



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОМАТИКА



RTKLIV софтверски систем као подршка ГНСС-у

СЕМИНАРСКИ РАД

- Интегрисани системи премера -

Ментор:

доц. др Владимир Булатовић

Студент:

Давид Војводић ГГ 2/2011

e-mail: dvdvjvdc@gmail.com

Нови Сад, мај 2015.

САДРЖАЈ

Резиме	1
Кључне речи	1
Увод	1
1. Основни појмови о ГНСС-у	2
2. RTKLIB софтверски систем	4
2.1. RTKLAUNCH апликација	6
2.2. RTKNAVI апликација	6
2.3. RTKPOST апликација	10
2.4. Опције позиционирања у RTKNAVI и RTKPOST апликацији	11
2.5. RTKCONV апликација	13
2.6. RTKPLOT апликација	15
2.7. RTKGET апликација	17
2.8. NTRIP Browser апликација	18
2.9. CUI апликације RTKLIB софтверског система	18
3. Лични допринос раду	19
4. Пример накнадне обраде у RTKPOST апликацији	20
Закључак	25
Литература	26

Резиме: Тема овог рада је RTKLIB софтверски систем као подршка ГНСС-у. На почетку рада дати су основни појмови о ГНСС-у. Даље, у раду је детаљно описан RTKLIB софтверски систем. У оквиру описа описани су RTKNAVI, RTKPOST, RTKCONV, RTKPLOT, RTKGET и NTRIP Browser апликације, заједно са њиховим функцијама и могућностима. На крају рада дат је лични допринос аутора у виду уопштеног приказа функционисања RTKLIB софтверског система и његове повезаности са осталим компонентама, као и пример накнадне обраде у RTKPOST апликацији.

Кључне речи: RTKLIB, ГНСС, RTKNAVI, RTKPOST, RTKPLOT, RTKCONV.

УВОД

Током прошлог века дошло је до појаве глобалних навигационих сателитских система (ГНСС) и њиховог развоја. Данас су услуге ГНСС система доступне великом броју корисника и оне пружају различите могућности и велики број метода позиционирања. Тачност ових метода је унапредовала до милиметарске тачности.

За потребе праћења, управљања, обрађивања података и анализирања ГНСС позиционирања створени су различити ГНСС софтвери. Многи од њих су комерцијални и нису бесплатни. Ипак, постоје и бесплатни ГНСС софтвери, који још при томе имају и отворен изворни код. Предност ових софтвера огледа се у доступности многим корисницима и у надоградљивости самог софтвера од стране корисника. Један од оваквих софтвера је RTKLIB софтверски систем.

RTKLIB софтверски систем се користи код стандардног и прецизног ГНСС позиционирања. Овај софтверски систем се састоји од разних апликација, које имају много опција и функција које помажу да се лакше обраде и прикажу подаци ГНСС позиционирања.

Поред овога, RTKLIB софтверски систем се може уградити у јефтину RTK-GPS пријемник, и при томе добити јефтино решење за RTK методу мерења са задовољавајућим перформансама [6].

Литература о RTKLIB-у је веома скромна, на што скреће пажњу и сам креатор овог софтверског система [4].

1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ О ГНСС-У

ГНСС је скраћеница за глобалне навигационе сателитске системе. ГНСС системи спадају у групу мултипозиционих радионавигационих система, који служе за одређивање просторног положаја и вектора брзине корисника на целој површини Земље [1].

Данас се ГНСС системи примењују у војне и цивилне сврхе. У цивилној сврси ГНСС се користи за: прецизно позиционирање и трансфер времена, ваздухопловну и космичку навигацију, копнени саобраћај и поморску навигацију, претрагу и спашавање, као и за потрошако тржиште.

ГНСС систем чине три сегмента: космички, контролни и кориснички.

Под космичким сегментом подразумева се констелација вештачких сателита Земље. Број сателита није исти за сваки ГНСС систем, као и дужина полупречника сателитске орбите, инклинација орбите и периода обртања сателита око Земље. Такође, и број сателита повећава се током времена.

Контролни сегмент састоји се од наземних контролних станица, које врше следеће функције: предикцију сателитских ефемерида и параметара часовника, праћење радионавигационог поља, радиотелеметријско праћење сателита, командно и програмско радио управљање сателитом [1].

Кориснички сегмент чине људи који користе различите ГНСС уређаје.

Неке државе створиле су, а неке још стварају своје ГНСС системе. Данас познати ГНСС системи су: ГЛОНАСС (Русија), GPS (САД), COMPASS (Кина) и Galileo (ЕУ).

Поред ГНСС система, постоје и РНСС (регионални навигациони сателитски системи) системи као што су: QZSS (Јапан) и IRNSS (Индија) [8].

ГНСС сателити углавном емитују две врсте сигнала, где се један користи за цивилну употребу, а други за војне сврхе. Сваки сигнал ради на одређеној фреквенцији и састоји се од: носећег таласа, кода и навигационе поруке. ГНСС мерења могу бити кодна и фазна.

Сигнале, послате са ГНСС сателита, примају ГНСС пријемници, који поред ове функције обављају и следеће: раздвајање сигнала по појединим сателитима, мерење времена пута сигнала и Доплеровог помака, декодирање навигационе поруке, одређивање положаја, брзине и времена [3].

Помоћу ГНСС пријемника може се одредити псеудодужина од пријемника до сателита. За одређивање положаја неке тачке преко ГНСС пријемника, неопходно је измерити најмање четири псеудодужине до четири различита сателита.

На тачност ГНСС мерења утичу многи фактори, услед којих настају одређене грешке. Те грешке су: грешка сателитских ефемерида, грешка сателитских часовника, грешка услед јоносферске рефракције, грешка услед тропосферске рефракције, грешка услед вишеструке рефлексије, грешка услед шума пријемника и грешка корисничког ГНСС уређаја. Такође, на тачност ГНСС мерења утиче и релативна геометрија пријемника и сателита.

За повећање тачности ГНСС мерења користи се диференцијално (релативно) ГНСС позиционирање, које захтева барем два ГНСС пријемника. Помоћу овог начина позиционирања (преко диференцијалних корекција) могу се отклонити многе грешке ГНСС мерења, које погоршавају тачност самог мерења. Поред диференцијалног позиционирања постоји и апсолутно, које подразумева употребу само једног пријемника, али тачност овог позиционирања је мања од диференцијалног.

Апсолутно и релативно позиционирање може бити статичко и кинематичко. Под статичким позиционирањем подразумева се стационарност ГНСС пријемника у току опажања ка сателитима, док се под кинематичким подразумева покретност ГНСС пријемника у току опажања.

ГНСС мерења могу се обављати у реалном времену или се могу накнадно обрадити.

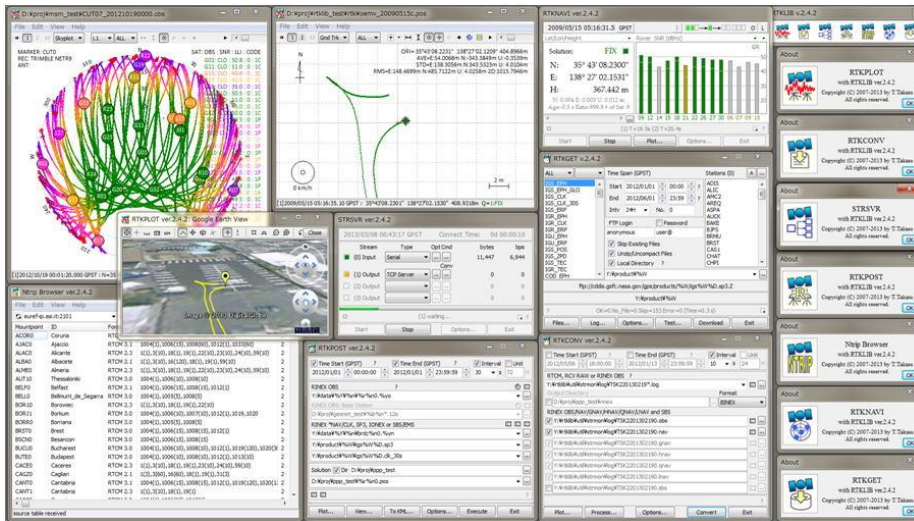
Када се мери у реалном времену, коначни резултати добијају се у тренутку опажања. Код оваквог начина мерења, резултати се углавном добијају из неколико епоха мерења.

