

¹Печурин Н.К., д.т.н.,
²Кондратова Л.П., к.т.н.,
²Печурин С.Н., к.т.н.,
¹Яценко Н.Н.

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЯМОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 7-ГО И 1-ГО УРОВНЕЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ

¹Национальный авиационный университет

²Учебно-научный комплекс «Институт прикладного системного анализа» Национального технического университета Украины «КПИ»

Запропоновано інструментарій перетворення Фур'є застосувати для реалізації прямої взаємодії прикладного і фізичного рівнів еталонної моделі, минаючи п'ять проміжних рівнів, шляхом перетворення символів, що несуть інформацію на прикладному (представницькому) рівні, у частотну область. Апроксимуєма рядом Фур'є функція часу, що описує потік бітів переданої інформації, відображається у представляєму у комплексній площині функцію спектральної щільності.

Введение

Катастрофически (во всех смыслах этого слова) высокая эффективность применения относительно нового вида летающих устройств – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), заставляет критически подойти к существующим стандартам де-факто и де-юре, регламентирующим проектирование, производство и применение вычислительных машин (сетей вычислительных машин) в составе как отдельного БПЛА, так и в составе системы БПЛА. Существующий подход к стандартизации в вычислительных (компьютерных) системах и сетях предполагает иерархическую (многоуровневую) декомпозицию множества протокольных модулей при взаимодействии каждого уровня с непосредственно примыкающими нижним и верхним уровнями. Взаимодействие пользовательских приложений с сетью обеспечивается на седьмом (прикладном) уровне эталонной модели взаимосвязи открытых систем (ЭМ ВОС) для доступа к сетевым службам (удаленный доступ к файлам и базам данных, пересылка электронной почты), предоставления информации об ошибках и формирования запросов к нижележащему уровню. В набор протоколов 7-го уровня включаются протокол *HTTP* передачи гипертекста для обработки веб-страниц, протоколы передачи файлов, электронной почты, сетевых рассылок. В это же время первый (физический) уровень ЭМ ВОС предназначен непосредственно для передачи данных; передача электрических или оптических сигналов и их прием и преобразование данных осуществляется в соответствии с методами кодирования цифровых сигналов. Определяемые на данном уровне параметры – тип передающей среды, тип модуляции сигнала, уровни

логических «0» и «1». При несомненной важности и полезности самого существования такой всеобъемлющей универсальной модели, коей является ЭМ ВОС, многолетнее применение её при создании компьютерных систем и сетей самого разного предназначения обнаружило ряд недостатков, например, – повтор на каждом уровне некоторых функций (адресация, управление потоком, обработка ошибок). Имеющиеся некорректности в протоколах ЭМ ВОС обуславливают при переходе на новое оборудование возможную смену протоколов во всех узлах сети. В частности, для поддержки различных услуг в сетях *WiMAX* (*ATM*, *IP*, *ETHERNET*, *VLAN*) *MAC*-уровень разделен на три подуровня [1]: подуровень конвергенции сервисных потоков, основной подуровень, где формируются протокольные блоки данных (*PDU*), подуровень, где выполняются функции криптозащиты и аутентификации. Описанный в работе [2] подход к классификации функций ЭМ ВОС с применением инструментария прямонаправленных ИНС обеспечивает выявление отличного от существующего в классической модели распределение состава функций между иерархическими уровнями. В работе [3] описывается инструментарий, представляющий функции инкапсуляции и деинкапсуляции предложениями формального языка с грамматикой с возможным дальнейшим перераспределением функций ЭМ ВОС.

В данной статье продолжают попытки модифицировать ЭМ ВОС с целью повышения эффективности создаваемых на основе БПЛА специализированных вычислительных систем и сетей, главной особенностью которых является использование в качестве среды передачи данных радиоэффира.

