

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ

В.В.Замятин

Для измерения координат точечного источника излучения на поверхности фоточувствительной матрицы применяют центроидальные алгоритмы или основанные на аппроксимации видеосигнала гауссоидой, параболаидой и другими функциями. Погрешности измерений имеют отличия алгоритмов, отношения сигнал/шум, неоднородности фоточувствительности, оптических, геометрических параметров матриц, оптических систем (включая фильтры R, G, B).

На сегодняшний день, имея мощные вычислительные средства и видеосистемы, проведен анализ методов вычисления координат источника излучения с использованием всей цифровой информации каналов R, G, B на примере центроидальных алгоритмов.

Применялись следующие виды алгоритмов вычисления координаты источника излучения на фоточувствительной поверхности матрицы:

1) Центроидальный алгоритм вычисления координаты X_c в строке с максимальной амплитудой видеосигнала

$$X_c = \frac{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k} \cdot X_{m-k}}{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k}},$$

где X_{m-k} – координата X центра ячейки, амплитуда которой равна A_{xm-k} ; n – количество ячеек, используемых для вычислений.

2) Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк видеосигнала

$$X_c = \frac{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k} \cdot X_{m-k}}{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k}},$$

$A_{xm-k} = (\sum_{i=-p}^p A_i) / p$ – сумма амплитуд строк

выше и ниже строки с максимальной амплитудой, X_{m-k} – координата X центра ячейки, амплитуда которой равна A_{xm-k} ; n – количество ячеек, используемых для вычислений; p – количество строк.

3) Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк с учетом весовых коэффициентов

$$X_c = \frac{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k} \cdot X_{m-k}}{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k}},$$

$$A_{xm-k} = \sum_{i=-p}^p A_i \cdot (A_i / A_{sum}), \quad A_{sum} = \sum_{i=-p}^p A_i,$$

где A_i – сумма амплитуд с учетом весовых коэффициентов строк выше и ниже строки с максимальной амплитудой; X_{m-k} – координата X центра ячейки, амплитуда которой равна A_{xm-k} ; n – количество ячеек, используемых для вычислений; p – количество строк.

4) Центроидальный алгоритм со сложением координат источника излучения в нескольких строках

$$X_c = (\sum_{i=-p}^p X_p) / p \text{ - сумма координат строк}$$

выше и ниже строки с максимальной амплитудой

$$X_p = \frac{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k} \cdot X_{m-k}}{\sum_{k=-n}^n A_{xm-k}}, \text{ где } X_{m-k} \text{ – координата}$$

X центра ячейки, амплитуда которой равна A_{xm-k} , n – количество ячеек, используемых для вычислений, p – количество строк.

5) Центроидальный алгоритм со сложением координат источника излучения в нескольких строках с учетом весовых коэффициентов

$$X_c = \sum_{i=-p}^p X_i (X_p / X_{sum})$$

$$X_{sum} = \sum_{i=-p}^p X_i, \text{ где } X_{sum} \text{ – сумма координата X}$$

центра ступеньки, p – количество строк.

Алгоритмы вычисления координаты Y_c имеют аналогичный вид для обработки видеосигнала по столбцам.

Изображение точечного источника излучения в красной области спектра с длиной

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ

волны $\lambda=0,63$ мкм формировалось на фото-чувствительное поверхности ПЗС матрицы. Формат цифровой матрицы составлял 2736 x 3648 пикселей размером 5,32 x 7,18 мм.

Изображение излучателя фокусировалось через цветной фильтр Байера с классическим способом расположения светофильтров на матрице «красный – зеленый – зеленый – синий» (RGGB) и занимало 5x5 ячеек. Видеосигнал в цветовых каналах RGB формировался производителем матрицы собственными алгоритмами восстановления цветного изображения. Амплитуда видеосигнала от источника излучения достигала 256 уров-

ней градации яркости в каждом цветовом канале.

Установление зависимости погрешности измерения координат от отношения сигнал/шум производилось в красном R цветовом канале методом математического моделирования. К амплитуде видеосигнала в каждой ячейке добавлялся белый шум заданной амплитуды и производились вычисления координаты источника излучения на фото-чувствительно поверхности ПЗС матрицы с использованием центроидальных алгоритмов.