Накнадна обрада мерења врши се након прикупљања одређеног обима података и обавља се у бироу, где се комбинују изведена мерења са више тачака [7].

2. RTKLIB СОФТВЕРСКИ СИСТЕМ

RTKLIB [5] је софтверски систем са отвореним изворним кодом (*open source*) који се користи код стандардног и прецизног ГНСС позиционирања. Креатори овог софтверског система су Томоџи Такасу и његови сарадници са Океанографског универзитета у Токију. Дати софтверски систем развија се од 2006. године. RTKLIB софтверски систем (Слика 1) састоји се од портабилне софтверске библиотеке и од неколико апликација које користе библиотеку. С обзиром на то да осим приручника (упутства) овог аутора практички других доступних извора о RTKLIB софтверском систему и нема, у раду ће највећи део тог система бити описан и објашњен првенствено на основу датог приручника.

RTKLIB је способан да ради на платформама: Windows, Linux и Android [9].



Слика 1. Приказ RTKLIB GUI апликација у Windows 7 [10]

Овај софтверски систем подржава алгоритме за стандардно и прецизно (помоћу прецизних ефемерида и часовника) позиционирање помоћу ГНСС система, као што су: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS и SBAS (регионални сателитски диференцијални системи) [5].

Многе методе ГНСС позиционирања подржане су од старне RTKLIB-а како у реалном времену тако и са накнадном обрадом. Неке од ових метода су: апсолутна, диференцијална, кинематичка, статичка, метода покретних базних линија, метода са решеном фазном неодређеношћу (за анализу RTKLIB резидуала), прецизна апсолутна кинематичка, прецизна апсолутна статичка и прецизна апсолутна метода са решеном фазном неодређеношћу.

RTKLIB такође подржава и различите стандардне ГНСС формате и протоколе, као што су: RINEX, RTCM, BINEX, NTRIP, NMEA, SP3-с, ANTEX, IONEX, NGS PCV и EMS. Поред наведених формата и протокола RTKLIB још може да подржава и одређене власничке поруке ГНСС пријемника (NovAtel, Hemisphere, u-blox, SkyTraq,...). Различите спољне комуникације подржане су овим софтверским системом путем: Serial, TCP/IP, NTRIP, local log file и FTP/HTTP веза [5].

RTKLIB пружа многе функције софтверске библиотеке и апликационе интерфејсе, као што су: функције сателита и навигационог система, матричне и векторске функције, функције времена и ниске карактера, трансформација координата, улазне и излазне функције, функције дебагирања, функције које зависе од платформе, модели позиционирања, атмосферски модели, модели антена, модели таласа на Земљи, модели геоида, трансформација датума, RINEX функције, функције ефемерида и часовника, функције прецизних ефемерида и часовника, функције сирових података пријемника, RTCM функције, функције методе мерења, Google Earth KML конвертор, SBAS функције, опционе функције, улазне и излазне функције за ток података, резолуција целобројне неодређености, стандардно позиционирање, прецизно позиционирање, позиционирање са накнадном обрадом, функције тока сервера, функције RTK сервера и функције преузимача [5].

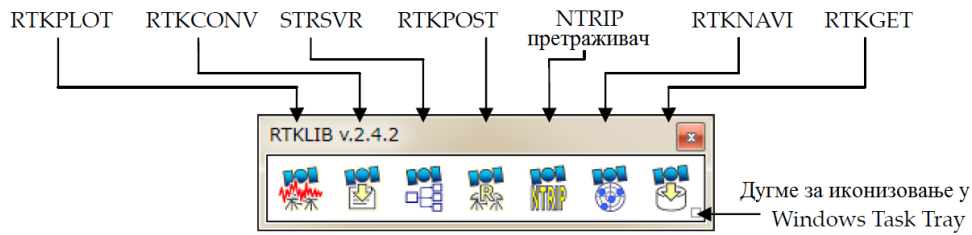
Садржај RTKLIB софтверског система чини неколико GUI (графички кориснички интерфејс) и CUI (кориснички интерфејс командне линије) апликација. Списак ових апликација са својим функцијама дат је у табели испод (Табела 1).

Функције	GUI апликације	CUI апликације
покретач апликације	RTKLAUNCH	-
позиционирање у реалном времену	RTKNAVI	RTKRCV
комуникациони сервер	STRSVR	STR2STR
анализа у накнадној обради	RTKPOST	RNX2RTKP
RINEX конвертор	RTKCONV	CONVBIN
исцртавање и преглед података	RTKPLOT	-
преузимач ГНСС података и производа	RTKGET	-
NTRIP претраживач	SRCTBLBROWS	-

Табела 1. Списак RTKLIB GUI и CUI апликација са својим функцијама [5]

2.1. RTKLAUNCH апликација

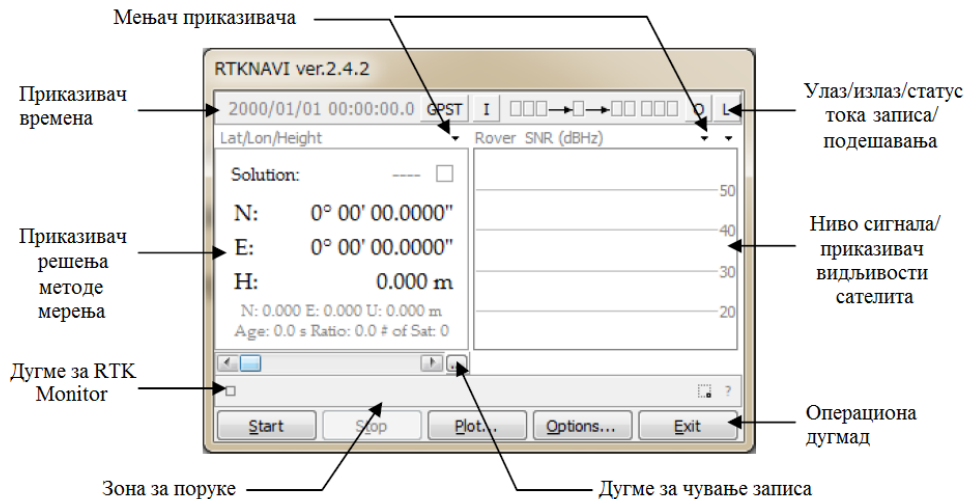
Помоћу RTKLAUNCH апликације (Слика 2) могу се лако отворити остале GUI апликације, које се налазе унутар RTKLIB софтверског система. Такође, ова апликација може се сместити као иконица унутар зоне за обавештење у Windows панелу инструмената (*Windows Task Tray*) и на тај начин омогућити лак приступ GUI апликацијама у свако време.



Слика 2. RTKLAUNCH прозор и покретач иконица GUI апликација

2.2. RTKNAVI апликација

RTKNAVI (Слика 3) је апликација намењена за позиционирање у реалном времену, која учитава сирове податке опажања са ГНСС пријемника и извршава навигациону обраду у реалном времену [5].



Слика 3. Главни прозор RTKANVI апликације

Проток података у RTKNAVI апликацији одвија се тако, што се на улаз ове апликације могу довести подаци са ровера (покретног ГНСС пријемника), базне станице (непокретног ГНСС пријемника) и са корекционог провајдера, а затим се на излазу могу добити подаци метода мерења и записи за ровер, базну станицу и корекције.

Позиционирање у реалном времену помоћу RTKNAVI апликације започиње убацивањем сирових података опажања и сателитских ефемерида са ГНСС пријемника (преко дугмета „I“). Приликом убацивања података у софтвер, потребно је изабрати извор сирових података (ровер, базна станица, корекциони провајдер) у зависности од методе мерења.

Подешавање улазних података ради се у *Input Streams* дијалогу RTKNAVI апликације. У овом дијалогу потребно је изабрати и тип конекције за сваки извор података. Могуће је изабрати следеће конекције: *Serial* (RS232C или USB), *TCP Client*, *TCP Server*, *NTRIP Client*, *File*, *FTP* и *HTTP*. Поред типа конекције, треба подесити и формат података, који може бити: *RTCM2*, *RTCM3*, *NovAtel OEM6*, *NovAtel OEM3*, *u-blox*, *Superstar II*, *Hemisphere*, *SkyTraq*, *GW10*, *Javad*, *NVS BINR*, *BINEX* и *SP3* [5].

