Sluneční soustava

semestrální práce

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Informační management
Počítačová grafika I.
7.5.2003

Petr Voborník

vobornik@mikmik.cz

www.mikmik.cz

Obsah

OBSAH **1**

ZADÁNÍ **2**

UŽIVATELSKÁ DOKUMENTACE **3**

OVLÁDÁNÍ MYŠÍ 3
Levé tlačítko *3*
Prostřední tlačítko *3*
Pravé tlačítko *3*
DoubleClick *3*
OVLÁDÁNÍ KLÁVESNICÍ 3
Sledování planety kamerou *3*
Nastavení zobrazení *4*
Zobraznování informací *4*

PROGRAMÁTORSKÁ DOKUMENTACE **5**

CO JSEM ŘEŠIL A CO NE 5
Co jsem řešil *5*
Co jsem neřešil *5*
MĚŘÍTKA 6
PRINCIP FUNGOVÁNÍ PROGRAMU 6
Datová struktura planet *6*
Datová struktura měsíců *7*
Pohyb planet a měsíců *7*
Výpočet polohy planet a měsíců *8*
Vykreslování trajektrorií planet a měsíců *9*
Vykresení Sluneční soustavy jako celku *9*
Interaktivita *10*
2D Projekce *10*
Zobrazování informačních nápisů *11*
Časování vykreslování *11*

ZÁVĚR **12**

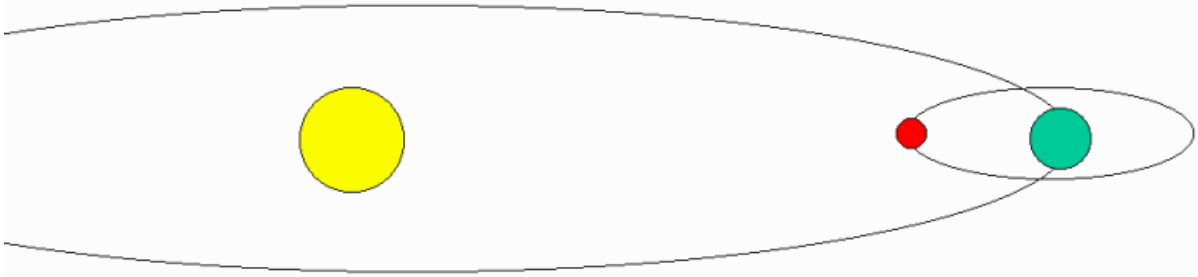
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY **13**

LITERATURA 13
INTERNET 13

Zadání

Sluneční soustava

- Animace pohybu planet ve sluneční soustavě
- slunce, země, měsíc
- synchronizace s časem (denní a roční cyklus)
- nejsou nutné přesné trajektorie



Uživatelská dokumentace

Ovládání programu je interaktivní. Uživatel může programu měnit základní nastavení za jeho běhu pomocí myši a klávesnice.

Ovládání myší

Základní ovládání pohledu na Sluneční soustavu zde probíhá pomocí myši. Můžete zde různě naklápět či otáčet pohled, měnit měřítko a posouvat střed plochy.

Levé tlačítko

- Vertikální pohyb – sklápění pohledu
- Horizontální pohyb – natáčení úhlu pohledu

Prostřední tlačítko

- Vertikální pohyb – změna měřítka scény

Pravé tlačítko

- Posun kamery (středu vykreslovací plochy)

DoubleClick

- zastavení / spuštění pohybu

Ovládání klávesnicí

Sledování planety kamerou

Stisknutím klávesy, která je počátečním (případně druhým) písmenem z názvu některé z planet Sluneční soustavy, začne kamera sledovat tuto planetu. Planeta tedy bude neustále ve středu obrazovky. Tím se zablokuje možnost posouvání středu myší. Pro zrušení sledování planety stačí stisknout písmeno **X**.

Písmeno	Planeta (nebo Slunce)
S	Slunce
E	Merkur
V	Venuše
Z	Země
M	Mars
J	Jupiter
A	Saturn
U	Uran
N	Neptun
P	Pluto
X	*nesledovat nic*

Nastavení zobrazení

Další možností je nastavení zobrazení. Můžete jím ovlivňovat rychlost běhu systému, rychlost překreslování (můžete tak vyladit případné blikání obrazu na pomalejších PC) nebo skrýt trajektorie planet.

