

Семинар
на
Секция “Обработка на сигнали и разпознаване на
образи”, ИИКТ, БАН

“Определяне на разстояния до обекти в
статична сцена чрез стереодвойки
изображения“

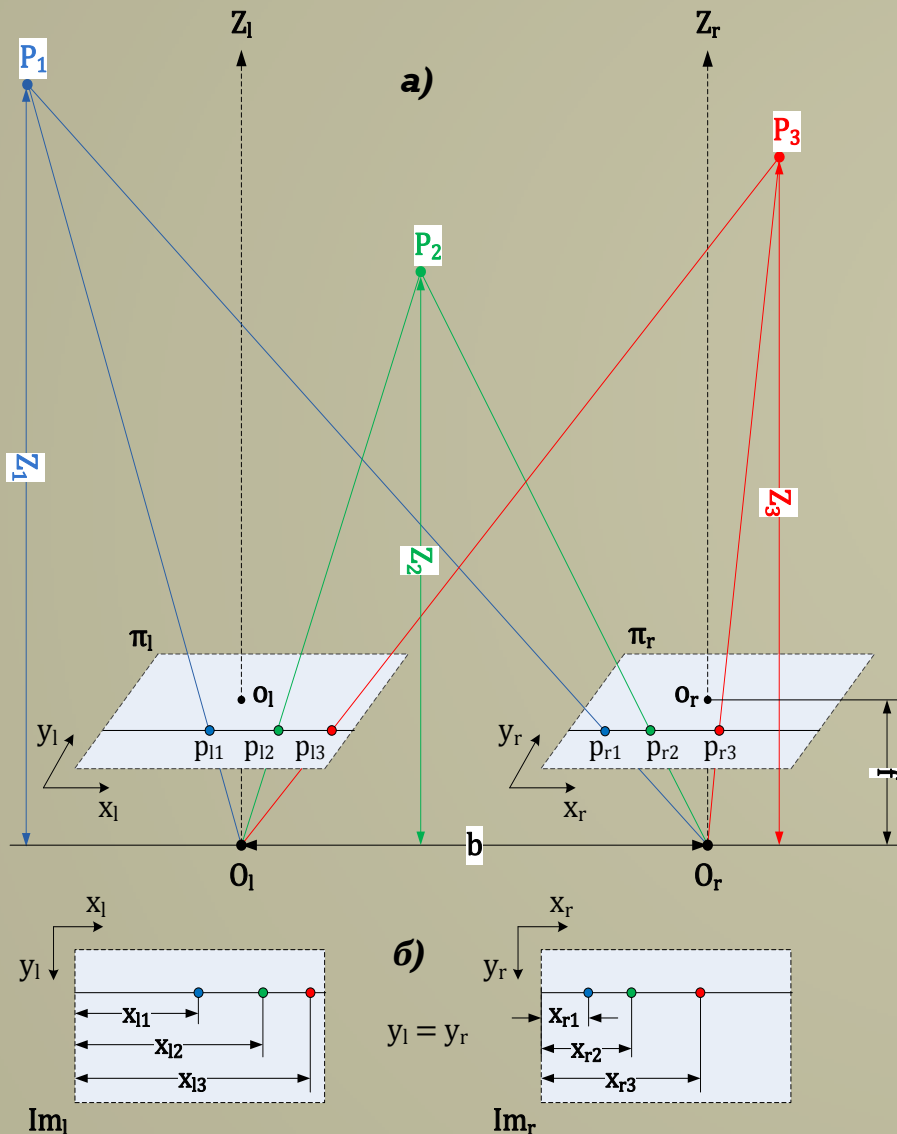
докторант: Атанас Николов

гр. София
25 май 2011 г.

Въведение

- Дисциплината стереозрение, като дял от машинното зрение (което пък е част от компютърното зрение), се опитва да пресъздаде човешката зрителна система чрез използването на два или повече двумерни изгледа на една и съща сцена с цел да се получи триизмерна информация за сцената.
- Системи за стереозрение се използват за проучване на инфраструктурата в недостъпни за човек тунели, дълги участъци от пътища и мостове;
- Области в медицината като антропология и пластична хирургия могат да бъдат подпомогнати чрез системи, способни да регистрират и възпроизвеждат тримерна информация за човешкото тяло;
- Стереозрението е от особен интерес и за роботиката;
- Изследвания в областта на стереозрението допринасят и за автоматизиране на производствения процес в автомобилната, самолетната и корабната индустрия;
- Стартирани са множество важни проекти от европейски производители на автомобили за автоматизиране на шофирането и навигация на сухопътни превозни средства;
- Разработени са работи за създаване на прецизни триизмерни карти на закрити и открити площи

Канонична стереосистема



Параметри на стереосистемата:

- Оптични центрове O_1 и O_r , намиращи се в обективите на фотокамерите;
- Равнини на сензорите π_1 и π_r на камерите;
- Паралелни оптични оси Z_1 и Z_r , които минават през оптичните центрове O_1 и O_r и са перпендикулярни на равнините на сензорите;
- Проекциите на точките O_1 и O_r върху равнините на сензорите по посока на Z_1 и Z_r определят главните точки o_1 и o_r ;
- Базово разстояние b [cm] между оптичните центрове O_1 и O_r ;
- Разстоянието от равнините на сензорите до главните точки o_1 и o_r се нарича фокусно разстояние f [mm];
- Точки p_{1i} и p_{ri} , представляващи проекции на съответната тримерна точка P_i от сцената, върху равнините на сензорите на лявата и дясната камера;
- Разстояния x_{1i} и x_{ri} [pixels], измерени от горния ляв ъгъл на цифровите изображения Im_1 и Im_r до съответните проекции на точката P_i - p_{1i} и p_{ri} ;
- Разстояние Z_i [m] между линията, свързваща оптичните центрове на камерите и точката P_i от сцената.

Фиг. 1: Модел на канонична стереосистема

Определяне на разстоянието Z_i

Въз основа на геометричния модел, представен на **Фиг. 1а**, разстоянието Z_1 може да се намери чрез разглеждане на подобните триъгълници $\Delta P_1 p_{l1} p_{r1}$ и $\Delta P_1 O_l O_r$ и съставяне на отношението на две от страните им:

$$\frac{Z_1 - f}{Z_1} = \frac{b + o_l p_{l1} - o_r p_{r1}}{b} \Rightarrow bZ_1 - bf = bZ_1 - Z_1(o_r p_{r1} - o_l p_{l1}) \Rightarrow$$

$$bf = Z_1(o_r p_{r1} - o_l p_{l1}) \Rightarrow Z_1 = \frac{bf}{(o_r p_{r1} - o_l p_{l1})}, \quad (1)$$

където

$$o_r p_{r1} = \frac{\pi_r \text{width}}{2} - x_{r1} * \text{pix}_{\text{hsize}} \quad \text{и} \quad o_l p_{l1} = \frac{\pi_l \text{width}}{2} - x_{l1} * \text{pix}_{\text{hsize}} \quad (2)$$

$\pi_r \text{width} = \pi_l \text{width}$ е широчина на сензорите на камерите,

$\text{pix}_{\text{hsize}}$ е хоризонталният размер на един пиксел [μm] в сензорите

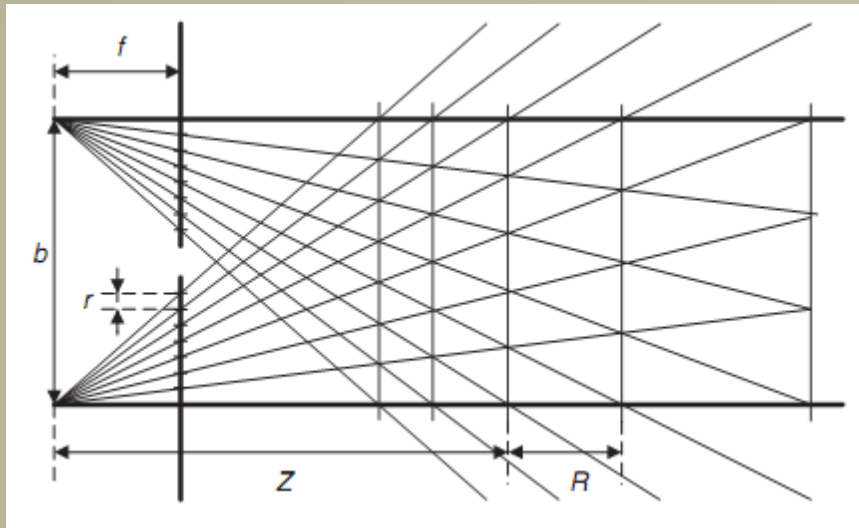
$$\text{От (1) и (2)} \Rightarrow Z_1 = \frac{bf}{(x_{l1} - x_{r1}) * \text{pix}_{\text{hsize}}}$$

По аналогичен начин се доказва, че независимо от местоположението на т. P_i спрямо оптичните оси на камерите, разстоянието Z_i се определя според формулата:

$$Z_i = \frac{bf}{(x_{li} - x_{ri}) * \text{pix}_{\text{hsize}}}$$

Разликата $x_{li} - x_{ri}$ е винаги положителна, понеже проекцията на една тримерна точка върху лявото изображение се намира по-надясно от проекцията на същата точка върху дясното изображение по отношение на координатното начало на цифровите изображения, избрано да бъде в горния ляв ъгъл (**Фиг. 1б**).

