

**Высокоточная система ориентации  
на основе  
идентификации звезд по изображениям**



***ПИВТОРАЦКАЯ С.В.,  
НИЯУ «МИФИ»***

***ПЕРСЕВ И.В., К.Т.Н.,  
ИТЦ «СКАНЭКС»***

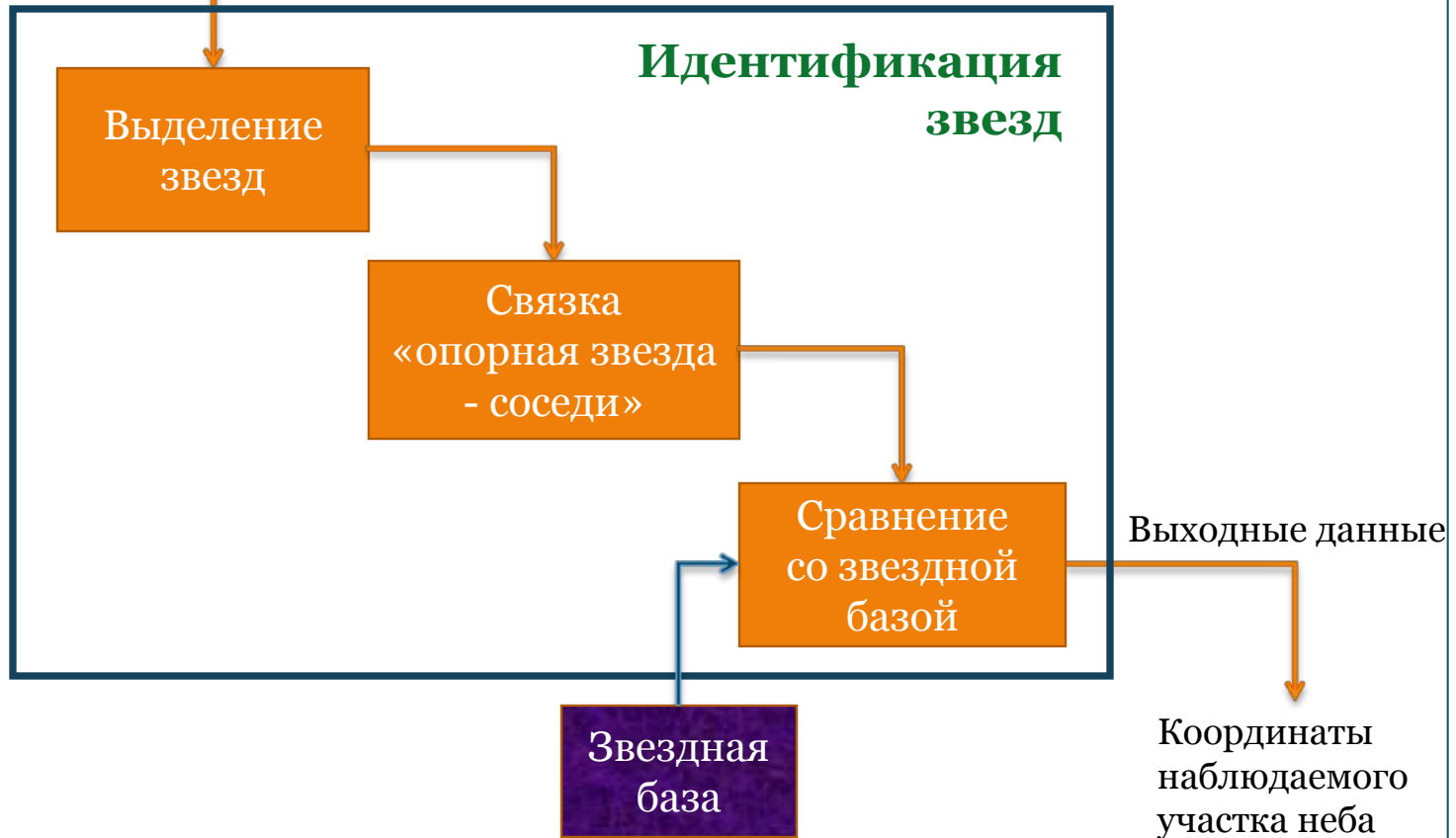
# Составные части системы ориентации

1



Видеокамера

Входные данные

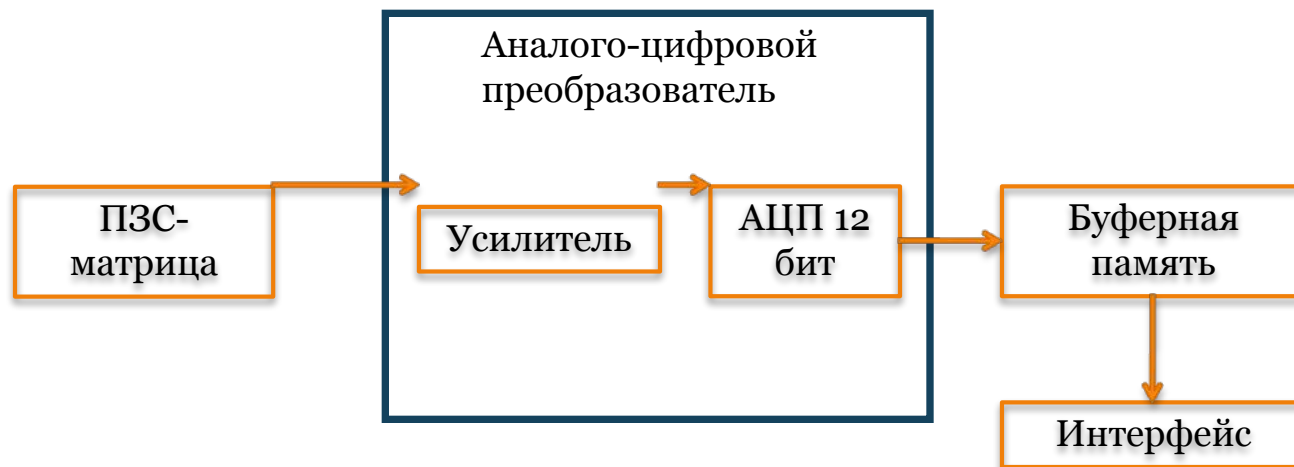


# Структура ПЗС-камеры

2

Характеристики ПЗС-камеры и объектива:

- высокочувствительный фотоприемник ПЗС,
- АЦП, имеющий на выходе не менее 12 бит/пиксель,
- объектив с широким углом обзора – не менее 3 град.



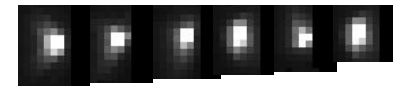
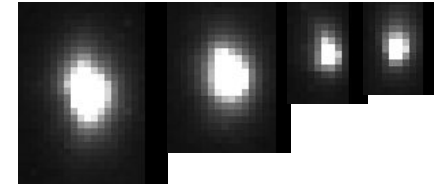
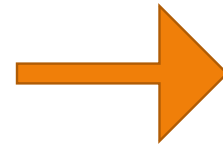
Под требуемые характеристики подходит видеокамера «Видеоскан-205» в связке с объективом Navitar TV LENS, фокусное расстояние – 50 mm.

