

В этом номере по предложению руководства Московского представительства компании Trimble и с разрешения редакции журнала хУНt (США) размещена первая часть перевода статьи Гавина Шрока (Gavin Schrock), редактора журнала хУНt. Оригинал статьи под названием «Behind the Big Eye» опубликован в журнале хУНt (July 2017, Volume 4, Number 6). Перевод предоставлен Московским представительством компании Trimble.

Редакция журнала

## ЧТО СКРЫВАЕТСЯ ЗА «БОЛЬШИМ ГЛАЗОМ» SX10

Гавин Шрок (Gavin Schrock) — журнал хУНt (США)

Визит на предприятие компании Trimble в «шведском промышленном стиле», расположенное в небольшом городке Дандерюд (Danderyd, Швеция), всего в нескольких остановках по железной дороге к северу от Стокгольма, позволил мне познакомиться с группой специалистов этого инженерно-производственного центра. Именно они своей самоотверженной работой создали множество сложных решений, включая последний проект — уникальный прибор SX10. Надеюсь, их рассказ о том, что скрывается за большим объективом SX10, развеет заблуждение, что создатели сложного геодезического оборудования хотят, чтобы пользователи рассматривали эти приборы исключительно как «черные ящики».

Именно здесь разрабатывается, проектируется и изготавливается основная часть оптоэлектронных приборов компании Trimble. Прибор SX10 представляет собой инструментальную платформу, которая настолько сильно отличается от существующих конструкций, что недавняя модернизация и расширение предприятия в основном были связаны именно с организацией его производства.

«Мы действительно хотели изготовить лучший в мире электронный тахеометр», — отметила Стелла Эйнарссон (Stella Einarsson), системный руководи-

тель проекта SX10. Для осуществления такой смелой идеи потребовалось применить все знания и ресурсы инженеров и ученых научно-исследовательского отдела предприятия, работающих в составе международной команды. Предприятие в городе Дандерюд является частью научной, научно-исследовательской и производственной системы, которая развивается уже более ста лет и много раз удостоивалась эпитетов «первая» и «лучшая».

Следует подчеркнуть, насколько значительно отличается это новое устройство от традиционных средств измерений не

только семейств AGA-Geotronics-Spectra-Trimble, но и всей геодезической отрасли. Прибор SX10 не основан ни на одной из существующих платформ, поэтому почти каждый его компонент разрабатывался с нуля, от научной базы до проектирования совершенно новых технических решений, технологических процессов и испытательного оборудования.

Стелла Эйнарссон возглавляет проект SX10 с 2007 г. — времени рождения концептуального решения. Она рассказала: «Работы распределены по всему миру. Управляющее программное обеспечение создается в Новой



Слева направо: Кристиан Грассер, специалист научно-исследовательского отдела, Стелла Эйнарссон, системный руководитель проекта SX10, Микаэл Норденфельт, специалист научно-исследовательского отдела ([www.xyht.com](http://www.xyht.com))

### Расстояние равно скорости света, умноженной на время

В 1941 г. Эрик Бергстранд (Erik Bergstrand) принимал участие в работах по мелкомасштабной топографической съемке в районе Стокгольма (Швеция) и пытался найти лучший способ определения скорости света. Он предложил вместо механического обтюратора использовать систему с электронным управлением прерывания светового потока.

К 1947 г. Эрик Бергстранд создал рабочий прототип устройства, которое позволяло передавать и принимать 10 миллионов световых импульсов в секунду на зеркало, установленное на расстоянии более 30 км. Расстояние можно было рассчитать с точностью до миллиметра. Он опубликовал результаты работ в своей докторской диссертации «Определение скорости света», которые были настолько многообещающими, что компания AGA поддержала его дальнейшие исследования и разработку первого коммерческого электронного устройства для измерения расстояния. В 1953 г. был выпущен прибор для геодезических измерений Geodimeter 1 (GEOdetic DIstance METER — «геодезический измеритель расстояний»).

Быстрому развитию и повышению точности приборов серии Geodimeter способствовало использование источников излучения на разных частотах. В 1964 г. Geodimeter 6 был полностью изготовлен на транзисторах, а в качестве источника электропитания использовались аккумуляторные батареи небольшого веса. В 1971 г. появился геодезический прибор из тех, которые в настоящее время называют «электронными тахеометрами», добавивших оптическим теодолитам возможность точно измерять расстояния.



