

# Matlab toolbox for raw GPS data processing and visualization

## Matlab инструментариум за обработка и визуализация на първични GPS данни

### Увод

В последните няколко години рязко се увеличи броя и значението на мобилните услуги, които се базират на местоположението на клиентите, например: Location Based Services (LBS), Location Based Social Networking (LBSN) и Geographic Information Systems (GIS) [2]. Клиентите на подобни услуги трябва да разполагат с мобилни телефони с вграден GPS приемник, или външен GPS приемник с Bluetooth™ интерфейс. В зависимост от услугата програмното осигуряване от страна на клиента изпраща към сървъра през определен интервал от време необходимите GPS данни, например: географска ширина, дължина и височина; скорост и посока на придвижване; оценка за моментната точност на GPS приемника и др. Тази информация се извлича от данните, които GPS приемникът генерира във формат National Maritime Electronics Association (NMEA) 0183, най-често през 1 секунда.

При по-голяма част от LBS услугите се налага предварителна обработка на GPS данните от мобилните клиенти, преди те да се предадат към сървъра. Това се прави с цел подобряване на оценката за позицията на клиента и оптимизиране на трафика между клиентите и сървъра. Например, ако се налага on-line следене на клиентите на дадена услуга, количеството информация, която се предава към сървъра, е прекалено голяма и това води както до натоварването му, така и до генериране на голям трафик, който се заплаща. В този случай е подходящо да се използва алгоритъм, който намалява броя на точките с които се описва маршрута на клиента - към сървъра се предават само координатите на точките от маршрута в които има реална, значима за услугата промяна в посоката на придвижване. Ако услугата предполага off-line обработка на маршрута, например GIS като Google Maps и Google Earth, големият брой данни води до много бавен отговор на сървъра или до блокиране на браузъра от страна на клиента.

Данните, които GPS приемниците генерират, се характеризират с грешка, която зависи от множество фактори, повечето от които имат случаен характер и не подлежат на точно математическо описание в реално време [10]: процеси в йоносферата и тропосферата, точност на атомните часовници на GPS сателитите, отражение на GPS сигналите и др. Всяка LBS услуга изисква определена точност на GPS данните. Един възможен начин за подобрене на точността на GPS позицията на клиентите е да се използва диференциална GPS (DGPS) или Satellite Based Augmentation System (SBAS) - EGNOS за Европа, WAAS за САЩ и MSAS за Япония. В този случай се изисква GPS приемникът да е DGPS/SBAS съвместим и съответната сателитна система да има покритие за позицията на клиента. Подобряване на точността на GPS позицията е възможно и чрез обработка на GPS данните, най-често със статистически алгоритми. На настоящият етап използваният с най-голям успех статистически метод за филтриране на GPS данни е цифровият филтър на Калман и неговите разновидности [1].

Разработването на LBS услуга предполага обработка на GPS данните от страна на клиента, преди те да бъдат изпратени към сървъра за анализ. Това налага разработването на програмно осигуряване за математически анализ и визуализация на GPS данни с цел по-бързо разработване на необходимите алгоритми. Предлага се Matlab™ инструментариум чрез който в off-line режим могат да се обработват чрез статистически

методи и анализират всички GPS данни, които GPS приемниците генерират. За целта е необходимо тези данни да се запишат в NMEA формат, който се явява входен за приложението. На базата на математическа обработка и визуална преценка на GPS данните, разработчиците на LBS приложения могат да намалят времето за разработване на необходимите алгоритми.

## **Съществуващи разработки**

Съществуват множество приложения за анализ, визуализация и моделиране на данните от GPS сателити и приемници. Те могат да бъдат систематизирани в следните групи: комерсиални или безплатни; за on-line или off-line обработка на GPS данните; професионални или с масово приложение; платформено независими или зависими.

Програмното осигуряване, предназначено за научни цели, в повечето случаи е с много висока цена и е насочено предимно към анализ и моделиране на данните, които GPS сателитите генерират. Типични представители на този клас програмно осигуряване са: BERNESE (GPS/GLONASS Post Processing Package) на астрономическият институт в Берн [3], GAMIT на катедрата по атмосферни и планетарни науки към MIT [4] и GIPSY/OASIS-II на Jet Propulsion Laboratory, NASA [5].

