|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 자체 점검 실적보고서 | | | | | | |
| **세부사업명** | **5G개방형네트워크핵심기술개발** | | **과제번호** | | RS-2023-00228043 | |
| **과제명** | 오픈랜 기반 5G 공유셀 기지국 장비 기술 개발 | | | | | |
| **주관연구개발기관명** | ㈜쏠리드랩스 | | **연구책임자** | | 권  동  희 | |
| **총 수행기간** | 2023.04.01~2025.12.31  (33 개월) | | **당해연도**  **수행기간** | | 2024.01.01~2024.12.31  (12 개월) | |
| **연구비현황**  (단위 : 천원) | **연도** | **정부지원**  **연구개발비** | **기관부담금** | | | **합계** |
| **현금** | **현물** | **소계** |
| **1차년도** | **1,000,000** |  |  |  |  |
| **2차년도** | **1,370,000** |  |  |  |  |
| **3차년도** | **1,500,000** |  |  |  |  |
| **(합계)** |  |  |  |  |  |
| **당해연도 연구비현황**  (단위 : 천원) | **수행기관명** | **정부지원**  **연구개발비** | **기관부담금** | | | **합계** |
| **현금** | **현물** | **소계** |
| **㈜쏠리드랩스** |  |  |  |  |  |
| **삼지전자㈜** | **300,000** | **17,650** | **117,133** | **134,783** | **434,783** |
| **㈜포트러시** |  |  |  |  |  |
| **㈜케이티** |  |  |  |  |  |
| **㈜엘지유플러스** |  |  |  |  |  |
| **(합계)** |  |  |  |  |  |
| 정보통신・방송 연구개발 관리규정 제34조에 의한 진도실적 보고서를 제출합니다.                                                            2024 년 11 월 4 일                                                      연구책임자 : 권  동  희  (인)                                              주관연구개발기관장 : 김  대  영  (인) | | | | | | |

