



MATEMATICKO-FYZIKÁLNA FAKULTA
UNIVERZITY KOMENSKÉHO
v Bratislave

Diplomová práca

Bratislava 1999

Ján Cíger



MATEMATICKO-FYZIKÁLNA FAKULTA
UNIVERZITY KOMENSKÉHO
v Bratislave

Katedra informatiky

Diplomová práca

Interakcia v 3D

Autor: Ján Cíger

Vedúci diplomovej práce: RNDr. Andrej Ferko CSc.

Bratislava 1999

Vyhlasujem, že na predkladanej diplomovej práci som pracoval samostatne a použil som len literatúru uvedenú v zozname na konci práce.

Ján Cíger

Obsah

1	Úvod	3
2	Prehľad poznatkov o interakcii v 3D priestore	5
2.1	Dosiaľ používané metódy interakcie v 3D	6
2.2	Interakčné metafory	12
3	Opis 3D myši	16
3.1	Základy funkcie	16
3.2	Konštrukcia	21
3.3	Dosiahnuté parametre myši	25
4	Softwarové vybavenie	26
4.1	Obslužný program pre 3D myš	27
4.2	Kalibračný program	31
4.3	Jednoduchý editor pre metaballs	32
4.3.1	Trocha teórie okolo implicitných plôch	32
4.3.2	Opis editora	34
5	Záver	40
6	Literatúra	42

Kapitola 1

Úvod

Jednou z dôležitých oblastí počítačovej grafiky je interaktívna grafika. Jej význam rastie spolu s pokrokom vo výrobných technológiách počítačov, ktoré umožňujú aj dosiaľ nemysliteľné metódy práce. Špeciálnou oblasťou interaktívnej grafiky je virtuálna realita. Metódy virtuálnej reality sa začínajú uplatňovať aj v bežnej praxi (napr. plánovanie chirurgických operácií, robotika, kozmonautika, trenažéry pre pilotov a pod.) Zvyšovaním výkonu počítačov a ich dostupnosťou sa objavuje možnosť aj v našich skromných podmienkach vytvoriť systém, ktorý by mohol využívať tieto donedávna ťažko predstaviteľné spôsoby interakcie s užívateľom.

Cieľom diplomovej práce je ukázať výhody a nevýhody nasadenia metód virtuálnej reality pri modelovaní a animácii. Bude sa využívať jednoduché prídavné zariadenie k osobnému počítaču — 3D myš, ktorej použitím vznikajú nové možnosti interakcie s počítačom. Budú porovnané metódy interakcie klasickými 2D prostriedkami (bežná myš, klávesnica) a 3D myšou. S tým súvisí pomerne veľké množstvo prístupov k snímaniu polohy objektu v trojrozmernom priestore a jej spracovaniu. Tieto budú opísané v ďalších častiach práce. Rovnako budú opísané niektoré problémy, s ktorými sa pri

riešení podobnej úlohy je možné stretnúť. S tým úzko súvisí technické riešenie samotnej 3D myši a jej softwarové vybavenie. Jednoduché aplikácie, ktorých cieľom je zistiť možné problémy pri nasadení 3D myši, majú tiež svoje miesto v jednej kapitole. Na úplný záver zostane vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov a prípadné nové nápady a možnosti riešenia.

Kapitola 2

Prehľad poznatkov o interakcii v 3D priestore

Najprv je potrebné zaviesť niekoľko termínov a označení, ktoré sa budú používať v nasledujúcom texte.

- Pod klasickými metódami interakcie sa rozumie interakcia pomocou štandardného vybavenia osobného počítača či pracovnej stanice (t.j. štandardná klávesnica, myš, joystick, dotyková obrazovka, tablet, svetelné pero a pod.)
- 3D myšou bude nazývaný 3D lokátor, slúžiaci na určenie polohy bodu v priestore
- 6D zariadenie je špeciálny prípad 3D lokátora, ktorý okrem polohy v priestore určuje aj uhol otočenia okolo každej z troch súradnicových osí.

Poznámka : Názvy produktov a firiem v texte sú registrovanými ochrannými známkami ich vlastníkov.

2.1 Dosiaľ používané metódy interakcie v 3D

Interakcia v 3D priestore s objektami v scéne je poznačená nutnou abstrakciou a zjednodušovaním. Príčin je niekoľko :

1. **Zobrazenie scény je takmer vždy dvojrozmerné (obrazovka počítača), kým zobrazované objekty sú trojrozmerné.** Použitie rôznych typov heliem a okuliarov¹ nie je bežné pre ich nízku rozlišovaciu schopnosť, malý počet zobraziteľných farieb, obtiažnu a únavnú manipuláciu a v neposlednom rade vysokú cenu. Iným riešením je použitie projekčných systémov na princípe laserov, prípadne kmitajúcich zrkadiel. Tieto spôsoby zobrazovania sú ale len vo vývoji a pre hromadné nasadenie sú dosiaľ nepoužiteľné.
2. **Vstupné zariadenia počítača sú konštruované takmer výhradne pre prácu v rovine.** Ak si odmyslíme klávesnicu a analógový joystick (klávesnica je ťažko použiteľná ako vstupné zariadenie aj v 2D prípade ak nerátame priame zadávanie súradníc bodov a joystick je zariadenie využívané viac pri hrách a robotike, pretože neumožňuje presne zadať bod. Existujú ale zariadenia, ktoré vychádzajú z princípov analógového joysticku a využívajú sa pri interaktívnej grafike. Budú opísané ďalej v texte.), tak zostáva myš a tablet z bežne používaných zariadení. Ich použitie v trojrozmernom priestore je podmienené ďalšou podporou zo strany aplikácie a abstrakciou používateľa. Typické je napr. použitie troch na seba kolmých priemetov, každý z nich umožňuje prácu v jednej z troch rovín (napr. produkt 3D Studio firmy Autodesk [6]), prípadne sa využíva jeden stredový priemet scény, doplnený o ďalšie okno s pohľadom definovaným používateľom (konkurenčný produkt

¹skratka HMD — Head Mounted Display

TrueSpace firmy Caligari [8]). V oboch prípadoch sú dôležitou pomôckou rôzne obmedzenia pohybu kurzora napr. pohyb len v jednej osi, „prichytávanie” kurzora k bodom objektu či k mriežke.

3. Je potrebná vysoká úroveň priestorovej predstavivosti používateľa. Používateľ musí byť schopný si predstaviť, ako bude konštruovaný objekt vyzerať, ako sa prejaví zmena časti scény, keď zasahuje do niektorého z pohľadov. V prípade jedného okna so stredovým priemetom je síce lepšia spätná väzba pre používateľa, ale je komplikované presne upravovať polohu objektov v scéne.

Dosiaľ ponúkané riešenia tejto situácie sa dajú rozdeliť do niekoľkých skupín :

- Rozšírenie možností klasických vstupných zariadení — SpaceBall, joysticky s otáčavou rukoväťou, force-feedback zariadenia a pod.
- Riešenia využívajúce možnosti vstupných zariadení od začiatku konštruovaných ako 3D alebo dokonca 6D — 3D myš, dátové rukavice a pod.
- Motion-capture systémy. Sem patrí napr. Optotrak firmy Northern Digital [10].

Z prvej skupiny je zaujímavý SpaceBall firmy SpaceTech. Je to vlastne upravený trackball, na ktorom je možné ovládaciú guľu nielen otáčať, ale aj stláčať a posúvať. Tým sa dosahuje šesť stupňov voľnosti (6D zariadenie).

V druhej a tretej skupine je veľké množstvo produktov, ktoré sa líšia nielen princípom činnosti a možnosťami, ale aj cenou. Základom väčšiny systémov na určovanie polohy je kvalitný 3D lokátor. Tu sa uplatňuje niekoľko princípov :

1. **Optické a optomechanické systémy.** Optické systémy využívajú na určovanie polohy v priestore prevažne sadu značiek, ktoré sú sledované sústavou kamier. Delia sa na dve veľké skupiny :

- Pasívne, značky sú vyrobené z reflexnej látky a snímané sústavou kamier. Nevýhodou je nemožnosť jednoznačne značky identifikovať. Vznikajú problémy s tzv. fantómami — značky sa v zábere kamery navzájom vymenia, ale systém to nedokáže rozlíšiť. V dátach sa to potom prejaví napr. tak, že niektorá časť objektu sa objaví na mieste, na ktoré sa normálne nemôže dostať.
- Aktívne, značky aktívne vysielajú svetlo, sú vyrobené prevažne zo svietivých diód. Okrem jednoduchšieho odlíšenia značky od pozadia je možné aj navzájom rozlíšiť jednotlivé značky pomocou presne definovanej sekvencie zábleskov. Nevýhodou je komplikovaná manipulácia, pretože sledovaný objekt musí mať na sebe nielen značky, ale aj ovládacie vodiče od každej diódy. Patrí sem napr. systém Optotrak firmy Northern Digital ([10]) prezentovaný na konferencii SIGGRAPH '96, prípadne produkty firmy Polaris.

Existuje ešte jeden optický princíp, ktorý nevyužíva značky, namiesto toho sa identifikujú jednotlivé význačné body priamo na objekte. Takéto systémy sú ohromne výpočtovo náročné, preto sa prakticky nevyskytujú.

Optické systémy sa využívajú najmä na motion-capture, pre využitie v modelovaní je nevýhodné ohromné kvantum dát, ktoré produkujú už aj z malého počtu značiek a kamier a ich veľmi vysoká cena. Veľkou výhodou je ich vysoká presnosť.

Optomechanické systémy sú hybridom optických a mechanických sústav. Ich princíp je v ohýbaní svetlovodivého vlákna, ktoré má na jednom konci zdroj svetla (svietivú diódu) a na druhom konci je snímač intenzity svetla (fototranzistor). Ohybom vlákna dochádza k vyššiemu útlmu svetla (svetlo uniká ohybom zo svetlovodu) a snímač to zaregistruje. Množstvo svetla, ktoré na snímač dopadne je úmerné veľkosti ohybu vlákna. Vlastnosti tohto systému ho predurčujú najmä na použitie v dátových rukaviciach a oblekoch, kde je potrebné snímať napr. ohyb prstov ruky.

