

«Шаг в будущее - 2012»

МГТУ им. Н. Э. Баумана, каф. ИУ4

**Пригодность инерциальных
MEMS-датчиков к решению задач
персональной навигации**

Автор: Ревзин Григорий Григорьевич,
ГБОУ Лицей №1580, класс 11-5.

Научный руководитель: Власов Андрей Игоревич,
МГТУ им. Н. Э. Баумана, каф. ИУ-4, заместитель заведующего
кафедрой по научной работе, доцент, к. т. н.

Введение

В последние несколько десятилетий появились дешевые миниатюрные микроэлектромеханические (MEMS) датчики и угловой скорости. Их низкая стоимость позволяет устанавливать такие датчики в изделия, производящиеся массово.

Из физики известно, что по значению ускорения тела можно получить его смещение, однако из-за небольших ошибок при измерении ускорения значение смещения отличается от истинного.

В данной работе ищется ответ на вопросы: «Какой будет погрешность при использовании MEMS-датчиков в качестве навигационных? Можно ли использовать их в этом качестве?»

Цель работы

- Разработка экспериментального устройства, реализующего инерциальную навигацию на основе инерциальных MEMS-датчиков.
- Оценка возрастания погрешности при инерциальной навигации с использованием разработанного устройства.
- Вывод о пригодности MEMS-датчиков к задачам навигации на основе оцененной численно погрешности.

Экспериментальное устройство

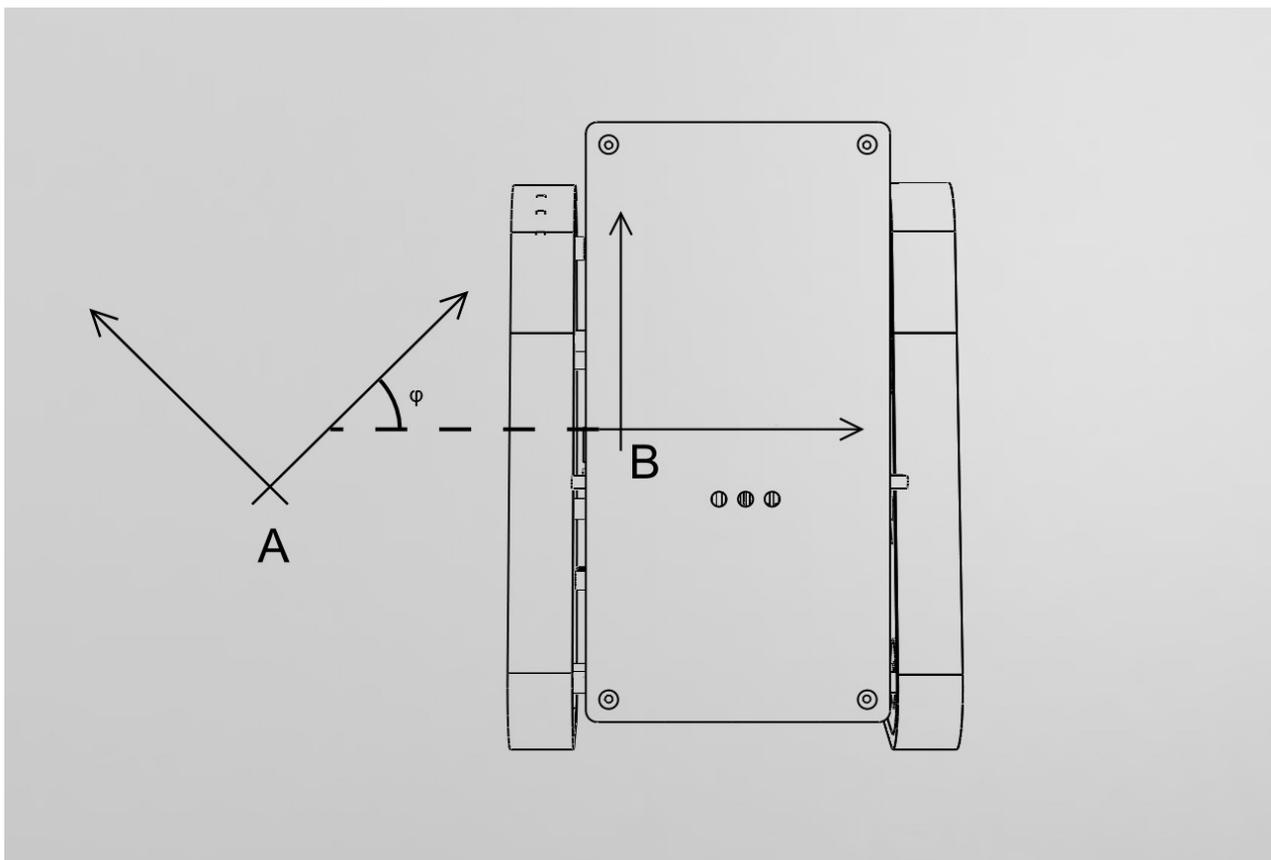
- Разработано и изготовлено устройство, использующее инерциальные MEMS-датчики для решения задачи собственного позиционирования.
- Устройство оснащено возможностью следовать по простым циклическим маршрутам, предварительно загруженным в память. Это позволяет оценивать рост погрешности в определении положения устройства, рассматривая отклонение устройства от эталонного маршрута. Для удобства измерений устройство останавливается при прохождении маршрута и ожидает нажатия кнопки для продолжения движения.

Изготовление экспериментального устройства

- Механическая подсистема устройства смоделирована в САПР **SolidWorks**, обмен данными о форме ПП и расположение компонентов производился с помощью файлов формата IDF.
- Электрическая подсистема разработана с использованием САПР **P-CAD 2006**. Прототипы ПП устройства изготовлены в «домашних условиях» по технологии «лазерного утюга», финальные версии изготовлены на производственных мощностях ОАО «Таберу».
- Корпус устройства обработан на сверлильном станке согласно чертежам, полученным из **SolidWorks**.
- ПО для контроллера **STM32F103** разработано с помощью среды **Keil μVision** и компилятора **RealView ARM C/C++ Compiler** на языке C и ассемблера ARM.
- Отладка устройства производилась с помощью программатора/отладчика **TE-ST-Link**, осциллографа **Rigol DS1102E** и логического анализатора **АКИП-9101**.
- Для связи с ПК по протоколу RS-232 использовалась программа **Bray's Terminal**.

