

Дизеринг с распределением коррекции

В прошлой части мы рассмотрели имитацию полутонов (дизеринг) с помощью шаблона, который обладает несколькими недостатками:

1. Количество передаваемых оттенков ограничено размером матрицы
2. Каждый оттенок создается хорошо различимым регулярным узором, что может не очень хорошо смотреться на фотографиях
3. На изображениях с плавным переходом полутонов будут видны четкие границы узоров
4. Тонкие линии контрастного цвета могут пропасть полностью, если попадутся на неудачный участок шаблона

Для борьбы с этими недостатками был придуман другой метод, заключающийся в адаптивном распределении значения коррекции, возникшего при приведении клеточки к черному или белому цвету, на соседние клеточки.

За основу возьмем то же самое изображение 16x16 клеточек из предыдущей части:

0	11	19	28	36	45	53	61	70	78	87	95	103	112	120	129
11	19	28	36	44	53	61	70	78	87	95	103	112	120	129	137
19	28	36	45	53	61	70	78	87	95	104	112	120	129	137	146
28	36	45	53	62	70	78	87	95	104	112	121	129	137	146	154
37	45	53	62	70	79	87	95	104	112	121	129	138	146	154	163
45	53	62	70	79	87	95	104	112	121	129	138	146	154	163	171
54	62	70	79	87	96	104	112	121	129	138	146	155	163	171	180
62	70	79	87	96	104	113	121	129	138	146	155	163	172	180	188
71	79	87	96	104	113	121	130	138	146	155	163	172	180	189	197
79	88	96	104	113	121	130	138	147	155	163	172	180	189	197	205
88	96	105	113	121	130	138	147	155	164	172	180	189	197	206	214
96	105	113	122	130	138	147	155	164	172	180	189	197	206	214	222
105	113	122	130	138	147	155	164	172	181	189	197	206	214	223	231
113	122	130	139	147	155	164	172	181	189	198	206	214	223	231	240
122	130	139	147	156	164	172	181	189	198	206	215	223	231	240	248
130	139	147	156	164	172	181	189	198	206	215	223	231	240	248	255

Если дизеринг по шаблону при сохранении общего принципа алгоритма использует для создания полутонов шаблоны (матрицы), то дизеринг с распределением коррекции (ошибки) работает с фильтрами, которые указывают, какую часть коррекции на какие именно соседние клеточки необходимо распределить.

Фильтров придумано огромное множество и они создают разные эффекты. Одним из самых распространенных фильтров является фильтр Флойда-Штейнберга, который выглядит следующим образом:

-1	-1	7/16
3/16	5/16	1/16

Здесь голубым цветом выделена исходная клеточка, которую мы модифицируем и с которой распределяем коррекцию на соседние клеточки, красным - клеточка, на которую мы не распространяем коррекцию, а зеленым - клеточки, на которые распространение коррекции происходит.

Знаменатель дроби означает, на сколько частей нужно разделить значение коррекции, а числитель - какая доля коррекции будет распределена. Упрощенно можно считать, что если сумма всех числителей будет равна знаменателю, то полученный результат коррекции будет примерно совпадать с исходным изображением по яркости и контрасту. Если сумма числителей будет меньше знаменателя, то картинка станет более контрастной, потеряются оттенки в самых светлых и самых темных участках. Если больше, то картинка станет ярче.

Как мы видим из таблички, в фильтре Флойда-Штейнберга распространение коррекции происходит вправо, вниз, по диагонали вправо-вниз и влево-вниз. Есть фильтры, которые распространяют коррекцию не только на непосредственно соседние клеточки, но и через одну или даже дальше. Например, фильтр Сьерры выглядит следующим образом:

-1	-1	-1	5/32	3/32
2/32	4/32	5/32	4/32	2/32
-1	2/32	3/32	2/32	-1

Почему распространение коррекции идет вправо и вниз и не затрагивает клеточки слева от текущей? Дело в том, что обработка изображения идет сверху вниз и слева направо, и слева от текущей клеточки у нас расположены уже обработанные, то есть либо черные, либо белые клеточки. Если на них распространить коррекцию, то они приобретут оттенок серого цвета и их придется обрабатывать повторно. Есть более сложные алгоритмы, которые умеют работать с распределением коррекции на уже обработанные ранее клеточки, но они за рамками данной статьи.