Klávesa	Funkce
Insert	rychlost posunu + 2 dny
Delete	rychlost posunu - 2 dny
Home	rychlost posunu + 0.1 dne
End	rychlost posunu – 0.1 dny
Page UP	rychlost překreslování + 5 ms
Page Down	rychlost překreslování - 5 ms
Mezerník	skrýt / vykreslovat trajektorie
Esc	nastavení výchozích hodnot

Zobraznování informací

Pokud kameru zaměříte na některou z planet (nebo Slunce), můžete si nechat zobrazit i základní informace o této planetě i jejich měsících.

- 0 – informace o zvolené planetě
- 1, 2, 3… - informace o příslušném měsíci zvolené planety

Zvláštní funkcí je zobrazení informací o programu, které se vyvolá stiskem klávesy **F1**.

Programátorská dokumentace

Program Sluneční soustava (Solar_system.exe) jsem vytvořil v programovacím jazyku Borland Delphi.

Co jsem řešil a co ne

Při zobrazování Sluneční soustavy jsem narazil na řadu problémů, především v oblasti měřítek. Planety byly vůči Slunci příliš malé, vzdálenosti mezi nimi moc velké, měsíce se pohybovaly příliš rychle atd. Vhodné jednotné měřítko pro zobrazení celé scény zřejmě pro vykreslení soustavy jako celku neexistuje, tudíž jsem musel pro jednotlivé rozměrové záležitosti volit různá měřítka, aby bylo kromě slunce nebo jedné planety vůbec něco vidět.

Co jsem řešil

- Pohyb a zobrazování Slunce, planet a měsíců
- Zobrazování trajektorií
- Vztah ke skutečnosti
- Vhodná měřítka
- Interaktivní ovládání
- Informační nápisy

Co jsem neřešil

- Objekty (měsíce) menší než 1 000 km – nebyly by totiž vůbec ani vidět
- Eliptické dráhy – znamenaly by zpomalení a značné zvýšení složitosti (navíc dráhy planet stejně nejsou přenými elipsami)
- Poloměr planet v závislosti na vzdálenosti – planety by byly buď moc daleko, nebo byly tak malé, že by nebyly vůbec vidět
- Výchozí polohu systému – volím ji náhodně (vzhledem k tomu, že vše není absolutně přené, nemělo by to cenu)
- Rendering – animace by se natolik zpomalila, že by pohyb zmizel (nvíc by planety vypadaly, jako kuličky, a aplikování textur, by již bylo příliš složité)
- Rotace planety kolem své osy – za těchto podmínek by se tato rotace na výsledku nijak neprojevila

Měřítka

Hodnoty o velikostech, vzdálenostech a rychlostech planet a měsíců jsem převzal z tabulek a z internetu. Poměr mezi realitou a tímto zobrazením jsem zvolil 1 pixel = 1 km (samozřejmě po aplikování vhodného zmenšovacího měřítka). Z výše uvedeného důvodu jsem však nemohl tyto hodnoty nechat bez úpravy, pod jednotným měřítkem. Proto jsem pro různé typy hodnot (i když stejných veličin) musel zvolit různá měřítka.

- Výchozí měřítko pro scénu: 0.0001
- Měřítko poloměru Slunce: 1
- Měřítko poloměru planet a měsíců: 18
- Měřítko vzdáleností: 0.02
- Měřítko vzdáleností měsíců: 3.85
- Měřítko rychlosti oběhu měsíců: 0.1

Z uvedených měřítek vyplývá, že například planety a měsíce jsou 18x větší v poměru ke slunci než ve skutečnosti. To má za následek, že se Jupiter jeví větší než-li Slunce, což ve skutečnosti samozřejmě není pravda, ovšem při větším zmenšení by pak ostatní planety nebyly vůbec vidět.

Vzdálenost měsíců od planet jsem zase zvolil jinou, neboť při menší by některé měsíce obíhaly jakoby pod povrchem planety a při větším by již byly příliš vzdálené (ani toto měřítko však nešlo aplikovat všude, a byl jsem proto nucen vynechat Saturnův nejvzdálenější měsíc Japetus). V tomto případě jsem ponechal jedinou výjimku planetě Zemi a jejímu Měsíci, jehož vzdálenost i rychlost oběhu jsem ponechal beze změn od reality, vzhledem k tomu, že obojí se jevilo ve zvoleném měřítku v rozumných mezích a také proto, že právě na tyto dva objekty bude nejspíše soustředěna nejvyšší pozornost.

