

# 유사 선형 위상 특성을 갖는 IIR 필터군을 이용한 Wibro용 디지털 상하향 변환 연구

정회원 장 형 민\*, 이 원 철\*

## A Digital Up-Down Conversion for Wibro Repeater using IIR Filters having Almost Linear Phase Response

Hyung-min Chang\*, Won-cheol Lee\* *Regular Members*

요 약

OFDM 방식을 사용하는 Wibro(Wireless Broadband Internet) 시스템의 중계 과정에서 발생하는 지연 시간을 최소화하여 복조 과정에서 고려될 수 있는 심볼간 간섭 발생을 방지하기 위해 Wibro용 디지털 상하향 변환 과정의 전체 처리 지연 시간을 최소화하기 위한 방안이 필수적이다. 특히 디지털 처리단에서 적용되는 채널화 필터는 일반적으로 FIR 형태로 구성되지만 고도의 필터 특성을 위해 비교적 많은 수의 계수 값들을 요구하며, 이로 인해 과도한 처리 지연 시간을 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 기존 채널화 필터의 크기 응답을 최대한 보존하면서 안정성을 갖는 IIR 필터를 설계하는 방법과 IIR 필터 본연의 비선형적인 위상 특성 보정을 위해 전대역 통과 IIR 필터를 구성하는 기법을 소개하고 이 두 기법을 통합한 IIR 필터군을 제안한다. 또한 IIR 필터군이 갖는 비선형 위상 특성을 좀 더 개선하며, 처리 복잡도를 개선하기 위해 전체 IIR 필터군을 다상 필터 구조로 변환하는 방안을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 IIR 필터군을 적용한 디지털 상하향 변환 구조는 전체 처리 시간을 단축할 수 있을 뿐 아니라 우수한 신호 품질을 유지하게 됨을 시뮬레이션을 통해 입증한다.

Key Words : IIR filter, Polyphase Filter Bank, Digital Up-Down Converter, time delay, Wibro, repeater

ABSTRACT

The repeater for wireless broadband internet (Wibro) system using OFDM demands the short processing delay to eliminate inter-symbol interference resulted from the time delay greater than the guard time. Towards this, the total system delay of repeater is expected to be minimized as possible as it can without distorting signal quality. In general, the FIR-type of filter is commonly deployed as a channelization filter, but due to its large amount of coefficients for producing prerequisite filter response the excessive large time delay occurs. To withstand this problem, the paper proposes the method for designing IIR filter whose response almost identical to that of the original filter. Moreover, in order to linearize the phase response of the designed IIR filter, this paper also introduce the way of designing the all-pass filter to be cascaded works for linearizing phase response of the channelization as well as the de-channelization filter. To achieve the further improvement in linearization of the phase response and reduction of the overall complexity, this paper tries to transform the integrated IIR filter group into the structure in polyphase style. The computer simulation verifies that the integrated IIR filter group designed in this paper reveals the relatively short processing delay without harming the acceptable signal quality.

※본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신 및 신호처리연구실 (hmchang@amcs.ssu.ac.kr, wlee@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS208-12-538, 접수일자 : 2008년 12월 3일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 20일

## I. 서 론

무선 통신 서비스 사업자는 다양하고 고품질의 무선 통신 서비스를 사용자에게 공급하기 위해 기지국 증설을 통한 인프라 구축을 추구하였다. 그러나 서비스 가입자 수의 증가 및 이에 따른 서비스 품질 유지를 위해 대부분의 통신 서비스 사업자들은 기존 고가의 기지국에 비해 상대적으로 설치 및 유지 보수비용이 저렴하면서도 음영 지역에 대한 통신망 커버리지 확충이 가능한 중계기 설치를 주된 통신 인프라 구축 방법으로 운용하고 있다. 이러한 중계기 시스템은 기지국과 사용자 사이에 중계 역할을 수행하며, 기지국으로부터의 거리, 채널환경 등 여러 가지 요인에 의해 전력이 약해진 수신 신호를 증폭하고 간섭을 제거한 후 사용자에게 다시 전송하게 된다.

최근 고속 무선데이터 통신 분야에서 Wibro (Wireless Broadband Internet)와 같은 데이터 통신용 시스템은 전송률 측면에서 효율적인 직교주파수 분할다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 주로 사용한다[1]. 이러한 직교주파수분할다중화 방식은 심볼간 간섭(Inter-Symbol Interference)에 의한 성능 저하를 막기 위해 심볼 사이에 보호 구간(Guard Interval)을 필요로 한다. 보호 구간은 지연 확산(Delay Spread)을 감안하여 사전에 결정되기 때문에 송신단과 수신단 사이에서 전송 지연이 발생하여 지연 확산이 직교주파수분할방식의 보호 구간보다 커지게 되면, 수신과정의 복조 과정에서 심볼간 간섭을 유발시킨다[2]. 따라서 송신단과 수신단 사이에서 발생하는, 특히 중계 과정에서 발생하는 지연 시간이 심볼간 간섭을 유발시켜 시스템 성능을 열화시키는 현상을 방지하기 위해 중계기의 지연 시간을 감소시키기 위한 방안이 요구된다.

본 논문에서는 Wibro 중계기 시스템의 지연 시간을 감소시키기 위하여 상하향 변환기에서 스펙트럼 마스크 규격을 만족시키기 위해 일반적으로 사용되는 FIR(Finite Impulse Response) 구조가 갖는 높은 처리 지연 시간 특성을 보완하기 위해 이를 IIR(Infinite Impulse Response) 필터로 대체하는 방법에 대하여 제안하였다. 이를 위하여 기존에 사용되는 FIR 필터를 안정성을 갖는 IIR 필터로 모델링하며, 이와 별도로 비선형 위상 특성을 선형화하기 위한 위상 보정용 전대역 통과 필터 구성에 대하여 소개한다. 또한 추가적인 신호 품질 향상 및 지연

시간 감소를 위해 IIR 필터군을 다상(Polyphase) 필터 구조로 변환하는 방법에 대하여 제안한다.

본 논문의 구성 상 제 II장은 제안한 전체 다상 필터 및 IIR 필터를 이용한 상하향 변환 처리 구조를 설명하였고, 제 III장에서는 필터의 크기 응답을 성형하면서 안정성을 보장하는 IIR 필터 모델링하는 기법과 위상 보정용 전대역 통과 적용 알고리즘을 포함하는 IIR 필터군에 대하여 설명한다. 제 IV장에서는 본 논문에서 제안하는 브랜치 필터에 IIR 필터 구조를 적용한 다상 필터에 대하여 설명하였고, 제 V장에서는 모의실험 결과를 통한 제안한 방법의 성능을 고찰하고, 마지막으로 제 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 전체 다상 필터 및 IIR 필터를 이용한 상하향 변환 처리 구조

일반적으로 중계기에서 사용하는 디지털 상하향 변환기의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 하향 변환기는 여러 개의 데시메이터를 포함하며, 각 데시메이터는 데시메이션 필터와 다운샘플러로 구성된다. 상향 변환기도 역시 여러 개의 인터플레이터를 포함하며, 각 인터플레이터는 업샘플러와 인터플레이션 필터로 구성된다. 본 논문에서는 데시메이션 필터 및 인터플레이션 필터 중 일부를 다상 필터 구조로 사용하며, 다상 필터의 각 브랜치 필터에 본 논문에서 제안한 크기 응답을 형성하는 IIR 필터 및 위상 응답을 보정하는 전대역 통과 필터를 포함하는 IIR 필터군을 적용하여 일반적으로 사용하는 FIR 필터를 대체하여 사용한다.

그림 2에 본 논문에서 제안한 알고리즘 및 구조를 적용한 Wibro 중계기 시스템의 상하향 변환기 구조를 도시하였다. 그림 2에서 제안한 알고리즘 및 구조를 적용한 하향 변환기 구조는 신호의 주파수를 이동시켜주는 NCO(Numerically Controlled

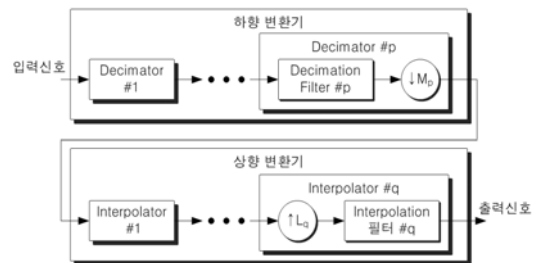


그림 1. 중계기의 상하향 변환기 구조

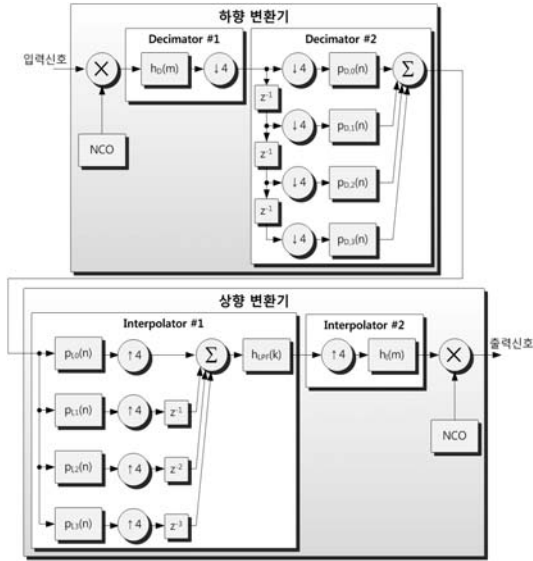


그림 2. 제안한 알고리즘 및 구조를 적용한 Wibro 중계기 시스템의 상하향 변환기 구조

Oscillator) 와 CIC(Cascaded Integrator- comb) 필터를 이용하여 하드웨어적으로 간단하게 구현 가능한 첫 번째 데시메이터, 그리고 IIR 필터군으로 각 브랜치 필터를 갖는 다상 필터 구조의 두 번째 데시메이터로 구성되어 있다.

그림 2의 하향 변환기 구조에서  $h_D(m)$ 은 첫 번째 데시메이터의 CIC 필터이고, 이러한 CIC 필터는 오직 시간 지연과 덧셈 연산으로 구현이 가능하다. 그림 2의 두 번째 데시메이터에서 다상필터의 각 브랜치 필터는 본 논문에서 제안한 IIR 필터군으로 설계하였고, 각  $i$ 번째 브랜치의 IIR 필터군을  $p_{D,i}(n)$ 으로 나타내었다. 그림2에서 나타난 상향 변환기 구조는 하향 변환기 구조의 역 과정으로 구성되어 있는데, 하향변환기와는 다르게 첫 번째 인터플레이터의 마지막에 ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio) 개선을 위한 저역통과필터  $h_{LPF}(k)$ 를 추가한다.

상하향 변환기에서 다상필터의 브랜치 필터로 사용되는 IIR 필터군은 기존에 사용하는 FIR 필터의 크기 응답 특성을 보존하면서 최소위상을 갖기 때문에 필터의 지연 시간을 감소시킬 수 있고, IIR 필터의 불안정성 및 비선형적인 위상 응답 특성 문제를 해결할 수 있다. 또한 브랜치 필터를 IIR 필터군으로 사용하는 다상 필터를 사용함으로써 IIR 필터군이 갖는 비선형 위상 특성을 좀 더 개선하며, 처리 복잡도를 개선할 수 있다.

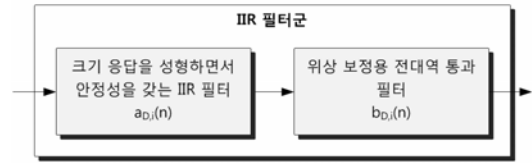


그림 3. IIR 필터군의 구조

### III. 상하향 변환기 적용 IIR 필터군

본 논문에서 제안하는 그림 2의 상하향 변환기에서 다상필터의 브랜치 필터로 사용된 IIR 필터군은 일반적으로 채널화 필터로 사용되는 FIR 필터의 고도의 필터 특성을 위한 많은 수의 계수 값들로 인해 발생하는 처리지연 시간을 단축하기 위해 사용된다. IIR 필터군은 지연 시간 단축을 위해 IIR 필터를 사용하지만, 일반적으로 IIR 필터가 나타내는 문제점을 해결하여 안정성을 갖고 비선형적인 위상 왜곡 특성을 보상하여 신호 품질을 열화를 방지한다. 이러한 IIR 필터군의 구조는 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서  $a_{D,i}(n)$ 는  $i$ 번째 브랜치의 크기 응답을 성형하는 IIR 필터의 임펄스 응답이며, 기존 FIR 필터의 크기 응답 특성을 이용하여 안정성을 보장하고 최소위상 특성을 갖도록 설계한다. IIR 필터군의 첫 번째 필터를 설계하는 자세한 방법은 추후

III-1절에서 설명한다. 또한  $b_{D,i}(n)$ 는 IIR 필터  $a_{D,i}(n)$ 의 비선형적인 위상 왜곡을 개선하는 역할을 수행하는 IIR 형태의 전대역 통과 필터 임펄스 응답이다.  $b_{D,i}(n)$ 의 계수 값은  $a_{D,i}(n)$ 을 계수로 갖는 IIR 필터의 출력 신호와 이상적인 원래의 FIR의 출력 신호를 이용하여 III-2절에서 설명할 적응 필터 알고리즘의 수렴을 거쳐 추출할 수 있다. 즉, 예상되는 입력을 이용하여 적응 필터 알고리즘을 통해 위상을 보정하는 전대역 통과 필터를 설계한다.

본 논문에서 제안하는 IIR 필터군은 크기 응답을 성형하면서 안정성을 갖는 IIR 필터와 위상 보정용 전대역 통과 필터를 직렬로 연결하여, IIR 필터의 불안정성 및 비선형적인 위상 특성과 같은 문제점을 해결하면서 필터 고유의 처리 지연 시간을 기존의 채널 필터로 사용되는 FIR 필터보다 줄일 수 있다.

#### 3.1 필터의 크기 응답을 성형하면서 안정성을 보장하는 최소위상 IIR 필터 모델링하는 기법

본 필터 설계 알고리즘은 필터의 스펙트럼과 유사한 크기 응답 특성을 가지며 안정성이 보장된 IIR 필터를 설계한다<sup>[3]</sup>. 이를 위하여 기존에 주어진 FIR

필터를 사용하여 전체적인 IIR 필터의 전달함수, 즉  $H(z)$ 에 관련한 수식을 도출하고, 이를 IIR 필터의 형태로 근사화시키기 위한 알고리즘을 설명한다. 이때 IIR 형태로 근사화된 전달함수를  $H(z)$ 로 정의하며 아래 식 (1)과 같다.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Mz^{-M}}{1 + a_1z^{-1} + \dots + a_Nz^{-N}} \quad (1)$$

식 (1)에서 분자 다항식과 분모 다항식의 차수는 각각  $M$  과  $N$  이며, 본 알고리즘을 통해 구성되는 IIR 필터는 항상  $M \leq N$  조건을 만족하도록 설정한다. 본 논문에서 제안한 IIR 필터 설계 알고리즘은 식 (1)의 필터 전달 함수 구성 계수 값들을 취득함과 동시에 일반적인 IIR 필터 설계 과정에서 가장 문제시 되는 안정성 보장 문제를 해결한다. 이를 통해 식 (1)의 분모 다항식 차수를 최소화 하면서, 주어진 필터 규격을 최대로 만족하는 IIR 필터를 얻게 된다.

일반적으로 주어진 주파수 응답 특성을 이용하여 IIR 필터를 설계하는 여러 가지 방안들이, 예를 들어 Prony 방법<sup>[4]</sup> 등, 소개되었으나 안정성이 보장되지 못한다는 점에서 실제 응용분야에 적용하기에는 어려움이 있다고 볼 수 있다. 본 연구에서 수행한 IIR 필터 설계 알고리즘은 이러한 문제점을 해결하고 또한 IIR 필터의 역필터 또한 안정성을 갖게 되는 최소 위상 특성을 갖는 IIR 필터 설계 알고리즘을 적용하였다. 또한 최소 위상 특성으로 인해 설계된 IIR 필터는 여타 동일한 크기 응답 특성을 갖는 일반적인 필터보다 가장 최소의 그룹 지연 특성을 가질 수 있으며, 이로 인해 시스템 본연의 지연시간을 최소화 할 수 있다.

그림 4는 본 연구에서 제안하는 IIR 필터의 설계 과정을 순서도로 나타내고 있다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 IIR 필터 설계를 위하여 사전에 요구되는 필터의 주파수 특성이 필요하다. 주어진 주파수 특성을 이용하여 필터의 임펄스 응답 시퀀스를 계산하게 되고 설계되는 IIR 필터의 최대 차수를 정하여 이에 해당하는 임펄스 응답 시퀀스의 자기 상관 값들을 계산한다. 이후 계산된 자기 상관 값을 사용하여 IIR 필터의 분모 및 분자 다항식의 차수를 순차적으로 증가시키면서 Levinson 다항식을 계산하게 되며 이를 이용하여 bounded-real 함수인  $\rho_{p+q}(z)$ 의 파라미터들을 선형 방정식을 통해 계산한다. 이때 구해진 함수  $\rho_{p+q}(z)$ 가 bounded-real 특성 조건을 만족하는지 여부를 체크한 다음 만약 만족

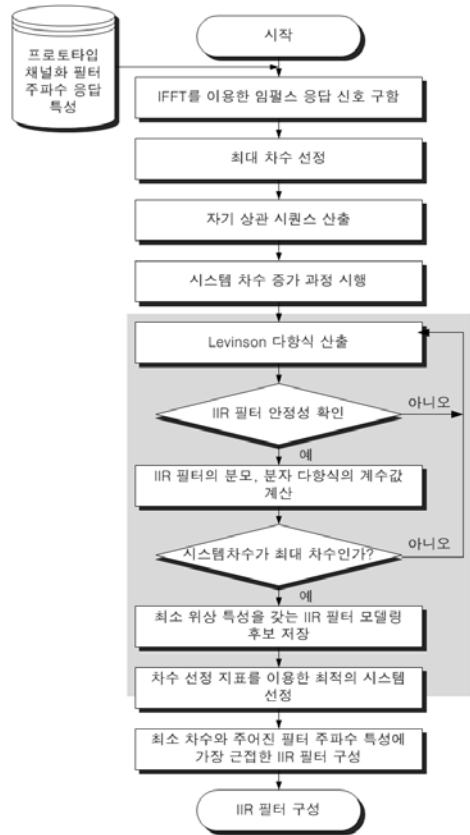


그림 4. 안정성을 보장하는 IIR 필터 설계 순서도

한다면 안정성이 보장된 IIR 필터를 구성하게 된다<sup>[4]</sup>. 이와 반대로 bounded-real 이 되기 위한 조건이 만족되지 못한다면 이 후 과정은 생략하고 다시 차수를 순차적으로 증가시키면서 다음 차수에 해당하는 bounded-real 함수 파라미터를 구하게 된다. 이러한 과정은 IIR 필터 차수가 정해진 최대 차수가 될 때까지 반복되며, 최종적으로 얻어진 다수의 IIR 필터들의 스펙트럼 크기 응답 특성과 사전에 주어진 원하는 주파수 크기 응답 특성과 비교하여 가장 적은 오차를 갖게 되는 IIR 필터를 선택하게 된다.

그림 5에서는 본 논문에서 사용한 FIR 필터와 이를 토대로 위의 알고리즘을 통해 설계된 IIR 필터의 크기 응답 특성을 비교하였다. 그림 5에 나타난 IIR 필터는 천이 구간의 급격한 변화를 명확히 나타내기 위하여 저지 대역 감쇠 특성이 작은 두 개의 IIR 필터를 convolution하여 생성하고, 이 필터는 저지 대역을 제외한 나머지 대역의 크기 응답 특성이 FIR 필터의 크기 응답 특성과 거의 일치하며, FIR 필터가 저지 대역에서 많은 null을 가지는

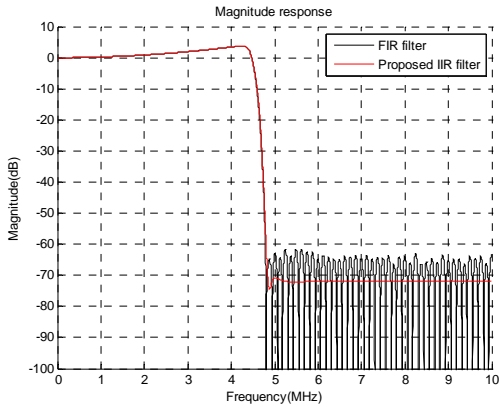


그림 5. FIR 필터와 제안한 IIR 필터의 크기 응답 특성 비교

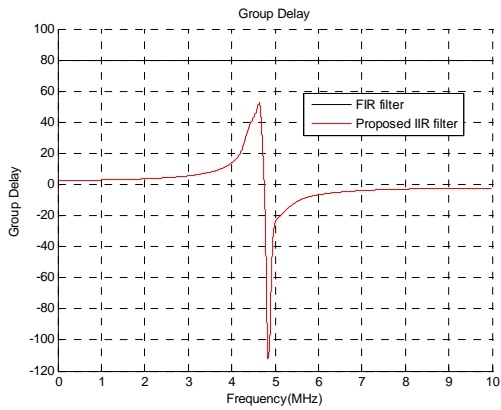


그림 6. FIR 필터와 IIR 필터의 그룹 지연 특성 비교

데 반해 IIR 필터는 평탄한 크기를 갖는다.

위상 응답 특성을 세밀하게 분석하기 위해 그림 6에서 FIR 필터와 IIR 필터의 그룹 지연을 비교하였다. tap수가 161개 이며 계수 값들이 대칭성을 갖는 FIR 필터는 선형 위상 특성을 갖기 때문에 일정한 그룹 지연 값을 갖고, 비선형 위상 특성을 갖는 IIR 필터는 그림 6에서 확인할 수 있듯이 일정하지 않은 그룹 지연 값을 갖는다. 특히 설계된 IIR 필터의 그룹 지연은 통과 대역의 끝 부분인 4.3MHz ~ 5MHz 사이에서 급격하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 그러나 IIR 필터가 최소위상 특성으로 설계되어 필터의 그룹 지연이 작다는 점을 고려하면 필터 통과에 소요되는 처리 지연이 단축된다는 결론을 얻을 수 있다.

3.2 위상 보정용 전대역 통과 적응 필터 알고리즘  
III-1절에서 설계한 IIR 필터가 갖는 본연의 비선형적인 위상 특성을 보상하기 위해 위상 보정용 전

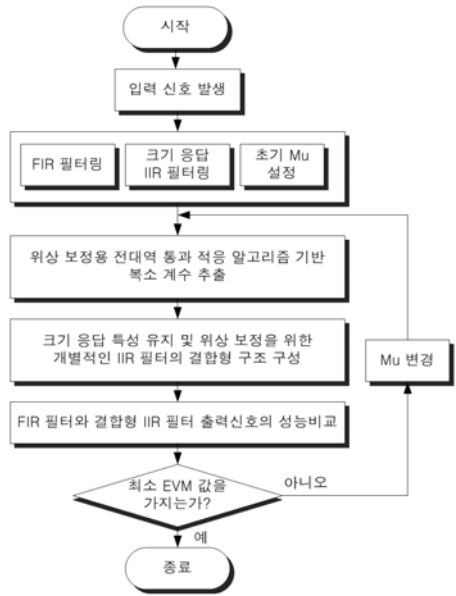


그림 7. 위상 보정용 전대역 통과 IIR 필터의 계수를 추출하는 과정

대역 통과 적응 필터 알고리즘은 주어진 혹은 예상되는 위상 보정용 필터의 입력 신호와 이상적인 출력 신호를 이용하여 steepest-descent 방식 계열의 LMS 적응 필터 알고리즘을 기반으로 수렴시켜 최적의 성능을 갖는 계수를 찾는다. 이렇게 계수를 추출하여 고정된 계수를 사용하는 위상 보정용 전대역 통과 필터의 계수로 사용한다. 즉, 전대역 통과 적응 필터 알고리즘을 이용하여 최적의 성능을 갖는 전대역 통과 필터를 설계하고, 실제 시스템에서는 상대적으로 시스템의 복잡도를 줄이면서 적응 필터의 우수한 성능을 가질 수 있다. 그림 7에 이러한 위상 보정용 전대역 통과 필터의 계수를 추출하는 과정을 순서대로 나타내었다. 이러한 적응 필터 및 고정된 계수를 사용하는 IIR 필터는 크기 응답 특성에 영향을 미치지 않으면서 위상 응답 특성만을 보정하도록 전대역 통과 특성을 갖는다. 또한 전대역 통과 적응 필터의 차수에 따라 신호 품질의 향상 정도를 조절할 수 있는데, 차수가 커질수록 위상 응답 특성이 더욱 선형화됨으로 인해 신호의 품질도 향상된다. 따라서 크기 응답 특성을 성형하면서 안정성을 유지하는 IIR 필터와 위상 보정용 전대역 통과 필터를 동시에 사용하면, 사전에 주어진 FIR 필터 통과 신호와 유사한 신호 품질을 유지하면서 필터의 지연 시간을 최소화 할 수 있다. 이와 같이 최적의 위상 보정용 전대역 통과 필터의 계수

값을 얻기 위한 위상 보정용 전대역 통과 적응 필터 알고리즘<sup>[5]</sup>의 처리 과정은 표 1과 같다. 여기서  $x(n)$ 은 주어진 혹은 예상되는 입력 신호이고,  $y(n)$ 은 적응 필터의 출력 신호이며, 이상적인 출력 신호는  $d(n)$ 이다. 그리고 적응 필터의 계수는  $W(n)$ 이고,  $\mu$ 는 수렴정도를 결정하는 변수이며 이 값을 조절하여 최적의 IIR 필터 계수 찾는다.

그림 8은 이러한 위상 보정용 전대역 통과 필터 알고리즘의 역할을 확인하기 위해 본 논문의 성능 검증에 사용된 크기 응답용 IIR 필터와 그에 따른 전대역 통과 필터, 그리고 이 두 필터를 하나로 묶은 필터의 그룹 지연을 나타낸다. 그림 8에서 점선과 가는 실선은 각각 크기 응답용 IIR 필터와 위상

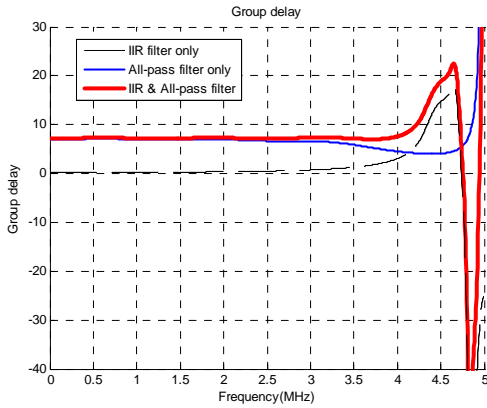


그림 8. 위상 보정용 전대역 통과 필터 유무에 따른 그룹 지연 비교

표 1. 위상 보정용 전대역 통과 필터 계수 값을 얻기 위한 적응 알고리즘 처리 루틴

$$y(n) = x(n - N) + \sum_{k=0}^{N-1} a_k(n)x(n - N + k + 1) - \sum_{k=0}^{N-1} a_k(n)y(n - k - 1)$$

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

$$\alpha_0(n) = 2x(n) - \sum_{k=0}^{N-1} a_k(n)\alpha_0(n - k - 1)$$

$$\beta_0(n) = -2y^*(n - 1) - \sum_{k=0}^{N-1} a_k(n)\beta_0(n - k - 1)$$

$$\alpha(n) = [\alpha_0(n - N + 1), \alpha_0(n - N + 2), \dots, \alpha_0(n)]^T$$

$$\beta(n) = [\beta_0(n), \beta_0(n - 1), \dots, \beta_0(n - N + 1)]^T$$

$$\gamma(n) = jy(n)$$

$$\nabla_n = -e^*(n) \begin{bmatrix} \alpha(n) \\ \gamma(n) \end{bmatrix} - e(n) \begin{bmatrix} \alpha^*(n) \\ \gamma^*(n) \end{bmatrix}$$

$$W(n + 1) = W(n) - \mu \nabla_n$$

보정용 전대역 통과 필터의 그룹 지연을 나타내었고, 이 두 필터를 모두 사용한 IIR 필터군의 그룹 지연은 굵은 실선으로 나타내었다. 여기서 크기 응답용 IIR 필터의 그룹 지연은 2.5MHz부터 비선형 특성을 갖는 것을 확인할 수 있는 반면에, IIR 필터군은 통과 대역에서 약간의 ripple이 있지만 4MHz까지 그룹 지연이 비교적 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 비록 통과 대역의 4.3MHz까지 완벽한 선형은 아니지만, IIR 필터의 위상 응답 특성을 선형화하여 신호의 왜곡을 방지할 수 있다.

#### IV. IIR 구조의 브랜치 필터를 갖는 다상 필터

본 논문에서 제안하는 다상 필터는 그림 9에서 나타낸 FIR 필터를 이용하여 얻을 수 있는 다상 필터[6]의 브랜치 필터를 III-1절에서 나타낸 요구되는 크기 응답을 기준으로 성형하는 IIR 필터와 III-1절에서 설명한 위상 보정용 전대역 통과 필터로 대체하여 구성된다. 이러한 IIR 형태의 브랜치 필터로 구성된 다상 필터를 설계하는 방법은 다음과 같다. FIR 형태의 브랜치 필터를 바로 IIR 필터로 변환할 경우 크기 응답의 천이 구간에서 급격한 변화를 IIR 필터로 설계하는데 무리가 있기 때문에 안정성을 보장하면서 적절한 크기 응답을 갖는 IIR 형태의 브랜치 필터가 생성되지 않는다. 따라서 가장 먼저 다상 필터로 구성하기 이전의 일반적인 FIR 필터를 III-1절에서 설명한 크기 응답을 성형하는 IIR 필터로 변환한다. 두 번째로 생성된 IIR 필터의 임펄스 응답을 구한다. 세 번째로 앞서 구해진 임펄스 응답을 이용하여 다상 필터의 각 브랜치 필터를 추출한다. 네 번째로 임펄스 응답으로부터 추출한 각 브랜치 필터를 다시 III-1절에서 설명한 크기 응답을 성형하는 IIR 필터로 변환한다. 다섯 번째로 기준이

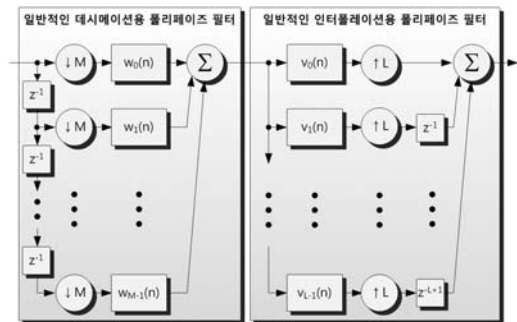


그림 9. 일반적인 다상 필터 구조

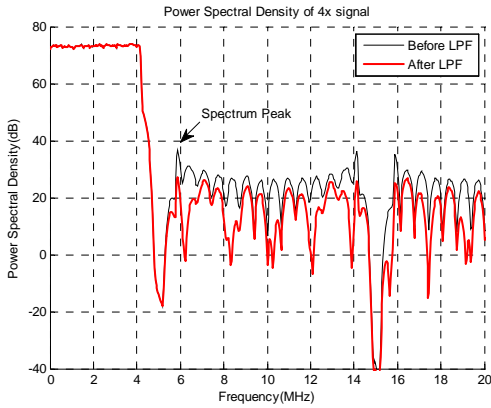


그림 10. 스펙트럼 피크 제거를 위한 저역통과필터 유무에 따른 스펙트럼 비교

되는 FIR 형태의 브랜치 필터와 유사한 성능을 갖기 위해 각 브랜치 필터에서 생성된 크기 응답 IIR 필터 이후에 III-2절에서 설명한 위상 보정용 IIR 필터를 추가하여 비선형적인 위상 응답을 보정한다.

여섯 번째로 나머지 브랜치 필터에 대하여도 다섯 번째 순서를 적용하여 다상 필터를 완성한다.

이렇게 생성한 IIR 구조의 브랜치 필터를 갖는 다상 필터는 동일한 시간 지연을 가질 때 일반적인 FIR 필터를 IIR 형태로 변환한 경우보다 더 우수한 신호 품질을 갖는다. 즉 동일한 신호 품질을 가질 때 더 적은 시간 지연을 갖는다.

그러나 다상 필터의 각 브랜치 필터를 IIR 구조로 변환한 경우 각 브랜치 필터의 위상 응답을 완벽하게 복원하지 못하여 전체 다상 필터 크기 응답의 저지 대역에서 스펙트럼 피크를 갖고, 그림 10에서 이를 확인할 수 있다. 이렇게 상향 변환 부분의 저지 대역에서 발생한 스펙트럼 피크를 제거하기 위하여 저역통과필터  $h_{LPF}(k)$ 를 설계하여 그림 2의 상향 변환 부분에서 추가하였다. 이러한 스펙트럼 피크는 일정한 주파수에서 발생하기 때문에 본 논문의 목적에 맞게 최소한의 차수를 가지면서 스펙트럼 피크가 발생한 주파수에서 크기 응답이 null을 갖는 저차의 저역통과 FIR 필터를 설계하여 시간 지연을 최소화하면서도 ACLR을 만족할 수 있다.

### V. 모의실험 결과 및 고찰

표 2 는 그림 2에 도시하고 본 논문에서 제안한 다상 필터의 브랜치 필터가 크기 응답을 형성하면서 안정성이 보장되는 IIR 필터와 전대역 통과 특

성을 이용하여 위상만을 보정하는 IIR 필터로 구성되는 다상 필터를 적용한 Wibro 중계기 시스템의 성능 결과를 정리한 표이다.

본 논문에서 제안하는 IIR 필터의 우수성을 확인하기 위해 제안한 시스템의 모의실험 결과를 KT에서 요구하는 Wibro 중계기 개발요구사항[8]과 비교하였다. 표 2에 나타난 order는 시스템에 사용한 모

든 위상 보정용 전대역 통과 필터의 차수를 나타낸 것이고, 개발요구사항의 시스템 지연(system delay)은 중계기 시스템의 입력부터 출력까지의 지연시간을 의미하지만 본 실험결과 시스템 지연은 중계기 시스템 중 상하향 변환기의 디지털 처리 과정의 지연 시간을 의미한다. 또한 EVM(Error Vector Magnitude)[7] 는 시스템 입출력 간의 신호 품질을 백분율로 나타내었고, ACLR은 지정주파수로부터  $\pm 4.77\text{MHz}$  이상 떨어진 주파수에서 측정된 평균전력밀도와 기본주파수대역내 최대 평균전력밀도의 크기 차이를 의미한다. 표 2에 나타난 모의실험 결과는 주로 위상 보정용 전대역 통과 적용 필터에 의해 결정되며, 표 1에 기술한 수식에서  $\mu$ 값을 변화시키면서 최적의 성능을 갖는  $\mu$ 값을 실험적으로 도출한다.

그림 11은 Wibro 중계기 시스템에서 사전에 정

표 2. 성능 결과

	Required Spec.	Case. 1	Case. 2	Case. 3
Order	-	7	9	12
System delay	$< 4\mu\text{s}$	$1.99\mu\text{s}$	$2.39\mu\text{s}$	$2.99\mu\text{s}$
EVM[7]	$< 5\%$	3.02%	1.65%	1.15%
ACLR (@ $\pm 4.77\text{MHz}$ )	$> 37.5\text{dB}$	42.5dB	45.7dB	44.7dB

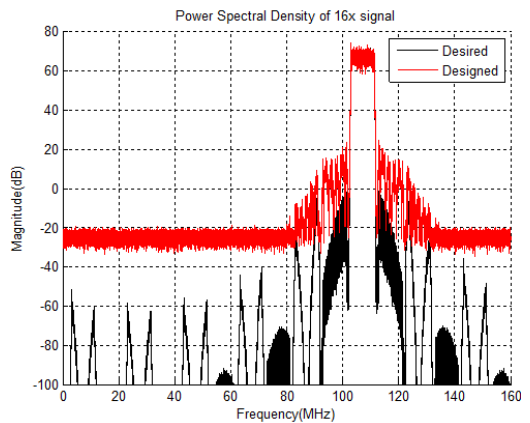


그림 11. FIR 필터를 이용한 경우와 제안한 시스템의 스펙트럼 비교

해진 FIR 필터를 이용한 경우와 본 논문에서 제안한 IIR 필터군을 적용한 다상 필터 구조를 이용한 경우의 스펙트럼을 비교하였다. 본 논문에서 제안한 IIR 필터군을 이용한 방식이 EVM 및 ACLR의 요구 규격에 만족하면서도 FIR 필터를 이용한 방식보다 지연시간을 FIR 필터를 사용한 시스템에 비하여 약 5~6 $\mu$ s 정도 줄여 시스템의 요구 규격을 만족시킬 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 Wibro 중계기 시스템의 시간 지연을 감소시키기 위하여 상하향 변환기에서 주로 사용되는 FIR 필터를 유사 선형 위상 특성을 갖는 IIR 필터로 대체하여 사용하였다. 본 논문에서 제안하는 IIR 필터는 기준이 되는 FIR 필터를 다상 필터로 구성한 후, 다상 필터의 브랜치 필터를 유사 선형 위상 특성을 갖는 IIR 필터로 구성한다. 유사 선형 위상 특성을 갖는 IIR 필터는 크기 응답을 성형하면서도 안정성을 보장하는 IIR 필터와 위상 보정용 전대역 통과 IIR 필터로 조합되어 사용된다. 이러한 방법으로 중계기의 요구 조건에 맞는 성능을 유지하면서도 FIR 필터로 구성된 Wibro 중계기 시스템에 비하여 전체 시간 지연을 줄일 수 있다. 또한 FIR 필터를 대신하여 IIR 필터를 사용하는 방법은 중계기 시스템이 아닌 FIR 필터를 사용하는 시스템이면 어떤 시스템에서도 적용이 가능하다.

## 참 고 문 헌

[1] 이종현, 임승각, "OFDMA 기반 Wibro 중계국에서 루프 간섭 제거 및 적응 등화기를 이용한 성능 개선에 관한 연구," *전자공학회 논문지*, Vol. 43-TC, No.11, pp.141-148, Nov. 2006.

[2] 조용수 역, "무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초," 대영사, 2000.

[3] 이원철, 박운용, "안정성을 갖는 최소 위상 ARMA 시스템 모델링을 이용한 코히어런트 임펄스 통신 수신단 참조 신호 발생기법," *한국통신학회논문지*, Vol.29, No.12C, pp.1606-1616, 2004. 12.

[4] Monson H. H., "Statistical Digital Signal Processing and Modeling," *John Wiley & Sons, INC.*, 1996.

[5] B. Farhang-Boroujeny, S. Nooshfar, "Adaptive Phase Equalization using All-Pass Filters," *IEEE Int. Conf. on Comm.*, 23-26 June 1991, pp.1403-1407, Vol.3.

[6] R. E. Crochiere, L. R. Rabiner, "Multirate Digital Signal Processing," *Prentice-Hall*, pp.79-88, 1983.

[7] Song Ju Bin, A. H. M. Islam, "Distortion of OFDM Signals on Radio-Over-Fiber Links Integrated With an RF Amplifier and Active-Passive Electroabsorption Modulators," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 26, No. 5, pp.467-477, Mar., 2008.

[8] "휴대인터넷 ICS 중계기 개발 요구사항," *KT 구 매전략실*, 2007. 3.

장 형 민 (Hyung-min Chang)

정회원



2005년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
2007년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 석사  
2007년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정  
<관심분야> SDR 기술, 통신신호처리

이 원 철 (Won-cheol Lee)

정회원



1986년 2월 서강대학교 전자공학과 학사  
1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사  
1994년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사  
1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

<관심분야> Cognitive Radio, SDR 기술, Position Location based on UWB, CDMA2000/WCDMA, Smart Antenna