2. **Mechanické sústavy.** Ich princípom je snímanie pohybu sústavy ramien, ktoré majú niekoľko stupňov voľnosti. Každý kĺb je vybavený snímačom uhla otočenia, prípadne môže byť zariadenie vybavené aj systémom force-feedback, ktorý umožňuje operátorovi aj hmatovú spätnú väzbu — napr. vibrácie riadiacej páky v simulátore lietadla a pod. Veľkou výhodou mechanického systému je jeho presnosť a časová stálosť. Nepotrebuje kalibráciu. Aj cena je relatívne nízka. Nevýhodné sú zvyčajne veľké rozmery a pomerne obtiažna manipulácia. Mechanické systémy majú využitie najmä v robotike, manipulátoroch, leteckých tréningoch a pod. Vyrába ich napr. firma Faro Technologies.
3. **Lokátory využívajúce šírenie zvuku.** Zvyčajne pracujú na princípe ultrazvukového diaľkometra — dvojica vysielač — prijímač, meria sa čas letu signálu od vysielača k prijímaču. Z toho je potom možné určiť vzdialenosť a ak máme aspoň tri nekolineárne prijímače, tak je možné určiť aj presnú polohu v priestore. Tento princíp využíva aj 3D myš, ktorá je jedným z výsledkov tejto práce. Podrobnejší rozbor funkcie takéhoto lokátora bude uvedený neskôr. Výhodou zariadení pracujúcich na takomto princípe je relatívna jednoduchosť, presnosť

a nízka cena. Nevýhodou je veľká smerovosť použitých senzorov a tiež citlivosť na zmeny prostredia. Ultrazvukové lokátory sú rušené odrazmi od predmetov a stien v miestnosti. Zmeny vlhkosti, teploty a prúdenia vzduchu v miestnosti ovplyvňujú meranie často pomerne nepredvídateľným spôsobom. Jedným z mála dodávateľov profesionálneho vybavenia pracujúceho na takomto princípe je firma Logitech [9]. Vyrába ultrazvukovú 3D myš a zariadenie na sledovanie polohy hlavy operátora tzv. head-tracker. Myš je aj so svojou prijímačovou jednotkou zobrazená na obrázku 2.1.

Je možné ju využívať aj ako klasickú 2D myš, má päť tlačidiel, rozlíšenie je 250 dpi. Myš sníma nielen polohu v priestore, ale aj náklon okolo každej zo súradnicových osí — je to teda tiež 6D zariadenie. Vzorkovacia frekvencia je 50 vzoriek za sekundu. Približná cena tohto zariadenia je asi 2000 amerických dolárov.

4. **Magnetické snímače polohy.** Magnetické senzory sú asi najrozšírenejšie pre ich nízku cenu a najmä všesmerovosť. Fungujú na princípe merania intenzity magnetického poľa v priestore, generovaného jedným alebo viacerými vysielačmi. Ich najväčšou nevýhodou je relatívne nízka presnosť a nízky dosah, pretože intenzita magnetického poľa klesá kvadraticky v závislosti od vzdialenosti. Magnetické snímače sú citlivé na magnetické rušenie napr. z motorov pohyblivých častí, z reproduktorov a pod. Nepriaznivo na výkon vplýva aj prítomnosť železných a feromagnetických predmetov v pracovnom priestore. Nevhodné umiestnenie môže úplne znemožniť funkciu. Medzi známymi dodávateľmi magnetických snímačov patrí firma Polhemus [11], zo širokej ponuky nimi vyrábaných zariadení je pre tému tejto práce zaujímavý lokátor ISIDETRACK. Je to malé prídavné zariadenie pripojiteľné k osobné-



Obrázok 2.1: 3D myš firmy Logitech

mu počítaču. Skladá sa z vysielača, jedného alebo dvoch pohyblivých prijímačov a dosky interfejsu do počítača. Pracovný rádius je asi 30 palcov, čo je asi 75 centimetrov, so zníženou presnosťou je garantovaný dosah do 5 stôp, teda asi 1.5 metra. Vzorokovacia frekvencia je 60 Hz,

v prípade dvoch prijímačov je polovičná. Rozlíšenie zariadenia je udávané 0.5 palca (asi 1.2 cm) pre posun v osiach x,y,z a 2 uhlové stupne pre otáčanie podľa každej z osí. Ďalšími dodávateľmi tejto techniky sú firmy Biosense [7] a Ascension.

5. **Systémy založené na využívaní GPS.** GPS je americký, pôvodne čisto vojenský systém určovania polohy na ľubovoľnom mieste na svete. Využíva sa systém satelitov na známych obežných dráhach a poloha sa počíta podľa zmeranej vzdialenosti od minimálne troch satelitov. Uvedený je len pre úplnosť, pretože pre využitie v počítačovej grafike je pomerne nevýhodný. Nedá sa používať vo vnútri budov, pretože rádiové signály satelitov zle prenikajú stenami. Má nízke rozlíšenie, len asi 15 metrov, čo je málo aj na sledovanie pohybu osôb. S korekciami je síce možné dosiahnuť až milimetrovú presnosť určenia polohy, ale je potrebné nákladné vybavenie a výpočet polohy je veľmi zložitý a pomalý. Okrem vojenského využitia, leteckej a lodnej navigácie sa používa najmä v robotike. Samostatne sa pohybujúci robot získava z GPS prijímača informácie o svojej presnej polohe.

Podrobnejšie rozobrané jednotlivé systémy určovania polohy v priestore je možné nájsť na [12].

2.2 Interakčné metafory

Termín interakčná metafora vyjadruje súbor technických a softwarových prostriedkov, slúžiacich na zjednodušenie a zefektívnenie práce operátora tým, že napodobňujú spôsob manipulácie s objektami, ako ho pozná z bežného života. Typickým príkladom je počítačová verzia koša na odpadky vymyslená programátormi firmy Apple. Do koša sa hádžu odpadky a v počí-

tači sa do koša tiež hádžu „odpadky” — nepotrebné dáta.

V dnešnej dobe používané interakčné metafory sú relatívne staré. V sedemdesiatych rokoch v laboratóriách firmy Xerox vznikol projekt, ktorého cieľom bolo zjednodušiť komunikáciu človeka s počítačom. Dovtedy sa komunikácia človeka s počítačom obmedzovala na hŕby diernych štítkov a diaľnopisy, neskôr sa vyvinuli textové terminály. Projekt priniesol niekoľko prevratných novinek — grafické rozhranie, okná, ikony, menu a nové vstupné zariadenie — myš. Laboratóriá firmy Xerox dali základ interakčnej metafore, ktorú dosiaľ používame a ako sa zdá, tak ešte dlho budeme. 2D grafické používateľské rozhrania (GUI) majú výhody v pomerne nízkych nárokoch na výpočtový výkon a pritom poskytujú používateľom oveľa príjemnejšie prostredie ako textový terminál. Medzi prvých priekopníkov GUI patrí firma Apple, ktorá dala v osemdesiatych rokoch na trh veľmi úspešný počítač Lisa. Jeho zjednodušením vznikol prvý Macintosh. Niektoré známe GUI sú X Window System, Geos, Microsoft Windows a ďalšie. Spoločným znakom je, že všetky používajú metaforu pracovného stola, jednotlivé okná na obrazovke reprezentujú papierové dokumenty na stole — rovnako ako papiere sa môžu prekryvať, kompletne môžu byť skryté a pod.

S nástupom 3D grafiky sa objavuje potreba vytvoriť niektoré nové interakčné metafory, prípadne zovšeobecniť prístupy používané v 2D prostredí do troch rozmerov. V plne 3D prostredí vznikajú niektoré problémy, s ktorými sa v 2D prípade nestretávame. Ako príklad môže slúžiť prekryvanie objektov. V 2D prípade je jednoznačné, ktorý objekt prekryva ktorý. V 3D prípade to už tak nemusí byť, stačí zmeniť pozíciu pozorovateľa. Prípadne sa objekty môžu pretínať. Rovnako zistenie, na ktorý objekt ukazuje kurzor (prípadne avatar — počítačová reprezentácia nástroja, ruky, ľudského tela) je podstatne výpočtovo náročnejšie, pretože nestačí urobiť niekoľko testov

podľa dvoch súradníc.

Dosiaľ používané 2D GUI využívajú na ovládanie aplikácie rôzne základné stavebné prvky, ako sú okná, tlačidlá, menu a pod. 3D aplikácia, ktorá využíva takéto GUI je obmedzená potrebou klasickej myši a klávesnice. Ak nasadíme ako vstupné zariadenie 3D lokátor, tak sa dostávame k problému, ako aplikáciu ovládať. Je niekoľko možností :

1. **Využite sa klasické 2D GUI, 3D lokátor bude slúžiť len na samotné zadávanie bodov v scéne.** Výhodou je jednoduchosť a možnosť použiť bohaté knižnice existujúcich programov pre tvorbu GUI. Je to štandardné riešenie. Nevýhodou je nútenie operátora neustále prekladať ruky z 3D lokátora na 2D myš a klávesnicu a naopak. Čiastočne to rieši napr. už popísaná ultrazvuková myš firmy Logitech, ktorá funguje súčasne aj ako normálna 2D myš.
2. **Ovládacie prvky aplikácie sa presunú do 3D priestoru.** Presunom ovládacích prvkov do priestoru získame možnosť všetko ovládať jedným vstupným zariadením. Detailným rozpracovaním jednotlivých techník interakcie v 3D priestore sa zaoberá veľa ľudí. V práci [3] sa autori pokúšajú vytvoriť knižnicu, ktorá bude umožňovať manipuláciu s 3D objektami v scéne. Zavádzajú niektoré ovládacie prvky — „kolík²“, trackball a obálku. Pomocou týchto elementov je možné efektívne robiť základné operácie s 3D objektami — rotáciu, posun, uniformné a neuniformné škálovanie. Práca [15] sa snaží o vytvorenie prototypu 3D window managera a zovšeobecnenie niektorých základných prvkov 2D GUI do priestoru. Autori vytvorili metaforu okna v 3D priestore ako kvádra obaľujúceho dáta v „okne“, používajú sa 3D ikony a podobne. Projekt [19] je zameraný trochu odlišným smerom, ide o viacpouží-

²originálny názov je jack, ťažko výstižne preložiť

vateľskú aplikáciu systému podporovanej reality³ vo vizualizácii. Sú tu opísané niektoré zaujímavé techniky, napr. PIP⁴ slúžiaci ako podložka pre virtuálne nástroje, deliaca rovina a pod.