# Идентификация звезд - 1 этап. Выделение звезд

3



Изображение произвольного участка неба  $f(i, j)$



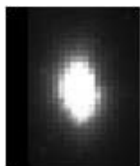
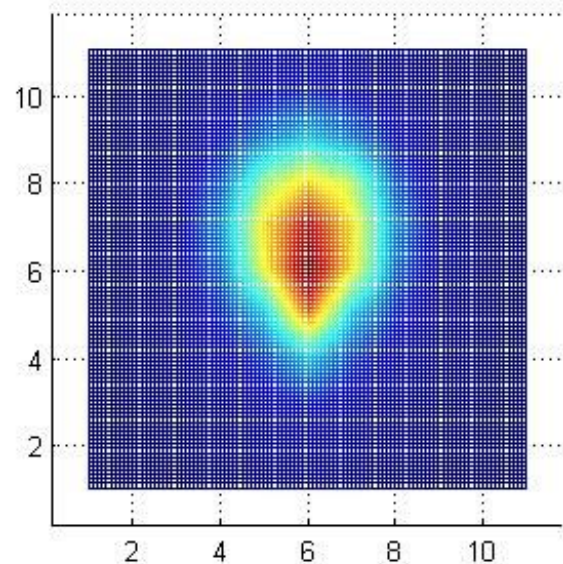
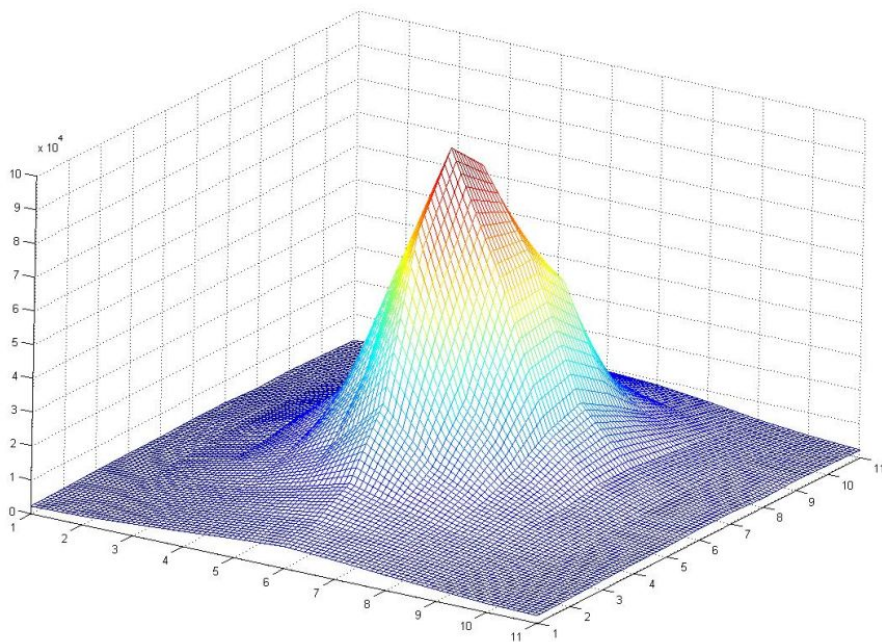
Ряд выделенных звезд

$$f'(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & \text{если } f(i, j) > f_{\text{шума}} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

где  $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$

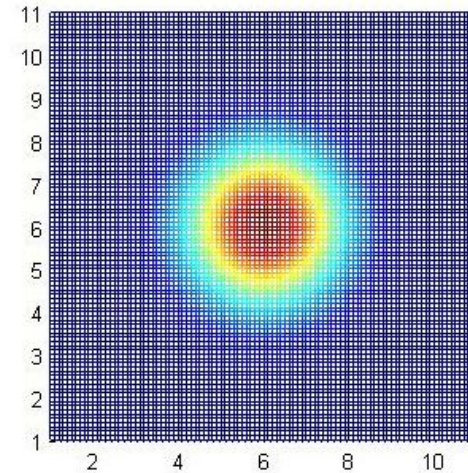
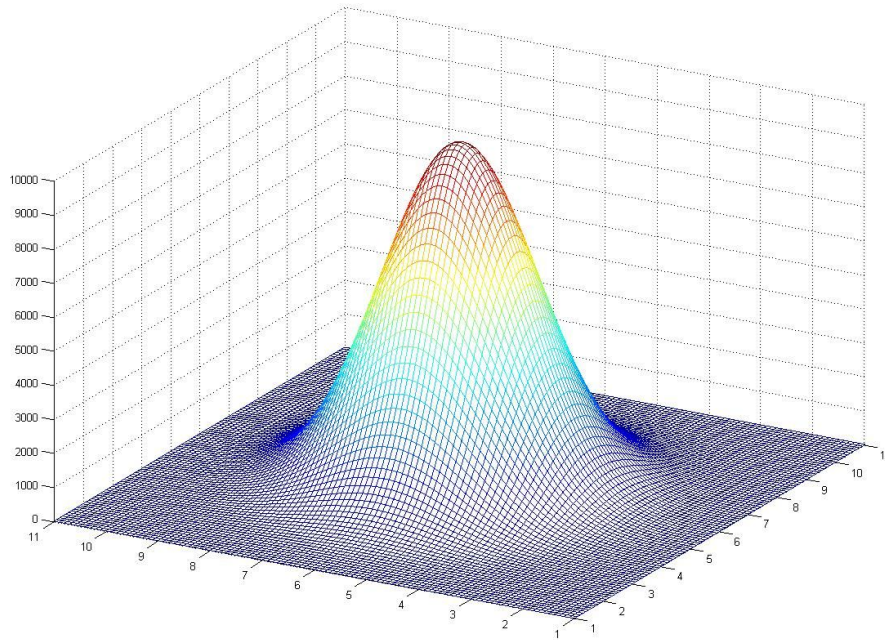
# Идентификация звезд – 1 этап. Выделение звезд

