

# 디지털 신호처리 알고리즘의 동적 스케일링 고정소수점 구현법

임지은, 성원용

서울대학교 전기공학부

e-mail : [jelim@dsp.snu.ac.kr](mailto:jelim@dsp.snu.ac.kr), [wysung@snu.ac.kr](mailto:wysung@snu.ac.kr)

## Dynamic Scaling Method for Fixed-point Implementation of Digital Signal Processing Algorithms

Jieun Lim, Wonyong Sung  
School of Electrical Engineering  
Seoul National University

### Abstract

A dynamic scaling scheme is developed to resolve the overflow problem in fixed-point system which is optimized by simulation-based range estimation method. When a signal is larger than the expected value, the system dynamically changes the scaling factor of the input signal and internal variables to remove overflow. Finally, the system recovers scale factors after a given period of time. An adaptive noise canceller was implemented with the proposed method.

### I. 서론

디지털 신호처리 알고리즘을 경제적으로 구현하기 위해서는 고정소수점 연산 방식을 사용하는 것이 필요하다. 그러나 고정 소수점 연산 방식은 오버플로우가 발생할 수 있고 양자화 잡음의 영향을 많이 받을 수 있기 때문에 신호를 적절히 스케일링해야 하며 word length를 최적화하는 것이 필요하다. 만약 conservative estimation 방식을 사용하여 신호의 범위를 크게 가정하면 오버플로우가 발생할 가능성은 줄어들지만 구현에 필요한 word length가 길어지기 때문에 하드웨어를 구현하는 cost가 증가하거나 양자화 잡음의 영향이 커질 수 있다. 반대로 시뮬레이션을 통해 얻은 신호들의 통계적 특성을 이용하여 신호 범위를 추정하는 경우[1] 하드웨어를 구현하는 cost는 줄어들지만 신호가 예상했던 범위를 벗어나게 되면 오버플로우가 발생하여 성능에 나쁜 영향을 준다. 그러므로 시스템 내부에서 scaling을 통해 overflow를 방지하는 것이 필요하다.

본 연구에서 제시하는 방법은 시뮬레이션에 의한 방법으로 고정 소수점 시스템을 최적화 한 후 어떤 신호의 크기가 원래 가질 수 있는 범위보다 커지는 경우 그 신호가 가지는 범위를 키우도록 신호 처리 시스템의 scale을 다시 구성하는 것이다. 그리고 신호처리 시스템이 동작 중에 scale factor를 바꾸기 때문에 해당 신호에 연결된 내부 신호의 값도 동시에 스케일링을 한다.

이 논문은 ITSoc 핵심설계인력양성사업과 BK21 프로젝트의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

### II. 제안된 스케일링 방식

#### 2.1 신호 흐름도 분석

본 제안되는 방법에서는 실시간 동작 시 내부 신호의 연산과정에서 신호가 너무 커져서 오버플로우가 생긴다고 판단이 되면 쉬프트 횟수를 바꾸어서 오버플로우를 방지한다. 이 때 입력 신호 이외에도 내부의 신호도 바뀌어야 한다. 따라서 본 방법의 구현을 위해서는 신호 처리 흐름도를 분석하여 신호들 간의 관계를 알아낼 필요가 있다.

먼저 입력 신호의 scale factor를 1로 한다. 그리고 같은 scale factor를 가지는 신호간의 덧셈과 뺄셈, 상수와 곱해지는 경우, delay( $z^{-1}$ )를 통과하는 경우는 scale factor가 변하지 않는다. 그러나 0이 아닌 scale factor를 가진 두 신호를 곱하는 경우에는 scale factor가 둘의 합이 된다. 반대로 두 신호를 나누는 경우에는 scale factor가 둘의 차이가 된다. 예를 들면 autocorrelation 값은 scale factor가 +2가 되는데 이를  $R(0)$ 로 normalize한 normalized autocorrelation 값은 scale factor가 0이 된다.

이렇게 정해진 scale factor는 overflow가 발생하여 각 신호들을 shift 시켜주어야 할 때 사용된다. Scale factor가 1인 입력 신호를  $S$ -bit만큼 scaling하여 IWL을 증가시켜주는 경우 내부의 scale factor가 1인 모든 신호들은 역시  $S$ -bit 만큼 shift된다. 그리고 scale factor가 0인 경우는 변함이 없으며 scale factor가 2인 경우는  $2S$ -bit만큼 shift된다.

#### 2.2 Scale adaptation unit을 이용한 scaling

시스템에서 오버플로우가 발생하는지 확인하기 위해서는 내부 신호를 관찰해야 하는데 이 때 모든 연산을 다 관찰할 필요는 없다. 입력과 곱셈기의 출력을 관찰하는 것으로 충분하다. 먼저 관찰하는 노드에 오버플로우가 발생하게 되면 scale adaptation unit에 알려진다. 또한 시스템의 입력이나 관찰하는 노드의 입력이 시뮬레이션 시의 test input보다 많이 큰 경우 overflow가 발생할 확률이 큰 것으로 판단해 역시 scale adaptation unit에 알려지게 된다. 이러한 경우 scale adaptation unit에서는 입력의 scale factor를 증가시킨다. 동시에

내부 신호들도 신호 흐름도를 분석한 결과에 따라 scale factor를 증가시킨다. 예를 들면, autocorrelation 값들은 두 배로 shift되어야 하며 normalized autocorrelation 값의 경우는 shift를 하지 않는다.

