



В Elphel всего три сотрудника: Олег, Андрей и Ольга. Но открыта вакансия Linux-программиста, и после некоторого испытательного срока компания готова спонсировать рабочую визу.

Принципы GNU/Linux В «Железе»

Игорь Штомпель побеседовал с Андреем и Ольгой Филипповыми из компании Elphel.



Компания Elphel — известный производитель видеокamer на базе открытого и свободного как аппаратного, так и программного обеспечения. Андрей Филиппов — ее президент, ведущий инженер и исследователь. Ольга Филиппова управляет делами компании.

LXF: Расскажите, чем вы занимаетесь.

Андрей Филиппов: Занимаюсь я тем, что начал в 2001 — попытался применить принципы из буквально потрясшего меня GNU/Linux (когда я о нем узнал — <https://web.archive.org/web/20050315233332/http://www.linuxdevices.com/articles/AT2171151224.html>) к железкам (кстати — <http://old.computerra.ru/hitech/tech/31862/>). Ранняя история компании описана в тех ссылках, а сейчас можно уже подвести некоторые (надеюсь, промежуточные) итоги того, что вышло, а что нет. Для меня главное, наверное, что вышло — возможность заниматься тем, чем интересно, так, как сам считаешь нужным. И чтобы такое «хобби» давало средства к существованию.

Ну, а что не вышло — напрасны были наивные надежды, что, как в свободном софте, удастся только незначительную часть делать самому, а по большей части использовать/адаптировать чужие наработки. Ну и получать новый код/схемы, сделанные другими. В нашей новой камере мы только планируем впервые использовать GPL-ный код для FPGA, написанный не нами — и это будет впервые за 12 лет существования фирмы. Конечно, это ни в коей мере не означает, что я разочаровался в свободном железе; просто для нас фокус в другом. Мы буквально продаем свободу. Свободу как продукт, свободу модифицировать, менять, копировать, если угодно, и наши клиенты это вполне ценят.

Когда стало понятно, что все равно практически все придется делать самим, не надеясь

на поступление кода/дополнений к железу от пользователей, это нас не отвратило от свободного железа. Понятно, что доля тех, кто хочет и может помочь, среди пользователей всегда небольшая. Но если свободные программы используются миллионами человек, то у нас на подписке чуть больше ста человек, а всего счет пользователей идет на сотни, а не тысячи. Конечно, есть свободное железо, распространяемое огромными тиражами — мы и сами используем Arduino, но такие простые и дешевые устройства — это все-таки отдельная ниша. А нам интереснее заниматься чем-то более сложным, новым, создавать то, чего еще нет, без скидок на «свободное» или «проприетарное». Мне когда-то было обидно слышать объяснение, что «GIMP — это такой Фотопол для бедных». И, к сожалению, хотя я сам пользуюсь исключительно Гимпом, я все никак не дожусь там 16-битного режима, который мне нравился в Фотополе в прошлом веке. Да, я знаю, что такой режим можно «прикрутить», но хочу, чтобы он был «из коробки», сразу.

В высокотехнологичном железе есть и дополнительные сложности, которые не в пользу свободных разработок. Во-первых, рынок таких устройств всегда будет ограничен, ведь объективно свободное и сложное железо нужно не всем,

направлении. Т.е. нужно угадывать такие направления и стараться не обрубать потенциальные точки роста — как в самом железе, так и в его программном обеспечении. А это — дополнительные условия, которые требуют дополнительных усилий и/или аппаратных элементов.

Дальше. Разрабатывая свои камеры, мы не можем использовать, например, небесплатные средства разработки FPGA (ПЛИС). Для нормальных производителей такие программы за «смешные» деньги (менее \$10 тыс.), конечно, не сильно удорожают продукт. Но такие суммы значительно превышают стоимость большинства самих наших камер, т.е. за возможность пересобрать прошивку устройства нашему пользователю пришлось бы выложить сумму в несколько раз больше той, которую он уже заплатил. Конечно, в идеальном мире такие программы должны быть свободными, а не freeware (<http://blog.elphel.com/2013/10/fpga-is-for-freedom/>), но этого пока нет. Ну и, конечно, мы не можем использовать такие компоненты (или протоколы), где требуется давать подписку о неразглашении. Единственный раз я подписывал NDA с Кодаксом, но это было на заранее оговоренный срок, который истек до того момента, когда мы планировали продавать устройства, основанные на этом сенсоре.

