

УДК 621.396.621

Встраиваемый модуль высокоточного спутникового трёхчастотного навигационного приемника MC149.01

*Докладчик: Михаил Юрьевич Клименко\*, ведущий инженер-программист  
ЗАО НТЦ «Модуль», Россия, г. Москва, 4-я ул. 8 марта, д.3  
\*e-mail: [m.klimenko@module.ru](mailto:m.klimenko@module.ru)*

Triple-band high-precision GNSS receiver MC149.01

*Spokesperson: Michael Klimenko\*, lead software engineer  
RC Module, Russia, Moscow, 3 Eighth March 4<sup>th</sup> Street  
\*e-mail: [m.klimenko@module.ru](mailto:m.klimenko@module.ru)*

### **Аннотация**

В статье рассматривается отечественный навигационный процессор K1888BC018, модуль трёхчастотного приёмника ГНСС MC149.01, построенный на этом процессоре, а также приведены описание и результаты сравнительных экспериментальных исследований, проведённых с приёмниками Swift Navigation Piksi Multi и Javad Lexion LGGD.

### **Abstract**

This article describes the BBP2 GNSS ASIC, the triple-band high-precision GNSS receiver MC149.01 built upon it, as well as the independent experiments conducted with the Swift Navigation Piksi Multi and Javad Lexion LGGD GNSS receivers.

**Ключевые слова:** ГЛОНАСС, ГНСС, СБИС K1888BC018, GPS, NeuroMatrix, RTK

**Keywords:** GLONASS, GNSS, GPS, NeuroMatrix, RTK, SoC BBP2

### **Введение**

Аппаратура потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) предназначена для решения задач координатного и временного обеспечения. На рынке представлен широкий ассортимент приёмников, обеспечивающих позиционирование: от недорогой аппаратуры широкого потребления, работающей в режиме абсолютной навигации с допустимыми ошибками порядка единиц и десятков метров, до прецизионных приёмников, функционирующих в дифференциально-фазовом режиме (*real-time kinematic*, *RTK*) для обеспечения местоопределения с сантиметровой и даже миллиметровой точностью.

ЗАО НТЦ «Модуль» завершил разработку встраиваемого модуля высокоточного спутникового трёхчастотного навигационного приемника MC149.01, предназначенного для построения навигационной аппаратуры потребителей геодезического уровня. Модуль построен на базе отечественной СБИС K1888BC018 собственной разработки. В статье произведен краткий обзор СБИС, проанализированы принципы построения модуля MC149.01, а также приведены результаты независимых экспериментальных исследований приёмника относительно прецизионного оборудования других фирм.

### **СБИС K1888BC018**

Рассматриваемая СБИС представляет собой цифровой программируемый приёмник класса система-на-кристалле и обеспечивает приём аналоговых сигналов и программно-аппаратную цифровую обработку [1]. СБИС содержит три основных вычислителя: два ядра NMC3 и ядро общего назначения ARM1176JZF-S. Для решения задач обработки сигналов также были применены четыре внутренних 10-разрядных АЦП, специализированный блок предварительной обработки DDC, а также аппаратный блок корреляторов. Общая структурная схема приведена на рисунке 1.