Итак, давайте попробуем обработать нашу картинку алгоритмом дизеринга с распространением коррекции, используя фильтр Флойда-Штейнберга.

0	11	19	28	36	45	53
11	19	28	36	44	53	61
19	28	36	45	53	61	70

Берем первую клеточку. Она уже черного цвета, поэтому делать тут нечего.

0	11	19	28	36	45	53
11	19	28	36	44	53	61
19	28	36	45	53	61	70

У следующей клеточки оттенок серого с яркостью 11. Это меньше порогового значения 128, поэтому мы приведем ее к черному, т.е. к 0. В результате у нас возникнет значение коррекции в 11 единиц, которое нам нужно распределить на соседние клеточки в соответствии с фильтром. Знаменатель дроби (количество долей) у нас 16, поэтому делим 11 на 16 и получаем размер одной доли - 0,6875. Вправо мы должны распределить 7 долей, т.е. 4,8125. Яркость правой клеточки у нас 19, прибавим к ней 4,8125, округлим математически до целого значения и получится новое значение яркости - 24:

0	11	19 +5=24	28	36	45
11	19	28	36	44	53
19	28	36	45	53	61

Вправо и вниз мы распределяем 1 долю, т.е. 0,6875, или округленно 1:

0	11	19 +5=24	28	36	45
11	19	28 +1=29	36	44	53
19	28	36	45	53	61

Вниз распределяем 5 долей, т.е. 3,4375, округленно 3:

0	11	19 $+5=24$	28	36	44
11	19 $+3=22$	28 $+1=29$	36	44	53
19	28	36	45	53	62

И влево-вниз 3 доли, т.е. 2,0625, округленно 2:

0	11	19 $+5=24$	28	36	44
11 $+2=13$	19 $+3=22$	28 $+1=29$	36	44	53
19	28	36	45	53	62

Переходим ко второй клеточке. Ее значение яркости уже не 19, а 24, но это все еще меньше 128, поэтому клеточку приводим к черному цвету (0) и получаем значение коррекции 24, которое нужно распределить вправо, вправо-вниз, вниз и влево-вниз соответственно на 11, 2, 8 и 5 значений:

0	11	19 $+5=24$	28 $+11=39$	36	44
11 $+2=13$	19 $+5=24$	28 $+8=37$	36 $+2=38$	44	53
19	28	36	45	53	62

Четвертую клеточку мы тоже приводим к черному и распределяем уже 38 пунктов коррекции:

0	11	19	28	36	45	53
		+5=24	+11=39	+17=53		
11	19	28	36	44	53	61
+2=13	+5=27	+8=37	+12=50			
	+3=22	+7=44	+2=38	+2=46		
		+1=29				
19	28	36	45	53	61	70
28	36	45	53	62	70	78

Пройдем до конца ряда:

0	11	19	28	36	45	53
		+5=24	+11=39	+17=53	+23=68	
11	19	28	36	44	53	61
+2=13	+5=27	+8=37	+12=50	+17=63		
	+3=22	+7=44	+10=60	+2=46	+3=56	
		+1=29	+2=38			
19	28	36	45	53	61	70

0	11	19	28	36	45	53	61
		+5=24	+11=39	+17=53	+23=68	+30=83	
11	19	28	36	44	53	61	70
+2=13	+5=27	+8=37	+12=50	+17=63	+21=77		
	+3=22	+7=44	+10=60	+2=46	+3=56	+4=63	
		+1=29	+2=38				
19	28	36	45	53	61	70	78

19	28	36	45	53	61	70	78
+5=24	+11=39	+17=53	+23=68	+30=83	+36=97		
28	36	44	53	61	70	78	87
+8=37	+12=50	+17=63	+21=77	+25=92			
+7=44	+10=60	+15=66	+13=52	+4=63	+5=75		
+1=29	+2=38	+2=46	+3=56				
36	45	53	61	70	78	87	95

