**연구계획서(프로포절)**

제목(가제): 응용 시나리오별 엣지 컴퓨팅 아키텍처 비교 평가: 저지연·대역폭·오케스트레이션 관점의 정량적 분석

소속/성명/이메일: (작성)

제출일: (작성)

**Summary**

본 요약은 3가지 엣지 아키텍처(Cloudlet/MEC, 이기종 Edge/Fog, Edge–Cloud Federation)를 4개 대표 응용 시나리오(모바일 클라우드 게이밍/AR, V2X, 도시감시 비디오 분석, 원격 헬스)에서 비교·평가하는 연구를 개괄한다. 공통 KPI(E2E 지연/지터, 백홀 절감율, 처리량, 에너지, 오케스트레이션 지연/복구, 세션 연속성)를 정의하고, 가상화(베어메탈/컨테이너/VM), 오프로딩 분할, SDN/NFV 오케스트레이션을 통제 변수로 요인설계를 수행한다. 무선 변동성·이동성·장애를 포함한 테스트베드 측정과 통계/큐잉 모델링을 결합해 시나리오 조건별 설계 가이드라인을 도출한다.

**Research Goals (No more than 500 words)**

* 세 아키텍처와 네 시나리오를 공통 KPI로 매핑하는 분류 체계 정립.
* Wi‑Fi 6/6E, 5G SA를 아우르는 재현 가능한 테스트베드와 라이브 마이그레이션/핸드오버/장애주입 지원.
* 가상화(베어메탈/컨테이너/VM)와 오프로딩 분할이 지연·지터·처리량에 미치는 정량 영향 규명.
* L = L\_proc + L\_play + RTT 기반 지연 모형과 혼합효과·큐잉 모델 결합으로 일반화.
* 조건별 최적 아키텍처/가상화 조합과 튜닝 파라미터(인코더 preset, split point, migration trigger) 제시.

**Research Description (No more than 1000 words)**

Architectures/Scenarios: A1 Cloudlet/MEC, A2 Heterogeneous Edge/Fog(단말 협력), A3 Edge–Cloud Federation; S1 게이밍/AR(70 ms 미만), S2 V2X(초저지연·이동성), S3 도시감시(백홀 절감·프라이버시), S4 원격헬스(신뢰·에너지).

Testbed/Controls: Wi‑Fi 6/6E, 5G SA(가상 코어), 캠퍼스 클라우드렛/이기종 미니클러스터/연합 클라우드; 베어메탈/컨테이너/KVM VM(GPU 패스스루), Kubernetes(+KubeVirt), SDN(ONOS/OVS), NFV(MANO 유사).

Workloads/Traffic: 게이밍/AR 인코딩 파이프라인, V2X 이벤트 처리, 다중 카메라 분석(프라이버시 필터), 웨어러블 스트리밍; RTT/손실/지터 에뮬레이션, 엣지 핸드오버/라이브 마이그레이션, 장애주입.

Metrics/Analysis: E2E 지연, 지터, 프레임 손실/PSNR(VMAF), 백홀 절감, CPU/GPU/전력, 오케스트레이션 지연·재시도, 복구시간, 세션 연속성; 혼합효과/ANOVA/사후검정, 생존분석, 큐잉 기반 지연식, 민감도 분석(거리/분할/인코더 preset).

Reproducibility: 스크립트/이미지/데이터셋 공개, CI로 반복 측정 자동화.

**Expected Research Outcomes (No more than 500 words)**

* 시나리오 조건별 추천(아키텍처/가상화/튜닝) 지침.
* 거리·무선 품질·분할율에 따른 지연–백홀 상충 예측 모델.
* 이동성·버스티 수요 상황의 SDN/NFV 운영 가이드(스케일/경로/마이그레이션).
* 공개 산출물(스크립트/컨피그/데이터셋)로 제3자 재현성 확보.

**Key Words**

Edge Computing; MEC; Fog; Federation; Offloading; SDN/NFV; Low Latency; Bandwidth Reduction; Mobility; Video Analytics.

# 1) 연구 제목(가제)

“응용 시나리오별 엣지 컴퓨팅 아키텍처 비교 평가: 저지연·대역폭·오케스트레이션 관점의 정량적 분석”

# 2) 배경 및 필요성

기존 연구는 엣지 컴퓨팅의 필요성(특히 초저지연 인터랙티브 서비스)을 실험적으로 보였으나(모바일 게임 사례), 아키텍처 유형별(Cloudlet/MEC, Heterogeneous Fog/단말협력, Edge–Cloud Federation) 성능 차이를 시나리오별로 체계적으로 비교·일반화하지는 못했습니다.

본 연구는 애플리케이션 요구(지연·지터·대역폭·이동성·프라이버시), 인프라 제약(배치/운영비·전력·이기종), 오케스트레이션(NFV/SDN/가상화) 축을 교차시켜 아키텍처–시나리오 매트릭스를 만들고, 정량 실험+분석 모델로 추천 가이드라인을 제시합니다.