**1. 수행기관 자체 점검결과 종합**

|  |  |
| --- | --- |
| **점검항목** | **수행기관 자체 점검결과** |
| **1. 과제수행에 관한 종합적인 점검 결과** | ▪ 연구책임자 자체 점검 결과에 대한 총괄적인 견해      -        \*    ▪ 미진 및 수정 사항에 대한 분석-보완 계획 반영    ▪ 기타 건의 및 애로사항 제시    ▪ 세부실적 및 성과등에 대한 점검 결과 종합 정리 |
| 피코셀 지원 O-RU 하드웨어 / 소프트웨어 개발 (삼지x)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| 마이크로셀 지원 O-RU 하드웨어 / 소프트웨어 개발 (쏠리드 OpenLab, 삼지)  ▪마이크로셀 O-RU 플랫폼 설계 (100%)  - Interface 디자인  스크린샷, 텍스트, 전자제품, 회로이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  텍스트, 스크린샷이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - 내부 Block 배치  텍스트, 스크린샷, 소프트웨어, 멀티미디어 소프트웨어이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - DTU 설계  텍스트, 스크린샷, 소프트웨어, 컴퓨터 아이콘이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - RFU 설계  텍스트, 스크린샷, 소프트웨어, 컴퓨터 아이콘이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - PSU 설계  텍스트, 스크린샷, 소프트웨어, 운영 체제이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - Filter 설계  전자제품, 텍스트, 전자 공학, 컴퓨터 하드웨어이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - 모듈 제품 사진 및 성적서  ▶Unit 제작 : DTU  텍스트, 스크린샷, 전자 공학, 전자제품이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  ▶Unit 제작 : RFU  텍스트, 스크린샷, 직사각형이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  ▶Unit 제작 : PSU  텍스트, 전자제품, 스크린샷, 컴퓨터이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  ▶Unit 제작 : Filter  컴퓨터, 스크린샷, 텍스트, 디자인이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - 장비 제품 사진  스크린샷, 텍스트, 컴퓨터, 전자제품이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  ▪Digital Front End (DFE) 기능 블록 (100%)  - 대역폭 200MHz 이상의 광대역 CFR 구현   . Target PAR: 8.5dB  라인, 그래프, 스크린샷이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - 대역폭 200MHz 이상 광대역 DPD 연구 및 구현 텍스트, 도표, 평면도, 스크린샷이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  ▪RF Front End (RFFE) 기능 블록 (100%)  - 주파수: 700MHz ~ 5GHz  - 대역폭: 200MHz  - RFSoC 등 디바이스 솔루션 연구  - Evaluation 보드를 통한 핵심 기술 검증  텍스트, 스크린샷, 디스플레이, 도표이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  - 200MHz DPD Test 결과  텍스트, 스크린샷, 디스플레이, 멀티미디어 소프트웨어이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  ▪광대역 O-RU 요구 사항 (100%)  - 200MHz 이상의 광대역 RF 대역폭 처리    . MXL1600 (MAXLINEAR) - 200MHz 이상 처리 가능한 광대역 RFIC 활용  - 25Gbps 이상의 Fronthaul 전송 용량    . Payload line rate: 21.6GHz = 22bit(IQ) x 122.88MHz (sampling rate) x 2(CC) x 4(layer) |
| Cascade O-RU DL Copy / UL Combine 기능 개발 (쏠리드 OpenLab, 삼지)  ▪Cascade O-RU 동작을 위한 CUSM-Plane 기능 설계 (100%)  - O-RAN.WG4.MP.0-v07.00 분석 및 설계 적용  - O-RAN-WG4.CUS.0-v07.00 분석 및 설계 적용  ▪O-RAN 트래픽의 Cascade 전송을 위한 Fronthaul Interface 기능 및 Copy/Combine 기능 설계 (100%)  텍스트, 스크린샷, 폰트, 소프트웨어이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  [표준 기반 Copy / Combine 동작]  ▪Uplink Combine 지연 최적화 기술 설계 (90%)  텍스트, 스크린샷, 디스플레이, 번호이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  [Uplink 지연 최적화 기술 개념]  ▪UL Combine 과정에서 발생하는 Uplink 노이즈 저감 기술 설계 (90%)  - RU, Channel, Carrier, Port 조합별 Selective Combine 기능 검토 |
| Cascase O-RU PTP / SyncE / Clock 기능 개발 (쏠리드 OpenLab, 삼지)  ▪네트워크 요구 동기 성능, 기능 분석 및 구조 설계 (100%)  - PTP (Precision Time Protocol) 및 프로파일 분석  . PTP T-TSC Standard and T-BC Standard      .. Noise Generation: G.8273.2 Class B (Section 7.1)      .. Noise Tolerance: G.8273.2 Section 7.2      .. Noise Transfer: G.8273.2 Section 7.3      .. Transient rersponse & Holdover: G.8273.2 Section 7.4  . Support profile: G.8275.1, G.8275.2  - 네트워크 요구 동기 성능 분석 및 규격화  . FPS (Full Time Support) 망의 지원 프로파일 (ITU-T G.8275.1) 분석 및 시각 동기 성능 규격화  블랙, 어둠이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  [Clock 성능 규격]  ▪Cascade 구조에 따른 PTP / SyncE 요구사항 검토 (100%)  - Cascade를 위한 PTP master 블록 설계  . 주요 설계 내용      .. PTP master를 위한 FPGA master 8채널 구현 완료      .. Event 블록 설계구현 (Sync, Follow-up, Request, Reply)      .. Grand-Master의 정보와 상태를 연동 제어 설계  텍스트, 라인, 그래프, 스크린샷이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명라인, 그래프, 도표, 스크린샷이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명  [Clock 성능 분석] |
| Cascade O-RU 지원 FHM 기술 개발 (쏠리드 S-Lab)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| Cascade O-RU 연동 기능 개발 (쏠리드 S-Lab)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| Cascade O-RU, Shared O-RU 및 FHM 모니터링 시스템 설계 (쏠리드 S-Lab)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| 공유셀 시험망 구축 (쏠리드 S-Lab)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| Shared O-RU 기능 / 성능 검증 요구사항 분석 (케이티)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| RAN Sharing 네트워크 요구사항 분석 (케이티)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| Cascade O-RU 기능 / 성능 검증 요구사항 분석 (엘지유플러스)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| 공유셀 네트워크 요구사항 분석 (엘지유플러스)  ▪항목 1 (xx%)  -  -  ▪항목 2 (xx%)  -  - |
| **2. 기술개발 (표준화) 결과의 질적 수준** | ▪ 성과목표대비 실적 및 정량실적 등 제시한 실적에 대한 질적 측면에서의 우수성 제시    ▪ 기타 성과 중 연구의 우수성을 입증할 수 있는 자료 제시 |
| **3. 주요 계획 및 목표 등 변경/요청 사항** | ▪ 계획 및 목표 변경 등 요청사항 정리/제시    ▪ 변경 필요성 및 사유 상세화    ▪ 변경에 따른 기대효과 및 개선효과 등 제시 |
| **4. 사업별 성과목표 달성 기여도** | ▪ 5G개방형네트워크핵심기술개발 사업성과 목표 관련 달성여부     |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | **성과지표** | **구분 (‘24.10월 기준)** | | | **향후 계획** | | **목표** | **실적** | **달성율** | | O-RAN 국제 사실표준화 제안 (단위: 건) |  |  |  | ‘21.12월 국내특허 2건 등록 예정 | | 기술지도(시험검증 지원)  (단위: 건) |  |  |  | ‘21.10월 SCI급 2건 성과등록 예정 | | 수혜자 만족도  (단위: 점) |  |  |  | ‘21.12월 기술이전 1건 완료 예정 |     ※ (참고) “5G개방형네트워크핵심기술개발사업 성과지표 및 달성도“의 측정산식 참조    ▪ 사업 성과지표 관련 내용을 작성하고 그 외에 성과목표 달성 관련 우수성과(세계최고, 해외진출, 국내외 수상, 실증·시범 제품/서비스 등) 기재      - (예) SCI논문/대내외 수상 등 우수연구 대표실적을 요약 형태로 기입       |  | | --- | | 기계, 스크린샷, 가스 펌프이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명 | | <스마트 경량 IoT 기기용 암호기술 사업화> | | **(연구목표/내용) 스마트 경량 IoT 네트워크 보안프로토콜 기술개발 및 실증**   - 해킹에 의한 기기 위·변조 방지, 비인가 접근차단, 오동작 방지 등보안을 내재하는 스마트 경량 IoT 기기용 핵심기술개발 추진 | | **(연구성과) 지능형 전기 원격검침 인프라 사업화 추진**(텔레콤, ‘20년)   - 노르웨이 등 현지사업자와 협력하여 85만호 설치/운영(1,200억원) | |