36	45	53	61	70	78	87
+17=53	+23=68	+30=83	+36=97	+42=112		
+17=63	+23=77	+30=92	+36=105	+42=117		
+17=63	+23=77	+30=92	+36=105	+42=117		
+2=46	+3=56	+4=65	+5=75	+6=84		
53	61	70	78	87	95	104

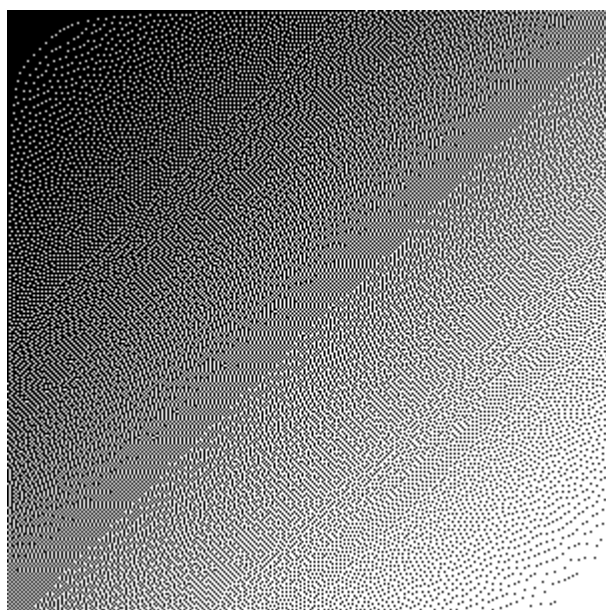
5	53	61	70	78	87	95	104
+68	+30=83	+36=97	+42=112	+48=127			
+77	+83=160	+92=205	+105=255	+117=300			
+77	+83=160	+92=205	+105=255	+117=300			
+56	+4=65	+5=75	+6=84	+7=94			
1	70	78	87	95	104	112	120

53	61	70	78	87	95	103	
+30=83	+36=97	+42=112	+48=127	+56=143			
+55=108	+68=126	+83=160	+105=255	+117=300			
+55=108	+68=126	+83=160	+105=255	+117=300			
+4=65	+5=75	+6=84	+7=94	+8=103			
70	78	87	95	104	112	120	
70	78	87	95	104	112	120	

Обратите внимание, как постепенно накапливается значение коррекции, высветляя соседние клеточки все больше и больше, пока не приводит к тому, что очередную клеточку мы уже приводим не к черному, а к белому: 143 -> 255. При этом значение коррекции у нас уже становится отрицательным: 143 - 255 = -112, соответственно соседние клеточки мы уже будем распределяем коррекции не высветлять, а затемнять, отнимая яркость в соответствии с долями распределения коррекции:

61 +36=97	70 +42=112	78 +49=127	87 +56=143	95 +63=158	103	111
70 +42=112	78 +49=127	87 +56=143	95 +63=158	103 +70=173	112	120
78 +49=127	87 +56=143	95 +63=158	103 +70=173	112 +77=189	120	128
87 +56=143	95 +63=158	103 +70=173	112 +77=189	120 +84=204	128	136
95 +63=158	103 +70=173	112 +77=189	120 +84=204	128 +91=219	136	144
103 +70=173	112 +77=189	120 +84=204	128 +91=219	136 +98=234	144	152
111 +77=188	120 +84=204	128 +91=219	136 +98=234	144 +105=249	152	160