Резолюция на дълбочината на канонична стереосистема



Фиг. 2: Точност на измерената дълбочина

Тази фигура обяснява явлението намаляване на точността R на измерената дълбочина с увеличаване на разстоянието от равнините на камерите. Това е геометрично ограничение, понеже зависи изключително от геометричните параметри на стереосистемата (r, b, f).

$$R = \frac{rZ^2}{fb - rZ}$$

Допускайки, че $f b/Z$ е много по-голямо от хоризонталния размер на един пиксел r , се получава следното приближение, което е приложимо за относително малки стойности на Z :

$$R \approx \frac{rZ^2}{fb}$$

Алгоритъм за определяне на разстояние

Основният проблем при определянето на разстояние на базата на стерео-изображения, се състои в намирането на двойки съответстващи точки в тези изображения, представляващи проекции на една и съща точка от тримерната сцена.

Алгоритъмът се основава на модела на канонична система за стереозрение. Той включва следните стъпки:

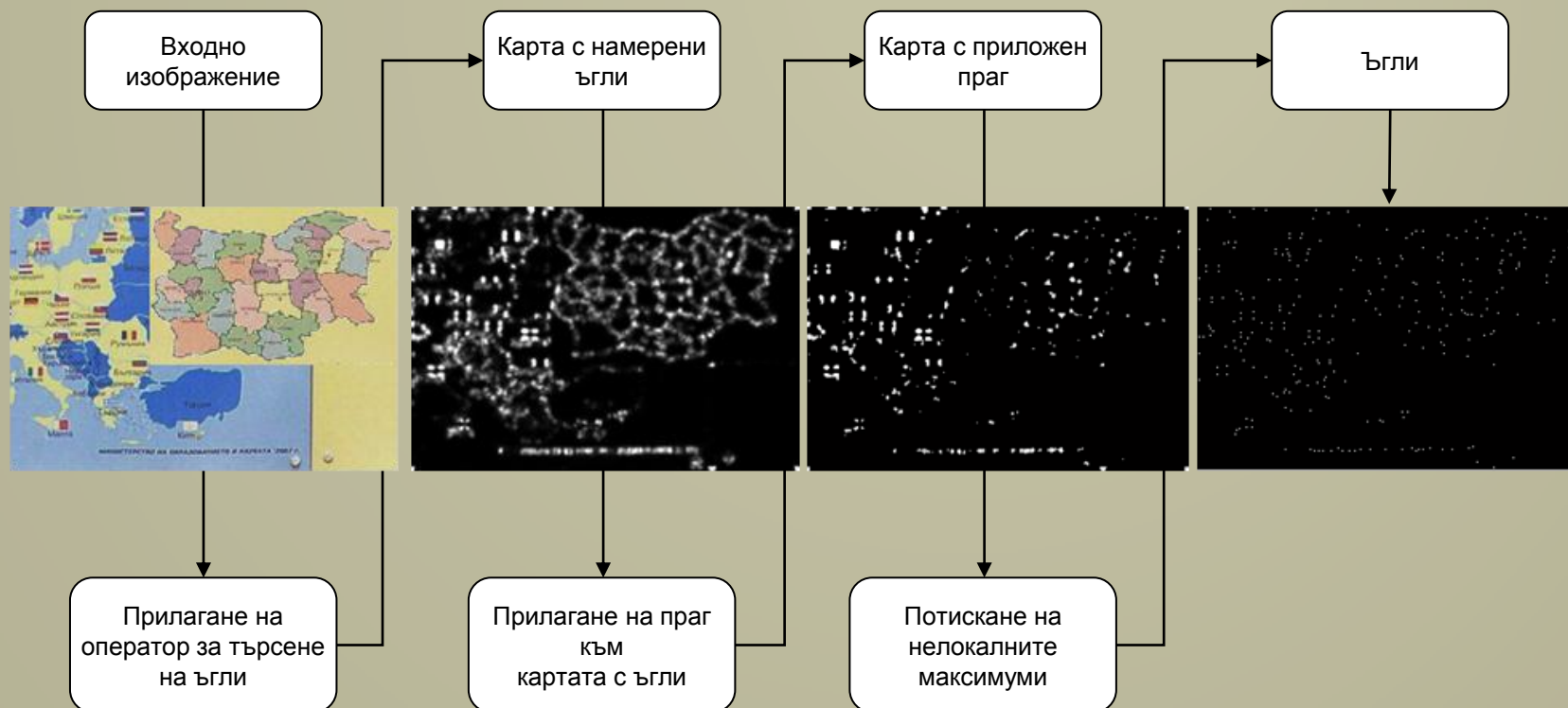
1) Определяне на характерни точки в двойката изображения чрез на детектор за откриване на ъгли на базата на модификация на метода на Харис.

2) Търсене на съответствия между откритите точки чрез метода на нормализираната взаимна корелация.

3) Изчисляване на разстоянието до обекти в сцената на базата на хоризонталното отместване между намерените съответстващи точки.

Откриване на ъгли по метода на Харис

1. Прилагане на оператор за намиране на ъгли.
2. Прилагане на праг върху първоначалната карта с ъгли.
3. Потискане на нелокалните максимуми.



