

KRNet2017
Track H. Open Infrastructure

분산 지능 에지 컴퓨팅

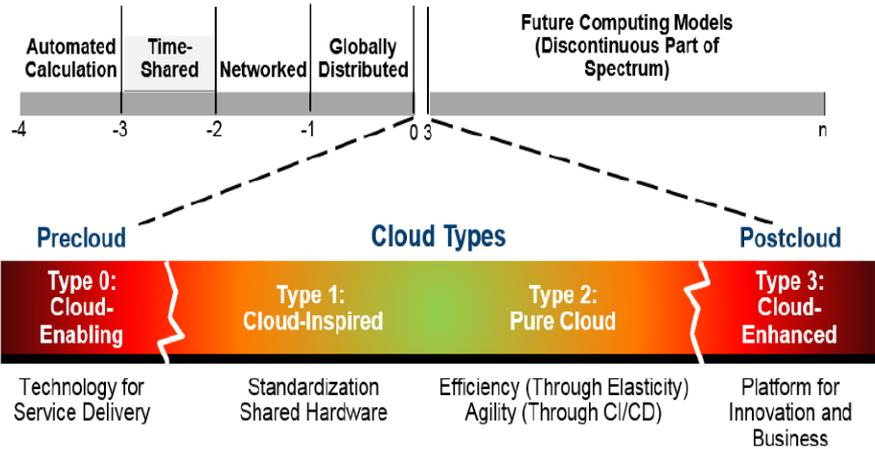
ETRI/이범철

2017/6/27



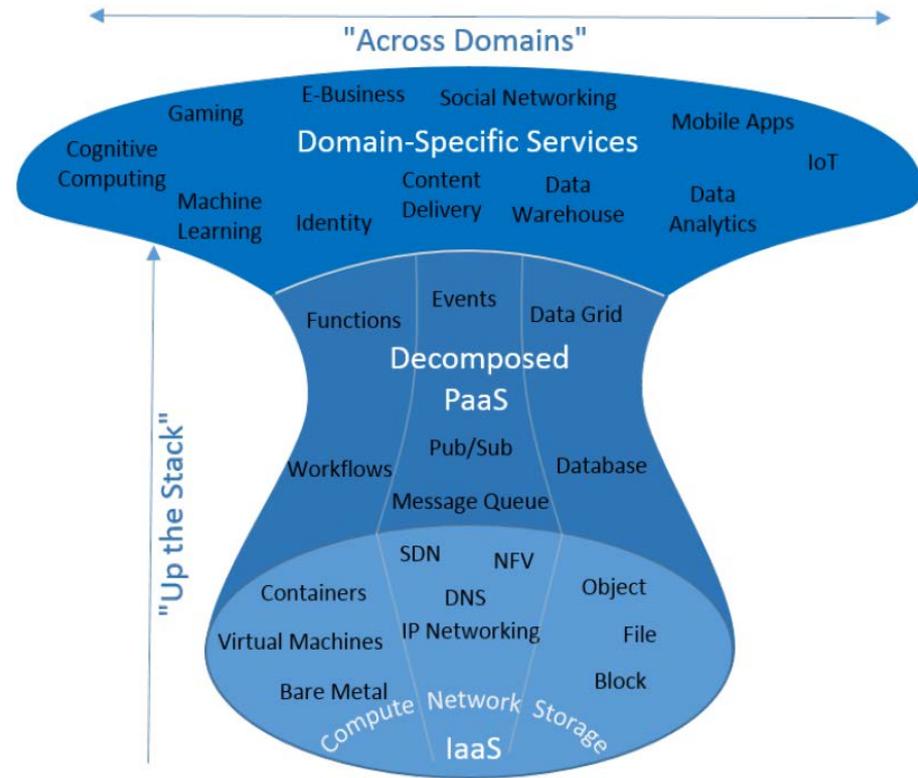
I. 네트워크-컴퓨팅 융합	2
II. 분산 지능 에지 컴퓨팅 기술	10
III. 에지 컴퓨팅 진화 방향 전망	22

Cloud에서 중요한 변화



Source: Gartner (October 2016)

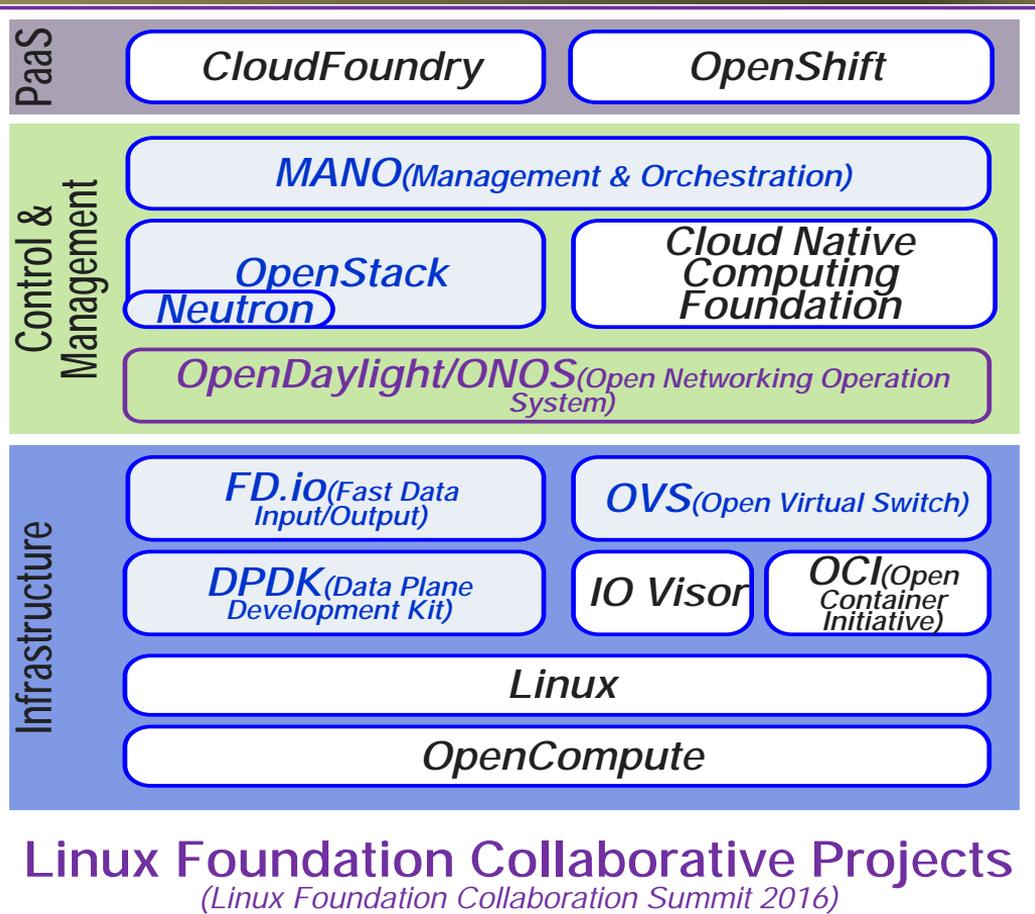
구분	Cloud-Enabling	Cloud-Inspired	Pure Cloud	Cloud-Enhanced
특징	클라우드 구성 요소만 갖춘 상태	표준화 및 자동화가 안된 클라우드	클라우드 형태(표준화, 자동화 등)를 갖추고 IaaS, PaaS, SaaS 제공	새로운 서비스에 대해 저비용/스케일러블 플랫폼으로 대응



Source: Gartner (November 2016)