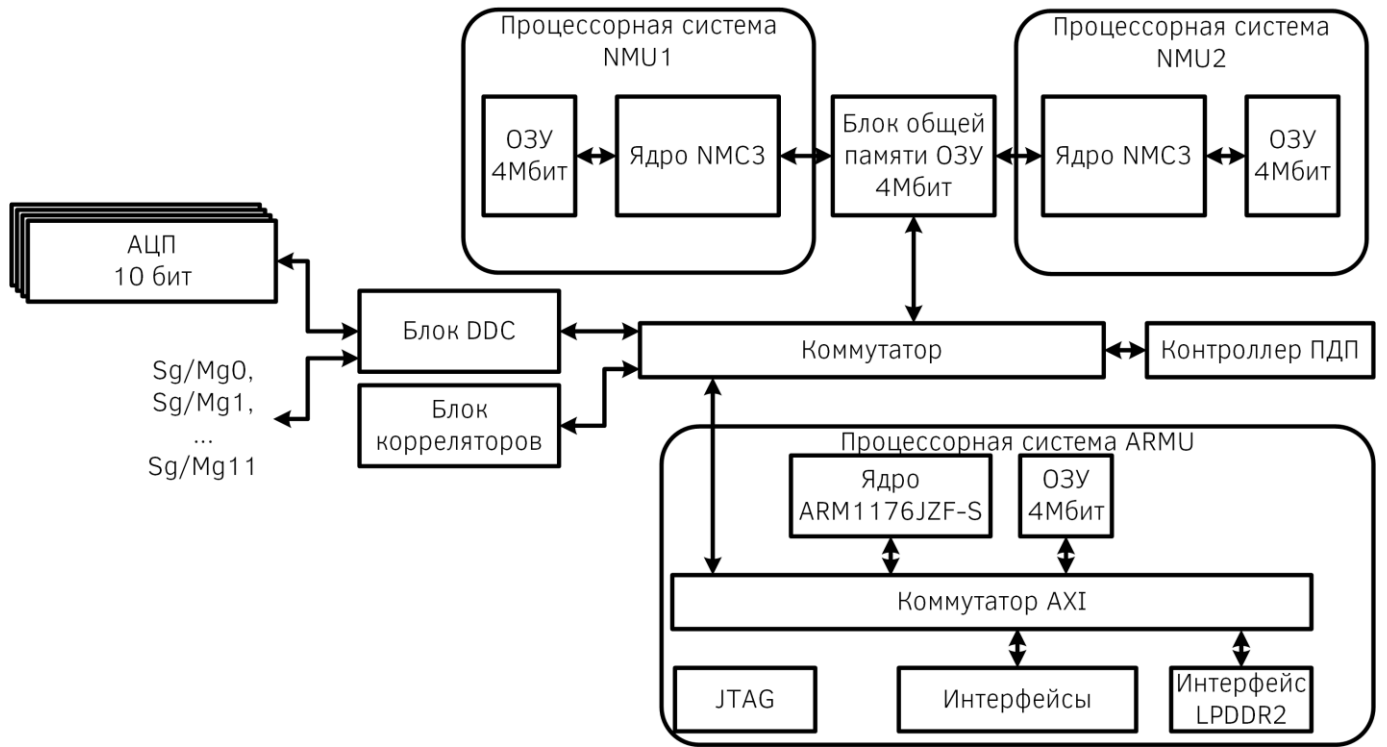


Рисунок 1 — Общая структурная схема СБИС K1888BC018

Особенностью микросхемы является функционирование аппаратного блока корреляторов в качестве сопроцессора на тактовой частоте процессорных ядер NMC3. Это означает, что в течение одной эпохи имеется возможность множество раз настраивать каналы корреляции, тем самым увеличивая итоговое количество обрабатываемых сигналов КА.

### Модуль MC149.01

На этапе системного проектирования модуля были предприняты меры по облегчению дальнейшей модернизации приёмника. Это стало возможным благодаря применению аппаратуры с широкими возможностями по программированию как в цифровой части приёмника (СБИС K1888BC018), так и в аналоговой (NTLab NT1065 «Nomada»). Общая структурная схема модуля приведена на рисунке 2.

