



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 49(11), 933-940(2021)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2021.49.11.933

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

위성탐재 영상레이다 디지털 수신기에서의 양자화 영향성 분석

임성재¹, 이현익², 성진봉³, 김세영⁴

Digitization Impact on the Spaceborne Synthetic Aperture Radar Digital Receiver Analysis

Sungjae Lim¹, Hyonik Lee², Jinbong Sung³ and Seyoung Kim⁴

The Defense Space Technology Center, Agency for Defense Development

ABSTRACT

The space-borne SAR(Synthetic Aperture Radar) system radiates the microwave signal and receives the backscattered signal. The received signal is converted to digital at the Digital Receiver, which is implemented at the end of the SAR sensor receiving chain. The converted signal is formatted after signal processing such as filtering and data compression. Two quantization are conducted in the Digital Receiver. One quantization is an analog to digital conversion at ADC(Analog-Digital Converter). Another quantization is the BAQ(Block Adaptive Quantization) for data compression. The quantization process is a conversion from a continuous or higher bit precision to a discrete or lower bit precision. As a result, a quantization noise is inevitably occurred. In this paper, the impact of two quantization processes are analyzed in a view of SNR degradation.

초 록

위성탐재 영상레이다 시스템은 마이크로파를 방사하여 지상에서 되튀겨온 신호를 수신한다. 수신된 신호는 영상레이다 수신경로의 마지막에 위치한 디지털 수신기에서 디지털 신호로 변환된다. 변환된 디지털 신호는 필터링, 압축 및 포매팅 과정을 거친다. 디지털 수신기의 신호처리 과정은 두 차례의 양자화로 수행된다. 첫 번째는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 과정이고, 다른 하나는 BAQ를 이용한 압축과정이다. 양자화는 높은 비트에서 낮은 비트로 변환하는 과정으로 양자화 오차가 발생한다. 본 논문에서는 SNR 저하의 관점에서 디지털 수신기에서 수행되는 양자화의 영향성을 분석하였다.

Key Words : Block Adaptive Quantization(블록 적응 양자화), Quantization Error(양자화 오차), Synthetic Aperture Radar(합성 개구 레이더), Digital Receiver(디지털 수신기), SNR Degradation(SNR 저하)

1. 서 론

위성 탐재 영상레이다(Synthetic Aperture Radar;

SAR)는 마이크로파를 이용하여 관측 시간 및 날씨의 영향을 받지 않고 원하는 지역을 관측할 수 있다. 이러한 특성으로 많은 위성들이 지구관측 및 감시목적

† Received : August 24, 2021 Revised : October 12, 2021 Accepted : October 18, 2021

^{1,2} Senior Researcher ^{3,4} Principal Researcher

¹ Corresponding author, E-mail : Sungjaelim@add.re.kr, ORCID 0000-0002-8671-3655

© 2021 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

으로 영상레이다를 탑재하여 운영하고 있다.

위성 탑재 영상레이다는 안테나로 마이크로파를 방사하여 지상에서 후방 산란되어 되돌아오는 신호를 수신한다. 수신된 아날로그 신호는 디지털 리시버에 탑재된 ADC (analog-digital converter)를 통해 디지털 신호로 변환된다. 이를 입력 양자화 효과로 해석하여 ADC 과정에서의 양자화 오차를 분석한 연구가 수행되었다[1].

위성에서는 데이터 저장공간 및 지상국과의 교신에 제한이 있으므로 위성의 활용성을 높이기 위한 목적으로 원시 데이터(raw data)를 압축하여 저장 및 전송하게 된다. 위성탑재 영상레이다에서는 블록 적응 양자화(Block Adaptive Quantization; BAQ) 기법 [2-4]을 이용하여 데이터 압축을 수행한다. BAQ는 위성탑재 영상레이다 시스템에서 널리 사용되는 압축 방법 중 하나로 양자화를 통해 샘플의 비트레이트(bit rate)를 감소시켜 데이터의 크기를 줄이는 압축 방법이다. 이 과정은 양자화 과정으로 데이터가 필연적으로 손실된다. 따라서 압축되어 지상에 송신된 신호를 복원한 후에는 신호품질이 저하되어 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)가 낮아진다. 이에 대해 TerraSAR-X 및 TanDEM-X 데이터를 기반으로 BAQ에 의한 SNR저하를 계산하고, 이를 이용하여 영상레이다의 NESZ (Noise Equivalent Sigma Zero) 저하를 측정하는 연구가 있다[5,6].

위성탑재 영상레이다의 디지털 수신기는 수신부에서 획득한 원시데이터를 디지털화(Digitization) 혹은 양자화(Quantization)하여 저장한다. 양자화는 연속된 아날로그 신호를 이산적인 디지털신호로 변환하는 과정이므로 출력신호는 양자화에 의한 오차를 포함하게 된다. 본 연구에서는 아날로그-디지털 변환과 BAQ 기법에 의한 양자화를 중심으로 위성탑재 영상레이다의 디지털 수신기에서의 양자화 오차에 의한 신호품질 변화를 분석하였다. 이를 위해 다양한 입력신호를 모델링하여 양자화 전후의 SNR변화를 분석하였다. 특히 BAQ 기법에 대해서는 모델링된 신호 분석 이외에 아리랑 5호 위성 영상을 활용하여 SNR 변화에 의한 NESZ 저하를 예측하였다. 또한, BAQ

적용 전후의 영상 품질에서의 영향성을 확인하였다.

