



백서

CRPA 및 기타 적응형 안테나의 특징 이해

CRPA 및 기타 고급 GNSS 안테나 설계를
테스트하는 방법

미션 크리티컬 PNT 시스템의 개발자, 통합자 및
구매자를 위한 Spirent 백서

목차

1.	소개	2
2.	적응형 안테나의 작동 방식	2
3.	적응형 안테나 테스트의 문제	4
4.	테스트 대상 정의	4
5.	테스트 요구 사항 정의	5
6.	테스트 방법 선택	6
7.	테스트 장비 선택	11
8.	예시 테스트 살펴보기: 전도 테스트	14
9.	향후 고려 사항	17
10.	결론	17
11.	Spirent의 지원 방법	18
12.	기고자	21
13.	약어 용어집	21

1. 소개

재밍 방지 및 스푸핑 방지 기능은 미션 크리티컬 GNSS 수신기와 이를 활용하는 시스템에 필수입니다.

민간 부문(예: 상용 차량의 소재를 숨기기 위한 불법 개인정보 보호 디바이스), 국가가 적대 세력의 작전을 방해하기 위해 배치한 전자전(EW) 방법으로서의 무선 주파수 간섭(RFI) 사용 부문 모두에서 신호 재밍 및 스푸핑의 위협은 증가하고 있습니다.

GNSS 재밍의 증가

국제민간항공기구(ICAO)는 2018년 동부 지중해 지역에서 174건의 GPS 중단 보고를 받았습니다. 2015년~2018년 6월에는 32건에 불과했습니다.

군사 영역에서 미션 크리티컬한 PNT 시스템을 보호할 필요성으로 인해 다양한 GPS 수신기에 새로 장착할 수 있는 적응형 안테나가 개발되었습니다. 현재, 적응형 안테나는 측량, 광업, 자율 주행 차량 등 상용 애플리케이션에서 그 사용이 증가하고 있습니다.

적응형 안테나 시스템은 특히 안전과 책임이 중요한 상황에 사용할 경우 철저히 테스트해야 합니다. 본 백서에서는 적응형 안테나의 안정적인 테스트 문제를 살펴 보고 테스트 요구 사항 설정, 테스트 장비 선택 및 무선 주파수 컨스텔레이션 시뮬레이터를 사용한 테스트 수행에 대한 지침을 제공합니다.

마지막으로 미래를 대비하는 시뮬레이터와 소프트웨어에서 무선(OTA) 테스트용 영역 지정 챔버 솔루션 설계에 이르기까지 적응형 안테나 테스트의 모든 측면에서 Spirent의 지원 방법을 설명합니다.

2. 적응형 안테나 시스템의 작동 방식

적응형 안테나 시스템은 정교화 수준에 따라 여러 형태로 제공됩니다. 그러나 기본 작동 원리는 안테나가 진짜 GNSS 신호 수신을 최대화하면서 간섭 시그널의 영향은 완화하도록 설계한다는 점입니다.

완화는 물리적 안테나 설계, 안테나 동작을 제어하는 알고리즘을 통해 달성할 수 있습니다. 적응형 안테나 기술에는 다음이 포함됩니다.

고정 방사(또는 수신) 패턴 안테나(FRPA)

저고도에서 도달한 무선 주파수(RF) 신호를 차단하는 디바이스인 초크 링, 즉 '수평 널 장치'를 더해 간섭에 대비하여 단일 요소 안테나를 강화할 수 있습니다.

제어 방사(또는 수신) 패턴 안테나(CRPA)

수신 패턴이 진짜 신호를 향하고 간섭 신호에서 멀어지도록 실시간으로 조정할 수 있는 다중 요소 안테나입니다.

일반적으로 CRPA 설계는 평면형으로, 중앙 기준 요소를 둘러싼 원형 패턴으로 여러 안테나를 배열합니다. 연구에 따르면 볼록형 설계에는 방사 패턴을 수평 및 수직으로 조정할 수 있다는 추가적인 장점이 있습니다.

조정 알고리즘은 각 신호의 수신된 위상 이동을 토대로 각 안테나 요소의 '가중치'를 할당하고 수정하며 작동합니다. 이러한 가중치를 수정하면 배열의 방사 패턴을 변경하여 원치 않는 신호의 방향으로 널을, 진짜 신호의 방향으로 게인을 조정할 수 있습니다. 안테나 전자 기기의 결합된 출력은 GNSS 수신기로 출력되어 추가 처리를 통해 위치, 속도 및 시간(PVT)을 제공합니다.

알고리즘 조정은 GNSS 수신기에 내장하거나 별도의 안테나 전자 장치를 통해 구동할 수 있습니다. 일반적으로 최고의 성능은 알고리즘을 수신기(Rx)에 내장하고 시스템을 한 개 이상의 관성 측정 장비(IMU)와 통합했을 때 달성됩니다.

¹ ICAO, MIDANPIRG/17 및 RASG-MID/7 회의, 카이로, 이집트, 2019년 4월 15일~18일

알고리즘 기반 CRPA 기술에는 다음이 포함됩니다.

널 생성/널 조정	음의 안테나 계인을 RFI 소스를 향하도록 조정하여 간섭을 상쇄합니다. 상쇄할 수 있는 간섭 요소의 수는 안테나 배열 내 요소의 수에 따라 증가합니다. 예를 들어 7개 요소 배열은 6개 간섭 백터를 처리할 수 있습니다. 그러나 안테나 크기와 비용 측면에서 장단점이 존재합니다. 일반적으로 군용 안테나에는 7개의 요소가 있는 반면, 상용 안테나에는 4개의 요소가 있습니다.
빔 형성/빔 조정	양의 안테나 계인을 재밍 또는 스푸핑되지 않은 신호를 향하도록 조정하여 간섭의 영향을 최소화합니다.
공간-시간 및 공간-주파수 적응형 프로세스(STAP 및 SFAP)	간섭원을 향하도록 널을 조정하는 안테나 기능을 더욱 높이는 고급 알고리즘입니다. STAP 및 SFAP는 개별 출력의 가중치를 조정하여 원하는 방향으로 여러 개의 빔 또는 널을 만들고 더 빠른 속도로 적응형 안테나 패턴 조정을 전환할 수 있습니다.
적응형 CRPA	최신 CRPA를 통해 각 빔 형성기가 특정한 한 개의 위성을 추적하며 한 개 이상의 간섭 요소 방향으로 널을 형성할 수 있습니다.

관성 항법 장치(INS)의 지원

적응형 안테나 기술을 사용하며 안전이 중요한 동적 고급 PNT 시스템은 IMU를 사용해 추가적인 재밍 방지 기능을 제공합니다.

이 센서는 시스템의 자세를 제공하여 제어 알고리즘이 PVT 계산, 간섭을 억제하기 위한 빔 형성에 정확한 자세를 고려할 수 있도록 합니다. 또한 적응형 안테나 시스템의 범위가 관련 IMU 및 센서 융합 알고리즘도 고려하는지 확인해야 합니다.

안테나 설계의 중요성

불량으로 설계하거나 구현한 안테나 배열은 시스템의 다른 부분에서 또는 개선된 알고리즘을 사용해도 만회할 수 없습니다. 우수한 GNSS 안테나 설계의 특징에는 다음이 포함됩니다.

- 가능한 한 많은 위성의 가시성
- 강한 위성 신호의 높은 반송파 대 잡음비(C/N₀)
- 높은 지향성(위성 방향에서 계인이 높도록 최적화된 방사 패턴)
- 높은 계인 성능
- 대역 외 신호의 우수한 필터링
- 요소 간 낮은 결합(다중 요소 안테나의 경우)
- 안테나와 연결 RF 케이블 간 우수한 일치 이러한 특징을

달성하는 데는 어려움이 따릅니다. 최적의 신호 계인에 필요한 개구 크기가 안테나 시스템의 크기 요구 사항과 충돌할 수 있기 때문입니다.

3. 적응형 안테나 테스트의 문제

적응형 GNSS 안테나 시스템의 정교함은 복잡한 테스트 문제를 만듭니다.

먼저, **안테나와 수신기 성능**은 사실적인 시나리오에서 테스트해야 하며 이상적으로는 동일한 테스트 조건에서 여러 번 반복할 수 있어야 합니다.

이를 위해서는 초기 **위험 평가**를 통해 향후 가능한 시나리오를 포함하여 시스템이 직면할 수 있는 다양한 간섭 시나리오와 해당 시나리오에 대응하여 원하는 시스템 동작을 이해해야 합니다.

이후 이러한 시나리오를 통합한 **테스트 방식**을 작성하여 시스템 성능에 미치는 영향을 이해합니다.

다음으로, 제품 개발 및 선택 주기의 각 단계에서 **적절한 테스트 방법**을 선택해야 합니다. 수많은 옵션이 존재하며 일부 옵션에는 상당한 시간과 예산이 필요합니다.

적절한 **테스트 장비**(하드웨어 및 소프트웨어)를 선택해야 랩, 챔버 또는 실외 환경에서 정확하고 안정적인 테스트를 수행하고 향후 테스트 요구 사항도 수용할 수 있습니다. 장비는 적절하게 설치하고 구성해야 하며 특히 복잡한 챔버 기반 테스트의 경우 상당한 전문 지식이 필요합니다.

테스트는 올바르게 **설정하고 실행**해야 하며 결과는 정확하게 모니터링하고 기록해야 합니다. 광범위한 테스트에는 일정 수준의 테스트 **자동화**가 필요하며 이 역시 올바르게 설정해야 합니다.

다음 섹션에서는 차례로 각 과제를 살펴보고 제품 수명 주기 전반에서 적응형 안테나 테스트의 적절한 테스트 접근법을 선택하는 방법에 대한 지침을 제공합니다.

4. 테스트 대상 정의

테스트 접근 방식은 어떤 안테나 및 수신기 성능을 어떤 유형의 시나리오에서 얼마나 엄격하게 테스트해야 하는지에 따라 결정됩니다. 이를 위해 위험 평가를 수행하고 테스트 시나리오의 요구 사항을 수집해야 합니다.

위험 평가 및 분석

테스트 계획의 중요한 부분은 시스템 또는 디바이스를 사용할 때 발생할 가능성이 높은 위협을 기반으로 테스트 시나리오를 개발하는 것입니다. 위험 분석을 수행하여 시스템이 해로운 수준의 **GNSS 간섭** 및/또는 **스푸핑**에 노출될 가능성과 실제 노출될 경우 작동에 미치는 영향을 이해해야 합니다. 그런 다음 이러한 위협에 대한 시스템의 반응을 테스트하는 시나리오를 개발할 수 있습니다.

