDM символов из общего потока
%Подготовка необходимых массивов
OSr = [];
OSpr = [];
IQ_signal_rev = [];
% вектор, необходимый для устранения пилот сигналов
nopilotIndexes = [11:26 28:43 45:60 62:77 79:94 96:111 113:128 130:145];
% Выделение промодулированных данных из принятого OFDM сигнала
% Удаление циклического префикса из OFDM символов
for i = 0 : (length(ofdmFrame_rev)/16)-1
% Убираем циклический префикс
IQ_sig = ofdmFrame_rev((5:16)+ i*16);
OSr = [OSr; IQ_sig];
% Переход в частотную область
IQ_sign = fft(IQ_sig);
OSpr = [OSpr; IQ_sign];
% Убираем пилот сигналы и Формируем поток данных
IQ_signal_rev = [IQ_signal_rev IQ_sign(nopilotIndexes)];
end;

```

```

v_mod=2 %QAM-16
h1 = modem.qamdemod(mPos);
h1.OutputType = 'bit';
h1.SymbolOrder = 'gray';
h1.PhaseOffset = 0;

% Демодуляция
L2_msg = demodulate(h1,IQ_signal_rcv);
%Убираем добавочные нули
ind_null=msg_length*2;
L2_msg=L2_msg(1:ind_null);
L2_msg_out=L2_msg;