Намиране на съответствие между ъглите в стереодвойката изображения

- Използва се методът на нормализираната взаимна корелация:

$$NCC = \frac{\sum_{(i,j) \in U} I_1(x+i, y+j) \cdot I_2(x+d_x+i, y+d_y+j)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in U} I_1(x+i, y+j)^2 \cdot \sum_{(i,j) \in U} I_2(x+d_x+i, y+d_y+j)^2}}$$

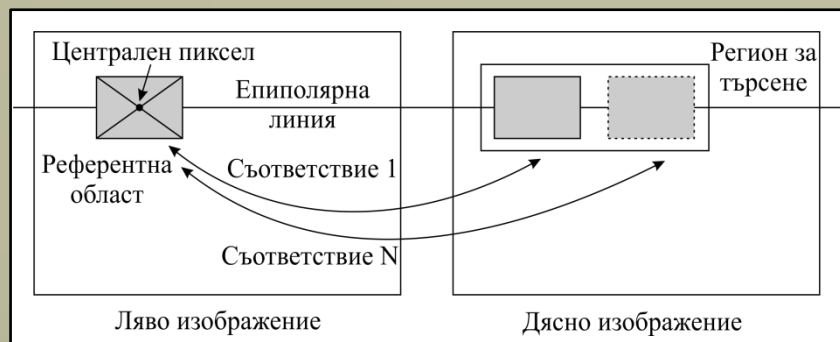
където:

$U=U(i,j)$ е множество от точки, разположени около точка с координати (x,y) ;

$I_k(x,y)$ е стойност на интензитета на точка с координати (x,y) в k -тото изображение;

d_x, d_y обозначават хоризонталното и вертикално отместване на два блока (области U) от изображенията, които се сравняват.

- **Идея:** последователно се изчислява корелацията на област от пиксели около даден ъгъл в първото изображение с всички области около ъгли от второто изображение, намиращи се на определено максимално разстояние;



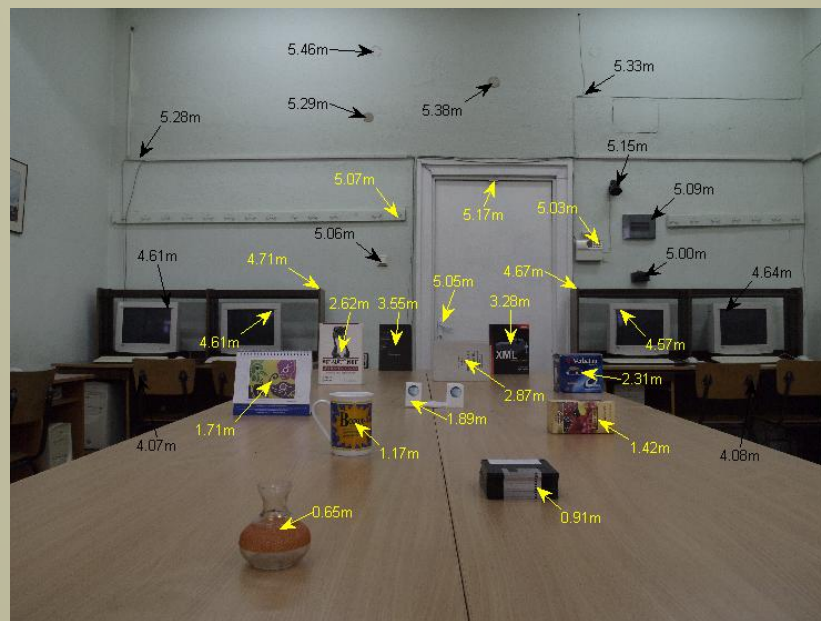
Организиране и провеждане на експерименти

1. Експериментите са извършени само с едно цифрово устройство за регистриране на изображения (Olympus E-P2), което се транслира по хоризонтала на определено разстояние (6, 7, 8, 9 и 10 cm) от първоначалната си позиция, а не чрез стереосистема, състояща се от две идентични устройства за едновременно прихващане на изображения;

