

더블제로(DoubleZero)

해당 번역본은 이용자가 디지털자산 관련 정보를 편리하게 확인할 수 있도록
단순 참고용으로 번역된 것이며, 투자 권유를 목적으로 하지 않습니다.
그 내용이 정확하지 않을 수 있으므로 정확한 정보 습득을 위해서는
원문을 참고하시거나 원문 작성 주체 측에 문의하시기 바랍니다.
두나무는 해당 번역본 내용의 진실성 및 정확성을 보장하지 않고,
제공된 정보에 의한 투자 결과에 대하여 어떠한 책임도 지지 않으며,
투자 손실은 투자자에게 귀속됩니다

더블제로(DoubleZero) 프로토콜

2024년 12월 2일

고성능 분산 시스템에서의 통신을 가속화하여 대역폭을 늘리고 지연을 줄인다

오스틴 페데라(Austin Federa), 앤드류 맥코넬(Andrew McConnell), 마테오 워드(Mateo Ward)
austin@doublezero.xyz, andrew@malbeclabs.com, mateo@malbeclabs.com

특별 감사: Dr. Nihar Shah, Chris Remus, Malbec Labs, Dr. Kevin Bowers, 그리고 Firedancer 팀

초록

더블제로(DoubleZero) 프로토콜은 블록체인과 같은 분산 시스템에 최적화된 고성능 무허가(permissionless) 네트워크를 생성하고 관리하기 위한 탈중앙화 프레임워크이다. 이는 활용되지 않은 민간 광섬유 링크의 무허가 기여를 가능하게 하여 동적이고 확장된 네트워크를 형성한다. 더블제로 네트워크는 이종 네트워크를 원활하게 연결할 수 있는 저수준 무허가 아키텍처를 갖추고 있다. 이를 통해 저지연·고대역폭 경로를 따라 트래픽을 필터링하고 서비스하는 메시(mesh)형 전송 계층을 구축하여 분산 시스템이 정보를 효율적으로 송수신할 수 있도록 한다. 퍼블릭 블록체인 상에 존재하는 무허가 컨트롤러를 통해, 프로토콜은 인센티브를 통해 새로운 기여를 유도하며 수요 급증, 장애, 기타 교란 상황에 대응하여 네트워크 구성과 라우팅을 관리한다. 이러한 네트워크 인프라 계층은 레이어 1 블록체인과 같은 시스템이 통신 병목 현상에서 해방되어 물리학이 허용하는 최대 성능에 근접할 수 있도록 한다. 요약하면, 더블제로 네트워크는 분산 시스템에 최적화된 새로운 인터넷이다.

서론

탈중앙화 시스템의 처리량과 지연(latency) 개선 속도는 개발자와 사용자의 요구를 따라가지 못하고 있다. 이는 레이어 1 블록체인에서 가장 두드러지지만, 레이어 2 네트워크 및 비(非)블록체인 분산 시스템에서도 마찬가지이다. 개별 검증인의 컴퓨팅 성능이 상당히 향상되었음에도 불구하고¹, 이러한 시스템은 점점 더 검증인 내부의 연산 성능보다는 검증인 간 통신에서의 대역폭 제약과 가변적 지연에 의해 병목 현상이 발생하고 있다. 이러한 시스템에서 더 높은 성능을 끌어내기 위한 핵심은 데이터 흐름을 최적화하는 것이다. 더블제로(DoubleZero) 프로토콜은 개별적으로 기여된 광섬유 링크를 결합하여 동기화된 네트워크를 형성함으로써 스팸을 필터링하고, 대역폭을 늘리며, 지연을 낮추고, 통신의 지터(jitter)를 제거하도록 설계되었다. 요약하면, 이는 신뢰성과 확장성을 향상시킴으로써 블록체인과 모든 탈중앙화 분산 시스템의 성능을 개선하기 위해 설계된 것이다.

블록체인이 사용하는 물리적 네트워크 계층은 비트코인의 등장 이후 변화하지 않았다. 이러한 저개발 상태는 성능 높은 블록체인의 확장성과 탈중앙화를 제한하여, 블록체인을 더욱 중앙집중화되고 비효율적으로 만든다. 유입되는 트랜잭션의 홍수를 처리하기 위해 필요한 검증인 하드웨어 요건은 빠르게 증가한다. 합의는 검증인들이 공용 인터넷 경로를 통해 블록을 제안하고 투표하면서 더디게 이뤄지는데, 이 경로는 높은 지터와 불안정한 라우팅에 취약하다.

공용 인터넷과 비교했을 때, 더블제로 네트워크는 블록체인에 두 가지 개선을 제공한다. 첫째, 유입 트랜잭션은 더블제로 네트워크를 통해 전송되기 전에 특수 하드웨어에 의해 가장자리(edge)에서 스팸 및 중복이 제거될 수 있다. 이를 통해 각 검증인이 충분한 자원을 개별적으로 마련할 필요 없이 블록체인은 시스템 전반에 걸친 공유 필터링 자원의 혜택을 누릴 수 있다. 둘째, 출력 메시지는 명시적으로 라우팅되고, 추적되며, 우선 순위가 부여되어 효율성을 향상시킬 수 있다. 검증인들은 합의에 도달하기 위해 지연을 제어하고 지연 내의 지터(즉, 무작위 변동)를 줄일 수 있다. 이 두 가지를 결합하면, 더블제로 네트워크는 시스템을 중앙에서 함께 배치하지 않고서는 달성할 수 없는 수준의 성능을 실현할 수 있다.

더블제로 네트워크 아키텍처는 개념적으로 두 개의 동심원으로 구성된다: 외곽의 인그레스/이그레스(ingress/egress) 링과 내부 데이터 플로우(data flow) 링이다. 네트워크의 외곽 링은 공용 인터넷과 인터페이스하며, 더블제로의 네트워크 장치는 여기에서 FPGA와 같은 고성능 하드웨어를 사용해 분산 서비스 거부(DDOS) 공격을 완화하고, 서명을 검증하며, 중복 트랜잭션을 필터링한다. 내부 링의 서버들은 이 필터링된 트래픽을 최적화된 라우팅의 전용 대역폭 라인 위에서 합의를 구축한다. 이 두 개의 링은 함께 확장 가능하고 무허가(permissionless)인 정보 서비스를 제공한다.

실제로 더블제로(DoubleZero) 네트워크는 어떤 분산 시스템의 최적화에도 활용될 수 있다. 이 병목 현상은 블록체인에만 국한된 것이 아니며, 거의 모든 시간 민감적이고 고성능이 요구되는 컴퓨팅 애플리케이션은 작업 자체보다는 데이터 흐름의 인그레스와 이그레스에 의해 제한된다. 예를 들어, 블록체인 세계에서는 RPC 노드, MEV 시스템, 심지어 레이어 2 체인조차도 네트워크가 제공하는 필터링된 저지연 링크로부터 이점을 얻을 수 있다. 블록체인 밖에서도 콘텐츠 전송 네트워크(CDN), 게임 애플리케이션, 대형 언어 모델(LLM), 엔터프라이즈 사용자들이 유사한 이유로 네트워크의 혜택을 누릴 수 있다. 이러한 애플리케이션들 중 다수는 본래 우선순위가 높은 트래픽이 시간 민감도가 낮은 트래픽과 구분되지 않은 채 공용 인터넷을 통해 전달된다. 더블제로 네트워크는 이러한 문제를 해결하는 대체적이고 개선된 모델을 제공한다.

¹ 예를 들어, 블록체인 분야에서는 구세대 시스템보다 실제로 한 자릿수 이상 성능을 개선한 새로운 세대의 고성능 검증인 클라이언트(Firedancer, Reth 등)와 고성능 체인(Sui, Monad 등)이 등장했다.