Cloud Computing Framework

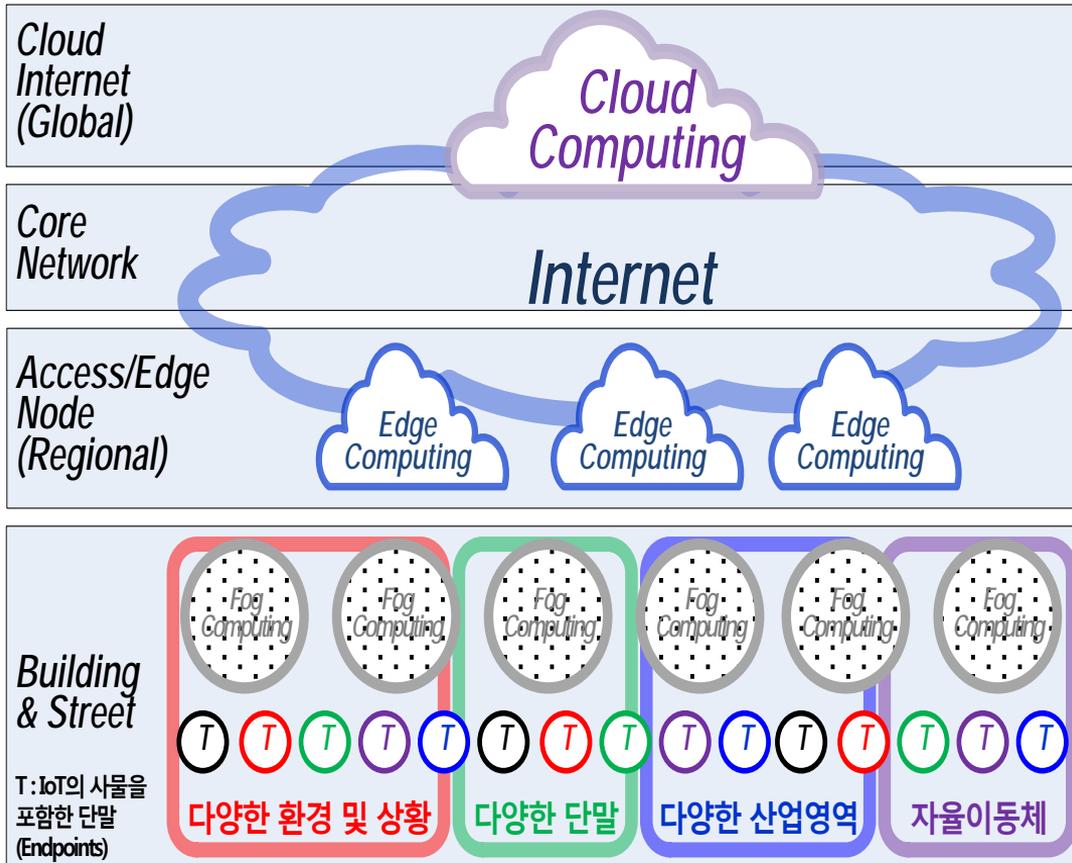
KRNet
2017



- 2016 리눅스 파운데이션 서밋에서 큰 변화
 - 리눅스 기술 중심에서 클라우드, 네트워킹, 보안 기술 분야로 확대
 - 리눅스 파운데이션이 추구하는 미래 컴퓨팅 플랫폼은 클라우드 기반임을 확인
- 데이터플레인 관련 프로젝트는 DPDK, OVS, FD.io 등임
- 리눅스 파운데이션 협력 프로젝트의 오픈소스 가치가 50억달러에 달하고 1,356명의 개발자들이 30년간 개발해야 하는 규모라고 평가함(리눅스 파운데이션 2015/9)

Architecture	Key Performance	Infrastructure	Use Case
Cloud-centric IoT	<ul style="list-style-type: none">• Low Bandwidth• High Latency (50~100 msec)• Cloud Service	<ul style="list-style-type: none">• WAN• Cloud Computing	<ul style="list-style-type: none">• Multinational• Home security & automation• Vending Machines
Thing/Gateway-centric IoT	<ul style="list-style-type: none">• Peer-to-Peer Connectivity• Bandwidth & Latency	<ul style="list-style-type: none">• LAN• Edge/Fog Computing	<ul style="list-style-type: none">• Data-heavy• Low latency• Intermittent Connectivity
Device-centric IoT	<ul style="list-style-type: none">• Cellular Network Availability• Low Throughput	<ul style="list-style-type: none">• Cellular, WLAN, Bluetooth• Mobile Computing (Tablets, Laptops, Smartphone)	<ul style="list-style-type: none">• Healthcare• Wearables

Hierarchical Computing - Fog Computing



- **현황**
 - **Distributed Cloud Computing 확산**
 - 유연성, 경제성, 지속성에 유리
 - 지능화, Massive/광대역/저지연에 유리
 - Fog Computing
 - **자율 이동체 출현**
 - 드론, 자율주행자동차, 로봇 등
 - **Interactive 서비스 폭발적 증가 예상**
 - 기존 서비스와 다른 개인 비서, VR 등

- **경향**
 - **People Centric Computing**
 - Infrastructure 중심에서 people 중심으로 변화
 - * people : 로봇, 자율이동체 등 주체 범위 확산
 - **다양한 영역 및 상황에 맞춤형으로 단말, 정보, 앱, 서비스 등이 제공되면서 진화에 지속적 대응**
 - **변화에 따라 주체에 연결된 단말, 정보, 앱, 서비스 등에 대한 연결 유지 및 진화**

Fog Computing 개요

● 개요

- 네트워크의 물리적 한계에 대응(거리 증가 → 지연 증가, 대역 비용 등)
- IoT 대한 컴퓨트와 네트워크 프레임워크를 기술하기 위해서 2013년 Cisco의해서 만듦

● 구조

- 다중 에지를 통해 전처리, 그물망(Mesh) 배열, 이음새 없는 클라우드 환경을 제공하는 클라우드의 게이트웨이
- Things는 Cloud응용과 직접 통신하지 않고 Fog/Edge 노드와 통신
- Fog/Edge 노드: 네트워크 인프라 및 소프트웨어로 구성되어 데이터 수집/집선/저장/선처리
- 시간둔감데이터(Metadata/해석 결과 등)는 중앙 클라우드(컴퓨팅)으로 전달

● 구축 방법

- Equinix IOA(Interconnection Oriented Architecture)
- 제3 서비스 사업자에 의한 Fog 노드 구축 및 관리
- Three-Tier Fog Solution: Thin Client, High Performance Node, Cloud based Application

● 사업자

- IoT 전문 기술 및 기업데이터센터 관리 서비스를 제공하는 IT 사업자
- 구축 또는 임대에 대한 도움은 IBM, HPE 등
- Three-Tier Fog Solution: Middle Tier → 제3 사업자

● Cloud Computing의 비용 및 관리 대비 경쟁력 확보가 관건

Edge Computing 주요 요소

● 에지 컴퓨팅 경쟁력 요소

- 저지연, 저전력, 저가 및 저비용
- 고밀도 컴퓨트 및 스토리지 구성, 유연한 Form Factor
- 사람/사물에 대한 Security 및 Trust(위치적 유리)
- Interactive, Analytics, Data Collection & Process
- 상황 인지: 자원 한계 극복 및 효율성 증대, 상황 맞춤 서비스