Повечето от програмните приложения за анализ на данни от GPS приемници са платформено зависими. Типичен пример за това е GPSy на Global Mapping System [8], която работи само под Macintosh. Платформената независимост може да се постигне по няколко начина: обработката, анализът и визуализацията на GPS данните да се реализира на WEB сървър или да се използват платформено независими среди като Java и Matlab™. По-голямата част от Matlab™ инструментариума за обработка на GPS данни е насочен към обработка на информацията от GPS сателитите, например: Constellation Toolbox на Constell Inc., GNSS Toolbox на Orion Dynamics & Control Inc., GPS receiver Toolbox на Data Fuzion Corp., GPS Software Toolbox на Lupash Consulting, GPS Toolbox на L3NAV Systems, GPS Matlab Toolbox на Draper Laboratory и др. [7]. Друга част от инструментариума е насочена към визуализация на GPS карти, например Matlab Mapping Toolbox [11] на Mathworks Inc.

Основните недостатъци на малкото съществуващи платформено независими програмни приложения за анализ и визуализация на данни от GPS приемници са: прекалено висока цена на професионалните версии; невъзможност за промяна на изходния код; ограничени функционални възможности (само визуализация или само моделиране).

## **Описание на предлаганият Matlab™ инструментариум**

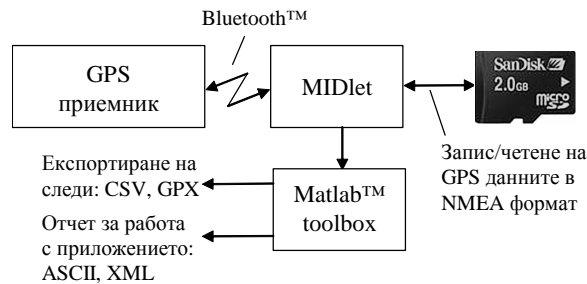
Разработен е Matlab™ инструментариум, който дава възможност за: декодиране на всички GPS данни от NMEA изразите; визуализация на всички данни, генерирани от GPS приемника; визуализация на позициите на видимите сателити в избран момент; визуализация на следа на маршрут без или с GPS карта; определяне на режима на придвижване; анализ и оценка на шума в GPS данните; филтриране на позициите чрез адаптивен филтър на Калман; редуциране на броя на точките, описващи следата на маршрута; въвеждане и запис на еталонен маршрут; сравняване на следи; експортиране на следи; изчисляване на GPS разстояние, посока на придвижване и др.

## **Описание на основните характеристики на приложението**

### **1. Импортиране и експортиране**

Входните данни, подлежащи на визуализация и анализ, с които предлагания Matlab™ инструментариум работи, трябва да бъдат в NMEA 0183 формат. Те се получават чрез

специално разработено Java мобилно приложение (MIDlet) или друго мобилно приложение, което позволява прехващане и експортиране на данните от GPS приемници в NMEA формат (виж фиг. 1).



**Фиг. 1.** Инпортиране/експортиране на данни към/от приложението

Освен експортиране на GPS данните в NMEA формат мобилното приложение дава възможност за включване/изключване на статичната навигация и разрешаване/забрана на използване на DGPS. Приложението може да работи с два вида GPS приемници: външни за мобилния апарат с вграден Bluetooth™ интерфейс и вградени в самия мобилен апарат. Всички експерименти са реализирани с GPS приемник Nokia LD-3W с вграден Bluetooth™ интерфейс. За да се ускори работата с приложението GPS данните в NMEA формат се конвертират до MAT файл.

