

УДК 004

Сравнительный анализ методов автоматического распознавания расфокусировки объектива

Джамилев Парвиз Рустамович – студент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Сайфуллин Данис Русланович – студент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Тен Станислав Валерьевич – студент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Меркулов Александр Вадимович – студент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Аннотация: Методы компьютерного зрения сейчас пользуются огромной популярностью. Основными востребованными областями являются: системы помощи водителю, управление промышленными роботами, управленческие процессы и аудиовизуальный мониторинг.

Ключевые слова: Цифровое изображение, резкость изображения, размытость изображения, оценка качества изображения, компьютерное зрение.

Объектом исследования выступают методы автоматического распознавания расфокусировки объектива цифровой камеры.

Предметом исследования настоящей работы являются критерии качества – меры размытия и резкости цифровых изображений.

Целью работы являлось исследование и сравнительный анализ автоматических методов определения расфокусировки объектива цифровой камеры и предложение методики фокусировки. Под методикой подразумеваются лучшие методы определения мер размытия и мер резкости цифровых изображений, и шаблоны фотографий, выставляемых на калибровочных стендах.

Результаты работы применяются для оценки качества в системах помощи водителю, а также могут быть использованы в других программных продуктах, использующих методы аудиовизуального мониторинга.

Для решения поставленной задачи использовались актуальные научные статьи известных ученых в сфере компьютерного зрения и анализа изображений. Также были использованы труды зарубежных ученых в сфере программирования (на языке Python). В результате работы был разработан программный продукт, включающий в себя автоматизацию процесса перебора изображений, хранящихся на локальном носителе, и осуществляющий оценку их качества и визуализацию результатов. Продукт был разработан на базе библиотек PyQT 5 и Pillow, с использованием среды PyCharm 2020 Community Edition на языке Python.

Система помощи водителю ADAS

ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) – система помощи водителю. Это набор определенных алгоритмов, которые в разной степени помогают водителю в быстром принятии решений для безопасного и легкого управления транспортным средством.

Основным ее назначением является предотвращение аварий. При обнаружении ситуации, которая может привести к столкновению она сперва сигнализирует водителю об угрозе опасности, в случае если необходимых мер для предотвращения аварийной ситуации не будет предпринято она активно вмешается в управление автомобилем. Вмешательство заключается в управлении тормозной системой, подвеской и двигателем.

Данный программно-аппаратный комплекс находит массовое применение в странах, где расположены большие автомобильные производства. Например, в Германии: на 23% выпускаемых автомобилей устанавливаются системы распознавания сонливости водителя, 20% машин оборудуются системами управления фарами, 11% системами автоматического торможения, 10% системами помощи по движению по полосе, 4% системами распознавания дорожных знаков и адаптивным круиз-контролем.

Классификация данных систем может быть довольно разнообразной, например можно подразделять их по аппаратным средствам, используемым в конкретной системе:

- системы, использующие радар;
- системы использующие датчики;
- системы, использующие камеру;

или по выполняемым ими функциям:

- предупреждения о выходе за дорожную полосу;
- распознавание дорожных знаков.

Множество задач решаемых ADAS с развитием информационных и технических технологий, а также развитием автомобильной промышленности только растет. ADAS можно классифицировать на различные типы решаемых задач:

- отвечающие за стабильность вождения – это, к примеру, задачи контроля тяги, поддержка рулевого управления, электронный самоблокирующиеся дифференциалы;
- отвечающие за свет и видимость – задачи автоматической адаптации радиуса освещения фар, ночная видимость, системы контроля дождя или предупреждающее зажигание фар;
- отвечающие за парковку – камера заднего вида, датчики приближения, объемное зрение области, помощь при посадке в автомобильный транспорт;
- «продольный контроль» - автоматический круиз-контроль, информация о лимите скорости, предупреждение о дорожных знаках, помощь в торможении, автоматическое экстренное торможение, автоматическая эстакада;
- задачи, связанные с салоном автомобиля – наблюдение за пассажирскими сидениями, навигационные системы, оптимизация траты топлива;
- «боковой контроль» - отслеживание ситуации в «мертвой» точке взгляда водителя,

предупреждения о выходе за разметку, помощь в потоке автомобилей, помощь в смене дорожной полосы.

Более подробно данная классификация продемонстрирована на диаграмме (Рисунок 1):

