

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РАЗСТОЯНИЯ ДО ОБЕКТИ В СТАТИЧНА СЦЕНА ЧРЕЗ СТЕРЕОДВОЙКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Атанас Николов

ESTIMATING DEPTH TO OBJECTS IN A STATIC SCENE BY STEREO-IMAGES

Atanas Nikolov

***Abstract:** This paper examines a simple method for determining the distance to objects in a scene by stereo-images, using the principles of a canonical stereovision system. This method is based on finding corners (characteristic points) in each image and then finding the correspondence between these corners. The distances to different objects are calculated by horizontal shifting's length between these correspondences. The experiments are carried out over a static structured scene, obtained by a single camera, which is horizontally translated in different distances, thus imitating a canonical stereovision system. A software application is developed for the research purposes.*

***Key words:** Estimating Depth to Objects, Canonical Stereovision System, Harris Corner Detector, Normalized Cross-Correlation.*

1. 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. Фактът, че светът е съставен от триизмерни обекти, а информацията регистрирана от дадена камера е двумерна, води до необходимостта от разработване на методи за триизмерното интерпретиране на двумерни изображения.

Способността на специфично техническо оборудване да възприема триизмерната информация от реалния свят, по подобен начин както хората, представлява голям интерес както за науката, така и за индустрията: 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 наличието на тримерна информация за човешкото тяло; стереозрението е от особен интерес и за роботиката; изследвания в областта на стереозрението допринасят и за 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 роботи за създаване на прецизни триизмерни карти на закрити и открити площи.

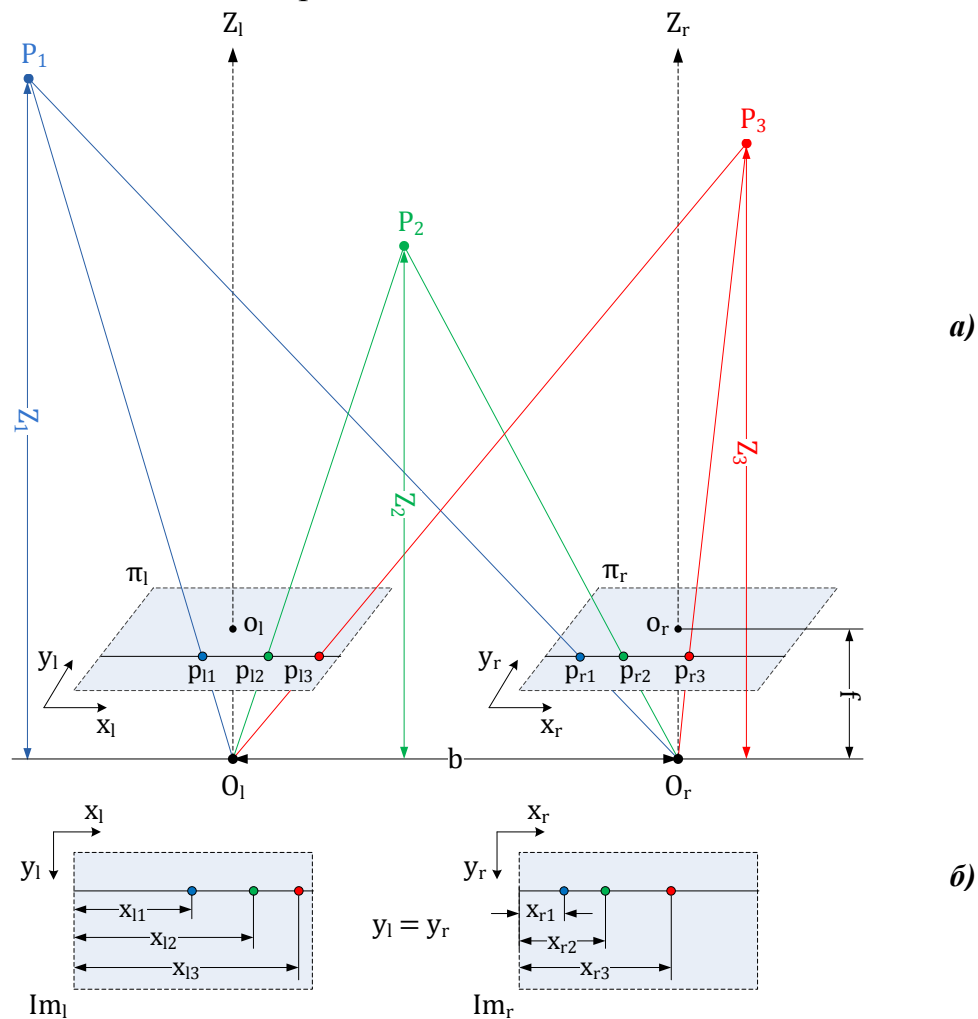
За целите на изследването е имитирана чрез трансляция на една камера, канонична система за стереозрение с цел определяне на дълбочина до обекти.