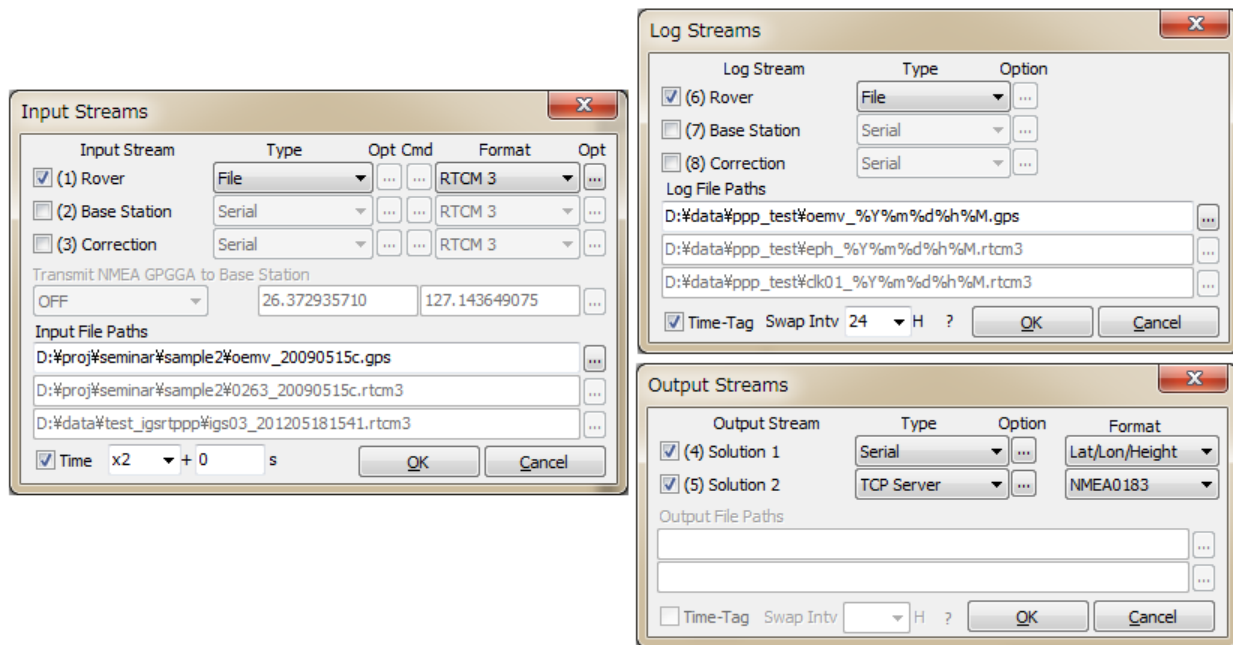
У *Input Streams* дијалогу могу се вршити подешавања и задавање команди за конекције или комбинацију конекција помоћу дугмета у виду „...“ испод ознака *Opt* и *Cmd*, а такође, може се вршити и подешавање формата података на сличан начин. У овом дијалогу постоји и опција за слање NMEA GPGGA порука ка базној станици.

После убацивања сирових података, потребно је креирати и излаз њихове обраде. Ова радња може се урадити у *Output Streams* дијалогу (преко дугмета „O“).

У овом дијалогу може се подесити тип конекције (само *Serial*, *TCP Client*, *TCP Server*, *NTRIP Server* и *File*) за сваку методу мерења. Опције су сличне као и у *Input Streams* дијалогу. Поред конекција треба изабарати и одређен формат података. Ти формати су: Lat/Lon/Height (географска ширина, географска дужина и елипсоидна висина), X/Y/Z-ECEF (X,Y,Z компоненте у ECEF координатном систему), E/N/U-Baseline (E,N,U компоненте базне линије) и NMEA0183 (одређене NMEA поруке).

Ако улазне податке треба сачувати у виду записа, то се може остварити у *Log Streams* дијалогу (помоћу дугмета „L“) [5]. Подешавања у овом дијалогу су слична као и у *Input Streams* и *Output Streams* дијалогу, с тим, што се не подешава формат података.

У свим улазно/излазним дијалозима (Слика 4) може се подесити путања до улазних сирових података и путања до локације на којој ће бити сачувани излазни обрађени подаци.



Слика 4. Улазни *Input Streams* и излазни *Output Streams* и *Log Streams* дијалози

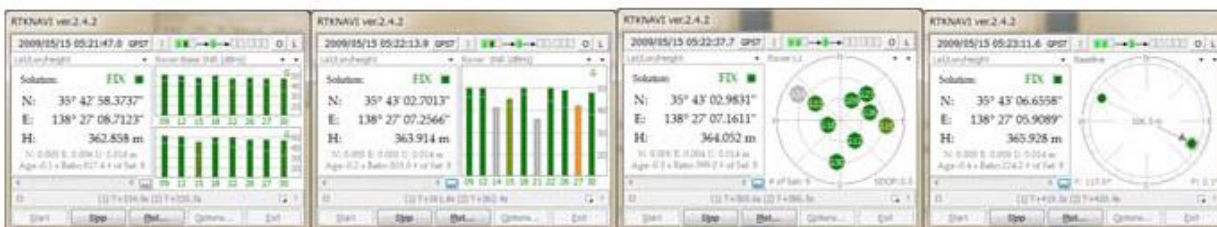
Процес позиционирања започиње преко дугмета *Start* у главном прозору RTKNAVИ апликације. Показатељи с горње десне стране редом означавају: улазе са ровера, базне станице и корекционог провајдера, процес позиционирања, и излазе у виду решења методе мерења (највише две методе) и записи за ровер, базну станицу и корекције. Сваки показатељ обојен је у неку боју. Боја има одређено значење. Тако сива боја означава да показатељ није у употреби, **наранџаста** означава чекање за конектовање, **тамно зелена** означава да је показатељ конектован или укључен, **светло зелена** означава да су подаци активни (улаз, излаз или обрада), док **црвена** означава да је дошло до грешке у конекцији [5]. У главном прозору RTKNAVИ апликације у зони за поруке понекад се могу видети поруке о стању позиционирања. Процес позиционирања зауставља се преко дугмета *Stop*.

После уношења комплетних и исправних података опажања и података о ефемеридама, RTKNAVИ апликација прорачунава решење методе мерења и приказује га у приказивачу методе мерења са леве стране у главном прозору, заједно са: врстом методе

мерења (FIX-метода са решеном фазном неодређеношћу, FLOAT-метода са фазном неодређеношћу, DGPS-диференцијална, SBAS, SINGLE-апсолутна или PPP-прецизна апсолутна), E/N/U или X/Y/Z компонентама стандардне девијације, Age (време трајања диференцијалних корекција у секундама), Ratio (однос фактора провере неодређености) и # of Sat (број исправних сателита). Подаци у приказивачу методе мерења могу се приказати у више облика, као: Lat/Lon/Height (степен/минута/секунда), Lat/Lon/Height (степени), X/Y/Z-ECEF (метри), E/N/U-Baseline (метри), Pitch/Yaw/Length-Baseline (степени, метри). У облику Lat/Lon/Height могу се видети геодетске и елипсоидне висине [5].

У приказивачу времена, време се може приказати у: GPST (GPS време), UTC (координисано универзално време), LT (локално време) и GPST (GPS недеља/TOW) облику.

Поред наведених опција, у главном прозору RTKNAVI апликације, може се видети однос сигнала и шума (SNR) или приказ видљивих сателита у Skyplot прозору (Слика 5). Однос сигнала и шума може се приказати у следећим облицима: Base SNR, Rover SNR, Rover Skyplot, Base Skyplot, Baseline plot и Wide-mode Rover SNR [5]. У Skyplot прозору преко одређених боја може се видети који је тип ГНСС система и фреквенција односа сигнала и шума.



Слика 5. Приказивач стања сигнала и сателита у RTKNAVI апликацији

Преко дугмета Plot, отвара се RTKPLOT апликација (о овој апликацији видети у поглављу 2.6.), у којој се исцртава тренутни положај ровера и његова путања кретања.

