

Д. В. МИШУТА, В. Г. МИХАЙЛОВ, М. В. СЫРАЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GPS ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДОРОГ И МОДЕЛИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЯ/ КОЛЕСНЫХ МАШИН

г. Минск, Республика Беларусь, ООО «Мидивисана»,
МО РБ

Целью данной работы являются рассмотрение использования GPS для исследования дорог и моделировании автомобиля/колесных машин (КМ).

Рассмотрено использование для этой задачи измерительно-регистрирующего комплекса на основе миникомпьютера Raspberry Pi 3/4, датчика GN-803G и создание программного обеспечения на языке C/C++.

Проанализирована получаемая информация с GPS и подходы выборки необходимых данных из сообщений на основе стандарта NMEA 0183, представленных в текстовой форме ASCII с полями, разделенными запятой (.). Дана оценка возможностей использования получаемой информации.

Разработана и обоснована схема подключения модуля GN-803N к Raspberry 3/4 через протокол GPIU.

Рассмотрено приведение получаемых данных к постоянному шагу с использованием полинома Лагранжа 2-го порядка по трем точкам переменного шага.

Рекомендовано при дальнейшем использовании этого скорректированного массива данных в процессе моделировании автомобиля применение метода интерполяции CatMull-Rom по 4-м точкам при фиксированном шаге. Приведены фрагменты программы на C/C++.

Предложено на территории РБ при определении относительных расстояний и привязке к картам при преобразовании пользоваться упрощенной линейной формулой $lat_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$, $lon_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$.

Предложенную методику применения GPS, ПО, полученные данные планируется использовать для исследования влияния водителя и дорожных условий на движение автомобиля и последующего их применения при моделировании в Matlab/Simulink, а также в задачах предварительной отладки систем управления беспилотными автомобилями.

Ключевые слова: GPS, программное обеспечение, GN-803G, Raspberry Pi 3/4.

Введение

Сейчас при создании автомобиля все более широко используются методы компьютерного проектирования и моделирования автомобиля [1–4]. Для последнего требуется массивы данных по продольному профилю дорог, режиму движения автомобиля. Использование GPS является одним из способов их получения. БелАЗ на основании GPS получил данные карьерных дорог [2, 4]. В работе [5] сделаны попытки исследования углов крена легковых автомобилей при поворотах и скорости движения с помощью модуля GPS смартфона Apple Iphone 7 Plus, программ AndroSensor и OBDLink, диагностического сканера OBDII. К сожалению, в последнем точность позиционирования (до 10–20 м), годящаяся для учебных целей, все же недостаточно для серьезных исследований. Приемнику GPS требуется как

минимум 4 спутника для определения своего местоположения в 3-х измерениях.

Представляет интерес использование модуля GPS GN-803G (~20 \$) и миникомпьютера Raspberry Pi 3/4 (93×62 мм), обеспечивающих приемлемо высокую точность позиционирования до 1,5–2 м, а по некоторым данным на сайтах по квадрокоптерам до 0,6 метров, в качестве регистрирующей аппаратуры для проведения исследования автомобиля: отслеживания его положения при движении, определение скорости, режимов движения, получения продольного профиля дороги, наклонов автомобиля при движении и др. Следует отметить, что сейчас имеются геодезические модули, работающие со станциями коррекции (за что надо отдельно платить), обеспечивающие точность от нескольких до десяти см, но они очень дорогие

(3000–17000 \$). В любом случае требуется создание специального программного обеспечения (ПО) для обработки данных.

Целью данной работы является рассмотрение реализации такого программного обеспечения при создании измерительно-регистрирующего комплекса для исследования дорог и автомобиля на Raspberry Pi 3/4 на языке C/C++ с помощью GPS и оценка возможностей использования получаемой информации.

