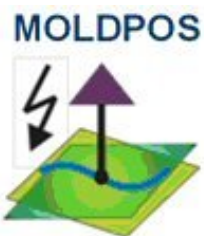




Технический
Университет
Молдовы



Геодезическая инфраструктура для службы позиционирования GNSS



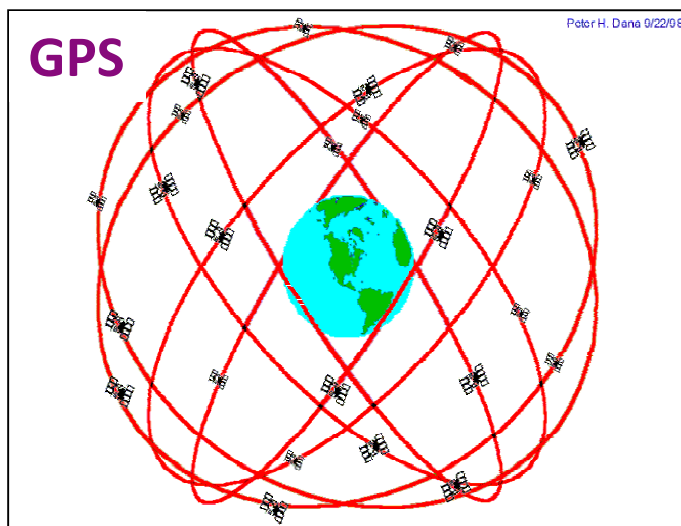
Василе Кирьяк
Василе Грама
Ливия Нистор-Лопатенко
Андрей Яковлев

Reiner Jäger
Ghadi Younis
Stephan Seiler
Simone Kalber
Peter Spohn



XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЮБИЛЕЙНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
“ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: GPS И GIS – ТЕХНОЛОГИИ”
13-18 сентября 2010г. АЛУШТА (КРЫМ)

Спутниковые системы глобального позиционирования GNSS в референцной системе ITRF/ECEF



< 50 (2010)
105! (2013)



Космический сегмент

ГЛОНАСС



Сегмент
потребителя

Сегмент контроля

Спутниковые системы глобального
позиционирования GNSS

COMPASS



Введение

- Спутниковые системы глобального позиционирования GNSS в референцной системе ITRF/ECEF
- Службы позиционирования GNSS
- Высокоточный (“см”) дифференциальный GNSS (DGNS)
- Служба GNSS-Service и позиционирование с RTCM
- Решение проблем трансформирования координат
 1. Плановые трансформации координат
 2. Трансформирование высот/HRS – метод референцной поверхности Карлсруэ
 3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM
- Мониторинг референчных станций GNSS
- Службы позиционирования GNSS- группы потребителей
- Перспективы служб позиционирования GNSS
- Выводы и рекомендации

Службы позиционирования GNSS

www.euref.eu

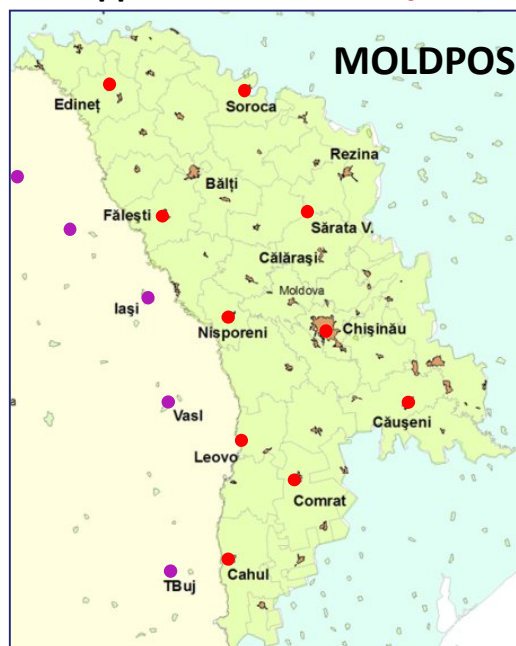


**GNSS-Networks in EURASIA: SAPOS®/Axio-Net/VRSNow® , SWIPOS®/SwissSat® ... SwePos®, CzePos®, LatPos®, CroPos®, HePos® , ... Hungary, Slovenia, Romania, Siberia (SRPOS),
...Moldova (www.moldpos.eu)**

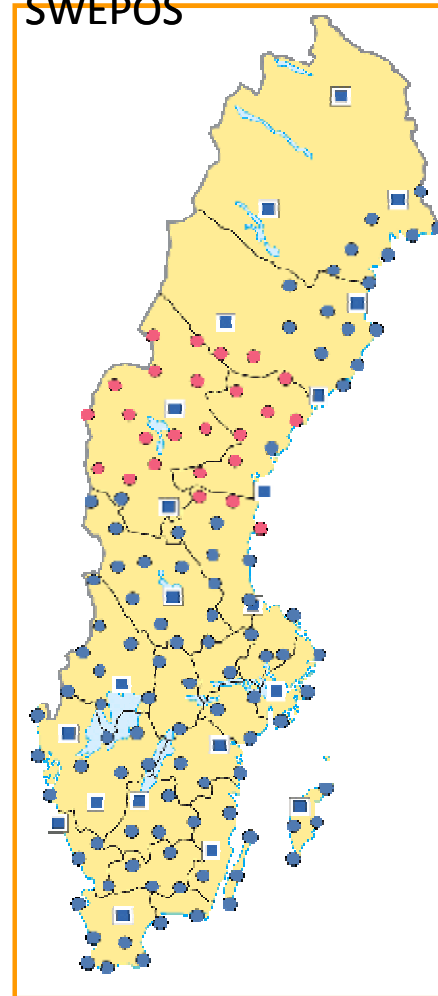
Высокоточный (“см”) дифференциальный GNSS (DGNSS)

Региональные службы DGNSS в Европе и за ее пределами

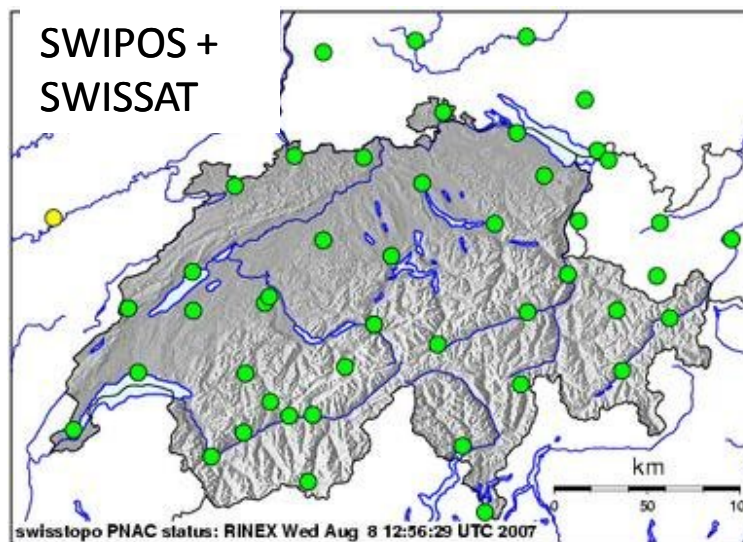
Молдова www.moldpos.eu



SWEPOS



SWIPOS +
SWISSAT



“см”



**!Кодовые и фазовые
коррекции!
RTCM 3.1**

Служба GNSS-Service и позиционирование с RTCM

Adresse  <http://www.rtcn.org/>



RTCM

The Radio Technical Commission for Maritime Services

[Overview](#)

[Publications](#)

[Annual Meeting](#)

[Membership](#)

[Calendar](#)

[Contact Us](#)

[Visit Us](#)

Welcome

What do you see when you step onto the bridge of a modern ship or well-equipped boat?

Chances are that RTCM standards and RTCM activities had a lot to do with the communication and navigation equipment there.

In the United States, the Federal Communications Commission and U.S. Coast Guard use RTCM standards to specify radar systems, Emergency Position Indicating Radio Beacons, and the basic version of Digital Selective Calling radios.



RTCM Guides

[Guide to International Requirements for GMDSS Communication Equipment 1.1](#)

[Guide to International Ship Navigation Equipment Requirements Version 1.2](#)

Personal Locator Beacons used on land in the U.S. are required to meet an RTCM standard.

RTCM standards are used internationally for Differential Global Navigation Satellite Systems and Electronic Chart Systems.

RTCM members also have the opportunity to monitor and participate in the development of international standards for maritime radiocommunication and electronic navigation systems.

Служба GNSS и позиционирование на основе RTCM

Основные данные GNSS полученные на референчных станциях GNSS на момент времени $t - \Delta t$

$$\nabla \rho(t - \Delta t)_{\text{Ref}}^{\text{Sat}} = \rho[(x, y, z)_{\text{REF}}; (x, y, z)_{\text{SAT}, \Delta t}]_{\text{true, Ref}} - \rho(t - \Delta t)_{\text{Observed, Ref}}$$

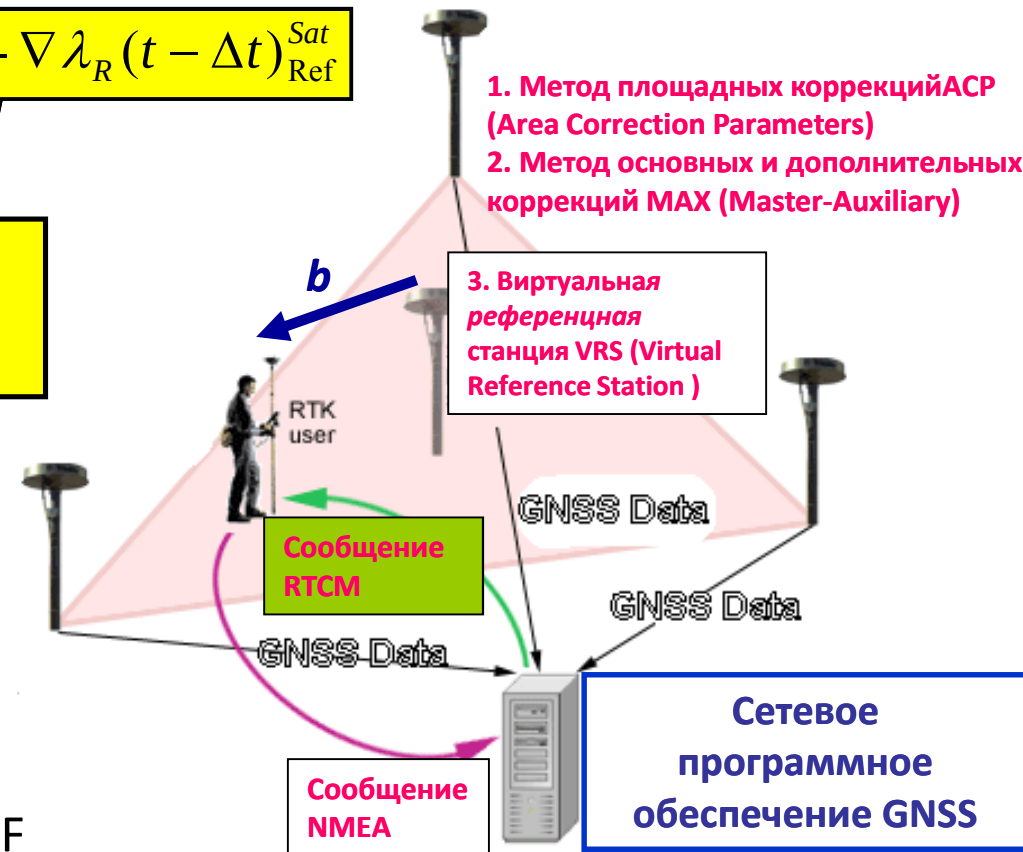
$$\nabla \lambda_R(t - \Delta t)_{\text{Ref}}^{\text{Sat}} = \lambda_R[(x, y, z)_{\text{REF}}; (x, y, z)_{\text{SAT}, \Delta t}]_{\text{true, Ref}} - \lambda_R(t - \Delta t)_{\text{Observed, Ref}}$$

$$\lambda_R(t)_{\text{Rov, corrected}}^{\text{Sat}} = \lambda_R(t)_{\text{Rov, Observed}}^{\text{Sat}} - \nabla \lambda_R(t - \Delta t)_{\text{Ref}}^{\text{Sat}}$$



Измерения -
коррекции
RTCM 3.1

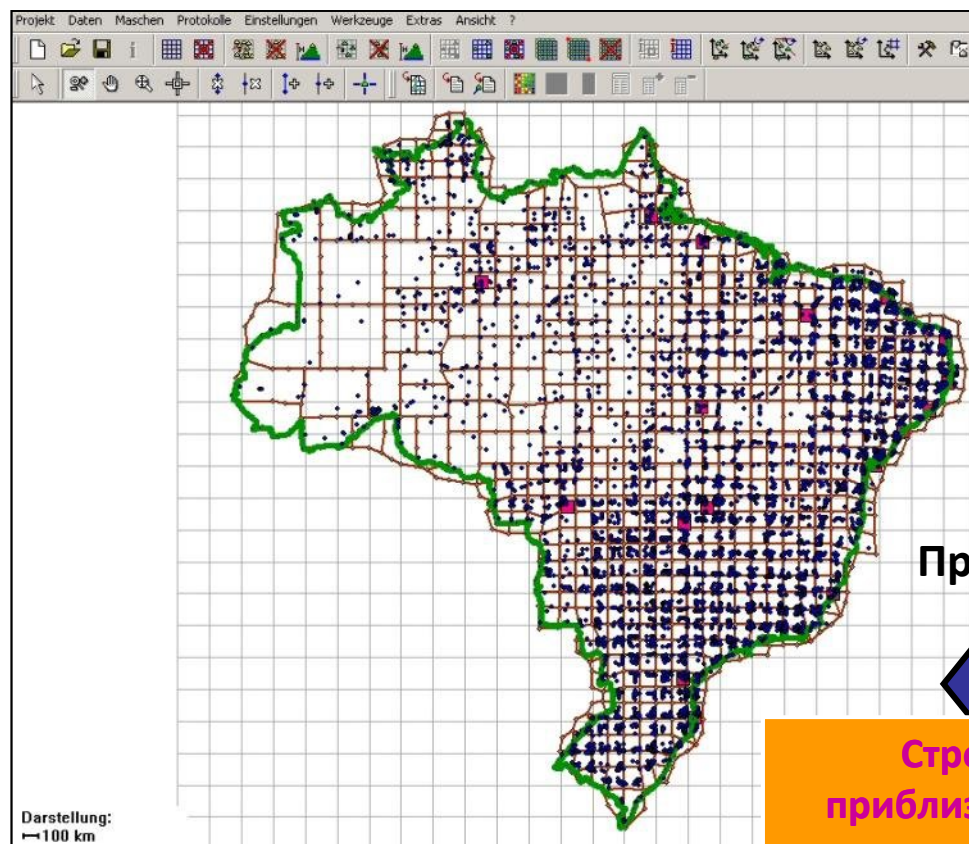
$(B, L, h)_{\text{GNSS-Datum ITRF}}$
1 - 2 cm



Решение проблем трансформирования координат

1. 1 Плановые трансформации координат $(B,L)_{\text{GNSS,ITRF}} \rightarrow (B,L)_{\text{Classical}}$

Проект трансформирования в Бразилии



Приложения GIS

Строгое и
приблизительное
решение
TRAFO

Референцная система ITRF / SIRGAS -

Практика GNSS

Классическая старая система
координат

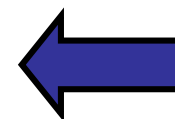
Решение проблем трансформирования координат

1.1 Плановые трансформации координат $(B, L)_{\text{GNSS, ITRF}} \rightarrow (B, L)_{\text{Classical}}$

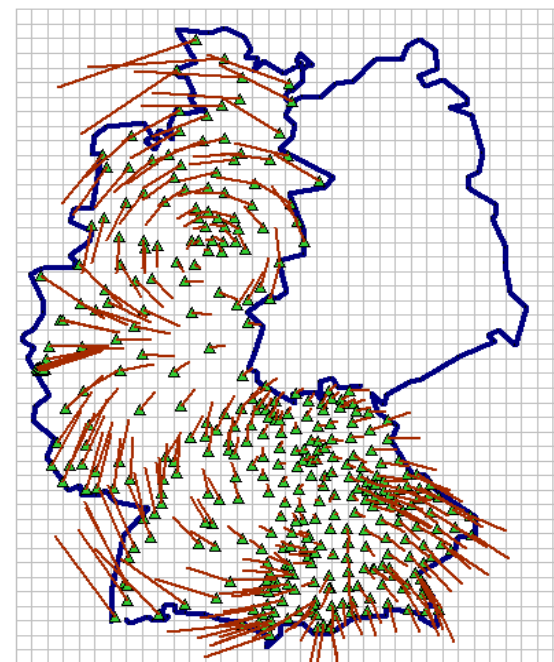
Проект трансформирования в Германии



Трансформации
в приложениях
GIS



Строгое и
приблизительное
решение
TRAFO



Референцная система ITRF / ETRS89 -

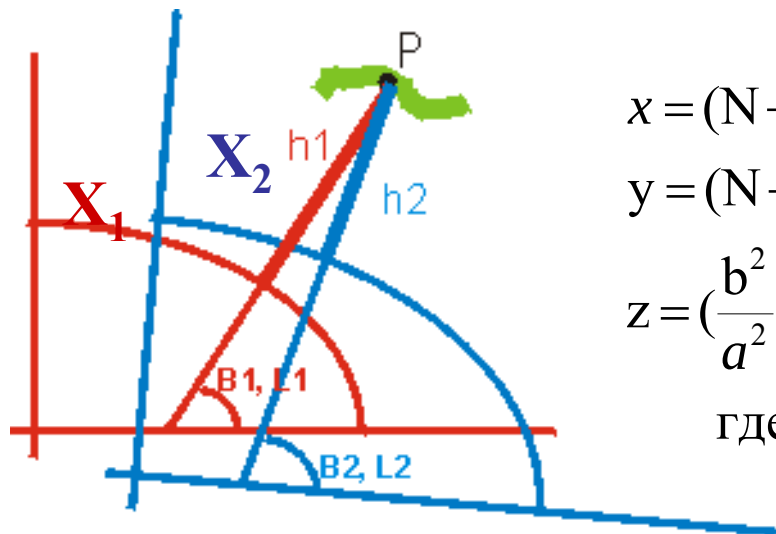
Практика GNSS

Классическая старая система
координат

Решение проблем трансформирования координат

1. 1 Плановые трансформации координат $(B, L)_{\text{GNSS, ITRF}} \rightarrow (B, L)_{\text{Classical}}$

Основная проблема трансформации



$$x = (N + h) \cdot \cos B \cdot \cos L$$

$$y = (N + h) \cdot \sin B \cdot \sin L$$

$$z = \left(\frac{b^2}{a^2} \cdot N + h \right) \cdot \sin B$$

где $N(B)$ = нормальк референцному эллипсоиду

Трансформации 3D

$$X_2 = m \cdot R \cdot X_1 + t, \text{ где } X_1 = \begin{bmatrix} x_1(B_1, L_1, h_1) \\ y_1(B_1, L_1, h_1) \\ z_1(B_1, L_1, h_1) \end{bmatrix} \quad \text{и} \quad X_2 = \begin{bmatrix} x_2(B_2, L_2, h_2) \\ y_2(B_2, L_2, h_2) \\ z_2(B_2, L_2, h_2) \end{bmatrix}$$

Матрица вращения
(3 вращения)

Нелинейные отношения (см. рис.)