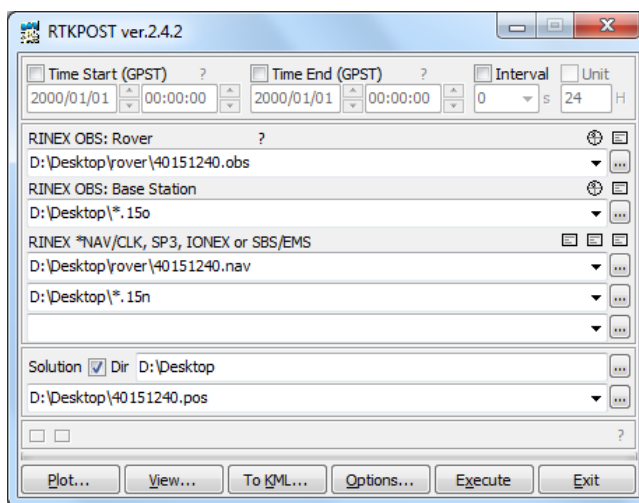
У главном прозору постоји и дугме за „RTK Monitor“ прозор. Унутар овог прозора може се видети унутрашњи статус RTKNAVI апликације [5]. У оквиру унутрашњег статуса могу се видети подаци који су везани за одређене садржаје. Ти подаци су: генерални статус унутрашњег процеса позиционирања, улазни подаци опажања, сателитске навигационе поруке различитих ГНСС система, параметри јоносфере и времена, статуси улазних и

излазних токова података, статуси различитих ГНСС система, различити SBAS, RTCM и LEX подаци, јоносфреске корекције, грешке везане за ровер, базну станицу и корекције, упозорења итд.

У RTKLIB софтверском систему постоји и STRSVR апликација, која има улогу релеја или раздвајача тока података код позиционирања у реалном времену помоћу RTKNAVI апликације. Поред овога, апликација може лако да успостави улазни и излазни ток података помоћу комуникационих линкова између базне станице и ровера.

2.3. RTKPOST апликација

RTKPOST (Слика 6) је апликација намењена за анализу ГНСС података у накнадној обради. Ова апликација ради тако што учитава RINEX (верзије 2.10, 2.11, 3.00, 3.01 и 3.02) податке опажања и фајлове навигационих порука (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS, COMPASS и SBAS), на основу којих даје решења метода мерења, као што су: апсолутна, диференцијална, кинематичка, статичка, прецизна апсолутна кинематичка и прецизна апсолутна статичка метода [5].



Слика 6. Главни прозор RTKPOST апликације

Процес накнадне обраде започиње уношењем RINEX података за ровер или за ровер и базну станицу, што зависи од методе мерења. Поред ових података потребно је унети и RINEX фајлове навигационих порука ГНСС система. Уместо ових фајлова могу се

унети подаци прецизних ефемерида и часовника за прецизне апсолутне методе (статичка, кинематичка и метода са решеном фазном неодређеношћу) у виду SP3-с фајлова, или RINEX CLK фајлова за прецизне часовнике сателита. Поред наведених фајлова могу се унети и корекциони фајлови, као што су IONEX (јоносферске корекције VTEC мреже), SBAS фајлови записа (SBAS корекције) или EMS (EGNOS сервер порука) и RTCM 3 поруке (корекције простора стања). Излазни фајл задаје се у текстуалном пољу *Solution* и чува се у *.*pos* или *.*ntea* формату.

Након уношења RINEX података може се подесити време почетка и време краја опажања у главном прозору. Код подешавања времена може се подесити и интервал [5]. Такође постоји и опција за конвертовање GPS времена у друге временске системе и форме приказа (UTC, GPS недеља/TOW, дан у години, дан у недељи, доба дана и преступна секунда), као и опција за избор временске јединице (за анализу вишеструких сесија).

Обрада унетих података започиње преко дугмета *Execute*. Након успешне обраде може се приказати садржај излазног фајла у виду текста (преко дугмета *View*).

Као код RTKNAVI апликације, тако и у RTKPOST апликацији постоји опција за исцртавање резултата мерења (преко дугмета *Plot*) у RTKPLOT апликацији (о овој апликацији видети у поглављу 2.6.). Преко RTKPLOT апликације на исти начин се могу исцртати и улазни подаци. Поред ове могућности RTKPOST апликација има и могућност конвертовања излазних података у Google Earth KML фајл, који се може приказати у Google Earth софтверу. Унутар дијалога за конвертовање у KML фајл, могу се подесити различити параметри конвертовања.

2.4. Опције позиционирања у RTKNAVI и RTKPOST апликацији

У главном прозору RTKNAVI и RTKPOST апликације постоји дугме *Options...*, преко којег се могу подешавати опције позиционирања.

Прва картица у прозору *Options* је *Setting1*. У њој се може изабрати нека од метода мерења (које су наведене у поглављу 2.). Следећа опција је *Frequencies/Filter Type*. У *Frequencies* се могу изабрати сигнали са једном, две или три фреквенције (L1 са једном фреквенцијом, L1 и L2 са две фреквенције, или L1, L2 и L5 са три фреквенције), док се у

Filter Type може изабрати тип филтера (*Forward*, *Backward* или *Combined*). Трећа опција *Elevation Mask/SNR Mask* помаже да се намести угао висинске или SNR маске, која служи за игнорисање сателита који су испод одређеног угла на хоризонту. Четврта опција *Res Dynamics/ Earth Tides Correction* подешава динамичност ровера (само за диференцијалну и кинематичку методу мерења) и коришћење корекција за таласе на Земљи. У опцији *Ionosphere Corrections* подешава се тип јоносферских корекција (емитоване, SBAS, Ionosphere-Free LC, оцењени STEC параметри, IONEX TEC, QZSS емитоване и QZSS LEX корекције). Следећа опција *Troposphere Corrections* подешава тип тропосферских корекција (Saastamoinen, SBAS, оцењене ZTD и оцењене ZTD+Grad корекције). *Satellite Ephemeris/Clock* опција дефинише тип сателитских ефемерида због корекција прецизних ефемерида и часовника. Поред наведених опција могу се још подесити и: коришћеност PCV (промене фазног центра) антена код сателита и пријемника, употреба фазних *windup* корекција за прецизну апсолутну методу мерења, постојање опажаних GPS Block IIА сателита (само за прецизну апсолутну методу мерења), омогућеност RAIM FDE својства, постојање искључених ГНСС сателита и врста коришћених ГНСС система.

Друга картица у прозору *Options* је *Setting2*. У овој картици може се подесити начин одређивања резолуције целобројне неодређености за GPS и ГЛОНАСС системе преко опције *Integer Ambiguity Res (GPS/GLO)*, као и други параметри везани за одређивање целобројне неодређености. Поред ових опција могу се још подесити: највећа старост диференцијалних корекција, режим синхронизованог времена методе мерења, одбацивање прага GDOP-а (геометријско смањење прецизности), број итерација код ажурирања мерења оцењеног филтера и ограничење дужине базне линије.

Трећа картица у прозору *Options* је *Output*. У њој се могу подесити: тип формата решења методе мерења (*Lat/Lon/Height*, *X/Y/Z-ECEF*, *E/N/U-Baseline* или *NMEA0183*), приказ заглавља и опција позиционирања, формат времена (GPST, UTC или JST), формат географских ширина и дужина, геодетски датум (WGS84 или Токијски), тип висина (елипсоидне или геодетске), модел геоида, интервали излаза NMEA порука и друга подешавања.

Четврта картица у прозору *Options* је *Statistics*. Ова картица намењена је за подешавање параметара грешака мерења, параметара везаних за шумове током процеса опажана и стабилности сателитског часовника. У оквиру подешавања параметара грешака

мерења, може се подесити: однос стандардних девијација грешака псеудодужине и носећих фаза за L1 и L2/L5/L6 сигнале, стандардна девијација грешке носећих фаза и њена зависност од висине и дужине базне линије, и стандардна девијација Доплерских грешака. Код подешавања параметара везаних за шумове током процеса опажања могу се подесити стандардне девијације за шумове који настају због: убрзања ровера, помака носећих фаза, вертикалног јоносферског и зенитног тропосферског кашњења.

Пета картица у прозору *Options* је *Positions*. Унутар ове картице могу се подесити параметри везани за ровер (3Д положај фиксираних антена ровера, тип антена ровера и делта положај антена ровера), базну станицу (3Д положај антена базне станице, тип антена базне станице, делта положај антена базне станице) и локација фајла положаја станице (због извлачења положаја са листе станица).