2. Канонична система за стереозрение

Една система за стереозрение, съставена от двойка камери с успоредни оптични оси и компланарни сензори (CCD, CMOS), отместени хоризонтално на определено разстояние, така че съответстващите проекции на всяка тримерна точка от сцената върху равнините на сензорите на двойката камери да лежат на една и съща хоризонтална линия, се нарича канонична.

2.1. Геометричен модел

Проблемът за определяне на разстоянието до обекти в сцена чрез двойка изображения, получени чрез канонична система за стереозрение (Фиг. 1а) може да бъде сведен до намиране на дължината на хоризонталното отместване между съответстващите си пиксели (характерни точки) в двойката изображения. За определена дължина на отместването между съответствията в [pixels], базовото разстояние между камерите в [cm], фокусното им разстояние в [mm] и хоризонталния физически размер на един пиксел в сензорите на камерите в [μm], е лесно да се приложи триангулация за намиране на разстоянието до точка от сцената в световни координати.

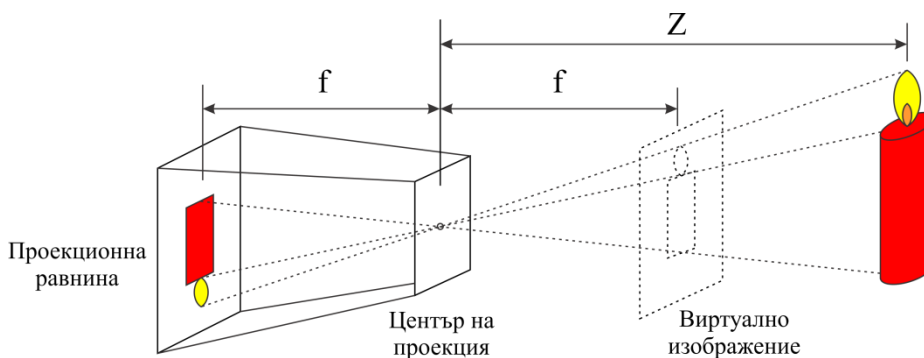


Фиг. 1: а) Геометричен модел на канонична стереосистема; б) Хоризонтални разстояния, измерени от горния ляв ъгъл на цифровите изображения до съответните проекции на точките P_i

Каноничната система за стереозрение от **Фиг. 1a** е съставена от двойка еднакви камери със следните параметри:

- Оптични центрове O_1 и O_r , намиращи се в обективите на фотокамерите;
- Равнини на сензорите π_l и π_r , покрити с правоъгълни елементи формиращи фоточувствителни области, които дискретизират всяко изображение проектирано върху тези равнини;
- 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 π_l и π_r ;
- Проекции 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 π_l и π_r до главните точки o_1 и o_r се нарича фокусно разстояние f [mm];
- Точки p_{li} и p_{ri} , представляващи проекции на съответната тримерна точка P_i от сцената, върху равнините на сензорите на лявата и дясната камера;
- Разстояния x_{li} и x_{ri} [pixels], измерени от горния ляв ъгъл на цифровите изображения Im_l и Im_r до съответните проекции на точката P_i - p_{li} и p_{ri} ;
- Разстояние Z_i [m] между линията, свързваща оптичните центрове на камерите и точката P_i от сцената.

В представения геометричен модел на канонична стереосистема се разглеждат виртуални изображения, които се намират пред оптичните центрове O_1 и O_r на разстояние f от тях. Така се формулира опростена концепция на проекцията (**Фиг. 2**). Реалните изображения, които се проектират върху сензорите на камерите се намират зад оптичните центрове O_1 и O_r и представляват *flip horizontal* и *flip vertical* образ на обектите от сцената.



Фиг. 2: Най-простата форма на реална камера включва център на проекция и екран за изобразяване. Чрез този механизъм се построява (проектира) изображението от световното тримерно пространство в пространството на екрана за изобразяване.

Въз основа на геометричния модел, представен на **Фиг. 1a**, 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:

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

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

където

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

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

pix_{hsize} е хоризонталният размер на един пиксел [μm] в сензорите

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

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:

$$(3) \quad Z_i = \frac{bf}{(x_{li} - x_{ri}) * pix_{hsize}}$$

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**).

