

실 환경 보상기법을 이용한 C-ITS 채널 특성 측정 결과

Measurement Results of C-ITS Channel Characteristics Using Real Environment Compensation Technique

김청섭 · 김혁제 · 임종수 · 정영준

Chung-Sup Kim · Hyuk-Je Kim · Jong-Su Lim · Young-Jun Chong

요 약

본 논문에서는 고속 주행환경 채널 측정에 적합한 SIMO 채널 사운더의 내부 파라미터를 설계하고, 5.89GHz C-ITS가 시범 설치된 여주 스마트 하이웨이에서 제안된 측정 방식을 적용하여 광대역 채널 특성을 측정하고 결과를 분석한다. 실 환경에 적합한 수신 배열 구조 설계를 바탕으로 도플러 위상 변화에 대한 선형 기울기 보상방식을 적용하여, 멀티패스 환경에서 도래각 정보 및 주변 환경에 의한 도플러 영향에 대하여 신뢰할 수 있는 결과를 제시하였다.

Abstract

In this paper, we design the internal parameters of the SIMO channel sounder suitable for the measurement of the high-speed travel environment channel, and measure the characteristics of the wide-band channel by applying the proposed measurement method to the Yeosu Smart Highway piloted at 5.89 GHz C-ITS. Based on the design of the receiving array structure suitable for the real environment, the linear slope compensation method for the Doppler phase shift is applied to provide a reliable result on the Doppler effect due to the incoming angle information and the surrounding environment in the multipath environment.

Key words: Angle of Arrival, Smart Highway, Channel Sounder, C-ITS, Doppler Effect

I. 서 론

기존의 지능형 교통체계(Intelligent Transport System: ITS)를 이용해서 단순히 도로기반 위치 및 구간 중심의 교통정보를 수집 제공했으나, 최근에는 도로, 자동차, 보행자 간 협력시스템(Co-operative ITS: C-ITS)으로 빠르게 진화하고 있다. 국내의 경우에도 C-ITS 기술개발 및 상용화를 통하여 시범사업을 추진 중에 있다. C-ITS 채널 환경은 움직이는 차량과 도로, 차량의 속도로 인하여 기존

의 채널 환경과는 차이가 있고, 기존의 채널 시나리오를 바탕으로 모델링한 파라미터는 실제 C-ITS 환경과 상이할 것으로 판단된다. 따라서 C-ITS에 맞는 시나리오를 수립하여 채널 파라미터를 추정하여 기본 모델과 차이점 분석이 필요하다. 기존의 WINNER II^[1] 채널 모델의 경우 D2-moving network에서 고속 주행하는 고속철에서 지붕에 설치된 중계국(moving relay station)을 통한 무선통신 범위에 한정하여 주변 구조물들의 상대적인 움직임에 의해 발생하는 채널 현상을 측정하는 일부 연구를 수행하

「이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임. No. 2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 시공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술 개발」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· Manuscript received September, 22, 2017 ; Revised October, 18, 2017 ; Accepted October, 24, 2017. (ID No. 20170922-099)

· Corresponding Author: Chung-Sup Kim (e-mail: kcs@etri.re.kr)

였다. 그러나 실제 대다수 C-ITS 통신 채널 환경으로 예상되는 고속도로 moving network 환경에서 채널 측정은 수행하지 않았다. 따라서 C-ITS 환경에 적합한 고속도로 주행 상황에서 발생하는 멀티패스 현상 측정이 필요하며, 그 중 상대적인 속도에 의해 발생하는 최대 도플러 주파수 측정은 C-ITS 통신의 패킷 전송 시간을 결정하는 중요한 요소가 될 수 있다. 여기서는 실 환경에서 채널 사운드 보상 알고리즘을 수행 후 도래각(Angle of Arrival: AoA) 변화 및 상대적인 구조물들에 의한 도플러 현상에 대한 측정 결과를 제시하고 분석한다.

II. 시나리오 및 채널 사운드

중부내륙 고속국도 근처에 위치한 여주 스마트 하이웨이 C-ITS 시험도로는 총 연장은 7.7 km이며, 스마트 톨링 등 다수의 구조물을 설치되어 있다. 또한 실제 차량들이 이동하는 고속도로가 테스트 주행 도로 바로 옆에 위치하여 고속 주행하는 차량에 의한 상대적인 페이딩 및 도플러 효과 측정이 가능하다.