Результаты эксперимента с использованием математического моделирования отношения сигнал/шум приведены в таблицах:

Таблица 1

Погрешности измерений координаты точечного источника излучения в цветовом канале R отношения сигнал/шум. Центроидальный алгоритм вычисления координаты X_c в строке с максимальной амплитудой видеосигнала.

Сигнал/ Шум	Шум, %	Координата max, мкм пкс	Координата min, мкм пкс	Координата X_c , мкм пкс	Разброс координат, max-min, мкм пкс
100	1	0,4897785	0,4863014	0,4880342	0,0034771
50	2	0,4931624	0,4811966	0,4880342	0,0119658
25	4	0,5000000	0,4795222	0,4880342	0,0204778
10	10	0,5186125	0,4603448	0,4880342	0,0582677
5	20	0,5475352	0,4326599	0,4880342	0,1148753

Таблица 2

Погрешности измерений координаты точечного источника излучения в цветовом канале R отношения сигнал/шум. Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк видеосигнала.

Сигнал/ Шум	Шум, %	Координата max, мкм пкс	Координата min, мкм пкс	Координата X_c , мкм пкс	Разброс координат, max-min, мкм пкс
100	1	0,6192544	0,6117288	0,6162193	0,0075256
50	2	0,6209279	0,6117576	0,6162193	0,0091703
25	4	0,6249262	0,6042980	0,6162193	0,0206282
10	10	0,6478077	0,5861425	0,6162193	0,0616652
5	20	0,6661773	0,5430529	0,6162193	0,1231244

Таблица 3

Погрешности измерений координаты точечного источника излучения в цветовом канале R отношения сигнал/шум. Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк с учетом весовых коэффициентов.

Сигнал/ Шум	Шум, %	Координата max, мкм пкс	Координата min, мкм пкс	Координата X_c , мкм пкс	Разброс координат, max-min, мкм пкс
100	1	0,4918608	0,4875032	0,4898354	0,0043576
50	2	0,4919704	0,4861256	0,4898354	0,0058448
25	4	0,4947918	0,4822817	0,4898354	0,0125101
10	10	0,5057268	0,4724775	0,4898354	0,0332493
5	20	0,5174480	0,4439293	0,4898354	0,0735187

Таблица 4

Погрешности измерений координаты точечного источника излучения в цветовом канале R отношения сигнал/шум. Центроидальный алгоритм со сложением координат источника излучения в нескольких строках.

Сигнал/ Шум	Шум, %	Координата max, мкм пкс	Координата min, мкм пкс	Координата X_c , мкм пкс	Разброс координат, max-min, мкм пкс
100	1	0,4918662	0,4882300	0,4900452	0,0036362
50	2	0,4909706	0,4859602	0,4900452	0,0050104
25	4	0,4940990	0,4868421	0,4900452	0,0072569
10	10	0,5027223	0,4753537	0,4900452	0,0273686
5	20	0,5186788	0,4453303	0,4900452	0,0733485

Таблица 5

Погрешности измерений координаты точечного источника излучения в цветовом канале R отношения сигнал/шум. Центроидальный алгоритм со сложением координат источника излучения в нескольких строках с учетом весовых коэффициентов.

Сигнал/ Шум	Шум, %	Координата max, мкм пкс	Координата min, мкм пкс	Координата X_c , мкм пкс	Разброс координат, max-min, мкм пкс
100	1	0,4894880	0,4866870	0,4878462	0,0028010
50	2	0,4900628	0,4836276	0,4878462	0,0064352
25	4	0,4940424	0,4840507	0,4878462	0,0099917
10	10	0,5007743	0,4768222	0,4878462	0,0239521
5	20	0,5134185	0,4405249	0,4878462	0,0728936

Таблица 6

Погрешность измерений сигнал/шум центроидальных алгоритмов вычисления координат источника излучения на фоточувствительной поверхности ПЗС матрицы..

