
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1234R567 – Název studijního oboru

**Interaktivní mapa hvězdné oblohy jako
dynamické webové stránky**

Interactive sky chart using dynamic web pages

Bakalářská práce

Autor:	Martin Brenner
Vedoucí práce:	Ing. Petr Kretschmer
Konzultant:	Mgr. David Kmoch

V Liberci 29. 5. 2009

Poděkování

Děkuji Ing. Petru Kretschmerovi za vedení práce a za ochotu, se kterou mi poskytoval svoje cenné rady a připomínky k práci. Dále bych chtěl tímto poděkovat všem, kteří mně podporovali, zejména pak svým příbuzným.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Anotace

Bakalářské práce se zabývá zejména úvodem do programování 3D grafiky, aplikované na příkladu nebeské mechaniky. Nejdříve je zde popsán princip zdánlivého pohybu těles po obloze a dále se text zaměřuje na základní užití matic v geometrických transformacích a jejich princip implementace v softwarové 3D aplikaci. Na konci dokumentu jsou i ukázky výstupu finální aplikace.

Annotation

Bachelor work primarily deals with basics of 3D programming, applied to an example of a celestial mechanics problem. At first, there is described a principle of a apparent daily motion of stars around the Earth. Next the text focuses on using of matrixes in geometric transformation and a principle of a implementation in a software 3D application. There are several previews of a final application output at the end of the document.

Klíčová slova

Nebeská mechanika, matice, vektor, hvězdný čas, 3D programování, php, GD, planeta, hvězda, sférické souřadnice, systém, zdánlivý pohyb po obloze, mapa oblohy.

Keywords

Celestial mechanics, matrix, vector, star time, 3D programming, php, GD, planet, star, spherical coordinates, system, apparent daily motion, sky chart.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Vymezení cílů.....	1
1.2	Popis problému.....	1
2	Nebeská mechanika.....	3
2.1	Základní pojmy.....	3
2.1.1	Juliánské datum.....	3
2.1.1.1	Výpočet juliánského data z občanského data	3
2.1.2	Hvězdný čas.....	4
2.1.2.1	Výpočet místního hvězdného času	4
2.1.3	Sférické souřadnice	5
2.1.3.1	Transformace sférických souřadnic na kartézské.....	5
2.1.3.2	Transformace kartézských souřadnic na sférické.....	5
2.1.4	Nebeská sféra.....	6
2.1.4.1	Nebeský rovník.....	6
2.1.4.2	Jarní a podzimní bod	7
2.1.4.3	Nebeské póly	7
2.1.4.4	Deklinační kružnice	7
2.1.4.5	Kolur rovnodennosti.....	7
2.1.4.6	Paralela.....	7
2.1.4.7	Zenit a nadir.....	7
2.1.4.8	Ekliptika	7
2.1.4.9	Meridián.....	7
2.1.4.10	Horizont.....	8
2.1.4.11	Almukantaráty	8
2.1.4.12	Vertikály.....	8
2.1.4.13	Severní, jižní, západní a východní bod	8
2.1.5	Astronomické souřadnice	8
2.1.5.1	Rovníkové souřadnice, rektascenze a deklinace	8
2.1.5.2	Obzorníkové souřadnice, azimut a výška nad obzorem.....	9
2.1.5.3	Ekliptikální souřadnice, astronomická šířka a délka	10
2.2	Pohyb planet.....	10
2.2.1	Elementy dráhy	11
2.2.1.1	Velká poloosa dráhy.....	11
2.2.1.2	Excentricita.....	11

2.2.1.3	Sklon dráhy	12
2.2.1.4	Střední délka	12
2.2.1.5	Argument délky pericentra	12
2.2.1.6	Délka vzestupného uzlu	12
2.2.1.7	Argument šířky pericentra	12
2.2.1.8	Střední anomálie	13
2.2.2	Postup pro výpočet přibližných poloh planet	13
2.2.2.1	Řešení Keplerovi rovnice	15
2.2.2.2	Chyby ve výpočtech	15
3	Úvod do teorie 3D prostoru	17
3.1	<i>Matice</i>	17
3.1.1	Vektor	18
3.1.1.1	Normálový vektor	19
3.1.1.2	Normovaný vektor	20
3.2	<i>Násobení matic</i>	20
3.2.1	Násobení matice a vektoru	21
3.3	<i>Homogenní souřadnice</i>	22
3.4	<i>Geometrické transformace</i>	23
3.4.1	Posun	23
3.4.2	Rotace v 3D prostoru	23
3.4.3	Zvětšení	24
3.4.4	Paralelní projekce	24
3.4.5	Skládání transformací	25
3.5	<i>Azimutální projekce</i>	26
3.5.1	Gnómičká projekce	27
3.5.2	Stereografická projekce	27
3.5.3	Ortografická projekce	27
3.5.4	Externí projekce	28
4	Řešení a implementace	29
4.1	<i>GD knihovna</i>	29
4.2	<i>Geometrická roura</i>	30
4.3	<i>Funkce a procedury pro práci s 3D grafikou</i>	33
5	Závěr	36
5.1.1	Instalace aplikace na server	36
5.2	<i>Výsledné uživatelské rozhraní</i>	36

5.2.1	Nastavitelné parametry	36
5.3	Kontrola matematického modelu	38
5.4	Zhodnocení výsledků	40
5.5	Úvaha o možném vylepšení	40
	Přílohy	41
Příloha A	Ukázky výstupu aplikace Hvězdná mapa	41
Příloha B	Elementy drah validní pro epochu J2000	47
	Použité zdroje	48
	Obsah CD	50

Seznam obrázků

Obrázek 2.1:	Sférické souřadnice	5
Obrázek 2.2:	Nebeská sféra	6
Obrázek 2.3:	Rovníkové souřadnice	9
Obrázek 2.4:	Obzorníkové souřadnice	10
Obrázek 2.5:	Vnější elementy dráhy	11
Obrázek 2.6:	Vnitřní elementy dráhy	11
Obrázek 3.1:	Souřadnicové systémy	17
Obrázek 3.2:	Normálový vektor	19
Obrázek 3.3:	Geometrická interpretace azimutálních zobrazení	26
Obrázek 3.4:	Dvojitě stereografické zobrazení	28
Obrázek 5.1:	Ukázka grafického návrhu	37
Obrázek 5.2:	Aplikace Hvězdná Mapa	38
Obrázek 5.3:	Aplikace Your Sky	38
Obrázek 5.4:	Aplikace Hvězdná Mapa	39
Obrázek 5.5:	Aplikace Your Sky	39
A – 1:	Pohled na severní nebeský pól z území ČR	41
A – 2:	Použití funkce přiblížení	42
A – 3:	Ukázka zakreslení planet, Měsíce a Slunce	43
A – 4:	Planety na ekliptice	44
A – 5:	Ukázka výpočtu bez načítání hvězd a zobrazování čar	45
A – 6:	Ukázka funkce průhlednost horizontu	46

1 Úvod

1.1 Vymezení cílů

Záměrem je vytvořit interaktivní mapu hvězdné oblohy jako dynamické webové stránky tak, aby aplikace zobrazila výřez nebeské oblohy na základě uživatelem zvolených parametrů. Hlavními parametry jsou zejména souřadnice místa pozorování na zemi, čas a směr pozorování. Dalšími požadovanými volitelnými nastaveními jsou například přiblížení zvolené oblasti, omezení viditelnosti hvězd v závislosti na jejich jasnosti nebo možnost zvolit různé projekce. Dále je požadováno, aby se v mapě zobrazily hvězdy z katalogu a také planety sluneční soustavy, Slunce a Měsíc.

Pro realizaci musí být použit skriptovací jazyk PHP a modul GD, který obsahuje funkce pro práci s grafikou. Výsledkem tedy bude aplikace pracující téměř pouze na straně serveru. Vstupní údaje by se měli zadávat například pomocí formuláře XHTML upraveného pomocí kaskádových stylů CSS nebo javascript. Výstupem by pak měl být vygenerovaný obrázek, vykreslený modulem GD a upravený v XHTML jako citlivá mapa.

1.2 Popis problému

Úloha má vcelku abstraktní zadání a k jejímu úspěšnému dokončení je potřeba zvládnout základy několika disciplín, převážně pak matematických. Jedná se o následující disciplíny: nebeská mechanika, lineární algebra, geometrie, kartografie a programování.

Nebeská mechanika se zabývá problémem jak popsat přibližný pohyb vesmírných těles prostorem. Je nutno pochopit princip zdánlivého pohybu viditelných vesmírných objektů po obloze, jako například hvězdy nebo planety.

K realizaci matematického modelu je nutno použít virtuální 3D prostor, kde je hojně využíváno geometrických transformací. Jelikož je aplikace tvořena ve velice atypickém programovacím jazyce pro práci s vektorovou grafikou, nejsou k dispozici žádné pomocné knihovny pro tvorbu matic, vektorů aj. Je ale k dispozici knihovna GD, která poskytuje vcelku slušné základní funkce pro práci s 2D grafikou.

Matematický model tedy nejdříve získá potřebné rovníkové souřadnice odpovídající pozici na hvězdné sféře pro epochu J2000 všech dostupných objektů, jako hvězdy nebo planety a transformuje je do souřadnic obzorníkových (tzn. vůči času, místu a směru pozorování). Nakonec aplikuje azimutální projekci povrchu sféry do 2D roviny. Výstupem jsou souřadnice objektů x a y odpovídající obrazovým bodům na obrázku, kde počátek systému je ve středu obrázku a osa x směřuje doprava, osa y dolů a osa z směrem do monitoru.

2 Nebeská mechanika

Nebeská mechanika se zabývá popisem pohybu vesmírných těles vesmírem a určováním jejich drah. Historie se traduje do dob Druidů a od té doby tento vědní obor prošel značným vývojem.

Metody klasické nebeské mechaniky jsou odvozeny od Newtonova zákona všeobecné gravitace a jeho tří pohybových zákonů. Jelikož se ale problém n -těles řeší složitými numerickými metodami, které jsou velice náročné na výkon počítače, používají se pro získání pozic těles v závislosti na čase výpočty, které využívají elementů dráhy získané z předešlých pozorování. K dispozici jsou tedy rovníkové souřadnice jednotlivých hvězd a elementy drah planet naměřených dne 1. 1. 2000 v čase 00:00 neboli epochu J2000.

Zanedbají-li se některé vlivy, tak hvězdy a planety se od sebe liší tím, že hvězdy lze považovat za stálice. Narozdíl od planet tak nejsou rovníkové souřadnice hvězd pro danou epochu závislé na čase.

2.1 Základní pojmy

2.1.1 Juliánské datum

Juliánské datum, též juliánský den, je spojitá časová škála, používaná v astronomii zejména pro sledování dlouhých a periodických časových úseků. Je definována jako počet dní (tj. úseků dlouhých 86 400 sekund), které uplynuly od poledne světového času dne 1. ledna roku 4713 př. Kristem. Zapisuje se jako desetinné číslo, přičemž zlomková část čísla odpovídá příslušnému dílu dne. Mnohdy se v zápisu čísla vypouštějí mezery mezi číslicemi za miliony a tisíce.

Juliánské datum je používáno zejména pro určování specifických okamžiků v pohybu nebeských těles.

2.1.1.1 Výpočet juliánského data z občanského data

Juliánské datum **JD** se z občanského data, kde **R** značí rok, **M** měsíc a **D** den, vypočítá podle následujícího algoritmu:

$$\text{Pro } M < 3: f = M + 12, g = R - 1, \quad \text{Pro } M \geq 3: f = M, g = R,$$

$$JD = D + \left[\frac{153f - 457}{5} \right] + 365g + \left[\frac{g}{4} \right] - \left[\frac{g}{100} \right] + \left[\frac{g}{400} \right] + 1721118.5, \quad (2.1)$$

kde podíl v hranaté závorce značí dělení beze zbytku, tedy výsledek daného podílu je číslo s useknutou desetinnou čárkou.

2.1.2 Hvězdný čas

Dříve byl hvězdný čas určován měřením, dnes se častěji používá jeho číselná aproximace, která vychází z dříve naměřených hodnot. V astronomii se hvězdný čas užívá například k popisu zdánlivého pohybu hvězd po obloze.

Na rozdíl od slunečního dne, hvězdný den netrvá 24 hodin, ale pouze 23 hodin, 56 minut a 4,09 sekundy. Rozdíl je způsoben tím, že zatímco Země vykoná jednu otáčku vůči hvězdám, posune se zároveň po své dráze kolem Slunce asi o 2,5 milionu kilometrů. Za jeden rok tedy vykoná Země o jednu otáčku více vůči vzdáleným hvězdám než vůči Slunci. Rozdíl přepočítaný na jeden den dává necelé 4 minuty. Hvězdný a sluneční čas mají stejnou hodnotu jednou za rok.

