

**Dr. Bob Davidov**

## **Улучшение характеристик квантования с использованием псевдослучайного сигнала. Dithering – как метод сжатия данных.**

**Цель работы:** освоение метода улучшения характеристик квантования по амплитуде. Метод может использоваться для сжатия данных.

**Задача работы:** построение модели АЦП с улучшенными характеристиками.

**Приборы и принадлежности:** персональный компьютер, интегрированная среда МатЛАБ.

### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

#### **ПОДМЕШИВАНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА (DITHER)**

Некоторые характеристики АЦП могут быть улучшены путём использования методики подмешивания псевдослучайного сигнала (анг. *dither* от староанглийского *didderen* дрожать) со специально подобранным спектром. Она заключается в добавлении к входному аналоговому сигналу случайного шума (белого шума) небольшой амплитуды. Оптимизация амплитуды шумового сигнала зависит от вида случайного шума, так, например, гауссовский шум требует более высокой амплитуды для устранения искажений, чем прямоугольные или треугольные случайные шумы. Однако, в общем случае, амплитуда шума выбирается на уровне половины МЗР. Эффект от такого добавления заключается в том, что состояние МЗР случайным образом переходит между состояниями 0 и 1 при очень малом входном сигнале (без добавления шума МЗР был бы в состоянии 0 или 1 долговременно). Для сигнала с подмешанным шумом вместо простого округления сигнала до ближайшего разряда происходит случайное округление вверх или вниз, причём среднее время, в течение которого сигнал округлён к тому или иному уровню зависит от того, насколько сигнал близок к этому уровню. Таким образом, оцифрованный сигнал содержит информацию об амплитуде сигнала с разрешающей способностью лучше, чем МЗР, то есть происходит увеличение эффективной разрядности АЦП. Негативной стороной методики является увеличение шума в выходном сигнале. Фактически, ошибка квантования размазывается по нескольким соседним отсчётам. Такой подход является более желательным, чем простое округление до ближайшего дискретного уровня. В результате использования методики подмешивания псевдослучайного сигнала получается более точное воспроизведение сигнала во времени. Малые изменения сигнала могут быть восстановлены из псевдослучайных скачков МЗР путём фильтрации. Кроме того, если шум детерминирован (амплитуда добавляемого шума точно известна в любой момент времени), то его можно вычесть из оцифрованного сигнала, предварительно увеличив его разрядность, тем самым почти полностью избавиться от добавленного шума.

Звуковые сигналы очень малых амплитуд, оцифрованные без псевдослучайного сигнала, воспринимаются на слух очень искажёнными и неприятными. При подмешивании псевдослучайного сигнала истинный уровень сигнала представлен средним значением нескольких последовательных отсчётов.

Однако, в последнее время, в связи с удешевлением 24-битных АЦП, имеющих даже без *dither* динамический диапазон более 120 дБ, что на несколько порядков превышает полный воспринимаемый человеком диапазон слуха, данная технология потеряла актуальность в звукотехнике. При этом, она используется в ВЧ и СВЧ технике, где разрядность АЦП обычно мала из-за высокой частоты дискретизации.

Очень похожий процесс, также называемый *dither* или диффузия ошибок, применяется для представления полутонов изображений в компьютерной графике при малом количестве бит на пиксел. При этом изображение становится зашумленным, но визуально воспринимается реалистичнее чем то же изображение полученное простым квантованием.

БИБЛИОТЕКА МАТЛАБ содержит функцию `x = dither(RGB, map)` которая создает аппроксимированный дизерингом RGB образ палитра которого содержит не более 65,536 цветов. Дизеринг увеличивает разрешение изображения используя алгоритм Флойда-Штейнберга

`x = dither(RGB, map, Qm, Qe)` создает RGB изображение, где  $Q_m$  – количество уровней квантования каждого цвета;  $Q_e$  – число бит квантования ошибки вычисления цветности. Если  $Q_e < Q_m$ , дизеринг не выполняется, и изображение без дизеринга присваивается переменной `x`. Если не использовать эти параметры дизеринг применит следующие значения по умолчанию  $Q_m = 5$ ,  $Q_e = 8$ .

`BW = dither(I)` дизеринг преобразует изображение `I` в градациях серого в бинарную (черно-белую) матрицу.

Поддерживаемые форматы изображения: RGB может быть `uint8`, `uint16`, `single`, или `double`. `I` может быть `uint8`, `uint16`, `int16`, `single`, или `double`. Все другие аргументы должны быть `double`. `BW` - `logical`. `x` - `uint8`, для индексных изображений 256 градаций или для нескольких цветов; в других случаях - `uint16`.