4



PSF(x,y)- point spread function, функция  
рассеяния точки объектива

# Идентификация звезд – 1 этап. Выделение звезд



Гаусса  $g(l, k)$   
с центром ожидания  $a=6$ , дисперсией  $\sigma=1,15$

Свертка изображения  
 $f'(i, j)$  по  
функции Гаусса :

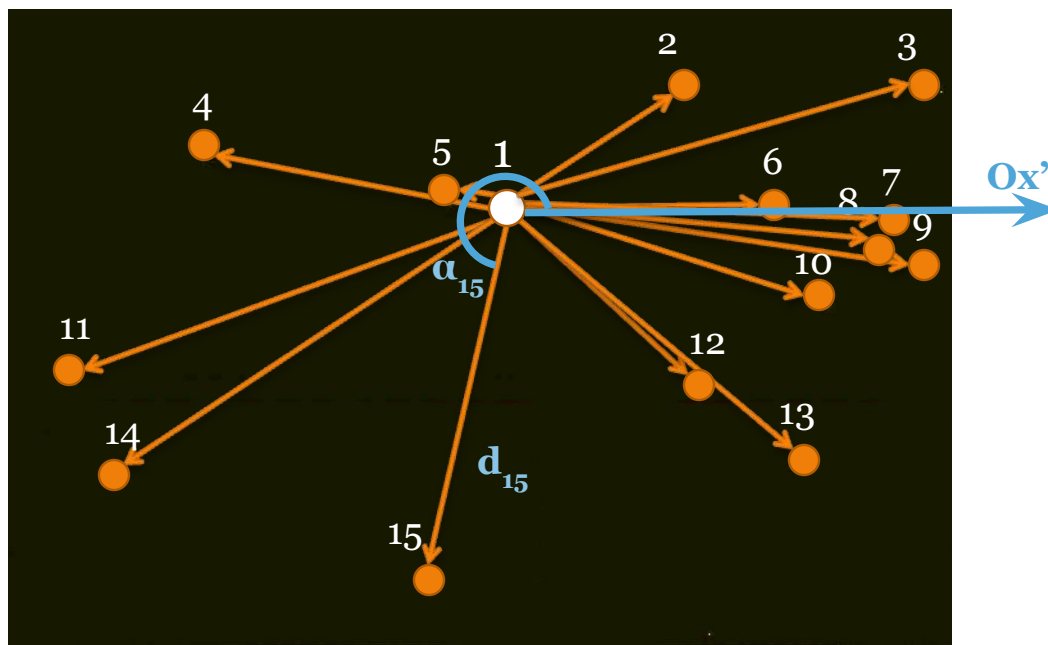
$$\langle f' * g \rangle (i, j) = \sum_{l=n_0}^{n_1} \sum_{k=m_0}^{m_1} f'(i-l)(j-k) \cdot e^{-((l-a)^2 + (k-a)^2) / 2a^2}$$





# Идентификация звезд – 2 этап. Связка «опорная звезда - соседи»

6



1-опорная звезда  
2-15-соседи

Параметры звезд ( $d, \alpha$ ):  
 $d$  – расстояние от опорной звезды, в пикселах,  
 $\alpha$  - угол наклона прямой, проходящей из опорной звезды в данную, относительно прямой, параллельной оси  $Ox$ , в радианах

Изображение участка неба с выбранной опорной звездой и ее соседями



# Идентификация звезд. Построение звездной базы

7

SAO Star Catalog J2000– 258 997 звезд.