**2. 세부 자체점검 결과 *(기술개발&기반조성/표준화 양식 선택 작성)***

|  |
| --- |
| **< 정량적 실적 작성 가이드 > 각종 주석은 작성시 삭제**  **ㅇ 달성한 성과는 ‘실적’ 란에 건수 작성, 달성 예정인 성과는 (괄호)로 별도 표기  *예시: 2(1)***  **ㅇ 당해 연구개발 목표를 전년도에 조기 달성한 경우, 정량적 성과 실적에 표시(\*) 후 ‘비고’ 란에 해당 내용 설명 구체적으로 작성**  **ㅇ 전년도 성과목표 중 미달성 건이 있을 경우, 정량적 성과 실적에 표시(\*) 후 ‘비고’ 란에 달성 완료 또는 현재 진행상황을 ‘비고’ 란에 구체적으로 작성** |

**(1) 기술개발&기반조성 과제**

**가. 기술개발 성과목표 대비 실적**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **평가 항목**  **(주요성능Spec)** | **단위** | **전체 항목에서 차지하는 비중(%)** | **개발 목표치** | | | **추진실적** | |
| **1차년도**  **(2023년)** | **2차년도**  **(2024년)** | **3차년도**  **(2025년)** | **실적치** | **진도** |
| 1. 서비스 대역폭 | MHz | 10 | - | 100MHz | 200MHz | 진행중 | 정상 |
| 2. Component Carrier 수 | 개 | 10 | - | 1 | 2 | 진행중 | 정상 |
| 3. Antenna 구성 | T/R | 10 | - | 4T4R | 4T4R | 진행중 | 정상 |
| 4. Cascade 지원 | 개 | 10 | - | 1 | 2 | 진행중 | 정상 |
| 5. Clock 성능 | ns | 10 | - | max|TE|<70ns  (Class B) | max|TE|<30ns  (Class C) | 진행중 | 정상 |
| 6. 동시지원 O-DU 수 | 대 | 10 | - | 1 | 2 | 진행중 | 정상 |
| 7. 동시지원 공유셀 수 | 개 | 10 | - | 1 | 2 | 진행중 | 정상 |
| 8. 싱글셀 구성 O-RU 수 | 개 | 10 | - | 7 | 14 | 진행중 | 정상 |
| 9. O-RU HW 체적 | L | 10 | - | 3.63 | 3.63 | 진행중 | 정상 |
| 10. O-RU HW 소모전력 | W | 10 | - | 70 | 65 | 진행중 | 정상 |

**나. 정량적 실적**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **구분** | **특허** | | | | **표준화** | | | | | | **기술**  **이전** | **상용화**  **(백만원)** | **기술료**  **(백만원)** | **성과홍보** | **시제품** | **S/W**  **등록** | **기술문서** |
| **국제** | | **국내** | | **국제** | | | **국내** | | |
| **출원** | **등록** | **출원** | **등록** | **기고서 제출** | **기고서 채택** | **표준안 채택** | **기고서 제출** | **기고서**  **채택** | **표준안 채택** |
| **계획**  **(건)** | 1 | 0 | 2 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **실적**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

※ 연구개발계획서 내, 정량적 기대성과에 대한 당해연도 연구기간 내 발생성과를 제시

○ 비고

|  |
| --- |
| \* 성과목표 중 전년도 ‘조기달성’ 또는 ‘전년도 미달성’ 성과에 대한 추가설명 작성 |

**다. 기타성과**

|  |
| --- |
| \* 해외 우수학회 및 저널 논문 게재(SCI) 실적, 대외홍보(신문기사), 해외기업 MOU 등 기타 실적 작성 |

※ 해당 없는 경우에는 ‘해당 없음’으로 작성

**라. 과제수행 애로사항**

|  |
| --- |
| \* 계속과제 대상 과제수행 중 애로사항 작성 |

※ 해당 없는 경우에는 ‘해당 없음’으로 작성(‘24년 신규과제는 필요시 작성)