Решение проблем трансформирования координат

1.1 Плановые трансформации координат $(B,L)_{\text{GNSS,ITRF}} \rightarrow (B,L)_{\text{Classical}}$

Решение трансформационной проблемы
методом Молоденского

Трансформации
3D относящихся к
(B,L,h)

1D-,2D-,3D-

Идентичные
пункты

WTRANS
www.geozilla.de

$$\begin{pmatrix} B \\ L \\ h \end{pmatrix}_2 - \begin{bmatrix} \Delta B_{(a,b)1,(a,b)2} \\ \Delta L_{(a,b)1,(a,b)2} \\ \Delta h_{(a,b)1,(a,b)2} \end{bmatrix} - \begin{pmatrix} B \\ L \\ h \end{pmatrix}_1 + \begin{bmatrix} v_B \\ v_L \\ v_h \end{bmatrix}_i = [\text{Moldenski}]_{(B,L,h)1,i} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \Delta s \\ t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

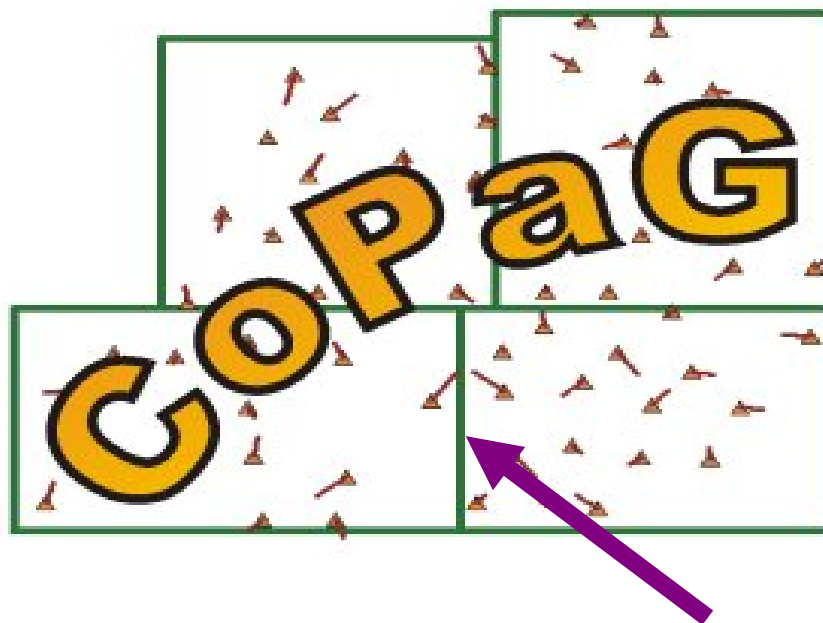
$-\sin(L) \cdot \frac{a \cdot W + h}{M + h}$	$\cos(L) \cdot \frac{a \cdot W + h}{M + h}$	0	$\frac{-\sin(B) \cdot \cos(B) \cdot N \cdot e^2}{M + h}$	$\frac{-\sin(B) \cdot \cos(L)}{M + h}$	$\frac{-\sin(B) \cdot \sin(L)}{M + h}$	$\frac{\cos(B)}{M + h}$
$\frac{\sin(B) \cdot \cos(L) \cdot (N \cdot (1 - e^2) + h)}{(N + h) \cdot \cos(B)}$	$\frac{\sin(B) \cdot \sin(L) \cdot (N \cdot (1 - e^2) + h)}{(N + h) \cdot \cos(B)}$	-1	0	$\frac{-\sin(L)}{(N + h) \cdot \cos(B)}$	$\frac{\cos(L)}{(N + h) \cdot \cos(B)}$	0
$-N \cdot e^2 \cdot \sin(B) \cdot \cos(B) \cdot \sin(L)$	$N \cdot e^2 \cdot \sin(B) \cdot \cos(B) \cdot \cos(L)$	0	$h + a \cdot W$	$\cos(B) \cdot \cos(L)$	$\cos(B) \cdot \sin(L)$	$\sin(B)$

где $W = \frac{a}{N} = \sqrt{1 - e^2} \cdot \sin^2 B$ $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$

Решение проблем трансформирования координат

1. 1 Плановые трансформации координат $(B, L)_{\text{GNSS, ITRF}} \rightarrow (B, L)_{\text{Classical}}$

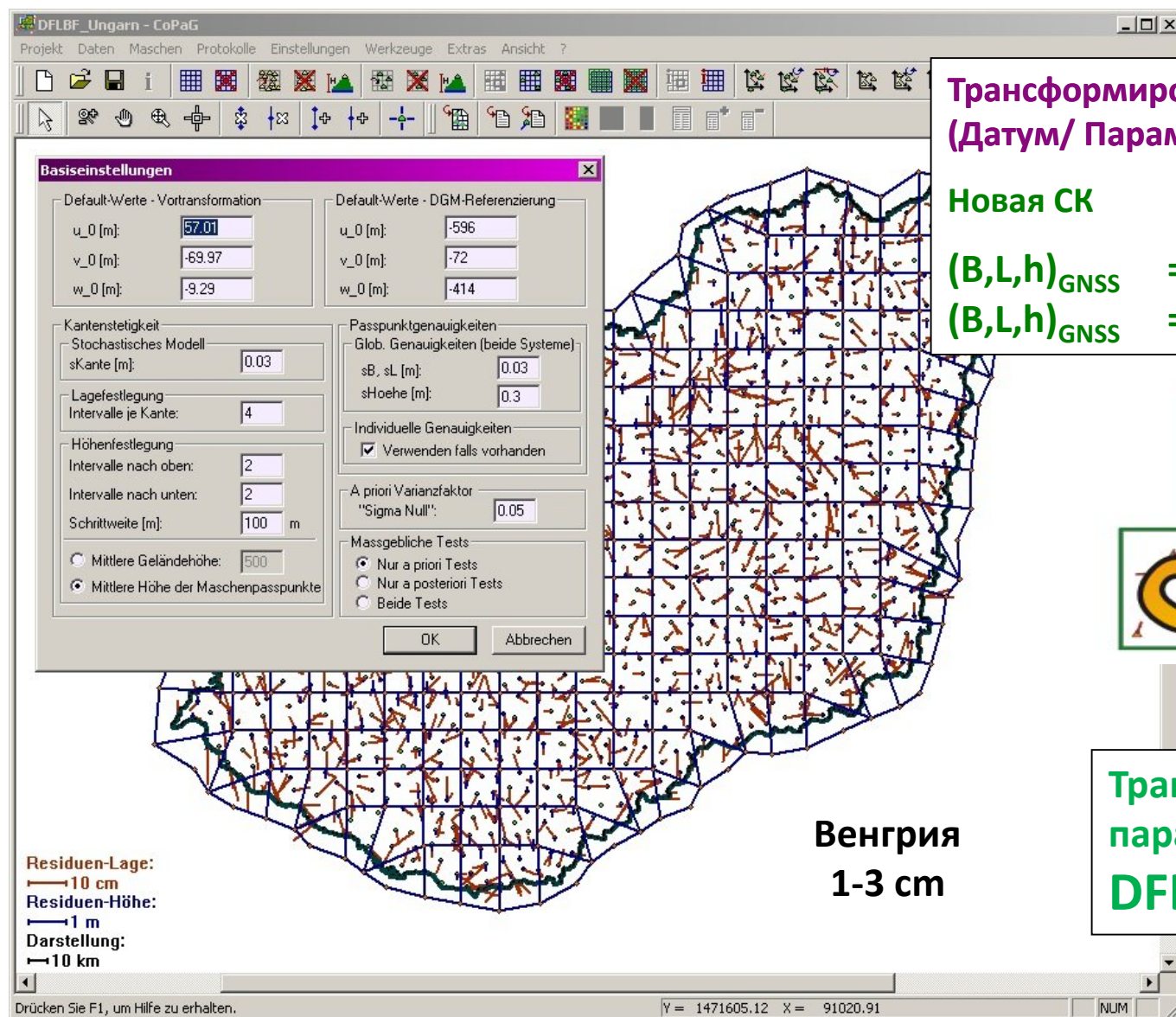
COPAG = Continuously Patched Georeferencing



Обеспечивает непрерывность
вдоль границ ячеек!

Решение проблем трансформирования координат

1. 1 Плановые трансформации координат $(B,L)_{GNSS,ITRF} \rightarrow (B,L)_{Classical}$



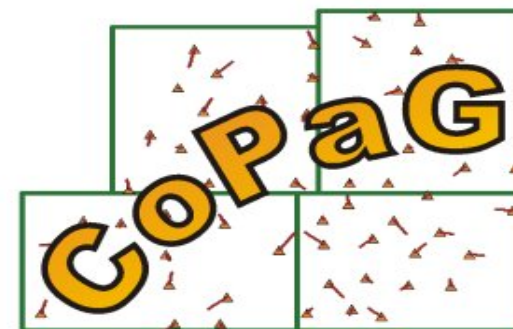
Трансформирование координат
(Датум/ Параметры/ Алгоритмы)

Новая СК

Старая СК

$(B,L,h)_{GNSS} \Rightarrow (B,L)_{Classical}$

$(B,L,h)_{GNSS} \Rightarrow (B,L,H)_{Classical}$

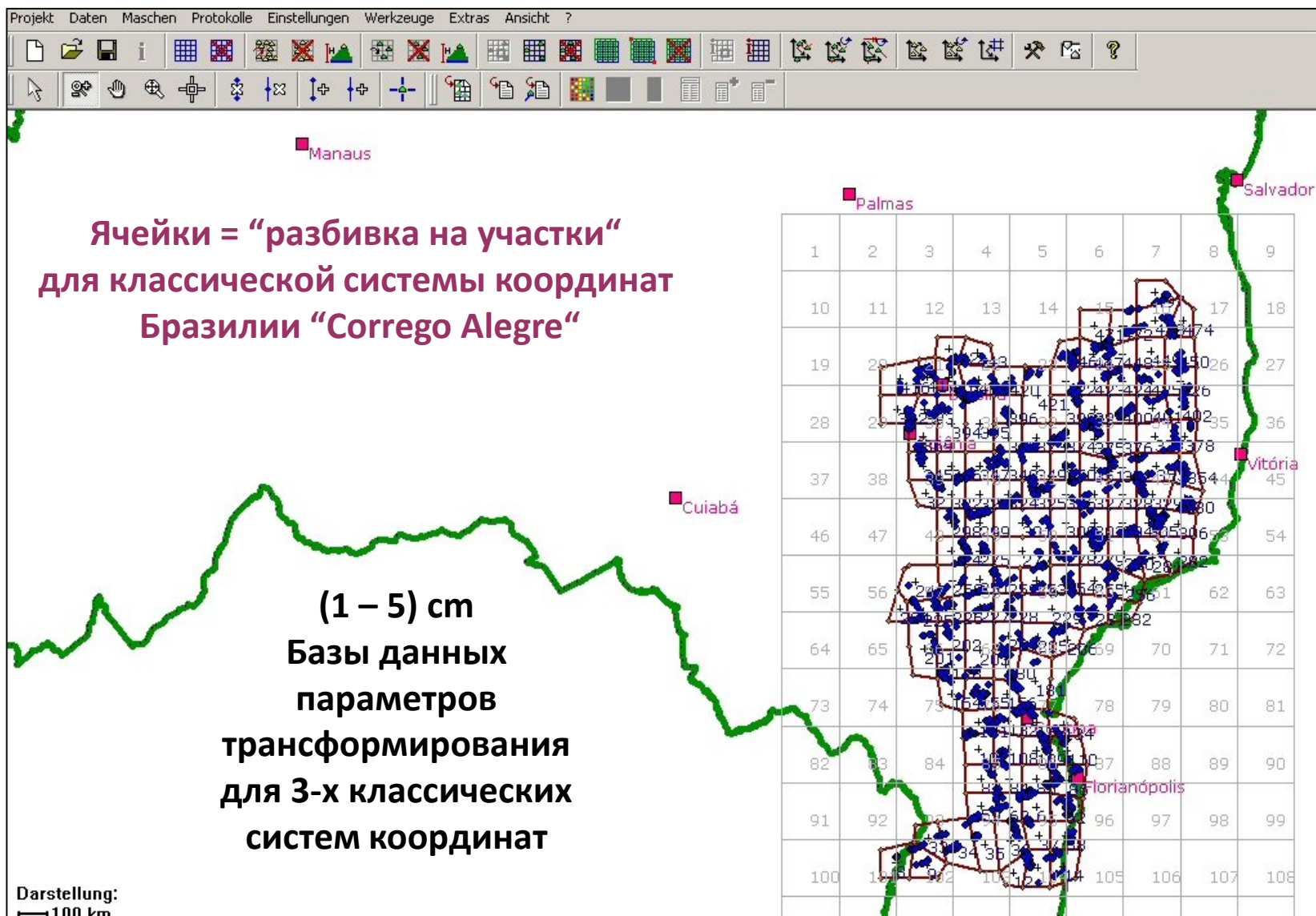


Венгрия
1-3 cm

Трансформационные
параметры и отклонения
DFLBF_DB

Решение проблем трансформирования координат

1.1 Плановые трансформации координат $(B,L)_{\text{GNSS,ITRF}} \rightarrow (B,L)_{\text{Classical}}$



Решение проблем трансформирования координат

1.1 База данных для плановой трансформации координат

$(B,L)_{\text{GNSS,ITRF}} \rightarrow (B,L)_{\text{Classical}}$

Используемая в контролерах
через сообщение RTCM

См. www.geozilla.de

The screenshot shows the Trimble VRS Now website. The top navigation bar includes links like 'Datei', 'Bearbeiten', 'Ansicht', 'Chronik', 'Lesezeichen', 'Extras', and 'Hilfe'. The main content area features the 'Trimble® VRS Now™ abonnieren:' section with a 'Transformation Service' link. Below this, there's a 'Service-Optionen' section listing 'RTK Service-Optionen', 'DGPS Service-Optionen', 'Transformation Service', and 'VRS iScope™ Service'. The 'Ihr Konto' section includes links for 'Einloggen', 'Neues Konto', and 'Passwort vergessen'. A search bar is located at the bottom left.

1.2 База данных COPAG для плановой трансформации координат в приложениях GIS

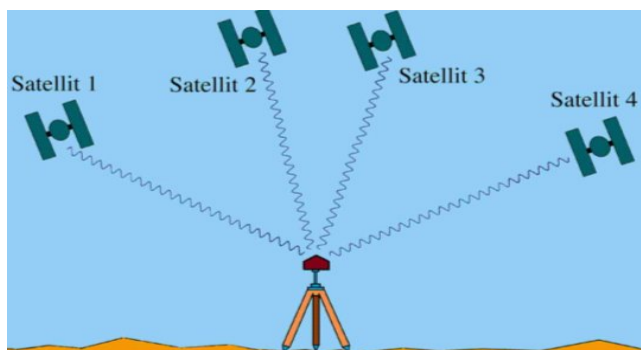
$(B,L)_{\text{Classical}} \rightarrow (B,L)_{\text{GNSS,ITRF}}$

Используемая в контролерах через сообщение
RTCM (см. www.geozilla.de)

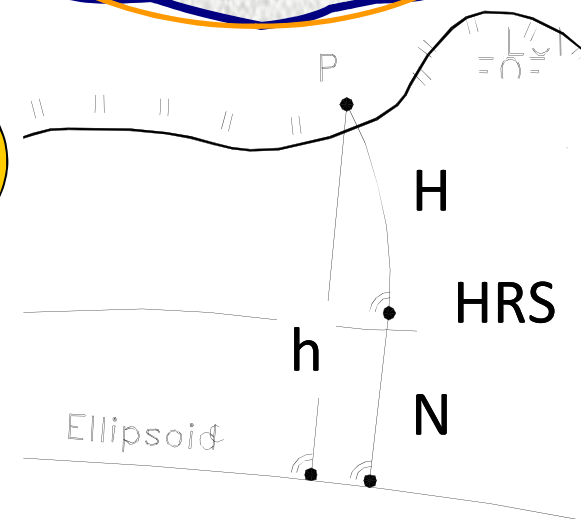
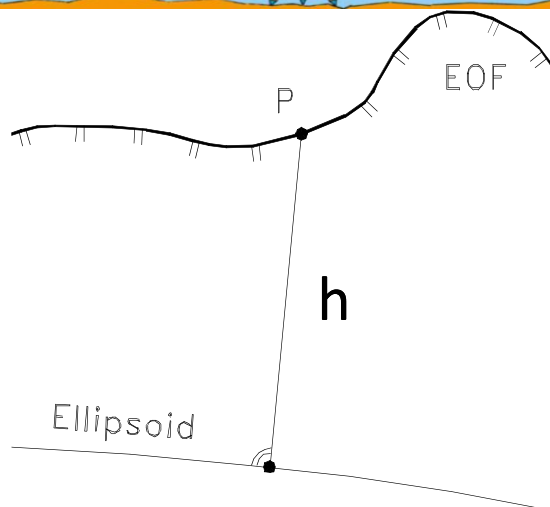
The diagram illustrates the COPAG Online Computation process. It shows a flow from 'INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in Europe' to 'COPAG' and then to 'ITRF-related DATUM'. The 'COPAG' box is labeled 'COPAG' and 'CoPaG Online Computation'. The 'ITRF-related DATUM' box is labeled 'ITRF-related DATUM' and 'INSPIRE'. The 'CLASSICAL DATUM' box is labeled 'CLASSICAL DATUM' and 'INSPIRE'. The diagram also shows a map with 'DXF', 'DWG', and 'Shape' files. The 'INSPIRE' logo is visible in the bottom right corner.

Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ



Определение
нормальных высот с
использованием GNSS
 $h_{\text{GNSS}} \rightarrow H_{\text{norm}}$



www.dfhbf.de

$$H = h - N_{(B,L,h)}$$

Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ

$$h_{GNSS} + v = H + \mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p} - h_{GPS} \cdot \Delta m$$

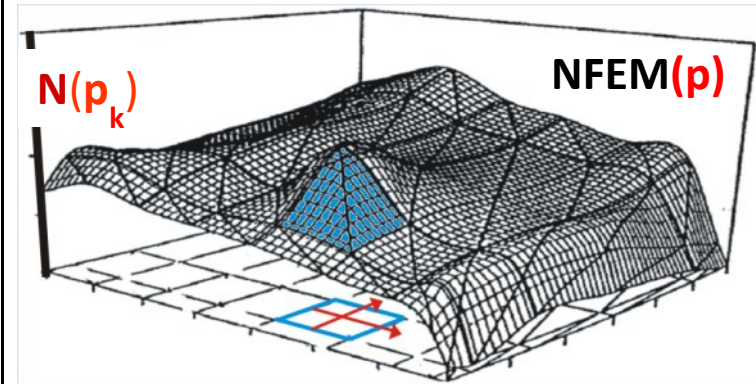
$$H + v = H$$

$$N_G^j + v^j = \mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p} + \partial N_G(\mathbf{d}^j)$$

$$\xi^j + v = -\mathbf{f}_B^T / M(B) \cdot \mathbf{p} + \partial \xi(\mathbf{d}_{\xi,\eta})^j$$

$$\eta^j + v = -\mathbf{f}_L^T / (N(B) \cdot \cos(B)) \cdot \mathbf{p} + \partial \eta(\mathbf{d}_{\xi,\eta})^j$$

$$\frac{a}{4\pi\gamma(B)} \iint_{\sigma} \Delta g \cdot S(\psi) d\sigma + v = \mathbf{NFEM}(\mathbf{p}) = \mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p}$$



DFHBF DB

Трансформирование

Измеренное Вычисленное
 $(B, L, h)_{GNSS} \Rightarrow N$

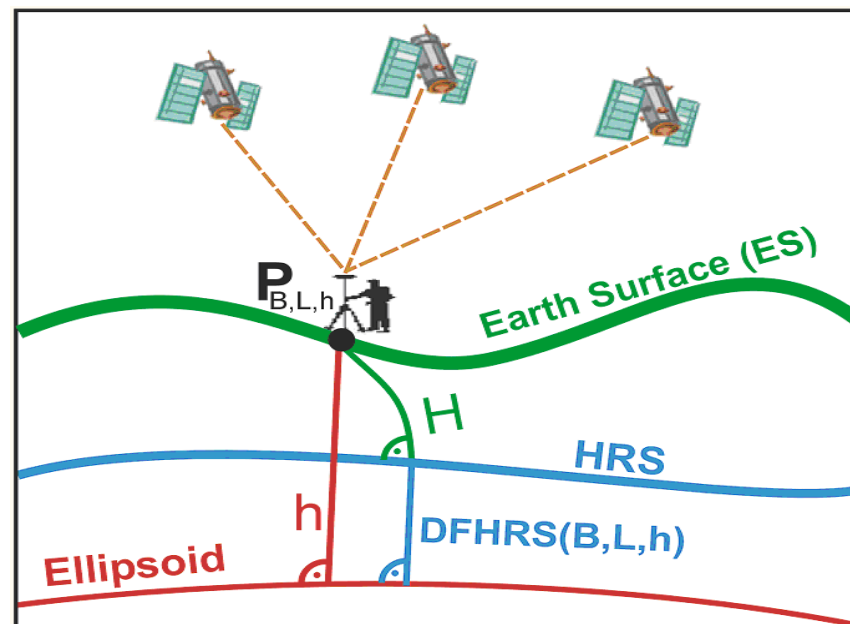
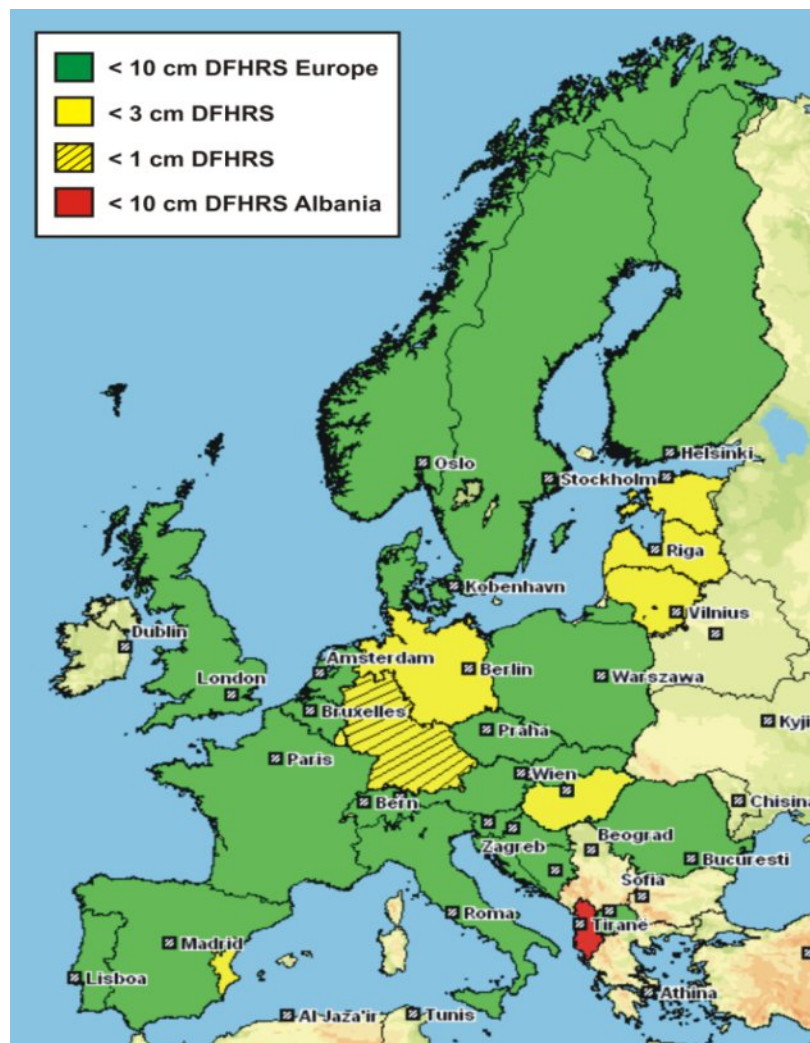
$$g_{grav}^{LGV}_r + v = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{n(k)+1} \frac{(n(k)+1)}{r} \sum_{m=0}^k (\bar{C}'_{n(k),m} \cdot \cos m\lambda' + \bar{S}'_{n(k),m} \cdot \sin m\lambda') \cdot P_{n(k),m}(\cos \theta') + dg(\mathbf{d})$$

$$\begin{aligned} N_{GPM}^j + v &= N(\bar{C}'_{n(k),m}, \bar{S}'_{n(k),m}) + \partial N(\mathbf{d}^j) \\ &= \frac{1}{\gamma_Q} \left(\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{n(k)+1} \sum_{m=0}^k (\bar{C}'_{n(k),m} \cdot \cos m\lambda' + \bar{S}'_{n(k),m} \cdot \sin m\lambda') \cdot P_{n(k),m}(\cos \theta') - V_{ref} \right) + \partial N(\mathbf{d}^j) \end{aligned}$$

$$0 + v_{\Delta N} = N(\bar{C}'_{n(k),m}, \bar{S}'_{n(k),m}) - (\mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p} + \Delta m \cdot h)$$

Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ



DFHBF DB

Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ

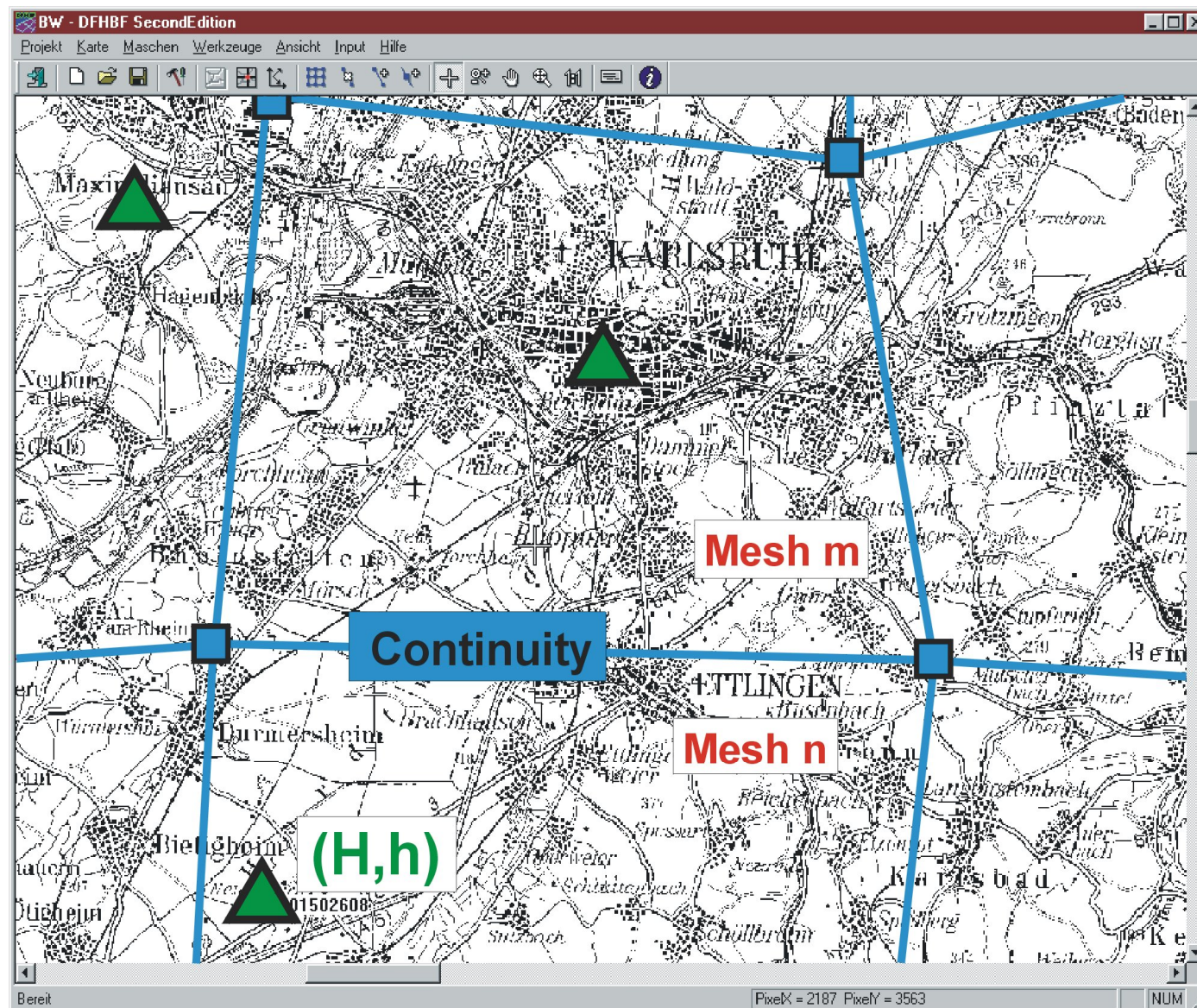


www.dfhbf.de

Интерфейс
программного
обеспечения

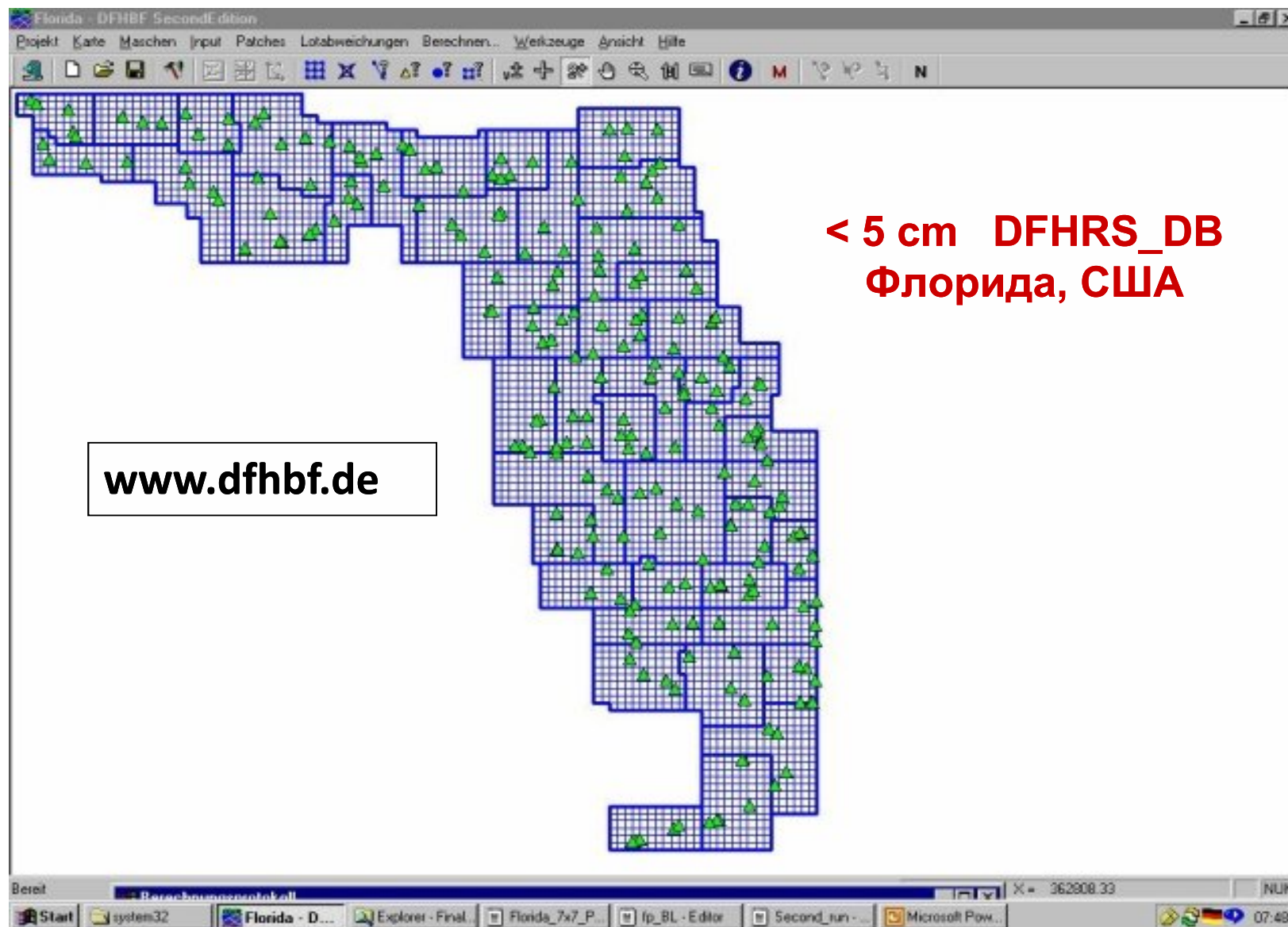
▲ Идентичные
пункты
(B,L,h;H)

□ Ячейки



Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ



Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референцной поверхности Карлсруэ

