

저궤도 위성 AIS의 메시지 수신확률 분석

김병옥

한국해양수산연수원

Analysis of Message Receiving Rate for LEO-Satellite AIS

Byung-Ok Kim

Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

E-mail: kimbo60@hanmail.net

요 약

AIS(Automatic Identification System)는 선박과 육상 및 선박 상호간에 선박의 항행관련 정보를 상호 교환함으로써 안전항해를 제고하기 위하여 도입된 무선설비로서 그 활용도가 매우 높아지고 있으며 AIS 탑재 선박도 증가하고 있다. 그러나 AIS에서 사용하고 있는 초단파의 전파 특성으로 인하여 비교적 근거리 통신만 가능하고 장거리 선박추적 관리를 위한 용도로 활용하는 데는 어려움이 있었다. 이러한 통신권의 한계를 극복하기 위한 방안으로 저궤도 위성을 사용하는 위성 AIS의 도입에 대한 연구가 주요 선진국을 중심으로 추진되고 있으며, 성능을 제고하기 위한 기술 기준 연구도 진행되고 있다. 본 연구에서는 저궤도 위성을 사용한 AIS의 문제점인 메시지 수신확률을 분석하기 위하여 현재 사용 중인 지상파 AIS의 특성 및 저궤도 위성 AIS의 문제점을 분석하고 메시지 수신 확률에 대한 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 분석결과 위성 AIS는 지상파 AIS에 비하여 통신권이 크게 확대되는 반면 채널 용량의 한계 및 채널간 간섭으로 인하여 AIS 메시지 충돌이 심하게 발생하고 메시지 수신 확률이 매우 낮음을 알 수 있었다. 따라서 현재의 지상파 AIS 표준을 적용한 위성 AIS의 실시간 정보 교환은 사실상 불가능하며 위성 AIS의 메시지 수신 확률을 제고하기 위해서는 위성 AIS를 위한 별도의 표준을 제정할 필요가 있음을 알 수 있다.

키워드

위성 AIS, AIS 메시지 수신 확률

1. AIS의 특성

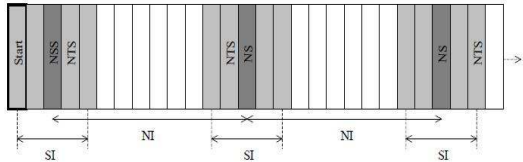
1.1 SOTDMA

SOTDMA(Self Organizing Time Division Multiple Access) 프로토콜은 시분할 된 슬롯의 효율성을 높이기 위하여 고정된 슬롯을 쓰는 것이 아니라 자체적으로 사용할 슬롯을 미리 확보하여 사용하도록 함으로써 유동적인 슬롯을 사용하고 있다. 따라서 통신을 개시하기 전에 전체 슬롯의 사용 여부를 확인하여야만 통신을 개시할 수 있도록 함으로써 슬롯 사용의 충돌을 피하고 있으며, 슬롯의 충돌이 발생할 경우에도 통신을 제어하는 특정국의 개입이 없어도 일정 시간이 경과하면 자체적으로 해결될 수 있도록 구성되었다.

AIS의 전원이 켜지면 슬롯의 사용 상태를 확인하기 위하여 1분 동안 완전한 하나의 프레임을 모니터링 한 후 송신을 개시하기 시작한다. 처음으로 송신의 개시를 알리는 슬롯이 NSS(Nominal Start Slot)이며, 이 후의 슬롯은 NSS를 기준으로 선택하게 된다. 동적정보를 전