**(2) 표준화 과제**

**가. 정량적 실적**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **구분** | **국제표준** | | | | | | **사실표준** | | | | | | **국가표준** | | **단체표준** | |
| **제정** | | | **개정** | | | **제정** | | | **개정** | | |
| **승인** | **개발** | **제안** | **승인** | **개발** | **제안** | **승인** | **개발** | **제안** | **승인** | **개발** | **제안** | **제정** | **개정** | **제정** | **개정** |
| **계획**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **실적**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **구분** | **표준전문연구실 정책기고** | | | | | **국제협력** | | | | | | **표준특허** | | | **표준연계오픈소스** | |
| **결의안** | | **국가선도**  **기술제안** | | **정책**  **위원회 기고 반영** | **의장단**  **수임** | | | | **위원회**  **신설** | **국제**  **회의**  **국내**  **유치** | **국제** | | **국내** | **SW 코드 승인**  **(Commit)** | **오픈**  **소스 커미터 수임** |
| **결의안** | | **문서** | | **의장** | | **의장외** | | **승인** | **후보** | **승인** |
| **승인** | **제안 및 개발** | **승인** | **제안 및 개발** | **신규** | **계속** | **신규** | **계속** |
| **계획**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **실적**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **구분** | **기술기준** | | **지식재산권** | | | | | | **기술이전** | | **기타** | | |
| **제정** | **개정** | **국제** | | **국내** | | **기타** | | **건수** | **기술료**  **(원)** | **고용**  **창출** | **정책**  **기고**  **반영** | **자율**  **제안** |
| **등록** | **출원** | **등록** | **출원** | **등록** | **출원** |
| **계획**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **실적**  **(건)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

※ 연구개발계획서 내, 정량적 기대성과에 대한 당해연도 연구기간 내 발생성과를 제시

○ 비고

|  |
| --- |
| \* 성과목표 중 전년도 ‘조기달성’ 또는 ‘전년도 미달성’ 성과에 대한 추가설명 작성 |

**나. 정량적 실적 세부내용**

  ○ 국제・사실표준

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **순번** | **표준화 기구**  **(SG, WG 까지)** | **구분** | | **성과명(표준명)** | **문서번호** | **(예정)시기\***  **(연.월)** | **비고** |
| **제정/개정** | **승인/개발/제안** |
| 1 | ITU-T SG 17 | 제정 | 개발 |  |  | 20xx.xx |  |
| 2 | ISO/IEC JTC 1 SC41 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |

 \* 올해 예정인 성과의 예정시기 작성 필요

  ○ 국제·사실표준화 기구 의장단 수임

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **순번** | **표준화 기구**  **(SG, WG 까지)** | **위원회명** | **의장/그 외\*** | **신규/계속** | **최초수임시기**  **(연.월)** | **비고** |
| 1 |  |  |  |  | 20xx.xx |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |

 \* 역할 구체적으로 표기

**다. 기타성과**

|  |
| --- |
| \* 해외 우수학회 및 저널 논문 게재(SCI) 실적, 대외홍보(신문기사), 해외기업 MOU 등 기타 실적 작성 |

※ 해당 없는 경우에는 ‘해당 없음’으로 작성

**라. 과제수행 애로사항**

|  |
| --- |
| \* 계속과제 대상 과제수행 중 애로사항 작성 |

※ 해당 없는 경우에는 ‘해당 없음’으로 작성(‘24년 신규과제는 필요시 작성)

**3. 목표 및 계획 변경 요청*(해당시 작성)***

|  |
| --- |
| (시장/기술 상황 변화에 따른 당초 목표의 변경, 추진실적 관련 지연에 대한 조치, 보완/개선, 추가 등의 향후 추진계획을 작성)    \* 시장/기술 상황의 변화로 인해 또는 기술개발/사업화 성과창출 극대화를 위해 당초 연구개발계획서 상에 계획된 목표의 변경 추진이 필요한 경우, 해당 내용을 작성    \* 당초 계획대비 추진실적 지연이 발생한 사항에 대한 달성 계획    \* 당초 계획된 세부 연구내용 관련하여 과제수행기관이 스스로 보완/개선이나 세부 내용을 추가하고자 할 경우, 해당 내용을 작성 |

※ 해당 없는 경우에는 ‘해당 없음’으로 작성

O-RAN 기반의 5G 공유셀 기지국 장비를 개발했다고 가정했을 때 소프트웨어 관점에서 실적 보고서를 작성해줘

**O-RAN 기반 5G 공유셀 기지국 소프트웨어 개발 실적 보고서**

**1. 개요**

* **프로젝트 명**: O-RAN 기반 5G 공유셀 기지국 소프트웨어 개발
* **개발 기간**: 202X년 XX월 ~ 202X년 XX월
* **목적**: O-RAN(Open Radio Access Network) 아키텍처를 기반으로 한 5G 공유셀 기지국을 개발하여, 다양한 통신사업자와 인프라 제공자가 네트워크 자원을 공유할 수 있도록 하여 서비스 품질과 비용 효율성을 동시에 확보하는 것을 목표로 함.