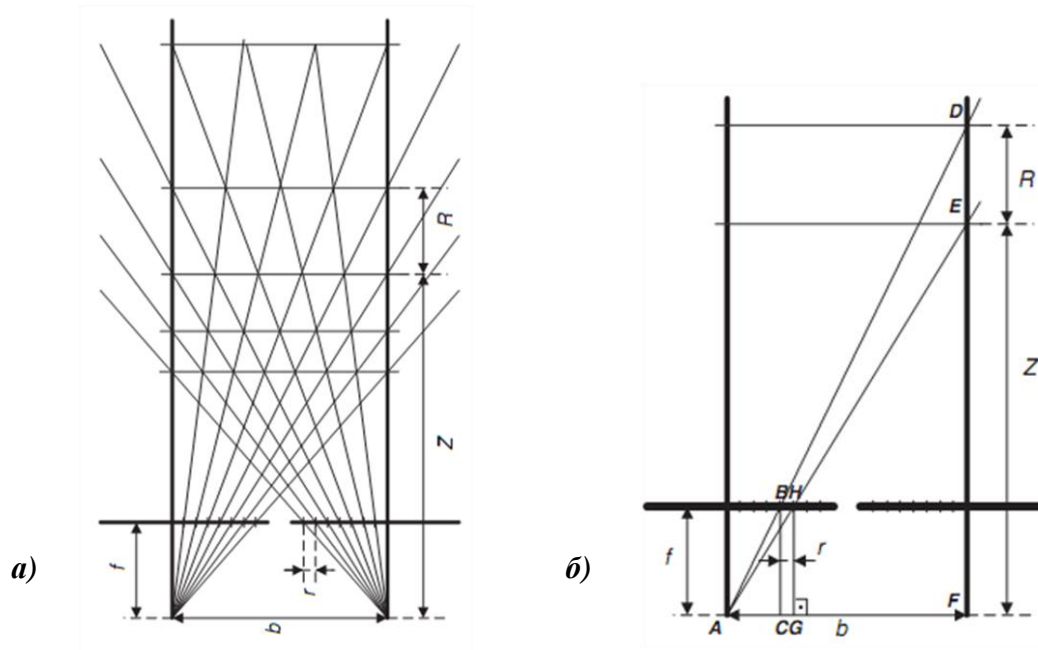
2.2. Точност на измерената дълбочина

Явлението на намаляване на точността на измерената дълбочина с увеличаване на разстоянието от оптичните центрове на камерите е показано на **Фиг. 3а**. Това е геометрично ограничение, понеже зависи изключително от геометричните параметри на каноничната система за стереозрение [1].

Зависимостта на точността на дълбочината от резолюцията на камерата и разстоянието до наблюдаваната сцена е представена на **Фиг. 3б** [1].

Разглеждайки подобните триъгълници $\triangle ABC$ и $\triangle ADF$, както и $\triangle AHG$ и $\triangle AEF$ се получава следната формула за стойността на резолюцията на дълбочината (*depth measurement resolution value*) [1]:

$$(4) \quad R = \frac{rZ^2}{fb - rZ}$$



Фиг. 3: Точност на измерената дълбочина

Допускайки, че fb/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 (Фиг. 3а) [1]:

$$(5) \quad R \approx \frac{rZ^2}{fb}$$

За повечето системи за регистриране на изображения, стойностите на r , b и f са постоянни, поне по отношение на единичен експеримент в даден момент от време. Това означава, че съществува такава стойност на Z , за която не е възможно да се измери точната дълбочина на наблюдаваната сцена, поради геометричните ограничения на каноничната система за стереозрение [1].

3. Алгоритъм за определяне на разстояния до обекти в сцена

Основният проблем при определянето на разстояние на базата на стереоизображения, 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 описания в точка 2 модел 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.

3.1. Откриване на характерни точки

Моравек дефинира понятието „характерни точки”, като точки където съществува голяма промяна на интензитета във всички посоки. Това е случаят на ъгли [3].

Операторът за откриване на ъгли, предложен от Моравек [3] е от значение във връзка с това, че е вдъхновил разработването на широко използвания оператор на Харис за намиране на ъгли. Харис изчислява степента, с която се счита даден пиксел за ъгъл, използвайки първите производни на изображението, които са реализирани чрез аналитичното разширяване на оператора на Моравек. Харис и Стийфън предлагат следната оценка на пикселите за степента, с която се считат за ъгли [2, 3]:

$$(6) \quad C(x, y) = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2, \text{ където}$$

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix}, \det(M) = AB - C^2, \text{trace}(M) = A + B, k = 0.04 \div 0.06$$

