

11. Приложение на цифровата фотограметрия за документиране на архитектурни обекти. Формиране и използване на 3D фотореалистични модели. Езици за описание. Разпространение в Интернет.

11.1. ЕТАПИ НА ЦИФРОВТО ФОТОГРАМЕТРИЧНО ДОКУМЕНТИРАНЕ

Етапите на цифровото документиране могат да се обобщят по следния начин -

1. Формиране на дискретен (векторен) модел на обекта:
 - а) изграждане на локална геодезическа мрежа за обекта,
 - б) фотограметрично заснемане,
 - в) изработване на векторния модел на обекта чрез фотограметрично картиране;
2. Фотодокументиране и генериране на 3D фотореалистичен модел на обекта:
 - а) цветно заснемане,
 - б) формиране на растерни модели на отделните подобекти (фасади, стени, тавани, сводове и други),
 - в) преобразуване на изображенията на подобектите и изграждане на цялостен фотореалистичен модел на обекта.

Крайният продукт може да включва векторния модел в цифрова или графична форма, ортоизображения на отделните стени и фасади, съхранявани в цифрова форма, но с възможност за фотовъзпроизвеждане или отпечатване (цветно и полутоново). При изисквания за фотореалистично 3D моделиране е необходимо да се преобразуват отделните изображения и съответно да се редактират, за да могат да се включат в тримерния модел. Такъв модел може да се изработи в средата на 3D StudioMAX, Micro Station или други системи, които позволяват подобно моделиране. Наред с оперативните възможности като гъвкавост на моделирането и създаване на анимация важна характеристика е наличието на конвертор във формат, подходящ за визуализиране в Интернет. Един такъв формат е утвърденият VRML (Virtual Reality Modelling Language). В това отношение предимства предоставя системата 3D StudioMAX, която притежава изход към този формат.

Отделните етапи могат да бъдат застъпени в различна степен. При някои технологични схеми отделни етапи могат да отсъстват или да са обединени. Така например етапа на геодезическо заснемане може да се редуцира и формирането на мрежата може да стане по фотограметричен път, а геодезически да се получат само ограничен брой точки. Друг вариант е възможността да се обединят фотограметричното заснемане и цветното заснемане на елементите на обектите. При него едни и същи изображения могат да се ползват и за стереокартирането и за растерните фотоизображения.

11.2. ОСОБЕНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИЯТА НА ОТДЕЛНИТЕ ЕТАПИ НА ЦИФРОВАТА ОБРАБОТКА

Етапите на обработка са обусловени от крайната цел - формиране на 3D модел или цифрова документация на архитектурния обект.

Етапът на геодезическо заснемане изисква да се подбере по подходящ начин броят и разположението на станциите от изходната мрежа, а така също и да се извърши заснемане на точки от обекта. От гледна точка на надеждно определяне на положението

на точките е желателно тяхното маркиране, но това не винаги е възможно поради причини за недостъпност, а така също и поради изискването да не се нанасят щети на архитектурния обект. В някои случаи е възможно използването на преносими марки, но тяхното закрепване обикновено е затруднено. Тахиметричното заснемане на точките посредством ъглово - дължинни измервания не е възможно поради необходимостта от използването на много малка призма. Нейното фиксиране върху обекта изисква тя да остава на същото място и по време на фотограметричната и цветна снимка, което не може да се осигури. Ето защо точките от основната мрежа се измерват посредством ъглово - дължинни измервания, докато подробните точки по фасадите и стените се измерват посредством права засечка като се ползват характерни елементи от обектите. Такива са върховете на ъгли по фасадите или характерни детайли от стенописите.

На **етапа на фотограметрично заснемане** може да се използва универсална измерителна камера, каквато е UMK 10/1318 на ZEISS или стереокамера от типа SMK 5,5/0808/40. Докато универсалната камера е по-подходяща за фасадите, то за вътрешните снимки е по-удачно използването на стереокамера с фиксирана къса база. Реализацията на снимките с единична камера в тези случаи не е възможно, тъй като при къси бази не може да се насочи точно камерата към другата станция. Първите два етапа на фотограметричната обработка не се отличават съществено от случая на използване на традиционните фотограметрични технологии.