< 10cm DFHRS для Европы
„Схема совмещенных
пунктов “

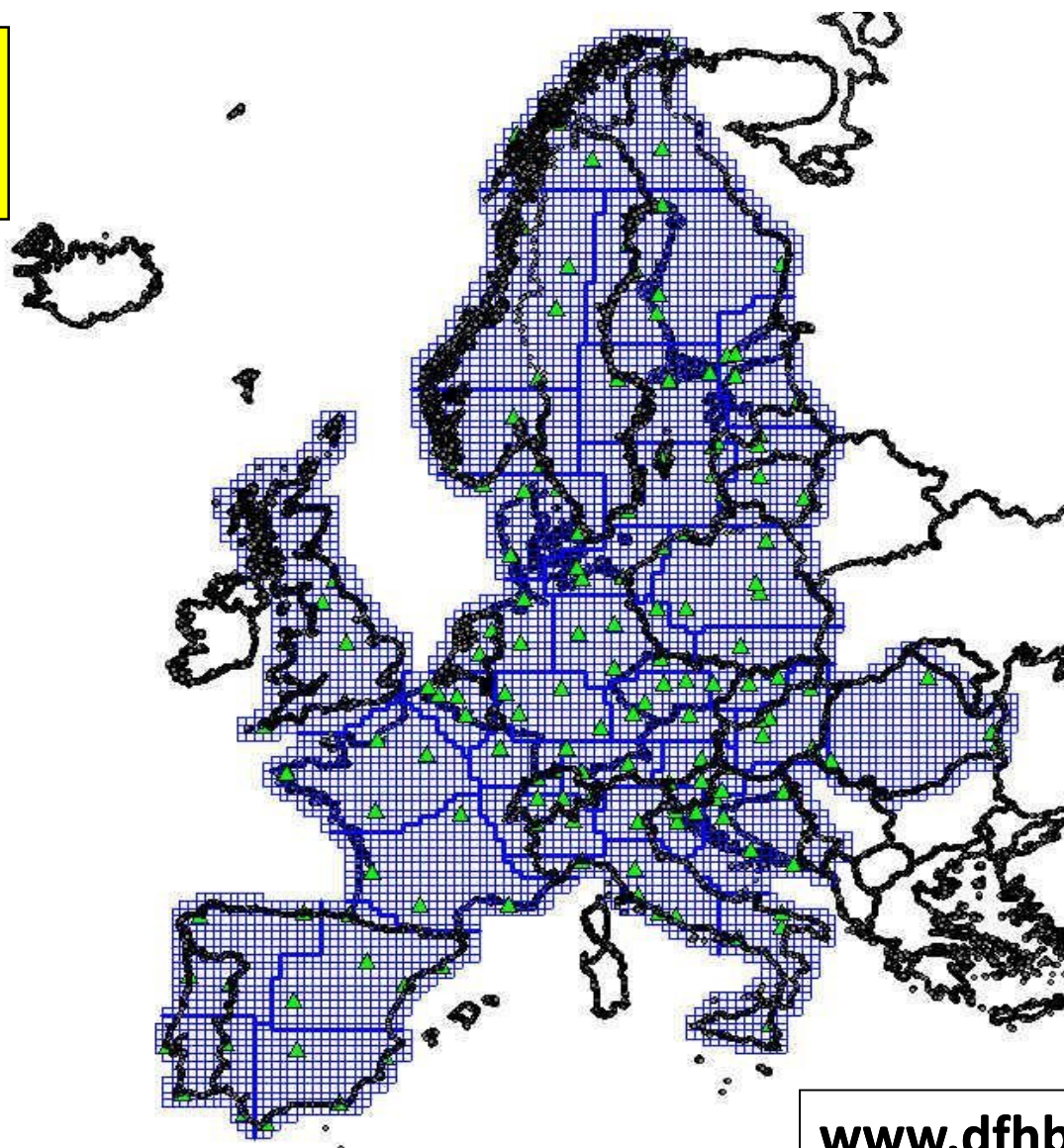
ETRS89/EVRS

„GPS-/пункты
нивелирования EVN“

Совмещенные пункты
 $NFEM(p) =: h - H$

Использовались для
1-й версии
< 10_cm DFHBFS

Европа

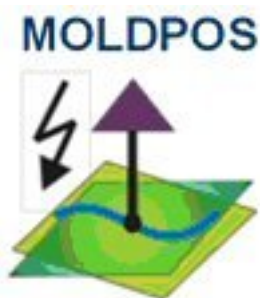


www.dfhbf.de

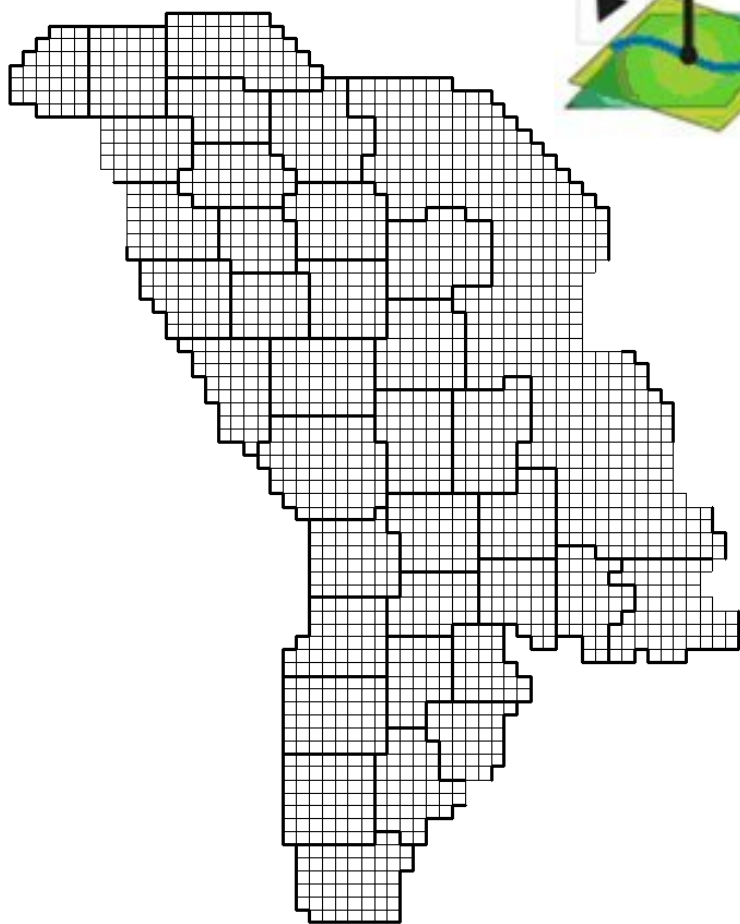
Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ

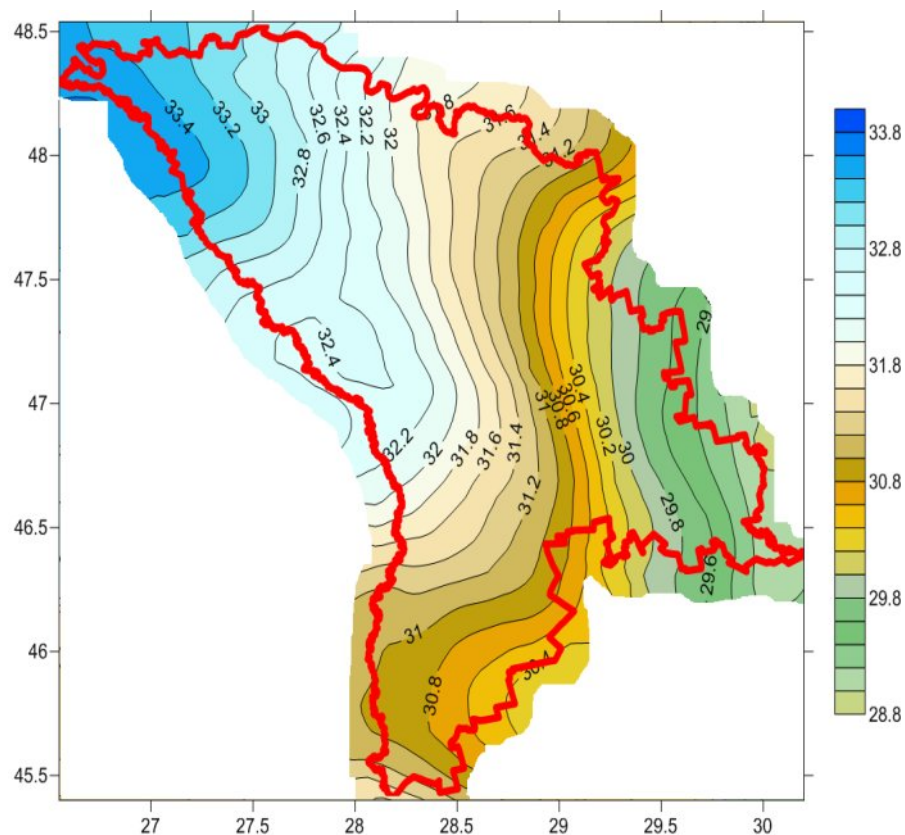
www.moldpos.eu



Модель квазигеоида для Молдовы (1-3 см)
С использованием моделей геопотенциала
EGG97 или EGM2008 GPM которые дают
близкие результаты



www.dfhbf.de



Решение проблем трансформирования координат

2. Трансформирование высот/HRS – метод референчной поверхности Карлсруэ

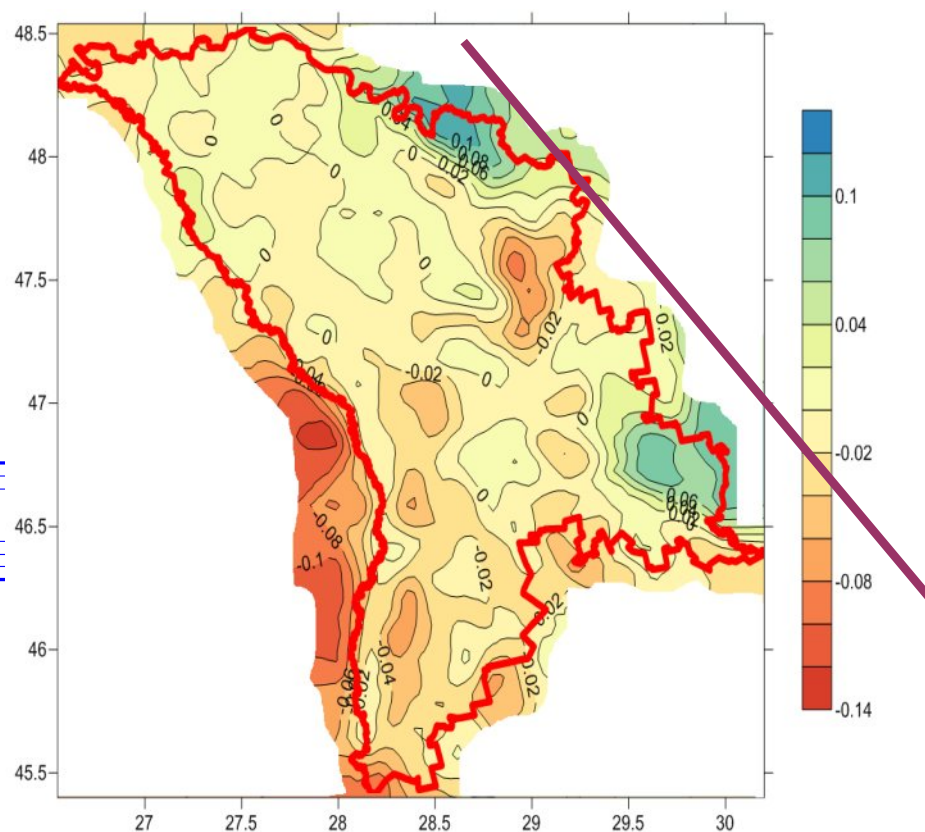
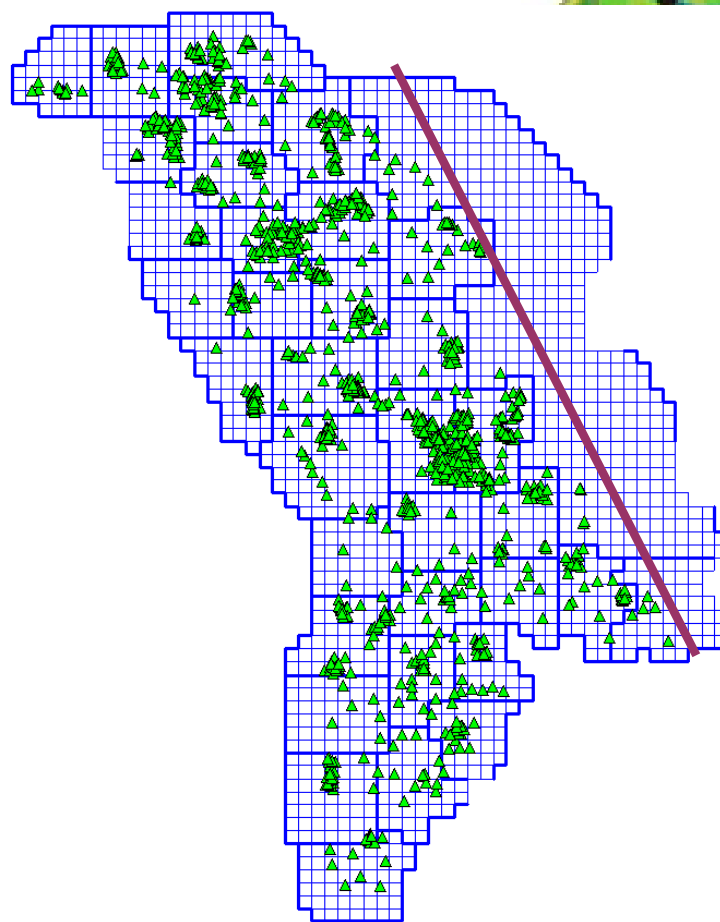
www.moldpos.eu

MOLDPOS



Модель квазигеоида для Молдовы (1-3 см)

С использованием моделей геопотенциала
EGG97 или EGM2008 GPM которые дают
близкие результаты



Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Коррекции измерений с RTCM 3.1

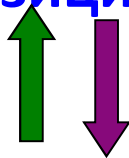
&

„Семь трансформационных сообщений RTCM “

(Prof. Dr. Ing Reiner Jäger Scientific Member of International RTCM-Working Group
2004-2007)

- Трансформационные параметры (1021,1022)
- Значения высот геоида в сетке или модели (1023,1024)
- Информация о картографических проекциях (1025,1026,1027)

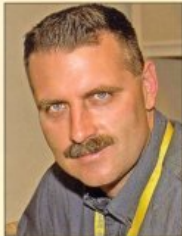
посланы службой позиционирования GNSS
потребителю позиционирования GNSS



На основе сообщения NMEA к серверу трансформационных сообщений RTCM

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM



Willkommen zur Intergeo 2004

Trimble ist stolz darauf, auch in diesem Jahr ein offizieller Sponsor des Intergeo-Kongresses und Intergeo-Treffs zu sein.

Wir von Trimble haben es uns zum Ziel gesetzt, Ihnen die neueste Technologie bereitzustellen, die es Ihnen ermöglicht, die Vorteile lokalisierter, integrierter Vermessungslösungen zu nutzen und Ihre Effizienz, Produktivität und Ihren Gewinn zu erhöhen. Als Beweis unseres Engagements präsentieren wir in diesem Jahr eine Reihe von Lösungen, die speziell für unsere europäischen Kunden entwickelt wurden.

Durch die Akquisition der GeoNav GmbH sind wir in der Lage, Ihnen eine neue Feldsoftwarelösung, den Trimble Survey Manager, an die Hand zu geben. Die Software ist auf Anwendungen in der europäischen Vermessungsindustrie, und insbesondere auf Katastervermessungen, zugeschnitten. Des Weiteren haben wir unser GPS-Produktportfolio mit dem Trimble R8 um den „ultimativen VRS-Rover“ ergänzt.

Der Trimble R8 ist eine Kombination aus einem leichten, kabellosen Rover ohne externes GSM-Modem und der L2C-fähigen GPS-Technologie für den Einsatz in europäischen VRS-Netzen.

Anwendern von Robotic-Totalstationen bieten wir das lizenzfreie 2,4 GHz GeoRadio mit modernster Spread Spectrum-Technologie an, die Interferenzen von anderen Funkgeräten auf belebten Baustellen

Neue Trimble Survey Manager Software

Die fortschrittliche Trimble Feldlösung für präzise Echtzeit-Vermessungen.

Trimble Survey Manager basiert auf der beliebten DCTools Software von Trimble GeoNav. Es ist eine flexible, einfach zu verwendende Oberfläche für Ihr Vermessungssystem. Trimble Survey Manager besteht aus Softwaremodulen für Feld und Büro und wurde speziell für die Datenerfassung, Datenverarbeitung und die Dokumentation präziser Echtzeit-Vermessungen entwickelt.

ALLES UNTER KONTROLLE – MIT DEM TRIMBLE SURVEY MANAGER

Das Trimble Survey Manager Feldmodul läuft unter Windows 9x, 2000, XP und Windows CE. Sie können Feldvermessungen auf der Plattform ausführen, die den Projektanforderungen am besten entspricht, einschließlich Notebooks, Tablet PCs oder unseren robusten und leistungsstarken Trimble Controllern: TSCe™, ACU oder Trimble Recon™. Trimble Survey Manager ist vollständig mit Trimble GPS- und Trimble Totalstationssystemen kompatibel und erlaubt die komplette Steuerung aller Instrumente und Messmethoden im Feld.

Die Trimble Survey Manager Software enthält die offiziellen Referenzkoordinaten des amtlichen Koordinatensystems, bietet volle SAPOS®- und ascos®-Unterstützung und die Implementierung von DFLBF und DFHBF. Sie gewährleistet die exakte Datenerfassung, -verarbeitung und Dokumentation nach amtlichen Vorgaben und wurde speziell für katasterspezifische Anforderungen in Deutschland optimiert.



Bewährte GPS-Technologie in einer kostengünstigen L1-Lösung: das NEUE Trimble 5700 L1 GPS-System

Der 5700 L1 GPS-Empfänger von Trimble ist ein bedienerfreundlicher GPS-Empfänger speziell für statische, L1-FastStatic und kinematische Vermessungen. Er ist eine flexible, kostengünstige Vermessungslösung mit bewährter Trimble GPS-Technologie.

UNTERNEHMEN

Beginnen Sie mit einer preisgünstigen Trimble GPS-Einstiegslösung und rüsten Sie diese später für erhöhte Produktivität zu einem leistungsfähigen Zweifrequenz-System auf. Sie können Ihr System bei Bedarf sogar mit RTK nachrüsten.