Математический аппарат инерциальной навигации

Используемые системы отсчета



В – собственная, связанная с акселерометром СО.

А – неподвижная СО.

Математический аппарат инерциальной навигации

$$(1) \quad \Delta \vec{r} = \left(\iint_{t_0-\Delta t}^{t_0} a_x dt, \iint_{t_0-\Delta t}^{t_0} a_y dt \right);$$

$$(2) \quad \vec{r}_0 = \vec{r}_0 + (\Delta r_x \cos \varphi - \Delta r_y \sin \varphi, \Delta r_x \sin \varphi + \Delta r_y \cos \varphi);$$

$$(3) \quad \Delta \varphi = \int_{t_0-\Delta t}^{t_0} \omega dt;$$

$$(4) \quad \varphi = \varphi + \Delta \varphi;$$

Здесь

$\Delta \mathbf{r}$ – перемещение, измеренное в собственной СО устройства,

\mathbf{a} – ускорение в собственной СО устройства (измеряется акселерометром),

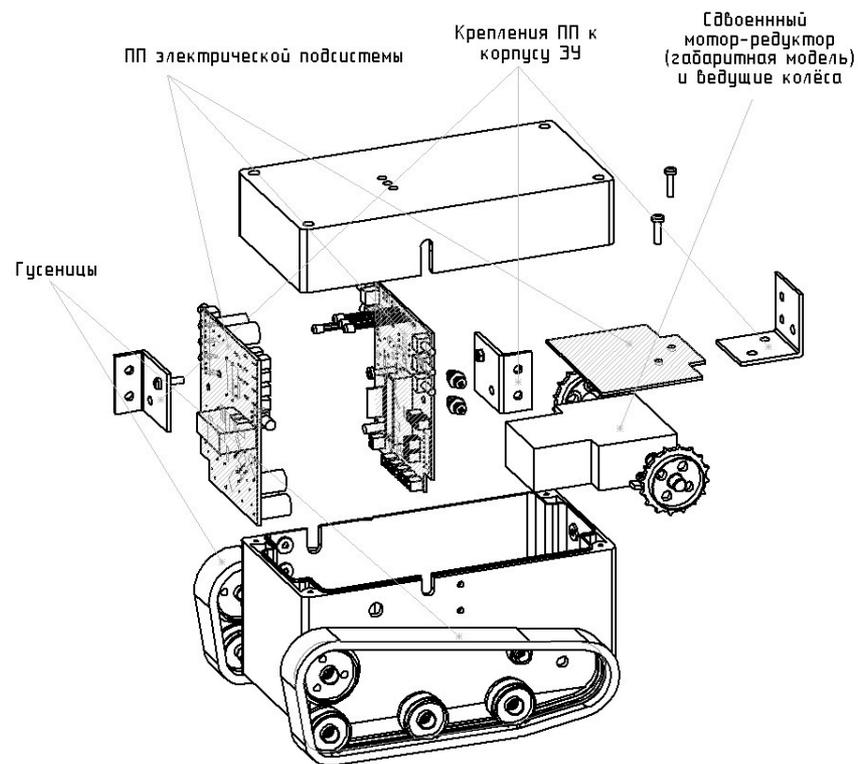
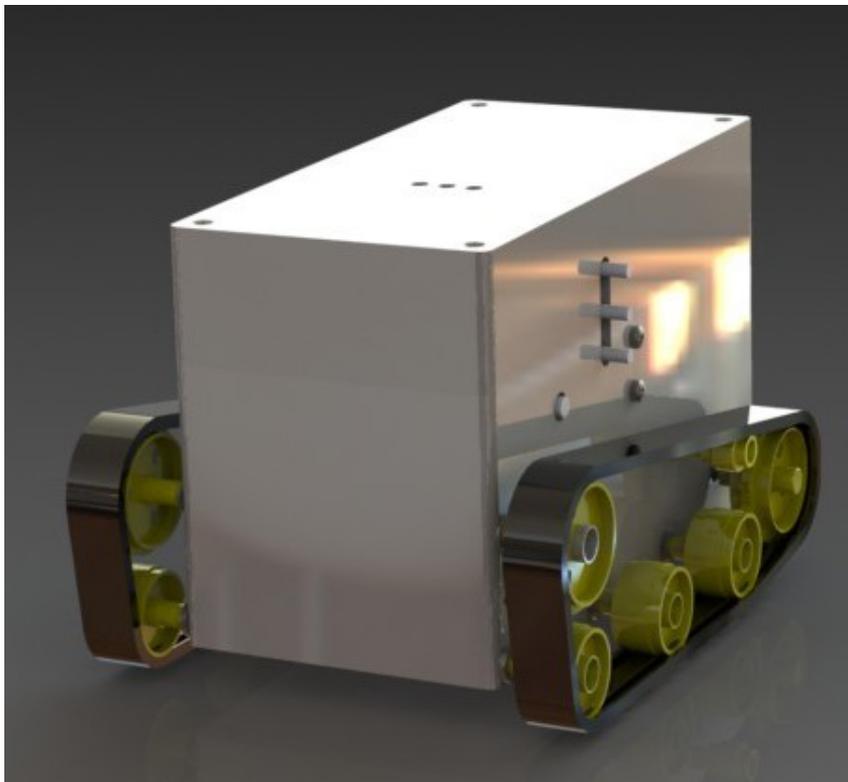
\mathbf{r}_0 – вектор смещения устройства в неподвижной СО, за вдоль собственных осей устройства,

$\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость устройства (замеряется гироскопическим датчиком угловой скорости)