Етапът на цветно заснемане на елементите на обекта изисква да се покрие целият обект с мозайка от снимки. Тук са в сила няколко изисквания. От една страна по-малкият брой снимки опростява следващата обработка, тъй като намалява операциите по формирането на мозайката. От друга страна попадането в една и съща снимка на обекти с различно отдалечение увеличава грешките при трансформирането и не винаги позволява избор на подходящи условия за заснемане. Положението и ориентацията на снимачните станции за цветни снимки могат да се избират независимо от изискванията за точно стереокартиране. При цветното заснемане положението на камерата се избира от гледна точка на минимални изкривявания на засниманите подобекти.

Цел на **стереофотограметричната обработка** е получаването на цялостен тримерен модел на обекта. Той трябва да включва всички онези ръбове, които разделят повърхнините на отделни части. Обект на картиране са и характерни детайли, които да позволят привързването на цветните изображения към модела, което е от полза и за процесите на стенописна реставрация. Обработката на модела става по отделни фасади или стени като отделните части се свързват в единно цяло. Обикновено отделните стени или фасади се картират в координатна система, ориентирана така, че нейната фронталната равнина да лежи в равнината на обработвания подобект. След тяхното картиране се налага трансформирането на отделните части в единна координатна система. Това е локалната координатна система на обекта. При цифровата обработка съществен се явява въпросът за осигуряване на изискваната точност. Това определя и избора на параметри на заснемане и на сканиране.

За точки, лежащи в една равнина на отдалечение Y , са в сила зависимостите:

$$\Delta X = \frac{Y}{f} \cdot \Delta x \quad (1)$$

При използване на сканиране с разрешение r в dpi (dots per inch)

$$r = \frac{25,4 \cdot 10^{-3}}{\Delta x} \quad (2)$$

където Δx е стъпката на сканиране в m.

За грешката в координатната система на обекта се получава оценката:

$$\Delta X = \frac{Y}{f} \cdot \Delta x = \frac{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot Y}{r \cdot f}$$

(3)

Резултатите за камерите UMK, SMK и фотоапарата Zenit-E с обектив Helios за различни отдалечения и разрешения на сканиране са приведени в таблица 1.

Таблица 1

Камера	f [mm]	Формат w/h [cm/cm]	r [dpi]	Размер на файла [MB]	Грешка ΔX [mm] при Y			
					2 m	3 m	5 m	10 m
UMK	100	13/18	400	5,53	1,3	1,9	3,2	6,4
			800	22,14	0,6	1,0	1,6	3,2
			1200	49,81	0,4	0,6	1,0	2,1
SMK	56	8/8	400	1,51	2,3	3,4	5,7	11,3
			800	6,05	1,1	1,7	2,8	5,7
			1200	13,62	0,7	1,1	1,9	3,8
Zenit-E	58	3,6/2,4	400	0,20	2,2	3,3	5,5	10,9
			800	0,82	1,1	1,6	2,7	5,5
			1200	1,84	0,7	1,1	1,8	3,6

Данните от таблица 1 позволяват да се избере подходящ растрер на сканиране в зависимост от използваната камера и разстоянието до обекта. При вземането на такова решение се търси компромис между размера на файла и получаваната точност. В редица случаи, особено при по-малко отдалечение, получаваната точност е по-висока от необходимата. Размерът на получаваните файлове не е особено голям, което показва, че при използването на цифрова фотограметрия за земни снимки се получават удовлетворителни точности без това да поставя особено тежки изисквания към компютърните системи.

