

System Projection

Aplikace pro souřadnicové přepočty a základní geodetické úlohy
(Uživatelský manuál)

Jan Ježek, Radek Sklenička

červen 2004

Obsah

Úvod	3
1 Základní ovládání	4
1.1 Výběr zobrazení a jeho parametrů	4
1.2 Vstup a výstup dat	5
1.3 Shrnutí příkazů	5
2 Transformace mezi geodetickými datумы - modul cs2cs	7
2.1 Použití cs2cs	7
3 Definice kartografických zobrazení	9
3.1 Zadávání parametrů zobrazení	9
3.2 Příklady používaných zobrazení	10

Úvod

Projekt *System Projection* (zkráceně PROJ) je softwarová aplikace a knihovna určená pro přepočty mezi souřadnicemi, pro výpočet 1. a 2. základní geodetické úlohy, pro základní úlohy matematické kartografie. Jedná se především o zobrazení zeměpisných souřadnic φ, λ do roviných X, Y a opačně, transformace mezi geodetickými datумы, výpočty zkreslení, atd. PROJ umožňuje použít většinu standardních kartografických zobrazení, přičemž je možné všechny jeho parametry volit. Vedle předdefinovaných zobrazení používá též velké množství elipsoidů, na které lze zobrazení aplikovat. Vedle výpočtu souřadnic umožňuje i výpočet charakteristik daného zobrazení. Pro přepočty souřadnic mezi geodetickými datумы používá PROJ modul *cs2cs* a souřadnice transformuje tzv. 7 prvkovou nebo 3 prvkovou prostorovou transformací.

System Projection se skládá z několika modulů. Zde se budeme zabývat modulem *proj*, který slouží pro výpočty v rámci kartografických zobrazení, a modulem *cs2cs*, který je využíván v případě transformací souřadnic mezi geodetickými datумы. K dalším modulům patří modul *geod*, se kterým lze řešit 1. a 2. základní geodetickou úlohu, dále modul *nad2nad*, který slouží k převodu souřadnic mezi systémy NAD27 a NAD83 (North American Datum) a modul *nad2bin* převádějící ASCII soubory do binárního formátu, který používá *nad2nad*.

System Projection patří do skupiny tzv. *free software*, vychází pod MIT licencí, která je kompatibilní s GNU/GPL licencí. PROJ je naprogramován v jazyce C, a je určen pro operační systémy UNIX i Microsoft Windows.

PROJ je využíván jako knihovna několika aplikacemi. Například z oblasti GIS jsou to free GIS aplikace GRASS, UMN Map Server, PostGIS, Thuban. Zdrojové kódy a také již přeložené a spustitelné aplikace spolu s bohatou dokumentací lze získat na domovských internetových stránkách System Projection <http://www.remotesensing.org/proj/>.

Kapitola 1

Základní ovládání

Tato část se bude zabývat zadáváním základních výpočtů v aplikaci PROJ. Jde o konzolovou aplikaci, příkazy lze tedy zadávat v prostředí konzole či příkazového řádku. Funkčnost programu lze vyzkoušet zadáním následujícího příkazu :

```
proj
```

na nějž by měl příkazový řádek reagovat zobrazením následující zprávy:

```
usage: proj [ -bcefiormstwW [args] ] [ +opts[=arg] ] [ files ]
```

1.1 Výběr zobrazení a jeho parametrů

Výběr zobrazení se zadává pomocí příkazu `+proj=zkratka zobrazení`. Pro výpis zkratk všech nadefinovaných zobrazení slouží příkaz `proj -l`. Výpis má následující formu:

```
+proj=aea -> Albers Equal Area FIE
+proj=aeqd -> Azimuthal equidistant FI
+proj=aitoff -> Aitoff F
...
+proj=vandg -> Van der Grinten FI
+proj=winkl -> Winkel I FI
+proj=wintri -> Winkel Tripel F
```

V případě potřeby opačného přepočtu (tzn $X, Y \longrightarrow \lambda, \varphi$) použijeme v příkazu parametr `-I`.

