상관도 연산을 통한 AIS 데이터 충돌 회피 성능 분석

성주형, 조성윤, 전원기, 박경원, 권기원*
한국전자기술연구원

{jh.sung, sycho, jeonwg, kwpark, kwkwon}@keti.re.kr

Performance Analysis of AIS Data Collision Avoidance based on the Correlation Calculation

Juhyoung Sung, Sungyoon Cho, Wongi Jeon, Kyungwon Park, Kiwon Kwon*
Korea Electronics Technology Institute

요 약

해양환경에서는 선박의 안전한 항해를 위해 무선통신 기반의 선박 자동 식별 시스템(automatic identification system: AIS)을 사용할 수 있다. AIS는 다중접속 방식으로 시분할 다중접속(time division multiple access: TDMA)를 사용하므로 충돌 없는 데이터 전송을 위해 특정한 시간에서 반송파를 감지하여 다른 단말의 통신 여부를 확인해야 한다. 기존에는 반송파 신호 세기의 임계값을 설정하여 다른 단말의 통신 여부를 확인하였으나, 무선 구간에서의 채널 변동성과 거리에 따라 변화하는 경로 손실로 인해 반송파 감지 정확도가 저하되는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 임계값 대신 참조 신호와의 상관도 연산을 이용하여 반송파를 감지하는 방법을 제안하고, 모의실험 결과와 비교하여 성능을 분석한다.

Ⅰ. 서 론

해상 환경에서는 선박의 항해 안정성을 위하여 선박 자동 식별 시스템(automatic identification system: AIS)을 사용하여 해상에 위치한 단말 사이의 통신, 해상과 육상에 위치한 단말 사이의 통신을 수행한다[1]. AIS는 초단파(very high frequency: VHF)에 위치한 160 MHz 인근의 대역에서 25 kHz의 대역폭을 점유하며, 다중접속을 위한 기법으로는 시분할 다중접속(time division multiple access: TDMA) 방식을 사용한다. 따라서, 특정 시점에서 AIS 데이터를 전송하기 위해 다른 단말의 AIS 통신 여부를 확인하여 데이터 충돌을 회피하는 것이 필요하다. 한편, AIS는 사용 목적 및 우선순위에 따라 class A, class B 단말을 사용하는데, class B 단말의 AIS는 CS(carrier sensing) 타이밍에 반송파 신호 세기를 측정하여 사전에 설정한 임계값에 따라 다른 단말의 통신 여부를 확인한다. 그러나 무선 채널의 페이딩에 의한 신호 세기의 변동, 통신 거리에 따른 경로 손실을 고려하였을 때, 임계값에 따라 다른 단말의 통신여부를 확인하는 방법은 정확도가 높지 않다. 현재 CS 타이밍에서 설정 가능한 반송파 신호 세기의 임계값의 최소값은 −107 dBm이고[1], 이는 해상 환경에서의 AIS 커버리지를 고려하였을 때, 상대적으로 높은 값이라고 볼 수 있어, 다른 단말의 데이터와 충돌할 확률이 높아진다. 본 논문에서는 이와 같은 반송파 신호 세기 방식의 문제를 해결하기 위해 상관도 연산을 통해 반송파를 감지하는 방법을 제안한다.

* 본 논문에서는 확률 변수 A에 대한 평균, 분산, 표준편차를 각각 μ_A, σ_A^2, σ_A로 표기한다. 추가로, 확률변수 A, B에 대한 공분산을 $Cov(A,B)$로 표기한다.

Ⅱ. 상관도 연산을 통한 반송파 감지 방법

AIS는 GMSK/FM(Gaussian Minimum Shift Keying/Frequency Modulation) 방식의 변조를 통하여 다음과 같은 아날로그 신호를 생성한다.

$$x(t) = \cos\left(2\pi f_c t + \phi_g(t)\right). \quad (1)$$

이 때, f_c는 중심 주파수를 나타내고, $\phi_g(t)$는 Gaussian 필터를 통과한 실제 보내고자 하는 정보가 포함된 메시지 신호이다. 한편, 수신단에서 수신한 신호는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$y(t) = \sqrt{P_r}x(t) + n(t). \quad (2)$$