송하는 주기에 따라 슬롯의 증가분 NI(Nominal Increment)가 정해지게 되며, 하나의 채널을 사용할 경우 총 2,250개의 슬롯을 분당 전송 횟수로 나누면 구할 수 있다. NSS로부터 NI만큼 떨어진(1개의 채널만을 사용할 경우) 기준 슬롯을 NS(Nominal Slot)라고 하며, NS를 기준으로 NI의 $\pm 10\%$ 에 해당하는 범위가 실제 다음 번 전송에 사용할 슬롯을 선택할 수 있는 범위인 SI(Selection Interval)가 된다. 이 범위 내에서 비어있는 슬롯을 실제 전송할 슬롯으로 선택하게 되는데, 전송에 실제 선택된 슬롯을 NTS(Nominal Transmission Slot)라고 한다. 전송할 슬롯이 선택되면 이 슬롯을 사용하여 하나의 데이터 패킷을 전송하는데, 이 패킷에는 slot time-out 정보와 slot offset 정보가 포함되어 있다. 따라서 통신권 내의 다른 AIS에서 각 슬롯의 사용 상태를 미리 예상할 수 있도록 되어 있기 때문에 상호 슬롯 충돌이 발생하지 않는다. slot time-out은 현재의 슬롯을 앞으로 몇 프로임 동안 계속적으로 사용할 것인지를 나타내는 것으로서 최소 4분에서 최대 8분까지 지정한 후

한 개의 프레임이 종료될 때마다 하나씩 감소시켜 나가도록 되어 있다. slot offset은 현재의 프레임 내에서 다음번 전송에 사용할 슬롯이 현재 사용 중인 슬롯으로부터 얼마나 증가하는 지를 나타내는 것이며, 현재의 프레임이 사용 슬롯을 예약한 마지막 프레임이 아닐 경우에는 slot offset은 무시된다.



<그림 1> SOTDMA 프로토콜

이렇게 SOTDMA 프로토콜은 시분할 된 모든 슬롯의 현재 사용 상태 및 향후 1분 동안의 슬롯 사용 계획 등을 통신권 내에서 공유하도록 함으로써 슬롯의 효율성을 높임과 동시에 슬롯의 충돌을 예방할 수 있도록 하고 있다. 그러나 이러한 슬롯 충돌 회피 알고리즘은 통신권 내에서만 유효하며 다른 통신권에는 그 영향을 미칠 수 없기 때문에 통신권이 다른 AIS는 서로 같은 슬롯을 사용하여 데이터를 전송할 가능성이 있기 마련이다. 즉, 같은 통신권 내에 있는 AIS들은 통신권 내의 모든 AIS에서 사용하고 있는 슬롯의 사용 여부를 항상 모니터링 하여 전체 슬롯 사용 현황을 공유하고 있기 때문에 사용하는 슬롯의 충돌이 발생하지 않지만 통신권이 서로 다른 AIS 상호간에는 전파의 통달거리 한계로 인하여 슬롯 사용 현황을 공유할 수가 없다. 따라서 SOTDMA 프로토콜의 슬롯 충돌 회피 알고리즘은 AIS 통신권 내에서만 유효하다.

1.2 채널 용량

AIS는 SOTDMA를 근간으로 하고 있으며, 채널별로 1분에 해당하는 하나의 프레임을 2,250개의 슬롯으로 나누어 데이터를 송수신 하도록 구성되어 있다. AIS는 현재 2개의 송신 주파수 (161.975MHz, 62.025MHz)를 사용하고 있기 때문에 1분에 최대 4,500개의 슬롯을 사용할 수 있다.

AIS는 다양한 정보를 주고받을 수 있으며, 이를 위하여 다양한 표준 메시지 포맷을 구성해 놓고 있다. 이 중 가장 핵심이 되는 메시지가 선박의 위치정보 등을 주기적으로 자동 전송하는 것이다. AIS 위치정보의 전송 주기는 선박의 운항 상태와 속력에 따라서 달라지며 Class-A AIS의 경우 평균 전송 주기를 6초라고 하면 1분에 10개의 슬롯이 필요하게 된다.