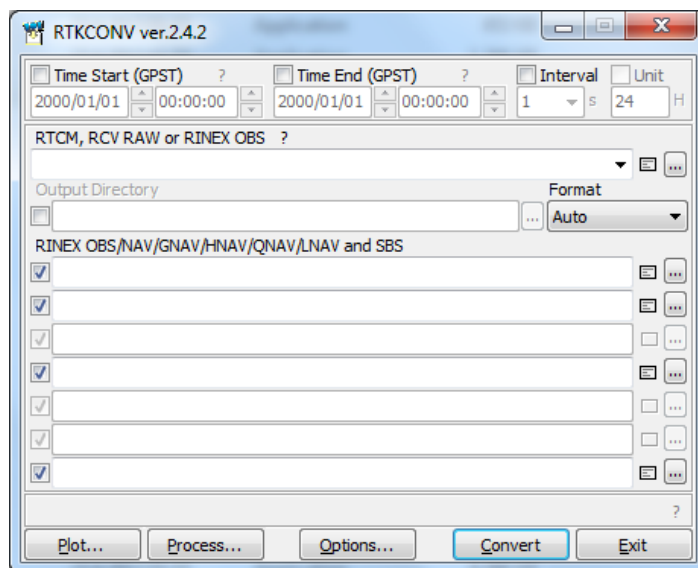
Шеста картица у прозору *Options* је *Files*. Ова картица служи за дефинисање путање до одређених фајлова, као што су: ANTEX или NGS PCV фајл за антене сателита и пријемника, фајл са подацима о геоиду, фајл DCB корекција, фајл параметара оријентације Земље, фајл коефицијената океанских таласа и Google Earth *.exe фајл.

Последња картица у прозору *Options* је *Misc*. Она није иста за RTKNAVI и RTKPOST апликацију. У овој картици подешавају се разни параметри као што су: време циклуса обраде, циклус преношења NMEA GPGLGA поруке на NRTK сервер, избор навигационих порука, фонт текста излазних података, опције читања RINEX фајлова за ровер и базну станицу, ID листа за ровере, базне станице и станице, и други параметри.

2.5. RTKCONV апликација

RINEX (формат размене који не зависи од пријемника) је стандардни формат ГНСС података, који је подржан од стране многих пријемника и ГНСС софтвера за анализу у накнадној обради. RTKLIB-ова апликација за анализу у накнадној обради (RTKPOST) такође поджава RINEX фајлове као улазне податке. За припрему RINEX фајлова, RTKLIB користи RTKCONV апликацију (Слика 7), која преводи RTCM, BINEX и сирове поруке пријемника у RINEX OBS (подаци опажања) и RINEX NAV (GPS/ГНСС навигационе

поруке) фајлове. RTKCONV апликација може још да извуче и SBAS поруке из сирових података пријемника и да их сачува у виду SBAS фајлова записа [5].



Слика 7. Главни прозор RTKCONV апликације

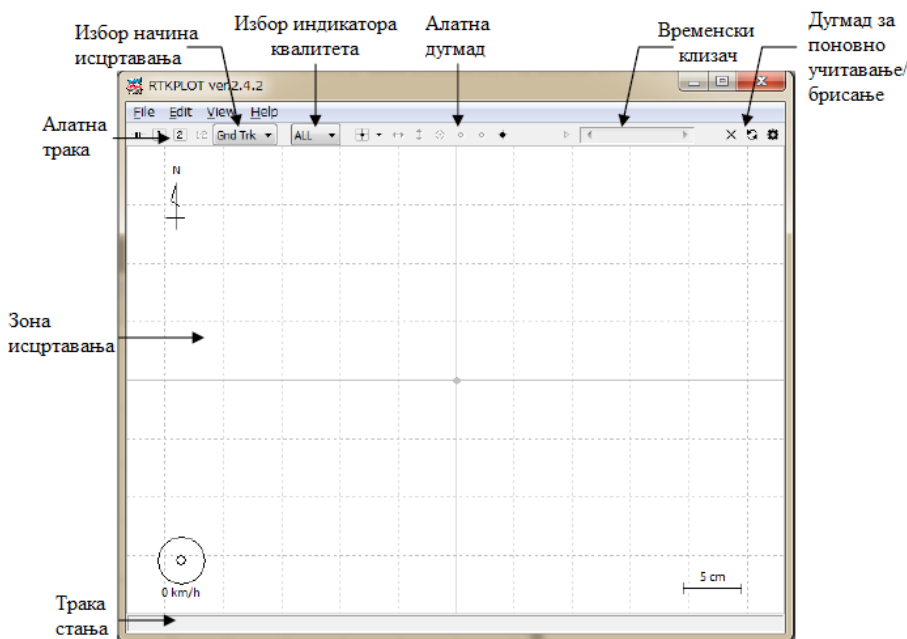
На почетку ове апликације потребно је учитати неки од следећих сирових података пријемника: RTCM2, RTCM3, NovAtel OEM6, NovAtel OEM3, u-blox, Superstar II, Hemisphere, SkyTraq, GW10, Javad, NVS BINR, BINEX или RINEX фајл. Након тога, ови подаци могу се конвертовати у: RINEX OBS, RINEX NAV (или GNAV-ГЛОНАСС, HNAV-GEO, QNAV-QZSS, LNAV-Galileo навигационе поруке) и SBAS фајлове записа. RTKCONV апликација може да конвертује RINEX фајлове из верзије 2 у верзију 3, или обрнуто. Поред ових могућности, могу се подешавати опције везане за време, као код RTKPOST апликације и опције RINEX фајлова. Процес конвертовања покреће се преко дугмета *Convert*.

После конверзије, подаци опажања могу се исцртати у RTKPLOT апликацији преко дугмета *Plot* или прочитати у текстуалном облику.

Поред овога, постоји и дугме *Process*, које служи за убацивање конвертованог фајла у улаз RTKPOST апликације [5].

2.6. RTKPLOT апликација

Унутар RTKLIB софтверског система постоји и RTKPLOT апликација (Слика 8), која служи за приказ и исцртавање решења метода мерења преко RTKPOST и RTKNAVI апликације. RTKPLOT апликација је такође апликација са графичким корисничким интерфејсом (GUI). У овој апликацији могу се још исцртати и општи NMEA0183 фајлови (под условом да садрже барем NMEA GPRMC и GPGGA поруке) [5].



Слика 8. Главни прозор RTKPLOT апликације

Приликом приказа решења методе мерења, RTKPLOT апликација исцртава путању кретања пријемника на Земљи. Поред овога, у главном прозору ове апликације биће приказани и подаци везани за: временски опсег опажања, број епоха мерења, дужину базне линије и за број и проценат квалитета сваког мерења.

Квалитет мерења приказује се у форми $Q=1:nnn$ ($pp\%$), $2:nnn$ ($pp\%$),... Q је ознака за индикатор квалитета мерења, први број означава квалитет мерења, nnn означава број мерења, док је $pp\%$ проценат мерења у односу на укупан број мерења. Поред тога, у зависности од методе мерења, квалитет мерења приказује се у различитим бојама, где свака боја означава квалитет мерења који је карактеристичан за одређену методу мерења

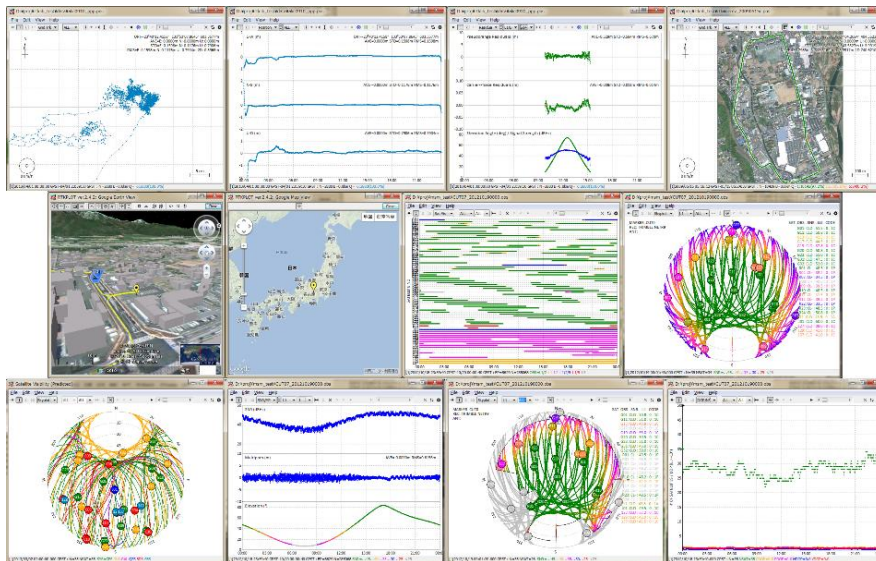
(са одређеном фазном неодређеношћу, без одређене фазне неодређености, диференцијална и апсолутна).