2.1.2.1 Výpočet místního hvězdného času

K výpočtu je třeba znát juliánské datum pro daný den v 00:00 hodin světového času JD_0 a časový okamžik T , což je počet uplynulých století ode dne 1. 1. 2000 a čase 00:00 hodin. Pomocí aproximace třetího řádu se určí hvězdný čas o půlnoci světového času v Greenwichi S_0 . Nakonec, v závislosti na zeměpisné délce l , se určí místní hvězdný čas S .

$$T = (JD_0 - 2451545.0) / 36525, \quad (2.2)$$

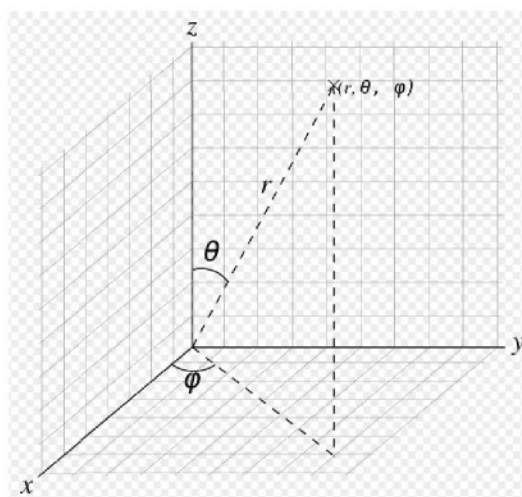
$$S_0 = 6.697374558 + 2400.05133691T + 0.000025862T^2 - 0.0000000017T^3, \quad (2.3)$$

$$S = S_0 + 1.0027379093t + l/15, \quad (2.4)$$

kde proměnná t značí občanský universální světový čas (UT) vyjádřený v hodinách:
 $t = \text{hodiny} + \text{minuty} / 60 + \text{sekundy} / 3600$.

2.1.3 Sférické souřadnice

Sférická soustava souřadnic viz obr. 2.1 je soustava souřadnic v prostoru, u které jedna souřadnice r udává vzdálenost bodu od počátku souřadnic, druhá souřadnice φ udává úhel odklonu průvodiče bodu od osy x a třetí souřadnice θ úhel mezi průvodičem a osou z



Obrázek 2.1: Sférické souřadnice [20]

2.1.3.1 Transformace sférických souřadnic na kartézské

$$\begin{aligned}x &= r \sin \theta \cos \varphi, \\y &= r \sin \theta \sin \varphi, \\z &= r \cos \theta.\end{aligned}\tag{2.5}$$

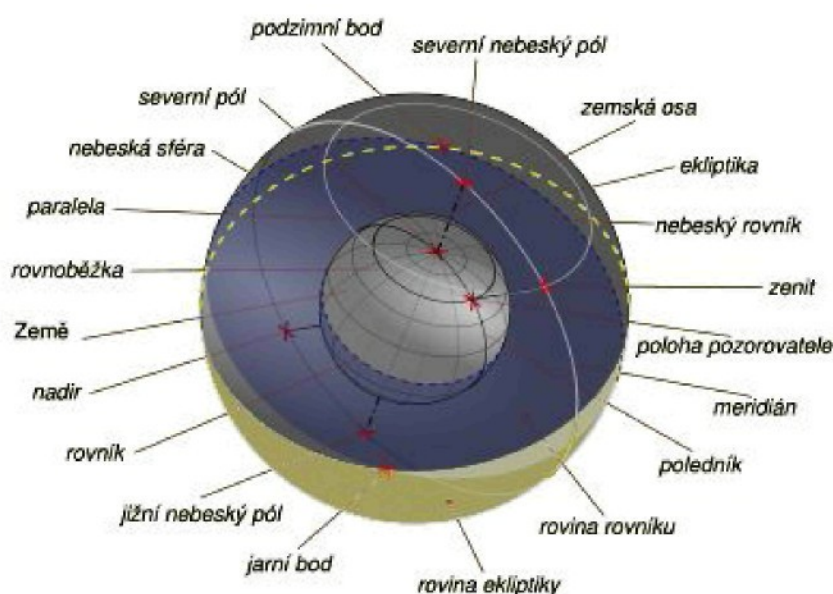
2.1.3.2 Transformace kartézských souřadnic na sférické

$$\begin{aligned}r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \\ \varphi &= \arctan\left(\frac{y}{x}\right), \\ \theta &= \arccos\left(\frac{z}{r}\right).\end{aligned}\tag{2.6}$$

kde $\arctg 2(y, x)$ je zobecněním funkce arkus tangens.

2.1.4 Nebeská sféra

Nebeská sféra viz obr. 2.2 nebo také světová sféra je myšlená koule nebo někdy jen polokoule, v jejímž středu stojí pozorovatel dívající se na noční oblohu a do které se promítá pohyb všech viditelných těles vesmíru. Většina těles je ovšem od Země velice daleko a pozorovatel pak nemůže rozpoznat, co je dál a co je blíž. Nebeská sféra je definována jako nekonečně vzdálená sférická plocha. Promítat na ní, znamená vidět na obloze objekty, či myšlené pomocné křivky a body a odměřovat jejich vzájemné polohy většinou ve stupních (sférické souřadnice). Pro ilustraci nebeské sféry je třeba zvolit vlastní poloměr, jelikož nekonečně velikou sféru nelze zobrazit.



Obrázek 2.2: Nebeská sféra ^[12]

2.1.4.1 Nebeský rovník

Promítnutím zemského rovníku na nebeskou sféru vznikne tzv. nebeský (světový) rovník viz obr. 2.2. Nebeský rovník je kružnice, která od sebe odděluje obě polokoule nebeské sféry, jedná se tedy o hlavní kružnici sféry. Nebeský rovník často bývá na mapách speciálně vyznačen.

2.1.4.2 Jarní a podzimní bod

Nazývané též body rovnodennosti. Jarní bod viz obr. 2.2 je velice významný bod nacházející se na nebeské sféře, definován jako středový průmět Slunce na nebeskou sféru při jarní rovnodennosti, tj. 20. -21. března. Tento bod má rovníkové souřadnice rektascenze a deklinace rovny nule. Opakem k jarnímu bodu je podzimní bod, který je k jarnímu bodu středově souměrný.

2.1.4.3 Nebeské póly

Nebeské póly viz obr. 2.2 jsou průsečíky zemské osy s nebeskou sférou. Rozlišuje se severní nebeský pól a jižní nebeský pól.

2.1.4.4 Deklinační kružnice

Deklinační kružnice viz obr. 2.2 jsou hlavní kružnice nebeské sféry, které jsou kolmé na nebeský rovník. Lze si je představit jako „nebeské poledníky“.

2.1.4.5 Kolur rovnodennosti

Kolur rovnodennosti viz obr. 2.2 je speciální případ deklinační kružnice, která prochází body rovnodennosti, jarním a podzimním bodem. Stejně jako nebeský rovník bývá tato deklinační kružnice speciálně označena.

2.1.4.6 Paralela

Paralely viz obr. 2.2 jsou hlavní kružnice nebeské sféry rovnoběžné s nebeským rovníkem. Lze si je představit jako „nebeské rovnoběžky“.

2.1.4.7 Zenit a nadir

Zenit neboli nadhlavník viz obr. 2.2 a obr. 2.4 je speciální bod nacházející se na nebeské sféře, získaný jako průsečík s přímkou směru tíže procházející středem nebeské sféry. Opakem zenitu je nadir neboli podnožník.

2.1.4.8 Ekliptika

Ekliptika viz obr. 2.2 je kružnice získaná jako středový průmět oběžné dráhy Země okolo Slunce na nebeskou sféru. Ekliptika vlastně představuje zdánlivou trajektorii Slunce po obloze. S nebeským rovníkem svírá úhel přibližně $23^{\circ}27'04''$.

2.1.4.9 Meridián

Meridián viz obr. 2.2 a obr. 2.4 neboli místní nebeský poledník je hlavní kružnice nebeské sféry procházející jižním bodem, světovými póly a zenitem a nadirem.

Jižní strana meridiánu se překrývá s deklinační kružnicí, jejíž rektascenze se udává v hodinách nebo stupních a tato hodnota odpovídá hodnotě místního hvězdného času.

2.1.4.10 Horizont

Základní rovina obzorníkových souřadnic protíná nebeskou sféru v hlavní kružnici, která se nazývá horizont neboli obzorník viz obr. 2.4. Horizont pŕlí nebeskou sféru na dvě stejné poloviny, z nichž jednu nám zakrývá Země.

2.1.4.11 Almukantaráty

Almukantaráty jsou vedlejší kružnice na nebeské sféře rovnoběžné s horizontem viz obr 2.4.

2.1.4.12 Vertikály

Vertikály viz obr 2.4, neboli výškové kružnice jsou hlavní kružnice na nebeské sféře kolmé k horizontu. Speciálním případem je první vertikál, což je vertikál orientován směrem východ-západ.

2.1.4.13 Severní, jižní, západní a východní bod

Severní a jižní bod jsou průsečíky meridiánu s horizontem, kdežto východní a západní bod jsou průsečíky první vertikály s horizontem viz obr. 2.4. V geografii se značí 0° sever, 90° východ, 180° jih a 270° západ. V astronomii se užívá označení kladně od jihu 0° směrem k západu, ale není to nějaké výhradní pravidlo.

2.1.5 Astronomické souřadnice

Astronomické souřadnice určují polohu bodu na nebeské sféře pomocí dvou úhlu (sférické souřadnice) obdobně jako jsou zeměpisná šířka a délka. V aplikaci je ale nutno pracovat s transformovanými souřadnicemi na souřadnice kartézské neboli pravouhlé. V astronomii se pak používá několik souřadných systému, které se liší polohou základní roviny a počátkem.

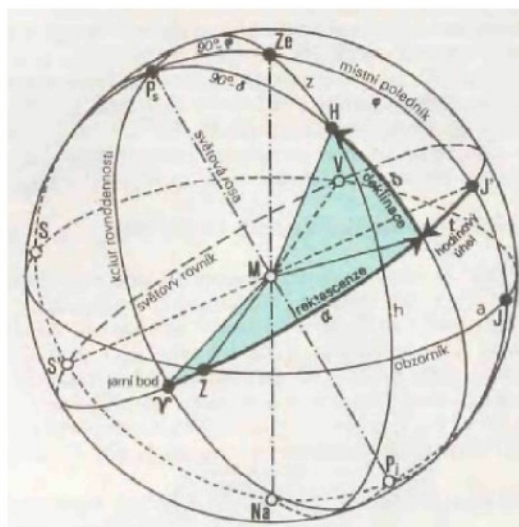
2.1.5.1 Rovníkové souřadnice, rektascenze a deklinace

Rovníkové souřadnice viz obr. 2.3 se udávají ve dvou úhlech a značí se rektascenze a deklinace. Základní rovinou je rovina nebeského rovníku a další důležitou rovinou je rovina koluru rovnodennosti, která je na rovinu nebeského rovníku kolmá a prochází jarním bodem.

Deklinace δ je definována jako úhel, značený ve stupních, mezi tělesem a rovinou nebeského rovníku.

Rektascenze α je definována jako úhel, značený v hodinách nebo stupních, mezi polorovinou koluru rovnodennosti a polorovinou procházející tělesem, středem nebeské sféry a nebeskými póly.

V kartézských souřadnicích pak osa x směřuje k jarnímu bodu a osa z k severnímu nebeskému pólu.



Obrázek 2.3: Rovníkové souřadnice ^[17]

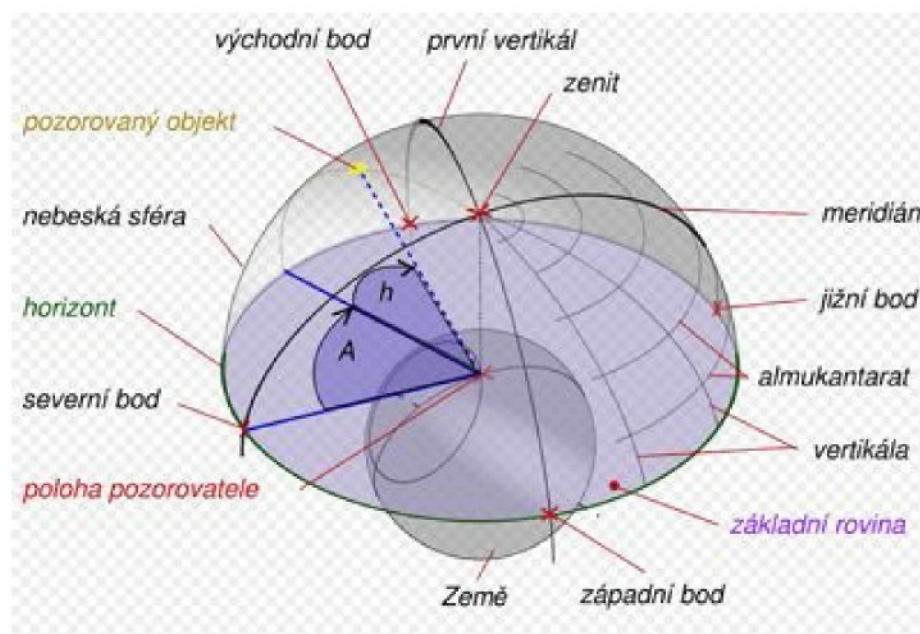
Rovníkové souřadnice určují pozici vesmírných těles na nebeské sféře. Jelikož jsou hvězdy stálce, tyto souřadnice jsou tedy neměnné. Pro získání rovníkových souřadnic planet je třeba nejdříve spočítat ekliptikální souřadnice a ty pak následně transformovat do souřadnic rovníkových nebo obzorníkových.

2.1.5.2 Obzorníkové souřadnice, azimut a výška nad obzorem

Obzorníkové souřadnice viz obr. 2.4 se udávají ve dvou úhlech a značí se azimut a výška nad obzorem. Základní rovinou je rovina horizontu (obzorníku) a další důležitou rovinou je rovina místního nebeského poledníku (meridián). Pro výpočty se též používá úhel nazývaný zenitová vzdálenost, což je doplněk výšky h do 90° .

Výška nad obzorem h je definována jako úhel, značený ve stupních, který svírá těleso s rovinou horizontu.

