

3. Функция передачи модуляции

Цель: изучить основные функции описывающие размытие: функцию размытия линии (ФЛР), краевую функцию (КФ); основы метода оценки размытия деталей в оптических системах с помощью функции передачи модуляции (ФПМ).

Практическое задание

Характеристиками, описывающими размытие деталей изображения, являются следующие функции: краевая, размытия линии и передачи модуляции. Они могут быть рассчитаны одна из другой с помощью соответствующих математических преобразований.

Звенья системы обработки и передачи информации имеют общее фундаментальное свойство — размытие или инерционность. Например, в случае ярко светящейся точки бесконечного малого размера объектив в плоскости наилучшей фокусировки формирует ее оптическое изображение в виде пятна размытия с постепенно убывающей интенсивностью от центра к краям.

Размытие описывается рядом функций, которые можно применить к типовым одномерным объектам: край полуплоскости — это резкая прямолинейная граница между освещенной и неосвещенной частями пространства; бесконечно узкая щель, которая описывается одномерной δ -функцией; периодическая одномерная структура.

Так как реальные системы обладают размытием, то исходные функции будут отображаться с искажениями их начальной формы. Исходным сигналам будут соответствовать распределения интенсивности, дающие информацию о размытии: КФ — $h(x)$ и ФРЛ — $g(x)$. Зона перехода КФ равна ширине ФРЛ. $-x_0, x_0$ — начало и конец зоны перехода, x_i — текущее значение x в зоне перехода $[-x_0, x_0]$.

ФРЛ может быть найдена дифференцированием КФ.

$$g(x) = \frac{\partial}{\partial x} h(x)$$

В практических расчетах ФРЛ нормируется к единице $g_{max}(x) = 1$. КФ и ФРЛ чаще всего не описываются с помощью простых интегрируемых/дифференцируемых функций, поэтому при их вычислении используют приближенные методы. Тогда:

$$g(x_n) = \frac{\Delta h(x_n)}{\Delta x}$$

Преимуществом функции передачи модуляции является простота расчета передаточной характеристики всей системы по известным ФПМ ее отдельных элементов. ФПМ позволяет оценить точность воспроизведения разных по размеру деталей изображения. ФПМ определяет величину коэффициента контраста в изображении одномерной решетки с синусоидальным распределением зависимости от пространственной частоты этой решетки.

Численно коэффициент передачи контраста T_ν синусоидального сигнала для пространственной частоты ν равен отношению коэффициента модуляции в изображении $M_\nu^{из}$ к коэффициенту модуляции в объекте $M_\nu^{об}$:

$$T_\nu = \frac{M_\nu^{из}}{M_\nu^{об}}$$

Коэффициенты модуляции, в свою очередь, равны:

$$M_\nu^{об} = \frac{E_{max}^{об} - E_{min}^{об}}{E_{max}^{об} + E_{min}^{об}}$$

и

$$M_\nu^{из} = \frac{E_{max}^{из} - E_{min}^{из}}{E_{max}^{из} + E_{min}^{из}}$$

где $E_{max}^{об}$, $E_{min}^{об}$, $E_{max}^{из}$, $E_{min}^{из}$ – максимальное и минимальное значения интенсивности синусоидальной решетки частоты ν в объекте и изображении.

Для расчета ФПМ по ФРЛ применяются методы приближенного гармонического анализа. Известно, что ФПМ и ФРЛ математиче-

ски связаны парой преобразования Фурье. Для некоторой пространственной частоты косинус преобразование Фурье имеет вид:

$$T_{\nu}^c = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} g(x) \cos 2\pi \nu x dx}{\int_{-\infty}^{\infty} g(x) dx} \quad (1)$$

Коэффициент передачи контраста на данной частоте можно найти, проводя графическое приближенное интегрирование числителя и знаменателя. Для нахождения числителя ось ординат помещаем в максимум функции размытия. Максимум косинусоиды заданной частоты ν_1 также располагаем на оси ординат. Ось абсцисс делят на n равных частей. В точках деления считывают значения ординат ФРЛ и косинусоиды, и, далее вычисляют произведения этих величин. Затем выполняют алгебраическое суммирование найденных произведений и получают значение числителя уравнения (1). Суммируя ординаты в точках деления под кривой $g(x)$, находим площадь под кривой ФРЛ или знаменатель уравнения (1). Повторяя расчеты для косинусоид других частот, получают ряд точек — значений ФПМ на различных пространственных частотах, и строят кривую ФПМ в координатах $T_{\nu} = f(\nu)$.

$$\nu_0 = \frac{1}{T}$$

,

в этом случае T мы берем равное зоне размытия. Зона размытия определяется как отрезок между x_0 и $-x_0$ при котором $g(x)$ имеет значение 0,1 (10% от максимального значения $g(x)$). В случае работы с цифровыми изображениями зона размытия измеряется в пикселях.

