

Mindennapi visszamodellezéseink

Daily Reverse Engineering

BENEDEK Szabolcs¹ JÓNÁS Rudolf²

¹ Ügyvezető, főmérnök, Alap Inspektor Kft., H-8200 Veszprém, Kistó u. 27.
telefon: +36 703242368; benedek@alapinspektor.com; http://alapinspektor.com

² Gépészmérnök, Omega Alfa Tervező Kft., 4030 Debrecen, Szávay Gyula utca 81.
telefon: +36 209722290; omega.alfa.tervezo@gmail.com

Abstract

This paper describes the integration of optical scanner type measuring equipment into the tool-, and component reverse-engineering processes. The quick reaction time, the immediate and automatic reporting activity, the ability for supporting easy-processing data and also the environment proof characteristics make it possible to integrate them into the CAD modelling processes. This paper introduces some samples for the integration of a GOM ATOS and TRITOP systems into the re-engineering.

Összefoglaló

A cikk az optikai felületdigitalizáló típusú mérőrendszereknek szerszám- és alkatrész-visszamodellezésben való felhasználását mutatja be. Ezen rendszereket gyors reakcióidejük, az azonnali, automatikus és könnyen feldolgozható adatokat szolgáltató képességük, és nem utolsósorban a környezeti feltételekkel szembeni jó immunitásuk teszi használatra alkalmassá a CAD tervezéshez. A cikk példákat mutat be Zeiss-GOM ATOS és Tritop rendszerek különböző ipari és egyéb visszamodellezési folyamatokban való felhasználására.

Kulcsszavak:

3D mérés, optikai felületszkennelés, 3D optikai felületdigitalizálás, visszamodellezés, CAD.

1. BEVEZETÉS

Az ipari mérés technikában az optikai felületdigitalizáló rendszerek, mintegy 30 éve kezdtek elterjedni. A megjelenésüket egyértelműen az autópálya indukálta. Ennek ellenére a kétezres évekre elterjedésük széleskörűvé vált. Mérési pontosságuk elérte a hagyományos mérőeszközökét, azonban azoktól – egységnyi idő alatt – nagyságrendekkel több mérési pontot szolgáltatnak. A szabadformás felületeket, a legömbölyített, áramvonalas és sokszor aszimmetrikus felületeket hagyományos mérőeszközökkel szinte lehetetlen mérni, de mindenképpen nagy időráfordítást igényel. Felgyorsult világunkban épp a gyorsaságukkal tudnak nagy segítséget nyújtani a terméktervezési folyamatokban az optikai – és az optikai – lézer kombinált – felületdigitalizáló rendszerek.

2. VISSZAMODELLEZÉS

Az ipari formatervezés egyik különleges ága a visszamodellezés, vagy közismert angol nevével „reverse engineering” (re-eng.). Az eljárás lényege, hogy meglévő – sokszor kopott, törött, kézzel megmunkált, vagy egyedi gyártású – alkatrészek 3D CAD modelljét állítjuk elő, további felhasználás céljából. A további felhasználás lehet például méretezett műhelyrajzok készítése, az alkatrész – az eredetivel megegyező – formában és méretekkel történő legyártása, esetleg a további fejlesztések, dizájn változtatások elvégzése.

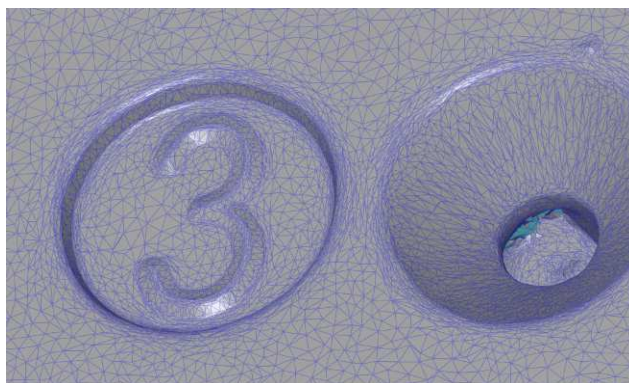
A visszamodellezéshez számos 3D fordító-, és szerkesztőprogram áll rendelkezésre. Ezek szakszerű használata komoly tervezői és technológiai ismereteket kíván. Nem elegendő ugyanis csupán szkennelni a felületeket, de már a szkennelés során is tisztában kell lennünk a későbbi felhasználás módjával és például a transzparens vagy tükröződő felületeket is ennek megfelelően kell előkészíteni (t.i. felületi bevonatolás, ref-