1. Подключение модуля GPS GN-803G к Raspberry Pi 3/4

Для Raspberry более целесообразным по быстродействию является подключения GPS-модуля через GPIO по сравнению с USB. Хотя при низких частотах квантования (1 Гц) это разница практически незаметна. На рис. 2 приведена схема подключения модуля GN-803G к Raspberry 3/4. Для подключения GPS-модуля к миникомпьютеру, необходимо соединить:

GPS модуль	Raspberry Pi
VCC	3.3V (пин 1)
RX	TXD/GPIO 14 (пин 8)
TX	RXD/GPIO 15 (пин 10)
GND	Ground (пин 6)

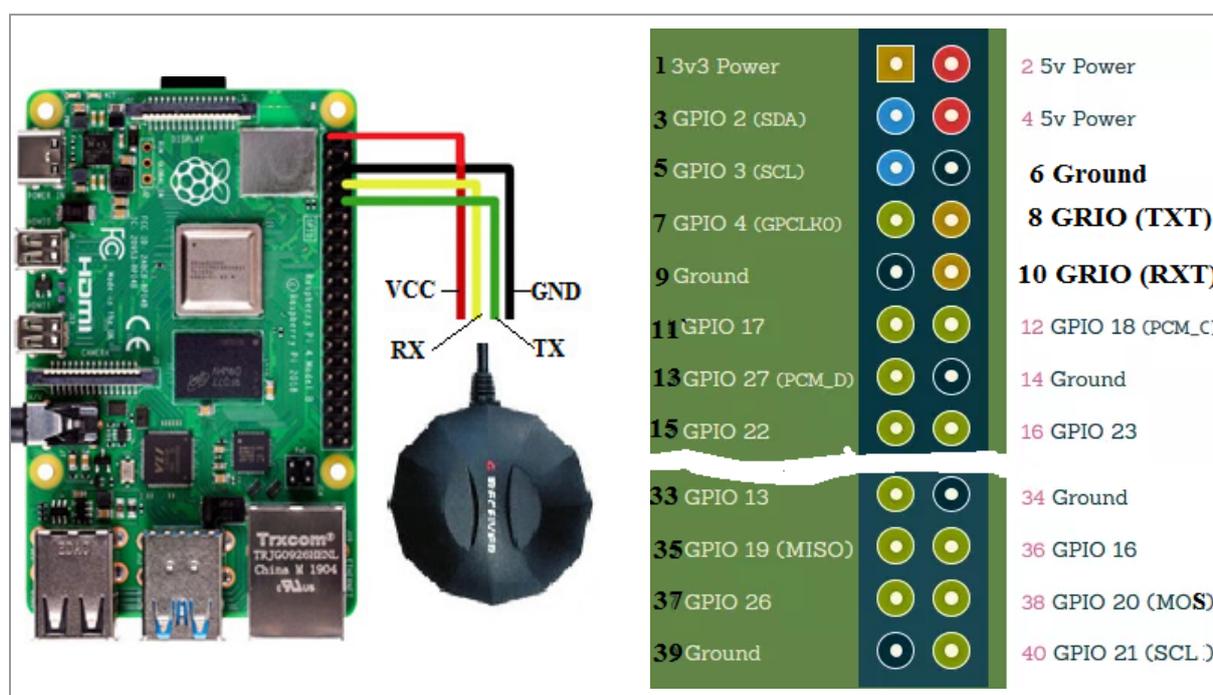


Рис 1. Схема подключения модуля GN-803N к Raspberry 3/4

2. Передаваемая информация со спутника

Информация со спутника передается в виде GGA, GLL, GSA, GSV, VTG, RMC, ZDA, GNS сообщений согласно стандарта NMEA 0183 [6] в текстовой форме ASCII с полями, разделенными запятой (,), например:

```
$GPVTG,333.93,T,M,0.343,N,0.635,K,A30
$GPGGA,043025.00,3510.97111,S,13512.82950,E,1,11,0.79,37.5,M,-4.4,M,,6D
$GPGSA,A,3,26,03,04,02,06,30,08,07,09,27,16,,1.35,0.79,1.10,0B
$GPGSV,3,1,12,02,06,248,22,03,19,018,31,04,52,098,44,05,00,215,73
```

Каждая строка начинается с символа '\$'. Следующие два знака определяют идентификатор, указывающий на спутник – источник сообщения. Например, сообщения от GPS- начинаются с GP, от ГЛОНАСС – GL, от Галилео – GA, от BeiDou GB*, от других GNSS – GN. Модуль GPS Ublox NEO-M8N может работать и с GPS и Glonass.

Следующие три знака определяют вид и содержание сообщения. Расшифровка сообщений приведена в табл. 1.

Для исследования автомобиля необходимо использовать сообщения GGA и RMC, которые

дополняют друг друга. В RMC отсутствуют данные о высоте над уровнем моря, а в GGA нет данных по компасу.