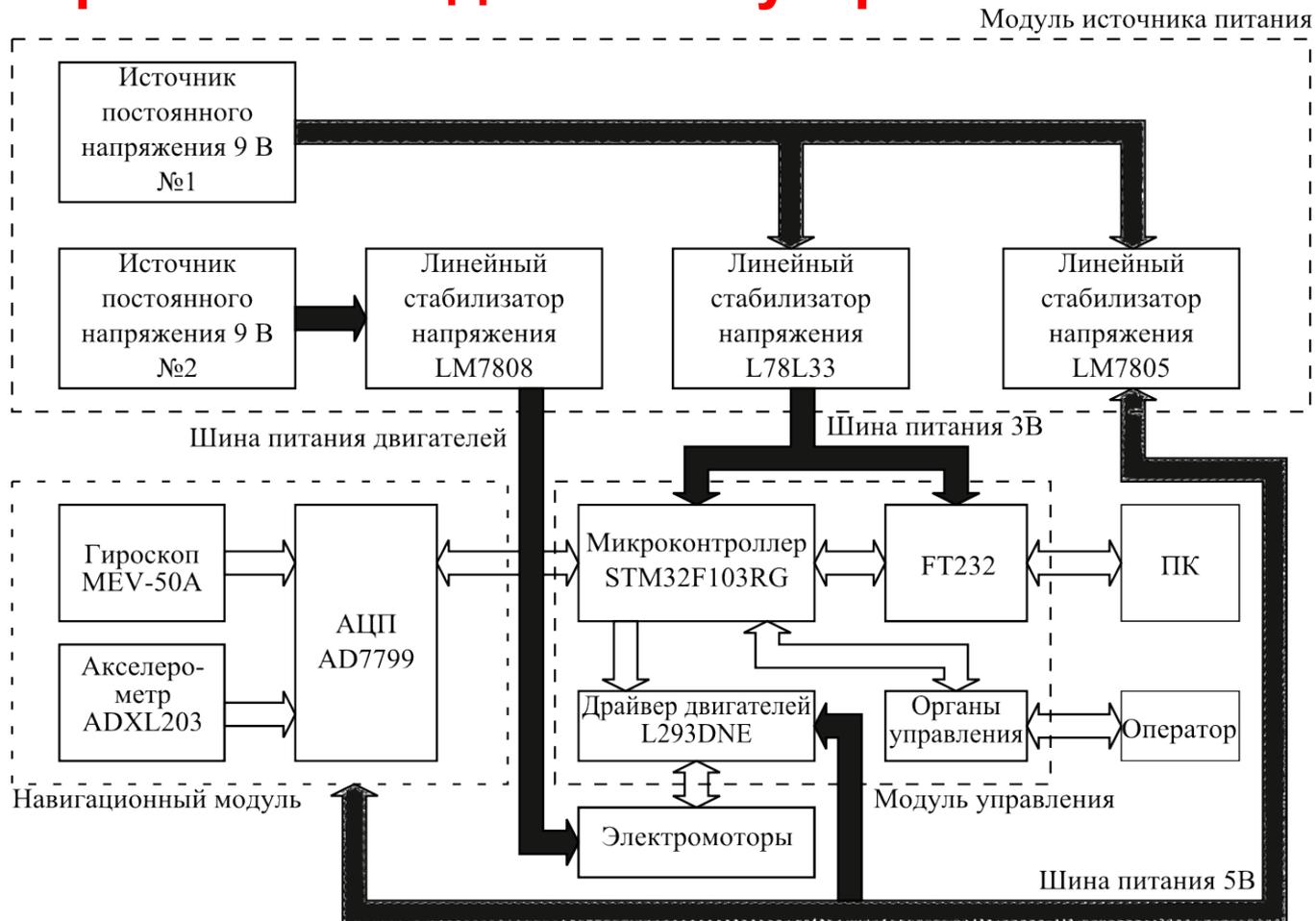
φ – угол поворота устройства в неподвижной СО (он же угол между неподвижной СО и СО, связанной с устройством),

t_0 – время, прошедшее с момента начала навигации.