И еще. Как верно написал в своей статье Марк Левой [Marc Levy] (профессор Стэнфорда, автор Франкенкамеры), проприетарные производители камер постоянно нарушают патенты друг друга, и это им обычно сходит с рук, т.к. обнаружить это непросто. Со свободными разработками жизнь патентных троллей облегчается — нам, например, с ними приходилось иметь дело 4 раза (правда, не по части камер, а по подаче питания через кабель локальной сети). И хотя им самим от нас ничего не досталось, на юристов мы уже потратили не одну тысячу долларов.

По-моему, если стараться, чтобы продукт имел сразу три желаемых качества: «свободный», »

«Мы продаем свободу как продукт, и наши клиенты это вполне ценят.»

а в основном ученым и разработчикам, т.е. в тех областях, где готовых решений пока нет. Ну, а маленький тираж производства аппаратуры, естественно, сильно повышает ее цену. Во-вторых, чтобы эту свободу можно было продавать, т.е. чтобы были люди, готовые платить деньги не только за принцип, разработка с самого начала должна быть удобной для модификации, причем в неизвестном нам, как разработчикам,

Короткая справка

» **Андрей Филиппов** — выпускник МФТИ 1978 г., кандидат физико-математических наук (1989 г.). Работал инженером и младшим научным сотрудником Института общей физики в Москве с 1978 по 1995 г. С 1995 по 2001 г. — в компании Cordin (Солт-Лейк-Сити) на позиции ведущего инженера.

С 2001 года стал президентом, ведущим инженером и исследователем в компании Elphel.

» **Ольга Филиппова** в 1996 году закончила МАрХИ, а в 2000 г. — Университет Юты по специальности «архитектор». С 2008 года является управляющей делами компании Elphel.

«дешевый» и «высокотехнологичный», то ничего не выйдет. Можно сделать свободный и дешевый, но простой — выйдет Arduino. Можно — дешевый и высокотехнологичный: выйдет мобильник. Наша ниша — свободных и высокотехнологичных (но недешевых) продуктов.

LXF: Что входит в текущую линейку продуктов Elphel?

Ольга Филиппова: Несколько моделей камер, основанных на модели NC353L: базовая камера NC353L состоит из системной платы 10353 и сенсорной платы 10338 с 5-мегапиксельным сенсором (Aptina) + интерфейсная плата 10369 = NC353-369 камера, которая обеспечивает дополнительные интерфейсы: SATA, USB, последовательный порт, облегчает отладку ПО, т.к. с камерой можно общаться через консоль, + мультисенсорная/мультиплексорная плата 10359 = NC353-369-359, позволяющая подключить до 3-х сенсоров к одной системной плате; также позволяет программировать FPGA (ПЛИС), такой же, как на системной плате; такая конфигурация электроники используется в стереокамере и других мультисенсорных камерах, например, Hammer, которая обеспечивает 360-градусный угол обзора, используя 2 сенсорных платы и 2 широкоугольных объектива Fisheye. К любой из перечисленных моделей можно добавить встроенный жесткий диск или CF-карту, подключить GPS и IMU. Варианты представлены в таблице на http://www3.elphel.com/model_353_cameras.

Еще одна линия — калиброванные панорамные камеры Eyesis4Pi. Полная модель Eyesis4Pi обеспечивает угол обзора 360°×180°, т.е. сферическую панораму. Точная калибровка опико-электронных модулей камеры позволяет использовать камеру как стереофотограмметрическую — вычислять расстояния до объектов в кадре, используя только полученные фотографии. Мы производим и фотограмметрические камеры NC353L-PHG и NC353L-PHG3, с одним и с тремя опико-электронными модулями. Ведется разработка новой модели NC393, с более мощным процессором и ПЛИСом — подробно о ней см. в блоге: <http://blog.elphel.com/category/model-393/>.

LXF: Как организовано производство камер Elphel? Какие стандарты лежат в основе этого процесса?

» **ОФ:** В Elphel работают 3 постоянных сотрудника. Разработка камер (замысел, схемы, разводка

печатных плат, набор компонентов, дизайн корпуса и чертежи — все делает Андрей. Проверка и тестирование новых прототипов тоже его. Первую плату он всегда собирает (паяет) сам (кроме BGA), т.к. это помогает отловить ошибки и оптимизировать дизайн.