3. Hybridný systém, ktorý umožňuje interakciu so scénou obooma spôsobmi. Ovládacie prvky sú zdvojené, je možné manipulovať s objektami scény aj prostredníctvom 2D GUI a klasickej myši — výhodné na zadávanie presných rozmerov, uhlov atď. a aj prostredníctvom 3D nástrojov priamo v scéne. Jedna z komerčných implementácií tohto systému je v programe TrueSpace ver. 4 firmy Caligari. Na interakciu s objektami slúžia tzv. widgets — malé objekty, ktoré sa objavujú pri vybranom (aktívnom) objekte v scéne. Ich posúvaním, otáčaním, ťukaním na ne je možné manipulovať s vybraným objektom scény.

³systém podobný ako virtuálna realita, rozdiel je v tom, že používateľ nie je izolovaný od okolitého sveta, do ktorého mu počítačový systém zobrazuje scénu.

⁴skratka z Personal Interaction Panel — malá doštička vybavená 3D lokátorom na sledovanie jej polohy

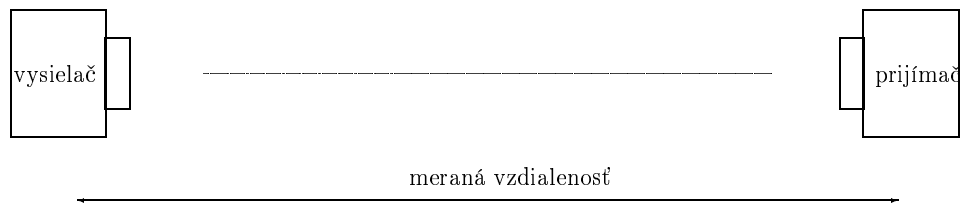
Kapitola 3

Opis 3D myši

3.1 Základy funkcie

Pre potreby tejto diplomovej práce bola vytvorená 3D myš, umožňujúca presné zadávanie bodov v priestore. Realizovaný 3D lokátor bohužiaľ nedokáže zistiť náklon okolo jednotlivých osí, pretože pôvodne nemal byť použitý ako 3D myš. S jeho pomocou budú ukázané niektoré možnosti aplikácie takéhoto zariadenia v počítačovej grafike.

V prácach [4], [5] je opísaný základný princíp fungovania ultrazvukového 3D lokátora a jeho robotická aplikácia. S využitím týchto poznatkov bola navrhnutá 3D myš, ktorá síce nemôže svojimi parametrami konkurovať profesionálnym výrobkom, ale na rozdiel od nich stojí mnohonásobne menej.



Obrázok 3.1: Diaľkomer

Ďiaľkomer sa skladá z dvojice vysieláč — prijímač (obrázok 3.1) a vyhodnocovacej elektroniky. Meranie vzdialenosti medzi vysieláčom a prijímačom vyzerá takto :

1. Vysieláč vyšle ultrazvukový impulz („pískne“) a súčasne sa spustia presné stopky.
2. Prijímač zachytí vyslaný signál a súčasne sa zastavia stopky.

Čas na stopkách je priamo úmerný vzdialenosti vysieláča od prijímača. Označuje sa TOF — Time Of Flight. Vzdialenosť vypočítame ako

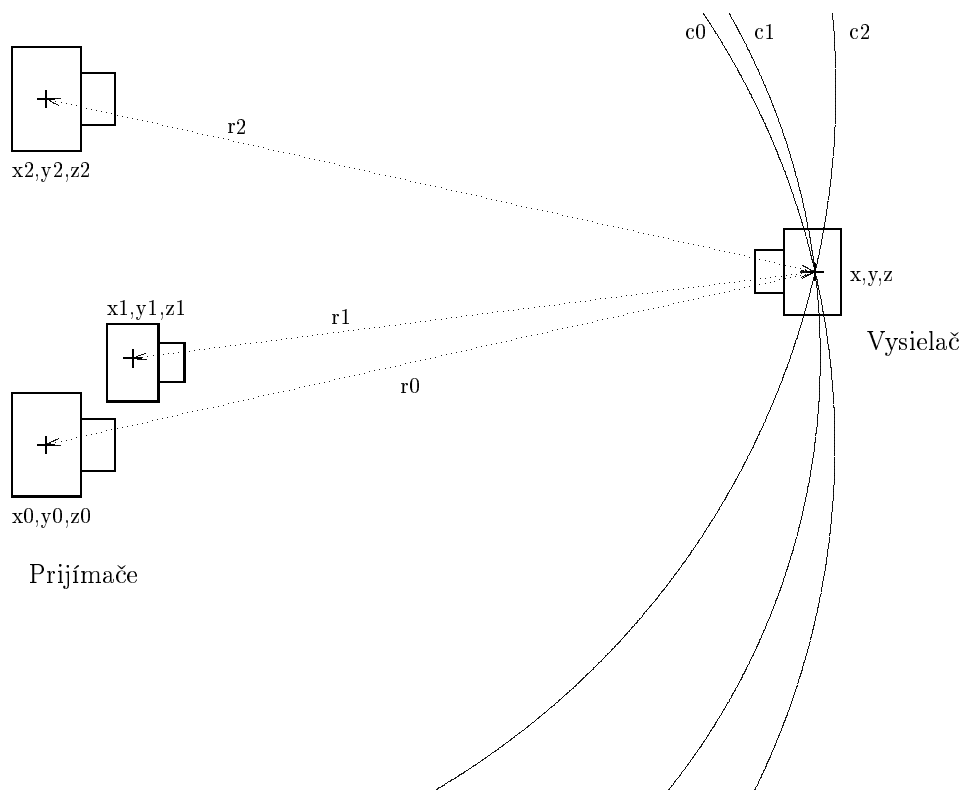
$$d = v \cdot t$$

d je vzdialenosť v metroch, v je rýchlosť zvuku vo vzduchu (asi $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a t je TOF.

3D myš sa skladá z minimálne troch takýchto ďiaľkomerov, ktoré majú spoločný buď vysieláč alebo prijímač a sú postupne (sekvenčne) odčítavané. Uvažujme o prípade so spoločným vysieláčom, prípad so spoločným prijímačom je úplne rovnaký.

Podstata určenia súradníc pohyblivého vysieláča je v postupnom určení vzdialeností vysieláča ku každému prijímaču a určení prieniku minimálne troch gúľ. Každý prijímač je umiestnený na presne známej pozícii, ktorá je stredom gule. Polomerom každej z gúľ je zmeraná vzdialenosť k pohyblivému vysieláču. Jasne je to vidno z obrázku 3.2, kde sú nakreslené tri prijímače, pohyblivý vysieláč a priesečník troch gúľ.

Súradnice pohyblivého vysieláča sa určia vyriešením nasledujúcej sústavy



Obrázok 3.2: Princíp činnosti

kvadratických rovníc :

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = r_0^2$$

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_1^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_2^2$$

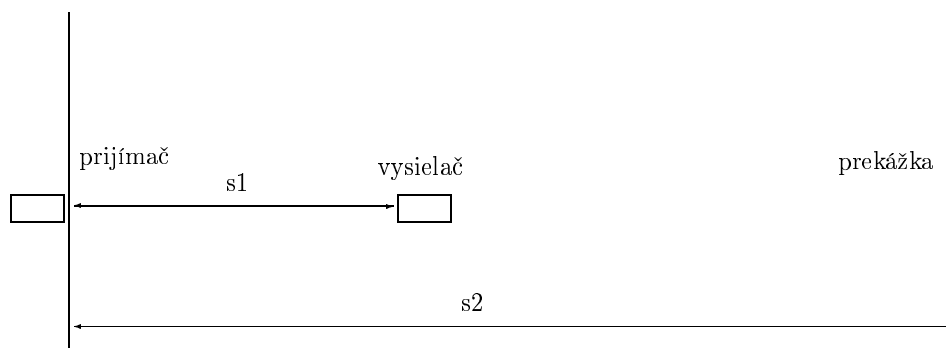
Jednotlivé veličiny majú tento význam : x_1, y_1, z_1 sú súradnice stredu prvej gule, t.j. súradnice prvého prijímača. r_1 je polomer prvej gule, čiže vzdialenosť od pohyblivého vysielača k prvému prijímaču vypočítaná už známym spôsobom uvedeným vyššie. Ostatné symboly majú analogický význam.

Existujú práve dve riešenia, buď ide o dvojnásobný koreň — vysielateľ je priamo v mieste niektorého prijímača, čo je technicky nemožné, alebo existujú dva rôzne korene, ktoré sú súmerné podľa roviny definovanej tromi prijímačmi. V tomto prípade je možné koreň ležiaci za rovinou prijímačov zamietnuť (vysielateľ sa nemôže nikdy pohybovať za rovinou prijímačov, pretože by zariadenie nemohlo fungovať).

Dosiaľ uvedená teória v praxi bohužiaľ celkom nefunguje. Problémov je niekoľko :

- Odrazy ultrazvukového signálu v miestnosti
- Šum v dátach
- „Fantómy“

Odrazy ovplyvňujú meranie nasledujúcim mechanizmom (obrázok 3.3) :



Obrázok 3.3: Odrazy

1. Vysielateľ vyšle impulz. Súčasne vzniká odrazený signál v miestnosti.
2. Prijímač zachytí signál a zastavia sa stopky. Odčítajú sa hodnoty pre prvý prijímač.
3. Vysielateľ vyšle impulz pre nasledujúci prijímač.

4. Odrazený signál z predošlého merania (je omeškaný oproti originálnemu signálu) dopadne na prijímač. Ten ho zachytí a zastavia sa stopky.