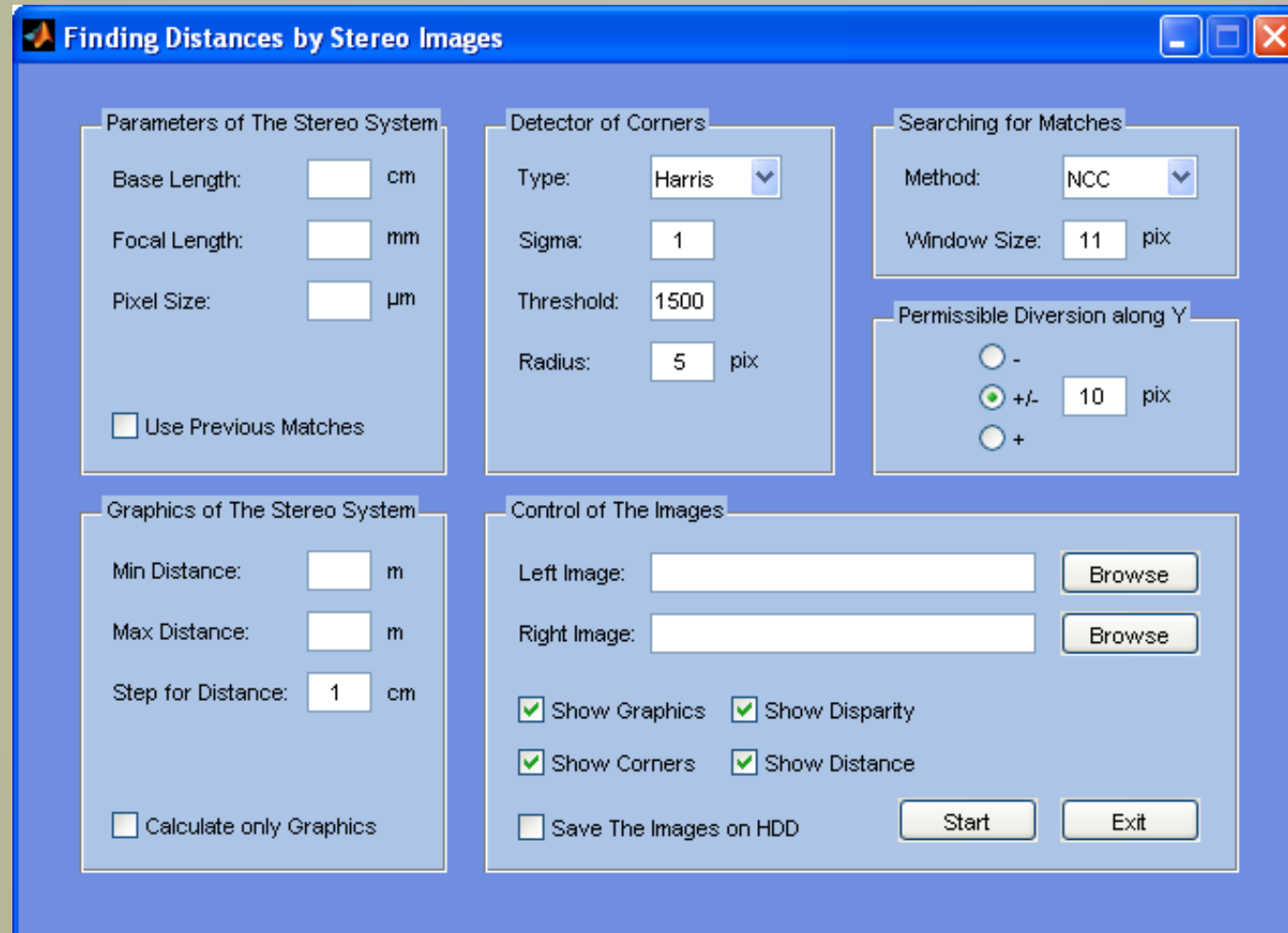


2. Измерват се разстояния до различни обекти от сцената с помощта на лазерен дальномер с точност ± 1 mm, които се използват за сравнение с получените. Измерените разстояния до обектите се отнасят за перпендикуляра спуснат от даден обект до линията, свързваща оптичните центрове на “двете” устройства за прихващане на избобр.

3. Правят се няколко заснемания на една и съща сцена с отместване между лявата и дясната стереоснимка на 6, 7, 8, 9 и 10 cm. Целта е да се подсигуририм с поне два успешни опита с достатъчно точна трансляция по хоризонтала и несъществена ротация около оста Y.