Внешний вид экспериментального устройства и его основные части

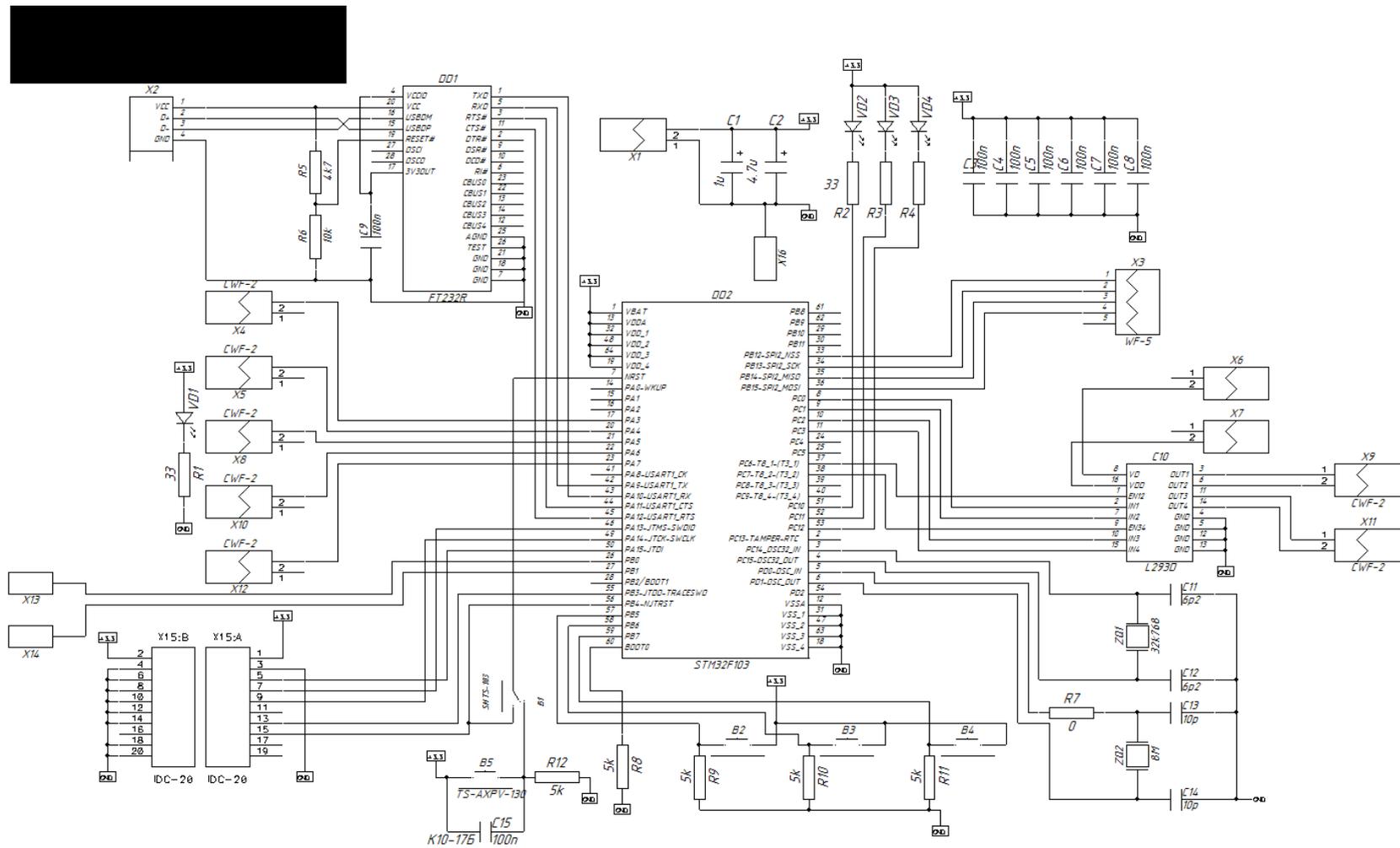


Электрическая подсистема устройства

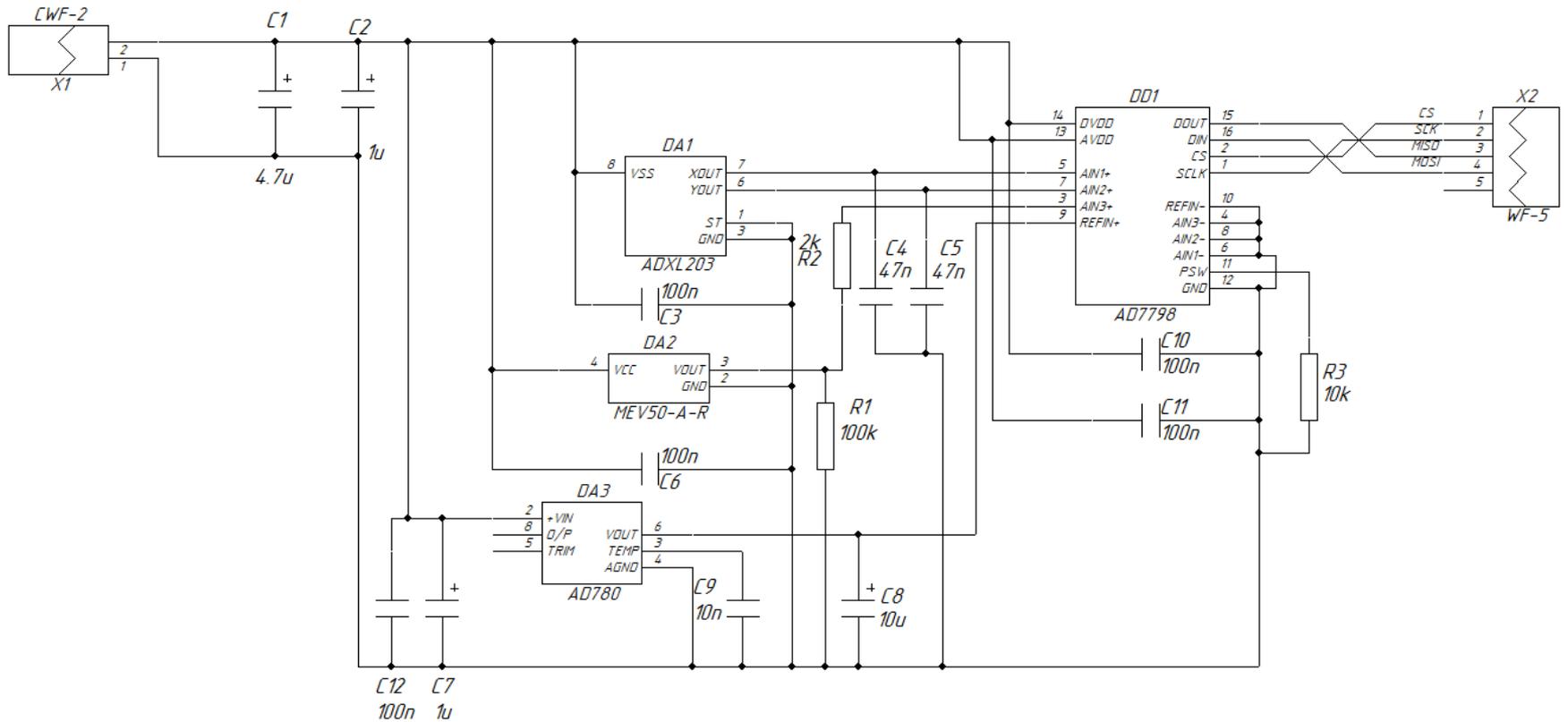


Черным показаны связи по питанию, белым – связи по данным.