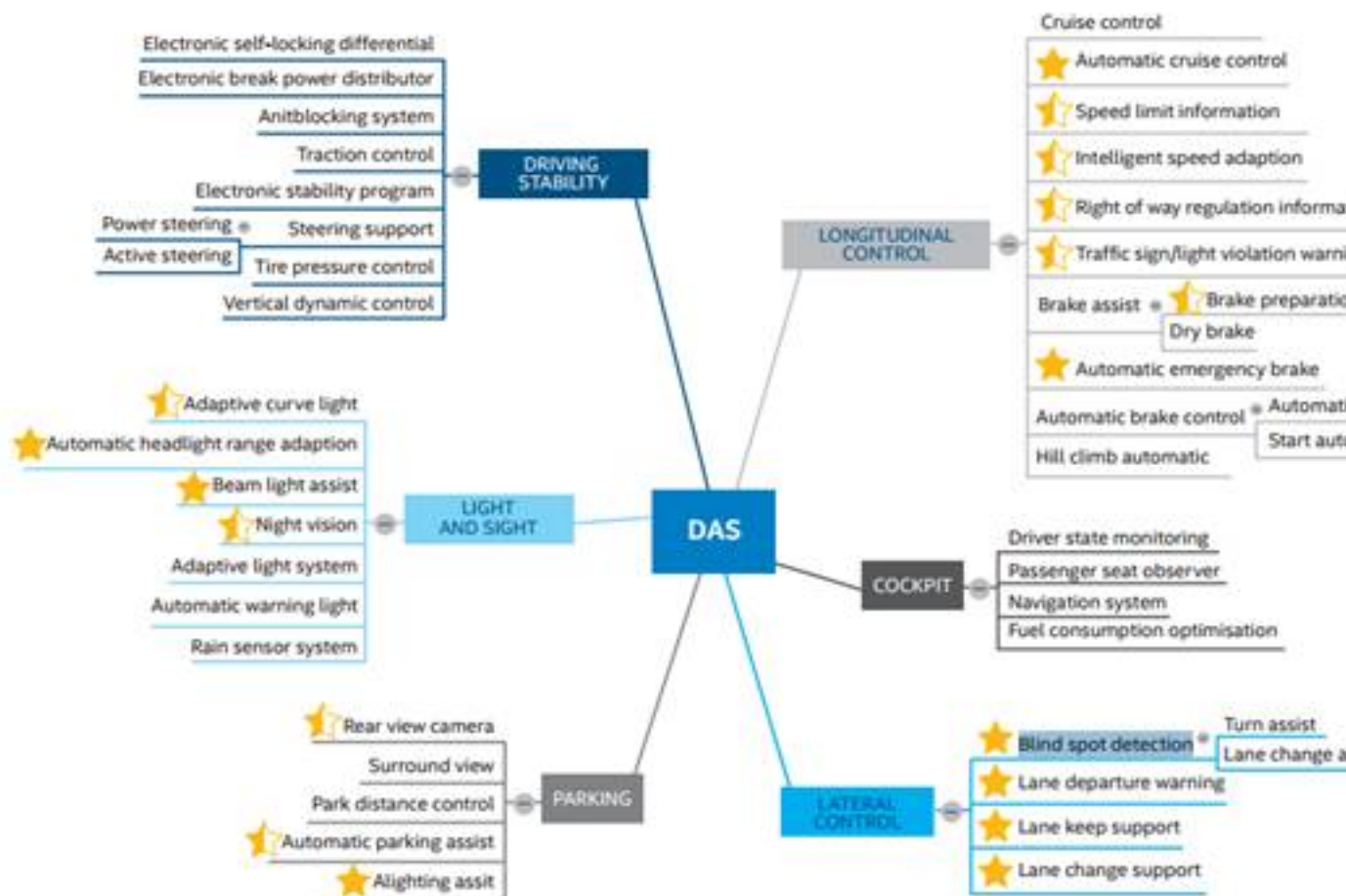


Рисунок 1. Классификация задач.

Для корректного функционирования системы ADAS, автомобиль должен быть снабжен необходимым оборудованием, а именно включать в себя модули для исследования, обработки и принятия решений. Рисунок 2 показывает компоненты, которые обязательно должна включать в себя современная система помощи водителю. В общем система включает в себя:

- датчики различных типов;
- комбинацию процессора с графическим процессором GPU, для выполнения обработки данных датчика, идентификации объектов и предварительного объединения данных датчика;
- центральный процессор, выполняющий роль основного мозга системы, для выполнения слияния данных датчика с различных его блоков, отслеживания объектов, текущего состояния транспортного средства;
- блок диагностики.

