

Синхронизация измерений независимых датчиков (Scan Fish)

Ч .1 – Причины возникновения «эффекта пилы» на графиках вертикального градиента магнитного поля, настройка канала передачи измерений, оценка влияния «постоянной задержки», обусловленной временем подачи питания на магнитометр

Rev. 1.1

R.V. Geo Ranger
08.04.2024

Содержание

От автора	4
Введение. Постановка проблемы	5
1. Описание канала передачи данных от магнитометров в QINSy	7
2. Метод оценки задержек в канале передачи данных.....	9
3. Анализ задержек для разных настроек канала передачи данных	12
4. Анализ работы триггера-магнитометра	15
5. Обработка времени поступления данных (алгоритмическая синхронизация)	20
6. Сравнение результатов сглаживания и алгоритмической синхронизации	22
7. Влияние «постоянной задержки» на результаты расчета VG.....	24
Заключение.....	28
Приложение 1. Оценка задержки передачи данных с магнитометров при разных настройках канала передачи данных.....	30

История изменений

Версия	Дата	Описание изменений
1.0	2023-12-03	Документ создан // Иван Д.
1.1	2024-04-08	Документ отредактирован // Иван Д.

Список рисунков

Рисунок 0.1	Графики вертикального градиента с эффектом пилы, график VG.....	5
Рисунок 0.2	Периодически повторяющиеся измерения на графиках магнитного поля, графики T ...	5
Рисунок 0.3	Пример эффекта пилы: ScanFish, 10 магнитометров, графики T и VG	6
Рисунок 0.4	Результат осреднения В-сплайном, график VG	6
Рисунок 1.1	Схема передачи потока данных от магнитометров в QINSy	7
Рисунок 2.1	Шаг измерений (период измерений) во времени	9
Рисунок 2.2	Задержки в поступлении данных для 8ми магнитометров, показанные на оси времени	10
Рисунок 2.3	Шаг между записями в 0.009 секунд при периоде измерений 0.1 секунда	11
Рисунок 3.1	Пропуск измерений порт-сервером PServ_2PS.....	13
Рисунок 3.2	Схема рабочей конфигурации передачи данных от магнитометров в QINSy.....	13
Рисунок 3.3	Появление задержек при включении Switch в канал передачи данных	13
Рисунок 3.4	Увеличение разброса в шаге данных при выполнении геофизической съемки.....	14
Рисунок 3.5	Сравнение вертикальных градиентов для исходной и <i>рабочей</i> конфигураций канала передачи данных	14
Рисунок 4.1	Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag4 по записи UDP_10Hz_PS (Mag5,6,7,8 recovered).....	15
Рисунок 4.2	Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag3 по записи UDP_10Hz_PS-Switch (Mag5,6,7,8 recovered)	16
Рисунок 4.3	Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag1 по записи 0146_059_PS	17
Рисунок 4.4	Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag1 по записи 0146_059_SB.....	18
Рисунок 5.1	Уменьшение разброса для шага измерений при осреднении в скользящем окне	20
Рисунок 5.2	Сравнение графиков вертикального градиента магнитного поля, построенных по данным записанным в 8Mag-log и по данным записанным в 1Mag-log с последующей обработкой	20
Рисунок 6.1	Сравнение результата применения “rollingstats” с результатом алгоритмической синхронизации, графики VG.....	22
Рисунок 6.2	Сравнение результата применения “rollingstats” с результатом алгоритмической синхронизации (аномалия большой амплитуды), графики VG.....	23
Рисунок 7.1	Пример эффекта пилы: ScanFish, 10 магнитометров, графики VG, файл 8Mag-log (50 отсчетов на горизонтальной шкале соответствуют примерно 12 метрам).....	24
Рисунок 7.2	Аномалия VG для высот 2 и 2.5 метров, при постоянном запаздывании измерений верхнего магнитометра на 0.2 метра; оси в метрах, цветовая шкала в нТл	26
Рисунок 7.3	Аномалия VG для высот 7 и 7.5 метров, при постоянном запаздывании измерений верхнего магнитометра на 0.2 метра; оси в метрах, цветовая шкала в нТл	26
Рисунок 7.4	Аномалия VG для высот 2 и 2.5 метров при постоянном запаздывании измерений верхнего магнитометра при съемке на встречных галсах; оси в метрах, цветовая шкала в нТл	27

Список таблиц

Таблица 1.1	Конфигурация подключения магнитометров к порт-серверам	8
-------------	--	---

От автора

Содержимое документа раскрывает три особенности в работе ScanFish:

- измерения магнитных датчиков привязываются ко времени регистрирующей программой в момент получения данных, а не аппаратурой в момент измерения;
- в цифровом канале передачи данных от магнитного датчика к регистрирующей программе присутствуют задержки;
- магнитные датчики не синхронизированы между собой и выполняют измерения как совершенно обособленные части оборудования.

Следствие этих особенностей – необходимость дополнительной математической обработки, для приведения измерений магнитометров к единым отметкам времени и необходимость дополнительной настройки оборудования.

Если бы этот документ писался сейчас, то его структура и порядок изложения были бы совершенно другими – вероятно он был бы построен по принципу «изложение утверждения, приведение обоснования». Однако, первые страницы документа были написаны в то время, как *эффект пилы* (относительно высокоамплитудных «зубьев» на графиках градиента магнитного поля) был только обнаружен, а система регистрации магнитометров в QINSy, построенная на использовании *магнитометра-триггера*, являлась «стандартом де-факто» и не вызывала никаких сомнений. Исходно, первые страницы документа содержали описание обнаруженного эффекта пилы. Далее документ дополнялся по мере выполнения тестовых измерений и экспериментов. Соответственно, все изложение построено по принципу – описание непонятного эффекта, поиск причины, предполагаемая причина эффекта, результаты ее устранения.

Можно выделить следующие этапы в написании документа:

- Обнаружение эффекта пилы на записях магнитного поля (Введение, Глава 1 и Глава 2);
- Обнаружение сильных задержек в канале передачи данных от ScanFish к QINSy. Проведение серии экспериментов (Приложение 1) и снижение уровня задержек до приемлемого (Глава 3);
- Обнаружение того, что измерения магнитометров на ScanFish не являются синхронизированными (Глава 4);
- Применение метода *алгоритмической синхронизации* и его результаты (Глава 5). Алгоритм и математические приемы, используемые при алгоритмической синхронизации, изложены во второй части, которая оформлена как отдельный документ;
- Сравнительный анализ данных, обработанных с использованием алгоритмической синхронизации и без ее использования (Глава 6). Анализ влияния «задержек во времени измерений» на форму и положение магнитных аномалий (Глава 7).

Для читателя, в планы которого не входит мысленно проходить все этапы экспериментов и последовательно находить причины эффектов, которые выявляются в данных, лучшим решением будет начать чтение документа с Заключения, после чего читать основной текст воспринимая его как обоснование уже известных выводов.

Введение. Постановка проблемы

Исходные условия. При помощи ScanFish, на которой установлено два ряда по 4 магнитометра G-882 (каждый магнитометр подключен индивидуально), выполняется магнитная съемка. Запись измерений магнитного поля (Т) осуществляется в файл 8Mag-log, содержащий измерения восьми магнитометров.

Описание проблемы. На графиках вертикального градиента (VG) магнитного поля (разность между показаниями магнитометров 1–2, 3–4, 5–6, 7–8) образуется «пила» (эффект пилы или saw-effect). Пример четырех графиков вертикального градиента с «пилой» показан на Рисунке 0.1. Требуется определить причину возникновения «пилы» и убрать ее с графиков вертикального градиента.

Дополнительной особенностью является то, что для датчиков 1–2 «пила» отсутствует (Рисунок 0.1, синяя стрелка).

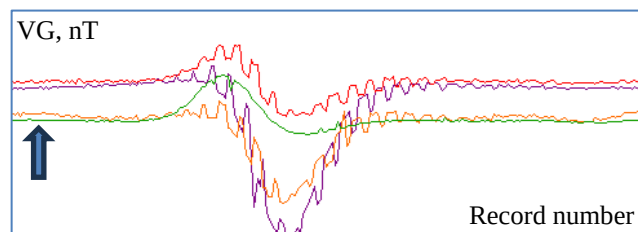


Рисунок 0.1 Графики вертикального градиента с эффектом пилы, график VG

При анализе графиков магнитного поля на них видны «периодически повторяющиеся измерения» (Рисунок 0.2). В качестве начального предположения можно принять следующее: по какой-то причине данные одного магнитометра «залипают» (далее под этим словом в тексте подразумевается повторение измерения магнитометра), в то время как парный ему выполняет следующее измерение. За счет этого «залипания» на участках с высоким градиентом магнитного поля образуется «пила». Следовательно, для полного понимания процесса, необходимо проанализировать задержки во времени передачи данных от магнитного сенсора до QINSy.

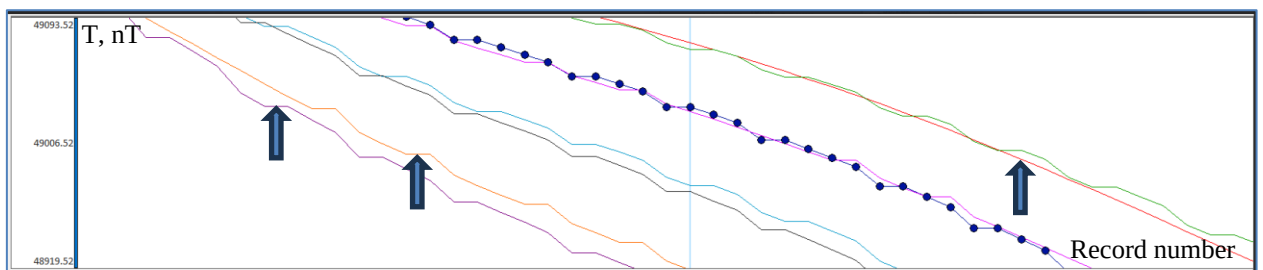


Рисунок 0.2 Периодически повторяющиеся измерения на графиках магнитного поля, графики Т

Пример эффекта «пилы» для ScanFish с 10 магнитометрами показан на Рисунке 0.3. Некоторые «зубья», которые искажают сигнал, имеют амплитуду более 100нТл.

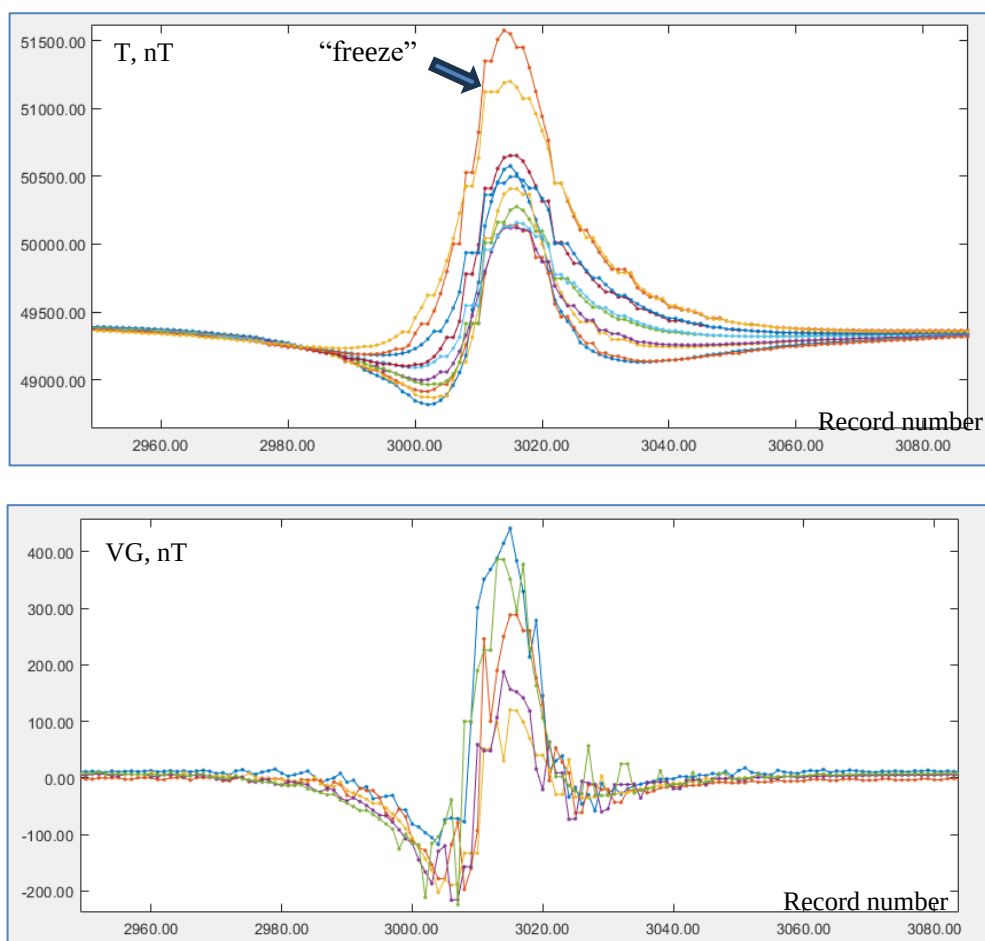


Рисунок 0.3 Пример эффекта пилы: ScanFish, 10 магнитометров, графики T и VG

Силовое решение проблемы. Частичное удаление «пилы» возможно при помощи применения В-сплайна или иных методов сглаживания к исходному магнитному полю, при этом «застывшие» значения смещаются за счет осреднения и «пила» сильно ослабляется. На Рисунке 0.4 показан пример использования В-сплайна.

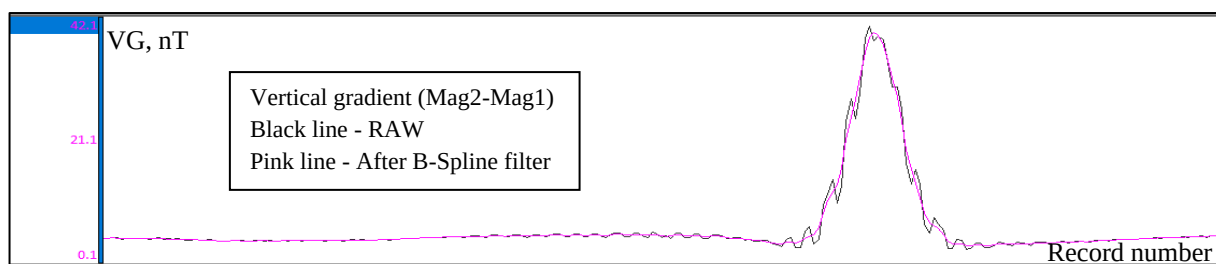


Рисунок 0.4 Результат осреднения В-сплайном, график VG

Однако, при таком подходе, форма магнитных аномалий восстанавливается не точно: во-первых, магнитное поле усредняется к середине «зубьев пилы», что не соответствует действительности (реальная кривая проходит преимущественно по верху или по низу «зубьев пилы»); во-вторых, в результатах осреднения присутствуют короткопериодные изгибы (не до конца сглаженные «зубья пилы») искажающие форму магнитной аномалии. Более подробно обработка при помощи сглаживания описана в Главе 6.

1. Описание канала передачи данных от магнитометров в QINSy

Схема потока данных от магнитометров к QINSy показана на Рисунке 1.1.

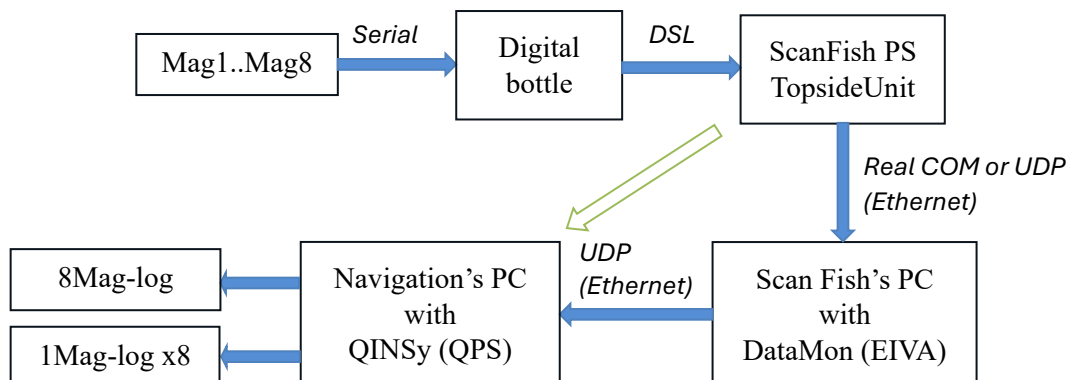


Рисунок 1.1 Схема передачи потока данных от магнитометров в QINSy

Данные с магнитометров G-882 через параллельный интерфейс (подобный RS-428) передаются в цифровой модуль, установленный на ScanFish. После этого данные (вероятно, с использованием интерфейса подобного DSL-модему) по коаксиальному кабелю передаются на TopsideUnit, установленный в лаборатории. Далее, данные через Ethernet передаются на компьютер с установленным программным обеспечением DataMon (по умолчанию для передачи используется протокол Real COM, но может быть использован и UDP). В DataMon выполняется переформатирование данных, и они через Ethernet по протоколу UDP передаются на навигационный компьютер с установленным программным обеспечением QINSy, которое записывает их в лог-файл 8Mag-log.

Альтернативным путем передачи данных (показан на Рисунке 1.1 зеленой стрелкой) может быть отправка данных с TopsideUnit непосредственно в QINSy, исключая переформатирование данных в DataMon.

QINSy

В QINSy выбирается магнитометр, который выполняет функции «триггера» (обычно выбирается Mag1). По времени поступления измерения с этого магнитометра актуальные данные (последние, полученные до этого момента измерения со всех восьми магнитометров) записываются в **8Mag-log** файл.

Можно предположить, что отсутствие «пилы» на вертикальном градиенте для датчиков 1-2 (Рисунок 0.1, синяя стрелка) связано с тем, что триггером выбран Mag1.

Кроме 8Mag-log, для анализа задержек в поступлении данных, в QINSy были созданы отдельные логи для каждого магнитометра (**1Mag-log** x8). Запись в эти логи осуществляется в момент поступления измерения с каждого магнитометра.

Порт-серверы

Физическим коннекторам на Digital Bottle, через которые данные посылаются на TopsideUnit, соответствуют 2 порт-сервера по 4 порта (всего 8 портов). На ScanFish размещены 3 Digital Bottle, то есть имеется 24 порта для передачи данных. Через порт-серверы осуществляется передача данных как магнитометров, так и иных датчиков (MRU, SVP, Altimeter, Depth sensor). В Таблице 1.1 показана конфигурация подключения магнитометров к порт-серверам для обоих ScanFish.

Таблица 1.1 Конфигурация подключения магнитометров к порт-серверам

Port ScanFish		Starboard FcanFish	
Mag1	PServ_1PS	Mag1	PServ_1SB
Mag2		Mag2	
Mag3		Mag3	
Mag4		Mag4	
Mag5	PServ_2PS	Mag5	PServ_2SB
Mag6		Mag6	PServ_3SB
Mag7		Mag7	
Nag8		Nag8	
PServ_1PS – ver. 82000747_2, 10/19/2020; IP10.10.103.101			
PServ_2PS – ver. 82000747_2, 10/19/2020; IP10.10.103.104			
PServ_1SB – ver. 82000747_AA, 06/17/2022; IP10.10.103.101			
PServ_2SB – ver. 82000747_2, 10/19/2020; IP10.10.103.105			
PServ_3SB – ver. 82000747_AA, 06/17/2022; IP10.10.103.104			

2. Метод оценки задержек в канале передачи данных

Магнитометры оснащены точным кварцем, поскольку магнитное поле рассчитывается через «подсчет прецессии», где этот кварц задействован (не совсем точное выражение для квантового магнитометра, но в целом их принцип близок к протонным). Поэтому периодичность измерений во времени у магнитометров очень стабильна. Исходя из этого погрешность времени передачи измерений по цифровому каналу можно оценить, вычитая из времени текущего измерения время предыдущего измерения (для одного магнитометра) и получая вычисленный *шаг между измерениями* или шаг измерений во времени (его также можно назвать периодом измерений).