В 1973 г. была образована независимая компания Geotronics.

В 1978 г. в Geodimeter 120 было реализовано автоматическое вычисление горизонтального расстояния. В том же году в прибор было добавлено переносное периферийное устройство Geodat 120 для записи результатов измерений. В 1986 г. Geodimeter 440 стал первым электронным тахеометром со встроенным программным обеспечением. В 1990-х гг. в Geodimeter 460 появился сервопривод, и электронный тахеометр превратился в роботизированный тахеометр.

Подобный путь развития, который прошел доктор Эрик Бергстранд, создавая электронное устройство для измерения расстояний, прошла компания Trimble Navigation, созданная в 1978 г. Чарли Тримблом и тремя партнерами, обеспечившая коммерческую жизнеспособность высокоточным спутниковым приемникам GPS (см. Геопрофи. — 2017. — № 2, 4, 6). В 1997 г., в результате слияния, компания Geotronics вошла в состав новой компании Spectra Precision, которую в 2000 г. приобрела компания Trimble.

Объединение ресурсов двух компаний позволило продолжить разработку геодезических оптико-электронных приборов, открыв в 2005 г. новую эру электронных тахеометров серии S, за которой в 2007 г. последовала серия VX, и в настоящее время — SX10.

Зеландии, офисные программы Trimble Business Center (TBC) — в США, программы для обработки данных сканирования — во Франции. Международная команда действует как единое целое. Зачастую незаметно, что

специалисты находятся в разных странах. В этом заключена сила компании Trimble. Все сосредоточены на удовлетворении потребностей основных рынков: топографических съемок, проектных и строительных работ».

Стелла Эйнарссон продолжила: «Электронный тахеометр по своей природе очень сложный прибор, поэтому используемая научно-исследовательская база требует высокого уровня компетентности. Среди примерно 300 сотрудников имеются доктора наук и много выпускников университетов, которые получают здесь дополнительную подготовку». Требования к сотрудникам очень высокие, но, как отметила Стелла Эйнарссон, «культура производства такова, что они получают удовольствие от работы и гордятся создаваемой продукцией».

Роберт Юнг (Robert Jung), технический руководитель производства, кратко описал типы изделий, разработанных и изготавливаемых на предприятии: «модели электронных тахеометров SX10, S5, S7, S9 и SPS для обеспечения строительства и управления машинами, электронные тахеометры серии RTS для технологии информационного моделирования зданий и сооружений, лазерные сканеры TX8 и TX6, а также некоторые блоки управления и марки».

### Салли

Стелла Эйнарссон рассказала: «Руководство компании Trimble присваивает всем НИОКР кодовые имена. Первоначально проект SX10 назывался «Мустанг», затем он превратился в «Мустанг Салли», а широко известным стал под именем «Салли».

На вопрос, что побудило начать проект, она объяснила: «Появившись около 10 лет назад, сканеры, по-прежнему, использовались только при выполнении уникальных работ. Технология лазерного сканирования быстро развивалась, и каждый год появлялись новые модели, отвечая на возникающие потребности пользователей. При этом основное внимание при их создании уделялось повышению скорости и плотности сканирования».

В то время компания Trimble разрабатывала и производила

не только сканеры, например GX, но и, как отметила Стелла Эйнарссон, занималась «совершенствованием геодезической продукции по всем направлениям, от разнообразных моделей механических тахеометров и наиболее передовых тахеометров серии S до универсального тахеометра VX, созданного специально для получения пространственных изображений на основе технологии Trimble VISION».

Перед Стеллой Эйнарссон и специалистами команды стоял вопрос: «Имеется ли способ объединить в одном приборе скорость сканера с точностью тахеометра? Возможно ли это в принципе?»