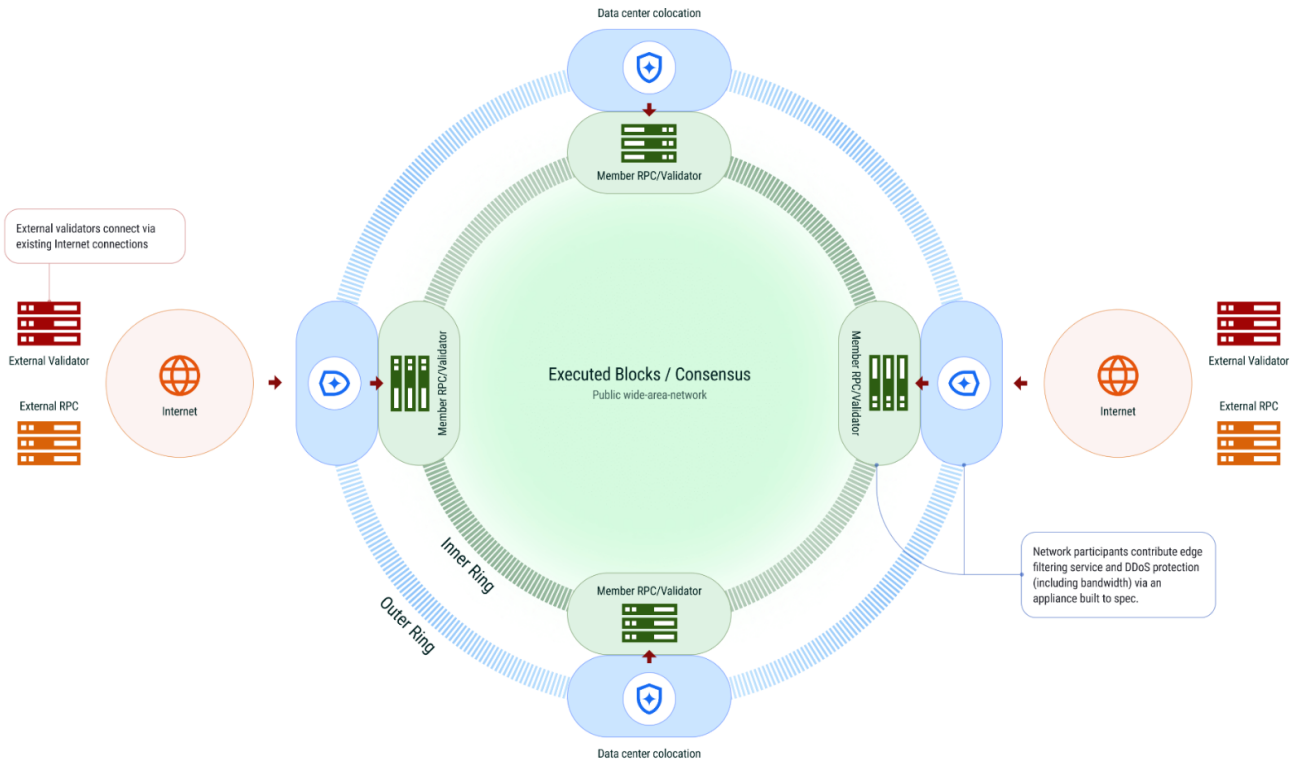


그림 1. 더블제로 개념 네트워크 다이어그램

더블제로(DoubleZero) 프로토콜은 단순한 기술적 성취가 아니라 — 대역폭과 통신을 위한 새로운 경제 모델이다. 공급자 측면에서 이는 민간 기업이 통신사나 네트워크 서비스 제공업체로부터 구매하거나 임대 한 미활용 민간 링크를 수익화할 수 있도록 한다. 놀리는 대신, 기관들은 자신의 링크를 더블제로 시스템에 기여함으로써 새로운 수익원을 창출할 수 있다. 사용자와 운영자 측면에서 이는 분산 시스템이 중앙집중식 시스템이나 장기 계약에 의존하지 않고도 민간 네트워킹의 혜택을 누릴 수 있도록 한다. 대신, 이러한 시스템은 처리량 요구사항, 네트워크 토폴로지, 또는 통신 우선순위를 유연하게 지속적으로 미세 조정할 수 있다. 가장 중요한 점은, 더블제로 프로토콜이 단순히 공급자와 사용자를 연결하는 데 그치지 않고 개별 기여를 통합된 글로벌 네트워크로 전환한다는 것이다. 공급자들이 제공하는 개별 링크는 — 경로가 고정되어 있고, 도달 범위가 제한적이며, 전 세계적으로 보편적인 중복성을 제공하지 않는 경우가 많아 — 현대 시스템이 요구하는 유연성, 도달성, 복원력에 잘 부합하지 못한다. 더블제로 프로토콜은 이러한 개별 링크들을 하나로 엮어 강력하고 확장된 시스템을 구축하며, 오늘날의 인터넷을 가능하게 만든 것과 동일한 네트워크 효과를 활용한다.

공용 인터넷과 마찬가지로, 더블제로 네트워크의 분산적 정신은 약점이 아니라 강점이다. 여러 독립적인 기여자가 각자의 일부를 합한 것보다 더 큰 가치를 만들어내기 때문이다. 궁극적으로 이 프로토콜은 “N1”이라 불리는, 중립적이고 고성능의 물리적 인프라 기반 계층으로서 최초의 시도이다. 바로 이 N1 위에 네트워크 관련 (N2 등) 혹은 그 외의 분산 시스템과 애플리케이션이 구축될 수 있다.

더블제로 프로젝트의 핵심 신념은 풍요로움이 혁신을 낳는다는 것이다. 가용성의 단계적 변화나 그에 따른 지연의 감소는 분산 시스템을 위한 전혀 새로운 유형의 애플리케이션과 사용 사례를 열어준다. 이러한 제1원리로부터, 더블제로는 전 세계 분산 시스템의 대역폭을 확장하고 지연을 줄임으로써 더욱 공정하고 개방된 소프트웨어 미래를 지원한다는 복극성을 설정한다.

시스템 아키텍처

더블제로(DoubleZero)는 단순하지만 근본적인 아이디어에서 시작한다 — 만약 각 노드 운영자(검증인, RPC 등)가 데이터 인그레스와 이그레스에 대해 단독으로 책임지지 않는다면 어떨까? 우리는 필터링과 검증을 트랜잭션 포함, 블록 생성, 실행과 분리함으로써, 노드 운영자가 네트워크 운영을 최적화할 수 있는 병렬적이고 보호된 트랜잭션 흐름을 만들 수 있다고 제안한다.

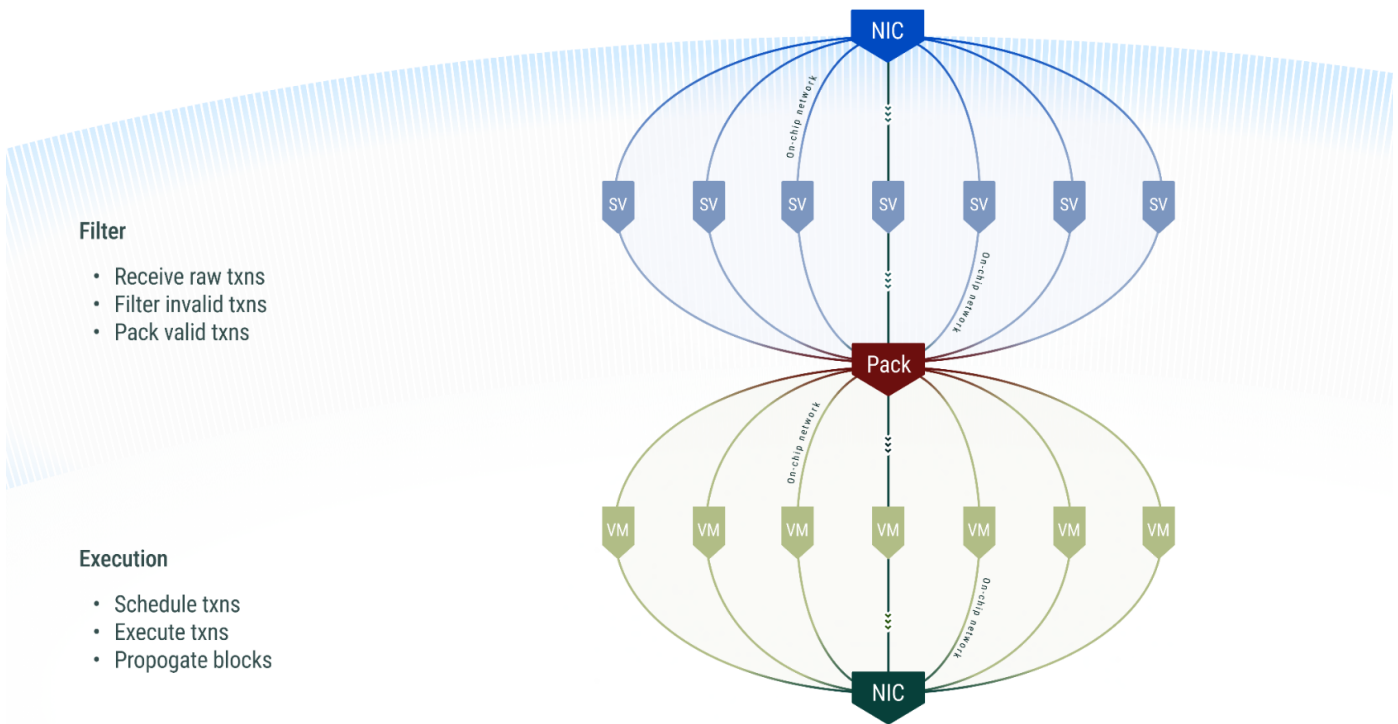


그림 2. 기존 지분증명(PoS) 블록체인 검증 프로세스.