RTKPLOT апликација, као и друге апликације за приказивање, може да мења размер приказа и да га помера у жељеном правцу. Унутар ове апликације може се изабрати и начин исцртавања података. Тако се подаци могу приказати у виду E/N/U компоненти положаја, брзине и убрзања пријемника и у виду броја исправних сателита, старости диференцијалних корекција и фактора односа потврђености неодређености (NSat/Age/Ratio). У алатној траци постоје алатке: за центрирање тренутног положаја, за подешавање размере X и Y-осе, за приказивање тренутног положаја у виду огромног знака, за фиксирање тренутне путање положаја у хоризонталном и вертикалном центру и алатке за покретање и заустављање анимације. Помоћу временског клизача може се мењати епоха мерења [5].

У RTKPLOT апликацији могу се учитати JPEG слике, 3Д приказ из Google Earth софтвера и мапе са Google Maps апликационог сервиса. Преко ових података могу се исцртати претходно наведени подаци приказа (осим NSat/Age/Ratio).

За приказ у реалном времену, RTKPLOT апликација може се повезати са ГНСС уређајима преко одређених конекција. У *Options* дијалогу RTKPLOT апликације постоје многе опције за приказивање и подешавање приказа података.

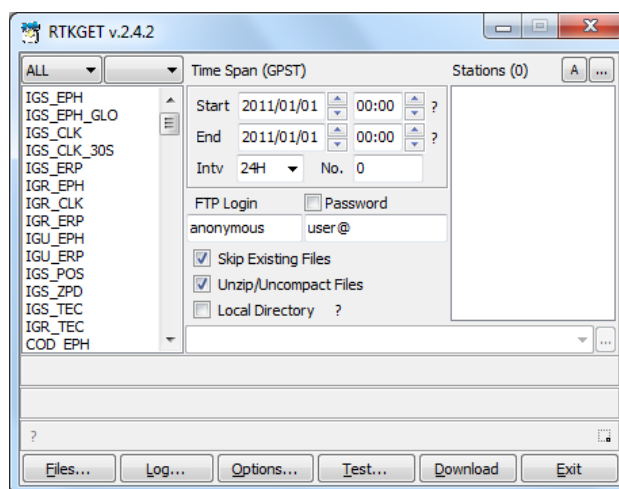
Учитавањем RINEX фајлова опажања може се приказати (Слика 9): графикон видљивости сателита, видљивост сателита у *SkyPlot* прозору, графикон броја видљивих сателита и DOP ефекта, графикон односа сигнала и шума заједно са грешком вишеструке путање сигнала, и видљивост сателита у *SkyPlot* прозору заједно са висинском маском (*Elevation Mask*). У RTKPLOT апликацији може се још предвидети и видљивост сателита. Поред ових основних могућности, у RTKPLOT апликацији постоје и друге, које нису основне.



Слика 9. Неки од многих начина приказа разних података у RTKPLOT апликацији

2.7. RTKGET апликација

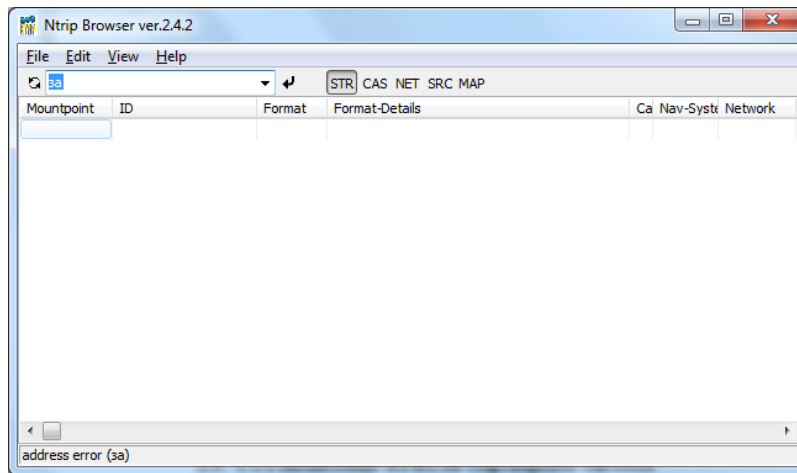
RTKGET апликација (Слика 10) служи за преузимање података и производа везаних за ГНСС [5]. Ти подаци и производи су: прецизни IGS (међународни ГНСС сервис) ГНСС производи (нпр. подаци сателитских орбита и часовника), који су потребни за анализу прецизне апсолутне методе мерења, и подаци опажања CORS (референтне станице које непрекидно раде) мреже из ГНСС архиве података, који се преузимају преко интернета.



Слика 10. Главни прозор RTKGET апликације

2.8. NTRIP Browser апликација

NTRIP Browser (или SRCTBLBROWS) (Слика 11) је апликација која служи за претраживање NTRIP изворних табела. NTRIP (умрежени саобраћај RTCM-а помоћу интернет протокола) је комуникациони протокол размене података везаних за ГНСС, као што су: сирови подаци опажања, ефемерида и корекције за диференцијалну или RTK (кинематичка у реалном времену) методу [5].



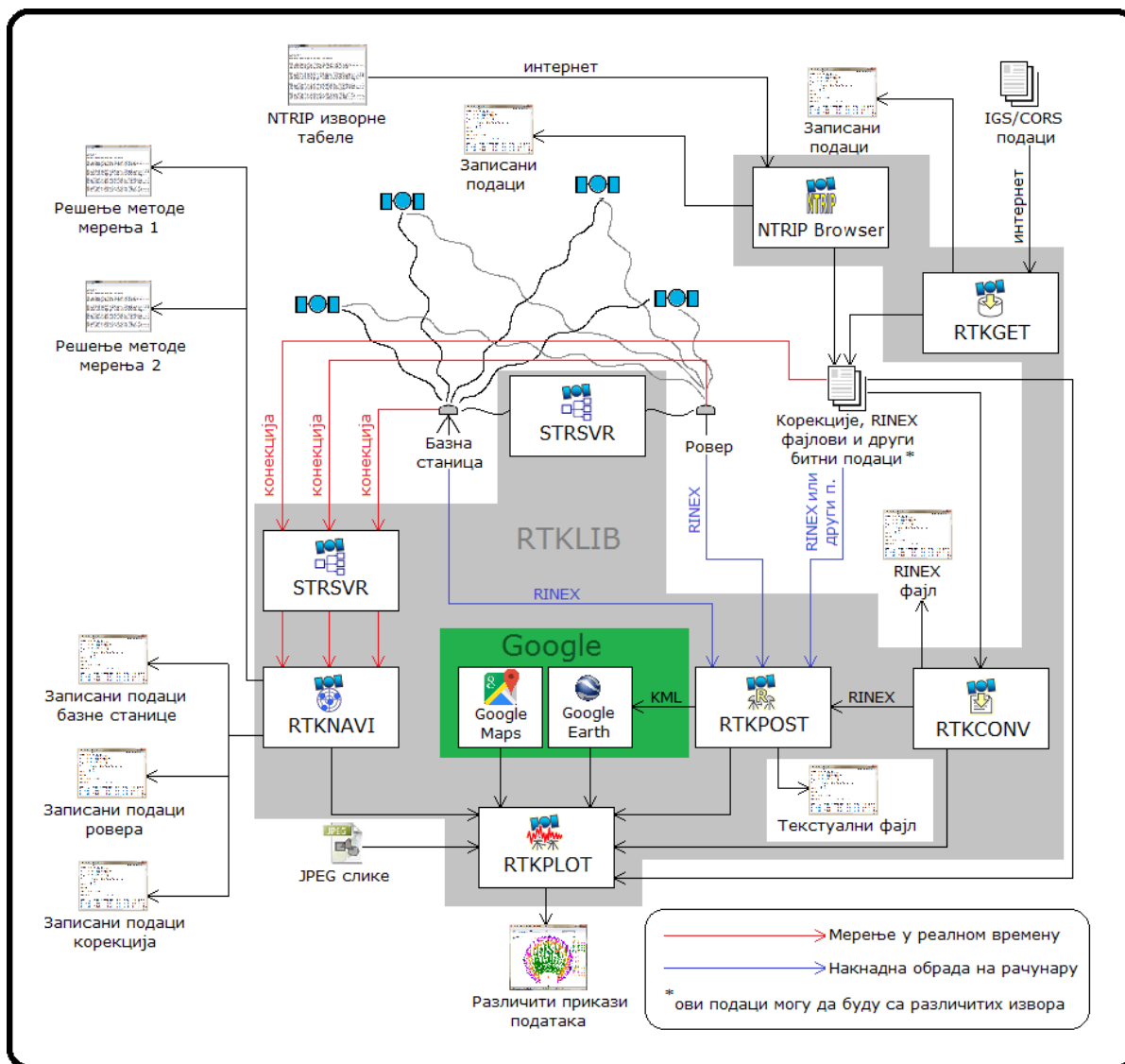
Слика 11. Главни прозор NTRIP Browser апликације