● 엔드포인트와 게이트웨이에서 지능 및 필터링을 추가

- 클라우드에서 애플리케이션 개발 향상
- 클라우드로 전송되는 데이터 안전성 및 효율성 증대

● 클라우드 컴퓨팅과 연동 및 다른 에지 컴퓨팅과 협업

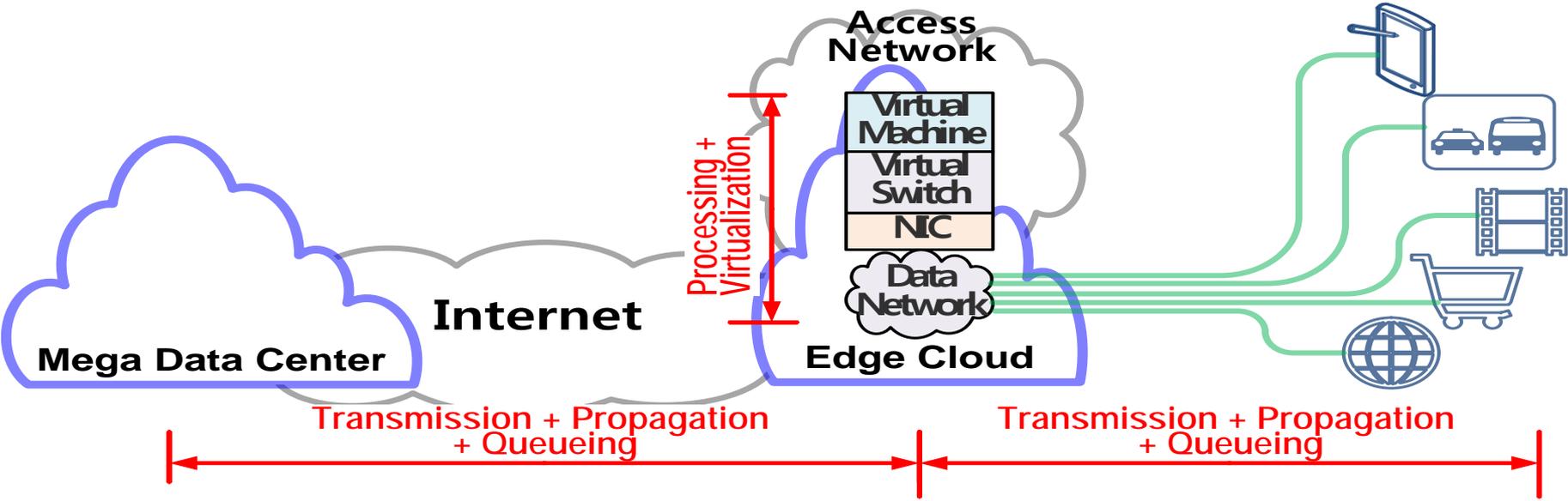
- workload가 Edge와 Cloud 간에 분리될 수 있기 때문에 data 공유 및 처리에 대한 연속성 유지
- End-to-end management: Microsoft Azure IoT Suite, HPE Universal IoT Platform, IBM Watson IoT Platform, Jasper IoT Platform

처리 유형에 따른 에지 컴퓨팅 수준

분류	Use Cases	컴퓨팅 성능	Analytics 유형	요구되는 이벤트/동작 응답시간	시스템 성능	설치 위치
에지 디바이스	실시간 PLC, 비디오 에지 분석	낮음	간단한 이벤트 처리	마이크로 초에서 초 단위	분석 및 제어	동적/정적
게이트웨이	비정상 검출	낮음	간단한/저속 이벤트 처리	-	분석	동적/정적
에지 서버	비정상 검출	중간	복잡한/연속 이벤트 처리, 응용 임대	초에서 분 단위	분석 및 제어	정적
마이크로 데이터센터	근해에서 오일 및 광석 탐사 분석	높음	복잡한 이벤트 처리, batch 처리, 응용 임대	초에서 시간 단위	분석 및 제어	정적

I. 네트워크-컴퓨팅 융합	2
II. 분산 지능 에지 컴퓨팅 기술	10
III. 에지 컴퓨팅 진화 방향 전망	22

Latency



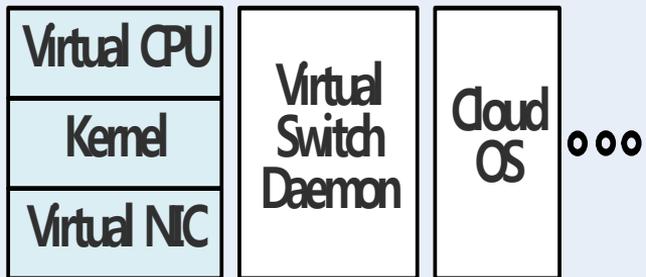
● **Edge Cloud Latency Analysis**

- **클라우드 외부 : 네트워크, Intrinsic Propagation**
 - Transmission Delay: 전송 매체를 통해 패킷을 입/출력하는데 소요되는 시간
 - Propagation Delay: 물리적 목적지까지 데이터를 전파하는데 소요되는 시간
- **클라우드 내부 : 클라우드 네트워크, 서버, 가상화**
 - Processing delay: 패킷 헤더를 분석하고 패킷을 처리하는데 걸리는 시간
 - Queueing 및 Virtualization delay: 입출력/실행 대기, CPU 및 네트워크 가상화로 인해 발생하는 소요 시간

클라우드 내부 Latency 요소 및 대응

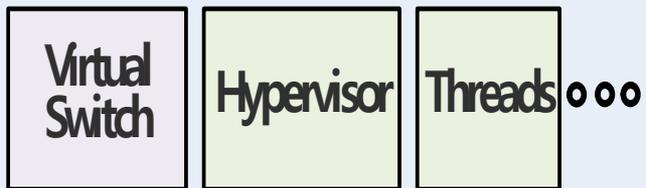
User Space

- vCPU Scheduling
- Affinity
- Heavy Flow



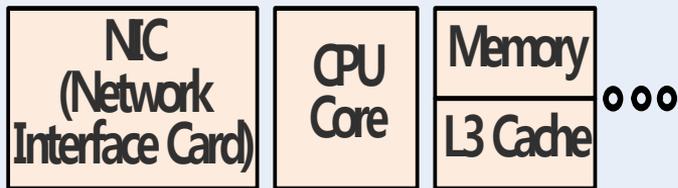
OS & Hypervisor

- Interrupt
- vCPU Preemption
- Virtualization Overhead
- Kernel Network Stack



Physical Resource

- Resource Contention
- Intrinsic



• Physical Resource

- Resource(CPU, Cache, Memory, IO) Contention → Resource Pre-assignment
- Intrinsic(Memory, Buffer) → Queue/Flow/Buffer Management

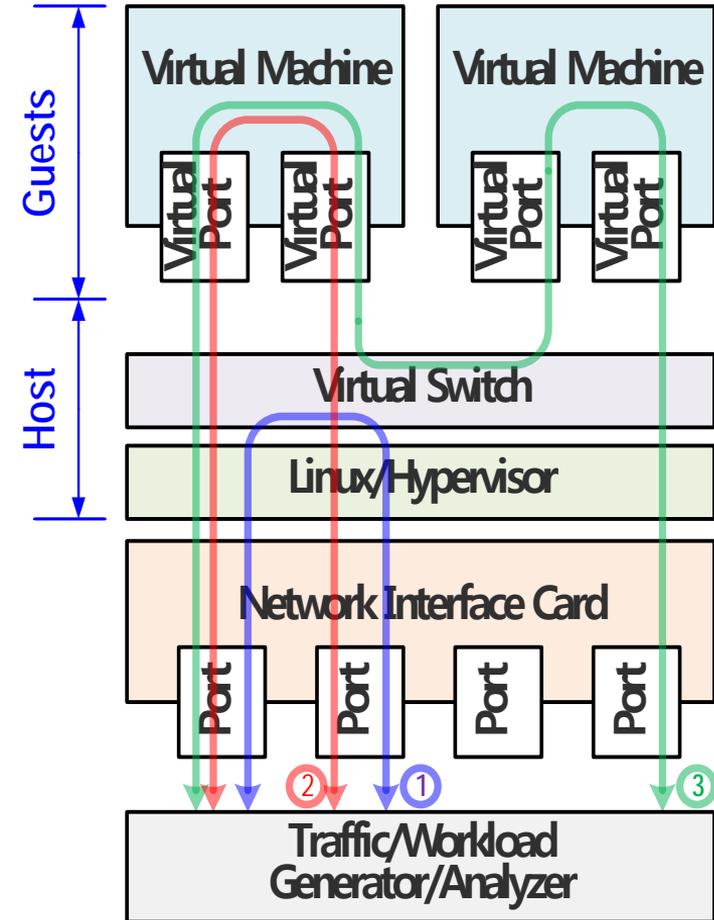
• OS & Hypervisor

- Interrupt → Polling Mode Driver(PMD)
- vCPU Preemption → Full preemption
- Virtualization(CPU, Network) Overhead → Real-time OS & Hypervisor, DPDK OVS/SR-IOV
- Kernel Network Stack