Dále následuje specifikace parametrů zvoleného zobrazení. Vždy je nutné určit referenční plochu (elipsoid, nebo kouli) a to buď volbou již nadefinovaného elipsoidu, nebo přímým zadáním parametrů. Pro výpis nadefinovaných elipsoidů slouží příkaz `proj -le`. Elipsoid lze pak zvolit příkazem `proj +ellps=jméno elipsoidu`

Pro přímé určení parametrů referenční plochy je nutné nejprve zadat velikost hlavní poloosy příkazem `proj +a=a [m]` a dále některý z následujících parametrů:

- velikost vedlejší poloosy `proj +b=b`
- zploštění `proj +f=textitf`
- převrácená hodnota zploštění `proj +rf=1/f`

- excentricita `proj +e=e`
- čtvercem excentricity `proj +es=e2`

Není-li určen žádný z těchto parametrů (je zadána pouze hodnota a) je implicitně nastaveno nulové zploštění (tzn. koule o $r = a$). Kouli lze obdobně zvolit i příkazem `proj +r=r`.

Celý příkaz pro zadání zobrazení pak vypadá např. takto:

```
proj +proj=tmerc +ellps=krass,
```

nebo

```
proj +proj=tmerc +a=6378245.0 +rf=298.3.
```

V příkladě je zadáno Transverzální Mercatorovo zobrazení aplikované na Krasovského elipsoid. Po zadání zobrazení a jeho parametrů lze již zadávat souřadnice a provádět jejich přepočet.

Kromě určení referenční plochy lze určit i další parametry zobrazení. Možnosti zadání jsou různé a budou popsány dále.

Výstup ze samotného programu lze provést kombinací kláves `ctrl Z`.

1.2 Vstup a výstup dat

Vstupní i výstupní souřadnice lze zadávat buď jednotlivě během chodu programu, nebo zadáním jména vstupního popř. výstupního souboru. Pořadí souřadnic lze zvolit pomocí příkazu `-s`, `-r` (viz ..).

Interaktivní zadání z klávesnice:

```
proj +proj=tmerc +ellps=krass +lon_0=15
15 50
0.00 5540944.47
```

Zadání vstupního a výstupního souboru:

```
proj +proj=tmerc +ellps=krass +lon_0=15 vstup.txt vystup.txt
```

Vstupní hodnoty stupňů lze zadávat v jako desetinné číslo, ale i ve formě stupně, minuty, vteřiny. Např. hodnotu $50^{\circ}20'12.32''$ severní šířka zapíšeme takto: `20d20'12.32'N`.

Pro určení severní resp. jižní šířky použijeme `N` resp. `S` a obdobně pro délku `W`, `E`. Neurčíme-li hodnoty tímto způsobem jsou kladné zeměpisné souřadnice orientovány ve směru severu a východu a záporné v opačném.

1.3 Shrnutí příkazů

V této části budou popsány nejpoužívanější příkazy (parametry) programu *proj*. Základní stavbu příkazu lze vyjádřit takto:

```
proj [ -control ] [ +control ] [ files ]
```

Parametry začínající znakem `-`, tzn. `[-control]`, slouží k nastavení formy vstupu a výstupu a k výběru počítaných hodnot. Parametry začínající znakem `+`, tzn. `[+control]`, slouží k zadání požadovaného zobrazení, parametry `[files]` určí jména vstupních a výstupních souborů. Například volbou následujících parametrů

bude program *proj* provádět inverzní převod souřadnic (tedy z X, Y na φ, λ) pomocí merkátorova zobrazení na Besselově elipsoidu, vstupní souřadnice budou v souboru *vstup.txt* a výstupní v *vystup.txt* :

```
proj -I +proj=merc +ellps=bessel vstup.txt vystup.txt
```

Zde je výčet nejpoužívanějších [-control] parametrů:

-I – Tímto příkazem se zvolí inverzní výpočet tj. $X, Y \longrightarrow \varphi, \lambda$.

-l[p|P|e|u] -l=id – S parametry -l nebo -lp vypíše program seznam všech používaných zobrazení, -lP vypíše seznam všech používaných zobrazení s podrobnějšími informacemi, s parametrem -le získáme seznam nadefinovaných elipsoidů. -lu vypíše seznam používaných délkových jednotek a -l=zobrazení vypíše detailní informace o zadávání konkrétního zobrazení.

-r – Otočí pořadí vstupních souřadnic na Y, X nebo φ, λ (implicitně X, Y a λ, φ).

-s – Otočí pořadí výstupních souřadnic na Y, X nebo φ, λ (implicitně X, Y a λ, φ).

-S – Vypíše za výstupní souřadnice ještě hodnoty zkreslení v rovnoběžce, poledníku, plošného, úhlového a hodnoty poloos elipsy zkreslení.