Azimut A je definován jako úhel, značený ve stupních, který svírá polorovina procházející tělesem, místem pozorovatele a nebeskými póly s jižní polorovinou meridiánu měřen a to buď směrem od jižního bodu kladně přes západní bod, nebo od severního bodu kladně přes východní bod.



Obrázek 2.4: Obzorníkové souřadnice ^[17]

2.1.5.3 Ekliptikální souřadnice, astronomická šířka a délka

Ekliptikální souřadnice se udávají ve dvou úhlech a značí se astronomická šířka a astronomická délka. Základní rovinou je rovina ekliptiky a další důležitou rovinou je rovina procházející póly ekliptiky.

Astronomická šířka je úhel, který svírá těleso s rovinou ekliptiky.

Astronomická délka je úhel, který se měří proti směru denního pohybu oblohy.

2.2 Pohyb planet

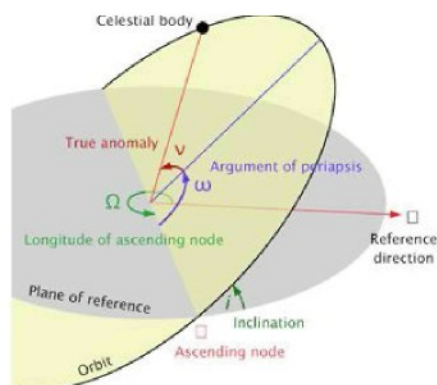
Pro výpočet poloh planet se využívá třech zákonů, které popsal Johannes Kepler v 17. století. Z prvního zákona vyplývá, že planety se pohybují po rovinných křivkách podobné elipsám kolem stálého středu. Z druhého pak, že plošná rychlost je konstantní a třetí zákon říká, že planety blízko Slunce jej oběhnou dříve než ty vzdálené.

Z těchto tří zákonů Johannes Kepler odvodil elementy dráhy tělesa a na svou dobu s obdivuhodnou přesností rovnici pro výpočet poloh planet z těchto elementů. Dodnes se tohoto postupu využívá v důležitých aplikacích, kde není nutná absolutní přesnost. Hojně jich využívají observatoře pro plánování rozvrhů, zaměřování dalekohledů, simulování jistých fenomén nebo jich je například využíváno i k navrhování kosmických letů.

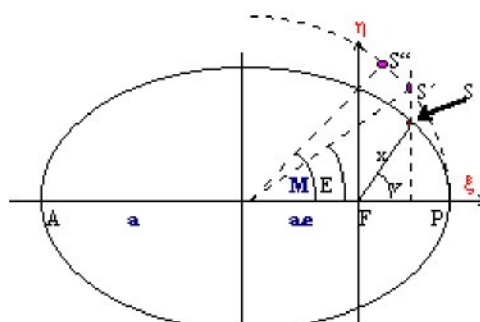
2.2.1 Elementy dráhy

Přibližná pozice devíti hlavních planet sluneční soustavy může být spočtena užitím Keplerovi rovnice s odpovídajícími elementy a jejich přírůstky. Elementy jsou platné pouze pro jistý časový interval s nimi spjatý a mimo tento interval nejsou výsledky relevantní.

Základních elementů je celkem 6, ale v praxi se užívají i elementy odvozené. Rozlišují se vnější keplerovi elementy obr. 2.5 a vnitřní keplerovi elementy obr. 2.6.



Obrázek 2.5: Vnější elementy dráhy ^[13]



Obrázek 2.6: Vnitřní elementy dráhy ^[16]

2.2.1.1 Velká poloosa dráhy

Velká poloosa dráhy a viz obr. 2.6 je definována jako střední vzdálenost tělesa od hmotného středu soustavy vyjádřená v astronomických jednotkách AU.

2.2.1.2 Excentricita

Excentricita neboli výstřednost dráhy udává typ oběžné dráhy a její tvar. Značí se e a její význam spočívá v určení, jak moc se křivka liší od kružnice.

Pro kružnici je tedy $e = 0$, pro elipsu $0 < e < 1$, pro parabolu $e = 1$ a pro hyperbolu $e > 1$.

2.2.1.3 Sklon dráhy

Sklon dráhy viz obr. 2.5 je definován jako úhel, který svírá rovina dráhy se základní rovinou příslušné souřadné soustavy. Značí se i a vyjadřuje v úhlových stupních.

2.2.1.4 Střední délka

Střední délka je definována jako úhel, který směřuje na pozici, kde by dané těleso bylo, kdyby oběžná dráha byla kružnice a inklinace by byla nulová. Značí se L a vyjadřuje se v úhlových stupních.

2.2.1.5 Argument délky pericentra

Argument délky pericentra je jedním z alternativních elementů dráhy. Je definován jako lomený úhel, který měříme nejprve v základní rovině souřadné soustavy ve směru od kladné osy x ke kladné ose y (při pohledu shora, tj. od kladných hodnot souřadnice z) až do vzestupného uzlu. Potom se měří v rovině oběžné dráhy ve směru pohybu obíhajícího tělesa od vzestupného uzlu k pericentru dráhy. Značí se ϖ a vyjadřuje se v úhlových stupních.

2.2.1.6 Délka vzestupného uzlu

Délka vzestupného uzlu viz obr. 2.5 je definován jako úhel, který svírá průvodič polohy tělesa nacházejícího se ve vzestupném uzlu své dráhy se směrem kladné osy x v základní rovině příslušné souřadné soustavy. Tento úhel se vždy měří v základní rovině souřadné soustavy ve směru od kladné osy x ke kladné ose y (při pohledu shora, tj. od kladných hodnot souřadnice z). Značí se Ω a vyjadřuje se v úhlových stupních.

2.2.1.7 Argument šířky pericentra

Argument šířky pericentra viz obr. 2.5 je definován jako úhel, který svírá průvodič tělesa nacházejícího se ve vzestupném uzlu dráhy se směrem průvodiče téhož tělesa nacházejícího se v pericentru své dráhy. Značí se ω a vyjadřuje se ve stupních. Tento úhel se vždy měří v rovině oběžné dráhy ve směru pohybu obíhajícího tělesa od vzestupného uzlu k pericentru dráhy.

2.2.1.8 Střední anomálie

Střední anomálie viz obr. 2.6 je definována jako úhel, který by opsal průvodič polohy tělesa pohybujícího se po kruhové dráze o poloměru r rovném velké poloose a skutečné dráhy od okamžiku průchodu pericentrem T_0 do daného okamžiku T . Střední anomálie se značí M a vyjadřuje se v úhlových stupních.

2.2.2 Postup pro výpočet přibližných poloh planet

Následující algoritmus spolu s elementy dráhy pro čas J2000 je převzat z oficiálních stránek NASA ^[8]. K řešení Keplerovi rovnice je využit algoritmus Newtonovy metody.

Označení důležitých elementů užitých v algoritmu:

$a_0, \dot{a}$: velká poloosa dráhy [$au, au / století$],

$e_0, \dot{e}$: excentricita [$, / století$],

$I_0, \dot{I}$: sklon dráhy [$stupně, stupně / století$],

$L_0, \dot{L}$: střední délka [$stupně, stupně / století$],

$\varpi_0, \dot{\varpi}$: argument délky pericentra [$stupně, stupně / století$] ($\varpi = \omega + \Omega$),

$\Omega_0, \dot{\Omega}$: délka vzestupného uzlu [$stupně, stupně / století$].

- Nejdříve je třeba spočítat počet století uplynulých od data J2000.0 T podle rovnice (2.2).
- Dále je nutno určit hodnoty pro každý z šesti elementů: $a = a_0 + \dot{a} T$ a analogicky i pro ostatní elementy.

- Nyní již lze určit argument šířky pericentra ω a střední anomálii M :

$$\omega = \varpi - \Omega, \quad (2.7)$$

$$M = L - \varpi. \quad (2.8)$$

Střední anomálie se přepočítá tak, aby pasovala do intervalu $\langle -180^\circ, 180^\circ \rangle$.

- Výsledkem řešení Keplerovi rovnice je výstřední anomálie E viz obr. 3.6:

$$M = E - e^* \sin E, \quad (2.9)$$

$$\text{Kde } e^* = 180 / \pi e = 57.29578e.$$

- Na základě spočítané výstřední anomálie se určí heliocentrické souřadnice planet vzhledem k jejich orbitální rovině, kde kladná osa x směřuje od ohniska do pericentra:

$$\begin{aligned} x' &= a(\cos E - e), \\ y' &= a\sqrt{1-e^2} \sin E, \\ z' &= 0. \end{aligned} \quad (2.10)$$

- Je-li potřeba, lze dále souřadnice transformovat na souřadnice ekliptikální, $\mathbf{r}_{\text{ecl}}$, vztažené k rovině ekliptiky pro J2000, kde osa x směřuje k jarnímu bodu:

$$\mathbf{r}_{\text{ecl}} = \mathbf{M}\mathbf{r}' \equiv \mathbf{R}_z(-\Omega)\mathbf{R}_x(-I)\mathbf{R}_z(-\omega)\mathbf{r}', \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} x_{\text{ecl}} &= (\cos \omega \cos \Omega - \sin \omega \sin \Omega \cos I)x' + (-\sin \omega \cos \Omega - \cos \omega \sin \Omega \cos I)y', \\ y_{\text{ecl}} &= (\cos \omega \sin \Omega - \sin \omega \cos \Omega \cos I)x' + (-\sin \omega \sin \Omega + \cos \omega \cos \Omega \cos I)y', \\ z_{\text{ecl}} &= (\sin \omega \sin I)x' + (\cos \omega \sin I)y'. \end{aligned} \quad (2.12)$$

- Nakonec se pro určení polohy na nebeské sféře převádějí ekliptikální souřadnice na souřadnice rovníkové, $\mathbf{r}_{eq}$:

$$\begin{aligned}x_{eq} &= x_{ecl}, \\y_{eq} &= \cos \varepsilon \cdot y_{ecl} - \sin \varepsilon \cdot z_{ecl}, \\z_{eq} &= \sin \varepsilon \cdot y_{ecl} + \cos \varepsilon \cdot z_{ecl},\end{aligned}\tag{3.13}$$

kde sklon ekliptiky v čase J2000 je $\varepsilon = 23^\circ.43928$.

2.2.2.1 Řešení Keplerovi rovnice

Keplerova rovnice lze řešit například pomocí numerické metody nazývané iterace. Je-li známa střední anomálie M a výstřednost e^* , obojí zadáno ve stupních, začne se postup následovně:

$$E_0 = M + e^* \sin M\tag{2.14}$$

a pokračuje iterací následujících tří rovnic kde $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, dokud není $|\Delta E| \leq tol$, (e^* je zadáno ve stupních, e je v radiánech):

$$\begin{aligned}\Delta M &= M - (E_n - e^* \sin E_n), \\ \Delta E &= \Delta M / (1 - e \cos E_n), \\ E_{n+1} &= E_n + \Delta E.\end{aligned}\tag{2.15}$$

Pro přibližnou formuli by mělo stačit nastavit hodnotu $tol = 10^{-6}$.

2.2.2.2 Chyby ve výpočtech

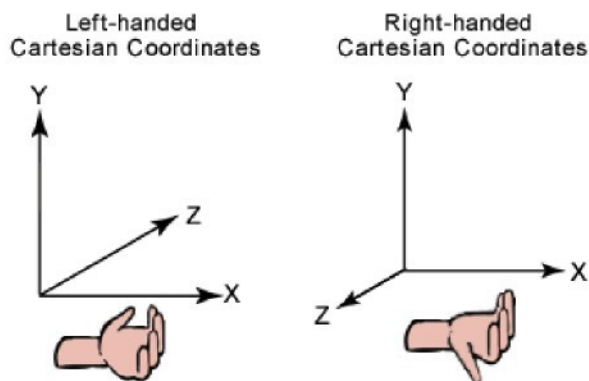
Pro uvedený algoritmus uvádí NASA chyby ve výpočtu rovníkových souřadnic rektascenze RA , deklinace Dec a vzdálenost r viz tab. 2.1.

tabulka 2.1: Odchylky ve výpočtu ^[8]

	1800 -- 2050			3000 BC to 3000 AD		
	RA (arcsec)	Dec. (arcsec)	r (1000km)	RA (arcsec)	Dec. (arcsec)	r (1000km)
Merkur	15	1	1	20	15	1
Venuše	20	1	4	40	30	8
Země-Měsíc						
Bary centrum	20	8	6	40	15	15
Mars	40	2	25	100	40	30
Jupiter	400	10	600	600	100	1000
Saturn	600	25	1500	1000	100	4000
Uran	50	2	1000	2000	30	8000
Neptun	10	1	200	400	15	4000
Pluto	5	2	300	400	100	2500

3 Úvod do teorie 3D prostoru

Grafické 3D aplikace obvykle používají dva typy kartézských souřadnicových systémů: levotočivý a pravotočivý.



Obrázek 3.1: Souřadnicové systémy ^[10]

3.1 Matice

Matice je v matematice obdélníková tabulka čísel nebo nějakých matematických objektů tzv. prvků matice (též elementů matice). Obsahuje obecně m řádků a n sloupců. Hovoří se pak o matici typu $m \times n$. Matice se často využívají pro vyjádření obecné rotace vektorů, transformace vektorů od jedné báze k bázi jiné, k výpočtu soustav lineárních rovnic. Pro označení matic se používají velká písmena tištěná tučně, jako $\mathbf{A}$.

