

DistoX и TopoDroid

Калибровка, точность, прецизионность

Версия 2020.03.20

Marco Corvi – 2020

Перевод Алексея Барашкова и Андрея Коженкова

Основные данные о DistoX

DistoX — это электронный прибор для картирования пещер. При помощи DistoX вы можете одновременно измерять расстояние, азимут и уклон. Измеренные значения могут быть переданы через Bluetooth на КПК (PocketTopo или Auriga) или на устройство Android (TopoDroid, CaveSurvey, Qave или SexyTopo). Разработчиком и производителем DistoX является Beat Heeb.

Первая версия DistoX, была представлена на Vercoors в 2008 году. Она состоит из серийного дальномера Leica DISTO A3 и платы расширения, которая устанавливается в него. Программное обеспечение на плате перехватывает команды пользователя, измеряет азимут и уклон, отображает значения на экране вместе с расстоянием и передает их через Bluetooth. Измеренные данные остаются в буфере памяти устройства, который может содержать чуть более 4000 измерений. Эта плата оставалась в производстве около полутора лет, после чего она была снята с производства из-за недоступности одного из компонентов.

Спустя три года, в конце 2013 года, Beat создаёт новую модель DistoX2 для дальномера Leica DISTO X310 (E7400x в США). Плата DistoX2 заменяет одну из оригинальных плат Leica. Также появляется возможность установки немагнитной аккумуляторной батареи, что делает использование более удобным. Буфер памяти DistoX2 может содержать только около 1000 измерений, но устройство имеет больше функций, чем первая модель. DistoX2 тоже больше не производится с конца 2019 года из-за недоступности модуля Bluetooth.

Одной из важных особенностей DistoX2 является возможность обновления прошивки и тем самым добавления новых функций. Прошивка 2.3 была выпущена в августе 2014 года, прошивка 2.4 в феврале 2015 года и прошивка 2.5 в августе 2016 года.

Схемотехническое описание, разметка платы и код прошивки доступны для скачивания на [сайте](#).

Использованная литература

Документация на сайте DistoX paperless.bheeb.ch

Документация на souterweb.free.fr

Видео уроки и страницы на derekbristol.com

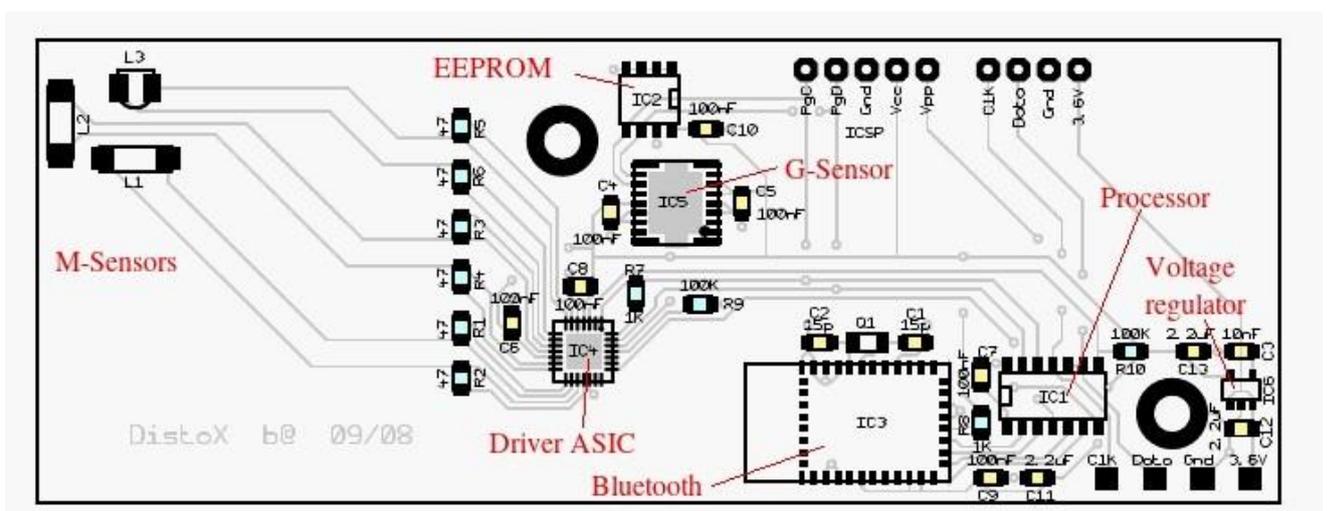
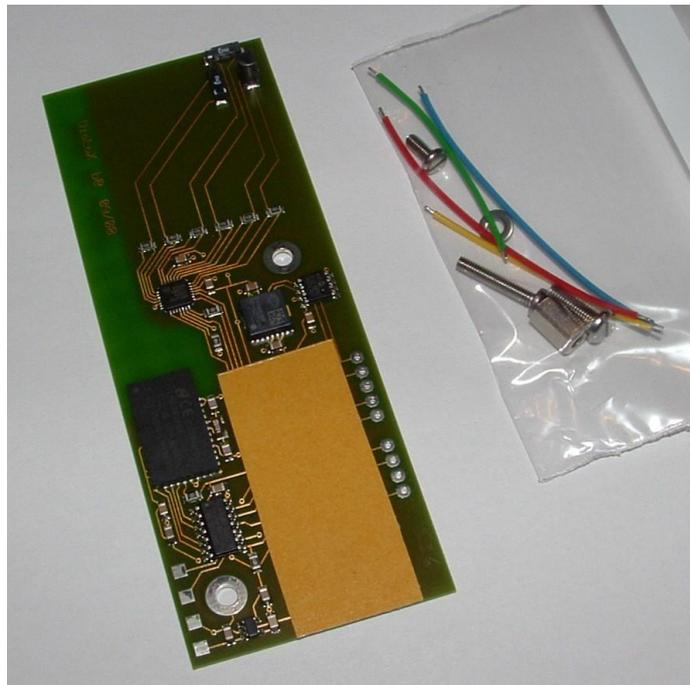
DistoX (версия 1)

DistoX — это плата расширения для Leica DISTO A3.

Плата DistoX имеет следующие датчики:

- M X/Y датчик PNI corp. 12683
- M Z датчик PNI corp. 12779
- G датчик VTI tech. 647361

Чувствительность магнитных датчиков составляет в лучшем случае около 15-50 нТ, что соответствует 0,03° - 0,1°.





Кнопки DistoX

DIST/ON включает устройство/лазер, снимает показания

ПЛЮС и МИНУС

ПЛОЩАДЬ

MEM (память)

REF переключает «нулевую точку» по расстояниям между "задним" и "передним" краями устройства

UNITS выбирает единицы измерения расстояния и угла

CLEAR/OFF выключает лазер или устройство

Экран DistoX

Дисплей DistoX отображает:

[1-3] значения азимута, уклона и расстояния с их единицами измерения

[4] значок «нулевой точки» (либо «задняя», либо «передняя»). Когда лазер включен, сверху мигает "*".

[5] значок Bluetooth (включен), мигает при подключении DistoX.

[6] количество не переданных пакетов измерений в памяти от 1 до 19 или «In» (для «бесконечного»). Если все данные уже переданы, не отображается ничего. В режиме «молчания» отображается 0.



В режиме калибровки на экране отображается «CAL» с количеством пакетов калибровочных измерений.

Функции DistoX

Чтобы включить DistoX, нажмите DIST/ON. Одновременно с этим включится лазер. Чтобы осуществить измерение, снова нажмите DIST/ON: на дисплее отображаются значения азимута (вверху), уклона (в центре) и расстояния (внизу). Чтобы сделать еще один замер, включите лазер, снова нажав DIST/ON. Чтобы прервать измерение, нажмите CLEAR, и лазер выключится.

Чтобы выключить устройство, нажмите и удерживайте CLEAR в течение двух секунд. DistoX отключается самостоятельно после 90 секунд бездействия.

Если вы нажмете ПЛЮС или МИНУС, лазер включится. После нажатия кнопки DIST будет произведено измерение, а измеренное расстояние будет прибавлено или отнято от предыдущего значения, соответственно. Результат отображается на дисплее, сохраняется в памяти и передается.

Этот механизм заложен в оригинальную плату Leica. DistoX считывает отображаемое расстояние и измеряет углы. Когда плата Leica отображает расстояние, суммированное с предыдущим значением, DistoX принимает это как «расстояние» замера. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы не начать измерение случайным нажатием кнопки ПЛЮС или МИНУС.

Короткое нажатие кнопки UNIT включает/выключает подсветку экрана. Длительное нажатие (2 секунды) кнопки UNIT при «нулевой точке» «сзади» изменяет единицы измерения расстояния, циклически изменяя между метрами с 3мя десятичными знаками после запятой (мм), метрами с 2мя десятичных знаками (см), футами с 2мя десятичными знаками, фут-дюймами с долями, дюймами с десятичными знаками, дюймами с долями. Единица расстояния отображается после значения.

Длительное нажатие на клавишу UNIT с «передней» «нулевой точкой» циклически переключает настройки единиц измерения компаса, Bluetooth и уклона:

- компас выключен, Bluetooth выключен
- компас включен, Bluetooth выключен, уклон в градусах
- компас включен, Bluetooth выключен, уклон в градах
- компас включен, Bluetooth включен, уклон в градусах
- компас включен, Bluetooth включен, уклон в градах

Угловая единица «°» (градус) или «g» (град) отображается после значений азимута и уклона.

Когда Bluetooth включен, на экране отображается значок Bluetooth, и Bluetooth DistoX в режиме видимости, т.е. его можно обнаружить с помощью сканирования другими устройствами Bluetooth окружения. Все устройства DistoX имеют имя Bluetooth «DistoX». PIN-код сопряжения – 0000 (четыре нуля).

MEM показывает данные в памяти. Рядом с номером пакета данных в памяти отображается значок «mem». Несколько раз нажав MEM, вы можете просмотреть другие пакеты данных в памяти.

Чтобы включить/выключить режим калибровки, перейдите к десятому пакету данным в памяти и удерживайте UNIT две секунды.

Нажатие CLEAR и ПЛЮС в течение 5 секунд включает/выключает звуковой сигнал.

Чтобы включить режим «молчания», нажмите последовательность AREA AREA REF REF CLEAR. В режиме «молчания» измерения сохраняются в памяти, но данные немедленно помечаются как «переданные». Другие неотправленные данные, присутствующие в памяти, также помечаются как «переданные». В режиме «молчания» вместо количества пакетов измерений в памяти отображается «0».

Нажатие AREA включает тестовый режим. В этом режиме компас работает непрерывно. С «задней» «нулевой точкой» на экране отображаются азимут и наклон. С «передней» - углы крена и падения. Вы не должны снимать показания в тестовом режиме: данные не сохраняются и не передаются, а отображение данных из памяти может стать непоследовательным.

AREA AREA показывает версию прошивки (вверху) и серийный номер платы (внизу). В этом режиме переключение «нулевой точкой» на «передний» или «задний» край с помощью клавиши REF включает/выключает режим «молчания».

Коды ошибок

Когда у DistoX возникает проблема с измерением отображается код ошибки:

- 252: слишком высокая температура
- 253: температура слишком низкая
- 255: сигнал слишком слабый
- 256: сигнал слишком сильный
- 257: слишком сильная фоновая засветка
- 260: лазерный луч прерван

Эти коды являются кодами ошибок оригинального прибора Leica. Другие (необычные) коды ошибок могут возникать из-за ошибки измерительного модуля. Убедитесь, что стекло линзы модуля дальномера чистое. Случайная ошибка может исчезнуть при выключении и включении DistoX.

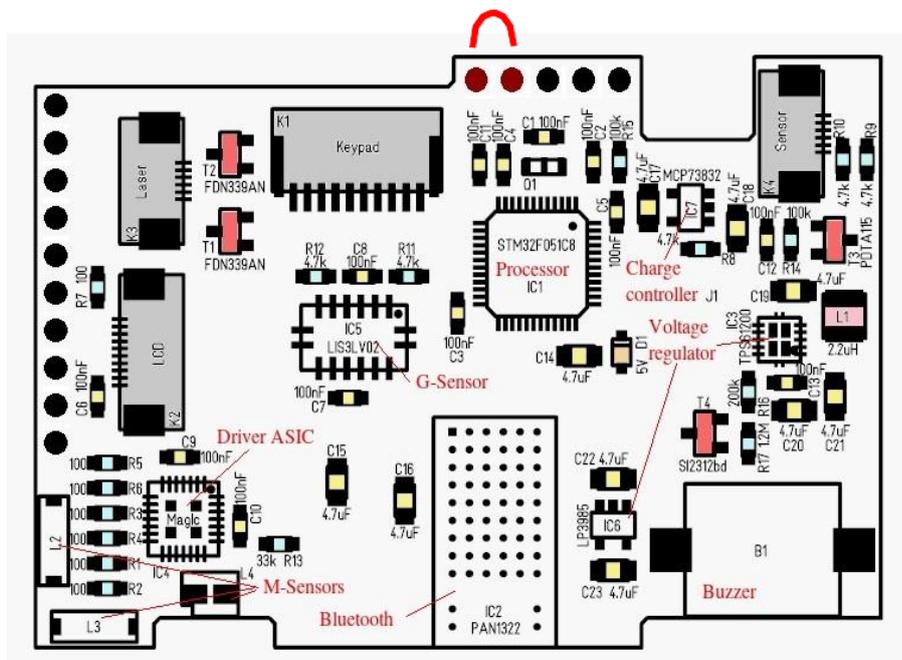
Использованная литература

B. Heeb, DistoX user manual, 2008.08.14

B. Heeb, DistoX advanced informations - Firmware v. 1.3 1nd 1.4, 2010.12.12

B. Heeb, Inside DistoX - DistoX version 1.3, 2008.10.10

DistoX2



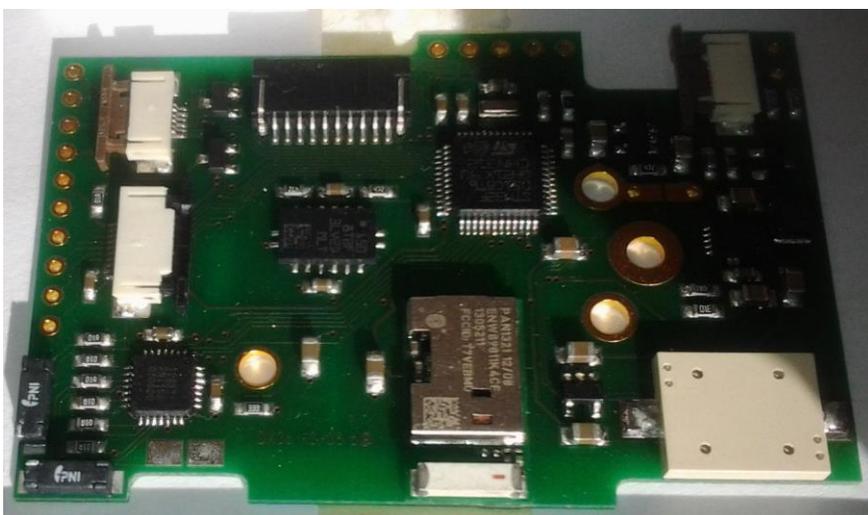
DistoX2 является заменой для основной платы дальномера Leica DISTO X310.

На плате DistoX2 установлены следующие датчики:

- M X/Y датчик PNI corp. 13104
- M Z датчик PNI corp. 13101
- G датчик ST Microel. 497-841501-ND

Чувствительность магнитных датчиков такая же, как у DistoX (0,03° -0,1°). Для G-датчиков это в лучшем случае 1‰ то есть 0,06°.

Замыкание двух красных контактов (помеченных дугой) производит аппаратную перезагрузку и загружает DistoX2 в режиме загрузчика, чтобы можно было загрузить прошивку.





Кнопки DistoX2

ON/DIST: включить прибор, сделать замер



ПЛЮС и МИНУС: навигация в памяти, экраны, значения настроек



FUNC: отображает информацию об устройстве



SMART: подробности о данных



UNITS (MEM): память, единицы



REF: «нулевая точка»



TIMER



CLEAR/OFF: выключение лазера или DistoX2



Экран DistoX2

[1-3] На экране DistoX2 отображаются значения измеренных данных: расстояние, азимут, наклон и их единицы измерения [11,12].

[4] Значок точки отсчёта показывает текущую настройку «нулевой точки».

[5] Стрелка вниз справа указывает на то, что включен режим «обратного замера».

[6] Значок Bluetooth отображается, если Bluetooth включен, и мигает в процессе подключения к другому устройству.

[7] Значок аккумулятора показывает уровень заряда аккумулятора; он также может быть проверен в меню информации о приборе. Во время зарядки он циклически меняет три своих положения.

[8] Количество не переданных данных показано в правом верхнем углу. Если прибор DistoX2 находится в режиме «молчания», отображаются две черты.

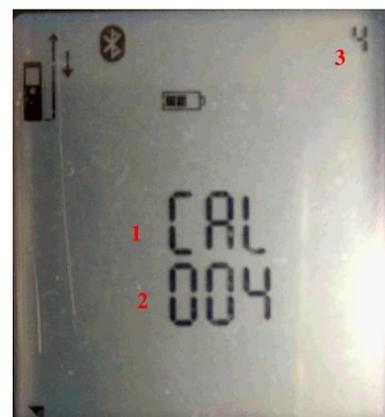
[9] При обнаружении тройного замера справа от значения уклона отображаются три короткие линии (при активации соответствующего режима).

[10] Маленький треугольник внизу слева, если включен режим обнаружения тройного замера.

Метка «2nd» появляется, когда один из двух комплектов датчиков ускорения вышел из строя.

В режиме калибровки на экране отображается метка «CAL» [1] с суммарным количеством пакетов калибровочных замеров [2].

Количество пакетов замеров, которые еще не были переданы, показано в верхнем правом углу [3].