Пример преобразование изображения к бинарному виду с использованием дизеринга:

```
I = imread('cameraman.tif');
BW = dither(I);
imshow(I), figure, imshow(BW)
```

Преобразование RGB изображения в индексный массив можно выполнить следующими функциями.

```
[X,map] = rgb2ind(RGB, n)
X = rgb2ind(RGB, map)
[X,map] = rgb2ind(RGB, tol)
```

Эффект дизеринга наглядно демонстрирует следующий пример в котором уменьшается градация цветности.

1. Чтение и отображение исходного изображения.

```
rgb=imread('onion.png');  
imshow(rgb);
```



2. Построение восьмицветного образа без дизеринга.

```
X_no_dither,map]= rgb2ind(rgb,8,'nodither');  
figure, imshow(X_no_dither,map);
```



3. Построение восьмицветного образа с дизерингом.

```
[X_dither,map]=rgb2ind(rgb,8,'dither');  
figure, imshow(X_dither,map);
```



Примечание. Обратите внимание, что количество уровней цветности на картинке “с дизерингом” не увеличилось, в сравнении с изображением пункта 2, однако восприятие картинки заметно стало лучше. На картинке как будто появились дополнительные полутона.

## ПЕРЕДИСКРЕТИЗАЦИЯ

Как правило, сигналы оцифровываются с минимально необходимой частотой дискретизации из соображений экономии, при этом шум квантования является белым, то есть его спектральная плотность мощности равномерно распределена во всей полосе. Если же оцифровать сигнал с частотой дискретизации, гораздо большей, чем по теореме Котельникова-Шеннона, а затем подвергнуть цифровой фильтрации для подавления спектра вне частотной полосы исходного сигнала, то отношение сигнал/шум, будет лучше, чем при использовании всей полосы. Таким образом можно достичь эффективного разрешения большего, чем разрядность АЦП.

Передискретизация также может быть использована для смягчения требований к крутизне перехода от полосы пропускания к полосе подавления фильтра. Для этого сигнал оцифровывают, например, на вдвое большей частоте, затем производят цифровую фильтрацию, подавляя частотные компоненты вне полосы исходного сигнала, и, наконец, понижают частоту дискретизации путём децимации.

## ПРИМЕРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВЕРЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВАРИАНТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

**Задание 1.** Оптимизация дизеринга: увеличение контрастности изображения получаемого методом добавления псевдослучайного сигнала на примере перевода исходного изображения в градациях серого в бинарное изображение в котором каждый пиксел имеет либо белый, либо черный цвет

1. Переведите исходное изображение в черно-белое с градациями серого цвета.
2. Считайте исходного изображения в среде МатЛАБ.

```
im = imread('max-schmeling.jpg');
```

3. Сравнением с фиксированным уровнем квантования получите бинарное изображение.

```
th = im > 0.5;
```

Выбором порога обеспечивается соотношение между светлыми и темными зонами изображения. Порог 0.5 можно представить как результат усреднения случайных чисел-полутонов изображения.

4. Получите бинарное изображения сравнением со случайным порогом.

```
ra = im > rand(size(im));
```

5. Получите бинарное изображение максимальной контрастности с использованием случайного порогового значения.

```
sp = -(im).*(im).*(im-1.5)*2>rand(size(im));
```

6. Получите изображение случайными дизерингом и порогом смешанными случайным образом.

```
rr = round(rand(size(im)));  
rara = rr.*round(im)+(1-rr).*(im > rand(size(im)));
```

Результат похож на вариант получения максимальной контрастности п.4.