Сообщения GGA имеют следующий формат данных (табл. 2).

Алгоритм обработки заключается в считывании и идентификации строки, затем считывании с нее данных, контролируемые по счетчику сканирования полей.

Таблица 1. Расшифровка сообщений

\$GPGGA	Время, положение, определенные данные.
\$GPGLL	Положение, время и фиксирующий статус
\$GPGSA	Идентификатор ID спутников, которые используются для определения местоположения
\$GPGSV	Спутниковая информация о возвышении, азимуте и CNR
\$GPRMC	Время, дата, положение, курс и скорость (минимальные данные)
\$GPVTG	Курс и скорость относительно земли
\$GPZDA	UTC, день, месяц и год и часовой пояс

Таблица 2. Формат данных сообщения GGA

Имя	Образец	Размерность	Описание
Message ID	\$GPGGA		GGA protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Position Fix Indicator	1		See Table 1–4
Satellites Used	07		Range 0 to 12
HDOP	1.0		Horizontal Dilution of Precision
MSL Altitude	9.0	метр	
Units	M	метр	
Geoid Separation		метр	
Units	M	метр	
Age of Diff. Corr.		секунда	Null fields when DGPS is not used
Diff. Ref. Station ID	0000		
Checksum	*18		
<CR> <LF>			End of message termination

Таблица 3. Структура сообщения RMC

№ поля	Имя	Unit	Формат	Сообщение	Описание
0	xxRMC	-	string	\$GPRMC	RMC Message ID (xx = current Talker ID, see NMEA Talker IDs table)
1	time	-	hhmmss.ss	083559.00	UTC время/time. См./ секцию UTC representation in the Integration manual details.
2	status	-	character	A	Data validity status, see position fix flags description
3	lat	-	ddmm.mmmm	4717.11437	Широта (degrees and minutes), см. формат описания
4	NS	-	character	N	Указатель Север/Юг/North/South
5	lon	-	dddmm.mmmm	00833.91522	Долгота (degrees and minutes), см. формат описания minutes), see format description
6	EW	-	character	E	Направление/East/West indicator
7	spd	knots	numeric	0.004	Скорость/Speed over ground
8	cog	deg	numeric	77.52	Курс/Course over ground

\$xxRMC, time, status, lat, NS, lon, EM, spd, cog, date, mv, mvEW, posMode, navStatus*cs<CR><LF>

Пример. \$GPRMC, 083559.00, A, 4717.11437, N, 00833.91522, E, 0.004, 77.52, 091202,,, A, V*57

3. Преобразование получаемых с GPS данных

Получаемые с GPS данные углов широты и долготы необходимо преобразовать в метры, чтобы можно использовать для исследования и моделирования автомобиля. Как показала проработка вопроса: скорость, высоту профиля и их зависимость от пройденного пути можно получить с помощью GPS двумя способами:

- путем определения разности перемещений двух точек проекций позиционирования и их суммирования (рис. 2).

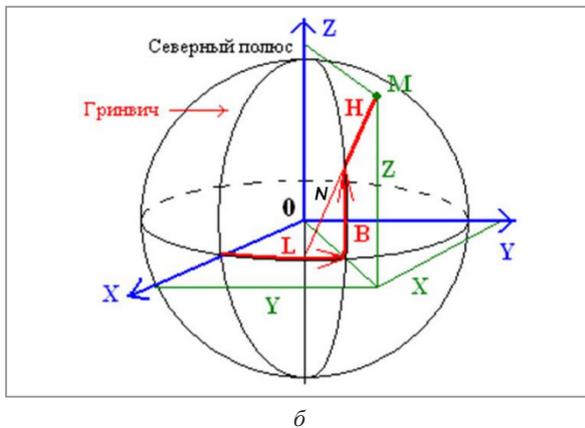
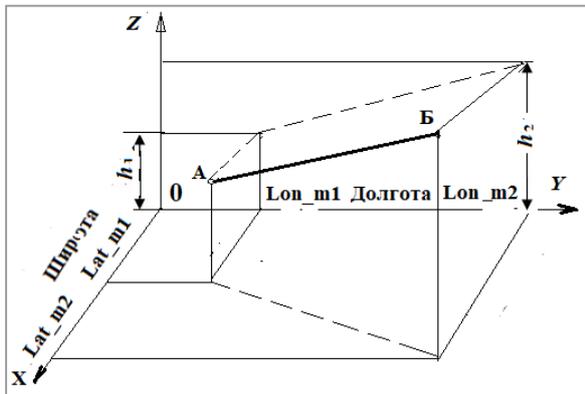


Рис. 2. Схема определения пути по двум точкам позиционирования (а) и геоцентрические координаты (б)

- путем квантования скорости в единицу времени (частоты опроса GPS f в Гц), эквивалентную пройденному пути ($\Delta l = v \cdot f$) и их последующего суммирования.