2.1장에서는 디지털 수신기의 구조와 수행된 양자화의 구조를 소개하고, 2.2장에서는 입력신호에 대한 양자화 전후의 SNR 변화를 제시한다. 2.3장에서는 아리랑 5호 위성 영상을 사용한 BAQ 영향성을 분석한다. 마지막으로 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

II. 본 론

2.1 디지털 수신기 구조

본 장에서는 위성탑재 영상레이다의 디지털 수신기 구조에 대해 설명한다. 디지털 수신기는 RF 장치의 아날로그 출력신호를 입력으로 하여 디지털 신호로 변환하고 출력 파일의 형식에 맞추어 저장장치로 전송하는 역할을 수행한다.

디지털 수신기의 구조는 Fig. 1에 제시되어 있다. 먼저 RFE(Radio Frequency Equipment)에서 In-phase와 quadrature 신호를 수신하여 OP-Amp로 증폭한 후 ADC에서 디지털 신호로 변환한다. 이 과정에서 신호는 양자화 된다.

디지털 신호로 변환된 신호는 LPF(Low Pass Filter)를 거쳐 원하는 대역폭의 신호로 필터링 된다. 이 필터링 과정에서 Decimation 과정도 함께 수행되는데, 이를 통해 샘플링 주파수가 낮아지는 효과가 발생한다. Decimation 과정을 구현할 때 decimation 비율이 높은 경우를 고려하여 필터링 과정을 2단으로 구성하였다.

필터링 이후 원하는 대역폭의 신호는 저장을 위해 데이터 압축과정을 거친다. 아래 그림에서는 SDF 블록과 BAQ 블록으로 표시되어 있다.

본 논문에서 제시하는 디지털 수신기에서는 원하는 신호 영역만을 필터링하는 구조로 동작하는 SDF(Smart Digital Filter)와 블록별로 양자화를 수행하는 BAQ 알고리즘을 통해 수신한 데이터를 압축하게 된다. SDF의 압축률은 설계된 swath의 특성에 의해 결정되고, BAQ는 사용자가 선택한 출력비트에 따라 결정된다.

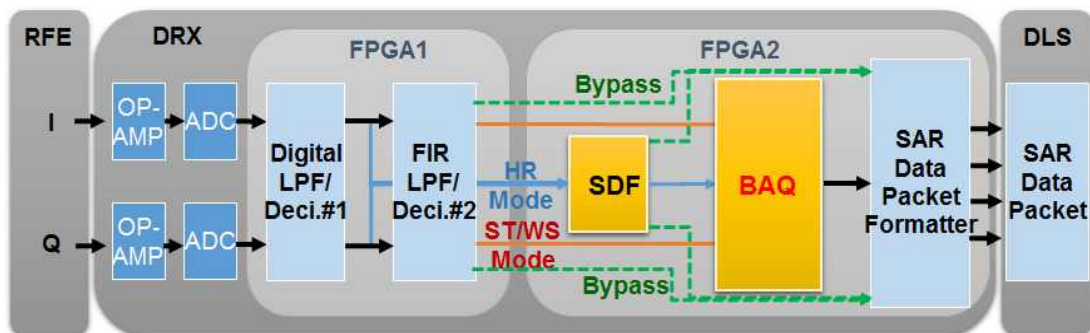


Fig. 1. Block Diagram for Digital Receiver

데이터 압축은 운용모드에 따라 사용하는 알고리즘이 달라진다. 고해상도 모드(High Resolution, HR mode)는 한 부분을 집중적으로 촬영하는 spotlight 촬영으로 획득한 데이터로 SDF 및 BAQ를 통해 압축을 수행한다. 표준 모드(STripmap, ST mode)와 광역 모드(Wide Swath, WS mode)에서는 BAQ를 사용한다. 광역모드는 TOPS(Terrain Observation Progressive Scan) 방식[7]으로 촬영한다. 만약 압축이 필요하지 않은 경우 이를 우회하여 formatter로 보낸다.

압축된 데이터는 formatter를 거쳐 CCSDS packet의 형태로 출력되어 데이터 링크(DLS, Data Link Subsystem)로 전달되어 저장된다.

2.2 양자화 영향성 분석

본 장에서는 ADC와 BAQ에 의한 양자화 영향성을 분석하기 위해 정규분포를 따르는 입력신호를 난수생성기를 사용하여 생성하여 각 양자화 전후 SNR변화를 확인하여 보았다. 분석에 사용한 신호는 BAQ의 블록 길이(128 복소수 샘플)를 기준으로 1000개의 블록을 생성하여 사용하였다. 이 신호를 스케일링하여 ADC 및 BAQ에 입력하였다. 스케일링은 ADC 최대 허용범위(-7 dBm)를 기준으로 -45 dB부터 +30 dB까지의 범위에서 수행하였다. 이때 실제 입력신호는 노이즈를 포함한 신호이므로 이에 따른 영향을 확인하고자 입력 노이즈를 추가하여 SNR이 0 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB인 경우에 대해 분석하였다.