# 3) 연구 목표

* 분류 체계 정립: 3대 엣지 아키텍처(① Cloudlet/MEC, ② Heterogeneous Edge/Fog, ③ Edge–Cloud Federation)의 기능·운영 특성 재정의(가상화/오프로딩/연합·캐싱/오케스트레이션).
* 시나리오 세트 정의: 저지연/대역폭/이동성/프라이버시 요구가 상이한 4개 대표 응용 선정.
* 지표·측정 설계: E2E 응답지연(= 처리+재생+네트워크), 지터, 유효 대역폭/백홀 절감율, 처리량, 에너지(단말/엣지), 오케스트레이션 비용, 서비스 연속성(마이그레이션 성공/중단시간) 등 공통 KPI 확정.
* 실험·모델 결합 평가: 재현 가능한 테스트베드에서 실험 후, 혼합효과모형/회귀·큐잉 모델로 일반화.
* 권고안 제시: “시나리오 조건 → 최적/차선 아키텍처 + 운영 파라미터”로 이어지는 의사결정 표/룰셋 도출.

# 4) 비교 대상 응용 시나리오(대표 4종)

* S1 모바일 클라우드 게이밍/AR: 70 ms 미만의 응답지연·낮은 지터·고화질 인코딩 파이프라인(인코딩 지연 이슈 포함).
* S2 V2X/스마트교통(충돌회피·RSU 연산): 초저지연(수 ms–수십 ms), 지리적 분산, 이동성-마이그레이션 요구.
* S3 공공안전/도시감시(비디오 분석): 대역폭 집약(근원지 전처리·필터링로 백홀 절감), 프라이버시 전처리.
* S4 원격 헬스/웨어러블 스트리밍: 낮은 지연·신뢰성, 개인정보 보호/규제, 에너지 효율.
* 필요 시 부가 시나리오(스마트 팩토리 제어, 창고 로보틱스 등)를 부록으로 확장.

# 5) 비교할 아키텍처 프로파일(3종)

* A1 Cloudlet/MEC(Access-edge 서버 상자형, Micro-DC): RAN/AP 공위치, 링크 상태 노출, 짧은 RTT, 확장 비용 고려.
* A2 Heterogeneous Edge/Fog(라우터·AP·STB·단말 협력/로컬 클라우드): 이기종/가변성·신뢰/가용성 이슈 vs 배치 유연성/근접성.
* A3 Edge–Cloud Federation(연합·미러링·분산 실행존): 엣지·센터 동적 분할, 데이터 이동/일관성·정책/오케스트레이션 복잡도.

# 6) 핵심 기술 축(통제 변수)

* 가상화: 베어메탈/컨테이너/VM(라이브 마이그레이션, GPU/하드웨어 오프로딩). 컨테이너는 베어메탈에 근접, VM은 PD 오버헤드가 의미 있게 큼(기존 실험 인사이트).
* 오프로딩: 연산·인코딩 분할(엣지 vs 단말/클라우드), 파이프라인 지연(특히 인코딩) 최적화.
* NFV/SDN 오케스트레이션: 수요 급증 시 VNF 자동 배치, 경로/정책 제어, 세션 지속성.

# 7) 연구 질문(RQ) & 가설(H)

* RQ1: 시나리오별 KPI 관점에서 A1/A2/A3 중 누가 우월한가? / H1: 초저지연(AR/게이밍, V2X)은 A1이 우세, 대역폭 집약·프라이버시는 A2/A3가 유리.
* RQ2: 가상화 선택(컨테이너/VM)이 응답지연·지터에 미치는 영향은? / H2: 컨테이너≈베어메탈, VM은 지연·지터 증가.
* RQ3: 추가 연산자원(GPU 확장)이 원거리 RTT를 상쇄할 수 있는가? / H3: 인코딩 지연 비중이 커 ND 우위 미상쇄, 근접 배치 효과 지배.
* RQ4: 이동성 상황에서 마이그레이션 정책(트리거/경로/상태동기)이 QoE에 미치는 영향은? / H4: A1/A3 + 라이브 마이그레이션 + SDN 경로 최적화가 세션 연속성 최대화.

# 8) 방법론

8.1 테스트베드/플랫폼

* 무선접속: Wi‑Fi 6/6E, 5G SA(가상 코어), 셀/RSU 에지.
* 엣지 노드: A1 클라우드렛, A2 이기종 클러스터+단말 협력, A3 연합 클라우드.
* 가상화: Bare‑metal/Container(Docker/Containerd)/VM(KVM), GPU 패스스루/공유.
* 오케스트레이션: Kubernetes + KubeVirt + NFV MANO(ONAP/OSM 유사), SDN 컨트롤러(ONOS/OVS).
* 워크로드: S1 게이밍/AR, S2 V2X, S3 도시감시 분석, S4 웨어러블 스트리밍.
* 트래픽/이동성 생성기: RTT/손실/지터 에뮬레이션, 엣지 핸드오버/라이브 마이그레이션.

