

СТЕРЕОМЕТРИСКА ИДЕНТИФИКАЦИЈА НА ГЕОМЕТРИЈАТА И МОДЕЛИРАЊЕ НА ОБЈЕКТИ

Ристо Ташевски и Владимир Дуковски

Машински факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“,
и. фах 464, 91001 Скопје, Република Македонија

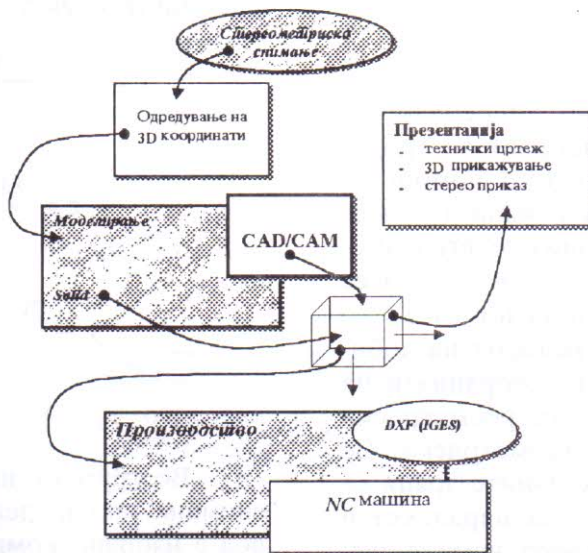
Во трудот се презентирани основите на обратното инженерство (reverse engineering), со дефинирање на методологија за оптичко снимање на одреден објект (производ). Оптичкото снимање подразбира користење на стереометриски метод при одредување на координатите на одреден објект. Координатите или димензиите на објектот служат за негово моделирање и за изработка на нумерички управувана машина.

Клучни зборови: стереометриско снимање; обратно инженерство; CAD

1. ВОВЕД

Обратното инженерство (reverse engineering) претставува изработка на веќе постоечки производ. Во секојдневното комуницирање е познато како копирање на одреден производ. Обратното инженерство содржи неколку фази (сл. 1):

- снимање на производот (објектот);
- моделирање на снимениот објект;
- изработка на објектот на нумерички управувана NC-машина.



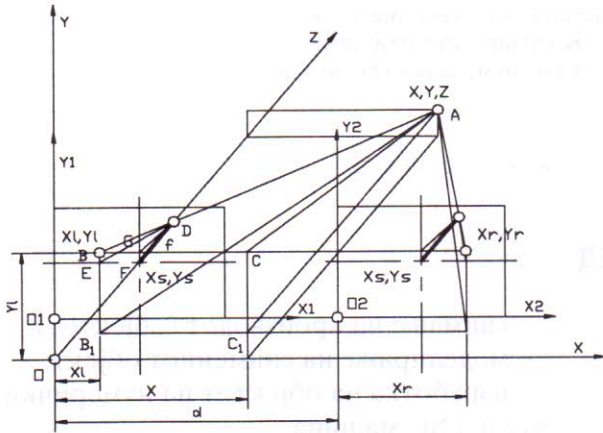
Сл. 1. Фази на обратното инженерство

Обратното инженерство има широка примена во машинската индустрија. Во секој произведен погон секојдневно се појавува потреба од изработка на скршен или расипан дел. Набавката на деловите не само

што е скапа, туку претставува подолг временски процес. Техничката документација за деловите честопати е некомплетна. Останува решението да се бара во изработка на делот [1, 4, 6, 10].

2. СНИМАЊЕ НА ОБЈЕКТ СО ОПТИЧКИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Во машинството помалку се користи оптичкиот (светлосен) систем за мерење. Овој систем е разработен во трудот. Позитивна карактеристика на системот е неговата прифатлива цена и можноста за импровизација. Мерењето оптички систем содржи дигитални камери (стереокамера) со голема резолуција (3000 dpi), компјутер за управување и обработка на податоците и апарати за внес и излез на податоците.



Сл. 2. Модел за добивање на координати x, y, z од стереоснимки

Добиените слики во стереопар со софтверски пакет се претвораат во тродимензионална слика читлива со помош на стереочила. Од тродимензионалната слика (или од две стереопроекции) со стереометриска постапка (претставена на сл. 2) се добиваат точките со координати x, y и z .