2.2.1 ADC 양자화 영향성

ADC에 의한 양자화는 아날로그 신호가 디지털 신호로 변환되는 과정이고, 이로 인해 양자화 오차가 발생한다. ADC 모사는 입력신호를 버림(Truncating)하여 가장 가까운 정수로 매칭하는 방식을 사용하였고, 출력비트는 10비트이다. 입력신호 레벨에 대한 양자화 후의 SNR을 Fig. 2에 도시하였다. x축은 입력신호의 레벨을 나타내기 위해 γ_{clip} 을 사용하였다. 이는 스케일링한 입력신호의 레벨과 ADC 최대 허용범위 레벨의 비로 0 dB에서 입력신호의 최대값이 ADC 최대 허용범위 레벨과 같아짐을 나타낸다[5]. γ_{clip} 이 양수인 경우 입력신호 크기는 ADC 최대 허용범위(full scale) 이상을 나타내고, 음수인 경우 반대로 입력신호가 ADC 수신 동적범위에 놓이는 것을 의미한다. Fig. 2의 SNR은 양자화 오차만을 고려하여 SQNR (Signal to Quantization Noise Ratio)과 동일하다.

ADC 출력신호의 SNR은 다음 식과 같다.

$$SNR_{ADC} = \frac{E\{S+N\}}{E\{Q\}}$$

$E\{x\}$ 는 기댓값을 나타내고, S 는 노이즈가 없는 이상적인 신호, N 은 입력신호의 노이즈, Q 는 양자화 오차를 의미한다.

ADC에 의한 양자화 오차는 두 가지 경우로 구분할 수 있다. 먼저 ADC 최대 허용범위 이상의 신호가 들어오는 경우 양자화 과정에서 실제 신호의 크기보다 작게 표현하면서 신호레벨이 낮아지는 클리핑현상이 발생한다. 반대로 ADC 허용범위 안의 입력신호는 연속적인 아날로그값과 이산적인 디지털값의 차이에 의한 양자화 오차가 발생한다.

Figure 2에서 γ_{clip} 이 양수인 경우 입력신호가 커질수록 클리핑에 의한 오차가 증가하여 ADC 출력신호의 SNR이 입력 시의 SNR에 비해 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반대로 γ_{clip} 음수영역에서는 양자화 오차로 인해 신호 크기가 ADC 최대 허용범위 대비 작아질수록 오차가 증가하는 모습을 보인다. 즉, ADC의 영역을 모두 사용하지 못하여 실질적으로 사용되는 출력의 비트정확도(bit precision)가 낮아져 SNR이 저하되는 모습을 보인다. 이때 입력 노이즈가 없는 이상적인 신호($SNR_{input}:\infty$)에서는 γ_{clip} 감소에 비례하여 출력 SNR이 감소하는 현상을 보인다. 이상적인 ADC를 가정하였기에 ADC의 선형성(linearity)이 정확하게 나타나기 때문이다. 입력 노이즈를 포함하는 경우 γ_{clip} 이 0 dB 근처에서는 입력 SNR을 유지하지만, γ_{clip} 이 감소할수록 이상적인 신호와 같이 출력 SNR이 낮아지게 된다.

입력 노이즈가 없는 이상적인 신호의 경우 ADC의 출력 비트에 따라 SQNR이 $6.02 \times (\text{bit}) + 1.76$ dB로 결정되나, Fig. 2에서는 52 dB 수준의 SQNR을 획득하였다. 버림을 활용한 양자화에서 출력 비트가 10비트인 경우 55dB 수준의 SQNR을 획득[8]한 결과가 보고되었고, 본 논문에서는 sin함수가 아닌 정규분포 기반의 난수 신호였기에 10비트 ADC 모사 결과 51.8 dB의 SQNR을 측정된 것으로 생각된다.

결론적으로 ADC에 의한 양자화의 영향은 입력레벨이 ADC 최대 허용범위보다 작은 경우 신호의 크기가 증가할수록 양자화 오차가 선형적으로 감소하여 출력신호의 SNR은 증가하며 입력 SNR이 0 dB일

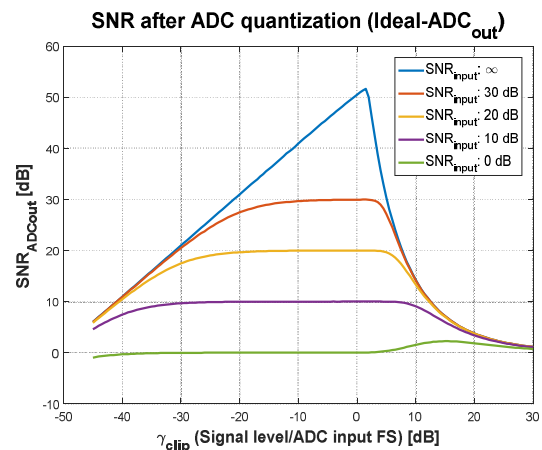


Fig. 2. Quantization effect for ADC

때 최대값을 보인다. 신호 크기가 ADC 허용범위를 넘어서는 경우에는 클리핑 오차가 발생하여 신호 크기가 증가할수록 출력 SNR이 빠르게 감소한다.

Figure 2에서 위성탐재 영상레이다에서 예상되는 SNR 범위인 [10 - 20] dB에서는 입력신호의 크기를 ADC 최대 허용범위 기준으로 [-15 - +3] dB 이내에 위치하도록 RFE의 수신 이득조정 기능을 적용하면 ADC에서 발생하는 양자화 오차는 무시할 수 있을 것으로 생각된다.