Шум, %	Сигнал /шум	Центроидальный алгоритм вычисления координаты X_c в строке с максимальной ам- плитудой видеосигнала	Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд не- скольких строк видеосигнала	Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд не- скольких строк с учетом ве- совых коэффициентов	Центроидальный алгоритм со сложением координат ис- точника излучения в не- скольких строках	Центроидальный алгоритм со сложением координат ис- точника излучения в не- скольких строках с учетом весовых коэффициентов
20	1	0,1148753	0,1231244	0,0735187	0,0733485	0,0728936
10	2	0,0582677	0,0616652	0,0332493	0,0273686	0,0239521
4	4	0,0204778	0,0206282	0,0125101	0,0072569	0,0099917
2	10	0,0119658	0,0091703	0,0058448	0,0050104	0,0064352
1	20	0,0034771	0,0075256	0,0043576	0,0036362	0,0028010
Погрешность сигнал/шум в мкм пкс						

В таблицах (1 – 6) мкм пкс – величина умноженная на размер пикселя. Размер пикселя составляет 5320 мкм / 2736 для исследуемой матрицы.

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ

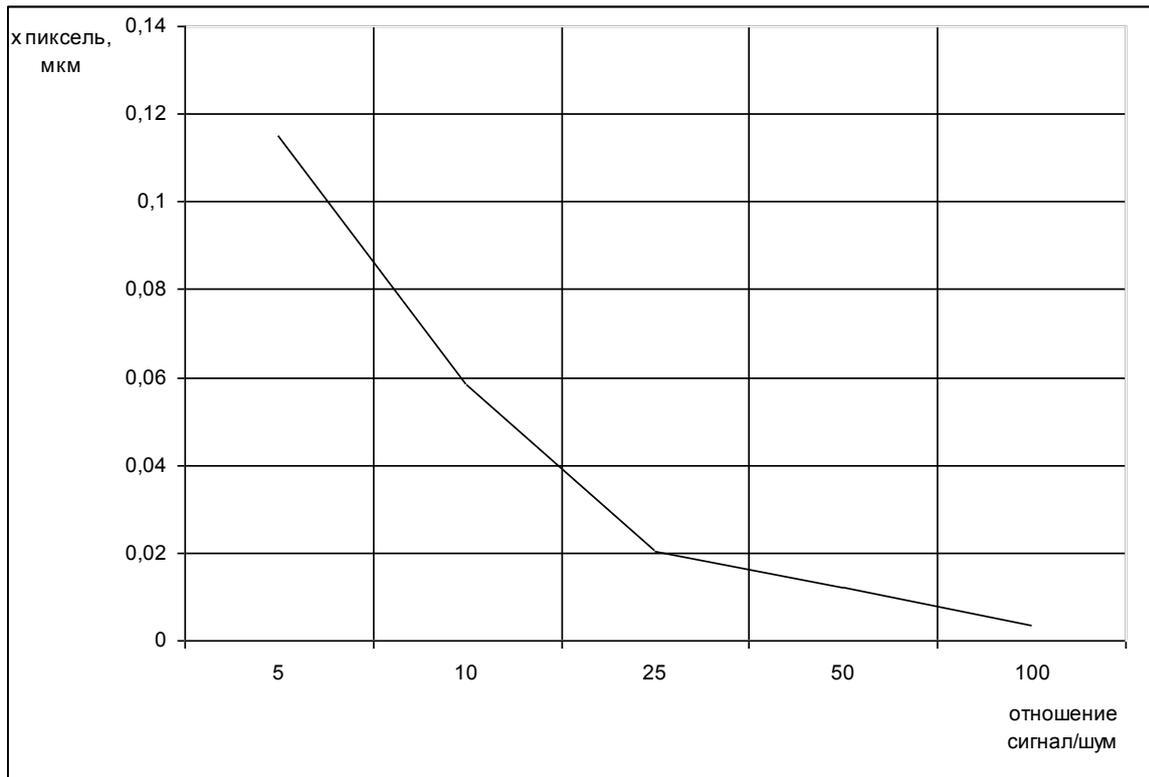


Рисунок 1. Погрешность измерений координат X_c . Центроидальный алгоритм вычисления координаты X_c в строке с максимальной амплитудой видеосигнала.