**2. 개발 환경 및 주요 기술**

* **OS**: 리눅스(Linux) (예: Ubuntu 20.04)
* **프로그래밍 언어**: C/C++, Python, Go
* **가상화/컨테이너**: Kubernetes, Docker
* **통신 프로토콜**: eCPRI, X2, F1, E2
* **기타 라이브러리 및 툴**: DPDK(Data Plane Development Kit), ONAP(Open Network Automation Platform), O-RAN SC Software
* **CI/CD 툴**: Jenkins, GitLab CI
* **네트워크 모니터링**: Prometheus, Grafana, ELK 스택(Elasticsearch, Logstash, Kibana)

**3. 핵심 기능 개발 현황**

1. **O-DU (Open Distributed Unit) 소프트웨어 개발**
   * **RLC/MAC 처리 모듈**: 고속 데이터 전송을 위해 RLC(라우팅 및 재전송)와 MAC(매체 접근 제어) 프로토콜 처리 모듈을 구현하여 데이터 전송의 신뢰성과 속도를 보장함.
   * **eCPRI 전송 최적화**: CPRI를 대체하는 eCPRI 인터페이스를 통해 RRU와 효율적인 데이터 전송을 가능하게 함.
   * **RT RIC와의 연동**: Near-RT RIC(Near Real-Time RAN Intelligent Controller)와의 인터페이스 개발로 네트워크 상태에 따라 실시간으로 RAN을 조정하여 서비스 품질 향상을 지원.
2. **O-RU (Open Radio Unit) 소프트웨어 개발**
   * **eCPRI 기반 무선 데이터 전송**: O-RU와 O-DU 간의 eCPRI 데이터 전송을 안정화하고, 낮은 지연을 보장하도록 최적화.
   * **MU-MIMO 및 빔포밍 알고리즘 적용**: 기지국 내 다중 사용자 다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 및 빔포밍 기술을 통해 셀 내 다수의 사용자에게 향상된 커버리지와 용량을 제공.
3. **O-CU (Open Centralized Unit) 소프트웨어 개발**
   * **프로토콜 스택**: PDCP(프로토콜 데이터 전송 계층), SDAP(세션 데이터 전송 계층) 등 RAN 프로토콜 스택을 최적화하여 효율적인 데이터 패킷 처리를 보장.
   * **NRT RIC와의 연동**: AI 기반의 비실시간 RIC와의 데이터 교환을 통해 네트워크 전반에 대한 최적화를 구현하여 예측 기반의 네트워크 자원 관리를 가능하게 함.
4. **공유셀 관리 및 네트워크 슬라이싱 구현**
   * **다중 사업자 셀 자원 공유**: 특정 셀에 대해 다수의 통신사업자들이 네트워크 자원을 공유하도록 하는 기술을 적용하여, 셀 자원 관리와 할당 정책을 수립.
   * **네트워크 슬라이싱**: 다양한 사용자 요구에 맞춘 네트워크 슬라이싱을 구현하여, 예를 들어 높은 대역폭을 요구하는 사용자와 높은 안정성을 요구하는 사용자가 서로 다른 슬라이스를 이용할 수 있도록 함.
5. **보안 및 암호화**
   * **데이터 암호화 및 보안**: 각 모듈 간 데이터 전송에서 발생할 수 있는 보안 위협을 최소화하기 위해 TLS, IPsec 등 암호화 프로토콜을 적용.
   * **보안 정책 구현**: 접근 제어 및 인증, 데이터 보호 정책을 수립하여 각 통신 사업자 및 셀에 대한 권한 관리를 강화함.

**4. 테스트 및 검증**

1. **통합 테스트**:
   * O-RU, O-DU, O-CU 모듈 간의 상호 연동성을 검증하고, 다양한 환경에서 정상적인 데이터 전송 및 처리 여부를 확인함.
2. **성능 테스트**:
   * **처리량**: DPDK를 통한 패킷 처리 속도와 MU-MIMO 적용 후 데이터 전송 속도를 확인.
   * **지연 시간**: eCPRI 전송 지연을 줄이고 안정적인 실시간 데이터 전송을 보장하는지 확인함.
   * **신뢰성**: 다중 사업자 환경에서의 셀 자원 관리 및 슬라이싱 기능의 안정성을 테스트.
3. **보안 테스트**:
   * TLS, IPsec을 통해 데이터를 암호화하고 무단 접근 방지 여부를 검증함.
   * 모의 공격을 통한 침투 테스트로 기지국 보안 취약점을 점검함.

