

Storj: A Peer-to-Peer Cloud Storage Network

Shawn Wilkinson et al., 2014

이부형 (boohyung@pel.smuc.ac.kr)

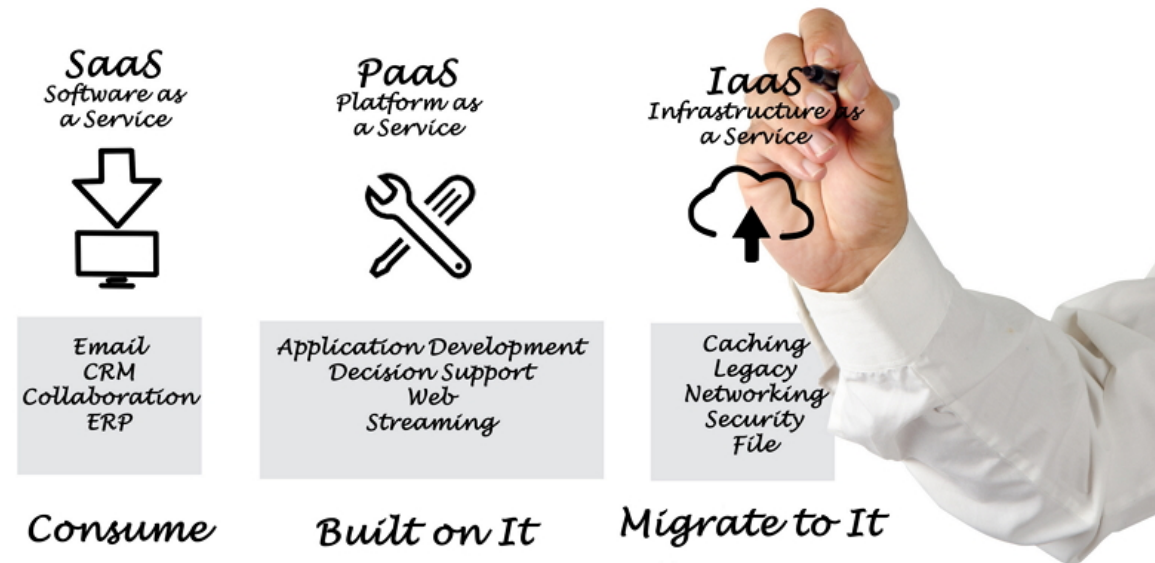
상명대학교 프로토콜공학연구실

Contents

- Introduction
- Main ideas
- Conclusion

Introduction (1/2)

- 클라우드 서비스의 종류
 - Software-as-a-Service (SaaS)
 - Platform-as-a-Service (PaaS)
 - Infrastructure-as-a-Service (IaaS)



Introduction (2/2)

- P2P 기반의 클라우드 서비스: Storj
 - 블록체인 기술을 적용하여 분산 네트워크 구성
 - 서드파티 없이 노드 간 신뢰를 제공
 - 사용자에게 UL/DL와 스토리지를 제공
 - 파일 업로드 및 다운로드, 공유 기능
 - RESTful API 제공
 - IaaS



SERVER BASED NETWORK



PEER TO PEER NETWORK

Main ideas (1/13)