Величина пройденного пути между двумя точками с учетом высот равняется

$$\Delta l = \sqrt{(lon_m2 - lon_m1)^2 + (lat_m2 - lat_m1)^2 + (h2 - h1)^2}$$

где lon_m1, lon_m2 – проекции координат долготы, lat_m1, lat_m2 – проекции координат широты, h_1, h_2 – высоты этих точек в метрах.

Либо текущее перемещения автомобиля определяется как разность перемещений его точек через скорость ($v \cdot f$: последующей и предыдущей

$$l_a = \sqrt{(l_{ai2} - l_{ai1})^2 + (h_2 - h_1)^2}$$

Как показало использование разности перемещений двух точек по проекциям позиционирования и их суммирования приводит к более большей погрешности 30–47%. Причина такого различия заключается в малом шаге изменения квантования замеров (8–25 м, зависящем от скорости), при которых погрешность позиционирования модуля GPS GN-803G (2 м) начинает сказываться.

Более точнее получить скорость, высоту профиля и их зависимость от пройденного пути можно путем квантования скорости в единицу времени (частоты опроса GPS f в Гц), эквивалентную пройденному пути ($\Delta l = v \cdot f$ и их последующего суммирования с погрешностью 1–2 м [10]), учитывая более высокую точность этого параметра (0,05 м/с).

Выявлено, что для преобразования широты и долготы с GPS в метры на территории РБ можно пользоваться упрощенной линейной формулой (погрешность менее 1 м) [10]

$$lat_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$$

$$lon_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$$

где $D_{dec\ lat}, D_{dec\ lon}$ – соответственно широта и долгота в градусах, lon_m, lat_m – получаемое значение расстояния широты и долготы в метрах.

Данная формула получена на основе расчетов геодезических координат при изменении на 1° на эллипсоиде Красовского. Расчеты проводились по формулам ГОСТ 32453–2017 (п. 5.4.1) [7], которые используются для получения более точных плоских прямоугольных координат в принятой на территории СНГ проекции Гаусса-Крюгера и геодезических картах.

На основе данных GPS можно рассчитать и геоцентрические координаты (рис. 2б) по следующим формулам ГОСТ 32453–2013 (п. 5.1.1):

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

$$y = (N+H) \cdot \cos B \cdot \sin L,$$

$$z = (N+H - e^2 \cdot N) \cdot \sin B,$$

Здесь L – долгота, B – широта в радианах, H – высота в м, N – так называемый радиус кривизны первого вертикала:

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

где: $e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$ – эксцентриситет эллипсоида Земли, $a = 6378137.0$ м, $b = 6356752.3142$ м – радиусы эллипсоида.

Но они больше ориентированы на спутники, ракеты и авиацию.

4. Программа считывания и обработки данных

При разработке ПО за основу взята программа NMEA-GPS-master.zip [8], которая только считывает и выводит на экран определенную информацию. Она была переработана для получения отсутствующей в программе информации по RMC, расчету текущего положения в метрах, сведения данных в единую бинарную структуру данных и записи из нее требуемой информации в файл на SD для последующей обработки в Matlab/Simulink.

Полученные с помощью модернизированной программы данные в дальнейшем подвергались преобразованию для приведения к фиксированному шагу с помощью полинома Лагранжа 2-го порядка по трем точкам переменного шага.

$$y = L2(x) = \\ = \frac{((x - x_1) \cdot (x - x_2))}{((x_0 - x_1) \cdot (x_0 - x_2))} \cdot y_0 + \\ + \frac{((x - x_0)(x - x_2))}{((x_1 - x_0) \cdot (x_1 - x_2))} \cdot y_1 + \\ + \frac{((x - x_0) \cdot (x - x_1))}{((x_2 - x_0) \cdot (x_2 - x_1))} \cdot y_2,$$

где x – рассчитываемое значение пути в м, x_0 – значение пути на один шаг меньше, x_1 – значение пути на один шаг больше, y – рассчитываемое значение пути в м, y_0 – значение пути на один шаг меньше, y_1 – значение пути на один шаг больше.