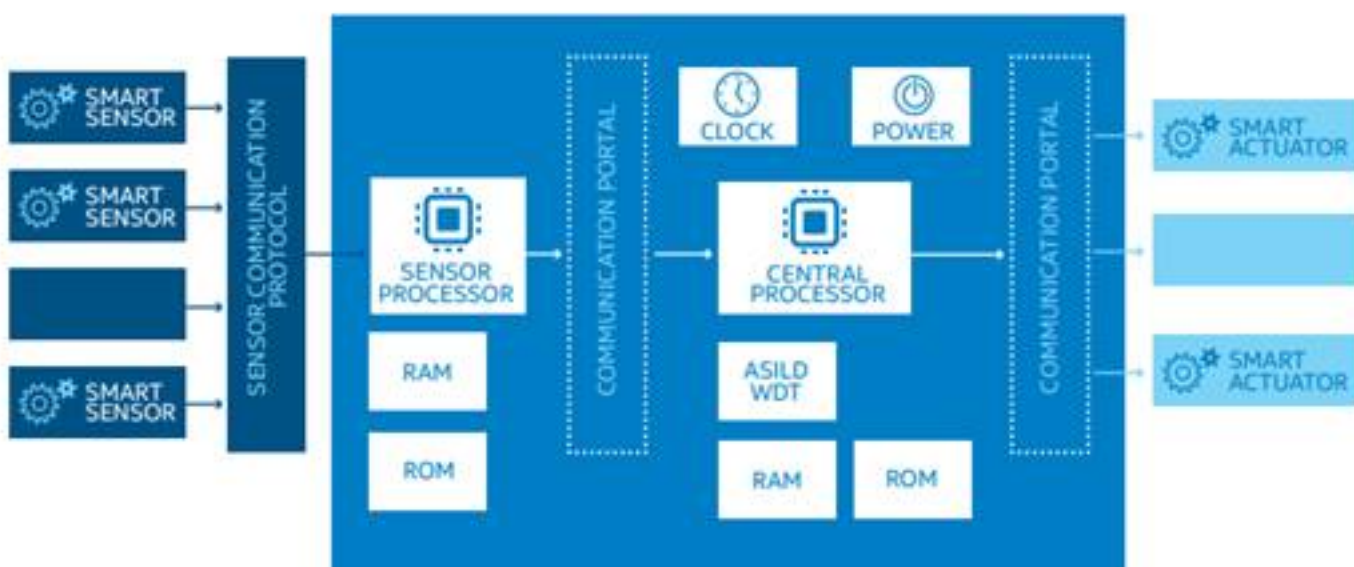


Рисунок 2. Диаграмма аппаратной составляющей системы ADAS.

Эта система представляет собой систему управления замкнутого контура, где приведение в действие управления транспортным средством рассчитывается на основе полученных данных от датчиков. И исход действий исполнительных устройств ADAS подается обратно в петлю в качестве входного сигнала датчика. Все вычислительные узлы в ADAS части транспортной системы, как правило, упоминаются как электронные блоки управления (ECU). Чувствительные и исполнительные блоки управления являются относительно ограниченными ресурсами единиц, по сравнению с центральным процессором ADAS.

Одним из ключевых достижений в области разработки систем помощи водителю является понятие "слияние датчиков". Это процесс, посредством которого внутренняя обработка входных данных из множества внешних датчиков создает карту возможных препятствий вокруг транспортного средства. Карта затем облегчает вычисление возможных действий и реакций с помощью ситуационного анализа. На рисунке 3 показан пример системы помощи водителю с поддержкой транспортного средства с набором датчиков, обеспечивающий "слияние датчиков".

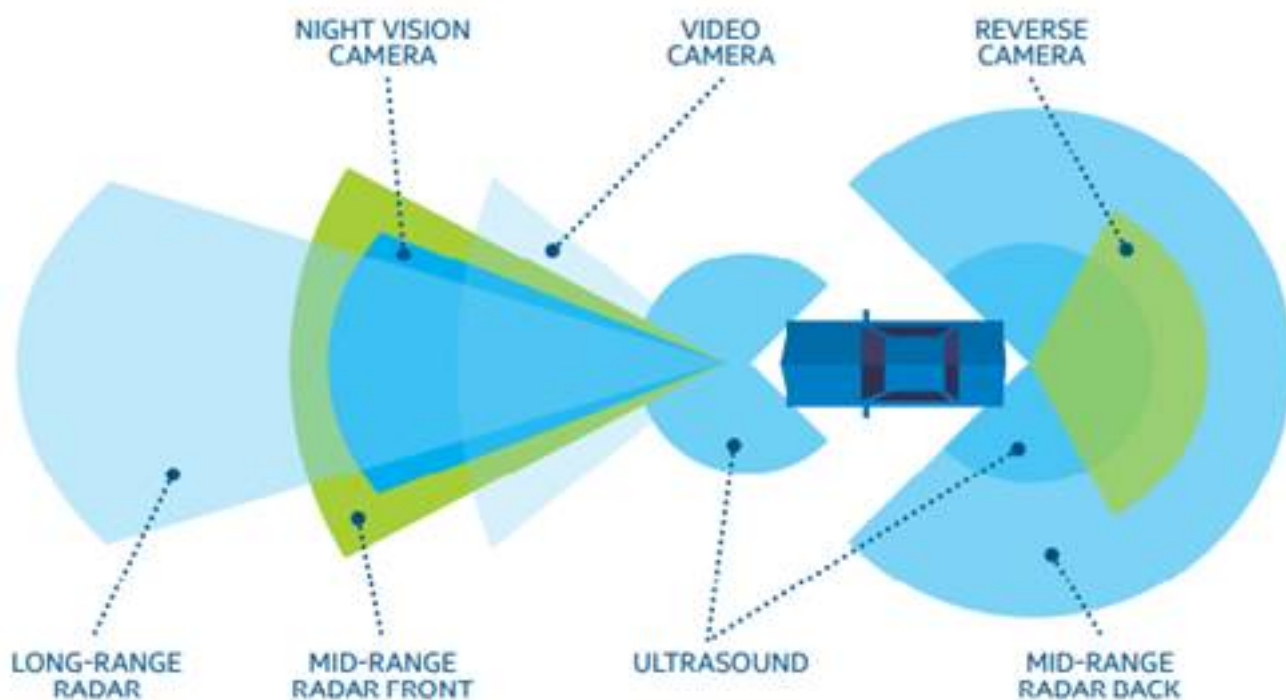


Рисунок 3. Примеры датчиков системы помощи водителю.

Методы оценки резкости и размытости изображений

Размытое изображение может оказать влияние на качество изображения. Для оценки размытия определяются метрики, позволяющие количественно определить степень размытости изображения.