- Network Topology

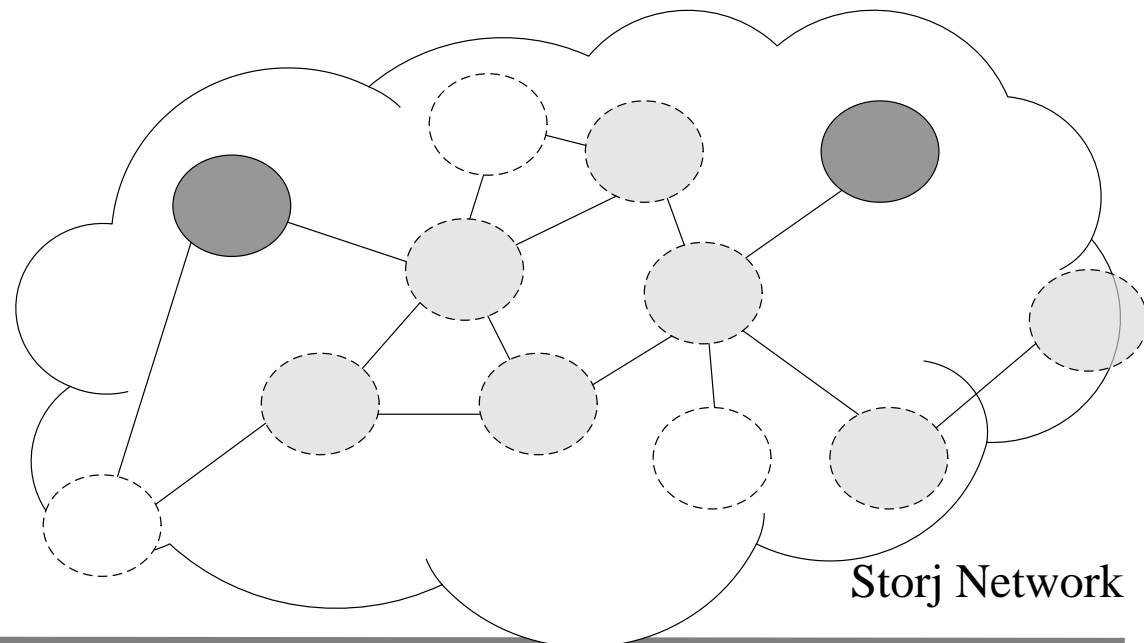
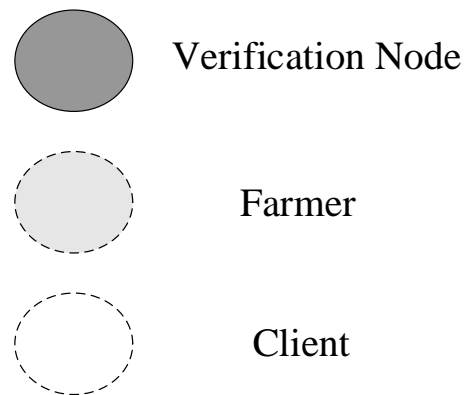
- Client: 사용자

- Farmer

- Client가 업로드한 파일 조각을 저장

- 저장하는 스토리지를 빌려준 대가로 인센티브를 획득

- Verification Node: Client가 Offline 상태일 때 audit을 대리수행 (Optional)



Main ideas (2/13)

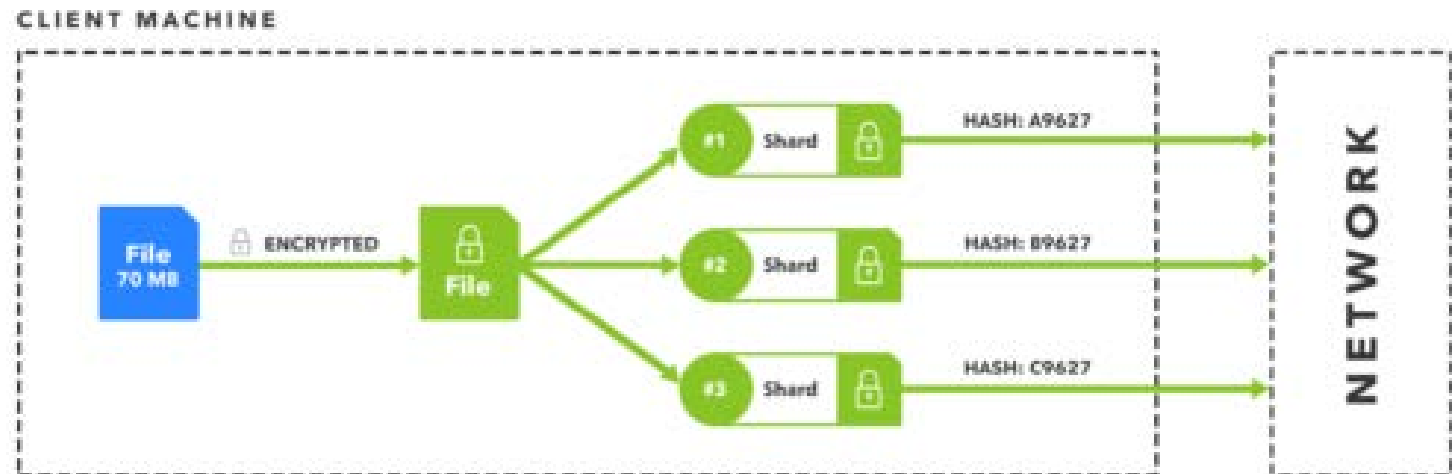
- Plane

- Storj는 Control plane과 Data plane으로 활동 영역이 나뉘져 있는 형태
 - Control plane: 네트워크에 업로드한 파일의 메타데이터를 블록체인 형태로 구성하여 파일의 무결성을 제공하는 영역
 - 트랜잭션 생성
 - 블록 생성 및 데이터 무결성 검증
 - Data plane: 파일을 분할하여 네트워크에 업로드/다운로드, 공유하는 영역
 - 암호화/복호화
 - 인코딩/디코딩
 - 복사본 저장

