

**Московский авиационный институт
Кафедра «Радиолокация и радионавигация»**

А.В.Бруханский

**Протокол NMEA
и точность местоопределения
портативных GPS-навигаторов**

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «Радионавигационные системы»

Москва 2010

Навигационный приемник eXplorist XL фирмы Magellan

При выполнении лабораторной работы используются навигационные приемники «eXplorist XL» и более компактной модели «eXplorist 200» фирмы Magellan, Технические характеристики навигатора eXplorist XL приведены в таблице 1.

Таблица 1

Количество приемных каналов	14
Время старта (холодный/горячий)	60 с / 20 с
Точность местопределения (95% 2D СКО)	7 м.
Точность с дифф. подсистемой EGNOS	3 м.
Точность измерения скорости (СКО)	1,8 км/ч
Количество путевых точек	неогр.
Количество маршрутов/точек в маршруте	неогр.
Емкость путевого журнала (Tracklog), точек	неогр.
Память встроенная	64 Мб
Память дополнительная	Карты SD
Тип экрана	16 цветов, TFT
Рзрешение экрана (высота x ширина), пикс.	220 x 176
Размер экрана (высота x ширина), мм	71 x 53,3
Подсветка экрана	+
Возможность подключения выносной антенны	-
Возможность подключения к компьютеру	+
Габариты прибора, см	16,2 x 7,3 x 3,3
Вес прибора, г.	347
Питание	4 АА
Время автономной работы, ч.	19
Поддержка диф. поправок WAAS/EGNOS	+

Внешний вид устройства и форматы отображения навигационной информации приведены на рис. 1 и рис 2.



Рис. 1. Форматы отображения состояния спутников навигационных данных



Рис. 2. Форматы отображения навигационной карты и главного меню

Через систему меню навигатора можно получить доступ ко всей информации хранящейся в энергонезависимой памяти навигатора и установить режимы следования по маршруту и записи следа (трека) движения. Для целей учебного эксперимента в помещении лаборатории является полезной возможность эмуляции движения навигатора с заданной скоростью по заданному курсу или по автоматически задаваемому треугольному маршруту из текущей точки. Вид экрана навигатора в режиме эмуляции движения в районе Ленинградского проспекта представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Форматы отображения навигационной карты в режиме эмуляции движения

Приемные и переизлучающие антенны

Одной из главных трудностей проведения экспериментов со спутниковыми навигационными устройствами в закрытом помещении является невозможность прямого приема сигналов навигационных спутников и спутника передачи дифференциальных поправок системы EGNOS. Кроме того значительная часть портативных навигационных приемников, в том числе и навигаторы Magellan eXplorist, не имеют входов для подключения внешней антенны. Выходом из такой ситуации является установка одной или нескольких приемных навигационных антенн на крыше здания и связанной с ними переизлучающей антенны в помещении лаборатории.

Спутниковые навигационные антенны диапазонов L1 и L2 выпускают несколько фирм, среди которых Trimble (Траймбл), Magellan (Магеллан) и Topcon (Топкон). Для приема сигналов навигационных спутников в лаборатории кафедры использована антенна PG-A5 фирмы Топкон. Внешний вид антенны показан на рисунке 4. Это легкая высокоточная антенна для спутниковых сигналов как системы GPS, так системы ГЛОНАСС. Коэффициент усиления антенны (30 дБ) достаточен для последующего переизлучения принятых сигналов без дополнительного линейного усилителя.

Антенна помещена во влагозащитный корпус и сохраняет свои характеристики в диапазоне температур от -40 до $+55$ градусов.



Рис. 4. Активная приемная антенна PG-A5 фирмы Topcon



Рис. 5. Переизлучающая антенна типа Choke Ring фирмы Topcon

На рисунке 5 показана переизлучающая антенна той же фирмы. Антенна имеет широкую диаграмму направленности, и установлена за панелями подвесного потолка лаборатории спутниковой навигации.

Изучение протокола NMEA обмена данными навигационных электронных устройств

Обмен данными между навигационными устройствами и навигационными устройствами и компьютерами традиционно осуществляется по протоколу NMEA (National Marine Electronics Association protocol), практически ставшему международным стандартом. Обмен данными в рамках протокола NMEA осуществляется именованными сообщениями (сентенциями) размером до 80 буквенно-цифровых символов. Так, например, сообщение RMC содержит минимальный рекомендованный набор данных о положении, скорости потребителя, дате и времени. Сообщение GLL – значения широты долготы и времени. Сообщение GSA – содержит список всех спутников, использованных при вычислении позиции и значения их геометрических факторов (DOP) суммарного, в горизонтальной плоскости и вертикального.