На сл. 2 е објаснет методот на добивање на тродимензионални координати на една точка од две нејзини стереометриски проекции. Постапката е геометриска. Се претпоставува дека проективните зраци се идеално прави без појава на паралакса и дека леќите на фотоапаратот немаат дисторзија [3, 7, 8, 9].

Објектот што се снима е точката A со координати x, y, z , поставена произволно во просторот со координатен систем $Oxyz$. Снимањето се врши со две камери со фокусно растојание f или должина на објективот DF . Камерите се поставени на растојание d . Зракот на проектирање поминува од точката A низ точката D и се проектира на левата или десната рамнина (слика или снимка) во точката B со координати x_L, y_L и x_R, y_R . Проекционите рамнини се дефинирани со оските x_1y_1 и x_2y_2 . Средиштето на рамнините е определено со координати x_s, y_s . Проекција на точката A врз рамнината x_1y_1 е точката C_1 . Точката C е во висина на точката E , а на ордината на точката C_1 .

Од сличноста на триаголниците $\triangle ABC$, $\triangle AB_1C_1$ и $\triangle DEF$, $\triangle DBG$ се добива систем од три равенки со три непознати – x, y, z :

$$z(x_s - x_L) = f(x - x_L)$$

$$z(x_R - x_s) = f(x_R + d - x)$$

$$z(y_L - y_s) = f(y_L - y)$$

Со решавање на системот равенки (1), (2) и (3) се добиваат координатите x, y и z на сниманиот објект:

$$x = \frac{x_R x_s + x_s d - x_L d - x_L x_s}{x_R - x_L} \quad (1)$$

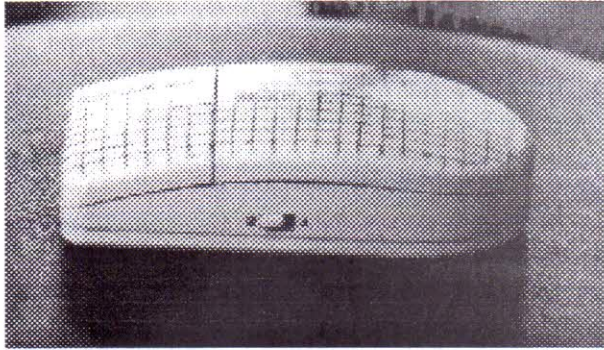
$$z = \frac{f(x_R + d - x)}{x_R - x_s} \quad (2)$$

$$y = \frac{f y_L - z(y_L - y_s)}{f} \quad (3)$$

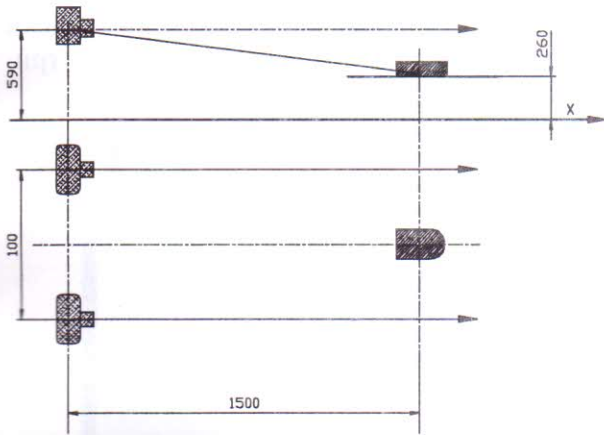
каде што $y_L = y_R$.

Во трудот е направен експеримент на снимање на одреден производ. Како производ е избрано компјутерско глумче поради неговата тродимензионална закривеност

(сл. 3). Стереометрирско снимање на објектот е извршено со фотоапарат (Pentax 80), со максимално фокусно растојание 80 mm (сл. 4).