#### ▼ «Кивание» и вращение

В первую очередь разработчики хотели понять, чего можно добиться путем адаптации и расширения возможностей существующих конструкций. Тахеометр Trimble VX, выпущенный в 2007 г., базировался на платформе передовых тахеометров — в него были включены функции обработки изображений тахеометров серии S, а также «сортировки» сканов. Чтобы добиться этого, зрительная труба тахеометра получила возможность «кивать» во время панорамной съемки. Скорость сканирования была ограничена, но практика показала, что такая функциональность полезна в рабочих процессах при топографической съемке. Другие производители тоже использовали функцию «кивания», но скорость сканирования, по-прежнему, была ограничена значением около 1000 точек в секунду.

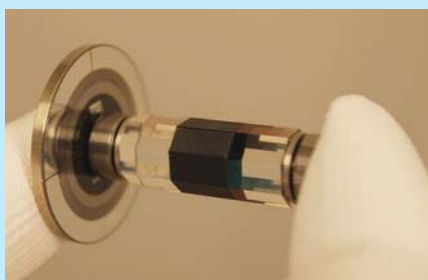
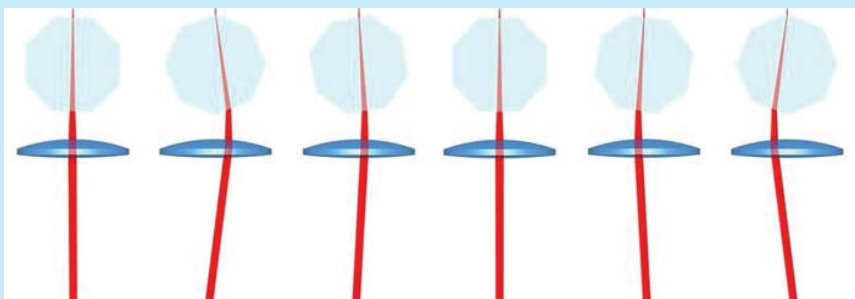
Какой путь должны были выбрать специалисты команды? Начать с платформы сканера и добавить возможности тахеометра? Или взять платформу тахеометра и добавить функцию сканирования? Обе концепции были опробованы с использованием существующих элементов. Мне показали видеоклип испытания с помощью быстрого (но

#### Идея, возникшая на лету

Микаэл Норденфельт рассказал о своем коллеге, работающем на предприятии в городе Дандерюд, Микаэле Херцмане (Mikael Hertzman): «Он самый старший из наших разработчиков, а начал свою производственную деятельность 35 лет назад, в компании AGA. Являясь гениальным инженером, предложил многие решения в наших ключевых технологиях».

Когда возникла необходимость создания устройства, обеспечивающего вращение измерительного блока, совершенно не связанного с конструкцией самого прибора, Микаэль Херцман вспомнил о технологии, разработанной в компании AGA в 1970-х годах для тепловизионной камеры: «Проблема заключалась в том, как выполнять сканирование в широком диапазоне, используя единственный и очень дорогостоящий инфракрасный датчик с охлаждением жидким азотом. Решение было найдено в применении двух вращающихся восьмигранных призм из германия (горизонтальной и вертикальной)».

Микаэль Херцман посетил компанию Flir (ранее часть компании AGA), чтобы посмотреть на этот механизм, вернулся на предприятие и, как сказал Микаэл Норденфельт, «выдумал идею на лету». Было создано несколько макетов, и идея заработала.



Команда SX10 разработала восьмигранную призму, которая вращается со скоростью 1000 оборотов в минуту. Как показано на рисунке, луч проходит через одну грань призмы и при выходе через противоположную грань смещается, затем, попадая на положительную линзу, отклоняется, образуя полосу из шестнадцати точек. Когда призма вращается, эти точки перемещаются вверх-вниз по вертикали или под некоторым углом (при наклоне всего механизма). Точная синхронизация этого процесса позволяет значительно повысить плотность облака точек при сканировании.

недостаточно быстрого для сканирования) магнитного привода на тахеометре — он вращался великолепно. Расчеты показали, что требуется много времени для полного «сканирования купола» (360° по горизонтали и 300° по вертикали).

Из множества рассмотренных конструктивных форм прибора в качестве основных были выбраны две. Первая — имеющая значительный размер по высоте, для размещения элементов охлаждения узла, обеспечивающего вращение измерительного блока с телескопической каме-

рой при съемке, а вторая — более компактная, похожая на окончательный вариант. Повышение скорости сканирования было только одной из целей, поскольку для топографических съемок требуются еще и высокоточные измерения. «Таким образом мы хотели убить сразу двух зайцев», — отметила Стелла Эйнарссон.