Prvky matice jsou označeny indexy udávajícími řádek a sloupec, v nichž se prvek nalézá. Prvek v i -tém řádku a j -tém sloupci matice $\mathbf{A}$ se obvykle značí a_{ij} . Obecně se matice $\mathbf{A}$ o rozměrech $m \times n$ zapisuje ve tvaru:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_{n(m-1)} \\ a_{m1} & \dots & a_{m(n-1)} & a_{mn} \end{pmatrix}. \quad (3.1)$$

V praxi se také používá tzv. transponovaná matice $\mathbf{A}^T$ k matici $\mathbf{A}$. Tato matice se získá tak, že se prohodí sloupce s řádky matice $\mathbf{A}$:

$$\mathbf{A}^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} \\ a_{12} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_{m(n-1)} \\ a_{1n} & \dots & a_{n(m-1)} & a_{mn} \end{pmatrix}. \quad (3.2)$$

Zavádí se i speciální případ matice $\mathbf{I}_n$, nazývanou maticí identity neboli jednotková matice. Tato matice má rozměr $n \times n$ a obecně se zapisuje ve tvaru:

$$\mathbf{I}_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (3.3)$$

3.1.1 Vektor

Vektor je speciální případ matice a matematicky je definován jako uspořádaná n -tice prvků (typicky čísel), označovaných jako složky vektoru. Obecněji lze vektor chápat jako abstraktní prvek vektorového prostoru. Na rozdíl od skaláru nese vektor kromě čísla i směr. Počet složek vektoru souvisí s dimenzí vektorového prostoru. Pro značení vektorů se používají malá tučně tištěná písmena, jako $\mathbf{a}$. Obecně lze vektor $\mathbf{a}$ zapsat:

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_{n-1} \\ a_n \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

kde vektor $\mathbf{a}$ je nazýván sloupcovým vektorem. Jinou možností zápisu je transponovaný vektor $\mathbf{a}^T$ neboli vektor řádkový zapsán ve tvaru:

$$\mathbf{a}^T = (a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_{n-1} \quad a_n), \quad (3.5)$$

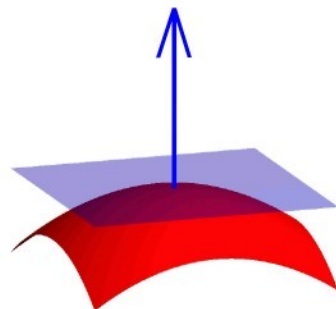
kde $a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n$ jsou složky vektoru $\mathbf{a}$ respektive vektoru $\mathbf{a}^T$. V kartézském souřadnicovém systému se potom používá značení pro vázaný polohový vektor bodu v prostoru:

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad (3.6)$$

kde x se nazývá *x-ovou* složku vektoru $\mathbf{r}$, y pak *y-ovou* složku vektoru $\mathbf{r}$ a z jako *z-vou* složku vektoru $\mathbf{r}$.

3.1.1.1 Normálový vektor

Normálový vektor $\mathbf{n}$ v tří dimenzionálním prostoru je kolmice k obecné rovině. Pokud nějaká rovina existuje, nazývá se vektor svírající s touto rovinou úhel 90 stupňů, normálovým vektorem k dané rovině. Na obr. 3.2 představuje normálový vektor modrá šipka.



Obrázek 3.2: Normálový vektor ^[18]

3.1.1.2 Normovaný vektor

Normovaný vektor $\mathbf{e}$ má velikost 1. Tento vektor je také označován jako jednotkový vektor nebo směrový vektor. Normovaný vektor $\mathbf{e}$ k vektoru $\mathbf{r}$ se získá dělením všech složek vektoru $\mathbf{r}$ jeho velikostí:

$$\mathbf{e} = \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|}, \quad (3.7)$$

kde $|\mathbf{r}|$ značí velikost vektoru $\mathbf{r}$, která se v tří rozměrném prostoru vypočítá:

$$|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (3.8)$$

Z tohoto jasně plyne, že se dá vektor rozložit na absolutní složku a směrový vektor, tedy:

$$\mathbf{r} = |\mathbf{r}| \mathbf{e}. \quad (3.9)$$

3.2 Násobení matic

Pokud $\mathbf{A}$ je matice $m \times n$ a $\mathbf{B}$ je matice $n \times p$ (tedy pokud první matice má tolik sloupců, kolik má druhá matice řádků, jejich součin $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$ je matice $m \times p$ zadaná:

$$(\mathbf{AB})_{ij} = \sum_{r=1}^n a_{ir} b_{rj} = a_{i1} b_{1j} + a_{i2} b_{2j} + \dots + a_{in} b_{nj}. \quad (3.10)$$

Jednou z velice důležitých vlastností násobení dvou matic je, že maticové násobení není komutativní tedy:

$$\mathbf{AB} \neq \mathbf{BA}.$$

Pro lepší ilustraci je zde uveden příklad násobení dvou tří rozměrných matic $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \mathbf{C}$:

$$\mathbf{AB} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} = \mathbf{C},$$

kde $\mathbf{C}$ je výsledná matice o rozměrech 3x3 a její prvky se získají následovně:

$$\mathbf{AB} = \begin{pmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} + a_{13}b_{31} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} + a_{13}b_{32} & a_{11}b_{13} + a_{12}b_{23} + a_{13}b_{33} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} + a_{23}b_{31} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} + a_{23}b_{32} & a_{21}b_{13} + a_{22}b_{23} + a_{23}b_{33} \\ a_{31}b_{11} + a_{32}b_{21} + a_{33}b_{31} & a_{31}b_{12} + a_{32}b_{22} + a_{33}b_{32} & a_{31}b_{13} + a_{32}b_{23} + a_{33}b_{33} \end{pmatrix} = \mathbf{C}.$$

3.2.1 Násobení matice a vektoru

V praxi se používají dva způsoby jak násobit matici a vektor. V prvním případě se násobí řádkový vektor $\mathbf{r}^T$ maticí $\mathbf{A}^T$:

$$\mathbf{r}'^T = (x' \quad y' \quad z') = \mathbf{r}^T \mathbf{A}^T = (x \quad y \quad z) \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix}, \quad (3.11)$$

pak se výsledný řádkový vektor $\mathbf{r}'^T$ získá následujícím postupem:

$$\mathbf{r}'^T = (x' \quad y' \quad z') = (xa_{11} + ya_{12} + za_{13} \quad xa_{21} + ya_{22} + za_{23} \quad xa_{31} + ya_{32} + za_{33}).$$

V druhém případě se násobí matice $\mathbf{A}$ sloupcovým vektorem $\mathbf{r}$, kde výsledkem je vektor $\mathbf{r}'$:

$$\mathbf{r}' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{r} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} xa_{11} + ya_{12} + za_{13} \\ xa_{21} + ya_{22} + za_{23} \\ xa_{31} + ya_{32} + za_{33} \end{pmatrix}. \quad (3.12)$$

3.3 Homogenní souřadnice

Homogenní souřadnice se zavádějí speciálně pro počítačovou grafiku pro zjednodušení výpočtů, což zvyšuje výkon aplikace. Výhodou je snadná implementace geometrických transformací tvořených násobením matic mezi sebou. Použitím homogenních souřadnic lze sestavit translační matici nebo aplikovat matici perspektivní projekce. Homogenní souřadnice se převádějí z kartézských přidáním čtvrté složky w :

$$\mathbf{r}_h^T = (x, y, z, w), \quad (3.13)$$

kde obvykle homogenní složka $w = 1$.

Matice geometrických transformací se sestavují o rozměrech 4×4 , tak aby umožnily aplikaci geometrických transformací na homogenní souřadnice:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & w \end{pmatrix}, \quad \mathbf{M}^T = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} & m_{41} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} & m_{42} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} & m_{43} \\ m_{14} & m_{24} & m_{34} & w \end{pmatrix}.$$

Převod homogenních souřadnic na kartézské se provede jednoduše:

$$\mathbf{r}_k^T = (x/w, y/w, z/w),$$

$w \neq 0$.

3.4 Geometrické transformace

Geometrické transformace jsou transformace používané v počítačové grafice při přípravě scény. Transformace se aplikují na bod, transformovat objekt tedy znamená transformovat všechny jeho body. Základními transformacemi jsou posun, rotace kolem pevných os, zvětšení, popřípadě zkosení.

3.4.1 Posun

Posun neboli translace je transformace, která udává kterým směrem a o kolik se má bod posunout. Tato matice se značí například $T(t_x, t_y, t_z)$, kde t_x je vzdálenost posunutí ve směru osy x , t_y je vzdálenost posunutí ve směru osy y a t_z je vzdálenost posunutí ve směru osy z . Transformační matice translace a její aplikace na bod:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + t_x \\ y + t_y \\ z + t_z \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.14)$$

3.4.2 Rotace v 3D prostoru

Rotace je transformace, která udává o kolik se vektor otočí kolem jedné z pevných os.

Transformační matice rotace kolem osy x o úhel β $R_x(\beta)$, a její aplikace na bod:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ \cos \beta y - \sin \beta z \\ \sin \beta y + \cos \beta z \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.15)$$

Transformační matice rotace kolem osy y o úhel beta $\mathbf{R}_y(\beta)$ a její aplikace na bod:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta x + \sin \beta z \\ y \\ -\sin \beta x + \cos \beta z \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.16)$$

Transformační matice rotace kolem osy z o úhel beta $\mathbf{R}_z(\beta)$ a její aplikace na bod:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta x - \sin \beta y \\ \sin \beta x + \cos \beta y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.17)$$

3.4.3 Zvětšení

Zvětšení je transformace změny měřítka objektu podle souřadnicových os. Tato matice se značí například $\mathbf{S} (s_x, s_y, s_z)$, kde s_x je velikost zvětšení vzhledem k ose x , s_y je velikost zvětšení vzhledem k ose y a s_z je velikost zvětšení vzhledem k ose z . Transformační matice zvětšení a její aplikace na bod:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} xs_x \\ ys_y \\ zs_z \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.18)$$

3.4.4 Paralelní projekce

Paralelní projekce je nejjednodušší zobrazení, které se používá hlavně k náčrtu scény. V praxi se pak používá složitějších matic umožňujících perspektivní projekci do roviny. Příklad paralelní projekční matice $\mathbf{M}_{\text{projection}}$ a její aplikace na bod:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.19)$$

Jelikož je cílem zobrazit výřez mapy, což znamená promítnout povrch sféry do roviny, je vhodnější použít kartografických azimutálních zobrazení, mezi které se řadí i právě zmiňovaná paralelní projekce viz kapitola 3.5.

3.4.5 Skládání transformací

V praxi se používá skládání transformací pro získání konečného obrazu následujícím způsobem (*DIRECTX9*):

$$\mathbf{P}^{iT} = \mathbf{P}^T \mathbf{M}_{world}^T \mathbf{M}_{view}^T \mathbf{M}_{projection}^T, \quad (3.20)$$

kde $\mathbf{M}_{view}^T$ je takzvaná „matice pohledu“, $\mathbf{M}_{world}^T$ je takzvaná „matice světa“, $\mathbf{M}_{projection}^T$ je takzvaná „projekční matice“, $\mathbf{P}^T$ je původní bod a $\mathbf{P}^{iT}$ je výsledný obraz bodu $\mathbf{P}^T$ po transformaci. $\mathbf{M}_{view}^T$ získáme například transformací, která se skládá ze tří rotací v závislosti na pozici, směru pohledu a normále kamery tzv. Eulerovy úhly. $\mathbf{M}_{world}^T$ je matice, kterou si drží každý objekt a která může i nemusí být v čase pro různé objekty odlišná. Příklad matice světa:

$$\mathbf{M}_{world}^T = \mathbf{S}^T(\mathbf{s}_x, \mathbf{s}_y, \mathbf{s}_z) \mathbf{T}^T(t_{x_1}, t_{y_1}, t_{z_1}).$$

Příklad matice pohledu:

$$\mathbf{M}_{view}^T = \mathbf{T}^T(t_x, t_y, t_z) \mathbf{R}_z^T(\alpha) \mathbf{R}_y^T(\beta) \mathbf{R}_x^T(\chi).$$

Příklad geometrické roury tak, jak ji používá *DIRECTX9*, kde kamera je umístěna ve středu souřadnicového systému:

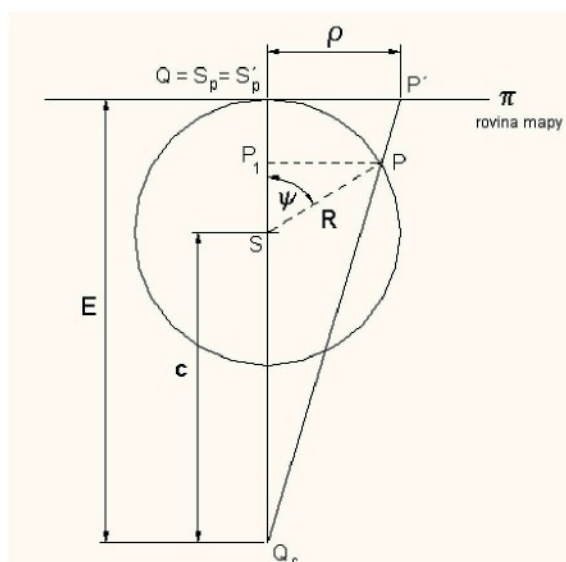
$$\mathbf{P}^{T'} = \mathbf{P}^T \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \mathbf{M}_{projective}^T.$$

3.5 Azimutální projekce

Azimutální projekce se řadí mezi azimutální zobrazení jednoduchá, a jelikož se dají odvodit geometrickou cestou (promítáním ze zvoleného bodu na rovinu) nazývají se projekce. Vznikají promítáním povrchu kulové plochy na rovinu p z obecného bodu Q_c . Rovina p je kolmá na spojnici $Q_c S_p$. Postup odvození vychází z obr. 4.3, který znázorňuje osový řez rovinou promítacího paprsku bodu. Obecné polární zobrazovací rovnice:

$$\rho = \frac{ER \sin \psi}{c + R \cos \psi}, \quad \varepsilon = V, \quad (3.21)$$

kde V je deklinace bodu P .