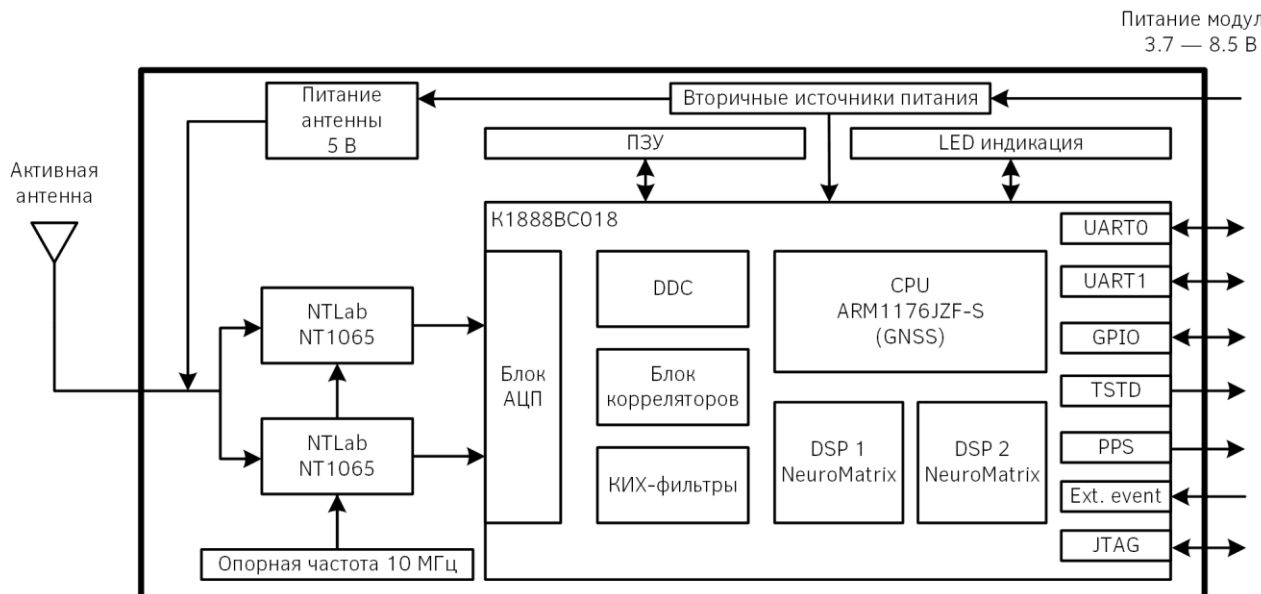


Рисунок 2 — Общая структурная схема модуля MC149.01

Питание модуля:  
3.7 — 8.5 В

В соответствии со структурной схемой, в модуле применено два радиоприёмных устройства (РПУ) NT1065 для работы во всех трёх существующих частотных диапазонах ГНСС. Частотный план приёмника приведен на рисунке 3. На данный момент поддерживаются сигналы GPS L1/L2/L5 и ГЛОНАСС L1/L2/L3. В частотный план также заложена возможность поддержки Galileo E1/E5 и BeiDou B1/B2.

Полностью программируемая архитектура приёмника позволяет без замены аппаратуры обновлять ПО не только в плане исправления обнаруженных ошибок или незначительных улучшений, но и также с целью глобального обновления приёмника в виде добавления нового функционала и обработки сигналов новых навигационных систем.