2.9. CUI апликације RTKLIB софтверског система

CUI (кориснички интерфејс командне линије) апликације RTKLIB софтверског система намењене су за изградњу у оперативним системима (осим Windows-а) као што су: LINUX, UNIX, MAC OS X итд. Ове апликације користе стандардне ANSI C (C89) функције и мали број стандардних C библиотека ради обезбеђења особине портабилности. Постоји могућност изградње ових апликација и на уграђеним процесорима (нпр. ARM) [5]. CUI апликације RTKLIB софтверског система су: RTKRCV (аналогон RTKNAVI), RNХ2RTKP (аналогон RTKPOST), POS2KML (Google Earth KML конвертор), CONVBIN (аналогон RTKCONV) и STR2STR (аналогон STRSVR).

3. ЛИЧНИ ДОПРИНОС РАДУ

Као допринос овом раду, аутор је одлучио да направи слику (Слика 12), на којој ће бити приказане: компоненте RTKLIB софтверског ситема, њихова међусобна повезаност и веза са компонентама ван RTKLIB софтверског ситема, као и уопштени начин рада и функционисања RTKLIB софтверског ситема и других компоненти у Windows оперативном систему. Слика је направљена у Microsoft Paint апликацији.



Слика 12. Уопштени приказ рада RTKLIB софтверског система и његова повезаност са осталим компонентама

4. ПРИМЕР НАКНАДНЕ ОБРАДЕ У RTKPOST АПЛИКАЦИЈИ

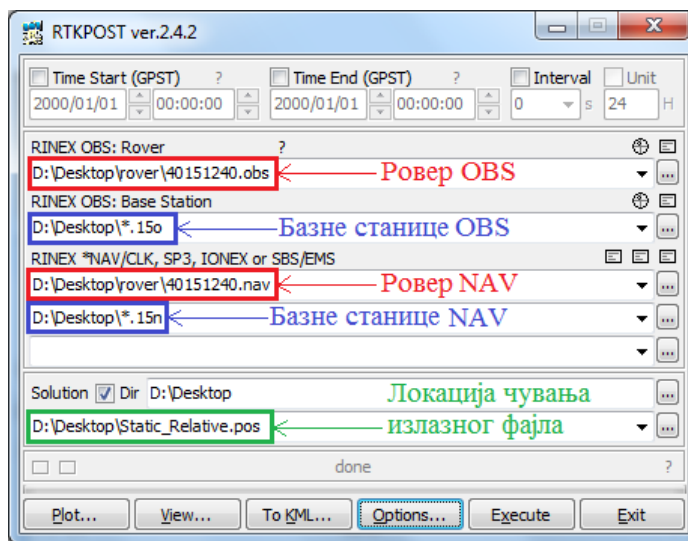
За пример накнадне обраде у RTKPOST апликацији узети су подаци опажања статичке релативне методе позиционирања. У току опажања коришћен је један ровер, једна референтна станица и 2 виртуалне станице. За улогу ровера узет је GPS пријемник Trimble 4700, који прима L1 и L2 сигнале са сателита, док је за референтну станицу узета АГРОС-ова перманентна станица на крову зграде Техничког факултета у Београду. Поред овога, биле су створене и 2 виртуалне станице у близини ровера. Распоред ровера и базних станица приказан је на слици испод (Слика 13). Опажање је започето 17. маја у 11:33:44 и трајало је до 10:08:59 часова 18. маја (у локалном времену), са интервалом опажања од 15 секунди.



Слика 13. Лево – положај ровера и референтне станице, десно – положај ровера и виртуалних станица

Након опажања прикупљени су навигациони RINEX фајлови и RINEX фајлови опажања, за ровер и базне станице. Затим су наведени подаци убачени у RTKPOST

апликацију, да би се могли обрадити (Слика 14) (OBS – фајлови опажања, NAV – навигациони фајлови).



Слика 14. Унос података у RTKPOST апликацију

После уношења података подешене су опције у прозору *Options*. У овој картици, за методу позиционирања изабрана је релативна статичка метода (*Static*). Поред овога, за *Frequencies* је постављено $L1+2$ (тј. да ровер прима само $L1$ и $L2$ сигнале), док су у *Filter Type* изабрани сви типови филтера (у три обраде појединачно), ради упоређивања резултата. У картици *Positions* прозора *Options*, изабрано је да базне станице имају координате одређене из заглавља RINEX фајлова (*RINEX Header Position*). Остале опције у прозору *Options* нису мењане.

Након подешавања опција, покренут је процес обраде преко дугмета *Execute*. После успешне обраде, преко дугмета *View*, били су прочитати обрађени подаци у текстуалној форми (Слика 15). У овом фајлу дате су информације о: методи позиционирања, коришћењу корекција, почетку и крају опажања, итд... Најбитније информације су подаци о измереним координатама тачке у различитим интервалима. Ти подаци су: тренутак опажања, 3Д координате тачке, тачност опажања, број видљивих сателита, стандардне девијације у смеру N (North – север, тј. x -оса), E (East – исток, тј. y -оса) и U (Up – горе, тј. z -оса), стандардне девијације у равни NE , EU и UN , старост диференцијалних корекција, и

однос сигнала и шума. Наведени подаци могу се представити и на други начин, у зависности од избора форме приказа у прозору *Options*.

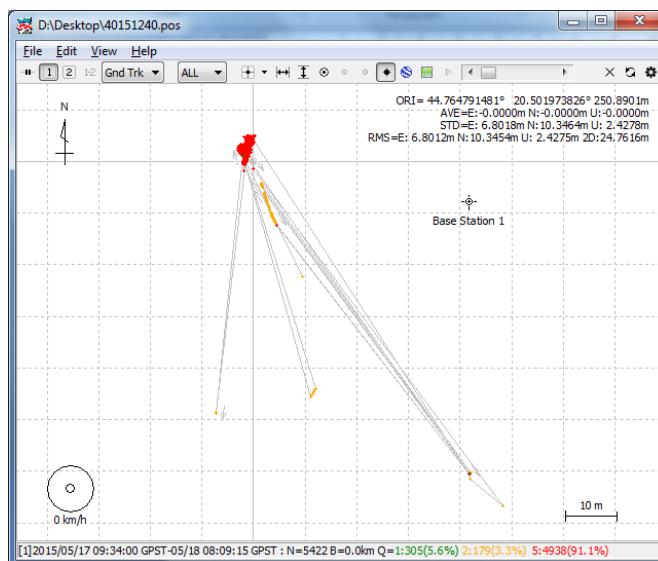
```

D:\Desktop\40151240.pos
Find
Read... Option... Close
% inp file : D:\Desktop\*.15n
% obs start : 2015/05/17 09:33:44.0 UTC (week1845 34440.0s)
% obs end : 2015/05/18 08:08:59.0 UTC (week1845 115755.0s)
% pos mode : static
% freqs : L1+L2
% solution : combined
% elev mask : 15.0 deg
% dynamics : off
% tidecorr : off
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% amb res : continuous
% val thres : 3.0
% antennal : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% ref pos : 44.764722222 20.502500000 250.0000
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% UTC latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m) sdun(m) age(s) ratio
2015/05/17 09:33:44.000 44.764825103 20.501959661 250.7147 5 6 4.4121 2.8248 7.1519 -2.0251 -0.6127 -4.0881 -8760.00 0.0
2015/05/17 09:33:59.000 44.764826138 20.501956557 250.5181 5 6 4.4213 2.8273 7.1493 -2.0338 -0.5480 -4.0986 -8745.00 0.0
2015/05/17 09:34:14.000 44.764821734 20.501958858 250.8310 5 7 4.1366 2.4995 7.0544 -1.4377 1.1373 -4.3242 -8730.00 0.0
2015/05/17 09:34:29.000 44.764821832 20.501961846 251.6736 5 7 4.1424 2.5014 7.0560 -1.4443 1.1557 -4.3303 -8715.00 0.0
2015/05/17 09:34:44.000 44.764823865 20.501957656 251.0952 5 7 4.1482 2.5033 7.0574 -1.4509 1.1737 -4.3363 -8700.00 0.0
2015/05/17 09:34:59.000 44.764821606 20.501959549 251.1023 5 7 4.1538 2.5052 7.0587 -1.4575 1.1915 -4.3422 -8685.00 0.0

```

Слика 15. Обрађени подаци опажања у текстуалном облику

Ради бољег сагледавања обрађених података, коришћен је њихов визуелни приказ у RTKPLOT апликацији (Слика 16), која се покреће преко дугмета *Plot* у прозору RTKPOST апликације.