2.2.2 BAQ 양자화 영향성

ADC를 통과한 디지털 신호는 필요에 따라 BAQ를 사용하여 압축하게 된다. 압축에 따른 양자화 영향성을 확인하고자 BAQ 10:4 [4]를 적용하여 압축 전후의 SNR을 Fig. 3에 도시하였다.

Figure 3에서 입력 SNR은 ADC 양자화 오차가 포함되지 않은 N 을 의미하고, BAQ 출력의 SNR은 ADC 및 BAQ에 의한 양자화를 모두 거친 후의 SNR을 나타낸다. 이때 출력 SNR의 양자화 노이즈는 ADC 입력시점과 BAQ 출력시점 사이의 차이로 정의하여 다음 식과 같이 계산하였다.

$$SNR_{BAQ} = \frac{E\{S+N\}}{E\{Q_{ADC} + Q_{BAQ}\}}$$

Q_{ADC} 는 ADC에 의한 양자화 오차를 의미하고, Q_{BAQ} 는 BAQ에 의한 양자화 오차를 의미한다.

입력 노이즈가 없는 이상적인 신호($SNR_{input:\infty}$)에서 BAQ 출력에서의 SNR은 20 dB이하로 계산되어 Fig. 2에서의 결과와 비교하면 크게 감소하였다. 즉, 양자화 측면에서 ADC보다 BAQ의 영향성이 더 크게 나타나고 있다.

입력 신호의 SNR이 10 dB와 0 dB인 경우에는 출력 신호에서의 SNR 저하가 크지 않아 파란 박스로 표시한 Υ_{clip} 가 -10 ~ 0 dB 구간에서 BAQ 입력 SNR과 비슷한 수준을 유지하였다.

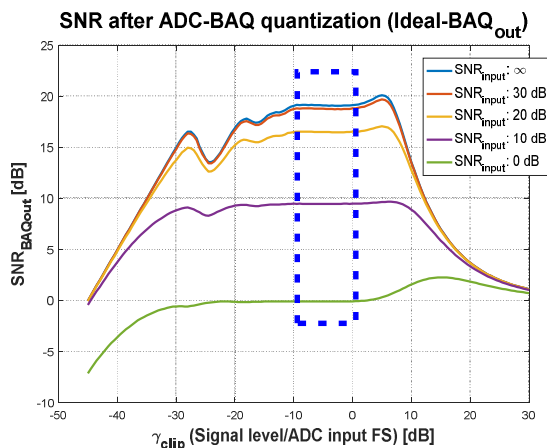


Fig. 3. Quantization effect for BAQ

출력신호의 비트가 4비트인 경우 달성 가능한 SNR을 확인하기 위해 블록별로 문턱값을 계산하고, 이를 이용하여 양자화하는 방식을 시험하였다. Fig. 4의 파란 선은 블록별로 Lloyd-max 알고리즘을 사용하여 최소자승법으로 양자화 오차가 줄어드는 최적의 문턱값을 찾고[9], 그 문턱값을 활용하여 양자화를 수행하는 방식으로 처리한 신호의 출력 SNR을 나타낸다. Fig. 3에서의 결과를 빨간 선으로 추가하여 비교하였다. 블록별로 문턱값을 계산 및 양자화 수행시 SNR이 개선되었으나 21 dB 수준으로 이론적인 SNR보다 낮았다. 이는 사용한 BAQ의 문턱값이 정규분포가 아니고, ADC 출력도 이상적인 정규분포를 따르지 못하기 때문이다.

실제 위성탐재 영상레이다 환경에서 Lloyd-max 알고리즘을 구현하는 것은 온-보드 컴퓨터의 한계로 대부분의 경우에는 미리 계산한 문턱값을 룩업테이블(Lookup table) 형태로 저장하여 사용한다. 따라서 10:4 BAQ 적용 시 출력 SNR의 한계는 21 dB 수준으로 생각된다.

Figure 4에서 이상적인 신호에 대해 양자화를 수행한 이후 Υ_{clip} 이 -24 dB 지점(파란 원)에서 SNR이 급격히 낮아지는 현상을 확인할 수 있다. 이는 BAQ 문턱값의 분포에 따른 현상으로 해당 변곡점 및 그때의 BAQ 입력신호의 분포를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5 아래쪽의 분포는 (ADC FS) + Υ_{clip} dB에서 99% (2.58 σ) 범위에 위치하는 샘플의 디지털값(10비트 정수)을 사용하여 나타내었다.

Figure 5 위쪽은 각 변곡점에 해당하는 BAQ 출력 신호의 SNR을 나타내었다. 이때 변곡점은 오른쪽으로 갈수록 신호레벨이 증가하므로 아래쪽 그림의 ADC 출력신호의 분포는 점차 넓어지는 모습과 대응된다. 즉, 맨 왼쪽의 Υ_{clip} 이 -16.7 dB인 지점에서 출력신호의 SNR에서 ADC 출력신호는 [-14 ~ +14] 사이의 디지털 값(DN)과 대응된다.