Vzniká chyba merania, pretože došlo k skoršiemu zastaveniu stopiek než zodpovedalo vzdialenosti vysielača od prijímačov. Zariadenie teda určí pre daný senzor menšiu vzdialenosť než v skutočnosti je. Pre lepšiu predstavu jednoduchý orientačný výpočet :

Označme :

t_0 — čas letu prvého signálu (TOF)

t_s — čas potrebný na spracovanie výsledku predchádzajúceho merania

t' — čas letu odrazeného signálu od prvého odrazu

s_1 — vzdialenosť vysielača k prijímaču

s_2 — vzdialenosť prijímača k odrážajúcej prekážke

Nutná a postačujúca podmienka pre vznik chyby spôsobenej odrazom je vyjadrená nerovnicami :

$$t_s + t_0 \geq t' \geq t_s$$

Nech vysielač je od prijímača vzdialený 60 cm a čas potrebný na spracovanie predchádzajúceho merania v hardwari nech je 10 ms. Po dosadení a úprave nerovnic dostaneme pre vzdialenosť prekážky, ktorá spôsobí chybu, interval $\langle 1.7, 2 \rangle$ metre. Dostatočne odrážajúca prekážka vo vzdialenosti spadajúcej do tohto intervalu spôsobí chybu v najhoršom prípade až 100 % (ak odrazený signál dopadne presne v čase vyslania nového signálu), čo úplne znehodnotí namerané údaje. Výpočet je len orientačný, pretože nezohľadňuje viacnásobné odrazy a tlmenie signálu prostredím. Preto skutočné výsledky môžu byť odlišné. Zároveň tento príklad ukazuje jednu veľmi nevýhodnú

vlastnosť ultrazvukových 3D lokátorov, ktorou je veľká citlivosť na usporiadanie pracovného prostredia — je dôležité obmedziť odrazy čo najviac napr. tlmiacimi závesmi alebo rozčlenením prostredia, aby sa zvuk trieštil a neodrážal priamo na prijímače.

Šum v dátach je spôsobený rôznymi faktormi. Najväčší vplyv má zrejme chvenie ruky operátora, ktorý lokátor používa, a rôzne náhodné javy — náhodný dopad odrazeného signálu, zmena teploty prostredia a s tým súvisiaca zmena rýchlosti zvuku vo vzduchu, prúdenie vzduchu a niektoré ďalšie. Šum je z dát vylučovaný filtrovaním a prahovaním realizovaným priamo hardwarom 3D myši. Algoritmy budú opísané v časti venovanej konštrukcii myši. Na strane riadiaceho počítača sa šum obmedzuje filtrovaním hodnôt.

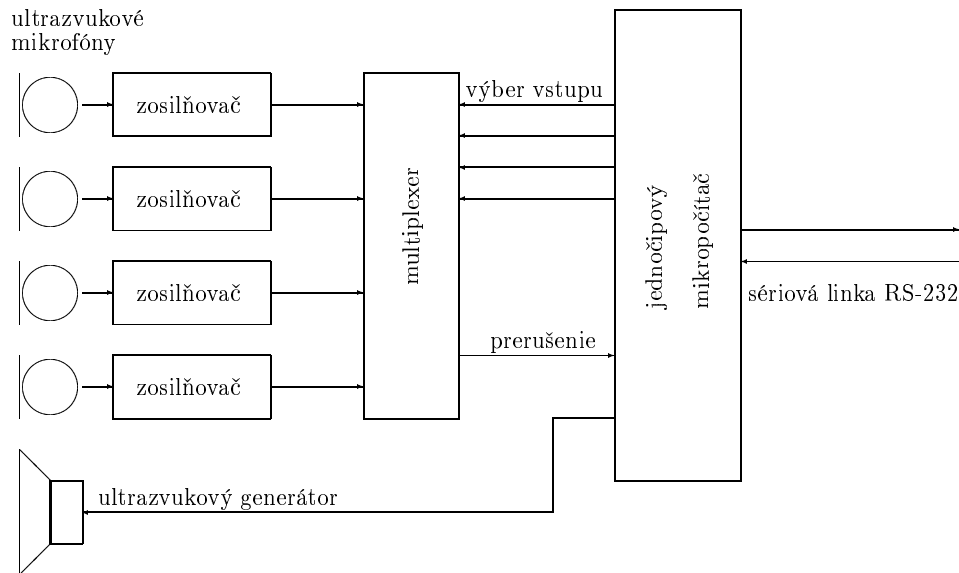
„Fantómy” sú náhodné hodnoty, ktoré nemajú so skutočnými dátami nič spoločné. Vznikajú najčastejšie pri strate signálu z niektorého z prijímačov, keď operátor s myšou opustí (vybehne von) pracovný priestor. Veľkú väčšinu z nich odfiltruje priamo hardware.

3.2 Konštrukcia

3D lokátor sa skladá z týchto častí :

1. Rukoväť myši obsahujúca vysielateľ ultrazvukového signálu a dve tlačidlá.
2. Štyri prijímače
3. Jednotka interfejsu k osobnému počítaču.

Blokovú schému zapojenia je vidno na obrázku 3.4. Jadrom celej myši je jednočipový mikropočítač firmy Atmel, typ AT89C2051. Tento integrovaný obvod v sebe obsahuje všetko, čo je potrebné k funkcii osembitového mikropočítača. Okrem mikroprocesora obsahuje 2 kB pamäte Flash ROM,



Obrázok 3.4: Bloková schéma

128 B pamäte RAM, 2 časovače, sériový port, 2 osembitové univerzálne porty a analógový komparátor. Toto všetko je vtesnané do dvadsaťvôvodového puzdra. Použitie tejto progresívnej súčiastky umožnilo veľmi zjednodušiť ostatnú elektroniku. Mikropočítač má niekoľko funkcií :

- generuje signál o frekvencii 40kHz potrebný pre ultrazvukový vysielač
- jeden z jeho časovačov pracuje ako presné stopky
- robí prvú filtráciu nameraných hodnôt
- komunikuje s nadradeným osobným počítačom

Na blokovej schéme vidno štyri zhodné jednotky prijímačov, ktoré okrem ultrazvukového mikrofónu obsahujú dvojstupňový zosilňovač zosilňujúci asi 900-krát a prispôbovací člen pre pripojenie na multiplexor. Pri ich konštrukcii sa ideovo vychádzalo z článku [18]. Multiplexor slúži na výber prijímača, na ktorom sa bude merať. Ten pri zachytení signálu z vysielača vyvolá

prerušenie mikroprocesora a tým sa zastavia stopky. Posledné dve časti sú budiče a prijímače pre sériové rozhranie RS-232 a napájací zdroj.

Samotná činnosť mikropočítača v riadiacej jednotke vyzerá takto :

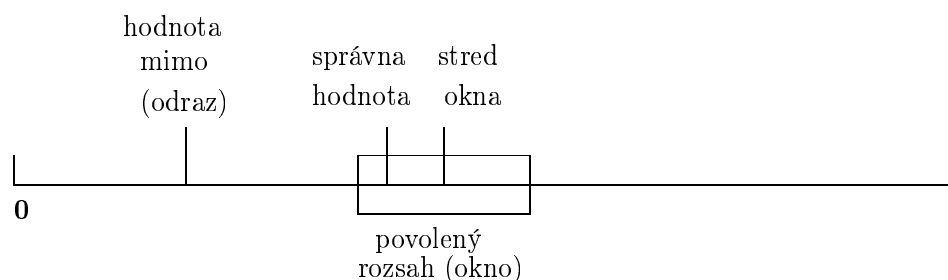
1. Mikropočítač po zapnutí alebo resete čaká na konfiguračné dáta a štartovací povel cez sériové rozhranie.
2. Po prijatí štartovacieho povelu sa začína nekonečný cyklus merania a odosielania získaných dát. Vykoná sa inicializácia pracovnej pamäte mikropočítača.
3. Odmeria sa TOF pre všetky štyri prijímače.
4. Odčíta sa stav tlačidiel na rukoväti.
5. Otestuje sa, či bola zmena polohy oproti poslednému meraniu. Ak nie, tak sa namerané údaje ďalej nespracúvajú.
6. Vylúčia sa „fantómy“ a čiastočne aj odrazy pomocou algoritmu „plávajúceho okna“.
7. Namerané hodnoty sa odošlú po sériovej linke do nadradeného počítača.
8. Činnosť sa opakuje od bodu 3.

Mikropočítač pracuje s taktovacou frekvenciou $f = 11.059 \text{ MHz}$, podľa katalógových údajov je doba trvania jedného strojového cyklu $12/f$, čiže približne jedna mikrosekunda. Vykonanie väčšiny inštrukcií trvá tri strojové cykly, takže ide o relatívne pomalý mikropočítač. Preto nie je možné robiť zložitejšie výpočty priamo v riadiacej jednotke, ak sa má dosiahnuť použiteľná vzorkovacia frekvencia.

Riadiaca jednotka dodáva do nadradeného počítača už predfiltrované dáta, z dôvodu pomalosti použitého mikroprocesora sa posielajú len namerané časy a nie priamo súradnice. Filtrácia je v dvoch častiach — prahovaní a algoritme plávajúceho okna.

Prahovanie je prvá etapa spracovania nameraných dát v riadiacej jednotke. Podobne ako pri klasickej myši nemá zmysel poselať rovnaké dáta, keď sa vysielateľ nehýbe. Jednako už v nadradenom systéme sú a navyše ich príjem a spracovanie zbytočne zaťažujú nadradený počítač. Pri začiatkovej inicializácii riadiacej jednotky je možné vložiť do pamäte mikro počítača prahovaciu konštantu, ktorá určuje minimálnu zmenu, aká sa už bude považovať za pohyb. Vhodnou voľbou tejto konštanty je možné ovplyvniť aj odfiltrovanie chvenia ruky operátora — konštantu sa zvolí tak, aby bez pohybu rukoväte neboli prenášané žiadne dáta.

Druhou etapou je algoritmus „plávajúceho okna“ (obrázok 3.5).



Obrázok 3.5: Algoritmus „plávajúceho okna“

Podstata tohto algoritmu spočíva v jednoduchom triku. Analýza chýb ukázala, že chyby spôsobované odrazmi ultrazvukového signálu a „fantómy“ je možné čiastočne eliminovať pomocou intervalu — okna, ktorého šírka w určuje ešte maximálnu akceptovateľnú chybu. Ak nameraný čas je v okne, tak hodnota sa považuje za správnu, pričom nezáleží na tom, či signál, pomocou ktorého bola nameraná, je originálny alebo to bol nejaký odraz. Ma-

ximálna chyba, ktorá môže vzniknúť je $w/2$ (okno je symetrické). Aby tento princíp bol použiteľný v praxi, tak je ešte potrebné pohybovať stred okna podľa posledných správnych hodnôt t.j. posledná správna hodnota sa použije ako stred okna pre ďalšie meranie. Šírka okna je rovnako ako prahovacia hodnota nastaviteľná pri začiatkovej inicializácii. Pri vývoji firmware pre riadiaci mikropočítač bola použitá kniha [17].