Сл.3. Објект (производ) за снимање

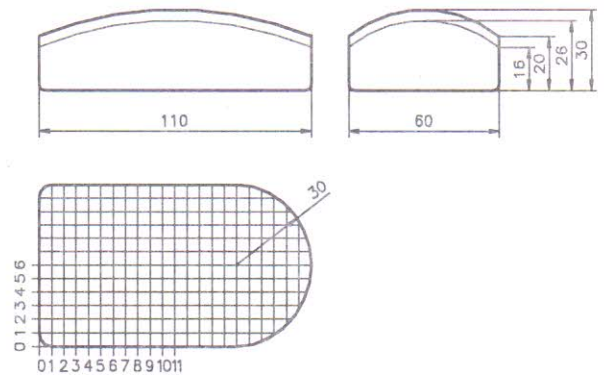


Сл. 4. Стереоснимање на глумчето со фотоапарат Pentax

Стереометрирската обработка на податоците е извршена на Silicon Graphics Computer со употреба на стереочила. Применет е софтверскиот пакет Softplotter од софтверската компанија Vision International, Automatic-Incorporated, USA.

Добиените негативи од фотоснимањето се скенирани со скенер Vexcel-VX3000 со резолуција 3000 dpi. Потоа фајловите од

скенерот се внесуваат во програмскиот пакет. Од сликата 4 се гледа дека е применето паралелно стереометрирско снимање. Од сите опити што се направени се увиде дека паралелното стереометрирско снимање дава подобри резултати од централното стереометрирско снимање. Тоа е поради тоа што користениот софтверски пакет е со специјална намена за дигитализација на авионски (сателитски) снимки. Авионските снимки се прават од голема височина и таквото снимање најмногу соодветствува на паралелното стереометрирско снимање. Затоа глумчето е поставено на оддалеченост од 1500 mm и се снима со фокусно растојание од 35 mm. За да можат попрецизно од стереометрирските проекции да се добијат 3D координати на објектот (глумчето), на објектот се ставаат маркери во вид на модуларна мрежа. Модуларната мрежа е со растер од 5 mm (сл. 5).



Сл. 5. Модуларна мрежа на 3D координати

Постапката на стереометрирско снимање и одредување на координатите на објектот се вика фотограметрија (грчки *phos* – светлост, *gramma* – слика, *metria* – мерење). Фотограметрија е вештина на одредување на вистински големини (димензии) на фотографирани објект од две фотографии [5].



Сл. 6. Влезно мени во софтверскиот пакет Softplotter

Softplotter е софтверски систем на конфигурации дизајнирани за точна и ефикасна екстракција на информации за координатни големини и облици од дигитални снимки (сл. 6). Потребната хардверска поддршка е Silicon Graphic, Inc. (SGI), која успешно ги прикажува сите фази од фотограметрискиот процес. Софтверски е базирана на објектно-ориентирана филозофија [2].

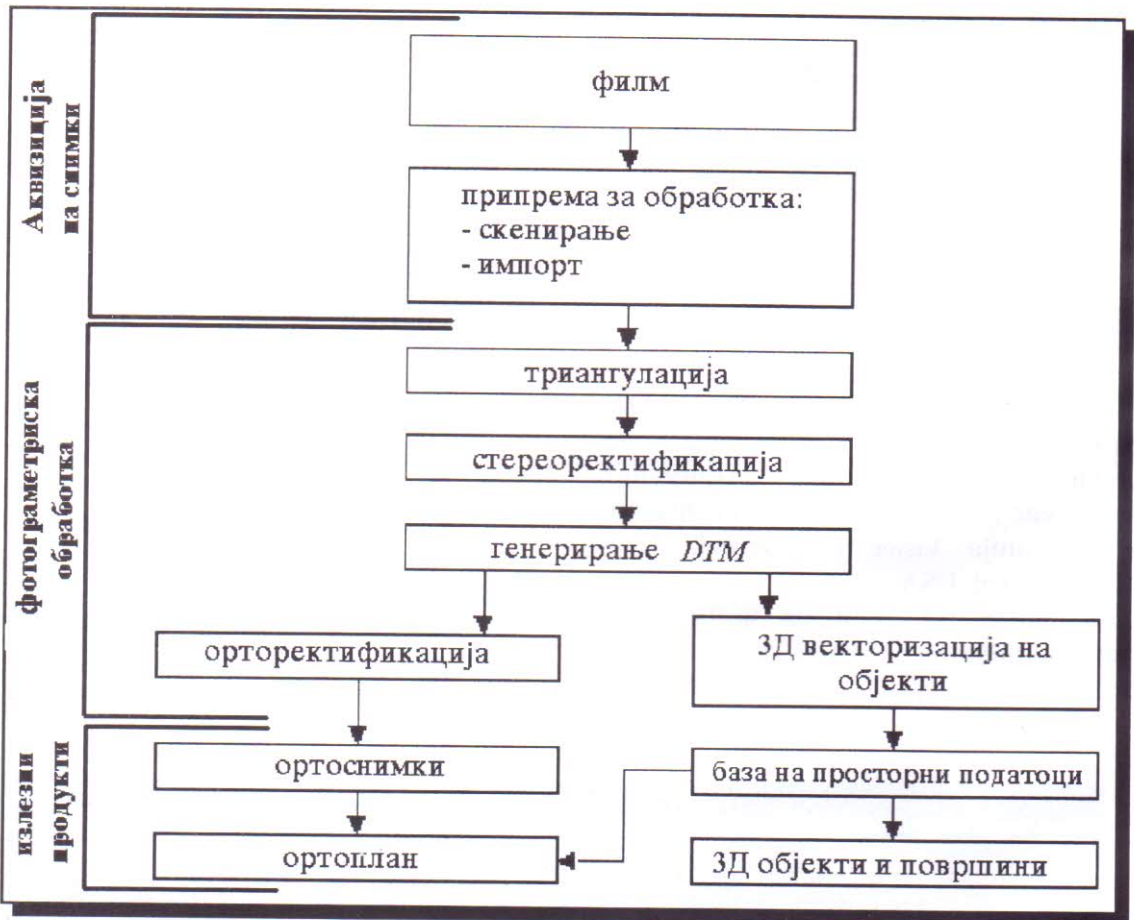
Аквизицијата на податоците кај дигиталните системи се врши со компјутерска обработка на снимките во дигитален облик. Дигиталните слики претставуваат матрица на точки (пиксели) со различни вредности кои можат да се добијат директно со методите на далечинска детекција или со снимање со камера CCD (Charge Coupled Device), но и индиректно со скенирање на аналогни фотографии.