График, построенный по результатам таких вычислений для времени, которое зарегистрировано в 8Mag-log показан на Рисунке 2.1. По горизонтальной оси отложен номер измерения, по вертикальной оси отложен шаг или период измерений. Поскольку в качестве триггера использовался Mag1, то период измерений фактически оценен для Mag1.

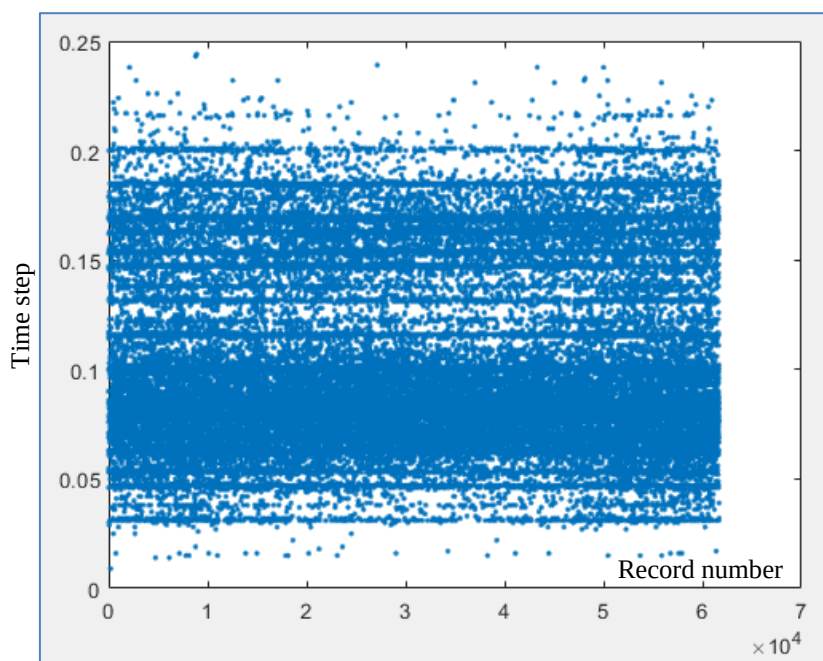


Рисунок 2.1 Шаг измерений (период измерений) во времени

Аппаратурно шаг (период) измерений для всех восьми магнитометров был установлен в 0.1 секунды. Как видим, на графике присутствует значительный разброс в шаге измерений от 0.01 секунды до 0.24 секунд. Скачки измерений магнитометров во времени относительно магнитометра-триггера на величину, превышающую аппаратный период измерений, будут приводить к тому, что в промежутке времени между триггерами в QINSy не поступят данные магнитометров со «скачком времени». Это, в свою очередь, приведет к тому, что QINSy будет повторять предыдущее значение измерения вместо пропущенного (то есть возникнет «залипание данных», показанное на Рисунке 0.2). Такое «залипание» приведет к образованию «пилы» при вычислении вертикального градиента (с шириной «зубьев» или «интервалов залипания» до 4х

измерений). Особенно сильно «пила» будет видна на участках с высоким градиентом магнитного поля.

На Рисунке 2.2 показаны задержки передачи данных для восьми магнитометров (8 рядов точек разного цвета) построенные по файлам 1Mag-log для каждого магнитометра. По горизонтальной оси отложен номер измерения, а по вертикальной – время измерения (в отличие от «шага измерений» который отложен по вертикальной оси на Рисунке 2.1). Стрелками показаны места задержек и пропусков измерений.

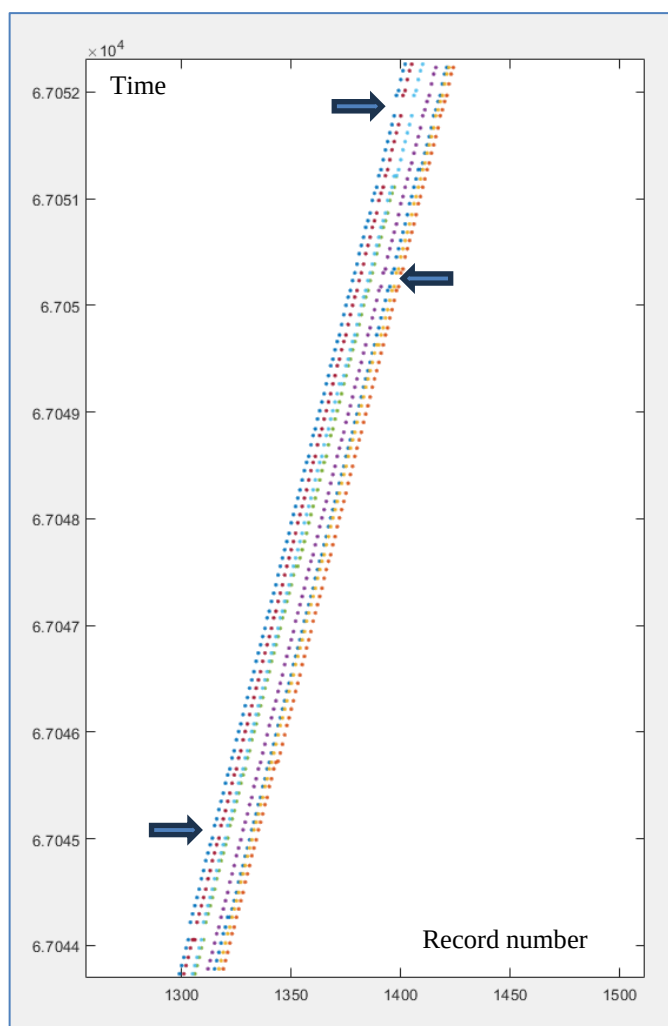


Рисунок 2.2 Задержки в поступлении данных для 8ми магнитометров, показанные на оси времени

Измерения магнитометра-триггера будут поступать в QINSy с задержками (шагом измерений от 0.01 до 0.24 секунд). QINSy в соответствии с таким триггером будет определять (и записывать в 8Mag-log файл) координаты магнитометра также с задержками (шагом во времени между определением координат от 0.01 до 0.24 секунд). Пример шага измерений между записями в 0.009 секунд показан на Рисунке 2.3. Это же касается и иных датчиков, которые QINSy записывает в 8Mag-log файл.

206	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:17.818,EC10-14_077,4	,,5	0,4.20,-2.63,160.8
207	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:17.887,EC10-14_077,4	,,5	0,4.20,-2.63,160.8
208	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:17.971,EC10-14_077,4	,,5	0,4.20,-2.63,160.8
209	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.141,EC10-14_077,4	,,5	0,4.20,-2.63,160.8
210	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.280,EC10-14_077,4	,,5	0,2.93,-2.01,160.8
211	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.289,EC10-14_077,4	,,5	0,2.93,-2.01,160.8
212	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.388,EC10-14_077,4	,,5	0,2.93,-2.01,160.7
213	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.573,EC10-14_077,4	,,5	0,2.93,-2.01,160.7
214	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.657,EC10-14_077,4	,,5	0,2.93,-2.01,160.7
215	0052_GRA_NOR_ECR_EC10-14_077_MBES	--0001.db,08/12/2023,10:01:18.720,EC10-14_077,4	,,5	0,2.93,-2.01,160.8

Рисунок 2.3 Шаг между записями в 0.009 секунд при периоде измерений 0.1 секунда

Следовательно, вдоль траектории движения магнитометра по расстоянию вдоль трека, точки также будут распределены неравномерно (то почти в одной точке, то с двойной дистанцией). При скорости судна 4 узла и частоте регистрации 10 Гц, расстояние между измерениями будет варьироваться от 0 до 40 см при реальном расстоянии 20 см. Однако, наибольшее влияние описанные «задержки в поступлении данных» будут оказывать на расчет градиента (Рисунок 0.1).

3. Анализ задержек для разных настроек канала передачи данных

Для анализа зависимости задержек от настроек оборудования была выполнена серия экспериментальных записей в условиях порта (судно пришвартовано, ScanFish и магнитометры находятся на борту). При этом изменялись следующие настройки измерительной системы:

- частота регистрации 14, 12, 10 Гц;
- регистрация данных при передаче по протоколу UDP и RealCom (для порт-серверов);
- регистрация данных при передаче через DataMon и при прямом соединении TopsideUnit-QINSy (зеленая стрелка на Рисунке 1.1).

Графики шага измерений, построенные для различных настроек и конфигурации оборудования, приведены в Приложении 1. По результатам анализа графиков шага измерений, можно сделать следующие выводы:

- 1) Протокол RealCom не может быть использован при частоте измерений магнитометров более 10Гц. Вероятно, это не позволяет сделать пропускная способность канала передачи данных. При установке частоты измерений магнитометров 14Гц, частота приема измерений составляет примерно 12Гц (Приложение 1, рисунки: 1_COM_14Hz_PS-Mon, 2_COM_14Hz_SB). Для частоты измерений 12Гц, в потоке данных появляется много пропусков данных (Приложение 1, рисунки: 11_COM_12Hz_PS, 12_COM_12Hz_SB-Mon).
- 2) Частота измерений магнитометров 14Гц может быть записана с использованием протокола UDP, при соединении не через DataMon (Приложение 1, рисунки: 4_UDP_14Hz_SB, 5_UDP_14Hz_PS). Однако, будет появляться большее количество пропусков данных, причем для порт-сервера PServ_2 будут появляться пропуски из двух отсчетов подряд (Приложение 1, рисунок 5_UDP_14Hz_PS). При соединении через DataMon, количество пропусков увеличится.
- 3) Наименьший разброс во времени передачи данных имеет место для следующей конфигурации: передача выполняется по протоколу UDP; частота измерений магнитометров 10Гц; DataMon исключены из цепи передачи данных (Приложение 1, рисунки: 13_UDP_10Hz_PS-Switch, 14_UDP_10Hz_SB-Switch в Приложении 1). Данная конфигурация была выбрана как **рабочая конфигурация** для выполнения геофизической съемки.
- 4) Каждый порт-сервер (Таблица 1.1) обладает своими особенностями при передаче данных. Ниже приводится описание особенностей порт-серверов для рабочей конфигурации.
 - PServ_1PS – малый разброс шага измерений, примерно 0.0025 сек.;
 - PServ_2PS – малый разброс шага измерений и периодический пропуск измерений (Рисунок 3.1 – двойное время между поступлением данных и меньшее количество принятых отсчетов); пропуск измерений имеет место для PServ_2PS при любой конфигурации измерительной системы;
 - PServ_1SB – разброс шага измерений 0.0025 сек для Mag1&Mag2; разброс 0.02–0.04 сек для Mag3&Mag4;
 - PServ_2SB – разброс для шага измерений 0.02–0.04 для Mag5;
 - PServ_3SB – разброс шага измерений примерно 0.0025 для Mag6, Mag7, Mag8.

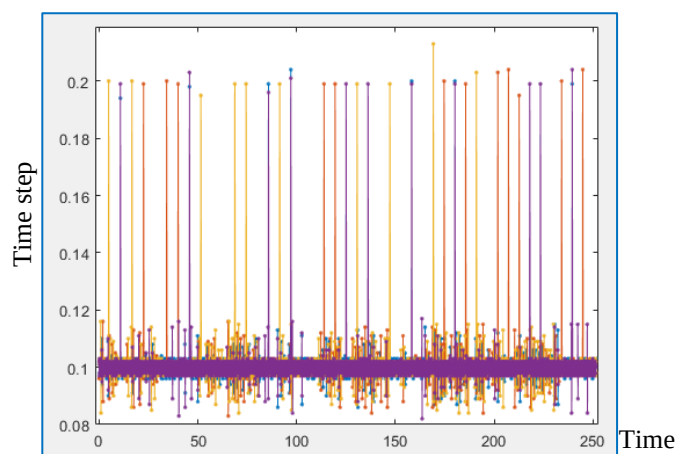


Рисунок 3.1 Пропуск измерений порт-сервером PServ_2PS

В рабочей конфигурации поток данных распараллеливается при помощи Network Switch и заводится с TopsideUnit отдельно в QINSy и отдельно в DataMon (Рисунок 3.2).

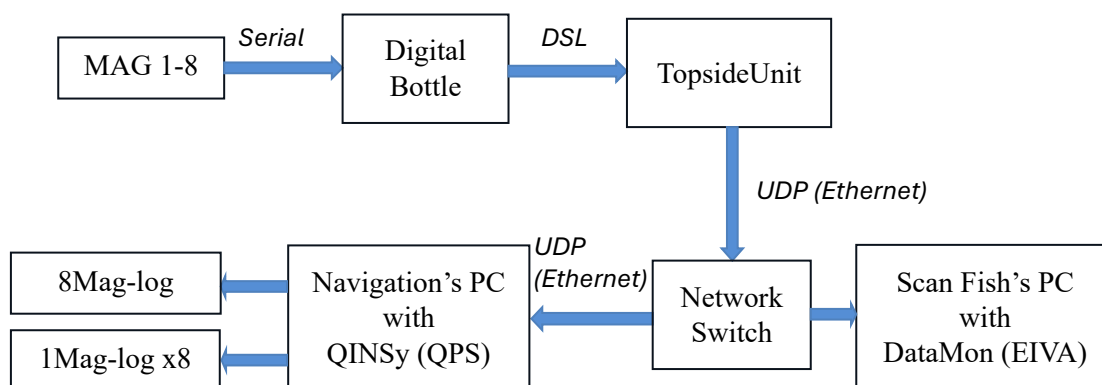


Рисунок 3.2 Схема рабочей конфигурации передачи данных от магнитометров в QINSy

Результатом использования Network Switch стало появление единичных задержек, отсутствовавших при прямом соединении TopsideUnit-QINSy (Рисунок 3.3).

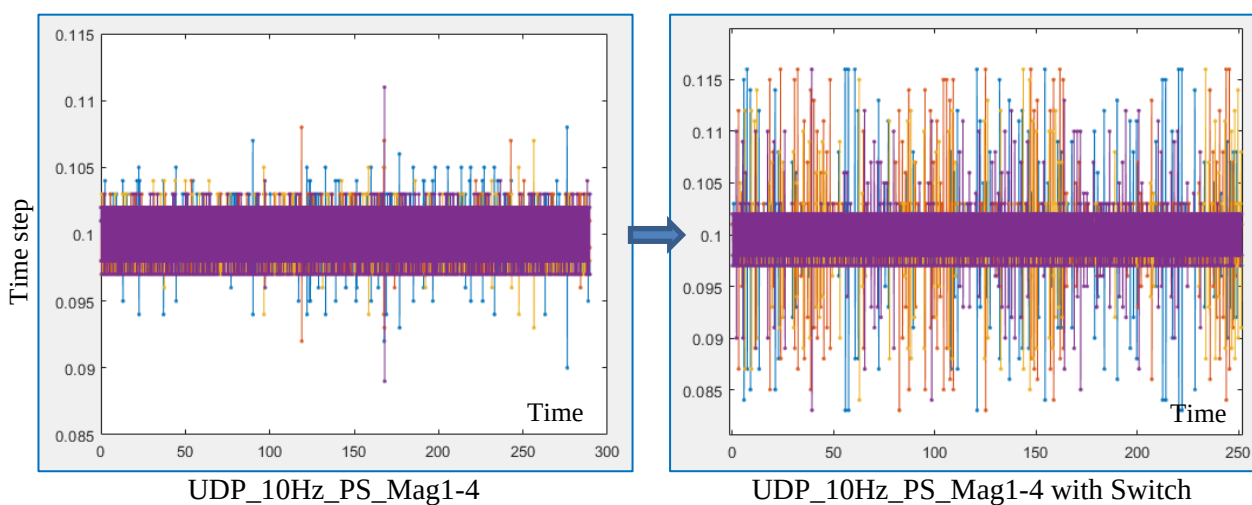


Рисунок 3.3 Появление задержек при включении Switch в канал передачи данных

Еще одной особенностью является то, что при выполнении экспериментальных записей в условиях порта, программное обеспечение QINSy и DataMon не загружено вычислениями. Как следствие, шаг данных будет иметь меньший разброс, чем при выполнении геофизической съемки. Пример приведен на Рисунке 3.4, более подробно данный момент будет рассмотрен далее по тексту.

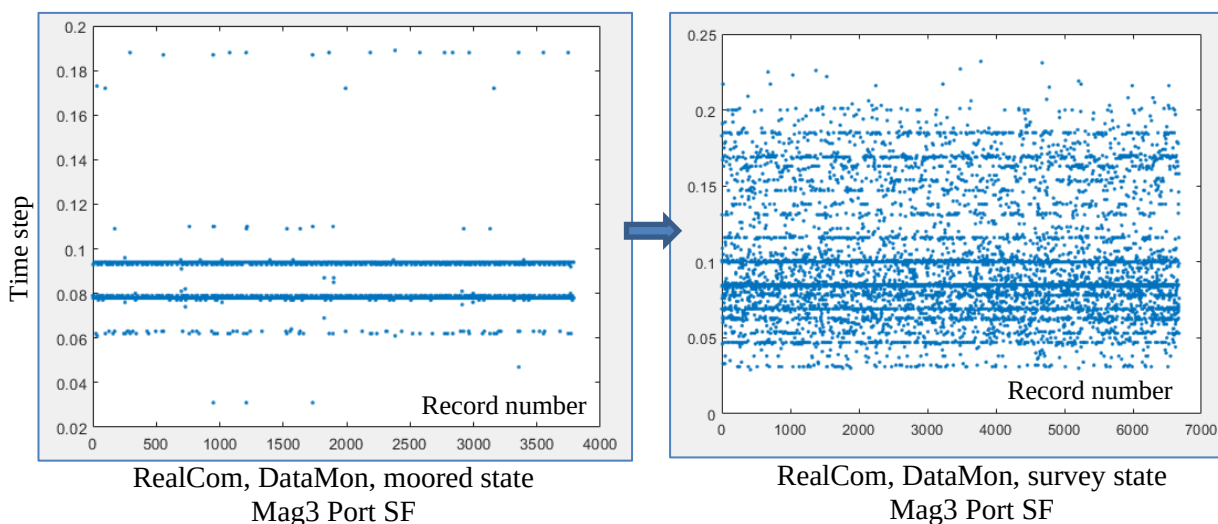


Рисунок 3.4 Увеличение разброса в шаге данных при выполнении геофизической съемки

Сравнение вертикальных градиентов для Port ScanFish (рассчитанных по двум файлам 8Mag-log с разных линий съемки) для исходной конфигурации (RealCom, DataMon, 10Hz) и рабочей конфигурации (UDP, по DataMon, 10Hz) показано на Рисунке 3.5. В рабочей конфигурации количество «зубьев пилы» сильно уменьшилось.

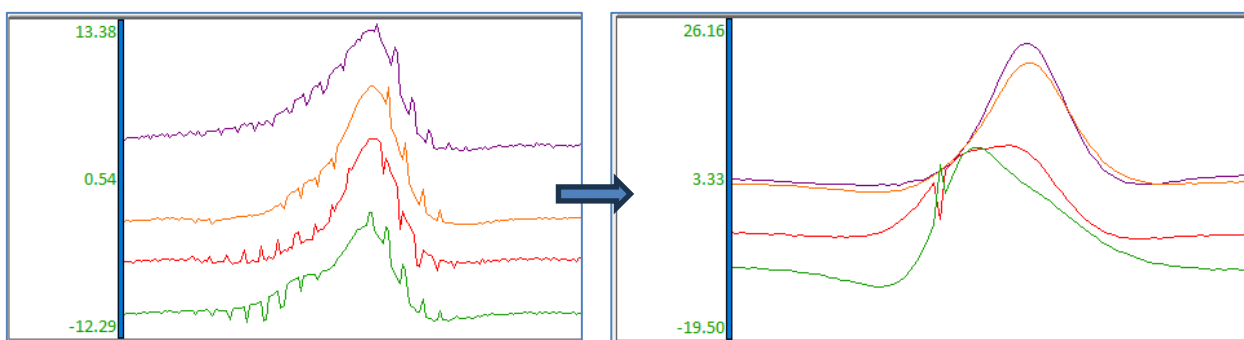


Рисунок 3.5 Сравнение вертикальных градиентов для исходной и *рабочей* конфигураций канала передачи данных

4. Анализ работы триггера-магнитометра

После уменьшения разброса шага измерений до минимальных значений (рабочая конфигурация) попробуем промоделировать использование одного магнитометра в качестве триггера на основе данных в файлах 1Mag-log. Для этого при обработке добавим недостающие значения в измерения PServ_2PS (Таблица 1.1; Рисунок 3.1). В результате записи всех магнитометров для Port ScanFish будут иметь одинаковое количество отсчетов, пропуски измерений в записях будут отсутствовать.