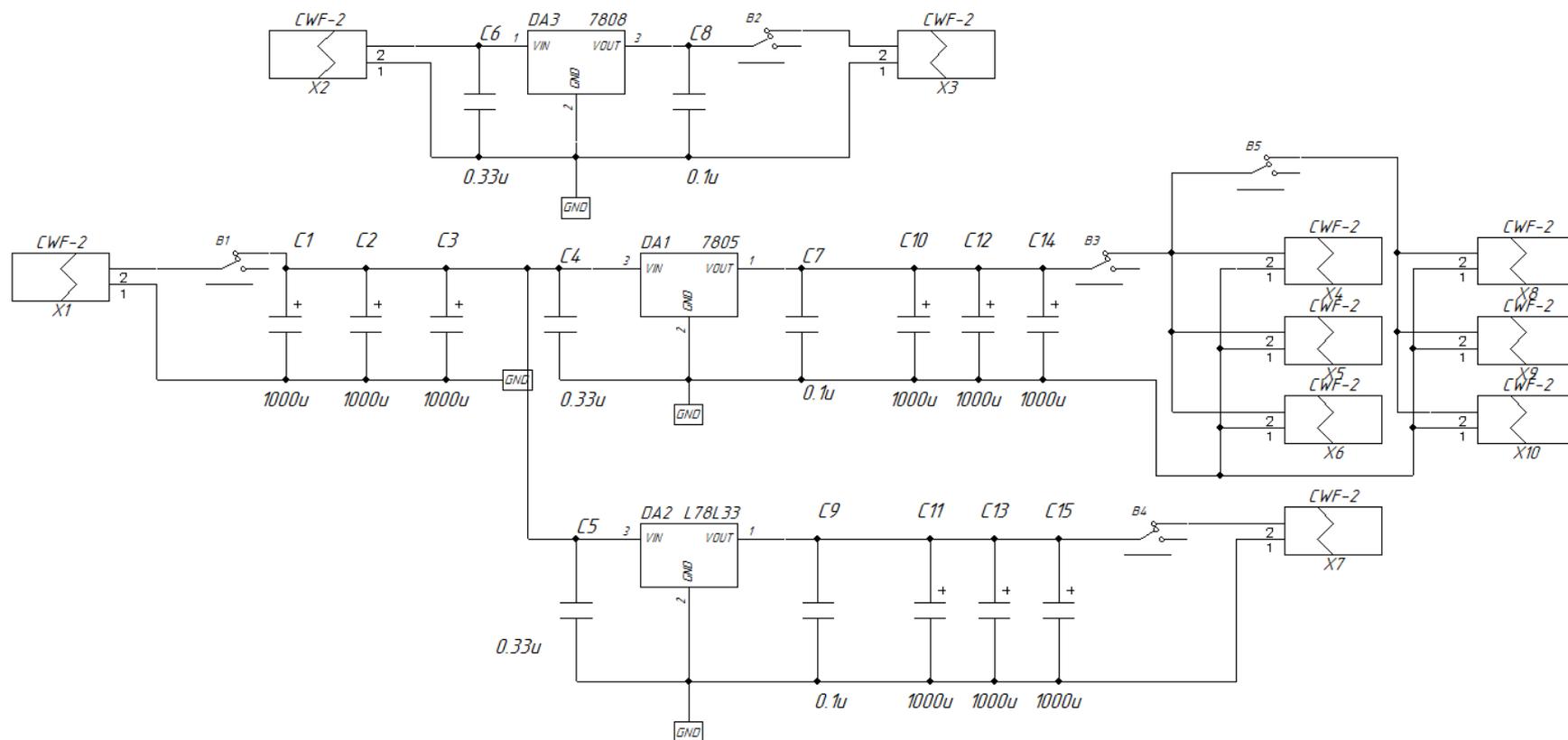
Принципиальная электрическая схема модуля управления



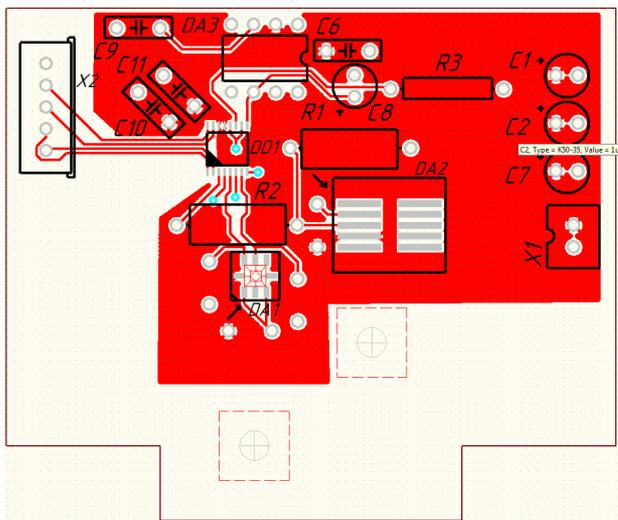
Принципиальная электрическая схема навигационного модуля



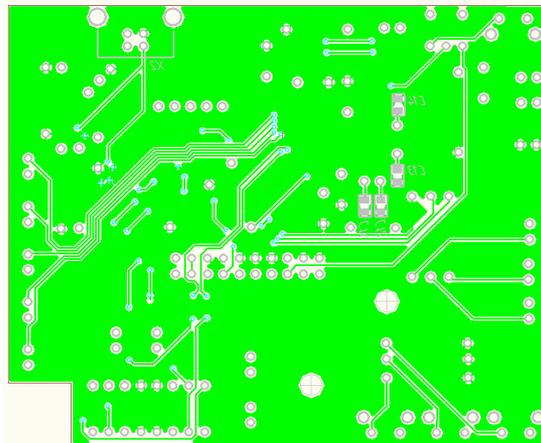
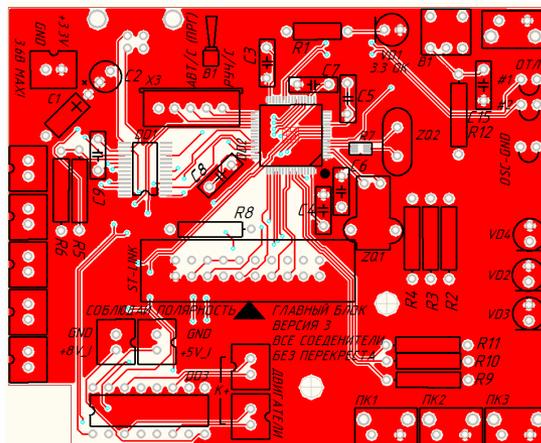
Принципиальная электрическая схема модуля источника питания