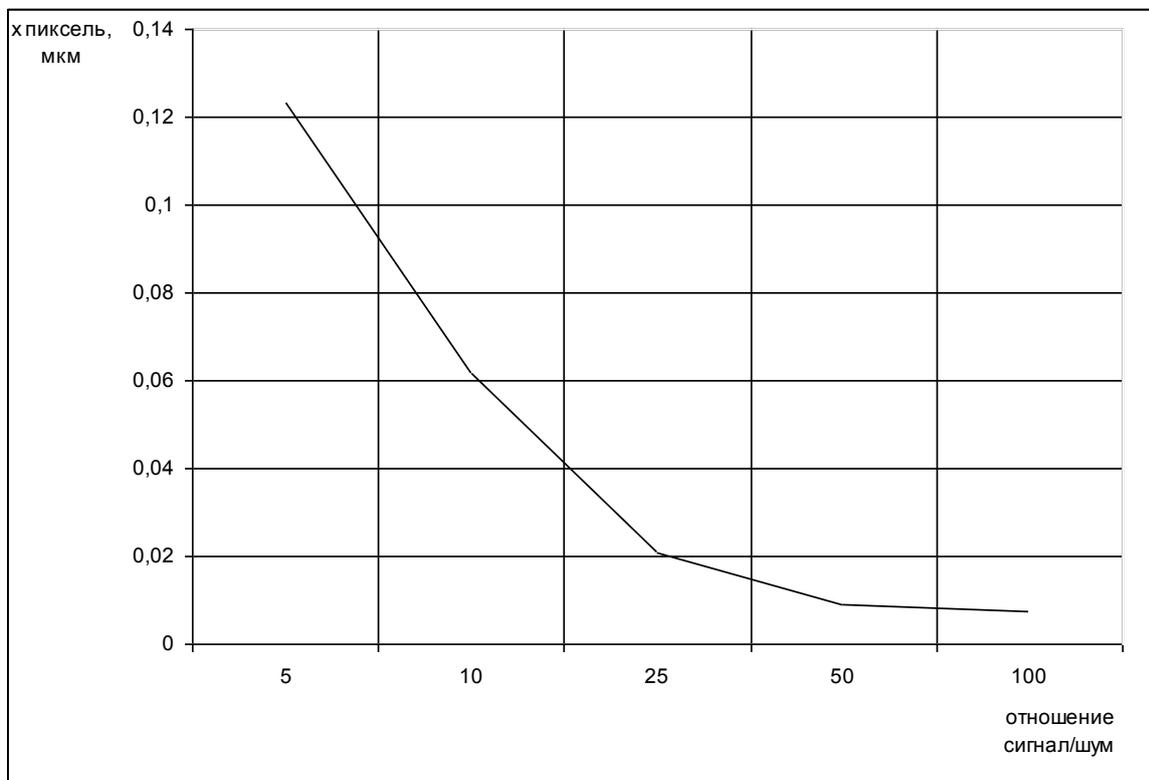


Рисунок 2. Погрешность измерений координат X_c . Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк видеосигнала.