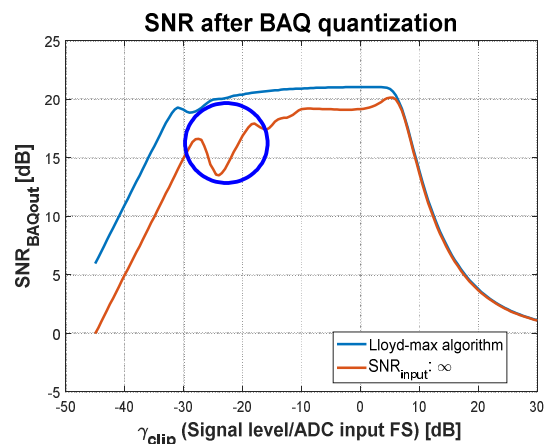


Fig. 4. SNR degradation due to the BAQ

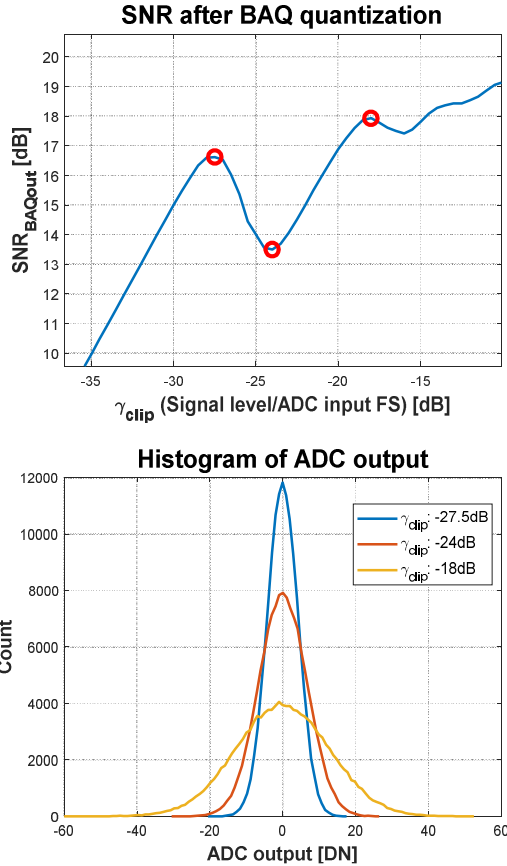


Fig. 5. (Up) Inflection Point in SNR degradation for BAQ output (Down) Sample distribution for BAQ input(ADC output) at each inflection point

이때 BAQ 문턱값 중 첫 번째와 두 번째로 작은 세트의 최대/최소값은 첫 번째와 세 번째 변곡점의 ADC 출력레벨과 비슷하다. 즉, 맨 왼쪽의 출력 SNR(SNR_{BAQout})이 16.6 dB일 때, ADC 출력신호는 [-14 ~ +14] 범위에 분포하는데, 이는 BAQ 문턱값의 첫 번째 세트 범위 [-14 ~ +14]와 일치한다. 따라서 신호레벨이 크게 변경되지 않아 SNR 저하가 작다. 이와 동일하게 맨 오른쪽 18 dB SNR_{BAQout} 지점은 두 번째 문턱값 세트 [-35 ~ +35]와 일치하여 SNR 저하가 작다. 그러나 이 중간에서는 ADC 출력신호의 레벨이 BAQ 문턱값 세트와 다르기 때문에 양자화 오차가 늘어나게 된다. 출력 SNR이 13.5 dB 인 지점에서는 [-20 ~ +20] 범위에서 ADC 출력신호가 분포하고, 두 양자화 문턱값 범위 사이에 위치하고 있어 둘 중 어느 문턱값을 사용하더라도 양자화 오차가 커서 출력 SNR이 낮아진다.

2.2.3 ADC&BAQ 양자화 영향성

앞서 Fig. 3에서 확인한 BAQ 출력의 SNR에서 ADC의 영향과 BAQ에 의한 영향을 구분하고자 입력노이즈가 30 dB인 경우에 대해 각 양자화 과정 후

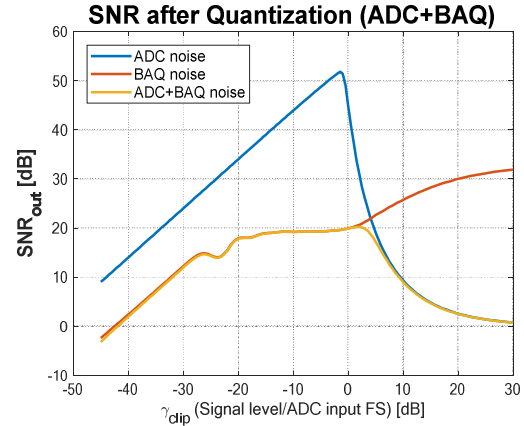


Fig. 6. SQNR contribution between ADC and BAQ

의 SNR을 Fig. 6에 도시하였다.

ADC noise는 ADC 입/출력 신호의 차이를 양자화 노이즈로 정의하여 입력신호를 기준으로 SNR을 구하였다. 이때 ADC에 의한 양자화는 입력노이즈가 없는 이상적인 경우와 비슷하게 측정되었다.

