

Местная система координат линейного объекта

[Обсудить в форуме](#) Комментариев — 0

Эта страница опубликована в основном списке статей сайта по адресу <http://gis-lab.info/qa/local-cs-linear-object.html>

Конструирование проекции для представления системы координат линейного объекта в ГИС

Содержание

- [1 Введение](#)
- [2 Постановка задачи](#)
- [3 О проекции](#)
- [4 Определение параметров](#)
 - [4.1 Решение обратной геодезической задачи](#)
 - [4.2 Построение проекции](#)
- [5 Вторая проекция](#)
- [6 Тестирование](#)
- [7 Заключение](#)
- [8 Ссылки](#)

Введение

Система координат линейного объекта строится для эксплуатации протяжённого инженерного сооружения. Принципы построения проекции сходны с классическим подходом, изложенным в статье [«Добавление местной координатной системы в GIS»](#). Однако постановка задачи отличается.

Постановка задачи

На оси сооружения задана линия положением двух его конечных точек в глобальной системе координат (ГСК).

Пусть в местной системе (МСК) начало координат совмещено с первой точкой, расстояние между точками задано величиной L , а ось OX направлена вдоль оси сооружения наружу. В такой системе координаты второй точки будут равны $X = -L$, $Y = 0$.

Требуется подобрать проекцию, подходящую для представления такой МСК в ГИС.

О проекции

Выбор проекции однозначен. Это косая проекция Меркатора с такими значениями параметров, чтобы так называемая начальная линия (линия наименьшего масштаба) проходила через конечные точки, а расстояние между этими точками равнялось L .

Для косой проекции Меркатора задаются следующие параметры:

- широта и долгота центра проекции φ_0, λ_0
- азимут начальной линии α
- разворот координатных осей γ
- масштаб на начальной линии k_0
- прямоугольные координаты в центре проекции x_0, y_0

Азимут начальной линии должен находиться в диапазоне $-90^\circ < \alpha < +90^\circ$. Таким образом, если разворот γ не задан, ось OY будет направлена вдоль начальной линии в северную полуплоскость, OX в восточную.

Азимут α не может равняться 0° . Если ось направлена вдоль меридиана, выбирайте проекцию Гаусса-Крюгера. Также α не может принимать значения $\pm 90^\circ$. Это тоже не проблема, поскольку в окрестности таких значений азимут вдоль геодезической линии меняется довольно быстро, и можно выбрать центр проекции на некотором удалении от первоначально выбранной точки.

Разворот γ первоначально вводился для компенсации начального разворота осей, чтобы вернуть оси OY направление строго на север. Для нас это великолепная возможность управлять ориентацией осей MCK произвольно.

Определение параметров

Приведём данные тестового примера. Осевая линия задана положением конечных точек на эллипсоиде WGS 84: $\varphi_1 = 51^\circ$ с.ш., $\lambda_1 = 22^\circ$ в.д., $\varphi_2 = 50^\circ$ с.ш., $\lambda_2 = 20^\circ$ в.д. Расстояние вдоль оси задано длиной $L = 180300$ м.

Рассмотрим последовательность решения задачи с использованием **PROJ.4**. Вид строки параметров таков:

```
+proj=omerc +lat_0= $\varphi_0$  +lonc= $\lambda_0$  +alpha= $\alpha$  +gamma= $\gamma$  +k_0= $k_0$  +x_0= $x_0$  +y_0= $y_0$ 
```

Простой подход состоит в том, чтобы поместить центр проекции в первую точку. В соответствии с постановкой задачи определяются следующие параметры:

```
+lat_0=51 +lonc=22 +x_0=0 +y_0=0
```

Для определения параметра α нужно решить обратную геодезическую задачу и найти азимут в первой точке на вторую α_{12} . Здесь возможны два случая:

- вторая точка севернее первой, $-90^\circ < \alpha_{12} < +90^\circ$; $\alpha = \alpha_{12}$
- вторая точка южнее первой, $90^\circ < \alpha_{12} < 270^\circ$; $\alpha = \alpha_{12} - 180^\circ$

Поскольку поставлена задача на ось OX вдоль начальной линии в противоположную сторону от второй точки, параметру γ присвоим значение -90° в первом случае и $+90^\circ$ во втором.