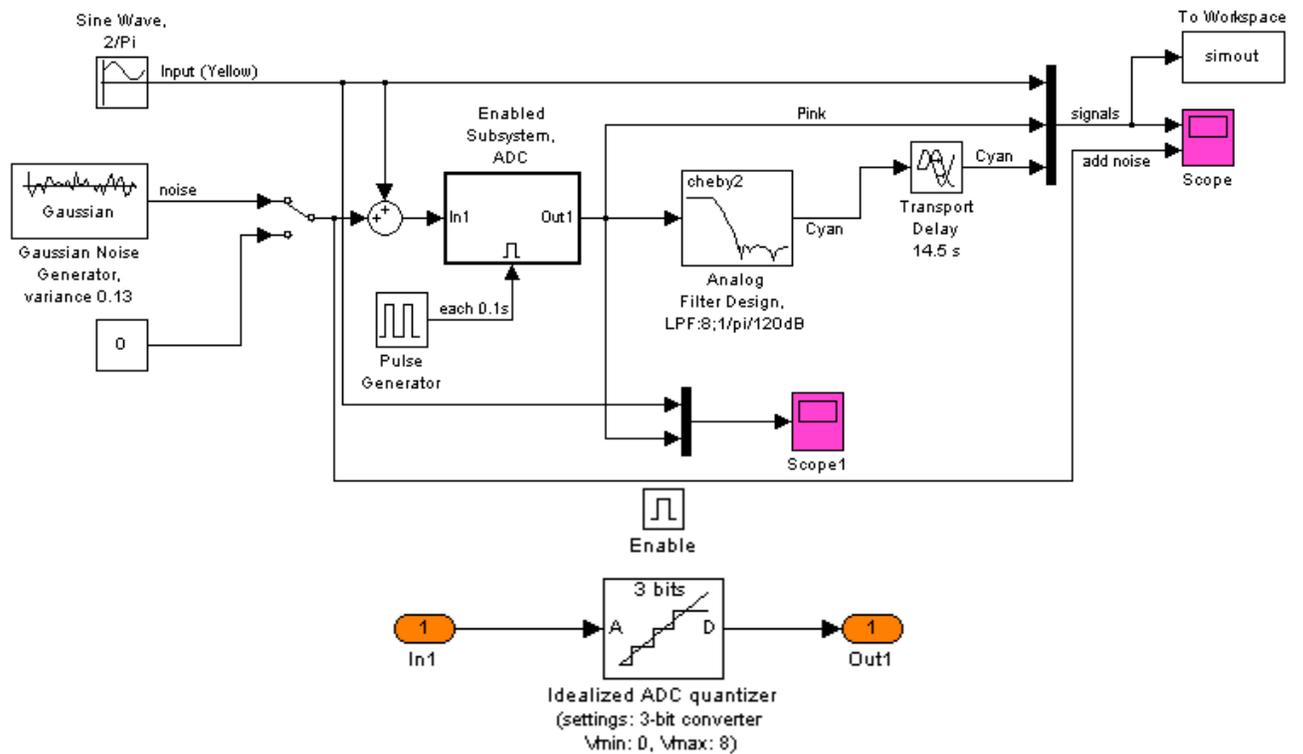
7. Примените случайные дизеринг и порог смешанные случайным образом на всем изображении за исключением граничных зон. Для этого сначала получите образ в котором границы перехода наилучшим образом совпадают с границами оригинального изображения. Затем слегка размойте (увеличьте) зону границ. И, наконец, примените предыдущий алгоритм (п. 5.) для всех пикселей лежащих за пределами граничных зон.

```
e = edge(im,0.05);  
blur_width=5;  
h = fspecial('gaussian',round(blur_width),round(blur_width));  
blurred_e=ceil(imfilter(e+0.0,h,'replicate'));  
rre = (1-((1-rr).*(1-blurred_e)));  
rarae = rre.*round(im)+(1-rre).*(im > rand(size(im)));
```

В результате должно получиться бинарное изображение довольно высокой контрастности с четкими контурными границами.

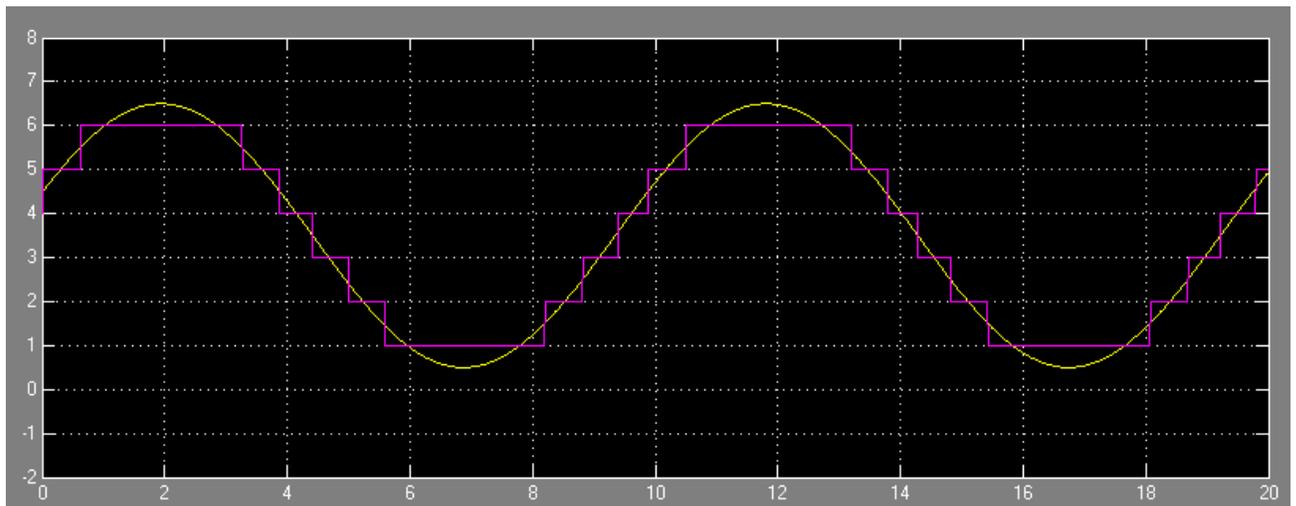
**Задание 2.** Улучшение характеристик АЦП дизерингом и передискретизацией.