Софтуерно приложение

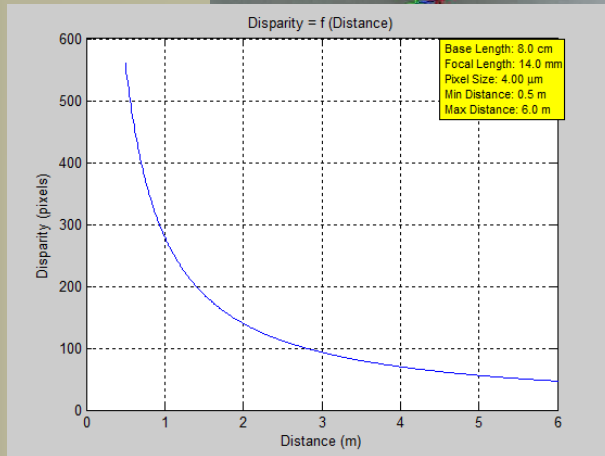


Фиг. 3: Интерфейс на графичното приложение с входни данни по подразбиране

Намерени ъгли в лявото и дясното изображение

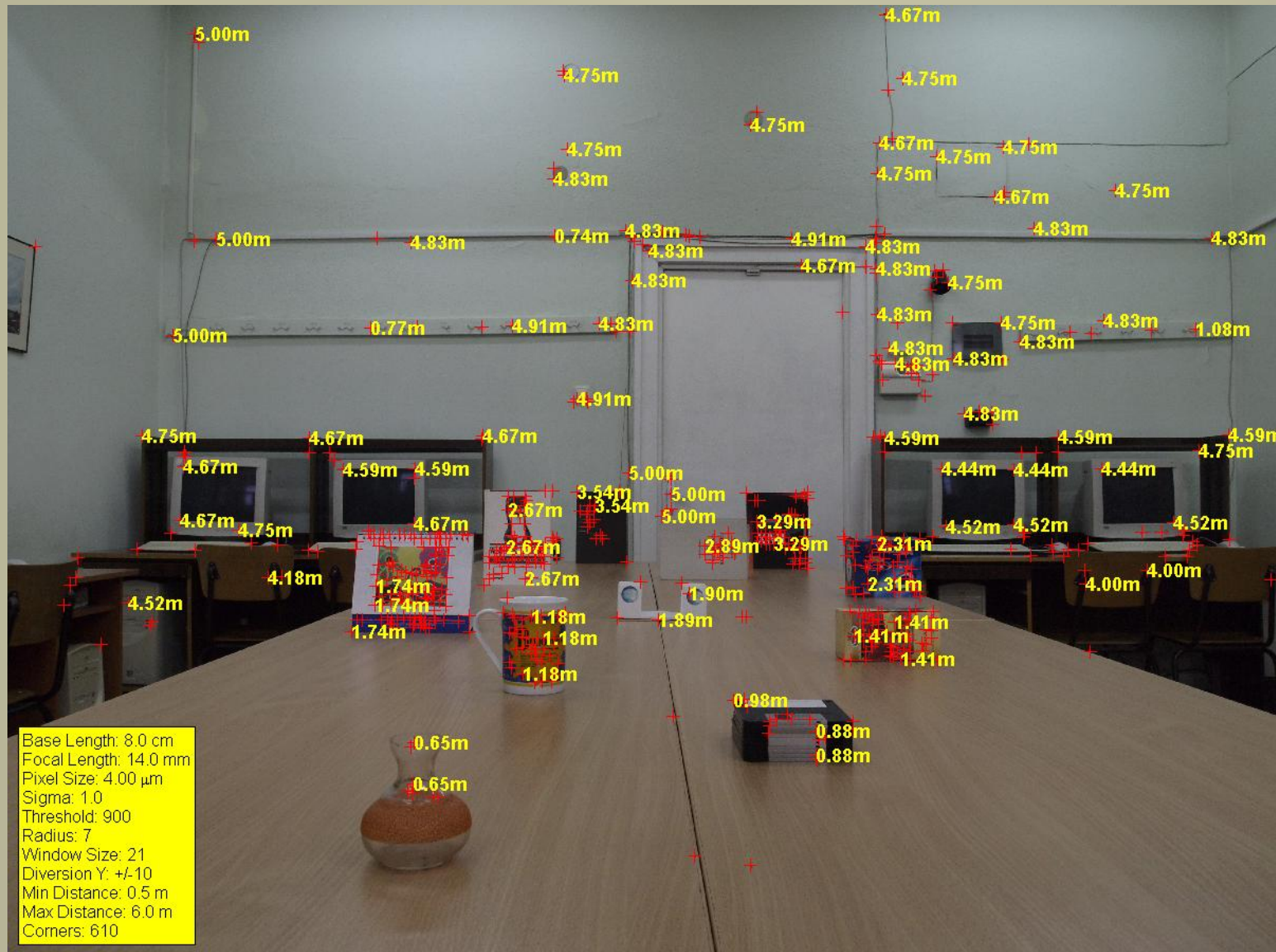


Намерени съответствия между откритите ъгли



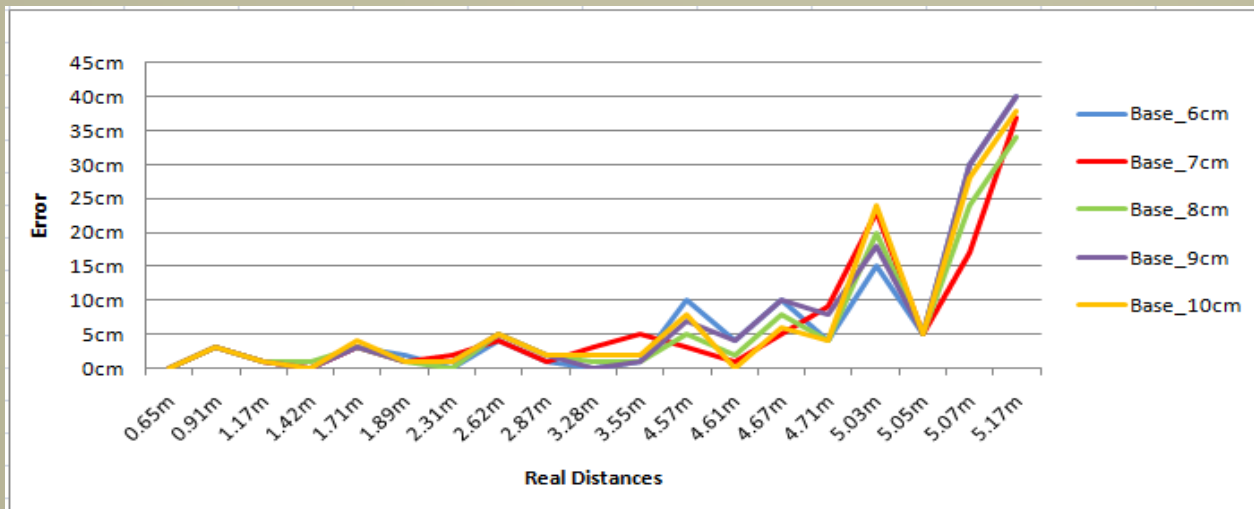
Base Length: 8.0 cm
Focal Length: 14.0 mm
Pixel Size: 4.00 μm
Sigma: 1.0
Threshold: 900
Radius: 7
Window Size: 21
Divergence Y: +/-10
Min Distance: 0.5 m
Max Distance: 6.0 m
Corners: 610

Изчислени разстояния до определени обекти



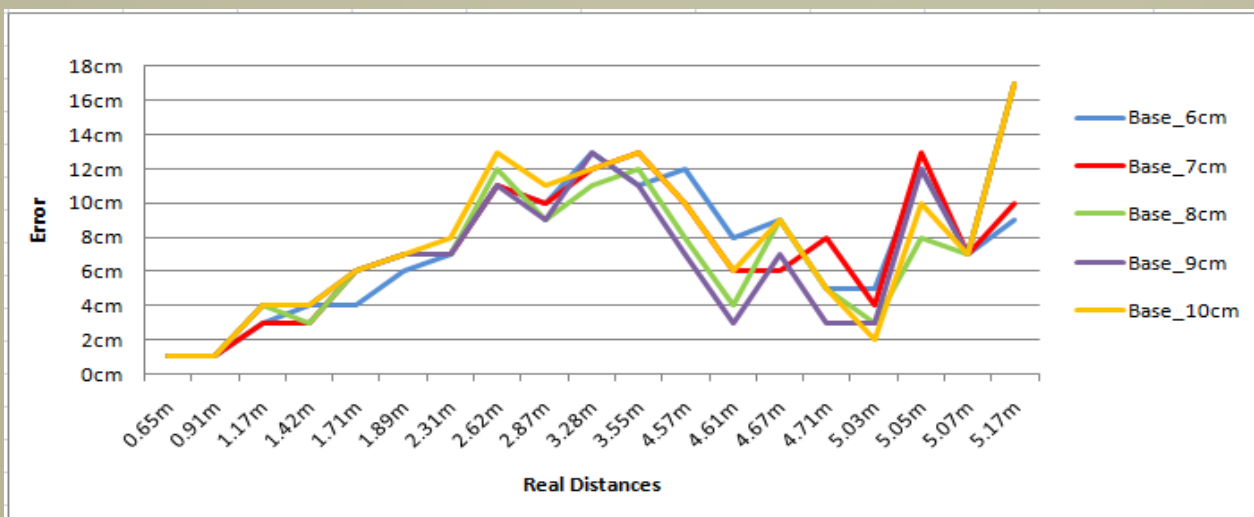
Представяне на получените резултати при $f=14\text{mm}$

Real Distance	Base length between cameras with focal length 14 mm									
	6cm		7cm		8cm		9cm		10cm	
	Est.	Error	Est.	Error	Est.	Error	Est.	Error	Est.	Error
0.65m	0.65m	0cm	0.65m	0cm	0.65m	0cm	0.65m	0cm	0.65m	0cm
0.91m	0.88m	3cm	0.88m	3cm	0.88m	3cm	0.88m	3cm	0.88m	3cm