검증인의 역할은 일반적으로 단일한 작업으로 이해되지만, 그 이면에는 블록을 생성하는 것과 블록에 대한 합의를 찾는 두 가지 단계가 존재한다. 블록 생성은 필터링되지 않은 대량의 유입 데이터가 검증인에게 도착하면서 시작된다. 검증인은 중복 제거, 필터링, 서명 검증을 수행하여 가능한 풀을 축소한다. 이후 검증인은 포함할 수 있는 트랜잭션의 하위 집합을 선택하고, 블록을 구성한 뒤, 합의를 위해 다른 검증인에게 자신이 제안한 블록을 전파한다. 다른 검증인들은 블록을 승인해 체인에 추가하거나, 블록을 거부하고 다음으로 진행한다.²

² 리더 기반 블록체인과 리더리스 블록체인 간에는 특히 블록 순서 결정과 관련하여 메커니즘상의 차이가 존재하지만, 여기서는 이러한 미묘한 차이를 무시해도 무방하다.

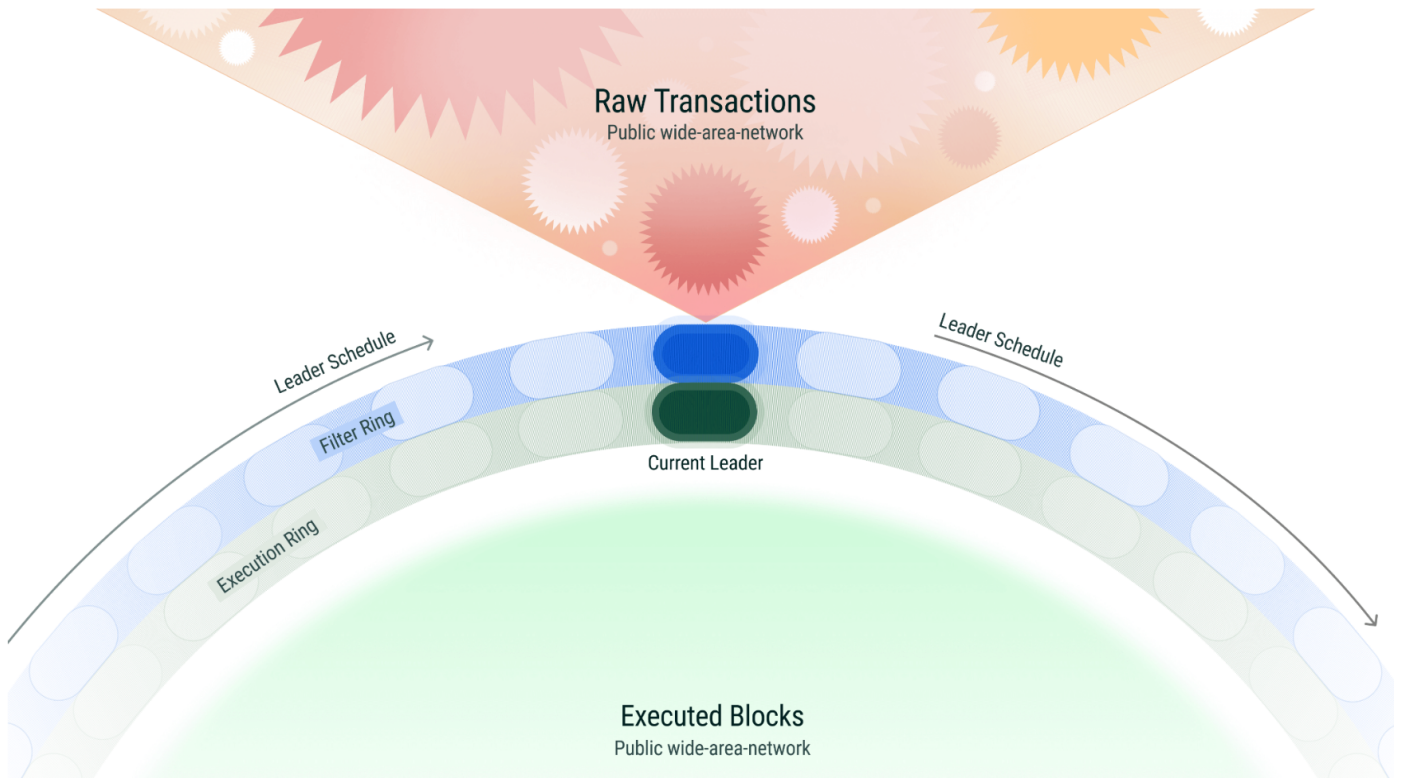
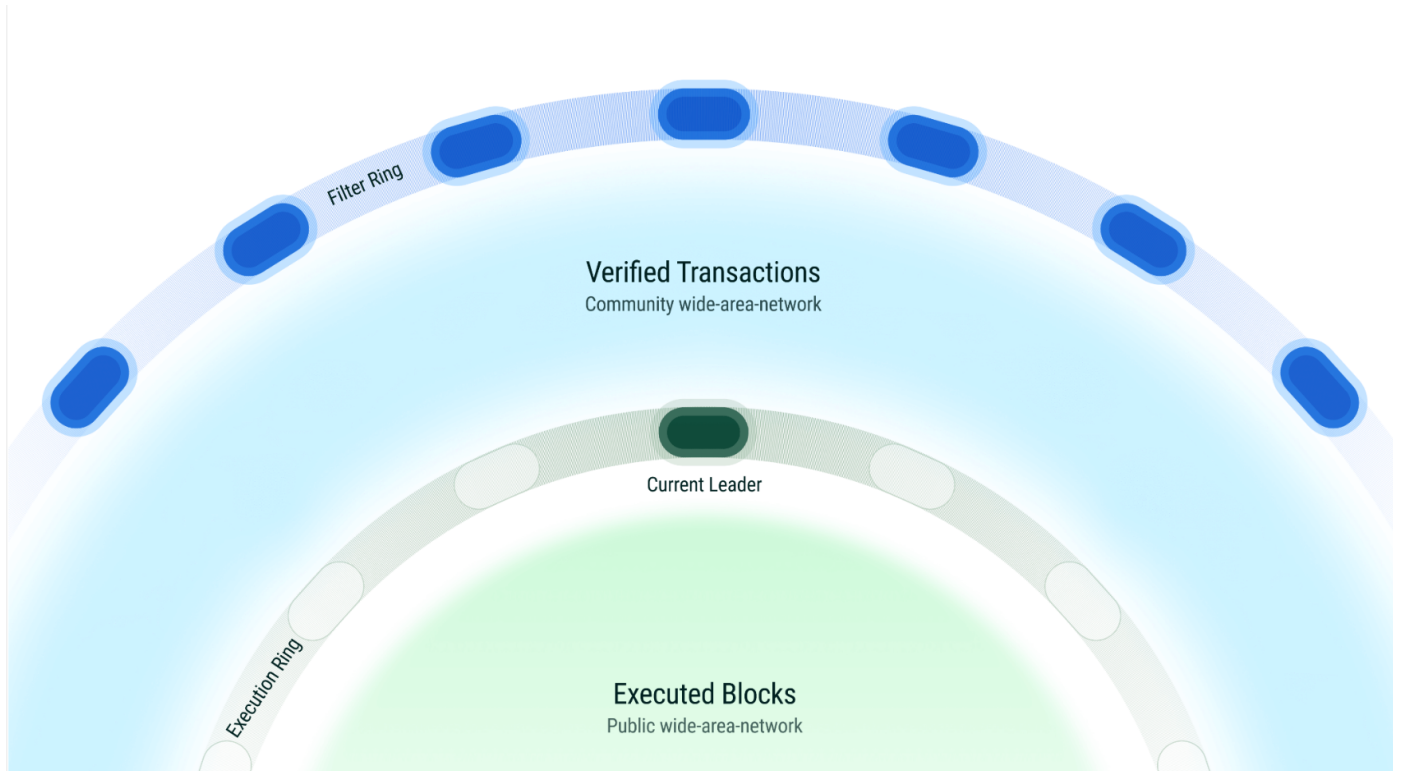


그림 3. 고리(ring) 형태의 데이터 흐름.

오늘날 대부분의 네트워크에서는 이러한 프로세스가 단일 x86 머신의 자원으로 처리된다.³ 해당 CPU의 코어들은 머신 내부의 온칩 네트워크(on-chip network)로 연결되어 있다. 우리는 이를 전 지구적 네트워크, 즉 더블제로(DoubleZero) 네트워크로 확장할 것을 제안한다. 네트워크 가장자리의 주요 인그레스 지점에 FPGA 장치를 배치해 유입 트래픽을 필터링함으로써, 더블제로 네트워크는 모든 로컬 검증인(즉, 더블제로 네트워크 내부 링에 연결된 장치의 다운스트림에 위치한 검증인들)을 위한 공통 방패 역할을 한다. 검증인과 비교했을 때, 이러한 FPGA 장치들은 스팸 제거, 트랜잭션 집합의 중복 제거, 서명 검증과 같은 특정 작업을 수행하면서 훨씬 더 많은 트래픽을 처리할 수 있다 — 그리고 이 모든 작업은 오픈소스 소프트웨어를 통해 이루어지며, 유입 트랜잭션이 공정하게 처리되는지 검증할 수 있다. 다운스트림 검증인들은 훨씬 더 작은 트랜잭션 집합을 수신하며, 블록체인의 보안을 유지하기 위해 최종 블록에 포함된 트랜잭션에 대해서만 서명을 재검증하면 된다. 따라서 이들의 자원 — 일반적으로 단일 x86 머신 — 은 블록 생성, 트랜잭션 실행, 인덱싱 등과 같은 작업을 수행하는 데 훨씬 더 많이 활용될 수 있다.

