

УДК 004.932

РАСЧЕТ БИНАРНОГО ФАЗОВОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ ФОКУСА ИЗОБРАЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

Дзюба А.П.

(Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева),

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Хонина С.Н.

(Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева,
Институт систем обработки изображений - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника»
РАН)

Аннотация: В работе показано, что точность классификатора изображений на основе сверточной нейронной сети не ухудшается при использовании только одного цветового канала. Рассчитан бинарный дифракционный оптический элемент, который позволяет в несколько раз увеличить глубину фокуса изображающей системы на основе использования одного из цветовых каналов для различных величин дефокусировки. Представлено сравнение кривых МТФ исходной и аподизированной изображающих систем для заданного минимально допустимого значения контрастности изображения.

Введение. Классификация изображений относится к одной из задач в реализации компьютерного зрения. Например, алгоритм классификации изображений может быть разработан для определения, соответствует ли изображение номеру на контейнере в складском помещении тому номеру контейнера, который должен переместить робот. Хотя подобная задача является тривиальной для человека, надежная классификация изображений все еще остается проблемой в приложениях компьютерного зрения. Задача еще более усложняется, если анализируемое изображение является искаженным, в частности, дефокусированным.

Известно, что оптические системы чувствительны к дефокусировке и хроматическим aberrациям. Увеличение глубины фокуса оптической системы позволяет ослабить эту чувствительность и ее негативные последствия в размытии дефокусированных изображений. Однако простое увеличение глубины фокуса (DOF) за счет уменьшения зрачка или числовой апертуры системы приводит к ухудшению разрешения. Одним из способов увеличения DOF без ухудшения разрешения является «кодирование» волнового фронта, что фактически является фазовой аподизацией зрачка линзы. Как правило, аподизация сопровождается не только положительными эффектами (увеличение DOF и уменьшение размера фокального пятна), но и существенным изменением структуры функции рассеяния точки (PSF) и ростом боковых лепестков, ухудшающих изображающие свойства.

В частности, применяют кубическую фазовую аподизацию с целью увеличения DOF. Однако изготовление полутонного оптического элемента с кубической фазой является сложным процессом. Бинарные оптические фазовые элементы более просты в изготовлении. Одним из самых известных бинарных оптических элементов, используемых для увеличения глубины фокуса, является кольцевая бинарная решетка или бинарный аксикон. Заметим, что для достижения именно углубления фокуса, а не формирования кольцевого распределения в фокальной плоскости требуется использование слабых аксиконов, желательного с подстраиваемой числовой апертурой. Слабый аксикон содержит всего несколько кольцевых зон, радиусы которых можно отдельно оптимизировать с целью достижения определенной цели.

Основная часть. Для классификации изображений в данной работе используется VGG-подобная сверточная нейронная сеть (CNN). Архитектура CNN содержит семь сверточных

слоев и два полносвязных слоя. В качестве тренировочных данных для CNN выбран набор данных SVHN. Этот набор данных содержит около 30 тысяч изображений номеров зданий снятых в реальных условиях. CNN последовательно тренировалась (1) на цветных изображениях (3 цветовых канала), (2) на изображениях, которые содержали два цветовых канала и (3) на изображениях, которые состояли из одного цветового канала. Для всех случаев точность классификации на тестовых данных составила около 93%. Таким образом, был сделан вывод, что для классификации изображений набора данных SVHN достаточно использовать один цветовой канал. Учитывая разнообразие освещений, цветовых палитр и ракурсов изображений в SVHN, данный вывод, вероятно, можно обобщить и на другие подобные наборы данных, где для классификации важна структура объекта, а не его цвет. Для последнего слоя CNN использовалась активационная функция softmax, которая рассчитывает вероятность правильного распознавания изображения. Это, во-первых, позволило продемонстрировать уменьшение «уверенности» CNN в правильности классификации для дефокусированных изображений. Во-вторых, рассчитанные вероятности для каждого цветового канала позволяют выбрать наиболее достоверный для классификации канал.

Бинарные дифракционные оптические элементы вносят существенные хроматические aberrации. Как правило, компенсация этих aberrаций требует дополнительных усилий при оптимизации оптического элемента. В данной работе хроматические aberrации использованы для оптимизации PSF отдельно по каждому цветовому каналу с целью увеличения DOF. Для этого используется фазовая аподизация апертуры с помощью радиально-симметричного бинарного фазового элемента. При оптимизации данного элемента задаются величина максимально разрешимой частоты (в долях от частоты отсечения — задавалось 0,5) и значение минимально допустимого контраста на этой частоте (задавалось 20%). Оптимизируемыми параметрами являются высота фазового кольца и его внутренний радиус (нормированный внешний радиус полагается равным 1). Рассчитаны графики MTF для исходной и аподизированной изображающих систем. Эти графики рассчитаны для различных значений дефокусировки. Сравнение данных графиков MTF позволяет сделать вывод, что в аподизированной системе глубина фокуса увеличена примерно на порядок.

Выводы. В работе рассчитан бинарный оптический элемент для фазовой аподизации функции зрачка оптической системы. Данный оптический элемент обеспечивает увеличение глубины фокуса оптической системы хотя бы по одному цветовому каналу для определенного значения на оптической оси. Рассчитанный оптический элемент может быть использован в задачах машинного зрения для классификации изображений. Например, при использовании роботов в складских помещениях. При использовании соответствующего тренировочного набора данных полученные результаты могут быть обобщены, например, на задачу контроля технического состояния железнодорожного подвижного состава или задачу классификационного освидетельствования судов и морских сооружений. В частности, подводной части корпуса судна.

Дзюба А.П. (автор)

Подпись

Хонина С.Н. (научный руководитель)

Подпись