В дальнейшем при последующем их использовании и моделировании автомобиля на основе уже скорректированного массива данных применялся метод интерполяции CatMull-Rom [10] по 4-м точкам при

фиксированном шаге. Фрагмент программы на C/C++ приведен ниже.

```
n=u/x/ts;
t=u-n;
t2=t*t;
t3=t*t*t;
P0=rd[n-1][1];
P1=rd[n][1];
P2=rd[n+1][1];
P3=rd[n+2][1];
h = 0.5 * ((2*P1) + (-P0 + P2) * t +
+(2*P0 - 5*P1 + 4*P2 - P3) * t2 +
+(-P0 + 3*P1 - 3*P2 + P3) * t3),
```

где x – текущее значение пути, n – целостное значение от деления x/ts , u – десятичное значение от деления x/ts , ts – шаг квантования массива (5 м), t , t_2 , t_3 – множители, P_0 , P_1 , P_2 , P_3 – полиномы CatMull-Rom, $rd[]$, h – массив высот продольного профиля дороги.

5. Результаты дорожных испытаний

Обработка записанных данных проводилась с помощью программ на C/C++ на Borland C++Builder 6.0 и Matlab/Simulink и его модуля S-Function Builder. Полученный продольный профиль дороги и режим движения по скорости при движении по маршруту Северное кладбище–Приморье–Семков городок–МКАД2 под Минском приведен на рис. 3.

Как видно из рис. 3 скорость движения автомобиля зависит как от профиля дороги, дорожных условий, так возможностей самого автомобиля. На подъемах она замедляется, а на спуске увеличивается. Наблюдаемые экстремумы на графике скорости обусловлены резким изменением скорости при торможении перед переездом препятствий, повороте дороги, перед мостом и медленно движущим впереди автомобилем на подъеме, проезде населенных пунктов и свидетельствуют о корректности примененного метода.

Данные GPS по боковым отклонениям позволяют определить повороты на трассе и могут использоваться для определения и задания ограничивающих точек режима движения. Но все же для окончательного задания режима движения необходимо учитывать еще фактор водителя и дорожную обстановку, которую можно решать с помощью синхронной видеозаписи с предложенным методом. Но это отдельная задача.

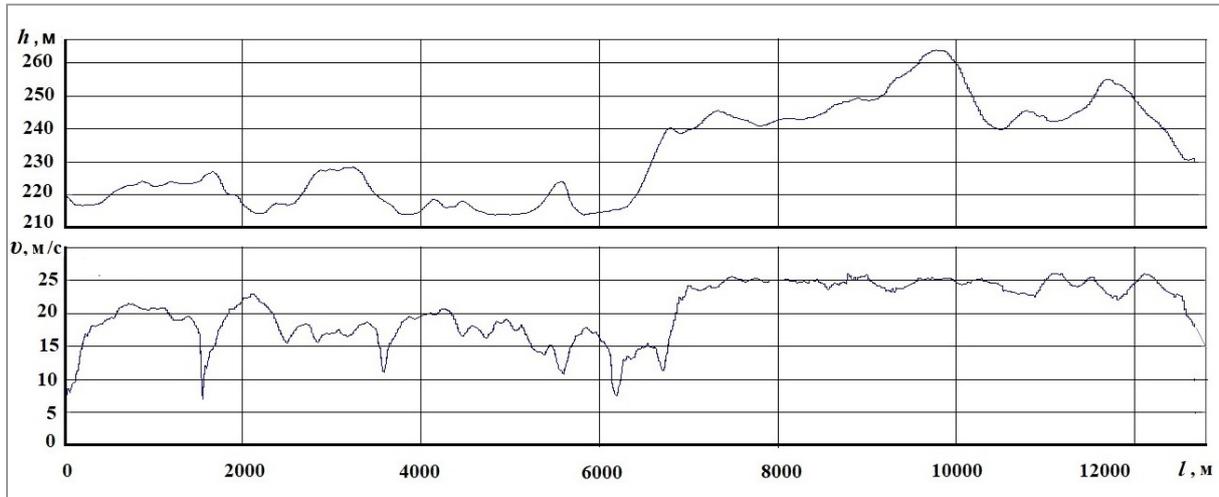


Рис. 3. Изменение высоты продольного профиля дороги h и скорости движения автомобиля v в зависимости от пройденного пути l