lexió csökkentés, referenciapontok használata). A nyers adatokat természetesen majd valamilyen bázis koordináta rendszerbe is kell állítani, emiatt az úgynevezett bázisfelületek pontos digitalizálására törekedni kell.

A visszamodellezés során minden alkalommal pontosan ismerni kell a készülő 3D modell további felhasználásának célját - módját, ugyanis ez a teljes folyamatra hatással van. Jelen dolgozatunkban minden paraméterrel nem foglalkozunk, csupán a főbb, és a tapasztalatok alapján jellemzőbb felhasználási módokat és azok szükséges bementi beállításait vesszük számba, koncentrálnva az ipari alkalmazási lehetőségekre.

2.1. Poligonozált háló - STL

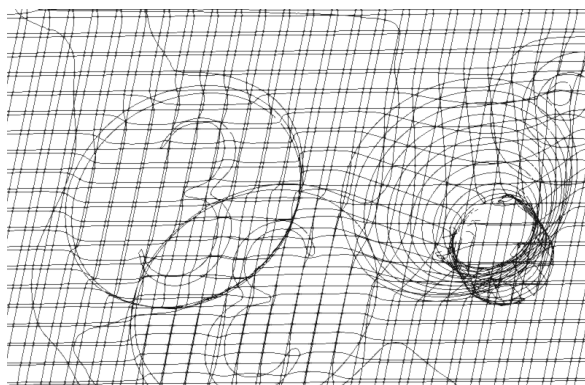
A legelőnyösebb felhasználási mód az úgynevezett „Poligonozált háló”. Ebben az esetben a felületen felvett felületi pontokat háromszögekké alakítjuk (1. számú kép). Tipikus kimeneti formátum az STL (lásd még: sztereolitográfia). Jellemző felhasználási terület, amikor nagy részletesség elérése a cél, a felület minél pontosabb leképezése mellett. Ilyen adatokra direkt 3D nyomtatáshoz, direkt CAM felhasználáshoz, esetleg meglévő adatokkal való összevetéskor van szükség. Fontos a felület nagyfelbontású és teljes szkennelése. A szkenneléskor esetlegesen keletkező lyukak, hiányzó területek utólagos kitöltése. A szkennelési hibák (csúcsok, élek, csillogások stb.) korrigálása. Szükséges lehet még a pontfelhő méretének csökkentése decimálással, amikor az egybefüggő sík jellegű felületeken ritkábbak lesznek a pontok. Ennek ellenére gyors eljárás, akár néhány órán belül eredményt ad. A kimeneti STL fájl CAD rendszerekben nem, vagy nehezen szerkeszthető. A keletkezett adatfájl mérete függ a felvett pontok számától, ami akár több millió is lehet, de a jellemző méret néhány tíz, esetleg egy-két száz MB.



1. kép STL modell, azaz poligonizált pontfelhő képe

2.2. Poliline struktúra - IGS

A „Poliline struktúra” már a poligonizált hálóból is képezhető olyan felület, amire elemi felületelemek, például síkok illeszthetők. Fontos, hogy a háló készítésekor mindegyik koordináta irányt lefedjük, időnként egyedi (pl. körszimmetrikus) metszetek készítése is szükséges lehet (2. számú kép). Tipikus kimeneti formátum az IGS háló. Jelentősen kevesebb információt tartalmaz a felületről, mint a poligonizált háló, de CAD rendszereken már korlátozottan szerkeszthető. Itt már alkalmazhatunk elemi primitíveket (síkok, henger- és kúppalást, gömb). Lehetséges metszetgörbék (spline) illesztése egyenessel, körrel. További lehetőség a Gauss elimináció és a Chebishev illesztés. Ez az eljárás is gyors, néhány órán belül eredményt adó folyamat. A keletkezett adatfájl, a háló sűrűségének függvényében akár néhány GB méretű is lehet.



