ШИНА FIREWIRE БЕЗ ОГРАНИЧЕНИЙ НА РАССТОЯНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

ЛЕС БАКСТЕР (LES BAXTER), инженер, член IEEE

Начиная с 1995 г., шина FireWire получила широкое распространение для передачи аудио- и видеоданных на короткие расстояния – уже свыше 1 млрд. портов используют этот стандарт для передачи данных. Сейчас применяется в основном версия 1394b стандарта FireWire (известная как бета-версия), обеспечивающая передачу данных со скоростью до 3200 Мбит/сек. Именно она стала основным интерфейсом в современных инновационных приложениях с передачей данных на большие расстояния. После опубликования в 2008 г. «1394 Copper Automotive Specification», к шине FireWire значительно возрос интерес и в сфере мобильных систем. Статья представляет собой сокращенный вариант [1].

Существует распространенное заблуждение, что связь по интерфейсу IEEE 1394 ограничена расстоянием 4,5 м. Появилось оно из-за фразы в стандарте IEEE 1394, утверждающей, что все три типа кабелей (4 -, 6 - и 9-штырьковых) имеют «предполагаемую максимальную длину 4,5 м». При написании стандарта 1394 собирались указать, что длина кабеля может быть и больше, но эта фраза оказалась пропущенной. Однако в стандарте IEEE 1394-2008 есть несколько пунктов, в которых определена область применения интерфейса FireWire, где указано, что он может передавать данные на гораздо большие расстояния, чем 4,5 м.

На рисунке 1 показана диаграмма, иллюстрирующая типовую сеть IEEE 1394 с кабелями стандартной длины 4,5м, поддерживающую до 63 узлов. Существует два способа удлинения линий связи интерфейса 1394 — либо использование кабелей с низкими потерями, либо применение одного из средств, позволяющих передавать данные на большое расстояние (неэкранированную витую пару (UTP), коаксиальный кабель или оптическое волокно). В этой статье будут рассмотрены все эти способы и дана дополнительная информация, касающаяся мобильных приложений.

На рисунке 2 показана та же самая сеть, что и на рисунке 1, только все узлы в ней разделены на две группы. Для связи двух групп на большом расстоянии используется пара повторителей и длинная линия. Вместо использования повторителей можно узлы 4 и 5 превратить в порты обеспечения связи на большие расстояния, для этого их соединяют друг с другом напрямую, как показано на рисунке 3.

УВЕЛИЧЕНИЕ РАССТОЯНИЯ СВЯЗИ ПРИ ПОМОЩИ КАБЕЛЕЙ IEEE 1394, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХСЯ МАЛЫМИ ПОТЕРЯМИ

Рекомендация по использованию кабеля длиной 4,5 м основана, главным образом, на величине ослабления как в сигнальных парах кабелей, так и в паре питания. При использовании кабелей с малыми потерями можно добиться более хороших результатов. В таблице 1 приведен список производителей кабелей стандарта 1394, предназначенных для передачи данных на большие

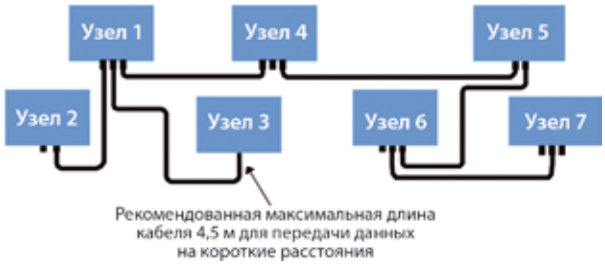

Рис. 1. **Типовая сеть 1394**

Рис. 2. **Сеть 1394 с повторителями**

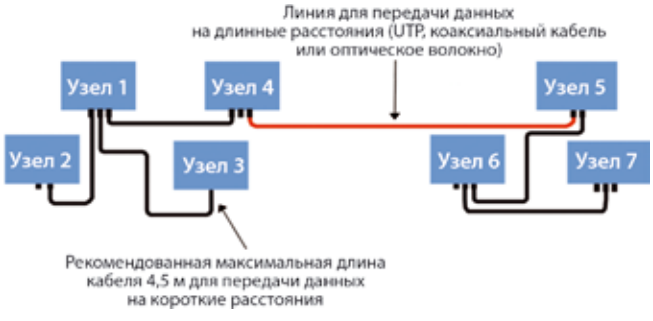

Рис. 3. **Сеть 1394 с портами обеспечения связи на большие расстояния**

Как мы устраняем ошибки проектирования?
Мы встречаемся с Вами на Вашем производстве