채널 측정 주변의 인공 구조물은 그림 1(a)와 같이 송신 지점 뒤편으로 2개의 큰 구조물과 주행 방향으로 3개의 주요 구조물이 도로상에 있다. 송신지점에서 A1의 거리는 후방으로 400 m, A2는 100 m, 전방으로 A3는 750 m, A4는 840 m 거리에 위치해 있고, A5는 측정범위를 벗어나 있다. 그림 1(b)와 같이 100 km 속도로 고속 주행하는 차량 지붕에 수신 안테나를 설치하였다. 그리고 수신 안테나와 동일하게 1.7 m 높이로 전 방향 이득이 일정한



(a) 측정환경 (b) 수신
(a) Measurement environment (b) RX. antenna

그림 1. 채널 측정 환경
Fig. 1. Channel measurement environment.

표 1. 채널 사운드 특성

Table 1. Channel sounder characteristics

Measurement campaign		
Scenario	C-ITS (MS: 100 km/h)	
Measurement zone	Yeosu smart highway	
Channel sounder (ETRI 5.9 G)		
TX power @PA	[dBm]	35
Center frequency	[GHz]	5.89
BW(MAX)	[MHz]	200
CIR length	[PN code, μ s]	1,024, 10.2
Sample rate	[MHz]	200
Max Doppler(velocity)	[km/h]	~550
Drop & snap shot rate	[μ s, #]	655, 100>
RX array/structure	[#, λ]	4, [0.5, 2, 1]

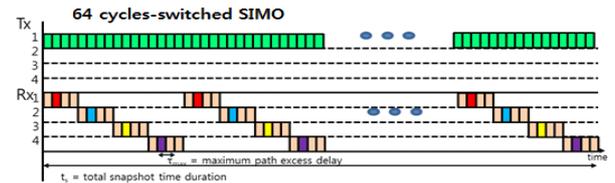
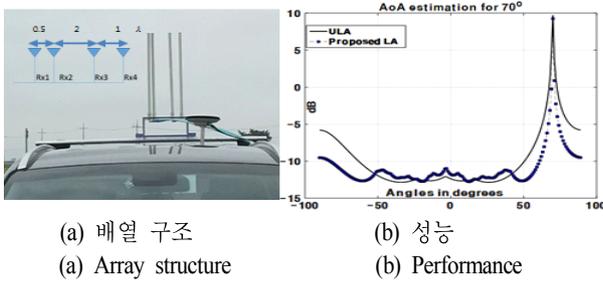


그림 2. 채널 사운드 데이터 획득 구조
Fig. 2. Channel sounder data acquisition structure.

송신 안테나를 설치하였다. 표 1은 측정에 사용한 채널 사운드러^[2]의 특성이며, 중심주파수 5.89 GHz를 중심으로 최대 100 MHz 대역에 대해 채널 환경 측정이 가능하다. 측정에 이용한 시간(이하 drop)은 655 μ s이고, 도플러를 측정하기 위해 1 drop 내 64개의 순간 측정(이하 snap shot)들을 구성하여 차량 간 상대속도에 의해 발생 가능한 경우들을 포함한 최대 ± 550 km/h 까지 도플러를 측정할 수 있도록 설계하였다. 그림 2는 송신 안테나 1번에서 송신하고 수신부 안테나를 차례대로 스위칭하면서 동작하는 64 cycle-switched 채널 사운드러의 데이터 획득 구조를 나타낸다.

III. 수신 성능 파라미터 보상

C-ITS채널에서 AoA 정보와 도플러 파라미터를 추출하기 위해서는 정밀한 시간-주파수-공간 분해능 구현 설계가 필수적이다. 이를 위해서는 실제 측정을 시작하기 전

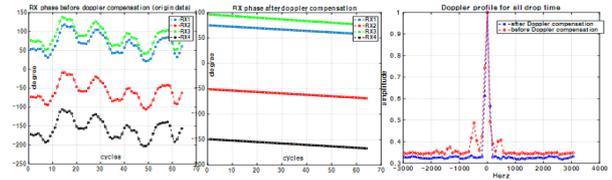


(a) 배열 구조
(a) Array structure
(b) 성능
(b) Performance

그림 3. 도래각 보상
Fig. 3. AoA calibration.