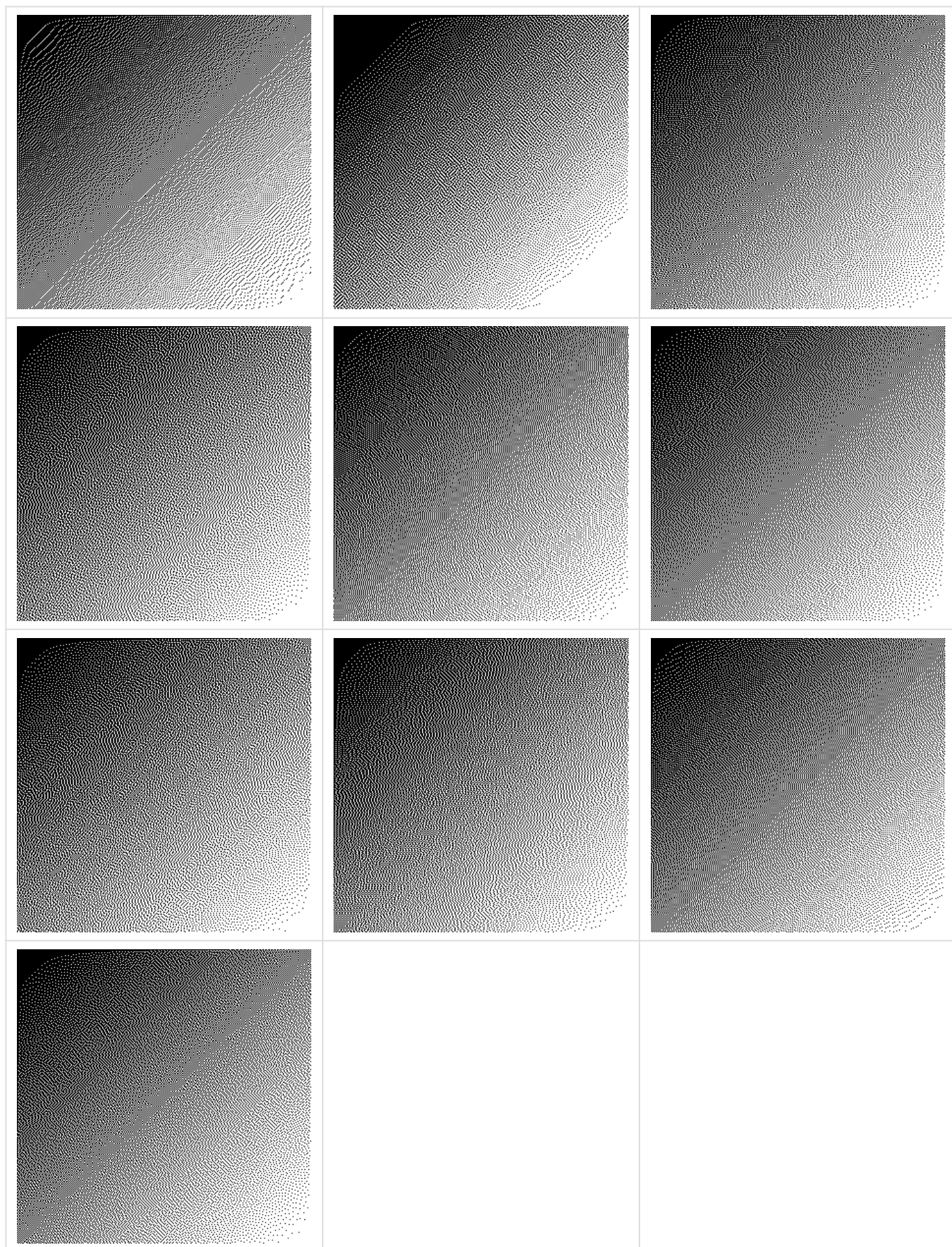
Теперь посмотрим на видео, как происходит обработка картинки от начала до конца:



Результат не так очевиден, но вот как этот алгоритм работает:

Конечно, результат не идеален, есть неровности и заметные артефакты, некрасивые узоры. Для уменьшения артефактов придуманы другие алгоритмы и разные трюки с обработкой изображений, но их описание за рамками данной статьи.

Ниже приведены результаты преобразования той же картинки размером 300x300 точек с использованием разных фильтров:



В [генераторе схем](#) для платных подписчиков на [Бусте](#) и в [ВК](#) доступны все эти фильтры и другие настройки, а также возможность составить собственный фильтр.

Версия #6

Mosaic Crochet создал 8 апреля 2024 18:51:38

Mosaic Crochet обновил 17 апреля 2024 19:03:26