Производство организовано так: платы заказываются в Китае, сборка сложных плат — на заводе в 10 минутах от офиса Elphel, алюминиевые корпуса для камер — в Китае, сложные алюминиевые детали (всего их в камере Eyesis4Pi больше 100) вытачиваются в США (2 мастерские, тоже в Солт-Лейк-сити, специализирующиеся на разных размерах и точности). Анодирование, сварка, специальные прокладки, объективы и пр. — все заказывается либо в Америке, либо в Китае. Срок поставки — от 2-х дней до 2-х месяцев. Детали за-

«В процессе изготовления камер — все элементы современного производства.»

казываем из расчета на 100–200 камер NC353L и на 3–5 камер Eyesis4Pi.

Общение с поставщиками, заказ деталей, инвентаризация, а также и бухгалтерия, получение заказов на камеры — этим в основном занята я.

Сборка, настройка и особенно калибровка панорамных камер осуществляется у нас. Наш новый офис/производство спроектирован и построен под калибровку: главное помещение — это калибровочная комната, специально оборудованная, с калибровочной мишенью размером 7×3 м и калибровочной машиной, она может быть полностью изолирована от света. В то же время стены остальных помещений расположены под углом, чтобы иметь возможность калибровать камеры с длиннофокусным объективом. Также имеется чистая комната для сборки оптических элементов, склад деталей, компьютерная, помещение для сборки и тестирования. Сборкой, тестированием, отладкой, настройкой камер и программного обеспечения занимается Олег Джимиев, инженер.

Вообще, несмотря на крошечный размер нашей компании (высокоэффективной), в процессе изготовления камер присутствуют все элементы современного производства, включая аутсорсинг из Китая. Производство высокотехнологичных камер и так очень дорого, и камеры Elphel, конечно, гораздо дороже массовых, широко используемых камер, а без поставок из Китая цены выросли бы втрое или больше.

Конечно, в компании очень много других дел: техническая поддержка через список рассылки — Олег и Андрей; переписка и телефонные разговоры с клиентами — Ольга; в прошлом году мы все подавали на государственный грант — это примерно 180 человеко-часов; подготовка к выставкам и конференциям тоже занимает очень много времени всех сотрудников.

Наверное, в новой статье стоит больше рассказать про панорамную и фотограмметрическую камеру Eyesis4Pi и про наши разработки методов калибровки, т.к. это абсолютно новая линия продукции и новое направление, которого не было в 2009 году, когда была опубликована первая статья. Точная калибровка Eyesis4Pi позволяет автоматически склеивать полученные фотографии в панораму, используя метод pixel-mapping, а также позволяет определить геометрические свойства объектов по изображениям. Геометрические свойства калибровочной мишени (наклеенной на ровную стену) посчитаны с помощью Eyesis4Pi и описаны в статье про офис: <http://blog.elphel.com/2013/06/elphel-new-camera-calibration-facility/>.

Также в смысле производства — с панорамной камерой количество деталей и поставщиков увеличилось в несколько раз. Вся механическая и опико-механическая часть камеры тоже разработана на Elphel, помимо электроники.

Камеры Elphel использовались в Google Streetview, и, кстати, панорамы Москвы и Санкт-Петербурга сняты камерами Elphel.

Сейчас ведется разработка новой камеры NC393. Эта разработка

была давно запланирована, но мы ждали подходящего FPGA/процессора; NC393 спроектирована как мультисенсорная (можно подключить 4 сенсора одновременно) для поддержки мозаичных систем и 3D, в том числе real-time 3D, для летающих БПЛА.

АФ: Сенсорные порты камеры подключены непосредственно к FPGA, и их легко «перепрофилировать» — например, вместо 4-х сенсоров оставить 2, а освободившиеся порты использовать для управления моторами квадрокоптера — быстрое действие программируемой логики здесь никак не помешает и позволит разгрузить центральный процессор. Кстати, камера получается удобной для космических применений — с одной стороны, в самом чипе предусмотрен режим исправления ошибок оперативной (и внутренней) памяти, а с другой — в камере реализованы два альтернативных способа загрузки: с внутренней NAND Flash и со стандартной карточки MicroSD. Причем и сама «кнопка» перезагрузки, и выбор источника определяется через USB-порт (по совместительству с последовательным портом системной консоли). Поэтому устройство-супервизор (например, Arduino) может перезагрузить камеру. Мы думаем сделать адаптер к сенсорному порту, чтобы можно было подключать shields от Arduino — мы применяем камеры для управления многими устройствами, а для Arduino продается множество специализированных интерфейсных плат.