³ 심지어 PBS(PBS: Proposer-Builder Separation)도 한 번에 단일 x86 머신의 자원만을 사용한다.

필터와 실행 링을 탈중개(disintermediate)하면 더 큰 유연성을 확보할 수 있으며, 이로 인해 인그레스(ingress) 자원을 보다 효율적이고 탄력적으로 분산시킬 수 있다. 자원 공유를 통해, 더 이상 글로벌 수요를 충족시키기 위해 각 개별 밸리데이터에 충분한 자원을 할당할 필요가 없다. 대신, 인프라 공유를 통해 글로벌 수요를 충족시킬 수 있으며, 이 경우 전체적으로 필요한 자원은 훨씬 적다.



트래픽 흐름의 추가적인 최적화는 DoubleZero 네트워크의 내부 링에서 멀티캐스트 트래픽을 지원함으로써 달성된다. 내부 링은 프로토콜 참여자들의 공통 관리 하에 단일 네트워크 도메인으로 기능한다. 블록 또는 슈레드(shred)의 전파와 같은 부가 가치 기능은 멀티캐스트를 통해 포함될 수 있다.⁴

⁴ 일부 네트워크는 블록이 완전히 구성되기 전에 블록의 일부 조각인 슈레드(shred)를 전송하는 방식을 사용한다.

최신 상태(state)에 대한 저지연(low-latency) 접근은 고성능 애플리케이션에 있어 상당한 이점을 제공한다. 예를 들어, 서비스 거부(denial-of-service) 공격은 이 모델 하에서는 성공적으로 수행하기가 훨씬 더 어려워진다. 이는 전 세계에 지리적으로 분산된 여러 지점을 동시에 타격하기 위해 초당 수 테라비트에 달하는 트래픽이 필요하기 때문이다. 이제 공격은 개별 밸리데이터나 단일 블록체인을 겨냥한 것이 아니라, 전 세계 수백 개의 데이터 센터와 ISP를 대상으로 하는 공격이 된다. 성공적인 공격을 수행하기 위해 필요한 난이도와 자원은 수십 배에서 수백 배 이상 증가하며, 이는 인프라 공유를 활용함으로써 모든 참여자에게 보다 강건하고 탄력적인 네트워크 아키텍처를 제공한다는 점을 명확히 보여준다.

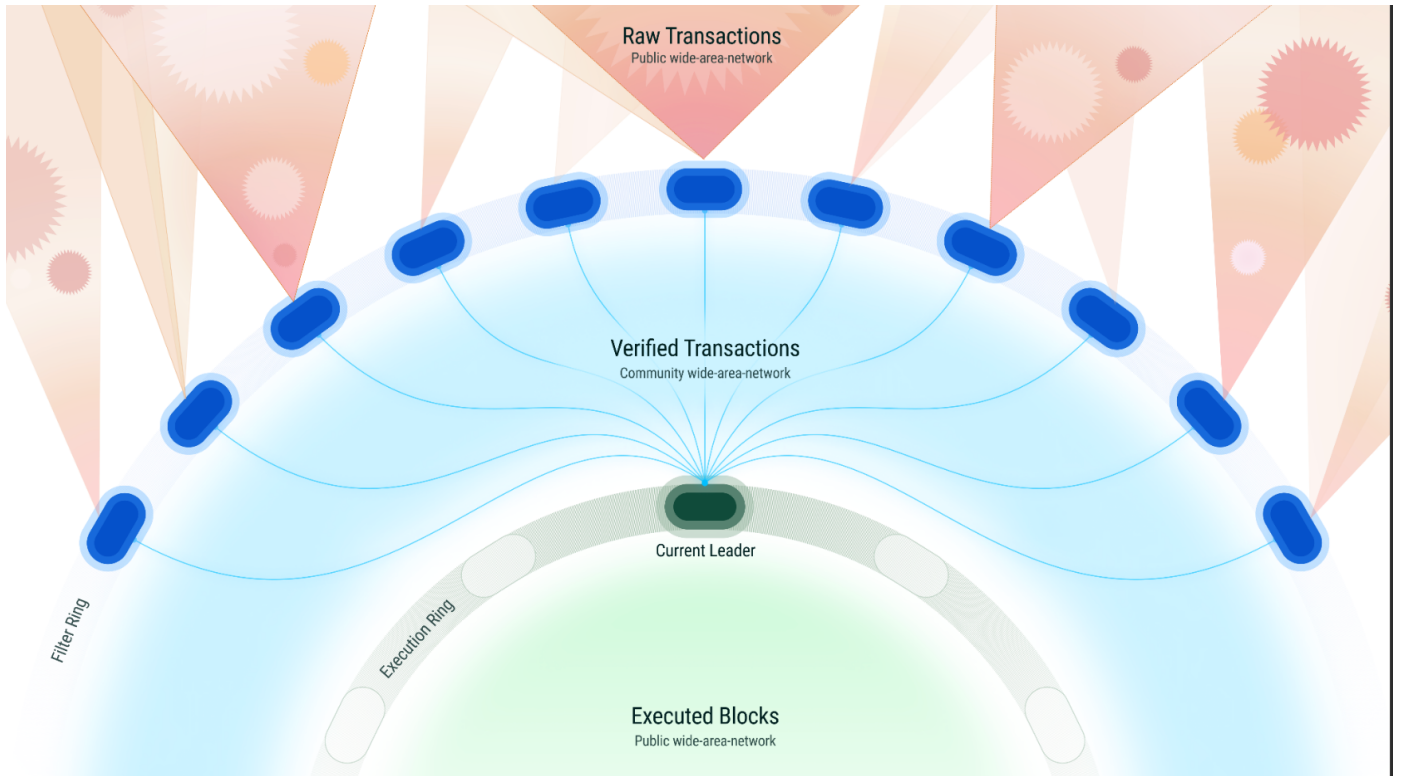


그림 5. 더블제로 네트워크에 대한 DDoS 공격

물리적 더블제로 네트워크

블록체인 트래픽을 위한 무허가 글로벌 연결성

더블제로(DoubleZero) 네트워크의 물리 계층은 그 기반을 이룬다. 이는 네트워크의 주요 인그레스/이그레스 지점에 위치한 네트워크 장치와 네트워크 전반에 걸쳐 할당된 대역폭이라는 두 가지 핵심 구성 요소로 이루어진다. 이들은 함께 더블제로 네트워크를 구성하는 메시(mesh)형 네트워크를 형성한다. 개별적인 기여가 더블제로 네트워크를 구동하지만, 네트워크는 이러한 이질적인 기여를 집약하기 위해 오케스트레이션 기술을 활용한다. 이를 통해 네트워크는 범위는 제한적이지만 통일된 표준으로 작동하는 민간 네트워크의 강점과, 범위는 광범위하지만 다수의 표준을 조정해야 하는 공용 네트워크의 강점을 모두 활용할 수 있다. 더블제로는 두 세계의 장점을 결합한다.

무허가(permissionless) 글로벌 소프트웨어 추상 네트워크는 새로운 개념이 아니다 — 비트토렌트(BitTorrent)나 토르(Tor) 브라우저만 봐도 알 수 있다. 소프트웨어 추상화는 이러한 프로토콜이 인터넷을 통해 작동할 수 있도록 하지만, 동시에 그것이 가장 큰 한계이기도 하다 — 이들은 공용 인터넷 위에서 작동하는 소프트웨어 네트워크이며, 여전히 모든 공용 인터넷 트래픽이 갖는 근본적인 한계에 종속된다.

더블제로 네트워크의 아키텍처는 네트워크 에지의 검증인, RPC, 기타 시스템을 더블제로 익스체인지 포인트(DZXs)에서 연결된 코어 언더레이(underlay)에 연결하도록 설계되었다. DZX는 동일한 도시권 내 여러 데이터 센터 간의 효율적 연결성을 가능하게 하는데, 이는 공용 인터넷 익스체인지가 서로 다른 네트워크를 연결하는 방식과 유사하다. 이러한 언더레이 링크는 네트워크 기여자들에 의해 제공되며, 프로토콜의 핵심 전송 계층을 이룬다. 내부 링 교환 지점들은 얼마나 많은 기여자가 더블제로에 참여하든 상관없이 전 세계적 규모의 보편적인 상호연결성을 가능하게 한다.