Аналогните снимки се претвораат во дигитални со високо софистицирани специ-

јални скенери со голема резолуција и одлична положбена точност, со што дел од деформациите на суровите снимки се отстрануваат уште во текот на самото скенирање. Во случајот е користен филм-скенер Vexcel-VX3000, со максимална резолуција 3000 dpi.

Текот на **дигиталната фотограметрија** може да се презентира во три чекори, што е прикажано на блок-дијаграмот (сл. 7).

Триангулациониот алгоритам е базиран на блоковско израмнување на строги сензорски модели претставени преку функциите на перспективни снопови, според методот на најмали квадрати. Триангулација претставува мерење со помош на меѓусебно поврзани триаголници, при што темињата и страните се одредуваат по тригонометриски пат (латински *triangulation* – мерење со триаголници).

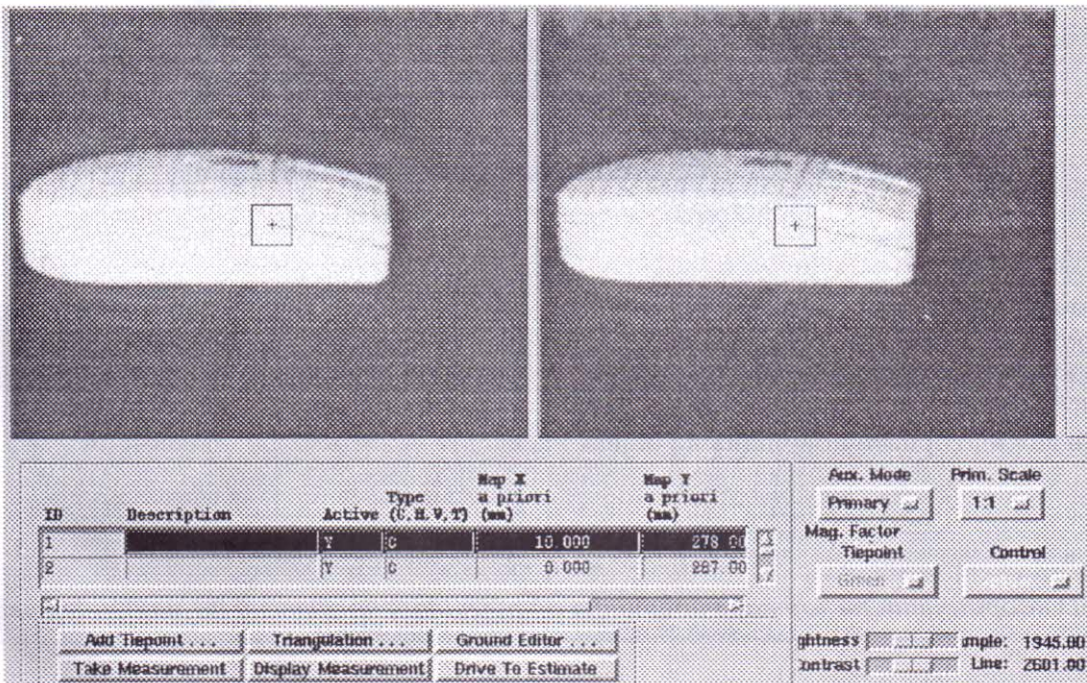


Сл. 7. Тек на фотограметриската постапка

Во случајов е симулирано авионско снимање. Поради непрецизните координати на точките од кои е вршено снимањето, односно поместувањето (ротирањето) на снимките, кои се од фундаментално значење за поставување на проблемот, преку функциите на терестичката фотограметрија се појавува одредена непрецизност. Снимањето е извршено