Princip fungování programu

Nyní se pokusím nastínit, jak vlastně celý program funguje.

Datová struktura planet

Každá planeta má hned po spuštění programu o sobě zadána informace potřebné pro své fungování v tomto programu. Jedná se o její název, vzdálenost od středu oběhu, rychlost oběhu (stupňů za den), poloměr, sklon trajektorie (vůči sklonu trajektorie Země – tzv. k rovině ekliptiky), natočení tohoto sklonu (délka perihélia) a

barvu, kterou bude vykreslována.

Další typy hodnot jsou vypočítávány při běhu programu a jsou nezbytné pro správné vykreslení planety. Jedná se o úhel, na kterém se planeta právě nachází, souřadnice (X, Y, Z) polohy planety v systému (počátek [0,0,0] je ve středu Slunce), střed, kolem kterého planeta obíhá (tato informace je využívána především u měsíců, které obíhají kolem planet, jež mění svoji polohu) a konečně informace převedené do 2D (X, Y), přímo použité pro vykreslení planety. Jde o střed oběhu planety, polohu planety a poloměr planety.

```
TPlaneta = record
             Nazev      : string[30];  // Jméno planety / měsíce
             Vzdalenost : integer;     // vzdálenost od středu oběhu
             Rychlost   : real;        // úhlová rychlost ° / den
             Polomer    : integer;     // poloměr planety
             Sklon      : real;        // úhel sklonu trajektorie oběhu
             SklonSmer  : real;        // úhel směru sklonu oběhu planety
             Barva      : TColor;      // barva planety

             Uhel       : real;        // úhel současné polohy
             Souradnice : TBod3D;      // souřadnice planety v prostoru
             Stred      : TBod3D;      // souřadnice středu oběhu
             Kresba     : TKresba;     // souřadnice pro vykreslení
           end;

TKresba = record
            Stred2D   : TBod2D;  // poloha středu oběhu při vykreslení
            Poloha2D  : TBod2D;  // poloha středu planety pro vykreslení
            Polomer2D : integer; // poloměr kruhu vyobrazujícího planetu
          end;
```

Datová struktura měsíců

V případě měsíců je datová struktura téměř shodná jako u planet, pouze je navíc přidána informace, která určuje, kolem které planety měsíc vlastně obíhá.

```
TMesic = record
           Data    : TPlaneta;  // Data o měsíci
           Planeta : integer;   // index planety, kolem které obíhá
         end;
```

Pohyb planet a měsíců

Posun planety v prostoru, po její trajektorii oběhu vykonává procedura *PosunPlanetu*.

```
procedure PosunPlanetu(var Planeta: TPlaneta; const Dni: real);
begin
  Planeta.Uhel := UpravUhel(Planeta.Uhel + Dni * Planeta.Rychlost);
  Planeta.Souradnice := PolohaZUhlu(Planeta.Stred, Planeta.Uhel,
                                    Planeta.Sklon, Planeta.SklonSmer,
                                    Planeta.Vzdalenost);
  Planeta.Kresba := SouradniceKresby(Planeta.Souradnice, Planeta.Stred,
                                     Planeta.Polomer);
  if Planeta.Nazev = Sledovana then
  begin
    StredPlochy.X := - Planeta.Kresba.Poloha2D.X + pbPlocha.Width  div 2;
    StredPlochy.Y := - Planeta.Kresba.Poloha2D.Y + pbPlocha.Height div 2;
  end;
end;
```

Ta nejprve zvýší úhel, podle úhlové rychlosti planety, násobený počtem dní, které znamenají jeden krok. Dále z tohoto nového úhlu vypočte souřadnice polohy planety a z nich přes projekční matici určí 2D souřadnice pro vykreslení planety.

V případě, že je na tuto planetu zaměřena kamera, jsou ještě posunuty souřadnice středu vykreslovací plochy na 2D střed této planety.

V případě měsíců je postup téměř stejný, pouze je jako střed oběhu je zadána předem vypočtená současná poloha planety.