3.3 Dosiahnuté parametre myši

Uvedené hodnoty je potrebné brať s istou rezervou, pretože nebolo k dispozícii špičkové vybavenie bežné v profesionálnych laboratóriách, ale len skromné amatérske prostriedky a improvizácia.

Parameter	Hodnota	Poznámka
Počet stupňov voľnosti	3	myš nereaguje na otáčanie a náklon
Rozlíšenie	cca 0.5 cm	pri lepšej filtrácii je možné dosiahnuť teoreticky hranicu jedného milimetra
Pracovný objem	cca 40 × 40 × 40 cm	typická inštalácia (pracovný stôl)
Max. dosah	cca 3 m	v osi z, vzdialenosť vysielača od roviny prijímačov
Max. uhlová odchýlka	cca 15°	uhol, pri ktorom je ešte zariadenie schopné spracovať signál vysielača
Vzorkovacia frekvencia	cca 20 Hz	mení sa podľa vzdialenosti vysielača od prijímačov
Orientačná cena	cca 6000 Sk	Cena materiálu + cena práce jedného pracovníka, t.j. asi 48 človekohodín

Tabuľka 3.1: Dosiahnuté parametre 3D myši

Kapitola 4

Softwarové vybavenie

Ako každý hardware, aj 3D myš je bez vhodného softwarového vybavenia iba mŕtvou hromadou súčiastok. Preto vzniklo niekoľko aplikácií na demonštrovanie možností využitia 3D myši a niekoľko pomocných funkcií — kalibráciu a testovanie. Celé softwarové vybavenie je napísané pre operačný systém Linux a knižnicu OpenGL¹. Rozhodovanie pre Linux bolo jednoznačné — systém umožňuje jednoduchým spôsobom obsluhovať periférne zariadenia, prácu v reálnom čase je podporuje priamo systém, výkonnosť je z bežne dostupných operačných systémov pre osobné počítače najvyššia a v neposlednom rade písanie aplikácie je podstatne jednoduchšie ako pre MS Windows. Ďalším podstatným dôvodom je prakticky nemožnosť získať vývojové nástroje a systém Windows NT legálnym spôsobom bez vynaloženia päťmiestnej čiastky.

¹Bola použitá knižnica Mesa 3.0, ktorá sa nemôže oficiálne nazývať OpenGL pretože nebola testovaná oficiálnymi testami firmy Silicon Graphics na zhodnosť výsledkov s referenčnou implementáciou. Podľa najnovších informácií sa testovanie pripravuje. Domovská stránka autora je [16].

Hardwarová platforma je bežný osobný počítač PC s týmto vybavením :

Komponent	Typ	Poznámka
Procesor	Cyrix 166+	
Pamäť	64 MB	
Disk	cca 8.5 GB	
Grafická karta	Matrox Milenium I	
Grafický akcelerátor	Diamond Monster I	3dfx chip, 4MB pamäte

Tabuľka 4.1: Parametre PC

4.1 Obslužný program pre 3D myš

Základnou úlohou obslužného programu je komunikácia s elektronikou 3D myši. Medzi ďalšie dôležité úlohy patrí výpočet polohy myši a filtrovanie načítavaných dát. V praxi sú všetky tieto úlohy realizované pomocou knižnice podprogramov, ktorú volajú všetky aplikácie používajúce 3D myš.

Komunikácia s elektronikou myši prebieha podľa veľmi jednoduchého protokolu, existuje iba 6 typov správ, ktoré sa posielajú sériovou linkou.

• Správy posielané z PC myši

- Nastavenie času medzi dvoma nasledujúcimi meraniami. Formát

správy je :

'K'	nižší byte	vyšší byte
-----	------------	------------

Význam tejto premennej spočíva v nutnosti počkať medzi dvoma meraniami, aby sa elektronika stihla ustáliť a neprichádzalo k chybám v meraní času.

- Nastavenie prahu pre rozhodnutie, či sa rukoväť myši pohla alebo

nie. Formát správy je :

'T'	nižší byte	vyšší byte
-----	------------	------------

Tento prah pri vhodnom nastavení umožňuje čiastočne eliminovať vplyvy prostredia a chvenie ruky operátora, pretože malé zmeny polohy sú ignorované a ďalej sa nespracúvajú.

- Nastavenie šírky okna pre algoritmus „plávajúceho okna“. Táto správa vyzerá takto :

'W'	nižší byte	vyšší byte
-----	------------	------------

Jej význam je uvedený pri opise algoritmu „plávajúceho okna“ na strane 24.

- Testovacia správa, riadiaci počítač myši vyšle do PC nastavené hodnoty vyššie opísaných premenných. Formát správy je takýto :

'C'

- Štartovacia správa. Správa spustí merací cyklus, ktorý končí len vypnutím zariadenia, alebo stlačením tlačidla **RESET** na myši. Jej formát je :

'S'

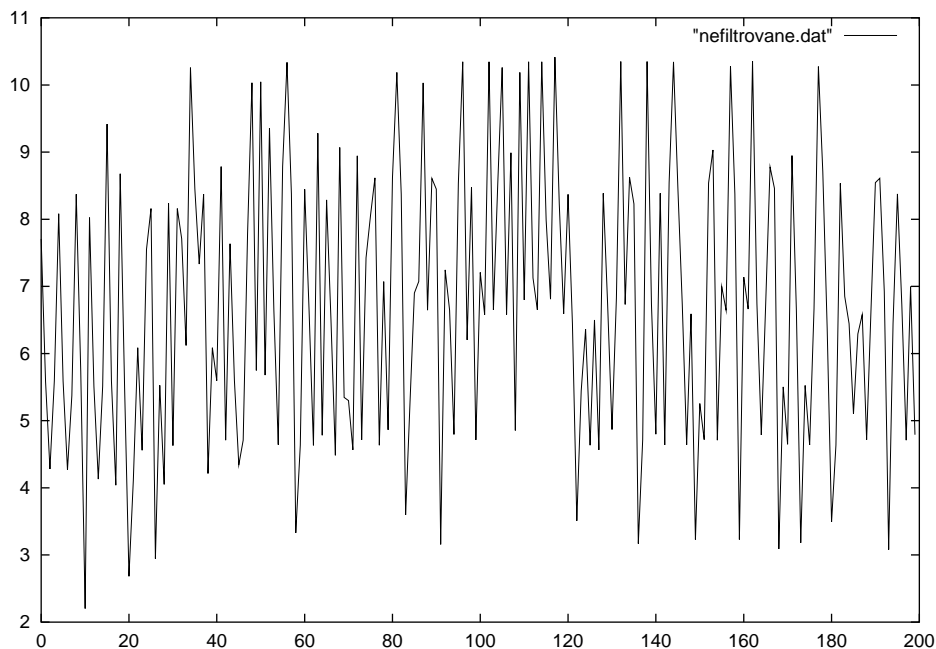
- **Správa odosielaná myšou do PC**

- Správa obsahujúca namerané dáta a informácie o stlačených tlačidlách.

Jej formát je takýto :

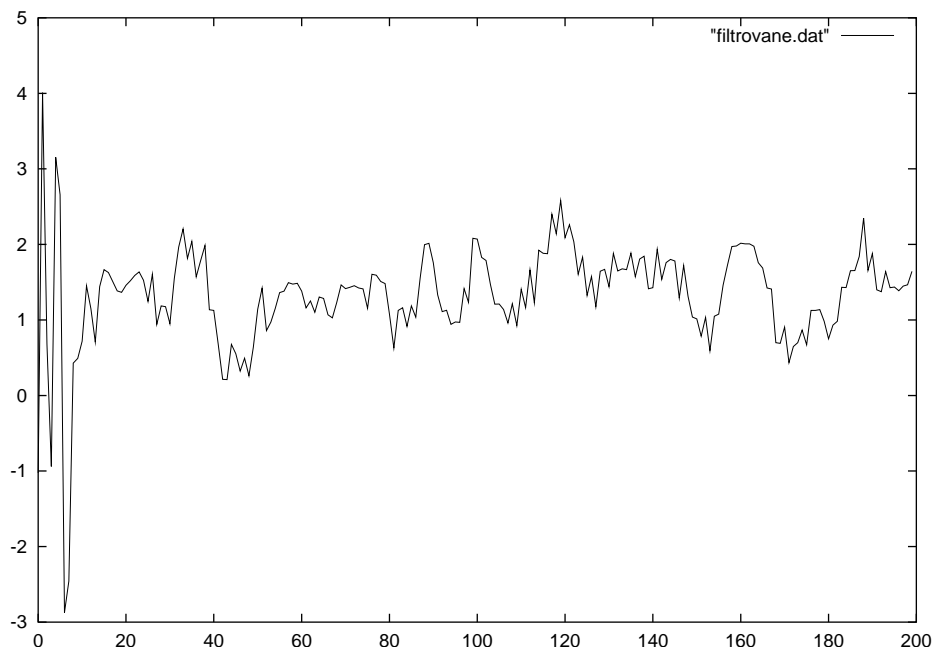
LT1	HT1	LT2	HT2	LT3	HT3	LT4	HT4	STATUS
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--------

Význam jednotlivých byte je nasledovný : LT_i je nižší byte nameranej hodnoty zo snímača i , HT_i je vyšší byte. V byte STATUS majú v tejto verzii programového vybavenia riadiaceho počítača myši význam len bity 2 a 3, ktoré signalizujú stav tlačidiel na rukoväti myši. V prípade, že ide o odpoveď na povel 'C', v prvých šiestich byte správy sú hodnoty interných premenných a zvyšné majú nedefinovanú hodnotu.