StarReference Base - звездная база, построенная на основе SAO Star Catalog.

Макс. звездная величина	Общее количество звезд	Процент «пустых» зон*, %	Макс. количество «соседей»
6,0	5 092	10,72	29
6,5	9 023	0,85	47
7,0	15 914	0,028	76
7,5	26 559	0	123
8,0	46 136	0	206

\*«Пустые» зоны проверялись при угле обзора <8.0, общее количество зон равняется 10588.



# Идентификация звезд. Построение звездной базы

8

Нахождения расстояния от опорной звезды в радианах:

$$d_{rad} = \arccos(\sin(dec) \cdot \sin(dec_0) + \cos(dec) \cdot \cos(dec_0) \cdot \cos(asc - asc_0)).$$

Коэффициент перевода пикселей в радианы (при угле обзора, не превышающем 5 угловых минут):

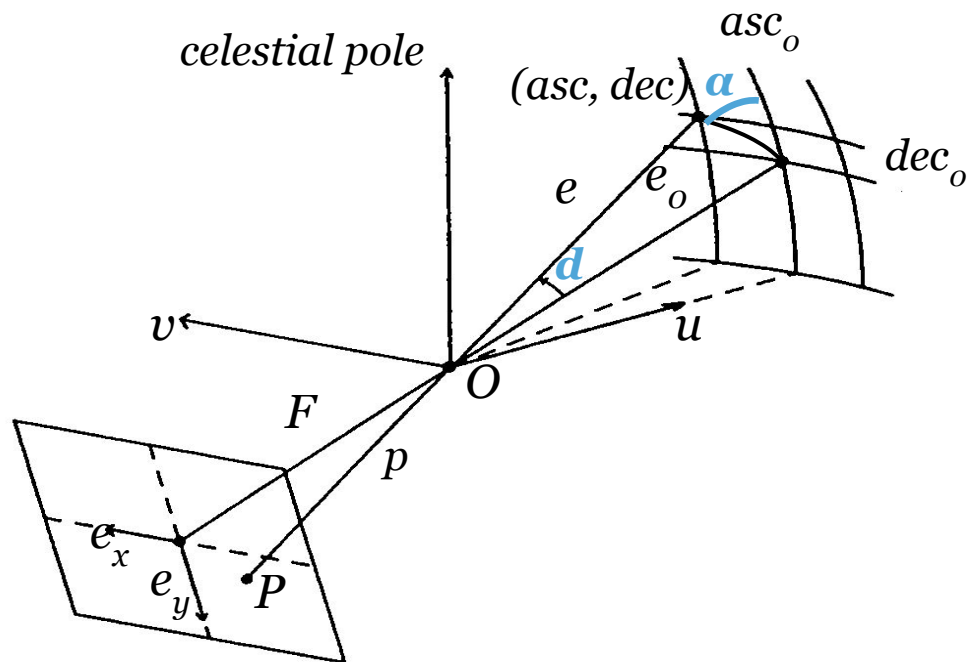
$$K_{PixToRad} = \frac{d_{rad}}{d_{pix}} = 9,33 \cdot 10^{-5} \frac{\text{радиан}}{\text{пиксель}}.$$