со аматерска камера, при што реалните влезни елементи (кои се добиваат со калибрација на камерата) не се познати, присутен е голем број на вредности усвоени како идеални, кои секако не одговараат на реалната ситуација. Сето ова влијае во голема мерка на излезната точност во проце-

сот на триангулација, како и во понатамошната обработка.

Стереоскопскиот ефект се добива со ректифицирани снимки претставени во епиполарна (стерео) презентација, што се постигнува преку четири системи на полиноми кои ги трансформираат тродимензионалните координати во дводимензионални координати на точките (пикселите). Секоја промена на висината која е врзана за точка во линијата на пиксели се манифестира како директна промена на паралаксата долж таа линија (грчки *parallaxis* – менување, промена) (сл. 8).



Сл. 8. Врзни точки

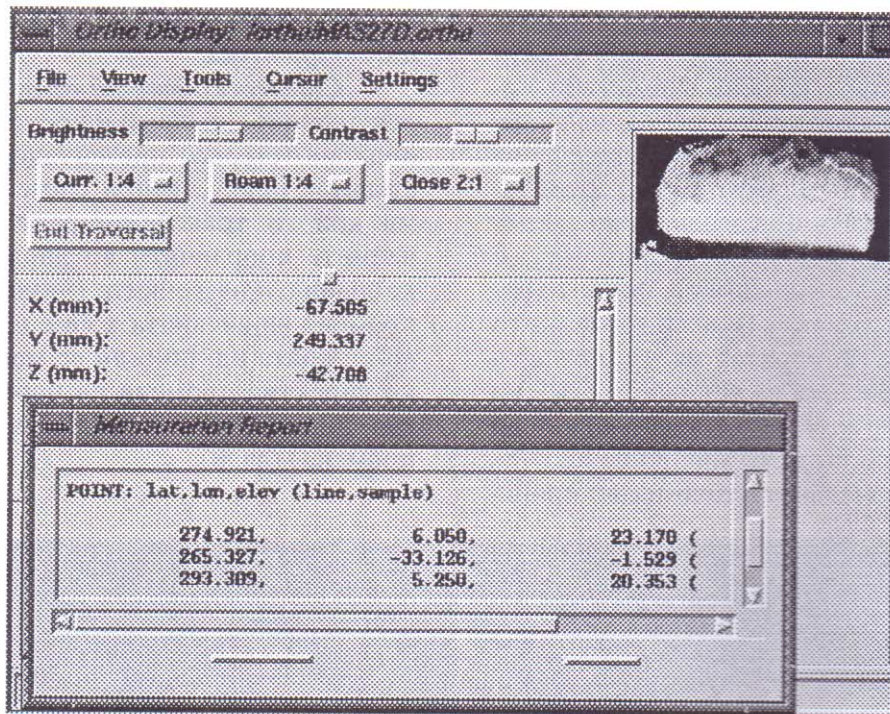
DTM (Digital Terrestrial Model) се генерира преку автоматска аквизиција на TIN (Triangulated Irregular Network) и/или DEM (Digital Elevation Matrix). Притоа се користи таканаречен просторен корелатор (корелациски алгоритам) кој го обработува пикселот низ целиот процес. Примарното корелациско мерење ги користи разликите во контрастот и осветленоста помеѓу снимките.