네트워크 장치

더블제로 네트워크의 네트워크 장치는 두 가지 기능을 수행한다. 첫째, 개인 및 조직이 기여한 데이터 링크를 우선순위를 가진 하나의 응집된 네트워크로 작동하게 한다. 둘째, 필터링, 검증, 스팸 방어를 수행한다.

더블제로 네트워크의 기여자들은 이러한 작업을 위해 적절한 하드웨어를 자유롭게 사용할 수 있지만, 네트워크 자체는 높은 기준을 준수한다. 예를 들어, 출시 시점에서 더블제로 네트워크는 상업적으로 사용 가능한 FPGA를 사용하여(성능, 속도, 비용의 균형을 맞추기 위해) 필터링과 라우팅을 동시에 처리할 수 있는 통합 장치를 실행한다. 단일 배포 사례만으로도 수 기가비트/초(Gbps)의 유입 데이터를 대상으로 중복 제거, 필터링, 서명 검증을 처리할 수 있다. 이러한 장치들은 또한 다운스트림 검증인 및 기타 클라이언트 장치와의 연결을 관리한다.

고급 필터링 및 서명 검증 기술을 데이터 센터나 기타 검증인 시설에 배포하는 것만으로도 블록체인 네트워크의 상태를 개선할 수 있지만, 더블제로는 한 단계 더 나아가 블록체인과 분산 시스템을 위한 새로운 무허가 전송 계층을 제안한다. 이는 필터링 서비스에 완전히 통합되며, 다양한 하드웨어에서 실행될 수 있고 네트워크의 성장에 따라 확장될 것이다.

광섬유 링크(Fiber Links)

더블제로(DoubleZero) 네트워크의 광섬유 링크는 전 세계의 서로 다른 지점 간 저지연·고대역폭 연결을 제공한다. 네트워크 기여자들은 이러한 연결을 제공하며, 해당 연결의 품질을 보장하는 서비스 수준 협약(SLA)을 명시한다.

광섬유 링크는 네트워크 기여자가 직접 소유하거나, 주요 네트워크 서비스 제공업체로부터 임대한 것이다. 네트워크 기여자들은 이 링크를 네트워크에 추가하고 각 링크에 대해 SLA를 체결한다. 이 약속에는 종단점 위치, 대역폭, 지연(latency), 적합한 MTU 크기 등이 포함된다. (예를 들어, 로스앤젤레스-싱가포르 간 링크를 제공하는 네트워크 기여자는 10Gbps, 85ms 지연, 1600 MTU를 보장할 수 있다.) 링크의 성능은 더블제로 네트워크가 모니터링 및 테스트하며, SLA를 준수하는 링크만 보상을 받을 수 있고, 준수하지 못하는 링크는 보상에서 제외되거나 네트워크에서 제거될 수 있다.

더블제로 프로젝트 참여자들은 광섬유 시장에 상당한 유희 용량이 존재한다고 본다. 첫째, 최신 광섬유 링크는 육상 또는 해저 여부와 관계없이 초당 수백 테라비트의 데이터를 지원할 수 있다. 둘째, 상당한 양의 “다크 파이버(dark fiber)” — 즉, 설치되었지만 운영되지 않는 광섬유 — 가 존재한다. 예컨대, 미국 연방통신위원회(FCC)는 2007년 마지막 발표에서 미국에 설치된 광섬유의 35%만이 활용되고 있으며, 65%는 여전히 사용되지 않고 있다고 추정했다. 그 이후 광섬유 용량은 급격히 증가하여, 미국 내 보급률은 2015년 15%에서 2023년 46%로 상승했으며(2023년 Fiber Deployment Annual Report 기준), 유럽에서는 2024년 기준 가구의 70%에 도달했다(FTTH Council Europe 기준). 셋째, 많은 기업들이 광섬유를 구매하거나 임대할 때 일상적인 수요가 아닌 최악의 상황에 대비하여 과도하게 용량을 확보하는 경향이 있다. 이는 더블제로 네트워크가 이미 설치된 링크를 재활용하는 기여자들로부터 혜택을 얻을 수 있음을 시사한다.

일반적인 인식과 달리, 도시나 지역 내 데이터 센터들은 서로 고립되어 있지 않다. 도시권 내에는 방대한 단거리 광섬유 및 기타 라우팅 서비스 네트워크가 존재하여 데이터 센터 간 직접 연결을 가능하게 하며, 이를 통해 더블제로 네트워크의 확장이 가능해진다. 이는 코로케이션(co-location)에 대한 인센티브를 줄이고, 더블제로의 지리적 도달 범위를 확장한다.

더블제로 네트워크의 핵심은 광섬유이지만, 네트워크 기여자들은 마이크로웨이브(microwave)나 위성(satellite) 기술과 같은 다른 통신 서비스를 제공하여 애플리케이션(“N2”) 형태로 네트워크에 연결할 수 있다.

커뮤니티 거버넌스 및 운영 네트워크

가장 성능이 우수한 물리적 인프라 네트워크조차도 때때로 장애가 발생한다. 네트워크 전반의 문제가 발생했을 때는 더블제로 시스템의 마지막 구성 요소가 작동한다 — 네트워크 기여자들이 문제를 진단하고 해결하기 위해 모이는 간소화된 운영 프로세스이다. 이 과정에서 사용자들은 공용 인터넷으로 되돌아가게 된다. (단일 네트워크 기여자의 인프라 문제는 해당 기여자의 책임이며, 커뮤니티 차원의 운영이 필요하지 않다.)

중앙집중형 시스템은 일반적으로 네트워크 장애나 문제 상황에서 탈중앙화 시스템보다 유리하다. 중앙집중형 시스템은 단일 장애 지점(single point of failure)이 더 많지만, 문제 해결을 위해 기술 자원을 빠르게 동원할 수 있다. (반대로, 블록체인과 같은 탈중앙화 네트워크는 더 복원력이 크지만, 문제 해결을 위해 다수의 무관계 이해관계자들 간 조율이 필요하다.) 성숙한 상태에 이르면, 더블제로(DoubleZero) 기여자들도 장애를 우회하고 네트워크 결속을 유지하기 위해 유사한 자원을 투입할 수 있게 될 것이다. 네트워크가 성장함에 따라, 더블제로 네트워크는 모범 사례를 적용하고, 유사한 운영 절차를 개발하며, 초기부터 장애 상황을 시뮬레이션함으로써 이러한 격차를 최소화하는 것을 목표로 한다. 이미 여러 네트워크 운영자가 협력하여 국제 네트워크를 운영하고 유지하는 성공적인 모델들이 존재한다 — 예를 들어, 컨소시엄 해저 케이블 시스템이 있다.

네트워크 생성

더블제로 프로젝트는 글로벌 네트워크 전반에서 필터링 및 라우팅 서비스를 위한 새로운 경제 모델이다. 더블제로 프로토콜에서는 블록체인 기반 스마트 계약을 통해 상호작용의 무결성을 검증받으며, 이를 무허가(permissionless) 방식으로 제공하고 활용할 수 있다. 기존의 솔루션들은 특정 고객을 대신해 B2B 관계 속에서 운영되며, 분산 시스템의 전체 성능을 향상시키는 역할은 하지 않는다.

이 유연한 모델은 네트워크 효과를 발휘하는 핵심이다. 더블제로 프로토콜은 개별 기여를 자동으로 결합하여, 부분들의 합보다 더 가치 있는 총체적 네트워크를 형성한다. 공급자는 단일 혹은 중복된 링크를 기여할 수 있는데, 이는 고립된 상태에서는 분산 시스템에 낮은 가치를 가질 수 있지만, 다른 링크들과 함께 작동할 경우 매우 높은 가치를 지닌다. 실제로, 더블제로 프로젝트의 연합적(federated) 성격은 그 핵심적인 강점이다.

스마트 계약으로 정의된 네트워크

더블제로 프로토콜은 온체인 스마트 계약에 저장된 검증된 데이터를 기반으로 스스로를 조직화한다. 분산 제어 평면은 이 정보를 활용해 네트워크의 라우팅 및 우선순위 결정에 합의를 이룬다. 이는 기여자와 사용자 모두에게 투명하고 무허가적인 경험을 제공한다.

기여자들은 네트워크에 연결하여 스마트 계약에 명시된 SLA(서비스 수준 협약)를 설정하는데, 여기에는 중단점 위치, 대역폭, 지연(latency), 적합한 MTU 크기가 포함된다. 기여자들은 이러한 세부사항과 기여의 초기 기간을 함께 스마트 계약에 제출한다. 검증인 및 기타 사용자는 특정 L1의 트래픽, 상태 전파(state propagation), 검증인 집합과 같은 사전에 정의된 서비스 및 라우트를 선택적으로 이용하거나, 자신만의 계약을 작성해 라우팅 요청을 정의할 수 있다.