Obrázek 3.3: Geometrická interpretace azimutálních zobrazení ^[1]

Z těchto rovnic se pak vyjádří pravoúhlé rovinné souřadnice:

$$x = \frac{ER \sin \psi}{c + R \cos \psi} \cos V, \quad y = \frac{ER \sin \psi}{c + R \cos \psi} \sin V. \quad (3.22)$$

3.5.1 Gnómická projekce

Autorem tohoto zobrazení je Thales z Miletu a projekce se využívá hlavně pro tvorbu námořních map nebo v astronomii. Střed promítání je umístěn ve středu sféry, tedy $c = 0$, $E = R$. Vzhledem k plošným zkreslením vzrůstajícím od středu mapy je praktické využití maximálně do $\psi = 45^\circ$. Zobrazovací rovnice:

$$\rho = R \tan \psi, \quad \varepsilon = V. \quad (3.23)$$

3.5.2 Stereografická projekce

Stereografická projekce je konformní zobrazení vhodné například pro zobrazení celé polokoule, kde střed promítání je umístěn v antipólu dotykového bodu, tedy $c = R$, $E = 2R$ a zobrazovací rovnice:

$$\rho = 2R \tan \frac{\psi}{2}, \quad \varepsilon = V. \quad (3.24)$$

3.5.3 Ortografická projekce

Ortografická projekce je nejzákladnější projekce, říká se jí též paralelní nebo pravoúhlá. Střed promítání leží v nekonečnu, tedy $c = \infty$, $E = \infty$. Promítací paprsek bodu je rovnoběžný se směrem promítání. V astronomii se užívá pro tvorbu map Měsíce, Slunce nebo planet. Zobrazovací rovnice:

$$\rho = R \sin \psi, \quad \varepsilon = V. \quad (3.25)$$

3.5.4 Externí projekce

Střed promítání externí projekce leží vně sféry, tedy $c > R$, $E > 2R$. Podle podmínek pro zvolení hodnoty c a E vzniklo několik externích projekcí.

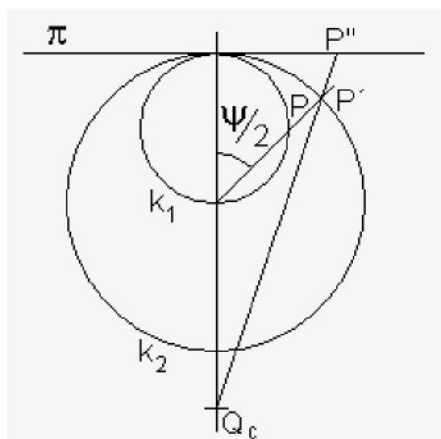
Například roku 1701 francouzský kartograf Philippe de la Hire navrhl nejznámější určení konstanty c jako:

$$2\rho_{\psi=45^\circ} = \rho_{\psi=90^\circ},$$

a z toho pak výpočtem určil hodnotu c a E : $c = 1.70071068R$, $E = 2.70071068R$.

Dalším příkladem externí projekce je dvojitá stereografická projekce odvozená od stereografické. Tuto projekci vymyslel ve 20. století profesor Solovjev. Nejdříve promítnul bod P pomocí stereografické projekce ze sféry k_1 na novou sféru s dvojnásobným poloměrem k_2 . Z této nové sféry dále promítnul nový bod P' do roviny π opět pomocí stereografické projekce. Tím došlo ke ztrátě konformity, ale oproti stereografické projekci se zmenšilo zkreslení. Zobrazovací rovnice dvojité stereografické projekce:

$$\rho = 4R \operatorname{tg} \frac{\psi}{4}, \quad \varepsilon = V. \quad (3.26)$$



Obrázek 3.4: Dvojitě stereografické zobrazení ^[1]

4 Řešení a implementace

Jak už bylo jednou zmíněno, místní hvězdný čas se určuje numericky. Je odvozena přibližná aproximace pro jeho výpočet v závislosti na datu a zeměpisné délce pozorovatele. Místní hvězdný čas vlastně vyjadřuje hodnotu rektascenze jižního bodu. Tato skutečnost prozrazuje, jaká deklinační kružnice se „překrývá“ s místním poledníkem. Hvězdný čas pro nás tedy znamená první sférickou souřadnici a spolu s úhlem zeměpisné šířky pozorovatele získáme sférické souřadnice vektoru směřujícího k zenitu. Jelikož se v modelu nahlíží na zeměkouli jako na hmotný bod ve středu nebeské sféry, tak zenitový vektor je vlastně normálový vektor k rovině pozorovatele procházející tímto bodem. Další důležitý vektor je vektor udávající směr pozorování, jehož sférické souřadnice jsou výška nad obzorem a azimut, jež se vztahují k rovině obzorníku. Z těchto dvou vektorů, respektive jejich souřadnic, se sestavují transformační matice a tzv. geometrická roura.

4.1 GD knihovna

Knihovna GD nabízí několik funkcí pro práci s obrázky. Podporuje několik grafických formátů jako GIF, JPEG, PNG a další. GD umožňuje do obrázku kreslit primitiva (trojúhelníky, kruhy, čáry) různých barev a velikostí. GD také obsahuje několik málo filtrů jako rozostření, kontrast, světlost nebo funkci, která nastaví optimalizované načítání obrázku klientem.

V aplikaci je pak využíváno několik základních funkcí, které knihovna GD nabízí:

Pro vytvoření 24 bitového obrázku o rozměrech a, b slouží funkce:

```
$img=ImageCreateTrueColor(a, b);
```

Barva se přiřadí konkrétnímu obrázku ve formátu RGB složky červená, modrá a zelená v rozmezí 0-255 pomocí funkce:

```
$color=ImageColorAllocate($img, 50, 140, 140);
```

Změnu barvy obrazového bodu vykoná procedura:

```
ImageSetPixel($img, $x, $y, $color);
```

Vytvořit obrázek z již existujícího obrázku vykoná funkce:

```
$img1=ImageCreateFrompng("textura.png");
```

Načtený obrázek lze vkopírovat do jiného pomocí procedury s parametry (do kterého obrázku, z kterého obrázku, souřadnice x počátku kam se bude kopírovat, souřadnice y počátku kam se bude kopírovat, souřadnice x počátku odkud se bude kopírovat, souřadnice y počátku odkud se bude kopírovat, nová šířka, nová výška, původní šířka, původní výška):

```
ImageCopyResampled($img, $img1, 0, 0, 0, 0, 20, 20, 40, 40);
```

Z důvodu optimalizace při načítání obrázku klientem se může použít procedura:

```
ImageInterlace($img, 1);
```

Obrázek uloží na server například procedura ve formátu JPEG komprimovaný na 80%, kde prostřední parametr je jméno a cesta, kam se obrázek uloží:

```
Imagejpeg($img, $id.".jpeg", 80);
```

Skončí-li práce s obrázkem, je zvykem uvolnit paměť:

```
Imagedestroy($img);
```

4.2 Geometrická roura

V kapitole skládání transformací je uveden příklad geometrické roury přibližně tak, jak ji používá například *DIRECTX9*. Já jsem se nechal tímto postupem inspirovat, ačkoliv jsem si stanovil trochu jiné podmínky, a v následujícím postupu jsou z důvodu použití kartografických projekcí značné odlišnosti.

Postupným experimentováním s modelem jsem stanovil finální transformační matici $\mathbf{C} = \mathbf{M}_{view} \mathbf{M}_{world}$. Matici $\mathbf{C}$ jsem vynásobil vektorem určujícím pozici hvězdy na sféře v čase J2000 a na nový vektor aplikoval zobrazovací rovnice daného kartografického zobrazení (projekce).

Pohledová matice je rozložena na tři elementární rotace v závislosti na směru pozorování a zeměpisné šířky:

$$\mathbf{M}_{view} = \mathbf{R}_x(-h) \mathbf{R}_y(-A) \mathbf{R}_x(\delta). \quad (4.1)$$

Matice světa se skládá z rotace nebeské sféry kolem své osy v závislosti na hvězdném čase (LST) a zvětšení (scale):

$$\mathbf{M}_{world} = \mathbf{R}_z(\alpha) \mathbf{S}(scale), \quad (4.2)$$

kde $\alpha = -90 - 15LST$.

Výsledná transformační matice:

$$\mathbf{C} = \mathbf{M}_{view} \mathbf{M}_{world}. \quad (4.3)$$

Pořadí násobení matic:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos h & -\sin h & 0 \\ 0 & \sin h & \cos h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A & 0 & \sin A & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin A & 0 & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & -\sin \delta & 0 \\ 0 & \sin \delta & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} scale & 0 & 0 & 0 \\ 0 & scale & 0 & 0 \\ 0 & 0 & scale & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Aplikuji transformační matici $\mathbf{C}$ na všechny hvězdy:

$$\mathbf{P}' = \mathbf{C} \mathbf{P}. \quad (4.4)$$

Ze vzniklého vektoru získám úhly pomocí transformace (2.6) a aplikuji zobrazovací rovnice:

$$x = \frac{R \sin \psi}{\cos \psi} \cos V, \quad y = \frac{R \sin \psi}{\cos \psi} \sin V \quad (4.5)$$

Následující ukázka zdrojového kódu se liší od návrhu řešení tím, že se netvoří matice translace, ale posun se provádí až po provedení projekce pomocí rovnic. Nejdříve je potřeba nastavit transformační matici **C**, která je pro všechny hvězdy stejná:

```
$matice_rotace_h = $graphic->matrix_x(-$h);
$matice_rotace_A = $graphic->matrix_y(-$A);
$matice_rotace_zs = $graphic->matrix_x($zemepisna_sirka);
$matice_rotace_LST= $graphic->matrix_z(-90-15*$LST);
$matice_zvetseni = $graphic->matrix_zoom($zoom*$polomer_koule);

$matice_C = $graphic->mul($matice_rotace_h, $matice_rotace_A);
$matice_C = $graphic->mul($matice_C, $matice_rotace_zs);
$matice_C = $graphic->mul($matice_C, $matice_rotace_LST);
$matice_C = $graphic->mul($matice_C, $matice_zvetseni);
```

Ukázka kódu aplikace transformační matice na bod, která se provádí pro každou dostupnou hvězdu stejně tak, jako potom aplikovaná projekce a konečná translace:

```
$bod=array(1=>$x, $y, $z);
$bod=$graphic->vum($bod, $matice_C);
```

Získám souřadnice promítnutého bodu do 2D roviny:

```
$vysledek_projekce=$graphic->projekce($bod);
```

Nakonec provedu translaci pomocí rovnic:

```
$vysledek_projekce[1]+=$a/2; $vysledek_projekce[2]+=$b/2;
```


4.3 Funkce a procedury pro práci s 3D grafikou

Knihovna obsahuje třídu základních funkcí pro práci s 3D grafikou jako jsou nastavení základních transformačních matic, násobení matic, násobení matice a vektoru nebo funkce pro výpočet místního hvězdného času, výpočet juliánského data, nebo funkci pro projekci bodu do roviny. Na rozdíl od *DIRECTX9* nepoužívá model transponované matice a vektory a používá zobrazovací rovnice azimutálních zobrazení namísto projekční matice.

Metoda třídy výpočty *mul(\$A,\$B)* vynásobí dvě matice rozměru 3x3 v pořadí **AxB** podle (3.10). Metoda *make_vector(\$alfa, \$beta, \$R)* vytvoří nový vektor podle (2.2).

```
public function mul($A,$B)
{
    for ($i=0;$i<3;$i++) {
        for ($j=0;$j<3;$j++) {
            $C[$i][$j]=0;
            for ($k=0;$k<3;$k++) {
                $C[$i][$j]+=$A[$i][$k]*$B[$k][$j];
            }
        }
    }
    return $C;
}

public function make_vector($alfa,$beta,$R)
{
    $vector[1]=(($R)*sin(deg2rad(90-$alfa))*cos(deg2rad($beta)));
    $vector[2]=(($R)*sin(deg2rad(90-$alfa))*sin(deg2rad($beta)));
    $vector[3]=(($R)*cos(deg2rad(90-$alfa)));
    return $vector;
}
```

Metoda třídy výpočty *matrix_x(\$alfa)* nastaví transformační matici rotace kolem osy x o úhel α podle (3.15):

```
public function matrix_x($alfa)
{
    $m=$this->matrix();
    $m[0][0]=1;
    $m[1][1]=cos(deg2rad($alfa));
    $m[1][2]=-sin(deg2rad($alfa));
    $m[2][1]=sin(deg2rad($alfa));
    $m[2][2]=cos(deg2rad($alfa));
    return $m;
}
```

Jako poslední zde uvedená metoda třídy výpočty je funkce projekce(\$souradnice) viz (2.3) a (3.22):

```
public function projekce($souradnice)
{
    $pol=sqrt(
        pow($souradnice[1],2)+pow($souradnice[2],2)+pow($souradnice[3],2));
    $fi=atan2($souradnice[2],$souradnice[1]);
    $theta=acos($souradnice[3]/$pol);
    $e=1.5*$pol;    $c=$pol/2;
    $projekce[1]=($e*$pol*sin($theta)/($c+$pol*cos($theta)))*cos($fi);
    $projekce[2]=($e*$pol*sin($theta)/($c+$pol*cos($theta))*sin($fi);
    $projekce[3]=round($theta,2);
    return $projekce;
}
```

Seznam všech dostupných funkcí a procedur:

- Metody třídy výpočty
 - *public function make_vector(\$alfa,\$beta,\$R)*, funkce vrátí vektor jako pole.
 - *public function vum(\$vector,\$A)*, funkce vrátí součin vektoru a matice.