Слика 16. Приказ обрађених података (помоћу Combined филтера) у RTKPLOT апликацији

У прозору RTK PLOT-а, опажане тачке обојене су различитим бојама. Зелена боја говори да су тачке снимљене са центиметарском или већом тачности, жута да су лошије тачности, а црвена да су тачке превише лоше тачности (тачност око 10 метара). Такође, може се видети колики проценат и број тачака је снимљено са одређеном тачношћу. Једини корисни подаци су оне тачке, које су обојене зеленом бојом, односно чији је показатељ квалитета Q једнак 1 (*FIX*), мада и те тачке могу бити погрешне (у наставку ће бити објашњено).

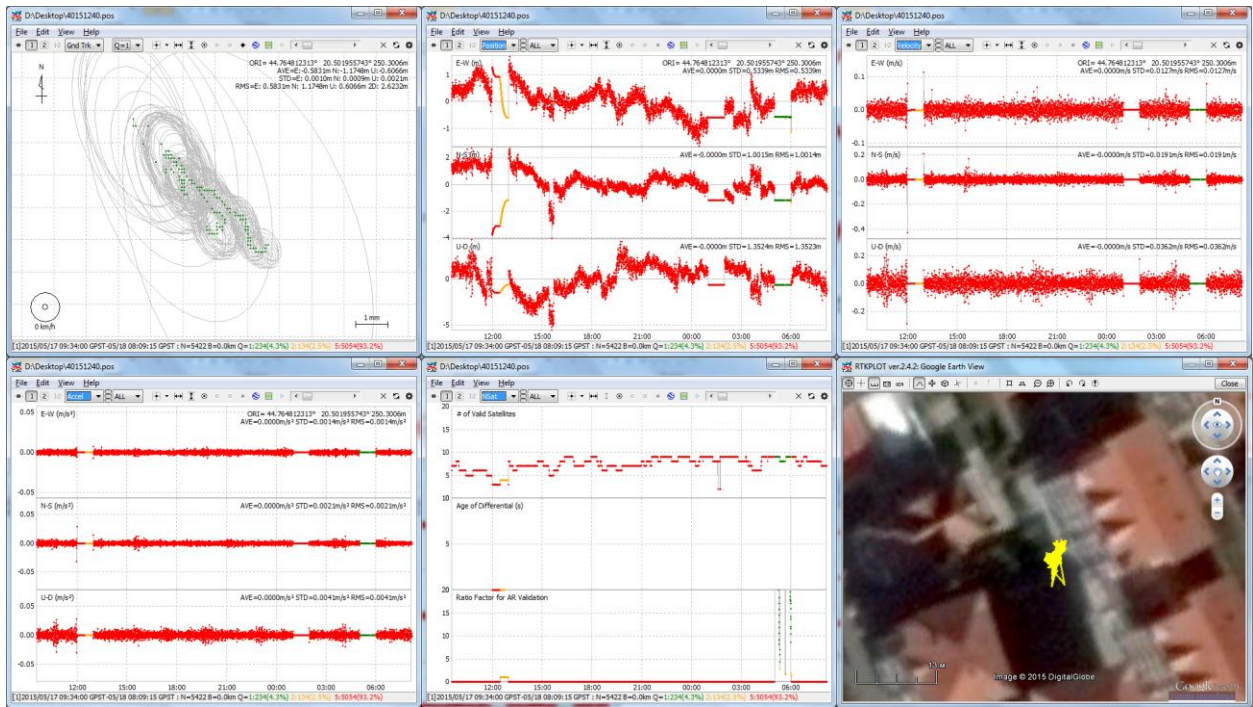
У склопу примера накнадне обраде у RTKPOST апликацији, урађене су три обраде. За сваку обраду користио се различити тип филтера: *Forward*, *Backward* и *Combined*. Тачности ове три обраде су приказане у табели испод (Табела 2).

Тип филтера \ Тачност	Q=1 (FIX)	Q=2 (FLOAT)	Q=5 (SINGLE)
Forward	1,3%	7,6%	91,1%
Backward	4,3%	2,5%	93,2%
Combined	5,6%	3,3%	91,1%

Табела 2. Тачност позиционирања у зависности од типа филтера

На основу табеле може се приметити да *Combined* филтер даје најбоље резултате. *Backward* филтер је такође добар, док је *Forward* најгори. Међутим, *Combined* филтер је неки мали број мерења, која су јако удаљена од стварне локације ровера, означио као прецизна, али та мерења нису тачна. На крају се испоставило да је *Backward* филтер најбоље обрадио податке опажања. Без обзира на то, који филтер је најбоље обрадио податке, опажања у себи садрже велики број погрешних мерења. Овај проблем је највероватније настао због грешке вишеструке путање сигнала, тј. због одбијања и преламања сигнала од околних објеката и дрвећа (који се могу приметити на слици 13).

Поред овога, у прозору RTK PLOT апликације, могу се приказати: елипсе грешака за свако мерење, графикони положаја, брзине и убрзања тачке током времена, број видљивих сателита током времена и други подаци. Подаци опажања могу се приказати и у Google Earth софтверу. Сви ови прикази и подаци помажу бољем схватању квалитета мерења. Прикази ових података су дати на следећој слици (Слика 17).



Слика 17. Различити прикази података опажања у RTKPLLOT апликацији

ЗАКЉУЧАК

На основу проучавања и истраживања ове теме, уочене су предности и мане RTKLIB софтверског система.

Предности овог софтверског система су: подршка позиционирању у реланом времену и са накнадном обрадом, могућност анализирања различитих метода ГНСС позиционирања и обрада њихових података опажања, подршка многим ГНСС системима, приказ различитих информација везаних за ГНСС системе и методе позиционирања, могућност конвертовања података у RINEX фајлове и преузимања потребних података са интернета, велики број функција и опција, довољно висока тачност одређивања хоризонталних координата тачака, могућност дограђивања софтверског система и интегрисања у ГНСС уређаје, портабилност, једноставност коришћења и „пријатељски“ кориснички интерфејс.

Овај софтверски систем има мало мана. Једна од њих је нестабилност тачности код метода мерења без одређење фазне неодређености [2].

Без обзира на предности и занемарљиве мане RTKLIB софтверског система, много утицаја на квалитет мерења имају и грешке које нису повезане са софтверским системом (што се закључује из примера накнадне обраде у RTKPOST апликацији у поглављу 4.), него са ГНСС уређајима и њиховим особинама, као и грешке које зависе од људског фактора.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **А. А. Бессонов, В. Я. Мамаев.** Спутниковые навигационные системы. Учебное пособие, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, 2006.
- [2] **Т. И. Горохова.** Использование открытых алгоритмов обработки GNSS-измерений в системе геодезического мониторинга GOCA. Научная статья, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, 2010.
- [3] **D. Blagojević.** Satelitska geodezija (Uvod u NAVSTAR GPS). Pisana predavanja, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2007.
- [4] **T. Takasu.** Introduction of RTKLIB Theory of Precise Positioning. [Презентација], Tokyo University of Marine Science and Technology, Tokyo, 2013.
- [5] **T. Takasu.** RTKLIB ver. 2.4.2 Manual. 2013.
- [6] **T. Takasu, A. Yasuda.** Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. International Symposium on GPS/GNSS, International Convention Center Jeju, 2009.
- [7] **V. Bulatović, M. Vrtunski.** Metode pozicioniranja. Prezentacija, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 2013.
- [8] 高須知二 [Т. Такасу]. GPS Global Positioning System Part 1. [Презентација], 東京海洋大学 [Океанографски универзитет у Токију], Токио, 2009.
- [9] OpenStreetMap Wiki. [<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/RTKLIB>]
- [10] RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning. [<http://www.rtklib.com>]