• User Space

- vCPU Scheduling → Real-time scheduler
- Affinity → CPU Isolation
- Heavy Flow

Performance Test Cases



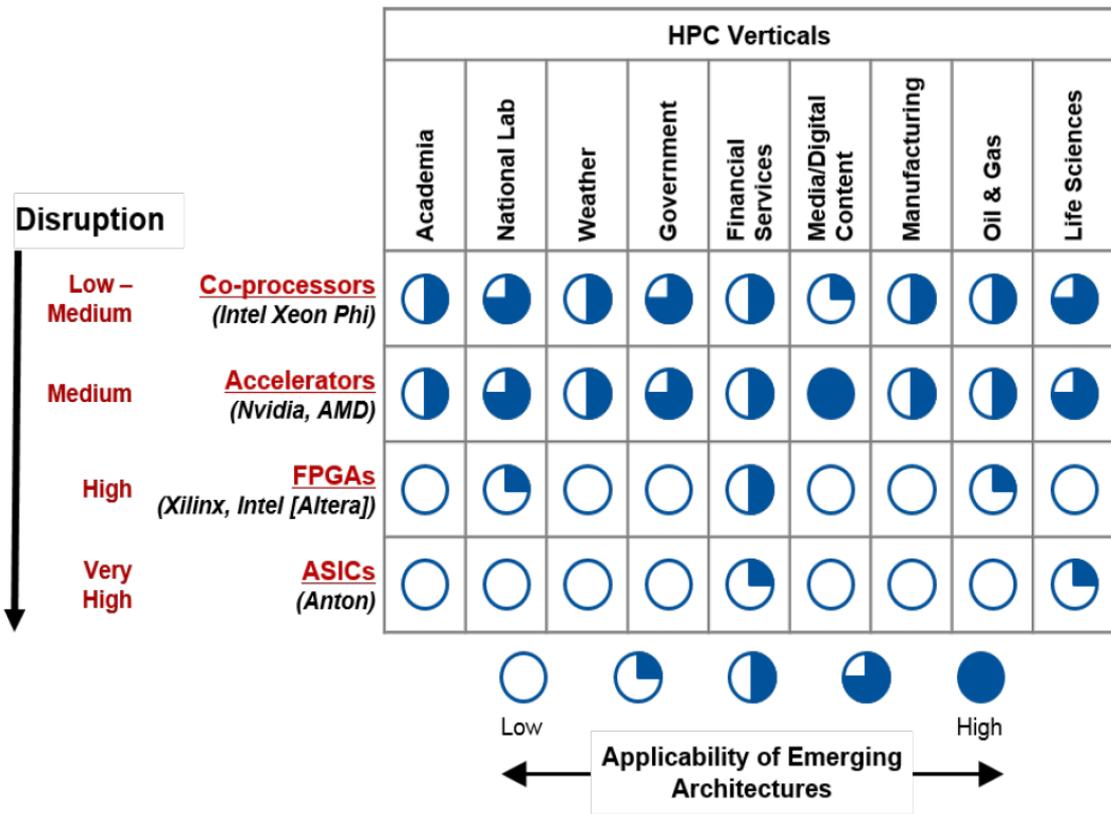
Test Cases ^[1]		Performance Test ^[2]			
		Native OVS		OVS with DPDK	
		Packet Size/Line Rate(%) ^[3]	Average Latency [usec]	Packet Size/Line Rate(%) ^[3]	Average Latency [usec]
①	Physical Port → Virtual Switch → Physical Port	64 / 2 (1 Core)	57 (1 Core)	64 / 20 (1 Core)	25 (1 Core)
②	Physical Port → Virtual Switch → Virtual Machine → Virtual Switch → Physical Port	64 / 1 (1 Core)	141 (1 Core)	64 / 6 (1 Core)	94 (1 Core)
				64 / 15 (2 Cores)	38 (2 Cores)
③	Physical Port → Virtual Switch → Virtual Machine → Virtual Switch → Physical Port			64 / 14 (2 Cores)	39 (2 Cores)

[1] Benchmarking Virtual Switches in OPNFV draft-vsperf-bmwg-vswitch-opnfv-02, IETF Benchmarking Methodology Working Group, 2016/3

[2] Intel Open Network Platform Release 2.1 Performance Test Report, Intel 2016/3

[3] Aggregated system throughput of 40 Gbps using 4 ports.

Accelerator



- Co-processor Intel Xeon Phi)
 - 재사용 가능, 프로그래머블, PCIe 병목, 고비용

- GPU
 - 재사용, 고성능, PCIe 병목, 고비용

- FPGA
 - 특수 목적 성능, 저전력, 프로그래머빌리티/메모리/IO 병목

- ASIC
 - 극한 성능, 최고비용, 장기간 개발, 제한된 사용

Source: Gartner (November 2016)

Top 10 Strategic Technology Trends

KRNet
2017

For 2017

1. Artificial Intelligence & Advanced Machine Learning
2. Intelligent Apps
3. Intelligent Things
4. Virtual Reality & Augmented Reality
5. Digital Twins
6. Blockchains & Distributed Ledgers
7. Conversational Systems
8. Mesh App & Service Architecture
9. Digital Technology Platforms
10. Adaptive Security Architecture

For 2016

1. The Device Mesh
2. Ambient User Experience
3. 3D Printing Materials
4. Information of Everything
5. Advanced Machine Learning
6. Autonomous Agents & Things
7. Adaptive Security Architecture
8. Advanced System Architecture
9. Mesh App & Service Architecture
10. IoT Architecture & Platform