# Идентификация звезд. Построение звездной базы

9

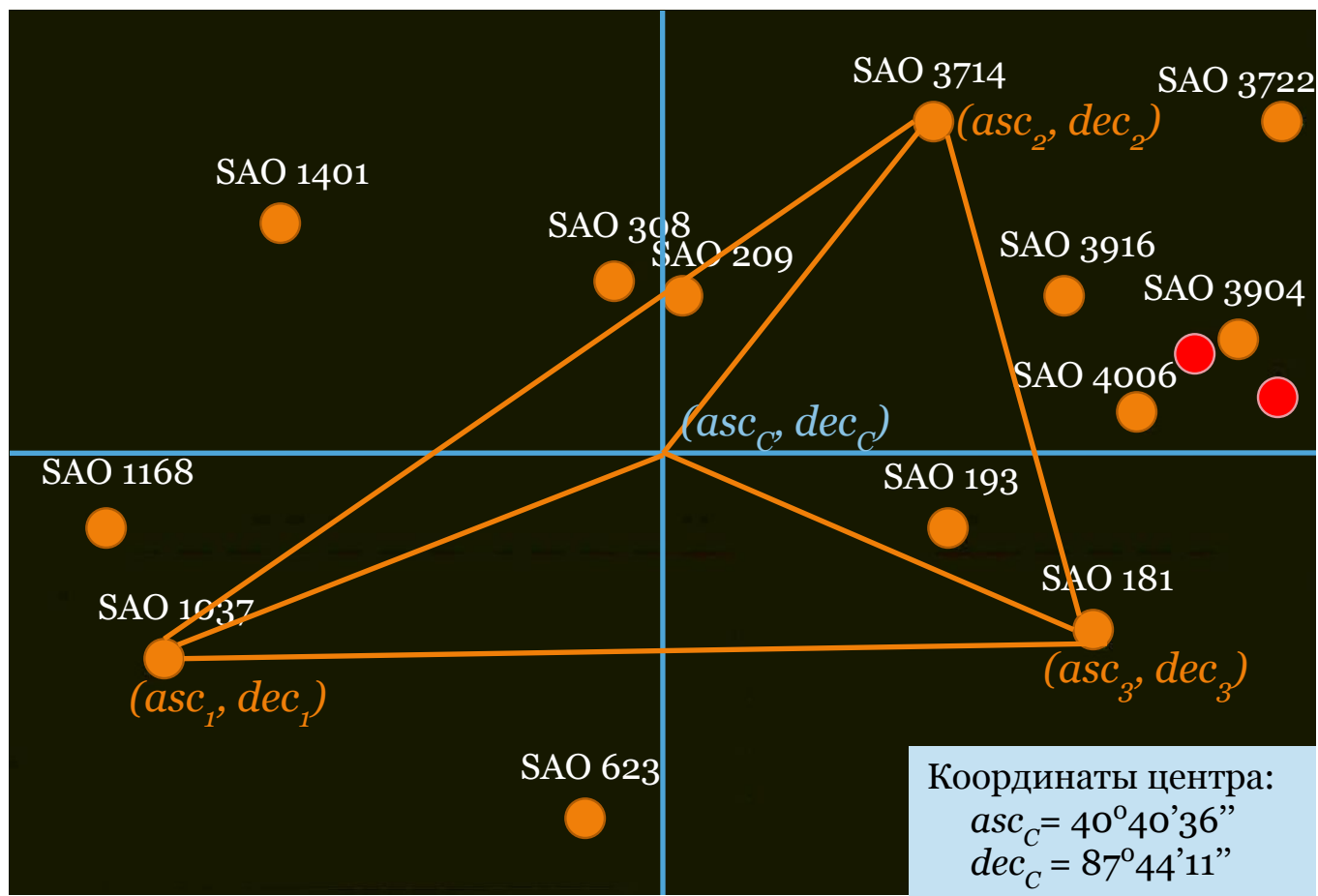
Нахождение угла в радианах:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin(asc - asc_0) \cdot \cos(dec)}{\sin(d_{rad})}\right).$$