Включение и выключение

Чтобы включить DistoX2, нажмите DIST. Если устройство было выключено с помощью клавиш блокировки, нажмите МИНУС, чтобы разблокировать их (как показано на экране). Когда вы включаете DistoX2, лазер включается автоматически. Нажмите CLEAR, чтобы выключить его, или еще раз DIST, чтобы осуществить измерение. Чтобы выключить DistoX2, нажмите и удерживайте CLEAR в течение двух секунд. Чтобы выключить прибор с блокировкой клавиш, нажмите CLEAR и МИНУС одновременно и удерживайте две секунды. DistoX2 выключается автоматически через 90 с, если ни одна клавиша не нажата и соединение Bluetooth не установлено.

Блокировка клавиш полезна для предотвращения случайного включения DistoX2 и измерения во время транспортировки.



Измерение

Чтобы осуществить измерение, нажмите клавишу DIST, включится лазер. Затем нажмите ту же клавишу, чтобы измерить и выключить лазер. Аналогичный результат имеет нажатие клавиши DIST с удержанием.



Измеренные значения отображаются на экране: азимут вверху, уклон в середине и расстояние внизу. Просмотр дополнительных данных доступен с помощью кнопки SMART.

Если установлен таймер, DistoX2 производит измерение с соответствующей задержкой.

Измерения могут производиться с задержкой, по таймеру. Нажмите кнопку TIMER, когда лазер выключен, и установите время задержки с помощью кнопок ПЛЮС или МИНУС. После нажатия DIST лазер включится и начнётся обратный отсчет. После соответствующей задержки будет произведено измерение. Если вы хотите прервать измерение, нажмите CLEAR для остановки операции.



При нажатии на TIMER с включенным лазером сразу же начнётся обратный отсчет, и по истечении времени будет произведено измерение.

Таймер может быть полезен для более точного наведения прибора, так как при нажатии клавиши неизбежно небольшое перемещение DistoX2.

С прошивкой версии 2.3 и выше можно включать/выключать лазер и проводить измерения с дистанционным запуском, через Bluetooth.

Дистанционное управление DistoX2 полезно для точных измерений, но требует хорошей координации между участниками работ.

С помощью клавиши SMART вы можете просмотреть дополнительную информацию о данных (расстояние всегда отображается):



- азимут, расстояние в плане, перепад высот
- угол крена и угол магнитного падения
- величина магнитного поля (мкТл) и ускорение свободного падения (единица измерения «g», 9.81 м/с^2)
- необработанные данные XYZ штатных датчиков ускорения
- необработанные данные XYZ отдельных датчиков ускорения
- необработанные данные XYZ датчиков магнитного поля

Последние три раздела доступны только для последнего измерения (для данных из памяти недоступны).

Если лазер включен, доступны только последние пять разделов дополнительной информации, а расстояние заменяется тремя штрихами.

Эта дополнительная информация обычно не важна. Однако, она может оказаться полезной, если DistoX2 начнёт вести себя странным образом, и возникнет подозрение, что что-то не так с датчиками или имеется магнитная аномалия.

Память

Просмотр данных в памяти прибора доступен с помощью клавиши UNITS. После её нажатия будет показан последний пакет данных. Нажимая ПЛЮС или МИНУС, вы можете перемещаться по более старым пакетам данных. Порядковый номер пакета показан в верхнем правом углу, начиная с 001.



В режиме просмотра памяти устройства доступно отображение дополнительной информации с помощью клавиши SMART, как описано выше.



Нажатие и удержание клавиш CLEAR и UNITS в течение двух секунд удаляет метку «для передачи» для всех данных в памяти. Соответственно, никакие данные не будут переданы.



Это полезно, когда вы хотите сделать несколько замеров, но не хотите сохранять их в пикетажном журнале. В качестве альтернативы вы можете включить режим «молчания», сделать замеры и отключить режим «молчания».

"Нулевая точка"

"Нулевая точка" может быть «сзади» прибора (по умолчанию), «спереди» или в точке крепления штатива. Текущее положение отображается стрелкой в значке «нулевой точки» в верхнем левом углу экрана.



При нажатии REF положение «нулевой точки» временно устанавливается на «спереди» для следующего измерения, после чего оно возвращается на «сзади». При двойном нажатии REF «нулевая точка» устанавливается на «штатив». Этот параметр является постоянным. Чтобы вернуться на «сзади», снова нажмите REF. Нажатие REF в течение двух секунд устанавливает «нулевую точку» на «спереди» постоянно. Чтобы отменить эту настройку, нажмите клавишу REF.

Временная установка на «спереди» необходима для очень коротких выстрелов, около 20 см или менее, при условии, что передний край корпуса DistoX можно разместить на пикете.

Удерживание REF и FUNC в течение двух секунд переключает заднюю «нулевую точку» между «на удалении» и «сзади». Это требуется, когда у DistoX есть «хвост» для более точного позиционирования «нулевой точки» на пикете. С этой опцией длина «хвоста» добавляется к измеренным расстояниям; длину

«хвоста» можно установить на экране информации об устройстве. Нажатие кнопки REF в режиме «нулевой точки» «на удалении» переключает режимы между «спереди», «штатив» и «на удалении».

Режим обратных замеров

При включенном режиме обратных замеров DistoX2 осуществляет измерение в противоположном направлении: к азимуту добавляется 180°, а знак уклона меняется на противоположный. При измерении обратными замерами или считывании соответствующих данных из памяти из памяти, рядом со значком «нулевой точки» отображается стрелка вниз. Данный режим включается/выключается удержанием UNITS и МИНУС на две секунды.



Режим обратных замеров – опасная опция DistoX2. Он должен быть отключен до того, как будут произведены измерения сплеев, иначе они так же будут обратными. Лучше оставить задачу «переворачивать» замеры приложению, которое управляет данными (и абрисами). TopoDroid имеет такую опцию. Если этот параметр активен, приложение устанавливает номера пикетов ДО и ОТ в соответствии с фактическим положением DistoX2 при съёмке.

Настоящая проблема режима обратных замеров состоит в том, что в нём DistoX2 может работать двумя противоположными способами. Это требует большего внимания и аккуратности со стороны человека, работающего с прибором, и человека на пикетажном журнале во время съёмки.

Тройной замер

С включенной функцией индикации тройных замеров DistoX2 издает двойной звуковой сигнал, когда вы делаете три последовательных замера, которые отличаются по расстоянию менее чем 3 см и 1.7° по углам. Рядом со значением уклона также отображается символ, состоящий из трех горизонтальных чёрточек.



Тройной замер активируется удержанием SMART и МИНУС в течение двух секунд. При этом в левом нижнем углу экрана отображается треугольник.

Режим тройного замера крайне полезен, так как он дает пользователю обратную связь о том, что сделано три одинаковых замера. Однако может

случиться так, что все три выстрела некорректные. Проверка значений на дисплее при каждом измерении, особенно расстояния, является хорошей привычкой.

Единицы измерения

Единица измерения расстояния выбирается удержанием UNITS в течение двух секунд. Единица измерения выбирается циклически между метрами с тремя знаками после запятой (мм), метрами с двумя знаками (см), футами, дюймами, футами с дюймами и их долями, дюймами с долями.



Удержание UNITS и SMART в течение двух секунд переключает единицу измерения углов между градусами и градами.



Режим «молчания»

Когда DistoX2 находится в режиме «молчания», данные записываются в память, но не передаются. На самом деле они записываются как уже переданные.



Переключение между режимом «молчания» и нормальным осуществляется удержанием UNITS и FUNC в течение двух секунд. Когда включен режим «молчания», в правом верхнем углу отображаются две черты вместо количества пакетов не переданных данных.

Режим «молчания» можно использовать для измерений, которое вы не хотите сохранять в пикетажном журнале. Помните, что при включении режима «молчания» метка «для передачи» у всех пакетов данных в памяти удаляется.

Когда вы осуществляете топосъёмочные или калибровочные замеры, вы должны убедиться, что режим «молчания» не активен: количество передаваемых данных должно увеличиться.

Режим калибровки

DistoX2 переключается между режимом калибровки и нормальным режимом удержанием кнопок CLEAR и SMART в течение двух секунд. В режиме калибровки расстояние не измеряется (нет необходимости в измерении этой величины), а записываются и передаются



только необработанные показания датчика. Эти данные используются для расчета калибровочных коэффициентов, которые могут быть загружены в DistoX2. Эти коэффициенты используются для преобразования показаний датчика в значения XYZ в «идеальной» системе отсчета DistoX2, из которой вычисляются азимут, уклон и крен.

В режиме калибровки на экране отображается «CAL» и количество пакетов калибровочных данных. Данные калибровки, сохраненные в памяти, могут быть просмотрены на экране DistoX2: нажмите клавишу UNITS, чтобы увидеть последнее измерение, и ПЛЮС или МИНУС, чтобы перемещаться по памяти. Когда данные отображаются, вы можете переключаться между дополнительной информацией, используя клавишу SMART:

- показания комбинированного датчика ускорения XYZ
- показания датчика магнитного поля XYZ
- показания штатного датчика ускорения XYZ
- показания отдельного датчика ускорения XYZ

Последние два доступны только для последнего измерения.

Звуковой сигнал, подсветка и Bluetooth

Удержание кнопок REF и МИНУС в течение двух секунд включает и выключает звуковой сигнал.

Звуковой сигнал полезен для того, чтобы инструмент имел звуковую обратную связь с пользователем, целесообразно его включить.

REF и ПЛЮС включают/выключают подсветку экрана.

Выключение подсветки экономит энергию. Подсветка экрана на самом деле не нужна, ее можно отключить и сэкономить заряд батареи. Когда лазер выключен, подсветка удваивает энергопотребление.

Нажатие CLEAR и FUNC включает/выключает Bluetooth. Когда Bluetooth включен, DistoX2 всегда доступен для обнаружения. Имя устройства Bluetooth – DistoX-AAAA, где AAAA – серийный номер. PIN-код для соединения Bluetooth в DistoX2 – 0000 (четыре нуля). Когда DistoX2 подключен к устройству Bluetooth, он не выключается автоматически, даже если он неактивен. Bluetooth требуется для передачи данных на КПК/Android.

Информация об устройстве

Клавиша FUNC показывает информацию об устройстве. Перемещение между экранами меню осуществляется с помощью FUNC и SMART. Клавиша CLEAR, как обычно, осуществляет выход из этого режима.



Первый экран показывает напряжение и тип батареи («LI» для LiPo, «AL» для щелочной). Напряжение полностью заряженной литиевой батареи составляет около 4.2 В. Разрядка осуществляется до 3.2-3.5 В, но большую часть энергии батарея отдаёт при разряде до 3.8 В. Тип батареи можно изменить, удерживая FUNC и SMART в течение пяти секунд. Настройка должна соответствовать используемой батарее (плоский литиевый аккумулятор или элементы ААА, соответственно).

На втором экране отображаются версии аппаратной части и программного обеспечения, а также серийный номер устройства.

На третьем экране отображается уровень подсветки (1 – самый слабый и 10 – самый яркий). Чтобы изменить уровень, удерживайте ПЛЮС и МИНУС две секунды. После этого вы попадёте в режим редактирования, и сможете увеличить или уменьшить значение клавишами ПЛЮС или МИНУС. После редактирования подтвердите выбранное значение с помощью FUNC.

Чтобы полностью отключить подсветку, удерживайте REF и ПЛЮС две секунды.
Выключение подсветки экономит заряд батареи.

Четвёртый экран отображает длину «хвоста» (дополнительного наконечника) в мм, от -128 до 127. Значение по умолчанию составляет 27 мм. Чтобы изменить значение, нажмите PLUS и MINUS в течение двух секунд. После этого вы попадёте в режим редактирования и сможете увеличить или уменьшить значение клавишами ПЛЮС или МИНУС. Значение длины «хвоста» добавляется к каждому измерению расстояния в режиме «на удалении» «нулевой точки».

Непрерывный режим

Режим непрерывного сбора данных доступен только для прошивок 2.4с и 2.5с. На втором информационном экране рядом с номером версии встроенного программного обеспечения есть маленькая буква «с». Непрерывный замер запускается удержанием ПЛЮС и DIST в течение двух секунд. В этом режиме DistoX2 непрерывно осуществляет замеры, пока не будет нажата CLEAR. Эта функция удобна, если вы хотите сделать действительно много сплеев, чтобы построить грубую трехмерную модель.



Обновление прошивки

Чтобы обновить прошивку DistoX2, прибор необходимо включить в режиме загрузчика: одновременно нажмите    ПЛЮС, МИНУС и DIST. Экран остается пустым. Когда DistoX2 находится в режиме загрузчика, микропрограмма может быть передана на него через Bluetooth. После обновления прошивки выключите прибор, нажав CLEAR.

Некорректное обновление прошивки может повредить DistoX2. Перед загрузкой прошивки внимательно прочитайте соответствующую документацию.

Сброс к заводским настройкам

Удержание CLEAR, FUNC и UNITS в течение пяти секунд    возвращает DistoX2 к заводскому состоянию. Память очищается, настройки устанавливаются на значения по умолчанию, а калибровочные коэффициенты сбрасываются на нейтральную калибровку.

Коды ошибок

Коды ошибок DistoX2 такие же, как и в DistoX версии 1.

Использованная литература

B. Heeb, DistoX2 user manual - Firmware version 2.4, 2015.01.22

B. Heeb, The next generation of the DistoX cave surveying instrument, CREG, 88 2014

B. Heeb, Inside DistoX2 - Leica Disto X310 based DistoX, Firmware version 2.1 - 2.3, 2014.07.30

Далее мы используем термин «DistoX» для обозначения DistoX (версия 1) и DistoX2 (версия 2) неразличимо.

Дисплей ToroDroid имеет черный фон для экономии заряда аккумулятора во время съемки. В этом документе скриншоты ToroDroid были инвертированы в ложные цвета для лучшей читаемости.

Основные функции DistoX2 (краткое одиночное нажатие)

	Включение питания / Включение лазера / Считывание показаний
	Отмена операции / выключить лазер
	Изменить «нулевую точку» (спереди - штатив - сзади / на удалении)
	Продолжительность таймера (лазер выключен) / Пуск таймера (лазер включен)
	Войти в режим памяти - Показать сохраненные показания
	Предыдущее показание (Память) / Увеличить настройку (Таймер, Подсветка ...)
	Следующее значение (Память) / Уменьшить опцию (Таймер, Подсветка, «хвост»)
	Показать информацию об устройстве (Напряжение батареи, серийный номер ...)
	Показать расширенную информацию об измерениях

Дополнительные функции DistoX2 (нажмите и удерживайте в течение 2 секунд)

	Выключить
	Произвести измерение (при включенном лазере)
	Изменить единицы измерения расстояния
	 Изменить единицы измерения угла (градусы / грады)
	 Включить / выключить режим «молчания» (---)
	 Включить режим обратного замера ON / OFF
	 Включить / выключить звуковой сигнал
	 Включить / выключить подсветку дисплея
	 Изменить компенсацию наличия хвоста («сзади» / «на удалении»)
	 Включить / выключить проверку тройного замера
	 Вход / выход из режима калибровки
	 Очистить неотправленные пакеты измерений из памяти
	 Включить / выключить Bluetooth
	 Выключение питания с блокировкой кнопок
	 Начать измерение в непрерывном режиме

Самodelки и приспособления для работы с DistoX

С DistoX версии 1 существует проблема потери калибровки из-за перемещения батарей в их гнездах. Heeb предложил вариант решения на своём веб-сайте – положить лист бумаги между двумя батареями, чтобы они не могли двигаться.

Другая проблема заключается в необходимости калибровки при замене батарей. Чтобы избежать этого, люди пытались использовать внешние батареи, подключенные к DistoX с помощью электрического провода.



Кусок бумаги между батареями (В. Heeb) / Внешняя батарея (clan.des.tritons.free.fr 2009)

В DistoX2 проблема с батареями была решена путём установки встроенного аккумулятора.

При этом слабым местом DistoX2 является плата с разъёмом USB, припаянная к контактам батареи. Пайка, как правило, недостаточно прочная, чтобы удерживать плату после многократного подключения и отключения провода от гнезда USB. Типичным решением является удержание платы на месте с помощью капли термоклея. В качестве альтернативы, USB-плату можно припаять к контактам через пару гибких проводов. Это упрощает замену платы USB в случае повреждения соединения самого разъема USB и платы.



Плата USB зафиксирована двумя каплями клея (Фото G. Sergol) или припаяна через провода. Уплотнение препятствует свободному перемещению платы USB.

Важным приспособлением для точной съемки является «хвост». Он позволяет более точно позиционировать «нулевую точку» прибора на пикете. Режим «нулевой точки» DistoX2 должен быть установлен в положении «на удалении» и должна быть установлена фактическая длина хвоста. Хвост должен находиться на линии лазерного луча, но небольшие отклонения имеют пренебрежимо малый эффект, поскольку это отклонение обычно значительно меньше, чем длина замера. Предположим, что хвост имеет длину 5 см, а минимальный замер - 1 м. Отклонение в 5 градусов даёт ошибку 5 мм. Ошибка позиционирования имеет большее влияние на точность.

Полезными дополнениями так же являются две кнопки, наклеенные на клавиши DIST и TIMER, чтобы помочь распознать их на ощупь.



«Хвост» и дополнительные кнопки (М. Sluka)

Чехол DistoX может быть полезен для защиты устройства как во время транспортировки, так и во время работы.

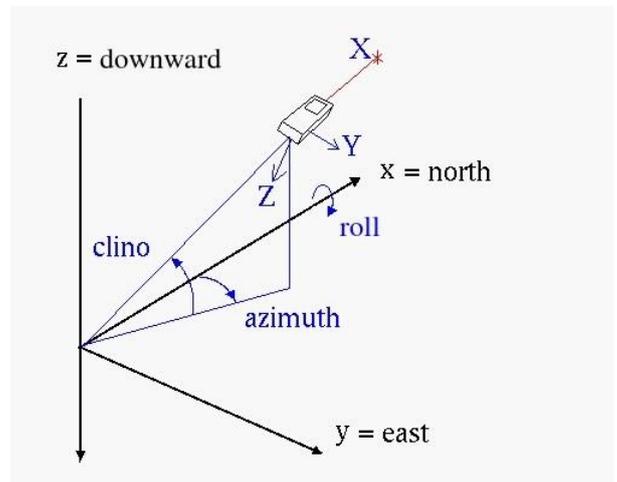


Водонепроницаемый чехол DistoX2 (страница Facebook)

Калибровка (теория)

Математика DistoX

Трехосевые датчики, установленные в DistoX не точно совмещены с идеальной системой отсчета DistoX (с осью X в направлении лазерного луча).