На Рисунке 4.1, в верхней части, по горизонтальной оси отложено время; графиками разного цвета показаны измерения Mag1, Mag2, Mag3, Mag4. Можно выделить две группы по четыре измерения магнитометров, каждая из групп соответствует одному циклу измерений (имеются в виду циклы измерений с периодом 0.1 сек). Задержка во времени между измерением четвертого и первого магнитометра показана красной стрелкой. Постоянная составляющая задержек (**Constant Delay**) показана синими стрелками.

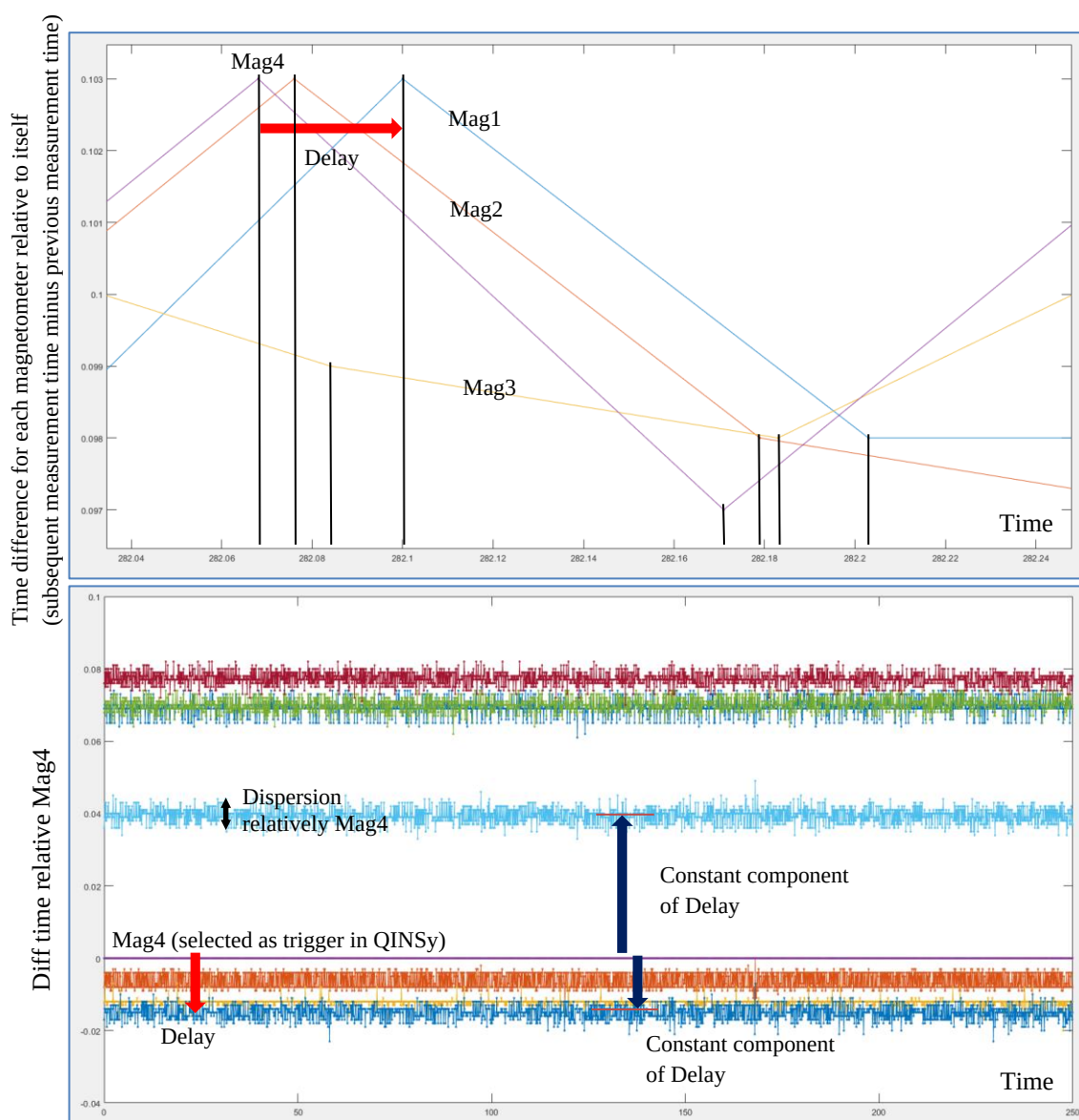


Рисунок 4.1 Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag4 по записи UDP_10Hz_PS (Mag5,6,7,8 recovered)

На Рисунке 4.1, в нижней части, по горизонтальной оси также отложено время. По вертикальной оси отложена разность во времени поступления измерения от четвертого до всех остальных магнитометров. То есть, четвертый магнитометр использован как триггер (разностное время измерения для него будет равно нулю и будет представлять собой горизонтальную линию). Измерения, для графиков расположенных в отрицательном диапазоне, еще не поступили в QINSy, однако они будут зарегистрированы QINSy при следующем цикле поступления данных, инициированном магнитометром-триггером (графики «как-бы сместятся» в диапазон 0.08-0.1 секунды на вертикальной шкале).

В случае, показанном на Рисунке 4.1, при использовании в качестве триггера Mag4 (фиолетовый цвет) или Mag8 (голубой цвет) записи в файле 8Mag-log не будут содержать эффект пила.

Если мы выберем в качестве триггера Mag1 (синий цвет), то вероятно появление эффекта пила на записи Mag3 (желтый цвет), поскольку график Mag1 иногда пересекает желтый график из-за разброса данных. Следствием такого пересечения будет сначала прием двух измерений внутри интервала между триггерами, а далее отсутствие измерений между триггерами, что приведет к повторению последнего измерения QINSy и возникновению «залипшего» значения (пример «залипания» показан на Рисунке 0.2).

Рисунок 4.1 был построен для прямого соединения TopsideUnit-QINSy. Выполним такие же построения для соединения через Switch в рабочей конфигурации. На Рисунке 4.2 приведены результаты такого построения.

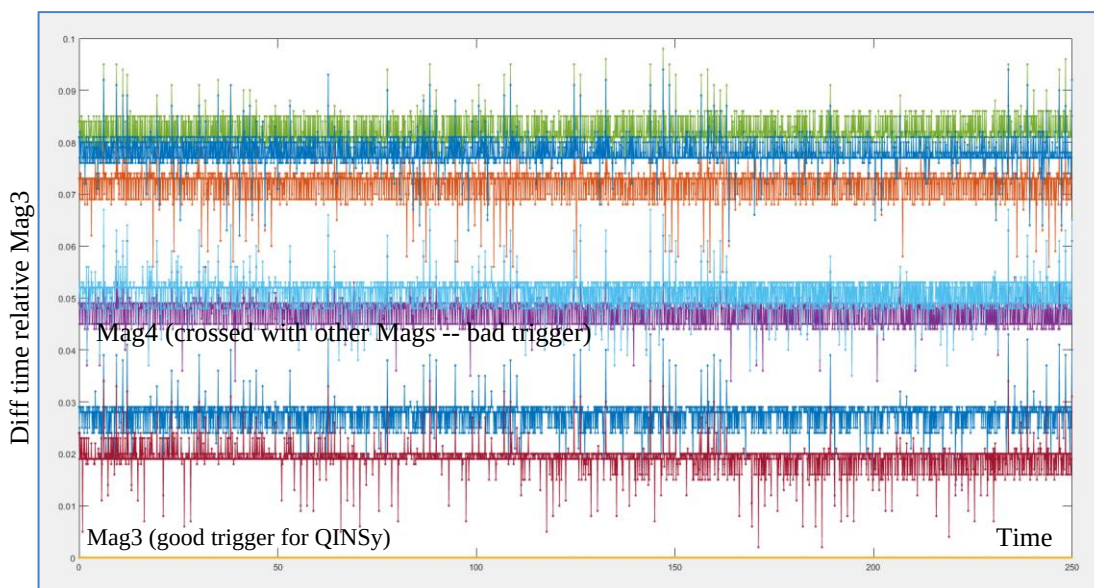


Рисунок 4.2 Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag3 по записи UDP_10Hz_PS-Switch (Mag5,6,7,8 recovered)

Из анализа Рисунка 4.2 можно сделать 2 заключения:

-- Дополнительный шум, возникающий за счет Switch (сравнение на Рисунке 3.3), привел к пересечению всех графиков за исключением Mag3. Поэтому его мы выбрали в качестве

триггера; для триггера Mag3 записи в файле 8Mag-log не будут содержать эффект пилы. При выборе любого другого магнитометра в качестве триггера на графиках магнитного поля появятся «залипания», которые приведут к появлению *единичных выбросов* (spike) на графиках вертикального градиента магнитного поля.

-- Из сравнения Рисунка 4.2 и Рисунка 4.1 можно сделать вывод, что при перезапуске системы (подаче на магнитометры питания), взаимное расположение графиков (и единичных измерений) на шкале времени меняется. То есть, после выключения-включения системы график Mag3 (на Рисунке 4.2) сместится относительно остальных графиков и, возможно, будет непригоден для выполнения функции триггера.

Построения по данным, полученным при выполнении геофизической съемки приведены на Рисунке 4.3 (Port ScanFish) и Рисунке 4.4 (Starboard ScanFish). Все пропущенные значения были предварительно идентифицированы и заполнены результатами линейной интерполяции. Первый канал (передача данных с Mag1) был принят за триггер. Как видно из рисунков, разброс данных более сильный, чем для экспериментальных записей в условиях порта. Возможно, это связано с загруженностью QINSy, в результате чего время поступления UDP-сообщения определяется с погрешностью, или с загруженностью канала ScanFish-TopsideUnit дополнительной информацией, связанной с работой автопилота ScanFish.

Для данных на Рисунке 4.3 выбор первого канала в качестве триггера оказался удачным. На записи 8Mag-log будут присутствовать редкие «залипания», связанные с выходом графиков за минус 0.1 сек. Также на Port ScanFish будут присутствовать «залипания» связанные с пропуском данных порт-сервером PServ_2PS (Рисунок 3.1), однако для текущих рисунков эти значения были определены и интерполированы.

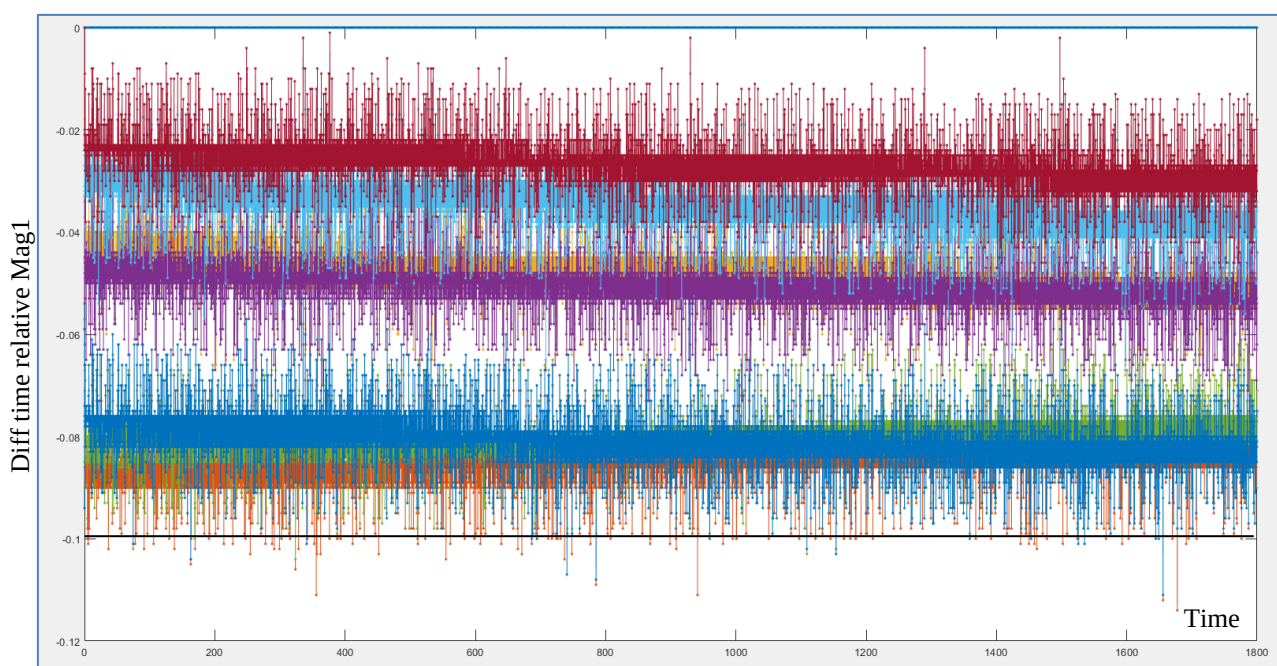


Рисунок 4.3 Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag1 по записи 0146_059_PS

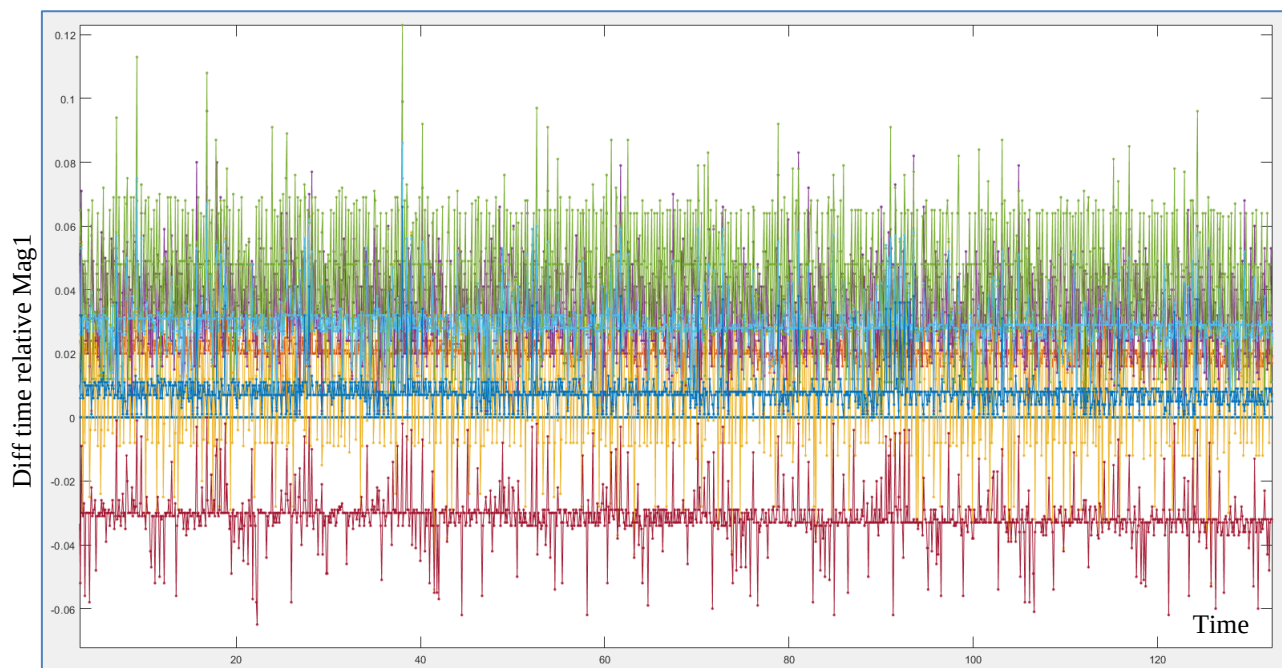


Рисунок 4.4 Графики задержек измерений магнитометров относительно Mag1 по записи 0146_059_SB

Для данных на Рисунке 4.4 выбор первого канала в качестве триггера не такой удачный – нулевую линию множество раз пересекает желтый график, что приводит к «залипанию» и появлению «пилы» для Mag3 на записи 8Mag-log.

Из анализа работы магнитометра-триггера можно сделать следующие выводы:

- 1) Пропуски данных (связанные с особенностями работы каждого порт-сервера) при регистрации данных с магнитометром-триггером будут приводить к «залипанию» (дублированию пропущенных значений), в результате чего для записи в файле 8Mag-log, на графиках вертикального градиента магнитного поля возникнут единичные выбросы (spikes);
- 2) При подаче питания очередность измерений магнитометров вдоль оси времени устанавливается случайно. При использовании магнитометра-триггера часть измерений магнитометров может записываться в файл 8Mag-log с «предыдущего цикла измерений». Например, для Рисунка 4.1, измерения магнитометров Mag1, Mag2, Mag3 будут получены с предыдущего цикла измерения, сдвинутого по времени на 0.09 секунд (фактически 1 отсчет);
- 3) При сильном разбросе времени поступления измерений с магнитометров (пример на Рисунке 2.1) запись в файле 8Mag-log будет осложнена сильным эффектом пилы;
- 4) Фактические периоды измерения магнитометров несколько отличаются от 0.1 сек, что приводит к медленному дрейфу графиков на Рисунке 4.3. В результате этого, нулевую линию магнитометра-триггера постепенно будут пересекать графики, построенные для всех других магнитометров, то есть «пила» будет появляться и исчезать поочередно на вертикальных градиентах посчитанных для разных пар магнитометров.

5) Одним из способов «увеличить точность синхронизации» для файла 8Mag-log может быть создание «виртуального триггера» в QINSy (например, как «виртуального эхолота»). В этом случае частота опроса будет ровно 0.1 сек и будет отсутствовать разброс времени поступления измерений магнитометра-триггера. Соответственно, разброс относительно триггера не будет являться суммой двух случайных величин, что должно уменьшить дисперсию в два раза и сократить количество «перепрыгиваний» через триггер (количество вылетов за счет эффекта пилы).

5. Обработка времени поступления данных (алгоритмическая синхронизация)

Если настройки аппаратуры не позволяют уменьшить разброс времени поступления измерений в QINSy до величин, позволяющих надежно писать 8Mag-log, то необходимо использовать возможности математических методов обработки. Для off-line обработки мы использовали данные, записанные для каждого магнитометра отдельно в файл 1Mag-log. Если принять отклонение времени поступления измерения в QINSy за случайную нормально-распределенную величину, то можно уменьшить ее дисперсию путем осреднения в скользящем окне. Пример осреднения времени поступления измерений в скользящем окне 20 точек и уменьшения дисперсии приведен на Рисунке 5.1 (исходные данные использованы те же, что и для Рисунка 2.1). Величина дисперсии/разброса уменьшилась с 0.1 сек до примерно 0.05 сек. В результате такой обработки можно определить условно-точное время поступления измерения магнитометра и вычислить вертикальный градиент магнитного поля без эффекта пилы.