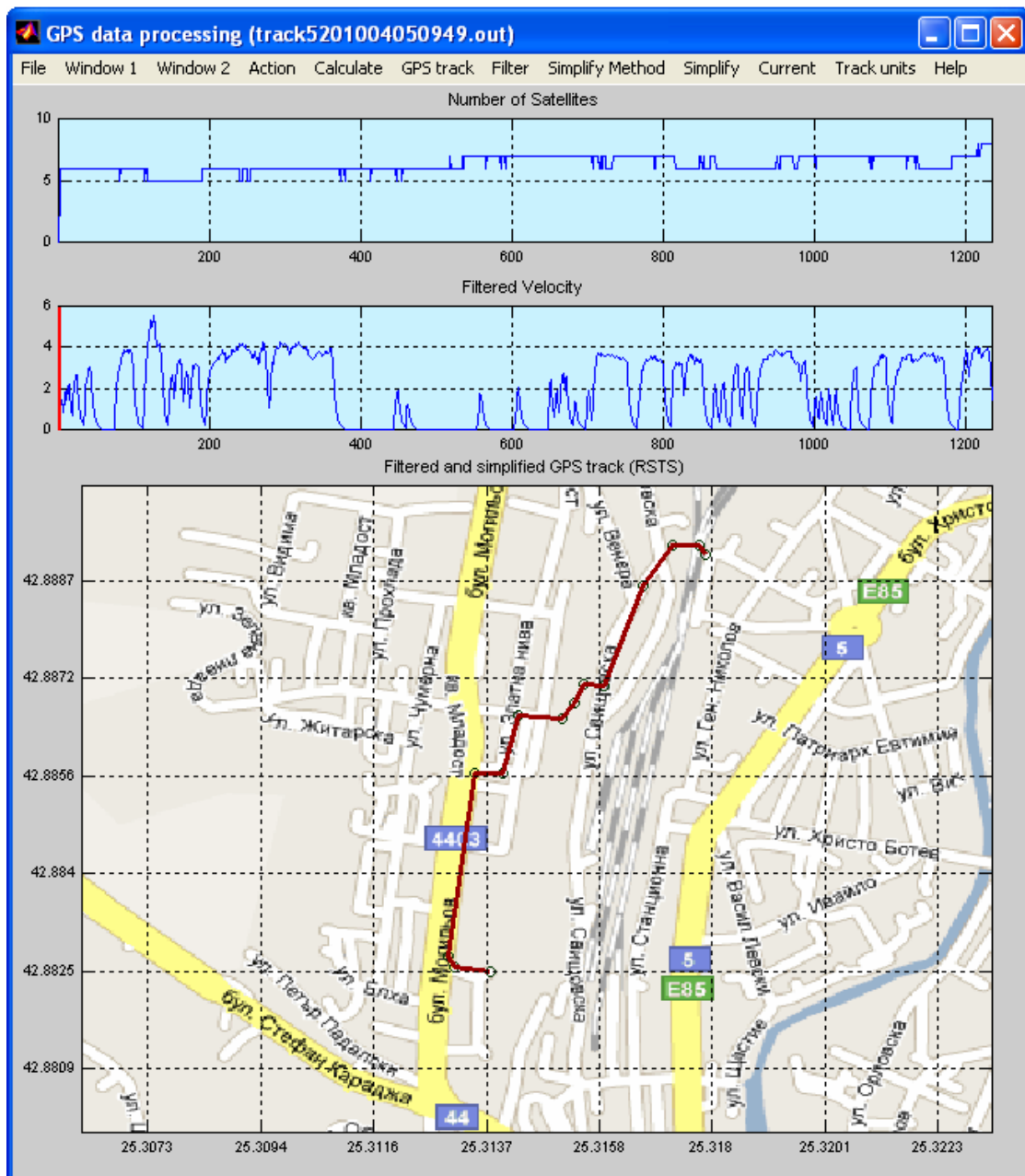
Приложението позволява експортиране на следи на еталонни или реални маршрути след редуцирани на броя на точките, с които се описват, в GPS Exchange (GPX) или Comma-Separated Value (CSV) формат. След завършване на работа с приложението се генерира отчет (ASCII текстов файл за потребителя и XML файл за машинна обработка) в които са записани всички резултати, получени по време на работа с приложението.

