

지상수자텔레비존방송표준 DVB-T2에 따르는 OFDM변조모듈의 FPGA실현

민정기, 조연희

현재 DVB-T2표준에서는 OFDM변조방식을 리용하여 최대 50.3Mbps의 고속통신을 실현하고있다.

논문에서는 DVB-T2변조기에서 자원소비와 성능부하가 큰 OFDM모듈의 효과적실현 알고리즘과 FPGA실현에 대하여 논의하였다.

1. OFDM모듈의 구조도

DVB-T2표준ETSI EN 302 755의 OFDM변조모듈의 블록도식은 그림 1과 같다.

그림 1의 블록도식에서 가장 연산부하가 크고 자원소비가 많은 부분은 거꾸푸리에변환(FFT)과 보호간격삽입부분이다.

우리는 이 두 부분을 하나로 일체화하여 자원소비를 최적화하기 위한 한가지 간단하면서도 효과적인 알고리즘을 제시하고 FPGA로 실현하여 성능과 자원을 평가하였다.

2. 알고리즘구성

일반적으로 FFT연산에서 비트반전처리는 많은 RAM자원을 소비하게 되고 이것은 변조기의 총 자원에 영향을 주게 된다.

DVB-T2변조기의 OFDM출구에서는 규약상 (64/7)MHz의 동작주파수에서 FFT침수에 관하여 크기순서로 정돈되고 보호간격이 삽입된 FFT렬이 출력되어야 한다.

지난 시기 FFT처리에서 출력비트반전처리를 진행하지 않고 보호간격삽입구간에서 진행하는 경우 2개의 블록RAM을 리용하여 읽기와 쓰기를 번갈아 진행하거나 동작주파수를 2배이상으로 높여 하나의 RAM을 리용하여 순차적으로 진행하였다. 그러나 이 경우에도 출구의 (64/7)MHz에 대한 요구로부터 반드시 RAM을 리용한 출력속도변환을 진행하여야 하였다.

우리는 동작주파수를 높이지 않으면서도 1개의 블록RAM에 의하여 처리를 진행하기 위하여 다음과 같이 알고리즘을 구성하였다.

$BR(n)$ 은 옹근수비트반전연산 즉 옹근수 n 의 2진수렬을 제일 아래자리비트부터 제일 웃자리비트방향으로 비트순서를 반대로 놓은 수, l 은 1개 T2프레임내에서 OFDM부호의 번호, m 은 T2프레임번호, K_{total} 은 총 반송파개수(13 921), Δ 는 보호간격길이를 규정하는 상수

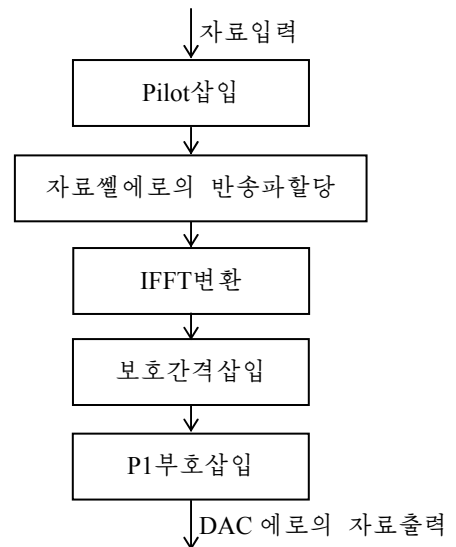


그림 1. DVB-T2표준ETSI EN 302 755의 OFDM변조모듈의 블록도식

(1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4가능), $c_{m,l,k}$ 는 m 번째 T2프레임에서 l 번째 OFDM 부호의 k 번째 반송파에 대한 복소변조값, $x_{m,l,i}$ 는 m 번째 T2프레임에서 l 번째 OFDM 부호의 i 번째 IFFT출력, N_{IFFT} 는 IFFT차수라고 하자.

단계 1 Pilot와 자료렬에 반송파주파수의 할당

선행연구[1]에서 규정하고있는 Pilot위치들에 Pilot값들을 배치하고 나머지반송파들에 앞단에서 들어오는 복소자료값들을 순차적으로 배치한다. 1개의 자료OFDM부호구간에는 먼저 령으로 채워진 보호구간이 놓이고 계속하여 IFFT입력값들이 령이어 놓인다.

단계 2 비트반전처리를 진행하지 않은 IFFT를 진행한다.

1개 OFDM표본에 대하여 IFFT의 출구의 k 번째 복소수는 다음과 같다.

$$x_{m,l,BR(k)} = \sum_i c_{m,l,i} e^{j \frac{2\pi}{N_{IFFT}} BR(k) i}$$

단계 3 RAM의 읽기 및 쓰기주소조종

① 자료출력구간에서

ㄱ) OFDM부호번호 l 이 짝수인 경우

매 $k \in \overline{0, N_{IFFT}}$ 에 대하여 RAM에로의 입력자료는 $x_{m,l,BR(k)}$, 읽기 및 쓰기주소는 k , RAM으로부터의 출력자료는 이전 OFDM부호의 k' 번째 IFFT출력값으로서 $BR(k')=k$ 를 만족시키는 $x_{m,l,BR(k')}$ 이다.