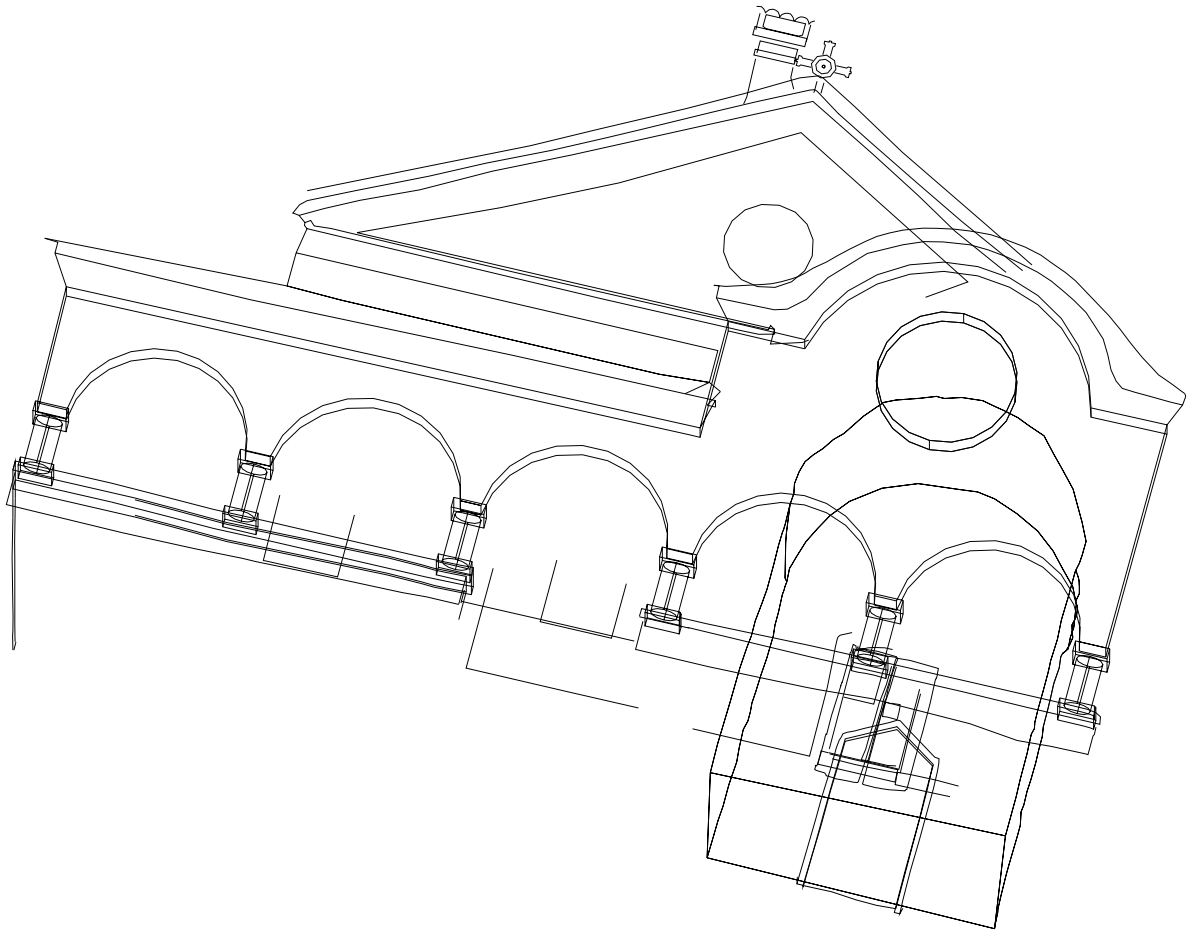
Цифровата обработка на цветните изображения преминава през следните етапи:

- подобряване на радиометричните и цветови характеристики – яркост, контраст и баланс на цветовете;
- изравняване на радиометричните характеристики – посредством визуално или хистограмно изравняване на свързаните съседни снимки;
- геометрична трансформация на всяка от снимките по векторните данни от модела;
- свързване на оделните изображения в обща мозайка;
- геометрична трансформация на цялата мозайка;
- отрязване на мозайката по заграждащия я контур, получен от векторния модел.