Стандартные сообщения, посылаемые приемниками системы GPS, начинаются с префикса GP. Оригинальные сообщения приемников частных компаний начинаются с префикса P (Proprietary), за которым следует трехбуквенное сокращение названия фирмы: MGN – Magellan (ныне Thales navigation), GRM – Garmin и т.д.

Далее приведены форматы сообщений, посылаемых навигатором Magellan eXplorist.

GPRMC - рекомендованный минимальный набор данных. Содержит набор PVT данных (position, velocity, time - позиция, скорость, время).

\$GPRMC,180301.45,A,5546.8890,N,03733.3533,E,22.4,090.4,190608,10,E*45

RMC – Recommended minimum specific GNSS data

180301.45 – UTC время, 18:03:01.45

A – статус (A- активный - valid, V- игнорировать - invalid)

5546.8890,N – широта, 55 градусов 46.8890 минут северной широты

03733.3533,E – долгота, 37 градусов 33.3533 минут восточной долготы

22.4 – скорость, в узлах относительно земли (1 узел = 1.852 км/ч)

090.4 – направление движения, в градусах

190608 – дата, 19 июня 2008 года

10,E – магнитное склонение в градусах (E = East, W = West)

*45 – шестнадцатеричная контрольная сумма

GPGLL - данные широты, долготы и времени
\$GPGLL,5546.8890,N,03733.3533,E,180300.431,A,*31

GLL – GPS Latitude / Longitude

5546.8890,N – широта, 49 градусов 16.45 минут СШ

03733.3533,E – долгота, 123 градуса 11.12 минут ВД

180300.431 – время фиксации UTC, 18:03:00.431

A – тип данных, (A – активные, V - игнорировать)

*45 – шестнадцатеричная контрольная сумма

GPGLSA – информация об активных спутниках и DOP. Содержит список спутников, используемых в подсчете позиции и значения геометрических факторов DOPs, определяющих точность подсчета позиции.

\$GPGLSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1*39

GSA – GPS Satellites Active

A – тип выбора между 2D и 3D решениями,

Автоматический (A-auto, M-manual)

3 – тип решения, 3D решение (1 – нет решения, 2 – 2D решение, 3 – 3D решение)

04,05,,09,12,,,24,,,,, – номера спутников (PRN коды), используемых в подсчете позиции (12 полей)

2.5 – пространственный геометрический фактор, PDOP

1.3 – горизонтальный геометрический фактор, HDOP

2.1 – вертикальный геометрический фактор, VDOP

*39 – шестнадцатеричная контрольная сумма

GPGLSV – информация о видимых спутниках. В составе одного сообщения передаются данные только для 4-х спутников, всего от 1 до 3 сообщений.

\$GPGLSV,3,1,10,12,68,277,40,09,53,192,36,05,51,280,46,04,41,106,45*7E

GSV - GNSS Satellites in View

3 – количество сообщений GSV в пакете

1 – номер сообщения в пакете (от 1 до 3)

10 – количество видимых спутников

12 – номер спутника

68 – угол возвышения спутника на небосводе в градусах

277 – азимут спутника в градусах

40 – отношение сигнал/шум принимаемого сигнала, дБ

09 – номер следующего спутника

53, 192, 36 – угловые положения и сигнал/шум этого спутника и т.д.

VTG – вектор путевой скорости**\$GPVTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K*48**

VTG Vector Track made good and Ground speed
 054.7,T истинное направление линии пути (градусы)
 034.4,M направление пути по магнитному компасу
 005.5,N путевая скорость в узлах (knots)
 010.2,K путевая скорость в км/ч
 *48 контрольная сумма

GGA – информация о трехмерном местоположение и точности**\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47**

GGA Global Positioning System Fix Data
 123519 время фиксации координат 12:35:19 UTC
 4807.038,N Широта 48°07.038' N
 01131.000,E Долгота 11°31.000' E
 1 способ местоопределения:
 0 = ошибка местоопределения
 1 = GPS
 2 = дифференциальная GPS (DGPS)
 3 = захват сигналов точного времени (PPS)
 4 = режим статического RTK (Real Time Kinematic)
 5 = кинематический режим RTK
 6 = оценка методом счисления пути
 7 = режим ручного ввода
 8 = режим эмуляции
 08 Количество сопровождаемых спутников
 0.9 Горизонтальный геометрический фактор, HDOP
 545.4,M Высота в метрах над уровнем моря
 46.9,M Высота геоида над эллипсоидом WGS84
 (пустое поле) время с момента обновления поправки DGPS
 (пустое поле) номер станции передачи поправок DGPS
 *47 шестнадцатеричная контрольная сумма

PMGNST – состояние устройства фирмы Magellan (Magellan status message)**\$PMGNST,01.05,3,T,534,05.0,+03327,00*40**