Мера размытости изображения

Далее в работе рассматриваются методы, которые показали наилучший результат при оценке размытости изображения. Всего рассмотрим четыре метода:

Первая метрика была описана Ф. Критом и Т. Долмиром. Она использует принцип, согласно которому уровень серого цвета соседних пикселей в менее размытом изображении изменяется с большей вариацией, чем в его размытой копии. Рассчитывается абсолютная разность D по вертикали и горизонтали для соседних пикселей в исходных и размытых изображениях:

$$D_{\text{вер}}(x,y) = |I(x,y) - I(x-1,y)|, x = 2 \dots w, y = 1 \dots h, \quad (1)$$

$$D_{\text{гор}}(x,y) = |I(x,y) - I(x,y-1)|, x = 1 \dots w, y = 2 \dots h, \quad (2)$$

где $I(x, y)$ – значение интенсивности в пикселе (x, y) , h и w – высота и ширина изображения.

После этого необходимо вычислить вариативность соседних пикселей до и после размытия: если разница велика, исходное изображение считается достаточно резким. В вычислении вариативности участвуют только уменьшающиеся разницы. Таким образом, вариативность V для вертикального направления определяется как:

$$V_{\text{вер}}(x,y) = \max(0, D_{\text{вер}}(x,y) - D_{\text{DBver}}(x,y)), x = 1 \dots w - 1, y = 0 \dots h - 1 \quad (3)$$

где $DBver(x,y)$ – модуль разницы для размытого изображения B . Наконец, размытость для вертикального направления вычисляется:

$$K_{\text{filter_best}}^n = \sum_{x,y:=-1}^{n-1,k-1} M_{\text{best}}(x,y) \cdot \sum_{x,y:=-1}^{n-1,k-1} V_{\text{best}}(x,y)$$

$$K_{\text{filter}}^n = \max(K_{\text{filter_best}}^n, K_{\text{filter_best}}^n)$$

$$D_{\text{horiz_maxim}} = \sum_{x=-1}^{n-1} \sum_{y=-2}^{k-1} |I(x,y-1) - I(x,y+1)|$$

$$C_{\text{horiz}}(x,y) = \begin{cases} D_{\text{horiz}}(x,y), & \text{если } D_{\text{horiz}}(x,y) > D_{\text{horiz_maxim}} \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

$$E_{\text{horiz}}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{если } C_{\text{horiz}}(x,y) > \max(C_{\text{horiz}}(x,y-1), C_{\text{horiz}}(x,y+1)) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

$$B_{\text{horiz_best}}(x,y) = \frac{I(x,y) \cdot \frac{1}{2}(I(x,y+1) + I(x,y-1))}{\frac{1}{2}(I(x,y+1) + I(x,y-1))}$$

$$B(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{если } \max(B_{\text{horiz_best}}(x,y), B_{\text{vert_best}}(x,y)) > 0.1 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

$$K_{\text{filter}}^n = 1 - \sum_{x,y:=-1}^{n-1,k-1} B(x,y) / \sum_{x,y:=-1}^{n-1,k-1} E(x,y)$$

$$G_{x'}(x,y) = \begin{vmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & 2 \\ +1 & 0 & -1 \end{vmatrix} \cdot A(x,y)$$

$$G_{y'}(x,y) = \begin{vmatrix} +1 & 2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{vmatrix} \cdot A(x,y)$$

$$G_{\text{GTENG}} = \sum_1 (G_{x'}(x,y)^2 + G_{y'}(x,y)^2)$$

$$R(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & I(x, y) \leq |II(x, y)| \\ I(x, y) & I(x, y) \geq |II(x, y)| \end{cases}$$

$I(x, y)$ – интенсивность пикселя с координатами x и y ;

$II(x, y)$ – вторая производная изображения, полученная с помощью оператора Лапласа.

Мера резкости изображения

Первая мера основана на предположении, что различия соседних пикселей больше изменяются в областях с острыми краями. Поэтому авторы вычисляют разность второго порядка для соседних пикселей в качестве дискретного аналога второй производной для изображения, прошедшего через шумоподавляющий медианный фильтр:

$$\Delta I_2(x, y) = |I_m(x + 1, y) - I_m(x, y)| - |I_m(x, y) - I_m(x - 1, y)| \quad (16)$$

где I_m – оригинальное изображение, пропущенное через медианный фильтр.

Далее определяется вертикальная резкость для каждого пикселя S_{ver} как:

$$S_{ver}(x, y) = \sum_{k \in \{0, 1, 2, 3\}} |\Delta I_2(k, y)| / \sum_{k \in \{0, 1, 2, 3\}} |I(k, y) - I(k + 1, y)| \quad (17)$$

и каждый пиксель считается резким, если его резкость превышает 0.0001. Число резких пикселей NS_{ver} вычисляется, и краевые пиксели находятся с помощью метода Canny, число NE_{ver} равно их количеству. Затем тот же процесс повторяется в горизонтальном направлении, и отношение острых краевых пикселей для вертикального и горизонтального направлений вычисляется как:

$$K_{\lambda}^{-1} = \sqrt{\left(\frac{M}{M_0} \right)^2 + \left(\frac{N}{N_0} \right)^2} = \left(\frac{M}{M_0} \right)^2 + \left(\frac{N}{N_0} \right)^2$$