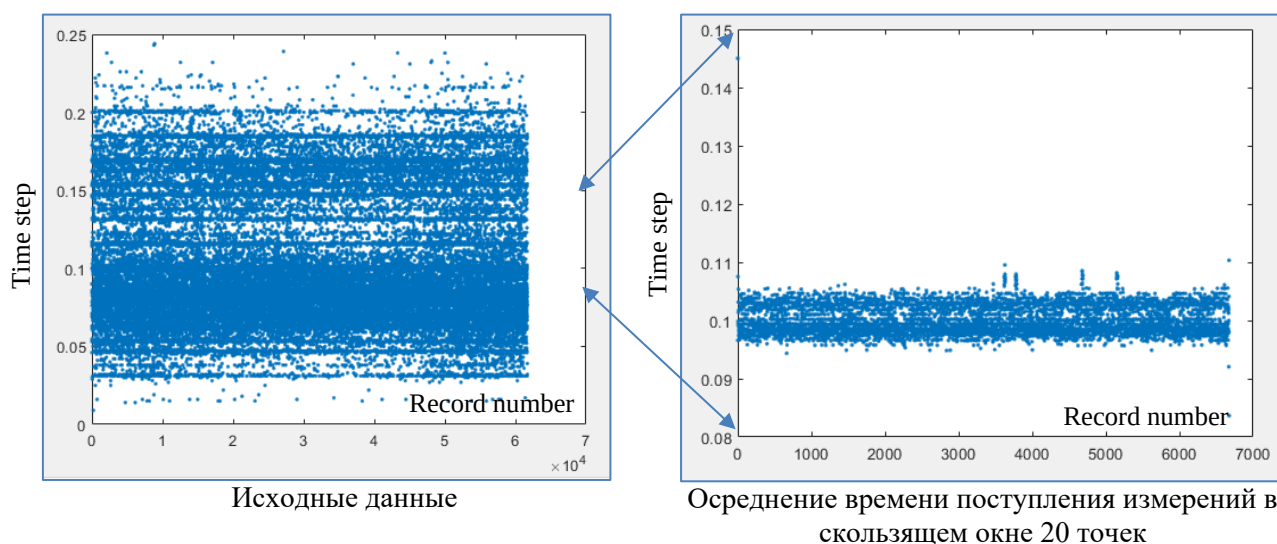


Рисунок 5.1 Уменьшение разброса для шага измерений при осреднении в скользящем окне

Сравнение графиков вертикального градиента магнитного поля по данным, записанным в 8Mag-log, и по данным, записанным в 1Mag-log, с последующей обработкой, показано на Рисунке 5.2.

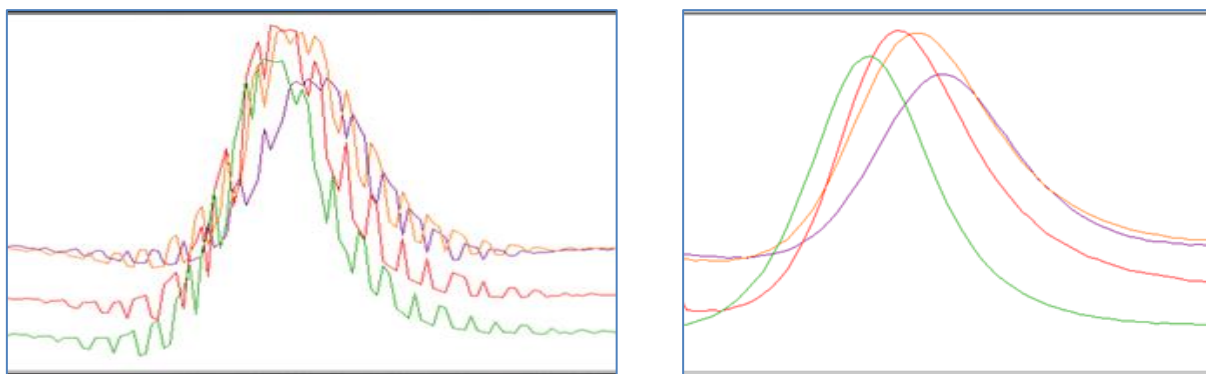


Рисунок 5.2 Сравнение графиков вертикального градиента магнитного поля, построенных по данным записанным в 8Mag-log и по данным записанным в 1Mag-log с последующей обработкой

Вероятно, математическую обработку (в простейшем случае – расчет среднего значения для времени поступления измерения) можно выполнить on-line. Это приведет к уменьшению разброса между временем поступления измерений, даст возможность сборки единой строки из магнитометров on-line и записи файла 8Mag-log без эффекта пилы. Минусы такого подхода:

- усложнение настройки программного обеспечения;
- on-line обработка не учитывает индивидуальные особенности порт-серверов (как, например, периодический пропуск данных, Рисунок 3.1) и не позволяет выявить эти особенности по записанному 8Mag-log;
- результат обработки является «необратимым», то есть при неуспешной онлайн обработке нельзя будет вернуться к исходным данным и обработать их заново.

В силу описанных причин, предпочтительной является запись отдельных магнитометров в 1Mag-log с последующей обработкой задержек (далее будем называть такой процесс обработки алгоритмической синхронизацией).

Еще одной причиной использовать запись в 1Mag-log и алгоритмическую синхронизацию является «случайная постоянная задержка» (Рисунок 4.1) между измерениями магнитометров, которая хорошо видна на Рисунке 4.3 и Рисунке 4.4. Влияние такой задержки на результаты записи в 8Mag-log файл подробно описано в Главе 7.

6. Сравнение результатов сглаживания и алгоритмической синхронизации

Ниже показан результат устранения эффекта пилы при помощи алгоритмической синхронизации и сравнение его с результатами сглаживания.

Показаны два примера графиков вертикального градиента, на которых сравниваются результаты сглаживания и алгоритмической синхронизации. Сглаживание выполнялось в Oasis Montaj при помощи “rollingstats” (rollingstats.statistic="6"; rollingstats.width="5"; rollingstats.shrink="1"). Верхняя часть Рисунка 6.1 включает исходные данные, осложненные эффектом пилы (8Mag-log файл) и результат сглаживания при помощи “rollingstats”; в нижней части Рисунка 6.1 сопоставляются графики по сглаженным данным (8Mag-log файл) и графики по данным с алгоритмической синхронизацией каждого магнитометра (1Mag-log файлы).

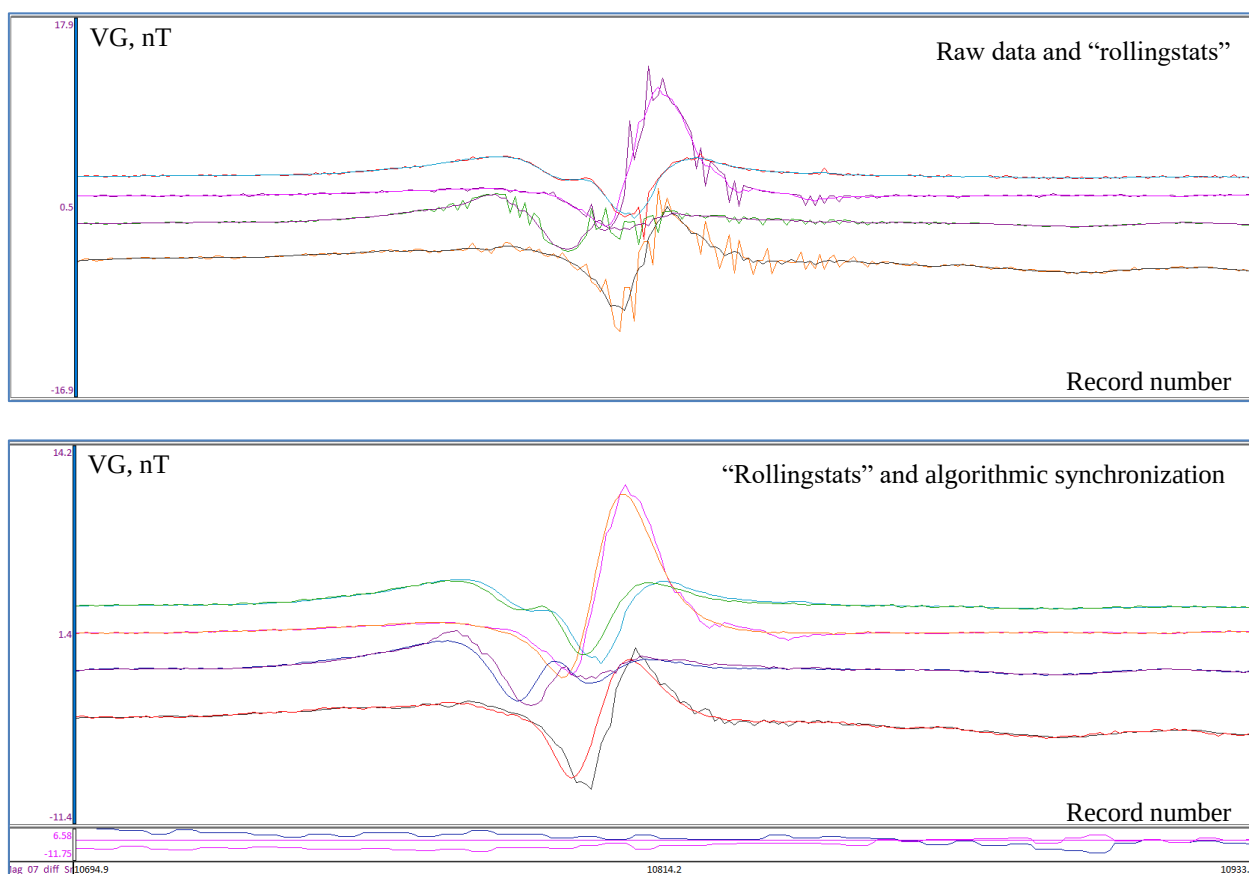


Рисунок 6.1 Сравнение результата применения “rollingstats” с результатом алгоритмической синхронизации, графики VG

Как видно из сопоставления графиков – «сглаженные» данные в целом более «угловаты» чем «синхронизированные». Также присутствует небольшое смещение по оси времени (в пределах периода записи – 0.1 секунды). Однако принципиальные различия в форме и положении магнитных аномалий отсутствуют.

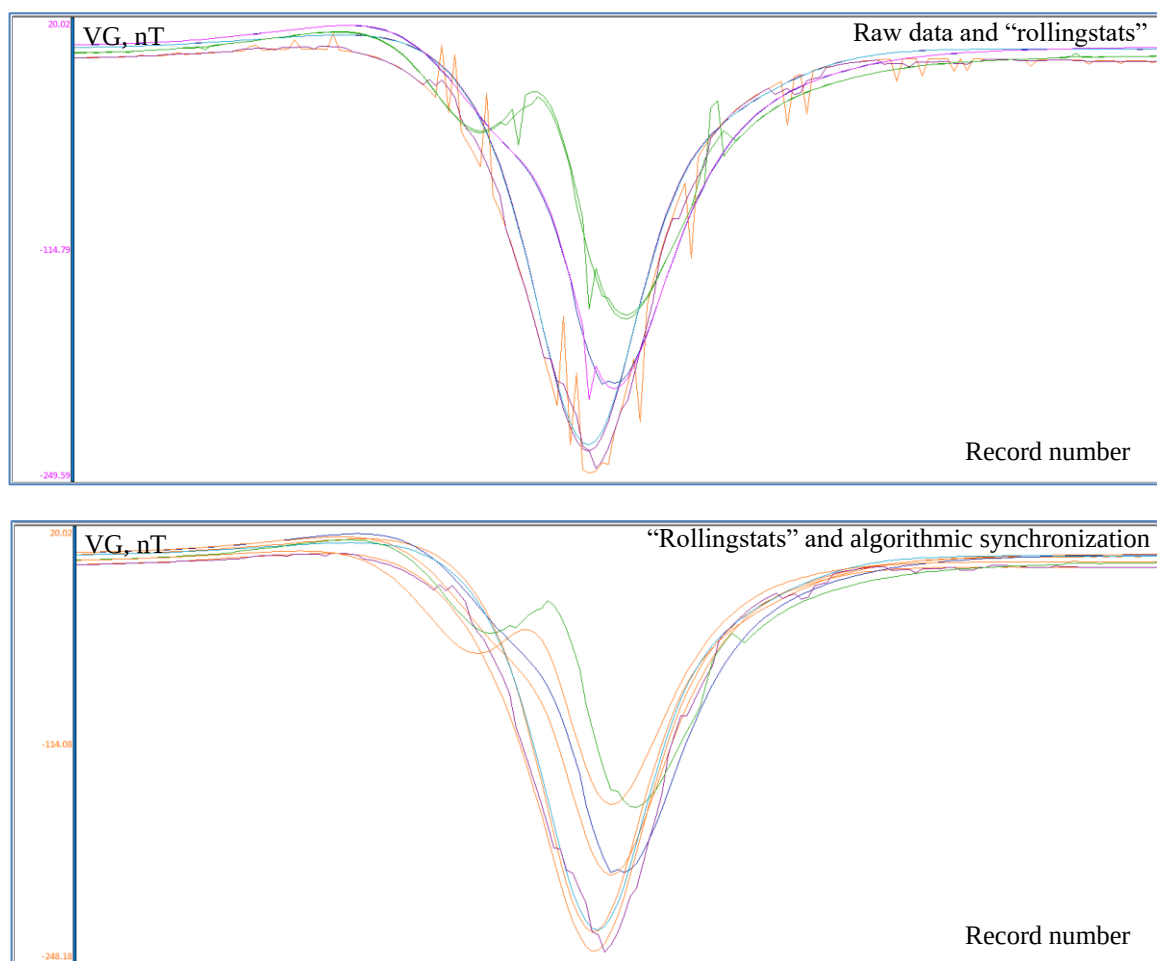


Рисунок 6.2 Сравнение результата применения “rollingstats” с результатом алгоритмической синхронизации (аномалия большой амплитуды), графики VG

На Рисунке 6.2 приведено такое же сопоставление для более высокоамплитудной аномалии. Верхняя часть – исходные данные, осложненные эффектом пилы (8Mag-log файл) и результат сглаживания при помощи “rollingstats”; нижняя часть – результат сглаживания (8Mag-log файл) и синхронизации (1Mag-log файлы). На графиках сохраняется та же закономерность, что и на Рисунке 6.1 – «сглаженные данные» в целом более «угловаты» чем «синхронизированные»; присутствует небольшое «смещение» по оси времени вызванное точностью привязки по времени измерений магнитометров, по которым вычисляется вертикальный градиент. Однако принципиальные различия в форме и положении магнитных аномалий отсутствуют.

Таким образом, устранение причины «пилы» при помощи синхронизации является более предпочтительным чем «сглаживание магнитного поля». Однако применение сглаживания является допустимым, для первого приближения, поскольку не происходит принципиального изменения в форме или в положении аномалии вертикального градиента. За исключением случаев, показанных на Рисунке 7.1.

7. Влияние «постоянной задержки» на результаты расчета VG

На Рисунке 7.1 показан необычный случай эффекта пилы (фиолетовая линия) при записи в файл 8Mag-log. Визуально он похож на модулированное высокочастотное колебание. Такой эффект возникает, когда магнитометры (по которым вычисляется вертикальный градиент) проходят над магнитной аномалией, которая характеризуется очень слабым вертикальным градиентом (красный и желтый графики), но существенным горизонтальным градиентом (зеленый график).

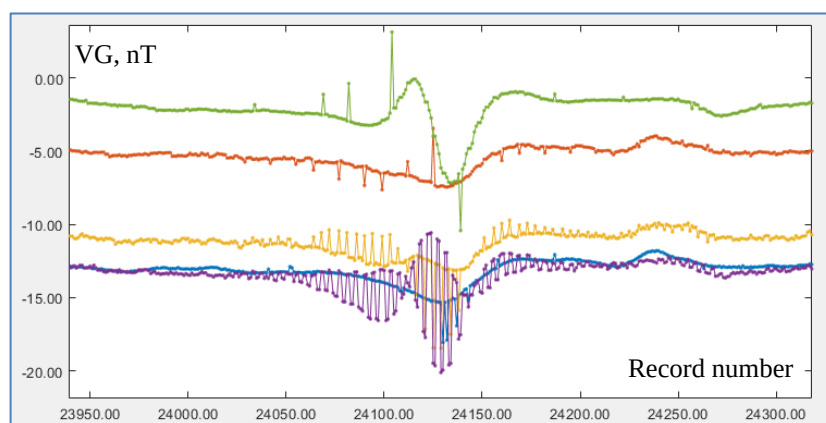


Рисунок 7.1 Пример эффекта пилы: ScanFish, 10 магнитометров, графики VG, файл 8Mag-log (50 отсчетов на горизонтальной шкале соответствуют примерно 12 метрам)

Остановимся на горизонтальном градиенте более подробно (если точнее – градиенте модуля полного вектора магнитной индукции по направлению движения магнитометра). Как было отмечено выше: если каждый магнитометр подключен к отдельному разъему DigitalBottle на ScanFish, то при подаче питания, очередность и «взаимный сдвиг» измерений магнитометров вдоль оси времени устанавливается случайно с *постоянным запаздыванием* (Constant Delay) между ними (Рисунок 4.1). Это было подтверждено при консультации со специалистом EIVA, это же подтверждается Рисунком 4.3 и Рисунком 4.4.

Следовательно, при записи в файл 8Mag-log с использованием магнитометра-триггера, внутри одного «кадра записи» сдвиг во времени между физическими измерениями магнитометров может достигать периода измерений. Чаще всего значение периода – 0.1 секунды. При скорости судна в 5 узлов, времени 0.1 секунда будет соответствовать 0.25 метра. Таким образом, при записи в файл 8Mag-log, вычисленный по двум магнитометрам вертикальный градиент будет содержать:

- 1) Компоненту вертикального градиента на базе 0.5 метра (обычное расстояние между магнитометрами для ScanFish);
- 2) Компоненту горизонтального градиента на случайной базе от 0 до 0.25 метра, постоянную вдоль всего профиля съемки. Значение компоненты изменится только после включения-выключения питания ScanFish или при очень долгом времени записи за счет несовпадения частоты других магнитометров с магнитометром-триггером в седьмом знаке (смотри длиннопериодный тренд для Constant Delay на Рисунке 4.3).

Значение 0.25 метра является достаточно большим, сопоставимым с 0.5 метра, величина горизонтального градиента в этом случае будет вносить значительный вклад в результаты разности между измерениями двух магнитометров. На Рисунке 7.1 показан именно такой случай:

- Красный и желтый графики характеризуются небольшой Constant Delay во времени (задержка между измерениями магнитометров, по которым вычисляется вертикальный градиент) при слабом физическом вертикальном градиенте;
- Зеленый график характеризуется значительной Constant Delay во времени между измерениями магнитометров, при слабом физическом вертикальном градиенте. График в основном обусловлен величиной именно горизонтального градиента, вызванного задержкой во времени между измерениями магнитометров;
- Синий график также характеризуется значительной Constant Delay во времени между измерениями магнитометров. В отличие от зеленого графика, время одного из двух магнитометров (по которым рассчитывается градиент) периодически «перепрыгивает» через время магнитометра-триггера, что создает эффект пилы. За счет такого «перепрыгивания» горизонтальный градиент «меняет знак», что приводит к форме графика, похожей на модулированное высокочастотное колебание.

Промежуточные выводы для записи в файл 8Mag-log с использованием магнитометра-триггера:

- 1) Аномалии магнитного поля представляют собой сумму вертикального градиента и горизонтального градиента со случайной базой от 0 до ~50% от базы вертикального градиента. В предельных случаях, регистрируемая аномалия VG может быть полностью обусловлена горизонтальным градиентом (Рисунок 7.1, зеленая линия).
- 2) При повторном прохождении ScanFish над магнитной аномалией графики магнитного поля будут немного отличаться за счет изменения величины случайной составляющей горизонтального градиента. То есть, в самом методе измерений уже заложена «неповторяемость» измерений для одного и того же места.
- 3) Строго говоря, параметры объекта, создающего магнитную аномалию, при таких измерениях могут быть оценены не точно, за счет искажения формы аномалии. Здесь имеется в виду не «определение наличия объекта на качественном уровне», а именно решение обратной геофизической задачи и подбором характеристик магнитоактивной массы.

Оценим степень влияния Constant Delay на форму аномалий VG потенциального UXO, по результатам моделирования, выполненного для географических координат [53N, 2E] (параметры для нормального магнитного поля по IGRF: 49540 нТл, склонение 1.44 градуса, наклонение 67.81 градуса). Представим магнитовозмущающее тело в виде шара радиусом 0.1 метр с магнитной восприимчивостью 100 (железо). Пусть присутствует только индукционное намагничение, а эффекты анизотропии и размагничивания отсутствуют; тогда такой объект будет создавать аномалию, соответствующую магнитному диполю.

Рассчитаем аномалию VG для высоты магнитометров над объектом 2 и 2.5 метра (Рисунок 7.2, a). После этого промоделируем Constant Delay для верхних магнитометров (фактически, просто сдвинем поле, рассчитанное для 2.5 метров) на 0.2 метра. Запаздывание будем моделировать, как будто линии съемки расположены в направлении N-E и E-W (Рисунок 7.2, b-c).