$$A = I_x^2 \otimes w, \quad B = I_y^2 \otimes w, \quad C = I_x I_y \otimes w$$

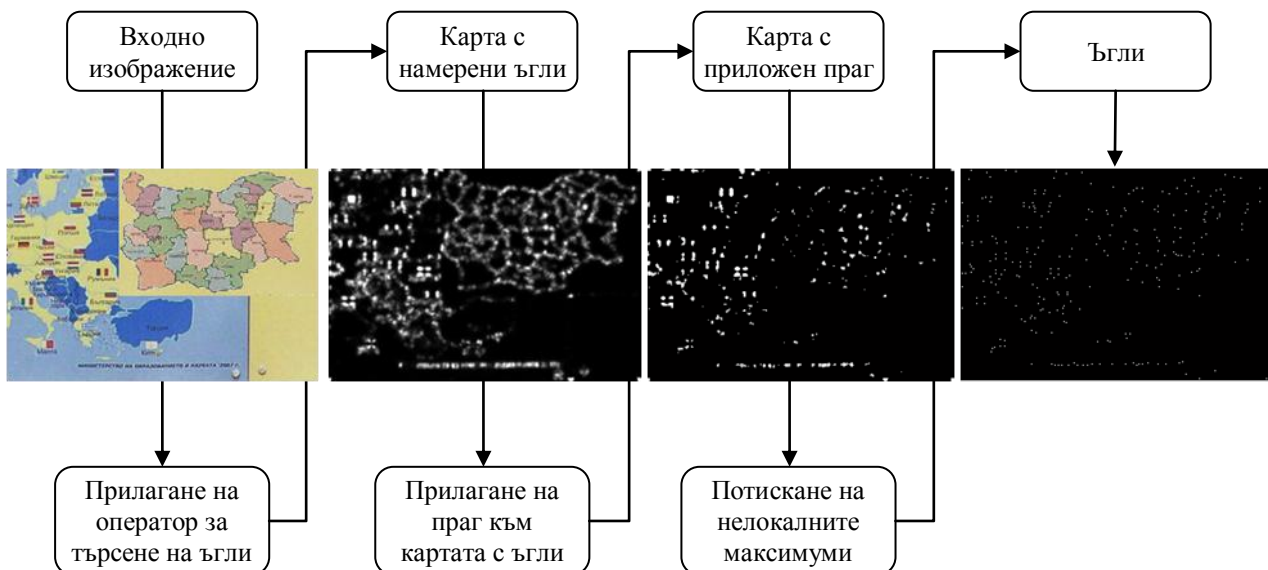
\otimes е оператор за конволюция, w е Гаусов прозорец

$$I_x = I \otimes (-1, 0, 1) \approx \frac{dI}{dx} \quad \text{and} \quad I_y = I \otimes (-1, 0, 1)^T \approx \frac{dI}{dy}$$

Използването на емпиричния параметър k във формула [6] и стойността, която трябва да му се присвои е проблем за някои хора. Alison Noble [4] представя алтернативно измерване на пикселите за степента им на подобие с ъгли чрез следното отношение:

$$(7) \quad C(x, y) = \det(M) / \text{trace}(M)$$

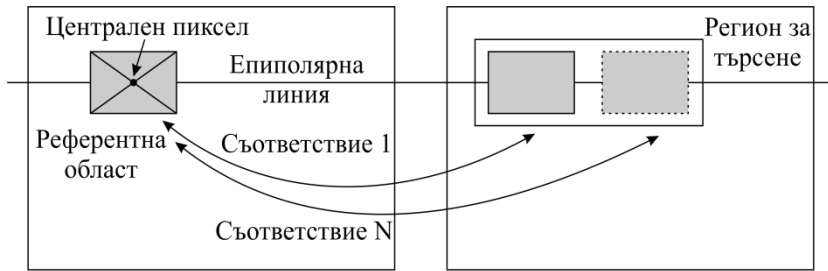
В разработеното софтуерно приложение се използва предложената от Alison Noble оценка за намиране на ъгли, приложена за всеки пиксел от изображението според следната схема за откриване на ъгли:



Фиг. 4: Графично представяне на алгоритъма за откриване на ъгли

3.2. Търсене на съответствия чрез метода на взаимната корелация

Съответствието базирано на особености се състои в измерването на степента на подобие между предварително открити ъгли (характерни точки) в сравняваните изображения. Но вместо да се сравняват единични пиксели, за по-добро съответствие се разглежда съседство от пиксели. В случая на канонична стереосистема се търси само хоризонтално отместване спрямо референтното изображение (*Фиг. 5*).



Фиг. 5: Търсене на съответствия по области

Съществуват различни методи за търсене на подобие между области, които оперират директно върху пиксели, като SAD, ZSAD, SSD, ZSSD, SSD-N, CV, CC, NCC [1].

В разработеното софтуерно приложение се използва методът на нормализираната взаимна корелация, където се сравняват две области I_1 and I_2 , принадлежащи на две различни изображения. Областта I_1 е построена около референтна точка (x, y) , изразена в нейното локално координатно пространство. Областта I_2 е построена около точка $(x + d_x, y + d_y)$ в нейното локално координатно пространство. И за двете изображения, областите за които се търси съответствие са дефинирани чрез множеството U , състоящо се от отместени стойности по отношение на техните референтни точки, т.е. (x, y) и $(x + d_x, y + d_y)$, съответно. Корелацията може да се изрази като [1]:

$$(8) \quad NCC = \frac{\sum_{(i,j) \in U} I_1(x + i, y + j) \cdot I_2(x + d_x + i, y + d_y + j)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in U} I_1(x + i, y + j)^2 \cdot \sum_{(i,j) \in U} I_2(x + d_x + i, y + d_y + j)^2}},$$

където:

$U=U(x, y)$ е множество от координати на точки, разположени около точка с координати (x, y) ; $I_k(x, y)$ е стойност на интензитета на k -тото изображение в точка с координати (x, y) ; d_x, d_y обозначават относителните хоризонтални и вертикални отмествания между двете области, които се сравняват [1].