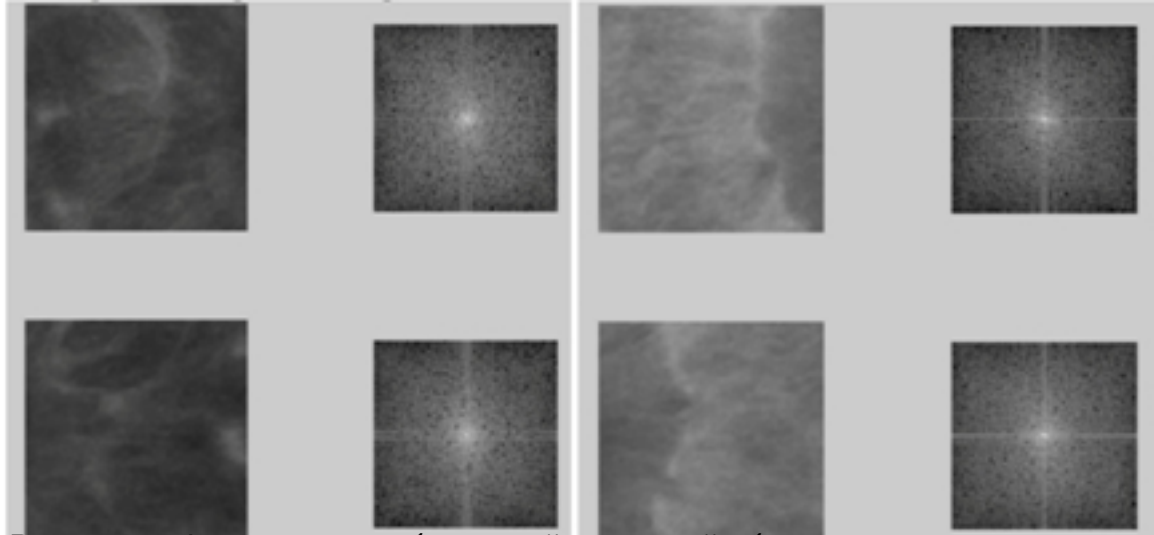


Рисунок 4. Дефокусировка объектов с различным соотношением сторон в пространстве Фурье. В

$$RQ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |f_{ij}|^2 = |f_{ij}|^2 + |f_{ij-1}|^2 + \dots + |f_{ij-M}|^2$$

$$C = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |f_{ij}|^2 = |f_{ij}|^2 + |f_{ij-1}|^2 + \dots + |f_{ij-M}|^2$$

$$x' = 2, \quad (25 \text{ мкм} \cdot 25 \text{ мкм})$$

Рисунок 5. Дефокусировка объектов с различным соотношением сторон в пространстве Фурье. В