Strategic Technology Trends : 불확실한 와해 기술 단계를 지나 명백한 와해 기술 시작 단계, Gartner

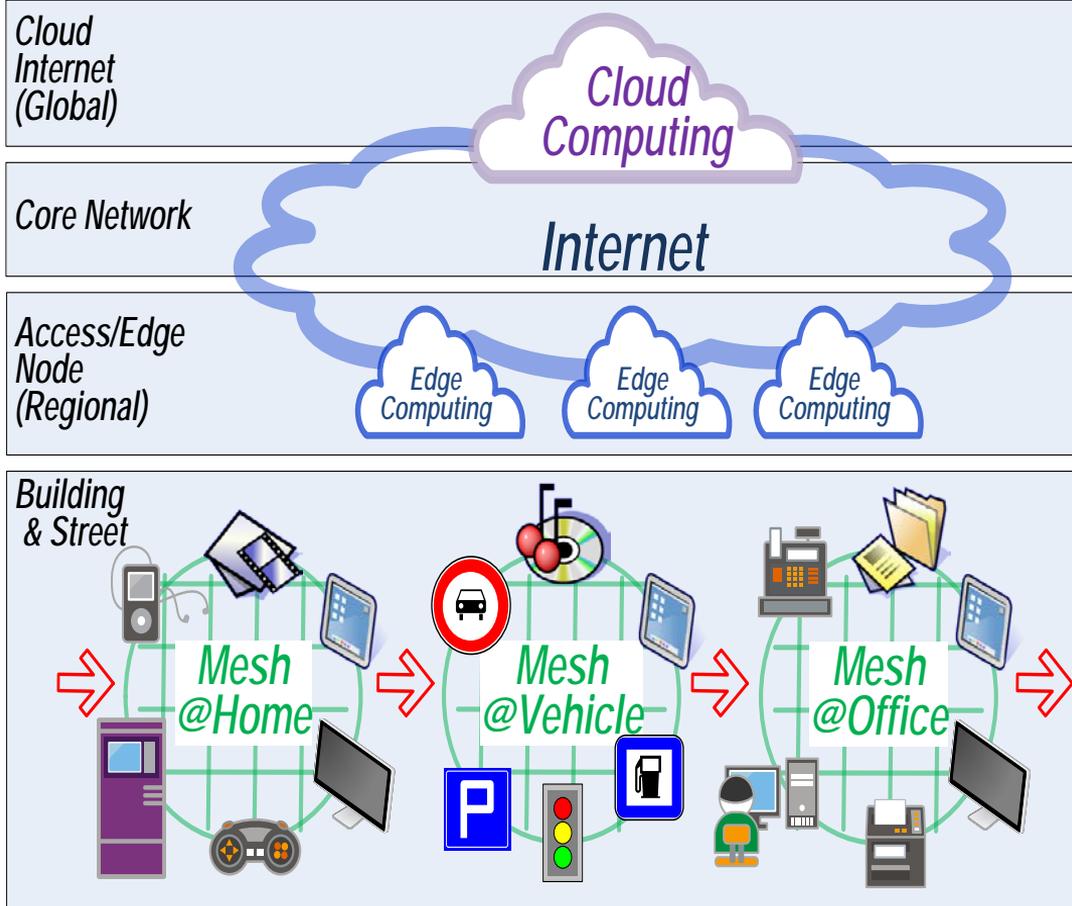
The Device Mesh



- **Device Mesh**
 - 연결될 수 있는 것이 모두 연결되어
 - 디지털 경험 및 비즈니스 기회 제공
- **People-centric Computing**
 - 기업과 고객 사이의 선 모호
 - Multiple 디바이스를 사용한 Personal Cloud
 - Mesh Device에서 실행되는 앱/서비스는 Ambient User Experience에 따른 다중채널 응용을 만드는 서비스 집합에 연결
 - MASA(Mesh App & Service Architecture)는 모듈형으로 설계 → 응용 기민성
 - MASA는 Software Defined Service & Micro-service로 구성
- **새로운 디지털 제품 등장**
- **IoT Endpoint 확산**
 - The connected home/Vehicle
 - Smart cities & building automation
- **AR & VR**

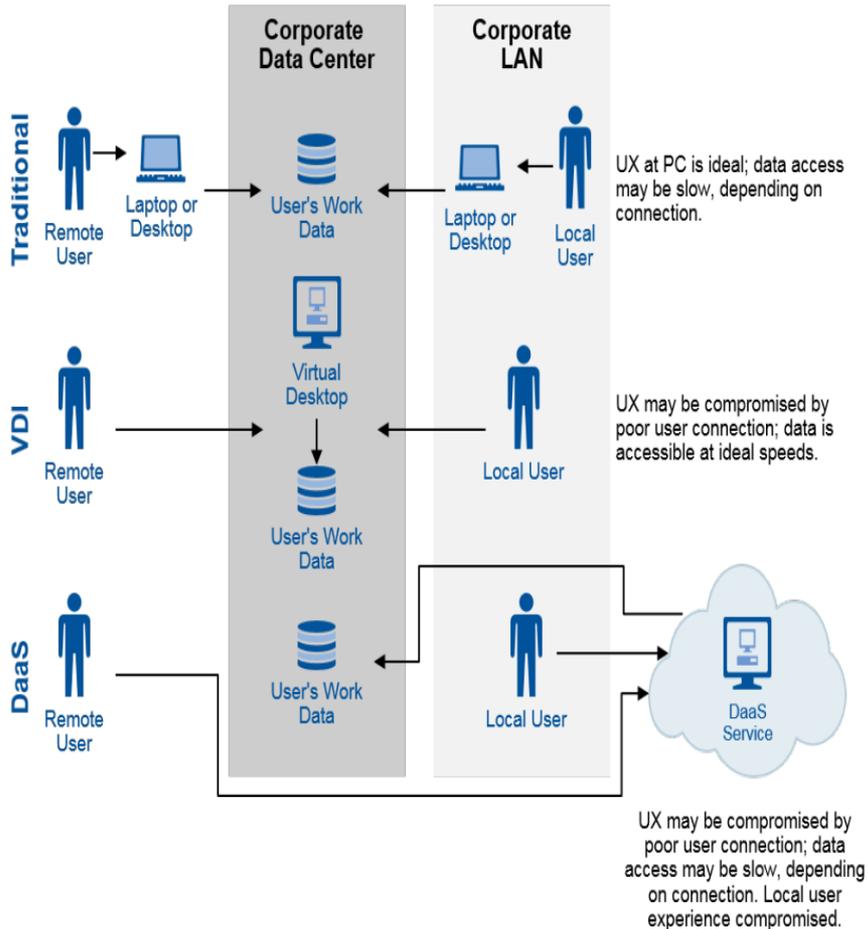
Digital Mesh : 개인 주위에 존재하는 단말(IoT의 사물 포함), 정보, 앱, 서비스, 비즈니스 및 다른 사람들의 집합체. 연결되어진 자원, 비즈니스와 개인들은 계속 유연하고 동적으로 변화되어 모든 단말은 진화를 이루게 됨 [Gartner 2016/12]

Mesh + Fog Computing



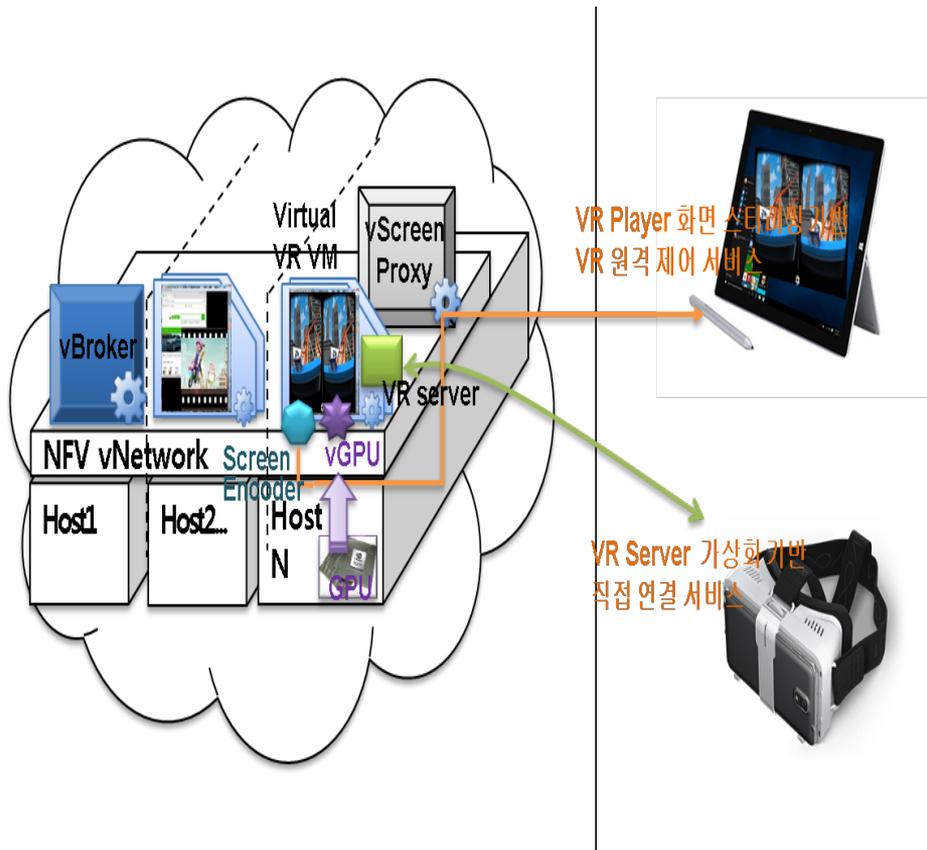
- **Mesh + Fog Computing**
 - Fog Computing과 연결된 단말(사물)이 이동하는 Moving Fog Computing 출현 예상
 - Digital Mesh의 궁극적 서비스 모델은 이동성
- **Mesh 이동성 및 연결성 → Underlay ICN**
 - 물리적 속성과 인터페이스가 다른 단말(사물)의 연결이 수시로 변경
 - 영역, 상황에 따라 변화되는 단말(사물), 정보, 앱 등에 대한 자율 구성
 - 이종 단말(사물) 간 서비스 연속성/이동성 보장 필요
- **Real-time Interactive → Real-time Aware**
 - 실시간 상황/환경 인지
- **Trust**
 - 초분산 구조에서 단말(사물), 단말, 정보 등에 대한 유효성 및 신뢰 확인