Постановка задачі

Известно (конечное) множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ символов, поступающих на вход бортовой вычислительной системы (пиксели статичных или динамичных изображений) и представленных во временной области (прикладной уровень ЭМ ВОС). Множество X символов в конечном итоге отображается (кодируется) в другое (конечное) множество $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$, уже в частотную область (физический уровень ЭМ ВОС). Главным инструментом такого рода отображения, по мнению авторов, является преобразование Фурье, хотя исходные символы, несущие внешнюю по отношению к БПЛА информацию подвергаются и иным преобразованиям на каждом уровне ЭМ ВОС. Задача заключается в определении «источников» составляющих частотной области, которые предлагается использовать непосредственно на физическом уровне бортовой вычислительной машины БПЛА. Другими словами, необходимо отыскать места в системе семиуровневого преобразования, где реализуется функциональное преобразование типа:

$$F(\lambda): X \rightarrow \Lambda, \quad F(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\lambda t} dt. \quad (1)$$

Функция $f(t)$ в (1) представляется непериодической, определенной в интервале $[a, b]$ и аппроксимируемой рядом Фурье:

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n \left(a_k \cdot \cos \frac{k\pi t}{L} + b_k \cdot \sin \frac{k\pi t}{L} \right). \quad (2)$$

Коэффициенты Фурье a_0, a_k, b_k в выражении

(2) определяются по формулам [4]:

$$a_0 = \frac{1}{2 \cdot L} \cdot \int_a^b f(t) dt; \quad (3)$$

$$a_k = \frac{1}{L} \cdot \int_a^b f(t) \cdot \cos \frac{k\pi t}{L} dt;$$

Преобразование аппроксимируемой функции $f(t)$ в (4) по формуле (1) даст частотный

$$b_k = \frac{1}{L} \cdot \int_a^b f(t) \cdot \sin \frac{k\pi t}{L} dt, \quad L = \frac{b-a}{2}.$$

Использование преобразования Фурье в кодировании входной информации БПЛА

Переход в частотную область имеет место при кодировании со сжатием входной (БПЛА) видеоинформации по формату типа *Joint Photographic Experts Group (JPEG)* или *Motion Picture Experts Group (MPEG)*. Так в первом формате, в частности, используется дифференциальное и групповое кодирование, кодирование Хаффмана, дискретное косинус-преобразование Фурье, а во втором – преобразование Фурье с системой эталонных и прогнозирующих фреймов.

Рассмотрим упомянутые преобразования подробнее на примере. Пусть функция $f(t)$ из (1), определенная в интервале $[a; b]$, задана в виде:

$$f(t) = \begin{cases} 1, & r_1 L \leq t \leq r_2 L; \\ 0, & 0 \leq t \leq r_1 L. \end{cases}$$

Параметры r_1, r_2 определяют длины подинтервалов области определения функции. Разложение в ряд Фурье предполагает продолжение заданной функции с периодом $T=r_2L$. Коэффициенты разложения Фурье, вычисленные по формулам (3), будут иметь вид следующих выражений:

$$a_0 = \frac{1}{r_2 L} \cdot \int_{r_1 L}^{r_2 L} dt = 1 - \frac{r_1}{r_2};$$

$$a_k = \frac{2}{r_2 L} \cdot \int_{r_1 L}^{r_2 L} \cos \frac{2k\pi t}{r_2 L} dt = -\frac{1}{k\pi} \cdot \sin \frac{2k\pi r_1}{r_2};$$

$$b_k = \frac{2}{r_2 L} \cdot \int_{r_1 L}^{r_2 L} \sin \frac{2k\pi t}{r_2 L} dt = -\frac{1}{k \cdot \pi} \cdot \left(1 - \cos \frac{2k\pi r_1}{r_2} \right).$$

Аппроксимируемая в ряд Фурье (2) функция $f(t)$ с тройкой коэффициентов $\left\langle a_0, a_k, b_k \right\rangle$

будет иметь вид:

$$f(t) = \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) - \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \cdot \sin \frac{2k\pi r_1}{r_2} \cdot \cos \frac{2k\pi t}{r_2 L} + \frac{1}{k} \cdot \left(1 - \cos \frac{2k\pi r_1}{r_2} \right) \cdot \sin \frac{2k\pi t}{r_2 L} =$$

$$\left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) - \frac{1}{\pi} \cdot \left[\sin \frac{2\pi r_1}{r_2} \cos \frac{2\pi t}{r_2 L} + \left(1 - \cos \frac{2\pi r_1}{r_2} \right) \cdot \sin \frac{2\pi t}{r_2 L} + \frac{1}{2} \cdot \sin \frac{4\pi r_1}{r_2} \cdot \cos \frac{4\pi t}{r_2 L} + \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{4\pi r_1}{r_2} \right) \cdot \sin \frac{4\pi t}{r_2 L} + \dots \right]. \quad (4)$$

спектр $F(\lambda)$ в виде:

$$F(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \left[\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) - \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin \frac{2k\pi r_1}{r_2} \cdot \cos \frac{2k\pi t}{r_2 L} + \frac{1}{k} \cdot \left(1 - \cos \frac{2k\pi r_1}{r_2}\right) \cdot \sin \frac{2k\pi t}{r_2 L} \right] \cdot e^{-j\lambda t} dt =$$

$$\frac{2}{\sqrt{2\pi} \cdot \lambda} \cdot \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \left(1 - \cos \frac{2k\pi r_1}{r_2}\right)}{1 - (2k)^2 \pi^2} + j \cdot \left[\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{2k\pi r_1}{r_2}}{\pi \cdot k \cdot \left(1 - (2k)^2 \pi^2\right)} - \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \right] \right\}. \quad (5)$$

Составляющие структуру представленной в комплексной плоскости функции $F(\lambda)$ в (5)

модуль и аргумент определяют амплитуду и фазовый сдвиг частот выражениями вида:

$$A(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \cdot \lambda} \sqrt{\left[\sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \left(1 - \cos \frac{2k\pi r_1}{r_2}\right)}{1 - (2k)^2 \pi^2} \right]^2 + \left[\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{2k\pi r_1}{r_2}}{\pi \cdot k \cdot \left[1 - (2k)^2 \pi^2\right]} - \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \right]^2};$$

$$\varphi = \arctg \left\{ \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \left[\sin \frac{2k\pi r_1}{r_2} - k \cdot \pi \cdot \left(1 - (2k)^2 \pi^2\right) \cdot \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \right]}{\sum_{k=1}^{\infty} 2 \cdot k \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{2k\pi r_1}{r_2}\right)} \right\}.$$

В соотношениях (6) составляющая $A(\lambda)$ представляемой в комплексной плоскости функции $F(\lambda)$ спектральной плотности, определяющая амплитуду, описывается зависимостью полосы частот для потока битов передаваемых данных с тенденцией увеличения значения амплитуды с уменьшением полосы частот.

Выводы

Аппроксимируемая рядом Фурье функция времени, описывающая поток битов передаваемой информации, отображается в функцию спектральной плотности, структуру которой составляют в комплексной плоскости амплитуда и фазовый сдвиг частоты. Инструментарий преобразования Фурье используется на верхних уровнях эталонной модели взаимосвязи открытых систем; и этот факт отображения входных сигналов в частотную область можно применить для реализации прямого взаимодействия верхних (прикладного, представительского) и физического уровней эталонной модели.

Список литературы

1. Богомолова Н.Е. Особенности построения сетей широкополосного доступа WiMAX / Богомолова Н.Е., Усманов Л.Ю. // Спецтехника и связь. – 2009. – №3. – С.51–56.
2. Печурин Н.К. Подход к кластерному анализу функций эталонной модели взаимодействия открытых систем с применением инструментария прямонаправленных искусственных нейронных сетей / Печурин Н.К., Кондратова Л.П., Печурин С.Н. // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – 2012. – №. 3 (39). – С. 36-43.
3. Печурин Н.К. Применение инструментария формальных грамматик для переклассификации функций эталонной модели взаимодействия открытых систем в беспроводной компьютерной сети / Печурин Н.К., Кондратова Л.П., Печурин С.Н. // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – 2012. – №. 2 (38). – С. 19-26.
4. Богачев В.И. Действительный и функциональный анализ: университетский курс «Регулярная и хаотическая динамика» / Богачев В.И., Смолянов О.Г. – Институт компьютерных исследований. – 2009. – 724 с.