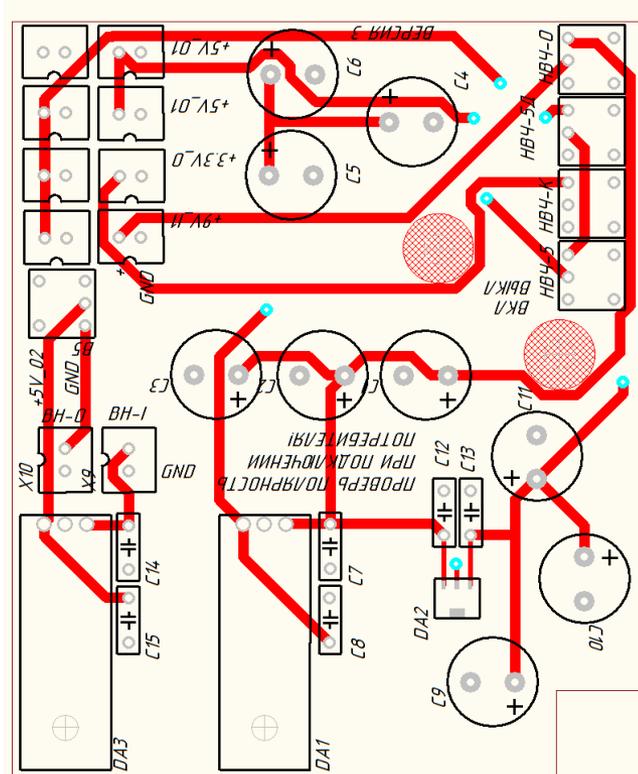
Печатные платы экспериментального устройства



ПП навигационного модуля; показан только верхний слой

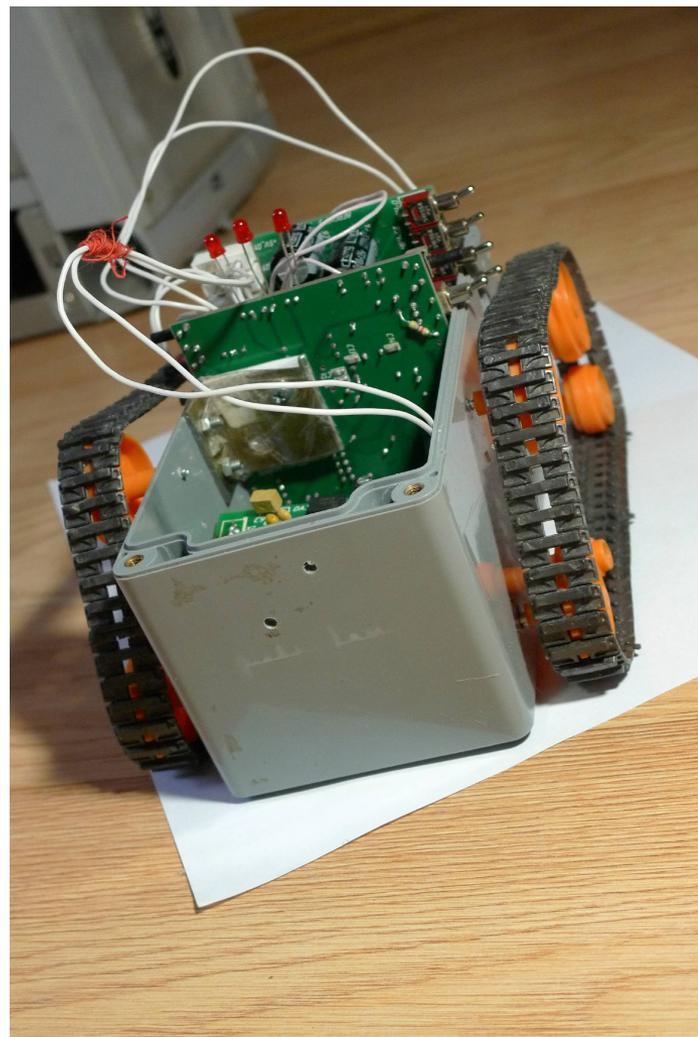
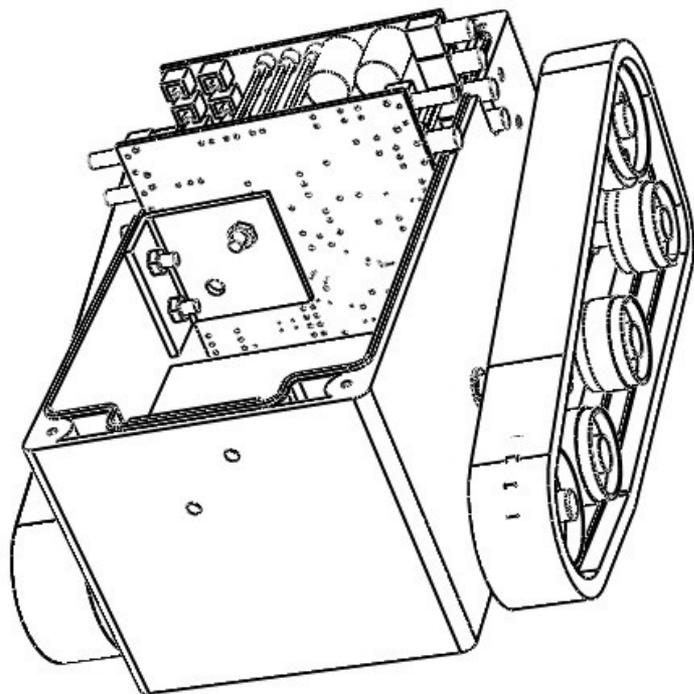