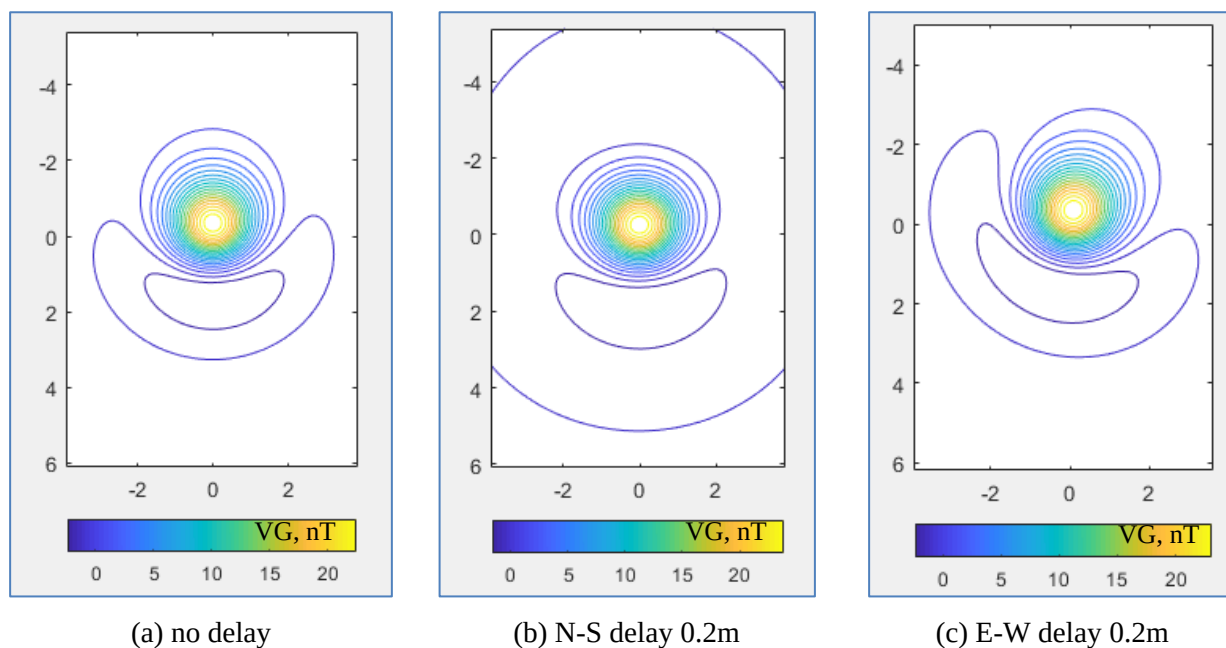


Рисунок 7.2 Аномалия VG для высот 2 и 2.5 метров, при постоянном запаздывании измерений верхнего магнитометра на 0.2 метра; оси в метрах, цветовая шкала в нТл

Выполним такие же расчеты для VG при высоте магнитометров над объектом 7 и 7.5 метров (Рисунок 7.3).

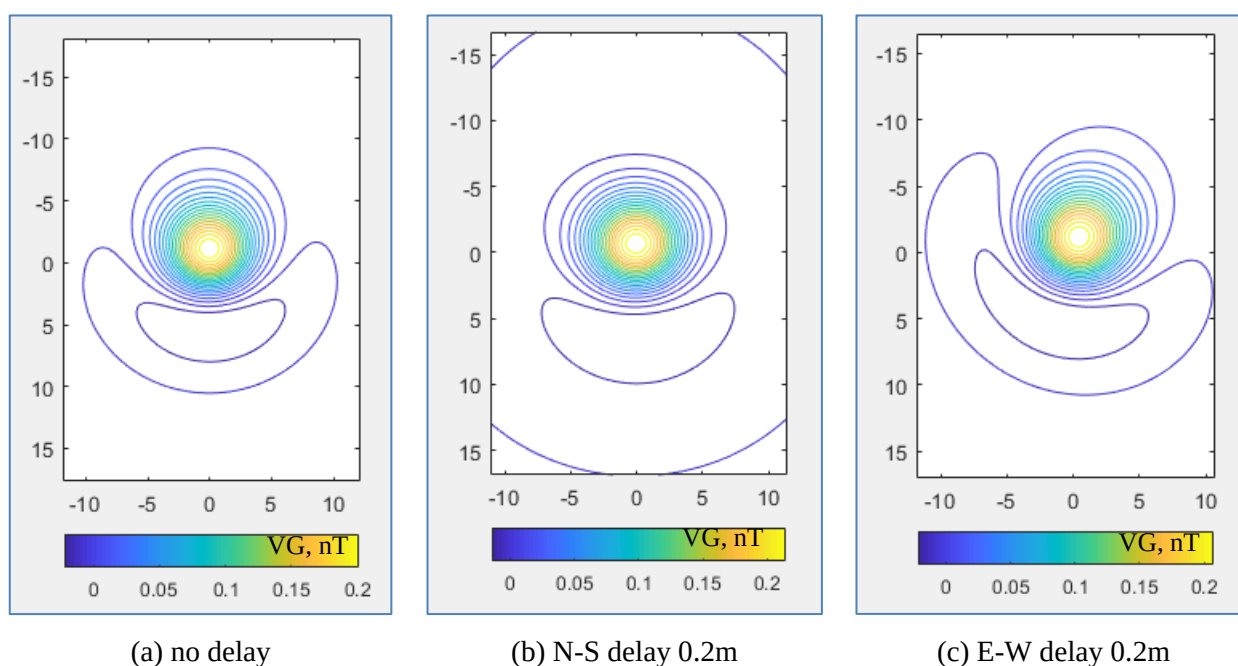


Рисунок 7.3 Аномалия VG для высот 7 и 7.5 метров, при постоянном запаздывании измерений верхнего магнитометра на 0.2 метра; оси в метрах, цветовая шкала в нТл

Из анализа Рисунка 7.2 и Рисунка 7.3, для поля магнитного диполя можно сделать следующие выводы: (1) магнитная аномалия VG деформируется, однако в первом приближении сохраняет свою форму; (2) смещение максимума аномалии не превышает 1 метр.

При съемке на встречных галсах с постоянным запаздыванием измерений верхнего магнитометра аномалия будет иметь характерные «затяжки» в направлении профилей съемки (Рисунок 7.4).

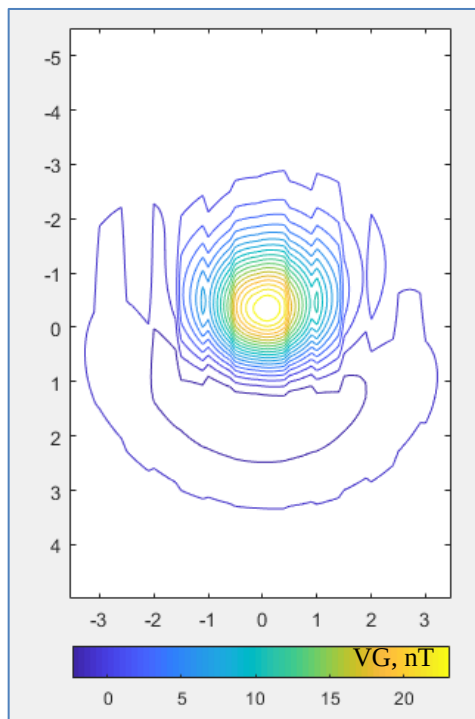


Рисунок 7.4 Аномалия VG для высот 2 и 2.5 метров при постоянном запаздывании измерений верхнего магнитометра при съемке на встречных галсах; оси в метрах, цветовая шкала в нТл

Описанные выше закономерности сохраняются и в присутствии компоненты остаточного намагничивания диполя. Таким образом, при записи в файл 8Mag-log с использованием магнитометра-триггера, магнитное поле диполя в диапазоне глубин потенциального UXO может быть «деформировано», однако в первом приближении сохранит свою форму и положение максимумов аномалии.

Заключение

Проблема записи измерений магнитометров со ScanFish, заключается в том, что в QINSy регистрируется не время измерения как таковое, а время поступления данных в QINSy. Соответственно, задержки в канале передачи данных приводят к задержкам времени поступления данных и даже к пропуску данных магнитометров для текущего «кадра записи» измерения. Поскольку для пропущенных данных QINSy повторяет предыдущие значения, то это приводит к «залипанию» (Рисунок 0.2) магнитометров и появлению *единичных выбросов* (spikes) на вертикальном градиенте магнитного поля (при использовании записей в 8Mag-log, для которых один из магнитометров используется как триггер). При большом количестве единичных выбросов (spikes), они формируют *эффект пилы* (Рисунок 0.1) на записях вертикального градиента магнитного поля.

Порт-серверы (Таблица 1.1), в силу индивидуальных особенностей, могут приводить к периодическому пропуску данных (Рисунок 3.1), что также приводит к тому, что QINSy в 8Mag-log файле повторяет значение предыдущего измерения, а на вертикальном градиенте магнитного поля образуются единичные выбросы.

При переборе настроек канала измерений были выбраны лучшие, при которых разброс времени поступления данных в QINSy наименьший: UDP, no DataMon, 10Hz. В результате удалось перейти от эффекта пилы в 8Mag-log файле к относительно редким единичным выбросам (spikes) (Рисунок 3.5). Однако, поскольку при подаче питания порядок измерений магнитометров устанавливается случайно, и интервал времени между измерениями разных магнитометров также случаен, могут возникать ситуации, когда даже малый разброс приводит к эффекту пилы (Рисунок 4.4) за счет «неудачного» начального времени магнитометра-триггера.

Полное решение проблемы заключается в *алгоритмической синхронизации* – математической обработке времени поступления данных в QINSy (в простейшем случае – расчет среднего значения для времени поступления измерения; Рисунок 5.1, Рисунок 5.2), с целью приближения его ко времени физических измерений (то есть, устранению погрешностей, вызванных задержками в канале передачи данных). Наиболее рациональной представляется запись каждого магнитометра в 1Mag-log файл с последующей off-line обработкой.

Дополнительные выводы, не прямо касающиеся эффекта пилы:

- 1) Наименьшей задержкой характеризуется канал передачи данных со следующей конфигурацией: передача выполняется по протоколу UDP; частота измерений магнитометров 10Гц; DataMon исключен из цепи передачи данных.
- 2) Описанная выше в (1) конфигурация позволяет регистрировать данные с частотой измерений 14 Гц в 1Mag-log файл, однако при этом увеличивается количество пропусков данных (для текущего оборудования, для порт-сервера PServ_2PS будут присутствовать пропуски двух измерений подряд).

- 3) При подключении каждого магнитометра к отдельному разъему DigitalBottle, после подачи питания на ScanFish, очередность измерений и передачи данных от магнитометров устанавливается случайно. Кварцевые часы магнитометров не синхронизированы (как например в G-882TVG) и фактически выполняют измерения в разные моменты времени. Об отсутствии синхронизации кварцев магнитометров также говорит тот факт, что их частота измерений немного отличается (длиннопериодный тренд на Рисунке 4.3).
- 4) Описанная в (3) система измерений приводит к тому, что разница во времени для физических измерений на двух магнитометрах, по которым рассчитывается вертикальный градиент, может составлять до 0.1 секунды при использовании 8Mag-log (магнитометр-триггер). Эта задержка даст 0.25 метров при скорости 5 узлов, как следствие – вычисленный вертикальный градиент на базе 0.5 метра будет включать компоненту горизонтального градиента на случайной базе от 0 до 0.25 метров. Алгоритмическая синхронизация, вероятно, уменьшает базу горизонтального градиента к величине $\pm 1-2$ см (для этого необходимо линейно интерполировать значения магнитного поля от времени получения измерения в QINSy к общему временному ряду для 8ми магнитометров).
- 5) Для точной синхронизации магнитометров используемых для расчета градиентов можно использовать специальный Y-кабель, такой же как для G882TVG. Кабели выпускаются для соединения 2х и 4х магнитометров. Синхронизацию магнитометров, подключенных к разным Y-кабелям, рекомендуется выполнять алгоритмически. Однако, при алгоритмической синхронизации, ожидается небольшая разница между измерениями систем при использовании Y-кабелей и с отдельным подключением магнитометров (фактическая разница предполагается на уровне погрешности магнитной съемки).

Заметка:

Необходимо измерить «изменение времени поступления измерения в QINSy» при одном, двух, трех и четырех магнитометрах, подключенных к порт-серверу. Так можно определить влияние загруженности канала на задержку при передаче измерения. По результату можно сделать косвенный вывод о задержках для 1Mag-log файлов и необходимости использовать Y-кабели.

Приложение 1. Оценка задержки передачи данных с магнитометров при разных настройках канала передачи данных

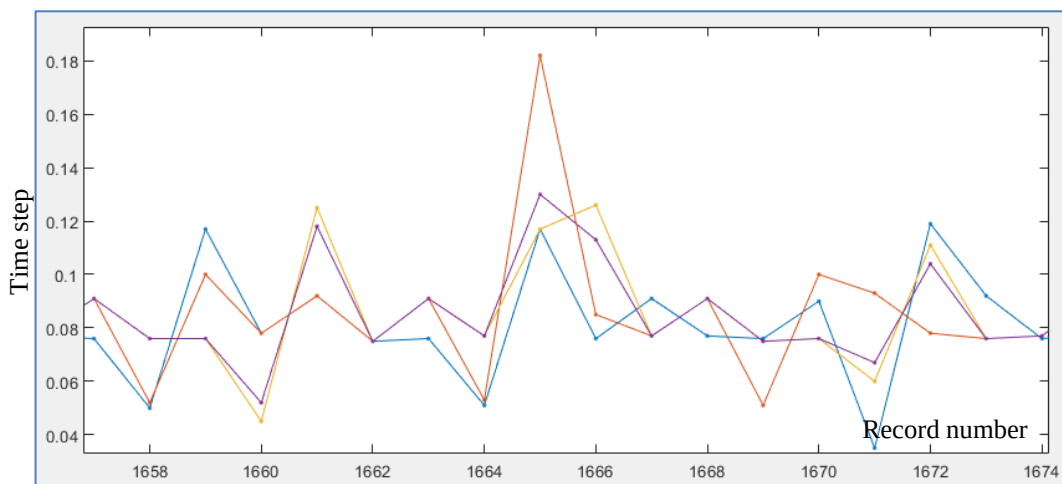
В приложении приведены графики шага измерений (которые рассчитываются как графики разности времени поступления в QINSy предыдущего и последующего измерения) для каждого из магнитометров для Port ScanFish и Starboard ScanFish. Графики построены для различных настроек и конфигурации канала передачи данных. Измерения выполнялись в порту, ScanFish при этом находились на борту, а QINSy и Data Mon не были «нагружены» дополнительными задачами.

По горизонтальной оси отложено время поступления измерения в QINSy. По вертикальной оси шаг измерений – разность времени поступления между текущим измерением и предыдущим измерением. Таким образом, графики также характеризуют задержку времени поступления измерений в QINSy.

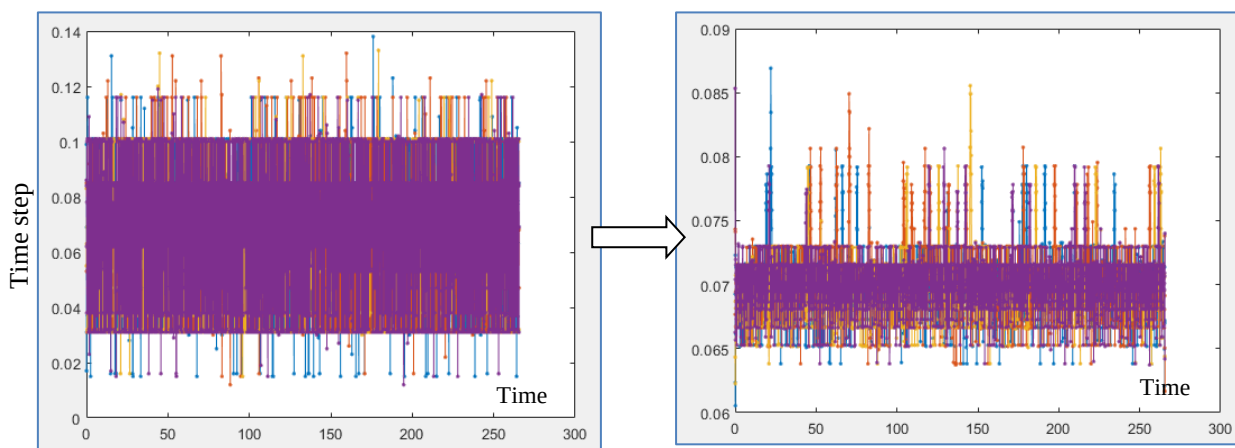
В правой части страниц приведены графики, для которых выполнено осреднение времени поступления измерений в скользящем окне 11 точек. Такие рисунки преследуют две цели:

- оценить, насколько уменьшается разброс времени поступления данных в QINSy при осреднении;
- выявить пропуски в данных на фоне большого разброса данных.

Поясним вторую цель. Ниже на рисунке представлено как выглядит пропущенное измерение на фоне большого разброса данных. В результате суперпозиции нескольких гармоник пропуск данных на трех магнитометрах не выделяется как высокоамплитудный единичный выброс (spike), а просто два последовательных значения имеют «относительно высокую амплитуду», которая не превышает фонового разброса данных. Чтобы визуальным «выделить» пропущенное измерение, мы можем выполнить усреднение в скользящем окне. Если мы используем одинаковые веса внутри окна, пропущенное значение будет выделено в виде меандра – прямоугольного импульса с шириной, равной ширине скользящего окна. При этом амплитуда единичного выброса (spike) уменьшится пропорционально ширине скользящего окна.



Пример записей магнитометров до и после осреднения в скользящем окне показан ниже.



Код названия рисунков, используемый в Приложении 1:

N_PPP_FFF_SF-MMM-baudrate

примеры: 1_COM_14Hz_PS-Mon, 4_UDP_14Hz_SB

где:

N – порядковый номер измерения (для упрощения поиска по ссылке);

PPP – тип протокола передачи данных (Real Com или UDP);

FFF – частота измерения магнитометров (10Hz, 12Hz или 14Hz);

SF – код ScanFish (PS – port side, SB – starboard side);

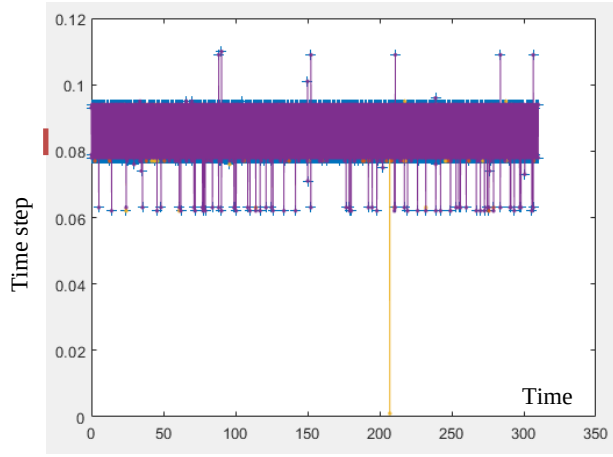
MMM – использование DataMon (Mon – поток данных передается через DataMon, empty – поток данных передается в QINSy напрямую из TopsideUnit, Switch – поток данных через Switch раздельно подается на QINSy и DataMon);

baudrate – для всех измерений скорость обмена с порт-серверами (и скорость потока данных для каждого магнитометра) была установлена 9600 бод за исключением 15 и 17, когда она была установлена 19200 бод.

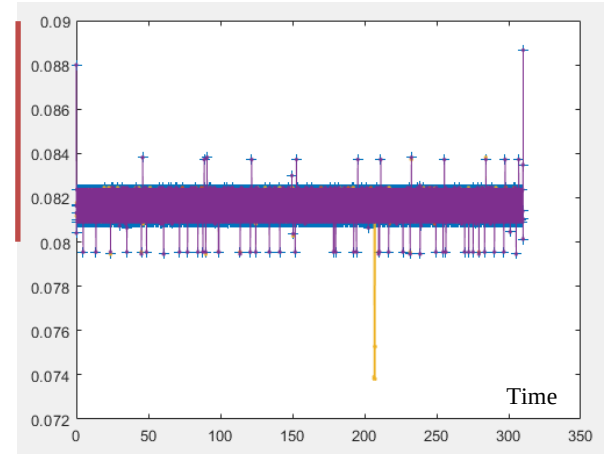
Измерения выполнялись одновременно для Port ScanFish и Starboard ScanFish при разных конфигурациях ScanFish. Одновременные измерения помещены в пределах одного листа Приложения 1.

