

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ ЦИФРОВОГО ПОТОКА ДЛЯ DVB-T2

DOI 10.24411/2072-8735-2018-10103

Кухарская Ольга Владимировна,
Дальневосточный государственный университет
путей сообщения, г. Хабаровск, Россия,
kuharskaya_olga_1991@mail.ru

Ключевые слова: одночастотная сеть, сетевая задержка, сигнал синхронизации, временная метка, суперкадр, цифровой поток, погрешность.

Стандарт эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2 позволяет создавать региональные зоны трансляции телесигнала с максимальным покрытием территории обслуживания за счёт организации одночастотных сетей. Использование данного режима вещания требует не только тщательного подхода на этапе проектирования, но и точного соблюдения условий технической реализации при эксплуатации формирующего и передающего оборудования. Одним из важнейших условий является наличие стабильной временной синхронизации всех устройств, работающих с цифровым информационным потоком T2-MI. Для его выполнения применяются внешние опорные сигналы синхронизации, формирующиеся с использованием спутниковых навигационных приёмников. Посредством опорного сигнала модулятором DVB-T2 при приёме информационного потока определяется временной запас, заложенный устройством формирования для компенсации потери времени на распространение по линиям связи, то есть величина сетевой задержки. Такой временной запас позволяет передатчику T2 определить требуемое время излучения очередного блока данных и выдать его в эфир синхронно с остальными передающими станциями, работающими в режиме одночастотной сети.

Предложен метод расчёта величины сетевой задержки цифрового потока при относительной синхронизации на основе известного требуемого времени излучения суперкадра и времени поступления очередного блока данных в формирователь DVB-T2. При действительной эксплуатации оборудования возможно наличие нестабильности опорного сигнала, приводящей к некорректной оценке временного запаса на излучение. Произведённый расчёт с учётом наличия погрешности позволил определить среднее отклонение, значение которого имеет линейную характеристику и увеличивается пропорционально величине вносимой нестабильности. Кроме того результат экспериментального измерения величины сетевой задержки, определённой с использованием действующего оборудования, подтвердил характер зависимости среднего линейного отклонения относительно величины вносимой погрешности. Результат аппроксимации графика сетевой задержки на входе принимающего устройства как при расчёте, так и при проведении измерений представляет собой линейную зависимость в интервале времени с углом наклона, зависящем от величины погрешности. Рассмотрено влияние некорректной оценки величины сетевой задержки формирователем DVB-T2 на характер его работы в режиме одночастотной сети на основе проведённых ранее экспериментов.

Информация об авторе:

Кухарская Ольга Владимировна, Филиал РТРС "Дальневосточный РЦ", инженер; аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ДВГУПС) г. Хабаровск, Россия

Для цитирования:

Кухарская О.В. Физический смысл применения сетевой задержки цифрового потока для DVB-T2 // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №6. С. 18-23.

For citation:

Kuharskaya O.V. (2018). The physical meaning of usage network delay of digital stream for DVB-T2. *T-Comm*, vol. 12, no.6, pp. 18-23. (in Russian)

Введение

Режим одночастотной сети цифровых телевизионных передающих станций DVB-T2 – Single Frequency Network (SFN) – предполагает использование группой передатчиков одного частотного канала, при этом возможно наличие зон перекрытия, в которых может возникать взаимное влияние станций, заключающееся в наличии интерференционного искажения спектра, существенно снижающее отношение сигнал/шум на входе приемного устройства. Для исключения подобного влияния и организации корректной работы SFN необходима синхронизация формирователей с помощью внешнего высокостабильного источника опорного сигнала, в качестве которого используется отдельный либо встроенный спутниковый навигационный приёмник (СНП). Выходным сигналом СНП служит единичный импульс в секунду (1 PPS – one pulse per second) и/или сигнал опорной частоты 10 МГц. В этом случае все модуляторы передающих станций, относящиеся к SFN, будут формировать каждый суперкадр цифрового потока одновременно, в точно назначенное время излучения, информация о котором закладывается на этапе генерации потока T2-MI (T2 Modulator Interface – интерфейса модулятора T2) источником и передаётся в поле subseconds пакета метки времени T2 Timestamp (временной штамп) [1].

Время излучения $T_{изл.}$ является фиксированной величиной и после пересчёта в реальное физическое время, согласно формулам, приведенным в [1] и [2], при использовании относительного режима синхронизации определяется с учетом очередного импульса 1 PPS, то есть отсчитывается относительно его поступления в блок формирователя COFDM.

При прохождении по линиям доставки от устройства формирования до каждой передающей станции цифровой поток претерпевает статические временные потери – задержку на распространение $T_{расп.}$, величина которой постоянна, определяемая путём проведения измерений. Для компенсации $T_{расп.}$ на устройстве формирования T2-MI вводится параметр сетевой задержки (Network Delay) TND , который должен удовлетворять условию $TND > T_{расп.}$. При использовании относительной синхронизации, величина Network Delay находится в пределах $1 < TND < 999$ мс. Основной целью настоящей работы является определение метода вычисления величины сетевой задержки потока, а также проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на оценку этого параметра при наличии некорректных опорных синхросигналов и рассмотрение влияния Network Delay на работу одночастотной сети передающих станций.