**5. 성과 및 기대 효과**

* **효율적 자원 관리**: 다수의 통신사업자가 네트워크 자원을 공유함으로써 기지국 설비 투자 비용 절감과 효율적인 네트워크 자원 관리가 가능해짐.
* **서비스 품질 향상**: Near-RT 및 Non-RT RIC와의 실시간 연동으로 트래픽 증가나 특정 상황에 유연하게 대응하여 사용자에게 고품질의 5G 서비스 제공.
* **기지국 확장성 확보**: O-RAN 아키텍처를 기반으로 하여, 기지국의 하드웨어와 소프트웨어 구성 요소를 유연하게 교체하거나 확장할 수 있도록 설계됨.
* **비용 절감 및 운용 효율성 향상**: 네트워크 슬라이싱과 공유셀을 통해 인프라 비용이 절감되며, 서비스 운용의 효율성을 크게 개선함.

**6. 향후 개선 사항 및 계획**

* **AI 기반 네트워크 최적화**: Near-RT RIC와 Non-RT RIC 간의 연동을 더욱 고도화하여 AI 알고리즘을 활용한 예측 기반 네트워크 자원 관리 기능을 추가 개발할 예정.
* **다양한 기지국 형식 지원**: 저대역 및 고대역을 모두 지원하는 다기능 기지국 소프트웨어 모듈을 개발하여, 다양한 네트워크 환경에서도 적합한 기능을 제공할 예정.
* **보안 강화**: 새로운 보안 요구 사항 및 위협에 대응하여 기지국 보안을 더욱 강화하기 위해 보안 패치와 정기적인 업데이트를 계획함.

**부록**

1. **참고 자료**
   * O-RAN Alliance 사양서
   * 3GPP 5G NR 기술 표준
   * 네트워크 가상화 및 컨테이너화 관련 논문 및 보고서
2. **약어 설명**
   * **O-RAN**: Open Radio Access Network
   * **RIC**: RAN Intelligent Controller
   * **CPRI**: Common Public Radio Interface
   * **DPDK**: Data Plane Development Kit

위 실적 보고서를 통해 프로젝트가 O-RAN 기반의 5G 공유셀 기지국 개발 목표를 달성했으며, 향후 유지보수와 확장 가능성을 확보했음을 확인할 수 있습니다.

위 보고서에서 O-RAN Specific 부분을 더 자세히 기술해줘

**O-RAN Specific 세부 기술**

**1. O-RAN 아키텍처에 따른 모듈 구성 및 역할**

O-RAN(Open Radio Access Network)은 기존의 통신장비 업체 독점 하드웨어에서 벗어나 표준화된 개방형 RAN 인터페이스를 통해 네트워크 구성 요소 간의 상호 운용성을 보장합니다. 본 프로젝트에서는 **O-CU**, **O-DU**, **O-RU** 세 가지 주요 구성 요소를 설계, 개발하였으며, 이들 간 통신을 위해 **eCPRI**, **F1**, **X2**, **E2**와 같은 O-RAN 표준 인터페이스를 사용했습니다. 이를 통해 통신 사업자들이 표준에 맞는 기지국 장비를 통해 손쉽게 네트워크를 확장하고 고도화할 수 있도록 지원합니다.

* **O-CU (Open Centralized Unit)**:
  + **기능**: L3 계층 프로토콜 처리 (PDCP, SDAP 등), 주로 비실시간 데이터 관리 및 고속 처리를 담당.
  + **O-RAN 표준 인터페이스**: F1 인터페이스를 통해 O-DU와 연결되며, 고성능 데이터 처리 및 사용자 트래픽 관리를 수행함.
  + **E2 인터페이스**: Near-RT RIC와 연동되어, 비실시간 정책을 수집하고 네트워크 최적화 명령을 수신함.
* **O-DU (Open Distributed Unit)**:
  + **기능**: L2 계층 처리 담당 (RLC, MAC), 실시간 데이터 처리와 사용자 트래픽 관리.
  + **O-RAN 표준 인터페이스**: eCPRI를 통해 O-RU와 고속 데이터 전송을 수행하며, Near-RT RIC와 E2 인터페이스를 통해 상호 연동.
  + **RT RIC 연동**: E2 인터페이스를 통해 RIC로부터 실시간 최적화 및 트래픽 관리 명령을 수신하여 기지국의 통신 효율을 극대화함.
* **O-RU (Open Radio Unit)**:
  + **기능**: RF 신호 송수신과 필터링, 고주파 무선 통신 지원.
  + **O-RAN 표준 인터페이스**: eCPRI를 통해 O-DU와 연결되어 RF 신호 전송을 위한 전처리 및 후처리를 담당함.
  + **멀티벤더 환경 지원**: O-RAN 표준을 준수하여 다른 벤더의 RAN 구성 요소들과의 상호 운용성을 보장.