Scale adaptation unit에서는 매 샘플마다 오버플로우 여부를 체크하며 시스템에서 오버플로우가 더 이상 발생하지 않는다고 판단되면 scale factor를 원래대로 회복시킨다. 즉 과거의 T sample동안 오버플로우가 발생하지 않았으면 scale factor를 정상적으로 회복시킨다. 이 때 T의 값은 신호처리 시스템의 동적인 특성을 고려해서 결정을 하며 필터의 경우 그 차수로 T 값을 정하는 것이 좋다.

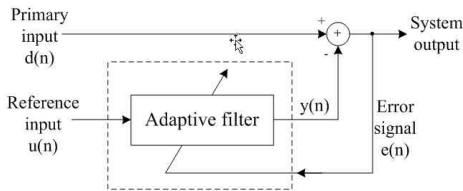
Scale adaptation unit에서는 현재의 scale factor값이 나오며 또한 이 scale factor를 증가 또는 감소시킬지 결정을 한다. 그리고 오버플로우가 발생할 경우 이 scale factor를 이용해 신호들을 shift시킨다. 또한 내부의 state가 저장된 register의 경우는 scale adaptation unit이 내보내는 증가 또는 감소 신호에 따라서 현재 저장된 값을 해당 신호의 scale factor 값에 따라 shift시켜 저장한다.

### III. Adaptive noise canceller의 예

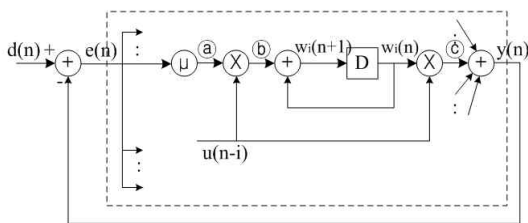
제안된 스케일링 방법을 이용하여 고정 소수점 adaptive noise canceller를 설계하고 기존의 설계 결과와 비교하였다. LMS adaptive filter를 포함한 noise canceller의 신호 흐름도는 그림 1(a)에 나타내었으며 adaptive filter의 자세한 신호 흐름도를 그림 1(b)에 나타내었다[2]. 그림 1(b)의 filter는 64 tap으로 이루어져 있다.

먼저 부동 소수점 방식의 시스템을 구현한 뒤 오버플로우를 발생시키지 않도록 충분한 IWL을 할당하여 고정 소수점 시스템을 구현하였다. 그리고 시뮬레이션에 기반한 range estimation 방식을 이용하여 테스트 입력에 대한 최적의 IWL을 찾아 새로운 시스템을 구현하였다. 마지막으로 오버플로우를 해결하기 위한 scale adaptation unit을 시스템에 추가하였으며 unit은 입력, 곱셈기를 모니터링한다. 각 신호에 할당된 IWL은 표1과 같다.

각 입력은 54,000개의 sample로 이루어진 0과 1 사이



(a) Adaptive noise canceller의 block diagram



(b) i번째 tap weight에 대한 상세 신호 흐름도  
그림 1 Adaptive noise canceller

표1 각 신호들의 IWL

	By conservative method	By simulation
d(n)	-2	-2
u(n)	0	0
e(n)	-2	-2
Ⓐ	-3	-3
Ⓑ	-3	-5
w <sub>i</sub> (n+1)	-2	-3
w <sub>i</sub> (n)	-2	-3
ⓒ	-2	-3
y(n)	-2	-2

의 오디오 신호이며 일반적인 입력과 오버플로우를 발생시키는 두 가지 입력에 대한 SNR 비교 결과를 표 2에 기록하였다. 오버플로우가 발생하지 않았을 경우에는 scale adaptation unit을 추가하여도 결과는 변화가 없다. 하지만 입력에 오버플로우를 발생시키는 데이터가 존재할 경우 시스템 내부에서 오버플로우가 발생하여 SNR이 심각하게 저하되며 이 경우 발생하는 에러는 매우 크므로 SNR에 큰 영향을 미치게 된다. 이것을 scale adaptation unit을 이용하여 scale을 유동적으로 바꾸어 주었을 경우에는 데이터 손실이 발생하지 않아 SNR 성능을 회복한 것을 알 수 있다.

표 2 SNR 비교 결과

SNR (dB) (vs. floating pt)	w/o overflow	w/ overflow
Simulation-based 방식	42.35	-10.81
Saturation unit 사용	42.35	38.74
Scale adaptation unit 추가	42.35	35.23

### IV. 결론

본 논문에서는 고정 소수점 구현 시 오버플로우에 의한 문제를 없애기 위해 scale을 신호의 값에 따라 자동으로 변화시키는 방법을 제시하였다. 이를 위해 scale adaptation unit을 설계하고 시스템의 신호 흐름도를 분석하여 unit이 오버플로우를 감지하면 해당 신호의 scale을 변화시켜 오버플로우가 발생하지 않도록 하였다. 그 예로 unit을 adaptive noise canceller에 적용해 오버플로우를 제거하여 SNR 성능을 향상시켰다. 이 방법은 모든 종류의 신호처리 알고리즘의 고정 소수점 구현에 이용할 수 있으며 시스템의 오버플로우를 없애는 동시에 경제적으로 구현할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] W. Sung and K. -I. Kum, "Simulation-based word-length optimization method for fixed-point digital signal processing systems," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 43, pp. 3087-3090, Dec. 1995.
- [2] J. R. Glover, "Adaptive noise cancelling applied to sinusoidal interferences," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-25, pp. 484-491, Dec. 1977.