Формирането на мозайка може да се избегне при използване на заснимане от по-голямо отдалечение или при използване на фотоапарат с малко фокусно разстояние. Независимо от това при малко отдалечение в редица случаи се налага заснимането на блок от снимки, за формирането на мозайка. Това е подходящо и в случаите, когато освен стени се налага и заснимането на сводове и тавани с голяма кривина или при голям наклон на снимачната камера (фотоапарата). Обработката на цветните изображения притежава някои особености в зависимост от повърхнината, върху която те са разположени. Проблемите, които възникват при тази обработка и методите за тяхното

решаване са разгледани в редица работи [5], [1]. В случая на равнина се използва трансформиране на равнината на векторния модел в равнината на изображението. След това се извършва геометрично трансформиране на изображението с използване на контурните линии на векторния модел. При цилиндрични повърхнини се ползва по-сложен подход. Извършва се геометрично преобразуване на векторния модел до разгъването му в равнина. След това се извършва трансформиране на изображението към така преобразувания векторен модел. Математическият модел на това преобразуване е описан в [1]. По-сложен е вариантът на преобразуване при сферична повърхнина, която не може да се преобразува еднозначно, а се ползва модел, съответстващ на картографска проекция. Подходящ е изборът на проекция, съответстваща на тази, използвана в системата за визуализация. За нуждите на документиране удачна е проекция с минимални изкривявания в централната зона, тъй като там обикновено са разположени най-важните части от фигурите, т.е. лицата. Трябва да се отчита фактът, че при олтарни ниши използваните части от сферична повърхнина не надвишават четвърт от сфера, което създава известни облекчения.

Формирането на фотореалистичен модел или цифровото документиране изискват съответно преобразуване на изображенията на отделните подобекти. Разрешението на изображенията за документиране трябва да е достатъчно високо, за да се осигури точност на стенописните реставрационни работи, а при фотореалистичен модел основен проблем е скоростта на обработка на изображенията, което изисква използването на по-ниско разрешение. Друго изискване е за съхраняването на изображенията в растерен формат, който да позволява лесно геометрично привързване на растерното изображение към векторното (т.е. дефиниране на координатно начало) в координатната система на векторния модел. Такива възможности се предоставят от универсалните системи за графично проектиране като Micro Station или AutoCAD.



Фигура 1. Изометричен изглед на модела.

Формиране на фотореалистичен модел

Формирането на фотореалистичния модел беше извършено в средата на 3D StudioMAX. За целта бяха използвани изображения, които бяха с по-ниско разрешение. За да се избегнат грешки от отрязването на границите, изображенията бяха изрязани по контура на подобектите (стените). По такъв начин се формират изображенията на отделните повърхнини, които се ползват като фототекстури за покриване на повърхнините.

Процедурата на трансформиране към векторния модел и на изрязване на изображенията е показана на фиг.3.



Нетрансформирано изображение



Трансформирано изображение



Изрязано изображение

Фигура 3. Трансформиране и изрязване на пълната фотомозайка към векторния модел.

11.3. ТРАНСФОРМИРАНЕ НА ОСНОВНИ ТИПОВЕ ПОВЪРХНИНИ

Основни типове повърхнини, които подлежат на трансформиране са равнинни, цилиндрични, сферични и конични. Тези типове повърхнини се поддържат от практически всички програмни продукти като 3D Studio Max, Micro Station, AutoCAD.