## 2. Визуализация

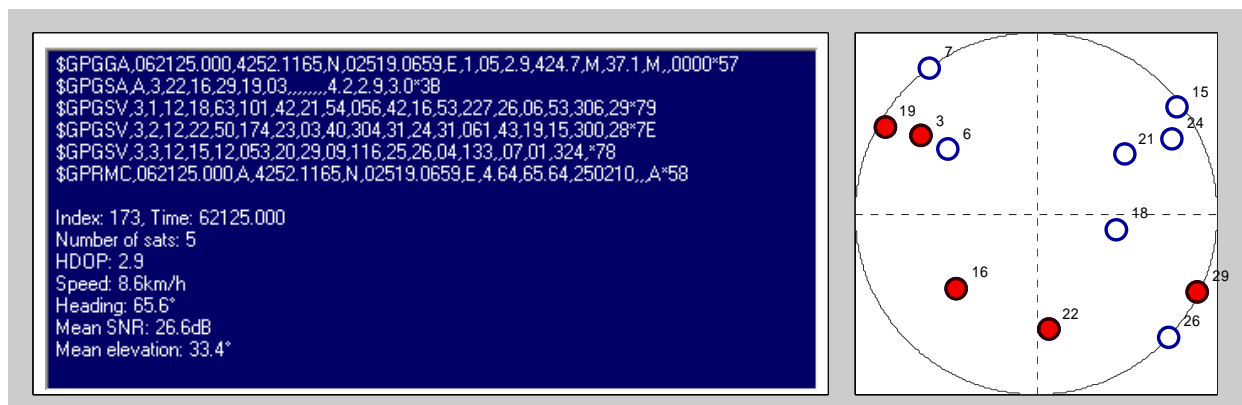
Приложението позволява визуализирането и произволно мащабиране на следните GPS данни: брой на видимите сателити; скорост и посока на придвижване; средна стойност на SNR, елевация и азимут за видимите сателити; оценка за хоризонталната и вертикална точност в зависимост от моментното пространствено разположение на видимите сателити и GPS приемника (HDOP, VDOP). Във всеки момент от време в прозорци 1 и 2 се визуализират два избрани от потребителя параметри. Всички визуализирани данни могат да бъдат филтрирани с рекурсивни и нерекурсивни цифрови филтри (виж фиг. 2).

Приложението позволява визуализация на следата на изминатия от клиента маршрут (прозорец 3). Възможно е използването на GPS карти. За целта е необходимо да се работи с Matlab™ 6.0 или по-висока версия, при която има вградена Java виртуална машина (JVM). Картите се свалят чрез Google Maps Static API [6]. Следите могат да се визуализират с точки, линии или комбинация от точки и линии.

За всеки един момент от време потребителят на приложението може да получи разположението на всички видими сателити и тези, чрез които се изчисляват GPS данните, както и данните, които GPS приемника генерира в NMEA формат и в декодиран вид (виж фиг. 3).



Фиг. 2. Изглед на главния прозорец на приложението



Фиг. 3. GPS данни и разположение на видимите сателити за избран момент от време

### 3. Оценка за нивото на шума в GPS данните

Приложението дава възможност за количествена оценка за нивото на шума в GPS данните във всеки момент от време. Оценката се получава чрез размита логика. Използват се две лингвистични променливи: MSNR - средна стойност за SNR на видимите сателити и SEDOP - параметър, който обединява информация за: броя на видимите сателити и разположението им в пространството (елевация и азимут). Изходната лингвистична променлива OUT дава оценка за шума в GPS данните. За получаването ѝ се използват 12 размити правила. След деразмиване OUT приема стойности в интервала [0, 100] : 0-минимално ниво на шума, 100-максимално ниво на шума. На фиг. 4 е показан част от изходния код на функцията gpsFuzzy чрез която се получава оценка за шума (res) на базата на моментните стойности на SEDOP и MSNR (x1, x2).

```
function res = gpsFuzzy(x1, x2)
% ----- Init variables
S=1; M=2; H=3; L=1; ML=2; MB=3; B=4; ICenter=0; mICenter=30; mbCenter=60; bCenter=90;
% ----- Fuzzificate SEDOP
y1=[]; y1(3)=0;
if (x1 < 9), y1(S) = 1.0;
elseif (x1 < 18), y1(M) = (x1-9)/9; y1(S) = 1-((x1-9)/9);
elseif (x1<27), y1(H) = (x1-18)/9; y1(M) = 1-((x1-18)/9);
else y1(H) = 1.0;
end
% ----- Fuzzificate MSNR
. . .
% ----- IF-THEN rules:
outL=[]; outML=[]; outMB=[]; outB=[]; lIndex=1; mlIndex=1; mbIndex=1; bIndex=1;
% ----- Rule 1
if (y1(S)~=0 & y2(L)~=0),
    outB(bIndex) = min(y1(S),y2(L));
    bIndex = bIndex + 1;
end
. . .
% ----- Rule 12
if (y1(H)~=0 & y2(B)~=0),
    outL(lIndex) = min(y1(H),y2(B));
    lIndex = lIndex + 1;
end
% ----- Defuzzification
IRSS=0; mIRSS=0; mbRSS=0; bRSS=0;
% ----- outL
for(i=1:length(outL)),
    IRSS = IRSS + outL(i)*outL(i);
end
IRSS = sqrt(IRSS);
% ----- outML
for(i=1:length(outML)),
    mIRSS = mIRSS + outML(i)*outML(i);
end
mIRSS = sqrt(mIRSS);
% ----- outMB
for(i=1:length(outMB)),
    mbRSS = mbRSS + outMB(i)*outMB(i);
end
mbRSS = sqrt(mbRSS);
% ----- outB
for(i=1:length(outB)),
    bRSS = bRSS + outB(i)*outB(i);
end
bRSS = sqrt(bRSS);
% ----- Get result (centroid)
res = (ICenter*IRSS+mICenter*mIRSS+mbCenter*mbRSS+bCenter*bRSS)/ ...
    (IRSS+mIRSS+mbRSS+bRSS);
```