2. kép IGS modell, azaz háló képe

2.3. Felületi, vagy héj modellek - STP

A „felületi, vagy héj modellek” már teljes értékű 3D CAD modelleknek számítanak. Ebben az esetben is fontos a felület minél részletesebb leképezése, de ilyen esetben csak egy-egy adott, „lényeges” felületre koncentrálódik az optikai felületdigitalizálás. A felületek kidolgozása lehet Organikus („parkettázás”), ami már nem sztereolitográfias módszer (3, 4, 5 oldalú felületeket használunk) és már lehetséges például az áthatások lekerekítése. Másik megoldása, amikor a felület kidolgozása Parametrikus (kihúzott, forgatott, söpört, pásztázott), vektoros. Egy jellemző felhasználási mód például gyártóberendezések bizonyos csatlakozófelületeinek átalakítása, csatlakozópontok, felületek pozíciójának, kialakításának meghatározása a hozzájuk kapcsolódó alkatrészek megtervezéséhez, vagy a csatlakozás optimalizálásához. Ilyen lehet például egy alkatrész beültető egység adagolórésze, ahová valamely szabadformás, vagy műszaki dokumentációval nem rendelkező alkatrésznek kell illeszkednie. Tipikus kimeneti formátum bármely CAD formátum lehet (jellemző az STP). A modellalkotás folyamata itt már a bonyolultság függvénye, de optimális esetben néhány óra, egy-két nap.

2.4. Testmodell

A „testmodellek” készítése során a legfontosabb paraméter, amit a folyamat megkezdése előtt ismernünk kell, hogy a kimenet milyen mértékben hasonlítson az eredeti felületre és hogy annak tovább szerkesztése, vagy átalakítása a későbbiekben szükséges lesz-e. Tudnunk kell, hogy a kimeneti formátum pontosan mi legyen, gondolva itt a számos 3D CAD tervező program közötti átjárhatóságra és a parametrikus testmodell (solid) vagy modell-fa iránti esetleges igényre. Különösen fontos mindez a kombinált modellek esetén, ahol nem csak alap geometriai elemet szükséges egy modellen belül alkalmazni, hanem itt-ott szabadformás részek is találhatóak (lásd még: vektorfelületek). A testmodellek készítésének folyamata és időszükséglete nagyban függ az adott geometria bonyolultságától és az annak felületével kapcsolatos elvárásoktól. Belső geometriák, alámetszések digitalizálásához elképzelhető, hogy az optikai felületszkenneren túl egyéb mérőeszközöket is igénybe kell venni, mint például CT (komputer tomográfia), vagy kézi mérőeszközök.