Obrázok 4.1: Nefiltrované hodnoty

Namerané hodnoty sa musia podrobiť filtrácii dolnopriepustným filtrom, pretože sú veľmi zašumené a v surovej podobe nepoužiteľné. Jednoduchý aritmetický priemer je ako filter nevhodný, pretože jednoduché spriemerovanie napr. 8 — 10 hodnôt za sebou spôsobí „olejový efekt” — pohyb kurzora a odozva myši bude vyzerat’ akoby sa kurzor pohyboval v hustej kvapaline, myš bude reagovať s veľkým oneskorením a zotrvačnosťou. Je to spôsobené tým, že sa nezohľadňuje zmena polohy myši počas tých 8 — 10 meraní, ktoré sú priemerované. Použitie riešenie filtra ideovo vychádza z metódy spracovania signálov známej pod názvom wavelet transformácia. Jej podrobnejší opis a vysvetlenie je možné nájsť v [13]. Algoritmus filtra je veľmi jednoduchý — spriemerujú sa vždy dve susedné hodnoty a ich priemer sa použije ako vstup pre ďalšiu iteráciu. Celý proces sa opakuje, kým nezostane jediná hodnota, ktorá sa použije ako výstup z filtra, čo sa stane



Obrázok 4.2: Filtrované hodnoty

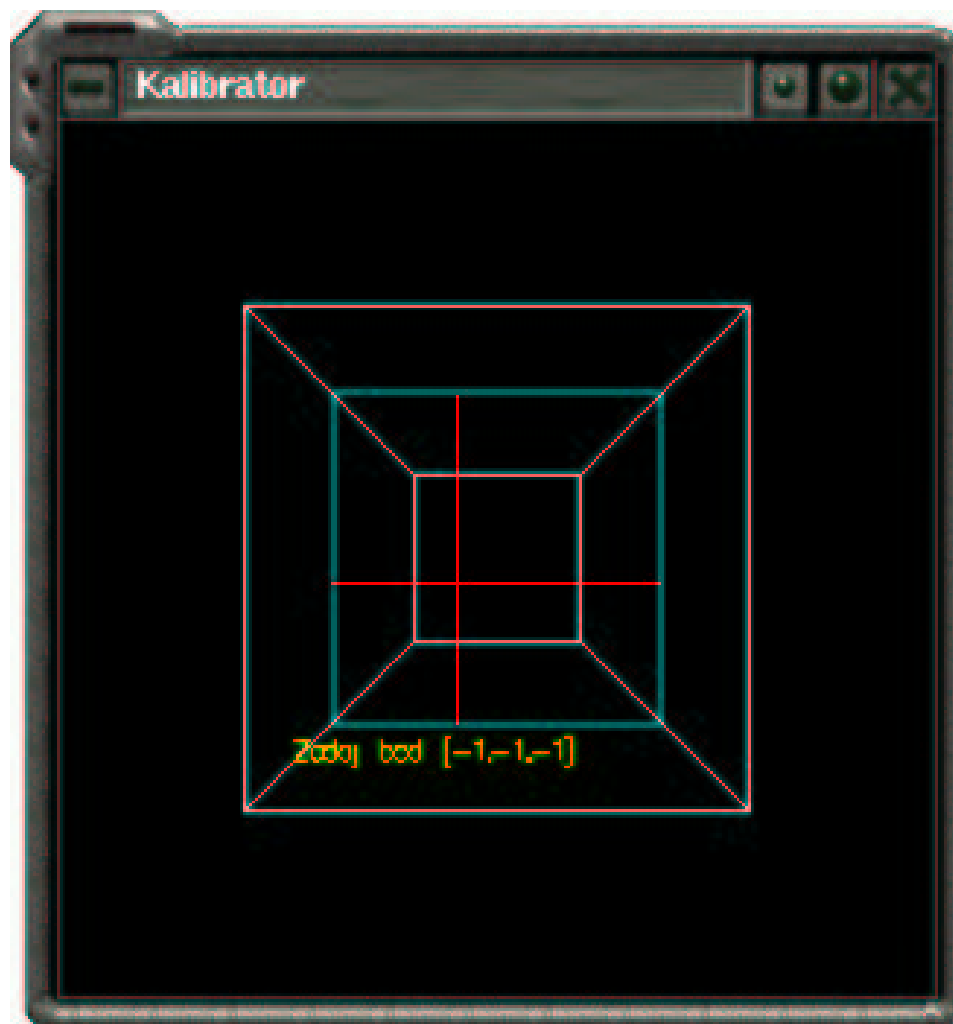
po $lg(n)$ krokoch, kde n je počet po sebe nasledujúcich polôh, na ktorých sa filtrácia robí. Princíp je skrytý za implementáciou wavelet transformácie, kde opísaný postup je postupom získania najnižšej (základnej) frekvencie obsiahnutej v signále podobne ako základnej harmonickej pri Fourierovej transformácii. Získaná hodnota je vlastne najnižšou frekvenciou obsiahnutou vo vzorke signálu. Pritom postup výpočtu je veľmi rýchly a vzhľadom na to, že sa priemerujú susedné, teda podobné hodnoty (myš nemôže v priestore skákať, pohybuje sa spojite), tak sa vyhneme aj už spomínanému „olejovému efektu“. Bolo by istotne možné použiť aj oveľa dokonalejšie metódy filtrácie, ale v tejto aplikácii má rýchlosť výpočtu najvyššiu prioritu. Istú nepresnosť je možné tolerovať, pretože operátor vidí výsledok svojej akcie na obrazovke a môže prípadnú chybu okamžite korigovať. Účinok filtra je možné vidieť na obrázkoch. Na obrázku 4.1 je možné vidieť nefiltrované hodnoty súradnice

x, tak ako vychádzajú priamo z výpočtu. Obrázok 4.2 zobrazuje dáta po aplikácii opísaného filtra². Zvyškové zvlnenie je zrejme spôsobené chvením ruky operátora a rôznymi nedeterministickými vplyvmi. Začiatkové hodnoty veľmi kolísajú, pretože prvých 8 hodnôt nie je filtrovaných — filter potrebuje nejaké dáta, z ktorých sa začne výpočet. Pri oboch meraniach boli použité tie isté nastavenia riadiaceho mikropočítača a algoritmus „plávajúceho okna“ bol vypnutý, aby bolo lepšie vidieť zašumenie signálu.

4.2 Kalibračný program

Kalibračný program slúži na kalibráciu pracovného priestoru myši pred prvým použitím. Ovládač myši vracia absolútne súradnice v priestore, tie samozrejme závisia od inštalácie prijímačov. Bolo by nepraktické, keby každá aplikácia musela dostať ako vstup súradnice prijímačov podľa skutočnej inštalácie a podľa nich si opraviť výpočet súradníc myši. Preto sa použije kalibrácia — operátor podľa pokynov programu „obíde“ myšou pracovný objem a „označí“ každý roh pomyselnéj kocky stlačením tlačidla na myši. Program potom vygeneruje maticu zobrazenia, ktorá prevedie absolútne súradnice do jednotkovej kocky. Táto matica sa nemení, pokiaľ sa nemení vzájomná poloha prijímačov. Aplikáciám potom stačí použiť túto maticu a pracovať v jednotkovom objeme alebo použiť ďalšie zobrazenie a zaviesť si vlastný pracovný objem. Kalibráciu je možné vidieť na obrázku 4.3

²Nie, nejde o to isté meranie. Ale merania sa líšili len polohou myši, pretože nebolo možné zabezpečiť presne zhodnú polohu.



Obrázok 4.3: Kalibrácia

4.3 Jednoduchý editor pre metaballs

4.3.1 Trocha teórie okolo implicitných plôch

Modelovanie pomocou metaballs prvýkrát popísal Blinn v roku 1982. Problém je možné sformulovať ako problém manipulácie a zobrazovania implicitnej plochy, t.j. plochy opísanej implicitnou rovnicou ³. Zobrazovanie takých-

³napr. implicitná rovnica gule vyzerá takto : $(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 - r^2 = 0$

to plôch sa v praxi rieši metódami objemového zobrazovania. Existujú dva hlavné prístupy :

- Priama vizualizácia
- Konverzia implicitnej plochy na sieť trojuholníkov

Pri priamej vizualizácii sa využívajú najmä algoritmy raytracing a ray-casting, pri druhom prístupe je najpoužívanejším algoritmom na konverziu algoritmus „Marching Cubes”. Podrobnejší opis algoritmov je možné nájsť napr. v [1], základný úvod do tejto modelovacej techniky napísal Paul Bourke a je na [2]. Ďalej využívaná terminológia a označovanie vychádza z [1]. V aplikáciách s dôrazom na rýchlosť a interaktívnu prácu sa používa výhradne konverzia na sieť trojuholníkov, prípadne iných mnohouholníkov, pretože priama vizualizácia je časovo náročná. Konverzia má ale inú nevýhodu — ak sa má dosiahnuť dostatočne jemné zobrazenie povrchu, tak dnešné bežne používané metódy generujú ohromné množstvá trojuholníkov, s ktorými sa zle pracuje v reálnom čase. V aplikácii 3D myši bola použitá konverzia implicitnej plochy na trojuholníky pomocou modifikovaného algoritmu „Marching Cubes”. Bola použitá mierne prispôbená implementácia tohto algoritmu od J. Bloomenthala, ktorá bola uverejnená v zbierke [14].

Modelovanie pomocou implicitných plôch je veľmi intuitívne pre používateľa, pretože plocha sa vo väčšine prípadov zadáva pomocou kostry — množiny základných objektov, ktoré plochu opisujú. Každý prvok kostry opisuje jednu implicitnú plochu. Na vytvorenie výslednej plochy sa využíva tzv. zmiešavacia funkcia, ktorá definuje príspevok každého prvku kostry k výslednej ploche. Jedna z často využívaných zmiešavacích funkcií má tvar :

$$F_i(r_i) = -\frac{4 r_i^6}{9 R^6} + \frac{17 r_i^4}{9 R^4} - \frac{22 r_i^2}{9 R^2} + 1$$

kde r_i je vzdialenosť testovaného bodu od stredu prvku kostry i s polomerom R (uvažujú sa len guľové prvky kostry). F_i je teda intenzita poľa vytváraného prvkom i vo vzdialenosti r_i . Táto zmiešavacia funkcia generuje objekty známe ako „metaballs”. Výslednú intenzitu poľa v bode P získame jednoduchou superpozíciou podľa vzťahu :

$$F(P) = \sum_{i=0}^n c_i F_i(r_i)$$

kde $F(P)$ je celková intenzita poľa v bode P so vzdialenosťou r_i od prvku i so zmiešavaciu funkciou F_i . Koeficient c_i je škálovací koeficient určujúci vplyv prvku i na výslednú plochu, n je počet prvkov kostry. Rozhodnutie, či daný bod patrí alebo nepatrí výslednej implicitnej ploche, sa rieši porovnaním intenzity v danom bode s vopred zvoleným prahom. Ak je prah prekročený, tak bod leží vo vnútri plochy.