에 근거리에서 특정신호를 송신하고, 채널 측정 시스템에서 이를 수신하여 RF를 포함한 수신 안테나의 mismatch 등을 적절히 교정하여야 한다. 그림 3(a)는 제안한 Random-ULA 배열 안테나 구조이며, 정형 선형배열 구조보다 배열 벡터(array manifold)의 모호성이 없어지고, 개구면 증가로 인한 공간 빔 형성 폭을 감소할 수 있다. 그림 3(b)는 CI(Correlative Interferometer) 방위 추정 알고리즘을 사용하여 70° 입사 방향의 신호에 대한 방위 추정 결과를 나타낸다. 제안한 배열구조(푸른색)의 성능이 일반적 선형 배열구조(검정색)보다 빔 폭이 작아지는 효과로 인해 동일한 SNR에서 0.5° 이상의 오차율을 향상할 수 있다.

실 환경에서 정확한 도플러를 정확하게 측정하기 위해서 RF 특성에 기인한 64 cycle의 초기 위상변화들을 보상하는 선형성을 이용한 추정(Linear Regression: LR) 알고리즘을 이용해 보상하는 방식을 제안한다. 기존 보상 알고리즘은 랜덤하게 발생하는 위상 특성에 대해 평균화 방식을 사용하였으나, 제안한 방식은 실 환경 측정데이터에 대해 선형 기울기를 추정하고, 역으로 보상하는 방식으로 위상변화로 인한 도플러 확산을 4배 이상 감소하는 효과가 있다. 그림 4(a)는 수신 차량 속도가 0인 경우의 보상 전 결과이며, 그림 4(b)는 제안한 방식(식 (1))을 사용한 후 선형 위상 결과이다. 그림 4(c)는 도플러 보상하기 전 (red) 결과와 도플러 보상 후 결과를 주파수 스펙트럼 영역에서 나타내었다. 도플러를 보상한 결과는 보상전의 결과에 비해 스펙트럼의 신호 대역폭 및 잡음 레벨이 감소하고, 불필요한 성분 또한 제거됨을 알 수 있다. 또한 속도를 가지는 경우도 속도에 의한 오프셋을 기준으로 선형성을 구하여 보상이 가능하므로 측정 drop마다 환경이 급



(a) 보상 전
(a) Before compensation
(b) 후
(b) After
(c) 성능
(c) Performance

그림 4. 도플러 보상
Fig. 4. Doppler calibration.

변하는 실 환경 측정 시나리오에 직접적으로 적용할 수 있어 도플러 확산 추출에 유리하다. 식 (1)의 H_{data} 는 LOS(Line Of Sight: LOS)신호로 추정된 시간 지연 지점에서 추정된 선형 기울기 보상 값(64 cycle에 대한 주파수 및 위상 보상, complex value)을 안테나 별로 수신된 모든 측정 데이터($H_{channel data}$)에 대해 나누어 준 결과이다.

$$H_{data} = \frac{H_{channel,cal}}{LR(2\pi f_{dest}, \theta_{est})} \quad (1)$$

IV. 측정 결과

식 (2)는 t (시간, N_t :시간영역 개수), τ (지연, N_τ :지연영역 개수), r (수신 안테나, N_r :수신안테나 개수)차원 데이터의 전력 평균화인 delay-power profile^[3]을 표현하였고, 식 (3)은 측정 시간동안 모든 임펄스 응답인 $h(t, \tau, r)$ 에서 방향추정 알고리즘을 이용하여 AoA(ϕ_{AoA})를 추정된 평균 스펙트럼이다. 식 (4)는 특정 수신안테나(1번)에 대해 $h(t, \tau, r_1)$ 의 64개의 cycle(t) 지점에서 DFT(Discrete Fourier Transform)를 수행하여 채널 변화율(도플러 변화)을 분석하는 수식이다. 여기서 N_{cycle} 은 snap shot 개수이다.

$$P(t, \tau) = \frac{1}{N_r} \sum_{r=1}^N |h(t, \tau, r)|^2 \quad (2)$$

$$P(\phi) = \frac{1}{N_t} \frac{1}{N_\tau} |h(t, \tau, \phi_{AoA})|^2 \quad (3)$$

$$P(f) = \frac{1}{N_{cycle}} \frac{1}{N_\tau} |DFT[h(t_{cycle}, \tau)]|^2 \quad (4)$$

표 2. 채널 측정 결과

Table 2. The measurement result for smart highway.

Scenario		@S-Highway	WINNER D2a
BS/MS height(meter)		1.7/1.7	30/2.5
LOS/velocity		LOS(100 km/h)	LOS(384 km/h)
AoA(°)	μ (median)	92	90
	σ (RMS spread)	34.1	31.6
Doppler (km/h)	μ (median)	-97.4	-100(-380 km/h. Trans)
	MAX(median)	-184	2~3 times @Doppler μ

표 2는 식 (2)~(4)를 이용하여 100 km/h 속도의 주행차량에서 수신한 결과에 대한 분석이다.