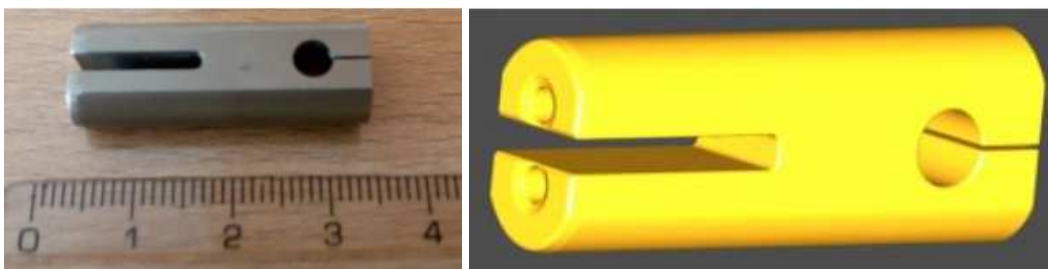
2.5. 3D rendering

A 3D modellek egy igen speciális változata, ami alapvetően művészeti felhasználásra jött létre. A folyamat ebben az esetben is 3D optikai felületdigitalizálással indul. Jellemzően az elvárt felületi részletesség és mérési pontosság legalább egy-két nagyságrenddel elmarad a műszaki alkalmazásuktól (+/-0,1 – 1 mm), azonban textúra létrehozása lehetséges és 3D grafikai programok alkalmazásával a felület különböző módokon változtatható, mind textúráját, mind színét tekintve. Speciális változat a műalkotások szkennelése, amikor szükséges lehet a felület nagyfelbontású megjelenítése, kutatáshoz és műemlékvédelemhez, ajándéktártyák készítéséhez (3D nyomtatás) vagy restauráláshoz. Példaként említhető az amszterdami Rijksmuseum, a New York-i Metropolitan Múzeum, vagy Franciaországban a Paris Musées, akik több százezer műalkotást digitalizáltak (ezek többsége festmény). A 3D rendering tipikus kimenete lehet 3D PDF.

3. GYÁRTÓBERENDEZÉSEK PÓTALKATRÉSZEI

Az ipari 3D visszamodellezések egyik jellemző feladata régi gyártóberendezések nehezen, vagy egyáltalán nem beszerezhető pótalkatrészeinek után-gyártásához 3D CAD modell, esetleg 2D műhelyrajz előállítás. Ilyen esetben kihívás az erősen kopott alkatrészek eredeti geometriájának meghatározása, amihez esetenként szükséges a kapcsolódó geometriák figyelembevétele.

Az 3. számú kép egy olyan esetet mutat be, amikor egy nagyjából 30 éves, magyarországi gyártóhelyre áttelepített kábelkonfekcionáló berendezés egyik alkatrészének a visszamodellezése vált szükségessé, ami a nagyjából egy napos folyamat végeredményeképp képződött STP modell segítségével legyárthatóvá vált.



3. kép Az eredeti alkatrész (bal) és az elkészült 3D testmodell (jobb)

4. GYÁRTÓBERENDEZÉSEK – SZERSZÁMOK

Az ipari visszamodellezések másik tipikus esete, amikor sérült, törött, kopott gyártószerszámot kell visszamodellezni. Ennek oka többféle lehet. Ténylegesen használat közbeni sérülésről és ez által termelésleállásról van szó. Gyakori a dokumentációval nem rendelkező szerszámok visszamodellezése, ahhoz, hogy a dizájn megőrizhető legyen, vagy a követő, utód szerszám gyártható legyen, esetleg átalakításokat lehessen előkészíteni. A gyártószerszámok közül leggyakrabban a műanyag fröccsöntő szerszámok vagy a prészserszámok alkatrészeinek (vagy az egész szerszámnak) a visszamodellezése szükséges. Ezek a szerszámok azonban méretük, súlyuk, sérülékenyséjük miatt jellemzően nem mozgathatók, mérőlaborba nem szállíthatók be. Az optikai felületdigitalizáló rendszerek ilyenkor jól alkalmazhatók. A 4. számú kép a gyártó telephelyén végzett 3D optikai felületszkennelést mutatja be egy műanyag fröccsöntő szerszám esetén.



4. kép Helyszíni 3D felületdigitalizálás

Gyártószerszámok visszamodellezése esetén a legnagyobb kihívást a kopások és a tudatos dizájnelemek elkülönítése okozza. Szintén nehéz a kopások mértékének meghatározása, hiszen nem tudhatjuk, hogy egy távolság az eredeti mechanikai dizájn miatt ad egy bizonyos értéket, vagy az időközben bekövetkezett kopások miatt. Figyelembe kell venni az esetleges öntési ferdeségeket is. És meg kell állapodni a kerekítések mértékéről is. Mindezek azt eredményezik, hogy a gyártószerszámok visszamodellezése több lépésből álló iterációs folyamat a szerszámtulajdonos és a visszamodellezést végző mérnök között. Mindezek miatt a gyártószerszámok visszamodellezési időszükséglete alapvetően függ az adott szerszám bonyolultságától és fizikai állapotától. Gyártószerszámok visszamodellezésre fordított idő egy-két munkanaptól, akár egy-két hétig is terjedhet. A 5. számú képen egy műanyag fröccsöntő szerszám szkennelésre váró alakos betétje látható és mellette a már elkészült 3D CAD modell.