VDI와 DaaS 비교



- VDI(Virtual Desktop Infrastructure): 사용자 desktop 환경을 원격으로 제공하는 가상화 형태
 - 전용 플랫폼 또는 장치로 구성
- DaaS(Desktop as a Service): 사용자 desktop 환경을 on demand로 제공
 - 클라우드 및 네트워크 자원으로 구성
 - VDI에 비해 네트워크 영향이 큼
- VDI/DaaS 중요 요구사항
 - VDI/DaaS는 물리 PC를 능가하는 성능 보장 필요
 - 사용자 경험을 만족시키는 성능(Throughput, Latency)

VRaaS(Virtual Reality as a Service)



● Native VR

- 가상화되지 않은 VR은 비용 증가 문제를 일으킴

● VRaaS 개요

- VR을 클라우드에서 제공하기 위해 플랫폼에서 고성능 그래픽 처리기능을 가상화

✓ 3D, OpenGL 등의 처리를 위한, GPU 가상화

✓ VR Content를 play 하기 위한, VR 서버 가상화

- 단말을 통해, 실시간 VR 감상 및 제어를 위해 Screen 및 Control 가상화

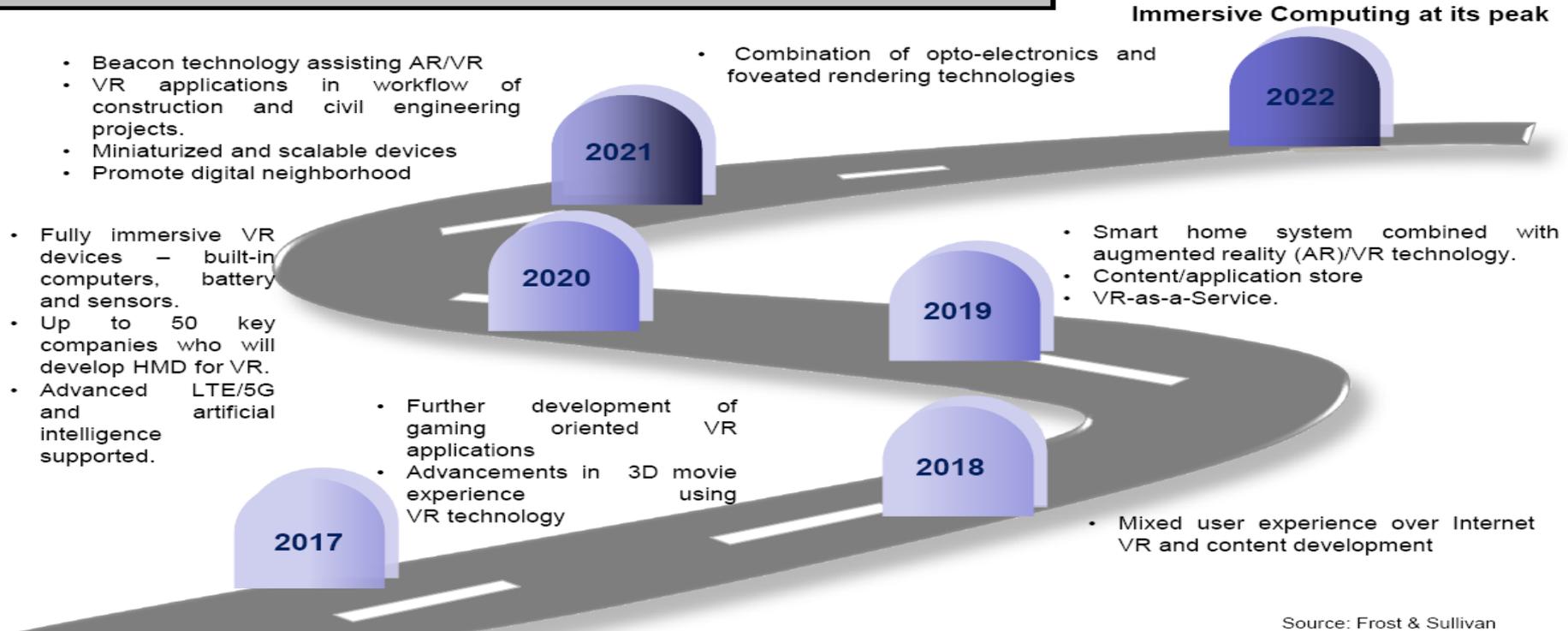
● VRaaS 특징

- 5G 등과 결합할 Low latency 고품질 서비스 가능
- 다양한 콘텐츠를 서버측에서 자원의 제약없이 실행 가능
- 다수의 단말 동시 서비스 가능
- 단말은 시간/공간/이동/무게의 제약에서 자유로움

VR Technology Roadmap

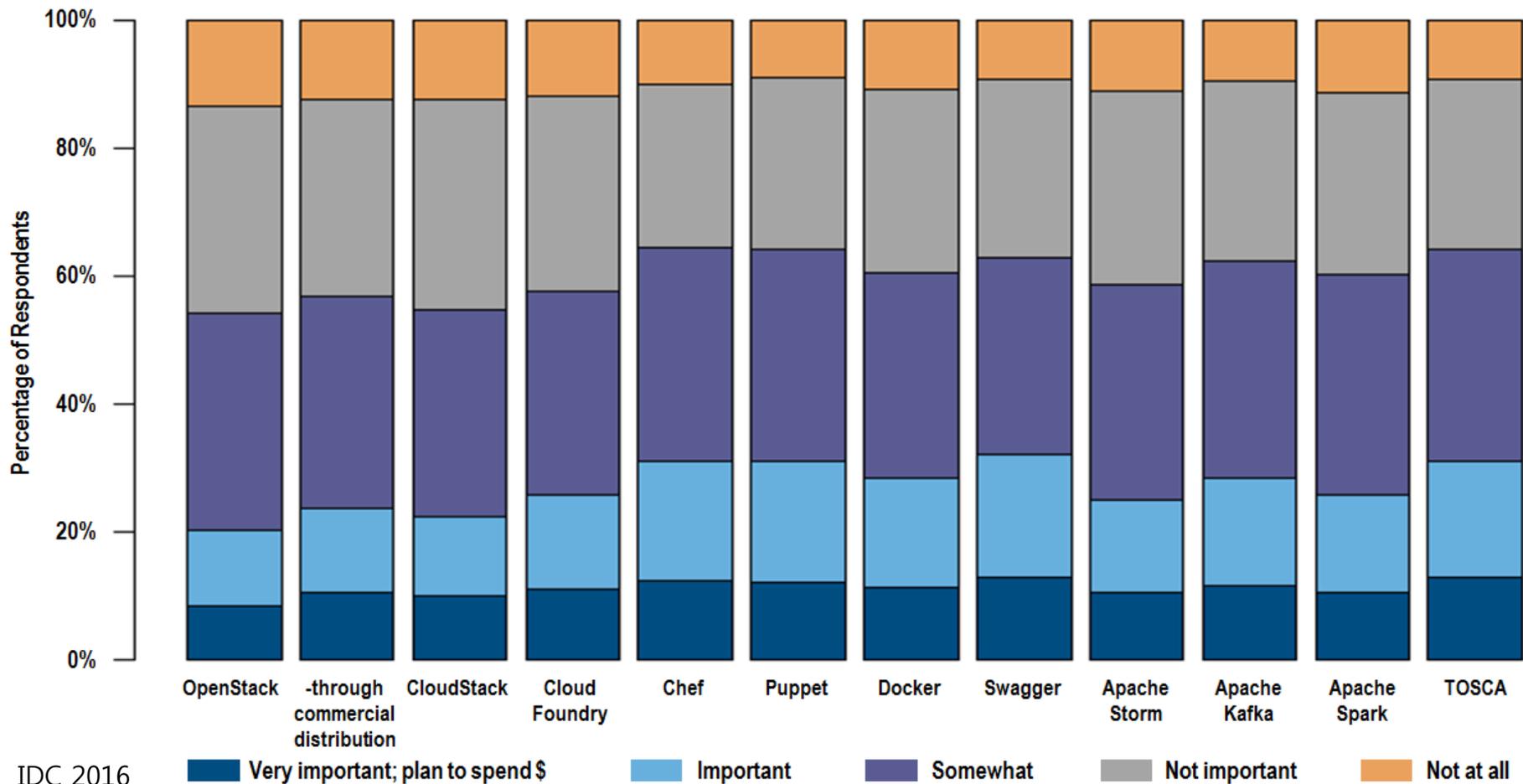
KRNet
2017

The roadmap below depicts the impact of VR technology on various industries based on the current research, innovation, and technology development trends.