입력이 들어오면, 분산 컨트롤러는 스마트 계약 데이터를 이용해 네트워크의 최적 구성을 식별한다. 이 구성의 핵심 요소 중 하나는 올바른 가격 책정이다. 사용자는 시스템에 부과하는 요청의 크기에 비례하여 네트워크 사용 비용을 지불하고, 공급자는 링크를 제공해 창출한 가치에 비례하여 인센티브를 얻는다. 궁극적으로, 이 프로젝트는 계층화된 가격 체계를 제공하는 것을 지향한다. 즉, 사용자는 특정 라우트에 대해 우선 접근 또는 기본 접근을 선택해 지불할 수 있으며, 이를 통해 네트워크 효율성을 극대화할 수 있다.

더블제로(DoubleZero) 네트워크는 서비스에 대해 높은 수준의 맞춤화와 제어를 제공하고, 그 초과 이익을 공급자에게 환원하는 것을 목표로 한다 — 이는 트래픽이 우선순위와 상관없이 뒤섞이는 공용 인터넷 대비 큰 장점이다.

인센티브와 정렬(Alignment)

더블제로 프로젝트의 개방적 정신은 네트워크 기여자들의 내부 정렬과 상호성에 달려 있다. 네트워크가 작동하기 위해서는, 기여자들이 자신의 SLA(서비스 수준 협약)를 준수하고, 타인의 이탈 행위를 감지할 인센티브를 가져야 한다.

오늘날 지분증명(PoS) 네트워크를 보호하는 것과 동일한 암호경제적 가치에 기반한 견제와 균형 시스템이 더블제로 시스템의 기반이 되어, 인센티브가 이탈이 아닌 협력에 맞춰지도록 보장할 것이다. 예를 들어, SLA에 미달하는 성능을 보이는 링크는 페널티를 받고 보상 자격을 잃게 되며(궁극적으로는 완전히 제외될 수 있음), SLA를 충족하는 링크는 보상을 받을 수 있다. 블록체인 시스템과 달리 물리적 네트워크는 전 세계 어느 노드에서든 블록의 정합성을 검증할 수 있는 추상적 검증 가능성을 갖고 있지 않다. 물리적 네트워크는 무결성을 검증하기 위해 물리적 연결(피어)이 필요하며, 이는 오늘날 중복된 물리적 연결이 있어야만 가능하다. 더블제로는 단일 지점 검증(single point verification)을 가능하게 하기 위한 새로운 혁신을 요구할 것이다.

네트워크 효과(Network Effects)

더블제로 프로젝트는 공급자와 사용자가 만나 쌍방향으로 협상하는 표준 마켓플레이스를 넘어선다. 이는 진정한 네트워크로서 — 각 링크는 고립 상태에서도보다 전체의 일부로서 훨씬 더 큰 가치를 지닌다.

예를 들어, 몇 개의 단절된 링크를 가진 공급자를 생각해 보자. 이는 내부 네트워크의 미활용 용량을 의미한다. 해당 기관은 이러한 경로를 단편적으로 판매할 수도 있지만, 각각의 경로마다 구매자를 찾고 계약을 협상하는 데 상당한 오버헤드가 발생한다. 더 중요한 점은, 각 링크는 단일 경로만을 제공하므로 가치가 제한적이라는 것이다.

그러나 이러한 링크를 더블제로에 제공하는 공급자는 두 가지 이점을 얻는다. 첫째, 기여를 플랫폼에 추가하는 과정이 쉽고 표준화되어 있으며(필요한 것은 몇 개의 스위치를 설치하고 구성하는 것뿐), 오버헤드가 거의 없다. 둘째이자 더 중요한 점은, 해당 링크가 인접 링크와 연결됨으로써 가치가 증가한다는 것이다. 단절된 링크는 더블제로 네트워크에서는 잠재적으로 고도로 연결된 링크가 될 수 있으며, 이는 고립 상태에서보다 훨씬 더 높은 가치를 창출한다.

네트워크 효과는 다른 많은 시장에서도 나타난다. 예를 들어, 항공 산업을 보자. 두 도시 간 단일 항공편은 독립적으로 제공되는 경우가 거의 없는데, 고객 수요가 충분하지 않기 때문이다. 대신, 항공 노선은 항공사의 더 큰 네트워크에 묶여 허브를 통해 다른 노선과 상호작용한다. 이러한 묶임은 단일 노선보다 훨씬 더 높은 가치를 가지며, 항공사가 항공 동맹에 가입해 전 세계 다른 지역의 노선과 암묵적으로 연결될 때 그 가치는 더욱 커진다. 더블제로는 이러한 개별 경로를 받아들이고, 이를 번성하는 상호 연결 네트워크로 전환하는 플랫폼이다.

더블제로(DoubleZero) 네트워크는 중복 링크, 짧은 링크, 혹은 저성능 링크조차도 활용할 수 있다. 네트워크가 전체적으로는 고성능이자 광범위하게 작동하더라도, 이러한 유형의 기여는 중복성, 용량, 상호연결성을 더해준다. 따라서 더블제로 프로젝트는 고립된 상태에서는 거의 가치가 없는 용량조차 공급자가 수익화할 수 있도록 한다.

결과적으로, 네트워크에서 사용되지 않은 용량을 더블제로에 제공하는 공급자는 낮은 거래 마찰을 경험하고, 특히 해당 용량을 개별적으로 판매하는 경우와 비교했을 때 네트워크 경제학을 통해 더 많은 사용자 잉여를 창출한다. 그리고 더블제로 네트워크는 그 잉여를 다시 공급자에게 환원한다.

블록체인 활용 사례

블록체인은 가장 대표적인 분산 시스템의 원형(archetype)으로서, 더블제로 네트워크의 가장 강력한 활용 사례를 전반적으로 보여준다. 블록체인의 공공성(public)과 성능(performance)이라는 이중 목표는 기존 상황에서는 종종 서로 충돌한다. 그러나 레이어 1 블록체인, RPC 노드, MEV 시스템, 레이어 2 체인 등 다양한 맥락에서 더블제로 네트워크는 두 목표를 동시에 달성하는 방향으로 기여할 수 있다.

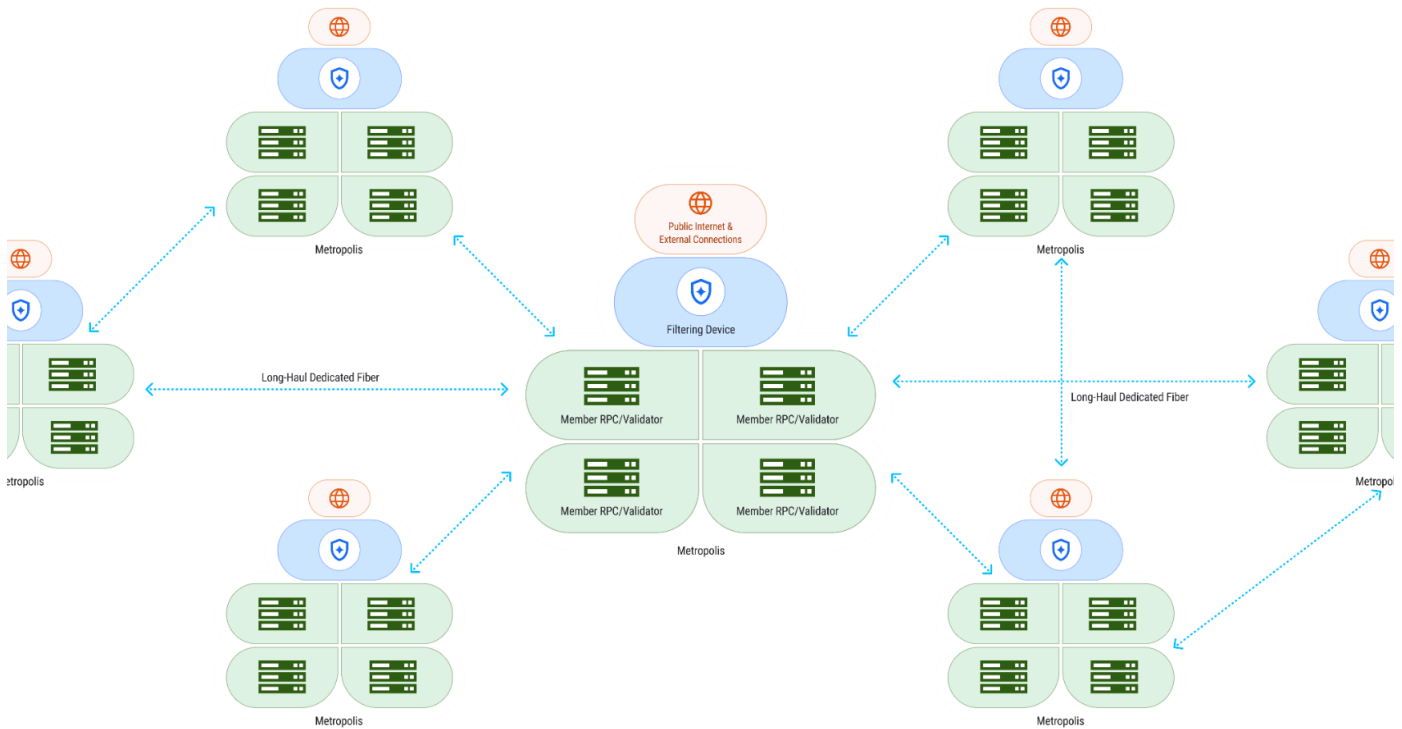


그림 6. 더블제로 네트워크 개념도

레이어 1 블록체인

레이어 1 블록체인은 더블제로(DoubleZero) 네트워크로부터 가장 큰 이익을 얻을 수 있는 분산 시스템이다. 현재 상황에서는 각 검증인이 스팸과 중복을 포함한 대량의 유입 트랜잭션(firehose)에 직면한다. 검증인들은 높은 지터(jitter)와 불안정한 라우팅에 취약한 공용 인터넷 경로를 통해 블록을 제안하고 투표함으로써 합의에 도달하는 데 시간이 오래 걸린다. 동시에 사용자는 스팸 홍수와 경쟁하거나 지연된 파이널리티(finality)를 기다리며 열악한 경험을 겪는다. 오늘날 가장 성능이 뛰어난 블록체인조차도 웹2 스타일 경험과 전문 중앙화 거래소 수준의 트레이딩 경험을 동시에 제공하는 데는 미치지 못한다.