Орторектификацијата е потполно автоматизиран процес на отстранување на ефектите на централната проекција и ефектите на третата димензија, на снимка со точна сензорска геометрија, што е резултат

на триангулацијата, и со DTM во формат на DEM или TIN. Процесот претставува трансформација пиксел-по-пиксел од сликовни во просторни елементи (сл.9).

Програмскиот пакет 3D координати на објектот ги експортира во ASCII фајлови. Овие излезни фајлови се со релативно непрецизни резултати, освен ако фотоснимањето и скенирањето не се идеално извршени.

Видовме дека орторектификацијата е потполно автоматизиран процес, но координатите на точките од објектот можат да се одредат со помош на стереометрискиот ефект на стереокурсорот.



Сл. 9. Резултат добиен со автоматска аквизиција

Координатите на точките од модуларната мрежа на објектот се добиваат рачно со покажување на одредена стереометриска точка. Со овој метод се добиени 3D координатие на дел од горната површина на објек-

тот. Прецизноста на добиените резултати е со микронска вредност. Снимен е дел од горната површина, поради нејзината симетричност (таб. 1).

Табела 1

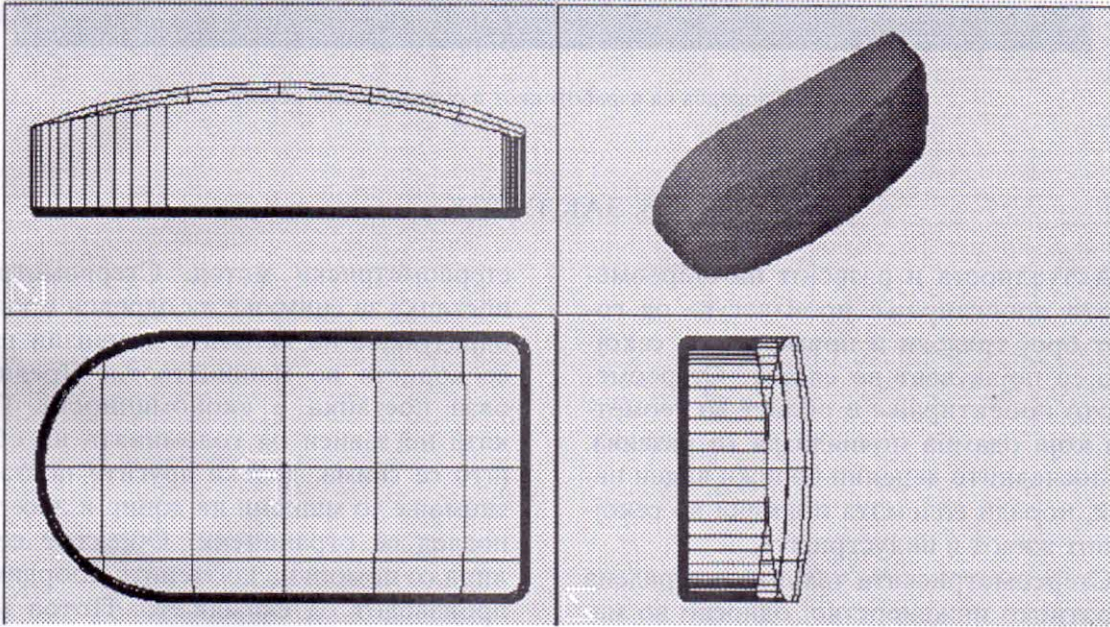
3D координати на горната површина од објектот по дадени по матричен ред