ST status information
 01.05 номер версии устройства
 3 режим местоопределения 2D или 3D
 T координаты определены (True), F – не определены (False)
 534 информация о состоянии устройства
 05.0 оставшееся время работы от батарей, часы
 +03327 информация о состоянии устройства
 00 номер спутника, данные которого анализируются

программа **rport**, позволяющая выделять из потока данных навигатора информацию о геодезических координатах и значения геометрического фактора. Вид экрана программы **rport** показан на рис.8.

```

eXplorist XL - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
$GPGGA,180259.44,5546.8890,N,03733.3533,E,1,04,15.1,00160,M,,,*19
$GPRMC,180259.44,A,5546.8890,N,03733.3533,E,00.0,000.0,190608,10,E*4F
$GPGSA,A,2,02,30,12,05,,,,,,,,,15.1,15.1,*1A
$GPGSV,3,1,10,12,68,277,40,09,53,192,36,05,51,280,46,04,41,106,*7E
$GPGSV,3,2,10,02,30,147,36,30,27,281,46,14,26,301,36,17,25,060,*71
$GPGSV,3,3,10,20,08,024,,32,06,353,,136,25,195,,124,25,200,*7A
$GPGLL,5546.8890,N,03733.3533,E,180300.451,A*37
$GPGGA,180300.45,5546.8890,N,03733.3533,E,1,04,16.4,00160,M,,,*13
$GPRMC,180300.45,A,5546.8890,N,03733.3533,E,00.0,000.0,190608,10,E*43
$GPGSA,A,2,02,30,12,05,,,,,,,,,16.4,16.4,*1A
$PMGNST,01.05,2,T,691,10.1,+01859,00*4D
$GPGLL,5546.8890,N,03733.3533,E,180301.445,A*33
$GPGGA,180301.45,5546.8890,N,03733.3533,E,1,04,16.1,00160,M,,,*17
$GPRMC,180301.45,A,5546.8890,N,03733.3533,E,00.0,000.0,190608,10,E*42
$GPGSA,A,2,02,30,12,05,,,,,,,,,16.1,16.1,*1A
$GPGSV,3,1,10,12,68,277,41,09,53,192,36,05,51,280,46,04,41,106,*7F
$GPGSV,3,2,10,02,30,147,36,30,27,281,46,14,26,301,36,17,25,060,*71
$GPGSV,3,3,10,20,08,024,,32,06,353,,136,25,195,,124,25,200,*7A
$GPGLL,5546.8890,N,03733.3533,E,180302.453,A*37
$GPGGA,180302.45,5546.8890,N,03733.3533,E,1,04,16.3,00160,M,,,*16
$GPRMC,180302.45,A,5546.8890,N,03733.3533,E,00.0,000.0,190608,10,E*41
$GPGSA,A,2,02,30,12,05,,,,,,,,,16.3,16.3,*1A
$PMGNST,01.05,2,T,686,10.0,+01859,00*4A
  
```

Рис. 7. Вывод навигационной информации по формату GSA

```

Form1
Настройки соединения
Номер COM порта 5 Скорость обмена 4800 бод
Подключить
Отключить
$PMGNST,01.05,2,T,000,00.0,+02575,00*43
$GPGLL,5546.8817,N,03733.3433,E,230139.464,A*3F
$GPGGA,230139.46,5546.8817,N,03733.3433,E,1,04,9.6,00164,M,,,*26
$GPRMC,230139.46,A,5546.8817,N,03733.3433,E,00.0,000.0,221010,10,E*48
$GPGSA,A,2,10,04,07,02,,,,,,,,,09.6,09.6,*1D
$GPGSV,3,1,10,13,82,281,,23,64,095,,10,37,301,36,07,36,214,49,*7C
$GPGSV,3,2,10,16,35,073,,04,27,255,36,02,26,297,36,20,18,153,*79
$GPGSV,3,3,10,29,07,003,,08,05,219,,136,25,195,,126,25,195,*71
$GPGLL,5546.8817,N,03733.3434,E,230140.458,A*39
$GPGGA,230140.46,5546.8817,N,03733.3434,E,1,04,9.4,00164,M,,,*2D
$GPRMC,230140.46,A,5546.8817,N,03733.3434,E,00.0,000.0,221010,10,E*41
$GPGSA,A,2,10,04,07,02,,,,,,,,,09.4,09.4,*1D
$PMGNST,01.05,2,T,000,00.0,+02575,00*43
Показать координаты и погрешности Очистить Выход
  
```

Рис. 8. Навигационная информация в окне программы **rport**

Номер виртуального COM-порта, через который идет обмен с устройством, зависит от установленного в системе программного драйвера. Драйвер связывает USB-порт к которому подключен навигатором с виртуальным COM-портом, используемым коммуникационной программой. Обычно это COM3, COM4 или COM5. Скорость передачи данных 4800 бод – стандартная скорость обмена по протоколу NMEA.