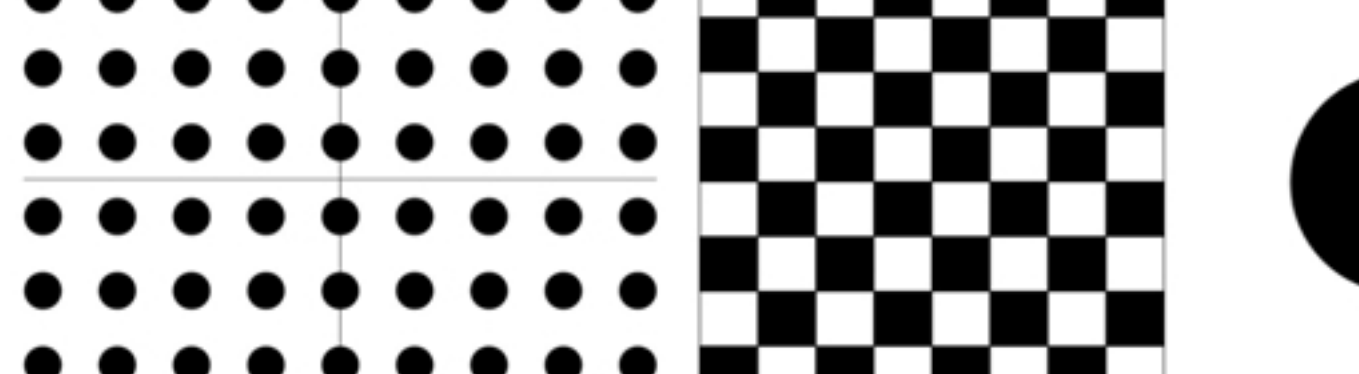
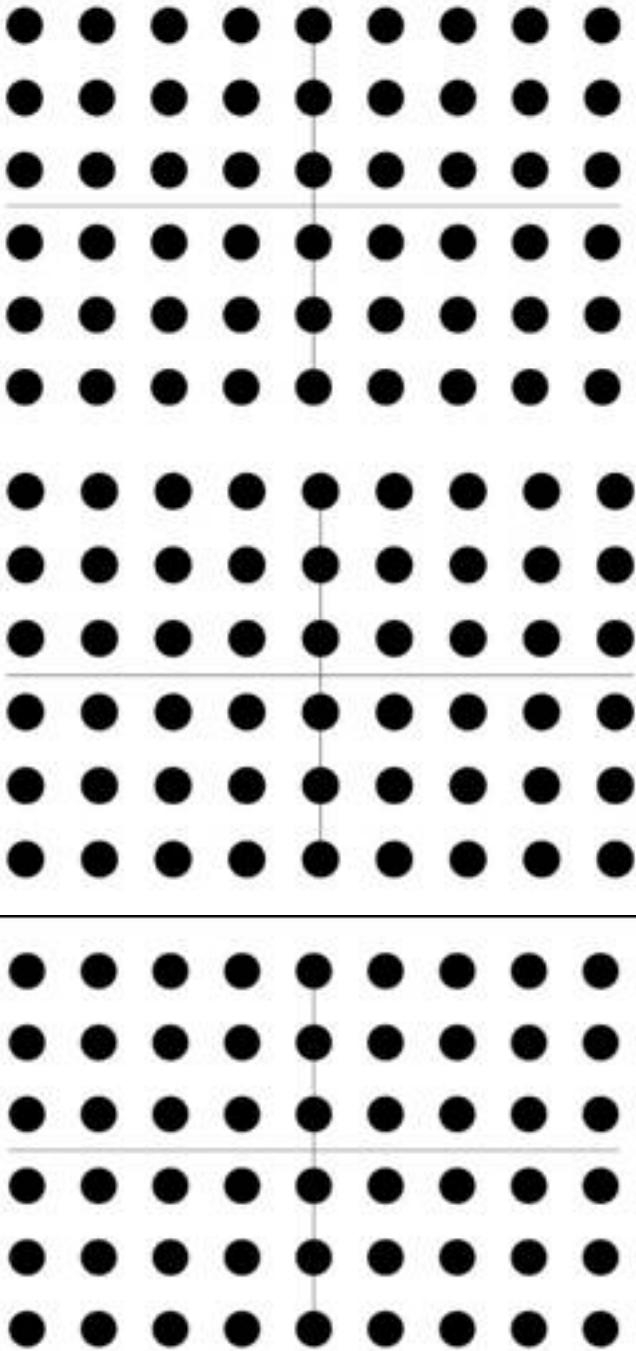
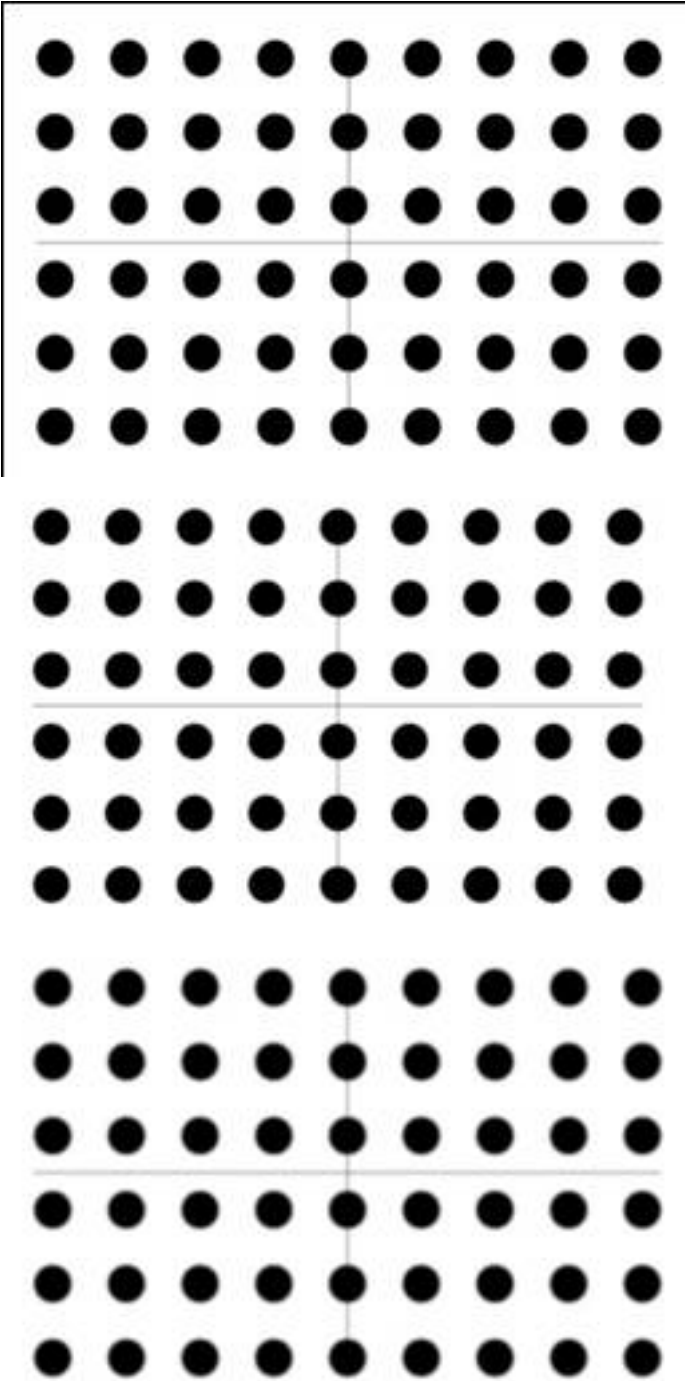


Рисунок 6. Дефокусировка объектов с различным соотношением сторон в пространстве Фурье. В