Трансформиране на равнинни повърхнини

Равнинните повърхности са най-често срещаните. Тяхното трансформиране е относително леко. То се подчинява на добре известните проективни съотношения:

$$\begin{aligned} x_i^t &= \frac{a_x x_i + b_x y_i + c_x}{d_x x_i + e_x y_i + 1} \\ y_i^t &= \frac{a_y x_i + b_y y_i + c_y}{d_x x_i + e_x y_i + 1} \end{aligned} \quad (1)$$

За неговото реализиране са необходими поне 5 свързващи точки, които са подходящо разположени. В това отношение обикновено няма особени затруднения, тъй като 4 точки могат да се изберат по върховете на полигона обграждащ обекта. Петата точка трябва да е във вътрешността на областта. От гледна точка на елиминирание на случайните грешки подходящо е използването на 6 или 9 точки, разположени близо до местата на стандартните точки при обработка на стереодвойка снимки.

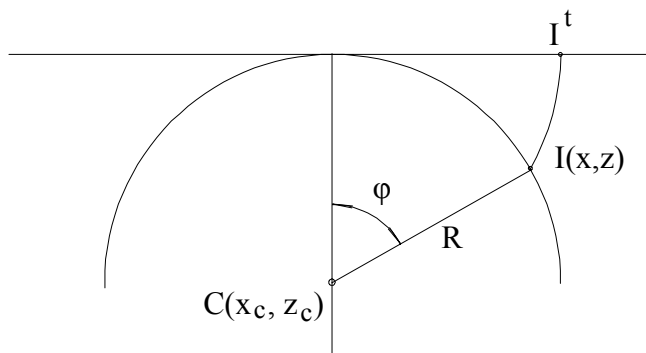
Проблеми могат да възникнат само, ако се ползват изображения, получени като фотомозайка от изходните снимки, тъй като тогава могат да възникнат допълнителни грешки от неправилното им привързване и трансформиране (при липса на подходящи точки или малко застъпване между цветните снимки).

Трансформиране на изображения върху цилиндрични повърхности

Трансформирането на изображения върху цилиндрична повърхнина е еднозначно, тъй като цилиндричната повърхнина лесно се разгъва спрямо някоя от образуващите на цилиндъра. Последователността на преобразуването е следната:

1. Ротира се тримерният модел, така че образуващите на цилиндъра да се явят перпендикулярни на равнината на визуализация и обработка.
2. Интерполират се точките от цилиндричната повърхнина до получаване на параметрите на нейните параметри във фронталната равнина – център и радиус.
3. Тримерните координати на точките от векторното представяне на линиите, формиращи цилиндричната повърхнина се преобразуват до привеждането им в равнина, тангираща на образуващата на цилиндъра.

Графичното представяне на това преобразуване е представено на фигура 1.



Фигура 1. Преобразуване на цилиндрична повърхнина

В съответствие с означенията на фиг.1 аналитичните зависимости за координатното преобразуване добиват вида:

$$x_i^t = \begin{cases} x_c + R_c \cdot \arctan \frac{x_i - x_c}{z_i - z_c} & z_i \geq z_c \\ x_c + \text{sign}(x_i - x_c) \cdot \left[\frac{\pi}{2} \cdot R + (z_c - z_i) \right] & z_i < z_c \end{cases}$$

$$y_i^t = y_i$$

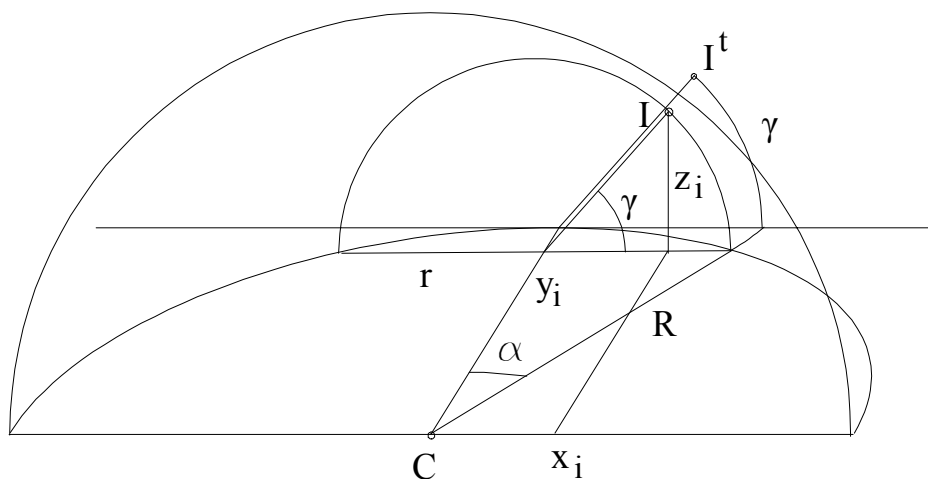
$$z_i^t = z_c + R$$
(2)