В этой новой разработке мы надеемся осуществить давнюю мечту — использовать свободный код для FPGA, написанный другим. За все 12 лет существования фирмы мы этим пользовались только для ПО, а свободный код программируемой логики был исключительно наш.

Вы спрашивали, какие стандарты лежат в основе процесса производства камер. Не очень понимаю, что именно вы имеете в виду. А то некоторые стандарты (вроде IEEE802.3af) очень дорого обходятся — не одну тысячу долларов пришлось заплатить юристам для отражения многократных атак патентных троллей. Конечно, патент, например, на использование фантомного питания вряд ли действительная инновация (мне про подачу питания по сигнальным проводам отец в детстве рассказывал), но суд для признания патента недействительным требует средств, многократно превышающих те, которыми мы обладаем.

Фотографии нашего офиса можно посмотреть на <http://blog.elphel.com/2013/06/elphel-new-camera-calibration-facility/>. Там же есть ссылки на панорамные изображения офиса.

LXF: Расскажите о своей инструментари. Какие языки программирования и средства разработки вы используете?

АФ: В принципе, то, что написано в статье 2009 года, верно и сейчас, с небольшими добавлениями: Icarus Verilog с GTK Wave для симуляции FPGA (ПЛИС), C — drivers Linux, приложения Java, на основе *ImageJ* для обработки изображений, PHP, Python, JavaScript, средства разработки: *Xilinx ISE*, *Eclipse* (не очень хочется рекламировать проприетарное и вообще ничем не замечательное ПО от Xilinx, но приходится его использовать). Подробнее об этом я писал недавно в <http://blog.elphel.com/2013/10/fpga-is-for-freedom/>.

LXF: Какое программное обеспечение использует компания Elphel в своих проектах?

ОФ: Программное обеспечение для работы с камерой: SDK, Elphel Toolkit, позволяющий запустить систему с Live USB или установить и обновлять ее на своем компьютере. Открытое программное обеспечение, распространяемое под лицензией GNU/GPL. Текущая и все предыдущие версии выложены на SourceForge, а также текущая версия поставляется с каждой камерой. Для панорамных камер мы разработали ПО для получения изображений, коррекции аберраций, дисторсии, цвета и пр. у полученных изображений и склеивания отдельных фотографий в панорамы. Изображения синхронизированы с данными, полученными с IMU и GPS, и привязаны к карте. Подробнее о калибровке панорамных и фотограмметрических камер написано в нашем блоге: <http://blog.elphel.com/category/panoramic/>.

АФ: Сейчас мы осваиваем OpenEmbedded и что изменилось в ядре Linux (в основном, в смысле устройства/написания драйверов) со времен 2.6.19 — версии, которая используется в наших прежних камерах. Именно на основе OE и строится ПО для новой (http://blog.elphel.com/wp-content/uploads/2013/11/system_393.jpeg) камеры:

<http://sourceforge.net/p/elphel/meta-elphel393/>. Сначала, правда, нам пришлось написать замену проприетарному загрузчику от Xilinx (<http://sourceforge.net/p/elphel/ezynq/ci/master/tree/>, <http://sourceforge.net/p/elphel/meta-elphel393/>). Производители этой SoC Zynq, которую мы используем в камере (объединяющую двудесятилетний ARM и мощную FPGA), умудрились к свободным GNU/Linux и U-Boot привесить-таки проприетарный предзагрузчик (FSBL — first stage boot loader), для генерации которого требуется использование проприетарного ПО, а сам сгенерированный файл невозможно легально распространять. Т.е. наши пользователи не смогли бы сами пересобрать образ. В бесплатном варианте, кстати, это проприетарное ПО устанавливается вместе с обязательной программой, которая может посылать фирме-производителю любую информацию с вашего компьютера. Причем в лицензионном соглашении оговаривается, что Интернет есть Интернет, и они не могут гарантировать конфиденциальность этой информации во время пересылки. Подробно про это написано в <http://blog.elphel.com/2013/10/fpga-is-for-freedom/>.

Сейчас эта работа уже завершена, и в камере не используется никакого проприетарного ПО (за исключением, конечно, кода во встроенном ПЗУ процессора). Изменений, конечно, немало, и очень обрадовало, что для половины использованных устройств I²C нашлись готовые драйверы, достаточно было только прописать их в Device Tree. Ну, а для тех микросхем, для которых готовых драйверов не оказалось, на них я и решил подготовиться к написанию (частично — к портированию нашего существующего кода) драйверов для собственно «камерной» части.