координати x, y, z	0	1	2	3	4	5	6
0	0,0,16.890	0,5,17.847	0,10,18.626	0,15,19.229	0,20,19.658	0,25,19.915	0,30,20.000
1	5,0,18.712	5,5,19.658	5,10,20.427	5,15,21.022	5,20,21.446	5,25,21.700	5,30,21.784
2	10,0,20.342	10,5,21.277	10,10,22.037	10,15,22.626	10,20,23.045	10,25,23.296	10,30,23.380
3	15,0,21.784	15,5,22.709	15,10,23.463	15,15,24.046	15,20,24.462	15,25,24.710	15,30,24.793
4	20,0,23.046	20,5,23.964	20,10,24.711	20,15,25.289	20,20,25.701	20,25,25.948	20,30,26.030
5	25,0,24.130	25,5,25.041	25,10,25.783	25,15,26.358	25,20,26.767	25,25,27.011	25,30,27.093
6	30,0,25.041	30,5,25.947	30,10,26.685	30,15,27.256	30,20,27.662	30,25,27.906	30,30,27.987
7	35,0,25.783	35,5,26.685	35,10,27.419	35,15,27.987	35,20,28.392	35,25,28.634	35,30,28.715
8	40,0,26.357	40,5,27.256	40,10,27.987	40,15,28.553	40,20,28.956	40,25,29.198	40,30,29.278
9	45,0,26.767	45,5,27.663	45,10,28.392	45,15,28.957	45,20,29.359	45,25,29.600	45,30,29.680
10	50,0,27.011	50,5,27.906	50,10,28.634	50,15,29.198	50,20,29.600	50,25,29.840	50,30,29.920
11	55,0,27.093	55,5,27.087	55,10,28.715	55,15,29.278	55,20,29.680	55,25,29.920	55,30,30.000

3. МОДЕЛИРАЊЕ НА ОБЈЕКТОТ

Моделирањето на објектот се врши во програмскиот пакет AutoCAD. Импортирани се фајловите ASCII, DXF и рачно добиените координати на објектот преку командата 3Dmesh. Добиен е солид-модел на објектот (сл. 10.). Солид-моделирањето овозможува корекција и дооформување на објектот. Во случајов е направена корекција на координатите на одредени точки кои

очигледно отстапуваат од контурите на објектот. Координатите на објектот внесени преку споменатите фајлови формираат груба површина, која се коригира со апроксимативно споредување со рачно добиените координати на објектот. Резултатот на оваа апроксимација се гледа од сликата, но најдобро може да се види од изработениот објект.



Сл. 10. Моделирање со помош на AutoCAD

4. ИЗРАБОТКА НА ОБЈЕКТОТ (ПРОИЗВОДОТ) СО NC-МАШИНА

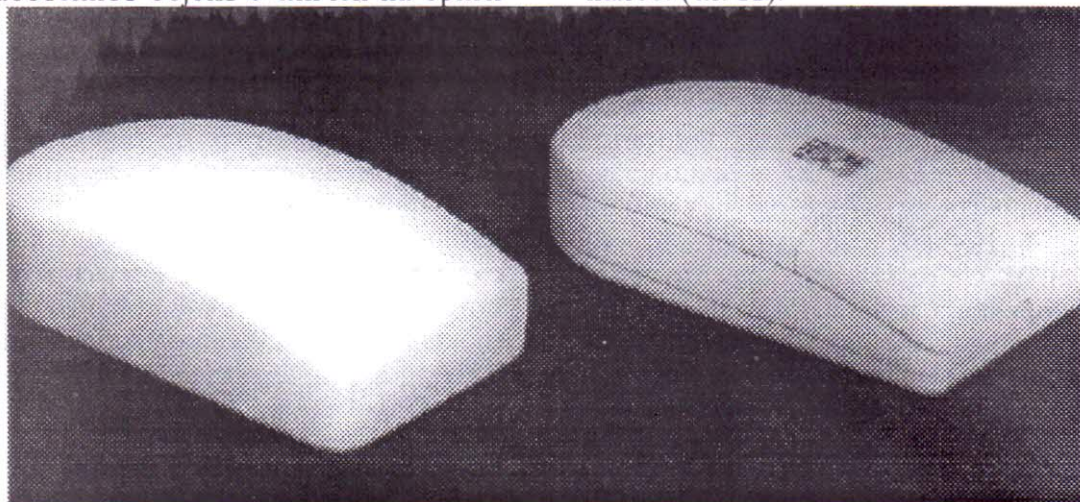
Нумерички управуваните NC-машини работат со податоци внесени во вид на координати од 3D координатен систем, каде што оските се нормално поставени една на друга. Добиените 3D координати од моделираниот објект се внесуваат во компјутерот на NC-машината.