업계에서는 몇 가지 해결책을 개발했지만, 각기 단점이 존재한다. 메모풀(mempool)은 개별 검증인의 유입 부담을 낮추기 위해 트랜잭션을 중앙에 모아두지만, 이는 시스템에 지연을 추가하고 트랜잭션이 포함되기 훨씬 전에 의도를 노출시킨다. 품질 보장(QoS) 솔루션은 솔라나(Solana)와 같은 블록체인에서 테스트되었는데, 여기서는 검증인이 주로 스테이킹된 자본을 가진 이들로부터 트랜잭션을 수락한다. 그러나 이는 충분한 지분을 갖지 못한 주체들을 완전한 참여에서 배제하며, 경제적 효율성을 보장하지 못하고, 프록시 단계를 거치면서 추가적인 지연을 발생시킨다. 검증인들이 더 많은 하드웨어에 투자하는 방법도 있지만, 이는 다양한 탈중앙화 검증인 집합의 성장을 저해하며, 네트워크 전체의 성능 문제를 해결하지 못한다.

더블제로 네트워크는 두 가지 측면에서 보다 강력한 해결책을 제공한다. 첫째, 공용 인터넷을 통해 들어오는 유입 트래픽을 필터링하는 기술을 제공한다. 이 단계는 오픈소스 코드를 실행하는 확장 가능한 하드웨어를 활용하며, 분산 서비스 거부(DDOS) 공격을 완화하고, 서명을 검증하며, 중복된 트랜잭션을 제거한다. 필터링, 중복 제거, 서명 검증을 블록 생성, 실행, 합의 과정과 분리함으로써 블록 생성에 집중할 수 있는 상당한 자원이 확보된다. 이는 모든 검증인이 개별적으로 자원을 마련할 필요 없이 시스템 전체가 자원을 공유하는 협력적 인프라 공유(cooperative infrastructure sharing) 모델이다.⁵

둘째, 필터링된 트래픽 — 사용자 트랜잭션, 블록, 합의 투표 등 — 을 전용 대역폭 링크를 통해 최소한의 지연과 지터로 검증인 집합에 라우팅한다. 이를 통해 블록이 신속하게 생성, 공유, 승인될 수 있다. 이러한 네트워크 패러다임에서는 고성능 검증인 클라이언트나 합의 알고리즘이 이론적 최대치에 훨씬 더 가까이 도달할 수 있다. 실제로 더블제로 네트워크는 멀티캐스트 기능을 지원할 것으로 예상되며, 이를 통해 상태 전환 (state transitions), 블록, 슈레드(shreds)의 전파가 더욱 최적화될 수 있다.

레이어 1 블록체인 통신에서 더블제로 네트워크를 사용하는 마지막 장점은 네트워크를 통과하는 패킷이 추적 가능할 것으로 예상된다는 점이다. 이를 통해 사용자는 검증인 간 통신에서 자신이 포함되었는지, 혹은 제외되었는지를 검증할 수 있다. 검열에 민감한 시스템의 경우, 이는 트래픽 라우팅의 투명성이 만들어내는 중요한 부산물이다.

5 협력적 인프라 공유의 성공적인 사례는 이외에도 많이 존재한다. 예를 들어, 모바일 네트워크, 타워코 (TowerCos), 해저 광섬유 케이블 시스템 컨소시엄 등이 있다.

RPC 노드

원격 프로시저 호출(Remote Procedure Call, RPC) 노드 역시 더블제로(DoubleZero) 프로토콜로부터 혜택을 받을 수 있다. 사용자와 체인 간의 주요 인터페이스로서, RPC 노드는 특히 심각한 필터링 및 통신 문제에 직면한다.

RPC 노드는 블록체인에서 사용자 상호작용을 중재하는 인프라를 구성한다. RPC 노드의 1차 역할은 사용자로부터 유입되는 트랜잭션을 수신하고 이를 리더 혹은 체인의 메모풀(mempool)로 전달하는 것이다. 2차 역할은 디파이(DeFi) 애플리케이션, 블록 탐색기, 또는 사용자가 효율적인 트랜잭션을 구성할 수 있도록 돕는 가스 추정기와 같은 다운스트림 애플리케이션에 최신 체인 상태를 제공하는 것이다. RPC 노드는 사실상 비투표(non-voting) 검증인으로, 블록체인의 상태 전환을 추적하지만 합의에는 참여하지 않는다.

RPC 노드가 직면하는 세 가지 문제는 더블제로 프로토콜을 통해 완화될 수 있다. 첫째, RPC 노드는 특히 에어드랍이나 NFT 민팅과 같은 대규모 커뮤니티 이벤트 시 사용자 트래픽 급증에 직접적으로 노출된다. 공용 인터넷을 통해 트랜잭션 흐름을 수신하기 때문에 분산 서비스 거부 공격(DDOS)에 특히 취약하다.

둘째, RPC 노드의 역할은 블록체인에 따라 사용자 트랜잭션을 블록 리더나 메모풀로 전달하는 것이다. 트랜잭션의 전달 가능성은 RPC에 있어 매우 중요한데, 특히 고가치 트랜잭션(예: 차익거래)은 경쟁적이고 시간 민감적이기 때문이다. RPC 노드에서 블록 리더나 메모풀로의 복원력 있는 저지연 연결은 이러한 역할 수행을 크게 돕는다.

셋째, RPC 노드는 블록체인으로부터 정보를 다운스트림 사용자, 지갑, dApp으로 반환한다. 이들은 네트워크 상태에 관한 주요 데이터 제공자로서, 지갑 잔액 정보부터 DEX에서 특정 거래 쌍의 가용 유동성까지 모든 것을 제공한다. 이를 위해 RPC 노드는 가능한 한 실시간에 가까운 상태에서 변경 사항을 수집, 검증, 인덱싱해야 한다. 검증인에서 RPC 노드로의 복원력 있는 저지연 연결은 RPC가 최신 블록체인 뷰를 유지할 수 있도록 보장한다.

더블제로 프로토콜은 RPC 생태계를 더욱 경쟁적으로 만들 수 있다. RPC들은 이미 체인과의 정보 교환의 시의성에서 치열하게 경쟁하고 있다. 더블제로 네트워크는 그들이 서비스를 한층 더 개선할 수 있는 경로를 제공한다.

최대 추출 가능 가치(Maximal Extractable Value, MEV)

더블제로 네트워크는 더욱 공정하고 개방적인 최대 추출 가능 가치(MEV) 생태계를 지원할 수 있다. 이러한 시스템은 극도로 지연(latency)에 민감하기 때문에, 지연 및 전달 가능성의 작은 개선만으로도 추가적인 가치를 만들어낼 수 있다.

MEV는 블록 생산자가 블록 내 트랜잭션의 순서를 정함으로써 얻을 수 있는 가치로 — 대규모 거래로 인해 발생한 가격 불균형을 특정 트랜잭션을 전략적으로 추가하여 해소함으로써 실현된다. 실제로 성숙한 MEV 시스템은 일반적으로 검증인과 인접한 위치에 자리 잡는다. 이들은 “서처(searcher)”로 알려진 외부 트래이더로부터 제안을 받고, 수익성 있는 트랜잭션 순서를 식별한 뒤, 추가적인 지불과 함께 해당 순서를 블록 리더에게 전달한다.