4.3.2 Opis editora

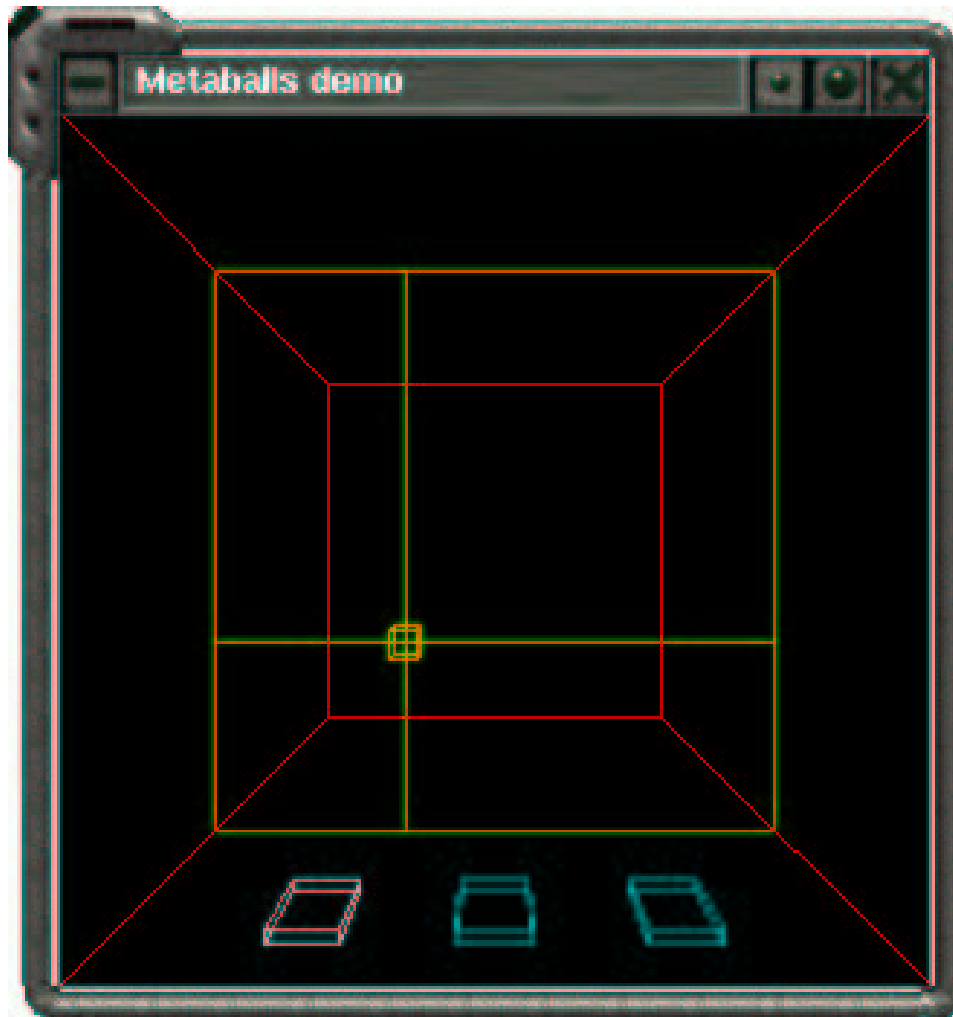
Samotný editor je veľmi jednoduchá aplikácia 3D myši pri modelovaní. Editor umožňuje vykonávať nasledovné operácie :

- Zadávať pomocou 3D myši prvky kostry (primitívy) implicitnej plochy
- Presúvať a škálovať prvky kostry
- Vizualizovať samotnú implicitnú plochu

Ako prvky kostry sú pre jednoduchosť možné len gule, ich maximálny počet je obmedzený na päť. Tieto zjednodušenia si vyžiadali nároky na výkon počítača, ktorý musí okrem zobrazovania scény aj obsluhovať samotnú 3D myš. Aj tak je vizualizácia zadanej plochy pomalá a plocha nie je hladká, pretože nestačí výkon počítača na jemnejšie delenie.

Prostredie aplikácie je prispôbené pre kompletne ovládanie pomocou 3D myši. Skladá sa z :

- pracovného priestoru ohraničeného kockou
- zámerného kríža slúžiaceho ako 3D kurzor
- troch kvádrov v spodnej časti scény, slúžia ako voľba pracovného režimu



Obrázok 4.4: Pracovné prostredie

Na obrázku 4.4 je pracovná oblasť znázornená kockou ohraničujúcou scénu. Táto oblasť súčasne znázorňuje aj priestor, ktorý je možné 3D myšou pokryť.

V strede je možné vidieť zámerný kríž s kockou uprostred. Zámerný kríž s kockou slúži ako 3D kurzor, znázorňuje miesto, kde sa nachádza 3D myš v scéne. Jeho ramená sú súčasne premietané na štyri ohraničujúce steny pracovného priestoru. Tým je operátorovi uľahčená orientácia v 3D priestore, pretože inak je problematické mať predstavu o hĺbke, kde sa nachádza kurzor.

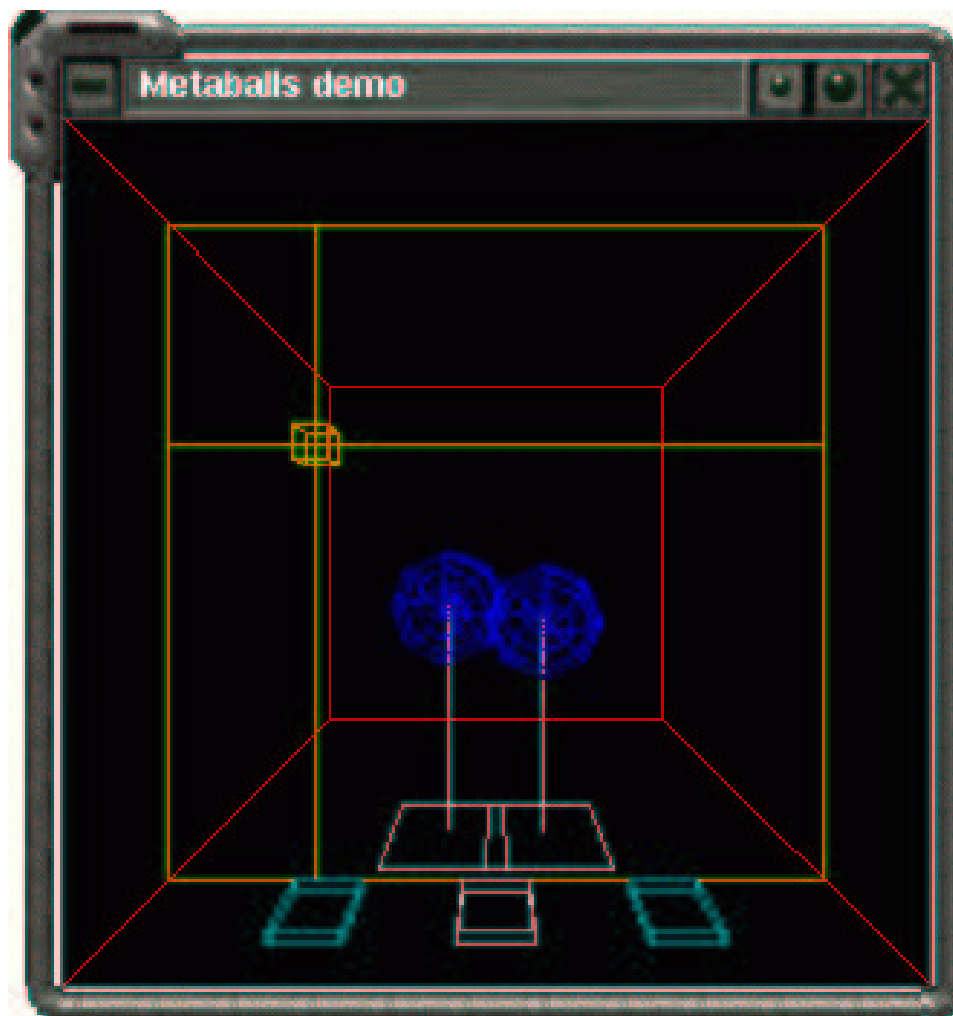
Pomocný účel plnia aj zvislé čiary a štvorce pod každým prvkom kostry konštruovanej plochy. Zvislé čiary zo stredov gulí do ich priemetov v pôdorysni zobrazujú výšku objektu, štvorec v pôdorysni ohraničuje oblasť zabranú telesom⁴. Pomocou nich je možné určovať relatívne vzdialenosti objektov v scéne od seba a udržiavať si predstavu o ich vzájomnej polohe a o polohe 3D kurzora voči nim. Tieto pomocné prvky je možné vidieť na obrázku 4.5.

Kostru implicitnej plochy je možné vidieť na obrázku 4.5. Z nej vypočítanú implicitnú plochu je vidieť na obrázku 4.6.