시스템에 개별적으로 또는 결합하여 발생할 가능성이 있는 간섭 유형에는 다음이 포함됩니다:

재밍: 악의적인 행위자의 의도적인 **GNSS 주파수 재밍**, **GNSS 주파수**에 가까운 대역의 무선 전송에서 의도하지 않은 간섭이 늘어나고 있습니다. 불법 재머를 구매하여 차량 내 텔레매틱스를 오버라이드하는 차량 소유자와 분쟁 지역, 경합 지역에서 **RF 신호 재밍**을 사용하는 국가가 증가함에 따라 주파수 재밍은 더 보편화되고 있습니다. **GNSS** 대역에 인접한 스펙트럼이 최근 미국 **Ligado Networks**에서 제공한 **5G** 서비스를 포함한 다른 서비스에 할당됨에 따라 인접 대역 간섭(**ABI**)도 더 보편화되고 있습니다.

스푸핑: 한때 난해한 방해 기술이었던 **GNSS 스푸핑**(가짜 **GNSS** 신호 브로드캐스팅)은 소프트웨어 정의 무선(**SDR**)의 등장으로 훨씬 쉽고 저렴해졌습니다. 저비용 스푸핑 디바이스는 인터넷에서 구성 요소를 조달하고 오픈 소스 코드를 다운로드하여 간단하게 구축할 수 있습니다. 최근 주목할 만한 스푸핑 사건에는 **2017년** 흑해에서 영향을 받은 선박, **2019년** 중국 항구에서 독특한 원형 패턴으로 스푸핑된 선박이 포함됩니다. 정교한 장비를 갖춘 국가 행위자가 이러한 유형의 사건에 책임이 있을 수도 있습니다.

차폐: 가시선을 기반으로 작동하는 **GNSS** 신호는 고층 건물과 같은 지상의 물체, 언덕, 울창한 숲으로 인해 차단됩니다. **GNSS** 기반 시스템은 위성 신호를 수신할 수 없을 때는 물론, 터널 또는 지하 주차장과 같은 차폐 지역을 빠져나갈 때도 취약합니다. 신호를 재수집하려 할 때 스푸핑 공격의 대상이 되어, 진짜 신호가 아닌 가짜 신호를 추적하게 됩니다.

다중 경로: 위성의 직접적인(가시선) 신호 외에도 신호는 다중 경로를 사용할 수 있는데 이는 환경 내 건물 또는 기타 물체에 의해 반사 또는 회절됩니다. 이러한 신호의 이동 거리는 약간 더 길기 때문에 수신기에 가시선 신호보다 약간 늦게 도달합니다. 완화하지 않으면 다중 경로 신호로 인해 수신기는 부정확한 범위 측정을 출력하고 이는 잘못된 위치라는 결과를 낳게 됩니다.

시스템이 인명 안전, 국가 안보, 재정적 책임, 시장 성공에 중대한 영향을 미칠 수 있는 간섭에 직면할 가능성이 있을 경우 광범위한 테스트로 시스템 성능을 보증해야 합니다.

R&D 단계에서 이러한 결과는 시스템 완화 기능의 설계를 안내하는 데 사용할 수 있습니다. 제품 주기의 후반 단계에서 이러한 결과는 재밍 및 스푸핑 간섭에 직면할 때 **PNT** 시스템의 견고함을 평가하는 데 사용할 수 있습니다.

추가 읽기 자료

간섭 및 스푸핑 위험 평가에 대한 자세한 내용은 다음 백서를 읽어보세요:

[GNSS 재밍: 안전과 책임이 중요한 시스템의 위험 테스트 방법](#)

[GNSS 신호 스푸핑: 안전과 책임이 중요한 시스템의 위험을 평가하는 방법](#)

5. 테스트 요구 사항 정의

테스트 장비 및 기타 장비에 투자하기 전 요구 사항을 자세히 정의하는 것이 중요합니다. 요구 사항 수집 대상에는 다음과 같은 지식이 포함될 수 있습니다.

테스트 목적	다음은 포함한 한 개 이상의 목적을 위해 테스트가 필요할 수 있습니다: - 초기 단계인 적응형 안테나 알고리즘의 평가 - 내부 품질 관리 및 자격 절차 - 적응형 안테나 또는 적응형 안테나를 장착한 PNT 시스템 벤치마킹과 공급업체 선택 - 간섭에 대한 노출로 인해 발생할 수 있는 운영상의 영향 이해 및 정량화 - 재밍 및 스푸핑 공격을 포함한 실제 위협에 대한 위험 평가를 수행 또한 향후 잠재적인 모든 요구 사항을 고려해야 추가적인 장비 투자를 방지할 수 있습니다.
테스트 범위	물리적 안테나를 안테나 전자 장치, GNSS 수신기 및 기타 HIL(Hardware In the Loop)과 함께 테스트해야 하나요? 이를 통해 OTA 테스트, 전도 테스트가 필요한지 판단하게 됩니다.
지리적 위치	시뮬레이션을 두 개 이상의 위치에 수행해야 할까요, 아니면 한 개 위치에 시뮬레이션해도 충분한가요?
위성 지오메트리	동일한 위성 지오메트리로 테스트를 반복해야 하나요? 테스트 방식에 포함해야 하는 위성 지오메트리 '최악의 사례'가 있나요?
차량 움직임	테스트 대상 디바이스(DUT) 및 간섭을 정지 상태인가요, 아니면 상대적인 움직임이 있나요?
스푸퍼 백터 프로파일 (필요할 경우)	여기에는 다음이 포함됩니다: - 진짜 신호에 대한 스푸핑 신호의 상대 전력, 코드/반송파 위상 및 도플러 오프셋 프로파일 - 코드/내비게이션 데이터 공격: 대상 가능성이 있는 메시지를 선택해야 합니다(예: 우주 비행체(SV) 상태, 클록 수정 메시지, 궤도력 데이터) - 의사 거리 램프: 스푸퍼는 진짜 신호에서 어떤 속도로 위치를 옮겨야 하나요? (장시간 동안 수행할 경우 이러한 유형의 공격은 수신기를 속이고 경보/경고 임계값 '미만으로 잠입'할 수 있음) '재밍 후 스푸핑' 공격을 고려해야 할 경우 다음과 같은 RFI: 아래를 참조하세요.
RFI 전력 프로파일	여기에는 다음이 포함됩니다: - 경계 환경(예: 재머/스푸퍼의 최소/최대 전력 수준) - 테스트 장비의 동적 출력 범위 및 업데이트 속도(예: 1ms마다)에 따른 재머/스푸퍼 전력 수준 변경 속도(예: 1차 전력 램프 기울기) - 전력 분해능(예: 0.1dB 이상) - 지원되는 대역폭: GNSS 수신기 테스트의 경우 GPS용 GNSS 주파수 대역(예: L1, L2, L5)은 물론, DUT 성능에 영향을 미칠 수 있는 인접 대역도 지원해야 합니다. - 필요한 정확도(예: 보정된 전력 수준, 정적 및 실행 간 편향, 비선형성). 본질적으로 모든 신호 생성기에는 달성 가능한 전력 수준 규모 대비 넓은 유효 대역폭 지원과 정확도 지원 간의 균형이 존재합니다. 취약성 테스트 장비에 투자하기 전 이러한 균형을 이해해야 합니다. 예를 들어 일부 제조업체는 일반적인 SDR을 GNSS 주파수 대역 내 테스트용으로 그 목적을 바꿉니다. 이러한 일반적인 SDR은 광범위한 주파수 스펙트럼(예: 셀룰러, 디지털 TV, Wi-Fi)에 파형을 생성할 수 있지만 본질적으로는 보정된 전력 수준, 신호 충실도, 스펙트럼 순도 측면의 성능을 저하합니다.
DUT 테스트 상태	이는 테스트 반복 가능성을 확보하는 데 매우 중요합니다. 만성적으로 나누어진 단계로 또는 때때로 서로 다른 테스트 장소에 위치한 서로 다른 사업자가 테스트를 수행할 때 특히 중요합니다. 일반적으로 DUT는 테스트 실행 사이에 콜드 재시작되어 휘발성 메모리에 저장된 이전 데이터를 삭제하지만 비휘발성 메모리에서 테스트 상태 구성 매개변수(예: 마지막 사용, 사용자 저장 또는 공장 설정)를 호출하여 동일한 초기 테스트 상태에서 DUT 테스트를 수행할 수 있습니다. 이러한 구성 매개변수에는 필수 정보(예: Rx가 사용할 수 있는 대기 모델) 또는 다중 경로/간섭 완화 알고리즘의 활성화/비활성화 여부가 포함될 수 있습니다.

6. 테스트 방법 선택

테스트할 기능을 선택하고 테스트 요구 사항을 정의한 후에는 새로운 시스템이 기대되는 이점을 제공한다는 사실을 보이기 위해 테스트 캠페인을 계획해야 합니다.

이를 위해서는 정량적 위험 평가에서 수행하는 테스트를 반복하여 해당 기술이 예상되는 위험을 적절히 방어할 수 있음을 증명해야 합니다. 또한 '최악의 사례'를 고려하면 좋습니다. 이는 본래 위험 분석에서는 고려하지 않을 범하지만 진화하는 GNSS 위협 환경에 대해 시스템의 미래를 대비하는 데 도움이 됩니다.

적응형 안테나 시스템의 성능을 검증하는 방법은 매우 다양합니다. DUT의 특성, 테스트의 특정한 목적에 따라 방법을 선택할 가능성이 높습니다.

최고 수준에는 다음과 같은 두 가지 옵션이 있습니다:

- **전도 테스트:** 물리적 안테나를 우회하고 동축 케이블을 사용하여 시뮬레이션 또는 기록된 신호 및 간섭을 DUT 수신기에 직접 재생합니다. 이 유형의 테스트는 일반적으로 수신기 R&D 단계에서 수행하며 안테나 하드웨어 성능은 평가하지 않습니다.
- **방사 또는 무선(OTA) 테스트:** 실제 또는 시뮬레이션된 RF 신호를 DUT에 무선으로 전송하여 안테나 및 안테나 전자 장치 성능을 평가합니다. 이 유형의 테스트는 일반적으로 제품 주기 후반에 수행하여 물리적 안테나 하위 시스템을 포함한 전체 시스템의 성능을 검증합니다.

방사 테스트에는 야외 범위에서 실제 GNSS 신호로 테스트하거나 폐쇄(무반사실) 챔버에서 시뮬레이션된 신호로 테스트하는 두 가지 옵션이 있습니다.

챔버에 구성 가능한 유형은 두 가지입니다. 하나는 고정 안테나를 사용하여 각 GNSS SV를 나타내고, 다른 하나는 '영역 지정 챔버'를 사용하여 궤도 내 SV 이동을 시뮬레이션하는 것입니다.

적응형 안테나 기술과 함께 GNSS 수신기를 사용하여 복잡한 시스템의 테스트 계획을 개발할 때 '시스템의 시스템' 접근 방식이 필요합니다. 계획은 일반적으로 전도 및 OTA 테스트 요소를 결합하여 시스템 성능을 확인하고 검증합니다.