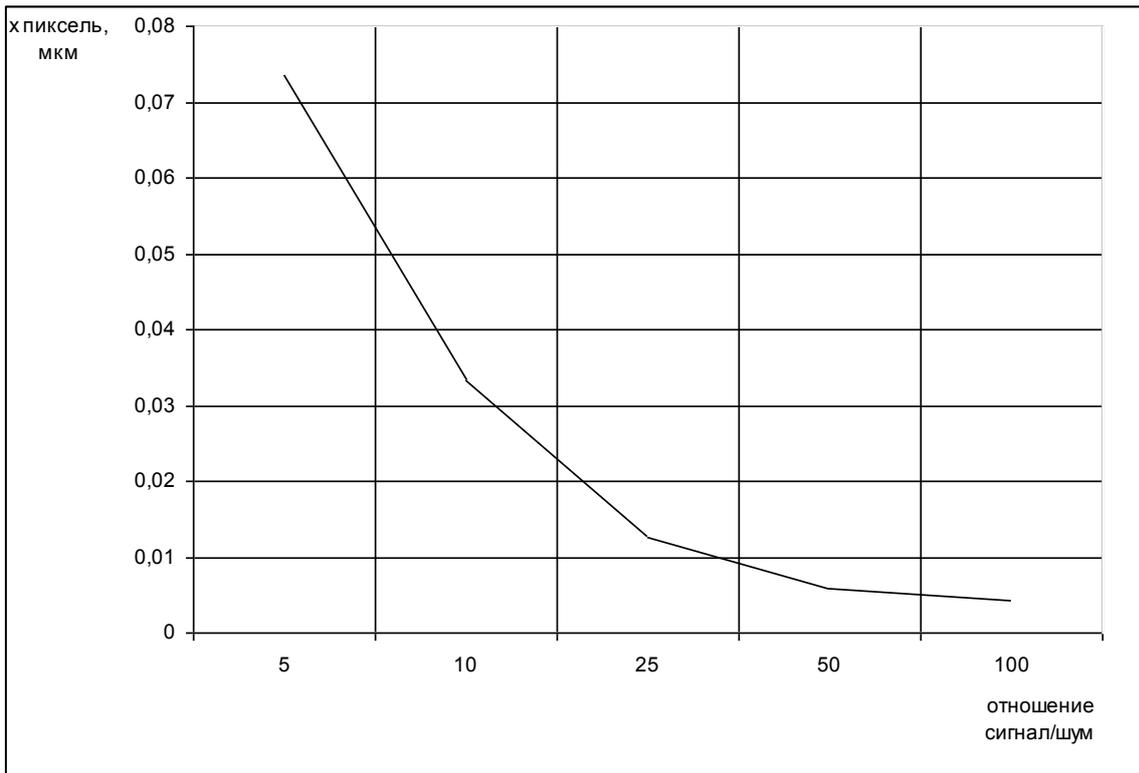


Рисунок 3. Погрешность измерений координат X_c . Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк с учетом весовых коэффициентов.

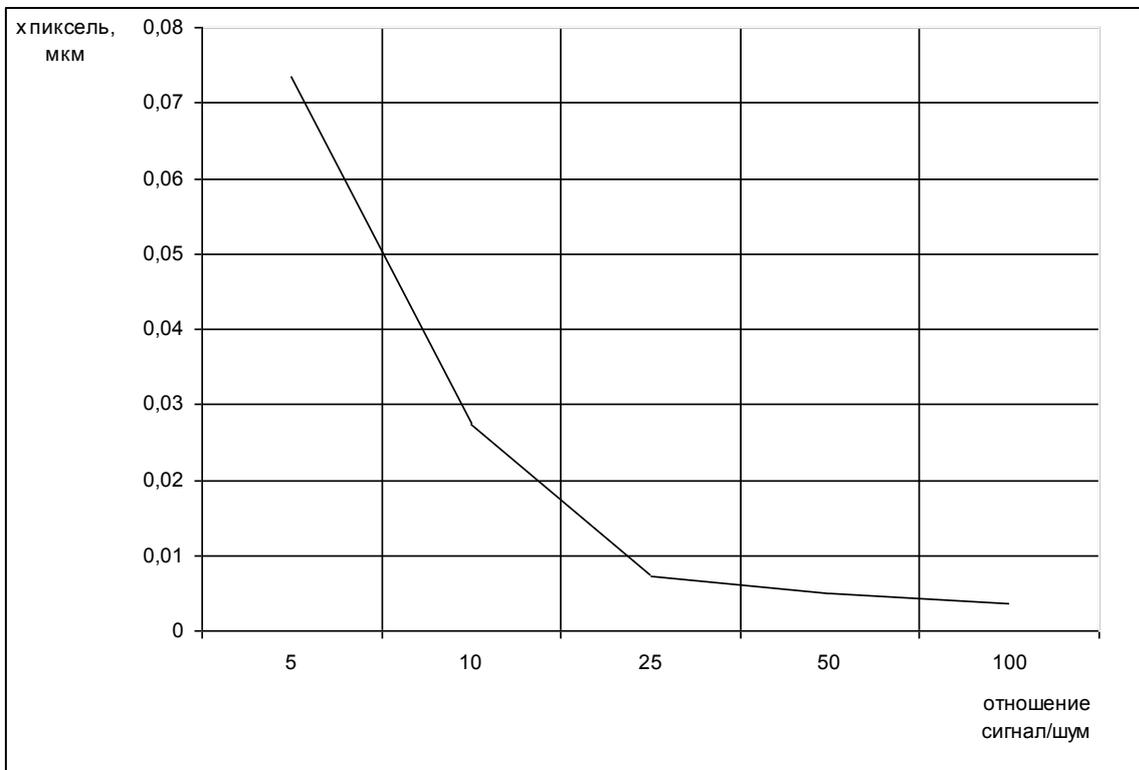


Рисунок 4. Погрешность измерений координат X_c . Центроидальный алгоритм со сложением амплитуд нескольких строк с учетом весовых коэффициентов.