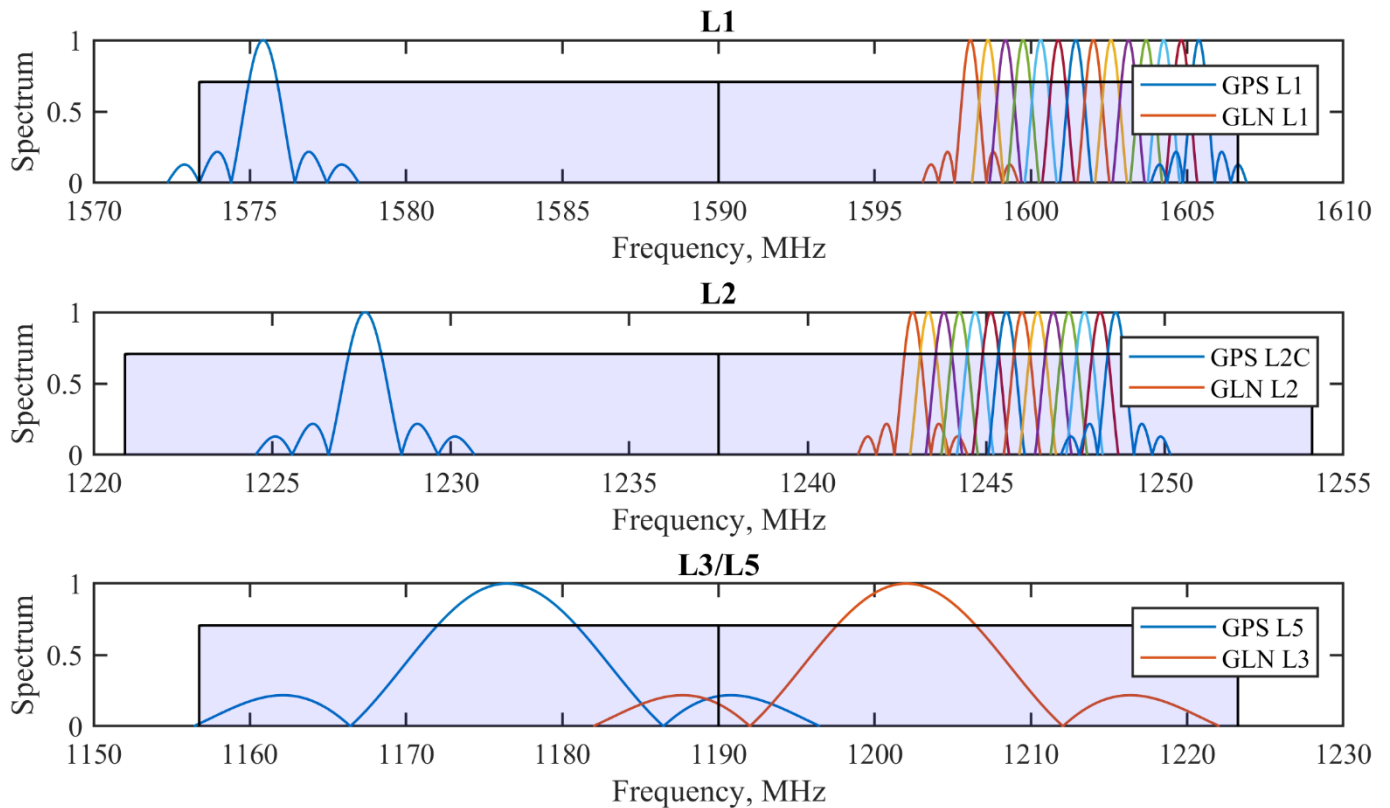


Рисунок 3 — Частотный план модуля MC149.01

Модуль навигационного приёмника MC149.01 содержит 80 независимых спутниковых каналов слежения, в каждом из которых содержится пятиотводный комплексный коррелятор. Применение этой техники позволяет значительно уменьшить кодовую ошибку многолучевого распространения сигнала. Модуль обеспечивает решение навигационной задачи с темпом до 20 Гц.

Отличительной особенностью модуля является поддержка и слежение за сигналами навигационных космических аппаратов в поддиапазоне L3/L5. Благодаря более широкой полосе, эти сигналы гораздо меньше подвержены ошибкам, связанным с многолучевым распространением сигнала. Помимо этого, к преимуществам работы с сигналами поддиапазона L3/L5 стоит отнести дополнительный набор независимых измерений, которые значительно улучшают позиционирование в дифференциально-фазовом режиме.

При разработке схмотехники модуля была реализована конструктивная совместимость с вычислительными модулями формата PC/104. Предполагается использовать модуль в геодезических приборах следующим образом: модуль MC149.01 осуществляет приём, обработку сигналов ГНСС, а также передачу «сырых» данных (псевдодальностей, псевдофаз и т. д.). Вычислительный модуль (т.н. процессор приложений) предназначен для приёма и/или передачи поправок, общения с внешними устройствами, а также решения задачи высокоточного позиционирования в реальном масштабе времени (RTK). Внешний вид модуля MC149.01 приведен на рисунке 4.