BAQ noise는 BAQ 입/출력 신호의 차이를 가지고 아래의 식을 사용하여 SNR을 계산하였다.

$$SNR_{BAQnoise} = \frac{E\{S+N+Q_{ADC}\}}{E\{Q_{BAQ}\}}$$

γ_{clip} 이 양수인 경우 γ_{clip} 이 증가할수록 SNR이 증가하는 모습을 보인다. 이는 BAQ 입력 신호가 ADC에 의한 클리핑이 반영된 상태이고, 신호세기가 커질수록 BAQ 문턱값의 최대로 매칭되어 최소/최대 값으로 매칭되기 때문이다. 따라서 신호 크기가 커지면서 더 많은 샘플 값이 최대값으로 매칭되면서 BAQ 전/후의 값도 최대값으로 동일하게 매칭되게 되어 결과적으로 양자화 오차가 줄어들게 된다. 예를 들어 ADC 입력 시 샘플 값이 [-1000 ~ +1000] 범위에 분포한 경우 ADC에 의한 클리핑이 ± 1000 에서 발생한다면, 원래 최대값인 샘플들만 ADC 출력으로 최대값을 갖는다. 이 샘플들은 BAQ 문턱값의 최대값이 1000으로 가정했을 때, BAQ 이후에도 최대값 1000으로 매칭된다. 반면에 ADC 입력의 범위가 [-2000 ~ +2000]라면 클리핑되어 BAQ 이후에도 1000으로 매칭되는 샘플의 수가 훨씬 늘어날 것이다. 따라서 샘플의 범위가 더 넓어지는 경우 BAQ 전/후의 양자화 오차가 줄어들게 되며 결과적으로 SNR이 증가하는 모습을 보이게 된다.

마지막으로 ADC 및 BAQ 양자화 적용 후의 SNR은 맨 아래 노란선으로 표시하였고, Fig. 3과 같이 BAQ 출력의 SNR에서 입력 노이즈가 없는 경우 (SNR_{input,∞})의 결과와 동일하다. 이때 γ_{clip} 이 음수인 경우 BAQ 이후의 SNR 결과와 동일하고, γ_{clip} 이 양수인 경우 ADC 디지털화의 결과와 동일하다. 이는

Υ_{clip} 이 0 dB 이하인 영역에서는 BAQ에 의한 양자화 오차가 지배적이므로 최종 출력의 SNR이 BAQ 출력 SNR과 비슷한 양상을 보인다. Υ_{clip} 이 5 dB 이상에서는 ADC 클리핑에 따른 영향이 지배적이어서 SNR이 ADC 출력 SNR을 따른다. [0 ~ 5] dB 구간에서는 ADC 클리핑과 BAQ 양자화의 영향이 함께 작용하여 두 결과 사이에서 천이하는 모습을 보여준다.

이 결과는 입력노이즈가 변하더라도 거의 비슷하게 유지되고, 이를 통해 각 양자화 과정에서 발생하는 양자화 오차의 특성도 거의 비슷하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

2.3 위성 영상 기반 BAQ 영향성 분석

본 장에서는 디지털 수신기에서 발생하는 양자화 오차가 실제 영상에 어떤 영향을 주는지를 확인하기 위해 아리랑 5호 원시데이터를 사용한 결과를 제시한다. 다만 획득한 원시데이터에서 ADC에 의한 양자화 영향을 변화시키기는 불가능하고, 위성 시스템에서 ADC에 의한 클리핑 효과가 나타나지 않도록 신호세기를 조정하므로 BAQ의 영향성을 확인하였다.

먼저 원시데이터에서의 영향성을 Fig. 7을 통해 확인하였다. Fig. 7은 압축되지 않은 아리랑 5호 원시데이터에 BAQ를 적용한 후의 SNR 저하 정도를 각 샘플별로 계산한 결과를 나타낸다[5]. 검은 점선이 예상되는 NESZ값이고, 입사각에 따른 안테나 패턴이 반영되어 영상 중심에서 SNR이 큰 것을 확인할 수 있다. 각 거리방향 샘플에서 계산한 SNR은 파란색으로 도시하였고, 경향성을 확인하고자 이동 평균을 붉은 선으로 도시하였다. 실제 영상에서의 NESZ는 붉은 선을 따를 것으로 기대된다. 결론적으로 영상의 중심에서 BAQ에 의한 SNR 저하가 커지는 것을 확인할 수 있고, 2.2장에서 확인한 바와 같이 입력 SNR이 클수록 양자화 이후의 SNR 저하가 증가한다는 사실과 일치한다.

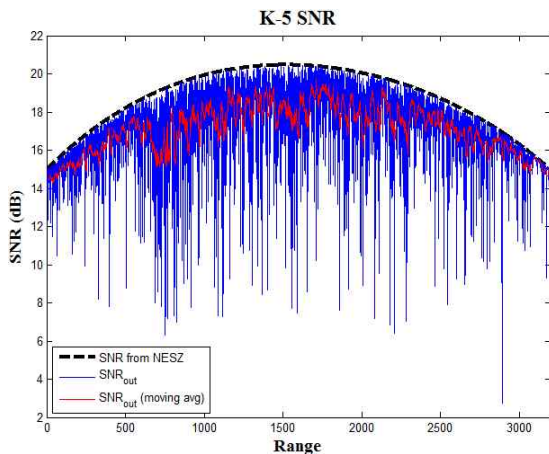


Fig. 7. SNR per each sample before/after applying BAQ to K5 raw data



Fig. 8. K5 image(partial) from BAQ bypass raw data



Fig. 9. K5 image(partial) from BAQ compressed raw data

실제 SAR 영상에서 BAQ의 영향성을 확인하기 위해 압축되지 않은 아리랑 5호 원시데이터로 영상을 제작하여 Fig. 8을 획득하고, 동일 데이터에 BAQ 압축 및 복원을 수행하여 Fig. 9를 획득한 후 두 영상을 비교하였다. 이때 적용한 BAQ는 8비트 원시데이터를 4비트로 압축하도록 하였다.