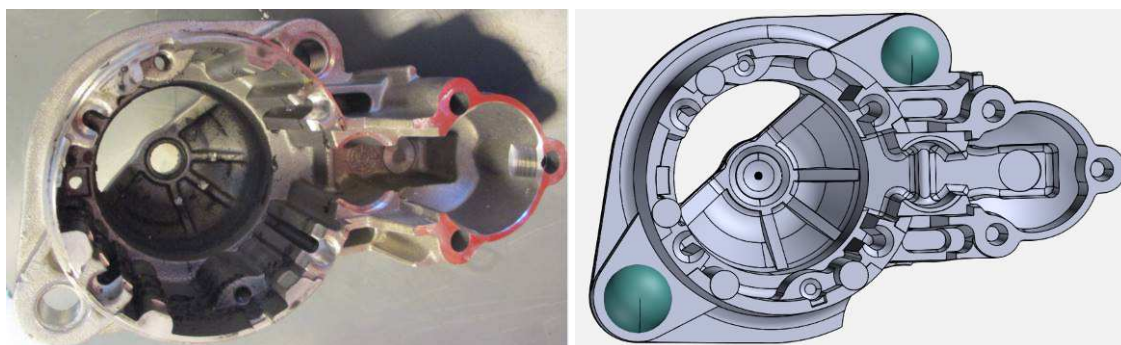


5. kép Az eredeti alkatrész (bal) és az elkészült 3D testmodell (jobb)

5. AUTÓALKATRÉSZEK

A gépjárműiparban előforduló alkatrész visszamodellezési feladatok elsősorban a termékfejlesztések során, illetve a régebbi, hiányos dokumentumokkal rendelkező termékek esetén fordulnak elő. A termékfejlesztés során gyakran kézzel történnek olyan korrekciók, amiket az eredeti 3D CAD modellen nem lehet,

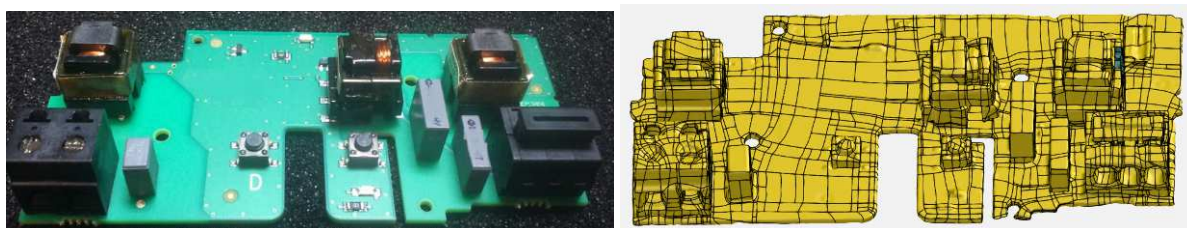
vagy nagyon hosszadalmas lenne lekövetni és egyszerűbb, gyorsabb a visszamodellezési folyamat. A hiányzó dokumentumok kérdése pedig például dizájnátalakításnál jöhet elő, amikor a teljes mechanikai konstrukció egy-egy elem hiányzik az áttervezéshez. Szintén szükséges lehet visszamodellezés követő szerszámok gyártásához. A 6. számú képen egy átalakított villanymotor alkatrész és annak visszamodellezéssel készült modellje látható.



6. kép Az eredeti alkatrész (bal) és az elkészült 3D testmodell (jobb)

6. ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK

Elektrotechnikai, elektronikai alkatrészek visszamodellezésére rendkívül ritkán kerül csak sor. Ezek elsősorban valamilyen termékfejlesztéshez szükségesek, elsősorban a tokozás mechanikai dizájnjának ellenőrzéséhez, esetleg gyártószerszámok, gyártósorok tervezéséhez. Az elektronikai alkatrészek visszamodellezése emiatt nem igényel olyan részletességet és pontosságot, mint a korábban ismertetett esetek. Alapvető elvárás a NYÁK lemez (nyomatott áramköri lemez /panel) geometriájának pontos visszaadása és a komponensek helyzetének definiálása (7. számú kép).