일반적인 '시스템의 시스템' 테스트 계획에서 전도 테스트는 수신기 및 관련 전자 장치의 성능을 보증합니다. 그런 다음, OTA 테스트를 통해 안테나 시스템 성능을 추가 변수로 고려할 수 있습니다.

전도 및 OTA 테스트는 동등한 기술이 아니라는 점에 유의해야 합니다. 각각에는 테스트, 방법론, 분석의 가장 효과적인 조합을 결정할 때 고려해야 하는 장단점이 있습니다.

테스트 방법 요약 표는 이 섹션 마지막에 포함되어 있습니다.



영역 지정 챔버에 GNSS, 다중 경로, 재밍을 통합한 시뮬레이션 테스트 환경을 나타낸 그림

시뮬레이션된 신호 및 간섭을 사용한 전도

테스트

전도 테스트에서 RF 환경과 관련된 모든 요소는 동축 케이블을 통해 안테나 전자 장치(안테나와 분리된 별도의 장치에 전자 장치가 있는 디바이스)에 직접 전송됩니다.

단일 또는 다중 위성 컨스텔레이션 신호는 RF 컨스텔레이션 시뮬레이터(RFCS)에서 생성되며 여기에는 다중 경로 간섭, 신호 차폐 효과, 대기 간섭이 선택적으로 포함됩니다. 간섭 파형은 GNSS 신호 시뮬레이터 또는 외부 간섭 생성기에서 내부적으로 생성할 수 있습니다.

단일 요소 안테나의 경우 RFCS 및 간섭 생성기의 결합 단일 RF 출력을 사용하여 필요한 신호를 생성할 수 있습니다. 다중 요소 안테나의 경우 안테나 요소 전반의 위상 변화를 시뮬레이션하려면 시뮬레이터의 여러 개별 출력에 신호 웨이브프론트가 필요합니다.

시뮬레이터의 여러 개별 출력 신호는 단일 입력이 필요한 GNSS 수신기에 결합 RF 신호 입력으로 사용하거나 개별 안테나 배열 입력을 수신할 수 있는 안테나 전자 장치 또는 GNSS 수신기의 개별 안테나 피드로 사용할 수 있습니다.

장점

제어: 위성 신호, 재머, 스푸퍼의 전력 수준을 포함하여 테스트 조건을 완전히 제어할 수 있습니다. 사용한 시뮬레이션 장비에 따라 다중 경로, 차폐 및 대기 효과를 수준별로 모델링할 수 있습니다.

시간 및 비용: 랩에서 원하는 대로 테스트를 수행할 수 있기 때문에 야외 범위에서의 필드 실험 수행 허가와 날짜를 기다릴 때보다 테스트 소요 시간이 짧습니다. 야외 테스트 비용과 물류 문제가 없습니다. 또한 테스트를 자동화하여 소요 시간을 더욱 단축할 수 있습니다.

반복 가능성: 테스트 환경은 완전히 반복 가능하므로 테스트를 안정적으로 반복할 수 있습니다. 서로 다른 CRPA의 성능 비교, 다양한 간섭 파형의 영향 평가, 재밍 방지 및 스푸핑 방지 알고리즘에 대한 반복적인 수정을 평가하는 경우를 그 예로 들 수 있습니다.

단점

적용 범위: 전도 테스트는 물리적 안테나를 우회하므로 안테나 동작이 수신기에 미치는 영향은 평가하지 않습니다.

사실성: 사용한 장비에 따라 시뮬레이션된 신호, 다중 경로/차폐 및 대기 효과에는 깊이 있고 풍부한 실제 환경이 없을 수도 있습니다(예: 도래각 분해능 결여). 적용할 수 있는 재밍 신호의 수준이 제한적입니다. 따라서 테스트가 실제 성능에 대한 자세한 특징을 제공하지 않을 수도 있습니다.

야외 범위에서의 '라이 스카이' 테스트

우주에서 오는 신호를 방해하는 실제 재밍 및 스푸핑 장비를 사용(관련된 규제상의 허가를 받음)하여 야외 범위에서 라이브 위성 신호로 테스트를 수행합니다.

장점

확실성: 실제 환경의 풍부함과 확실성은 RF 간섭이 존재할 때 안테나 및 수신기 성능에 대해 신뢰할 만한 지침을 제공합니다.

단점

위험: 야외 테스트는 테스트 범위 인근의 GNSS 활용 시스템에 부수적 피해의 위험을 초래합니다. 위험을 완화하려면 종종 재머 및 스푸퍼의 전력 수준을 줄여야 합니다. 안테나 및 안테나 제어 시스템 성능은 계속해서 측정할 수 있지만 셋업 규모를 축소하기 때문에 각도 측정의 정확도가 원하는 수준에 미치지 못할 수 있습니다.

물류: 테스트 대상 장비, 간섭 생성 장비, 테스트 기록 장비, 기록 및 재생 시스템(RPS)을 지리적으로 멀리 떨어진 전용 야외 테스트 범위로 운송해야 합니다.

시간 및 비용: 야외 필드 실험은 시간, 자원, 장비 측면에서 상당한 비용을 초래합니다. 이는 새로운 CRPA의 가용성을 지연시키고 챔버를 사용할 때보다 비용 효율성이 저하될 수 있습니다(아래 참조). 테스트 범위 액세스 권한을 얻는 데 필요한 허가도 인해 신속하게 테스트를 수행할 수 없습니다.

반복 가능성: 실제 RF 환경은 지속적으로 변화하고 시야 내 위성, 다중 경로 효과, 온도 등의 조건은 제어할 수 없습니다. 따라서 테스트 조건을 정확하게 반복하는 일은 불가능합니다. 이로 인해 테스트를 반복적으로 실행할 때 정확성과 안정성의 문제가 발생합니다.

제한적인 환경: 환경은 제어할 수 없습니다. 지정된 테스트 범위 내 작동의 측면에서만 디바이스를 테스트합니다. 일반적으로 이는 도심이 아니고 인근에서 작동 중인 다른 장비도 없기 때문에 테스트 범위는 매우 제한적입니다. 또한 테스트 조건은 테스트 위치에서 보이는 위성 및 컨스텔레이션으로 제한됩니다.

고정 안테나 배열이 있는 무반사실

CRPA 테스트용 무반사실을 구성하는 기준 방법은 에뮬레이션할 개별 SV와 동일한 방위, 동일한 고도에 송신(Tx) 안테나를 배치하는 것입니다. 그런 다음, 안테나는 안테나당 단일 채널 GNSS 신호 시뮬레이터 한 개를 사용하여 해당 SV 신호를 브로드캐스트합니다.재머, 스푸퍼와 같은 간섭원은 챔버 내 어디에나 배치해도 됩니다.

동적 시나리오에 사실성을 더하려면 Rx 안테나를 시뮬레이션된 차량 플랫폼의 자세 변화를 복제하는 레이트 테이블/3D 포지셔너에 고정해도 됩니다. 휴대용 디바이스와 같은 장치의 경우 반사기, 신호 감쇠기(예: 인간 머리 모형) 등의 제품을DUT 인근에 물리적으로 배치하여 사실적인 환경을 에뮬레이션할 수 있습니다.

또한 고급 3D 환경 모델링 및 광선 추적을 사용하여 사실적인 다중 경로, 차폐 및 대기 간섭 효과를 도입할 수 있습니다.

장점

제어: 테스트 환경을 완전하게 제어할 수 있기 때문에 동일한 조건을 반복하며 다양한 안테나, 안테나 설계 또는 안테나 배치를 테스트할 수 있습니다.

적용 범위: 안테나 하드웨어가 테스트에 포함하며 이때 하드웨어에 도달하는 각도가 다를 가능성을 함께 고려합니다.

단점

사실성: 챔버 설계의 제약으로 인해 특정 GNSS 컨스텔레이션의ジオ메트리를 정확하게 재현하거나 다중 컨스텔레이션을 에뮬레이션하기가 어렵습니다.

테스트 지속 기간: 고정 Tx 안테나는 궤도에서 위성의 움직임을 나타낼 수 없지만 주어진 고정 위치, 시간, 날짜를 나타낼 수 있습니다. 환경이 사실적이지 않은 상태로 빠르게 변화하기 때문에 매우 짧은 테스트 시나리오(약 30분)만 실행할 수 있습니다. 이는 GNSS를 자동 추적 및 추적하는 수신기 기능과 CRPA의 빔 형성 기능을 평가하는 데 유용하지만 능동형, 즉 반응형 안테나 시스템을 테스트하는 데에는 효과적인 방법이 아닙니다.

영역 지정 챔버

영역 지정 챔버는 방위각 및 고도각의 규칙적인 패턴으로 분포된 안테나를 활용합니다. 그러나 SV당 고정 Tx 안테나 한 개 및 단일 채널 시뮬레이터 한 개가 필요한 구성과 달리 영역 지정 챔버는 영역당 Tx 안테나 한 개를 사용하며 영역의 모든 신호는 해당 영역에서브로드캐스트됩니다(그림 1 참조).

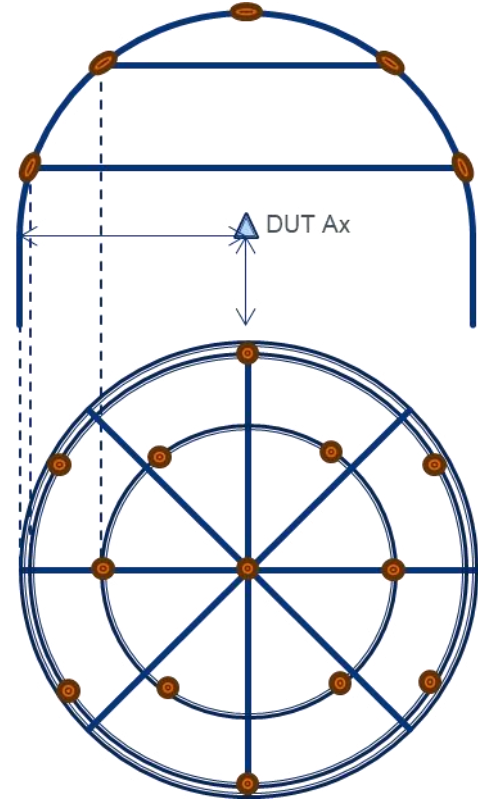


그림 1: 무반사실에 구성된 13개의 Tx 안테나

특정 SV의 신호는 한 영역에서 꺼진 뒤 다음 영역으로 즉시 전환하기 전에 해당 영역에서 브로드캐스트되어 궤도에서 위성 이동 패턴을 에뮬레이션합니다. 영역 지정 챔버 접근 방식은 지구 궤도를 도는 특정 위성 컨스텔레이션의 사실적인 시뮬레이션을 구현하여 최첨단 OTA CRPA 테스트를 보여줍니다.