Кроме того, датчики имеют различия в коэффициентах усиления и поправках. Наконец, на магнитное поле влияют части прибора выполненные из ферромагнетиков (постоянные поля) и внешние источники магнитного поля (наведённые поля) на компоненты внутри устройства.

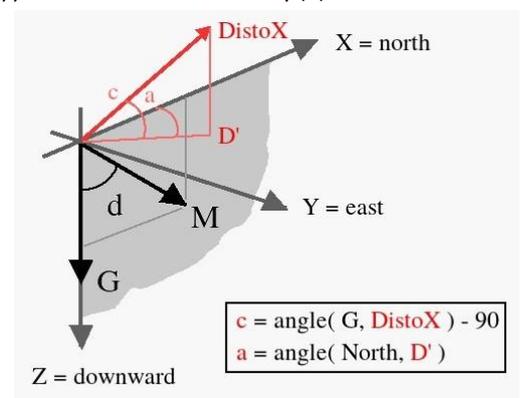
Преобразование из значений параметров магнитного поля и ускорения, измеренных датчиками, в компоненты этих полей в идеальной системе координат DistoX может быть в достаточной степени точно пересчитано линейным преобразованием (возможно, с нелинейным компонентом для ускорения). Коэффициенты калибровки являются параметрами этого преобразования, а «калибровка» DistoX сводится к вычислению этих коэффициентов.

Зная значения параметров полей в системе отсчёта DistoX, легко вычислить направление оси X в мировой системе координат.

В мировой системе координат (с вертикальной ориентацией Z вниз, X в направлении магнитного севера) $\mathbf{G} = (0,0,1)$ и $\mathbf{M} = (\sin(d), 0, \cos(d))$, где d - угол между \mathbf{M} и осью Z ($d = 90^\circ$ - вниз). Если DistoX направлен по азимуту a , с уклоном c и креном r , система координат DistoX получается из мировой путём вращения на угол r вокруг X, угол c вокруг Y и угол a вокруг Z (мировые оси). Следовательно, вектор $\mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z)$ в системе координат DistoX имеет проекции $R_t \cdot (V_x, V_y, V_z)$ в мировой системе координат, где R - матрица вращения $R_x(-r)R_y(-c)R_z(-a)$, которая преобразует вектор $\mathbf{W} = (W_x, W_y, W_z)$ в мировой системе координат в $R \cdot \mathbf{W}$ в системе координат DistoX.

В частности, $\mathbf{G} = (-\sin(c), \sin(r)\cos(c), \cos(r)\cos(c))$ в системе координат DistoX. Следовательно, $\text{tg}(c) = -G_x / \sqrt{G_y^2 + G_z^2}$.

Чтобы вычислить азимут, рассмотрим вектор в северном направлении, $\mathbf{N} = \mathbf{G} \wedge (\mathbf{M} \wedge \mathbf{G}) / |\mathbf{M} \wedge \mathbf{G}|$. В системе координат DistoX его X-компонент равняется $\cos(a)\cos(c)$.



Справа показана полная матрица вращения. В записи $R_{ij} = e^D_i \cdot e^W_j$: столбцы - это единичные векторы мировой системы координат в системе координат DistoX, строки - это единичные векторы мировой системы координат в системе координат DistoX.

$$R = \begin{pmatrix} cc\ ca & cc\ sa & -\ sc \\ -\ cr\ sa + sr\ sc\ ca & cr\ ca + sr\ sc\ sa & sr\ cc \\ sr\ sa + cr\ sc\ ca & -\ sr\ ca + cr\ sc\ sa & cr\ cc \end{pmatrix}$$

$\sin(r) \sin(a) + \cos(r) \sin(c) \cos(a)$ $n = G^M$ G

In the DistoX frame:

- $G = R_x(-r) R_y(-c) (0, 0, 1)$
- $M = R_x(-r) R_y(-c) R_z(-a) R_y(d) (0, 0, 1)$
- $r = \text{atan2}(G_y, G_z)$
- $c = -\text{atan2}(G_x, \sqrt{G_y^2 + G_z^2})$
- $a = \text{atan2}((G_y M_z - G_z M_y) / |G|, |G|^2 M_x - G^M G_x)$

Ниже приведены формулы, используемые для вычисления азимута, уклона и крена.

DistoX калибровка

Цель калибровки DistoX состоит в вычислении коэффициентов линейного преобразования, которые преобразуют значения G_s, M_s , измеренные датчиками, в калиброванные G_r, M_r в идеальной системе координат DistoX,

$$G_r = B_g + A_g G_s$$

$$M_r = B_m + A_m M_s$$

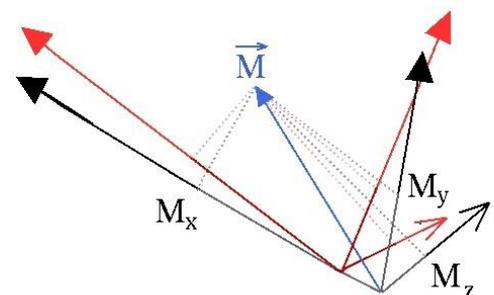
Векторы смещения B_g, B_m и матрицы A_g, A_m размерностью 3×3 являются коэффициентами калибровки. Если используется нелинейный член для G_s , появляются еще три коэффициента.

Алгоритм калибровки минимизирует среднюю ошибку E между G_r, M_r и соответствующими истинными значениями G_t, M_t для различных ориентаций DistoX, охватывающих все направления и повороты вокруг оси лазера.

$$E^2 = (1 / n) \sum (G_t - G_r)^2 + (M_t - M_r)^2$$

Суммирование производится по множеству различных направлений. Коэффициенты калибровки вводят поправку выражая G_r и M_r через G_s и M_s .

Components of the vector M, in the DistoX frame of reference, and in the sensors' frame of reference



Алгоритм многократно повторяет три шага, пока изменения калиброванных полей G_r , M_r не станут малы:

- 1) минимизировать E относительно азимута, уклона и крена
- 2) оценить угол d между G и M
- 3) минимизировать E , чтобы найти калибровочные коэффициенты B_g , B_m и A_g , A_m .

Метод основан на предположении (ограничении), что длины G и M , а также угол между ними не зависит от ориентации и вращения DistoX. Кроме того, значения азимута и уклона должны быть независимы от вращения (крена). Поэтому данные, которые отличаются только по крену, образуют группу, и они должны давать одинаковые значения азимута и наклона.

Алгоритм калибровки Beat Heeb

Первоначально Beat Heeb разработал этот алгоритм для PocketToro. Он же позже был реализован в ToroDroid и Auriga.

Минимизация функции ошибки выполняется итеративно, при условии, что начальная точка достаточно близка к глобальному минимуму. Все вычисления выполняются в системе отсчёта DistoX. В линейном алгоритме калиброванные значения силы тяжести и магнитного поля G_r , M_r предполагаются линейно связанными со значениями показаний датчика G_s , M_s , как описано выше.

Для нелинейного алгоритма вместо G_s используется линеаризованное значение G_s' , в котором из каждого компонента G_s вычитается член, пропорциональный его квадрату минус $1/2$. Коэффициенты пропорциональности являются нелинейными параметрами N алгоритма. N должно быть вычислено вместе с линейными коэффициентами. Далее описан только линейный алгоритм.

Минимизация параметров B_g , B_m и A_g , A_m сводит систему к линейной. Задача может быть решена алгебраически, если пары векторов G_s , M_s равномерно распределены по всем направлениям.

Другими неизвестными являются углы поворота a , c , r для каждого направления. Они вводят ошибку через истинные векторы G_t , M_t . Минимизация погрешности по отношению к крену r приводит к уравнению (для каждого направления)

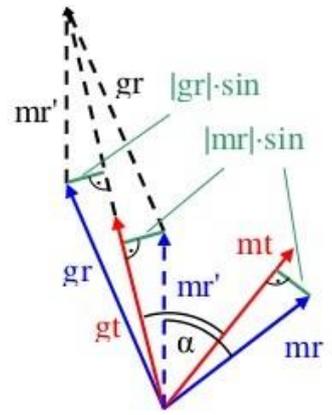
$$G_r \wedge G_t \cdot x + M_r \wedge M_t \cdot x = 0 \quad [1]$$

Отсюда можно вычислить величину крена.

Аналогичные уравнения справедливы для осей y и z (минимизация по c и a соответственно). Поэтому мы имеем векторное уравнение

$$\mathbf{G}_r \wedge \mathbf{G}_t + \mathbf{M}_r \wedge \mathbf{M}_t = 0 \quad [2]$$

которое утверждает, что \mathbf{G}_t , \mathbf{M}_t лежат в одной плоскости с \mathbf{G}_r , \mathbf{M}_r . Это уравнение решается «геометрически», как показано на рисунке (взято из статьи Нееб'а).



Последнее требование заключается в том, чтобы лазерный луч был выровнен по оси X системы координат DistoX. Минимизация ошибки для наборов измерений с общими \mathbf{a} , \mathbf{c} , но изменяющимися \mathbf{r} (однонаправленными группами) дает уравнения [1] для каждого крена, но аналогичные уравнения для \mathbf{a} , \mathbf{c} содержат сумму данных по группе,

$$\sum \mathbf{G}_r \wedge \mathbf{G}_t + \mathbf{M}_r \wedge \mathbf{M}_t = 0 \quad [3]$$

Определим средний вектор группы $\mathbf{G}_p = R_z(-c) (0,0,1)$ и аналогичный для \mathbf{M}_p . Тогда $\mathbf{G}_t = R_x(-r) \mathbf{G}_p$.

Определите $\mathbf{G}_a = R_x(r) \mathbf{G}_p$, калиброванный вектор, который соответствует нулевому крену. Тогда уравнение [3] принимает вид:

$$(\sum \mathbf{G}_a) \wedge \mathbf{G}_p + (\sum \mathbf{M}_a) \wedge \mathbf{M}_p = 0 \quad [4]$$

который аналогичен уравнению [2], но включает в себя средние калиброванные векторы при нулевом крене и \mathbf{G}_p , \mathbf{M}_p . Оно решается геометрически как уравнение [2]. Это фактически унифицирует данные при различном крене.

Остаётся еще одна неизвестная переменная: угол \mathbf{d} между \mathbf{G} и \mathbf{M} . На каждой итерации он вычисляется путем минимизации ошибки по отношению к \mathbf{d} . Тогда $\text{tg}(\mathbf{d})$ - это отношение между средними значениями $|\mathbf{G}_t \wedge \mathbf{M}_r|$ и $\mathbf{G}_t \cdot \mathbf{M}_r$.

Наконец, остается общая неопределенность крена. Любое вращение вокруг оси X калиброванной пары \mathbf{G}_r , \mathbf{M}_r также является калиброванной парой, поскольку каждая из них дает одинаковые значения азимута и наклона. Эта неоднозначность решается, предполагая компоненты yz и zy вектора \mathbf{A}_g равными.

Шаги линейного алгоритма следующие:

[1] Предварительно вычисляется среднее значение векторов показаний датчиков и их внешней результирующей матрицы (для G и для M)

$$B^0 = E [Gs]$$

$$A^0 = E [Gs \times Gs]$$

Затем предварительно вычисляется матрица G^0 , которая используется на этапе [9] для решения линейной системы параметров калибровки.

$$G^0 = (A^0 - B^0 \times B^0)^{-1}$$

[2] Оценивается угол α между G и M

[3] Инициализируется $Bg = 0$, $Ag = 1$ и то же самое для Bm и Am .

[4] Вычисляется $Gr = Bg + Ag Gs$, где Gs - показания датчика. Аналогично для M.

[5] Для каждой группы векторы $Gr.Mr$ «адаптируются» к векторам первых данных, вращая их плоскость для соответствия плоскости первых данных

[6] Получается «истинный» вектор группы Gp , Mp

[7] Оценивается $\sin(d)$ и $\cos(d)$, усредняя углы данных

[8] Оцениваются углы крена и «истинные» векторы данных

[9] Обновляются Bg и Ag , решая линейную систему, полученную при минимизации функции ошибки по отношению к калибровочным коэффициентам. Аналогично для Bm и Am .

[10] Повторяются шаги с [4] по [9] до тех пор, пока изменение вычисленных реальных значений не станет достаточно малым (успех) или алгоритм не пройдет слишком много итераций (сбой)

Использованная литература

B. Heeb, A general calibration algorithm for 3-axis compass/clinometer devices, CREG Journal

Калибровка на практике

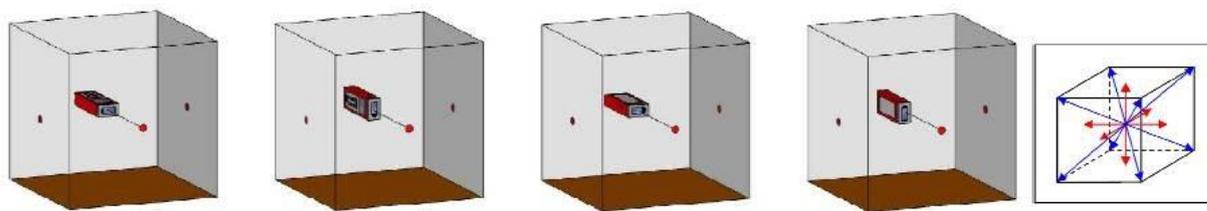
Для калибровки DistoX вам нужно сделать калибровочные замеры в нескольких направлениях и с разными углами поворота прибора вокруг оси лазерного луча. Рекомендуемое число – 14 направлений, и для каждого из направлений четыре замера – с экраном DistoX повернутым вверх, влево, вправо и вниз. Чтобы получить равномерное распределение направлений, думайте о них как о взятых из центра куба в центры шести граней и в восемь углов этого куба. Можно сделать и больше измерений, т. е. использовать дополнительные направления.

Минимум замеров, которые должны быть взяты – четыре группы по 4 замера в направлениях, лежащих в горизонтальной плоскости. Они должны быть выполнены тщательно, используя фиксированные точки для DistoX и цели.

Четыре замера в остальных 10 направлениях могут не образовывать группу. Достаточно того, что их направления близки, идеальное совпадение не обязательно. В этом случае нет необходимости использовать фиксированные точки, а замеры можно делать в воздухе. Использование групп для остальных 10 направлений также слегка улучшает калибровку, но требует большей осторожности и занимает немного больше времени для выполнения замеров.

Неидеальность сохранения единого направления внутри группы должна быть, по крайней мере, не больше, чем ожидается при производстве топосъёмочных работ. Калибровочные замеры внутри группы должны быть сделаны на точку, удалённую на 3-5 м. Ошибка 5 см на расстоянии 5 м составляет 0.6° в угловом выражении. DistoX должен быть точно установлен на точку. Чтобы не трясти DistoX при нажатии клавиши DIST, вы можете использовать TIMER или пульт дистанционного управления при выполнении калибровочных измерений.

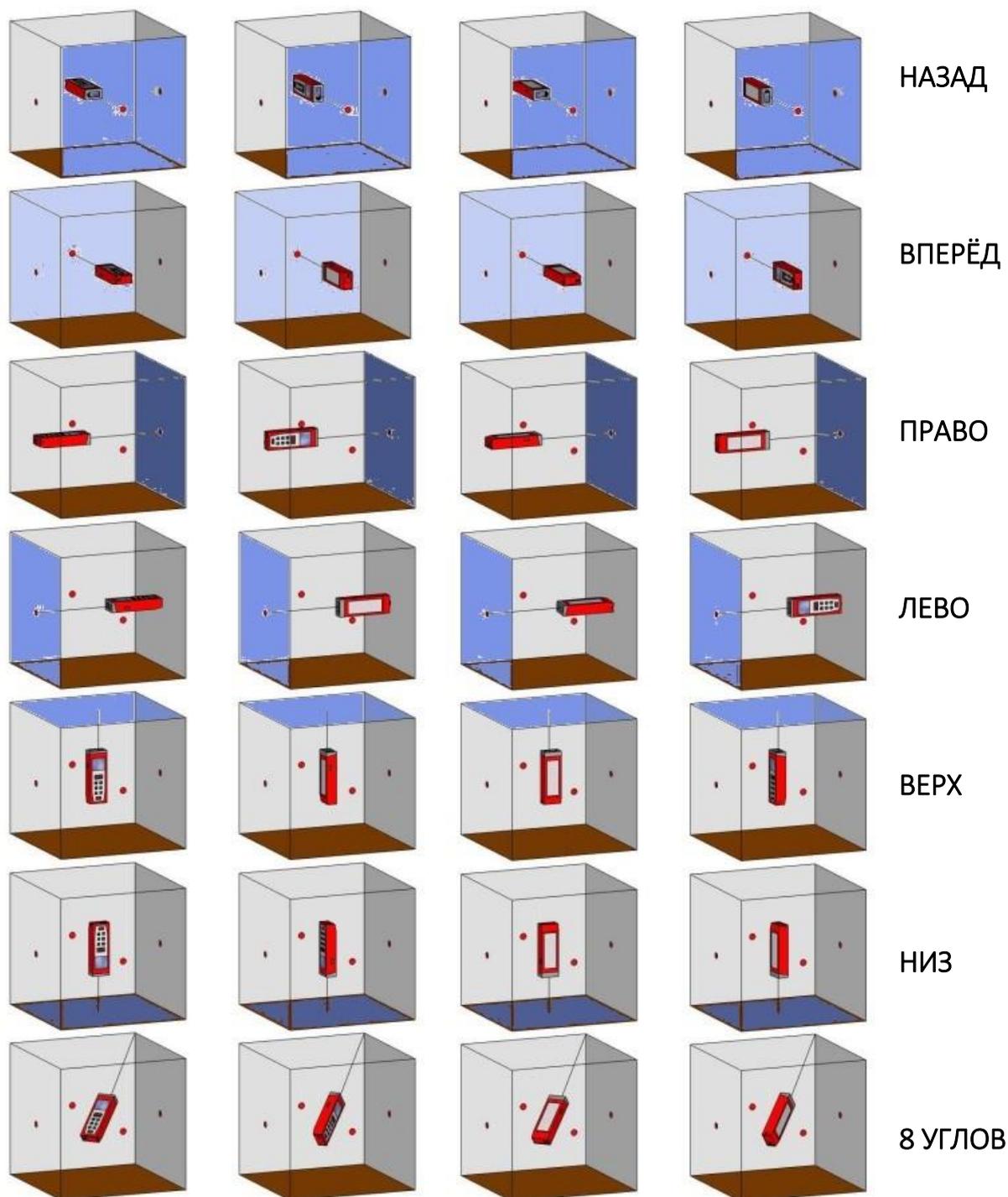
Взаимная ориентация направлений не обязана быть идеальной. Приблизительные направления вполне достаточно.