8.2 측정 지표(KPI)

응답지연(RD) = PD(서버 처리/인코딩)+OD(클라이언트 재생)+ND(RTT), 지터, 프레임 손실/PSNR(or VMAF), 백홀 절감율, CPU/GPU/전력, 오케스트레이션 지연/재시도, 장애·스케일 아웃 복구시간.

8.3 실험 설계

* 요인설계: {아키텍처 3}×{시나리오 4}×{가상화 3}×{무선 2}×{해상도/비트레이트} 반복 측정.
* 분석: 혼합효과모형(랜덤효과=세션/노드), ANOVA/사후검정, 생존분석(세션 지속성), 큐잉 기반 지연 모델, 민감도 분석(거리·오프로딩 분할율·인코더 preset).
* 재현성: 스크립트/컨피그·이미지·데이터셋 공개, CI로 자동화.

# 9) 기대 결과 및 기여

* 정량 가이드라인: 조건별 최적 조합과 튜닝 파라미터.
* 일반화 모델: 지연·백홀 상충 예측식.
* 운영 가이드: NFV/SDN 정책과 비용–성능 트레이드오프.

# 10) 참고 문헌 (Related Work) 요약

본 연구와 밀접한 선행연구 6편의 요약과 장단점:

1. [RW1] Satyanarayanan et al., Cloudlets for Mobile Computing

* 장점: 장점: 근접 엣지 연산으로 지연 감소 이점 실증
* 한계: 한계: 대규모·이기종 환경 일반화 부족

1. [RW2] ETSI MEC White Papers / Architecture

* 장점: 장점: 표준 인터페이스·산업 적용성
* 한계: 한계: 성능 지표·시나리오별 실증 제한

1. [RW3] Shi et al., Edge Computing: Vision and Challenges (IEEE IoT)

* 장점: 장점: 엣지 과제 종합 체계화
* 한계: 한계: 정량 비교 부재

1. [RW4] Mao et al., Survey on Mobile Edge Computing

* 장점: 장점: 오프로딩/가상화 설계공간 분석
* 한계: 한계: 통합 테스트베드 비교 부족

1. [RW5] Chiang & Zhang, Fog and IoT (IEEE Network)

* 장점: 장점: 근원지 전처리·백홀 절감 강조
* 한계: 한계: 이동성 연속성 정량 모델 약함

1. [RW6] Varghese & Buyya, Next-Gen Cloud/Edge/Fog (FGCS)

* 장점: 장점: 연합 관점·비용–성능 논의
* 한계: 한계: 운영·복구 지연 비교 제한

# 11) 제안 기법 (성능, 방식, 알고리즘)

‘시나리오 조건 → 아키텍처/가상화 → 튜닝’을 자동 추천하는 데이터·모델 융합 접근을 제안합니다.

11.1 성능 목표

* S1/S2: E2E < 70 ms, 지터 95%타일 목표 달성률 ≥ 0.95
* S3: 백홀 절감 ≥ 60% (정확도 손실 ≤ 임계)
* S4: 세션 중단 ≤ 150 ms 평균

11.2 방식 개요

* 혼합효과모형 + 큐잉 기반 지연 모형으로 예측기 구축
* SDN/NFV 정책 엔진(스케일·마이그레이션·경로 제어) 설계
* 다목적 최적화로 조합 추천(지연/지터/백홀/전력)

11.3 알고리즘 스케치

* L = L\_proc + L\_play + RTT; L\_proc는 인코딩/추론/큐잉 합성
* 고정효과(아키텍처/가상화/무선/해상도), 랜덤효과(세션/노드)
* 정책 π\*: 상태→액션 매핑으로 QoE 손실 최소화

# 12) Target Conference/Journal 및 일정

타깃 후보(연도별 마감은 최신 공지 확인):

* NSDI (USENIX)
* ACM/IEEE Symposium on Edge Computing (SEC)
* IEEE INFOCOM (Workshops 포함)
* IEEE Transactions on Mobile Computing / IEEE Internet of Things Journal

예상 일정(6개월 트랙):

* M1: 요구/지표 확정, 테스트베드 완비
* M2–M3: 워크로드·계측 자동화, 예비실험
* M4: 요인설계 반복 측정
* M5: 통계/모델링·민감도 분석, 그림·표 완성
* M6: 논문화 및 제출

# 참고 문헌

1. Edge Computing for the Internet of Things (원문). (서지정보 기입 예정)
2. Edge Computing for the Internet of Things — 한국어 번역본. (서지정보 기입 예정)
3. Satyanarayanan et al. (Cloudlets).
4. ETSI MEC White Papers.
5. Shi et al., Edge Computing: Vision and Challenges.
6. Mao et al., Mobile Edge Computing Survey.
7. Chiang & Zhang, Fog and IoT.
8. Varghese & Buyya, Next-Gen Cloud/Edge/Fog.