Учитывая, что $TND > T_{расп.}$, то $TND = T_{расп.} + \Delta$, где Δ – величина временного запаса, необходимая для компенсации времени обработки сигнала процессором формирователя DVB-T2 и излучения заданного блока информации в эфир. Согласно [3], задержка при обработке (Processing Delay) – время обработки цифрового сигнала в модуляторе передатчика, зависящее от технической реализации модулятора и от параметров передаваемого информационного потока. Таким образом, величина сетевой задержки, устанавливаемая на устройстве формирования T2-MI, должна компенсировать потери времени на распространение потока по линиям доставки и обеспечивать некоторый временной запас, необхо-

димый для обработки сигнала формирователем COFDM и излучения его в эфир, согласно [4].

На рисунке 1 представлена схема распространения цифрового потока от источника до передающей станции, где $TNDTX$ – величина сетевой задержки на входе модулятора DVB-T2, то есть $TNDTX = TND - T_{расп.}$.

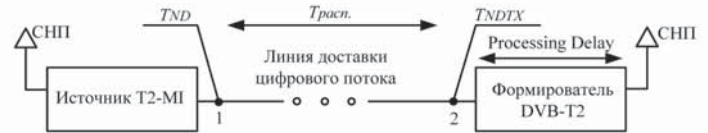


Рис. 1. Схема распространения цифрового потока

Таким образом, в каждой конкретной точке приёма T2-MI, величина Network Delay будет различна, и варьироваться в зависимости от временных потерь в транспортной линии доставки цифрового потока.

1. Теоретическое обоснование. Поскольку сетевая задержка – параметр, который устройство, принимающее цифровой поток, может корректно оценить только относительно опорного сигнала синхронизации, то необходимо наличие высокостабильного сигнала 1PPS/10 МГц на входе формирователя DVB-T2. Кроме того, формирователь передающей станции не имеет информации о выставленной на устройстве генерации потока в территориально удалённой точке 1 исходной величине сетевой задержки TND , поскольку в пакете Timestamp передаётся информация только о требуемом времени излучения каждого суперкадра T2. Тогда $TNDTX$ будет рассчитываться по формуле:

$$TNDTX = \begin{cases} T_{изл.} - T_{пр.}, & \text{если } T_{пр.} < T_{изл.} \\ 1 - (T_{пр.} - T_{изл.}), & \text{если } T_{пр.} > T_{изл.} \end{cases} \quad (1)$$

где $T_{пр.}$ – время приёма формирователем DVB-T2 очередного суперкадра цифрового информационного потока, измеренное относительно поступления импульса синхронизации 1PPS.

Так как время излучения $T_{изл.}$ и время поступления $T_{пр.}$ изменяются в зависимости от длительности суперкадра, то при использовании относительной синхронизации, принимаемая поступление очередного импульса 1 PPS за условный нулевой отсчёт, $T_{изл.}$ и $T_{пр.}$ будут переходить в следующую секунду, то есть превышать нулевой отсчёт, и, таким образом, оказываться в следующей временной секунде. С математической точки зрения, при осуществлении расчётов в следующей секунде, целая часть, получаемая в результате прибавления длительности очередного суперкадра, отсутствует, следовательно, формула (1) имеет два способа расчета при превышении условного нулевого порога. На рисунке 2 в графической форме представлен процесс определения времени поступления и времени излучения суперкадра.

Исходя из рисунка 2, время поступления суперкадра в принимающее устройство (модулятор DVB-T2) составляет некоторое время $T_{пр.1}$, при этом $T_{пр.1} < T_{изл.1}$, к тому же время излучения первого суперкадра находится в той же самой секунде, что и время приёма. Время поступления второго суперкадра также находится в первой секунде, а время его излучения, указанное в поле subseconds временного штампа, – уже в следующей относительно очередного импульса 1PPS, тогда очевидно, что $T_{пр.2} > T_{изл.2}$.

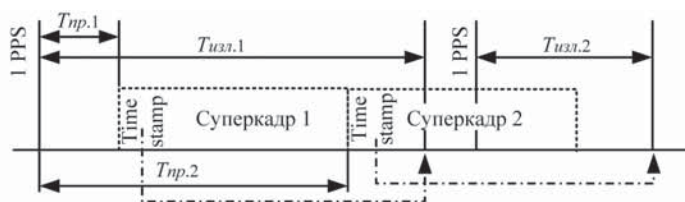


Рис. 2. Временная диаграмма суперкадров цифрового потока

Согласно стандарту [5], в состав одного суперкадра T2-MI могут входить от 2 до 255 T2 кадров, каждый из которых может иметь максимальную длительность до 250 мс, тогда длительность суперкадра может составлять более 63 секунд, в зависимости от требуемой конфигурации потока. При этом все кадры T2, входящие в состав одного и того же суперкадра, будут иметь идентичную информацию о времени излучения в пакете метки времени Timestamp.