Четыре поворота однонаправленной группы и 16 направлений в кубе.

Важны 14 направлений, а не «куб». Поэтому вы можете выбрать первое горизонтальное направление от А до В, а второе от В до А, аналогично, два других могут быть А-С и С-А. Кроме того, А-В может быть слегка наклонен, на

несколько градусов. Точно так же достаточно, чтобы угол между А-С и А-В был равен 90° лишь приблизительно.



Калибровочные замеры должны производиться в среде, свободной от магнитных помех. Пещеры или леса - хорошие места для калибровки DistoX. Поскольку трудно увидеть красную точку лазера при слишком сильном окружающем освещении, лучше откалибровать DistoX рано утром, в сумерках или в облачный день, если вы делаете это в лесу. В доме, рядом со зданиями или линиями электропередач, калибровка ненадежна.

Будьте внимательны, чтобы не иметь поблизости устройства, потенциально влияющие на магнитное поле: часы, очки и т. д. Налобный фонарь также может вызывать помехи, как и прочее снаряжение для пещер. Держите КПК / устройство Android на достаточном расстоянии от DistoX.

Со временем калибровка «ухудшается». Вероятно, это связано с изменениями внутреннего магнитного поля (железо на/размагничивание внутренних элементов) или с воздействием интенсивных внешних полей. Механический удар также может повлиять на калибровку. При использовании аккумуляторной батареи рекомендуется повторять калибровку не реже чем раз пару месяцев. При использовании одноразовых элементов питания необходимо повторять калибровку при каждой их замене.

Рекомендуется проверять точность калибровки DistoX перед началом каждой новой съемки (см. Раздел «Проверка калибровки») и даже в середине рабочего дня, если возникают малейшие подозрения, что с калибровкой что-то не так.

Использованная литература

В. Нееб, Инструкция по калибровке DistoX, 11.27.2008

В. Нееб, Инструкция по калибровке DistoX2, 12.20.2013

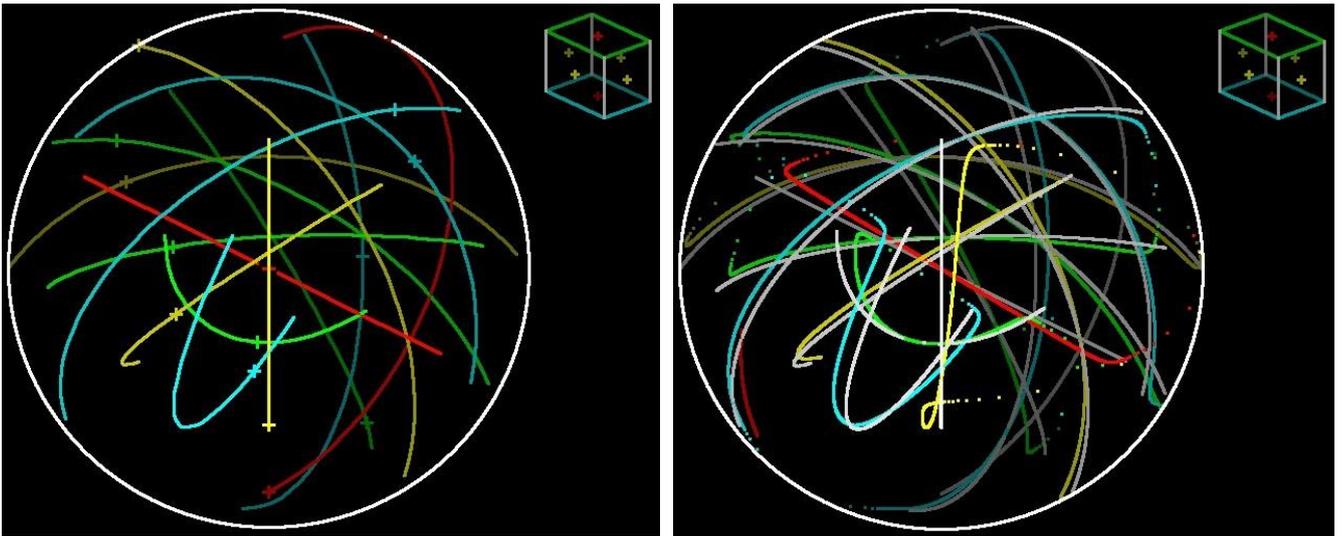
D. Bristol www.derekbristol.com/disto Видеокурс TopoDroid

Пространство ориентаций

Каково пространство ориентаций DistoX?

Если данные калибровки не включают замеры из некоей области направлений, показания датчика для этих направлений могут не быть надлежащим образом компенсированы математическим преобразованием калибровки. Ориентация DistoX соответствует трехмерному вращению, которое трансформирует мировую систему координат (восток, север, вверх) к системе координат DistoX.

Пространство трехмерных вращений хорошо известно математикам; они называют его $SO3$ – O означает, что преобразования сохраняют ортогональность, S – что они не инвертируют правый винт, и 3 – размерность пространства. Его можно представить как сплошную единичную сферу с диаметрально противоположными точками на поверхности. Центром сферы является нулевое вращение. Любая другая точка $P = (x, y, z)$ определяет единичный вектор $u = P / |P|$ и угол $\phi = 180 |P|$. Это соответствует повороту на угол ϕ вокруг направления u .



На изображениях представлены 14 направлений куба в сфере SO_3 . Точка обзора имеет наклон 30° , а азимут 45° .

На левом изображении показаны кривые крена для 14 направлений. Каждое из них описывает дугу внутри сферы, идущую от точки на поверхности к диаметрально противоположной точке.

Красный: ось X направлена вверх и вниз; желтый: в центры четырех боковых граней. Зеленый: в четыре верхних угла, синий - нижних.

На правом изображении показаны кривые крена для 14 направлений, видимые датчиками. Направление оси X вычисляется с обратным преобразованием G . Z вычисляется с обратным преобразованием M (это приближение). Y вычисляется как единичный вектор, нормальный к Z и X (тоже приближение). Кривые слегка искажены от идеальных (серым цветом). Цель алгоритма калибровки состоит в том, чтобы найти такое (линейное) преобразование, которое трансформирует измеренные кривые в идеальные, не зная точного направления 14 ориентаций.

Калибровка DistoX с помощью TopoDroid

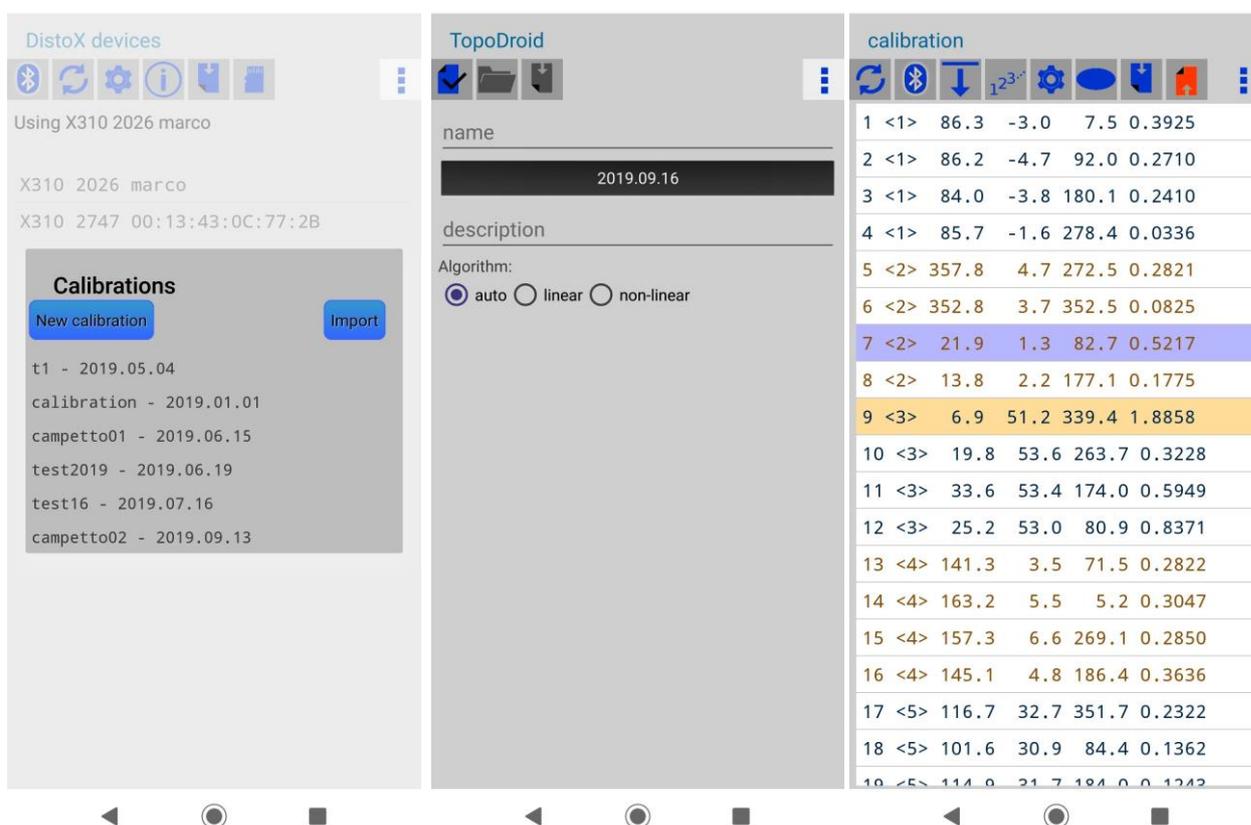
Окно устройства

Откройте TopoDroid и перейдите в окно устройства (крайняя левая кнопка главного окна).

DistoX, с которым предполагается работать, должен быть обозначен как «используемый». При необходимости выберите его, коснувшись имени в списке. Из окна устройства откройте диалоговое окно списка калибровок (третья кнопка) [1], в котором отображается список калибровок рабочего устройства, находящихся в базе данных. В этом диалоговом окне нажмите кнопку «Новая калибровка», чтобы открыть окно информации о калибровке.

Окно информации о калибровке [2]

Каждой калибровке присваивается имя, потому что TopoDroid различает объекты по имени. Вы можете установить дату калибровки (по умолчанию это текущая дата), ввести краткий комментарий, чтобы напомнить вам, где вы провели калибровку, и указать, какой алгоритм калибровки использовать.



[1] Диалог списка калибровок

[2] Окно параметров калибровки

[3] Окно данных калибровки

По умолчанию TopoDroid настроен на автоматический выбор алгоритма в соответствии с моделью DistoX, поэтому вы можете спокойно оставить эту опцию на «авто». Вообще, для калибровки DistoX2 с относительно свежей прошивкой следует использовать нелинейный алгоритм. Различие между «линейным» и «нелинейным» обычно пренебрежимо мало в обычной практике съемки.

После ввода настроек сохраните новую калибровку (крайняя левая кнопка). После этого другие кнопки становятся активными, и вы можете открыть окно данных калибровки (вторая кнопка).

Окно данных калибровки [3]

В момент первого запуска это окно будет пустым, потому что вы ещё не загрузили никакие данные калибровки. Кнопки верхней панели:

1. Перевести DistoX в режим калибровки
2. Bluetooth
3. Загрузить данные из DistoX
4. Назначение групп
5. Расчет калибровки
6. Распределение измерений и значений полей G, M по направлениям.
7. Скачать калибровочные коэффициенты из DistoX
8. Отправить калибровочные коэффициенты в DistoX

Первым делом переключите DistoX в режим калибровки. Это можно сделать с помощью самой левой кнопки или клавиш DistoX (CLEAR и SMART в течение двух секунд). DistoX должен быть включен. Эта же кнопка присутствует и в окне устройства.

Затем произведите 56 или более калибровочных замеров. Чтобы сделать это более точно, вы можете использовать функцию (кнопку) TIMER DistoX или пульт дистанционного управления TopoDroid (выпадающее меню кнопки 2).

Когда вы закончите, загрузите калибровочные измерения (кнопка 3). Каждая запись данных показывает

- индекс измерения
- номер группы замеров

- значения данных: азимут, уклон и крен, вычисленные без калибровки
- ошибка данных в калибровке. 0, если калибровка еще не была рассчитана или данные исключены из расчета.

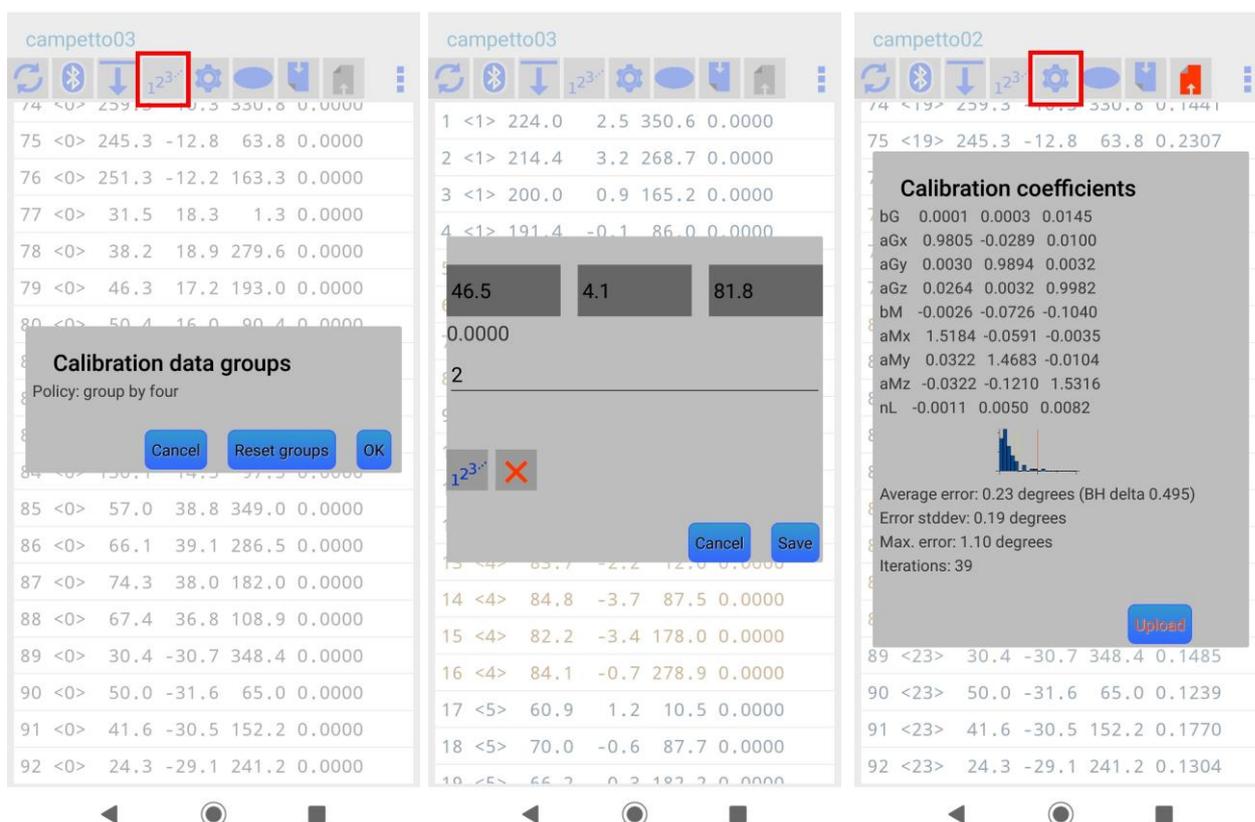
Можно также отображать значения необработанных данных в шестнадцатеричном или десятичном виде. Это полезно только для отладки.

Разделите замеры на группы по четыре (четвертая кнопка) [4]. Вы можете выбрать вариант групповой политики: группы из четырех замеров (политика ToroDroid) или четыре группы, представляющие четыре горизонтальных направления, за которыми следуют отдельные замеры (политика RocketToro).

Номер группы калибровочных замеров обозначается положительным числом. Строчки с четным номером группы отображаются оранжевым цветом, а с нечетным номером группы - синим.

Номер группы «0» (ноль) обозначает данные, которые должны быть «исключены» из расчета калибровки, но они все же учитываются при автоматическом назначении номеров групп.

Отрицательное значение номера группы (-1) обозначает «удаленные» данные. Данные с номером 0 серые. Отображение данных с отрицательным числом контролируется специальным меню («ПОКАЗАТЬ УДАЛЁННЫЕ»).



[4] Окно групп данных

[5] Редактирование калибр. замеров

[6] Коэффициенты калибровки

Удаленные данные не участвуют ни в расчете калибровки, ни в назначении номеров групп. Функцию «исключение» следует использовать для неудачно взятых замеров, например, при смещении DistoX в момент замера. Или для данных, взятых по ошибке. Не следует исключать неверные данные из расчета калибровки только лишь с целью уменьшения ошибки калибровки.

Частично полученные данные обозначаются фиолетовым. Они автоматически помечаются как «исключенные».

При нажатии на любую строчку открывается диалоговое окно редактирования соответствующего измерения [5]. Оно отображает значения данных (азимут, уклон и крен) и ошибку данных в калибровке. В этом диалоговом окне вы можете изменить номер группы данных (также введя 0 или -1), отметить удаленные данные и перенумеровать следующие данные.