3.3. Изчисляване на разстоянието до обектите в реалната сцена

След като са намерени съответстващите точки в стерео-изображенията, може да се намери дължината на хоризонталното отместване между тези точки. Тази дължина е различна в зависимост от разстоянието, на което се намира дадената точка в тримерната сцена. На по-малко разстояние съответства по-голямо отместване и обратно, т.е. зависимостта между разстоянието и хоризонталното отместване между съответстващите точки е обратно пропорционална. Търсеното разстояние се изчислява на базата на формула (3).

4. Експериментални резултати

Проведени са експерименти с цифров фотоапарат *Kodak C743* със следните по-важни характеристики:

- пълна разделителна способност: 7.4 MP (3152 × 2342)
- ефективни пиксели: 3072 × 2304
- размер и тип на сензора: 1/2.5" (5.76 x 4.29 mm) CCD
- хоризонтален размер на пиксела: 1.80 μm



Размерът на пиксела е определен експериментално чрез *Camera Calibration Toolbox for Matlab* (http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/).

За провеждане на експериментите размерът на изображенията, получени от цифровия фотоапарат е намален с 50% по ширина и дължина с цел намаляване на фалшивите съответствия, както и увеличаване на бързодействието на програмата. Затова размерът на пиксела трябва да се увеличи два пъти, за да отговаря на текущия размер на изображенията. Недостатък на намаляването на размера на изображенията е, че се увеличава двойно стъпката между две съседни възможно изчислими разстояния (*Фиг. 3*), която се отнася за разлика в ± 1 пиксел на дължината на дадено хоризонтално отместване между двойка съответстващи точки в изображенията [5].

Необходимо е да се отбележи, че изчислените разстояния до обектите се отнасят за перпендикуляра, спуснат от даден обект до линията, свързваща оптичните центрове на „двата“ фотоапарата, отместени на определено разстояние (6, 7, 8, 9 и 10 cm). Експериментите са проведени чрез трансляция само на един фотоапарат, затова, това е линията между оптичния център на фотоапарата, намиращ се на дадена позиция, и същия оптичен център, но транслиран по хоризонтала на определено разстояние от тази първоначална позиция [5].

Приспособлението за трансляция на фотоапарата се състои от две перпендикулярни равни повърхности, между които се намира цифровият фотоапарат Kodak C743. Неговият гръб е плътно долепен до вертикалната повърхност, върху която са нанесени означения от 0 до 10cm, а дъното му лежи върху хоризонталната повърхност, по която се транслира. При всяка снимка фотоапаратът се притиска плътно към двете повърхности, така че, доколкото е възможно, да се получи само трансляция по хоризонтала без ротация по вертикала. Въпреки използвания непрофесионален метод за трансляция, той се оказва много сполучлив, но се появи проблем с точността на получените резултати от друго естество – големите изкривявания в крайните области на изображенията, които въвежда оптиката на този цифров фотоапарат. Затова за напълно достоверна трябва да се приема само централната област от снимките. По повод на непрофесионалната трансляция са направени няколко еднакви експеримента на една и съща сцена с цел постигане на повтораемост и достигане до убеждението, че резултатите са коректни, а не получени случайно за конкретна ситуация [5].

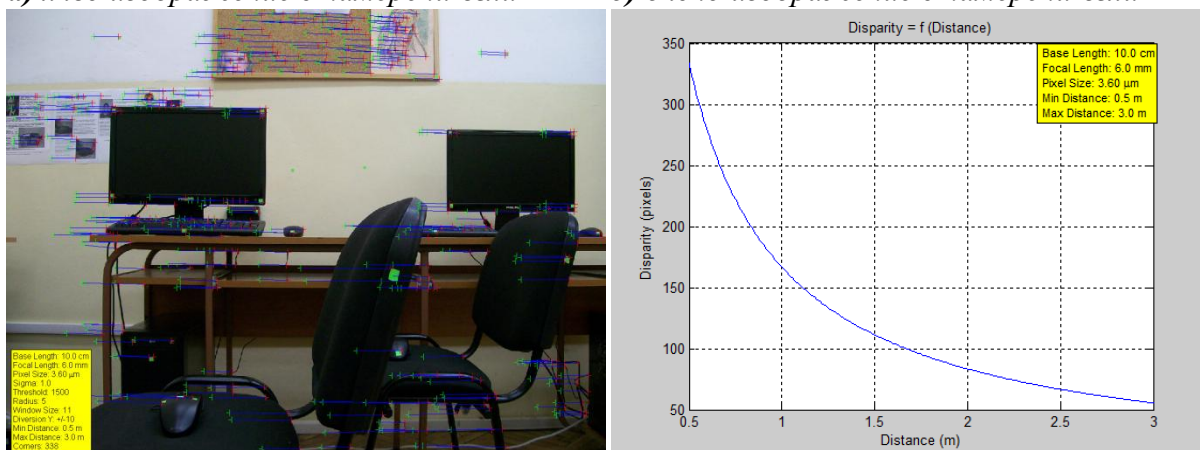
Измерването до обектите е извършено с рулетка (3 m), затова трябва да се вземе предвид въвеждането на допълнителна грешка от максимум 2 cm за разстоянията до различните обекти.