В настоящее время цифровой информационный поток вещательного мультиплекса состоит из суперкадров, длительность которых TSF составляет 487,872 мс, и в состав каждого из которых входит два кадра T2, длительностью 243,936 мс. Данные параметры получены в результате анализа пакета программ первого эфирного мультиплекса. В связи с тем, что TSF составляет менее половины секунды, то за период времени между поступлением двух соседних импульсов 1PPS будет излучаться два суперкадра, поэтому для удобства расчётов в дальнейшем будет учитываться только каждый суперкадр, следующий через одного, что не повлияет на корректность полученных результатов.

Принято, что время приёма первого суперкадра $T_{пр.1}$ формирователем DVB-T2 составляет 200 мс относительно поступления крайнего импульса 1PPS, однако, это время выбрано лишь для удобства расчётов и может иметь любые другие значения в интервале от 1 мс до 999 мс. Таким образом, время поступления следующего через одного суперкадра составит:

$$T_{пр.N} = T_{пр.(N-1)} + 2 \cdot TSF, \text{ с} \quad (2)$$

где N – нумерация каждого второго суперкадра.

Тогда

$$T_{пр.3} = T_{пр.1} + 2 \cdot TSF = 0,2 + 2 \cdot 0,487872 = 0,175744 \text{ с, без учёта целой части суммы.}$$

Также принято, что требуемое время излучения первого суперкадра составляет 692,306 мс, согласно информации во временном штампе. Тогда время излучения каждого второго следующего суперкадра составит:

$$T_{изл.N} = T_{изл.(N-1)} + 2 \cdot TSF, \text{ с} \quad (3)$$

Расчёт величины сетевой задержки на входе модулятора выполнен по формуле (1), результаты расчётов параметров приёма (по формуле (2)) и излучения (по формуле (3)) суперкадров произведены с помощью программных средств MSExcel для интервала времени 60 секунд, и сведены в табл. 1.

2. Оценка величины сетевой задержки с учётом погрешности. Нестабильность в работе одночастотной сети передающих станций может быть вызвана, в том числе полным отсутствием или наличием некорректного сигнала синхронизации 1PPS, поступающим на формирователь с задержкой, в результате чего период синхросигнала $TPPS$ отличается от величины в одну секунду, то есть

$$TPPS - \Delta PPS < TPPS < TPPS + \Delta PPS,$$

где ΔPPS – величина отклонения некорректного периода 1PPS от номинального. Тогда время поступления очередного суперкадра будет оцениваться устройством, принимающим цифровой информационный поток, как

$$T_{пр.N} = T_{пр.(N-1)} + 2 \cdot TSF + \Delta PPS$$

При условии неизменности времени излучения каждого суперкадра, в связи с фиксацией этих данных в пакете временной метки, величина сетевой задержки ($TNDTX$) с учётом погрешности также будет определяться по формуле (1).

Результаты расчётов $TNDTX$ с учётом погрешности за интервал времени, равный одной минуте, приведены в табл. 1.

Поскольку при наличии нестабильности, величина сетевой задержки имеет отклонение, то необходимо определить его статистические параметры при различном ΔPPS :

– среднее линейное отклонение:

$$S_{откл.теор.} = \frac{\sum_{i=1}^{60} |TNDTX_i - \overline{TNDTX}|}{60}$$

где \overline{TNDTX} – среднее значение сетевой задержки за 60 секунд; $TNDTX_i$ – i -тое рассчитанное значение величины сетевой задержки.

– среднеквадратичное отклонение:

$$S_{скв.теор.} = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{60} (TNDTX_i - \overline{TNDTX})^2}{60}}$$

где D – дисперсия по выборке.

Расчёты произведены с помощью программных средств MSExcel, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчётов параметров приёма цифрового потока