Výpočet polohy planet a měsíců

Pro výpočet souřadnic polohy planety (nebo měsíce) z jeho úhlu je použita funkce *PolohaZUhlu*.

```
function PolohaZUhlu(const Stred: TBod3D; const Poloha, Sklon, Smer: real;
                     const Vzdalenost: integer): TBod3D;
var
  SS: real;
begin
  Result.X := Stred.X + Round(Vzdalenost * Cos(Poloha * Pi / 180));
  Result.Y := Stred.Y + Round(Vzdalenost * Sin(Poloha * Pi / 180));
  SS := (Result.X - Stred.X) * Cos(Smer * Pi / 180) +
        (Result.Y - Stred.Y) * Sin(Smer * Pi / 180);
  Result.Z := Stred.Z + Round(SS * Tan(Sklon * Pi / 180));
end;
```

Souřadnice X a Y jsou vypočteny podle klasického vzorce pro polohu na kružnici. Třetí souřadnice Z má již výpočet polohy o něco složitější, neboť zde je uplatněn sklon trajektorie i jeho natočení.

Poloha Z, za předpokladu, že by směr tohoto sklonu byl 0 (nejvyšší i nejnižší bod byl promítnut při půdorysu na osu X – měl Y = 0) by se vypočetla z úpravy vzorce „`tg(sklon) = X / Z`“, čily po úpravě „`Z = X / tg(sklon)`“. Jenže je

však brát také v potaz natočení směru a tedy i souřadnici Y. V případě, že tento směr byl 90°, výpočet Z by byl stejný, pouze místo X by zde bylo Y (X by totiž bylo 0). Proto je třeba brát z obou těchto souřadnic jen část, určenou opět pohybem po kružnici polohy tohoto směru. Vztah v proceduře určuje pomocná proměnná SS.

Vykreslování trajektrorií planet a měsíců

O vykreslování trajektorií se stará procedura *VykresliTrajektorii*.

Vzhledem k naklápění různým sklonům trajektorií a možnosti pohled na Sluneční soustavu naklánět, nebylo možné použít pro vykreslení trajektorie obyčejnou elipsu. Trajektorii tedy vykresluji pomocí imaginárního oběhu „planety“ a jednotlivé vypočtené polohy této „planety“ spojuji úsečkou.

Zde bylo zapotřebí zvolit vhodný počet kroků, které „planeta“ vykoná, než uzavře kruh. Bylo třeba jej zvolit s ohledem na hladkost trajektorie (počet kroků co největší) a zároveň brát v potaz rychlost vykreslování (počet kroků co nejmenší). Po několika pokusech jsem počet kroků zvolil na 30. Kostrbatost trajektorie je v tomto případě patrná až při větším zvětšení.

Úhel, o který se „planeta“ při každém z kroků posune se vypočte ze vztahu 360 / N, kde N je počet kroků.

Vykresení Sluneční soustavy jako celku

Výše uvedené vykreslovací procedury jsou jednotně ve správném pořadí volány z procedury *VykresliSystem*.

Při vykreslování celého systému byl třeba vyřešit problém s překrýváním planet, měsíců a trajektorií. K tomu jsem přistoupil pomocí vhodného seřazení planet a jejich vykreslování po půlkách, aby část trajektorie kolem nich vidět byla a ta za ní nikoli. Vykreslování tedy probíhá v těchto krocích:

- Vykreslím spodní polovinu Slunce (ta bude překreslena trajektoriemi planet)
- Planety seřadím od nejvzdálenější k nejbližší podle jejich souřadnice X
- Následující část se opakuje postupně pro všechny planety v seřazeném pořadí:
  - Vykreslím trajektorii planety
  - Vykreslím spodní polovinu planety (ta bude překreslena trajektoriemi měsíců)
  - Vykreslím trajektorie měsíců a tyto měsíce
  - Vykreslím horní polovinu planety (překryje trajektorie a měsíce, které jsou za ní)
- Vykreslím horní polovinu Slunce (překryje trajektorie a planety, které jsou za ní)

Tento postup byl zvolen vzhledem a axonometrickému promítání. Problém zde však může nastat při přílišném sklopení pohledu, kdy některé planety za Sluncem vykukují přes jeho spodní polovinu, nebo při natočení pohledu tak, že některé trajektorie mizí pod horní polovinou Slunce. Tak je tomu samozřejmě i u planet.

Interaktivita

Interaktivní ovládání programu je jeho nedílnou součástí pro představení si prostorového pohledu. Ovládání klávesnicí probíhá jako ošetření události stisku klávesy, které většinou pouze změní nějakou proměnnou.