Координатите на моделираниот објект односно неговиот NC-код од PC-компјутер се внесува во компјутерот на NC-машината. NC-кодот треба да содржи податоци за машината, за алатот и геометриски податоци. Во геометриските податоци спаѓаат големината на материјалот што се ко-

ристи за изработка, патеката по која се движи алатот и почетната и крајната точка на движењето на алатот. За да се добие NC-код за моделираниот објект, направен е алгоритам и компјутерска програма. Во компјутерот на NC-машината се врши симулација на извршената обработка на објектот, со што се верифицира NC-кодот. Потоа се пристапува кон изработка на објектот.

Најkomplициран дел од изработениот објект е горната тродимензионална површина. Сличноста на изработениот и оригиналниот објект се утврдува со споредба на горните површини. Може да се заклучи де-

ка изработениот објект е сличен на оригиналот. (сл. 11).



Сл. 11. Споредба на изработениот и оригиналниот објект

5. ЗАКЛУЧОК

Актуелноста и развојот на стереометриското проектирање произлегува од големиот број трудови и примени кои секојдневно се појавуваат во светот. Стереометриското проектирање е област во геометријата која одамна почнала да се развива, но во последните децении бележи виден напредок, поради големата примена во секојдневниот живот и индустријата.

Стереометриската техника е вградена во обратното инженерство, односно во машинството. Снимањето или одредувањето на димензиите на производот се врши со

стереометриски метод. Стереометриската постапка за снимање на одреден производ и одредување на неговите димензии послабо се користи во машинството. Предност на оваа постапка е економичноста. Постапката не зависи од големината на објектот што се снима, додека другите постапки на снимање со машини на допир и ласер во тој поглед се ограничени. Објектот се моделира со помош на добиените координати на производот од снимањето. Потоа моделираниот објект или производ се изработува на нумерички управувана машина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Butler G., Grogono P., Shinghal R., Tjandra I.: *Retrieving Information from Data Flow Diagrams*. Second Working Conference on Reverse Engineering (WCRE'95), 1995.
- [2] *ERDAS Field Guide*, Fourth Edition. ERDAS, Inc. Atlanta, Georgia, 1997.
- [3] Fusiello A., Trucco E., Verri A.: *Rectification with unconstrained stereo geometry*, BMVC'97, July 1997.
- [4] Gannod C. G., Cheng C. B., *Strongest Postcondition Semantics as the Formal Basis for Reverse Engineering*. Second Working Conference on Reverse Engineering (WCRE'95), 1995.
- [5] *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXI, part B2, Commission II, Vienna, Austria, 1996.
- [6] James H. C., Hendrix T. D.: *Using Generalized Markup and SGML for Reverse Engineering Graphical Representations of Software*. Second Working Conference on Reverse Engineering (WCRE'95), 1995.
- [7] Lengagne R.¹, Fua P.¹, Monga O.²: *Using Crest Lines to Guide Surface Reconstruction from Stereo*. ¹INRIA, Le Chesnay Cedex, France, ²SRI International, Menlo Park, USA. 13th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'96), pp. 218–223, Vienna, Austria, Aug. 1996.
- [8] Lengagne R., Tarel J-Ph., Monga O.: *From 2D Images to 3D Face Geometry*. Second International Conference on Automatic Face and Recognition (FG'96), pp. 135–143, Killington, USA, Oct. 1996.
- [9] Tarel J-Ph., Vezien J-M.: *CamCal v1.0 Manual – A Complete Software Solution for Camera Calibration*. INRIA, Le Chesnay Cedex, France, Sep 1996.
- [10] Ташевски Ј. Р.: *Стереометриско моделирање и илустрирање на објекти*. Док. дис., Скопје, 1998.

S u m m a r y

STEREOMETRIC IDENTIFICATION OF GEOMETRY AND MODELING OF OBJECTS

Risto Tashevski and Vladimir Dukovski

*Faculty of Mechanical Engineering, The "Sv. Kiril & Metodij" University,
P. O. Box 164, 91001 Skopje, Republic of Macedonia*

Key words: stereometric identification; reverse engineering; CAD

In this paper, the fundamentals of the reverse engineering with a definition of the methodology for optical identification of the objects geometry are presented. The optical identification is done by a photo-camera and utilization of a

stereometric method for determination of coordinates of the object. Coordinates of the object are used for its modeling and manufacturing with a numerically controlled machine (NC).