Графически последовательность расчета ФПМ для выполнения лабораторной работы показана на рисунке 1.

Последовательность расчета ФПМ:

1. исходное изображение
2. повернутое изображение для формирования вертикального края полуплоскости,

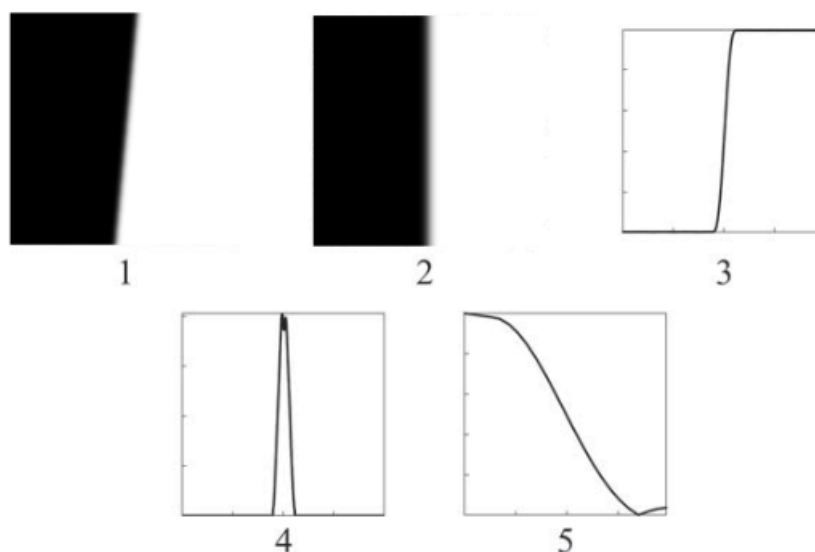


Рис. 1. Последовательность расчета ФПМ

3. функция размытия края полуплоскости
4. функция размытия линии
5. ФПМ

Определения функций

Функция передачи модуляции (ФПМ, англ. MTF) - функция передачи модуляции определяет зависимость коэффициента передачи модуляции от пространственной частоты. Она получается в результате фурье преобразования функции размытия линии.

Функция размытия линии (ФРЛ, англ. LSF) - это такая функция, которая позволяет математически описать распределение освещенности (светлоты) в изображении линии. Ее можно получить путем дифференцирования краевой функции.

Краевая функция (КФ, англ. ESF) - это такая функция, которая позволяет математически описать распределение освещенности (светлоты) в изображении края полуплоскости, образуемом объективом или другой оптической системой.

Порядок выполнения задания

1. Скачать два изображения соответствующие вашему номеру в списке группы. [Ссылка на образцы изображений края полу-плоскости](#).
2. Написать функцию, которая по изображению рассчитывает КФ.
3. Написать функцию, которая преобразует КФ в ФРЛ.
4. Написать функцию рассчитывающую ФПМ из ФРЛ по методу описанному в теоретической части.
5. Применить последовательность этих реализованных функций к вашим изображениям.
6. Построить графики всех полученных функций.
7. Сравнить полученные ФПМ и сделать вывод о том, какая система имеет меньшее размытие.

Результаты выполнения задания

Jupyter Notebook с реализованной оценкой размытия деталей и выведенными графиками.

Для работы над заданием вы можете использовать Python, сервис Google colab и библиотеки Numpy, Matplotlib, Pillow.

Источники

1. [О разрешении и MTF](#)
2. [Документация Imatest](#)

Вопросы для проверки

1. Что характеризует функция передачи модуляции?
2. Что описывает значение 0,5 коэффициента передачи модуляции?

3. Какие единицы измерения у пространственной частоты?
4. Как выполняется дискретное Фурье преобразование?