Kenneth Jonsson, Технический Директор, NCAB Group Швеция. Проверив 20 000 проектов, Кеннет может быстро найти риски или потенциальную опасность в дизайне Вашей печатной платы

NCAB GROUP
Integrated PCB Production

Осторожность никогда не бывает лишней, когда дело касается печатных плат. Чтобы устранить возможные проблемы производства, наше присутствие в процессах заказчиков также важно, как и наше присутствие на производствах печатных плат. Это означает, что Вы можете полностью довериться нам прямо после окончания проектирования, после которого мы никогда не успокаиваемся в течение всего процесса производства. Наш инженерный штат – Вы можете найти его по всей Европе – ежедневно контролирует Ваши проекты, обнаруживая ошибки в 30% случаев. Однако мелкие ошибки могут быть большой проблемой, если не обнаружены вовремя. Но Вы не должны беспокоиться – наши всевидящие глаза никогда не отдыхают. Мы – Ваш Ключевой Компонент.

www.ncab.com **Your Key Component™**

расстояния. В «1394 Copper Automotive Standard» определены линии связи до 8 м с пятью типами встроенных разъемов, реализованные на основе медных кабелей с малыми потерями и согласованного коаксиального кабеля.

В промышленных и мобильных приложениях, где каждая линия связи разрабатывается при тщательном подборе как интерфейса, так и кабелей, можно добиться увеличения расстояния связи до 10…15 м и даже более. Необходимо отметить, что во всех случаях должны использоваться разъемы, полностью удовлетворяющие требованиям стандарта IEEE 1394.

Для дальнейшего увеличения расстояния передачи сигналов в бета-версии интерфейса FireWire предусмотрено использование согласующего устройства (equalizer), позволяющего компенсировать высокочастотные потери.

СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

Интерфейс IEEE 1394 поддерживает множество типов средств передачи данных на большие расстояния (до 2 км), которые необходимо использовать, если дистанция между связываемыми объектами превышает 10 м. Интерфейс для связи на большие расстояния может быть встроен либо в порт 1394 бета-версии, либо в стандартный порт 1394 (работающий либо в альфа-, либо в бета-режиме), но во втором случае требуется внешний повторитель.

К средствам передачи данных на большие расстояния относятся: UTP, 50- или 75-Ом коаксиальный кабель и несколько типов волоконно-оптических кабелей. В таблице 1 приведен список производителей повторителей и интерфейсных чипов.

Таблица 1. **Список поставщиков продуктов, позволяющих увеличить расстояние передачи сигналов для интерфейса FireWire**

Компании	Продукты	Веб-сайты
Comoss	Кабели 1394 для передачи данных на длинные расстояния, повторители	www.comoss.com
Granite Digital	Кабели 1394 для передачи данных на длинные расстояния	www.ranitedigital.com
Markertech	Кабели 1394 для передачи данных на длинные расстояния, повторители	http://audio-video-supply.markertech.com
Newnex	Кабели 1394 для передачи данных на длинные расстояния, UTP, коаксиальные и волоконно-оптические повторители	www.newnex.com
Synchrotech	Кабели 1394 для передачи данных на длинные расстояния, повторители	www.synchrotech.com
DAP Technology	Медные и волоконно-оптические повторители	www.daptechnology.com
Gefen	Повторители	www.gefen.com
IOI	UTP повторители	www.ioi1394.com
Network Technologies	Медные и волоконно-оптические повторители	www.networktechink.com
Opticis	Волоконно-оптические повторители	www.opticis.com
Point Grey Research	UTP повторители (FirePRO LDR)	www.ptgrey.com
Quantum Parametrics	UTP повторители (FirePRO LDR)	www.quantumparametrics.com
ULAN Co. Ltd.,	UTP и коаксиальные повторители	www.ulancable.com
EqcoLogic	Чип-согласователь для UTP- и коаксиальных интерфейсов	www.eqcologic.com
Fujitsu	Phy-чипы IEEE 1394 для автомобильного применения	www.fujitsu.com
LSI	Phy-чипы IEEE 1394	www.lsi.com
Pulse~Link	UWB-чипы и повторители	www.pulselink.net
Symwave	Phy-чипы IEEE 1394	www.symwave.com
Texas Instruments	Phy-чипы IEEE 1394	www.ti.com