1.3 버퍼 용량

AIS는 전파의 지연시간으로 인하여 슬롯이 충돌하는 문제를 해결하기 위하여 버퍼 기능을 두고 있으며, 이 버퍼의 크기에 따라서 최대 전파 거

리가 제한된다. AIS는 9600bps의 전송 속도를 가지며, 하나의 슬롯에 256비트로 구성되는 하나의 데이터 패킷만이 전송 가능하도록 되어 있다. 또한 AIS 메시지 포맷 중 버퍼의 크기는 24비트이며, 이 중 12비트가 전파의 지연에 따른 슬롯의 충돌 문제점을 극복하는데 사용하도록 되어 있다. 따라서 슬롯간 충돌이 일어나지 않도록 완충 조정이 가능한 최대 전파 거리는 약 375km(202nm) 정도가 된다.

2. 저궤도 위성 AIS의 특성

2.1 저궤도 위성의 특성

저궤도 위성은 정지궤도 위성과 달리 일반적으로 600~1600km 사이에서 지구를 공전하며 지상과의 거리가 짧아서 전파의 지연시간이 적고 수신 전력이 높기 때문에 지상의 소출력 신호도 수신이 가능하다. 그러나 위성의 고도가 낮기 때문에 위성의 커버리지가 작아서 지구 전역을 커버하기 위해서는 많은 수의 위성을 필요로 한다. 따라서 저궤도 위성을 사용하는 통신은 위성이 가시거리 내에 들어왔을 때에만 통신이 가능하다. 저궤도 위성의 공전 주기와 통신이 가능한 시간은 위성의 궤도에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_s = 2\pi \sqrt{\frac{(R_e + h_0)^3}{\mu}} = 2\pi \sqrt{\frac{(R_e + h_0)^3}{3.869 * 10^5}} \quad (1)$$

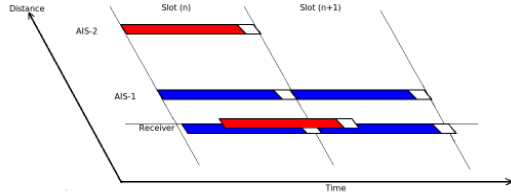
$$T_{obs} = \left(\frac{\gamma}{2\pi}\right) \left(\frac{t_s}{1 \mp (t_s/t_c)}\right) \quad (2)$$

여기에서, t_s 는 위성의 선회 주기, t_c 는 지구의 자전 주기를 의미하며, □ 부호는 지구의 자전 방향에 대한 위성의 선회 방향에 따라 결정된다. 하나의 저궤도 위성을 사용할 경우 지구상의 한 점과 교신이 가능한 시간은 1회의 선회 주기(약 96~105분) 중 저궤도 위성의 궤도에 따라 평균 약 13~18분 정도에 지나지 않는다.

2.2 채널간 간섭

AIS는 하나의 AIS 통신권(AIS셀) 내에서는 데이터가 상호 간섭하지 않도록 제어가 되지만, 떨어져 있는 다른 셀에 속하는 AIS들 간에는 간섭이 발생하지 않도록 하는 제어가 불가능하다. 저궤도 위성을 사용하여 지상의 AIS 데이터를 수신할 경우에는 저궤도 위성의 커버리지가 AIS셀보다 훨씬 넓기 때문에 상당히 많은 수의 AIS셀을 포함하게 된다. 이 경우 위성 커버리지 내의 서로 다른 셀에 속해 있는 선박에서 같은 슬롯을 사용하는 AIS 데이터가 전송될 경우 위성의 AIS 수신기에서는 간섭이 발생한다. 다른 셀에 속하는 AIS와 위성간의 거리를 비교했을 경우 그 거리의 차이가 AIS 버퍼에서 완충 가능한 최대 거리인 202nm보다 작을 경우에는 동일 채널간 간섭이 발생한다. 또한 전송거리의 차이가 202nm보다 더 클 경우에는 AIS에서 전송한 데

이더가 위성에서 수신될 때 전파의 지연시간이 너무 커서 동일한 슬롯에서 다 수신되지 못하고 그 다음 슬롯에 까지 걸쳐서 수신되게 된다. 즉 하나의 AIS 패킷 데이터가 두개의 슬롯에 걸쳐서 수신되는 현상이 발생한다. 따라서 이 경우에는 동일 채널 간섭 이외에 그 다음 슬롯과 간섭을 일으키는 타 채널 간섭이 발생할 수 있다.