Значение параметра k_0 также можно оценить по результатам решения обратной геодезической задачи: $k_0 = L / S$, где L — заданная длина линии, S — длина геодезической из решения ОГЗ.

Решение обратной геодезической задачи

Итак, из решения ОГЗ мы хотим получить азимут α_{12} и расстояние S , нужные для определения параметров α и k_0 соответственно.

Пикантность ситуации придаёт тот факт, что на эллипсоиде через две точки проходит геодезическая линия, которая в блестящей математике косо́й проекции сэра Мартина Хотайна отображается в кривую на апосфере, не совпадающую с дугой большого круга. Расчёты показывают, что вследствие этого точность соответствия $\alpha = \alpha_{12}$ и $k_0 = L / S$ при расстояниях в несколько десятков километров перестаёт удовлетворять требованиям геодезии.

Впрочем, многие объекты имеют скромные размеры «всего» в несколько километров, и для них этот неприятный момент имеет исключительно теоретическое значение.

Однако есть ещё одно обстоятельство. Утилита **geod** из пакета **PROJ.4** версии 4.9.0 будет решать геодезические задачи на эллипсоиде, используя библиотеку **GeographicLib**. Но сегодня в ходу **PROJ.4** версии 4.8.0, и **geod** умеет считать только для сферы.

Так или иначе, надо научиться обходиться подручными средствами.

Подготовим файл данных с координатами конечных пунктов **inv.dat**:

51N 22E 50N 20E

и решим ОГЗ:

```
$ geod -I -f "%.10f" -F "%f" +ellps=WGS84 +units=m inv.dat
```

Возможно, в следующей версии **PROJ.4** результатом этой команды будет решение на эллипсоиде. Сегодня же из решения на сфере радиусом, равным экваториальному радиусу эллипсоида WGS 84, получилась такая строка значений α_{12} , α_{21} , S :

```
-127.3948484062 51.0617802663 180119.673397
```

Построение проекции

По результатам решения ОГЗ построим черновую проекцию. Поскольку $\varphi_2 < \varphi_1$, имеет место второй вариант; примем $\alpha = \alpha_{12} + 180^\circ = 52.6051515938^\circ$, $\gamma = +90^\circ$. Масштабный коэффициент пока приравняем единице: $k_0 = 1$. Получен предварительный набор параметров:

```
+proj=omerc +lat_0=51 +lonc=22 +alpha=52.6051515938 +gamma=90 +k_0=1 +x_0=0 +y_0=0
```

Подготовим файл с координатами конечных точек **p12.dat**:

```
22 51
20 50
```

Выполним команду:

```
$ proj -f "%f" +proj=omerc +lat_0=51 +lonc=22 +alpha=52.6051515938 +gamma=90 +k_0=1
+x_0=0 +y_0=0 +ellps=WGS84 p12.dat
```

Программа выдаёт координаты первой и второй точек x_1 , y_1 и x_2 , y_2 в МСК:

```
-0.000000 0.000000
-180292.238188 238.386305
```

Координаты первой точки равны нулю, как и должно быть. Координаты второй точки отличаются от ожидаемых значений $-L$ и 0 . Ненулевая величина y_2 говорит о том, что начальная линия проходит мимо второй точки. Значит, нужно подобрать параметр α , чтобы ис промах.