- *public function mul(\$A,\$B)*, funkce vrátí součin dvou matic.
- *public function matrix()*, funkce vrátí nulovou matici.
- *public function matrix_x(\$alfa)*, funkce vrátí matici rotace viz (3.15).
- *public function matrix_y(\$alfa)* funkce vrátí matici rotace viz (3.16).
- *public function matrix_z(\$alfa)* funkce vrátí matici rotace viz (3.17).
- *public function matrix_zoom(\$scale)* funkce matici zvětšení viz (3.18).
- *public function projekce(\$souradnice)*, vrátí souřadnice projekce viz (3.22).
- *public function getmicrotime()*
- *public function lvezdny_cas(\$zemepisna_delka,\$rok,\$mesic,\$den,\$hodina,\$minuta,\$sekunda)*, funkce vrátí místní hvězdný čas pro zadané datum.
- Ostatní dostupné funkce a procedury
 - *function dec2float (\$stupne,\$minuty,\$sekundy)*,
 - *function rah2float (\$hodiny,\$minuty,\$sekundy)*,
 - *function mark(\$pole,\$vmatrix,\$size,\$color)*,
 - *function horizont()*,
 - *function kruznice(\$alfa,\$color)*,
 - *function constellation()*,
 - *function Grid(\$vmatrix)*,
 - *function planets()*.

Seznam důležitých globálních proměnných použitých ve skriptu:

- **\$a**, **\$b** určují velikost obrázku,
- **\$sx**, **\$sy** hodnoty pro posunutí středu soustavy,
- **\$LST** určuje místní hvězdný čas,
- **\$tz** je úhel rotace nebeské sféry kolem vlastní osy,
- **\$zs** značí zeměpisnou šířku místa pozorování na Zemi,
- **\$hs**, **\$vs** jsou horizontální a vertikální úhly směru pozorování (azimut a výška nad obzorem),
- **\$img** je hlavní obrázek, do kterého se vykresluje celá scéna.

5 Závěr

5.1 Instalace aplikace na server

Zdrojové kódy aplikace spolu s daty musí být překopírovány do prostoru webového serveru, který podporuje PHP nejméně verzi 5 a podporuje potřebné funkce jako například modul GD. Pokud tomu již tak není, je nutné nastavit práva složky, kde se ukládají vytvořené obrázky map. Ke spuštění pak stačí napsat webovou adresu ke spouštěcímu souboru index.php do prohlížeče viz kapitola 4.4.

5.2 Výsledné uživatelské rozhraní

Ke spuštění aplikace klientem je zapotřebí mít nainstalovaný standardní webový prohlížeč s podporou zobrazování obrázků PNG nebo JPEG a nejlépe s podporou kaskádových stylů CSS a skriptovacího jazyku javascript. Testovací doména byla vytvořena na adrese <http://hvezdnamapa.ic.cz>.

K vytvoření výstupu obr. 5.1 je zapotřebí zvládnout dobře programování v PHP a základy programování v javascriptu, znát značky a syntaxi XHTML jazyka a kaskádových stylů CSS.

Ke zpříjemnění ovládání je na stránkách použita technologie DOM, která je provázaná spolu s obrázkem, který je upravený jako citlivá mapa. Tato technologie umožňuje například vyskočení okna s informací o objektu po najetí myši na hvězdu v obrázku mapy. Znalosti o problematice webových aplikací jsem dlouhou dobu čerpal hlavně z knih [2], [6] a [15] a webových stránek [7] a [14].

5.2.1 Nastavitelné parametry

Následuje seznam ovládacích prvků aplikace:

- Vlastní nastavení viditelnosti hvězd.
- Vlastní nastavení času a dne pozorování.
- Vlastní nastavení místa pozorování na Zemi.

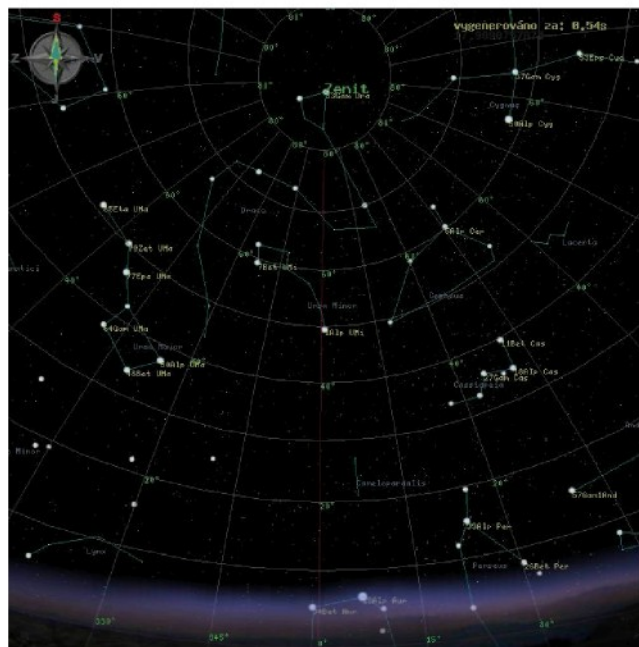
- Vlastní nastavení směru pozorování.
- Vlastní nastavení druhu projekce.
- Zobrazit nebo skrýt grafy 88. souhvězdí.
- Zobrazit nebo skrýt obzorníkovou a rovníkovou mřížku.
- Zobrazit nebo skrýt názvy větších hvězd.
- Zobrazit nebo skrýt horizont.
- Přepínat mezi generováním obrázku ve formátu JPEG nebo PNG.
- Natavit propustnost horizontu.
- Po kliknutí na hvězdu se přepočítá směr pozorování.



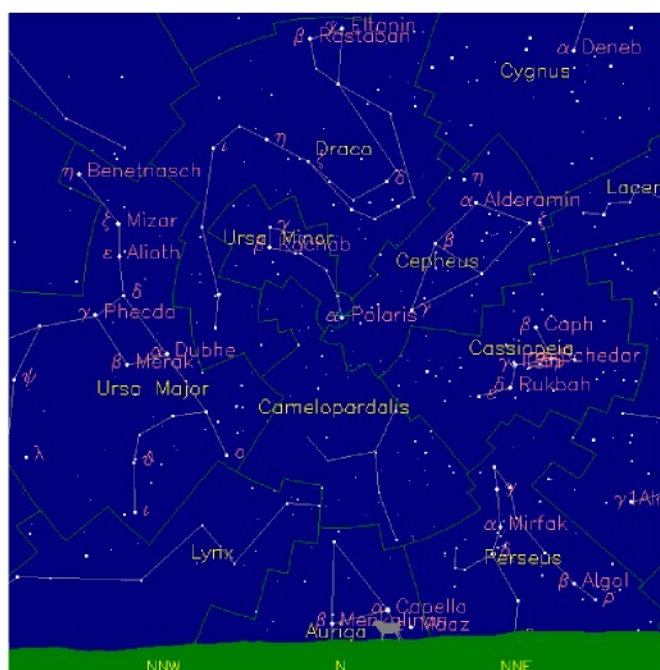
Obrázek 5.1: Ukázka grafického návrhu

5.3 Kontrola matematického modelu

Ověření výstupu matematického modelu pro náhodně zvolené parametry: Zeměpisná šířka +50 stupňů, zeměpisná délka +15 stupňů, čas 24. 5. 2009 1:00:07 UT, azimut směr sever viz obr. 5.2 a obr. 5.3.



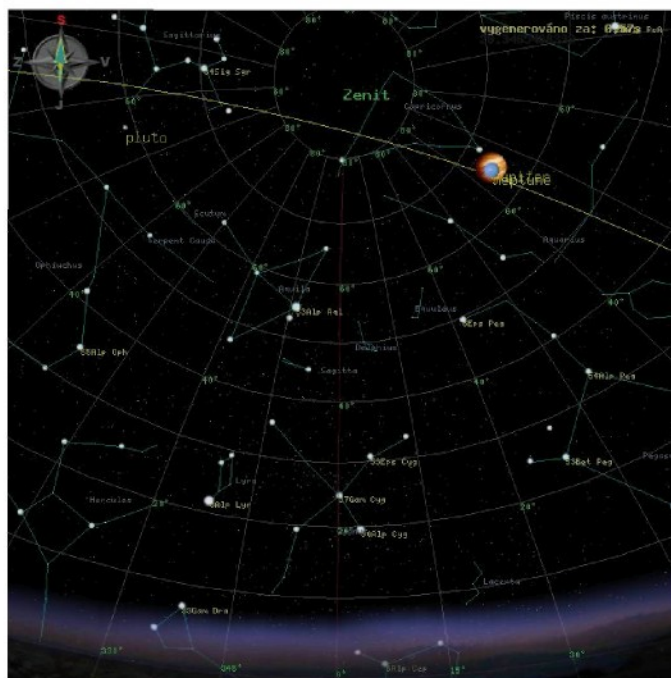
Obrázek 5.2: Aplikace Hvězdna Mapa



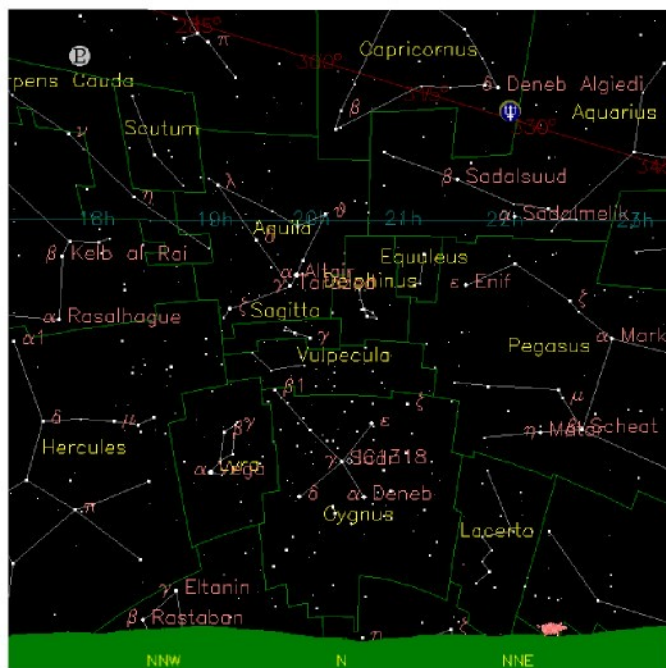
Obrázek 5.3: Aplikace Your Sky ^[19]

Ověření výstupu matematického modelu pro náhodně zvolené parametry:

Zeměpisná šířka -25 stupňů, zeměpisná délka +50 stupňů, čas 24. 5. 2009 00:53:45 UT,
azimut směr sever viz obr. 5.4 a obr. 5.5.



Obrázek 5.4: Aplikace Hvězdna Mapa



Obrázek 5.5: Aplikace Your Sky ^[19]

5.4 Zhodnocení výsledků

Při návrhu modelu bylo zpočátku velice složité představit si jednotlivé matematicko-fyzikální vazby a jejich souvislosti s programováním. Pamatuji si na desítky hodin analyzování principu, načrtávání problémů na papír a jako v neposlední řadě tvrdý souboj s geometrickými a cyklometrickými funkcemi ve fázi implementace řešení. Díky mé trpělivosti a zápalu pro věc, se nakonec zrodilo řešení, které daleko přesáhlo nejen moje očekávání.

Matematický model, jehož smysl spočívá v transformaci rovníkových souřadnic v obzorníkové, po několika ověřování z různých zdrojů jako např. [19] v kapitole 5.3, pracuje správně. Díky implementaci matic ve výpočtech geometrických transformací, se dosáhlo významného zrychlení výkonu v určování obzorníkových souřadnic hvězd z katalogu, který čítá přibližně okolo 9000 hvězd. Čas potřebný k výpočtům byl tímto eliminován na minimum a s přibývajícím počtem zpracovávaných hvězd je tato optimalizace velice znát na výkonu aplikace.