Ovládání myší je o něco zajímavější a odehrává se ve třech částech (procedurách): *pbPlochaMouseDown* (je stisknuto tlačítko myši), *pbPlochaMouseMove* (myš se pohybuje po ploše), *pbPlochaMouseUp* (tlačítko myši je uvolněno).

Po stisku tlačítka myši se uloží do globálních proměnných výchozí hodnoty promítacích proměnných, souřadnice, kde bylo tlačítko stisknuto, které tlačítko to bylo a informace o tom, že je některé z tlačítek stisknuto (dole).

Při pohybu myší po ploše, za předpokladu, že je stisknuto některé z tlačítek dochází k úpravě příslušných proměnných. Ty jsou vypočteny na základě jejich výchozí hodnoty a změny polohy kurzoru myši (kterýžto je k ní připočten). Tak je při stisknutém levém tlačítku měněn na základě vertikálního pohybu kurzoru sklon pohledu (X prodloužení souřadnic v axonometrickém promítání) a při pohybu horizontálním úhel natočení pohledu (oba úhly v axonometrickém promítání s 90° posunem). Je-li stisknuto prostřední tlačítko myši, dochází ke změně měřítka na základě vertikálního posunu kurzoru myši. Pravé tlačítko myši zase posouvá střed promítací plochy (není-li tento určen středem sledované planety) na základě pohybu po horizontálním i vertikálním směru.

Po uvolnění tlačítka myši se proměnná, znamenající stisknuté tlačítko nastaví na `false`.

2D Projekce

Jak již bylo řečeno, projekce je zde určena axonometricky a jedinou další prováděnou transformací je změna měřítka. Tato projekční matice je určena ve funkci *TransMatice*. Všechny body, pomocí nichž se poté systém vykresluje jsou

upraveny ve funkci *PrevedBod*, která pouze na tento bod aplikuje připravenou transformační matici.

Zobrazování informačních nápisů

Při změnách (ovládání) systému se vždy v levém horním rohu zobrazí informace o této změně. Stejným způsobem jsou vypisovány i informace o planetách a o programu. O to se stará procedura *VypisNapis*, kterou do chodu uvádí procedura *Napis*.

Vše se zahájí uložením příslušného textu nápisu do globální proměnné, spolu s časovým údajem, začátku tohoto vykreslování. Nápis je pak zobrazován (vypsán po každém překreslení obrazu) po dobu určenou v konstantě *cNapisStay* (ta je nastavena na 5 sekund). Po uplynutí této doby nápis zmizí, respektive se přestane vykreslovat.

Časování vykreslování

Překreslování celého systému probíhá po uplynutí nastavené doby. O to se stará Timer nazvaný *tmCas*. Doba jednotlivého překreslení systému (interval) je stanoven na výchozí hodnotě 50 ms. Timer po uplynutí tohoto intervalu vždy sám spustí proceduru starající se o pohyb a překreslení systému. Vše proběhne v těchto krocích:

- Posunutí všech objektů v systému o zvolený časový interval (defultně o 1 den)
- Vykreslení Sluneční soustavy jako celku
- Vypsání informačního nápisu

Závěr

Zadaný úkol se podařilo bez větších obtíží vyřešit.

Největší problém byl s volbou příslušných měřítek pro jednotlivé hodnoty. Sluneční soustava není zjevně vhodná pro zobrazení jako celku ve skutečném měřítku, o čemž svědčí, že většina jejích objektů není ve skutečnosti pouhým okem vůbec viditelná.

Vylepšit by se zde dalo zapracování přesných trajektorií planet a měsíců, což by spolu se skutečnou výchozí polohou dávalo při úpravě měřítek skutečný pohled na stav Sluneční soustavy. Dále by se dal program obohatit o textury a rendering samostatných pohledů na systém, což by se dalo podpořit středovým promítání z různých pozic kamery v systému (průlet Sluneční soustavou). Tato vylepšení by neměla být problém a bude-li čas, možná se o ně někdy i pokusím.

Přehled použité literatury

Literatura

Autor	Název	Rok vydání
Mikulčák Jiří RNDr. a kolektiv	Tabulky matematické, fyzikální a chemické pro střední školy	1988
Pokorný Zdeněk	Astronomické algoritmy pro kalkulátory	1988

Internet

Adresa	Datum čerpání informace
http://projekty.astro.cz/il1/adict/welcome.phtml	3.5.2003
http://ssd.jpl.nasa.gov/sat_elem.html	28.4.2003