<그림 2> 타 채널 간섭

3. 저궤도 위성 AIS의 메시지 수신 확률

하나의 AIS 메시지에 의해 간섭을 야기하는 평균 슬롯의 수를 k 라고 하고, 하나의 AIS 메시지의 길이를 τ , AIS 정보의 전송 간격을 ΔT 라고 하면 채널간 간섭을 야기할 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_c = k * \frac{\tau}{\Delta T} * \frac{1}{2} \tag{3}$$

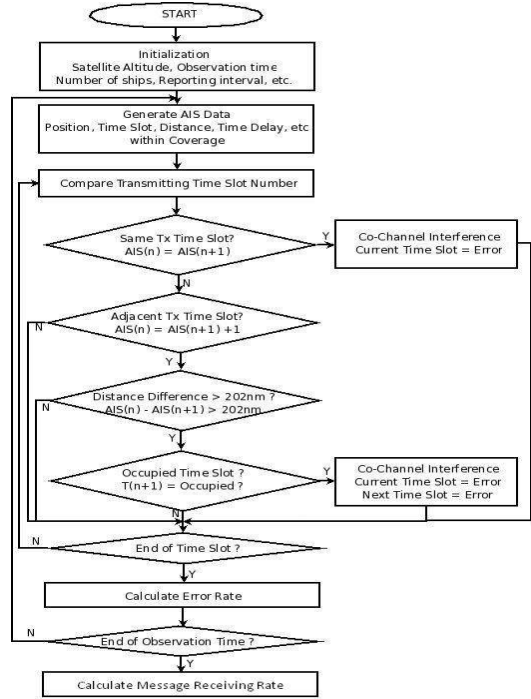
위성의 가시거리 내에 있는 동안 하나의 AIS에서 M_{msg} 개의 메시지가 전송될 경우 적어도 하나의 메시지가 정확하게 수신될 확률은 다음과 같다.

$$P_{M_{msg}} = \left(1 - \frac{k}{2} \frac{\tau}{\Delta T}\right)^{M_{msg}} \tag{4}$$

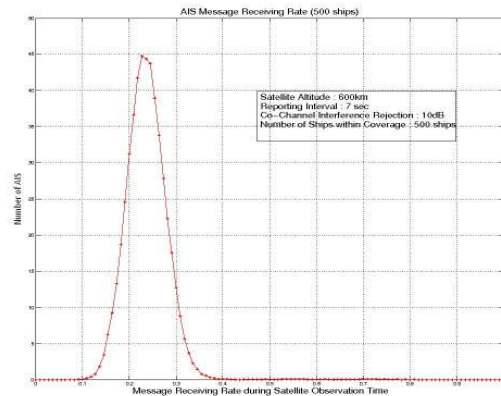
따라서 위성 커버리지 내의 전체 AIS의 수를 N_{tot} 이라고 하면 메시지가 정확하게 수신될 확률은 다음과 구할 수 있다.

$$P_{M_{msg}, N_{tot}} = \left(1 - \left(1 - \frac{k}{2} \frac{\tau}{\Delta T}\right)^{M_{msg}-1}\right)^{N_{tot}-1} \tag{5}$$

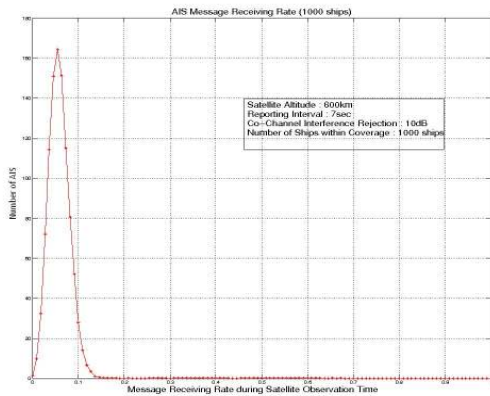
위성 AIS 메시지의 수신 확률을 분석하기 위하여 다음의 그림과 같이 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 몬테카를로 방식으로 시뮬레이션을 수행하여 전체 AIS의 수에 따른 메시지 수신확률을 확인하였다.