Красной линией в левой части рисунков показано значение 0.01 секунда, для удобства сопоставления вертикальных шкал.

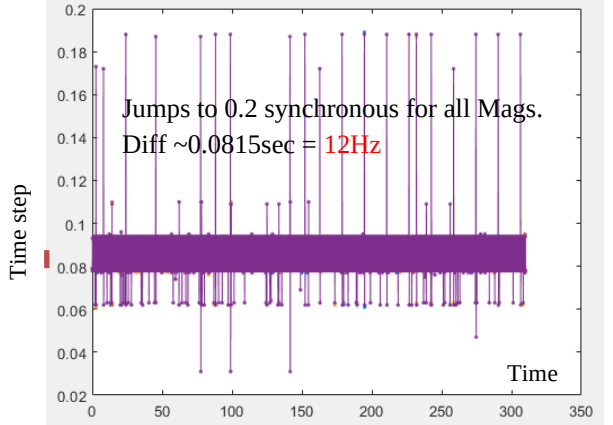
1_COM_14Hz_PS-Mon (in a fact 12Hz) – RealCom cannot be used for >10Hz



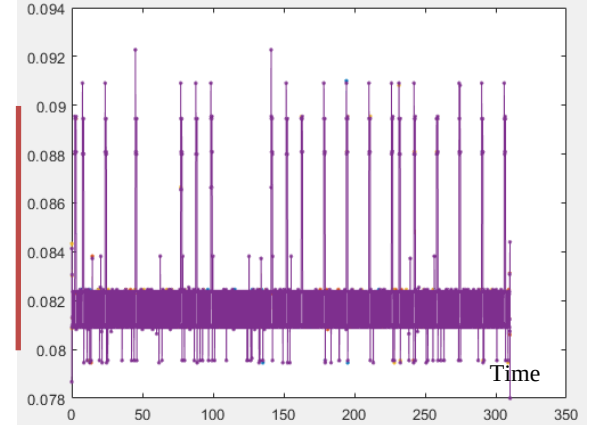
1-4 (measurements num: 3812,3812,3813,3812)



1-4, sliding window - mean 11 points

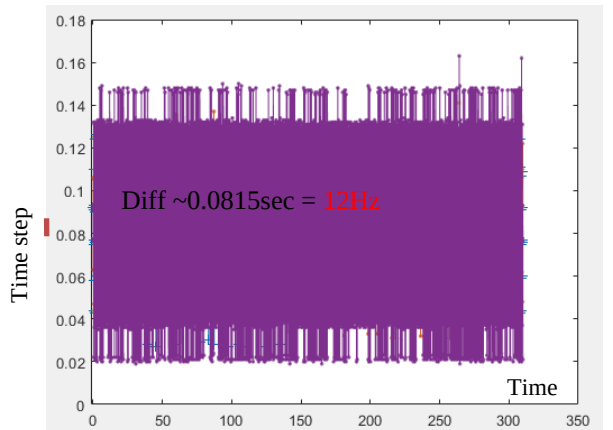


5-8 (measurements num: 3792,3792,3792,3792)

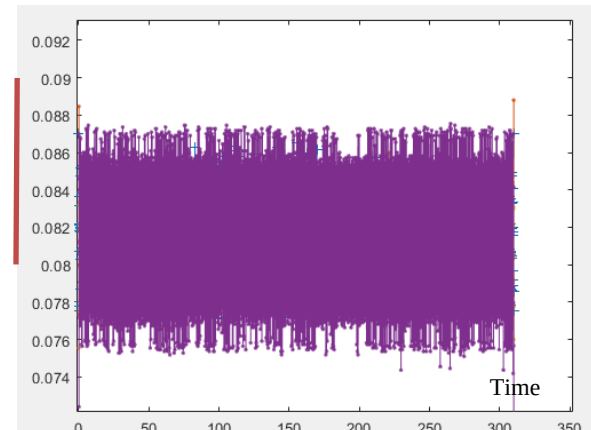


5-8, sliding window - mean 11 points

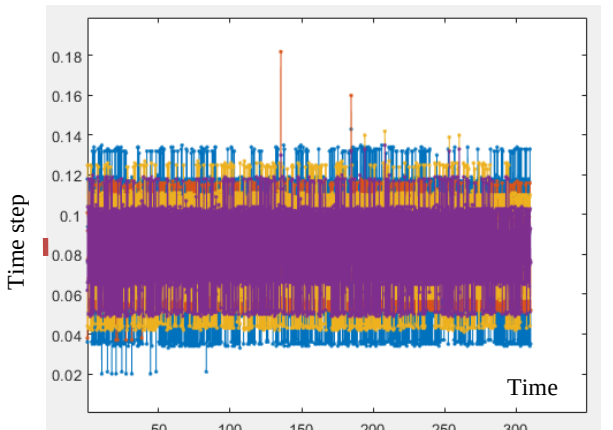
2_COM_14Hz_SB (in a fact 12 Hz) – RealCom cannot be used for >10Hz



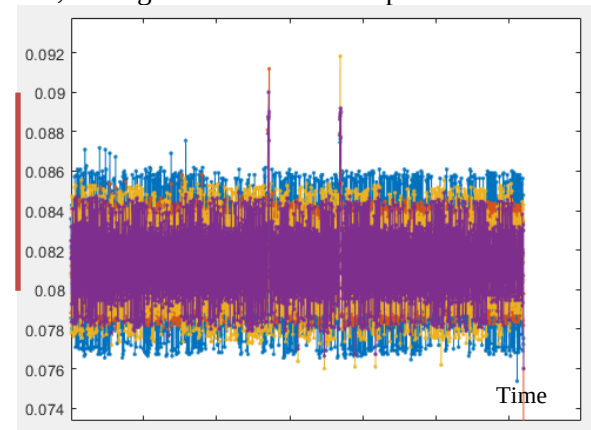
1-4 (measurements num: 3812,3812,3812,3812)



1-4, sliding window - mean 11 points

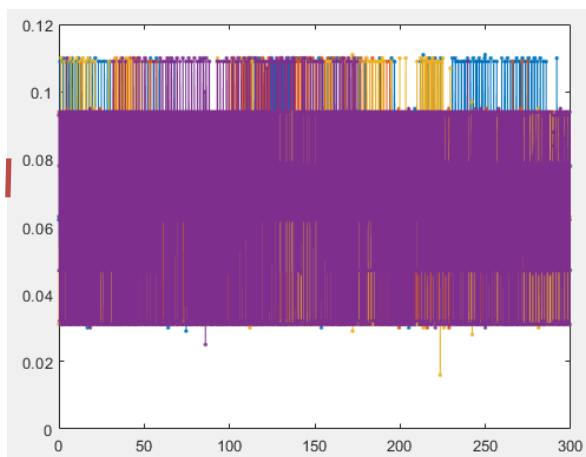


5-8 (measurements num: 3811,3810,3810,3810)

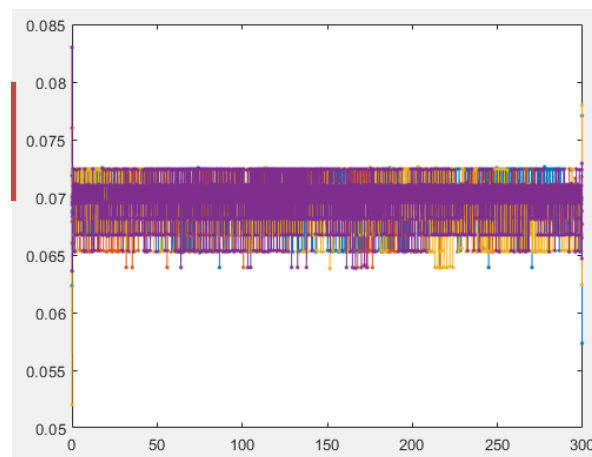


5-8, sliding window - mean 11 points

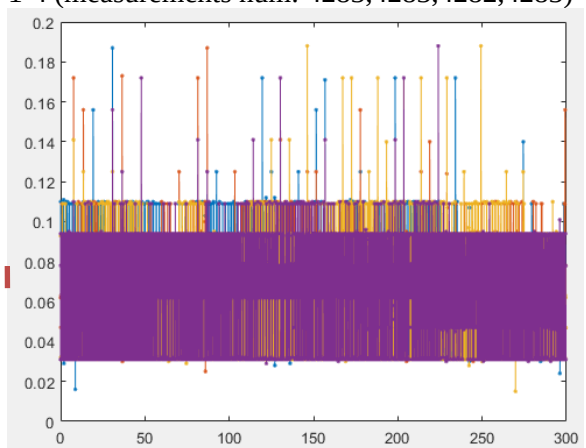
3_UDP_14Hz_PS-Mon



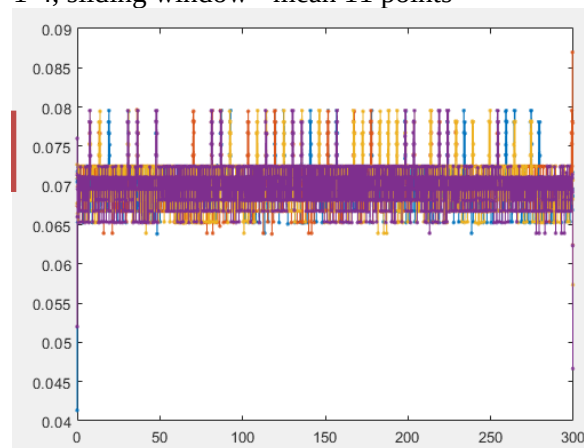
1-4 (measurements num: 4283,4283,4282,4283)



1-4, sliding window - mean 11 points

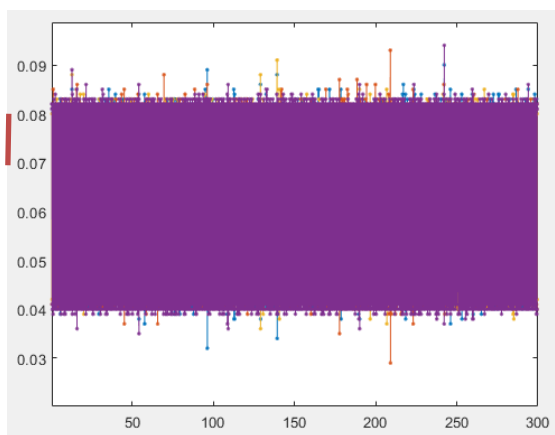


5-8 (measurements num: 4264,4264,4260,4268)

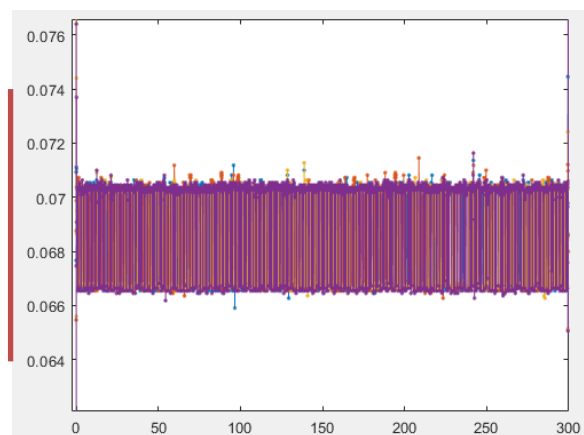


5-8, sliding window - mean 11 points

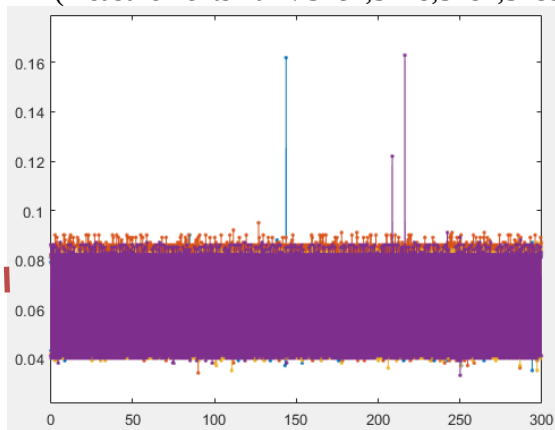
4_UDP_14Hz_SB



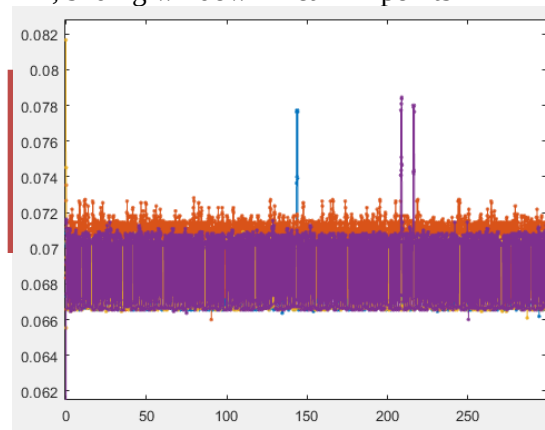
1-4 (measurements num: 3782,3778,3784,3785)



1-4, sliding window - mean 11 points

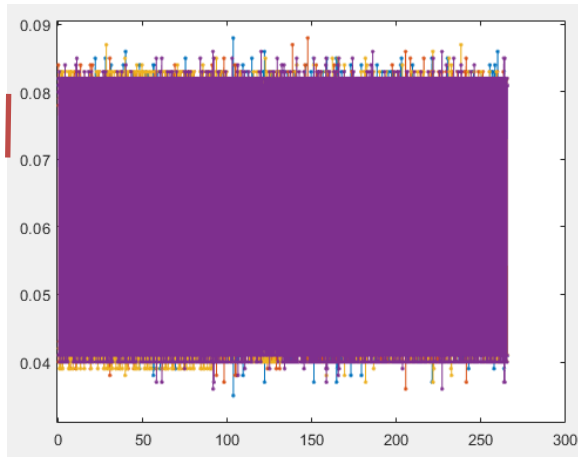


5-8 (measurements num: 3785,3790,3777,3781)

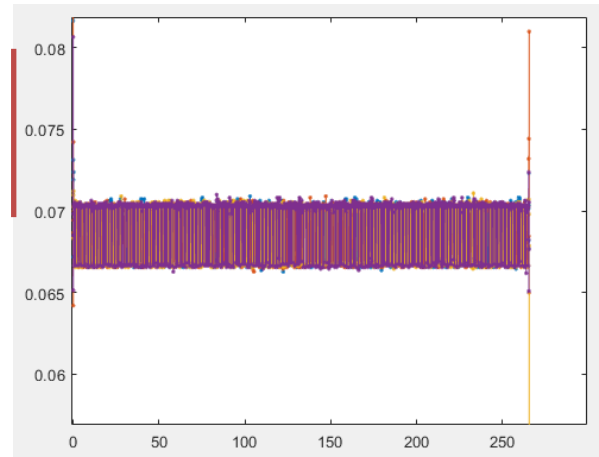


5-8, sliding window - mean 11 points

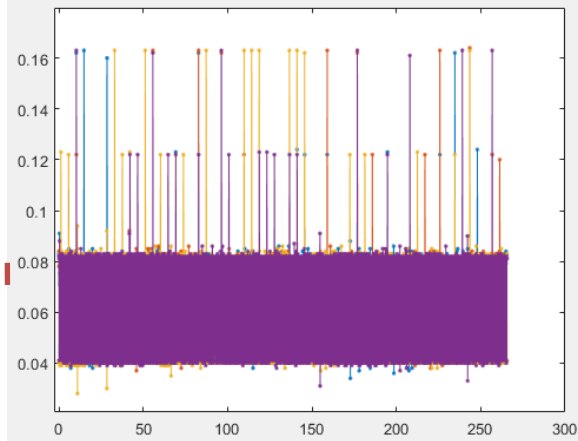
5_UDP_14Hz_PS



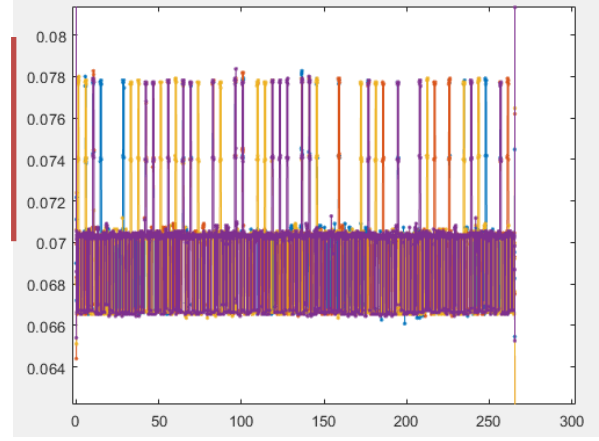
1-4 (measurements num: 3796,3796,3796,3795)



1-4, sliding window - mean 11 points

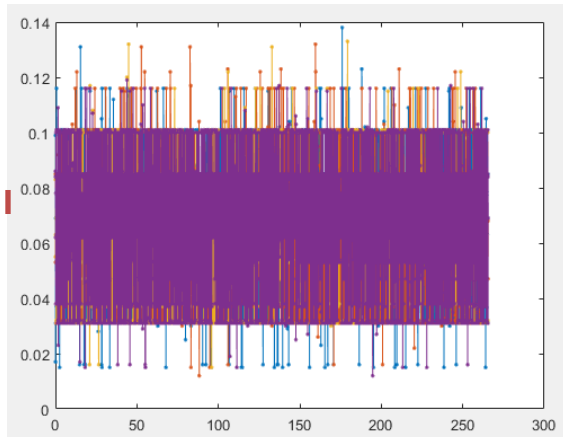


5-8 (measurements num: 3775,3779,3774,3777)

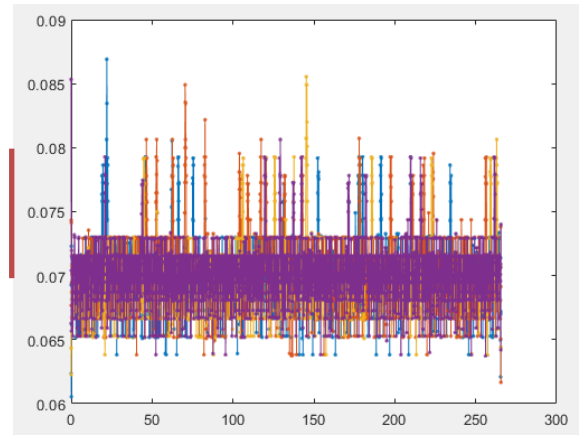


5-8, sliding window - mean 11 points

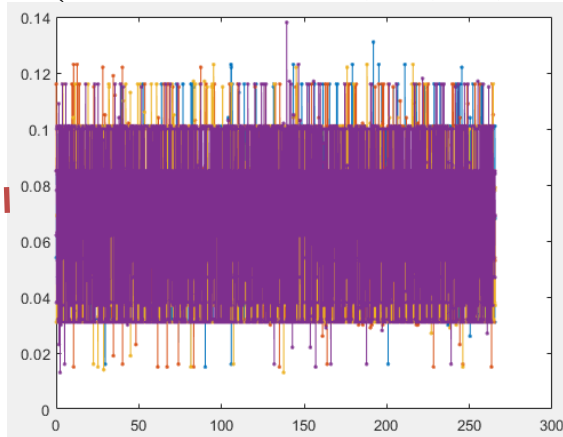
6_UDP_14Hz_SB-Mon



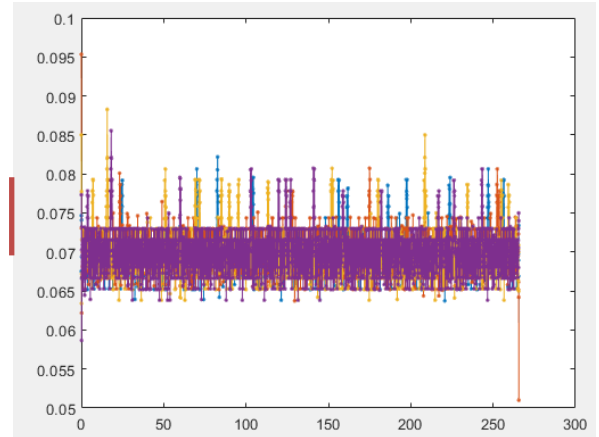
1-4 (measurements num: 3782,3778,3784,3785)