ПП модуля управления



ПП модуля источника ; питания; показан только верхний слой

Устройство в собранном виде



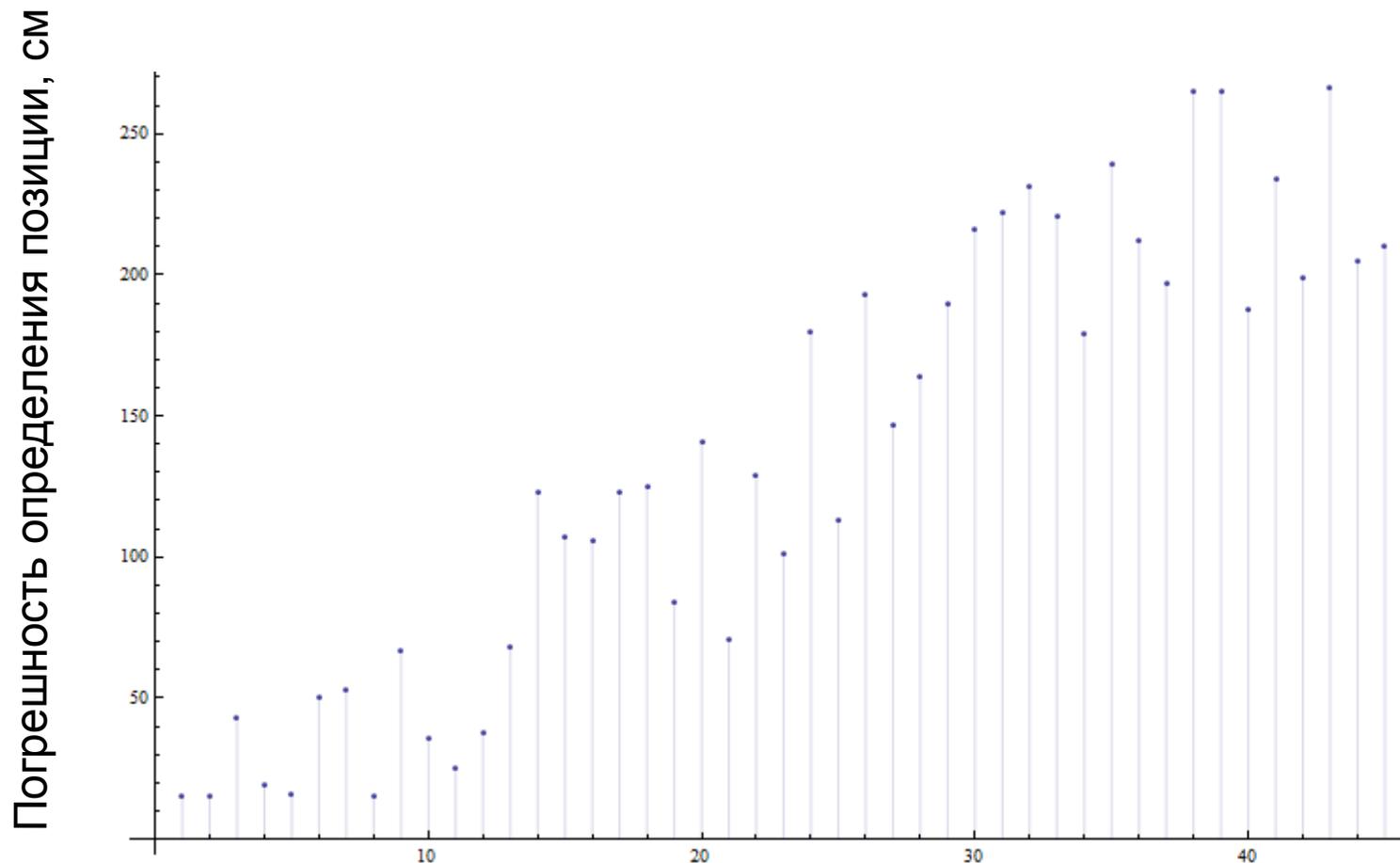
Блок-схема алгоритма работы экспериментального устройства



Производительность АЦП AD7799 позволяет производить измерение выходного значения каждого датчика как минимум 20 раз в секунду.

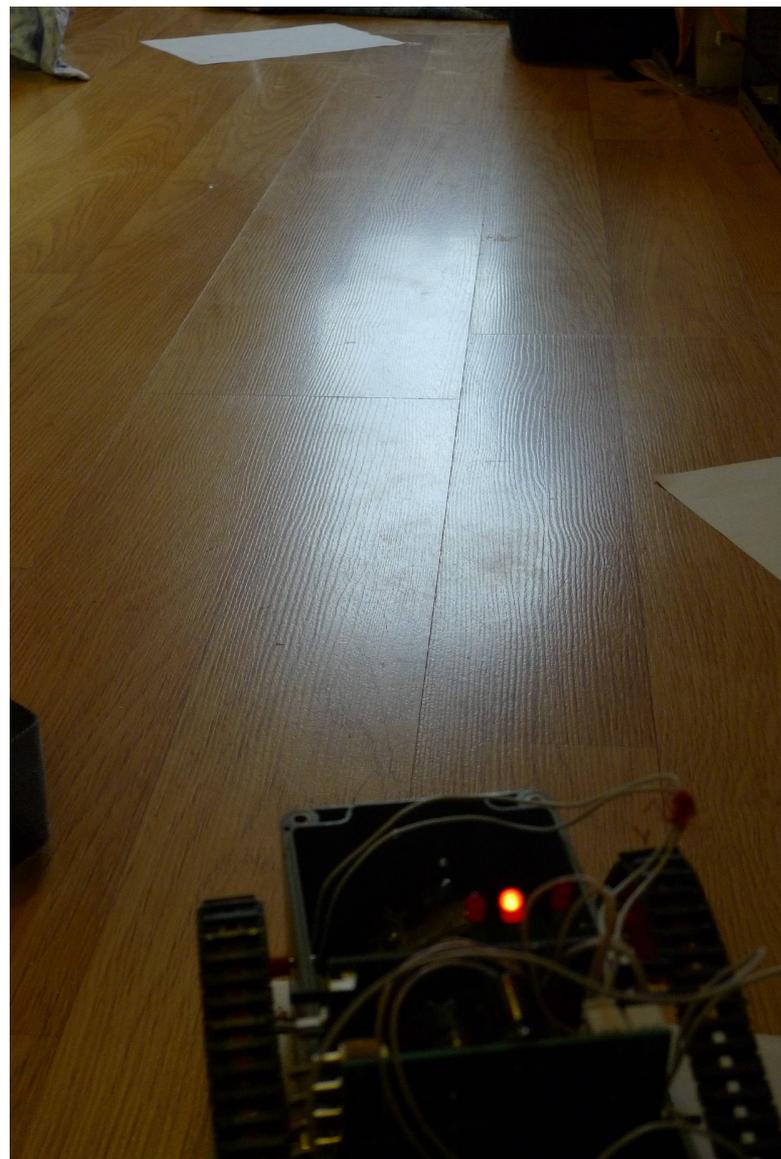
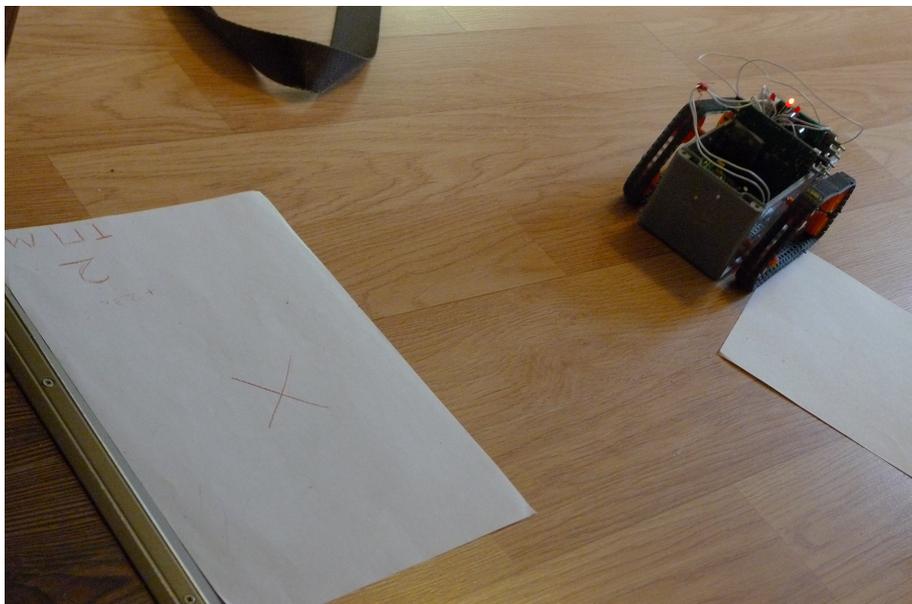
Именно с такой частотой обновления датчиков и проводился эксперимент.