Main ideas (3/13)

- Sharding

- 파일을 네트워크에 분산 저장하기 위해 여러 조각으로 분할
 - 사용자의 공개키로 암호화/인코딩
 - 암호화된 Shard는 임의의 farmer들에게 전송됨
- 파일 조각의 단위를 Storj에서는 'Shard' 라고 부름
 - Bittorrent의 Chunk와 같은 개념



Main ideas (4/13)

- Redundancy Scheme

- RAID (Redundant Array of Independent Disk)를 응용하여 파일의 shard를 다수의 farmer에 중복 저장하는 방법
 - 보통 하나의 shard 당 3-4 farmer가 할당되어 저장됨
- K-of-M Erasure Encoding
 - 전체 M개의 파일 조각 중 최소 K개가 있으면 파일 복구 가능
 - 데이터의 일부가 손실될 경우 디코딩을 통해 복구
- 파일의 일부가 전송 중 네트워크 오류나 공격자에 의해 삭제되었더라도 백업이 가능함

Main ideas (5/13)

- Proofs of Retrievability

- 사용자가 자신이 업로드한 데이터의 저장 여부를 확인하기 위한 방법
 - 분산 네트워크의 신뢰성을 보장
- 머클 트리 기반의 Challenge-response interaction
 - 머클 루트
 - 랜덤한 Salt값을 이용한 해시 코드 생성
- Storj에서는 'audit' 혹은 'heartbeat' 이라고 칭함

Main ideas (6/13)

- Proofs of Retrievability

- 동작 과정

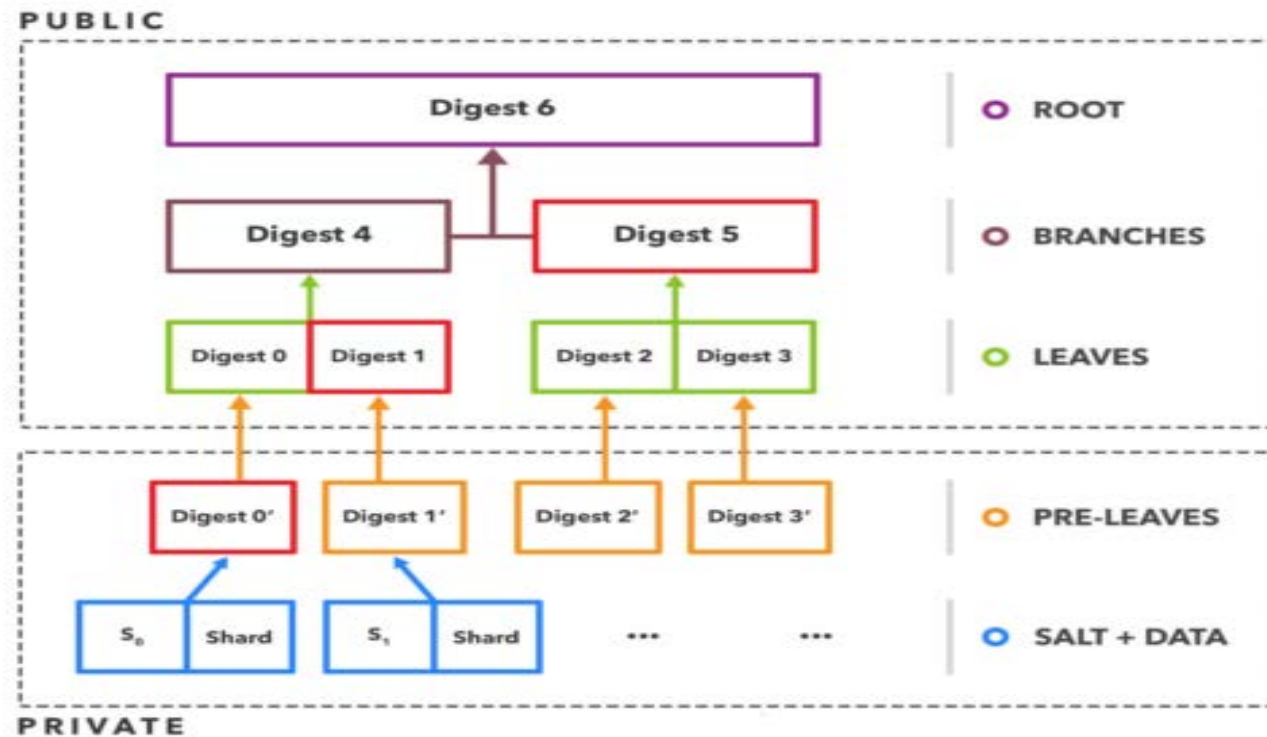
- Client는 sharding 과정을 마치고 Salt (Seed)를 생성
 - 만약, 파일을 n 개의 Shard로 나눴다면 n 개의 Salt를 생성, Shard와 각각 연접하여 해시: Pre-leaves를 제작
- 제작한 pre-leaves는 shard와 함께 다수의 farmer들에게 전송됨
- 블록의 머클 트리를 구성하는 leaves는 pre-leaves를 한번 더 해시하여 만듦