Представени са експерименти с изображения с размер 1536 x 1152 пиксела, на които отговаря размер на пиксела от 3.6 μm . Фокусното разстояние е 6 mm, а базовото разстояние между „лявата и дясната“ камера е 10cm [5].



а) ляво изображение с намерени ъгли

б) дясно изображение с намерени ъгли



в) изображение с намерени съответствия

г) зависимост между разст. и отместване



д) изображение с изчислени разстояния

е) изображение с измерените разстояния

Фиг. 6: Резултати за стереодвойка изображения, отместени на 10 cm

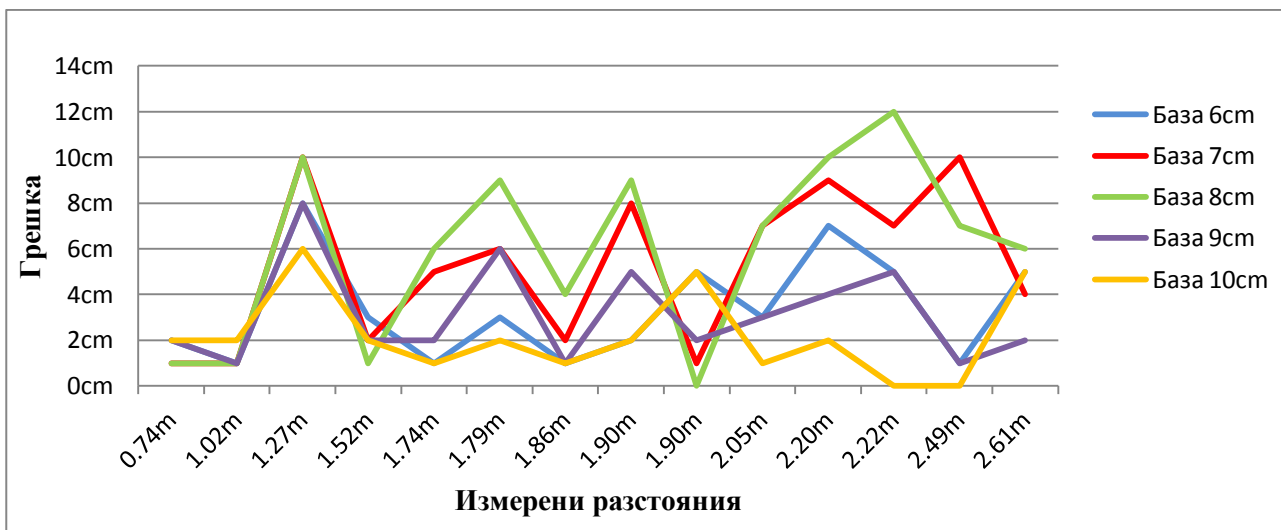
Табл.1: Сравнение между реални и изчислени разстояния за различни бази

Измерено разстояние	Базово разстояние между камерите с фокусно разстояние 6mm									
	6cm		7cm		8cm		9cm		10cm	
	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка
0.74m	0.72m	2cm	0.73m	1cm	0.73m	1cm	0.72m	2cm	0.72m	2cm
1.02m	1.01m	1cm	1.01m	1cm	1.03m	1cm	1.01m	1cm	1.00m	2cm
1.27m	1.35m	8cm	1.37m	10cm	1.37m	10cm	1.35m	8cm	1.33m	6cm
1.52m	1.49m	3cm	1.54m	2cm	1.53m	1cm	1.50m	2cm	1.50m	2cm
1.74m	1.75m	1cm	1.79m	5cm	1.80m	6cm	1.76m	2cm	1.75m	1cm
1.79m	1.82m	3cm	1.85m	6cm	1.88m	9cm	1.85m	6cm	1.81m	2cm
1.86m	1.85m	1cm	1.88m	2cm	1.90m	4cm	1.85m	1cm	1.85m	1cm
1.90m	1.92m	2cm	1.98m	8cm	1.99m	9cm	1.95m	5cm	1.92m	2cm
1.90m*	1.85m	5cm	1.91m	1cm	1.90m	0cm	1.88m	2cm	1.85m	5cm
2.05m	2.08m	3cm	2.12m	7cm	2.12m	7cm	2.08m	3cm	2.06m	1cm
2.20m	2.27m	7cm	2.29m	9cm	2.30m	10cm	2.24m	4cm	2.22m	2cm
2.22m	2.27m	5cm	2.29m	7cm	2.34m	12cm	2.27m	5cm	2.22m	0cm
2.49m	2.50m	1cm	2.59m	10cm	2.56m	7cm	2.50m	1cm	2.49m	0cm
2.61m	2.56m	5cm	2.65m	4cm	2.67m	6cm	2.59m	2cm	2.56m	5cm