Численные методы отлично справляются с поиском корня уравнения $x_2(\alpha) = 0$. Добавим немного геометрии в задачу и будем улучшать значение параметра по формуле $\alpha' = \alpha - \arctg(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$. Может, это не очень эффективно, но через пять итераций при $\alpha = 52.6809193468$ получаем такие координаты:

```
-0.000000 0.000000
-180292.395746 0.000000
```

Вычисляем параметр k_0 по формуле $k_0 = -L / (x_2 - x_1) = 180300 / 180292.238188 = 1.0000421773$.

Запуск **proj** с окончательным набором параметров:

```
proj -f "%f" +proj=omerc +lat_0=51 +lonc=22 +alpha=52.6809193468 +gamma=90
```

```
+k_0=1.0000421773 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=WGS84 p12.dat
```

Результаты:

```
-0.000 0.000  
-180300.000 0.000
```

Проекция построена.

Вторая проекция

Нередко требуется вторая проекция, являющаяся зеркальным отражением первой: начало координат МСК-2 во второй точке, ось OX направлена вдоль оси в сторону, противоположную направлению на первую точку. Таким образом МСК-2 развёрнута по отношению к МСК-1 на 180° и смещена вдоль оси OX на длину L .

Последнее предложение имеет особый смысл для выбора способа построения МСК-2. Если выбрать способ, изложенный для МСК-1, только с центром проекции во второй точке и опорой на азимут α_{21} , выяснится, что апосфера во втором случае будет не та, что в первом, и большие круги, проходящие через две точки, не совпадают. Правда, разница незаметна, пока расстояние не достигает величин в несколько десятков километров.

Таким образом, если нужна пара взаимоувязанных МСК, вторая система строится на параметрах первой. Параметр *gamma* изменяем на 180° , параметру x_0 присваиваем значение $-L$, всего-то и делов.

Тестирование

Создадим файл с координатами двух точек **pt34.dat** на эллипсоиде:

```
21 51  
21 50
```

Вычислим координаты в МСК-1:

```
proj -f "%.3f" +proj=omerc +lat_0=51 +lonc=22 +alpha=52.6809193468 +gamma=90  
+k_0=1.0000421773 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=WGS84 p34.dat  
  
-55539.071 42936.465  
-124171.432 -44612.843
```

Вычислим координаты в МСК-2:

```
proj -f "%.3f" +proj=omerc +lat_0=51 +lonc=22 +alpha=52.6809193468 +gamma=-90  
+k_0=1.0000421773 +x_0=-180300 +y_0=0 +ellps=WGS84 p34.dat  
  
-124760.929 -42936.465  
-56128.568 44612.843
```

Калькулятор подтверждает, что:

- суммы координат x соответствующих точек равны $-L$
- суммы координат y соответствующих точек равны нулю

Заключение

Рассмотренный способ построения проекции прост, поскольку позволяет заменить знание математической картографии обращением к **PROJ.4**, который используется как чёрный ящик.

В косой проекции Меркатора масштаб отображения вдоль начальной линии не является постоянным, поскольку при изменении широты меняется кривизна сечения эллипсоида. Это несущественно для объектов длиной в несколько километров, но становится заметным при очень больших длинах. Чтобы уменьшить эффект, центр проекции располагают в середине линии.

В этом случае задача построения проекции по двум точкам усложняется: центр проекции нужно поместить на дугу большого круга, проходящего через конечные точки. Пожалуй, всё же проще использовать для решения таких задач сферическую тригонометрию на апосфере.

Ссылки

- [Map Projections — A Working Manual, Snyder J. P., USGS Professional Paper 1395, 1987](#)
- [Coordinate Conversions and Transformations including Formulas, EPSG Guidance Note 7, 2002](#)
- [Hotine Oblique Mercator](#)
- [man_proj – PROJ.4](#)
- [man_geod – PROJ.4](#)
- [GeographicLib](#)
- [Добавление местной координатной системы в GIS](#)

[Обсудить в форуме](#) Комментариев — 0

Последнее обновление: 2014-12-03 17:58

Дата создания: 20.11.2014

Автор(ы): [ErnieBoyd](#)