UTP-КАБЕЛЬ

Узкополосная передача сигналов через интерфейс IEEE 1394 при помощи UTP-кабеля определена в статье 12 стандарта IEEE 1394-2008. Могут быть использованы оба типа UTP-кабелей: и Cat 5e, и Cat 6. UTP-кабель Cat 6 поддерживает передачу данных на расстояние 100 м при скорости S100 и S200, и на 75 м при скорости S400. UTP-кабель Cat 5e поддерживает передачу данных на расстояние 100 м при скорости S100, на 75 м при S200, и на 50 м при скорости S400. Несколько фирм, включая TI, EqcoLogic, LSI, Fujitsu, и Symwave, поставляют чипы IEEE 1394 PHY, поддерживающие передачу данных через UTP-кабель.

Помимо описания режима узкополосной передачи данных через UTP-кабель, в статьях 20 и 21 стандарта IEEE 1394-2008 представлен метод, называемый T-режимом, в котором через Gigabit Ethernet PHY-трансивер посылается сигнал в бета-версии со скоростью S800. Этот метод предполагает наличие специальных PHY-чипов, которые пока серийно не выпускаются. Однако кампании Point Grey Research и Quantum Parametrics представили на рынке аналогичный продукт, известный под названием FirePRO LDR, использующий чип 1000BASE-T PHY для поддержки связи через UTP-кабель со скоростью S800 на расстояние 100 м. Все UTP-опции поддерживают передачу по кабелю питания.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

Передача данных на расстояние свыше 50 м через многомодовый стекловолоконный кабель (GOF) определена в статье 10 стандарта IEEE 1394-2008. Данная спецификация поддерживает скорость передачи S400, S800, и S1600 на расстояние до 100 м. Однако серийно выпускаемый повторитель поддерживает передачу данных на расстояние до 500 м.

Статья 11 стандарта IEEE 1394-2008 определяет передачу данных через пластиковый волоконно-оптический кабель (POF) и через волоконно-оптический кабель с полимерным покрытием (H-PCF) на скорости S100 и S200. Расстояние передачи может быть до 50 м при использовании POF-кабеля и до 100 м при применении HPCF-кабеля. Существующие HPCF- и POF-кабели, изготовленные по современным технологиям, поддерживают передачу данных со скоростями S400 и S800.

Глоссарий

Альфа-режим — режим работы, в котором порт использует стробированную передачу данных (DS) и арбитраж, описанный в IEEE 1394a-2000. В портах, работающих в альфа-режиме, применяются 6- или 4-штырьковые разъемы.

Бета-режим — режим работы, в котором порт использует кодирование символов 8B/10B и протокол арбитража шины BOSS (owner/supervisor/selector), первоначально описанный в IEEE 1394b-2002. В портах, работающих в бета-режиме, применяются 9-штырьковые разъемы.

UTP — неэкранированная витая пара.

Согласующее устройство — схема, применяемая для выборочного усиления или фильтрации сигналов для компенсации характеристик ослабления каналов связи или кабелей.

GOF — стекло-волоконный кабель.

H-PCF — волоконно-оптический кабель с полимерным покрытием.

POF — пластиковый волоконно-оптический кабель.

STP — экранированная витая пара.

STQ — экранированная витая четверка.