Source: Frost & Sullivan

클라우드 전략에서 오픈소스 중요도



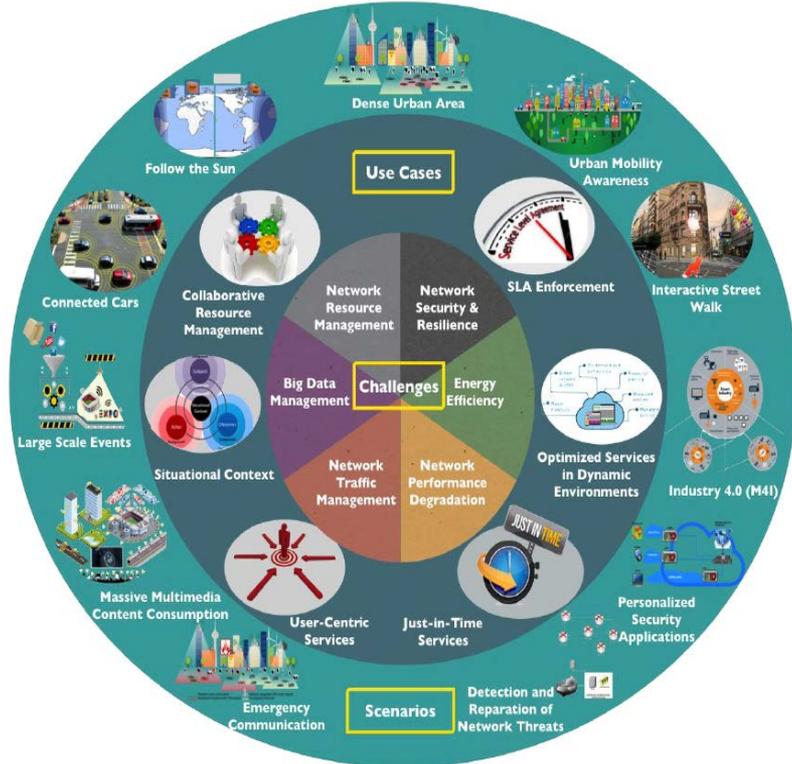
목 차

I. 네트워크-컴퓨팅 융합	2
II. 분산 지능 에지 컴퓨팅 기술	10
III. 에지 컴퓨팅 진화 방향 전망	22

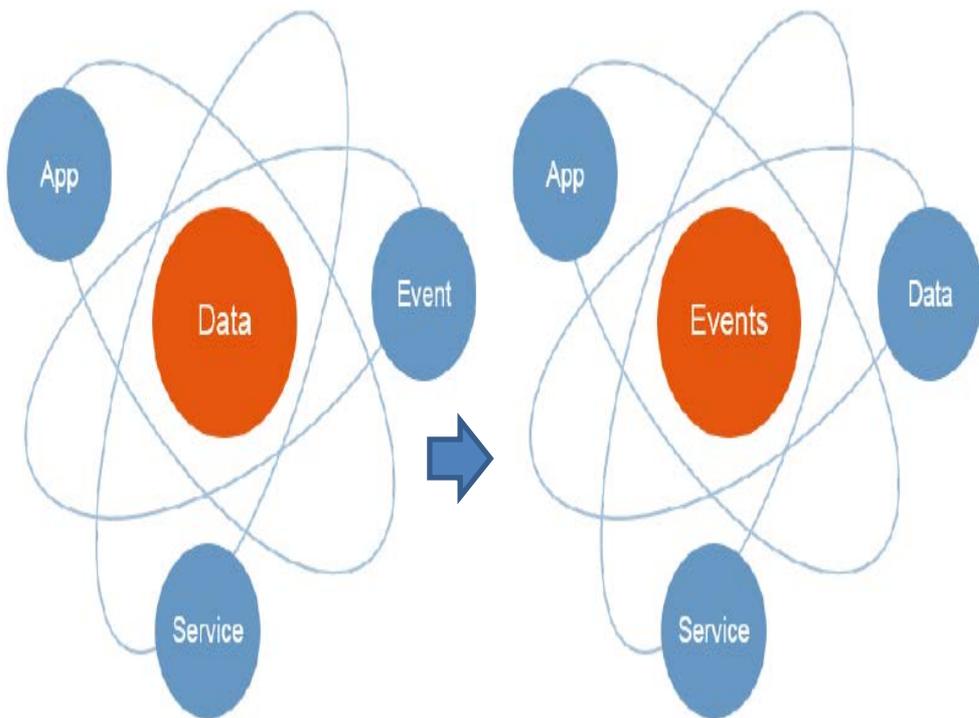
- 컴퓨팅 가속 기술
 - GPU 및 FPGA 기술과 밀결합
 - HPC 작업 부하, 소프트웨어 정의 컴퓨팅, 인지 컴퓨팅에서 필요
- Neuromorphic Hardware
 - 생물학적 신경세포를 모방하여 non-binary 신호를 사용하는 하드웨어
 - 아날로그 레벨 및 spike 기반 신호로 정보 전달(느린 속도이지만 매우 적은 소모 전력에서 높은 Scalability를 제공)
- Silicon on Software
 - 기본 CPU 내에 기본 응용 프로그램 코드를 내장
 - 애플리케이션 별 가속 제공(웹 검색, 데이터베이스 작업 부하에 적합)
- NV-RAM
 - 하드웨어 오류에 대한 성능 이점과 탄력성 향상
 - 데이터 집약적 및 IMC (In-Memory Computing) 작업 부하에 적합
- Silicon Photonics
 - 광 기반 데이터 전송 기술은 latency와 대역폭 성능 크게 향상
 - 인프라를 수평적으로 확장하는데 적합

상황 인지

사용자/사물의 행위 및 환경을 분석하여
상황에 맞는 최적 ICT 인프라 구성 관리 및
서비스 구성 환경 제공



시나리오	상황정보 (Context)
Large Scale Events	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 시/공간별 어플리케이션 활용 프로파일 고객 별 서버 및 게이트웨이 접속정보 인프라에 영향을 미치는 대규모 행사
Industry 4.0	<ul style="list-style-type: none"> 공장 및 사업장의 워크프로세스 관련된 정보
Dense Urban Area	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 시/공간별 어플리케이션 활용 프로파일
Interactive Street Walk	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 시간 별 위치 및 이동성 정보
Emergency Communication	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 응급상황 유무 고객의 시간 별 위치 및 이동성 정보
Personal Security Applications	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 시/공간별 어플리케이션 활용 프로파일 고객의 시간 별 위치 및 이동성 정보
Connected Cars	<ul style="list-style-type: none"> 도로의 차량 주행 상태 및 혼잡도 사고 상황의 유무
Urban Mobility Awareness	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 시간 별 위치 및 이동성 정보 고객 주변 지역의 공공/상업 서비스 운영 현황
Massive Multimedia Content Distribution	<ul style="list-style-type: none"> 고객의 활용 콘텐츠 정보 고객의 시간별 위치 및 이동성 정보



The source truth is the data store.