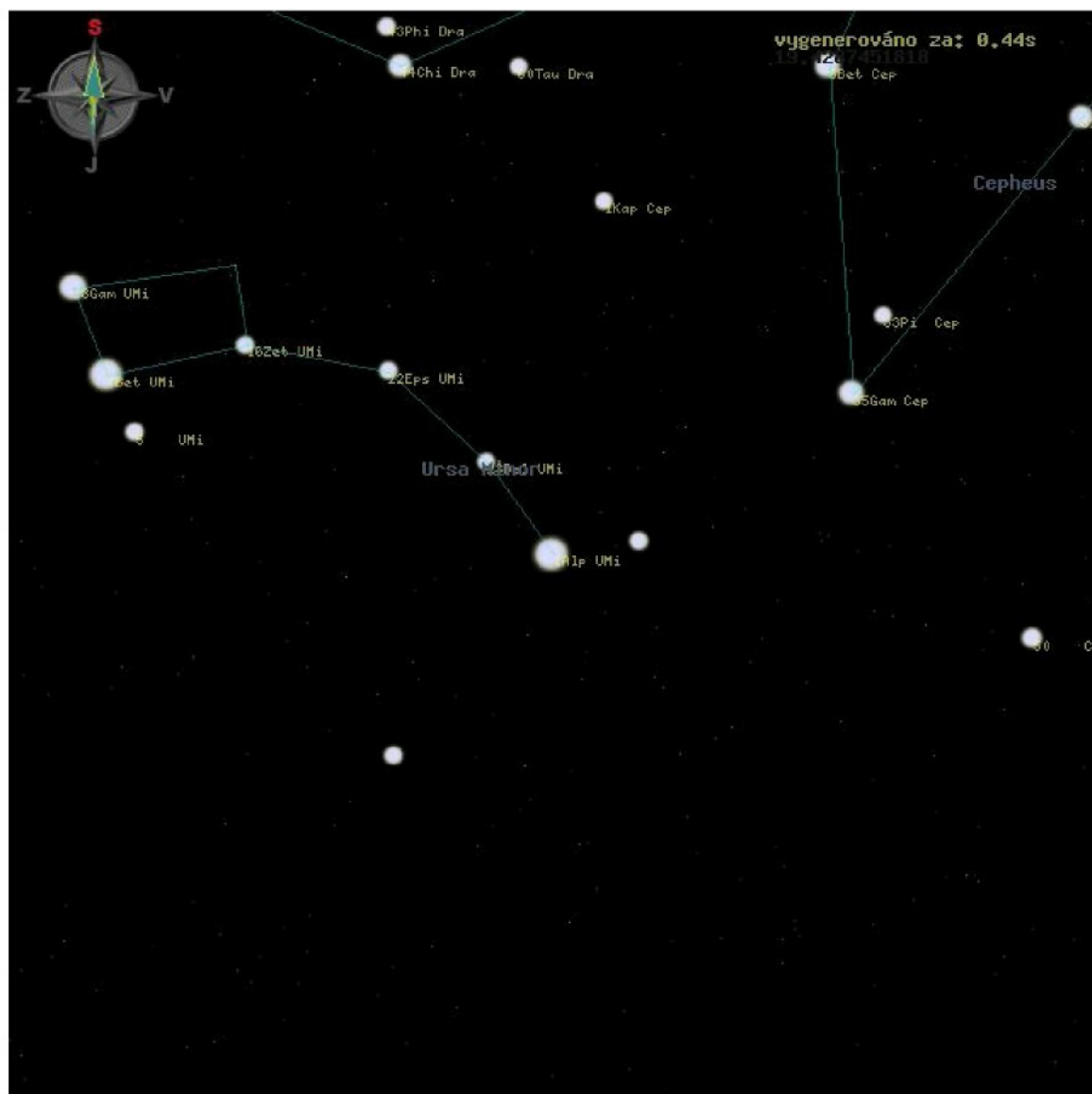
Program přesně vystihuje zadání práce a i přes obtíže se podařilo nejen splnit všechny body zadání, ale i přidat některé další prvky. Aplikace navíc zobrazuje grafy souhvězdí, obzorníkové a rovníkové souřadnice hvězd a planet, mřížky nebo obrázek nahrazující horizont. Práce na tomto projektu mě velice obohatila a ani v nejmenším nelituji času strávené realizací aplikace. Navíc zkušenosti získané s prací s vektory, maticemi, funkcemi a programováním jsem uplatnil i u zkoušek na fakultě.

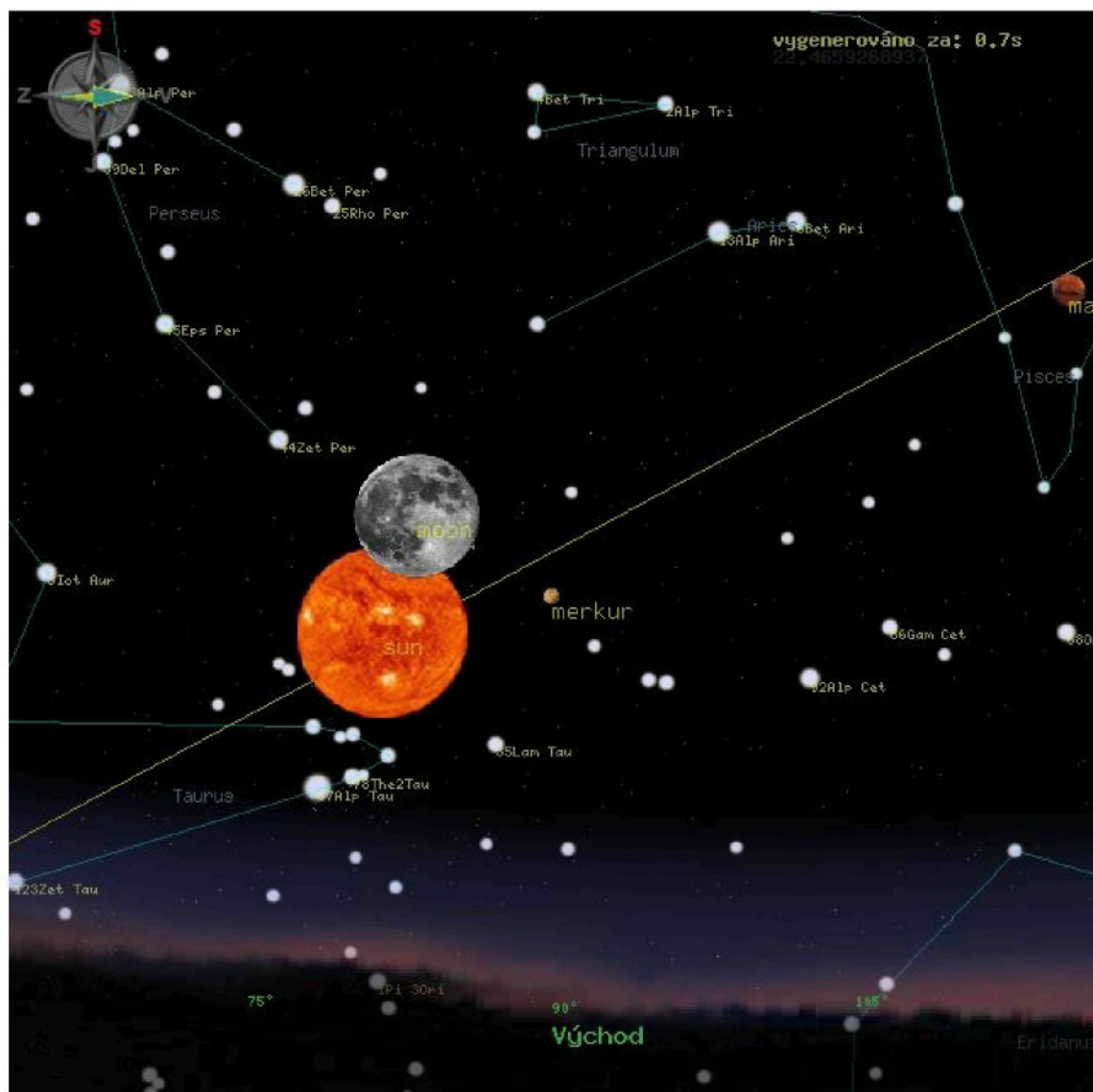
5.5 Úvaha o možném vylepšení

Aplikace by si zasloužila několik kosmetických úprav jako například rozsáhlejší online uživatelskou příručku nebo jednodušší navigaci. Dále by bylo potřeba zajistit lepší optimalizaci velikosti obrázku (například použitím formátu GIF), což by urychlilo jeho stahování. Myslím si, že pokud by se aplikace vylepšila o další možnosti (informace o východech, západech a kulminacích jednotlivých objektů, fáze Měsíce atd.), které nejsou součástí zadání, mohla by se stát aplikace velice oblíbenou a navštěvovanou, protože podobných webových aplikací na internetu mnoho není, natož pak v češtině. Aby se tak stalo, bylo by potřeba věnovat další čas optimalizacím výkonu a vytvořením rozhraní API. Uživatelé by si tak mohli tuto službu implementovat do svých stránek, zejména pak provozovatelé astro stránek.

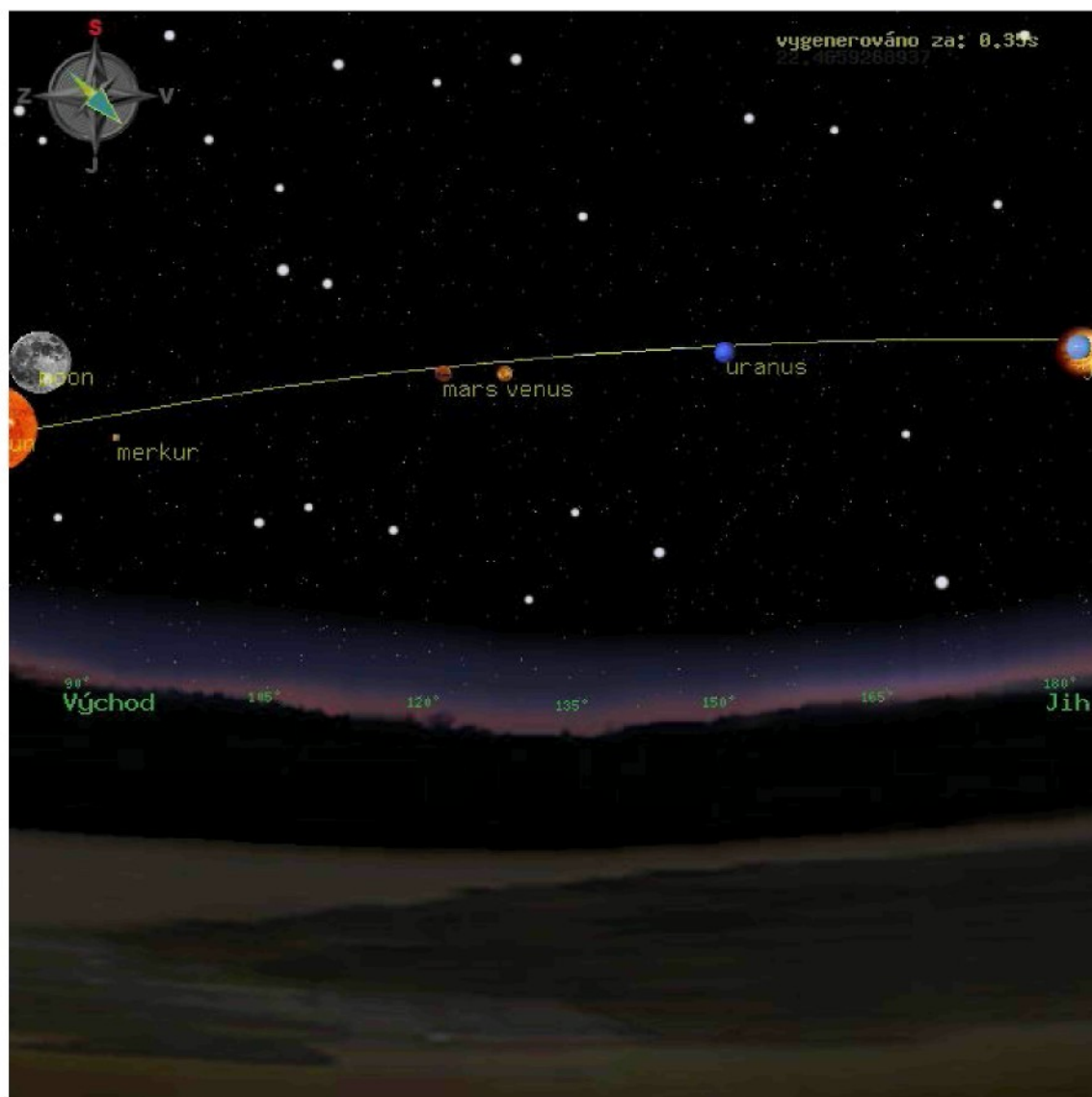
Příloha A Ukázky výstupu aplikace Hvězdná mapa