Вычислите калибровочные коэффициенты (пятая кнопка) [6]. Результат расчёта отображается в диалоговом окне, отображающем коэффициенты калибровки, среднее значение, стандартное отклонение и максимум остаточных ошибок данных в градусах, а также значение «дельта» в соответствии с исходным

алгоритмом Beat Heeb. Это результаты последней итерации расчёта, после которой алгоритм завершается.

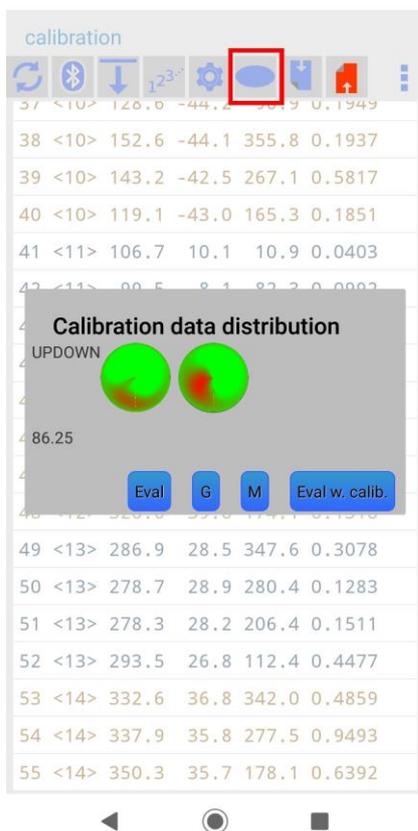
Также отображается гистограмма ошибок данных: желтая метка равна 0.5° , а

красная метка – 1.0° .

В нижней части диалогового окна отображается красная кнопка загрузки калибровочных коэффициентов в DistoX. Загрузка также может быть сделана из окна данных калибровки, с помощью последней кнопки (красная стрелка вверх).

При попытке загрузить калибровку с охватом ниже 95% появляется предупреждение.

По завершении верните DistoX в обычный режим работы (кнопка 1)



[7] Окно распределения данных

Шестая кнопка показывает, насколько хорошо калибровочные измерения охватывают все направления [7]. Отдельно показаны покрытие в верхней

полусфере (слева) и нижней полусфере (справа). Вертикальное направление находится в центре кругов. Горизонтальные направления ориентированы следующим образом: север вверху, восток справа, юг внизу и запад слева. Круги зелёные в тех частях, где направления покрыты данными, и красноватые, если охват плохой.

Можно отдельно отобразить распределение направлений для

- некалиброванные замеры
- замеры, скорректированных с помощью калибровки
- данных по магнитному полю в системе отсчёта DistoX
- данных по полю ускорений в системе отсчёта DistoX

Также отображается числовое значение процента покрытия.

Если вы обнаружите, что некоторые направления плохо охвачены калибровочными замерами, вы можете сделать дополнительные измерения и добавить их в калибровку. Новые замеры добавляются в конце, и автоматическая нумерация групп не изменит старые данные.

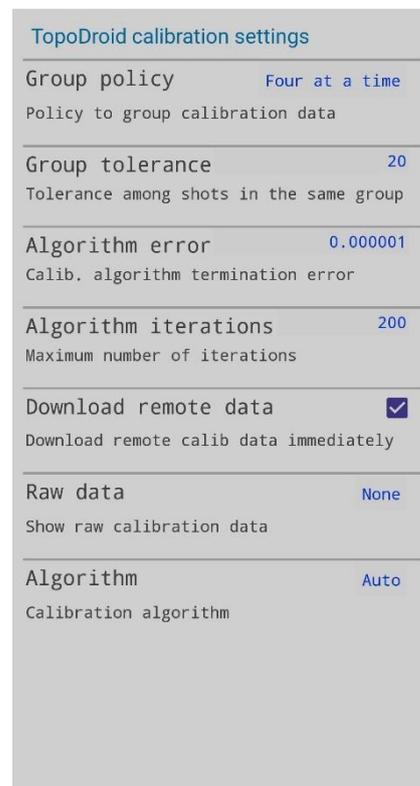
Цвет фона строчек калибровочных замеров используется для выделения:

- замеры с насыщенными значениями (магнитное поле, превышающее диапазон датчиков) [оранжевый]
- замеры, которые отличаются от среднего по группе больше, чем заданный угол [зеленый]
- замеры с погрешностью более 1.0° [красный]

Настройки калибровки TopoDroid

Настройки калибровки:

- величина ошибки для завершения работы алгоритма [0.000001]
- максимальное количество итераций алгоритма [200]
- политика автоматического назначения группы [TopoDroid или PocketTopo]
- порог выделения ошибки направления замера в группе [40°]
- отображать ли необработанные данные [по умолчанию нет]



Настройки калибровки

- немедленная загрузка данных при дистанционном управлении [по умолчанию да]
- алгоритм калибровки по умолчанию ["авто"]

Сравнение политик группирования данных замеров

Сравним результаты двух калибровок для одного и того же набора данных, разделенных на группы в соответствии с политикой TopoDroid (группы по четыре) и политикой PocketTopo (четыре группы по четыре, за которыми следуют отдельные замеры).

С политикой TopoDroid в рассматриваемом случае получается 23 группы по 4 замера. Алгоритм завершается после 39 итераций. Окончательная ошибка составляет $0.23^\circ \pm 0.19^\circ$. Максимальная погрешность составляет 1.10° , а «дельта» 0.495.

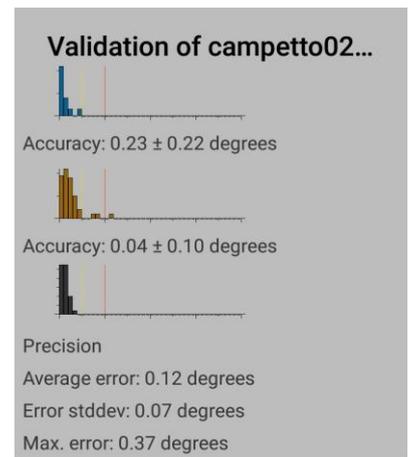
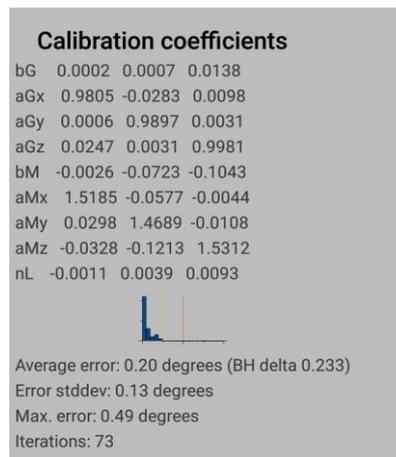
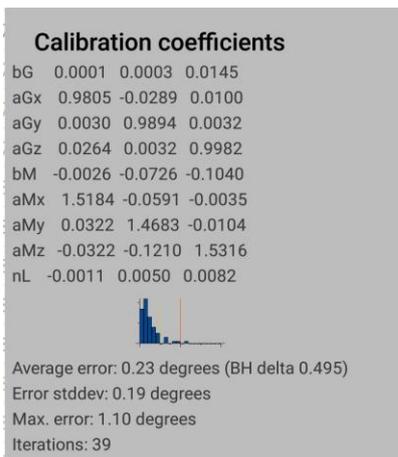
С политикой PocketTopo получается 4 группы по 4 замера и 76 отдельных измерений. Алгоритм завершается после 73 итераций. Окончательная ошибка составляет $0.20^\circ \pm 0.13^\circ$. Максимальная погрешность составляет 0.49° , а «дельта» - 0.233.

По-видимому, лучшие результаты при использовании второго варианта политики (оно же очевидно из гистограммы ошибок), обусловлены меньшим количеством (16 против 92) замеров, участвующих в вычислении ошибки. «Дельта» учитывает также разброс показаний в отдельных замерах.

Расчёт с политикой TopoDroid заканчивается в меньшее количество итераций. Преобразование интерполирует данные крена по всем направлениям. Политика PocketTopo более точно аппроксимирует соответствие индивидуального замера в горизонтальной плоскости. Это оправдывает большее количество итераций.

«Дельта» - это окончательный разброс данных, по завершении работы алгоритма. Меньшая дельта с политикой PocketTopo может быть объяснена тем, что в этом случае преобразование оказалось ближе к отдельным данным вне горизонтальной плоскости.

Результат проверки (подробно описано далее, в отдельной главе) между двумя калибровками согласуется с этой интерпретацией. Распределение ошибок с политикой PocketTopo (синяя гистограмма) ближе к 0, поскольку она включает только горизонтальные данные, в то время как с политикой TopoDroid (оранжевая гистограмма) расчётные данные лучше



распределены в пространстве из-за наличия негоризонтальных данных. Относительное сравнение двух калибровок (серая гистограмма) показывает расхождение $0.12^\circ \pm 0.07^\circ$ с максимумом 0.37° .

Проверка числовых данных показывает, что среднее расхождение увеличивается с уклоном замера. Оно составляет 0.09° для набора «горизонтальных» данных (уклон ниже 25°), 0.13° для данных с промежуточным наклоном (между 25 и 65°) и 0.20° для данных при высоком наклоне.

Проверка ошибок между калибровками с одной и той же групповой политикой, выполненных в разное время, подтверждает, что политика PocketTopo имеет тенденцию менее точно работать с данными вне горизонтальной плоскости, в то время как с политикой TopoDroid осуществляется интерполяция между ними и она является более стабильной во времени.

Различия, тем не менее, довольно малы и обычно незначительны на практике.

	TopoDroid policy	PocketTopo policy
2 месяца	$0.24 \pm 0.15^\circ$ (макс. 0.73°)	$0.32 \pm 0.23^\circ$ (макс. 1.15°)
4 месяца	$0.19 \pm 0.12^\circ$ (макс. 0.61°)	$0.32 \pm 0.22^\circ$ (макс. 1.14°)
8 месяца	$0.25 \pm 0.17^\circ$ (макс. 0.78°)	$0.34 \pm 0.22^\circ$ (макс. 1.10°)

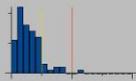
Сравнение алгоритмов калибровки

На изображениях ниже показаны результаты калибровок, рассчитанные с использованием «линейного» (слева) и «нелинейного» (справа) алгоритмов расчёта. Они разделены на группы по политике – TopoDroid (вверху) и PocketTopo (снизу).

Очевидно, что разница между нелинейным алгоритмом и линейным очень мала, и выбор алгоритма не имеет значения, если не требуется особо точная съёмка.

Calibration coefficients

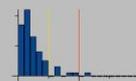
bG 0.0001 0.0002 0.0143
aGx 0.9807 -0.0289 0.0100
aGy 0.0028 0.9892 0.0035
aGz 0.0261 0.0035 0.9978
bM -0.0028 -0.0721 -0.1030
aMx 1.5186 -0.0591 -0.0035
aMy 0.0321 1.4680 -0.0101
aMz -0.0328 -0.1207 1.5317
nL 0.0000 0.0000 0.0000



Average error: 0.28 degrees (BH delta 0.581)
Error stddev: 0.19 degrees
Max. error: 1.13 degrees
Iterations: 38

Calibration coefficients

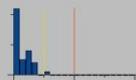
bG 0.0001 0.0003 0.0145
aGx 0.9805 -0.0289 0.0100
aGy 0.0030 0.9894 0.0032
aGz 0.0264 0.0032 0.9982
bM -0.0026 -0.0726 -0.1040
aMx 1.5184 -0.0591 -0.0035
aMy 0.0322 1.4683 -0.0104
aMz -0.0322 -0.1210 1.5316
nL -0.0011 0.0050 0.0082



Average error: 0.23 degrees (BH delta 0.495)
Error stddev: 0.19 degrees
Max. error: 1.10 degrees
Iterations: 39

Calibration coefficients

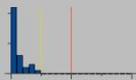
bG 0.0001 0.0009 0.0145
aGx 0.9807 -0.0287 0.0098
aGy 0.0002 0.9895 0.0033
aGz 0.0242 0.0033 0.9976
bM -0.0028 -0.0719 -0.1030
aMx 1.5186 -0.0570 -0.0044
aMy 0.0294 1.4686 -0.0105
aMz -0.0336 -0.1212 1.5313
nL 0.0000 0.0000 0.0000



Average error: 0.26 degrees (BH delta 0.355)
Error stddev: 0.13 degrees
Max. error: 0.53 degrees
Iterations: 73

Calibration coefficients

bG 0.0002 0.0007 0.0138
aGx 0.9805 -0.0283 0.0098
aGy 0.0006 0.9897 0.0031
aGz 0.0247 0.0031 0.9981
bM -0.0026 -0.0723 -0.1043
aMx 1.5185 -0.0577 -0.0044
aMy 0.0298 1.4689 -0.0108
aMz -0.0328 -0.1213 1.5312
nL -0.0011 0.0039 0.0093



Average error: 0.20 degrees (BH delta 0.233)
Error stddev: 0.13 degrees
Max. error: 0.49 degrees
Iterations: 73

Вспомогательные приспособления для калибровки

Одной из основных трудностей в процессе калибровки является размещение DistoX точном в одном месте и точное наведение на цель. Ряд рационализаторов пытались упростить процесс, используя калибровочные приспособления – устройства, которые помогают сделать калибровочные замеры более точно и более равномерно распределенные по всем направлениям.

Калибровочные установки обычно представляют собой персональные устройства, созданные «изобретателем» для собственного использования. Часто они являются однопользовательскими и остаются на уровне прототипа или доказательства концепции.

Некоторые устройства были сконструированы с большей тщательностью, а идея и реализация даже были представлены на конференциях.

Почти все эти установки предполагают, что корпус DistoX соосен с лазерным лучом. К сожалению, это часто не так, расхождение может составлять даже несколько градусов. Это можно компенсировать либо добавлением проставок к корпусу DistoX, либо подгонкой установочных мест на калибровочном устройстве, где можно разместить четыре грани DistoX. В первом случае проставки могут изнашиваться во время использования DistoX в пещере. Во втором случае калибровочная установка подходит только для единственного прибора DistoX.



Калибровочная установка (B. Pease)



Калибровочная установка (M. Consolandi)

Калибровочная установка, которая служит решению описанной проблемы, представляет собой куб, куб-октаэдр с отверстиями для фиксации штыря кронштейна DistoX. Всего существует 26 направлений, гарантирующих хорошее распределение направлений в пространстве. Держатель DistoX имеет трехвинтовой регулятор, который позволяет точно настроить ориентацию DistoX так, чтобы ось лазера была выровнена с осью держателя и проходила через нулевую точку. Более простое, но интересное устройство калибровки показано в видео youtu.be/_MPisTRMdlg (в данный момент недоступно). Пластиковая трубка удерживает опору DistoX, а с обоих концов приклеены деревянные круги. Лазерный луч должен выходить через небольшое отверстие в центре одного круга. Трубка может вращаться на V-образной деревянной опоре, а DistoX должен быть размещен так, чтобы лазерный луч не менял направления при повороте трубки. При выполнении калибровочных замеров DistoX управляется дистанционно.

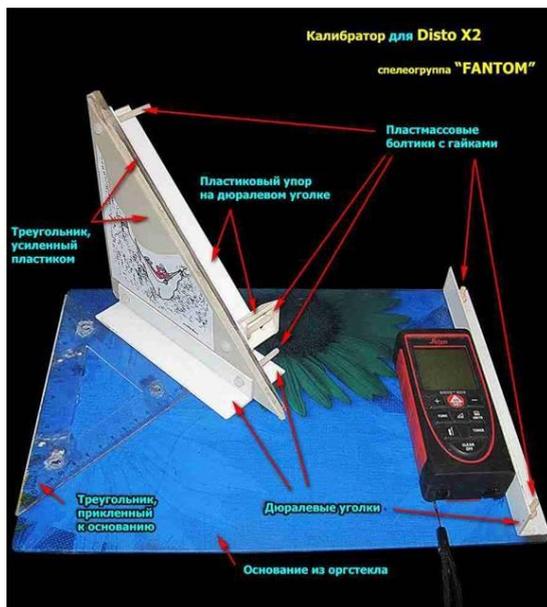
Калибровочная установка Szymon Kostka похожа. Все детали выполнены из алюминия и оргстекла. Винты латунные. Эта установка предназначена для DistoX версии 1 и имеет обязательную мишень для лазерного луча (необходима для прибора версии 1).



AESDA (F.T. Regala)



Астролябия



Фантом



Калибровочная рамка из ПВХ.
Длина стороны 60 см (Ph. Balister)



Куб-октаэдр (W. Formella)



Калибровочный куб первой модели (Н.Козлов)

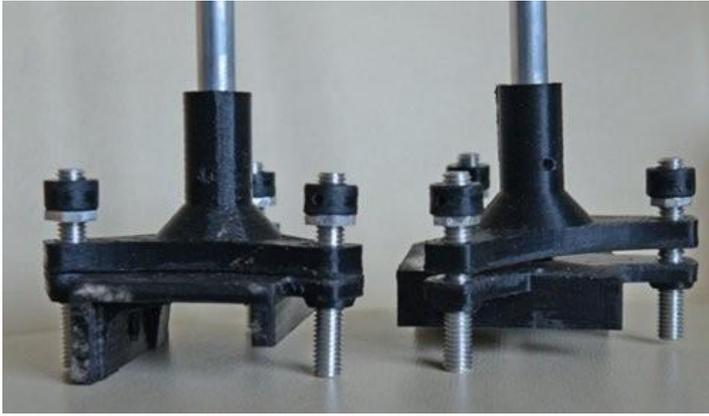
Использованная литература

F. Tata Regala, AESDA calib - un calibrador para DistoX/X2, 6 Congreso Nacional de Espeleologia, Federacao Portuguesa de Espeleologia, 2016 77-82

Astrolabio

B. Pease, Paperless surveying update, NSS Convention, 2017

Calibration cube: https://bitbucket.org/ngry/distox2_cube



*Калибровочный куб
второй модели.*

Точно настраиваемый держатель DistoX и куб-октаэдр.