1-4, sliding window - mean 11 points

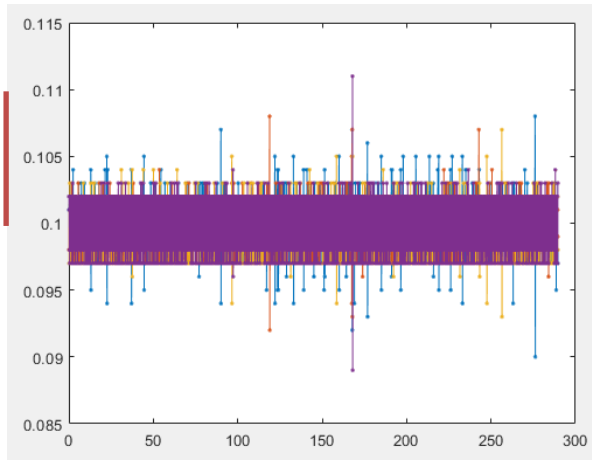


5-8 (measurements num: 3785,3790,3777,3781)

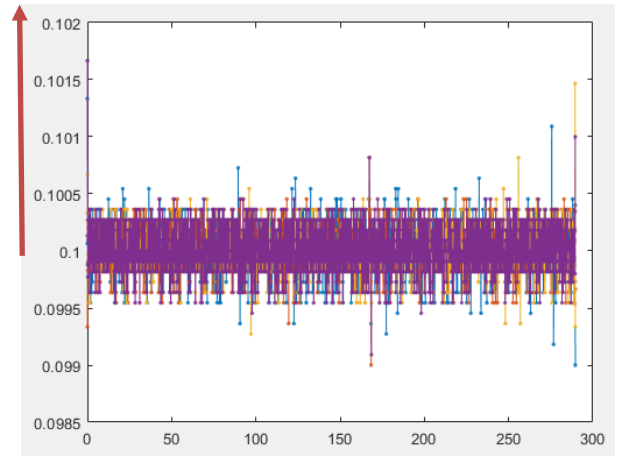


5-8, sliding window - mean 11 points

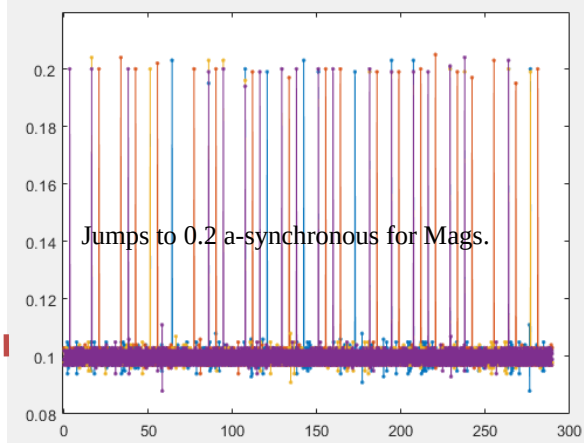
7_UDP_10Hz_PS



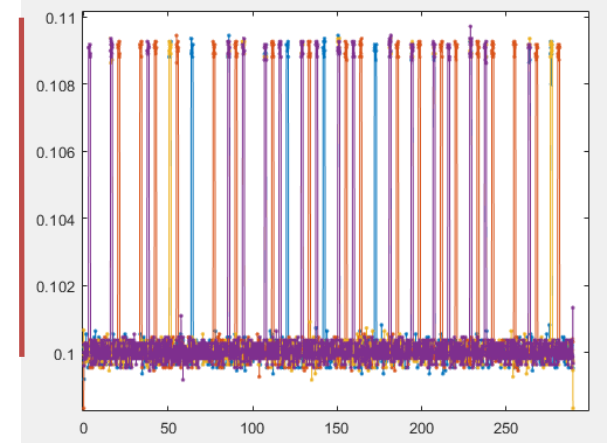
1-4 (measurements num: 2898,2897,2897,2897)



1-4, sliding window - mean 11 points

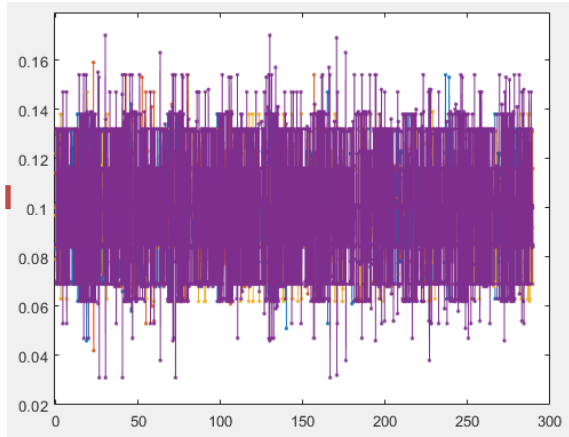


5-8 (measurements num: 2883,2879,2884,2879)

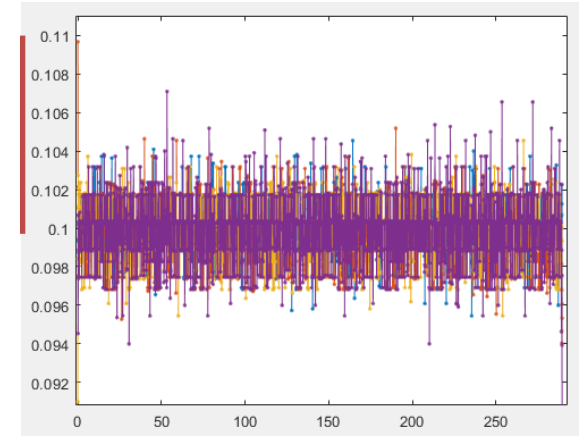


5-8, sliding window - mean 11 points

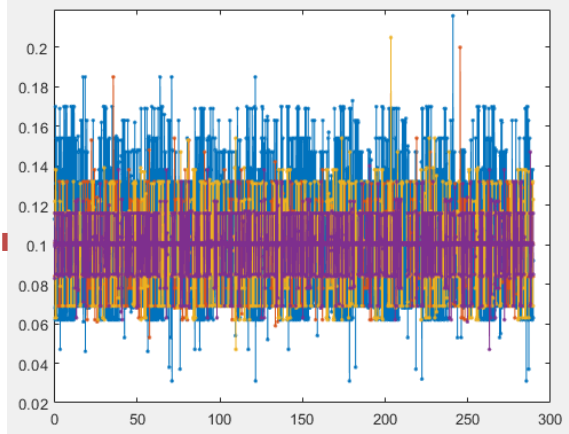
8_UDP_10Hz_SB-Mon



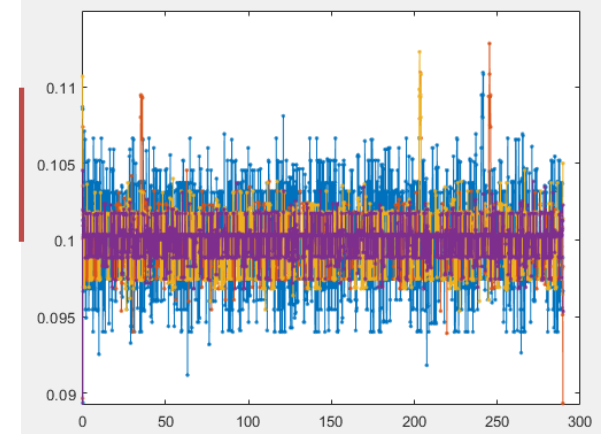
1-4 (measurements num: 2898,2898,2898,2898)



1-4, sliding window - mean 11 points

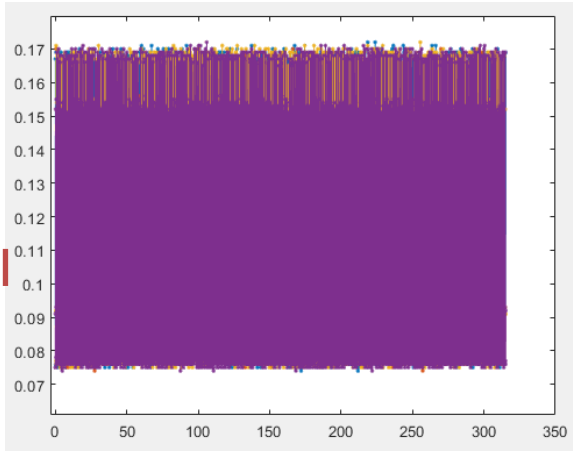


5-8 (measurements num: 2897,2894,2896,2898)

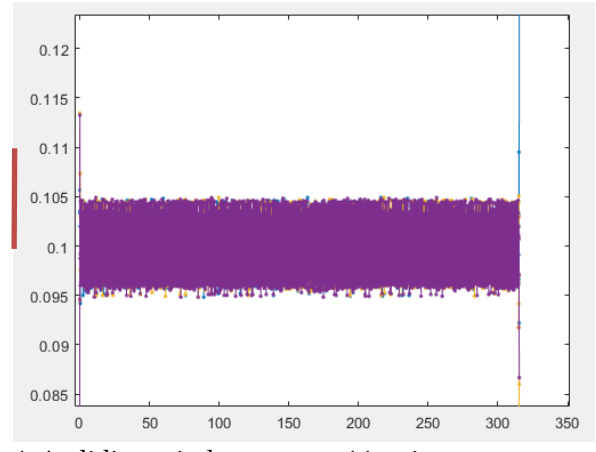


5-8, sliding window - mean 11 points

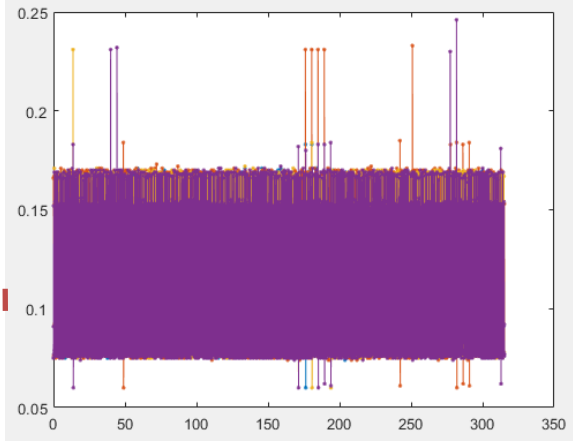
9_COM_10Hz_PS



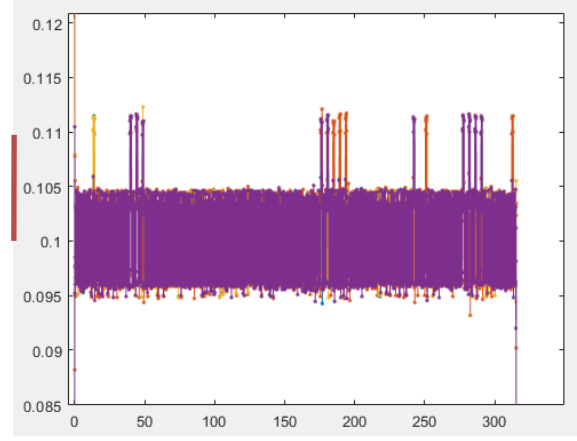
1-4 (measurements num: 3155,3155,3155,3155)



1-4, sliding window - mean 11 points

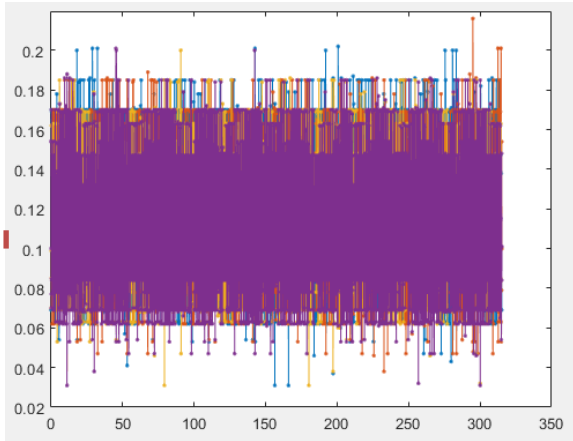


5-8 (measurements num: 3146,3144,3145,3145)

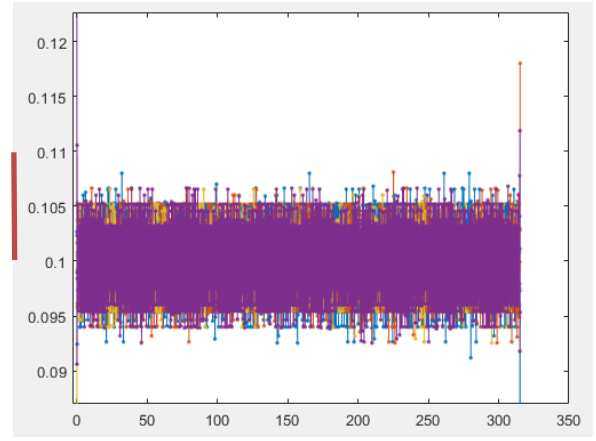


5-8, sliding window - mean 11 points

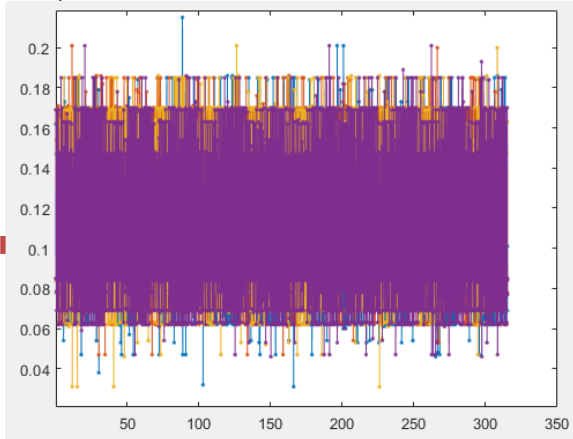
10_COM_10Hz_SB-Mon



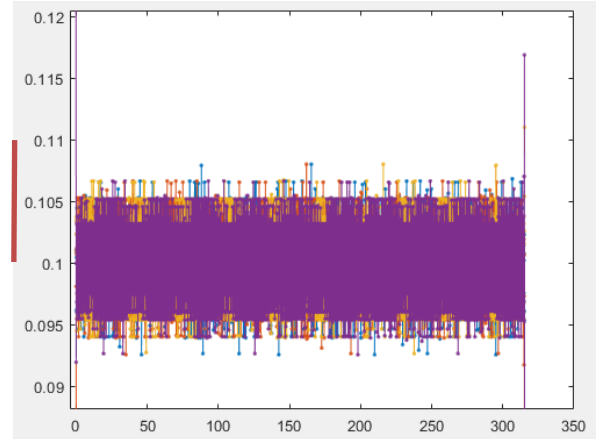
1-4 (measurements num: 3155,3155,3155,31255)



1-4, sliding window - mean 11 points

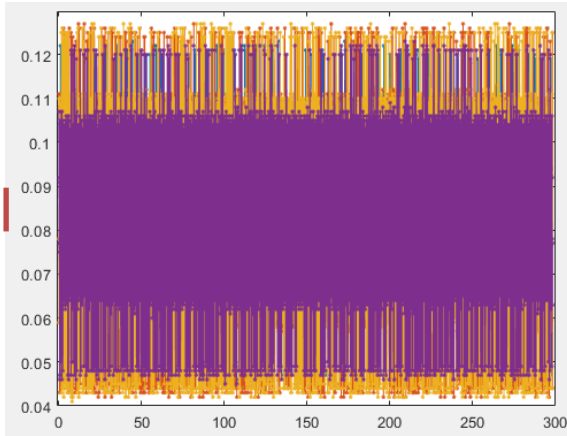


5-8 (measurements num: 3155,3155,3155,3156)

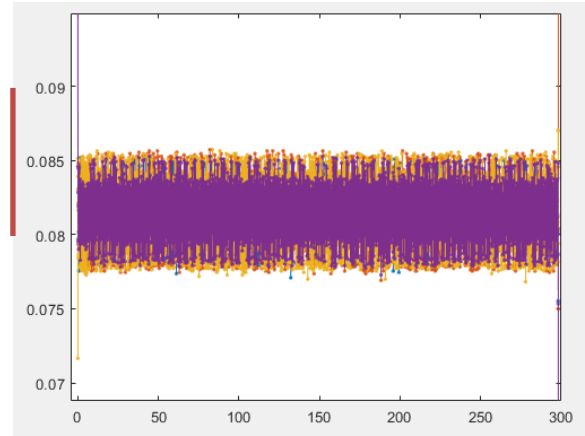


5-8, sliding window - mean 11 points

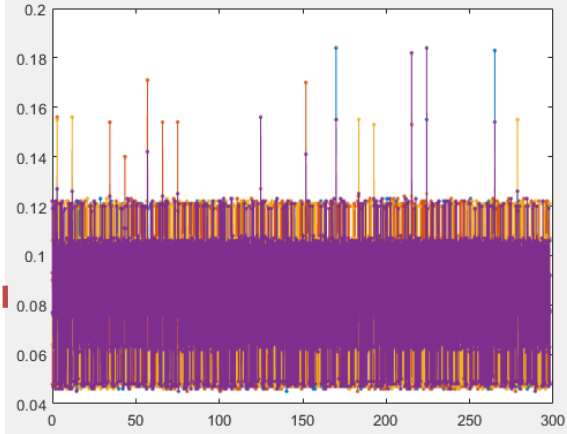
11_COM_12Hz_PS



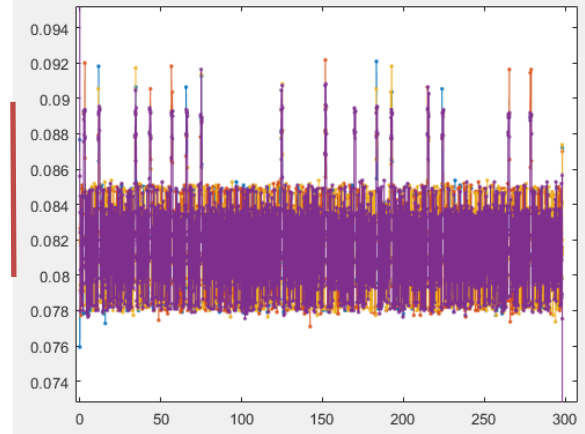
1-4 (measurements num: 3666,3666,3666,3666)



1-4, sliding window - mean 11 points

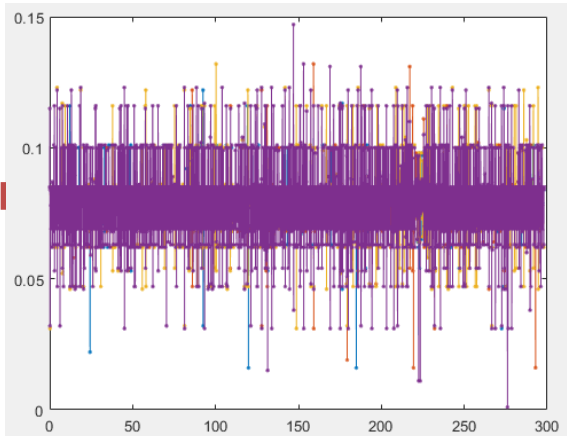


5-8 (measurements num: 3650,3650,3145,3145)