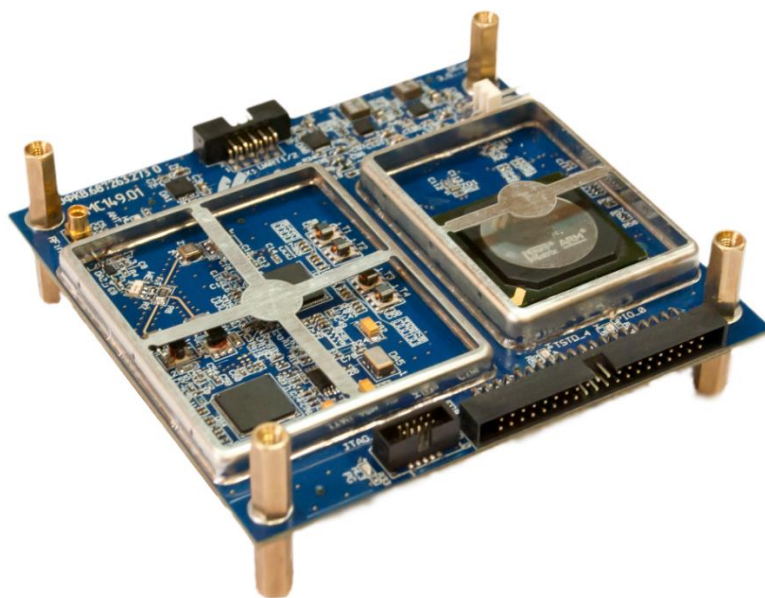


Рисунок 4 — Внешний вид модуля MC149.01

Для удобства конечных потребителей была произведена интеграция бинарного протокола модуля MC149.01 в комплект прикладных навигационных программ RTKLib, который является де-факто стандартом высокоточной навигации [2]. Использование программ RTKLib позволяет пользователю получать высокоточное решение с сантиметровой точностью при совмещении модуля MC149.01 с любым приёмником геодезического уровня других производителей.

#### Экспериментальные исследования

Для получения сравнительных характеристик приёмника были проведены экспериментальные исследования на базе учебно-исследовательского центра «Лаборатория навигационных систем» (УИЦ ЛНС). Эксперимент заключался в накоплении «сырых» данных приёмников при подключении к общей антенне (на «нулевой базе») с последующей пост-обработкой и оценкой статистических характеристик позиционирования и измерений. Для сравнения были взяты два приёмника: Swift Navigation Piksi Multi и Javad Lexon LGGD. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 5.

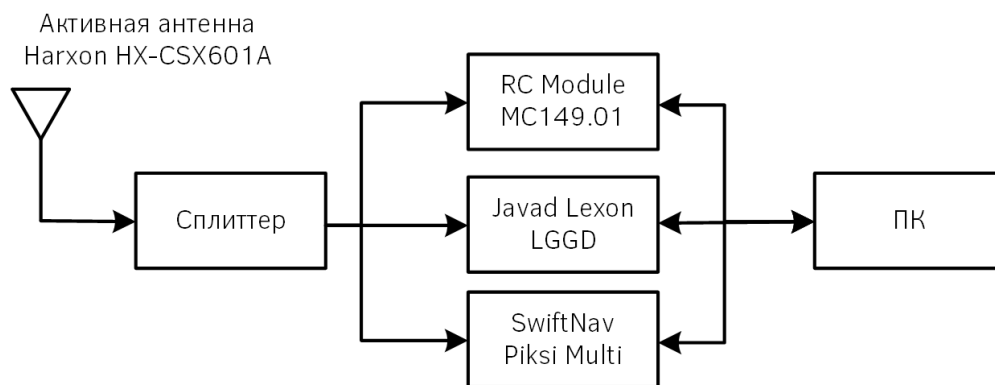


Рисунок 5 — Схема экспериментальной установки

«Сырые» данные приёмников собирались в течение двух часов, после чего были конвертированы в файлы формата RINEX 3. После этого были запрошены данные базовой станции для оценки точности позиционирования в дифференциально-фазовом режиме. Решение RTK-задачи было проведено утилитой *mx2rtkp.exe* из комплекта прикладных программ RTKLib. Результирующие точности приведены в таблице 1, визуализация RTK-решения представлена на рисунке 6.