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM



Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM



**Sensor Firmware
Version 4.20**

- Optimale Vernetzungslösung
 - Flächenkorrekturparameter
 - Verschlüsseltes RTCM-AdV
 - Virtuelle Referenzstation
 - Monitoring der FKP/VRS-Out Position
- Moderne Datenkommunikation
 - RTCM 2.3
 - Automatische Erkennung der Referenzantenne
 - Siemens TC35 Dualband GSM-Telefon
- Deutschlandweit passpunktfreies Messen
 - DFHBF für 3 cm-genaue Höhenbestimmung
 - DFLBF für 5 cm-genaue Lagebestimmung
 - Integration anderer Geoidmodelle/ Koordinatensysteme realisiert

Hauptsitz:
Leica Geosystems GmbH
Vertrieb
Hans-Bunte-Straße 5
80992 München
Tel. 089 / 14 98 10 0
Fax 089 / 14 98 10 33
www.leica-geosystems.de

Verkaufsniederlassung:
Leica Geosystems GmbH
Vertrieb
Münsterstraße 306
40470 Düsseldorf
Tel. 0211 / 61 69 06 0
Fax 0211 / 61 69 06 19
www.leica-geosystems.de

Verkaufsniederlassung:
Leica Geosystems GmbH
Vertrieb
Milastraße 2
10437 Berlin
Tel. 030 / 44 02 13 0
Fax 030 / 44 02 13 21
www.leica-geosystems.de

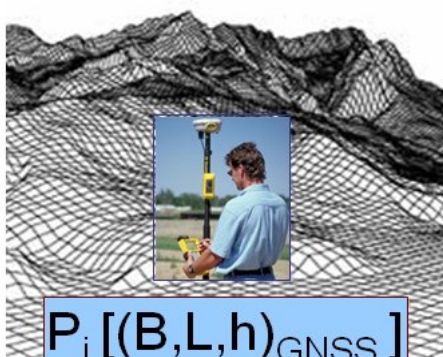
**Leica
Geosystems**

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Генерирование сетки трансформационных параметров

Исходная система координат

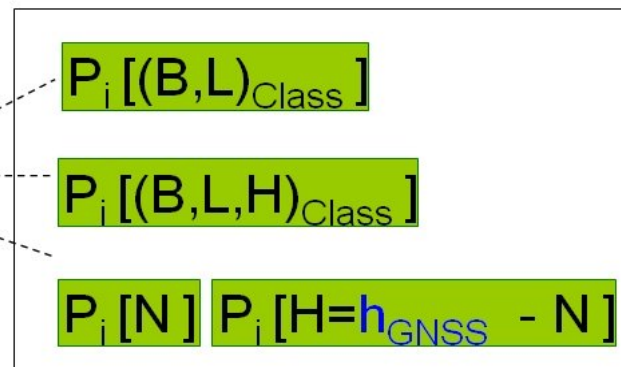


Генерирование сетки
для виртуальных точек

Различные
виды

Трансформаци
и координат

Определяемая система координат



Определяемые локальные
виртуальные точки

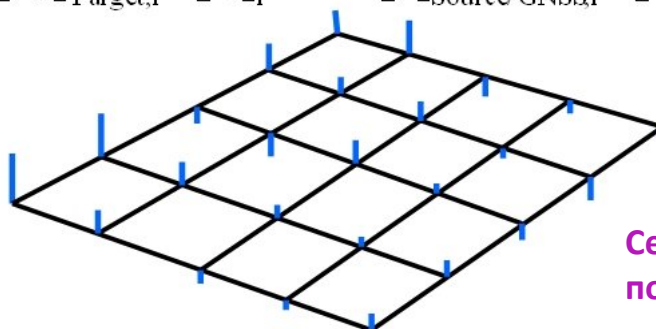
Сетка 1) и/или 2)

1) 7 трансформационных
параметров

2) Геоид/HRS

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Z_T \end{bmatrix}_{Target,i} \cdot \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix}_i = s \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Source/GNSS,i} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

Сетка 7 трансформационных
параметров (остаточные
значения)



Сетка высот геоида или референционной
поверхности высот HRS

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Сообщение 1021 или 1022

Data FIELD	DF NUMBER	Values	Remarks
Message Number	DF002	1021	ETRS89, Europa DHDN, GK-3
Source-Name Counter	DF+1	4	
Source-Name	DF+2	4258	
Target-Name Counter	DF+3	7	
Target-Name	DF+4	31467	
System identification number	DF+5	1	
Involved Transformation message	DF+6	0000000110	
Plate number	DF+7	7	
Computation Indicator	DF+8	1	
Height Indicator	DF+9	2	
ϕ_V	DF+10	49.0102	
λ_V	DF+11	8.3921	
$\Delta\phi_V$	DF+12	0.04	
$\Delta\lambda_V$	DF+13	0.06	
dX	DF+14	-617.880	
dY	DF+15	-253.456	
dZ	DF+16	-315.690	
R ₁	DF+17	5.79748	
R ₂	DF+18	-2.44443	
R ₃	DF+19	-5.1534	
dS	DF+20	-13.51806	
add a _s	DF+24	8137.000	GRS80 Bessel
add b _s	DF+25	6752.314	
add a _T	DF+26	7397.155	
add b _T	DF+27	6078.963	
Horizontal 7P Quality Indicator	DF+76	2	

Значения высот
геоида в сетке

7 параметров

Параметры
эллипсоида

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Сообщение 1023 или Сообщение1024

⋮		⋮	
δN_{14}	Residuals P_{14}	DF+71	0.001
δE_{14}		DF+72	0.013
δh_{14}		DF+73	0.049
δN_{15}	Residuals P_{15}	DF+71	0.005
δE_{15}		DF+72	0.009
δh_{15}		DF+73	0.088
δN_{16}	Residuals P_{16}	DF+71	0.006
δE_{16}		DF+72	-0.002
δh_{16}		DF+73	0.129
Horizontal interpolation method indicator		DF+74	0
Vertical interpolation method indicator		DF+75	0
Horizontal Grid Quality Indicator		DF+78	1
Vertical Grid Quality Indicator		DF+79	1
Modified Julian Day (MJD) Number		DF+80	53570

Индикатор высот = 1  „dh_i„ = Остаточные высоты dN_i

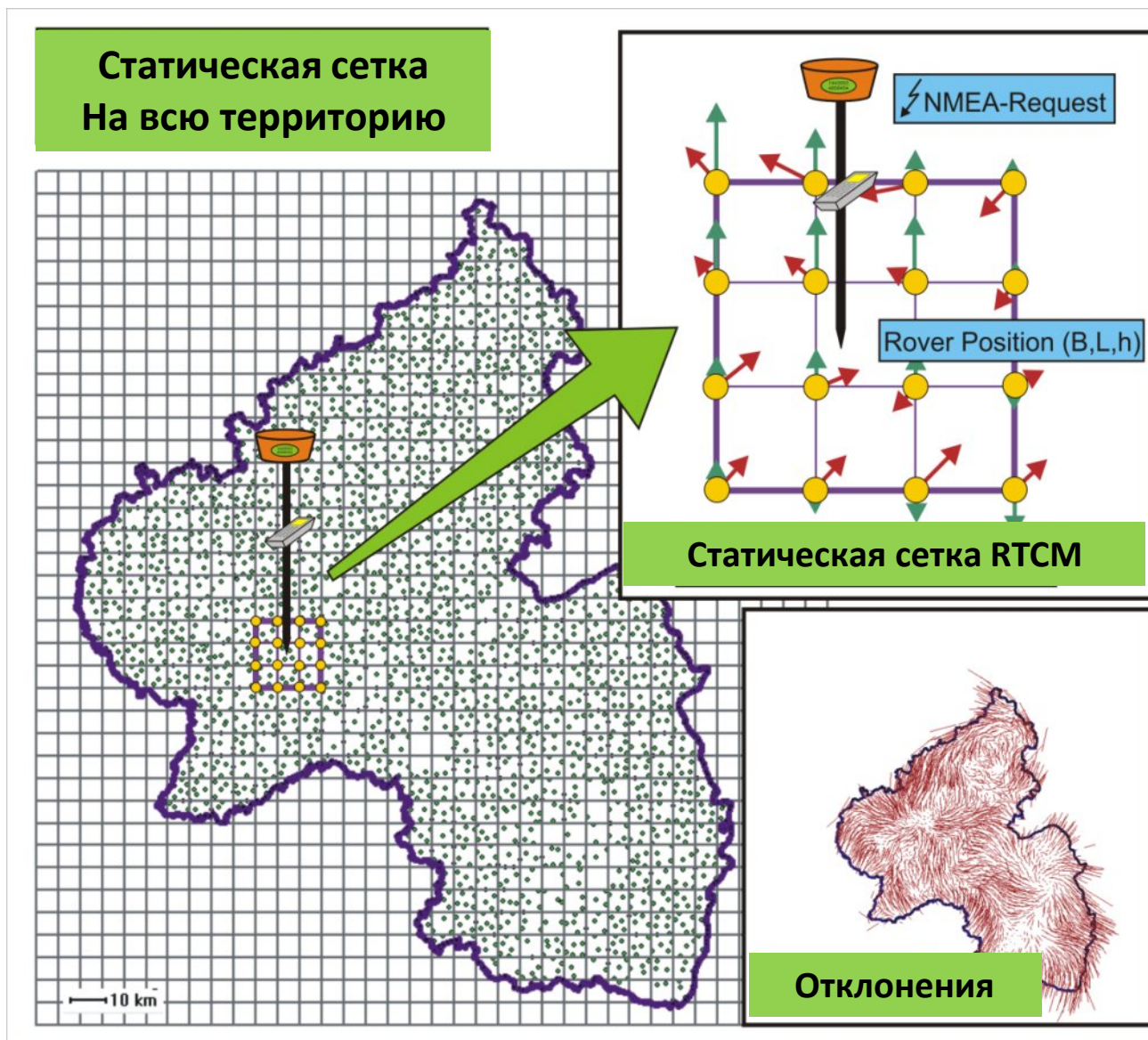
Индикатор высот = 2  „dh_i„ = Высоты геоида / HRS N_i (dN_i)

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Трансформирование
координат для
вычисления
статической сетки
для всей территории

1.)
„Статическая сетка“
На всю территорию

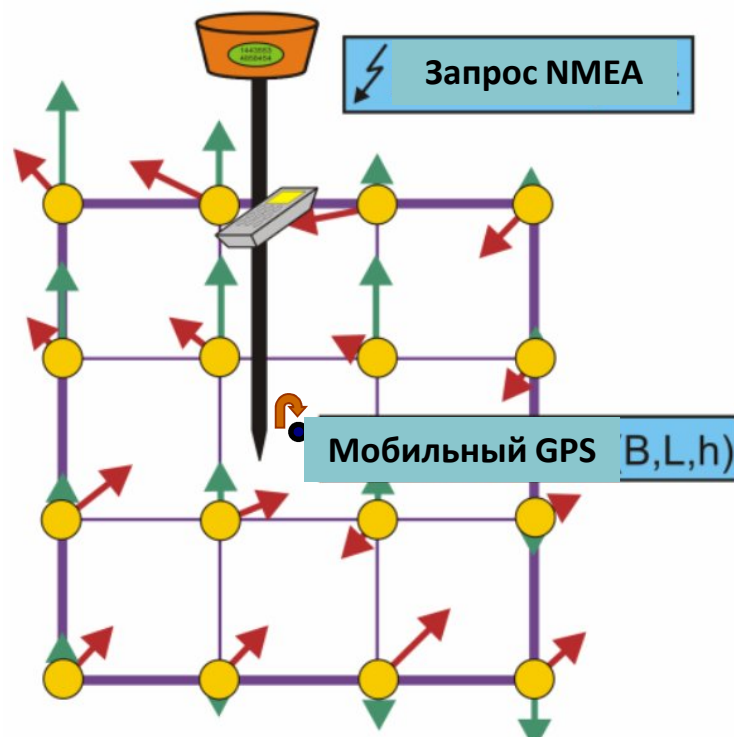


Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Трансформирование координат для вычисления динамической сетки для всей территории online в зависимости от запроса NMEA для виртуальных пунктов

2.)
„Динамическая
сетка“



Преимущества:

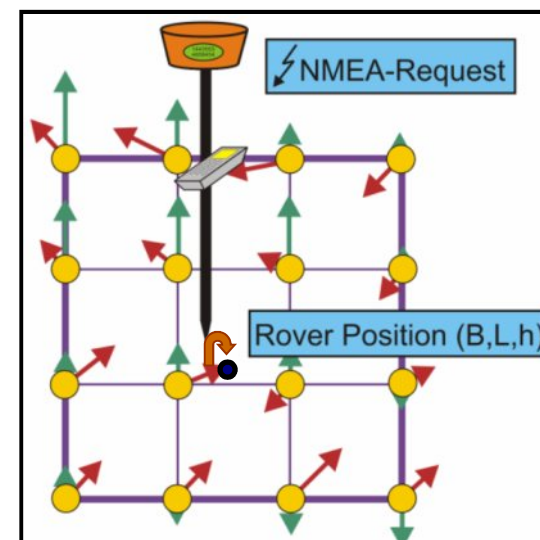
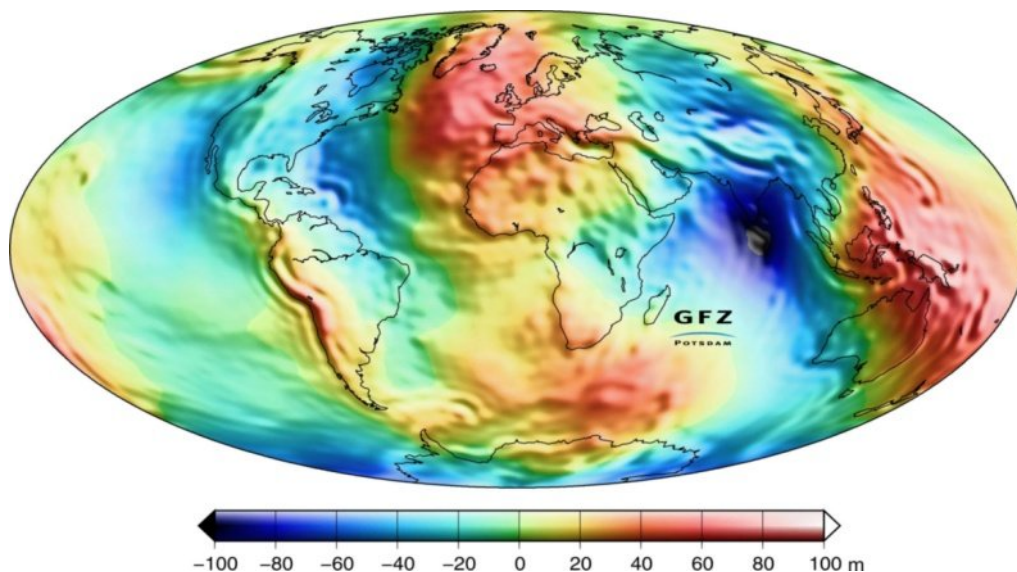
- 1) Отсутствие предыдущих ошибок сетки при дискретизации
- 2) Малые остаточные величины - незначительные ошибки интерполирования
- 3) Де-факто - независимость от метода интерполяции в контроллере

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Трансформирование координат для генерирования динамической сетки

4) Прямое использование программ для трансформирования координат



$$W(r, \vartheta, \lambda) = \left\{ \frac{GM}{r} \cdot \left(1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_{GRS80}}{r} \right)^n \cdot (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) \cdot P_{nm}(\cos \vartheta) \right) \right\}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 / u^2} \cdot \cos \vartheta \cdot \cos \lambda \\ u_i \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 / u^2} \cdot \cos \vartheta \cdot \sin \lambda \\ u \cdot \sin \vartheta \end{bmatrix} \quad U = U(a, \varepsilon, \omega, M)_{REF} | (\vartheta, \lambda, u)$$



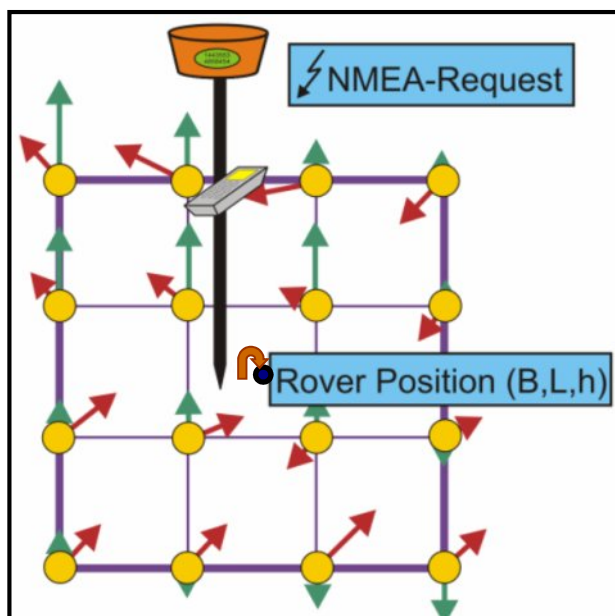
$$N((x, y, z)_{GNSS}) = \frac{W - U}{\gamma_{h-N}}$$

Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Трансформирование координат для генерирования динамической сетки

5.) „Генерирование комбинированного сообщения “



Шаг 1 - Модель тектонических плит

$$[(B,L,h)_{ITRF-related}]_i \Rightarrow [(B,L,h)_{GNSS,ITRF}]_i$$

Виртуальные комбинированные пункты

Шаг 2 – стандартное трансформирование координат

$$[(B,L,h)_{ITRF-related}]_i \Rightarrow [(B,L)_T, H_T \text{ or } N)]_i$$

Виртуальные комбинированные пункты

Динамическое сообщение составляет 7 параметров в сетке 4x4

Решение проблем трансформирования координат

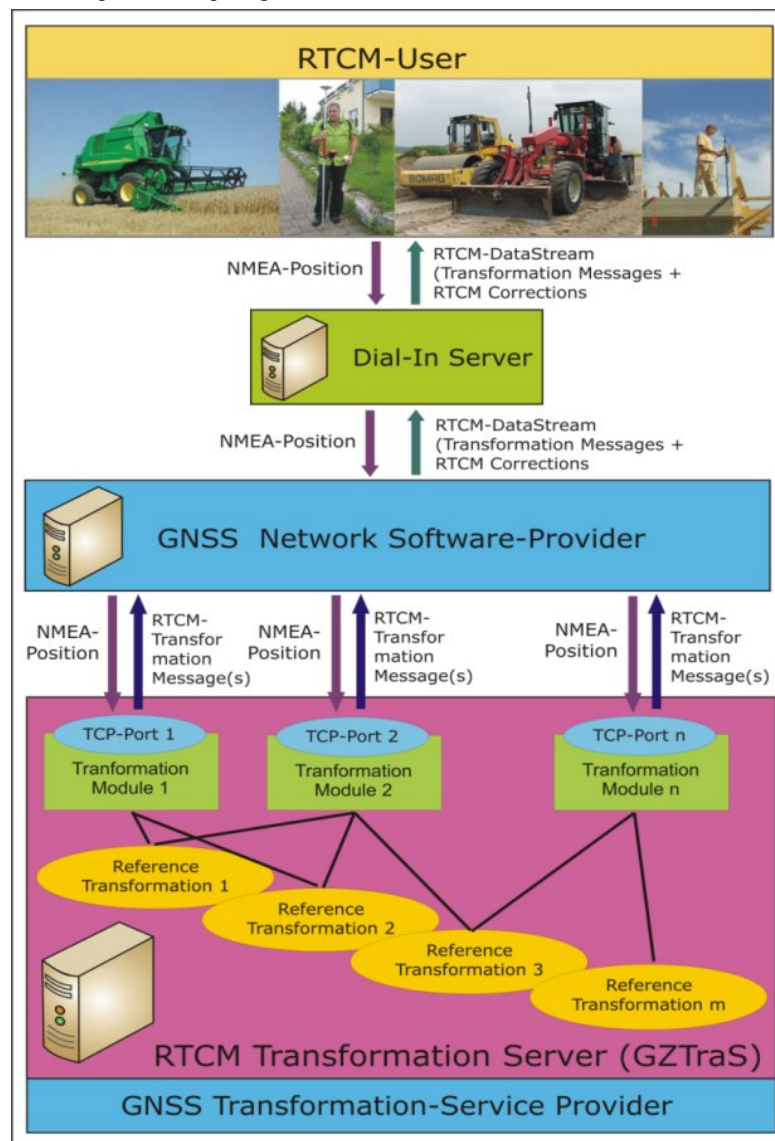
3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM

Сервер генерирования
трансформационных
сообщений RTCM

*Различные виды
трансформации с помощью
трансформационных модулей*

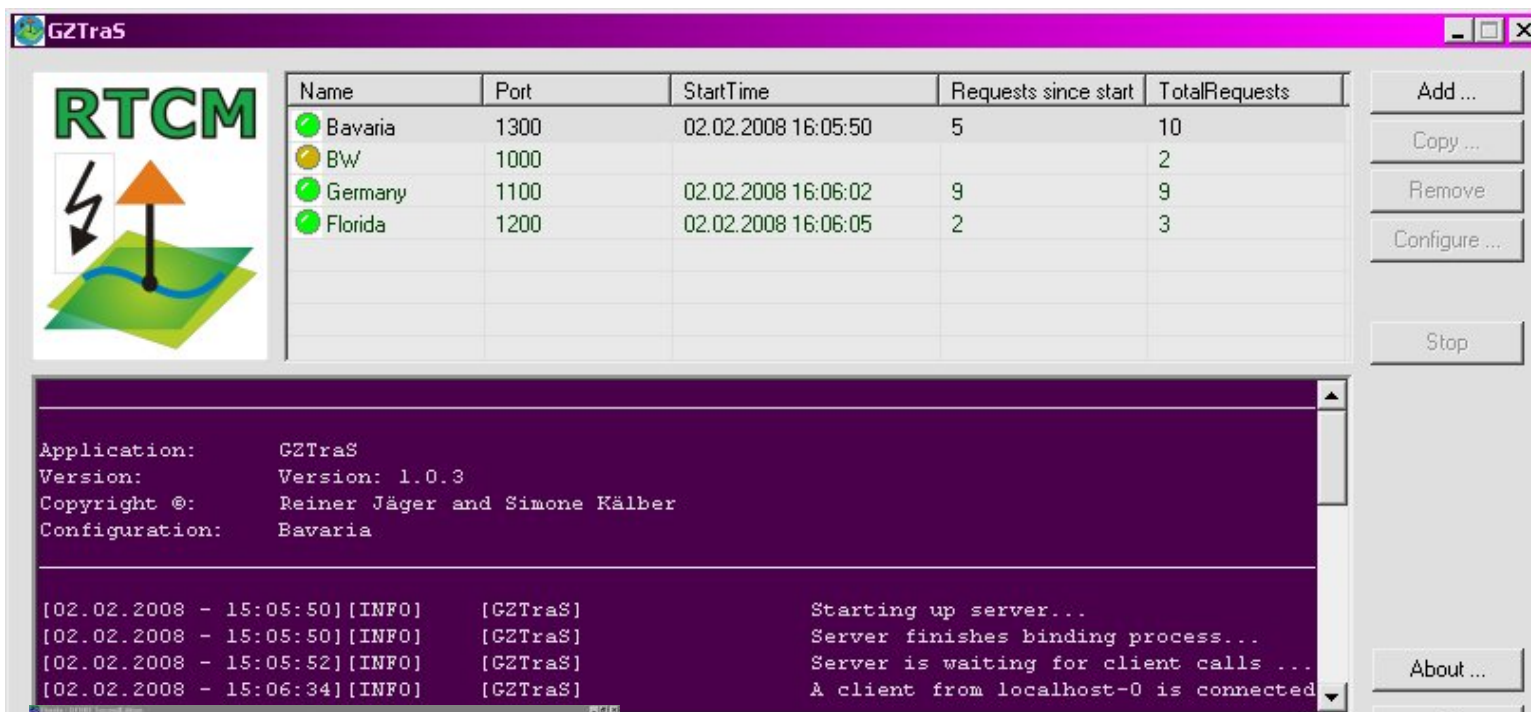
Динамичный &
Комбинированный
& Статическое сообщение RTCM

Конфигурация средств связи
для прохождения
трансформационного
сообщения через программное
обеспечение сети GNSS



Решение проблем трансформирования координат

3. Трансформирование координат и трансформационное сообщение RTCM



RTCM

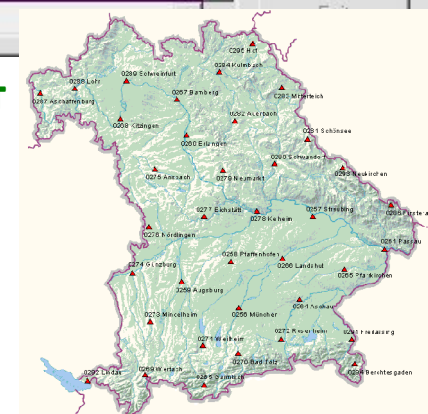
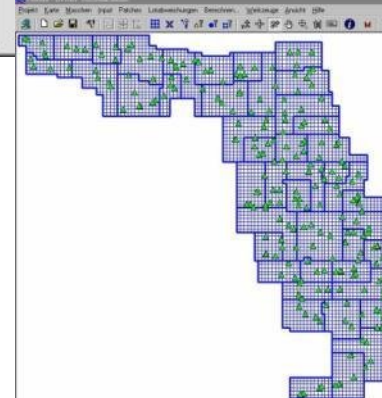
Name	Port	StartTime	Requests since start	TotalRequests
● Bavaria	1300	02.02.2008 16:05:50	5	10
● B'W	1000			2
● Germany	1100	02.02.2008 16:06:02	9	9
● Florida	1200	02.02.2008 16:06:05	2	3

Buttons: Add ..., Copy ..., Remove, Configure ..., Stop, About ...

Application: GZTraS
Version: 1.0.3
Copyright ©: Reiner Jäger and Simone Kälber
Configuration: Bavaria

[02.02.2008 - 15:05:50] [INFO] [GZTraS] Starting up server...
[02.02.2008 - 15:05:50] [INFO] [GZTraS] Server finishes binding process...
[02.02.2008 - 15:05:52] [INFO] [GZTraS] Server is waiting for client calls ...
[02.02.2008 - 15:06:34] [INFO] [GZTraS] A client from localhost-0 is connected

Трансформирование координат
DFHBF Florida
DFHBF Bavaria
www.geozilla.de

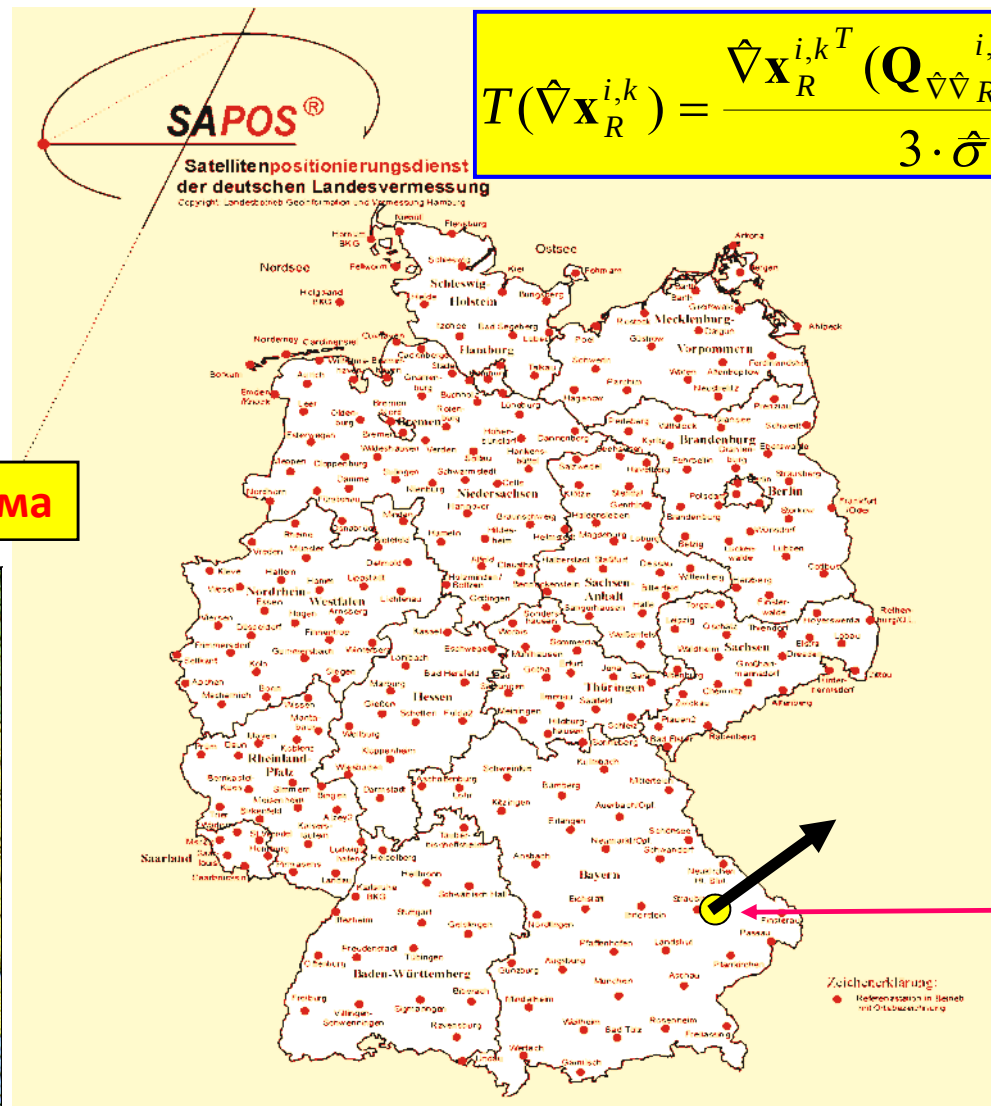
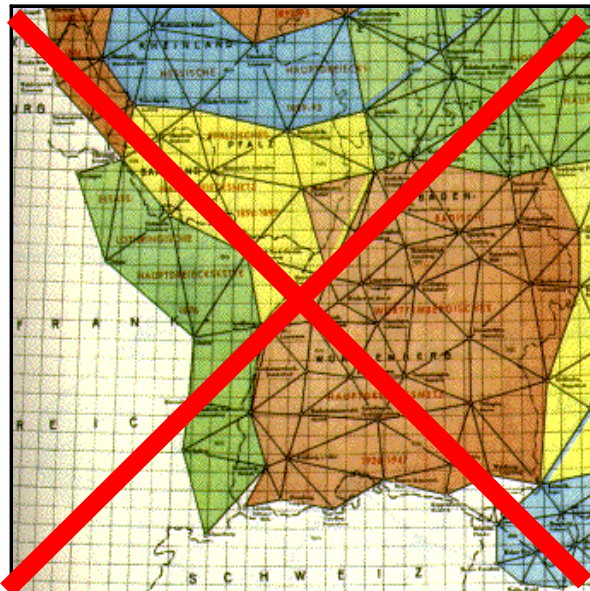


Мониторинг референчных станций GNSS

GNSS Reference Station
MONitoring
by the **KARlsruhe**
approach and software
(**MONIKA**)

www.monika.ag

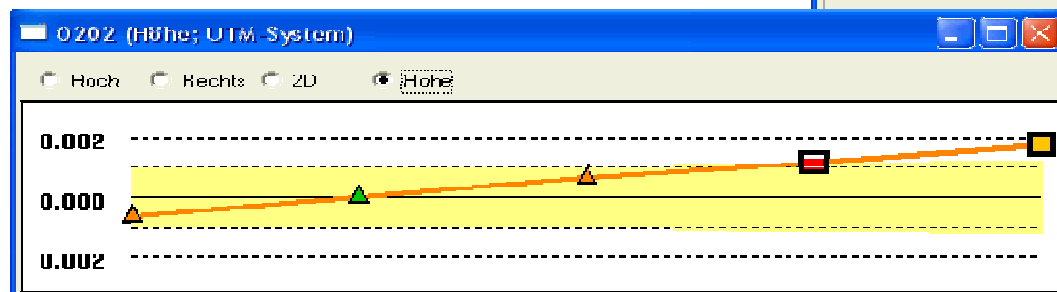
Старая классическая система



Мониторинг референчных станций GNSS

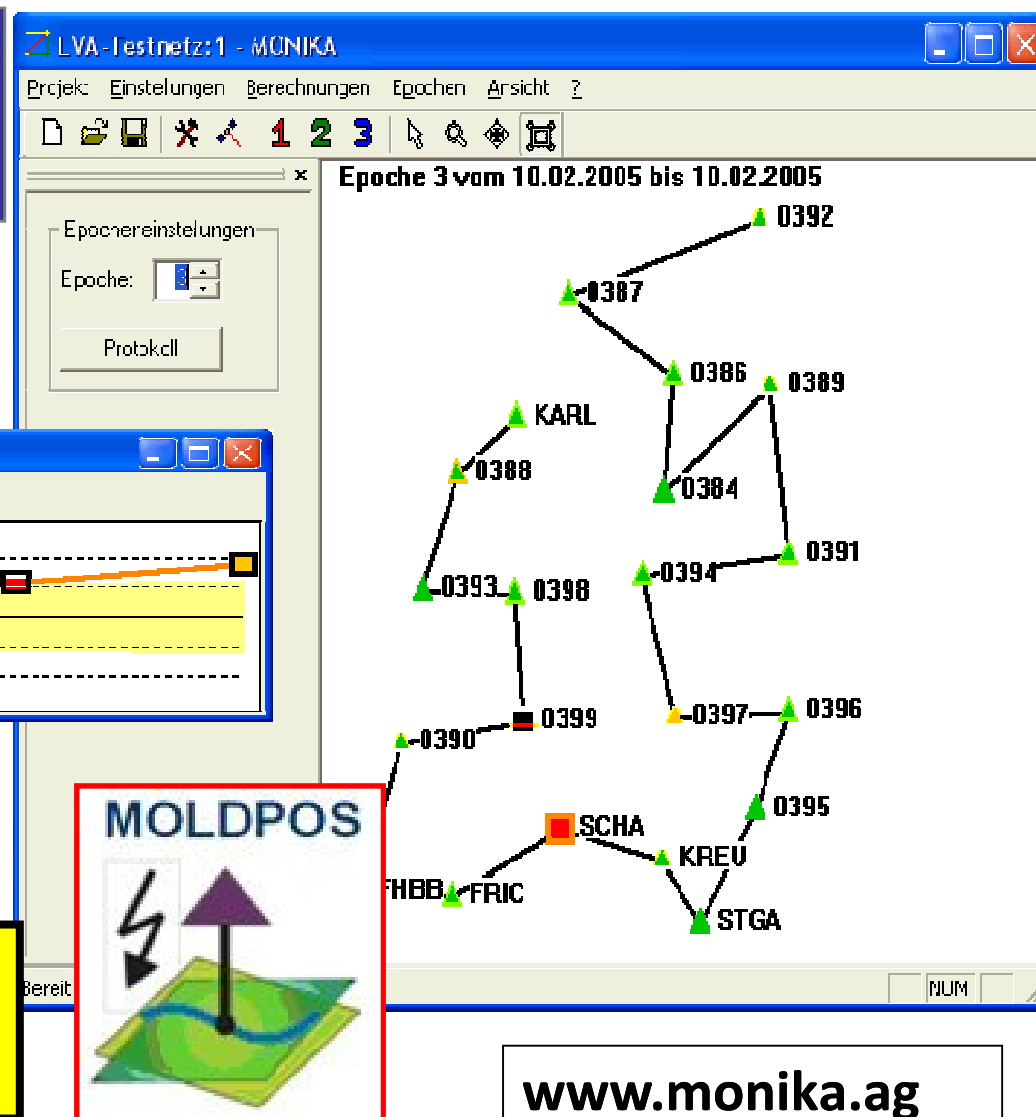
**MONIKA- Анализ деформаций
референчных точек на основе
координат**

