

Расширение динамического диапазона

Стали все подходить и смотреть: блоха действительно была на все ноги подкована на настоящие подковы, а левша доложил, что и это ещё не все удивительное.

— Если бы, — говорит, — был лучший мелкоскоп, который в пять миллионов увеличивает, так вы изволили бы, — говорит, — увидеть, что на каждой подковинке мастерово имя выставлено: какой русский мастер ту подковку делал.

— И твоё имя тут есть? — спросил государь.

— Никак нет, — отвечает левша, — моего одного и нет.

— Почему же?

— А потому, — говорит, — что я мельче этих подковок работал: я гвоздики выковывал, которыми подковки забиты, — там уже никакой мелкоскоп взять не может.

Государь спросил:

— Где же ваш мелкоскоп, с которым вы могли произвести это удивление?

А левша ответил:

— Мы люди бедные и по бедности своей мелкоскопа не имеем, а у нас так глаз пристреляши.

(Н.С. Лесков. Левша.)

У радиоспециалистов существует нелинейная шкала измерений, в которой величины выражаются в децибелах W .

Децибелы определены двумя способами:

- 1) Для соотношения линейных величин U_1 и U_2

$$W = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}$$

- 2) Для соотношения квадратов линейных величин $P_1 \sim U_1^2$

и $P_2 \sim U_2^2$

$$W = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

Существование двух различных определений объясняется тем, что разработчики радиоаппаратуры пользуются как линейными величинами, например, напряжением, так и квадратами этих величин, например, мощностью, в зависимости от рабочих частот. Если в диапазоне декаметровых волн чувствительность приемника измеряют в Вольтах, то в диапазоне сантиметровых волн в Ваттах. Децибелы позволяют общаться обоим специалистам без лишних вопросов и одинаково понимать значения параметров.

Необходимость в нелинейной шкале вызвана тем, что разработчикам аппаратуры приходится оперировать с очень большим разбросом величин, в которой линейная шкала становится неудобной.

Например, георадар Лоза может зафиксировать сигналы, амплитуда которых снизилась в 1 000 000 (один миллион) раз, и здесь удобнее сказать: «Реальный потенциал прибора составляет 120 децибел», чем считать нули в обычной десятичной записи числа.

Если в линейной шкале соотношение составляет 1 000 000 000 (один миллиард) раз, вместо него можно использовать цифру 180 децибел.

Для соотношений меньше единицы децибелы приобретают знак минус. Например, значение - 120 дБ соответствует одной миллионной.

Кроме радиоинженеров, децибелы популярны у акустиков, в остальной физике, насколько я знаю, они не используются.

Когда в нашей стране объявили об очередных планах подъема сельского хозяйства, некоторые «горячие головы» из радистов даже предложили ввести новую единицу измерений: «Децибелы на гектар».

Чаще всего физики для обозначения больших и малых величин используют составное число со степенью десяти, например: «Три (умноженное) на десять в десятой (степени)» ($3 \cdot 10^{10}$) или «Пять на десять в минус третьей» ($5 \cdot 10^3$) и т.д.

Положительный аспект нелинейного представления в том, что происходит «компрессия» значений, позволяющая лучше охватить весь большой диапазон их изменений, а отрицательный в том, что разные участки диапазона имеют разную точность.

Динамический диапазон прибора, состоящий из последовательности блоков или процедур обработки, определяется самым минимальным их значением – «узким горлом».

Таким «узким горлом» в голографическом радаре является визуализация восстановленного изображения. Нужно увидеть одновременно и сильный сигнал, и слабый. Оба они в результатах цифровой обработки присутствуют, но их следует донести до оператора, у которого есть свой динамический диапазон восприятия по яркости и цветности. Но также существует динамический диапазон средств технического отображения – компьютерной графики. Между собой они могут соотноситься по разному. Если глаз человека имеет больше возможностей в диапазоне яркостей,

то компьютер может создать столько оттенков цвета, которые человек просто не различит.

Самым естественным способом представления изображения, конечно, является объемная картинка «виртуальной реальности». Надеюсь, что в будущем она будет основной. Сейчас мы используем обычную, хорошо всем знакомую компьютерную графику на плоском экране, с элементами псевдообъема за счет различных проекций.

Рассмотрим два способа увеличения динамического диапазона изображения: нелинейное преобразование амплитуды и метод вычитания точечных источников. Для визуализации будем использовать функцию `pcolor` языка программирования MATLAB, дающую двумерную тоновую картинку.

Для расчетов имитируем теоретическую голограмму, в которой заданы поля от 4 точечных источников с различной амплитудой A и разными координатами x, y, z :

1. $x=0; y=0; z=0.4; A=1$ (0 dB)
2. $x=0; y=-0.15; z=0.4; A=0.1$ (-20 dB)
3. $x=0.15; y=-0.15; z=0.4; A=0.01$ (-40 dB)
4. $x=0.15; y=0; z=0.4; A=0.001$ (-60 dB)

Нелинейное преобразование амплитуды

В качестве функции нелинейного преобразования амплитуды будем использовать его простейший вариант – ограничение. Значениям функции, превышающим порог A_0 , присваивается величина этого порога. Выбранный вариант функции, тем не менее, демонстрирует основную проблему

нелинейного преобразования – потерю точности для сильных сигналов и подавление слабого сигнала сильным.

На рис. 17 показано исходное значение амплитуды сигнала на дальности $z=0.4$ без ограничения, полученное методом Кирхгофа с окном Хэмминга. Кроме первого источника виден слабый второй, остальные не наблюдаются.