Широта Северная	Долгота Восточная	Высота	HDOP	VDOP
5546.8854	03733.3578	00168	11.1	09.6
5546.8855	03733.3582	00168	11.1	09.6
5546.8855	03733.3582	00169	11.3	09.9
5546.8855	03733.3582	00169	10.5	09.0
5546.8855	03733.3583	00169	10.3	08.9
5546.8856	03733.3585	00169	10.4	08.9
5546.8857	03733.3589	00169	09.5	08.1
5546.8858	03733.3592	00169	10.4	08.9
5546.8858	03733.3595	00169	10.2	08.8
5546.8859	03733.3596	00169	09.3	07.9
5546.8859	03733.3599	00169	10.2	08.7
5546.8859	03733.3598	00169	09.3	07.9
5546.8859	03733.3599	00169	09.8	08.4
5546.8860	03733.3602	00169	10.2	08.8
5546.8860	03733.3604	00169	09.2	07.8
5546.8862	03733.3607	00169	09.2	07.8

HDOP - horizontal dilution of precision (горизонтальное ухудшение точности)
VDOP - vertical dilution of precision (вертикальное ухудшение точности)

Рис. 9. Значения координат и погрешностей в окне программы gport

При нажатии на кнопку «Показать координаты и погрешности» программа gport отображает трехмерные координаты и значения геометрических факторов в окне, показанном на рис. 9.

Кнопка «Сохранить» позволяет сохранить значения координат, HDOP и VDOP в файле формата csv – значения разделенные запятой (comma-separated values). Этот файл удобно открыть в программе Excel и выполнить с ее помощью статистическую обработку результатов измерения. Результатом обработки должны быть оценки среднеквадратических ошибок широты, долготы и соответствующих им линейных смещений вдоль меридианов и параллелей. Пересчет угловых ошибок в линейные метры выполняется с учетом длины меридиана и параллели в точке с найденными координатами.

Необходимо также найти зависимости СКО ошибок оценки координат от значения HDOP, которое меняется в процессе эксперимента в зависимости от количества видимых спутников и их взаимного расположения. Для этого таблицу в программе Excel необходимо отфильтровать по содержимому столбца HDOP на 4 – 5 групп в соответствии с выбранными интервалами значений HDOP. Отфильтрованные строки каждой группы размещаются в

новом диапазоне ячеек листа Excel и по колонкам «Широта» и «Долгота» определяются средние значения ошибок координат.

Пример задания фильтра для фильтрации строк со значениями HDOP от 7 до 9 показан на рис. 10 и 11.

	A	B	C	D	E	F
1				HDOP	HDOP	
2				>7	<9	
3						
4	Широта	Долгота	Высота	HDOP	VDOP	
5	5546.879	3733.344	173	5.4	4.7	
6	5546.879	3733.344	173	5.4	4.7	
7	5546.879	3733.345	173	6.3	5.5	
8	5546.879	3733.345	173	6.3	5.5	

Рис. 10. Задание границ фильтрации по параметру HDOP

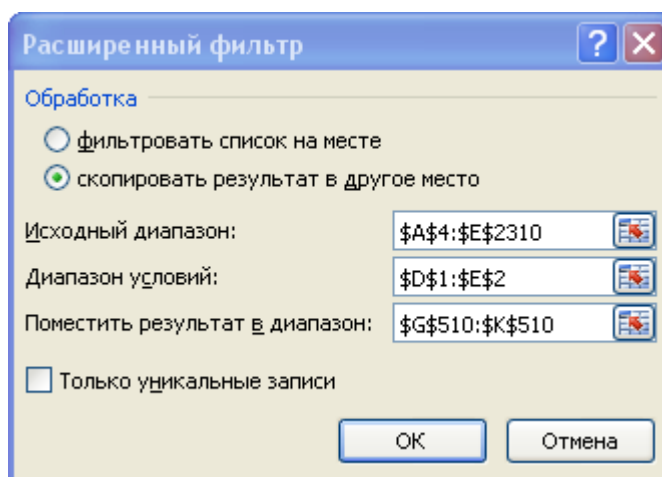


Рис. 11. Задание диапазонов фильтруемых данных, условий и результатов фильтрации

Для определения СКО ошибок оценки координат можно воспользоваться встроенной функцией Excel СТАНДОТКЛОН(G510:G610). Здесь G510:G610 – диапазон ячеек с отфильтрованными значениями широты.

По результатам обработки данных строятся два графика зависимостей СКО ошибок оценки широты и СКО ошибок оценки долготы от среднего значения HDOP каждой группы.