Main ideas (7/13)

- Proofs of Retrievability

- 동작 과정 (그림)

- $\text{Shard} = d_i$



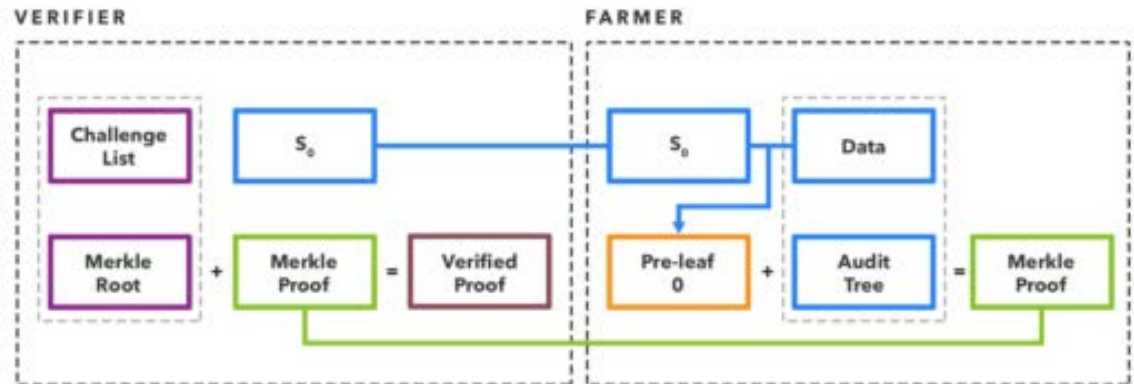
용어	계산 방법	설명
d_i	Client의 Sharding	$i - th$ Shard
S_i	Client의 랜덤 값 생성	$i - th$ Salt
p_i	$H(S_i + d_i)$	$i - th$ Pre - leaves
l_i	$H(H(S_i + d_i))$	$i - th$ Leaves

Main ideas (8/13)

- Proofs of Retrievability

- 검증 과정

- Client (Verifier): Salt의 집합 S 와 머클 루트를 소유
 - $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{n-1}\}$
- Farmer: Shard와 자신이 저장하고 있는 Shard에 해당하는 pre-leaf를 소유
- 검증 요청: Client는 S_0 와 머클 루트를 farmer에게 전송
 - S_0 에 해당하는 pre-leaf를 가지고 있는 farmer
- 검증 응답: Farmer는 머클 루트를 이용한 검증 결과를 Client에게 전송



Main ideas (9/13)

- Rewards

- 스토리지/네트워크를 빌려준 대가로 Client는 Farmer들에게 인센티브를 제공
- 암호화 화폐 Storjcoin X (SJCX)를 이용
- Client가 audit 이후 farmer의 SJCX 주소로 인센티브를 전송
 - Micropayment Channel을 사용
 - 장기간 파일을 보관하는 경우 인센티브는 한 달 단위로 측정
- Farmer의 네트워크 성능(Bandwidth UL/DL), 스토리지 크기에 따라 인센티브를 측정
 - $\text{Storage space/Network Bandwidth} \propto \text{Price}$

Main ideas (10/13)

- How Does it Work? (파일 업로드)

1. Client는 Storj Network에 파일 업로드 요청
2. 파일을 작은 단위로 분할하여 Shard를 생성
 - erasure encoding + encryption
3. 암호화된 Shard를 다수의 farmer들에게 무작위로 배분하여 업로드
4. 업로드 시 audit 과정 수행
5. audit이 완료되면 자신의 shard를 가지고 있는 farmer들에게 대여료를 지급
6. 파일의 메타데이터를 이용하여 트랜잭션을 생성, 이전 블록체인에 연결

Main ideas (11/13)