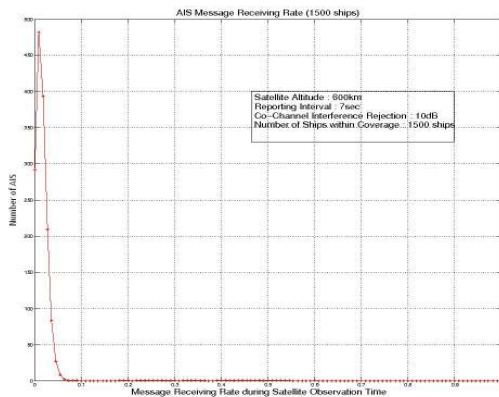
<그림 3> 시뮬레이션 절차



<그림 4> 메시지 수신 확률 ($N_{tot} = 500$)



<그림 5> 메시지 수신 확률 ($N_{tot}=1,000$)



<그림 6> 메시지 수신 확률 ($N_{tot}=1500$)

4. 결론

메시지 수신 확률은 위성의 통신권 내에 속하고 있는 AIS의 수, 위성의 통신 가능 시간, AIS 메시지 전송 주기 및 동일 채널 간섭과 타 채널 간섭을 야기할 수 있는 AIS의 비율에 따라서 달라진다. 위성의 고도가 낮으면 통신권이 작아져서 채널 간 간섭을 일으킬 수 있는 AIS의 수가 적어지기 때문에 메시지 수신 확률이 높아지지만, 반면에 상대적으로 통신가능 시간이 작아져서 그만큼 메시지 수신 확률이 낮아지기 때문에 위성의 고도에 따른 특성은 크게 변하지 않는다. AIS 메시지 수신 확률에 가장 크게 영향을 미치는 것은 AIS 데이터의 전송 주기로서, 전송주기를 길게 하면 할수록 간섭할 확률이 작아지기 때문에 상대적으로 메시지 수신 확률은 커지게 된다. 현행의 AIS 표준을 기준으로 위성 AIS 메시지 수신확률에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 위성 통신권 내의 AIS의 수가 500개일 경우 최대 메시지 수신확률이 40% 이하이며, 평균 약 25% 이하의 메시지 수신 확률을 나타내었다. 위성 통신권 내의 AIS의 수가 1,000개일 경우 최대 메시지 수신 확률은 약 15% 이하이며, 평균 약

7%의 메시지 수신 확률을 나타내었다. 또한 위성 통신권 내의 AIS의 수가 1,500개일 경우에는 최대 메시지 수신 확률은 약 7% 이하이며 평균 약 2%의 메시지 수신 확률을 나타내었다. 이러한 결과는 저궤도 위성 AIS의 데이터를 실시간으로 모두 수신하는 것이 불가능함을 나타내며, 또한 선박의 안전운항을 위한 VTS 용으로 사용하기에는 곤란함을 알 수 있다. 따라서 저궤도 위성 AIS를 실시간으로 사용하기 위해서는 위성용 AIS의 표준 제정이 필요함을 알 수 있다.

[참고 문헌]

- [1] IALA.: IALA Guidelines on Universal Shipborne Automatic Identification System (AIS). IALA (2001)
- [2] COMSAR 9/INF.4.: Satellite-based AIS Long-Range Identification and Tracking (LRIT). Submitted to IMO by Norway(2004)
- [3] ITU-R M.1371-3.: Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band. ITU (2007)
- [4] R.Mittra, "Satellite Communication Antenna Technology", North-Holland, 1982
- [5] Borje Forssell, "Radionavigation Systems", Artech House, 2008