Результаты эксперимента



Количество пройденных маршрутов
(длина одного маршрута – 2,5 м, длина 45 маршрутов – 108 м)

Фотографии с эксперимента



Результаты испытаний

В среднем погрешность определения позиции при использовании MEMS-датчиков растёт примерно как

$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ от пройденного расстояния.

Выводы

1. Полностью автономная инерциальная навигация на MEMS-датчиках невозможна ввиду быстро растущей погрешности.
2. Возможно использование навигационных систем на MEMS-датчиках в паре с навигационными системами, основанными на других принципах, для повышения общей точности (например, использование MEMS-датчиков при кратковременной недоступности спутников системы GPS).
3. Точность позиционирования можно повысить с помощью специальных способов фильтрации сигналов, например, фильтра Калмана, и увеличением частоты получения показаний датчиков.

Список использованной литературы

- Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. Справочник по физике для инженеров и учащихся вузов. 8-е изд., перераб. и испр. — М.: ООО «Издательство Оникс», 2007. — 1056 с.: ил.
- Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: Учебное пособие. Пер. с англ. / под ред. Я. А. Смородинского. Изд. 8-е, суц. испр. — М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. — 440 с.
- Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. — М.: Машиностроение, 1982. — 216 с., ил.
- A. D. King. Inertial Navigation — Forty Years of Evolution. // GEC REVIEW VOL. 13, NO. 3, 1995. С. 140–149.
- Д. И. Бугров. Одноосный вибрационный гироскоп. // Фундаментальная и прикладная математика, 2005, том 11, № 8, с. 149—163
- ООО «НПК Планар». Корпуса для РЭА GAINTA. — 2007. Доступно на сайте gainta.ru, режим доступа http://www.gainta.ru/products/bodies/files/Gainta_Catalogue.pdf
- Analog Devices. AD7798/AD7799. 3-Channel, Low Noise, Low Power, 16-/24-Bit, Sigma-Delta ADC with On-Chip In-Amp. Rev A — 2007. Доступно на сайте [analog.com](http://www.analog.com), режим доступа http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7798_7799.pdf

Список использованной литературы

- Tamiya Inc. Item No 17168. Double Gearbox (Left/Right Independent 4-Speed). Доступно на сайте [tamiya.com](http://www.tamiya.com), режим доступа <http://www.tamiya.com/english/products/70167gearbox/index.htm>.
- QX Motor. QX-FF-103 — Precious metal-brush motor. Доступно на сайте www.qxmotor.com.hk, режим доступа <http://www.qxmotor.com.hk/frame.html?QXFF130.html>
- ST Microelectronics. L78xx — L78xxC. L78xxAB — L78xxA. Positive voltage regulator ICs. Rev 25 — 2011. Доступно на сайте [st.com](http://www.st.com), режим доступа http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000444.pdf
- ST Microelectronics. L78LxxAB. L78xxAC — L78LxxC. Positive voltage regulators. Rev 18 — 2011. Доступно на сайте [st.com](http://www.st.com), режим доступа http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000446.pdf
- ST Microelectronics. Reference manual RM0008. STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced ARM-based 32-bit MCUs. Rev 14 — 2011. Доступно на сайте [st.com](http://www.st.com), режим доступа http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/REFERENCE_MANUAL/CD00171190.pdf

Список использованной литературы

- ST Microelectronics. User Manual UM0627. ST-LINK in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32 microcontroller. Rev 5 — 2011. Доступно на сайте st.com, режим доступа http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/USER_MANUAL/CD00221563.pdf
- ST Microelectronics. Application Note AN2586. Getting started with STM32F10xxx hardware development. Rev 7 — 2011. Доступно на сайте st.com, режим доступа http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00164185.pdf
- ST Microelectronics. Application Note AN2867. Oscillator design guide for ST microcontrollers. Rev 7, 2011. Доступно на сайте st.com, режим доступа http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00221665.pdf
- Analog Devices. ADXL103/ADXL203: Precision ± 1.7 g, ± 5 g, ± 18 g Single-/Dual-Axis iMEMS® Accelerometer. Rev. D — 2011. Доступно на сайте analog.com, режим доступа http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf.
- Murata Microelectronics. SPECIFICATION for MEMS GYRO SENSOR: MURATA PRODUCTION PART NUMBER MEV-50A-R. Рукопись, 6 стр.

Список использованной литературы

- Analog Devices. AD780: 2.5 V/3.0 V High Precision Reference. Rev E — 2004.
Доступно на сайте [analog.com](http://www.analog.com), режим доступа
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD780.pdf
- Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: Учебное пособие. — СПб: Издательство «Лань», 2010. — 608 с.: ил.
- Брадис В. М. Четырёхзначные математические таблицы. — 13-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2010. — 93, [3] с. :ил.



Спасибо за внимание!

Вопросы к докладчику

?