영역 크기는 테스트 요구 사항과 챔버 크기에 적합하게 수정할 수 있습니다. Spirent는 상업 조직과의 협력을 통해 31개의 영역이 최적의 구성임을 밝혔습니다(그림 2 참조). 낮은 고도에서는영역 수를 줄이고 10°가 넘을 때는 영역 밀도를 높이면 궤도 경로가 더 잘 나타납니다.

영역 크기가 작을 수록 궤도 경로가 더 잘 나타납니다. 이는 궤도가 영역의 가장자리를 향해 진전함에 따라 신호 각의 정확도가 떨어지고 영역 크기가 작을 수록 보여 사이트(영역 중앙에 위치함)와 영역 가장자리 간 거리가 짧기 때문입니다. 그러나 더 높은 고도의 더 작은 영역이라는 절충안은 영역에서 영역으로의 전환 또는 핸드오버를 증가시킵니다.

각 위성 신호는 독립적으로 평가됩니다. 반송파 위성의 불가피한 불연속성으로 인해 신호가 영역을 이동할 때 작은 신호 중단이 발생하지만 이는 관련된 위성 신호에만 영향을 미칩니다. 이로 인해 영향을 받는 SV에서 반송파 자동 추적이 잠시 손실될 수 있지만 이러한 사건은 드물게 발생하며 한 번에 두 개 이상의 위성에 영향을 미칠 가능성은 낮습니다. 결과적으로 이는 일반적으로 중요하지 않은 것으로 간주될 수 있습니다.

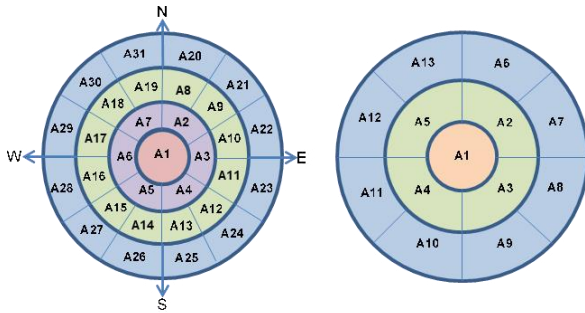


그림 2: Spirent 영역 지정 챔버에 31개 및 13개 영역을 설정한 구성

고정 챔버와 마찬가지로 재머, 스푸퍼와 같은 간섭원은 챔버 내 어디에나 배치해도 됩니다. 또한 레이트 테이블/3D 포지셔너, 반사기, 신호 감쇠기는 사실성을 더하는 데 사용할 수 있습니다. 신호의 도래각 정보를 고려하여 그에 따라 조작하는 고급 3D 환경 모델링 및 광선 추적을 사용하여 사실적인 다중 경로, 차폐 및 대기 간섭 효과를 도입할 수 있습니다.

영역 지정 챔버는 '공간적으로 분산된 신호를 생성하기 위해 다중 채널 생성기를 사용한 무선 GNSS 테스트'라는 이름으로 2014년 Spirent가 특허받은 개념입니다(USPTO 특허 번호 8854260).

장점

사실성: 영역 지정 챔버를 통해 궤도에서 실제 GNSS 컨스텔레이션의 움직임을 시뮬레이션할 수 있습니다. 개별 컨스텔레이션(예: GPS, Galileo, GLONASS)은 물론, 컨스텔레이션의 조합(예: GPS+ Galileo + GLONASS)도 시뮬레이션할 수 있습니다.

테스트 지속 기간: 사실성을 잃지 않고도 긴 시간 동안 테스트 시나리오를 재생할 수 있기 때문에 영역 지정 챔버는 빔 형성, 널 조정 및 SFAP/STAP 프로세스를 포함한 CRPA 시스템의 모든 측면을 검증하는 데 효과적입니다.

정확한 도래각: 각 위성의 방위 및 고도를 사실적으로 재현할 수 있기 때문에 방향 찾기 및 스푸핑 방지 기능을 안정적으로 평가할 수 있습니다.

단점

위상 보정 문제: 시스템 하드웨어 업데이트 속도에 따라 신호가 영역을 이동할 때 약간의 신호 중단이 발생할 수 있습니다. 신호 생성은 신중하게 정의된 시간 에포크에 연결되어 있기 때문에 반송파 위상의 불연속성은 필연적이며 그 규모는 보정 품질에 따라 결정됩니다. 이로 인해 반송파 추적이 손실될 수 있지만 이는 모든 전환 시스템에서 불가피한 일입니다. 영역 수에 따라 변경 빈도가 증가합니다. 예를 들어 31개 영역 시스템에서 정적 차량의 경우 일반적인 속도는 2~3시간 간격입니다.

적응형 안테나 시스템의 테스트 옵션 요약

테스트 방법	주요 장점	주요 단점	제품 주기 단계
실행			
시뮬레이션된 신호	조건을 완전히 제어하며 반복할 수 있습니다. 다중 컨스텔레이션(향후 신호 포함)을 시뮬레이션할 수 있습니다.	신호가 물리적 안테나를 우회하기 때문에 능동형, 즉 반응형 안테나 시스템을 테스트하는 데 적합하지 않습니다.	R&D 및 통합 중의 수신기 테스트
무선(OTA)			
라이브 스카이	실제 환경입니다. CRPA 성능을 검증할 수 있습니다. 전용 챔버를 구축하는 것보다 비용 효과적입니다.	접근이 제한된 영역이 필요합니다. 환경을 제어형 방법으로 반복할 수 없습니다. 재밍 신호가 다른 GNSS 사용자에게 영향을 미칠 수 있어 스푸핑이 승인되지 않을 수 있습니다. 글로벌 시스템 테스트에서 일부 컨스텔레이션을 확인할 수 없습니다. 자원 집약적입니다.	CRPA 요소 및 CRPA 전자 장치의 검증 테스트.
고정 챔버	구성이 비교적 간단합니다. 테스트 환경을 완전히 제어하며 반복할 수 있습니다. 재밍 및 스푸핑을 모두 도입할 수 있습니다.	위성 이동을 시뮬레이션하지 않기 때문에 시나리오 신호 지오메트리는 짧은 지속 기간 동안만 유효합니다.	R&D 및 통합 테스트 중 수신기 검증 및 CRPA 빔 형성 기능 검증
영역 지정 챔버	테스트 환경을 완전히 제어하며 반복할 수 있습니다. 재밍 및 스푸핑을 모두 도입할 수 있습니다. 테스트 지속 기간이 더 길습니다. 수신 신호의 방위 및 고도가 사실적입니다. 각 컨스텔레이션을 함께 또는 따로 시뮬레이션할 수 있습니다.	하드웨어 집약적 솔루션입니다. 영역 전환 중에 추적을 잃지 않으려면 각 RF 출력에 신중한 위상 보정이 필요합니다.	CRPA 시스템 모든 측면에 대한 R&D, 통합 및 적합성 테스트.

7. 테스트 장비 선택

전체 개발 주기 동안 적응형 안테나 기반 시스템 테스트에 필요한 장비에는 다음이 포함됩니다:

- GNSS RFCS 또는 웨이브프론트 시뮬레이터
- 간접 생성기(간접 지원 웨이브프론트 시뮬레이터를 사용하지 않는 경우)
- 보정된 케이블링/어댑터. GNSS RFCS를 안테나 DUT에 연결할 때 사용.
- 무반사실 또는 야외 테스트 범위에 대한 액세스
- 3D 포지셔너/레이트 테이블. DUT 동작 및 자세를 애플리케이션함.
- 채밍/스푸핑 디바이스(챔버 기반 또는 야외 테스트용)
- RF RPS(기록된 실제 신호를 사용하는 테스트용)
- 테스트 대상 디바이스
- 데이터 수집 및 분석용 모니터링 장비. 일반적으로 Rx 제어 사용자 인터페이스 및/또는 Rx 출력과 인터페이스하는 기타 사용자 정의/타사 도구를 활용.

테스트 시나리오 고려 사항

전도 테스트용 장비 선택에는 다음과 같은 시나리오 요소에 대한 요구 사항이 포함될 수 있습니다:

공칭 GNSS 신호	• 컨스텔레이션, 주파수, 신호 지오메트리(궤도 정의 포함) • 개방형 기밀 신호 또는 사용자 정의 코드/탐색 데이터, 특정한 RF 특성을 가진 파형
간섭	• 높은 채밍 대 신호(J/S) 비율. 예: 130dB 이상(0dBm 이상의 절대 전력에 일치함). • 공칭 GNSS 신호 및 성능 사양으로 반송파 위상의 일관성을 유지합니다. 예: 생성된 신호 간 0.5mm 미만의 위상 정렬. • 주어진 모든 테스트 조건에서 높은 성능 사양을 유지합니다. 예: 높은 동적 환경 및/또는 최대 출력 전력에서도 신호 충실도가 저하되지 않음. • 사용자 정의 파형(I/Q 데이터 스트리밍)을 테스트 시나리오로 변조하는 기능
오버레이 오류 및 기타 효과	다음에 포함될 수 있습니다. • 전리권/대류권 오류 모델링, GNSS 수신기 성능에 영향을 미치는 기타 물리적 현상(예: 순간 변동)을 위한 검증된 수학적 모델 이 유형의 모델링에는 궤도 섭동, 개방형 원격 API를 통해 기타 모든 사용자 지정 오류 모델을 주입하는 기능이 포함될 수 있습니다. • 우주 내 신호 오류 및 사용자 정의 신호 오류 모드 • 적절한 3D 환경 모델링을 갖춘 다중 경로 간섭 • 관성 센서와의 융합, IMU 출력 애플리케이션, 다양한 고급 독점 INS/GNSS 수신기 인터페이스 지원
전력 출력	• 모델링(DUT 및 GNSS/간접 송신기 간 시뮬레이션 범위를 따름) 또는 고정.
추가 고려 사항	• 보정/특성화된 케이블(위상에 일치함)이 필수입니다 • 공칭 GNSS 신호(+오버레이 효과/오류) 및 간섭 신호 간 일관성을 유지합니다 • 시뮬레이션된 안테나 패턴 및 CRPA 요소 지오메트리를 시나리오 정의 매개변수에 정확하게 반영해야 합니다. • 모든 차량 역학을 충실하게 모델링하고 가능한 최고 업데이트 속도(애플리케이션 요구 사항을 따름. 예: 1kHz 이상)로 시나리오에 주입해야 합니다

CRPA 및 GNSS 수신기(DUT) 고려 사항

CRPA 및 GNSS 수신기 설계에 대한 자세한 내용은 본 백서에서 다루지 않습니다. 그러나 다음과 같은 측면을 고려해야 합니다:

CRPA 요소 개수	이는 생성될 수도 있는 적응형 빔 형성 및 널 조정 로브 개수에 물리적 제한을 부과합니다.
개별 안테나 요소의 특징 이해	고려해야 할 측면에는 교차 결합, 게인/위상 패턴, 임피던스/그룹 지연 응답, 위상 잡음 및 상관관계를 줄이는 상대적 지오메트리가 포함되어 안테나 전자 장치에 견고한 위상 출력을 만들어 냅니다. 이상적으로, 모든 요소의 위상 출력은 신호 웨이브프론트가 안테나 배열에 수평 또는 수직일 때 각각 0° 및 180° 상대 위상으로 일관되어야 합니다.
안테나 전자 장치 회로 및 적응형 알고리즘	간단한 구현에서 정교한 구현에 이르기까지 매우 다양하며 이를 통해 다음과 같은 측면에서 해당 애플리케이션의 요구 사항을 충족합니다: - 적응형 패턴. 예: 널 깊이, 방향성. - 빔/널 전환 속도(민간 애플리케이션의 경우 일반적으로 50ms 미만)
안테나 배열 및 GNSS 수신기 테스트 상태	초기 설정은 테스트마다 다를 수 있습니다. 이상적으로는 DUT에서 유틸리티를 제공하여 쉽고 반복 가능한 방법으로 이러한 설정을 구성합니다. 예: 원격 명령 또는 스크립트 주입을 활용.