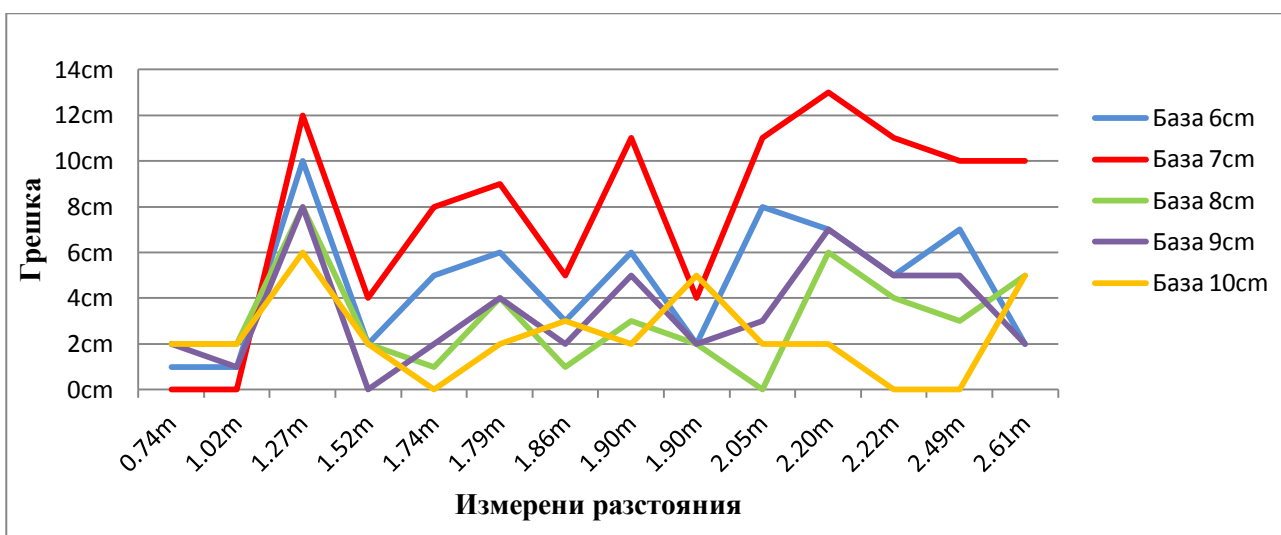
Табл.2: Повторение на експеримента с други пет стереодвойки изображения на същата сцена

Измерено разстояние	Базово разстояние между камерите с фокусно разстояние 6mm									
	6cm		7cm		8cm		9cm		10cm	
	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка	Изчисл.	Грешка
0.74m	0.73m	1cm	0.74m	0cm	0.72m	2cm	0.72m	2cm	0.72m	2cm
1.02m	1.01m	1cm	1.02m	0cm	1.00m	2cm	1.01m	1cm	1.00m	2cm
1.27m	1.37m	10cm	1.39m	12cm	1.35m	8cm	1.35m	8cm	1.33m	6cm
1.52m	1.54m	2cm	1.56m	4cm	1.50m	2cm	1.52m	0cm	1.50m	2cm
1.74m	1.79m	5cm	1.82m	8cm	1.75m	1cm	1.76m	2cm	1.74m	0cm
1.79m	1.85m	6cm	1.88m	9cm	1.83m	4cm	1.83m	4cm	1.81m	2cm
1.86m	1.89m	3cm	1.91m	5cm	1.85m	1cm	1.88m	2cm	1.83m	3cm
1.90m	1.96m	6cm	2.01m	11cm	1.93m	3cm	1.95m	5cm	1.92m	2cm
1.90m*	1.92m	2cm	1.94m	4cm	1.88m	2cm	1.88m	2cm	1.85m	5cm
2.05m	2.13m	8cm	2.16m	11cm	2.05m	0cm	2.08m	3cm	2.03m	2cm
2.20m	2.27m	7cm	2.33m	13cm	2.26m	6cm	2.27m	7cm	2.22m	2cm
2.22m	2.27m	5cm	2.33m	11cm	2.26m	4cm	2.27m	5cm	2.22m	0cm
2.49m	2.56m	7cm	2.59m	10cm	2.52m	3cm	2.54m	5cm	2.49m	0cm
2.61m	2.63m	2cm	2.71m	10cm	2.56m	5cm	2.59m	2cm	2.56m	5cm

Забележка: 1.90m* и в двете таблици се отнася за същото разстояние, както в по-горния ред, но измерено до друг обект, отбелязан с оранжева стрелка във **Фиг. 6е**.