T-режим — режим работы, при котором порт передает данные через линию связи на базе UTP, используя интерфейс GMII (gigabit media independent interface) IEEE 802.3. В портах, работающих в T-режиме, применяются модульные разъемы (modular jack) RJ-45.

Ультра-широкополосная (UWB) передача — беспроводной метод связи, использующий короткие пакеты радиочастотных импульсов очень низкой мощности.

Таблица 2. **Передача данных по шине FireWire через волоконно-оптические кабели в мобильных приложениях**

Тип	Диаметр, м сердцевина/оболочка	Ширина полосы и потери	Температура и радиус изгиба	Потери на встраиваемых соединениях, дБ	Скорость передачи и расстояние, м
GOF/AGF	50/125	10 ГГц × 20 м <10 дБ/км	–40…115°C 9 мм	3×1,0	S3200 10…18
HPCF	200/230	1 ГГц × 20 м <10 дБ/км	–40…115°C 9 мм	3×2,0	S800 10…18
lowNA POF	970/1000	500 МГц × 10м <230 дБ/км	–40…85°C 15 мм	3×2,5	S400 10…18
highNA POF	970/1000	250 МГц ×10 м <250 дБ/км	–40…85°C 15 мм	3×2,5	S200 10…18

Таблица 3. **Применение STP- и STQ-кабелей в мобильных приложениях**

Скорость передачи данных	Потери в кабеле, дБ/м	Потери на встраиваемых соединениях, дБ	Дифференциальная амплитуда, мВ	Кол-во встраиваемых соединений	Мин. общая длина соединений, м
S400	0,6	0,1	475	0	8,8
				1	8,65
				2	8,50
				3	8,30
				4	8,15
				5	8,0
S800	0,85	0,1	600	0	8,8
				1	8,65
				2	8,50
				3	8,30
				4	8,15
				5	8,0

Таблица 4. **Применение коаксиальных кабелей в мобильных приложениях**

Тип кабеля	Скорость передачи данных	Кол-во встраиваемых соединений	Потери на встраиваемых соединениях, дБ	Потери в кабеле, дБ/м	Расчетный запас	Общая длина межсоединений, м
	S400	0	0	0,46	0	26
		5	5×0,15	0,46	0	24
	S800	0	0	0,7	0	17
		5	5×0,15	0,7	0	16
	S400	0	0	0,27	0	44
		5	5×0,15	0,27	0	41
	S800	0	0	0,41	0	29
		5	5×0,15	0,41	0	27
	S400	0	0	0,26	0	46
		5	5×0,15	0,26	0	43
	S800	0	0	0,39	0	30
		5	5×0,15	0,39	0	28

В документе 2008004 1394 Trade Association определена передача данных через одномодовый волоконно-оптический кабель. Такой кабель поддерживает передачу данных на расстояние до 2000 м при скоростях S800, S1600, и S3200.

КОАКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ

В документе 2007005 1394 Trade Association определена узкополосная передача данных через интерфейс IEEE 1394 с помощью 50- или 75-Ом коаксиальных кабелей. Расстояние передачи зависит от ослабления конкретного типа используемого коаксиального кабеля. Для 50-Ом коаксиального кабеля типовое расстояние передачи на скорости S400 находится в диапазоне 25…70 м, а на скорости S800 — 15…50 м. Для 75-Ом коаксиальных кабелей самых распространенных типов RG59 и RG6 расстояние передачи на скорости S400 составляет 100…160 м, а на скорости S800 — 70…100 м. Как повторители, так и PHY-чипы для работы с коаксиальными кабелями выпускаются серийно (см. табл. 1). Узкополосный коаксиальный кабель также поддерживает передачу питания.

1394 Trade Association выпустила несколько спецификаций для поддержки ультра-широкополосной (UWB) передачи данных через коаксиальный кабель. UWB предоставляет уникальную возможность передачи сигналов через специальные разветвители в обоих направлениях. Типовые расстояния UWB-передачи данных через 75-Ом коаксиальный кабель типа RG59 или RG6 (без разветвителя) при скорости S400 находятся в диапазоне 120…170 м. UWB коаксиальный кабель может поддерживать передачу питания по линии связи без разветвителей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

«1394 Copper Automotive Specification» и ее предшественница — спецификация IDB-1394 содержат подробную информацию по использованию нескольких типов средств передачи данных в мобильных сетях стандарта 1394. В таблице 2 представлена информация по различным типам волоконно-оптических кабелей.

В мобильных сетях могут применяться три типа медных проводников: экранированная витая пара (STP), экранированная витая четверка (STQ) и коаксиальный кабель. К STP и STQ предъявлены одинаковые требования по скорости и расстоянию передачи данных, представленные в таблице 3. В мобильных сетях предписано использовать 50-Ом коаксиальный кабель. В таблице 4 приведены технические характеристики некоторых типов коаксиальных кабелей.

ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ

Если используется рекомендованная длина кабеля — 4,5 м, шина IEEE 1394 может поддерживать максимальную по размеру конфигурацию (63 узла). При использовании более длинных линий связи может появиться проблема, связанная с максимальной задержкой на распространение сигналов по шине. В статье 16.4.9 IEEE 1394-2008 даны рекомендации по использованию широкомасштабных сетей, а именно — введение двух параметров (BOSS_RESTART_TIME и TEST_INTERVAL), обеспечивающих поддержку более крупных сетей с более длинными линиями связи. Сети на базе шины IEEE 1394 позволяют создавать системы обработки изображений большой площади, используемые в устройствах наблюдения.

Pixel Velocity реализовала свою систему Pixel Video Fusion System на базе сети стандарта IEEE 1394 (FireWire), использующей для передачи сигналов либо волоконно-оптические кабели, либо UTP-кабель Cat 6.

Построение сети на базе шины FireWire позволило вывести системы обработки изображений большой пло-

щади на качественно новый уровень. Широкая полоса пропускания и эффективная передача данных, обеспеченные применением стандарта 1394, дают возможность камерам отслеживать заданные зоны, обеспечивая довольно высокое разрешение всего изображения.

Поскольку интерфейс FireWire работает полностью изохронно, т.е. в режиме реального времени, каждая из камер одновременно создает независимые видеопотоки. Например, в один и тот же момент времени камеры сохраняют 8 изображений с разрешением от 1920×1080 (без сжатия) до 640×480 (со сжатием) в зависимости от заданных установок, из которых формируются два выходных информационных потока. Общая изохронная синхронизация FireWire-сети и небольшая задержка при передаче сигналов позволяют координировать работу всех камер. Можно легко извлечь комбинированные картинки, соответствующие конкретным моментам времени, и составить из видеопотоков соседних камер панораму в реальном времени. Подобные системы наблюдения работают в настоящее время в нескольких аэропортах, портах и пограничных зонах.

УПРОЩЕНИЕ РАЗРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрим пример типовой промышленной сети, реализованной по стандарту IEEE 1394. Предположим, что требуется объединить три камеры высокого разрешения при помощи шины FireWire, работающей на скорости S800. Камеры расположены в разных частях на расстоянии 10, 50 и 100 м от управляющего устройства. В таблице 5 приведены технические характеристики средств передачи, которые могут быть использованы в этой сети. Найдем наилучшее решение для каждой из трех линий связи.

Для линии связи длиной 10 м может быть использована любая из технологий, представленных в таблице 5. В нашем случае проще и дешевле всего применить кабели с низкими потерями, поэтому для 10 м линии связи был выбран бета-порт стандарта 1394, работающий на скорости S800, и кабели IEEE 1394, характеризующиеся низкими потерями.

Линия связи 50 м слишком длинная для использования такого же кабеля, какой был выбран для 10-м линии, а скорость S800 слишком велика для применения стандартных кабелей UTP и POF. Приемлемым решением здесь является использование UTP/GbE-кабеля (например, FirePRO LDR от Point Grey Research), узкополосного коаксиального кабеля или стекло-волоконного кабеля (типа MMF или SMF). Применение оптоволокон — явный перебор в конкретном случае из-за малой длины линии связи. В промышленных сетях чаще всего используется коаксиальный кабель, поэтому, не отступая от традиции, для этой линии выберем узкополосный коаксиальный кабель. Для 50-м линии связи можно применить как 50-Ом, так и 75-Ом коаксиальный кабель.

Узкополосный коаксиальный интерфейс может быть встроен в порт S800 (используя чип коаксиального трансивера фирмы EqcoLogic) или же здесь можно применить стандартный порт S800 с внешним коаксиальным расширителем (например, Newnex FireNEX-COAX-S800).

Для 100 м линии связи подходят UTP/GbE-кабель, 75-Ом коаксиальный или волоконно-оптический кабели. Поскольку первые два типа кабелей на скорости S800 будут работать на пределе своих возможностей, выберем многомодовый волоконно-оптический удлинитель, легко справляющийся с передачей данных на скорости S800 на расстояние более 100 м. Такие удлинители поставляют несколько компаний (см. табл.1).

Таким образом, получилась сеть, состоящая из 10-м кабеля IEEE 1394 с низкими потерями, 50-м узкополосной коаксиальной линии связи и 100-м линии связи из многомодового волоконно-оптического кабеля. Конечно, это не единственное решение, и разработчики по своему усмотрению могут применять для каждой из линий разные кабели. Возможность выбора оптимального средства передачи сигналов для каждой из линий связи как раз и является важным достоинством FireWire-сетей.

Таблица 5. **Средства увеличения расстояния передачи сигналов для интерфейса FireWire**

Средства	Скорость	Максимальное расстояние, м
Кабели с низкими потерями стандарта IEEE 1394 (альфа-режим)	S100, S200, S400	10 и более
Кабели с низкими потерями стандарта IEEE 1394 (бета-режим)	S400, S800	10 и более
UTP-кабель Cat 5e	S100	100
	S200	75
	S400	50
UTP-кабель Cat 6	S100	100
	S200	100
	S400	75
UTP-кабель Cat (5e или 6)/ GbE	S800	100
Узкополосный коаксиальный кабель (50 Ом)	S400	25…70
	S800	15…50
Узкополосный коаксиальный кабель (75 Ом)	S400	100…160
	S800	70…100
UWB-кабель	S400	120…170
POF-кабель	S100, S200	50
HPCF-кабель	S100, S200	100
Многомодовый волоконно-оптический кабель	S400, S800, S1600	100…500
Одномодовый волоконно-оптический кабель	S800, S1600, S3200	2000

ЛИТЕРАТУРА

1. *Les Baxter How to use FireWire for innovative new designs without distance constraints//http://www.eetimes.com/design/industrial-control/4206075/IEEE-1394-ideal-for-long-haul?pageNumber=0.*
2. *IEEE Std. 1394-2008, IEEE Standard for a High-Performance Serial Bus, Oct. 21, 2008.*
3. *1394 Trade Association Document 2008001, 1394 Copper Automotive Standard, June 20, 2008.*
4. *1394 Trade Association Document 2008004, IEEE 1394 Single-mode Fiber PMD Specification, Jan. 16, 2009.*
5. *1394 Trade Association Document 2007005, IEEE 1394 Baseband Coax PMD Specification, May 5, 2009.*
6. *1394 Trade Association Document 2006019, Networking IEEE 1394 Clusters via UWB over Coaxial Cable--Part 1: Continuous Pulse (C-UWB) PHY, June 29, 2007.*
7. *1394 Trade Association Document 2006015, Networking IEEE 1394 Clusters via UWB over Coaxial Cable--Part 2: L3 IP Bridges, May 2, 2008.*
8. *1394 Trade Association Document 2006021, Networking IEEE 1394 Clusters via UWB over Coaxial Cable--Part 3: FCP and CMP over IPv4, July 12, 2008.*
9. *1394 Trade Association Document 2007004, Networking IEEE 1394 Clusters via UWB over Coaxial Cable--Part 4: AV/C Relay Agents, May 27, 2008.*