-v – Na začátku výstupu uvede zadané parametry zobrazení.

-V – Na začátku výstupu uvede zadané parametry zobrazení. Za výstupními souřadnicemi vypíše detailně i s popisem hodnoty všech počítaných zkreslení.

Kapitola 2

Transformace mezi geodetickými datумы - modul cs2cs

2.1 Použití cs2cs

Modul *cs2cs* je jedním z modulů projektu (aplikace) System Projection. Umožňuje jednak přepočty souřadnic mezi geodetickými datумы, tak i v rámci mapových projekcí. Uživatel pracuje se souřadnicemi zeměpisnými (zeměpisná šířka a délka) a elipsoidickou výškou a nebo s rovinnými (x,y nebo easting,northing). Ne tedy se souřadnicemi pravoúhlými prostorovými X, Y, Z.

Syntaxe zadání příkazů pro přepočet souřadnic se skládá zčásti z parametrů pro definici kartografické projekce (stejně jak u modulu *proj* - jak již bylo uvedeno v předcházejících kapitolách) a zčásti z parametrů pro definici transformace mezi geodetickými datумы zadáním 7 nebo 3 transformačních parametrů.

cs2cs používá následující parametry:

+to - tento parametr rozděluje příkaz na dvě části, parametry v příkazu uvedené před **+to** definují systém *ze* kterého transformujeme, parametry uvedené za **+to** definují systém *do* kterého transformujeme.

+towgs84=dx, dy, dz, [wx, wy, wz, m] - tento parametr definuje pomocí 3 nebo 7 parametrů vztah daného konkrétního geodetického datumu k datumu WGS84. Pokud transformujeme ze systému WGS84 do nějakého jiného, umístíme parametr **+towgs84=...** za parametr **+to**, pokud opačně, parametr **+towgs84=...** bude před **+to**.

zde je příklad: `cs2cs ... +to ... +towgs84=121.5,78.45,56.03 ...`

pokud chceme použít pouze 3 prvkovou transformaci, zadáme jen první 3 parametry translace. Jednotlivé parametry 7 prvkové prostorové transformace znamenají následující:

+dx, dy, dz - jednotlivá posunutí ve směru os x, y, z, v jednotkách metrů.

+wx, wy, wz - rotace kolem jednotlivých os x, y, z, v jednotkách úhlových vteřin.

m - měřítko transformace (resp. jeho změna od $m = 1$).

+datum=geod. datum - parametr určující, jaké geodetické datum se má použít. Příkazem `cs2cs -ld` zjistíme, jaké jsou možnosti.

Jak je vidět, *cs2cs* umí transformovat souřadnice vždy vzhledem k systému WGS84. Pokud potřebujeme převod souřadnic mezi dvěma systémy, a žádný není WGS84, musíme provést transformaci prostřednictvím

WGS84, tzn. s mezikrokem převodu do WGS84.

Uvedeme několik příkladů. Pokud pracujeme pouze se zeměpisnými souřadnicemi (a s elipsoidickou výškou), bude přepočít souřadnic pouze v rámci transformace mezi geodetickými datумы, a je třeba zadat v definici obou systémů projekci `+proj=latlong` (=pracujeme v zeměpisných souřadnicích). Zde je příklad transformace z WGS84 do jiného systému:

```
cs2cs +proj=latlong +datum=WGS84 +to +proj=latlong +ellps=bessel
+towgs84=100,130,85
```

Příklad transformace ze systému S-JTSK (Křovákovo zobrazení) do systému WGS84:

```
cs2cs +proj=krovak +ellps=bessel
+towgs84=570.83,85.668,462.843,4.998,1.587,5.262,3.560
+to
+proj=latlong +datum=WGS84
```

Zde je ukázka skriptu, který provede transformaci mezi dvěma systémy, které nejsou ani jeden WGS84, transformujeme zeměpisné souřadnice z S-JTSK do S-42:

```
cs2cs +proj=latlong -r +ellps=bessel
+towgs84=570.8,85.7,462.8,4.998,1.587,5.261,3.56 +to +proj=latlong
+datum=WGS84 data.in | cs2cs +proj=latlong +datum=WGS84 +to
+proj=latlong -s +ellps=krass +towgs84=26,-121,-78 > data.out
```

Skript se skládá ze dvou příkazů, výstup z prvního příkazu (transformace z S-JTSK do WGS84) je přesměrován jako vstup do druhého příkazu (transformace z WGS84 do S-42). Příkazy jsou odděleny znakem `|`, vstupní data jsou v souboru `data.in`, výstupní data v souboru `data.out`, parametr `-r` obrací pořadí vstupních dat (implicitně je pořadí zem. délka, zem. šířka), parametr `-s` má podobnou funkci u výstupních souřadnic.