7. kép Az eredeti alkatrész (bal) és az elkészült 3D testmodell (jobb)

7. EGYÉB FELHASZNÁLÁS

Ebbe a kategóriába tartoznak az egyedi visszamodellezési feladatok, amik jellemzően nem köthetők sorozatgyártáshoz. Ezekben az esetekben a visszamodellezési feladat mindig a termékhez igazodik, hiszen egy nagyobb méretű objektum (például hajótest, lásd 8. számú kép) visszamodellezése teljesen másfajta eszközöket és felkészülést igényel, mint például egy fogkoszorú modelljének kialakítása.



8. kép Kishajó szkennelése.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A termékek visszamodellezése viszonylag új fejezete a gépészeti tervezéseknek. Emiatt ez a tudományág még keresi önmagát. Alig található szakirodalom, és felkészült, a különböző gyártástechnológiákban egyszerre jártas és tapasztalattal bíró, ráadásul a mérés technikában is elmélyült tudással rendelkező tervezőmérnökből is igen kevés van. Kiegészülve a 3D nyomtatás technológiájával a visszamodellezés mindenképpen a jövő technológiája, nem elfeledkezve például a műtárgyak reprodukálásában vagy éppen a pótalkatrészek gyártásában rejlő lehetőségekről.

Jelen dolgozatban a visszamodellezés széleskörű felhasználási területeibe próbáltunk betekintést nyújtani, hogy felkeltsük a fiatalabb generáció érdeklődését ez iránt a nehéz, de rendkívül szép gépészeti tervezési terület iránt.

IRODALOM

- [1.] forrás: ***: Scan Box, GOM Metrology: <http://www.gom.com/metrology-systems/atos-scanbox.html> (Utolsó letöltés: 2023.04.04.)
- [2.] forrás: Benedek Szabolcs, Dr. Kulcsár Tamás: A mérés technika, mint termelési tényező (a GOM ATOS rendszer által biztosított versenyelőny) [OGÉT 2017 / EMT 2017 / p. 75-78]
- [3.] forrás: Bognár Zsolt: Felületi hibák vizsgálata GOM (3D felületszkenn) rendszer segítségével [OGÉT 2018 / EMT 2018 / p. 55-58]
- [4.] forrás: Dr. Kulcsár Tamás, Benedek Szabolcs: A 3D mérés technika alkalmazásának fejlődési irányai [OGÉT 2017 / EMT 2017 / p. 247-250]
- [5.] forrás: Dr. Kulcsár Tamás, Valler István: Bázis rendszerek és a bázisolás jelentősége a nagy pontosságú 3D optikai felületszkennerek alkalmazásánál. [OGÉT 2019 / EMT 2019 / p. 308-311]
- [6.] forrás: Dr. Kulcsár Tamás: A 3D optikai felületszkennerek pontossága és mérési bizonytalansága [OGÉT 2018 / EMT 2018 / p. 276-279]
- [7.] forrás: Horváth Evelin, Benedek Szabolcs, Dr. Kovács Kristóf: Ipari 3D szkenneléshez alkalmazott tükröződés gátló anyagok vizsgálata [OGÉT 2018 / EMT 2018 / p. 196-199]
- [8.] forrás: Kocsárdi Zoltán: Az optikai felületdigitalizálással végzett geometriai mérések összehasonlítása a hagyományos koordinátamérő gép által végzett mérésekkel. [OGÉT 2013 / EMT 2017 / p. -]
- [9.] forrás: Szász András: 3D optikai mérés technika a műszaki kerámia gyártásban [III. Nemzetközi Interdiszciplináris 3D Konferencia / 2016.10.08.]
- [10.] forrás: ***: 3D szkennelés, Wikipedia: https://hu.wikipedia.org/wiki/3D_szkennel%C3%A9s (Utolsó letöltés: 2021.12.25.)
- [11.] forrás: az NX csapat – graphIT Kft.: Reverse Engineering – fordított tervezés, vagy visszafejtés, Műszaki Magazin: <https://www.muszaki-magazin.hu/2021/05/24/reverse-engineering-3d-graphit/> (utolsó letöltés: 2021.05.24.)