(Н. Козлов)



*Калибровочный цилиндр
(К. MacLeod)*



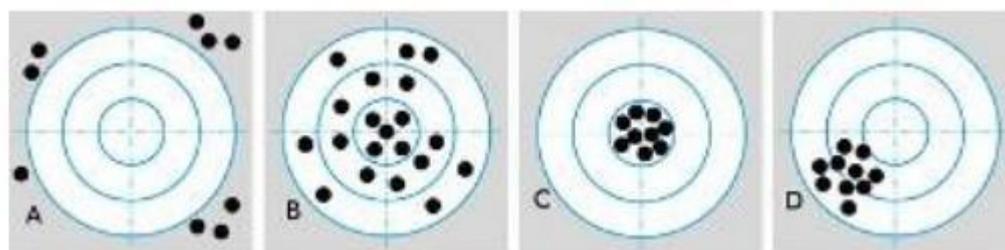
*Калибровочная установка
(S. Kostka)*



Точность и прецизионность

Точность описывает неопределенность (ошибку) в значениях, взятых при повторяющихся измерениях. Если значения близки друг к другу, измерение является точным и воспроизводимым. Если они рассредоточены, оно менее точно. Точность подобна количеству значащих цифр в измеренном значении; Чем больше значащих цифр, тем выше точность.

Прецизионность зависит от того, насколько близко измеренное значение к реальному значению. Измерение может быть прецизионным и в то же время неточным, если измеренное значение далеко от целевого. Неверная калибровка прибора может привести к низкой точности.



Точное (B и C) и прецизионное (C и D) измерения.

Калибровка DistoX необходима, чтобы иметь точный измерительный инструмент. Качество калибровки - это точность прибора. Однако точность и прецизионность данных зависят не только от DistoX. В процессе измерения также важно позиционирование DistoX на пикете и его наведение на цель. Точность позиционирования и прицеливания может быть хуже, чем у плохо откалиброванного DistoX, поэтому окончательная точность данных эффективно определяется этими двумя операциями.

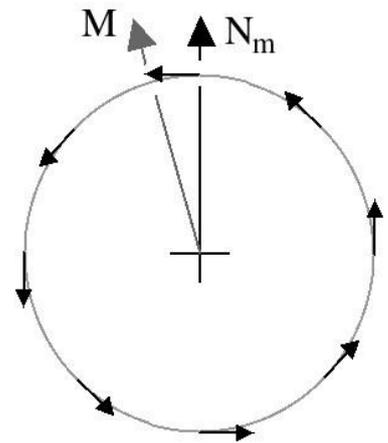
Точность также может быть нарушена из-за неаккуратных измерений. Измерение за границей цели и ложные отражения могут дать неправильное расстояние. Магнитные воздействия, особенно из-за батарей налобного фонаря, могут привести к неточным измерениям азимута.

Пара азимута и уклона не является по сути точной. Можно (и легко) откалибровать клинометр так, чтобы значения наклона были «точными». Однако нет никакого способа устранить общее отклонение в азимуте, не прибегая к внешнему ориентиру (что обычно не очень просто).

Откалиброванный DistoX, с другой стороны, является по сути точным. Процедура калибровки DistoX не требует какого-либо внешнего эталона, и все же при этом можно получить хорошо откалиброванный, точный прибор.

Это связано с тем, что DistoX имеет 3-х осевые датчики и измеряет все компоненты магнитного поля и ускорения. Компас, напротив, «измеряет» только горизонтальные компоненты магнитного поля.

Точность DistoX является внутренним свойством, которое может быть доказано теоретически. Идеальный DistoX абсолютно точен. Если устройство таково, что для каждой трех точек А, В и С оно измеряет длины с нулевой ошибкой, измеренные направления А-В и В-А точно дополняют друг друга, а треугольник АВС замыкается с нулевой ошибкой, то устройство является абсолютно точным.



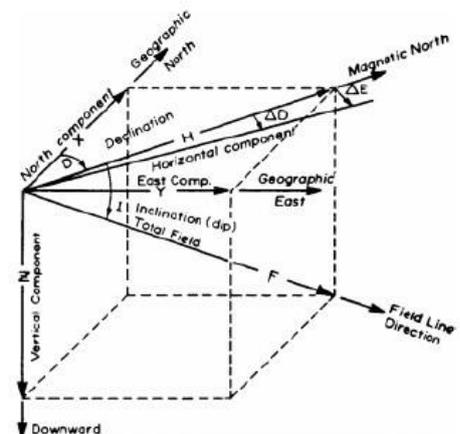
Общее отклонение для компаса

Откалиброванный DistoX является лишь приближением к такому идеальному устройству. Он отличается от идеального устройства диапазоном точности измерений. Поэтому калиброванный DistoX является точным в пределах точности калибровки.

Точность измерения расстояний, согласно руководству пользователя DistoX, составляет 2 мм для расстояний от 0.05 до 10 м. Эта цифра взята из Руководства пользователя Leica DISTO. Для углов среднеквадратичная ошибка равна 0.5° (после правильной калибровки). На практике нетрудно получить среднюю ошибку 0.2-0.3° со стандартным отклонением ниже 0.2°.

Магнитное поле Земли

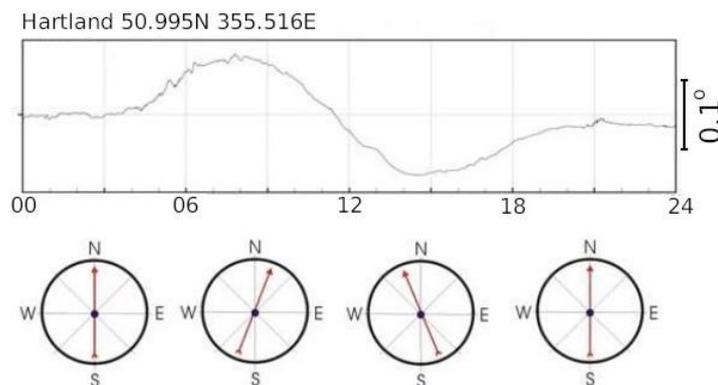
Топосъемка пещер, как правило, основывается на абсолютной системе координат, определяемой направлением силы тяжести (вниз) и магнитным полем Земли. Точность приборов для топосъемки пещер ограничена стабильностью магнитного поля. Эта проблема не была важной для компаса, поскольку его погрешность (0.5°) больше, чем колебания магнитного севера.



С помощью DistoX, который измеряет все компоненты магнитного поля и может быть откалиброван до 0.1° , влияние изменений магнитного поля становится ограничивающим фактором для точности прибора.

Магнитное поле Земли отличается в разных местах и изменяется во времени. Оно направлено наклонно вниз в северном полушарии, вверх в южном полушарии. Плоскость, содержащая магнитное поле и гравитацию, определяет направление магнитного севера как линию, через которую он пересекает горизонтальную плоскость. При топосъемке пещер значения азимута обычно относятся к магнитному северу.

Магнитное поле Земли практически дипольное, его интенсивность варьируется от около 30 мкТл на экваторе до около 60 мкТл в высоких широтах. Магнитная ось наклонена примерно на 11.5° от оси вращения Земли. Поэтому магнитный север не совпадает с географическим севером, разница вводится через магнитное склонение. Оно положительно, когда магнитный север указывает восточнее географического севера, и отрицательно, когда западнее.

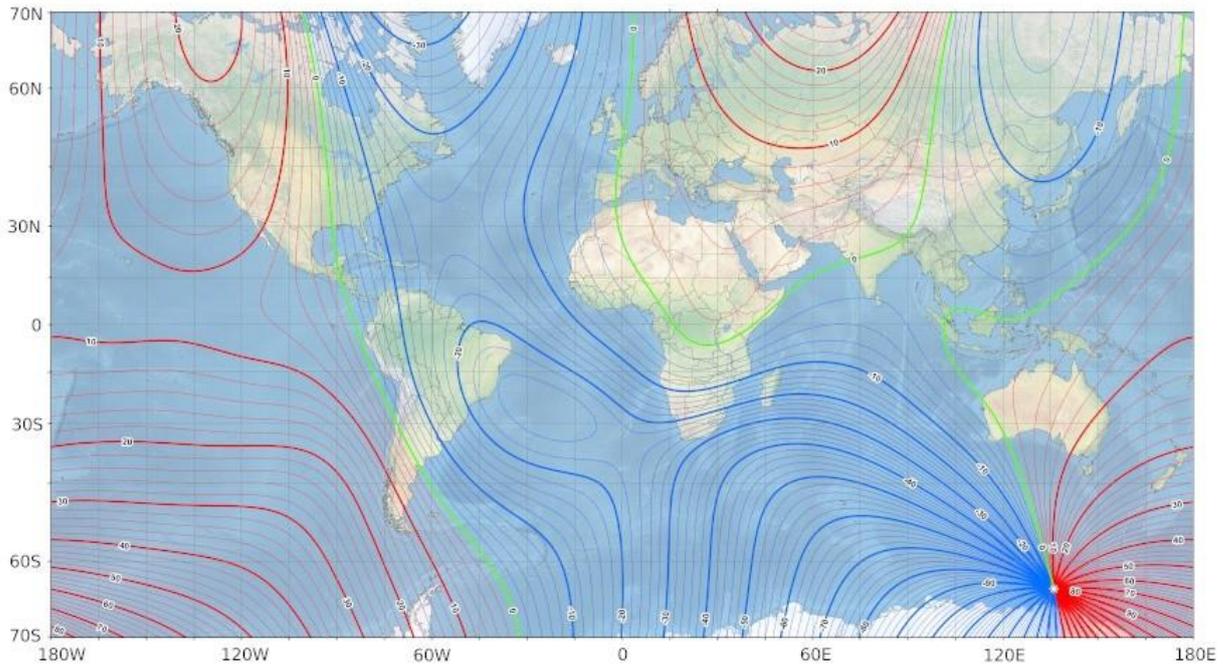


Суточные колебания магнитного склонения (относительно среднего значения) в период низкой солнечной активности.

Склонение меняется в зависимости от местоположения и времени и может быть довольно большим не только вблизи магнитных полюсов. Скорость изменения магнитного склонения зависит от места и не является постоянной. Также могут быть локальные скачки.

Основным источником магнитного поля Земли является самоподдерживающийся динамо-эффект во внешнем слое жидкой части ядра Земли. В ядре поле, вероятно, является многополярным, но на поверхности Земли это поле приблизительно дипольное. Магнитное склонение является результатом сложения недипольных компонентов.

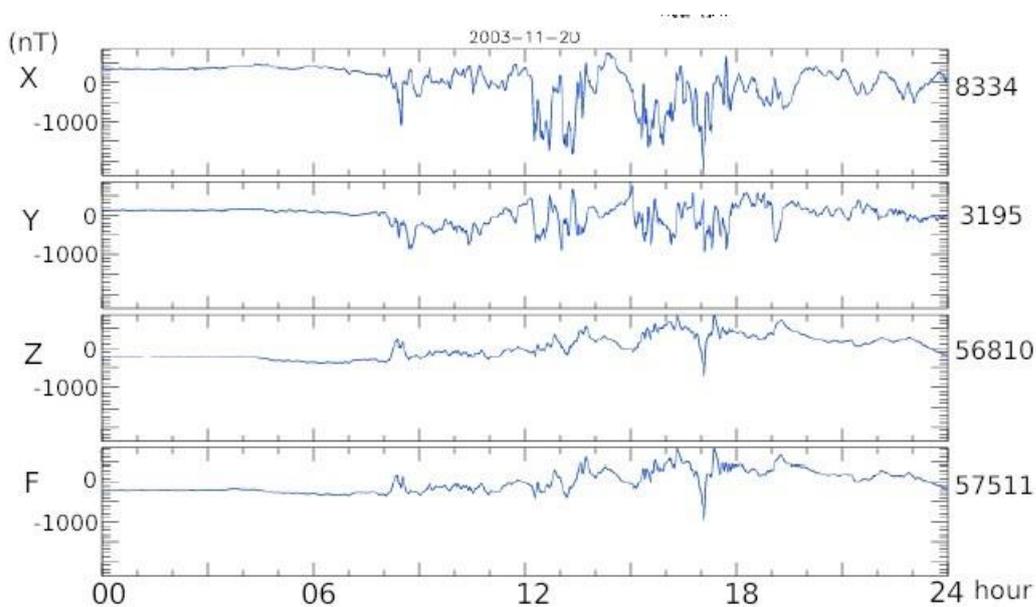
Другими источниками магнитного поля (на поверхности Земли) являются: магнитные поля в ионосфере и в магнитосфере, а также поля, создаваемые токами, индуцированными в литосфере (полями земной коры) из-за изменяющихся во времени магнитных полей в ионосфере и магнитосфере.



Мировая карта магнитного склонения по состоянию на январь 2019 года. Зеленые линии - это агонические линии (изогоны с нулевым склонением), красные линии - изогоны с положительным склонением, синие линии - изогоны с отрицательным склонением. Взято с <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>

Квазистабильные во времени изменения магнитного поля обусловлены динамикой недр Земли. Их последствия - это дрейф полюсов и их инверсия (в течение эпох магнитное поле Земли много раз менялось). Вековые изменения приводят к изменению склонения.

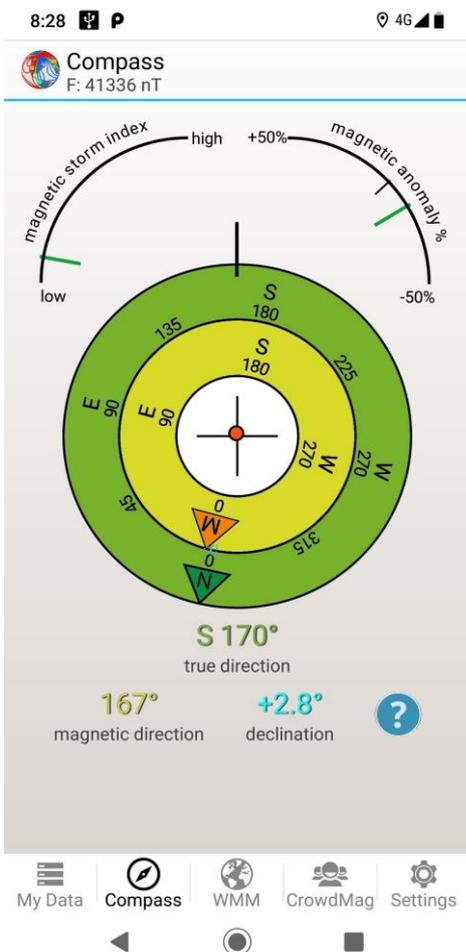
Кратковременные изменения - это ежедневные изменения, обусловленные взаимодействием солнечного излучения с ионосферой и магнитосферой, а также индуцированными токами в литосфере. В периоды низкой солнечной активности (солнечного затишья) ежедневные колебания в основном вызваны токами в ионосфере, где солнечная радиация поддерживает определенный уровень ионизации. Ионизация зависит от долготы, широты, времени суток, сезона и солнечной активности. В диапазоне 80-200 км ветра, вызванные разностью температур воздуха днем и ночью, и приливы, вызванные гравитацией Солнца и Луны, создают динамо-эффект. Результирующие изменения магнитного поля на поверхности Земли довольно регулярные, с суточным периодом. Компонента поля Y (восток) является наиболее подверженной изменениям. Величина этих изменений составляет около 10 нТ, что означает изменения до 0.1° в измеренном азимуте. В результате магнитный север поворачивается немного на восток утром и на запад днем. Эти эффекты сильнее в летний период, а также в высоких широтах. Эффекты минимальны в ночное время.



Магнитограммы во время солнечной бури. Сверху: компоненты X (север), Y (восток), Z (вниз) и F (общая интенсивность).

Другие регулярные изменения имеют период 27 дней и связаны с солнечным днем (периодом, когда Солнце видно с Земли) и вращением Луны вокруг Земли. Существуют также изменения с 11-летним периодом, связанным с 11-

летним периодом Солнечной активности.



Во время солнечных бурь вариации магнитного поля могут быть больше. Магнитное поле солнечного ветра взаимодействует с магнитосферой Земли. Во время бурь изменения в магнитном поле на поверхности Земли могут достигать пары сотен нТ в умеренных регионах (в полярных областях они могут превышать 1000 нТ). Все компоненты магнитного поля подвержены влиянию и их влияние на азимут может достигать 0.6° , но для особенно сильных всплесков оно может составлять порядка нескольких градусов. Эти эффекты длятся от нескольких минут до часов и дней.

Вы можете использовать приложение geomag от NOAA, чтобы получить локальное магнитное склонение, а также информацию о солнечных магнитных возмущениях.

Скриншот приложения Геомар. Цвет фона (черный) инвертирован.

Использованная литература:

<https://www.gncd.noaa.gov/geomag>

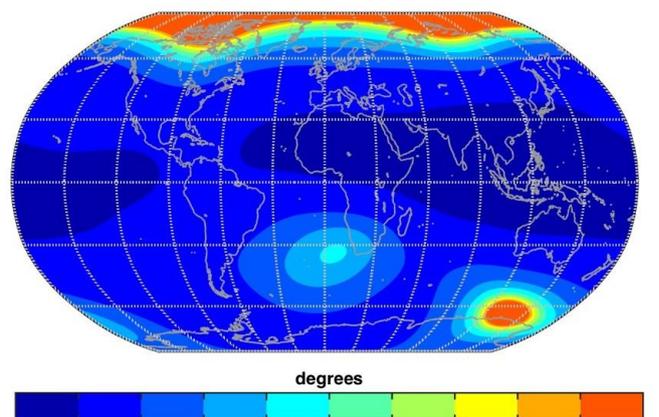
<https://geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html>

J. Love, *Magnetic monitoring of Earth and space, Physics Today, Feb. 2008, 31-36*

V. Schmidt, *Error due to magnetic variations, Compass Point, 2 1993*

World Magnetic Model

Изменения в потоках внешнего ядра Земли приводят к непредсказуемым изменениям магнитного поля. Однако система обладает большой инерцией, и изменения имеют временные масштабы в несколько лет.



Неопределенность магнитного склонения. Веб-сайт Geomag

Поэтому возможно точное предсказание поля. Магнитная модель мира (WMM) – это модель прогнозирования, которое можно использовать для расчета магнитного склонения в каждой точке.

Она обновляется каждые пять лет Национальным центром экологической информации NOAA. Она очень точна на дату релиза и ухудшается с годами. В умеренных широтах её точность обычно не превышает 0.4°.