**2. RIC(RAN Intelligent Controller)와의 연동**

O-RAN의 핵심 요소 중 하나는 네트워크 지능화 및 최적화를 위한 \*\*RAN Intelligent Controller(RIC)\*\*의 활용입니다. 본 프로젝트에서는 **Near-RT RIC**와 **Non-RT RIC**를 통합하여 실시간 최적화와 비실시간 네트워크 정책 적용을 가능하게 하였습니다.

* **Near-RT RIC**:
  + **실시간 네트워크 최적화**: E2 인터페이스를 통해 O-CU와 O-DU에 실시간 최적화 명령을 전달함으로써 네트워크 지연 시간과 자원 효율성을 최적화.
  + **xApp 연동**: 특정 기능을 수행하는 소프트웨어 모듈인 xApp을 통해 기지국의 상황에 맞는 최적화 로직을 적용. 예를 들어, 트래픽 폭증 시 우선순위 할당, 전력 최적화 기능을 적용함.
* **Non-RT RIC**:
  + **AI/ML 기반 예측 및 정책 관리**: 대규모 데이터 수집과 분석을 통해 네트워크 상태 예측과 정책 추천을 제공하며, 이 데이터를 기반으로 O-CU와 O-DU에 비실시간 명령을 적용.
  + **rApp 연동**: 장기적인 최적화 작업을 수행하는 rApp과 통합하여 사용자 요구에 따른 맞춤형 네트워크 정책을 구현.

**3. eCPRI 기반 데이터 전송 최적화**

O-RAN은 기지국과 원격 무선 장치 간 데이터 전송을 위해 \*\*eCPRI(Enhanced Common Public Radio Interface)\*\*를 표준으로 사용하며, 이를 통해 네트워크 처리 지연을 최소화합니다. 본 프로젝트에서는 eCPRI 기반의 데이터를 효율적으로 처리하여 데이터 전송 속도를 향상시키고 안정성을 확보하였습니다.

* **eCPRI 전송 최적화**:
  + **대역폭 효율성**: eCPRI는 데이터가 필요한 부분에 대해서만 전송하기 때문에 기존의 CPRI보다 네트워크 대역폭 효율이 높음.
  + **QoS 관리**: 전송 시 서비스 품질(QoS)을 고려하여 데이터의 우선순위에 따라 전송 경로를 조정함으로써, 사용자 경험 품질을 유지할 수 있도록 설계됨.

**4. 멀티벤더 통합 및 상호 운용성 테스트**

O-RAN 표준을 준수하여 여러 벤더 장비와의 **상호 운용성**을 확보하기 위해 다양한 멀티벤더 테스트를 진행했습니다.

* **상호 운용성 테스트**:
  + 타사 O-RU 및 O-DU와의 통신 테스트를 통해 eCPRI, X2, F1 인터페이스의 적합성을 검증함.
  + 다양한 환경에서 벤더 간 호환성을 보장하기 위해 RIC 연동과 실시간 데이터 처리에 대한 성능을 점검함.
  + **성능 최적화**: 멀티벤더 환경에서도 성능 손실이 발생하지 않도록 테스트 케이스를 설계하고 적용하여 상호 운용성을 보장함.

**5. O-RAN 보안 설계**

O-RAN의 개방형 구조로 인한 보안 취약점을 방지하기 위해 O-RAN Alliance가 권장하는 보안 가이드라인을 준수하고, **E2 인터페이스** 및 **데이터 전송 경로**의 보안을 강화하였습니다.

* **암호화 및 인증**:
  + **TLS**와 **IPsec** 프로토콜을 통해 모듈 간 전송되는 데이터를 암호화하여 외부의 무단 접근을 방지.
  + 각 인터페이스에서 사용자 인증을 적용하여 권한이 없는 접근을 차단함.
* **보안 정책 적용**:
  + **연속 모니터링**: Prometheus와 ELK 스택을 통해 실시간 모니터링 및 로그 분석을 진행, 이상 징후 발생 시 경고를 발송하여 보안 위협에 신속히 대응함.
  + **보안 취약점 주기적 점검**: O-RAN 구성 요소 간 연동에 대해 주기적으로 침투 테스트와 취약점 점검을 수행하여 최신 보안 위협에 대비.

**6. O-RAN 기반 네트워크 관리 및 오케스트레이션**

O-RAN의 오픈 아키텍처 특성을 최대한 활용하기 위해, \*\*ONAP(Open Network Automation Platform)\*\*을 기반으로 네트워크 관리를 자동화하고 오케스트레이션 기능을 구현하였습니다.