Фиг. 7: Графично представяне на резултатите от Таблица 1

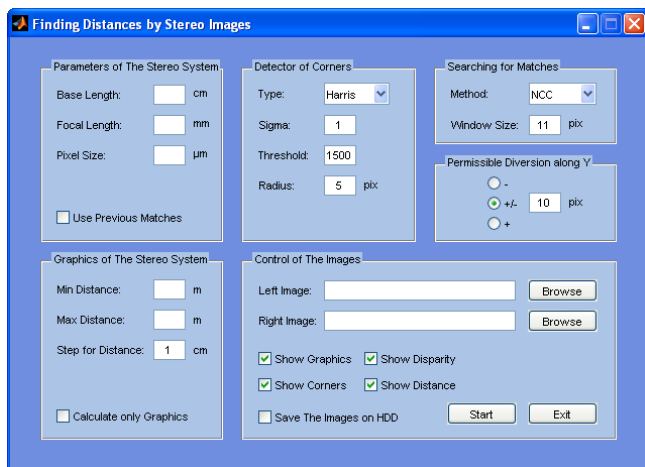


Фиг. 8: Графично представяне на резултатите от Таблица 2

Изводи:

- Експериментът се счита за коректен, поради близките изчислени разстояния в сравнение с измерените и в двата експеримента.
- Оптичните изкривявания, въведени от фотоапарата извън централната област на изображенията, са основната причина за увеличаването на грешката, дори и на близки разстояния (1.27m) в сравнение с грешката на далечни разст.
- При увеличаване на базовото разстояние на 10 cm, грешката намалява под 6 cm за всички изследвани разстояния.
- За да се постигне най-голяма точност на измерените разстояния, е необходимо предварително да се знае работния диапазон на стереосистемата.
- Трябва да се изследват оптимално променливите и параметри (базово и фокусно разстояние, разделителна способност), както и да се въведат необходимите корекции за изкривяването, породено от оптиката на камерата.
- Другият аспект на точността зависи от алгоритмичните подходи за определяне на характерните точки и тяхното съответствие в стереодвойката.

Основни параметри на разработеното софтуерно приложение [5]



Фиг. 9: Интерфейс на графичното приложение с входни данни по подразбиране

Приложението е разделено на шест групи от контроли (Фиг. 9), където потребителят може да задава стойности в съответните полета, участващи в различните етапи за определяне на разстояние до обекти.

В областта „*Parameters of The Stereo System*”, освен задаването на обичайните стойности за базата, фокусното разстояние и размера на пиксела, по-особеното е наличието на режима *Use Previous Matches*. В този режим се използват данните за

предишно намерени ъгли и техните съответствия в стерео-изображенията. Така бързо може да се изследва влиянието на промяната на някои от параметрите (най-вече размер на пиксела и различни критерии за филтриране на намерените съответствия) на стереосистемата върху изчислените разстояния.

В областта „*Detector of Corners*” се намират параметърът (Sigma) за изглаждащия Гаусов филтър, използван за конволюция с производните на изображението от втори ред, необходими за оценката на степента, с която даден пиксел се счита за ъгъл (формула 6), праг (Threshold), при който се отхвърлят пикселите със стойност на оценката, с която се считат за ъгли, по-малка от него, и параметър (Radius), нужен при формиране на маската за извършване на морфологичната операция „разширяване” (Dilate) за потискане на нелокалните максимуми от картата с ъгли (Фиг. 4).

В областта „*Searching for Matches*” важен параметър е стойността за размера на прозореца (Window Size) центриран около позицията на намерените по метода на Харис ъгли в лявото и в дясното изображение, които области се сравняват за подобие чрез метода на взаимната корелация (формула 8).

Областта „*Permissible Diversion along Y*” е предназначена за определяне на посоката и задаване на стойността на максималното отместване на съответствията между ъглите по вертикала. Целта е да се намали броят на фалшивите съответствия.

В областта „*Graphics of The Stereo System*” се съдържат стойности за минималното и максималното разстояние, за които да се търсят съответствията, както и режим *Calculate only Graphics* за проверка на очакваната стъпка между две възможни, изчислими, съседни разстояния (Фиг. 3).

За визуализирането на лявото и дясното изображение с намерени ъгл, изображение с намерените съответствия и изображение с разстоянията до съответстващите ъгли на обекти от лявото и дясно изображение, потребителят трябва да маркира съответните отметки в областта „*Control of The Images*”.

5. Заключение и бъдеща работа

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.

Благодарности

Благодаря на инж. Яни Георгиев, с чиито идеи и помощ практически се убедих в достоверността на изследвания метод.

Литература

- [1] *Cyganek, B. Siebert, J. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms*, John Wiley & Sons, 2009, pp. 59-60, 194-196.
- [2] *Harris, C. Stephens, M. A Combined Corner and Edge Detector*, In: Proc. Alvey Vision Conf., Univ. Manchester, 1988, pp. 147-151.
- [3] *Parks, D. Gravel, J. Corner Detectors*,
<http://kiwi.cs.dal.ca/~dparks/CornerDetection/index.htm>
- [4] *Noble, A. Descriptions of Image Surfaces*, PhD thesis, Department of Engineering Science, Oxford University 1989, p45.
- [5] *Николов, А. Определяне на разстояние до обекти в сцена на основата на стереозрение*, дипломна работа за придобиване на ОКС магистър, Факултет по Компютърни системи и управление, ТУ-София, 6 юли 2010 г., стр. 72-82, 90-96.