По этому изображению можно оценить динамический диапазон представления сигнала функцией $rsolog$ в 20 дБ (10 раз).

На рис. 18. установлен порог ограничения $A_0=0.1$. Виден второй источник, изображение первого потеряло разрешение, стали видны его боковые лепестки. Появилось слабое изображение третьего источника.

На рис. 19 введено ограничение $A_0=0.01$, отчетливо фиксируется третий источник с амплитудой $A=0.01$, но четвертый с амплитудой $A=0.001$ подавлен боковыми лепестками первого источника.

Пропадание изображения четвертого источника подтверждается рис. 20, в котором порог ограничения составляет $A_0=0.001$.

Метод вычитания точечных источников

Та же теоретическая голограмма использовалась и в методе вычитания. На рис. 21 показано исходное изображение, практически ничем не отличающееся от рис. 17, но здесь, в отличие от предыдущего случая, для визуализации изображения использована не плоскость его сечения на

расстоянии $z=0.4$, а проекция этого изображения на переднюю плоскость из трехмерного объема, ограниченного дальностями $z=0.3$ м. и $z=0.6$ м., чем и объясняются различия в абсолютных значениях сигналов. Для построения изображения также использован метод Кирхгофа с окном Хэмминга

На рис. 22 показано изображение сигнала после вычитания первого максимума. Первый источник исчез, но появился второй и признаки третьего.

На рис. 23 показано вычитание второго максимума, в результате чего появилось изображение третьего источника, а также следы четвертого и следы от самого первого вычитенного источника.

Третье вычитание максимума амплитуды приведено на рис. 24. Фиксируется источник с амплитудой - 60 дБ. Заметна неполная компенсация более мощных источников из-за влияния боковых лепестков соседних. В последующих итерациях произойдет дополнительная их компенсация.

Координаты всех обнаруженных и вычитенных из изображения точечных источников показаны на рис. 25 – 27, на которых приведены проекции на фронтальную, горизонтальную и вертикальную плоскости. Истинные значения всех обнаруженных максимумов заменены единичными, поскольку динамический диапазон функции `pscolor` в 20 дБ не способен отобразить значения амплитуд в диапазоне 60 дБ.

Метод вычитания максимумов позволяет использовать еще одну процедуру для представления сигналов с большим динамическим диапазоном – частичную компенсацию амплитуды. В этой процедуре на каждой итерации вычитает-

ся лишь часть сигнала, например, только 25% его амплитуды, как на рис. 28, полученной по той же голограмме для четырех источников с динамическим диапазоном 60 дБ.

Здесь приведен результат после 75 итерации. Видны все сигналы одновременно, но изображение не несет информации об истинных значениях их амплитуды.

Покажем процедуру частичной компенсации амплитуды по экспериментальной голограмме.

В фанерный ящик с размерами 26 X 76 X 72 (ширина, длина, высота), наполовину заполненный песком, помещался металлический штырь под углом 45 градусов на расстоянии 13 см от передней стенки. Приемная решетка и передающий рупор располагались в одной плоскости на расстоянии 35 см от ящика, как показано на рис. 29. Поляризация антенн приемника вертикальная, рупора передатчика горизонтальная.

Рис. 30 – 32 показаны фронтальные проекции изображения, восстановленного методом Кирхгофа с окном Хэмминга.

На рис. 30 приведено исходное изображение, полученное методом Кирхгофа, на рис. 31 после 12 циклов вычитания 25% амплитуды максимума, на рис. 32 изображение после 100 циклов вычитания.

На всех рисунках, кроме штыря, видно однократное и двукратное его отражение от стенок ящика. Конец штыря, выступающий в воздух, отчетливо виден только на рис. 32. Здесь же можно наблюдать эффект «сломанной ложки в

стакане с водой», хорошо известный из школьного учебника физики.

На рис. 33 – 35 приведены проекции вычтенных в процессе итераций точек на три пространственных плоскости за 100 циклов, что соответствует остаточному изображению рис. 32.

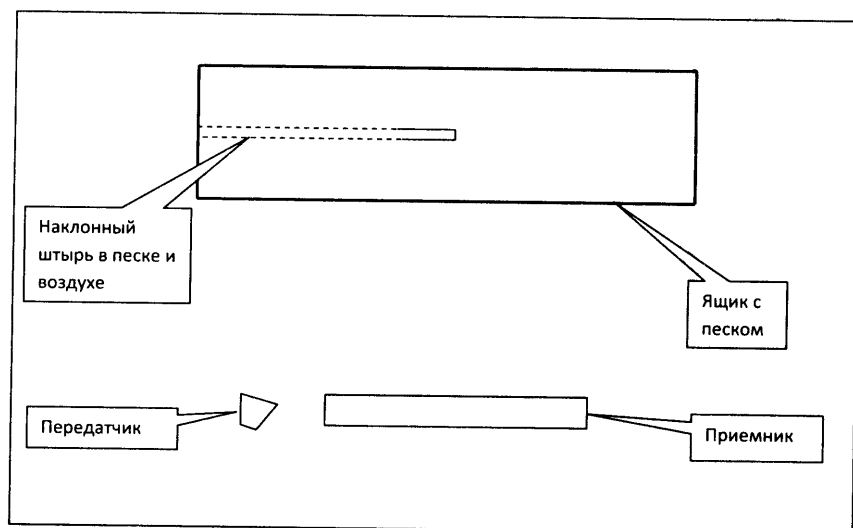


Рис. 29. Схема эксперимента. Вид сверху.