



# VirtualGOCA - приложение, основанное на GoogleEarth, для интерактивного моделирования виртуальных сенсорных сетей, сертификации математических моделей и программирования, а также планирования и анализа сценариев геомониторинга

Reiner Jäger, Manuel Oswald und Peter Spohn

## О программе

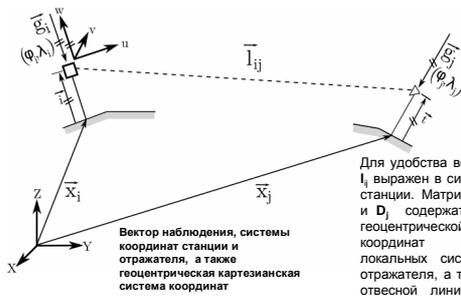
С понятием геомониторинга связаны разнообразные задачи изучения Земли, предупреждения катастроф и раннего оповещения о чрезвычайных ситуациях. На каждом этапе мониторинга совместно используются методы различных дисциплин, как например, на этапе сбора данных (создание и эксплуатация сенсорных сетей, обмен данными), моделирования (редуцирование, вычисление и статистическая оценка геоэференцированных величин состояния объекта, прогнозирование, выявление отклонений в текущих процессах), документирования (протоколирование, визуализация виртуальных сенсорных моделей) и реагирования (составление плана оповещения).

Программные пакеты VirtualGOCA и GOCAEarth (визуализация параметров деформаций в GoogleEarth), разработанные в рамках научно-исследовательского проекта GOCA, предназначены соответственно для первого и третьего этапов процесса мониторинга, описанного выше.

VirtualGOCA генерирует в режиме online «сырые» данные сенсоров с учетом взаимосвязи геометрии пространства и гравитационного поля, и предоставляет их в открытом формате GKA (www.goca.info) со штампом времени. С помощью этих данных, максимально приближенных к реальности, можно выполнять - с произвольным конфигурированием виртуального массива пунктов геомониторинга в GoogleEarth - экономически эффективную разработку и сертификацию математических моделей уравнения и деформационного анализа. Благодаря VirtualGOCA, перечисленные выше этапы мониторинга (моделирование, документирование, реагирование) могут тестироваться и оптимизироваться согласованно. В будущем VirtualGOCA позволит выполнять «обоснование концепции мониторинга», а также сравнительную экспертизу качества, как программного обеспечения, так и методики выполнения геомониторинга.

## Получение данных от сенсоров в VirtualGOCA

а) Горизонтальное проложение, угол наклона и зенитное расстояние являются скалярными функциями вектора наблюдений, параллельного горизонтальной оси прибора и призмы.



Для удобства вектор измерений  $I_{ij}$  выражен в системе координат станции. Матрицы вращения  $D_1$  и  $D_2$  содержат углы поворота геоцентрической системы координат относительно локальных систем станции и отражателя, а также параметры отвесной линии  $\phi$  и  $\lambda$  (см. справа сверху).

Следующее выражение действительно при переходе от единой геоэференцированной системы координат  $P(x, y, z)$  к локальной (LAV) системе координат станции  $P(u, v, w)$ .

$$\vec{I}_{ij} = \begin{pmatrix} \Delta u \\ \Delta v \\ \Delta w \end{pmatrix} = D_1 \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ t \end{pmatrix} + D_2 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ t \end{pmatrix}$$

Вычисление вектора наблюдений в системе координат станции

Тогда скалярные измеряемые величины на станции P определяются простым способом как

$$s_{ij} + v_{ij}^s = \sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2 + \Delta w^2} \quad \text{горизонтальное проложение}$$

$$r_{ij} + v_{ij}^r = \arctan\left(\frac{\Delta v}{\Delta u}\right) - o \quad \text{угол наклона}$$

$$z_{ij} + v_{ij}^z = \arctan\left(\frac{\sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2}}{-\Delta w}\right) - \frac{s_{ij}}{2R} \cdot k \quad \text{зенитное расстояние}$$

o: неизвестный угол ориентирования, R: радиус Земли, k: коэффициент рефракции.

б) базовые линии ГНСС генерируются как разности координат в геоцентрической картезианской системе координат. Преобразование географических координат  $P(B, L, h = H + N)$  в  $P(x, y, z)$  сопровождается увеличением количества ошибок, поэтому моделируются разные точности в плане и по высоте:

$$C_b = F \cdot \begin{pmatrix} \sigma_B^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_L^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_h^2 \end{pmatrix} \cdot F^T$$

$$F = \begin{bmatrix} -(M+h) \cdot \sin B \cdot \cos L & -(N+h) \cdot \cos B \cdot \sin L & \cos B \cdot \cos L \\ -(M+h) \cdot \sin B \cdot \sin L & (N+h) \cdot \cos B \cdot \cos L & \cos B \cdot \sin L \\ (M+h) \cdot \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix}$$

с) превышения абсолютных высот  $\Delta h$  (геометрическое и гидростатическое нивелирование) могут непосредственно формироваться между геоэференцированными пунктами мониторинга  $P(B, L, h = H + N)$ .

## Модель поверхности относимости (квазигеоид)

GoogleEarth предоставляет только географические плановые координаты B и L. Для геоэференцирования наблюдений на пунктах геомониторинга и между ними, также необходимы абсолютные высоты N и превышения квазигеоида над референциальным эллипсоидом N. N получают методом интерполяции из цифровой модели земной поверхности (ETOPO1). Высота квазигеоида N вычисляется по теореме Брунса и теореме Молденского из геопотенциала W и гравитационного поля U референциального эллипсоида GRS80:

$$N = \frac{(W - U)_p}{\gamma_Q} = \frac{T_p}{\gamma_Q} \quad \text{Теорема Брунса и высота квазигеоида N по Молденскому}$$

Проф., д-р. Reiner Jäger – науч.рук. проекта GOCA

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft (HSKA)  
Институт прикладных исследований (IAF)  
Moltkestr. 30, D-76133 Karlsruhe  
Tel.: ++ 49 721 925 2620 ; Fax: ++ 49 721 925 2571  
Email: reiner.jaeger@web.de



В качестве W могут использоваться модели EIGEN04C (см.рис.ниже) или EGM 2008. Для параметров отвесной линии  $\phi$  и  $\lambda$  действительны - исходя из пространственной привязки пункта P в глобальных координатах  $P(B, L, h)$  - следующие уравнения необходимых поправок в углы наклона и/или зенитные расстояния за искривление отвеса, в зависимости от модели уравнения:

$$\xi = \phi - B$$

$$\eta = (\lambda - L) \cdot \cos B$$

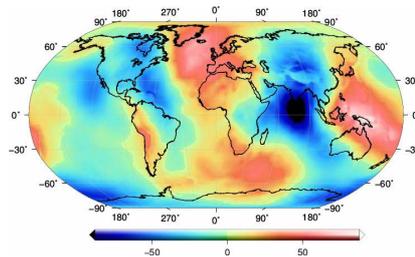
Уклонение отвеса с севера на юг ["]  
Уклонение отвеса с востока на запад ["]

Аналитическое определение параметров уклонения отвеса ( $\phi, \lambda$ ), необходимых для генерации TPS-наблюдений, в VirtualGOCA происходит с помощью геопотенциальной модели EIGEN04C или EGM2008 как:

$$\phi = \arctan\left(\frac{-W_z}{\sqrt{W_x^2 + W_y^2}}\right) \quad \lambda = \arctan\left(\frac{W_y}{W_x}\right)$$

Параметры уклонения отвеса

Следующий рисунок показывает превышения квазигеоида N над референциальным эллипсоидом, вычисленные по теореме Брунса (см.выше) с использованием геопотенциальной модели EIGEN04C от GFZ.



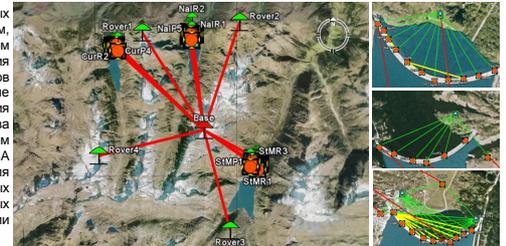
Графическое представление превышения квазигеоида N [m] согласно модели EIGEN04C от GFZ

## VirtualGOCA

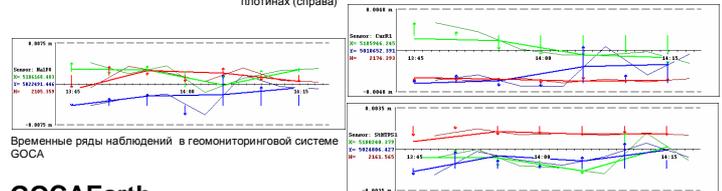
Сырые данные от виртуальных геоэических сенсоров формируются на основе геопотенциальной модели EIGEN04C от GFZ или EGM 2008 и цифровой модели поверхности ETOPO1 от NGDC, и предоставляются пользователю в виде файлов формата GKA. Это базовые линии, горизонтальные проложения, углы наклона, зенитные расстояния и превышения вместе с соответствующими стохастическими моделями.

Позиции сенсоров задаются в Google Earth приближенно к реальным и через kml-интерфейс передаются в VirtualGOCA, где осуществляется конфигурация сети геомониторинга. Дополнительно у пользователя есть возможность задавать величину точности для отдельных типов сенсоров. Для оценки надежности какой-либо концепции геомониторинга или программного обеспечения для уравнения сети и деформационного анализа пользователем может задаваться генерация грубых ошибок («Количество грубых измерительных ошибок в час»). Наряду с режимами наблюдений реальной времени и интервал времени VirtualGOCA предлагает выбор модели деформации, которая может симулироваться – например, оползень.

Независимо от индивидуальных концепций, моделей и программ, т.е. с нейтральным интерфейсом VirtualGOCA служит для обучения выполнению всех этапов геомониторинга. В режиме нейтрального предоставления данных сенсоров  $I_{ij}$  для массива геомониторинга на произвольном участке местности VirtualGOCA может применяться для независимых производственных расчетов, а также для оценочных тестов и в рамках сертификации систем геомониторинга



Сеть сенсоров на горном массиве Gotthard (слева). Схемы расстановки призм на платолах (справа)



## GOCAEarth

Результаты анализа деформаций, выполненного в GOCA (Этап 2: fin-файлы, Этап 3: mve- и sht-файлы) должны визуализироваться в GoogleEarth как векторы смещений (в плане и по высоте). Поэтому, для правильного отображения положения, в GOCA встроена функция трансформации всех данных в формат GoogleEarth и ее собственную координатную систему. Этим обеспечивается корректное отображение даже локальных сетей. Необходимые контрольные пункты передаются в GOCAEarth в формате kml. Под трансформацией здесь имеется ввиду двумерное преобразование соответствующих координат. Для каждого типа данных, а также для позиции сенсора создается собственный kml-файл, который затем передается по так называемой сетевой ссылке в GoogleEarth. Эта ссылка также обеспечивает обновление отображения kml-файлов, так что GOCAEarth только периодически переписывает соответствующий файл. Пользователь может контролировать правильность перенесения отдельных типов данных в свойствах пунктов объекта в табличной форме.



Интерфейс пользователя GOCAEarth (слева). Визуализация деформаций (в середине). Таблица состояния деформаций (справа).

GOCA Homepage: <http://www.goca.info>