표 2의 결과를 보면 WINNER D2a 모델(시골 환경에서 350 km/h로 주행하는 기차에서 수신, 수신 안테나 높이는 2.5 m)과 단순비교는 어렵지만, 유사한 결과를 도출하였다. 직선 주행도로에서 AoA의 평균값은 92°로 예상한 결과와 차이가 없고, 확산 값의 경우 주행도로의 가드레일 등 효과로 인해 D2a 모델에 비해 다소 증가하였다고 판단된다. 도플러 결과의 경우, 평균값은 송신지점에서 멀어지는 방향으로 주행하여 -97.4 km/h로 측정되었으며, 최대 값의 경우, 고정 구조물 등에 의한 1차 반사 효과로 평균 도플러의 2배 정도로 나타남을 확인하였다. 그러나 관찰하고자 했던 주변 고속도로 차량에 의한 2, 3차 반사에 의한 도플러 주파수는 특정 snap shot에서는 확인이 가능하지만, 고정 구조물들에 의한 영향이 지대하여 전체 측정 시간 동안은 소량만 관측되었다. 만약 단말국을 실제 고속도로에 위치하여 테스트를 한다면 속도를 가지는 상대 차량에 의한 도플러 영향분석이 가능할 것으로 판단된다.

그림 5는 특정 순간(지점) 28th drop에서 측정된 결과를 주변의 구조물 및 단말국 속도등과 조합하여 적절한 결과를 도출하고 있는지 지연-속도 영역에서 검증한 부분이다. GPS로 추정된 단말국 위치가 송신지점에서 650 m이며, 그림 1(a)의 테스트 장소 구조물과 거리 비교를 통해 진행 반대 방향에 위치한 A1, A2 구조물에 의한 0.7 μ s (200 m, LOS 지점으로 부터 거리), 2.7 μ s (~800 m) 반사파 지연에 해당하고, 차량의 진행방향(92.7°)으로 형성이 되어 -100 km/h에 해당하는 도플러 주파수를 보이는 반면

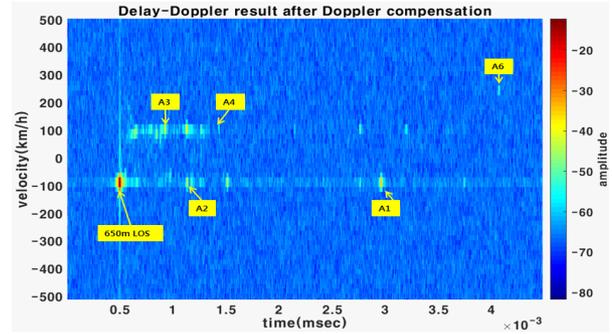


그림 5. 28th drop에 관측한 Delay-Doppler
Fig. 5. Delay-Doppler observed at 28th drop.

에, 수신지점의 전방에 위치한 A3, 4는 0.35 μ s(105 m), 1 μ s(300 m) 반사파 지연수신에 해당하고 100 km/h의 도플러 주파수를 형성함을 확인하였다. 여기서 A6의 경우, 주변 고속 주행 차량 상대속도에 의해 형성한 ~200 km/h 도플러 주파수로 판단된다.

V. 결 론

본 논문은 C-ITS 통신에서 필수적인 고속 주행차량에서 수신 채널 환경을 정밀하게 측정하기 위해 측정 순간마다 보상이 가능한 방식을 실제 측정에 적용하여 실 환경에서 측정 정밀도가 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 C-ITS 환경이 구축되어 있는 스마트 하이웨이 환경에서 채널 측정된 결과를 제시하고 분석하였다. 향후에는 타 지역의 개활지 고속주행 측정결과와 비교를 통한 연구 및 실제 고속도로 환경에서 V2V(Vehicle to Vehicle) 통신 채널에 대한 측정 연구를 수행할 예정이다.

References

- [1] IST-4-0277756, WINNER II, D1.1.2 V1.2, WINNER II Channel Models, Feb. 2008.
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless Communication: Principles and Practice*, IEEE Press, Prentice Hall PTR, 1996.
- [3] C. Schneider, M. Narandzic, M. Kaske, G. Sommerkom, and R. S. Thoma, "Large scale parameter for the WINNER II channel model at 2.53 GHz in urban macro cell", *2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference*, May 2010.