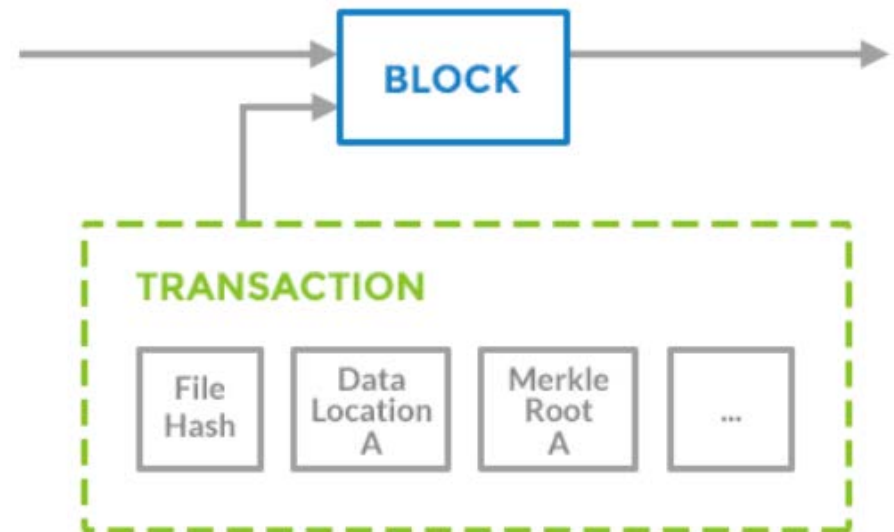
- How Does it Work? (파일 다운로드)

1. Client는 Storj Network에 과거에 업로드한 파일을 다운로드 요청
2. 요청한 파일에 대한 검증: audit
3. 요청한 파일에 해당하는 shard를 가지고 있는 farmer들은 client에게 자신이 가지고 있는 shard를 전송
4. 암호화된 shard를 복호화하여 조합

Main ideas (12/13)

- Transaction

- 트랜잭션에는 파일의 메타데이터가 포함됨
 - 필수 항목: 파일의 해시값, Shard의 위치, 머클 루트
- 트랜잭션에 사용자의 개인키로 디지털 서명
 - 비트코인과 동일
- 블록은 Client가 audit 이후에 생성



Main ideas (13/13)

- Security
 - Possible attacks & Defenses
 - Sybil Redundancy Attack/Improper Distribution: 여러 명의 공격자 (farmers)가 서로 공모하여 네트워크를 신뢰하지 못하게 하는 공격 방법
 - 고의로 데이터를 드롭시키거나 동시에 shard의 복사본을 만들어내어 네트워크 트래픽을 조작
 - 방어: Client가 shard를 저장할 farmers를 완전 무작위로 선택한다면 같은 목적으로 공모한 farmer가 선택될 확률은 고려하지 않아도 됨
 - Hostage Byte: Client가 파일을 다운로드할 때, 파일의 마지막 shard를 공격자 (farmer)가 고의로 제공하지 않는 공격
 - 방어: K-of-M erasure encoding으로 공격자로부터 shard를 받지 않고도 파일 획득 (복구)이 가능

Conclusion (1/2)

- P2P 기반 클라우드 스토리지 네트워크 서비스
 - 비트코인 블록체인 기술 + P2P 프로토콜
 - 트랜잭션
 - 공개키 암호화 구조
 - 암호화 해시 함수
 - Kademlia, Distributed Hash Table (DHT) 기반
 - 서드파티에 의존하지 않고 데이터를 전송하고 공유
 - Proof-of-Retrievability
 - 종단간 암호화 구현: 안전한 파일 업로드 및 다운로드
 - 인센티브: 암호화 토큰 사용 (Storjcoin X, SJCX)
- <https://storj.io/>



Conclusion (2/2)

- Future of Storj
 - Blockchain-as-a-Service (BaaS)
 - 현재 Microsoft Azure, Heroku와 연동하여 서비스
 - 다른 플랫폼과의 연동을 통해 클라우드 스토리지 네트워크 서비스 제공

감사합니다!

이부형 (boohyung@pel.smuc.ac.kr)

백업 1: Erasure encoding

- 스토리지의 복제 및 복구를 위해 사용
 - Erasure Code를 이용하여 데이터를 인코딩
 - 데이터 손실 시 디코딩 과정을 통해 원본 복구
 - 동작 순서
 - 데이터 원본을 n 개로 분할
 - n 개의 데이터로 인코딩을 통해 k 개의 패리티를 생성
 - 데이터 손실 시, n 개의 데이터로 디코딩을 통해 원본 데이터를 복구