1.17m	1.18m	1cm	1.18m	1cm	1.18m	1cm	1.18m	1cm	1.18m	1cm
1.42m	1.42m	0cm	1.42m	0cm	1.41m	1cm	1.42m	0cm	1.42m	0cm
1.71m	1.74m	3cm	1.74m	3cm	1.74m	3cm	1.74m	3cm	1.75m	4cm
1.89m	1.91m	2cm	1.90m	1cm	1.90m	1cm	1.90m	1cm	1.90m	1cm
2.31m	2.31m	0cm	2.33m	2cm	2.31m	0cm	2.32m	1cm	2.30m	1cm
2.62m	2.66m	4cm	2.66m	4cm	2.67m	5cm	2.67m	5cm	2.67m	5cm
2.87m	2.88m	1cm	2.88m	1cm	2.89m	2cm	2.89m	2cm	2.89m	2cm
3.28m	3.28m	0cm	3.31m	3cm	3.29m	1cm	3.28m	0cm	3.30m	2cm
3.55m	3.56m	1cm	3.60m	5cm	3.54m	1cm	3.54m	1cm	3.57m	2cm
4.57m	4.47m	10cm	4.54m	3cm	4.52m	5cm	4.50m	7cm	4.49m	8cm
4.61m	4.57m	4cm	4.62m	1cm	4.59m	2cm	4.57m	4cm	4.61m	0cm
4.67m	4.57m	10cm	4.62m	5cm	4.59m	8cm	4.57m	10cm	4.61m	6cm
4.71m	4.67m	4cm	4.62m	9cm	4.67m	4cm	4.63m	8cm	4.67m	4cm
5.03m	4.88m	15cm	4.80m	23cm	4.83m	20cm	4.85m	18cm	4.79m	24cm
5.05m	5.00m	5cm	5.00m	5cm	5.00m	5cm	5.00m	5cm	5.00m	5cm
5.07m	4.77m	30cm	4.90m	17cm	4.83m	24cm	4.77m	30cm	4.79m	28cm
5.17m	4.77m	40cm	4.80m	37cm	4.83m	34cm	4.77m	40cm	4.79m	38cm