WMM предсказывает только длинноволновую (3000 км) составляющую внутреннего магнитного поля Земли. Часть поля, генерируемая корой, верхней мантией, ионосферой и магнитосферой, довольно плохо учтена. Поэтому могут наблюдаться пространственные и временные отклонения (аномалии) от WMM. В некоторых районах аномалии могут превышать 10°. Аномалии 3-4° не являются редкостью, но обычно имеют меньшую пространственную протяженность. Усовершенствованная магнитная модель (EMM) включает в себя поля земной коры длиной до 56 км.

Модель WMM включает оценки неопределенности для каждого геомагнитного элемента. Они включают в себя как неточности в коэффициентах модели, так и отсутствующие вклады в общее геомагнитное поле, такое как поля земной коры. Неопределенность составляет около 100

nT для каждого компонента. Для склонения она составляет от 0.2° до 0.4° в умеренных широтах (см. Рисунок).

Использованная литература:

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/limit.shtml>

IGRF

IGRF (Международное геомагнитное эталонное поле) представляет собой стандартное математическое описание основного магнитного поля Земли, которое в основном обусловлено ядром Земли (и в среднем составляет 45000 nT на поверхности). Присутствует также вклад полей земной коры (200-300 nT).

IGRF - это данные магнитного поля, полученные со спутников, обсерваторий и опросов по всему миру.

В модели магнитный потенциал $V(r, \theta, \phi, t)$ представлен как усеченный ряд

$$V = a \sum (a/r)^{n+1} [g(n, m, t) \cos(m\phi) + f(n, m, t) \sin(m\phi)] P_n, m(\cos(\theta)),$$

где $a = 6371.2$ км, а суммирование осуществляется на интервале $n = 1...33$, $m = 0..n$. Модель по своей сути является математической аппроксимацией. Расширение ряда усечено, коэффициенты ряда получены из численных наблюдений, и наблюдаемое поле имеет составляющие, которых нет в модели WMM. Можно сказать, что ошибка модели составит 10 nT (5 nT по горизонтальным компонентам), но в местах, где данных не так много, она может быть выше. Неопределенность обычно увеличивается на 20 nT/год из-за вековых колебаний.

На рисунке выше показаны различия между WMM, EMM и IGRF (www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml).

Declination	
Model Used:	WMM-2020
Latitude:	45° N
Longitude:	9° E
Date	Declination
2020-01-07	2.82° E ± 0.36° changing by 0.15° E per year

Declination	
Model Used:	IGRF2015
Latitude:	45° N
Longitude:	9° E
Date	Declination
2019-01-07	2.60° E changing by 0.13° E per year

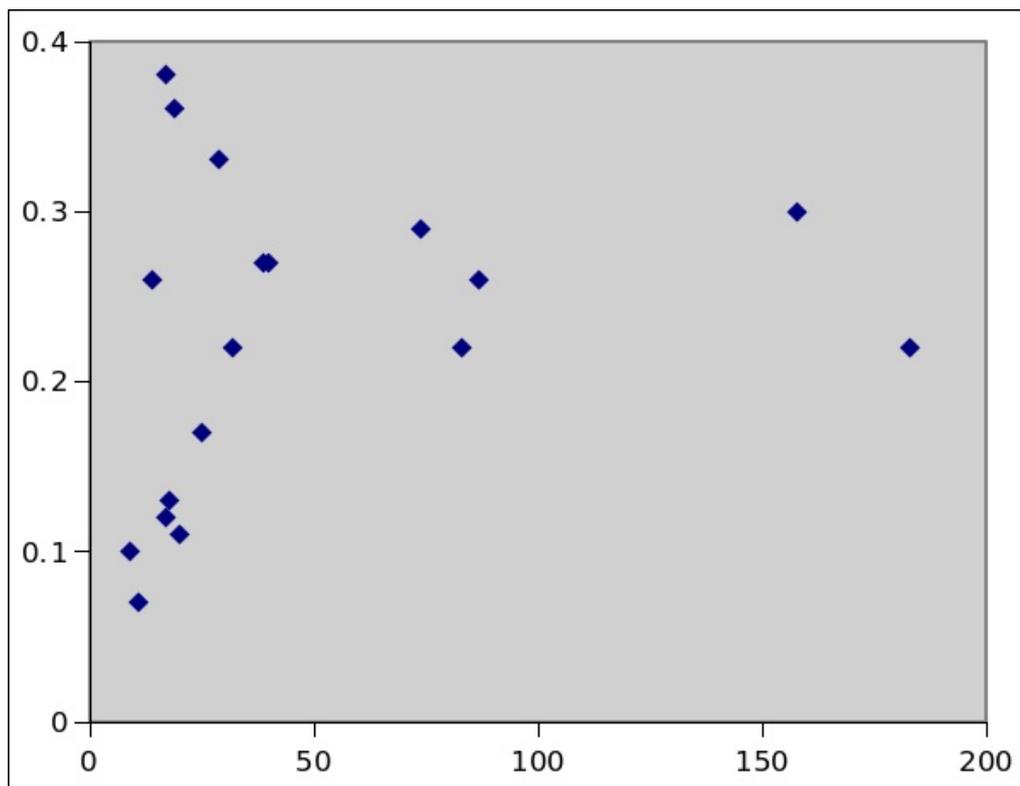
Declination	
Model Used:	EMM2017
Latitude:	45° N
Longitude:	9° E
Date	Declination
2019-01-07	2.59° E changing by 0.15° E per year

Точность съёмки

Точность данных топосъёмки зависит не только от точности калибровки DistoX, но и от всего процесса сбора данных съёмки. Точность DistoX является самой низкой границей, ниже которой нельзя оценить неопределенности данных.

ToroDroid может оценить точность данных съёмки, сравнивая направление каждого повторного замера между пикетами со средним по этим замерам. Для обычной съёмки эта величина обычно между 0.2° и 0.3° (см. Рисунок).

ToroDroid вычисляет точность съёмки по ошибкам замыкания колец. Ожидаемая ошибка замыкания $E = LP/\sqrt{N}$, где L - длина кольца, N - количество пикетов в кольце, а P - точность данных (в радианах). Преобразовав эту формулу, можно оценить точность данных. Обычно она составляет меньше 1° . По сравнению с точностью съёмки компасом и клинометром, которую следует оценивать на уровне 2.5° (M. Corvi, L'accuratezza del rilievo di Fornitori, Erba in Grotta, 2 2010, 122-127), использование DistoX сильно улучшило точность съёмки пещер.



Точность данных съёмки, рассчитанная с помощью ToroDroid, как функция количества пикетов съёмки.

Стабильность эталона (направление магнитного севера) является фактором, ограничивающим точность, достижимую при съёмке пещер с помощью DistoX.

Она сочетается с другими источниками ошибок:

- точность калибровки DistoX,
- ошибка позиционирования DistoX на пикете,
- ошибка в наведении на цель.

Эти три ошибки являются статистическими; их эффект уменьшается, если сделать несколько замеров между пикетами (в $\sqrt{3}$ раза для троекратных измерений).

Ошибка из-за колебаний магнитного поля является «систематической» и зависит от времени.

В принципе это можно исправить, зная время, когда сделаны замеры (ToroDroid записывает время загрузки замера в базу данных) и отклонение от среднего склонения (которое может быть получено из геомагнитных данных). Без этой информации погрешность можно рассматривать как статистическую, порядка $0.1^\circ - 0.2^\circ$.

Ошибки позиционирования и прицеливания обычно составляют 5 см. Для 5-метрового измерения это соответствует примерно 0.5° . Их можно уменьшить до 2-3 см с помощью «хвоста» DistoX (0.3°) и даже больше с помощью установки DistoX на штативе (0.1°).

Хорошая калибровка позволяет достичь точности $0.2^\circ - 0.3^\circ$. Этого достаточно для съемки со средней точностью до 0.5° .

Для съёмок, выполненных с «хвостом» DistoX, становится важной точность калибровки 0.1° . С высокой аккуратностью эта точность может быть достигнута даже без калибровочной установки. Хорошая установка значительно облегчает эту работу. На таком уровне точности неопределенность склонения становится важной, а модель EMM становится необходима. Общая точность съемки по-прежнему составляет около 0.3° .

Если кто-то хочет достичь более высокой точности, скажем, $0.1^\circ - 0.2^\circ$, необходимо выполнять съемку на штативе с прямыми и обратными замерами, а также очень точную калибровку (0.1°) и коррекцию по локальным мгновенным значениям склонения магнитного поля.

Магнитная чувствительность DistoX

DistoX более чувствителен к магнитным воздействиям, чем компас, потому что он измеряет магнитное поле в трех компонентах, в то время как компас измеряет горизонтальную составляющую поля. Кроме того, внутренние поля от намагничиваемых компонентов чувствительны к изменениям внешнего поля, которые могут возникать из-за спонтанных полей (намагниченных объектов или предметов, создающих магнитное поле) или индуцированных полей.

Ниже приведен список ориентировочных расстояний (в см) от DistoX, на которых магнитное воздействие объекта вызывает изменение на 0.1° и 0.5° соответственно. Вы должны проверить влияние своего снаряжения.

Сотовый телефон/планшет	60 см - 30 см
Батареи для фонаря	40 см - 25 см
STOP	35 см - 25 см
Часы наручные	15 см - 10 см
Zebralight	30 см - 15 см
Скальный молоток	30 см - 15 см
Карабин стальной	20 см - 10 см.
Анкерная стальная пластина	10 см - 5 см
Фонарь (с батарейками на задней части каски)	без эффекта
Алюминиевый карабин	без эффекта

Телефон/планшет не следует держать слишком близко к DistoX. Обычно это предостережение справедливо только при съёмке в одно лицо. Съёмщик должен обратить внимание на то, чтобы не выполнять измерения с батареями или фонарём рядом с DistoX. Этого обычно не случается в больших галереях, но может происходить в узких местах и шкуродёрах.

Каким-то образом сталь в крюках сильно влияет на магнитное поле. Поэтому в колодцах пикеты должны быть расположены на расстоянии не менее 30/40 см от крюка.

Спелеоснаряжение обычно находится на безопасном расстоянии, но вы должны знать, что оно может повлиять на измерения.

Валидация калибровки

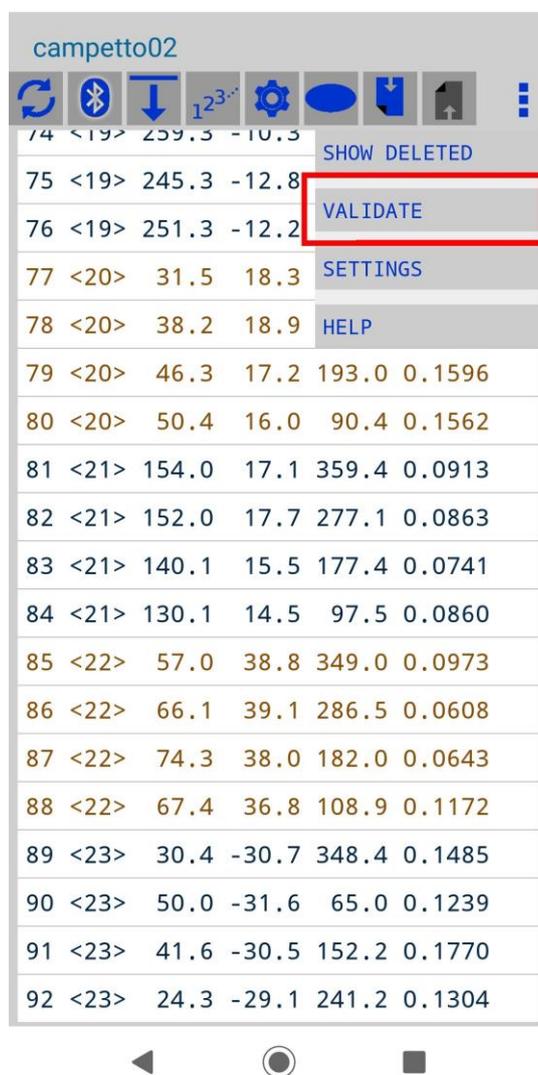
ТороDroid имеет функцию проверки калибровки.

Эта функция сравнивает текущую калибровку с другой калибровкой того же DistoX и вычисляет три гистограммы (распределения); желтая полоса - это отметка 0.5°, а красная полоса - отметка 1.0°. Статистика отображается также численно. Проверка калибровки должна сравнивать две независимые калибровки одного и того же DistoX, выполненные примерно в одно и то же время или не слишком далеко друг от друга во времени. Если между двумя калибровками прошло много времени, эффекты из-за изменений во внутренней намагниченности и внешние поля аннулируют валидацию калибровки. С другой точки зрения, функция проверки может использоваться для определения дрейфа калибровочных коэффициентов для DistoX.

Первая гистограмма (синяя) отображает разность углов между каждым замером текущей калибровки и средним значением группы замеров, когда данные корректируются с помощью коэффициентов другой калибровки. Вторая гистограмма (оранжевая) меняет роль двух калибровок; она отображает разности углов замера второй калибровки, скорректированные с помощью коэффициентов текущей калибровки. Эти первые две гистограммы указывают на точность процесса калибровки DistoX.

Последняя гистограмма (серая) отображает для всех замеров двух калибровок разность углов между значениями, полученными при корректировке замера с двумя калибровками.

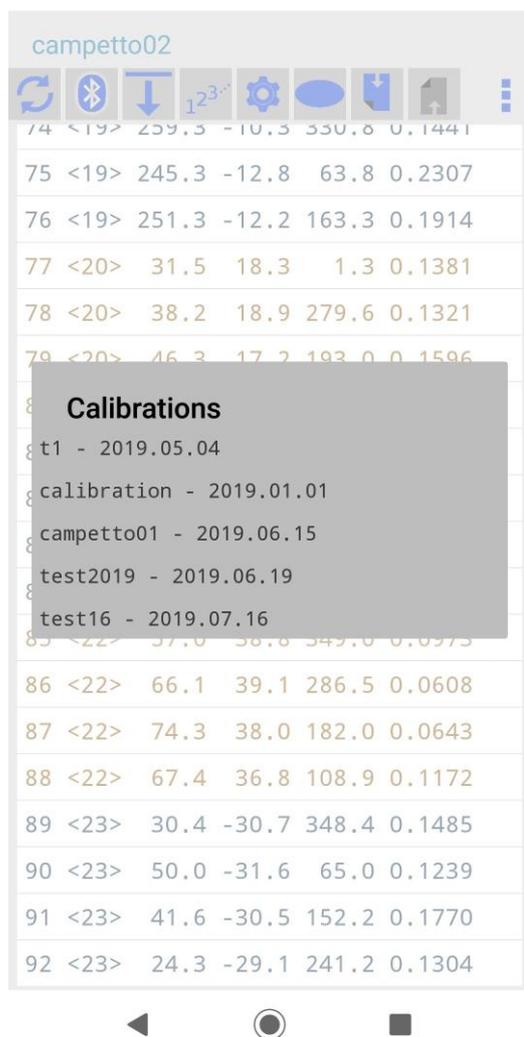
Это свидетельствует о точности калибровки, т. е. насколько значение данных может измениться из-за неопределенности в калибровочных коэффициентах.



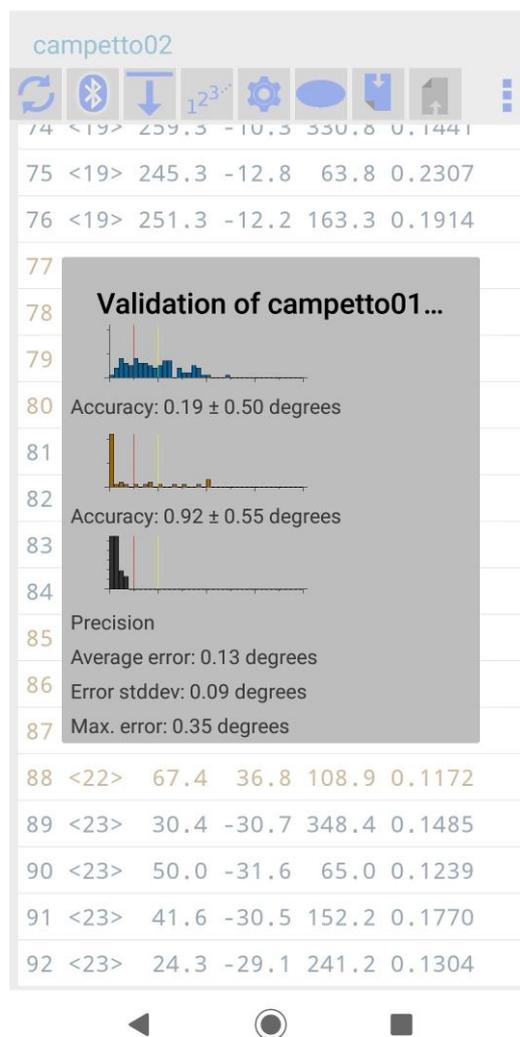
campetto02						
SHOW DELETED						
74	<19>	239.3	-10.3			
75	<19>	245.3	-12.8			
76	<19>	251.3	-12.2			
77	<20>	31.5	18.3			
78	<20>	38.2	18.9			
79	<20>	46.3	17.2	193.0	0.1596	
80	<20>	50.4	16.0	90.4	0.1562	
81	<21>	154.0	17.1	359.4	0.0913	
82	<21>	152.0	17.7	277.1	0.0863	
83	<21>	140.1	15.5	177.4	0.0741	
84	<21>	130.1	14.5	97.5	0.0860	
85	<22>	57.0	38.8	349.0	0.0973	
86	<22>	66.1	39.1	286.5	0.0608	
87	<22>	74.3	38.0	182.0	0.0643	
88	<22>	67.4	36.8	108.9	0.1172	
89	<23>	30.4	-30.7	348.4	0.1485	
90	<23>	50.0	-31.6	65.0	0.1239	
91	<23>	41.6	-30.5	152.2	0.1770	
92	<23>	24.3	-29.1	241.2	0.1304	

Меню валидации

Чтобы проверить калибровку, выберите меню «VALIDATE» в окне данных калибровки. В появившемся диалоговом окне выберите калибровку, по которой вы хотите проверить текущую, нажав на нее. TopoDroid выполнит проверку и отобразит результат.



