Рассмотрим алгоритм расчета факторов геометрического снижения точности.

На первом этапе строится ковариационная матрица $\boldsymbol{A}$, на основе информации о видимых спутниках.

$$A=\begin{bmatrix} \frac{(x_1-x)}{R_1} & \frac{(y_1-y)}{R_1} & \frac{(z_1-z)}{R_1} & 1 \\ \frac{(x_2-x)}{R_2} & \frac{(y_2-y)}{R_2} & \frac{(z_2-z)}{R_2} & 1 \\ \frac{(x_3-x)}{R_3} & \frac{(y_3-y)}{R_3} & \frac{(z_3-z)}{R_3} & 1 \\ \frac{(x_4-x)}{R_4} & \frac{(y_4-y)}{R_4} & \frac{(z_4-z)}{R_4} & 1 \end{bmatrix}$$, где

x,y,z – координаты потребителя, x_i,y_i,z_i – координаты i-го спутника,

$R_i=\sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2+(z_i-z)^2}$ - расстояние от потребителя до i-го спутника.

Далее, вычисляется матрица $\boldsymbol{Q}$, полученная обращением произведения транспонированной матрицы $\boldsymbol{A}^T$ на исходную матрицу $\boldsymbol{A}$:

$\boldsymbol{Q}=(\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{A})^{-1}$

Матрица $\boldsymbol{Q}$ содержит следующие элементы:

$$Q=\begin{bmatrix} d_x^2 & d_{xy}^2 & d_{xz}^2 & d_{xt}^2 \\ d_{xy}^2 & d_y^2 & d_{yz}^2 & d_{yt}^2 \\ d_{xz}^2 & d_{yz}^2 & d_z^2 & d_{zt}^2 \\ d_{xt}^2 & d_{yt}^2 & d_{zt}^2 & d_t^2 \end{bmatrix}$$

На основании матрицы Q мы можем определить величины различных факторов снижения точности:

$VDOP=\sqrt{d_z^2}$ - вертикальное снижение точности
$HDOP=\sqrt{d_x^2+d_y^2}$ - позиционный (двухмерный) геометрический фактор
$TDOP=\sqrt{d_t^2}$- снижение точности определения времени
$PDOP=\sqrt{d_x^2+d_y^2+d_z^2}$ - позиционный (трехмерный) геометрический фактор
$GDOP=\sqrt{PDOP^2+TDOP^2}$ – интегральный геометрический фактор

Итак, исходные данные:

Координаты потребителя
x=-730000
y=-5440000
z=3230000

Координаты первого спутника
x_1=15524471,175, y_1=-16649826,222; z_1=13512272,387
Координаты второго спутника
x_2=-2304058,534, y_2=-23287906,465, z_2=11917038,105
Координаты третьего спутника
x_3=16680243,357, $y3$=-3069625,561, $z3$=20378551,047
Координаты четвертого спутника
x_4=-14799931,395, y_4=-21425358,24, z_4=6069947,224

Найдем расстояния от спутников до потребителя:

$$R_1=\sqrt{(-730000-15524471,175)^2+(-5440000+16649826,222)^2+(3230000-13512272,387)^2}$$
=22261921,8071308 м
$$R_2=\sqrt{(-730000+2304058,534)^2+(-5440000+23287906,465)^2+(3230000-11917038,105)^2} =$$
19912058,0676526 м
$$R_3=\sqrt{(-730000-16680243,357)^2+(-5440000+3069625,561)^2+(3230000-20378551,047)^2} =$$
24552149,635879 м
$$R_4=\sqrt{(-730000+14799931,395)^2+(-5440000+21425358,24)^2+(3230000-6069947,224)^2} =$$
21483946,2798679 м

Сформируем матрицу $\boldsymbol{A}$:

$$\frac{(15524471+730000)}{22261921} \quad \frac{(-16649826+5440000)}{22261921} \quad \frac{(13512272-3230000)}{22261921} \quad 1$$
$$\frac{(-2304058+730000)}{19912058} \quad \frac{(-23287906+5440000)}{19912058} \quad \frac{(11917038-3230000)}{19912058} \quad 1$$
$$\frac{(16680243+730000)}{24552149} \quad \frac{(-3069625+5440000)}{24552149} \quad \frac{(20378551-3230000)}{24552149} \quad 1 \quad =$$
$$\frac{(-14799931+730000)}{21483946}$$
$$\frac{-21425358+5440000}{21483946} ¿ \frac{(6069947-3230000)}{21483946} \quad 1 ¿ A=[\,]$$
¿
¿

$$\begin{bmatrix} 0,7301 & -0,5035 & 0,4618 & 1 \\ -0,079 & -0,8963 & 0,4362 & 1 \\ 0,7091 & 0,0965 & 0,6984 & 1 \\ -0,6549 & -0,744 & 0,1321 & 1 \end{bmatrix}$$

Протранспонируем матрицу $\boldsymbol{A}$:

$$\boldsymbol{A^T}=\begin{bmatrix} 0,7301 & -0,079 & 0,7091 & -0,6549 \\ -0,5035 & -0,8963 & 0,0965 & -0,744 \\ 0,4618 & 0,4362 & 0,6984 & 0,1321 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Умножим транспонированную матрицу на исходную.

$$\boldsymbol{A^T A}=\begin{bmatrix} 1,471 & 0,259 & 0,711 & 0,705 \\ 0,259 & 1,62 & -0,655 & -2,047 \\ 0,711 & -0,655 & 0,909 & 1,729 \\ 0,705 & -2,047 & 1,729 & 4 \end{bmatrix}$$

Найдем матрицу, обратную произведению транспонированной матрицы на исходную:

$$\boldsymbol{Q}=(\boldsymbol{A^T A})^{-1}=\begin{bmatrix} 3,146 & -0,529 & -7,153 & 2,266 \\ -0,529 & 4,187 & -4,63 & 4,237 \\ -7,153 & -4,63 & 30,749 & -14,398 \\ 2,266 & 4,237 & -14,398 & 8,242 \end{bmatrix}$$

dx=3,1459
dy=4,1865
dz=30,7488
dt=8,2419

gdop=6,806
pdop=6,171
hdop=2,707
vdop=5,545
tdop=2,870