% Декодирование по Витерби
trellis = poly2trellis(7,[171 133]);
L2_msg_out=videc(L2_msg_out,trellis,34,'cont','hard');
end

```

2.4 Исследование качества приема сообщений

Продемонстрируем сигнально-кодовые созвездия сигнала в передатчике на выходе модулятора, а так же в приемнике на входе демодулятора при SNR=20 дБ.

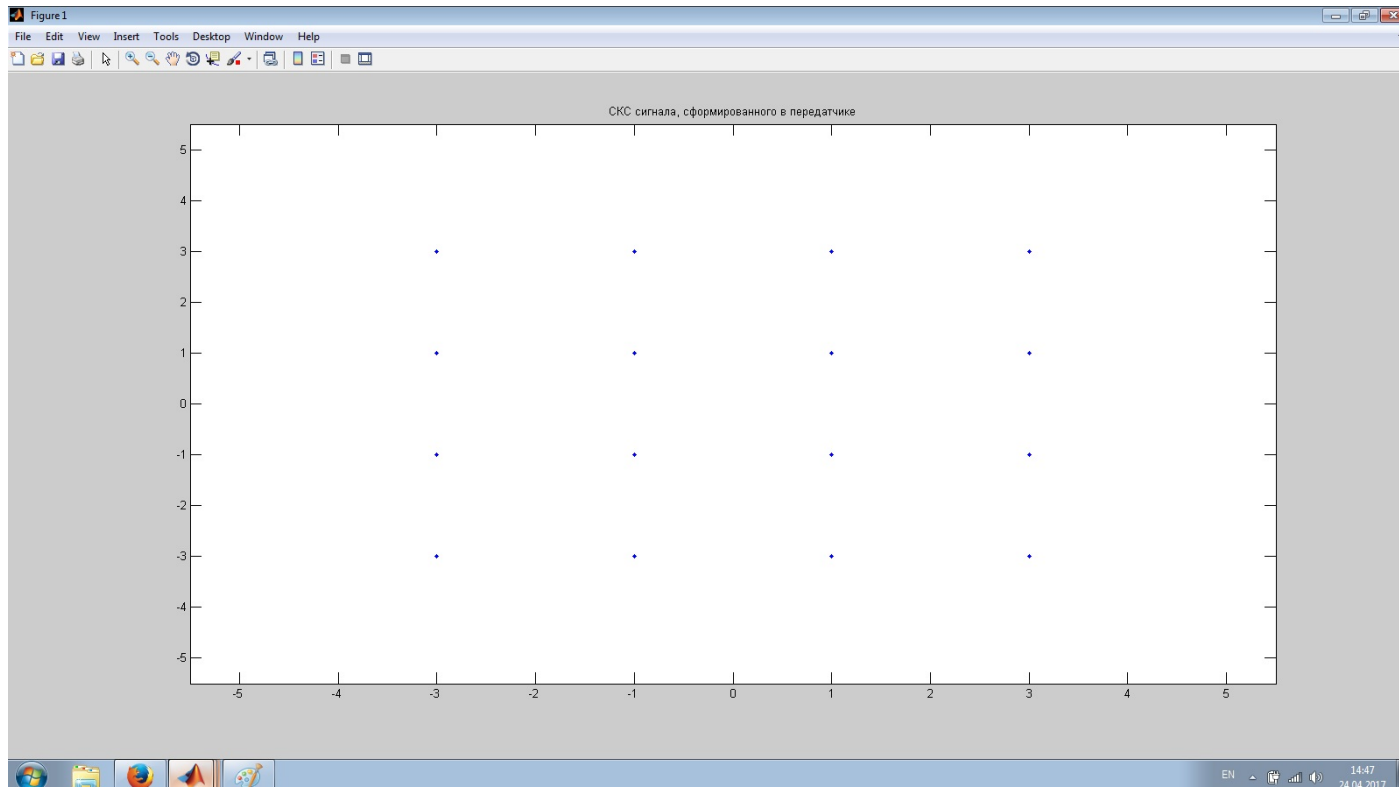


Рис.1. СКС сигнала в передатчике на выходе модулятора QAM-16.

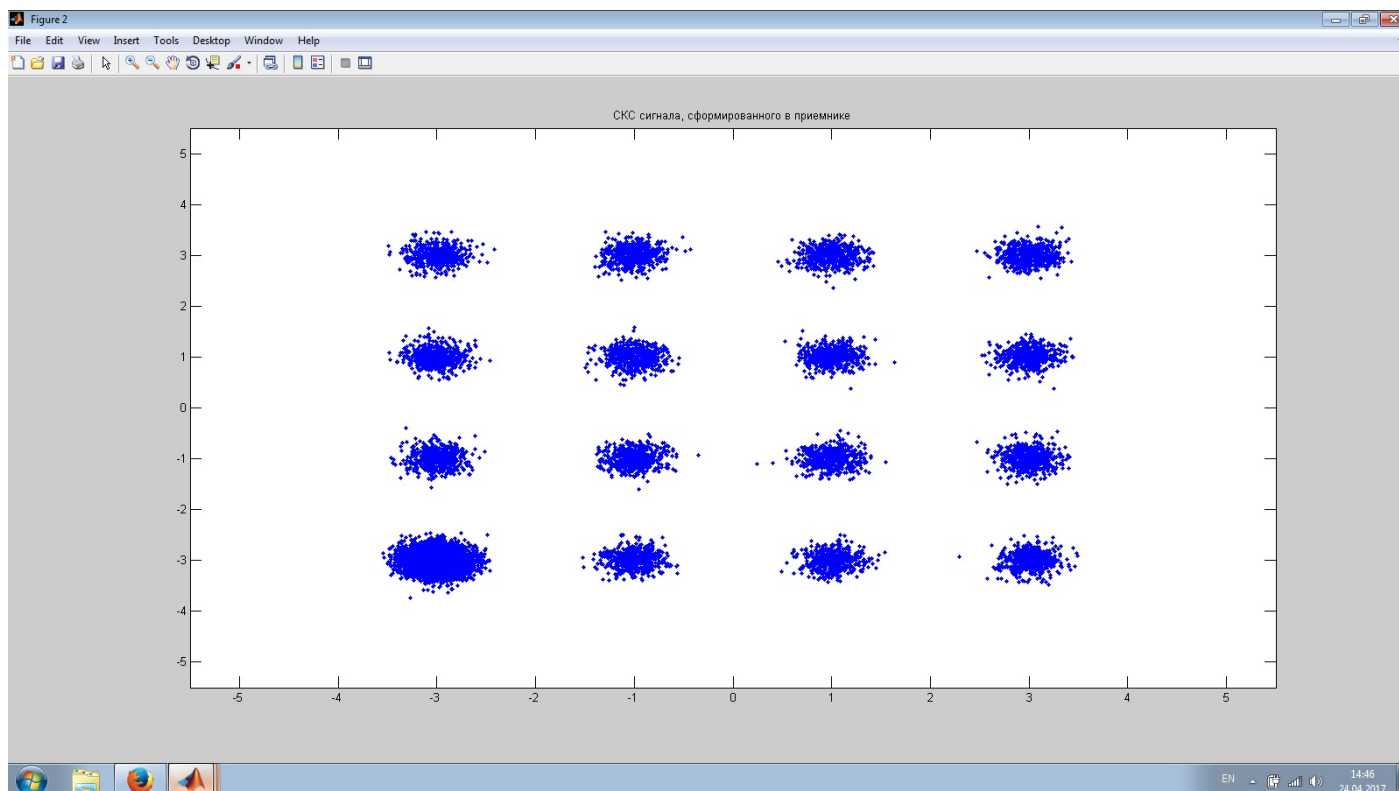


Рис. 2. СКС сигнала в приемнике на входе демодулятора QAM-16.

```
Количество передаваемых кадров :  
100  
Количество передаваемых пакетов :  
16600  
Количество обнаруженных ошибок :  
8285  
Вероятность ошибки :  
0.4991
```

fx ~> |

Рис. 3. Результат работы программы

Список литературы:

1. Бакке А. В. "Лекции по курсу: Системы и сети связи с подвижными объектами"
2. <http://omoled.ru/publications/view/1039>
3. <http://omoled.ru/publications/view/1014>
4. <http://omoled.ru/publications/view/1070>



Статья опубликована на сайте Omoled.ru - Образовательные сообщества
Ссылка на статью: <http://omoled.ru/publications/view/1121>