Фиг. 4. Получаване на размита оценка за нивото на шума в GPS данните

#### 4. Филтриране на следа на маршрут

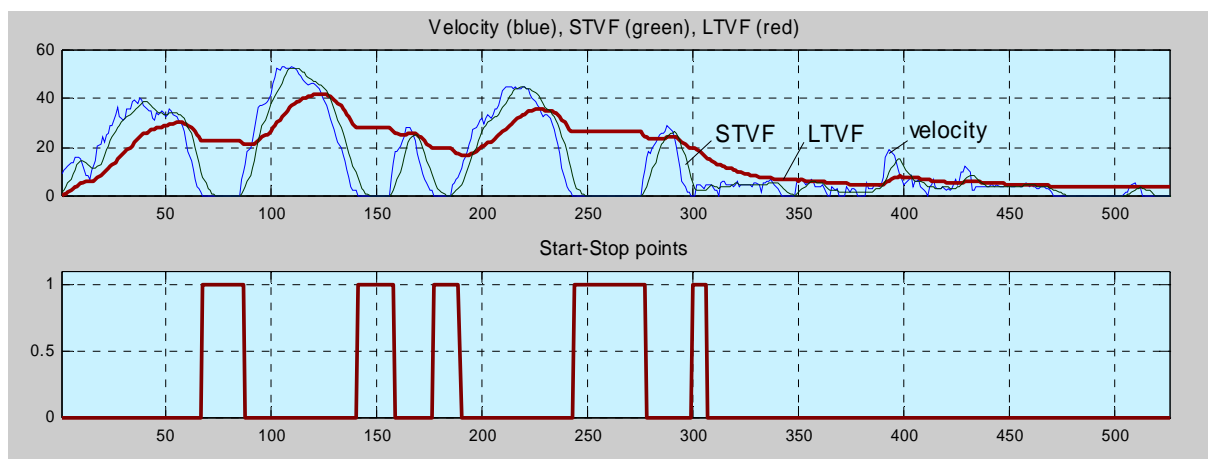
Следата на маршрута се описва с точки, които отговарят на позицията на клиента в даден момент от време. За да се намали броя на точките, с цел по-компактно описание на маршрута, приложението позволява да се използват два алгоритъма от клас track simplification: алгоритъм на Douglas-Peucker (DP) [9], който е най-добрият за момента алгоритъм за off-line редуциране на броя на точките, описващи маршрут, и on-line алгоритъм RSTS, който дава резултати, съпоставими с тези на DP (виж фиг.2, прозорец 3). Алгоритъм RSTS използва локални техники за редуциране на броя на точките и предварително филтриране на позициите на клиента чрез адаптивен филтър на Калман. Намалването на броя на точките, които описват маршрута, при запазване на неговата форма, е над 90% при всички режими на придвижване. Размерът на изходният файл със следата на маршрута се намалява средно 30 пъти.

#### 5. Получаване на режима на придвижване

За много от LBS и LBSN услугите е важен текущият режим на придвижване на клиента (пеша, с колело, с автобус или кола). Приложението класифицира придвижването на клиента като "пеша" или "с превозно средство". За целта се използва алгоритъм, който анализира моментната скорост на придвижване и нейните филтрирани стойности.

#### 6. Получаване на start / stop точките от маршрута

За някои LBS услуги е важно да се знаят точките от маршрута в които клиентът спира и отново тръгва (start / stop points). Чрез тези точки, ако придвижването е пеша, може да се направи оценка какво представлява интерес за клиента в зависимост от това колко дълго се е задържал в дадена точка. При други услуги определянето на моментите в които клиентът тръгва или спира е важно, тъй като за тях грешката в GPS данните е максимална и се предполага, че те трябва да бъдат или пропуснати, или силно филтрирани. При конкретното приложение start / stop точките се откриват с вероятност не по-малка от 95% на базата на анализ моментната скорост, кратковременно филтрираната скорост - Short Term Velocity Filtering (STVF) и дълговременно филтрираната скорост - Long Term Velocity Filtering (LTVF). На фиг. 3 е показан резултатът, който алгоритъмът генерира, при маршрут, съдържащ придвижване с автобус и пеша.