여기서, P_r과 $n(t)$는 각각 수신신호의 크기와 열 잡음을 의미한다. 만약, CS 타이밍에서 다른 단말이 송신하지 않고 있다면 오직 열 잡음에 의한 신호만 감지된다. 한편, 식 (1)에서 $\phi_g(t)$는 전체적인 정현파 신호의 파형에 큰 영향을 미치지 않는다는 점에 착안하여, 본 논문에서는 상관도 계산을 위하여 아래와 같이 가장 기본적인 정현파를 수신단 참조신호로 사용한다.

$$z(t) = \cos 2\pi f_c t. \quad (3)$$

상관관계 연산을 위해, Pearson 상관계수를 사용하며, 확률 변수 A와 B에 대해 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\rho_{AB} = \frac{Cov(A,B)}{\sigma_A\sigma_B} = \frac{\mu_{AB}-\mu_A\mu_B}{\sigma_A\sigma_B}. \quad (4)$$

식 (4)에서 계산된 상관계수는 -1에서 1사이의 값을 가지며, 두 확률 변수 사이의 상관도가 클수록 상관계수의 크기는 1에 근접하며, 상관도가 작을수록 상관계수의 크기는 0에 근접한 값을 갖는다. 본 논문에서는 X, Y, Z, N을 각각 $x(t), y(t), z(t), n(t)$에 의해 샘플링 된 확률 변수로 정의한다.

Proposition 1. Y와 Z 사이의 상관계수 ρ_{YZ}는 X와 Z 사이의 상관계수 ρ_{XZ} 와 수신신호의 SNR(signal-to-noise ratio)로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\rho_{YZ} = \frac{\rho_{XZ}}{\sqrt{1+\frac{1}{\sigma_X^2 SNR}}}. \quad (5)$$

Proof) 열 잡음 신호와 참조신호는 독립 관계에 있으므로 N과 Z의 공분산 $Cov(N,Z)=0$ 인 사실을 이용하면 Y와 Z 사이의 공분산은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} Cov(Y,Z) &= Cov\left(\sqrt{P_r}X+N, Z\right) \\ &= \sqrt{P_r}Cov(X,Z)+Cov(N,Z) \\ &= \sqrt{P_r}Cov(X,Z). \end{aligned} \quad (6)$$

한편, Y의 분산은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma_Y^2 = \sigma_{\sqrt{P_r}X+N}^2 = P_r\sigma_X^2+\sigma_N^2+2\sqrt{P_r}Cov(X,N). \quad (7)$$

이 때, X와 N은 독립 관계에 있으므로 $Cov(X,N)=0$ 이므로, 식 (7)은 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_Y^2 &= P_r\sigma_X^2+\sigma_N^2 = P_r\sigma_X^2\left(1+\frac{\sigma_N^2}{P_r\sigma_X^2}\right) \\ &= P_r\sigma_X^2\left(1+\frac{1}{\sigma_X^2 SNR}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

따라서, 식 (6)과 식 (8)을 이용하면 Y와 Z의 상관계수는 다음과 같이 ρ_{XZ}와 수신신호의 SNR로 표현된다.

$$\rho_{YZ} = \frac{Cov(Y,Z)}{\sigma_Y\sigma_Z} = \frac{Cov(X,Z)}{\sigma_X\sigma_Z\sqrt{1+\frac{1}{\sigma_X^2 SNR}}} = \frac{\rho_{XZ}}{\sqrt{1+\frac{1}{\sigma_X^2 SNR}}}. \quad \blacksquare$$

*Proposition 1*로부터 상관도 연산을 기반으로 AIS 데이터의 충돌을 회피하기 위하여 다른 단말의 통신 여부를 확인하는 방법은 다음과 같다. CS 타이밍에 수신한 신호를 참조신호와 동일한 샘플링 비율로 신호를 샘플링하여 정현파의 참조신호와 상관도 연산을 수행한다. 만약 다른 단말이 통신하고 있지 않다면 오직 잡음신호만 존재할 것이므로 항상 0에 근접한 상관계수의 값이 계산될 것이다. 반대로 다른 단말이 통신하고 있다면 계산된 상관계수의 절대값은 항상 0보다 큰 값이 계산될 것이다. 이를 통해, CS 타이밍에서 AIS 데이터 충돌 회피 성능을 높일 수 있다.

