

3D DENTAL SCANNER

Lukáš Kotek

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkotek03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jaroslav Balogh

E-mail: balogh@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper is about 3D scan of plaster dental casts. The main aim of the work is a hardware and software proposition of 3D scan system for scanning of dental casts. There were used camera, projector and rotate table for this scanning system. Surface triangulation was used, taking benefits of projections of structured light on object, which is being scanned. The rotate table is controlled by PC. The camera, projector and rotate table are synchronized by PC. Controlling of stepper motor is provided by microcontroller ATmega128.

Keywords: Triangulation, structured light, camera, projector, rotation table, stepper motor

1 ÚVOD

Cílem 3D skenování je získání prostorových souřadnic (X, Y, Z) diskrétních bodů skenovaného objektu s volitelnou hustotou. Existuje celá řada principů skenování, které se snaží digitalizovat skenovaný objekt. V této práci je použita optická metoda využívající triangulaci. Tato práce se zaměřuje na hardwarový a softwarový návrh 3D skenovacího systému, který umožňuje 3D digitalizaci sádrových zubních odlitků. 3D skenery mají uplatnění v mnoha oborech jako jsou geodézie, strojírenství, stavitelství a pro nás zajímavé lékařství využívající CAD/CAM technologie. V oboru strojírenství lze 3D model použít pro výrobu funkční kopie na 3D tiskárně tzv. *rapid prototyping*.

Na 3D modelech sádrových zubních odlitků mohou zubní lékaři provádět příslušná měření, navrhovat proces ortodontické terapie, vytvářet částečné protézy aj.

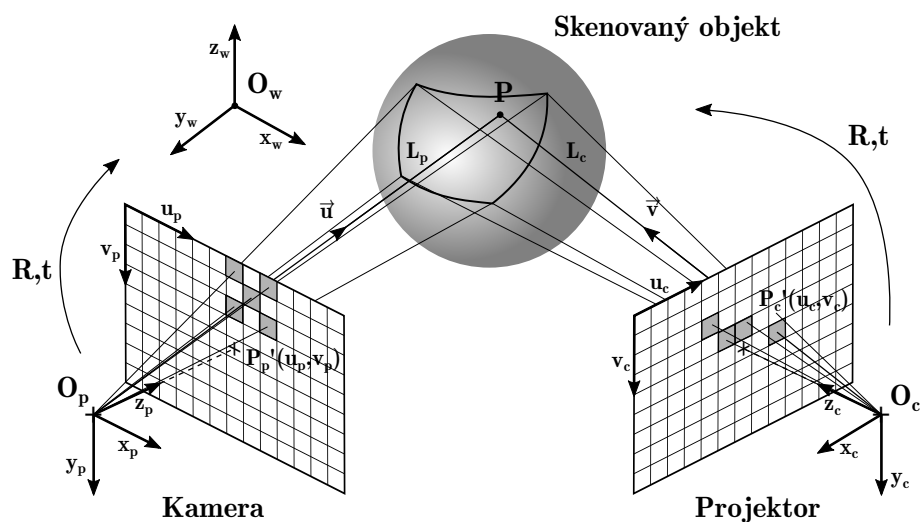
2 AKTIVNÍ TRIANGULACE NA PLOŠE SNÍMANÉHO OBJEKTU

Princip 3D optického skenování, který je v této práci použit, se nazývá aktivní triangulace. Triangulace je způsob určení souřadnic trigonometrickým výpočtem, popř. se výpočet provádí na pomyslném trojúhelníku. Vrcholové body (O_p , P a O_c) tohoto trojúhelníku můžeme vidět na obr. 1. Aktivní část triangulační techniky je tvořena projektorem, který promítá obrazy na skenovaný objekt. Výhodou použití projektoru je rychlost skenování a jeho statická fixace ve skenovací soustavě. Obrazy promítané projektorem jsou poté snímány kamerou. Abychom dokázali odlišit jednotlivé pixely projektoru využíváme kódované obrazy, tzv. strukturované světlo. Systém využívá, oproti bodovým skenovacím systémům, analýzu obrazu celého skenovaného objektu. Princip strukturovaného světla je popsán v následující kapitole.

Geometrický vztah projektoru a kamery k počátku globálního souřadného systému je získán procesem kalibrace. Nyní sledujeme prostorový bod P . Známe-li pozici projekčního centra projektoru, popř. kamery, (O_p , O_c) a směr optické osy, jsme schopni definovat pro každý obrazový bod rovnici přímky.

Pro rovnici přímky L_p , (resp. L_c) platí:

$$L_p = \{p = 0_p + t_p \vec{u} \quad : \quad t_p \in \mathbf{R}\} \quad L_c = \{p = 0_c + t_c \vec{v} \quad : \quad t_c \in \mathbf{R}\} \quad (1)$$

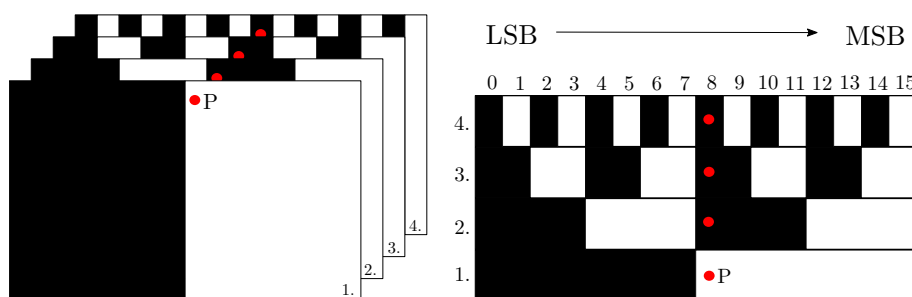


Obrázek 1: 3D triangulace

Pokud vektory $\vec{u}$ a $\vec{v}$ jsou lineárně nezávislé, hledáme místo protnutí přímek L_P a L_C . Hledanými parametry pro bod P jsou parametry t_P a t_C . [1], [2]