Таблица 1

	MC149.01	Piksi Multi (Swift)	Lexon LGGD (Javad)
СКО по долготе (мм)	4.2	4.1	4.6
СКО по широте (мм)	7.8	8.7	9.6
СКО по высоте (мм)	10.5	11.7	10.6

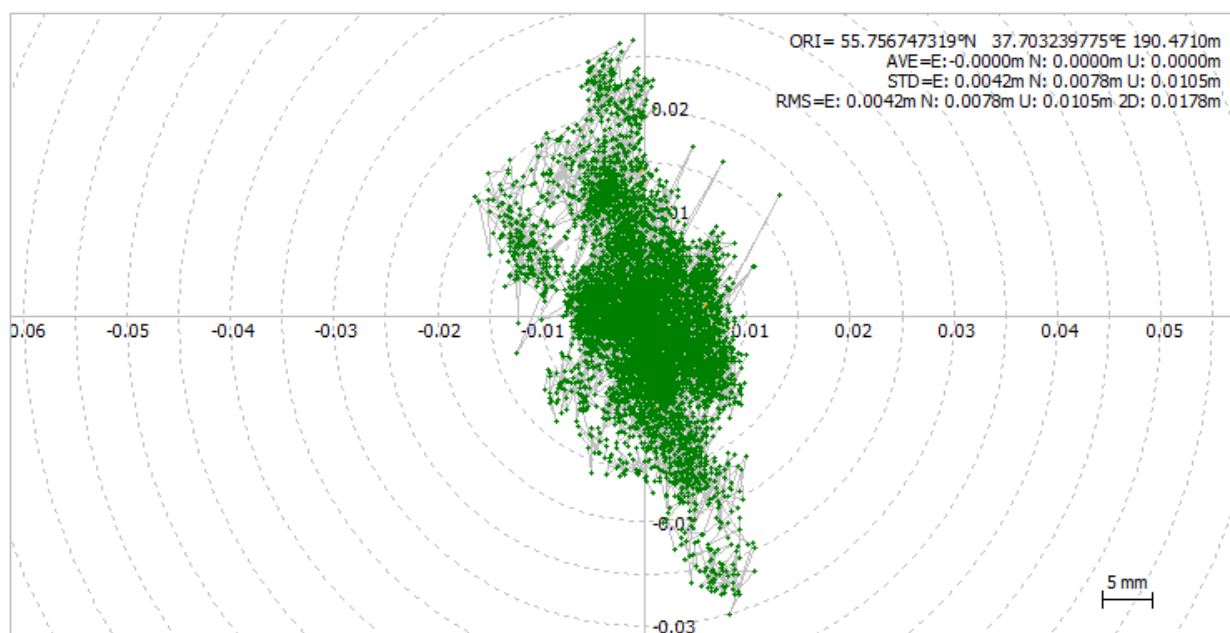


Рисунок 6 — RTK-решение модуля MC149.01 в рамках экспериментальных исследований

Точность «сырых» измерений приёмников определяется по оценке вторых разностей псевдофазовых измерений [3]. Расчёт был осуществлён для трёх возможных комбинаций приёмников. Результаты приведены в таблице 2. В связи с тем, что в приёмниках Swift и Javad отсутствуют измерения в третьем частотном диапазоне, исследования производились в режиме GPS/ГЛОНАСС L1+L2.

Таблица 2

	MC149.01 - Piksi	MC149.01 - Javad	Piksi - Javad
GPS L1, СКО (циклы)	0.0047	0.01	0.008
GLN L1, СКО (циклы)	0.0103	0.0115	0.0107
GPS L2, СКО (циклы)	0.0093	0.013	0.013
GLN L2, СКО (циклы)	0.0106	0.0112	0.0110

Проведённые эксперименты показывают высокое качество формирования «сырых» псевдофазовых измерений приёмника MC149.01. Качество «сырых» измерений и точность решения RTK-задачи показывают результаты, сравнимые и превосходящие современные аналоги.

### Заключение

В ЗАО НТЦ «Модуль» разработан первый отечественный трёхчастотный приёмник ГНСС, который по точности позиционирования и качеству «сырых» измерений сравним с зарубежными аналогами. Благодаря широким возможностям по программированию устройства, пользователи могут рассчитывать на постоянное улучшение качества приёмника и добавление обработки новых сигналов без необходимости покупки новой аппаратно-программной платформы.

### Список литературы

1. ЗАО НТЦ «Модуль». Микросхема интегральная K1888BC018. Руководство по эксплуатации.
2. Tomoji Takasu, Akio Yasuda. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB.
3. Pratap Misra, Per Enge. Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance