

라이시안 채널 검출기를 사용한 빔포밍의 성능개선

Beamforming Performance Improvement using a Ricean Channel Detector

윤은철

(건국대학교 전자과, 조교수)

Key Words : 빔포밍, 라이시안 채널, 프리앰블, MCS

목 차

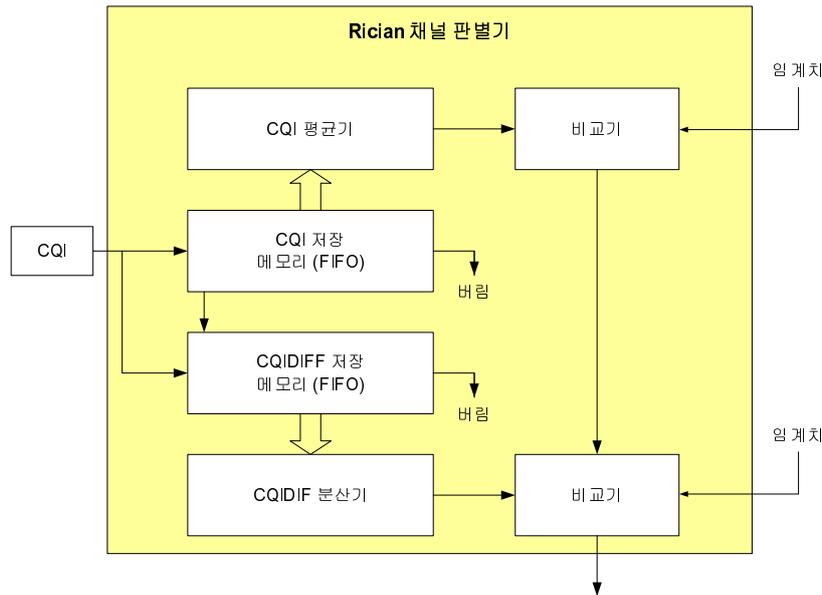
I. 개요, II. 구현방법, III. 시뮬레이션, IV. 결론

I. 개요

채널이 비 가시 경로 (Non-Line-Of-Sight(NLOS))일 경우, 단말이 고속으로 이동하게 되면 큰 도플러 주파수가 발생하여 채널 크기가 빠르게 변화하는 채널 페이딩이 발생한다. 채널 페이딩에 의한 전송의 열화를 극복하게 위하여 다중 안테나에 빔포밍(Beamforming) 기법을 적용할 수 있는데, 전송 빔 파워를 목적 단말쪽으로 집중시켜 다이버시티 이득을 얻음으로써 채널 품질을 향상시킬 수 있다. 채널이 가시 경로 (Line-Of-Sight (LOS))일 경우 채널은 라이시안 (Ricean)이 되며, 채널 페이딩 효과는 거의 사라지게 된다. 만약 기지국에서 채널이 라이시안 인지의 여부를 판단할 수 있다면, 높은 모듈레이션 및 코딩 방법 (Modulation and Coding Scheme (MCS))을 선택하여 전송량을 늘릴 수 있다. 무선 기지국은 단말들을 향해 프리앰블 신호를 보내는데, 이는 단말들이 기지국과 신호의 동기를 맞추고, 기지국으로부터의 채널 품질을 측정하는데 사용된다. 기지국은 단말이 추정한 채널 품질 정보를 수집하는데, 이를 바탕으로 스케줄링을 수행하고 MCS를 선택한다. 만약 기지국이 프리앰블 신호를 전송할 때 빔포밍을 사용하게 되면 전송 빔이 공간상의 특정 방향으로 편중되게 되어 그 방향에 속하지 못한 한 단말들은 채널이 매우 낮은 채널 품질을 가지고 있다고 판단하게 된다. 따라서 빔 밖에 존재하는 단말들에 대해서 편향된 스케줄링이 발생하게 되고, 실제 사용 가능한 MCS보다 훨씬 낮은 MCS가 기지국에 의해 단말에 주어지게 된다. 따라서 현재 프리앰블 신호를 전송할 때는 단일 안테나를 사용하여 신호의 파워를 전체 공간 상으로 균일하게 방사시킴으로써 스케줄링이 공정하게 이루어지도록 하고 있다. 하지만, 균일하게 방사되는 프리앰블 시그널링에 의한 MCS의 선택은 실제 데이터를 전송할 때 빔포밍을 통해 향상될 수 있는 채널 품질의 개선을 고려하지 못한다는 문제를 가지고 있다. MCS가 선택 가능한 수준보다 낮게 선택되면 평균 전송량이 저하되는데, 이러한 문제는 채널이 라이시안일 경우 더 심각하게 된다. 본 논문에서는 단말이 프리앰블 신호를 통해 추정한 채널 품질 정보 (Channel Quality Indicator (CQI))를 바탕으로 기지국에서 채널의 종류가 라이시안인지를 판단하는 방법을 제시한다. 채널이 라이시안일 경우 기지국에서는 높은 MCS를 할당함으로써 평균 전송량을 개선할 수 있다. 기지국이 CQI를 사용하여 단말의 속도를 추정하는 방법은 [1]에 소개되었다. 그러나, [1]에서는 단말 속도의 대략적인 범위를 파악할 수 있는 대신 정확한 속도의 산출이 어려우며, 특히 단말의 속도가 1km/hr로서 매우 낮은 라이시안 채널에 대해서는 속도의 추정이 제대로 되지 못하는 문제가 있다. 본 논문에서는 CQI 정보만을 사용하여 채널이 저속의 라이시안 채널인지를 판별하는 라이시안 채널 검출기를 소개한다.

II. 구현방법

라이시안 채널 검출기는 기본적으로 CQI값들을 25개 저장하는 메모리와, 연속된 두 CQI값의 차(CQIDIF)를 25개 저장하는 메모리와, 메모리에 저장된 CQI값들의 평균을 구하는 평균기, 메모리에 저장된 CQIDIF 값들의 분산을 구하는 분산기로 구성된다. 메모리 소자는 일종의 FIFO(First-In-First-Out) 기능을 하는 큐라 할 수 있으며, 새로운 값이 입력될 때마다 이미 저장된 값들을 한 방향으로 쉬프트 시킴으로써 새로 입력되는 값을 저장하고, 가장 오래된 값을 버리는 기능을 한다. 채널이 라이시안인지를 판단하는 결정함수로서 CQIDIF의 분산을 사용한다. 또한 Metric과 비교할 임계치로서 상수 1을 사용한다. **그림 1**은 라이시안 채널 검출기 모듈을 보여준다.

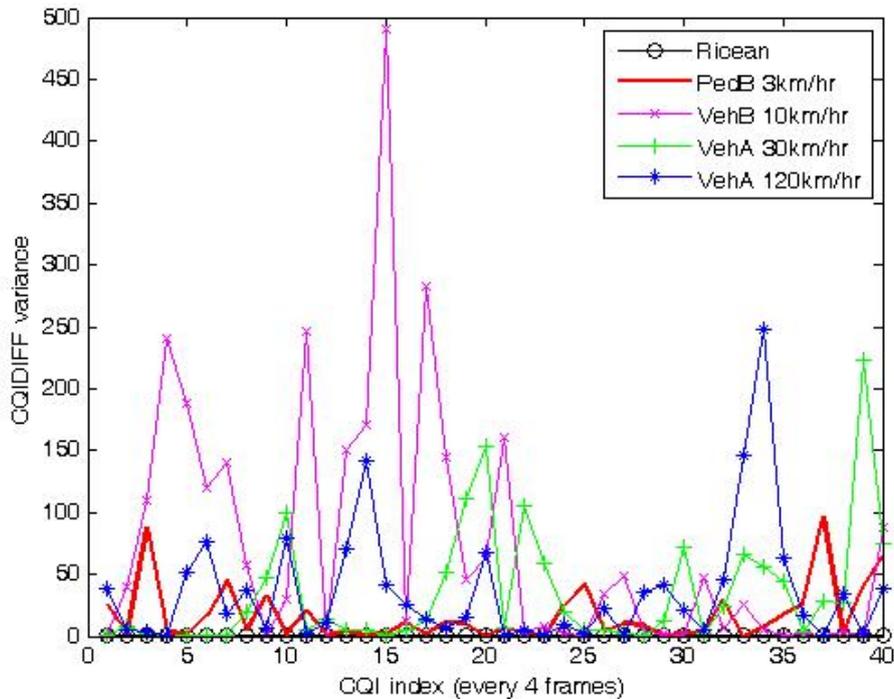


<그림 1> 라이시안 채널 검출기의 구조도

라이시안 채널 검출기의 동작 원리는 다음과 같다. 기지국이 최초로 단말의 존재를 인식하면 처음 150 프레임 동안은 MCS를 변경하는 작업을 하지 않는다. 이는 일종의 위밍업 시간으로 약 150프레임 동안 기다리는 역할을 한다. 와이맥스 시스템에서는 단말이 CQI를 보통 주기적으로 (예: 4 프레임마다 한번씩) 기지국으로 전송한다. 기지국은 새로운 CQI를 수신하면 이를 CQI 큐에 보관한다. CQI 큐는 총 25개의 CQI값을 저장한다. 마찬가지로 CQIDIF 큐는 새로 계산된 CQIDIF를 저장한다. 위밍업 시간 중에는 새로운 CQI입력을 기다리면서 새로운 입력 값이 있을 때마다 CQI와 CQIDIF의 저장 작업을 반복한다. 위밍업 시간이 끝나면 새로 입력된 CQI값을 큐에 새로 저장한 후, 저장된 25개 CQI값들의 평균을 구한다. 만약 CQI값들의 평균이 최대 임계치(27dB) 이상이거나 최소 임계치(-4dB) 이하일 경우는 추가 작업 없이 다시 새로운 CQI를 기다리는 상태로 돌아간다. 이렇게 하는 이유는 채널 페이딩 시 아주 강한 채널 이득이 발생하거나 아주 약한 채널 이득이 발생할 수 있는데, 이러한 경우 CQI로서 최대 임계치 혹은 최소 임계치가 할당될 수 있기 때문이다. 이러한 상태가 얼마간 유지되면 마치 라이시안 채널과 같은 결과를 가져올 수 있으므로 CQI에 의해 선택된 MCS를 변경하는 작업을 하지 않는다. CQI 평균이 최대 및 최소 임계치 사이에 존재하거나 일정시간이 지나도 CQI 평균이 최대 임계치 상태에 머물러 있으면 CQIDIF 큐에 저장된 25개 CQIDIF값들의 분산을 구한다. 이 분산 값이 1보다 작을 경우는 라이시안 채널이라 판단하고, 1보다 크거나 같을 경우는 라이시안 채널이 아니라고 판단한다. 고속으로 이동하는 단말이 LOS일 경우 채널은 역시 라이시안이 되는데, 이 경우 CQI의 평균은 최대 임계치에 도달할 상태로 일정시간 이상 머물러 있게 되므로 라이시안 채널로 판별된다.

III. 시뮬레이션

ITU-R [2] 을 기준으로 채널의 종류를 변경해 가면서 CQIDIF의 분산을 시뮬레이션하여 위에서 제시한 라이시안 채널 검출기의 성능을 평가해 보았다. **그림2**는 여러 채널 타입에 대한 CQIDIF 분산의 시뮬레이션 결과를 커브로 표시한 것이다.



〈그림 2〉 라이시안 채널 검출 결정함수의 결과

그림2를 통하여 채널이 라이시안일 경우만 결정함수의 결과가 임계치보다 보다 작아짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 제시된 라이시안 채널 검출기의 정확성을 보여준다. 데이터 전송에 빔포밍을 사용할 경우에 있어서 기지국은 채널이 라이시안이라 판단했을 경우 CQI에 의해 선택한 MCS를 다시 재조정하여 평균 전송량을 향상시킬 수 있다. 채널이 라이시안 일 경우 CQI에 의해 선택된 MCS를 두 단계 올려 할당하는 방식을 와이맥스를 기반으로 하는 셀룰라 시스템 [3], [4] 에 적용하여 평균 전송량을 조사해 보았다. 57개의 다중 셀을 포함하는 셀룰라 시스템에서 기지국들이 각각 빔포밍 기법을 사용하는 경우에 있어서 라이시안 검출기를 통한 성능향상 결과는 다음과 같다. 시뮬레이션상에서 발생하는 모든 채널이 라이시안일 경우 평균 쓰루풋이 10%가 증가하였고, 채널의 발생이 **표 1**의 혼합 채널비율을 따를 경우 평균 쓰루풋이 2% 증가하였다. 즉 라이시안 검출기를 통한 평균 전송량의 개선량은 발생하는 채널 분포에서 라이시안 채널의 비중이 커질수록 더 증가함을 알 수 있다.

표 1. 채널의 구성 비

채널 Type	구성 비율 (%)
Ped-B 3km/h	30
Veh-B 10km/h	30
Veh-A 30km/h	20
Veh-A 120km/h	10
Rician	10

IV. 결론

본 논문에서는 채널이 라이시안 채널인지를 판별하는 라이시안 채널 검출기의 구현방법과 그 이용에 대해 소개하였다. 제시된 라이시안 채널 판별 방법은 구현 방법이 간단하고 정확성이 높으며, 매 프레임 단위로 채널이 라이시안인지의 여부를 점진적으로 감지할 수 있다. 채널이 라이시안 일 경우 빔포밍 전송의 MCS를 높게 책정하면 평균 전송률을 높일 수 있음을 셀룰라 시스템 수준의 시뮬레이션을 통하여 보였다. 라이시안 검출기를 통한 평균 전송량의 개선 정도는 발생 채널의 분포에서 라이시안 채널의 비중이 커질수록 더 증가함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Sung-Woo Park, June Moon, and Jang-Hoon Yang, "Method and Apparatus for Estimating Velocity of Mobile Station Using Channel Quality Indicator in a Mobile Communication System.", United States Patent (A1-20080130512), June 5, 2008.
2. "Air interface for fixed broadband wireless access systems", IEEE Standard 802.16eTM, 2005.
3. "Guideline for evaluation of radio transmission technologies for imt-2000", Recommendation ITU-R M.1225, 1997.
4. Erik Westman, "Calibration and Evaluation of the Exponential Eective SINR Mapping (EESM) in 802.16.", Master's Degree Project, Stockholm, Sweden Sep. 7, 2006.