Другая категория ПО, которое мы используем (и разрабатываем) — это программа *ImageJ* (<http://ru.wikipedia.org/wiki/ImageJ>). Именно в виде плагинов для нее (sourceforge.net/p/elphel/ImageJ-Elphel/) написаны наши программы по обработке изображений, в основном для мультисенсорных камер. И под эти программы (точнее, конечно, под сам процесс калибровки камер) мы даже преобразовали наш офис (или его лучше назвать лабораторией?) — <http://blog.elphel.com/2013/06/elphel-new-camera-calibration-facility/>.

Конечно, все ПО, которое мы разрабатываем сами, лицензируется под GNU GPLv3. «Железки» — как электронные платы, так и механические детали — под двойной лицензией, CERN OHL и GNU FDL, вся документация (включая чертежи и STEP (3d CAD) файлы) доступна на wiki.elphel.com. Здесь показано, как посетители рассматривают сборочный чертеж свободной камеры на SIGGRAPH: <http://blog.elphel.com/wp-content/uploads/2012/08/elphel-at-siggraph02.jpeg>; ну, а каждую указанную там деталь можно найти хоть Гуглом: <http://www.google.com/search?q=0353-19-66>.

LXF: В каких крупных проектах были использованы решения Elphel? Какие из ведущих компаний стали вашими клиентами?

ОФ: Самый крупный клиент — Google. NC353L использовались для Google Streetview (встроены

в гугловскую панорамную камеру), и еще раньше мы разработали камеру NC323 для сканирования книг в проекте Google Books. В основном наши заказчики — это университеты и научные лаборатории всего мира. Их очень много — можете посмотреть на карту: <http://map.elphel.com/>, но мы не можем назвать их крупными заказчиками, т.к. каждый покупает 1–5 камер.

Применения камер: роботы/машинное видение, подводные роботы, беспилотные летающие аппараты — квадрокоптеры и пр., астрономические наблюдения, кинематография, фотофиниш, микроскопы, панорамные изображения, фотограмметрия, видеонаблюдение и т.д.

LXF: В каких мероприятиях компания принимала участие, в каких будет принимать в текущем и следующем году? Является ли Elphel участником каких-либо из них на регулярной основе?

ОФ: Первое участие нашей компании в международной конференции — CineGrid, которая проходит ежегодно в Сан-Диего, Calif2. Насколько мы поняли, тема конференции — изображения и видео высокого разрешения: их получение, обработка, запись, хранение, применения для киноиндустрии и разные другие применения. Они сами в Calif2 построили панорамы-комнаты, в которых можно интерактивно общаться с реальностью на экранах. Система называется CAVE. Андрей представлял там наши многосенсорные камеры: панорамный Eyesis4Pi и другие разработки. В 2012 году Elphel принимал участие в выставке SIGGRAPH, демонстрируя Eyesis4Pi и методы калибровки (<http://blog.elphel.com/2012/07/elphel-at-siggraph-2012/>, <http://blog.elphel.com/2012/08/the-last-chance-to-see-us-at-siggraph12/>). В следующий раз мы планируем подать заявку на выступление на конференции SIGGRAPH (2014, 2015, как получится). Последние 3 года Elphel регулярно делает презентации в Университете Юты, на факультете программирования [computer engineering], а также в институте SCI (Scientific Computing and Imaging). Презентации выложены здесь: <http://www3.elphel.com/presentations>.

В октябре 2010 и 2009 Elphel участвовала в местной выставке и конференции: Utah Open Source Conference, демонстрируя камеры, и рассказывая про Elphel, про наш опыт разработки и производства открытого «железа» и ПО и ведения бизнеса с открытыми продуктами (<http://blog.elphel.com/2010/10/elphel-participation-in-russian-open-source-hardware-mini-conference/>, <http://blog.elphel.com/2009/10/elphel-at-utah-open-source-conference-2009/>).

В октябре 2010 Elphel дистанционно принимала участие в мини-конференции Russian Open Source Hardware в Санкт-Петербурге (<http://blog.elphel.com/2010/10/elphel-participation-in-russian-open-source-hardware-mini-conference/>), в семинаре в Бордо на RMLL-2010 (<http://blog.elphel.com/2010/06/elphel-workshop-in-bordeaux-during-rmll-2010/>). В июле 2008 — выставка Linux World в Сан-Франциско; ноябрь 2007 — Linux World в Гуанчжоу, Китай. 2004, 2005, 2006, 2007 — LinuxTag, Германия: Висбаден, Карлсруэ, Берлин. **LXF**