Рис. 4. Отклонение показаний положений приемника LMS GPS-SDR на трассе

На рис. 4 приведено взятое из работы [9] отклонение автомобиля в боковом направлении от средней траектории движения. Как видно из графика максимальное отклонение не превышает 0,7 м, что приемлемо для предварительных опытных работ над прототипами беспилотных автомобилей. Хотя уже сейчас имеются модули GPS с точностью до нескольких см (за счет станций коррекции). Даже и в этом случае использование только одного GPS все же недостаточно для управления беспилотным автомобилем.

Необходимы дополнительно и другие системы: компьютерного зрения, картографии, данные лидеров, радаров, обмена данными с другими автомобилями.

Предложенную методику применения GPS и ПО планируется использовать для получения продольных профилей дорог, изучения и задания скоростного режима движения автомобиля для исследования влияния водителя и дорожных условий на движение автомобиля и последующего их моделировании в Matlab/Simulink. Записи сигналов GPS могут также использоваться для

предварительной отладки систем управления беспилотными автомобилями методом имитационного моделирования [1].

Заключение

1. Рассмотрено получение и преобразование информации с GPS, необходимой для исследования и моделирования автомобиля, создание измерительно-регистрирующего комплекса с использованием модуля GPS G-803G и миникомпьютера Raspberry Pi 3/4, дана оценка возможностей использования получаемой информации.

2. Разработана методика и программное обеспечение на языке C/C++, которые обеспечивают получение данных по продольному профилю дорог, режиму движения автомобиля с помощью модуля GPS GN-803G с точностью от 0,6 до 2 м, скорости движения с погрешностью в 0,05 м/сек, курсового направления до 0,3° достаточную для исследований движения в дорожных условиях и моделирования автомобиля в Matlab/Simulink.

3. Предложено на территории РБ при определении относительных расстояний

и привязке к картам при преобразовании пользоваться упрощенной линейной формулой $lat_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$, $lon_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$.

4. Предложенную методику применения GPS, ПО, полученные данные планируется

использовать для исследования профилей дорог, влияния водителя и дорожных условий на движение автомобиля и последующего их моделирования в Matlab/Simulink, а также в задачах предварительной отладки систем управления беспилотными автомобилями.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Михайлов В. Г.** Использование имитационного моделирования для отладки беспилотных автомобилей // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2020, № 3 (130), С. 112–119.
2. Опыт использования навигационных спутниковых технологий ГЛОНАСС в горнодобывающей промышленности // <https://docplayer.ru/49298954-Опыт-использования-навигационных-спутниковых-технологий-глонасс-в-горнодобывающей-промышленности.html> / [Электронный ресурс / Electronic resource] / Режим доступа / Access mode: 12.12.2020.
3. Удаленный мониторинг техники / <http://tdbelaz.ru/service/service/programs-monitoring> // [Электронный ресурс / Electronic resource] / Режим доступа / Access mode: 12.12.2020.
4. **Михайлов В. Г.** Компьютерное имитационное моделирование автомобиля / монография, Минск, «Беларуская навука», 2020. 316 с. / <https://akademkniga.by/katalog/tehnicheskie-nauki/avtomobili-tehnika/kompyuternoe-i-imitacionnoe-modelirovanie-avtomobilya-monografiya-po-specialnosti-05.05.03.html> / [Электронный ресурс / Electronic resource] / Режим доступа/Access mode: 12.12.2020.
5. **Ершов В. С.** Исследование углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы // А. А. Хамков, А. А. Акулов., С. С. Шадрин / Электронный научный журнал «Автомобиль. Дорога. Инфраструктура», 2020, № 4.
6. NMEA-0183 Standard For Interfacing Marine Electronic Devices / https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox8-8_ReceiverDescrProtSpec_%28UBX-13003221%29.pdf / [Электронный ресурс / Electronic resource] / Режим доступа / Access mode: 22.12.2020.
7. ГОСТ 32453–2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Система координат. Методы преобразований координат определяемых точек.
8. NMEA-GPS // <https://github.com/craigpeacock/NMEA-GPS//2020> 26 Jun / [Электронный ресурс / Electronic resource] / Режим доступа / Access mode: 22.12.2020.
9. **Marc Sol'e Gaset**, Software defined Radio for GPS / Centre Tecnol'ogic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC) Escola T'ecnica Superior Enginyeria Superior de Telecomunicacions de Barcelona (ETSETB). Universitat Polit'ecnica de Catalunya (UPC). July 2009, 41802533.pdf. С. 220.