Ⅲ. 모의실험 결과 분석

제안하는 상관도 연산 기반 데이터 충돌 회피 성능을 분석하기 위해, 다른 단말이 통신하고 있는 경우와 잡음신호만 존재하는 경우에 대해서 II절에서 도출한 수신신호의 SNR에 따른 상관계수의 이론적 결과와 모의실험을 통해 도출된 상관계수 결과를 비교하여 그림 1에 도시하였다. 채널 전파 모델은 AIS 인근 주파수 대역인 160 MHz에서 25 kHz의 대역폭을 사용하는 sea path 모델을 사용하였다[2]. 상관계수 결과를 0에서 1 사이의 값으로 나타내기 위해, 계산된 상관계수를 GMSK 변조신호와 정현파 참조신호 사이에 계산된 상관계수 값으로 정규화 시킨 이후, 절대값을 취하였다. GMSK 신호 변조를 위해 사용된 가우시안 필터의 3 dB 대역폭은 0.3이고, 상관도 연산을 위해 AIS의 2 비트 전송 시간 동안의 신호를 샘플링 하였다.

그림 1에서 파란색 실선과 초록색 실선은 각각 AIS 데이터가 전송중인 경우와 잡음신호만 존재하는 경우에

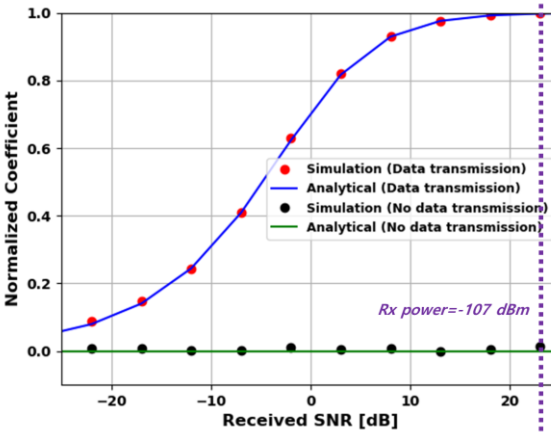

그림 1. 수신 신호의 SNR 과 다른 단말의 통신 여부에 따른 이론적 상관계수와 모의실험에 의해 도출된 상관계수 결과 비교

대한 SNR에 따른 이론적인 상관도 연산 결과이고, 빨간색 점과 검정색 점은 AIS 데이터가 전송중인 경우와 잡음신호만 존재하는 경우에 대한 특정 SNR에 따른 모의실험에 의한 상관도 연산 결과이다. 예측한대로 모의실험을 통해서도 CS 타이밍에 다른 단말이 AIS 데이터를 전송하고 있을 때, 수신신호의 SNR이 클수록 정규화된 상관계수는 이론적인 결과를 따르면서 1에 근접하지만, AIS 데이터가 전송되지 않고 오직 잡음신호만 존재하는 경우에는 수신신호의 SNR에 무관하게 정규화된 상관계수가 이론적인 결과와 동일하게 0에 근접한 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 한편, 참고문헌 [1]에 기술된 최소 임계값인 -107 dBm의 세기로 CS 타이밍에서 반송파를 감지하면 수신 SNR이 20 dB를 초과하는 범위의 신호만 감지가 가능하고, 그 이하의 값은 감지할 수 없어서 다른 단말의 AIS 데이터와 충돌이 발생할 가능성이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 AIS 데이터 충돌 회피를 위해, 상관도 연산을 통해 반송파를 감지하는 방법을 제안하였다. 정현파 기반의 참조 신호와의 상관도 연산을 통해 CS 타이밍에서 수신 신호의 SNR에 따라 다른 단말의 데이터 전송 여부에 따른 상관계수를 도출하였고, 모의실험을 통해 성능을 확인하였다.

ACKNOWLEGEMENT

이 논문은 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술원의 지원을 받아 수행된 연구임(스마트항로표지 현장시설 고도화, 20210636)

참 고 문 헌

[1] ITU-R M.1371-5, “Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime frequency band,” Feb. 2014.

[2] ITU-R P.1546-5, “Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4000 MHz,” Aug. 2019.