1. В среде simulink соберите модель для наблюдения эффекта дизеринг и передискретизации (например, как показано на Рис.1) в которой АЦП, для наглядности, имеет всего лишь восемь уровней квантования.



**Рис. 1.** Пример модели АЦП (с субблоком) в Simulink. Ключ на выходе источника шума позволяет отключить источник от входа АЦП для наблюдения эффект передискретизации на выходе фильтра.

2. При отсутствии шума запишите X сигнал и выходной сигнал АЦП (см. Рис. 2).

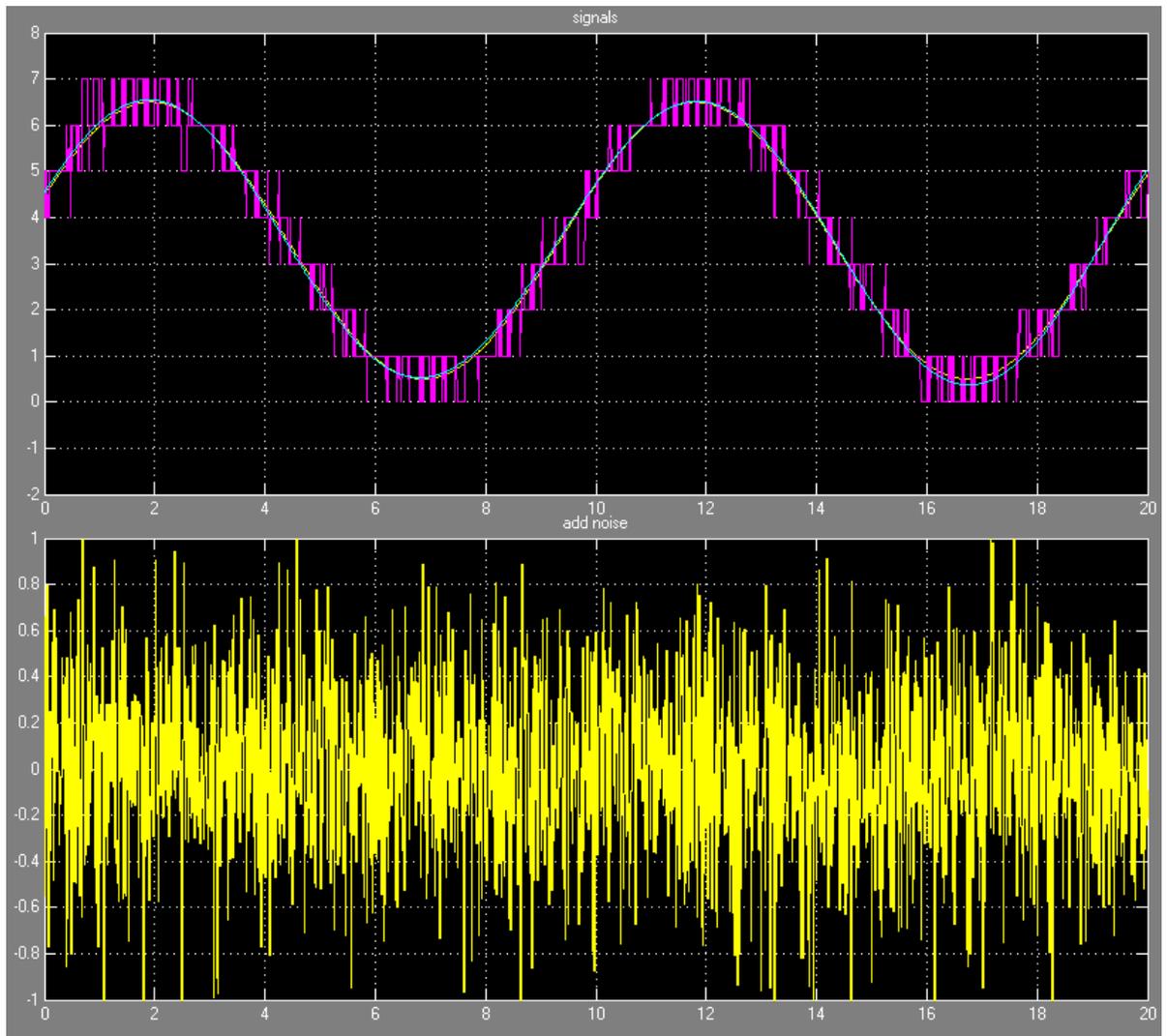


**Рис. 2.** Входной незашумленный сигнал (желтый) и выходной сигнал АЦП (розовый)

3. Добавьте шум. Запишите шум и реакцию АЦП и выход фильтра.

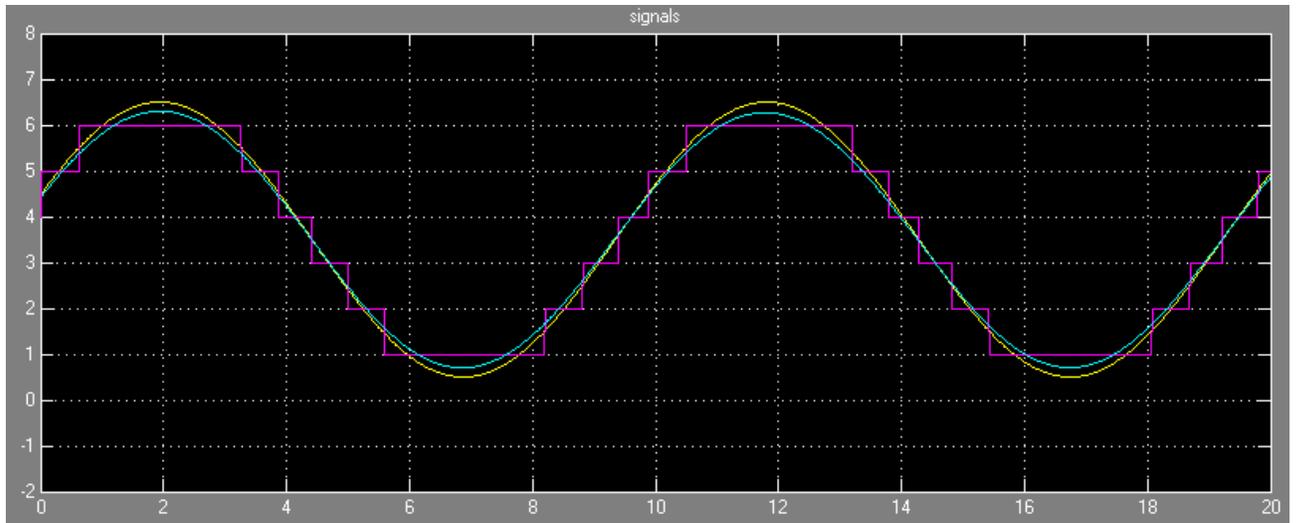
Примечание: Амплитуда шума должна быть соизмерима с шагом квантования АЦП, она, как правило, выбирается на уровне половины МЗР.

- Пропустите выходной сигнал АЦП через фильтр. Параметры фильтра должны обеспечивать максимальное совпадение реакции фильтра и входного незашумленного сигнала.



**Рис. 3.** Сигналы модели дизеринга. На верхней диаграмме: входной сигнал (желтый), выходной сигнал АЦП без фильтрации (малиновый) и выходной сигнал фильтра (голубой). На нижней диаграмме показан шум, добавленный ко входному сигналу.

- Переключателем  на Рис. 1. отключите источник шума модели от входа АЦП и зафиксируйте улучшение отношения сигнал / шум на выходе фильтра.



**Рис. 4.** Сигналы модели передискретизации. Входной сигнал (желтый), выходной сигнал АЦП с шумом квантования (малиновый) и отфильтрованный сигнал с улучшенным отношением сигнал/шум (голубой).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем суть эффекта дизеринга?
2. Во сколько раз сжимается RGB изображение в котором 256 градаций каждого цвета при получении его бинарного образа?
3. С какими сигналами функция дизеринг дает максимальный эффект?
4. В чем суть эффекта передискретизации?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M-Pack 1: WAV file processing: MATLAB function reference  
<http://www.soundslogical.com/support/mpacks/documentation/english/documentparts/audiodither.html>
2. Dithering in MATLAB. <http://www.alecjacobson.com/weblog/?p=1624>