Kapitola 3

Definice kartografických zobrazení

3.1 Zadávání parametrů zobrazení

Jednotlivá zobrazení se zadávají pomocí parametrů, které obsahují dané jméno zobrazení, dále potom parametrů, které definují konkrétní zobrazení a nakonec parametry elipsoidu (resp. sféry). Těmto parametrům předchází znak `+`. Seznam zobrazení (jejich názvy v systému projection) vypíše příkaz `proj -l`, parametry určitého zobrazení vypíše příkaz `proj -l=zobrazení`, například pro merkátorovo zobrazení `proj -l=merc`. U mnohých zobrazení je možné provádět výpočty jak na kouli, tak na elipsoidu, a dále také inverzní výpočty, tzn. z rovinných X, Y na geografické φ, λ . V uvedených příkladech, viz. níže, je možné u všech zobrazení počítat inverzně i na elipsoidu, výjimkou je gnomonická projekce, u které jsou možné pouze výpočty na sféře.

Zobrazení a jejich parametry lze zadávat nejen z příkazového řádku, ale dají se i předdefinovat v inicializačním souboru, který se do výpočtů zavede pomocí parametru `+init` následujícím způsobem:

```
proj +init=soubor:klíč
```

Soubor může obsahovat více předdefinovaných zobrazení. Konkrétní zobrazení pro daný výpočet vybereme volbou *klíče*. *Soubor* musí být zadán celou svou cestou. Příkaz bude vypadat například takto:

```
proj +init=/home/radek/proj/zobrazeni:gauss-kr
```

Zde je ukázka struktury inicializačního souboru:

```
# proj +init - nadefinovane zobraz. pro jednotlivé ulohy
#

<gauss-kr> # Gauss-Kruger
    proj=tmerc ellps=krass lon_0=15E x_0=500000
    no_defs <>

<lamb-kuz> # Lambert kuzel 2 nezkreslene r.
    proj=lcc R=6380000 lon_0=15E lat_0=48N lat_1=48d40N lat_2=51d20N
    no_defs <>

.
.
.
```

Klíče pro jednotlivá zobrazení jsou zde `gauss-kr`, `lamb-kuz` Znak `#` předchází komentáři.

V příloze jsou uvedeny konkrétní ukázky příkladů zadávání přepočtů.