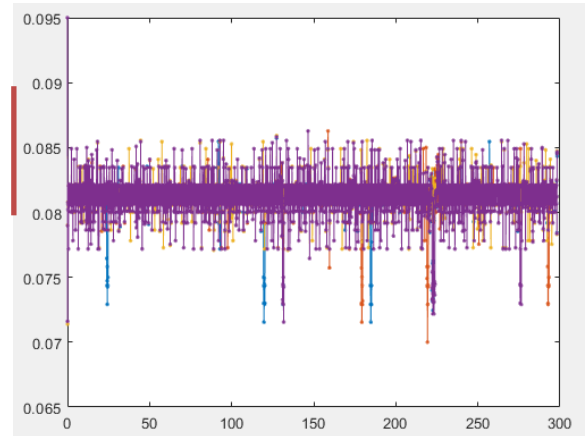


5-8, sliding window - mean 11 points

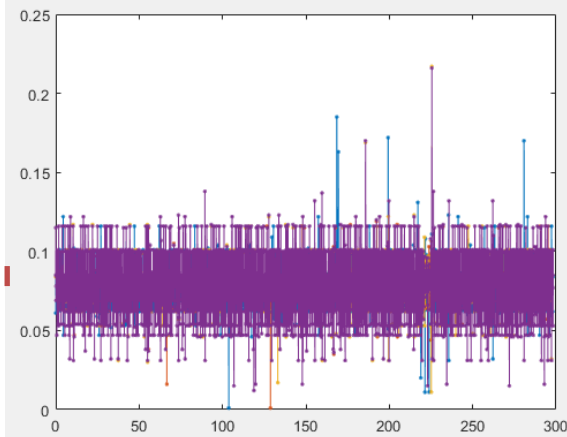
12_COM_12Hz_SB-Mon



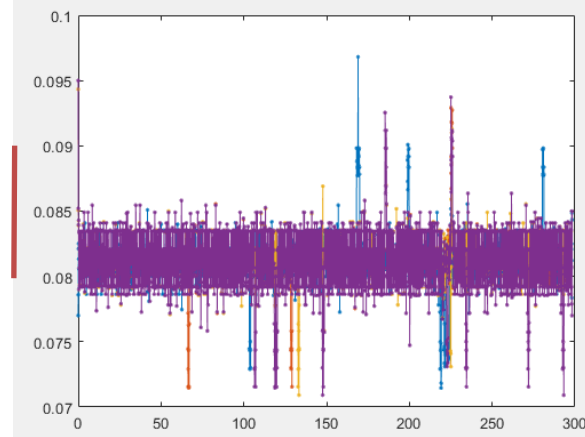
1-4 (measurements num: 3672,3670,3676,3671)



1-4, sliding window - mean 11 points

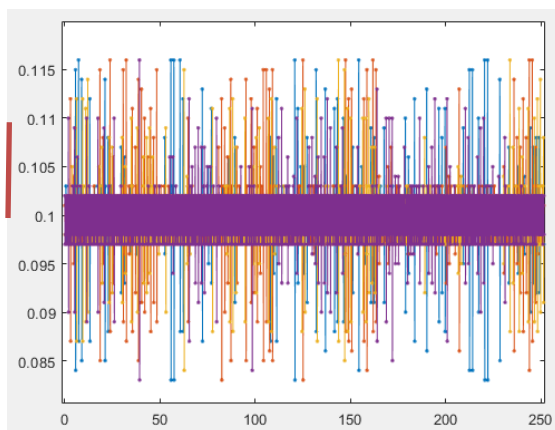


5-8 (measurements num: 3667,3667,3667,3673)

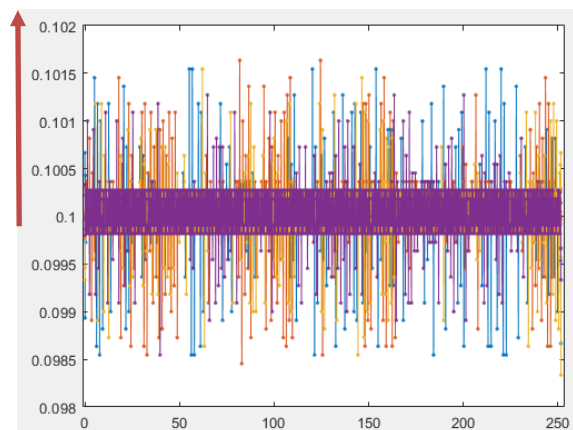


5-8, sliding window - mean 11 points

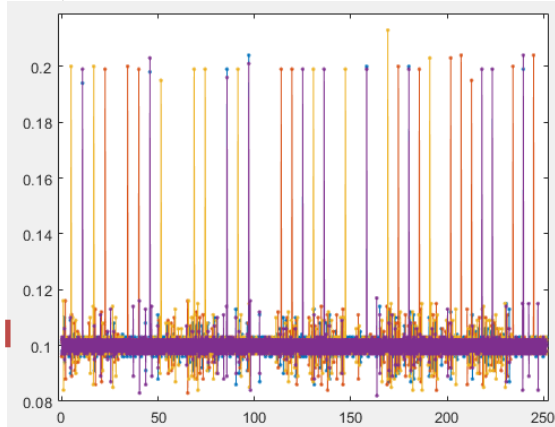
13_UDP_10Hz_PS-Switch



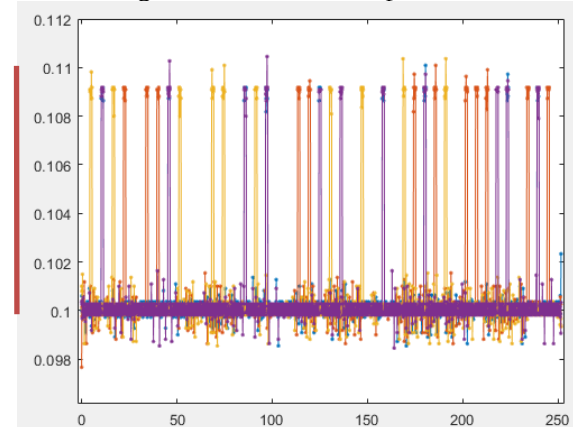
1-4 (measurements num: 2518,2519,2518,2519)



1-4, sliding window - mean 11 points

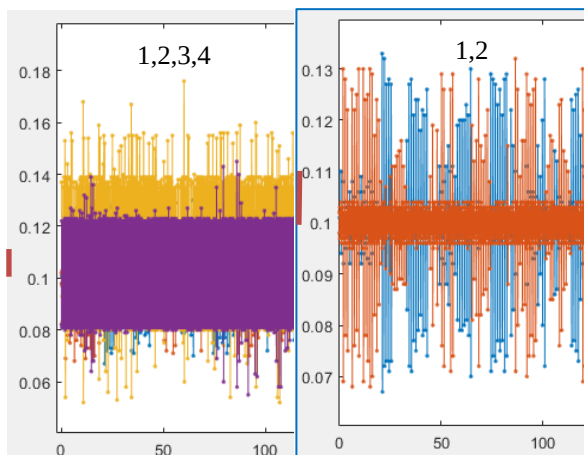


5-8 (measurements num: 2510,2507,2508,2508)

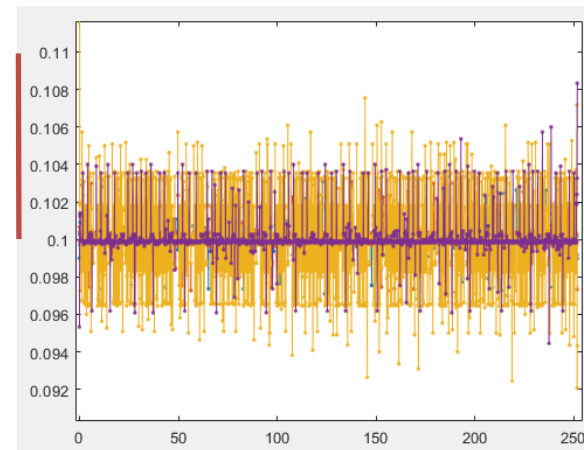


5-8, sliding window - mean 11 points

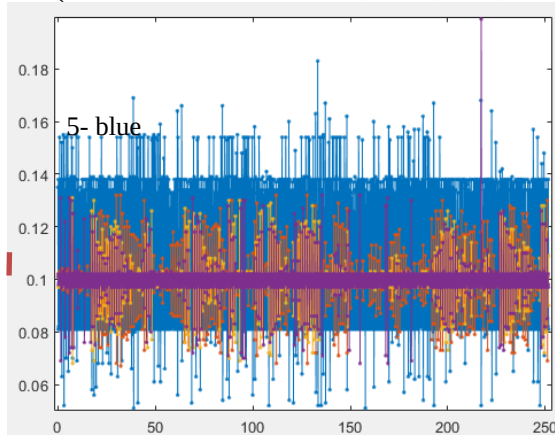
14_UDP_10Hz_SB-Switch



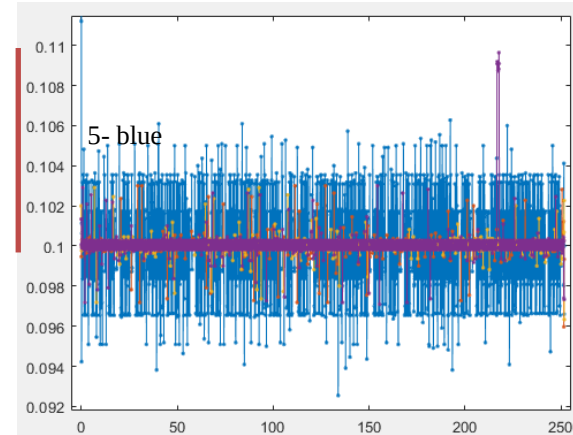
1-4 (measurements num: 2518,2519,2518,2518)



1-4, sliding window - mean 11 points

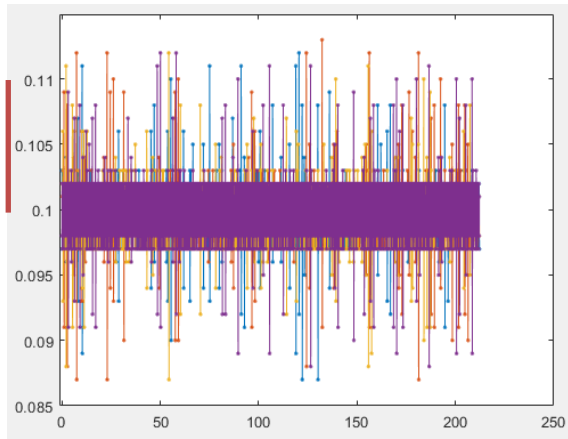


5-8 (measurements num: 2519,2518,2519,2517)

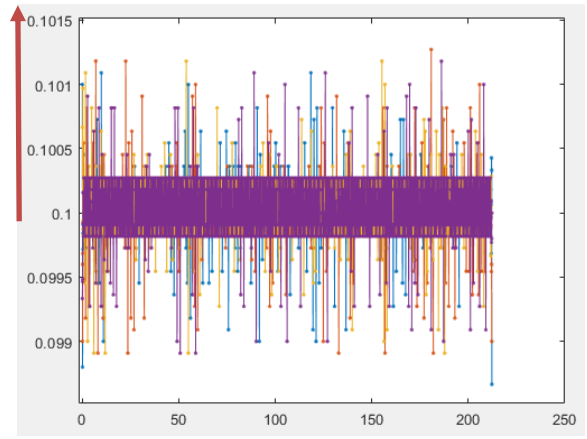


5-8, sliding window - mean 11 points

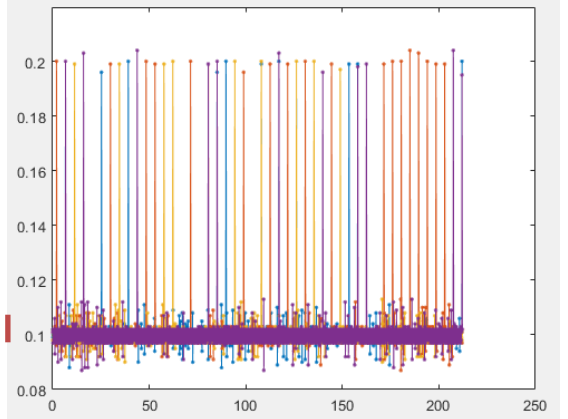
15_UDP_10Hz_PS-Switch-19200



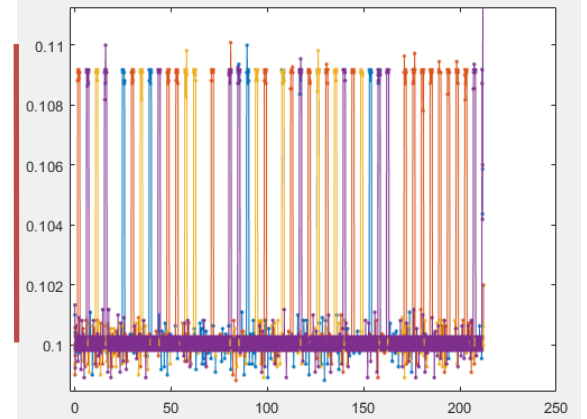
1-4 (measurements num: 2124,2123,2123,2124)



1-4, sliding window - mean 11 points

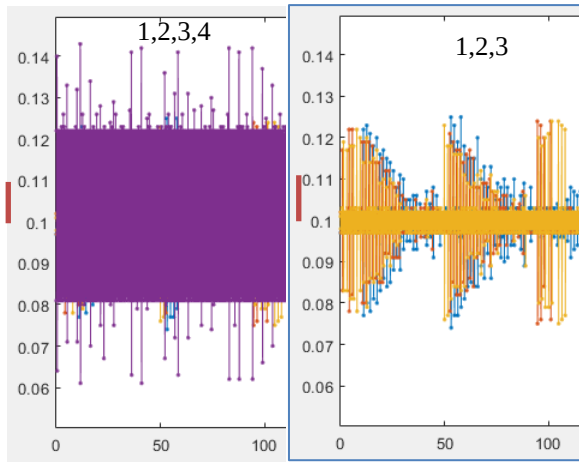


5-8 (measurements num: 2112,2105,2114,2112)

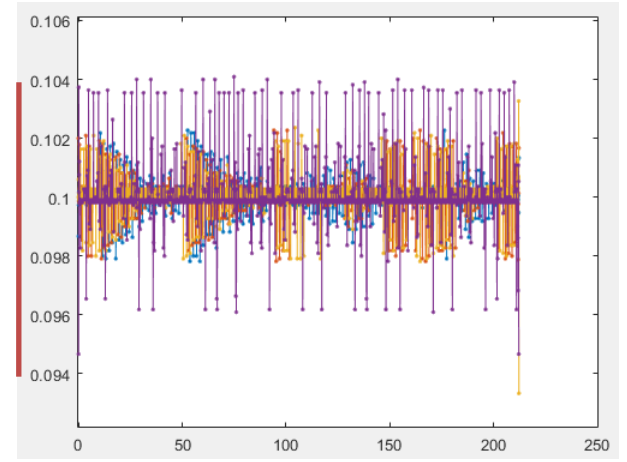


5-8, sliding window - mean 11 points

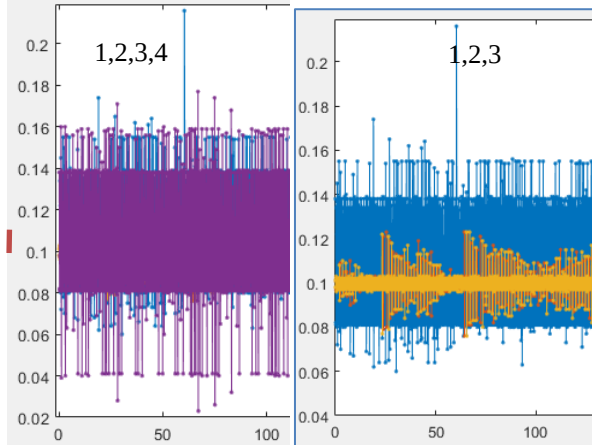
16_UDP_10Hz_SB-Switch



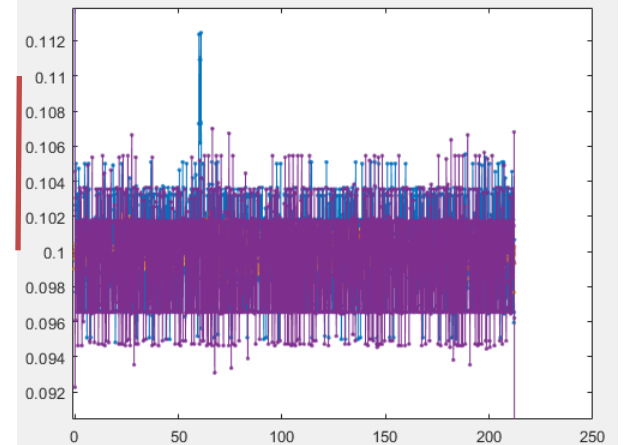
1-4 (measurements num: 2124,2124,2124,2123)



1-4, sliding window - mean 11 points

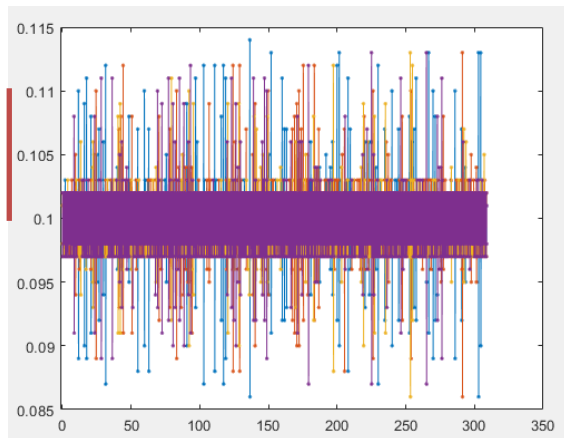


5-8 (measurements num: 2122,2124,2124,2124)

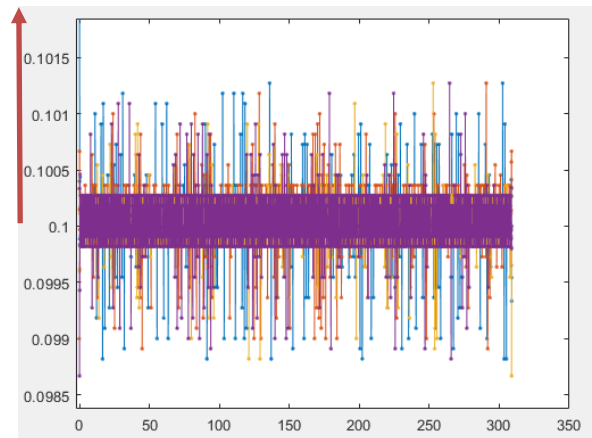


5-8, sliding window - mean 11 points

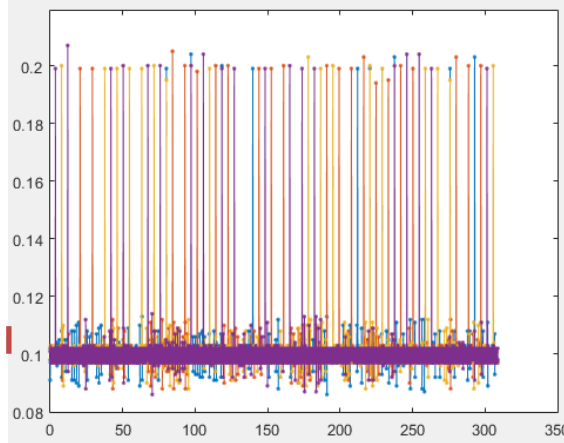
17_COM_10Hz_PS-Switch-19200



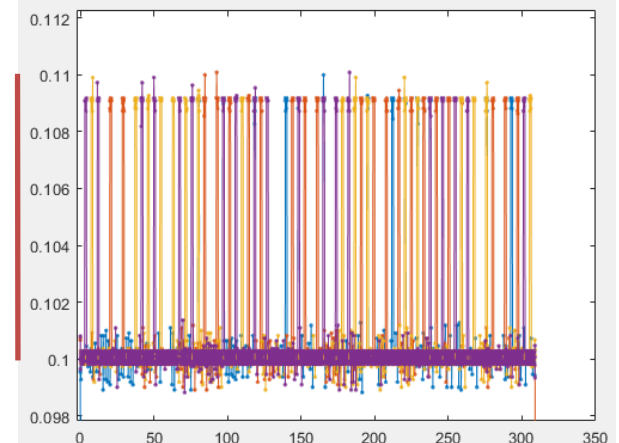
1-4 (measurements num: : 3091,3091,3090,3091)



1-4, sliding window - mean 11 points



5-8 (measurements num: 3077,3069,3073,3072)



5-8, sliding window - mean 11 points