		$\Delta PPS = 0 \text{ мкс}$		$TNDTX, \text{ мс}$						
		$TPPS, \text{ с}$	1	0,999999	0,999998	0,999997	0,999996	0,999995	0,999994	
$T_{изл.}, \text{ с}$	$T_{пр.}, \text{ с}$	$TNDTX, \text{ мс}$	$\Delta PPS = 1 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 2 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 3 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 4 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 5 \text{ мкс}$	$\Delta PPS = 6 \text{ мкс}$		
1	0,692306	0,2	492,306	492,306	492,306	492,306	492,306	492,306	492,306	
2	0,66805	0,175744	492,306	492,305	492,304	492,303	492,302	492,301	492,3	
3	0,643794	0,151488	492,306	492,304	492,302	492,3	492,298	492,296	492,294	
4	0,619538	0,127232	492,306	492,303	492,3	492,297	492,294	492,291	492,288	
5	0,595282	0,102976	492,306	492,302	492,298	492,294	492,29	492,286	492,282	
6	0,571026	0,07872	492,306	492,301	492,296	492,291	492,286	492,281	492,276	
7	0,54677	0,054464	492,306	492,3	492,294	492,288	492,282	492,276	492,27	
8	0,522514	0,030208	492,306	492,299	492,292	492,285	492,278	492,271	492,264	
9	0,498258	0,005952	492,306	492,298	492,29	492,282	492,274	492,266	492,258	
10	0,474002	0,981696	492,306	492,297	492,288	492,279	492,27	492,261	492,252	
11	0,449746	0,95744	492,306	492,296	492,286	492,276	492,266	492,256	492,246	
12	0,42549	0,933184	492,306	492,295	492,284	492,273	492,262	492,251	492,24	
13	0,401234	0,908928	492,306	492,294	492,282	492,27	492,258	492,246	492,234	
14	0,376978	0,884672	492,306	492,293	492,28	492,267	492,254	492,241	492,228	
15	0,352722	0,860416	492,306	492,292	492,278	492,264	492,25	492,236	492,222	
16	0,328466	0,83616	492,306	492,291	492,276	492,261	492,246	492,231	492,216	
17	0,30421	0,811904	492,306	492,29	492,274	492,258	492,242	492,226	492,21	
18	0,279954	0,787648	492,306	492,289	492,272	492,255	492,238	492,221	492,204	
19	0,255698	0,763392	492,306	492,288	492,27	492,252	492,234	492,216	492,198	
20	0,231442	0,739136	492,306	492,287	492,268	492,249	492,23	492,211	492,192	
21	0,207186	0,71488	492,306	492,286	492,266	492,246	492,226	492,206	492,186	
22	0,18293	0,690624	492,306	492,285	492,264	492,243	492,222	492,201	492,18	
23	0,158674	0,666368	492,306	492,284	492,262	492,24	492,218	492,196	492,174	
24	0,134418	0,642112	492,306	492,283	492,26	492,237	492,214	492,191	492,168	
25	0,110162	0,617856	492,306	492,282	492,258	492,234	492,21	492,186	492,162	
26	0,085906	0,5936	492,306	492,281	492,256	492,231	492,206	492,181	492,156	
27	0,06165	0,569344	492,306	492,28	492,254	492,228	492,202	492,176	492,15	
28	0,037394	0,545088	492,306	492,279	492,252	492,225	492,198	492,171	492,144	
29	0,013138	0,520832	492,306	492,278	492,25	492,222	492,194	492,166	492,138	

Таблица 2

Результаты измерений

30	0,988882	0,496576	492,306	492,277	492,248	492,219	492,19	492,161	492,132
31	0,964626	0,47232	492,306	492,276	492,246	492,216	492,186	492,156	492,126
32	0,94037	0,448064	492,306	492,275	492,244	492,213	492,182	492,151	492,12
33	0,916114	0,423808	492,306	492,274	492,242	492,21	492,178	492,146	492,114
34	0,891858	0,399552	492,306	492,273	492,24	492,207	492,174	492,141	492,108
35	0,867602	0,375296	492,306	492,272	492,238	492,204	492,17	492,136	492,102
36	0,843346	0,35104	492,306	492,271	492,236	492,201	492,166	492,131	492,096
37	0,81909	0,326784	492,306	492,27	492,234	492,198	492,162	492,126	492,09
38	0,794834	0,302528	492,306	492,269	492,232	492,195	492,158	492,121	492,084
39	0,770578	0,278272	492,306	492,268	492,23	492,192	492,154	492,116	492,078
40	0,746322	0,254016	492,306	492,267	492,228	492,189	492,15	492,111	492,072
41	0,722066	0,22976	492,306	492,266	492,226	492,186	492,146	492,106	492,066
42	0,69781	0,205504	492,306	492,265	492,224	492,183	492,142	492,101	492,06
43	0,673554	0,181248	492,306	492,264	492,222	492,18	492,138	492,096	492,054
44	0,649298	0,156992	492,306	492,263	492,22	492,177	492,134	492,091	492,048
45	0,625042	0,132736	492,306	492,262	492,218	492,174	492,13	492,086	492,042
46	0,600786	0,10848	492,306	492,261	492,216	492,171	492,126	492,081	492,036
47	0,57653	0,084224	492,306	492,26	492,214	492,168	492,122	492,076	492,03
48	0,552274	0,059968	492,306	492,259	492,212	492,165	492,118	492,071	492,024
49	0,528018	0,035712	492,306	492,258	492,21	492,162	492,114	492,066	492,018
50	0,503762	0,011456	492,306	492,257	492,208	492,159	492,11	492,061	492,012
51	0,479506	0,0872	492,306	492,256	492,206	492,156	492,106	492,056	492,006
52	0,45525	0,062944	492,306	492,255	492,204	492,153	492,102	492,051	492
53	0,430994	0,038688	492,306	492,254	492,202	492,15	492,098	492,046	491,994
54	0,406738	0,014432	492,306	492,253	492,2	492,147	492,094	492,041	491,988
55	0,382482	0,090176	492,306	492,252	492,198	492,144	492,09	492,036	491,982
56	0,358226	0,06592	492,306	492,251	492,196	492,141	492,086	492,031	491,976
57	0,33397	0,041664	492,306	492,25	492,194	492,138	492,082	492,026	491,97
58	0,309714	0,017408	492,306	492,249	492,192	492,135	492,078	492,021	491,964
59	0,285458	0,093152	492,306	492,248	492,19	492,132	492,074	492,016	491,958
60	0,261202	0,068896	492,306	492,247	492,188	492,129	492,07	492,011	491,952
61	0,236946	0,04464	492,306	492,246	492,186	492,126	492,066	492,006	491,946
Соткл.теор.			0,01525	0,0304918	0,0457377	0,0609836	0,0762295	0,091475	
Скв.теор.			0,01775	0,0355059	0,0532588	0,0710117	0,0887647	0,106518	

		TNDTX, мс						
TPPS, с	1	0,999999	0,999998	0,999997	0,999996	0,999995	0,999994	
ΔPPS, мкс	0	1	2	3	4	5	6	
1	997,63	4,21	8,625	7,675	6,91	5,99	4,74	
2	997,725	4,275	8,69	7,75	6,875	5,975	4,61	
3	997,78	4,249	8,56	7,625	6,84	5,94	4,67	
4	997,65	4,22	8,625	7,68	6,925	6,01	4,725	
5	997,725	4,289	8,69	7,75	6,81	5,975	4,6	
6	997,695	4,26	8,565	7,625	6,875	5,93	4,66	
7	997,67	4,23	8,625	7,68	6,93	6	4,72	
8	997,73	4,315	8,69	7,75	6,809	5,875	4,59	
9	997,71	4,208	8,57	7,625	6,87	5,93	4,655	
10	997,75	4,274	8,63	7,68	6,925	5,99	4,625	
11	997,73	4,245	8,6	7,64	6,805	5,87	4,58	
12	997,715	4,219	8,57	7,651	6,865	5,925	4,65	
13	997,68	4,284	8,63	7,72	6,92	5,98	4,62	
14	997,749	4,255	8,605	7,585	6,8	5,86	4,575	
15	997,72	4,229	8,575	7,651	6,86	5,92	4,64	
16	997,685	4,294	8,635	7,72	6,83	5,979	4,6	
17	997,76	4,265	8,605	7,585	6,8	5,859	4,57	
18	997,65	4,238	8,575	7,651	6,86	5,92	4,625	
19	997,725	4,303	8,65	7,72	6,825	5,88	4,6	
20	997,705	4,275	8,545	7,59	6,79	5,85	4,575	
21	997,67	4,248	8,605	7,65	6,858	5,925	4,65	
22	997,735	4,315	8,579	7,62	6,825	5,82	4,525	
23	997,71	4,191	8,549	7,59	6,785	5,875	4,579	
24	997,68	4,257	8,61	7,652	6,87	5,935	4,55	
25	997,745	4,324	8,58	7,625	6,76	5,81	4,51	
26	997,715	4,21	8,55	7,59	6,825	5,87	4,575	
27	997,685	4,268	8,615	7,65	6,785	5,925	4,548	
28	997,755	4,288	8,582	7,625	6,76	5,805	4,505	
29	997,63	4,245	8,55	7,59	6,82	5,86	4,56	
30	997,69	4,31	8,615	7,65	6,78	5,925	4,525	
31	997,76	4,281	8,582	7,605	6,755	5,795	4,5	
32	997,64	4,255	8,55	7,62	6,82	5,86	4,555	
33	997,705	4,32	8,619	7,58	6,78	5,825	4,525	
34	997,77	4,294	8,49	7,56	6,75	5,79	4,49	
35	997,645	4,265	8,558	7,62	6,82	5,85	4,55	
36	997,72	4,331	8,62	7,58	6,78	5,82	4,42	
37	997,775	4,303	8,498	7,56	6,849	5,78	4,475	
38	997,67	4,275	8,559	7,625	6,815	5,85	4,549	
39	997,75	4,34	8,62	7,58	6,68	5,815	4,41	
40	997,625	4,22	8,51	7,56	6,74	5,779	4,49	
41	997,685	4,284	8,59	7,62	6,81	5,86	4,46	
42	997,76	4,35	8,56	7,57	6,68	5,74	4,34	
43	997,635	4,23	8,53	7,555	6,74	5,805	4,5	
44	997,7	4,295	8,59	7,62	6,76	5,76	4,46	
45	997,76	4,36	8,564	7,49	6,71	5,74	4,43	
46	997,649	4,24	8,535	7,56	6,765	5,8	4,85	
47	997,71	4,305	8,598	7,62	6,74	5,76	4,36	
48	997,765	4,279	8,47	7,48	6,71	5,73	4,425	
49	997,65	4,265	8,538	7,56	6,77	5,79	4,475	
50	997,718	4,349	8,6	7,62	6,73	5,76	4,35	
51	997,775	4,228	8,478	7,51	6,7	5,725	4,41	
52	997,659	4,292	8,538	7,58	6,77	5,78	4,46	
53	997,7248	4,359	8,6	7,56	6,63	5,76	4,345	
54	997,7695	4,236	8,479	7,52	6,7	5,72	4,4	
55	997,665	4,303	8,54	7,58	6,76	5,78	4,46	
56	997,729	4,369	8,605	7,56	6,625	5,66	4,34	
57	997,705	4,247	8,48	7,52	6,69	5,715	4,4	
58	997,685	4,312	8,54	7,58	6,76	5,775	4,175	
59	997,775	4,285	8,51	7,47	6,635	5,65	4,325	
60	997,65	4,255	8,495	7,52	6,69	5,72	4,375	
61	997,72	4,308	8,578	7,58	6,74	5,76	4,33	
Соткл.практ.		0,03664842	0,03469927	0,0406767	0,05001343	0,05843375	0,07511475	0,09746197
Скв.практ.		0,0439315	0,0427012	0,0515817	0,06390631	0,0734190	0,08965526	0,12265115

3. Экспериментальная оценка величины сетевой задержки. Для оценки величины сетевой задержки на входе модулятора DVB-T2 был произведён эксперимент на базе действующего оборудования, при проведении которого в качестве устройства, измеряющего $TNDTX$, использовался анализатор транспортных и T2-MI потоков TNS-546 в режиме синхронизации от внешнего источника опорного сигнала. В качестве источника 1PPS при нормальном режиме работы применялся СНП Навис СН-4706, а источника ложного сигнала синхронизации, имеющего соответствующую нестабильность, – генератор специальных сигналов «АКИП-3413/3». Схема эксперимента представлена на рисунке ниже.

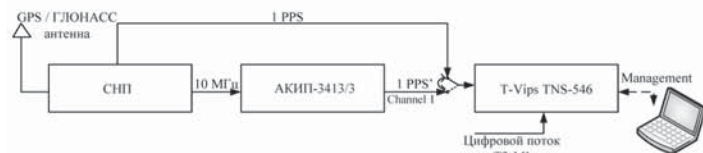


Рис. 3. Схема проведения эксперимента по измерению величины сетевой задержки цифрового потока

Измерения были проведены для интервала времени 60 секунд при аналогичных величинах погрешности сигнала синхронизации, результаты которых представлены в табл. 2.

Кроме того были выполнены измерения и для указанных величин погрешности 1PPS, но при условии смещения периода синхросигнала в сторону увеличения, то есть для $TPPS$, составляющего 1,000001 с, 1,000002 с, 1,000003 с и 1,000005 с. В связи с тем, что расчётные величины отклонения сетевой задержки носят линейный характер, то при данных периодах сигнала 1PPS значения $Соткл.теор.$ и $Скв.теор.$ будут соответствовать рассчитанным выше.

Для удобства представления статистических характеристик, динамика изменения $Соткл.теор.$ приведена на рис. 4.

На рисунке 5 представлены прямые, аппроксимирующие зависимости измеренных и расчётных величин сетевой задержки от времени при $\Delta PPS = 0$ мкс, $\Delta PPS = 3$ мкс и $\Delta PPS = 5$ мкс и определённые путём построения линии тренда средствами MS Excel. Согласно рис. 5, увеличение погрешности опорного синхросигнала формирует более крутую характеристику сетевой задержки относительно её нормального значения при $\Delta PPS = 0$ мкс.

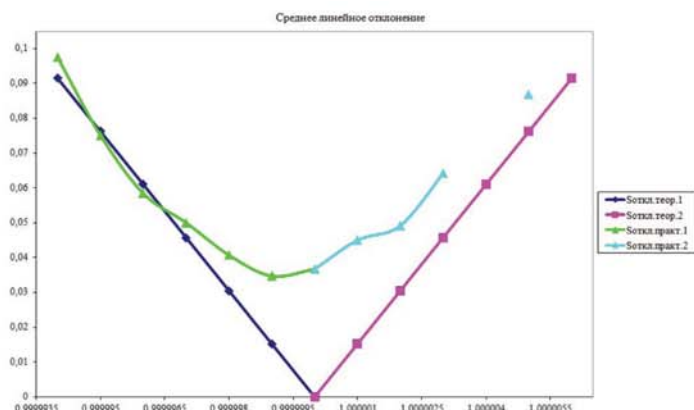


Рис. 4. Среднее линейное отклонение $TNDTX$

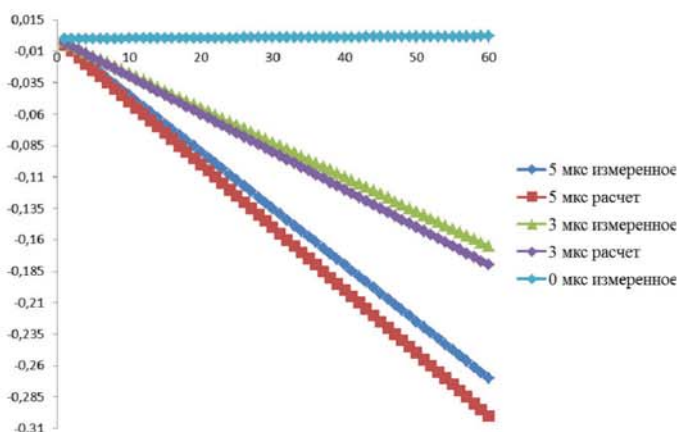


Рис. 5. Результат аппроксимации зависимостей расчётной и измеренной величины $TNDTX$ при различных погрешностях, вносимых в сигнал синхронизации

Как видно из рис. 4, теоретический расчёт обуславливает минимальные значения отклонений, возможных при наличии конкретной величины нестабильности сигнала 1PPS при использовании идеального оборудования, не имеющего собственной погрешности при измерении параметров. Однако при использовании действующего оборудования добиться нулевого отклонения даже при наличии высокостабильного сигнала синхронизации невозможно, так как для любого прибора существуют определённые границы допуска, в рамках которых измерения считаются корректными.

4. Влияние некорректной величины сетевой задержки на работу одночастотной сети. Поскольку излучение очередного блока данных при работе в режиме одночастотной сети реальным модулятором DVB-T2 должно происходить в точно определённое время ($T_{изл.}$), то, как было сказано выше, величина сетевой задержки, установленная на устройстве формирования T2-MI, должна компенсировать в том числе и время на обработку сигнала процессором модулятора.

В соответствии с результатами эксперимента [1], формирователь DVB-T2 с внутренним модулем Protelevision при отсутствии дополнительного локального временного смещения в относительном режиме синхронизации в интервале $245 < TNDTX < 520$ мс формирует аварийное сообщение о наличии низкой величины сетевой задержки и, соответственно, не излучает сигнал в эфир (рис. 6).

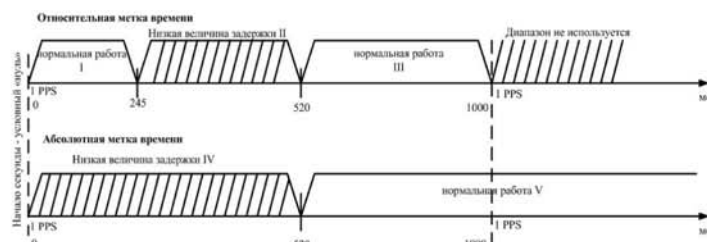


Рис. 6. Рабочие диапазоны входной сетевой задержки для передатчиков с модулятором Protelevision [1]

Исходя из выполненных расчётов и результатов эксперимента, можно сделать следующие выводы:

- при наличии на входе модулятора DVB-T2 статической величины сетевой задержки цифрового информационного потока при $TPPS$, равном 1 с (табл. 1 и 2), работа передающей станции в режиме одночастотной сети является стабильной, так как при корректной настройке прочих параметров, временного запаса Δ для излучения в эфир очередного блока информации достаточно для компенсации времени на распространение сигнала по линиям доставки и обработки его в процессоре устройства, например, при работе в диапазоне 3 (рис. 6). Если сеть передающих станций включает в себя формирователи DVB-T2 одного производителя, то при условии наличия стабильного сигнала синхронизации дополнительных корректировок по времени не требуется, и одночастотная сеть будет функционировать в нормальном режиме.

- при рассмотрении в качестве примера режима работы модулятора Protelevision с относительной временной синхронизацией, определяется некоторый «нерабочий» диапазон входных сетевых задержек цифрового потока. Отсюда следует, что при наличии нестабильного сигнала синхронизации, то есть при $TPPS$ не соответствующем единице, оценка $TNDTX$ также будет некорректной. Так, при наличии отклонения периода синхросигнала в большую или меньшую сторону от единицы, зависимость величины сетевой задержки будет иметь постоянное характерное смещение с течением времени либо в сторону увеличения номинального значения $TNDTX$, либо в сторону его уменьшения (табл. 1 и 2). Тогда согласно рис. 4 и 5, можно определить следующее: чем больше величина среднего линейного отклонения, тем больший наклон имеет параметр $TNDTX(t)$, то есть величина сетевой задержки потока будет постоянно стремиться к условному нулю, при переходе через который образуется её пилообразная зависимость от времени. Чем большее значение будет составлять $Sotкл.$, тем круче характеристика, а, значит, тем быстрее она достигнет условного нуля. Следовательно, величина $TNDTX$ не постоянна, как при $\Delta PPS = 0$ (см. рис. 5), а периодически падает до нуля и возрастает до максимального значения, то есть в определённый интервал времени $TNDTX$ будет попадать в «нерабочий» диапазон (применительно к модулятору Protelevision), что спровоцирует аварийное отключение выходной мощности передатчика и вывод станции из работы.

- после выхода из диапазона II (рис. 6), уменьшающаяся величина сетевой задержки попадает в диапазон I, где фактическая работа передатчика в режиме одночастотной сети

возможна, однако, излучение происходит не в требуемый интервал времени, а секундой позже. Данная ситуация кардинально нарушает работу сети передающих станций, поскольку одна из них начинает излучать вместо требуемого текущего суперкадра предыдущий, тем самым полностью нарушая один из принципов организации SFN – синхронность излучения блоков данных. Абонентский приём в зонах перекрытия с участием неисправной станции невозможен из-за наложения различных по содержанию суперкадров в одном и том же интервале времени. После выхода величины $TNDTX$ из диапазона I и переходе её через условный ноль, некорректная сетевая задержка попадает в диапазон III, где происходит нормальная работа модулятора в режиме одночастотной сети до тех пор, пока $TNDTX$ вновь не окажется в границах диапазона II.

Заключение

Корректная и стабильная работа одночастотной сети передающих станций DVB-T2 возможна только при синхронизации всех модуляторов COFDM относительно опорного сигнала 1PPS, получаемого либо от встроенного СНП либо от внешнего источника. Однако могут возникнуть ситуации, когда опорный синхросигнал отсутствует вовсе либо имеет некоторую погрешность относительно номинального значения. В этом случае зависимость величины Network Delay от времени будет иметь пилообразную форму, что приведёт к нестабильной работе передающей станции, связанной со смещением требуемого времени излучения конкретного блока данных.

При наличии участков перекрытия между рабочей и неисправной станцией, абонентский приём в них будет невозможен, поскольку в одно и то же время обе станции будут излучать различные по содержанию суперкадры, а, значит, будут являться мешающими друг для друга.

Литература

1. Кухарская О.В. Физический смысл синхронизации в одночастотных сетях ТВ-вещания // *Электросвязь*. 2016. №12. С. 59-63.
2. ETSI TS 102 773 V1.3.1. DVB; Modulator Interface for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Стандарт [Электронный ресурс]. – Введ. 01-2012. France: European Telecommunications Standards Institute, 2012. Дата обращения: 9.01.2018 г. Режим доступа: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102773/01.03.01_60/ts_102773v010301p.pdf.
3. Калиновский Д.А., Карякин В.Л., Карякин Д.В., Сидоренко О.И. Синхронизация передатчиков одночастотной сети стандарта DVB-T2 // *Инфокоммуникационные технологии*. Т. 11. №4. 2013. С. 86-90. Дата обращения: 9.01.2018 г. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_21240471_14147012.pdf.
4. Круглов С. Шагем в ногу (настраиваем SFN) // *Broadcasting. Телевидение и радиовещание*. №6. 2014. Дата обращения: 9.01.2018 г. Режим доступа: <http://www.broadcasting.ru/articles2/newproducts/shagaem-v-nogu-nastraivaem-sfn>.
5. EN 302 755 V1.4.1. DVB; Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Стандарт [Электронный ресурс]. Введ. 07-2015. France: European Telecommunications Standards Institute, 2015. Дата обращения: 9.01.2017. Режим доступа: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.04.01_60/en_302755v010401p.pdf.

THE PHYSICAL MEANING OF USAGE NETWORK DELAY OF DIGITAL STREAM FOR DVB-T2

Olga V. Kuharskaya, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia, kuharskaya_olga_1991@mail.ru

Abstract

The second generation of Digital Video Broadcasting-Terrestrial specifies the usage of Single Frequency Networks (SFN) as local zones of television broadcasting. The applicability of SFN requires execution of some conditions when it was designed and work. One of them is correct time synchronization all of devices which work with T2-MI digital stream. Reference signals which got by navigation receivers always used for realization this condition. The DVB-T2 transmitter determines the space of time for emission – Network delay – with used of sync signals. Normal value of network delay provides synchronous emission of some transmitter stations which work in the composition of SFN. The method of calculation of digital stream Network delay when used relative synchronization proposed in this article. It determines on the basis of necessary time of emission and measured time of receiving each superframe by DVB-T2 transmitter. The inaccuracy of sync signal probably occurs when used real equipment. In this case the evaluation of Network delay may be incorrect. The calculation in view existence of errors in sync signals made in this paper and some statistics values such as average linear deviation (ALD) and standard deviation was also computed here. The function of ALD is linear relationship by time. The practice experiment when Network delay was measured by used of real equipment show that ALD has linear relationship and increases with the value of inaccuracy. The result of approximation of Network delay has linear relationship too. The effect of incorrect evaluation of time delay by DVB-T2 transmitter to its activity in SFN mode was considered in this article by use information from earlier experiments.

Keywords: single frequency network, network delay, sync signal, timestamp, superframe, digital stream, inaccuracy.

References

1. Kuharskaya O.V. (2016). Fizicheskij smysl sinhronizacii v odnochastotnyh setyah cifrovogo televizionnogo veshchaniya. *Elektrosvyaz'*, no. 12, pp. 59-63.
2. European Telecommunications Standards Institute (2012-01), ETSI TS 102 773 V1.3.1. Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), France.
3. Kalinovskij D.A., Karyakin V.L., Karyakin D.V., Sidorenko O.I. (2013). Sinhronizaciya peredatchikov odnochastotnoj seti standarta DVB-T2. *Infokommunikacionnye tekhnologii*, vol. 11, no. 4, pp. 86-90.
4. Kруглов С. (2014). Шагем в ногу (настраиваем SFN). *Broadcasting*, no. 6, available at: <http://www.broadcasting.ru/articles2/newproducts/shagaem-v-nogu-nastraivaem-sfn> (Accessed 9 January 2018).
5. European Telecommunications Standards Institute (2015-07), ETSI EN 302 755 V1.4.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), France.

Information about author:

Olga V. Kuharskaya, RTRN, the post: engineer; Far Eastern State Transport University, the post-graduate student, Khabarovsk, Russia