3.2 Příklady používaných zobrazení

název zobrazení	parametry	popis
Křovákovo (dvojité konformní kuželové zobrazení v obecné poloze)	<code>+proj=krovak</code>	orientace souřadnicových os : kladná x - směrem od severu k jihu, kladná y - směrem od východu k západu
Merkátorovo (konformní válcové v normální poloze)	<code>+proj=merc</code> <code>+lat_ts=ϕ_{ts}</code> <code>+k_0=k_0</code>	ϕ_{ts} definuje nezkreslené rovnoběžky, k_0 je délkové zkreslení na rovníku. Implicitně jsou hodnoty $\phi_{ts} = 0$, $k_0 = 1$.
Merkátorovo transverzální	<code>+proj=merc</code> <code>+lon_0=λ_0</code> <code>+k_0=k_0</code>	λ_0 definuje základní poledník, k_0 je délkové zkreslení na základním poledníku. Implicitně jsou hodnoty $\lambda_0 = 0$, $k_0 = 1$.
Merkátorovo v obec. poloze	<code>+proj=omerc</code> <code>+lat_0=ϕ_0</code> <code>+k_0=k_0</code> <code>+no_rot</code> <code>+rot_conv</code> <i>zadání 2 body:</i> <code>+lon_1=λ_1</code> <code>+lat_1=ϕ_1</code> <code>+lon_2=λ_2</code> <code>+lat_2=ϕ_2</code> <i>zadání bod+azimut:</i> <code>+alpha=α_c</code> <code>+lon_c=λ_c</code>	Jsou dva způsoby definující toto zobrazení: - zadáním 2 bodů na kartografickém rovníku (ϕ_1, λ_1) a (ϕ_2, λ_2) - zadáním souřadnicového počátku (na kart. rovníku) v (ϕ_0, λ_c) a azimutu kartografického meridiánu (souřadnicové osy) α_c O způsobu rozhoduje udání parametru α_c . Parametr k_0 je délkové zkreslení v souřadnicovém počátku. Pokud není zadán parametr <code>+no_rot</code> , je soustava souřadnic otočena o úhel α_c , nebo o meridiánovou konvergenci počátku <code>+rot_conv</code> .
UTM (modifikace konformního válcového transverzálního merkátorova zobrazení elipsoidu v šestistupňových pásích)	<code>+proj=utm</code> <code>+south</code> <code>+zone=zone</code> <code>+lon_0=λ_0</code>	Parametr <code>+south</code> užijeme při výpočtech na jižní hemisféře. Tím se k souřadnici x (northing) připočte konstanta 10 000 km. K souřadnici y (easting) je v každém případě přidána hodnota 500 km. Parametr <code>+zone</code> (číslo 1 až 60) určuje číslo poledníkového pásu, přičemž <code>+zone=1</code> určuje 1. pás v rozmezí zeměpisných délek -180° až -174° , kde $\lambda_0 = -177^\circ$. Státy NATO používají UTM na Hayfordově elipsoidu (v proj zadáme <code>+ellps=intl</code>). Základní poledník můžeme také zadat hodnotou λ_0 . Systém proj určí automaticky nejbližší daný λ_0 odpovídajícímu šestistupňového pásu. Zadání poledníkového pásu parametrem <code>+zone=1</code> má přednost.

název zobrazení	parametry	popis
Cassiniho (transverzální válcové, ekvidistantní v kartografických polednících)	+proj=cass +lat_0=ϕ_0 +lon_0=λ_0	ϕ_0 a λ_0 určují základní rovnoběžku a základní poledník. Implicitně jsou rovny 0.
Lambertovo kuželové konformní	+proj=lcc +lat_0=ϕ_0 +lon_0=λ_0 sečný kužel: +lat_1=ϕ_1 +lat_2=ϕ_2 tečný kužel: +lat_1=ϕ_1 +k_0=k_0	V případě sečného kuželu udávají ϕ_1, ϕ_2 zeměpisné šířky sečných rovnoběžek, u tečného kuželu udává ϕ_1 šířku tečné rovnoběžky. ϕ_0 a λ_0 určují základní rovnoběžku a poledník. Pokud ϕ_0 a λ_0 vynecháme, je implicitně $\lambda_0 = 0$ a základní rovnoběžka je u sečného kužele $= 0^\circ$ (rovník) u tečného odpovídá ϕ_1 .
Stereografická projekce (azimutální, konformní)	+proj=stere +lat_0=ϕ_0 +lon_0=λ_0 +lat_ts=ϕ_{ts} +k_0=k_0	Mohou nastat tyto případy projekce. Pokud je $\phi_0 = \pm 90^\circ$, jde o projekci polární (v normální poloze), pokud $\phi_0 = 0$ jde o projekci rovníkovou (v transverzální poloze), v ostatních případech o projekci v obecné poloze. Hodnoty λ_0 a ϕ_0 definují zeměpisný nebo kartografický pól. Parametr k_0 určuje v tomto bodě hodnotu délkového zkreslení. Parametr ϕ_{ts} určí nezkreslenou rovnoběžku.
UPS (modifikace stereografické azimutální polární projekce, určené pro zeměpisné šířky $\phi > 84^\circ$ nebo $\phi < -80^\circ$)	+proj=ups +south	Hodnoty některých parametrů stereografické projekce jsou implicitně dány. $\lambda_0 = 0$, $k_0 = 0.994$, $x_0 = y_0 = 2000$ km, $\phi_0 = +90^\circ$, pokud se zvolí +south (případ jižní hemisféry), je $\phi_0 = -90^\circ$.
Gnomonická projekce (azimutální projekce, není konformní ani ekvidistantní)	+proj=gnom +south +lat_0=ϕ_0	Pokud je $\phi_0 = \pm 90^\circ$, jde o projekci polární (v normální poloze), pokud $\phi_0 = 0$ jde o projekci rovníkovou (v transverzální poloze), v ostatních případech o projekci v obecné poloze.