Посредством зависимости (2) всички точки от линиите на цилиндричната повърхнина се преобразуват в равнина. За да може да се извърши привързването на изображенията към геометричния модел трансформираните линии от цилиндричната повърхнина се ротират до привеждането им във фронтална равнина. Така полученият векторен модел се използва за привързване към него на изображението, лежащо върху тази повърхнина и формиращо фрагмента от фотореалистичния модел.

Трансформиране на изображения върху сферични повърхнини

Трансформирането на изображения, разположени върху части от сферична повърхнина е съпроводено с по-големи трудности. Изборът на метода на трансформация зависи от изискванията за точност по определени линии или направления. Теоретически могат да се ползват всички типове картографски проекции, които са подходящи за карти в дребни мащаби. Анализ на грешките при някои от тях е извършен в [4]. При избора на подходяща проекция трябва да се изхожда от конкретната повърхнина – каква част от сферата обхваща. Друга особеност произтича от необходимостта да се ползва трансформираното изображение в система за фотореалистично моделиране. В този случай избраният тип проекция зависи от закона на преобразуване, който се ползва в системата за визуализация. Тогава трябва да се ползва преобразуване, което е обратно на това при визуализацията.

Най-често срещан е случаят, когато се обработва една четвърт от сферичната повърхнина, каквито са например олтарни ниши или полусфера, каквито са куполите на църквите. Най-важни са частите от повърхнината, лежащи близо до фронталната равнина. Това прави подходящи онези проекции, които са с малки деформации около големият кръг на сферата в хоризонтална равнина. Графичното представяне на сферичната повърхнина и нейната проекция във фронтална равнина имат вида, показан на фигура 2.



Фигура 2. Вдлъбната сферична повърхнина

В съответствие с тази фигура зависимостите за трансформиране, съответстващи на трансверзална азимутална проекция (равнопромеждутъчна) имат вида:

$$x_i^t = x_c + R \cdot \alpha \cdot \frac{x_i - x_c}{r}$$

$$y_i^t = \begin{cases} y_c + R & y_i \geq y_c \\ y_c - R & y_i < y_c \end{cases} \quad (2)$$

$$z_i^t = z_c + R \cdot \alpha \cdot \frac{z_i - z_c}{r}$$

$$\alpha = \arctan \frac{R^2 - y_i^2}{y_i^2}$$

където

$$r = \sqrt{x_i^2 + z_i^2} = R \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

При трансформиране на изображенията върху сферична повърхнина, предназначени за визуализация в средата на някой графичен или мултимедиен продукт е необходимо да се подбере трансформация, която да осигури минимални изкривявания при проектиране на плоското изображение върху сфера. Така например при използване на Micro Station е подходящо използването на проекция, при която полюсите се представят като отсечки. Такива са някои псевдоцилиндрични проекции (еквивалентни елиптични или еквивалентни синусоидални). Това се обуславя от възприетия в Micro Station метод за преобразуване, при който има изгъване на плоското изображение върху цилиндрична повърхнина, последвано от свиване към двата полюса, разположени в хоризонтално направление (геодезическо направление EW). При 3D Studio MAX се ползва подобно преобразуване, но полюсите са разположени вертикално (геодезическо направление NS).