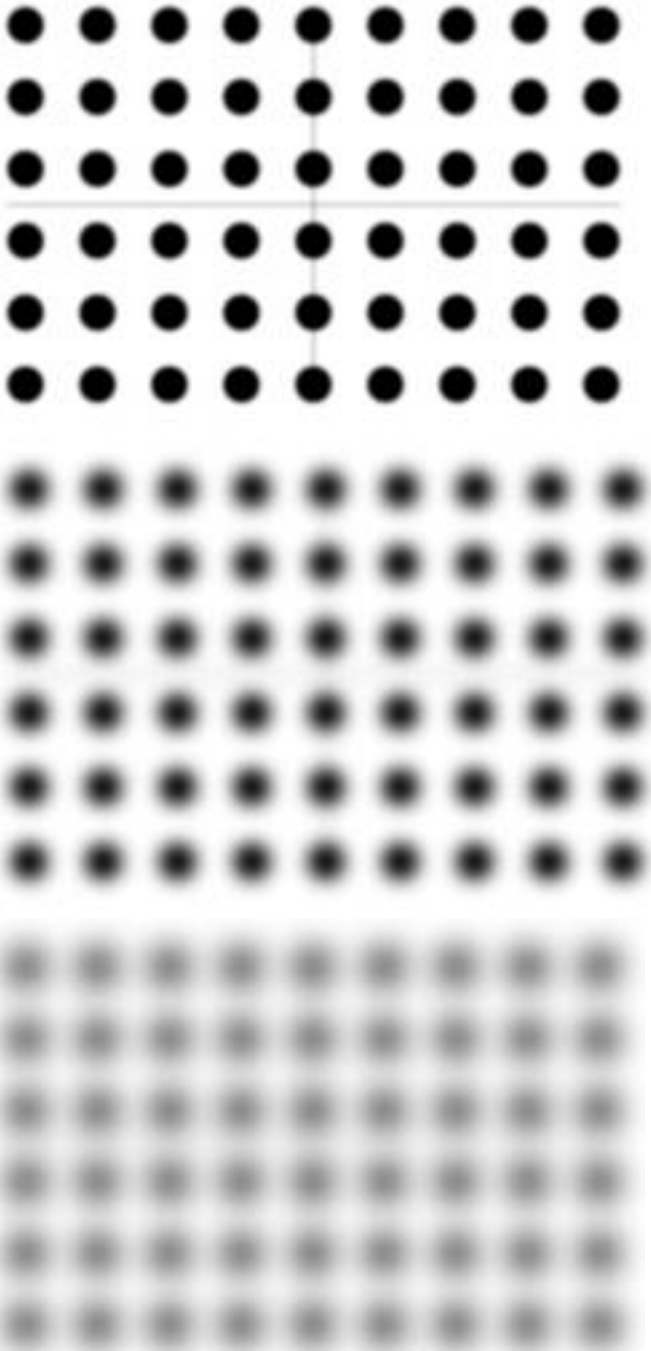


Рисунок 6. Изображение калибровочного эталона разном уровне размытости.