**Многомерное тестирование
сгласования различных эпох**



Дополнительно: Точки + Тест

**Дополнительно: Полный спектр
анализа деформаций с
использованием системы GOCA**



Мониторинг референционных станций GNSS

MONIKA шаг 1

GNSS
RINEX-Data

$$I(t_i), C_1(t_i)$$

Обработка GNSS

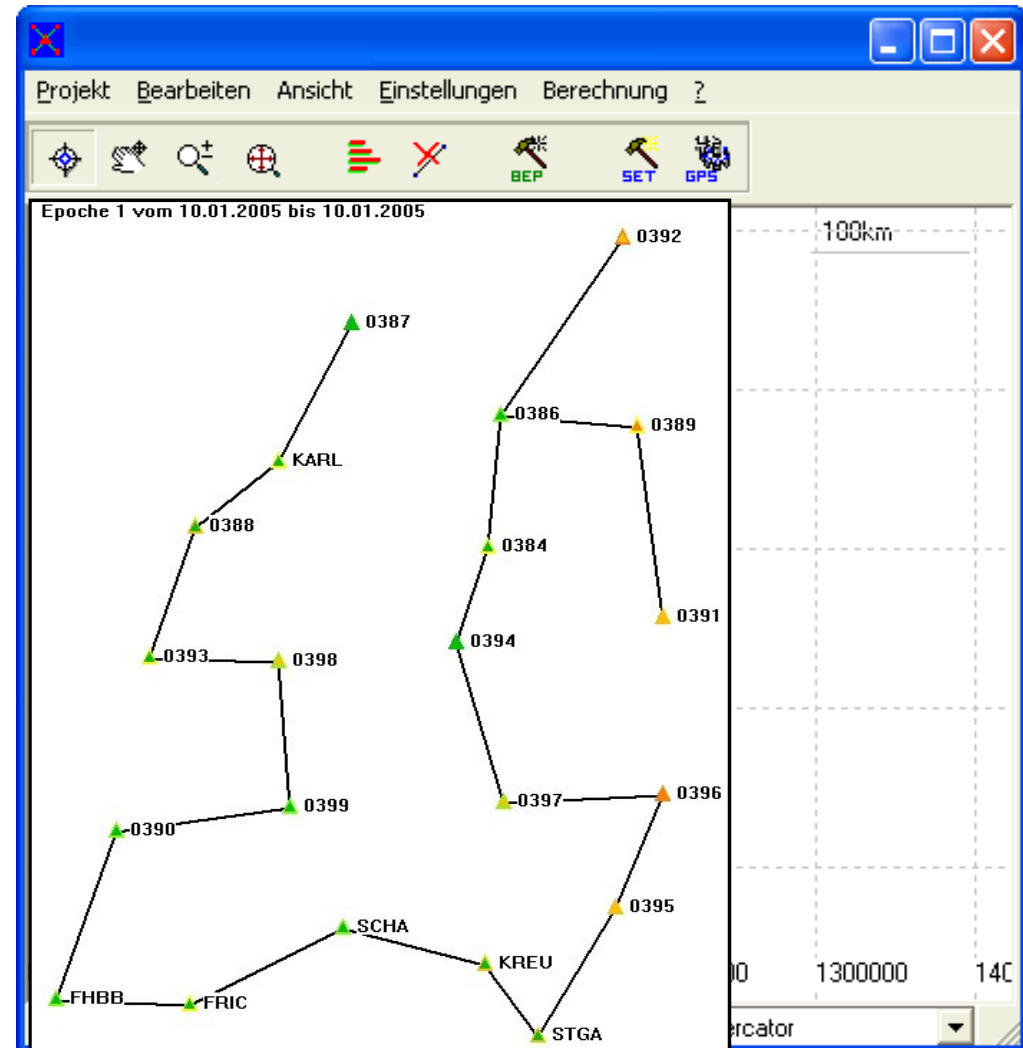
GOCA_BEPC_PRO

$$\bar{X}(t_i)_j, \bar{C}_X(t_i)_j$$

BEPC_PRO на основе:

- LGO, Leica GeoOffice
- WA1 (Wanninger Software)
- Berner GPS-Software 5.0

www.monika.ag

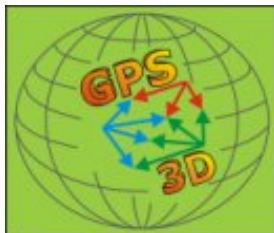


Мониторинг референчных станций GNSS

MONIKA шаг 2

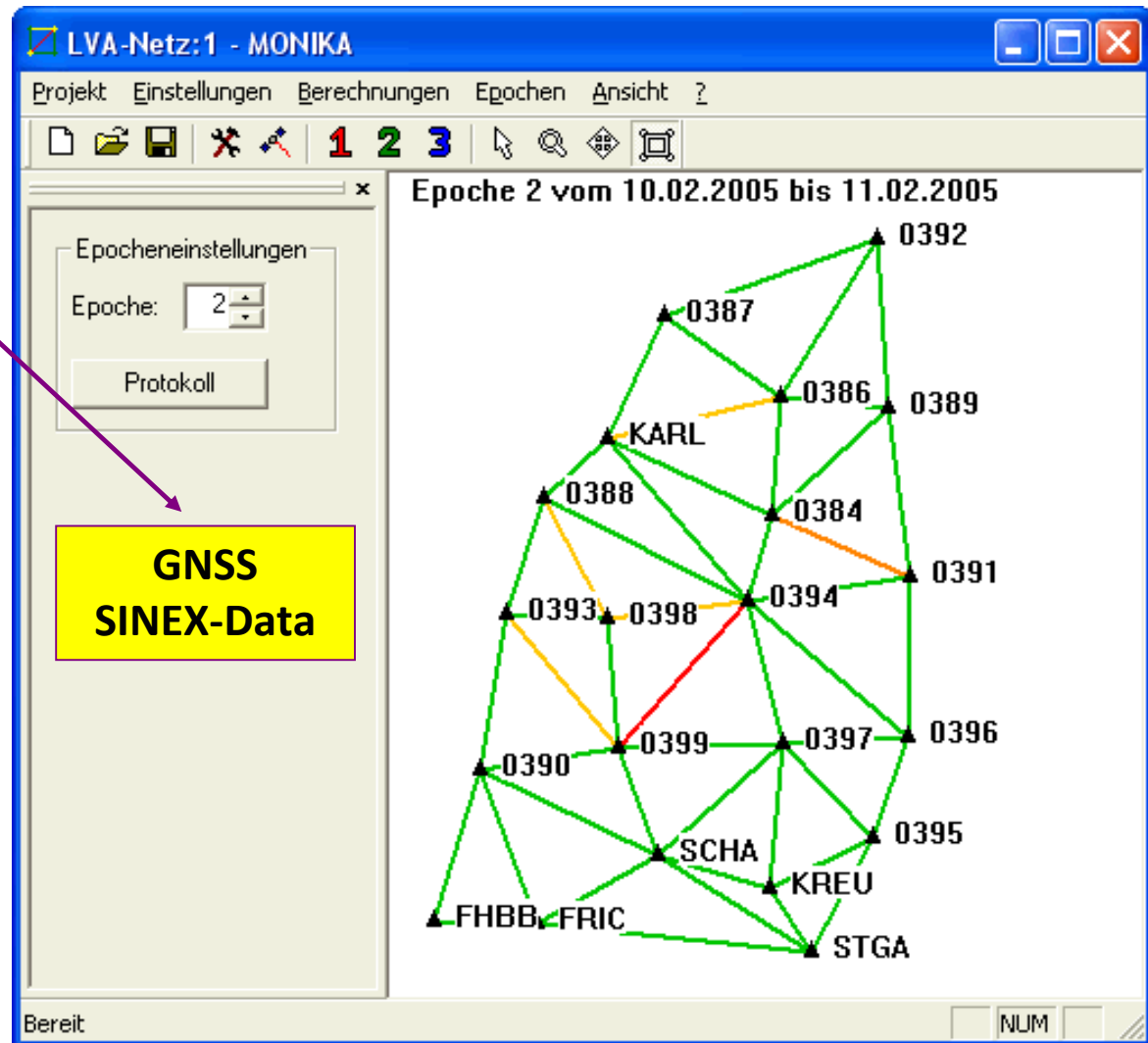
- Базы между пунктами
- Сеть на эпоху
- Частные сети
- Дневное решение

$$\bar{x}(t_i)_j, \bar{C}_x(t_i)_j$$



Δt

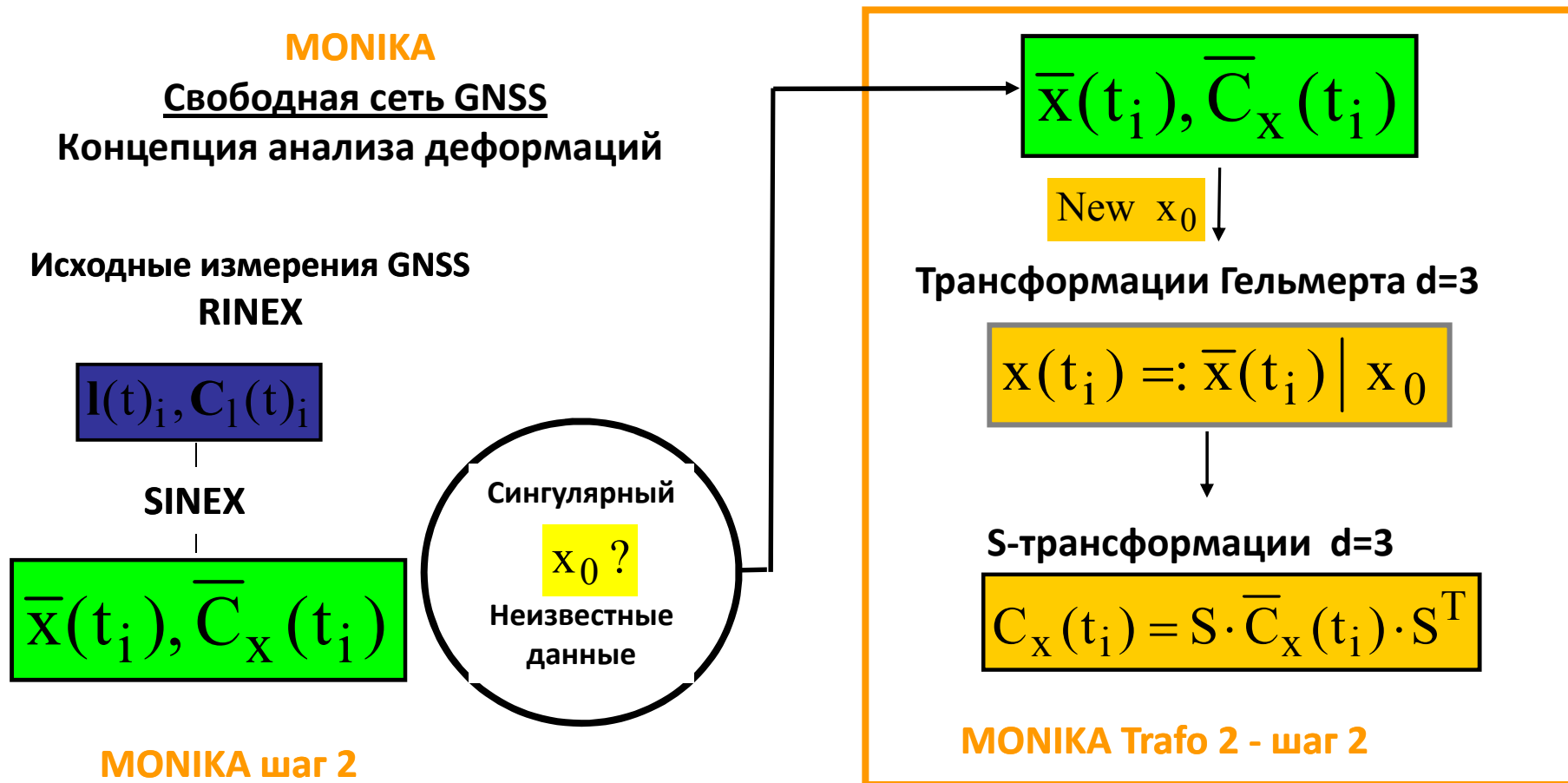
$$\bar{x}(t_i), \bar{C}_x(t_i)$$



GNSS
SINEX-Data

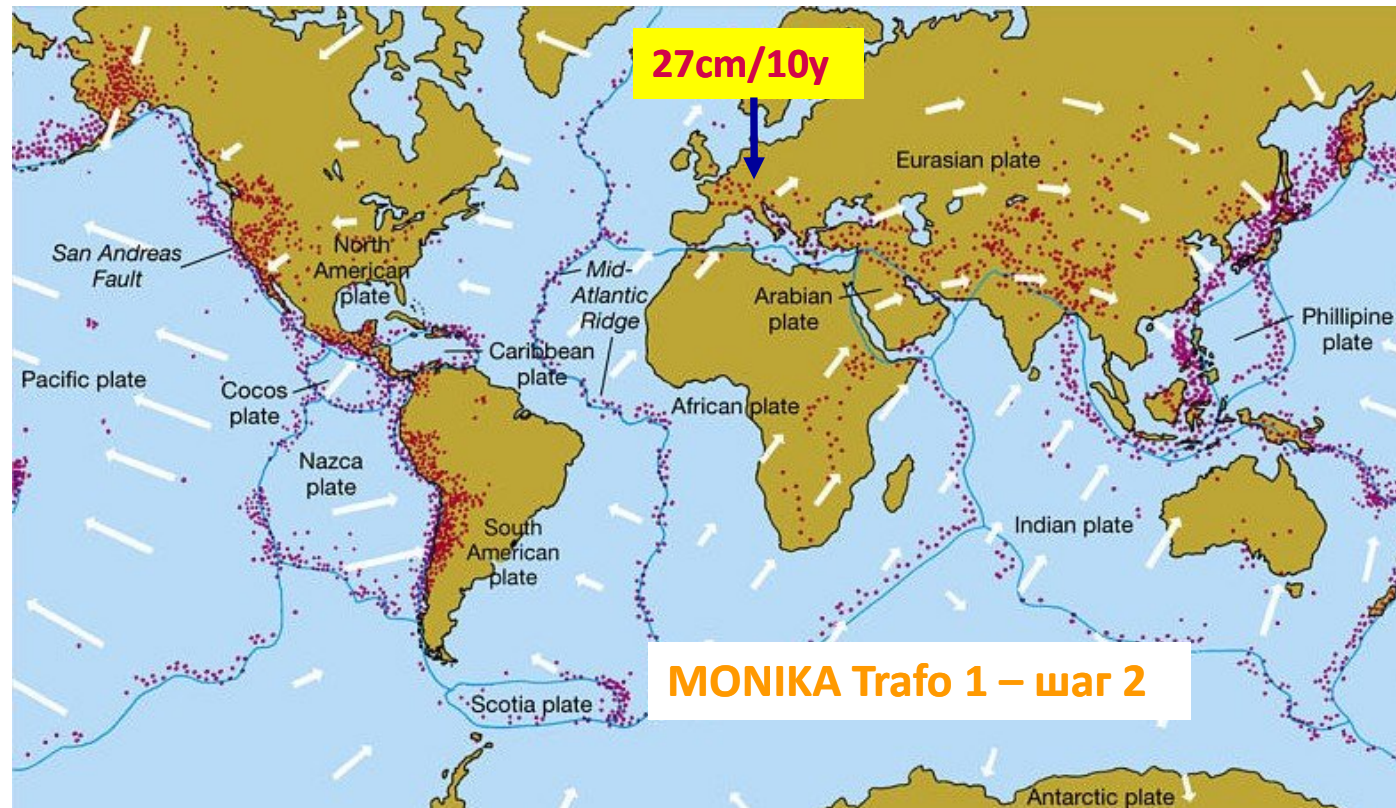
Мониторинг референчных станций GNSS

MONIKA шаг 2 – Анализ деформаций референчных точек на основе координат



Мониторинг референчных станций GNSS

MONIKA шаг 2 Анализ деформаций референчных точек на основе координат



Используются
Параметры
IERS

Референчная
Эпоха

t_0

Время на
определенную
эпоху

t_i

Consideration of Datum-drift and Plate-Movement Rates

$$\mathbf{x}(t_1)_{ITRF_{ZZ}, t_1} = (1 + \Delta m) \cdot \mathbf{R}(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) \cdot \mathbf{x}(t_1)_{ITRF_{YY}, t_1} + \mathbf{t}$$

$$\mathbf{x}(t_2)_{ITRF_{ZZ}, t_2} = \mathbf{x}(t_1)_{ITRF_{ZZ}, t_1} + \left(\left((\dot{\mathbf{R}} + \Delta \dot{m}) \cdot \mathbf{x}(t_1)_{ITRF_{ZZ}, t_1} + \dot{\mathbf{t}} \right) + \left(\dot{\mathbf{R}}_{P(j)} \cdot \mathbf{x}(t_1)_{ITRF_{ZZ}, t_1} \right) \right) \cdot (t_2 - t_1)$$

Мониторинг референчных станций GNSS

MONIKA шаг 3 – Анализ деформаций референчных точек на основе координат

$$(\mathbf{x}(t_i) - \mathbf{x}_0^i) + \mathbf{v}_{x(t_i)} = \mathbf{D}_R^i \cdot d\hat{\mathbf{x}}_R^i + \mathbf{D}_O^i \cdot d\hat{\mathbf{x}}_O^i \quad \text{and} \quad C_x(t_i) \quad \Bigg| \quad \Delta T$$



$$(\mathbf{x}(t_i) - \mathbf{x}_0^i) + \mathbf{v}'_{x(t_i)} = \mathbf{D}_R^i \cdot d\hat{\mathbf{x}}_R^i + \mathbf{D}_O^i \cdot d\hat{\mathbf{x}}_O^i + \mathbf{B}_i^k \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}(t_i)$$

$$\mathbf{B}_i^k \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}(t_i) = \left[\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right]^T \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}(t_i)$$



$$\hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}(t_i) = -(\mathbf{B}_i^{kT} \mathbf{P}^i \mathbf{Q}_{vv}^i \mathbf{P}_i \mathbf{B}_i^k)^{-1} \cdot \mathbf{B}_i^{kT} \mathbf{P}^i \cdot \mathbf{v}_{x(t_i)} \quad \text{и} \quad \mathbf{Q}_{\hat{\nabla} \hat{\nabla} R}^{i,k}(t_i) = (\mathbf{B}_i^{kT} \mathbf{P}^i \mathbf{Q}_{vv}^i \mathbf{P}_i \mathbf{B}_i^k)^{-1}$$

Мониторинг референчных станций GNSS

MONIKA шаг 3 – Анализ деформаций референчных точек на основе координат

Апостериори статистический 3D тест на достоверность

$$\nabla \mathbf{x}_R^{i,k}$$

$$T(\hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}) = \frac{\hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k T} \cdot (\mathbf{Q}_{\hat{\nabla} \hat{\nabla} R}^{i,k})^{-1} \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}}{3 \cdot \hat{\sigma}^2} =$$

$$= \frac{\hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k T} \cdot (\mathbf{B}_i^k T \mathbf{P}^i \mathbf{Q}_{vv}^i \mathbf{P}_i \mathbf{B}_i^k) \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}}{3 \cdot \hat{\sigma}^2} \sim F_{3,r-3}$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} - \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k T} \cdot (\mathbf{Q}_{\hat{\nabla} \hat{\nabla} R}^{i,k})^{-1} \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}}{r-3}$$

Тест относительно 1-α, например = 95%
Эллипсоид достоверности

Эллипсоид чувствительности
α = 5 %, β = 95%

$$\hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k T} \cdot (\mathbf{Q}_{\hat{\nabla} \hat{\nabla} R}^{i,k})^{-1} \cdot \hat{\nabla} \mathbf{x}_R^{i,k}$$

$$= \lambda(F'_{3,r-3}, \alpha, \beta) = 17.3$$

β%- Чувствительность

$$f = \sqrt{17.3} = 4.2$$

Обнаружительная способность
деформаций референчной
станции GNSS

$$\nabla \mathbf{x}_R^{i,k}$$

(= 1.0 точность, 1-α = 19.9 %
эллипсоид ошибок)