Представяне на получените резултати при $f=20\text{mm}$

Real Distance	Base length between cameras with focal length 20 mm									
	6cm		7cm		8cm		9cm		10cm	
	Est.	Error	Est.	Error	Est.	Error	Est.	Error	Est.	Error
0.65m	0.66m	1cm	0.66m	1cm	0.66m	1cm	0.66m	1cm	0.66m	1cm
0.91m	0.90m	1cm	0.90m	1cm	0.90m	1cm	0.90m	1cm	0.90m	1cm
1.17m	1.20m	3cm	1.20m	3cm	1.21m	4cm	1.21m	4cm	1.21m	4cm
1.42m	1.46m	4cm	1.45m	3cm	1.45m	3cm	1.46m	4cm	1.46m	4cm
1.71m	1.75m	4cm	1.77m	6cm	1.77m	6cm	1.77m	6cm	1.77m	6cm
1.89m	1.95m	6cm	1.96m	7cm	1.96m	7cm	1.96m	7cm	1.96m	7cm
2.31m	2.38m	7cm	2.38m	7cm	2.38m	7cm	2.38m	7cm	2.39m	8cm
2.62m	2.73m	11cm	2.73m	11cm	2.74m	12cm	2.73m	11cm	2.75m	13cm
2.87m	2.97m	10cm	2.97m	10cm	2.96m	9cm	2.96m	9cm	2.98m	11cm
3.28m	3.41m	13cm	3.40m	12cm	3.39m	11cm	3.41m	13cm	3.40m	12cm
3.55m	3.66m	11cm	3.68m	13cm	3.67m	12cm	3.66m	11cm	3.68m	13cm
4.57m	4.69m	12cm	4.67m	10cm	4.65m	8cm	4.64m	7cm	4.67m	10cm
4.61m	4.69m	8cm	4.67m	6cm	4.65m	4cm	4.64m	3cm	4.67m	6cm
4.67m	4.76m	9cm	4.73m	6cm	4.76m	9cm	4.74m	7cm	4.76m	9cm
4.71m	4.76m	5cm	4.79m	8cm	4.76m	5cm	4.74m	3cm	4.76m	5cm
5.03m	5.08m	5cm	5.07m	4cm	5.06m	3cm	5.00m	3cm	5.05m	2cm
5.05m	5.17m	12cm	5.18m	13cm	5.13m	8cm	5.17m	12cm	5.15m	10cm
5.07m	5.00m	7cm	5.00m	7cm	5.00m	7cm	5.00m	7cm	5.00m	7cm
5.17m	5.08m	9cm	5.07m	10cm	5.00m	17cm	5.00m	17cm	5.00m	17cm



Заклучение

- Точността на изследвания подход за определяне на разстояния до обекти в статична сцена чрез трансляция на единична камера може да се разглежда от физическа и алгоритмична гледна точка.
- За подобряване на физическата точност е необходимо да се премине през поредица от субективни действия (избор на оптимално базово и фокусно разстояние, корекция на оптичните изкривявания), водещи до приспособяването (калибрирането) на конкретна система за стереозрение към точно определен диапазон на работното разстояние.
- Алгоритмичният аспект на точността зависи от софтуерните подходи за определянето на характерните точки (ъгли) и тяхното съответствие.
- Бъдещото развитие на изследвания метод може да се очертае в следните насоки:
 - разглеждане на всяка една точка от изображенията като характерна и намирането на съответствието ѝ в другото изображение;
 - определяне на тримерните координати (X, Y, Z) на произволна точка;
 - алгоритъмът за определяне на разстояния да не изисква задължително използването на принципа на канонична стереосистема;
 - създаване на метод за триизмерно разпознаване и моделиране на обекти.

Благодаря за вниманието!

Въпроси?