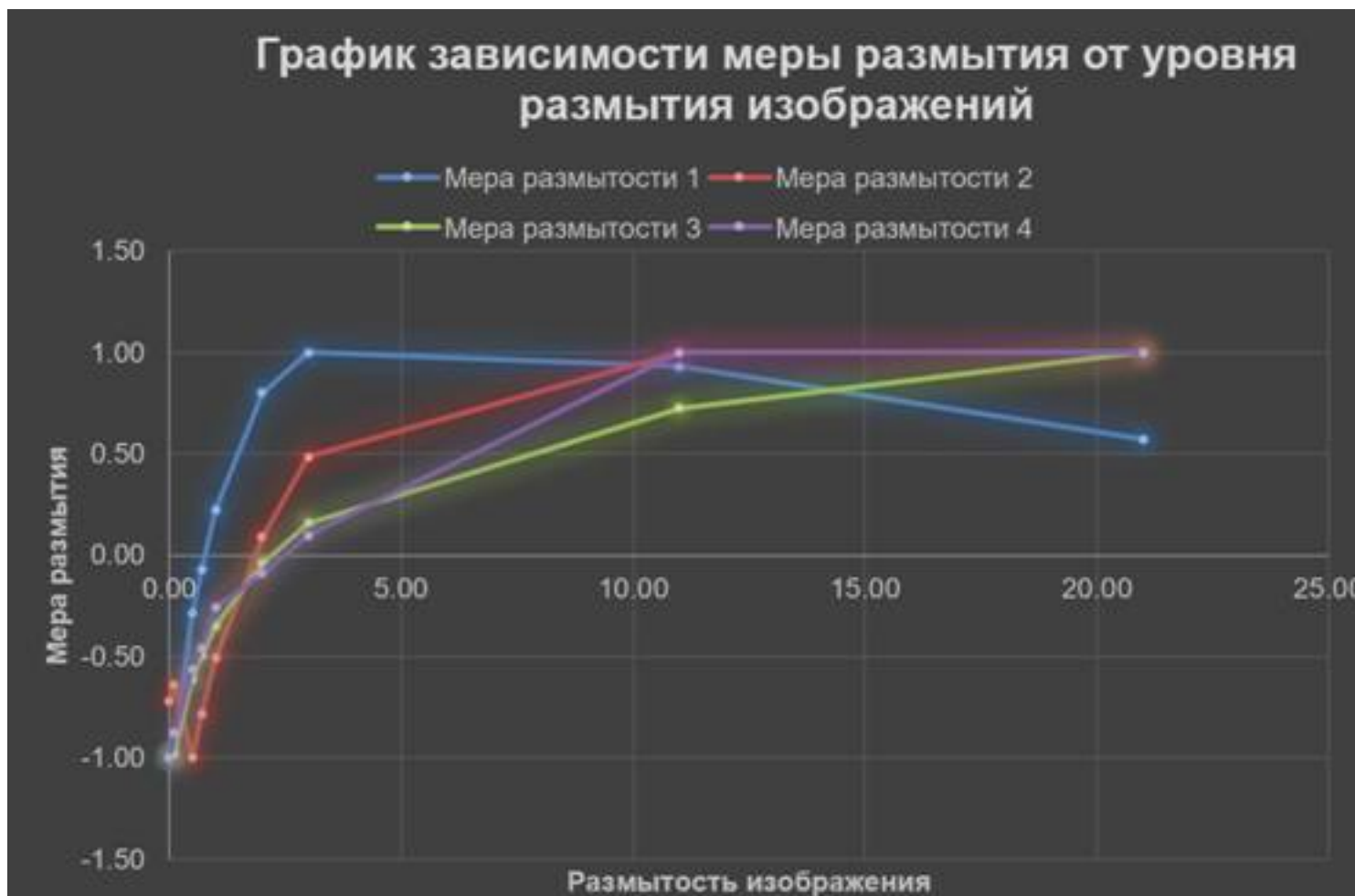


Рисунок 7. График зависимости меры размытия от уровня размытости первого шаблона.

График зависимости меры резкости от уровня размытия изображений

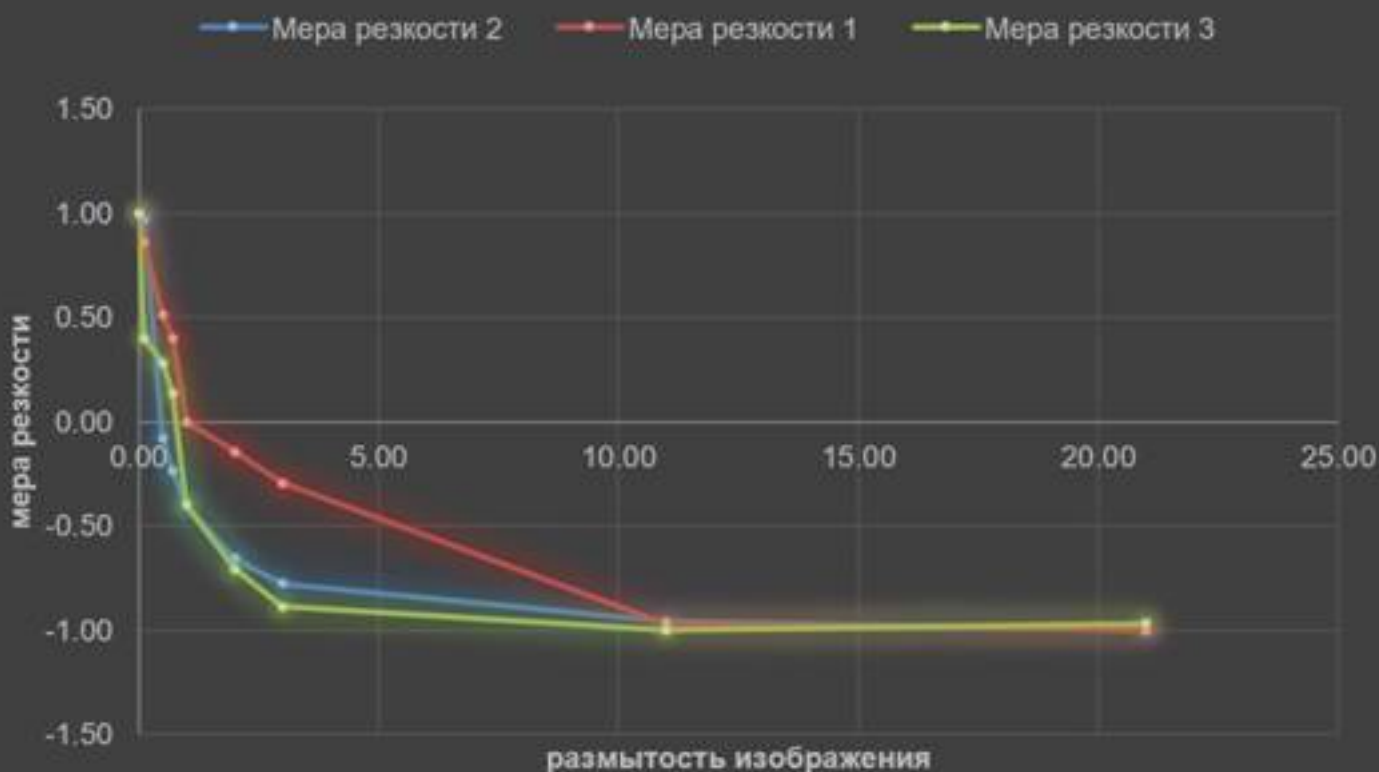


Рисунок 8. График зависимости меры резкости от уровня размытия изображений для трех шаблонов. Мера резкости 1 (красная линия), мера резкости 2 (синяя линия), мера резкости 3 (зеленая линия).