Список калибровок для валидации



Результат валидации

Проверка калибровки

Мы убедились, что хорошо откалиброванный идеальный DistoX: не дает ошибок между прямым и обратным замерах, не дает ошибки в замыкании треугольников (кольцо из трех замеров), независимо от угла крена. Соответственно, если DistoX удовлетворяет этим условиям, он хорошо откалиброван. Поэтому условия для проверки хорошей калибровки:

- прямой и обратный замеры совпадают
- замыкание треугольного кольца
- крен не влияет на измерения

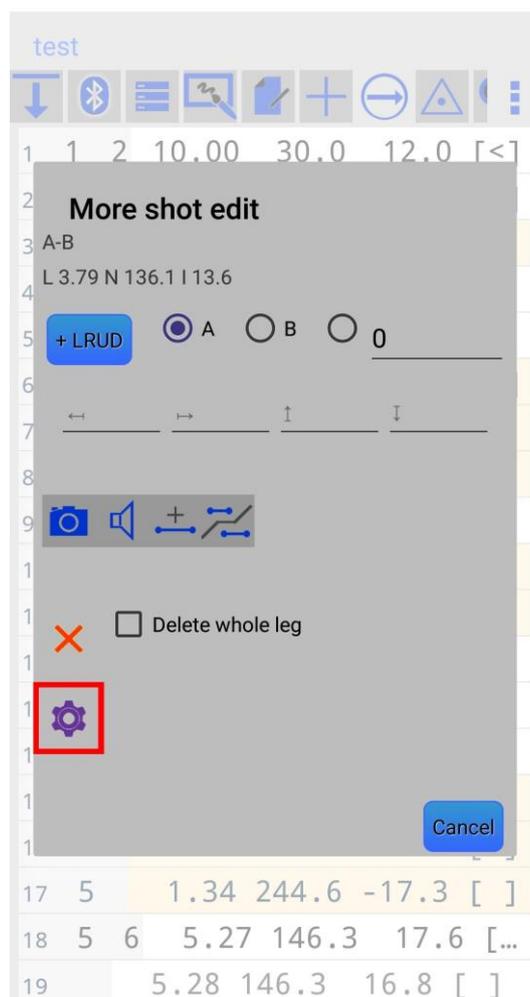
Замеры, сделанные для проверки этих условий, являются «проверочными замерами».

В TopoDroid (на уровне функционала эксперт) вы можете пометить замер как «проверку калибровки», проверить степень выполнения условий калибровки и сохранить замеры проверки калибровки вместе с данными съемки. Проверочные замеры включены в экспорты Therion, cSurvey и CSV.

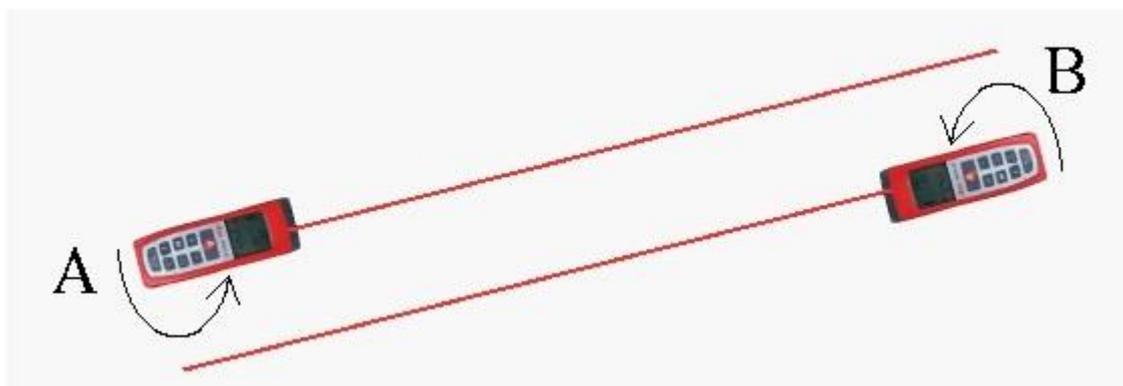
Это не идеальная проверка калибровки, но скорее показатель неопределенности, которую вы можете ожидать от ваших данных, если вы делаете топосъемку с той же тщательностью, что и калибровочные контрольные замеры.

Чтобы проверить совпадение прямого и обратного замеров, вам нужно сделать четыре измерения от А до В, поворачивая DistoX вокруг оси лазера примерно на 90° каждый раз. Затем вы делаете четыре обратных измерения от В до А, снова поворачивая DistoX. Когда вы загружаете замеры в TopoDroid, он распознает два измерения, скажем, А-В и В-С. Откройте диалоговое окно редактирования измерения для А-В, перейдите во вспомогательный диалог и отметьте его как «проверку калибровки», нажав зеленую кнопку шестеренку. Затем откройте диалоговое окно редактирования замера для измерения В-С, переименуйте его в В-А и сохраните. Затем перейдите в дополнительный диалог редактирования и отметьте его как «проверка калибровки».

Теперь из окна информации о съемке (доступного из соответствующего меню окна данных съемки) вы можете проверить калибровочные замеры. Меню «ПРОВЕРКА КАЛИБ.» открывает диалоговое окно с перечнем проверочных замеров калибровки. Если вы нажмете на А-В, TopoDroid вычислит ошибки неизменности по крену, и, поскольку есть обратный замер, он вычислит разницу между прямым и

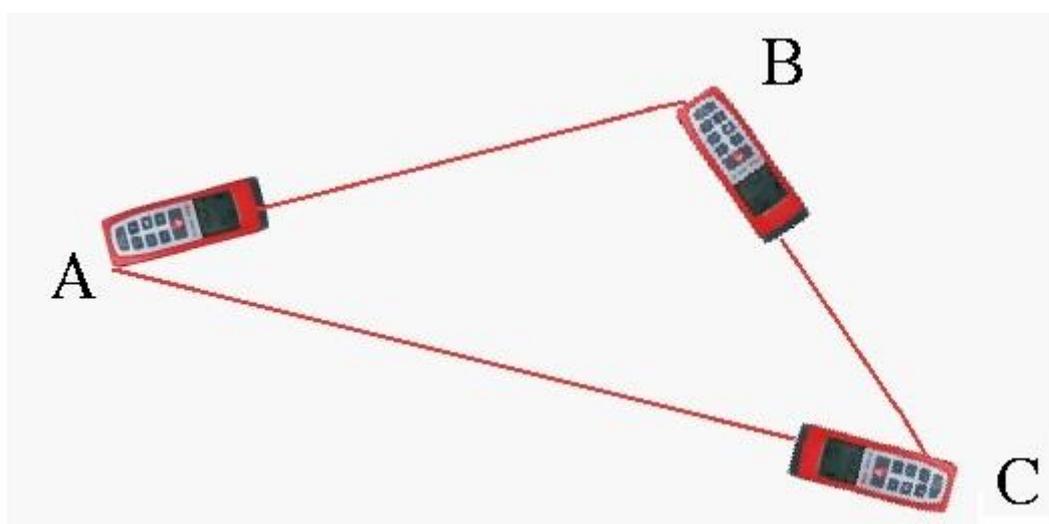


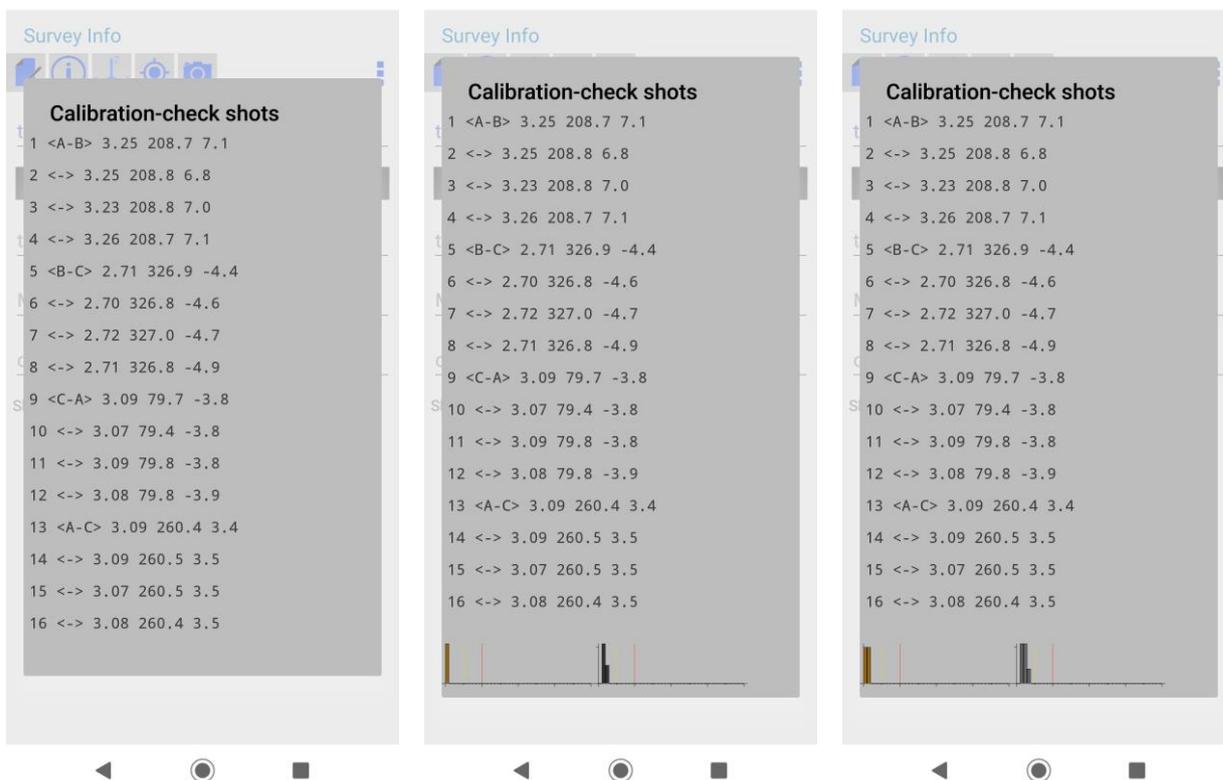
обратным визированием. Результат отображается как распределение разностей углов (в градусах).



Чтобы проверить замыкание треугольника, вам нужно взять три измерения проверки калибровки (каждое с четырьмя замерами под разными углами разворота вокруг оси): А-В, В-С и С-А. Отредактируйте каждый из них и отметьте его как «проверку калибровки», как вы это делали для проверки прямого/обратного замеров.

Далее в диалоговом окне с перечнем проверочных измерений выберите одну сторону треугольника. ТороDroid автоматически распознает две другие стороны и вычислит ошибку закрытия треугольника для каждой возможной комбинации данных трех сторон, и отобразит распределение ошибок E , преобразованных в углы в соответствии с $\alpha = \sqrt{3} (E / L)$ где L - длина треугольного кольца (т. е. периметр треугольника).





Набор калибровочных контрольных измерений, АВ, ВС, СА и АС.

Эти данные были получены после калибровки с погрешностью $0.12^\circ \pm 0.07^\circ$.

Слева: Диалог, содержащий список проверок калибровки.

В середине: Данные проверки АС TopoDroid показывают распределение ошибок между четырьмя замерами АС (левая гистограмма) и данными АС/СА для прямого и обратного замеров (правая гистограмма).

Справа: Данные АВ (или ВС) TopoDroid показывают распределение ошибок между четырьмя замерами АВ (левая гистограмма) и треугольником АВС (правая гистограмма).

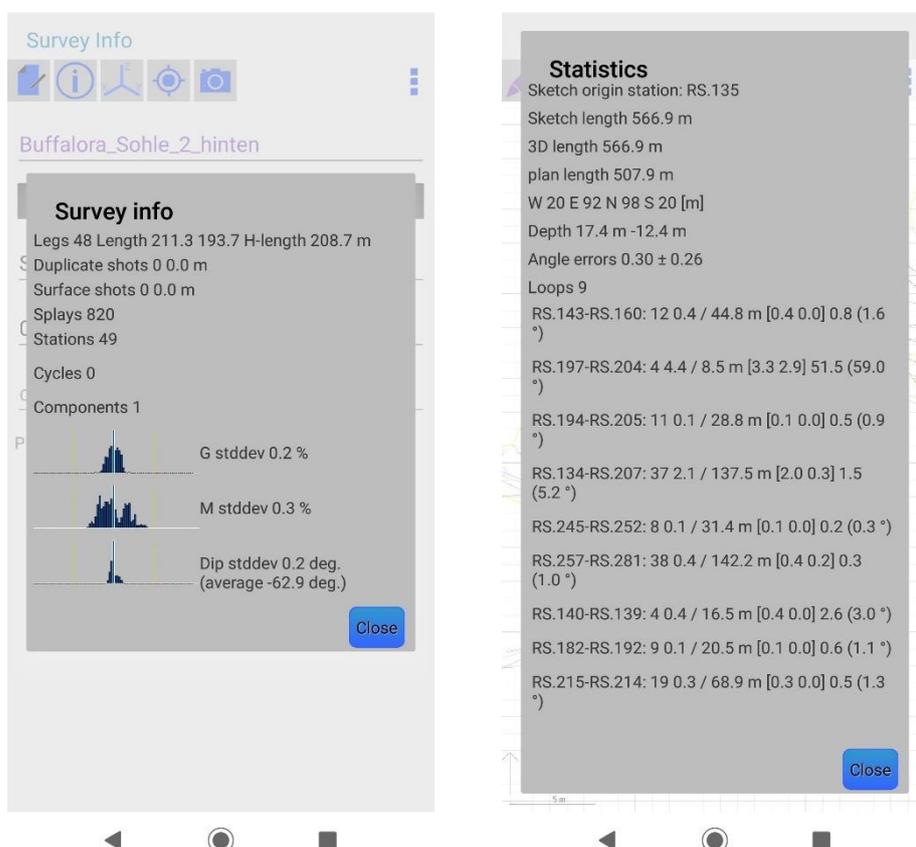
Проверка съёмок в TopoDroid

Другая информация о качестве съёмки представлена гистограммами распределения: отклонения от среднего значения интенсивности М и G, угол между М и G в съёмке. Эти гистограммы показаны в диалоговом окне статистики данных информации о съёмке.

Ноль находится в середине гистограммы, а желтая полоса обозначает значения допуска, выбранные в настройках приложения. Также отображаются численные значения стандартных отклонений распределения.

Так же информация о качестве съёмки - это ошибки замыкания колец. TopoDroid вычисляет редукцию данных только для абрисов. Поэтому эта информация доступна только из данных статистики абриса. TopoDroid может разбрасывать ошибки замыкания колец, однако рекомендуется оставлять кольца разомкнутыми, чтобы на абрисе сразу было видно возможное плохое замыкание (обычно на плане).

Диалог статистики абриса (меню «Статистика») содержит ошибку замыкания колец и статистику угловой ошибки замеров (среднее и стандартное отклонение).



Другие функции DistoX в TopoDroid

TopoDroid содержит другие функции для работы с DistoX:

- дистанционное управление для измерения DistoX2 - прошивка 2.3 и выше.
- чтение информации с устройства
- считывание калибровочных коэффициентов из DistoX
- чтение данных, хранящихся в памяти DistoX
- изменение флага «передачи» данных в памяти DistoX версии 1
- загрузка прошивки с DistoX2
- загрузка прошивки на DistoX2

Информация DistoX

Для DistoX версии 1 TopoDroid считывает и отображает следующую информацию:

- код устройства
- угловые единицы
- состояние Компаса/Уклона вкл/выкл
- режим (нормальный или калибровка)
- состояние режима молчания вкл/выкл

Для DistoX2 TopoDroid читает и отображает следующую информацию:

- модель устройства
- код устройства
- версия прошивки
- версия аппаратной части устройства

Память DistoX

TopoDroid может считывать данные из памяти как DistoX (версия 1), так и DistoX2.

Каждая строка дампа памяти содержит:

- адрес памяти
- буквенный код для различения данных
- значения данных.

Буквенные коды:

- «d» замер съёмки
- «b» обратный замер съёмки (только DistoX2)
- «g» значения ускорения для калибровочных данных
- «m» значения магнитного для поля калибровочных данных (только DistoX версия 1)
- «?» не опознано

Верхний регистр используется для данных с активным флагом «передачи».

Данные съёмки содержат расстояние (в метрах), азимут и уклон (градусы). Значения магнитного поля и ускорения, а также угол между двумя полями, доступные для DistoX2, не показаны.

Для данных калибровки отображаются необработанные значения. Для DistoX2 отображаются только значения «g».

Для DistoX версии 1 также возможно:

- прочитать и сохранить положение курсоров памяти
- очистить или установить флаг «передачи» данных в указанном диапазоне памяти.

Прошивка DistoX2

Для загрузки новой прошивки в DistoX1 необходима специальная программа, являющаяся частью среды разработки MicroChip для встраиваемых систем. Загрузчик DistoX2 может обновить прошивку через Bluetooth.

Когда DistoX2 находится в режиме загрузчика, TopoDroid может

- прочитать и сохранить текущую прошивку DistoX2
- загрузить новую прошивку на DistoX2

Загрузить прошивку на DistoX2 с помощью TopoDroid очень просто.

Сначала переключите DistoX2 в режим загрузчика одновременно нажав кнопки ПЛЮС, МИНУС и DIST. Затем откройте диалог прошивки с помощью меню окна устройства «ПРОШИВКА». Затем выберите файл прошивки для загрузки и нажмите кнопку «Загрузить». Когда это будет сделано, выключите DistoX2.

ТорoDroid содержит несколько файлов прошивки DistoX2, которые входят в комплект:

прошивка 2.1

прошивка 2.2

прошивка 2.3

прошивка 2.4, 2.4с

прошивка 2.5, 2.5с, 2.5t

Начиная с версии 5.0 ТорoDroid включает в себя прошивки 2.4с и 2.5с, исправленные для съёмки в непрерывном режиме, и прошивку 2.5t, исправленную для двойного бипа обратной связи каждые четыре калибровочных замера.