시뮬레이터 고려 사항

전도 또는 방사 테스트를 위해 다중 위상 출력이 있는 RFCS를 선택할 때 다음과 같은 측면을 고려해야 합니다:

GNSS 공칭 신호	개방 + 기밀(필요할 경우).
사용자 정의 파형	예를 들어 작동 전/실험 단계의 GNSS 신호, 공공 인터페이스 제어 문서(ICD)가 없는 GNSS 신호(본 백서에서는 간단하게 "비 ICD 신호"라고 함) 또는 기밀 변조 코드 및 탐색 데이터, 맞춤형 RF 특성 및 전력 모델링(예: 고정형 또는 범위 기반)을 갖춘 보안 신호가 있습니다. 비 ICD 신호 및 주입된 사용자 정의 파형에는 서로 다른 변조 유형, 하위 반송파, 기본 및 보조 코드, 탐색 데이터 속도 등이 포함될 수 있습니다.
RF 출력 개수	테스트 대상인 CRPA 요소 개수 이상(예: 16개 이상)이어야 합니다.
신호 개수 지원	테스트 및 적용 대상인 CRPA 요소의 개수(예: 1,000개 이상)에 따라 필요한 컨스텔레이션 및 주파수의 조합과 다중 경로가 포함됩니다.
출력 RF 신호 제어	테스트 대상 CRPA에서 실제 초기 웨이브프론트를 재현하려면 출력 신호를 반송파 위상에 정확하게 정렬하고 제어 가능해야 합니다. 정밀한 전력 제어는 (특히 동적 시나리오에서) 중요한 고려 사항이기 때문에 시뮬레이션된 수신기 위치와 위성 위치 사이에는 정확한 신호 전파 모델링이 필요합니다.
시스템 업그레이드 가능성	RFCS는 독립형 단일 새시 또는 동기화 연결된 여러 새시를 구성하여 테스트 시스템 기능을 확대할 수 있습니다. 향후 시스템 업그레이드를 결정할 때는 다른 측면을 양보해야 할 수도 있기 때문에(예: 하드웨어 업데이트 속도인가, 아니면 동시 시뮬레이션된 채널 개수인가) 신중한 고려가 필요합니다.
간섭 생성(RFCS 또는 별도의 간섭 생성기를 활용)	주요 고려 사항에는 다음이 포함됩니다: 간섭 사양은 반송파 위상과 공칭 GNSS 신호를 간섭하게 정렬하고 품질 높은 스펙트럼 특성을 활용해야 합니다. 예를 들어 0dBm 이상의 높은 전력 출력 수준에서도 불요 신호/조파가 거의 발생하지 않아야 합니다. 즉, 공칭 ICD GPS L1 C/A 수준 -130dBm을 기준으로 >130dB J/S이어야 합니다. 일반적으로 외부 간섭 신호 생성기(ISG)는 내장 ISG보다 강력할 수 있지만 CRPA 테스트 애플리케이션에 필요한 반송파 위상 정렬 수준의 관점에서 동일한 정밀도를 제공할 수는 없습니다. 시뮬레이터 사용자 인터페이스는 간섭 방사 필드를 정의하는 사용자 친화적 유틸리티를 제공해야 합니다. 예를 들어 테스트 대상 수신기를 나타내는 시뮬레이션 차량과 관련하여 지상 간섭 송신기(정적 또는 동적) 위치를 보여주는 지도를 제공해야 합니다. 간섭기는 쉽게 정의할 수 있는 서로 다른 유형의 파형을 지원해야 합니다. 대역폭, 업데이트 속도, 주파수 분해능 등의 RF 특성을 적절하게 정의한 부가 백색 가우스 잡음(AWGN), FM, AM, PM을 그 예로 들 수 있습니다. 이 기능에는 사용자 정의 간섭 파형(I/Q 데이터)의 주입이 포함될 수 있습니다.

시뮬레이터 고려 사항(계속)

확장 가능한 요구 사항에 대한 추가 지원	예시: 3D 동적 환경 모델링(예: 고정된 건물과 나무, 움직이는 차량과 보행자)을 갖춘 다중 경로 간섭 관성 센서를 갖춘 통합. 관성/GNSS 센서 융합을 사용하여 장비 및 알고리즘을 테스트함.
테스트 자동화 기능	이상적으로, RFCS는 개방형 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스(API) 옵션을 제공해야 합니다. 이는 전체 테스트 프로세스 자동화, 실시간 테스트 진행 모니터링을 구현하여 테스트를 여러 차례 실행할 때 반복 가능성을 확보합니다. 이는 여러 가지 방법으로 테스트를 용이하게 합니다. 그 예는 다음과 같습니다: 다양한 테스트 현장, 다양한 테스트 운영자 향후 일련의 동일한 테스트(즉, "황금 시나리오")를 반복해야 하는 경우. 예: DUT 수정/업그레이드 설계에서 성능 비교 분석을 수행해야 하는 경우. DUT 및/또는 테스트 요구 사항을 업그레이드한 경우. 예: CRPA 요소를 추가한 경우 전체 테스트 프로세스를 재설계하고 업데이트하는 데 귀중한 엔지니어링 자원을 할당하는 대신 테스트 엔지니어가 자동 테스트 스크립트를 최소한으로 수정함.

추가 읽기 자료

시뮬레이터 성능 특징을 파악하는 방법에 대한 자세한 정보는 당사 e북 [GNSS 시뮬레이터 선택 방법](#)을 읽어 보세요.

챔버 테스트 고려 사항

OTA 테스트용 챔버를 선택할 때 다음과 같은 추가 요구 사항을 고려해야 합니다:

챔버 설계	일반적으로 이는 테스트 요구 사항, 가용 자원에 따라 적시에 조립할 수 있는 돔입니다.
RFCS 및 간섭 생성기의 전력 제어	무반사실의 주요 문제는 배울, 그리고 신호 전파 속성에 발생하는 본질적인 제한입니다. 인공 반사(RF 흡수 재료를 신중하게 배치하여 해결 가능), 서로 다른 전력 전파 모델을 그 예로 들 수 있습니다. 테스트 장비로 GNSS 및 간섭 신호(선택 사항)의 반송파 위상과 전력 수준을 정밀하게 제어하여 특히 시뮬레이션 시나리오에 높은 역학이 존재할 때 사실성을 유지하는 것이 중요합니다.
RF 격리	실수로 신호를 누설하지 않으려면 챔버는 외부 환경의 RF와 격리된 상태여야 합니다. 일반적으로 제어실도 챔버의 RF와 격리된 상태이며 이때 RF 및 데이터 입력은 제어실에서 챔버로 연결된 상태입니다. 방사 장비 컨트롤러가 챔버 내부에 위치한 경우 제어실에서 원격으로 액세스할 수 있습니다. 기밀 신호를 포함한 테스트는 별도의 액세스 조항이 필요할 수도 있습니다. 해당 내용은 본 문서에서 다루지 않습니다.
송신 안테나	일반적으로 여러 GNSS 주파수(예: L1 및 L2 주파수 대역)를 지원합니다. RFCS를 송신 안테나와 연결하려면 보정 케이블/어댑터가 필요합니다.
레이트 테이블/3D 포지셔너	선택적으로, CRPA 호스트 차량이 수행하는 물리적 회전을 에뮬레이션하려면 레이트 테이블/3D 포지셔너가 필요할 수 있습니다.

8. 예시 테스트 살펴보기: 전도 테스트

이는 전도 테스트로서 7요소 CRPA DUT에 대한 간섭이 존재할 때 C/N₀ 개선을 측정하도록 설계되었습니다.

시나리오	
이 표는 시나리오의 주요 시뮬레이션 매개변수를 요약한 것입니다:	
시뮬레이션 매개변수	참고
시작 날짜/시간 및 지속 기간	이는 과거, 실시간, 미래일 수 있습니다. 또한 애플리케이션 요구 사항에 따라 몇 초에서 몇 주까지 지속될 수 있지만 일반적인 시나리오 지속 기간은 두 시간입니다.
차량 위치	WGS84 좌표의 정적 또는 고정 위치(사전 정의 또는 실시간 유도 외부 움직임 포함).
CRPA 요소 상대 위치(차량상)	시나리오 실행 시간 동안 결정됩니다. 실행 중간에 다양한 안테나 배열 구성을 변경/저장/업로드할 수 있습니다.
CRPA 요소 안테나 패턴	사용자 친화적인 게인 및 위상 3D 편집기를 통해 시나리오 실행 중에 안테나 패턴을 전환할 수 있습니다.
위성 신호	GPS L1(그 수는 시나리오의 위성 가시성에 따라 다름).
위성 지오메트리	RFCS 제어 소프트웨어에서 전파 또는 RINEX/SP3 궤도 파일을 통해 유도한 기본 매개변수로, 선택 사양인 커브 피팅 기능이 있어 주어진 업로드 기간의 유효한 시간 동안 위성 궤도력 매개변수의 전파를 사실적으로 나타냅니다. 추가 효과(위성 발사/설정)를 시뮬레이션할 수 있습니다.
재밍 신호	6개의 정적 또는 동적 재머로, DUT(7요소 CRPA)의 모든 기능을 실행합니다.
재밍 신호의 움직임 및 지오메트리	절대 위치 또는 차량 상대 위치에 재머를 배치하고 시나리오 실행 중에 이동할 수 있습니다. 재밍 신호 유형은 AM/FM/AWGN/펄스 등 다양합니다. 이는 필요에 따라 켜고 끌 수 있으며 전송 전력과 움직임을 실시간(GUI 또는 원격 명령을 통한 대화형 방식) 또는 사전 로드 스크립트를 통해 제어할 수 있습니다.
대기 및 오류	기본 ICD 모델 또는 추가적인 오류(예: 순간 변동)가 있는 사용자 정의형.
기타 오류	예: 다중 경로, 우주 내 신호(SIS), 탐색 데이터 오류 모드.