First priority: Preserve data

The source truth is the log of events.

First priority: React to events

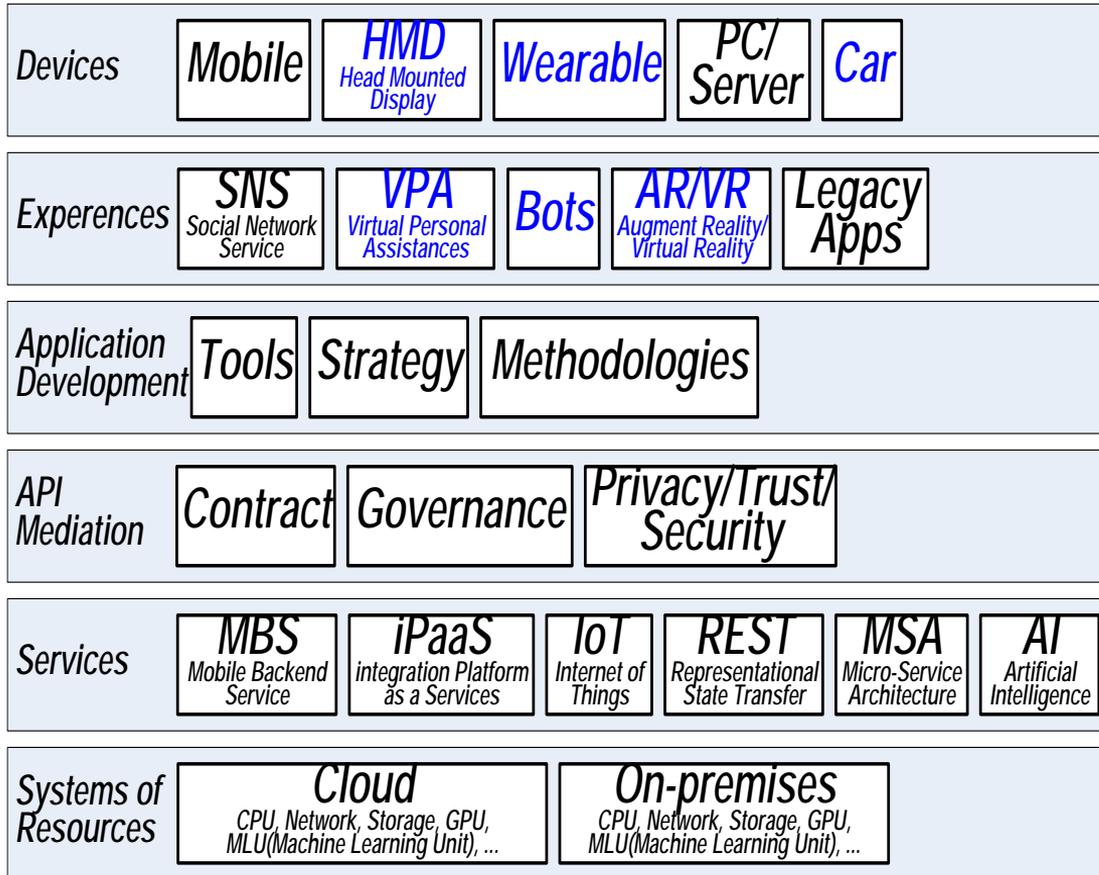
● Event-driven Model

- 현재는 대부분 Web API 및 Request – driven Synchronization Application 구조임
- Event First, Response Second로 변경해야 됨

● Event-driven Architecture

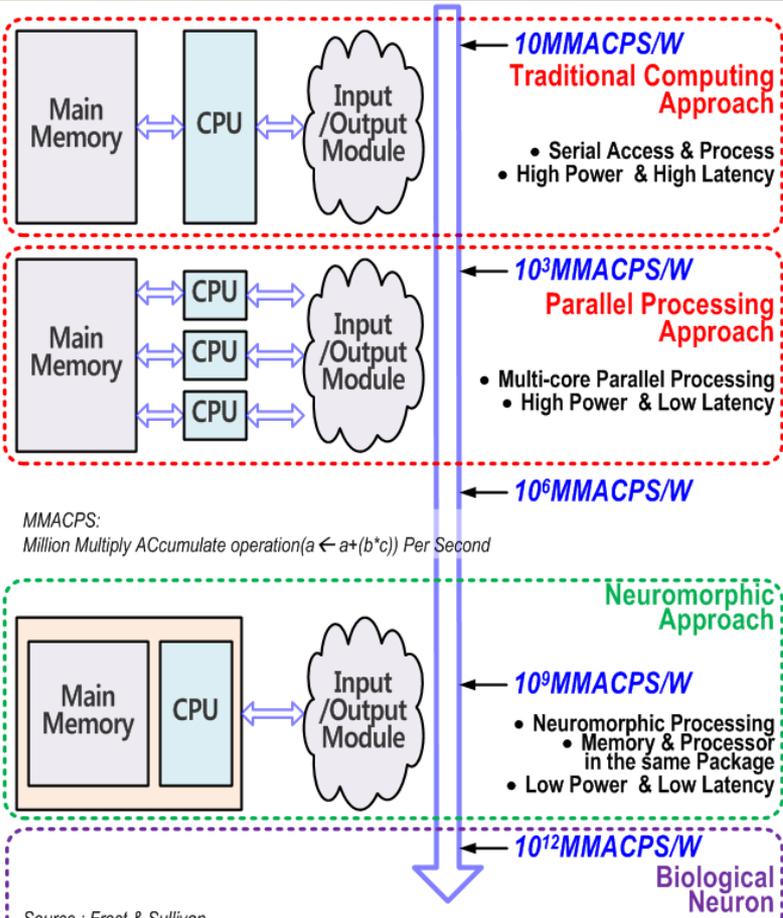
- Web-scale Application이 유리
- Agility, Resiliency, 변경 및 확장이 쉬움

Post-App 시대에 대한 플랫폼 계층 구조



- Devices
 - Mobile, HMD, Wearable PC/Server, Car, ...
- Experiences
 - SNS, VPA, Bots, AR/VR, Apps
- Application Development
- API Mediation: 액세스, 조작, 응답에 통합적 대응
- Services
 - MBS(데이터 동기화, 위치정보 분석 등), iPaaS, IoT, REST, MSA, AI
- Systems of Resources/Record
 - CPU, Network, Storage, GPU, MLU

Neuromorphic Devices



Source : Frost & Sullivan

구분	신경세포 (Neuron) 수	시냅스 수	소모 전력 (W)	응용	
				Visual Filter (sec/W)	Object Detection (sec/W)
사람	10 ¹¹	10 ¹⁵	20		
쥐	7.1 x 10 ⁷				
바퀴벌레	10 ⁶				
IBM TrueNorth	1 x 10 ⁶	2.56 x 10 ⁸	0.07 (기존 방식 대비 1/10 ⁴)	10/0.06	10/0.063
기존 CPU				2012/90	1025/80

뉴로모픽 소자 개발의 장애 요소

● Conventional Computing의 계속적 진화

- GPU, CPU+FPGA, ASIC 등으로 DNN(Deep Neural Network) 성능 계속 개선 중
- Neuromorphic Silicon이 상기 시스템을 뛰어 넘을 것이지만 기존 컴퓨팅은 최소 5년간 지속될 것으로 예상

● Knowledge Gaps

- 수학과 기술 지식을 가진 사람이 대규모에서 뉴로모픽 실리콘의 동작을 완전하게 이해하지 못하고 있음
- Deep Learning을 실행할 수 있는 뉴로모픽 하드웨어 및 소프트웨어 기술이 나타나면 해결될 것으로 예상

● Scalability

- 지속 가능한 뉴로모픽 소자의 뉴론과 심층 연결(deep interconnect) 규모에 대응하기 위해서는 반도체 공정의 도전이 있어야 함

감사합니다.