비교를 위해 두 영상에서 각 샘플의 값이 변화한 부분만을 흰색으로 표시하여 Fig. 10을 작성하였다. 그림의 아래쪽 바다 부분에 하얀 점이 많이 분포하여 값이 변화하였음을 확인할 수 있다.

영상에서 RCS가 큰 영역(입력 SNR이 높은 부분)에서 BAQ로 인한 SNR 저하가 발생할 것으로 예상하였으나 실제로는 반대로 RCS가 작은 부분(입력 SNR이 낮은 부분)에서 변화가 많이 발생하였다. 이는 원시데이터에서 SNR이 변화하여도 지상 표적의 RCS가 큰 경우 이를 무시할 정도로 신호 세기가 커서 영상형성시 영향이 작은 것으로 생각된다. 반대로 RCS가 낮은 경우 양자화 오차가 원시데이터에 영향을 주어 영상에서의 값이 변화한 것으로 생각된다. 따라서 원시데이터의 SNR이 양자화 오차에 의해 저하되어도 RCS가 큰 경우 SAR 영상에서는 큰 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

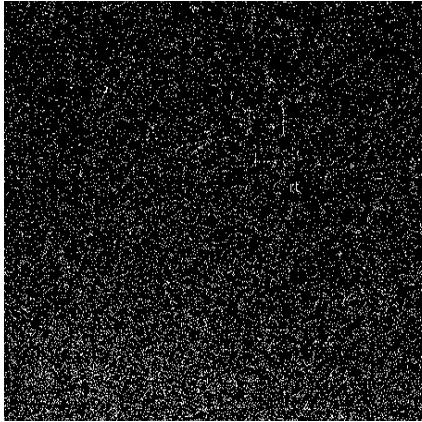


Fig. 10. Intensity change after BAQ (Black) same (White) change

SAR 영상의 샘플의 세기(intensity)의 분포를 Fig. 11에 도시하였다. 파란 실선이 BAQ 미적용 영상의 결과이고, 붉은 실선이 BAQ 적용 영상의 결과이다. SAR 영상에서 intensity가 0인 픽셀들은 다른 부분들보다 개수가 많아 경향성 확인을 위해서는 생략하였다. 최빈값의 위치를 표시한 결과, BAQ 이후 영상의 intensity값이 BAQ 적용 전에 비해 오른쪽으로 이동하였다. 전체적인 분포 역시 BAQ 적용 후 오른쪽으로 증가한 것을 확인할 수 있다. Intensity는 각 샘플 위치에서의 RCS값에 비례하나, BAQ 적용에 의해 지표면의 RCS가 변화한 것은 아니므로 BAQ에 의해 intensity값이 증가하였음을 알 수 있다. 2.2에서 확인한 바와 같이 BAQ에 의해 양자화 오차가 발생하여 출력신호의 SNR이 감소하므로 양자화 오차에 의해 intensity가 증가하였음을 알 수 있다. 이는 영상의 NESZ로 해석하여 noise floor와 같은 intensity 레벨이 높아지는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 BAQ 적용 후 양자화 오차로 인해 영상 전반적으로 노이즈 레벨이 높아지는 것으로 볼 수 있다.

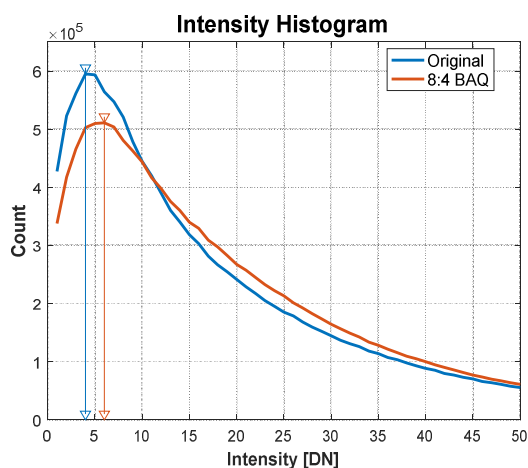


Fig. 11. Histogram for K5 image in Fig. 8 and 9

특히 Fig. 10에서 주로 바다와 같이 intensity가 낮은 샘플들에서 값이 변화(intensity 증가)한 것을 고려하면 BAQ에 의한 양자화 오차가 특히 낮은 세기의 샘플들에서 intensity를 증가시키는 방향으로 작용함을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 위성탐재 영상레이다의 디지털 수신기에서 데이터를 처리하는 과정에서 발생하는 양자화로 인한 신호품질의 변화를 관측하였다. 양자화 영향성은 ADC와 BAQ에 의한 양자화 전후의 SNR을 측정하여 확인하였다.