따라서 $BR(k')=k$ 가 0, 1, 2, ...순서로 출력되므로 OFDM출력신호조건을 만족시킨다.

ㄴ) OFDM부호번호 l 이 홀수인 경우

매 $k \in \overline{0, N_{IFFT}}$ 에 대하여 RAM에로의 입력자료는 $x_{m,l,BR(k)}$, $k=0, 1, 2, \dots$, 읽기 및 쓰기주소는 $BR(k)$, RAM으로부터의 출력자료는 이전 OFDM부호의 k' 번째 IFFT출력값으로서 $BR(k)=k'$ 를 만족시키는 $x_{m,l,BR(k')}$ 이다.

그러므로 $BR(k')=k$ 이고 OFDM출력신호조건을 만족시킨다.

② 보호간격구간에서

ㄱ) OFDM부호번호 l 이 짝수인 경우

m 번째 읽기주소는 $BR(N_{IFFT} - N_{IFFT} \cdot \Delta + m)$, $m \in \overline{0, N_{IFFT} \cdot \Delta - 1}$ 이다.

ㄴ) OFDM부호번호 l 이 홀수인 경우

m 번째 읽기주소는 $N_{IFFT} - N_{IFFT} \cdot \Delta + m$, $m \in \overline{0, N_{IFFT} \cdot \Delta - 1}$ 이다.

IFFT 및 보호구간삽입알고리즘의 블록도는 그림 2와 같다.

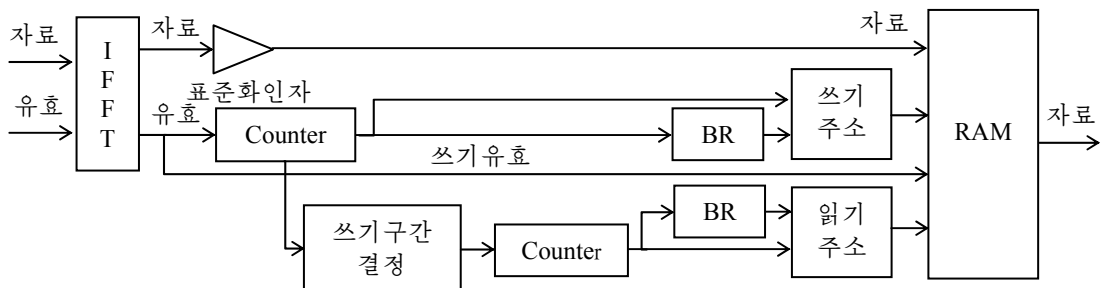


그림 2. IFFT 및 보호구간삽입알고리즘의 블록도

3. 모 의 실 험

OFDM파라미터설정을 64QAM, 16K FFT, 보호간격 $\Delta=1/16$ 로 놓고 모의를 진행하였다.

OFDM출력자료형성을 위한 Dual Port RAM의 쓰기구간, 읽기주소, 쓰기주소, 출력복소신호의 시간선도를 그림 3에 보여주었다.