# Идентификация звезд – 3 этап. Сравнение со звездной базой

10

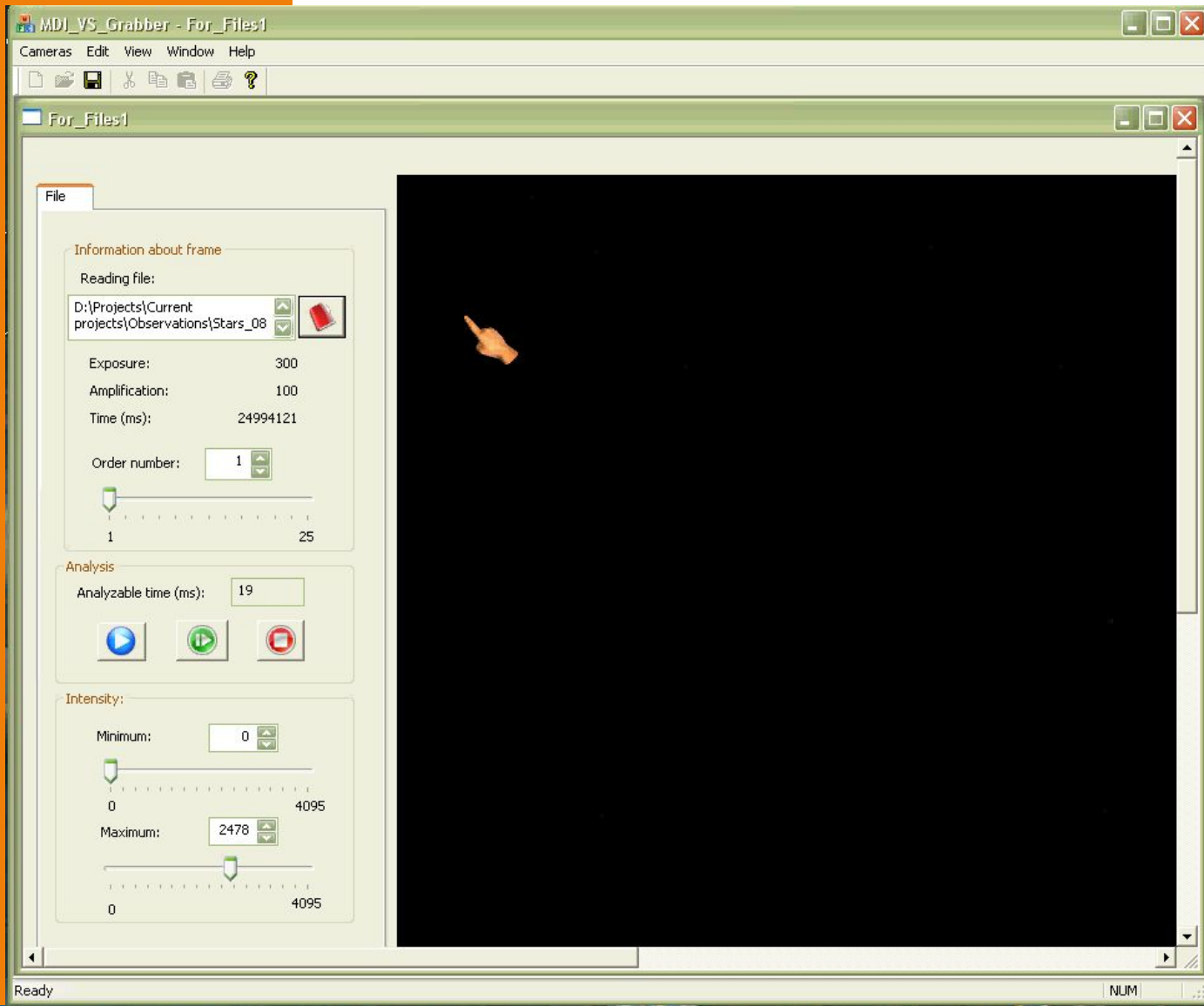


# Параметры системы астроориентации

11

Параметры системы астроориентации	Значения параметров*
Вероятность идентификации звезд, %	98
Точность определения ориентации, угл. минуты	10-20"
Допустимая угловая скорость, град./сек.	до 0,06-0,07
Частота обновления информации об ориентации, Гц	1-20

\*Тестирование проводилось на 940 изображениях звездного неба, полученных при времени экспозиции – 300 мсек.,  $F=1/4''$ ,  $f = 50$  мм.



**Благодарю за внимание!**

**Наши координаты:**

[moeimechko@yandex.ru](mailto:moeimechko@yandex.ru)

[ipersev@scanex.ru](mailto:ipersev@scanex.ru)