REFERENCES

1. **Mikhailov V. G.** Ispolzovanie imitacionnogo modelirovaniya dlya otladki bespilotnih avtomobilei // Trudi NGTU im. R. E. Alekseeva. 2020. № 3.(130), S. 112–119.
2. Opit ispolzovaniya navigacionnih sputnikovih tehnologii GLONASS v gornodobivayuschei promishlennosti // https://docplayer.ru/49298954_O
3. Udalennii monitoring tehniki / http://tdbelaz.ru/service/service/programs_monitoring // [Elektronnii resurs / Electronic resource] / Rejim dostupa/Access mode: 12.12.2020.
4. **Mikhailov V. G.** Kompyuternoe imitacionnoe modelirovanie avtomobilya / monografiya: Minsk, «Belaruskaya navuka», 2020. 316 s.
5. **Ershov V. S.** Issledovanie uglov krena avtomobilya pri prohojdenii povorotov v zavisimosti ot izmeneniya ego massi // A. A. Hamkov, A. A. Akulov, S. S. Shadrin / Elektronnii nauchnii jurnal «Avtomobil. Doroga. Infrastruktura». 2020. № 4.

Поступила
23.05.2021

После доработки
24.08.2021

Принята к печати
01.09.2021

MISHUTA D. V., MIKHAILOV V. G., SIRIE M. V.

USE OF GPS AT RESEARCH OF ROADS & A VEHICLE

*Minsk, Republic Belarus, Open joint stock company "Midivisana",
Ministry of Defence of Republic Belarus*

The purpose of this work are consideration of use of GPS for a research of roads and modeling of the vehicle/wheel machines (WM).

Implementation for this problem of the measuring registering complex on a basis the Raspberry Pi 3/4 minicomputer, the GN-803G sensor and creation of the software in the language C/C ++ is considered.

The obtained information about GPS and approaches of selection of necessary data from the messages on the basis of the NMEA 0183 standard submitted in the text ASCII form with the fields divided by a comma is analyzed. An assessment of opportunities of use of the obtained information is given.

The scheme of connection of the GN-803N module to Raspberry 3/4 through the GPIO protocol is developed and proved.

Reduction of the obtained data to a constant step with use of a polynomial of Lagrange of the 2-nd order on three points of a variable step is considered.

It is recommended at further use of this corrected data array in process modeling of the car application of a method of interpolation CatMull-Rom on the 4-th points at the fixed step. Program fragments are given in C/C ++.

It is offered in the territory of RB during the determining of relative distances and a binding to cards at conversion it is possible to use the simplified linear formula $lat_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$, $lon_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$.

The offered technique of application of GPS, software, received data are planned to be used for a research of influence of the driver and road conditions on the movement of the vehicle and the subsequent their application when modeling in Matlab/Simulink, and also in problems of preliminary debugging of management systems by self-driving vehicles.

Keywords: GPS, software, module GN-803G, Raspberry Pi 3/4.

Мишута Дмитрий Викторович, к.т.н., генеральный директор ООО «Мидивисана», г. Минск, Республика Беларусь, ООО «Мидивисана».

Mishuta Dmitry Viktorovich, PhD in Technological Sciences, General director of Open joint stock company “Midivisana”, Minsk, Republic of Belarus, Open joint stock company “Midivisana”,

E-mail: info@midivisana.by

Михайлов Владимир Георгиевич, к.т.н, в прошлом ведущий инженер ООО «Мидивисана»,

Mikhailov Vladimir Geogievitch, PhD in Technological Sciences, in the past was the leading engineer of Open joint stock company “Midivisana”,

E-mail: sapr7@mail.ru

Сырай Максим Викторович, МО РБ.

Sirai Maxim Viktorovich, Ministry of Defence of Republic Belarus.