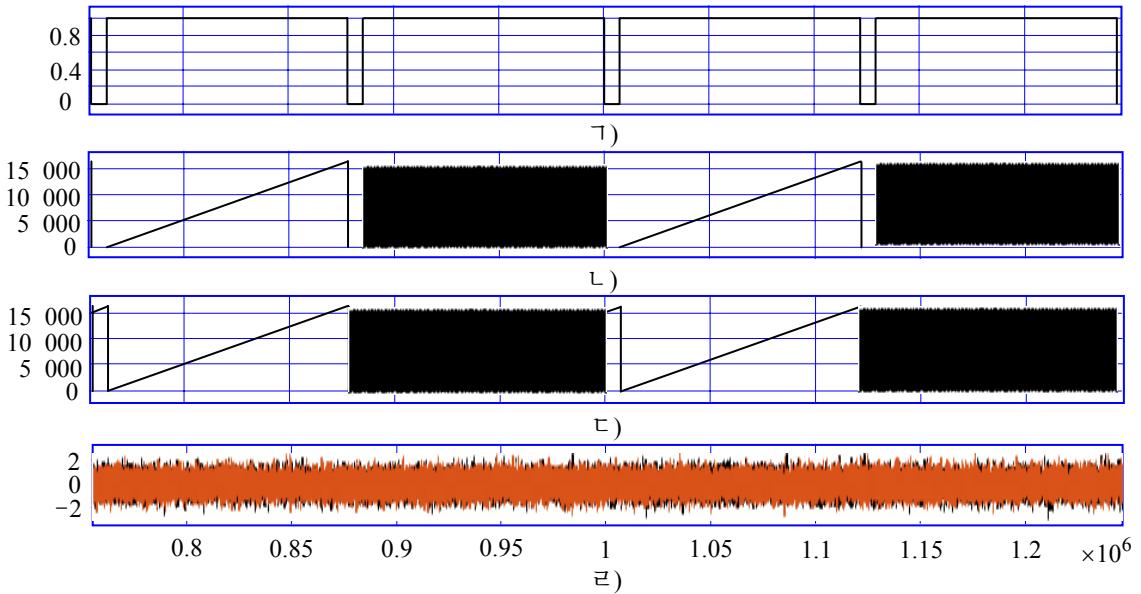


그림 3. RAM쓰기구간(ㄱ)), 읽기주소(ㄴ)), 쓰기주소(ㄷ)), 출력복소신호(ㄹ))의 시간선도

그림 3에서 보는바와 같이 비트반전처리를 하면서도 RAM에로의 쓰기와 읽기는 동시에 진행된다.

따라서 자료는 연속적으로 출력되며 DVB-T2규약 ETSI EN 302 755에 규정된 출력박자인 (64/7)MHz보다 동작주파수를 높이지 않고도 알고리즘은 1개의 블록RAM에 의하여 정확히 수행된다. OFDM변조모듈의 표준화된 출력스펙트럼밀도는 그림 4와 같다.

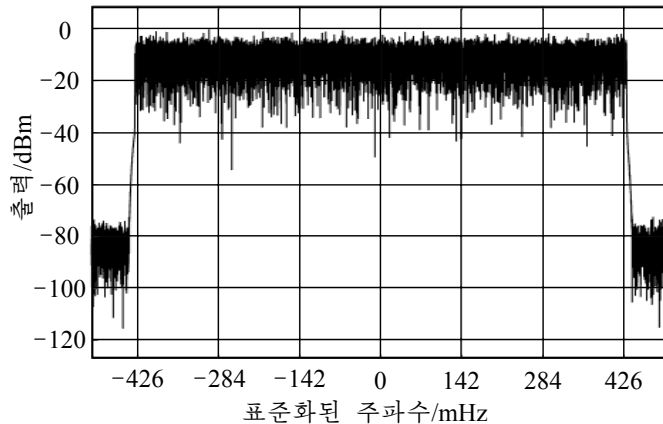


그림 4. OFDM변조모듈의 표준화된 출력스펙트럼밀도(16K, 64QAM)

그림 4에서 보는바와 같이 대역박감소특성은 60dB이상으로서 DVB-T2변조기의 대역박감소특성과 관련한 성능지표인 50dB을 훨씬 넘었다.

Vivado2014.4에 표준탑재되어있는 FFT LogiCORE v9.0과의 자원비교를 진행하였다.(표)

표. 표준FFT LogiCORE v9.0과의 자원비교

구 분	BlockRAM(36K)	DSP48
FFT LogiCORE 9.0[2]	74	24
제안알고리즘	36	24

IP CORE에서는 보호간격삽입을 포함한 FFT를 진행할수 있게 설정가능하다. 모든 입력자료들의 비트폭은 두 경우에 대하여 일치시켰다. 두 경우 모두 FFT는 속도최량으로서 4개의 복소곱하기와 2개의 더하기에 기초하여 진행하였다.

표에서 보는바와 같이 블록RAM자원이 절반이하로 줄어들었다. 이것은 자원소비가 많은 DVB-T2변조기의 원가저하와 동작주파수효율제고에서 중요한 의의를 가지며 OFDM 통신들에 대한 응용의 측면에서도 가치가 있다.

맺 는 말

DVB-T2변조기의 OFDM변조모듈에서 연산 및 자원부하가 많은 IFFT 및 보호구간삽입알고리즘의 개선방법을 제안하고 성능분석과 Vivado2014.4의 표준FFT LogiCORE와 자원비교를 진행한 결과 출력스펙트르특성이 규약의 요구를 만족시키며 36K블록RAM자원이 절반이하로 줄어들었다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI EN 302 755; Digital Video Broadcasting(DVB); Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), 105~128, 2012.
- [2] XILINX; LogiCORE IP Product Guide, Fast Fourier Transform v9.0, 68~90, 2015.

주제109(2020)년 8월 5일 원고접수

FPGA Implementation of OFDM Module for Terrestrial TV Broadcasting Standard DVB-T2

Min Jong Gi, Jo Yon Hui

In the paper, we studied an efficient FPGA implementation method for OFDM module in DVB-T2 modulator and showed RAM resources reduced less than half of BRAM resources of XILINX FFT LogiCORE v9.0.

Keywords: DVB-T2, OFDM, FFT