테스트 방법

시나리오를 실행한 다음, 모니터링 장비에서 DUT 타임스탬프가 기록된 출력 매개변수(예: C/N₀, 재머의 J/S, 안테나 패턴 특성)를 수집합니다(실시간 데이터 스트리밍 또는 사후 처리용 로깅 파일을 활용).

성능 비교 및 분석을 수행하려면 시뮬레이션 재머에서 주어진 간섭 파형이 있을 때와 없을 때의 C/N₀ 악화를 테스트합니다.

또한 시나리오를 여러 차례 실행하면 모든 DUT 성능 변동성에 대한 통계적 평가를 수행할 수 있습니다.

필요한 장비

- Spirent C50r 호스트 컨트롤러 1개
- Spirent GSS9000 다중 출력 GNSS RFCS 새시 2개(하나를 GNSS 생성에 사용, 다른 하나는 간섭 신호에 사용)
- 외부 RF 결합기 매트릭스. 예: Spirent GSS9768 마이크로 제어 장치(MCU).
- 케이블 및 어댑터
- DUT(7요소 CRPA + Rx)

테스트 구성은 그림 3에서 확인할 수 있습니다. 테스트 시스템은 공장에서 보정을 마쳐 보정용 추가 장비가 필요하지 않다고 가정합니다. 호스트 컨트롤러는

GNSS 테스트 시나리오를 정의하는 Spirent 독점 소프트웨어 제품군인 SimGEN을 실행합니다. 테스트 매개변수 구성을 마치면 사용자는 실시간으로 시나리오를 재생할 수 있습니다. 호스트 컨트롤러는 신호 생성기와 통신하는데, 이를 통해 실시간 GNSS/간섭 신호를 제공합니다.

이 예시에서 각 신호 생성기는 별도의 RF 출력을 통해 CRPA의 7개 요소 각각에 공칭 GNSS 또는 간섭 신호를 제공하는 데 사용됩니다. 신호 발생기의 GNSS 및 간섭 RF 출력(총 14개)은

외부 결합기(Spirent GSS9768 MCU)의 입력이 되며 이를 통해 7개의 결합된(보정 및 위상 정렬) RF 신호를 각 안테나 요소에 1개씩 제공합니다.

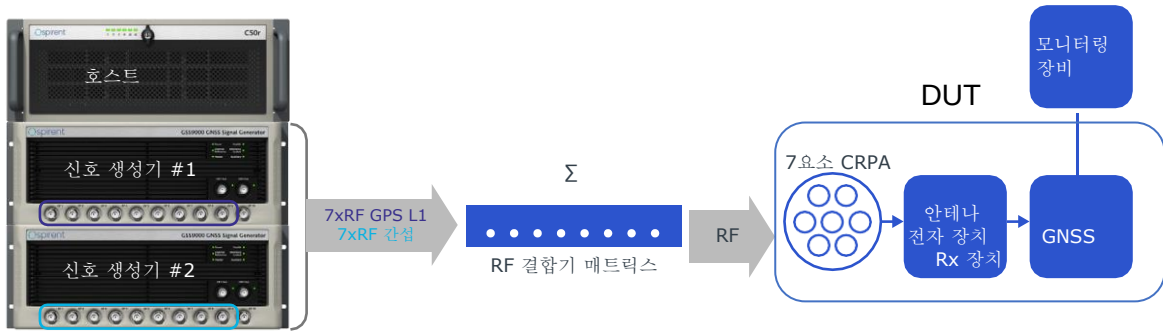


그림 3: 7요소 CRPA 테스트 구성의 예

테스트 내용?

시나리오는 DUT 주변에 6개의 지상 기반 재머를 정의합니다. 이는 그림 4에서 확인할 수 있습니다. 이는 적응형 7요소 CRPA가 주어진 시간에 설계상 무효화할 수 있는 재머의 최대 개수입니다. 예시 테스트는 아래 표와 같이 세 단계로 나뉩니다.

1단계는 간섭을 끈 상태에서의 DUT 초기화로, DUT가 공칭 항법 솔루션을 제공할 수 있도록 합니다. 2단계에서는 간섭을 켜져 CRPA 적응형 알고리즘은 켜지 않습니다. 이는 C/N₀ 및 DUT 성능 악화를 정량화하여 최악의 사례 시나리오 벤치마킹으로 활용하기 위함입니다. 3단계에서는 적응형 CRPA 알고리즘을 켜고 테스트 매개변수(예: C/N₀, 3D 정확도 등)에서 DUT 성능 개선을 관측합니다.

예시 테스트 단계				
테스트 단계	시나리오 실행 시간(시:분:초)	시나리오 구성	DUT 구성	DUT 예상 결과
1	00:00:00 – 00:15:00	간섭 꺼짐	초기 테스트 상태, CRPA 적응형 알고리즘 꺼짐	DUT 초기화, 신호 수집 및 추적 고정, 공칭 항법 솔루션 출력
2	00:15:00 – 00:16:00	간섭 켜짐(정적 재머)	CRPA 적응형 알고리즘 꺼짐	C/N ₀ 악화, 코드 추적 고정의 손실 가능성, 항법 솔루션 중단
3	00:16:00 – 00:20:00	간섭 켜짐(정적 재머)	CRPA 적응형 알고리즘 켜짐	C/N ₀ 개선, 코드 추적 고정 손실 및 항법 솔루션 중단 복구 가능

그림 4는 시나리오 구성 예시입니다. 상단 창에서는 GPS 위성으로부터 수신한 신호 세기, 지상 송신기(GTx)의 간섭을 확인할 수 있습니다. 하단 왼쪽 창에서는 공칭 GPS 신호(녹색) 및 지상 기반 재머(적색)가 있는 스카이 플롯을 확인할 수 있습니다. 하단 오른쪽 창에서는 안테나 요소 3D 게인 패턴을 확인할 수 있습니다.

서로 다른 반송파 주파수(예: L1 및 L2)에 대한 각 요소 안테나 패턴(게인 및 위상) 응답을 정의할 수 있습니다.

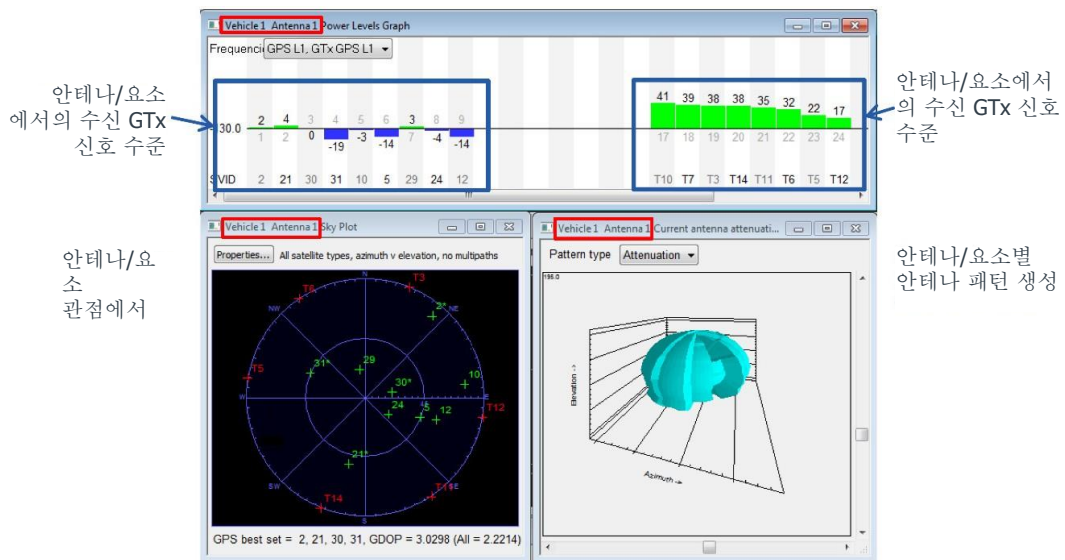


그림 4: 6개 지상 기반 재머를 사용한 CRPA 테스트 시나리오 구성 예시.

이 테스트를 변형하여 실행할 수도 있습니다. 그 예는 다음과 같습니다:

- 회전 DUT를 다양한 각도 속도로 시뮬레이션하여 변화하는 간섭 환경에 반응하는 속도를 테스트합니다.
- 간섭 및 CRPA 적응형 알고리즘을 켜 상태로 DUT를 초기화하여 상당한 간섭이 이미 존재하는 환경에서 DUT가 작동을 시작하는 사용 사례를 반영합니다.
- 서로 다른 상태에서 DUT를 초기화하여 콜드/웜/핫 스타트를 시뮬레이션합니다. 이는 다른 항법 시스템(예: RFI에 취약하지 않은 INS)을 통해 GNSS 수신기를 초기화해야 할 때도 유용합니다.

예상 결과

C/N₀ 및 J/S 대 시간 다이어그램(정적 사례)

C/N₀ 및 J/S 대 시간 다이어그램은 공칭 조건(간섭이 없음)이며 간섭을 켜 상태에서 선택한 위성의 관측된 C/N₀을 나타냅니다.

간섭을 켜 상태에서 다이어그램은 일반적으로 관측된 C/N₀ 측정값의 악화를 보여줍니다. C/N₀의 감소 또는 급격한 저하를 그 예로 들 수 있습니다. 특히 위성 신호 도래각이 재밍 신호 방향에 가까운 극단적인 경우에는 신호 추적 고정 손실되기도 합니다(C/N₀이 사전 정의된 임계값 아래로 떨어지는 경우. 이는 Rx 코드 판별기 풀인 범위에 따라 결정됨).

널 조정 알고리즘은 주어진 방향에서 도착하는 모든 신호를 감지합니다(공칭 위성 신호와 재밍 신호를 구별하지 않음).

C/N₀ 및 J/S 대 시간 다이어그램(동적 사례)

정적 사례와 비슷하지만 이 테스트 실행은 널 조정 알고리즘이 재머 및 CRPA 간 상대적 역학에 반응하는 속도에 대한 추가적인 증거를 제공합니다.

예를 들어 안테나 배열 프레임에 대해 각도 속도 20°/s로 움직이는 재머는 200°/s로 회전하는 재머보다 쉽게 무효화할 수 있습니다. 이는 예를 들어 로컬 수평선에 대해 3° 고도인 정적 재머가 있고 CRPA 배열이 동일한 각도 속도로 수직 본체 축을 중심으로(즉, 로컬 수평선에 수직) 회전하는 상황과 동일합니다.

사용자 애플리케이션에 따라 이는 움직임 역학을 나타내는 CRPA 호스트 차량 또는 재머 소스 중 하나 또는 두 가지 모두일 수 있습니다.