3 STRUKTUROVANÉ SVĚTLO

Použitím strukturovaného světla se snažíme identifikovat jednotlivé pixely projektoru rychle a efektivně. Strukturované světlo můžeme označit jako obraz, popř. sadu obrazů, známého tvaru. Jedna z možností je využití binárního kódování. Toto kódování využívá sadu černobílých vzorů (obrazů). Projekcí m vzorů můžeme zakódovat 2^m oblastí. S každou změnou vzoru sledujeme změnu barvy na jednotlivých pixelech a tyto hodnoty zaznamenáváme do posloupnosti. V případě, že bílá barva určuje hodnotu 1 a černá barva hodnotu 0, poté posloupnost čísel odpovídá číslu oblasti vyjádřené v binární soustavě ($1010_B = 10_D$). Pokud toto kódování použijeme pro vertikální a horizontální směr, můžeme jednoznačně identifikovat pixely projektoru. Pozice každého pixelu na projektoru nám určuje směrový vektor, který je následně použit pro 3D rekonstrukci skenované plochy. Princip tohoto kódování je znázorněno na obr. 2. [1]



Obrázek 2: Binární kódování

4 3D SKENOVACÍ SYSTÉM

Skenovací systém se skládá celkově ze tří základních komponent. Jedná se o dříve zmíněnou kameru a projektor, třetí částí je rotační stůl (točna). Točna zajistí náklon skenovaným objektem (zubní sádrový

odlitek) a tedy i skenování ploch, které nebyly oskenovány při jiné poloze. Základní komponenty k sobě budou v pevně definované vzájemné pozici.

Objektivy kamery a projektoru obsahují optické vady, které zkreslují obrazy. Tyto vady se podílí na nepřesnosti měření. Proto je vhodné tyto vady eliminovat kalibrací a následným softwarovým řešením.

Další dílčí součástí skenovacího systému je točna. Speciálně pro tento skenovací systém byla točna navržena a realizována. Točna má dva stupně volnosti a to ve vertikálním a horizontálním směru. K náklonu točny byly použity dva krokové motory. Mezi krokovým motorem pro vertikální náklon a samotnou plochou stolu byla zařazena šneková převodovka pro uchování pozice i po vypnutí napájení motoru. Řízení krokových motorů a komunikaci s PC zajišťuje mikrokontrolér ATmega128 pomocí UART rozhraní. Konverzi dat mezi UART a USB sběrnici zajišťuje integrovaný obvod FT232RL. Veškeré chování točny bude řízeno instrukcemi posílanými z PC. Úhel náklonu točny lze volit v rozsahu 0° až 360° pro vertikální otáčení a -90° až 90° pro otáčení horizontální.

Důležitým parametrem skeneru je jeho prostorová rozlišovací schopnost. Ta je především dána rozlišením projektoru, vzdáleností skenované plochy od projektoru a použitým kódováním strukturovaného světla. V práci využíváme projektor Acer C20, který může zaostřit obraz až na rozměr 13 cm v uhlopříčce s rozlišením 1024x768. Pokud projektor nastavíme tak, aby uhlopříčka obrazu byla 15 cm v zájmové oblasti, tj. 12 cm v šířce obrazu s poměrem stran 4:3, potom můžeme rozlišit dva prostorové body, které jsou od sebe vzdálené 12/1024 cm, tj. přibližně 0,11 mm. Rozlišení kamery je vyšší než u projektoru, tím načte menší detail a nebude tak determinovat prostorové rozlišení. Dalším parametrem systému je doba akvizice. Tento parametr je podmíněn počtem skenovacích poloh točny, rychlosti změny náklonu točny, rychlostí promítání a sběru obrazových dat. Pokud použijeme tři horizontální náklony a na každou ještě 3 vertikální, dostaneme celkově 9 pozic. Při použití binárního kódování je na každou polohu promítáno celkově 20 vzorů (deset pro kódování sloupců a deset pro kódování řádků). Na promítnutí jednoho vzoru s následným uložením obrazu z kamery je odhadována doba 200 ms. Tím dostáváme čas okolo 36 s na projekci vzorů a uložení obrazových dat. K tomuto času je nutné přičíst čas potřebný k nastavení příslušných poloh točny a tím dostaneme celkový čas akvizice.

Synchronizaci všech komponent obstarává program z PC. Tento program můžeme rozdělit na tři bloky. První blok zajišťuje promítání vzorů projektozem. Druhý blok nastavuje polohu točny a poslední blok se stará o zpracování obrazů, 3D rekonstrukci a vizualizaci 3D modelu.

5 ZÁVĚR

Vyrobená točna je umístěná a upevněná do fixačního rámu. Do tohoto rámu je upevněna i kamera s projektozem. Na nepájivém poli je sestaven řídicí obvod pro točnu. Byl vytvořen program pro mikrokontrolér na řízení otáčení krokových motorů a komunikaci s PC. Následně bude provedena kalibrace systému. V C# .NET bude vytvořena aplikace, která umožní dříve zmíněnou synchronizaci skenování, 3D rekonstrukci a vizualizaci 3D modelu. Celková doba akvizice pro získání celého 3D digitálního modelu se odhaduje do 1 min.

REFERENCE

- [1] LANMAN, Douglas, Gabriel TAUBIN. *Build Your Own 3D Scanner: 3D Photography for Beginners*. In: Brown University [online]. 2009 [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://mesh.brown.edu/byo3d/notes/byo3D.pdf>.
- [2] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 10*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 194 s. ISBN 80-010-2649-3.