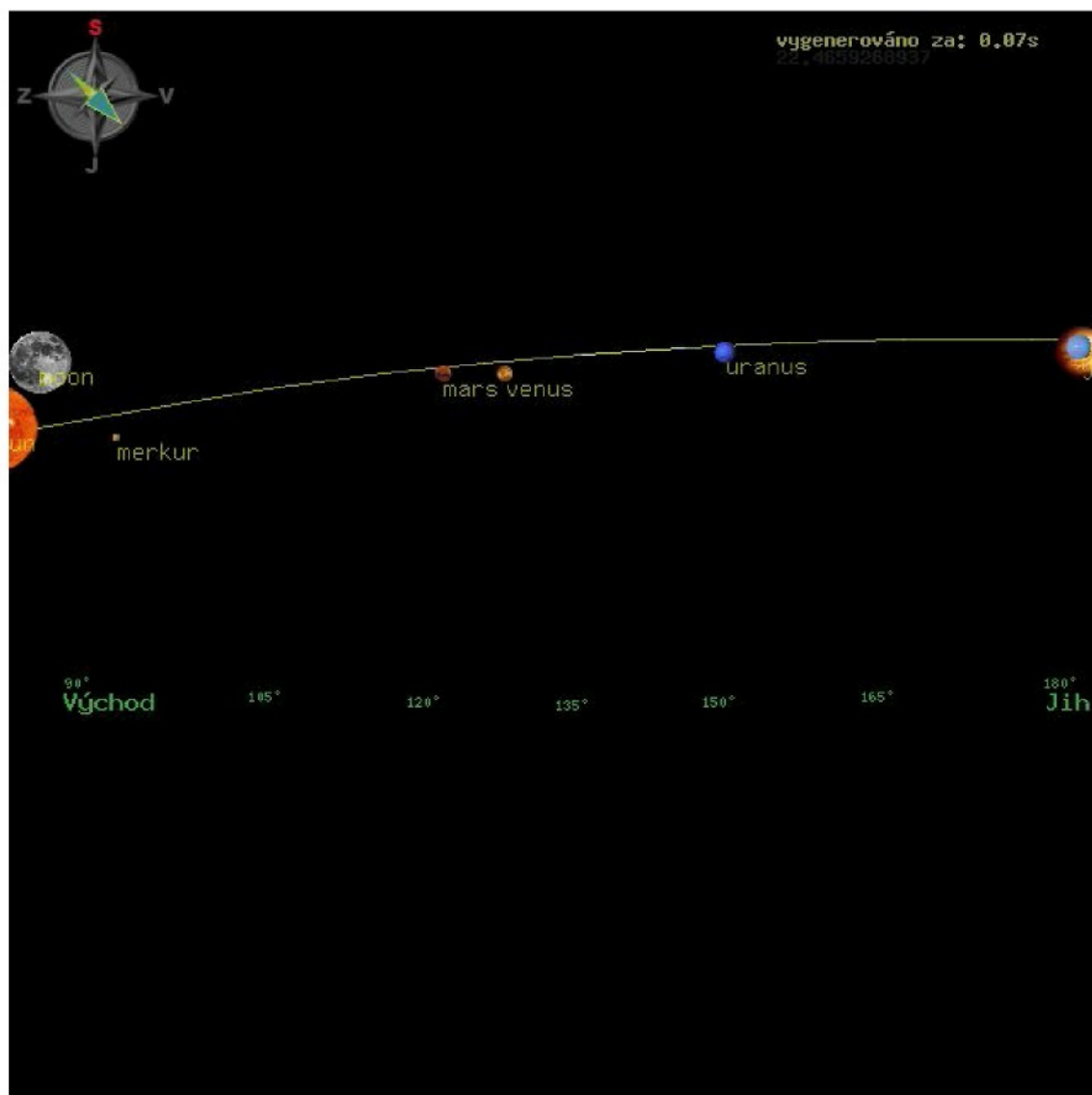




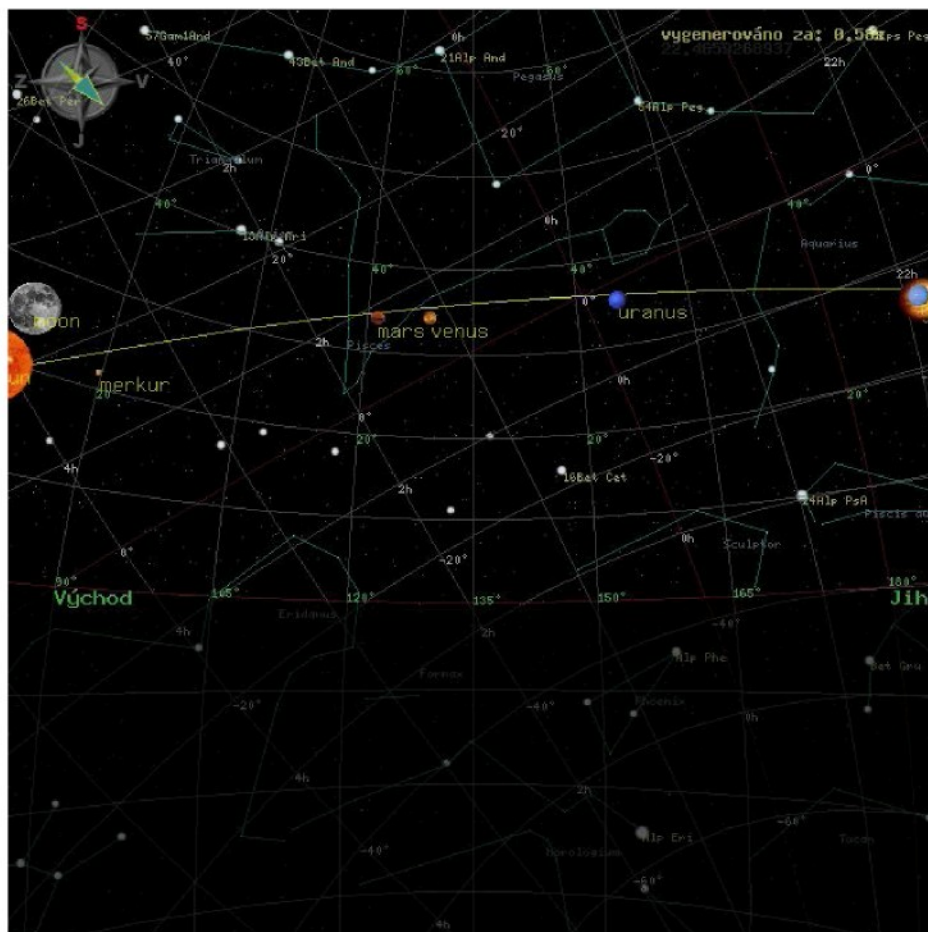
A - 3: Ukázka zakreslení planet, Měsíce a Slunce



A - 4: Planety na ekliptice



A - 5: Ukázka výpočtu bez načítání hvězd a zobrazování čar



A - 6: Ukázka funkce průhlednost horizontu

Příloha B Elementy drah validní pro epochu J2000

	a AU, AU/Cy	e Rad, rad/cy	i Deg, deg/Cy	L deg, deg/Cy	long.peri. deg, deg/Cy	long. node. deg, deg/Cy
Mercury	0.38709927	0.20563593	7.00497902	252.25032350	77.45779628	48.33076593
	0.00000037	0.00001906	-0.00594749	149472.67411175	0.16047689	-0.12534081
Venus	0.72333566	0.00677672	3.39467605	181.97909950	131.60246718	76.67984255
	0.00000390	-0.00004107	-0.00078890	58517.81538729	0.00268329	-0.27769418
EM Bary	1.00000261	0.01671123	-0.00001531	100.46457166	102.93768193	0.0
	0.00000562	-0.00004392	-0.01294668	35999.37244981	0.32327364	0.0
Mars	1.52371034	0.09339410	1.84969142	-4.55343205	-23.94362959	49.55953891
	0.00001847	0.00007882	-0.00813131	19140.30268499	0.44441088	-0.29257343
Jupiter	5.20288700	0.04838624	1.30439695	34.39644051	14.72847983	100.47390909
	-0.00011607	-0.00013253	-0.00183714	3034.74612775	0.21252668	0.20469106
Saturn	9.53667594	0.05386179	2.48599187	49.95424423	92.59887831	113.66242448
	-0.00125060	-0.00050991	0.00193609	1222.49362201	-0.41897216	-0.28867794
Uranus	19.18916464	0.04725744	0.77263783	313.23810451	170.95427630	74.01692503
	-0.00196176	-0.00004397	-0.00242939	428.48202785	0.40805281	0.04240589
Neptune	30.06992276	0.00859048	1.77004347	-55.12002969	44.96476227	131.78422574
	0.00026291	0.00005105	0.00035372	218.45945325	-0.32241464	-0.00508664
Pluto	39.48211675	0.24882730	17.14001206	238.92903833	224.06891629	110.30393684
	-0.00031596	0.00005170	0.00004818	145.20780515	-0.04062942	-0.01183482

B - 1: Keplerovi elementy pro epochu J2000 ^[8]

Použité zdroje

- [1] *Azimutální zobrazení jednoduchá* [online]. [2000] [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: http://gis.zcu.cz/studium/mk2/multimedialni_texty/index_soubory/index_soubory/hlavni_soubory/jednoduch_soubory/azimut.html.
- [2] SNÍŽEK, Martin. *CSS pro zelenáče*. Praha : Neocortex spol. s.r.o., 2004. 295 s. ISBN 80-86330-14-1.
- [3] *Elementy dráhy - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [2000] [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elementy_dráhy.
- [4] SCHLYTER, Paul. *Computing planetary positions* [online]. 1998 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://www.stjarnhimlen.se/comp/ppcomp.html>.
- [5] *Hvězdný Čas - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [2008] , 23. 3. 2009 [cit. 2009-02-26]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hvězdný_čas.
- [6] Chudl Musciano a Bill Kennedy. *HTML a XHTML Kompletní průvodce*. Praha: Computer Press, 2000. 630 s. ISBN 80-7226-407-9.
- [7] *Jak psát web* [online]. [1998] , 17. 4. 2009 [cit. 2000-01-01]. Dostupný z WWW: <http://www.jakpsatweb.cz/>.
- [8] *Keplerian Elements for Approximate Position of the Major Planets* [online]. [2001] [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: http://ssd.jpl.nasa.gov/txt/aprx_pos_planets.pdf.
- [9] *Matice - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [2007] , 16. 5. 2009 [cit. 2008-11-26]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Matice>.
- [10] *View Transform (Direct3D 9)* [online]. [2009] , [cit. 2009-03-26]. Dostupný z WWW: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb206342\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb206342(VS.85).aspx).
- [11] *Nebeská mechanika* [online]. [2001] , [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <http://nebech.astronomy.cz>.
- [12] *Nebeská sféra - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [2004] , 18. 4. 2009 [cit. 2008-11-26]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nebeská_sféra.
- [13] *Orbital Elements - Wikipedie, the free encyclopedia* [online]. [2008] , 14. 4. 2009 [cit. 2009-3-20]. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Orbital_elements.

- [14] *PHP: Hypertext Preprocessor* [online]. [2001] , 25. 5. 2009 [cit. 2009-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://php.net>>.
- [15] Jesus Castagnetto, Harish Rawat, Sascha Schumann, Chris Scyllo, Deepak Veliath. *Programuje PHP profesionálně*. Praha: Computer Press, 2001. 656 s. ISBN 80-7226-310-2.
- [16] *Filler Vratislav, Semestrální práce z předmětu Astrodynamika 11* [online]. [1998] , 16. 5. 2009 [cit. 2008-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://klobouk.fsv.cvut.cz/~vrf/prace/ad11/ad11.html>>.
- [17] Mgr. Hana Lakomá, Ph.D., Mgr. Veronika Dochová. *Sférická trigonometrie v matematické geografii a astronomii* [online]. [2002] , [cit. 2008-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://klobouk.fsv.cvut.cz/~vrf/prace/ad11/ad11.html>>.
- [18] *Vektor - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [2007] , 5.4.2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Vektor>>.
- [19] *Your Sky* [online]. [2003] , [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.jakpsatweb.cz/>>.
- [20] *Sférická soustava souřadnic - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [2006] , 18. 4. 2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sférická_soustava_souřadnic>.
- [21] Petr Minařík, *Teorie 3D prostoru* [online]. [2004] , [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://programovani.net-mag.cz/?action=art&num=446>>.
- [22] alcyone software, *The Bright Star Catalogue* [online]. [2004] , [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.alcyone.de/SIT/bsc/index.html>>.

Obsah CD

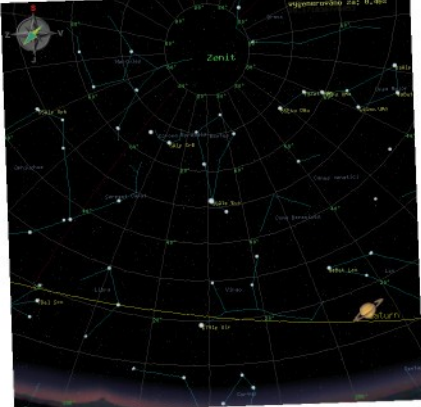
Příložené CD obsahuje následující adresáře:

Data – obsahuje všechny soubory potřebné k instalaci aplikace.

Zdroje – Obsahuje obrázky použité v tomto textu.

Text – Tento text ve formátech DOC a PDF.

vyjdeno ravnino za: 0,462





























Haszard
interaktív
művészet



Celestial body

Type anomaly

Argument of perihelion

Longitude of ascending node

Reference direction

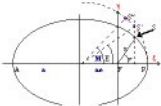
Plane of reference

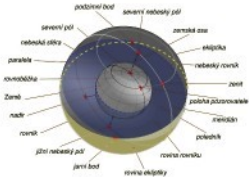
Inclination

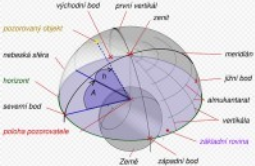
Ascending node

Orbit







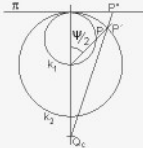


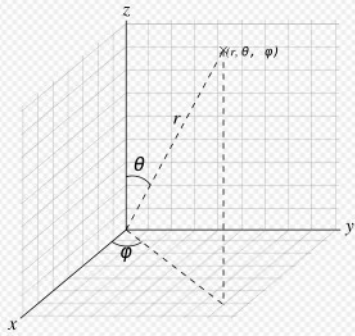












Návod na 7 Planety 3D Programu



Magistoda 7

Čas h20 m00 s37

Den R2009 m06 d23

Zeměpisná šířka 50

Zeměpisná délka 15

Výška 2015

Azmut 318.99

1 2 3 4 5

- ☒ Souhvězdí
- ☒ Mřížka rovníková
- ☒ Mřížka azimutální
- ☒ Aktuální čas
- ☒ Název hvězd
- ☒ Horizont
- ☒ Vysoká kvalita
- ☒ Hvězdy pod horizontem

GENERUJ



Vstupní údaje OK

Powered by PHP
©2007-2009 brenty