반응 시간이 빠르다면 다른 설계 매개변수(예: 널 깊이 또는 추가적인 처리 부하 요구 사항)와 절충할 수도 있습니다.

마지막 참고 사항

이 테스트에서 조사한 매개변수 외에도 사용자는 다음과 같은 매개변수를 추가로 조사할 수 있습니다.

- 적응형 널 조정 매개변수. 예: 방향성, 깊이 및 폭
- 백 로브가 신호 추적에 미치는 영향. 예: 위성 신호를 인위적으로 증폭한 경우.

이 섹션에 기술된 테스트 셋업은 이러한 모든 매개변수 등에 대한 테스트를 지원합니다. DUT 성능의 안정적인 특징에는 적절한 메트릭 및 통계를 활용한 반복적인 실험과 분석이 필요합니다.

군사/방위 및 상용 항공 애플리케이션에는 일반적으로 환경 요인(예: 온도 범위, 습도)을 포함하여 특정 작업에 대해 DUT를 인증합니다. 테스트 방법론에 대한 자세한 논의는 본 백서에서 다루지 않습니다.

9. 향후 고려 사항

본 백서에서 논의한 대로, 적응형 안테나 배열을 통합한 PNT 시스템 테스트에는 테스트 장비, 자원에 대한 상당한 투자가 필요합니다.

이러한 투자에서 최대한의 가치를 끌어내려면 테스트 팀은 위협의 진화, 적응형 안테나 기술의 발전 모두에서 향후 가능한 개발 사항을 고려해야 합니다.

실제 위협의 진화

실제 GNSS 재밍 및 스푸핑 사건의 발생 건수, 영향, 정교화 수준은 모두 증가하고 있습니다. 이러한 동향은 계속될 것으로 보입니다. 강력한 재머와 스푸퍼를 구축하는 데 필요한 장비가 더 저렴하고 강력해지고 있기 때문입니다.

5G 사업자가 GNSS 대역에 인접한 주파수를 승인받고 사용한다는 사실은 인접 대역 간섭(ABI)도 위협 환경의 중요한 부분이 될 수 있음을 의미합니다. 오래된 고정밀 GNSS 수신기가 가장 큰 영향을 받겠지만 일부 중요한 인명 안전 애플리케이션에서 ABI도 문제가 될 수 있습니다.

안테나 기술의 발전

새로운 재료와 설계 기술은 안테나 배열이 높은 성능 수준을 유지하면서도 차지하는 공간은 줄입니다. CRPA, 빔 형성과 같은 적응형 안테나 기술은 발전을 거듭하며 더욱 콤팩트하게 될 것입니다.

이전에는 안테나 전자 장치가 별도의 장치였지만 점점 안테나 자체에 또는 수신기에 직접 통합되어 새로운 테스트용 시스템 구성을 만들게 될 것입니다.

또한 적응형 안테나 기술의 비용, 해당 기술 사용에 대한 정부 규제는 감소할 것으로 보이기 때문에 이는 비용 효과적이고 상업 애플리케이션에 활용할 수 있는 기술이 될 것입니다.

10. 결론

RF 간섭 및 스푸핑은 안전과 책임이 중요한 PNT 시스템에 더 큰 위협이 되고 있으며 이는 적응형 안테나 기술을 사용하여 부분적으로 완화할 수 있습니다. 적응형 안테나를 상업용, 군사용으로 활용하는 사례가 증가함에 따라 향후 수년간 다양한 산업 시장용으로 개발하는 모델의 수도 증가할 것입니다.

이러한 안테나를 테스트하는 데는 본 백서에서 살펴본 대로 고유한, 때로는 복잡한 문제가 따릅니다. 따라서 특정 애플리케이션 요구 사항에 가장 적절한 테스트 장비를 선택하려면 신중한 고려가 필요합니다.

Spirent는 다음 섹션에서 설명하는 포괄적인 솔루션 및 서비스 제품군을 통해 이러한 어려움을 해결할 수 있도록 적응형 안테나 기반 시스템의 개발자, 통합자 및 구매자를 지원합니다.

11. Spirent의 지원 방법

Spirent는 GNSS 및 관성 테스트 솔루션을 개발하고 구현한 30년 이상의 경험을 바탕으로 적응형 안테나 시스템 테스트의 모든 측면을 지원할 수 있습니다.

Spirent 하드웨어 및 소프트웨어는 발전을 거듭하여 군대, 정부, 우주 및 상업 부문을 선도하는 조직의 PNT 테스트 요구 사항을 해결합니다. 당사 GNSS 신호는 더 나은 지원, 유지 보수 용이성을 위해 사내에서 개발한 전용 하드웨어 및 소프트웨어를 통해 최신 ICD를 구현하여 생성합니다.

Spirent 수학적 모델은 GNSS 업계 최고의 전문가와 협력하여 30년 이상 동안 입증과 최적화를 마쳤습니다. 당사의 시뮬레이션된 GNSS 신호는 관련된 각각의 현재 ICD를 모두 구현하여 제일원리로 생성됩니다. 또한 신호 특성 및 오류, DUT 동작 모든 측면의 검증된 수학적 모델링을 통해 충실도를 보증합니다.

특히 적응형 안테나 테스트의 경우 Spirent는 다음과 같은 솔루션 및 서비스를 제공합니다:

하드웨어

Spirent GNSS 시뮬레이터는 수신기 알고리즘 설계에서 테스트 대상 디바이스, 시스템 또는 차량의 PNT 검증에 이르기까지 모든 GNSS 테스트 요구 사항을 다룹니다. 이러한 기능을 동일한 하드웨어 장치에 통합하면 설계자, 개발자 및 테스터가 테스트 결과를 교환하고 리소스를 공유하기가 간편해집니다. 안테나 시스템 테스트용 시뮬레이터 솔루션에는 다음이 포함됩니다:

GSS9000 고급 다중 요소 GNSS 시뮬레이션 시스템

GSS9000 시리즈는 저하되지 않는 최고의 성능을 자랑하는 세계 최고의 GNSS 시뮬레이션 플랫폼입니다. 현재 및 계획된 모든 GNSS 신호뿐만 아니라 스푸핑, 제밍 및 간섭 신호의 정교한 정의를 지원하는 GSS9000은 가장 발전한 형태의 CRPA 시스템을 테스트하는 데 필요한 유연성과 절대적인 정밀도를 자랑합니다.

GSS9000 시리즈 플랫폼의 다중 출력 옵션은 스푸퍼/중계기 신호를 포함하여 고유한 웨이브프론트 시뮬레이션 요구 사항을 지원하도록 설계되었습니다. 이를 통해 전도 및 OTA 안테나 테스트 모두에서 시뮬레이터 플랫폼 내에 높은 J/S 간섭 신호를 생성할 수 있습니다.

[더 알아보기](#)

GSS9790 GNSS 신호 시뮬레이터

GSS9790은 Spirent의 GSS9000 시리즈 다중 GNSS 시뮬레이터 플랫폼을 수정한 옵션으로, 무반사실 테스트용으로 특별히 설계했습니다. 한 개 이상의 신호 생성기 새시, Spirent의 SimGEN 시나리오 정의 및 시뮬레이션 제어 소프트웨어를 실행하는 전용 C50r 호스트 장치로 구성되어 있습니다.

개별 출력 모드에서 각 위성을 나타내는 신호는 신호 새시의 10개 RF 출력 각각에서 이용할 수 있습니다(최대 3개의 새시를 동기화 연결할 수 있음). OTA 애플리케이션에서는 송신 GNSS 위성의 대략적인 공중 위치를 나타내는 무반사실 천장 주변 송신 안테나에 개별 출력을 연결하고 이때 DUT는 챔버 중앙(초점)에 위치합니다.

복합 출력 모드에서 GSS9790은 표준 GNSS 컨스텔레이션 시뮬레이터로 작동합니다. 모든 GNSS 신호는 GNSS 디바이스 안테나 공중 인터페이스의 물리적 위상 중심점을 나타내는 단일 RF 출력으로 제공됩니다.

[더 알아보기](#)

GSS7000 GNSS 신호 시뮬레이터

GSS7000은 안정적인 결과를 빠르게 제공하는 다중 주파수, 다중 GNSS 시뮬레이터입니다. 업계 최고의 Spirent 아키텍처를 기반으로 구축한 GSS7000은 합리적인 가격으로 높은 채널 밀도, 정밀한 성능을 선보여 다양한 애플리케이션에서 사용할 수 있습니다. 검증된 다중 새시 성능, 필드 내 업그레이드 지원, 강력한 온보드 간섭 가용성, 이중 복합 RF 출력을 자랑하는 GSS7000은 복잡한 전도 및 OTA CRPA 테스트 방법론을 위한 이상적인 솔루션입니다.

[더 알아보기](#)

GSS7765 간섭 생성기

고전력 방사 CRPA 테스트에 적합한 외부 결합 간섭 발생기로 널 조정 및 방향 확인 애플리케이션에 사용합니다.

[더 알아보기](#)

소프트웨어

SimGEN: 세계 최고의 GNSS 시뮬레이션 소프트웨어

SimGEN은 시나리오 정의, 실행, 데이터 관리, GNSS RF 컨스텔레이션 시뮬레이터 명령 및 제어를 위한 세계 최고의 GNSS 시뮬레이션 소프트웨어입니다. SimGEN은 모든 애플리케이션의 GNSS 시스템, 서비스, 디바이스를 연구, 개발 및 설계하는 데 요구되는 포괄적인 GNSS 테스트에 필요한 GNSS 테스트 매개변수 및 제어 기능을 지원합니다.

SimGEN은 다음과 같은 주요 기능을 제공합니다:

- 정확한 위성 궤도 데이터, 궤도력, 책력의 완전한 자동 전파 생성
- 선언 및 비선언 오류와 수정 사항을 항법 데이터에 적용하기 위한 다양한 메커니즘
- 위성 클록 및 궤도
- SimREMOTE: 포괄적인 시뮬레이션 제어 및 6-DOF 궤적 제공 기능
- 다양한 인터페이스를 통해 실시간으로 신호, 시간, 제어, 차량 및 궤적 데이터를 파일로 데이터 로깅 및 스트리밍
- 다중 경로 반사에 필요한 다양한 모델
- 지형 차폐 모델
- 독립 위성/채널 신호 전력 제어
- 신호 변조 및 코드 제어
- 스푸핑 테스트에 필요한 다중 복사 컨스텔레이션
- 궤적 스푸핑을 위해 1RF에 대한 다중 차량
- 항공기, 우주선, 해양 선박, 지상 차량을 위한 차량 특성 및 움직임 모델링
- 안테나 수신 게인 및 위상 패턴 위성 송신 안테나 패턴 제어
- 클록 g-감도
- 안테나 레버 암 효과
- INS 지원 데이터
- 전리층 순간 변동을 포함한 전리권 및 대류권 효과
- DGPS/RTK 보정
- 의사 거리 램프(RAIM 테스트용)
- 윤초 및 주간 롤오버 사건 테스트

더 알아보기

Sim3D: 사실적인 환경 모델링

Sim3D는 Spirent의 통합 3D 신호 전파 환경 모델링 툴입니다. OKTAL의 SE-NAV와 Spirent의 GNSS 시뮬레이션 시스템을 결합한 Sim3D는 시뮬레이션된 GNSS 신호를 감쇠하고 계산된 다중 경로에 따라 도래각을 수정하여 다양한 실제 환경을 생성하거나 가져올 수 있습니다.