Фиг. 3. Получаване на start / stop точките на маршрут

## **7. Въвеждане на референтна следа на маршрут**

Приложението позволява въвеждане на референтна (еталонна) следа на маршрут с цел количествена оценка на алгоритми за редуциране на броя на точките, описващи реален маршрут. Въвеждането на следата се реализира чрез мишката, като се описва чрез последователност от точки. За целта е необходимо да се разполага с GPS карта. След въвеждане на следата тя може да се експортира в GPX или CSV формат.

## **8. Сравняване на следи на маршрути**

Приложението позволява получаване на количествена оценка при сравнение на две следи. За целта се получава RMS оценка за сумата на перпендикулярните разстояния от всяка точка на референтната следа до следата на реалния маршрут.

## **9. Други възможности**

Предвидена е възможност за изчисляване на GPS разстояние между две точки, въведени чрез мишката, най-краткото разстояние от точка до следа на маршрут и посока на придвижване (при 3 въведени точки) в градуси спрямо посока север. Възможно е търсене на точка от маршрута на клиента, която отговаря на определени изисквания (време, стойност на даден GPS параметър) и др.

## **Заклучение**

Разработен е Matlab инструментариум за off-line обработка на данни от GPS приемници. Целта на този инструментариум е бързо разработване и експериментиране на алгоритми за LBS приложения на базата визуален и математически анализ на първични GPS данни.

Основните предимства на предложения инструментариум са следните:

1. Платформена независимост на кода на приложението. Независимост от типа на GPS приемника. Отворен код, който позволява развитие.
2. Визуален анализ на всички GPS данни. Търсене на GPS данни, които отговарят за конкретна точка от маршрута. Търсене на точки от маршрута, които отговарят на зададени стойности на GPS данните. Анализ на значението на моментното геометричното положение на видимите сателити (азимут и елевация) за качеството на GPS данните.
3. Математически анализ на GPS данните: филтриране на GPS данни; получаване на количествена оценка за моментното ниво на шума в GPS данните на базата на размита логика; филтриране на следата на маршрут чрез експертни правила и адаптивен филтър на Калман; вградени алгоритми за on-line и off-line намаляване на броя на точките чрез които се описва следата на маршрута; количествена оценка за качеството на алгоритми за редуциране на броя на точките на базата на RMS оценка за сумата на перпендикулярните разстояния от всяка точка на референтна следа до следата на реалния маршрут.
4. Автоматично генериране на отчет за всички получени резултати по време на използване на приложението.

За в бъдеще се предвижда да се предостави възможност за on-line анализ на GPS данните чрез прехващане на сигнала от GPS приемника от Matlab™ ниво.

## Литература

1. A. Kelly, "A 3D space formulation of a navigation Kalman filter for autonomous vehicles", Technical Report CMU-RI-TR-94-19, 1994.
2. ABI Research, Location-Based Marketing, <http://www.abiresearch.com/research/1005771>, 2010.
3. Bernese GPS Software, <http://www.bernese.unibe.ch/>
4. Gamit-Globk Software, <http://www.gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>
5. Gipsy-Oasis Software Package, <http://gipsy.jpl.nasa.gov/orms/goa/>
6. Google Maps Static API, <http://code.google.com/apis/maps/documentation/staticmaps/>
7. GPS Toolboxes for Matlab, <http://www3.sympatico.ca/craymer/geodesy/gps.html#matlab>
8. GPSy Software, <http://www.gpsy.com/>
9. J. Hershberger and J. Snoeyink, "Speeding up the Douglas-Peucker line simplification algorithm", in Proc. of the 5th Int. Symp. on Spatial Data Handling, vol. 1, 1992, pp. 134-143.
10. J. Ogle, et al., "Accuracy of Global Positioning System for determining driver performance parameters", Journal Transportation Research Board, no. 1818, pp. 12-24, 2002.
11. Matlab Mapping Toolbox, <http://www.mathworks.com/products/mapping/>

*За контакти:*

Доц. д-р **Росен Иванов**

E-mail: [rs-soft@ieee.org](mailto:rs-soft@ieee.org)