* **네트워크 슬라이싱**:
  + 특정 트래픽에 따른 네트워크 자원의 독립적 할당을 통해 다수의 통신사업자가 동일한 기지국 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 함.
  + 서비스 요구에 따른 네트워크 슬라이스의 실시간 생성, 수정, 삭제가 가능하도록 오케스트레이션 설계를 구현.
* **자동화된 자원 할당 및 관리**:
  + Kubernetes 기반의 컨테이너화된 네트워크 모듈 배포 및 관리로 유연성을 높였으며, 네트워크 장애 발생 시 자동 복구 및 확장이 가능하도록 설정.
  + 네트워크 상태 변화에 따라 자원을 동적으로 재할당하여, 트래픽에 따른 자원 낭비를 최소화하고 안정적인 서비스를 제공함.

이와 같이 O-RAN의 개방형 아키텍처를 활용하여 기지국 내 다양한 모듈 간 상호 운용성을 확보하고, 실시간 네트워크 최적화 및 자동화된 자원 관리 기능을 성공적으로 구현하였습니다. 이를 통해 다중 벤더 환경에서의 원활한 통신을 지원함으로써 향후 확장성과 유연성을 확보하였습니다.

O-RU 입장에서 O-RAN Specification의 항목을 나열하면서 정리해줘

O-RU(Open Radio Unit)는 O-RAN(Open Radio Access Network) 아키텍처에서 무선 신호의 송수신 및 전처리, 후처리를 담당하며 O-DU와의 통신을 통해 데이터 전송을 수행합니다. O-RU가 준수해야 할 주요 O-RAN Specification 항목은 다음과 같습니다.

**1. O-RAN 인터페이스 표준**

* **eCPRI**:
  + **기능**: O-RU와 O-DU 간 데이터 전송을 수행하는 인터페이스로, 전송 효율성 및 낮은 대기 시간을 보장.
  + **요구 사항**: 고속 데이터 전송 및 대역폭 최적화. 전송 경로에 따른 데이터 손실 최소화.
* **Synchronization Interface (SYNC)**:
  + **기능**: 동기화 신호를 제공하여 RU와 DU 간 정밀한 시간 동기화 보장.
  + **요구 사항**: 1588v2 PTP(Precision Time Protocol) 및 SyncE(Synchronous Ethernet) 지원.

**2. 무선 주파수(RF) 요구 사항**

* **Tx/Rx 사양**: 송수신 주파수 범위, 출력 파워, 송신 전력 제어 범위 등.
* **ACLR(Adjacent Channel Leakage Ratio)**: 인접 채널 간 간섭 최소화를 위한 신호 품질 관리.
* **EVM(Error Vector Magnitude)**: 변조 신호의 정확성을 유지하며, 신호 왜곡을 최소화.
* **스펙트럼 마스크**: 할당된 주파수 내 신호 방출을 위한 마스크 요건 준수.

**3. 관리 및 오케스트레이션**

* **OAM(Open Access Management)**: O-RU의 상태 모니터링, 원격 구성 및 소프트웨어 업그레이드 기능 지원.
* **YANG 모델 기반 관리**: 네트워크 구성 정보 및 설정을 위해 YANG 데이터 모델을 사용.
* **FCAPS**: Fault(장애), Configuration(구성), Accounting(계정), Performance(성능), Security(보안) 관리를 포함한 전반적 시스템 관리 기능.

**4. 보안 요건**

* **TLS/IPsec 암호화**: eCPRI, SYNC 인터페이스 등 데이터 전송 시 암호화를 적용하여 기밀성 보장.
* **권한 인증**: O-RU 접근 시 사용자 인증 및 권한 검증을 통해 접근 통제.
* **로그 및 감사 기록**: 모든 시스템 동작에 대한 로그 기록 및 보안 감사 기능 지원.

**5. 성능 및 용량 요건**

* **대역폭 요구 사항**: 높은 대역폭을 지원하고, 네트워크 대역폭의 효율적 사용을 보장.
* **지연 시간**: eCPRI와의 연동에서 요구되는 최소 지연 시간을 유지하며, 무선 송수신 지연 최소화.
* **MIMO 및 빔포밍 지원**: 다중 안테나 기술을 통해 데이터 전송 효율성을 향상시키고, 빔포밍 기능을 통해 사용자에게 최적의 신호 전송.

**6. 전력 관리**

* **전력 최적화**: 전력 소모를 최소화하기 위한 전력 제어 기능.
* **전력 절감 모드**: 특정 시간대나 조건에 따라 전력 절감을 위한 저전력 모드 지원.

**7. 멀티벤더 상호 운용성**

* **타사 O-DU 연동 테스트**: eCPRI와의 상호 운용성 보장, O-RAN 표준을 준수하는 타사 장비와의 원활한 통신.
* **O-RAN 인증**: O-RAN Compliance Lab에서의 인증을 통한 규격 준수 검증.

이와 같은 O-RAN 사양을 충족함으로써 O-RU는 표준화된 개방형 네트워크 구조에서 신뢰성 높은 통신 및 확장성을 보장할 수 있습니다.