Sim3D는 실제 효과를 나타내는 시뮬레이션된 GNSS 및 간섭 신호를 사용하여 널링/빔 형성 알고리즘을 테스트하고 그 특징을 이해하는 데 사용할 수 있습니다.

이 테스트는 전도 모드 또는 챔버 환경에서 수행할 수 있습니다. 전도 모드에서 사용자는 자신의 RHCP/LHCP 안테나 패턴을 시뮬레이션으로 가져올 수 있습니다. Sim3D를 통해 신호 극성에 따라 신호의 이득과 위상을 조정할 수 있습니다.

더 알아보기

SimINERTIAL: 관성 센서 출력 애플리케이션

IMU를 포함하는 적응형 안테나 기반 시스템의 경우 Spirent의 SimINERTIAL 소프트웨어는 GNSS RF 신호와 동기화하여 관성 센서 출력을 애플리케이션할 수 있습니다. 다양한 센서 유형, 선도적인 여러 통합 GPS/관성 시스템(IGI)과 임베디드 GNSS/관성 시스템(EGI)을 지원하는 SimINERTIAL 시리즈는 개발 단계에서 비용이 높고 긴 시간이 소요되는 필드 실험의 필요를 크게 줄입니다.

더 알아보기

영역 지정 챔버 솔루션

영역 지정 챔버 구성에서 Spirent는 L1, L2, L5 신호를 무반사실 내 도래각으로 동시에 전송하는 고유한 솔루션을 제공합니다. 이는 고급 CRPA의 중요한 테스트 요소입니다.

또한 생성된 GNSS 신호와 동기화되는 Spirent 챔버 솔루션에 물리적 재머(비콘)를 추가하여 널 조정 CRPA 알고리즘을 실행하기 위한 간섭 테스트를 통합할 수 있습니다.

손쉽게 이용할 수 있는 이러한 모든 옵션은 최대 1kHz의 업데이트 속도 및 외부 움직임 입력, 신호 충실도, 스펙트럼 순도를 자랑하는 세계 최고 성능의 Spirent 시뮬레이터를 토대로 구축하여 까다로운 고역학 애플리케이션을 지원하고 테스트 대상 시스템에 대한 철저하고 안정적인 성능 분석을 실현합니다.

챔버 솔루션은 선도적인 성능의 Spirent 시뮬레이터 플랫폼을 토대로 구축하였습니다. GSS7000은 민간 항공, 자동차 테스트용이며 GSS9000은 고속으로 이동하는 항공기와 같은 고급 테스트 애플리케이션용입니다. Spirent는 16개 이상의 CRPA 요소에 대한 멀티 주파수, 멀티 컨스텔레이션 지원을 통해 수십 개의 새시를 동기 결합하여 1,000개 이상의 독립 채널을 동시에 시뮬레이션할 수 있습니다.

또한 Spirent 챔버 솔루션은 3D 환경 모델링을 지원하여 다중 경로 간섭을 오버레이하고 사실성을 높일 수 있습니다.

Spirent 챔버 솔루션은 민간, 상업, R&D에서 군사 및 방위 애플리케이션에 이르기까지 모든 CRPA 테스트 요구 사항을 다룹니다.

Spirent 영역 지정 챔버 성능에 대한 영상 설명은 [여기](#)에서 확인할 수 있습니다.

서비스

Spirent에는 CRPA 테스트 요구 사항 식별에서 토크 시스템 설치 및 보정에 이르기까지 다양한 서비스를 제공하는 전담 팀이 있습니다. 서비스

후속 사용 중 시스템 제공의 일부 또는 자립형 평가로 다음을 요청하실 수 있습니다.

컨설팅: Spirent 전문가는 요구 사항 정의, 조언, 지침에서 테스트, 결과 평가 지원에 이르기까지 다양한 컨설팅 서비스를 제공할 수 있습니다. 정의된 목표와 일정은 더 나은 시스템을 미리 제공하는 데 도움이 됩니다.

수신기 감사: Spirent는 테스트 제품군을 실행하여 GPS 또는 다중 GNSS 수신기 성능을 평가하고 보고서를 제공합니다. 테스트 제품군은 Spirent 서비스 랩 또는 여러분의 지역에서 실행할 수 있습니다.

교육: 시스템 설치 및 승인 테스트를 성공적으로 마치면 현지 Spirent 담당자가 교육을 제공할 수 있습니다. 여기에는 강의실형 교육/프레젠테이션 세션, CRPA 테스트 시스템을 사용한 직접 시연(적절할 경우)이 포함됩니다.

시나리오 생성: Spirent는 OTA, 전도 또는 두 가지를 결합한 형태든 관계없이 합의된 고객 사용 사례에 적합하게 맞춘 시나리오를 제공할 수 있는 전문성을 보유하고 있습니다. 당사 엔지니어 서비스 팀은 포괄적이고 전문적인 CRPA 테스트에 간편하게 로드하고 재생할 수 있는 사전 정의 시나리오를 제공합니다.

또한 Spirent는 기술 문제를 해결할 수 있는 숙련된 테스트 엔지니어 및 컨설턴트로 구성된 글로벌 기술 지원 네트워크를 자랑하며 시스템 최상의 보정 성능을 달성하고 이를 유지하는 방법에 대한 조언을 제공합니다.

PNT 취약성 테스트에 대한 논의가 필요하면 [문의해주세요](#).

12. 기고자

Guy Buesnel, CPhys, MInstP, FRIN, RNTF

PNT 보안 기술 전문가, Spirent

Guy는 군대 사용자를 위한GPS 적응형 안테나 개발에 참여한 시스템 엔지니어로 경력을 시작한 후 20년 이상 동안새로운 위협으로부터 GNSS 수신기를 보호한 경험을 보유하고 있습니다. Guy는 Spirent의전문 PNT 보안 기술 전문가로PNT 위협과 완화 부분을 다루고 있습니다. Guy는 물리학및 대기물리학 학사 학위와통신공학 석사 학위를 소지하고 있습니다.

Guy는 영국물리학회(Institute of Physics) 회원이자CPhys(Chartered Physicist, 공인물리학자)이며영국왕립항법학회(Royal Institute of Navigation) 펠로우입니다. 또한 2019년에는RNT(Resilient Navigation & Timing) 재단 국제자문위원회의 위원으로임명되었습니다.

Kimon Voutsis, PhD, AFRIN

고급 PNT 테스트 솔루션 제품 매니저, Spirent

Kimon은 군대, 정부, GNSS 및 우주 조직에고급 GNSS 테스트 솔루션을 제공하는 일을 담당하고있습니다. 그는 GNSS 취약성 및 위협의 모든 측면에관심이 높으며 특히 스푸핑과 제밍에집중하고 있습니다. Kimon은 여러 기술 보고서와 간행물을단독 및 공동 저술했습니다. 영국왕립항법학회(Royal Institute of Navigation)준펠로우이며 유니버시티 칼리지 런던(UCL)에서포지셔닝, 내비게이션 및 타이밍 애플리케이션 부문의석사 및 박사 학위를받았습니다.

Ajay Vemuru, 이학 석사

NPI 제품 매니저, Spirent

Ajay Vemuru는 Spirent Communications의 제품 매니저로로봇 커뮤니티가 더 안전하고 안정적인위치 인식 플랫폼을 구축하도록 지원합니다.

Spirent에서 일하기 전에 Ajay는실리콘 밸리 최고의 반도체 회사 두 곳에서소프트웨어 엔지니어 및 연구 엔지니어로 근무했습니다. 고급 위치 알고리즘을 연구하고모바일 디바이스의 위치 기반 서비스를 개선하는 소프트웨어를 개발하는성공적인 경력을 쌓은 후 현재 Ajay는 Spirent의 자동차 및 로봇 고객을 위한새로운 솔루션 출시를 담당하고 있습니다.

Spirent Communications 소개

Spirent Communications(LSE: SPT)는 테스트, 보증, 분석 및 보안 분야에 대한 전문 지식과 수십 년의 경험을 바탕으로 개발자, 서비스 공급업체, 기업 네트워크에 서비스를 제공하는 세계적인 선두주자입니다. 당사는 점점 더 복잡해지는 기술과 비즈니스 과제를 명확히 해결하도록 지원합니다. Spirent 고객은 그의 고객에게 우수한 성능을 선보일 것을 약속했습니다. 그 약속을 지킬 수 있도록 Spirent가 최선을 다하겠습니다. 자세한 정보는 다음을 방문하세요. www.spirent.com

미주 1-800-SPIRENT

+1-800-774-7368
sales@spirent.com

미국 정부 & 국방

info@spirentfederal.com
spirentfederal.com

유럽 및 중동

+44 (0) 1293 767979
emeainfo@spirent.com

아시아 및 태평양

+86-10-8518-2539
salesasia@spirent.com

13. 약어 용어집

다음은 본 백서에서 사용한 약어입니다.

ABI	인접 대역 간섭
AoA	도래각
API	애플리케이션 프로그래밍 인터페이스
AWGN	부가 백색 가우스 잡음
Ax	안테나
C/N ₀	반송파 대 잡음비
CRPA	제어 방사(또는 수신) 패턴 안테나
DUT	테스트 대상 디바이스
EGI	임베디드 GNSS/관성 시스템
EW	전자전
FRPA	고정 방사(또는 수신) 패턴 안테나
GNSS	세계 위성 항법 시스템
GPS	위성 위치 확인 시스템
GTx	지상 송신기
HIL	Hardware In the Loop
ICD	인터페이스 제어 문서
IGI	통합 GPS/관성 시스템
IMU	관성 측정 장비
INS	관성 항법 장치
ISG	간섭 신호 생성기
J/S	재머/신호
LHCP	왼손잡이 원편광
MCU	마이크로 제어 장치
OTA	무선
PNT	포지셔닝, 내비게이션 및 타이밍
PPD	개인정보 보호 디바이스
PVT	위치, 속도 및 시간
RF	무선 주파수
RFCS	무선 주파수 컨스텔레이션 시뮬레이터
RFI	무선 주파수 간섭
RHCP	오른손잡이 원편광
RPS	기록 및 재생 시스템
Rx	수신기
SDR	소프트웨어 정의 무선
SFAP	공간-주파수 적응형 프로세스
SIS	우주 내 신호
STAP	공간-시간 적응형 프로세스
SV	우주 비행체
Tx	송신기