Как удалось это сделать, рассказал Микаэл Норденфельт (Mikael Nordenfelt), специалист научно-исследовательского отдела: «Мы могли решить эту задачу, если бы разработали уст-



*SX10 имеет 5 камер и комбинацию лазеров и датчиков, которые команда инженеров назвала «3DM». Сложность прибора потребовала разработки нового сборочного, наладочного и испытательного оборудования ([www.xyht.com](http://www.xyht.com))*

ройство измерения расстояния совершенно нового типа». Технологический прорыв был достигнут путем создания механизма, обеспечивающего вращение измерительного блока, совершенно не связанного с конструкцией самого прибора.

Использование вращающейся призмы (в первом варианте) позволило достичь скорости сканирования в 26 600 точек в секунду и завершить скан всей полусферы в грубом режиме за 12 минут. Проход для фотосъемки полной сферы, если требуется, добавляет 2,5 минуты. Интервалы между измеряемыми точками всегда находятся в пределах одного миллирадиана, поэтому путем сдвига изображения в последующих проходах можно повысить плотность с шагом в 4, 16 или 64 прохода.

#### ▼ Задание

Новый узел зрительной трубы должен был выполнять так много задач, как никогда ранее. Для этого было необходимо использовать достижения технологий, разработанных в области телекоммуникаций, в частности, волоконной оптики. Согласованная работа нескольких камер требовала автоматического переключения. В конструктивном решении трубы отсутствовал окуляр, поскольку было непрактично размещать его

среди множества лучей, призм и датчиков, и специалистам команды потребовалось разработать систему слежения, не опробованную на предыдущих моделях.

В приборе SX10 имеется несколько основных узлов. Один из них — кварцевый генератор, синхронизирующий лазерные импульсы, вращение призм, результаты выборки и обработку. Другим является задающий генератор волоконного усиления MOFA, размер которого приблизительно равен колоде игральных карт. Он состоит из «задающего лазера» и двух лазеров накачки, которые усиливают сигнал. Как пояснил Микаэл Норденфельт, «закачивая «грязный» свет, задающий лазер посылает короткий импульс высокого качества пиковой мощностью 0,1 Вт, который затем усиливается в два этапа: после первого лазера накачки мощность равна 10 Вт, а после второго — 1,3 кВт».

Лазерные лучи изолированы от этих усиленных сигналов для обеспечения нескольких функций: сканирования и тахеометрических измерений с использованием другого лазера для слежения. Команда инженеров назвала это устройство измерения расстояния, выполняющее несколько задач, «3DM».

Для создания очень узкого и точно контролируемого луча полировка оптических волокон производится на предприятии своими силами (оптические волокна, изготовленные сторонними организациями, могут не соответствовать достаточно жестким требованиям). Технолог Майк Тегге (Maik Tegge) так описал этот принципиально важный процесс: «У нас есть вращающийся полировальный стол с восемью положениями, так что одно место никогда не повторяется. Мы используем пять этапов, и каждый раз применяется все более тонкая алмазная шлифовка (шлифовальная бумага)». Майк Тегге показал мне изображение торцов, обработанных на предприятии, под микроскопом, они выглядели потрясающе по сравнению с торцами волокон, обработанных стандартным способом.

Микаэл Норденфельт рассказал, что кольца оптоволокон в MOFA обеспечивают задержку, необходимую между исходящими и входящими сигналами, поскольку интенсивность лазера очень высока.

Использование в готовом изделии оптических волокон, изготовленных с высокой точностью, позволяет получить, как отмечают специалисты команды, «лазерное пятно самого маленького размера среди аналогичных коммерческих устройств — 8 мм на расстоянии 50 м и всего 14 мм на 100 м». Преимущество лазерного пятна малого размера будет очевидно при наблюдении, скажем, на угол здания: большое пятно будет усредняться на большой площади, что даст неверное положение угла.

Кроме того, Микаэл Норденфельт отметил, что высокая скорость лазерных излучений потребовала разработки методов обработки большого объема данных с учетом формы импульса, чтобы обеспечить точность измерения расстояний до миллиметра.

*Окончание следует*