Мониторинг референчных станций GNSS

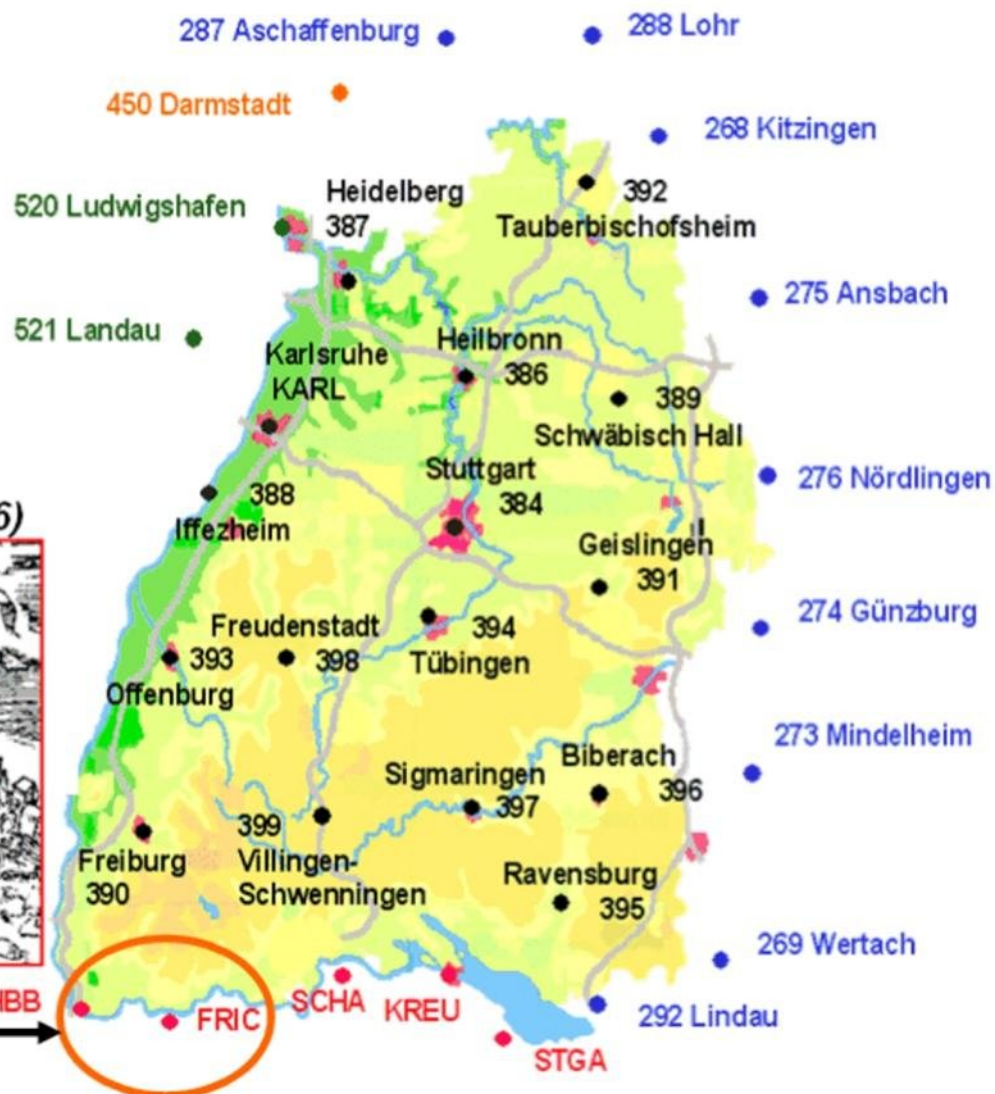
Служба позиционирования GNSS в Баден-Вуртемберг (SAPOS) Германия

SAPOS® Network Baden-Württemberg

GNSS-reference-stations
and links to surrounding
countries

Earthquake-zone
North Switzerland

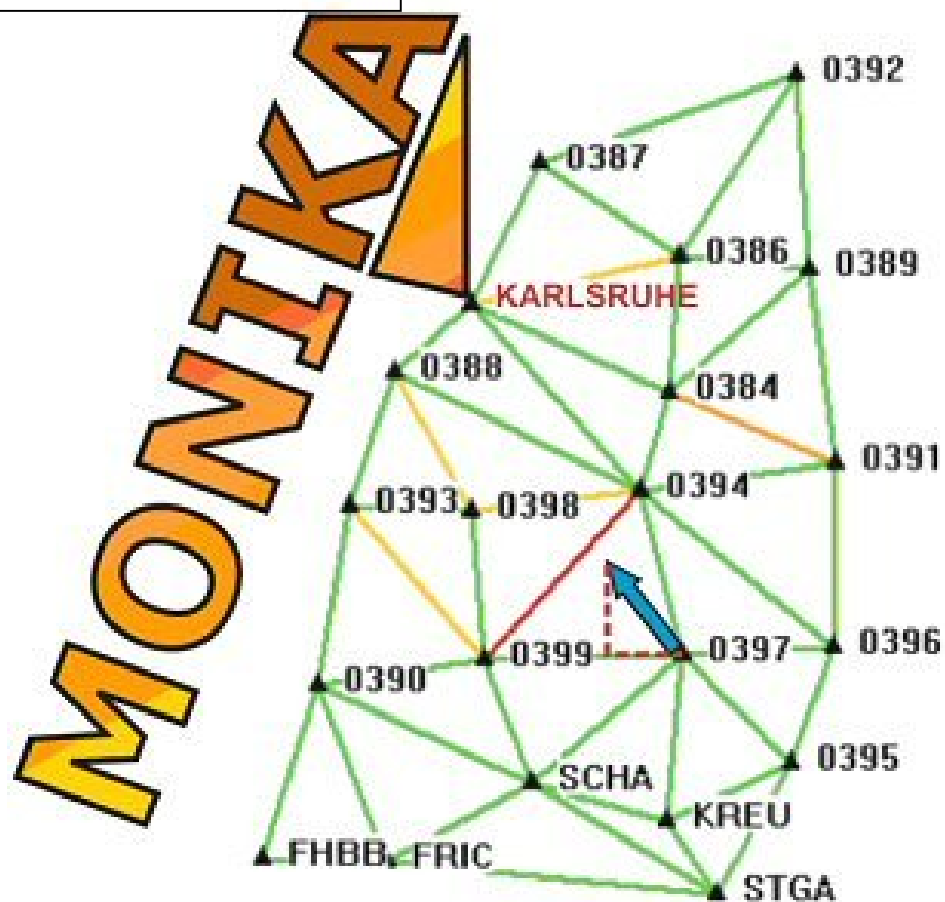
Basel Earthquake 1356 (2006)



Мониторинг референционных станций GNSS

Служба позиционирования GNSS в Рейнланд-Пфальц (SAPOS) – мониторинг вулкана

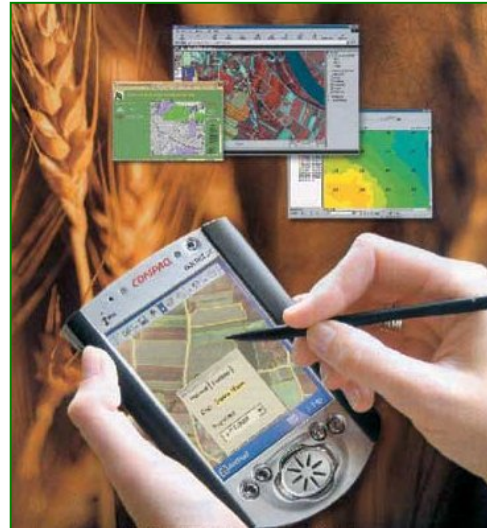
www.monika.ag



Службы позиционирования GNSS- группы потребителей



Mobile GIS



Weitere Anwendung: Nahtlose GNSS + INS(-Weiter-) Navigation und Objektreferenzierung in Gebäuden



Службы позиционирования GNSS- группы потребителей

Präzises Monitoring und Navigation bewegter Objekte

ASCOS Rechenzentrum

NTRIP Datentransfer über das Internet

EUREF oder IGS RTCM-Korrekturen

NTRIP-Format

Mobiles Internet (USB-Stick) und InterNet GNSS-Radio

Axio Net

GNSS Internet Radio 1.4.11

Broadcaster Settings

START STOP Stream Details Bytes: 0

Select Network: All Unprotected

Select Stream or Update: Update source table

Adjust Settings or press START.

JOHN DEERE

Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ort	Basislinie [km]	Beobachtungsdauer [min]	EUREF IP		John Deere MRTK	
			Nord [m]	Ost [m]	Nord [m]	Ost [m]
Karlsruhe	ca. 20km	15 Minuten	0.0513	0.0804	0.0072	0.0055
Dresden	ca. 430km	15 Minuten	0.1657	0.2758	0.0088	0.0062
Warnemünde	ca. 610km	15 Minuten	0.1033	0.0742	0.0098	0.0054



ENavigation and Location Based Services (NLS)



BoniRob-Feldroboter schafft Basis für die Landtechnik der Zukunft

Schwärme kleiner Roboter, die selbstständig auf den Feldern herumswirren, um gezielt Dünger auszubringen oder Unkraut zu bekämpfen – das könnte schon bald Wirklichkeit werden.

BOSCH
Technik fürs Leben

Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft (HSKA)

IAF
Institut für Angewandte Forschung (IAF)

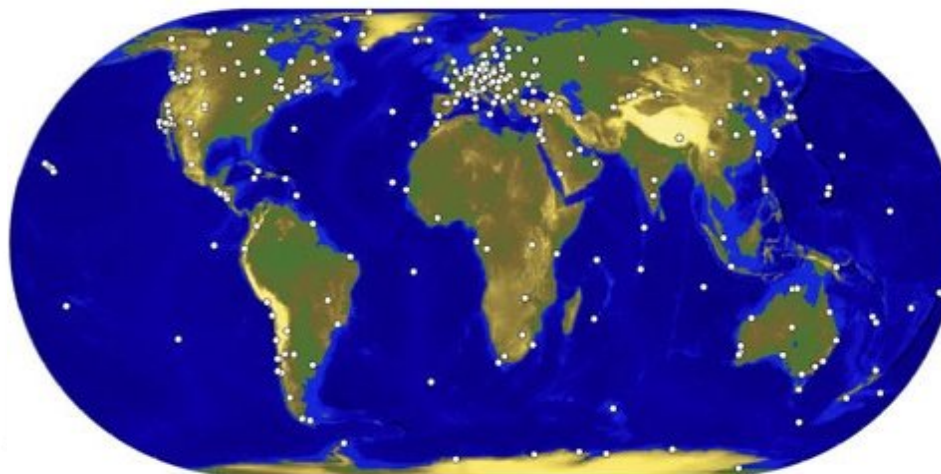
GNSS/INS Drones

SEABEX ONE

Перспективы служб позиционирования GNSS

Высокоточное позиционирование точек PPP (Precise Point Positioning)

Абсолютное позиционирование GNSS, которое может разрушить монополию на существующие DGNSS и услуги референчных станций



Абсолютный статический метод (Non-D) GNSS с загрузкой данных для постобработки

Абсолютный динамический метод IGS-Network
Online PPP („OPPP“) RTK

- Сервер – клиент для SSR?
- сантиметровый уровень RTK?
- низкая стоимость сенсоров

SSR-Provider



GNSS



„1-2 м, 1-2 дм , 1-2 см“

Перспективы служб позиционирования GNSS



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

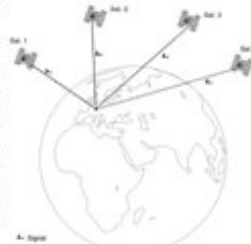


BOSCH
Technik fürs Leben

Online Precise Point Positioning (OPPP) im Server-Client-Konzept mit IGS-Produkten

Absolute GNSS-Positionierung (PPP)

Die nicht-differenzielle „absolute“ GNSS-Positionierung erfordert standardmäßig zur Berechnung der Position (ECEF-Koordinaten $[X_{\text{Empfänger}}, Y_{\text{Empfänger}}, Z_{\text{Empfänger}}]$) und des Empfängeruhrenfehlers $\delta t_{\text{Empfänger}}$ mindestens vier Pseudorange. Je nach GNSS-Sensorik können zudem auch Phasen- und/oder Dopplermessungen als Beobachtungen mit in das mathematische Modell dieses sog. „Precise Point Positioning (PPP)“ mit einbezogen werden.



$$P_{\text{SR}}^{\text{Empfänger}} = \rho + (\delta t_{\text{Empfänger}} - \delta t_{\text{Satellit}}) \cdot c + \delta_{\text{Ionos}} + \delta_{\text{Tropo}} + \delta_{\text{Locations}} + \delta_{\text{Antennen}}$$

$$\text{mit } \rho = \sqrt{(X_{\text{Satellit}} - X_{\text{Empfänger}})^2 + (Y_{\text{Satellit}} - Y_{\text{Empfänger}})^2 + (Z_{\text{Satellit}} - Z_{\text{Empfänger}})^2}$$

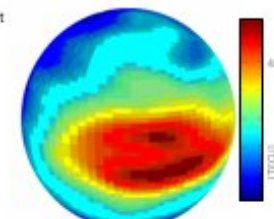
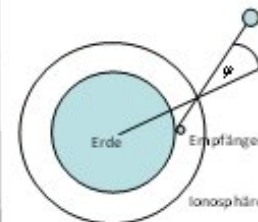
Die Fehlerkomponenten haben folgende Größenordnung

Fehlerbudget	mit Broadcast-Message	mit IGS Daten
Satellitenposition	1-3 m	0.03-0.15 m
Satellitenuhrenfehler	1.5 m	0.03-0.09 m
Ionosphäre	3-10 m	0.2-1.3 m
Troposphäre	0.7 m	0.05-0.7 m
Erdszeiten	0.6 m (Höhe)	0.6 m (Höhe)
Multipath	1.0 m	1.0 m
Antennenrauschen (Noise)	0.5 m	0.5 m

Standardmäßig wird mit Low-Cost-Sensorik und Broadcast-Information online eine absolute Positionierungsgenauigkeit von ca. 5 - 10 m erreicht. Ziel der Entwicklungen war ein verbessertes absolutes, also ein Precise-Point-Positioning (PPP), welches basierend auf Codemessungen mit Low-Cost-Sensorik und -Antennen in der ersten Entwicklungsphase eine absolute GNSS-Genauigkeit besser als 2 m-Meter liefern sollte. Das entwickelte RealTime-

Korrektur der ionosphärischen Wegverzögerung

Die Ionosphärenmodellierung erfolgt im Standard des Single-Layer Modells. Der Winkel φ am ionosphärischen Punkt lässt sich aus dem Zenitwinkel θ im Boden berechnen, der Vertical Total Electron Content (VTEC)-Wert wird aus der vom IGS bereitgestellten TEC Map bilinear interpoliert.



Ionosphärische TEC Map

VTEC = Vertical Total Electron Content
Einheit: 10^{16} Elektronen/m²

$$\Delta I_{\text{iono}} [m] = \frac{1}{\cos \varphi} \cdot \frac{40.3}{f^2} \cdot \text{VTEC}$$

Mathematische Modellbildung des OPPP

Das realisierte mathematische Modell des OPPP-Ausgleichsalgorithmus basiert, neben dem im Hintergrund z.B. im Tageszyklus erfolgenden Download der o.g. IGS-Daten, auf den Messungen (Code-, Phasen- und Doppler) eines Low-Cost GPS-Systems. Der entwickelte OPPP-Algorithmus setzt prinzipiell keine Filterung aus Bewegung voraus und basiert Genauigkeits- und Zuverlässigkeitssteigernd auf einer robusten M-Schätzung. Die nachfolgende Tab. zeigt die mittlere Lageabweichung aus der Auswertung von 30480 OPPP-Positionierungen mit unterschiedlichen Orbitdaten.

Broadcast Ephemeriden	IGS ultra-rapid	IGS final
2.69 m	2.16 m	1.97 m

Выводы

- Создание сетей GNSS и банков геодезических данных значительно повысят эффективность выполнения топографо-геодезических, землеустроительных и кадастровых работ, а также обеспечат научно-практические приложения по мониторингу землетрясений и оползневых процессов, исследованию окружающей среды, предсказанию геологических рисков и др.
- Мониторинг референчных станций GNSS позволит произвести анализ деформаций и принять своевременные меры по передаче дополнительных коррекций потребителю или измерения местоположения референчной станции
- Новый формат передачи данных RTCM 3.1 позволит полностью автоматизировать процесс высокоточного определения плановых координат и нормальных высот в режиме реального времени

Рекомендации

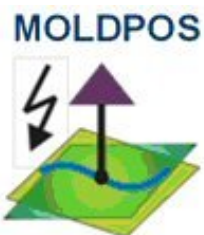
- Для поддержки услуг GNSS в центре обработки сетевых измерений GNSS необходимо создать геодезические базы данных, содержащие информацию о трансформационных параметрах для плановых координат, высот и картографических проекций
- При конфигурации систем позиционирования нужно учесть скорость передачи сообщений RTCM через имеющиеся средства связи посредством программного обеспечения сетей GNSS
- Для использования баз геодезических данных в режиме реального времени необходимо дальнейшее исследование эффективности существующих алгоритмов трансформаций и математических моделей формирования сообщений RTCM
- Для уменьшения стоимости выполнения геодезических работ, особенно в труднодоступных районах, где построение сетей референцных станций затруднено, необходимо дальнейшее исследование метода высокоточного абсолютного позиционирования



Технический
Университет
Молдвы



Спасибо за внимание!



Василе Кирьяк
Василе Грама
Ливия Нистор-Лопатенко
Андрей Яковлев

Reiner Jager
Ghadi Younis
Stephan Seiler
Simone Kalber
Peter Spohn



**XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЮБИЛЕЙНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
“ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: GPS И GIS – ТЕХНОЛОГИИ”
13-18 сентября 2010г. АЛУШТА (КРЫМ)**