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ

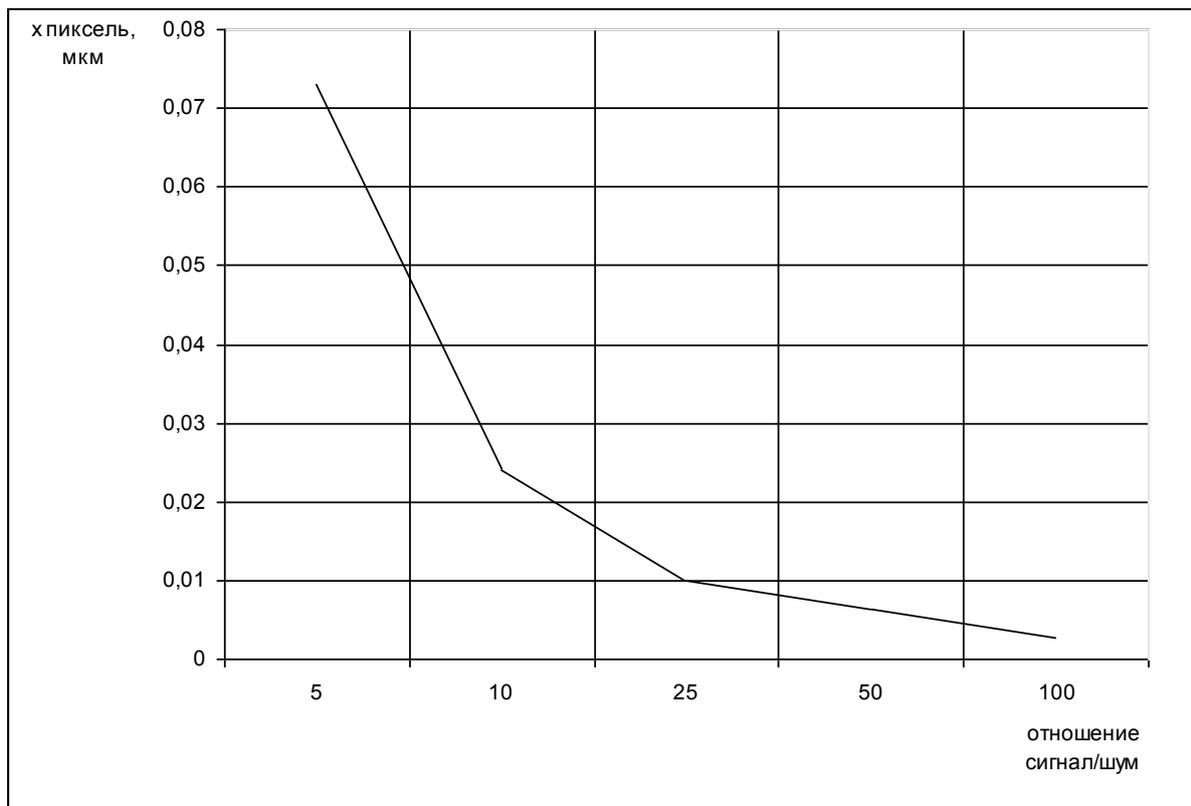


Рисунок 5. Погрешность измерений координат X_c . Центроидальный алгоритм со сложением координат источника излучения в нескольких строках с учетом весовых коэффициентов.

Полное использование информации видеосигнала от источника излучения размером 5×5 ячеек с применением нового алгоритма «Центроидальный алгоритм со сложением координат источника излучения в нескольких строках с учетом весовых коэффициентов» позволяет повысить точность измерений в 1,5 – 2 раза. Особенно эффективно применение новых алгоритмов при отношениях сигнал/шум менее 25. Алгоритмические погрешности вычислений, погрешности неравномерности фоточувствительности ячеек, геометрический шум, расфокусировка изображения также будут оказывать меньшее влияние на точность измерения координат источника излучения с новыми алгоритмами.

При изображении источника излучения на фоточувствительной поверхности ПЗС размером 5×5 ячеек с отношением сигнал/шум 100 чувствительность к перемещениям составит 5,4 нм для одного цветового канала изображения.

Использование трех каналов цветного изображения R, G, B позволит еще увеличить чувствительность к перемещениям в этих же условиях до 3,12 нм.

Применение новых методик улучшения работы алгоритмов вычисления координат также целесообразно при аппроксимации видеосигнала гауссоидой, параболоидой и другими функциями.