Tri kvádre, ktoré je možné vidieť v spodnej časti obrazovky, fungujú ako prepínače pracovných režimov. Aktivujú sa stlačením prvého tlačidla na myši. Zľava majú tieto funkcie :

1. Pridanie nového prvku ku kostre konštruovanej plochy (po stlačení prvého tlačidla na myši) alebo vymazanie prvku kostry najbližšieho ku kurzoru (druhé tlačidlo na myši)
2. Ťahanie najbližšieho prvku kostry po scéne (so stlačeným prvým tlačidlom myši), zapnutie/vypnutie zobrazenia výslednej implicitnej plochy (stlačením druhého tlačidla myši)

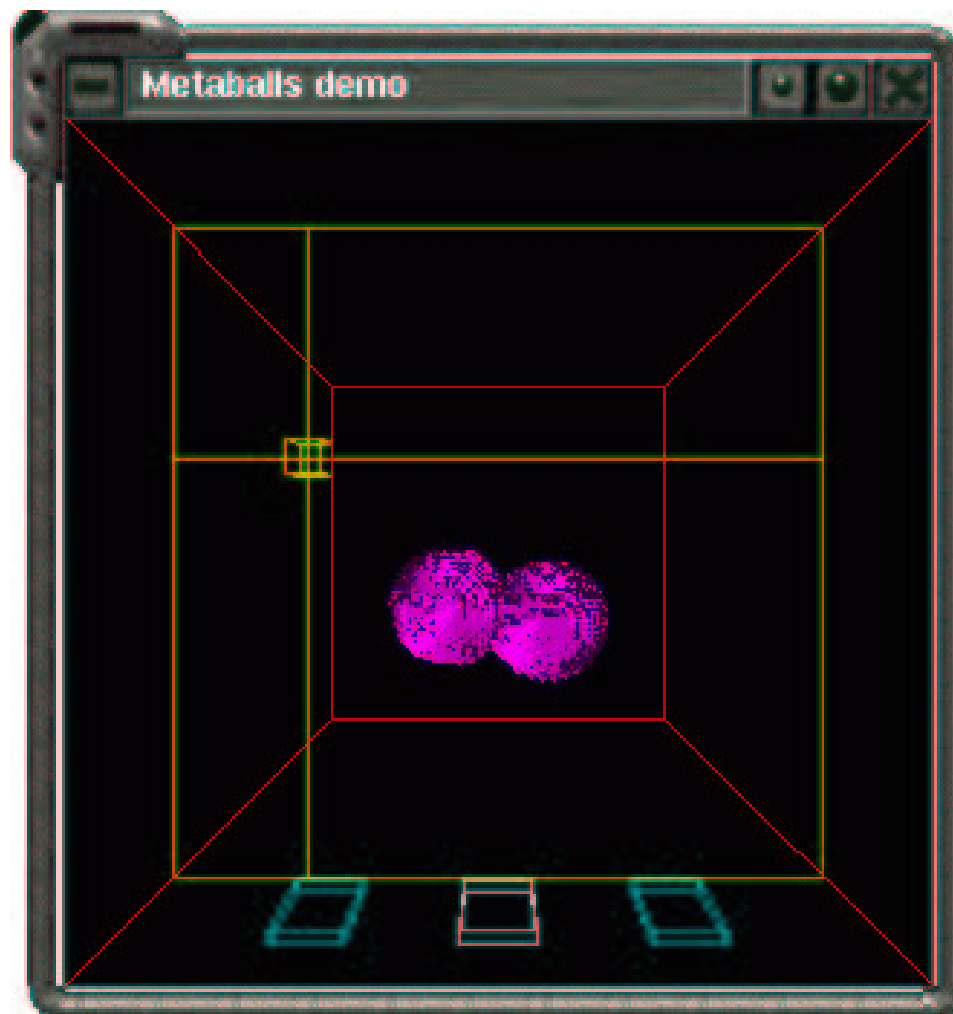
⁴Kolmý priemet gule do roviny by síce mal byť kruh, ale OpenGL nevie nakresliť kružnicu. Jej implementácia pomocou niektorého zo známych algoritmov by bola pomalá, pretože by sa obchádzala optimalizácia kreslenia vo vnútri OpenGL. Ten priemet je navyše len pomocná informácia pre operátora a štvorec splní túto úlohu rovnako dobre.



Obrázok 4.5: Kostra implicitnej plochy

3. Zmena veľkosti najbližšieho prvku kostry (prvé tlačidlo), zapnutie/vypnutie zobrazenia výslednej plochy.

Ak je zapnuté zobrazovanie výslednej plochy, pre prehľadnosť sa nezobrazujú drôtové modely prvkov kostry, len výsledná vygenerovaná plocha (obrázok 4.6). Ale je možné presúvať alebo škálovať jednotlivé prvky a tým meniť interaktívne tvar plochy. Problém je len s rýchlosťou výpočtu a zobrazovania, tento režim práce je extrémne náročný na výpočtový výkon počítača.



Obrázok 4.6: Výsledná implicitná plocha

tača, pretože pri každom posunutí alebo škálovaní sa musí výsledná plocha nanovo prepočítať a zobraziť. Na dostatočne výkonnom počítači je ale možné využívať aj tento režim ⁵.

Na výslednej ploche (obrázok 4.6) je jasne vidieť alias spôsobený príliš hrubou voxelizáciou priestoru. Veľkosť základnej kocky je priveľká vzhľadom

⁵Tým je jasne povedané — ak nemáte hardwarovú akceleráciu OpenGL a aspoň P-II 300, tak to radšej ani neskúšajte :-).

k veľkosti samotného objektu, a preto je výsledná plocha „zubatá“. Ale zvolená veľkosť kocky je najmenšia, pri ktorej sa ešte plocha spočíta v interaktívnom čase⁶.

⁶Nie reálnom čase, je treba chvíľu čakať, kým sa plocha zobrazí. Aby bola odozva skutočne v **reálnom** čase, bolo by treba mať asi viacprocesorový stroj. Ale nebolo to skúšané, pretože takýto systém nebol k dispozícii.

Kapitola 5

Záver

Cieľom práce bolo preskúmať možnosti nasadenia prostriedkov virtuálnej reality v 3D grafike, s ohľadom na možnosti nášho používateľa. Ako jeden z výsledkov vznikla 3D myš, ktorá síce nie je úplne porovnateľná s komerčne dostupnými produktami, pretože primárne určenie zariadenia malo byť 3D lokátor pre dátovú rukavicu. Ale dosiahnuté technické parametre dávajú predpoklady pre úspešné nasadenie tohto systému v praxi aj ako 3D myš.

Technické problémy pri realizácii myši boli spôsobené najmä použitím síce nevhodných, ale prakticky jediných bežne dostupných ultrazvukových akustických meničov (prijímačov a vysielačov). V primárnom prameni [4] a [5], ktorý dal myšlienku na použitie ultrazvuku, boli použité továrensky vyrábané jednotky, priamo určené pre tento účel. Bohužiaľ, na našom trhu sú nedostupné, a aj ich cena by bola vyššia ako cena celého zariadenia.

Ďalšou myšlienkou, ako zväčšiť možnosti zariadenia, je idea vyrobiť bezdrôtovú komunikáciu s vysielačom pomocou infračerveného žiarenia. Zatiaľ sa nedočkala realizácie pre krátkosť času, ale je to významné uľahčenie operátorovi, ktorý nemusí za sebou ťahať pri práci kábel k vysielaču.

V oblasti interakcie v 3D priestore boli získané cenné skúsenosti. Ukazuje

sa, že aplikácia 3D vstupného zariadenia ako je 3D myš bez zodpovedajúcej spätnej väzby pre operátora pomocou napr. stereoskopických okuliarov alebo helmy naráža na problémy s predstavivosťou operátora. Chýbajúca hĺbka v obraze sa musí simulovať pomocou doplnkových informácií (priemety kurzora na steny pracovného objemu, priemety objektov v scéne do pôdorysne a pod.), inak operátor nie je schopný sa v scéne orientovať. V systéme využívajúcom 3D vstupné zariadenie je tento problém ešte výraznejší, pretože operátor je nútený pracovať priamo v 3D priestore. Preto sa ako jedno z ďalších rozšírení systému priamo ponúka využitie stereoskopických okuliarov. V práci [15] je spomenuté takéto rozšírenie a podľa autorov boli dosiahnuté dobré výsledky.

Na celom projekte je možné vidieť, že nároky na výpočtový výkon v počítačovej grafike a najmä pri práci v reálnom čase sú enormné. Pred niekoľkými rokmi bola podobná aplikácia na osobnom počítači nemysliteľná, používali sa drahé špecializované grafické pracovné stanice a výkonné servery. Zostáva len dúfať, že výkon počítačov bude o nejaký čas dostatočný a aplikácie virtuálnej reality nebudú len záležitosťou špecializovaných pracovísk a hračkou snobov.

Literatúra

- [1] B. Beneš, P. Felkel, and J. Žára. *Moderní počítačová grafika*. Computer Press, 1998.
- [2] P. Bourke. <http://www.mhri.edu.au/~pdb/modelling/implicitsurf/>.
Stručný úvod do metaballs.
- [3] F. N. Fernandez, M. G. Malheiros, and S. Wu. Mtk: A direct 3d manipulation toolkit. In *Proceedings of the SCCG '98*, page 81, 1998.
- [4] F. Figueroa and A. Mahajan. A robust method to determine the coordinates of a wave source for 3d position sensing. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements and Control, Vol 116, pp. 505 511, 1994*.
- [5] F. Figueroa and A. Mahajan. An automatic self installation and calibration method for a 3d position sensing system using ultrasonics. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements and Control, 1996*.
- [6] firma Autodesk. <http://www.autodesk.com/>. Informácie o systéme 3D Studio.
- [7] firma Biosense. <http://www.biosense.de/>. Výrobca magnetických snímačov.

- [8] firma Caligari. <http://www.caligari.com/>. Informácie o systéme TrueSpace.
- [9] firma Logitech. <http://www.logitech.com/>. Výrobca ultrazvukovej 3D myši.
- [10] firma Northern Digital. <http://www.ndigital.com/>. Výrobca systému OPTOTRAK.
- [11] firma Polhemus. <http://www.polhemus.com/>. Výrobca zariadenia ISIDETRACK.
- [12] firma Traxtal. <http://www.traxtal.com/>. Prehľad používaných systémov 3D lokátorov.
- [13] A. S. Glassner. *Principles of Digital Image Synthesis*. Morgan Kaufmann San Francisco CA, 1995.
- [14] P. Heckbert. *Graphics Gems IV*. Academic Press, 1994.
- [15] R. Herr and P. Slavík. Interaction in 3d space and 3d window manager. In *Selected Readings 1995 of the Computer Graphics Group, part II*. Dept. of Computer Science and Engineering, Czech Technical University Prague, 1995.
- [16] B. Paul. <http://www.ssec.wisc.edu/~brianp/mesa.html>. Domovská stránka knižnice Mesa 3.0.
- [17] P. Skalický. *Mikroprocesory řady 8051*. BEN Technická literatura Praha, 1998.
- [18] P. Strážnický. Ultrazvukový detektor pohybu. *Praktická Elektronika A Radio*, 4:14,15, 1996.

- [19] H. Wurnig. Design of a collaborative multi user desktop system for augmented reality. In *Proceedings of the CESC G '98*, 1998.