디지털 수신기의 출력신호는 입력신호의 노이즈와 ADC 및 BAQ에 의한 양자화 오차의 영향을 받아 최종적으로 SNR이 감소하게 된다. 입력신호와 ADC 최대 허용범위의 비에 따라 γ_{clip} 을 정의하였고, γ_{clip} 이 큰 경우 ADC 클리핑 오차가 지배적인 역할을 하고, γ_{clip} 이 작으면 BAQ에 의한 영향이 커졌다.

ADC에 의한 양자화는 입력신호의 세기와 ADC 허용범위가 비슷한 경우 거의 입력 SNR을 보존할 수 있었다. BAQ의 양자화 오차는 8:4 압축비에서 최대 SNR이 21 dB가 될 수 있음을 확인하였으나, 매번 문턱값을 계산하여야 하므로 실질적으로는 이보다 작을 것으로 생각된다. 따라서 입력신호의 SNR이 20 dB 이상이고, 출력신호의 SNR을 높게 유지해야 한다면 BAQ 출력비트를 증가시켜야 할 것이다.

입력신호의 SNR이 충분히 좋다면 BAQ 출력의 SNR은 문턱값의 배치에 따라 국소적으로 변화할 수 있다. 즉, BAQ에 입력되는 신호 레벨이 문턱값 세트의 범위와 다른 경우 SNR 저하가 국소적으로 커질 수 있다. 이는 γ_{clip} 이 낮은 경우 더 크게 발생하였으므로, 낮은 레벨 신호에서는 문턱값 세트간의 차이를 줄이거나 문턱값 세트 수를 늘려 BAQ 양자화 오차를 줄일 수 있다. 다만, 위성탐재 온보드 컴퓨터의 리소스는 제한적이므로 디지털 리시버의 입력 신호 특성 및 영상관측 시나리오에 따라 예상되는 신호세기를 커버할 수 있도록 배치하는 편이 좋을 것으로 생각된다.

또한 BAQ에 의한 양자화 오차가 SAR 영상에 미치는 영향을 확인하고자 아리랑 5호 원시데이터를 활용하였다. 압축을 수행하지 않은 원시데이터를 준비하여 BAQ를 적용하지 않은 영상과 BAQ를 적용한 후의 영상을 제작하여 비교하였다. SAR 영상에서 눈으로 확인 가능한 큰 차이는 없었으나 픽셀별 intensity 값의 분포가 변화한 것을 확인할 수 있었다. BAQ에 의해 전반적인 노이즈가 증가한 것으로 생각되나 표적의 RCS가 높을수록 그 영향은 줄어들었다.

본 논문에서는 위성탐재 영상레이다의 디지털 수신기 설계 시 양자화에 따른 SNR 변화를 제시하였다.

또한 BAQ에 의한 양자화 오차가 실제 SAR영상에 미치는 영향도 확인하였다. 향후 위성탐재 영상레이다의 운용 시나리오에 따라 디지털 수신기의 입력신호가 어떻게 변화할 것인지를 예측하고, 신호 특성에 맞는 BAQ 문턱값 생성 및 최적화 과정을 개발하고자 한다. 이를 통해 영상레이다의 성능저하를 최소화하여 향후 개발하는 위성탐재 영상레이다의 성능 개선을 모색한다.

References

- 1) Lee, B. H. and Jeong, H., "The Analysis of Statistical Properties of Quantization of ERS-1 SAR(Synthetic Aperture Radar) Raw Data," *IEIE Annual conference Proceedings*, Vol. 20, No. 2, 1997, pp. 1225~1228.
- 2) Lancashire, D. C., Barnes, B. A. F. and Udall, S. J., "Block Adaptive Quantization," *U.S. Patent 6 255 987*, July 3, 2001.
- 3) Kwok, R. and Johnson, W. T. K., "Block Adaptive Quantization of Magellan SAR Data," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 27, No. 4, 1989, pp. 375~383.
- 4) Lim, S. J., Lee, H. I., Kim, S. Y. and Nam, C. H., "An Optimization Method for BAQ(Block Adaptive Quantization) Threshold Table Using Real SAR Raw Data," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 20, No. 2, 2017, pp. 187~196.
- 5) Younis, M., Boer, J., Ortega, C., Schulze, D., Huber, S. and Mittermayer, J., "Determining the Optimum Compromise between SAR Data Compression and Radiometric Performance-An Approach Based on the Analysis of TerraSAR-X Data," *IGARSS 2008, IEEE International Geoscience Remote Sensing Symposium*, 2008, pp. III-107~III-110.
- 6) Martone, M., Brautigam, B. and Krieger, G., "Quantization Effects in TanDEM-X Data," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 2, 2015, pp. 583~597.
- 7) Zan, F. D. and Guarnieri, A. M., "TOPSAR: Terrain Observation by Progressive Scans," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 44, No. 9, 2006, pp. 2352~2360.
- 8) Hasso, A., Jacksi, K. and Smith, K., "Effect of Quantization Error and SQNR on the ADC Using Truncating Method to the Nearest Integer Bit," *ICOASE 2019, International Conference on Advanced Science and Engineering*, 2019, pp. 112~117.
- 9) Lloyd, S. P., "Least Squares Quantization in PCM," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-28, No. 2, 1982, pp. 129~137.