통신에서의 신뢰성과 지연(latency)은 두 가지 차원에서 중요하다. 첫째, MEV 시스템은 네트워크 상태에 대한 보다 실시간의 뷰를 확보함으로써 이점을 얻는다. 더 신선한 데이터를 활용하면 더 수익성 있는 트랜잭션 순서를 구성할 수 있으며, 이를 통해 더 효율적인 블록을 제작할 수 있다. 둘째, 기회 집합이 고정되어 있더라도, 제안을 검증인에게 더 빠르게 전달할 수 있는 MEV 시스템은 추가적인 시간을 활용하여 더 나은 순서를 찾을 수 있다. 블록 생성은 복잡한 조합 최적화 문제로서, 근사 알고리즘과 시뮬레이션 알고리즘을 통해 국소 최적해를 찾는다 — 추가 시간은 이러한 알고리즘이 더 오래 실행될 수 있도록 한다.

다시 말해, MEV 시스템은 데이터의 더 빠른 검색(읽기 연산)과 블록 혹은 번들을 현재 리더에게 더 빠르게 전달(쓰기 연산)함으로써 이점을 얻는다. 대역폭을 늘리고 지연을 줄이면 이 두 요소 모두가 개선된다.

레이어 2 블록체인

중앙 시퀀서나 분산된 시퀀서 집합을 사용하는 레이어 2 블록체인 또한 더블제로 네트워크를 활용할 수 있다. 전형적인 레이어 2에서는 단일 시퀀서가 유입 트랜잭션을 레이어 1 체인에 게시하며, 레이어 2 검증인 집합은 이를 사용해 체인 상태를 갱신한다. 레이어 2 체인은 더블제로 프로토콜을 다양한 방식으로 활용할 수 있다. 예를 들어, 시퀀서로 유입되는 트랜잭션을 필터링하거나, 레이어 1로의 게시 및 조회를 지연 없이 수행하거나, 검증인 간에 갱신된 상태를 신속하게 검증하는 방식이 있다.

레이어 2 체인이 더블제로 네트워크로부터 얻을 수 있는 두 가지 중요한 추가적 이점이 있다. 첫째, 대부분의 레이어 2 체인은 중앙화, 검열, 생존성(liveness) 위험을 줄이기 위해 여러 시퀀서를 지원하려고 한다(트랜잭션을 순환 혹은 병렬로 게시). 이러한 아키텍처 변화에는 시퀀서 간의 상당한 조율이 필요하며, 그렇지 않으면 레이어 1 체인과 레이어 2 검증인 집합 모두에서 불필요한 연산 낭비가 발생할 수 있다. 더블제로 네트워크는 시퀀서 간 통신을 원활하게 한다.

둘째, 많은 레이어 2 체인은 데이터 가용성 계층(data availability layers)을 활용해 확장을 추구한다. 이는 트랜잭션 데이터, 스마트 계약 데이터, 심지어 오프체인 데이터를 별도의 시스템에 저장하고 필요할 때 정보를 제공하는 방식이다. 그러나 이러한 모듈형 아키텍처의 효율성은 모듈 간 대역폭 연결에 의해 제한되며, 대역폭이 낮으면 기반 체인에서 새로운 병목을 초래할 수 있다. 다시 말해, 더블제로 네트워크는 데이터 가용성 계층이 레이어 2 체인의 속도를 따라갈 수 있도록 보장한다.

기타 블록체인 맥락

DoubleZero 네트워크는 상태 동기화, 인덱서, 다중 리더, 네트워크 확장 등 다양한 블록체인 맥락에서 이점을 제공한다.

고처리량 블록체인 시스템에서의 주요 과제 중 하나는 새로운 밸리데이터 노드를 온보딩하는 일이다. 이러한 노드는 MegaETH[2024]에서 설명한 바와 같이 체인의 시작부터 거래를 재실행함으로써 현재 상태에 동기화해야 한다. 고처리량 블록체인의 경우, 이는 대역폭과 같은 기존 리소스에 과도한 부담을 줄 수 있다. 새로운 밸리데이터 노드는 단순히 현재 블록체인의 처리 속도에 맞춰 거래를 수신하는 것으로는 충분하지 않으며, 훨씬 더 빠른 속도로 거래를 수신해야 현재 상태를 따라잡을 수 있다. DoubleZero 네트워크의 고대역폭 연결은 이러한 제약을 극복하고 새로운 밸리데이터의 참여를 용이하게 만드는 데 도움이 될 수 있다. 동일한 원리에 따라, 뒤처진 밸리데이터가 다시 온라인으로 복귀하는 데에도 기여할 수 있다.

블록체인이 확장됨에 따라, 인덱서와 같은 지원 인프라의 중요성도 더욱 커진다. RPC 노드와 마찬가지로, 인덱서는 최종 사용자들이 신속하고 반응적인 결정을 내릴 수 있도록 최신 상태를 빠르게 수신해야 한다. DoubleZero를 통한 상태 전파는 최신 데이터를 인덱싱하는 데 소요되는 지연을 줄이고, 분산된 인덱서 인스턴스들이 최신 상태를 유지하도록 돕는다.

많은 레이어 1 블록체인은 전 세계 여러 지역에서 동시에 블록을 생성하는 다중 리더 구조를 지향한다. 그러나 리더 간 긴밀한 조정이 없을 경우, 이는 곧 중복되거나 오래된 거래와 낭비된 컴퓨팅 리소스로 이어질 수 있다. 레이어 2 체인의 다중 시퀀서와 마찬가지로, 레이어 1 체인의 다중 리더도 전역 상태의 빠른 동기화가 필요하며, DoubleZero 네트워크는 공용 인터넷보다 이를 더 효과적으로 지원할 수 있다.

마지막으로, “레이어 1” 또는 “레이어 2” 범주에 명확히 속하지 않는 블록체인 확장 서비스의 전체 클래스가 존재한다. 이러한 비분류형 서비스는 종종 “네트워크 확장(Network Extensions)”이라고 불린다. 오늘날 거의 모든 네트워크는 일부 밸리데이터에만 실행할 수 있는 컴퓨트 연산을 요구하는 개념을 갖고 있으며, 이는 특수 하드웨어나 소프트웨어를 필요로 하기 때문이다. ZK 프로버, GPU 워크로드, 비동기 실행 플랫폼 등은 모두 DoubleZero가 제공하는 고대역폭 및 저지연 연결로부터 혜택을 받을 수 있다.

기타 활용 사례

더블제로 네트워크는 블록체인 기술을 넘어선 활용 가능성을 가진다. 분산 시스템이 빠르고, 정확하며, 대량으로 통신해야 하는 모든 환경에서 그 구조가 유용하다. 이 절에서는 네 가지 추가적인 예시를 다룬다.

콘텐츠 전송 네트워크(Content Delivery Networks)

거시적 관점에서 보면, 콘텐츠 전송 네트워크(CDN)는 더블제로 네트워크와 유사해 보인다. CDN은 공용 요청을 필터링하고 이를 네트워크를 통해 효율적으로 라우팅함으로써 사용자에게 콘텐츠 전송을 더 효율적으로 만든다. 여기에 콘텐츠를 보관하는 로컬 캐시가 결합되어, 사용자가 특정 웹 애플리케이션에서 안정적이고 빠른 경험을 할 수 있도록 한다.

새로운 CDN은 더블제로 네트워크에 의존해 더 빠르게 초기 구축을 하고, 핵심 역량에 집중할 수 있다. CDN은 수요를 예측하고 그에 따라 콘텐츠를 준비하는 데 뛰어나지만, 현재 상황에서는 트래픽 필터링과 저지연·고대역폭 네트워크 구축 또한 수행해야 최종 서비스를 제공할 수 있다.⁶ 더블제로 네트워크 위에 구축된 새로운 CDN은 핵심 역량에만 집중할 수 있고, 필터링과 라우팅은 프로토콜에 맡길 수 있다.

⁶ 아카마이(Akamai)와 클라우드플레어(Cloudflare)와 같은 기존 사업자들은 대부분 네트워크 서비스 제공업체로부터 장기 임대를 통해 자사 네트워크를 구축한다.

또한, 더블제로(DoubleZero) 네트워크는 기존 CDN의 운영을 강화할 수 있다. 더블제로 프로토콜의 주요 장점 중 하나는 유연성이다. 사용자는 광범위하고 장기적인 임대를 체결할 필요가 없으며, 특정 경로나 시간 구간에 맞춰 사용을 맞춤화할 수 있다. 따라서 자체 네트워크를 유지하되 특정 지역에서 커버리지가 부족하거나 주요 구간에서 더 많은 대역폭이 필요한 CDN은 더블제로를 활용해 사용자에게 더 나은 경험을 제공하고 동시에 자체 네트워크의 부담을 덜 수 있다. 이는 네트워크에 멀티캐스트(multicast) 기능이 도입되어 콘텐츠를 더욱 효율적으로 전송할 수 있게 되면 특히 강력한 효과를 발휘할 수 있다.

온라인 게임

지연(latency)은 온라인 게임의 성패를 좌우한다. 심지어 경미한 지연도 사용자 경험을 해치며, 플레이어를 단순 턴제 게임으로 제한한다. 전통적인 게임 개발사들은 두 가지 모델을 사용해 왔다: 피어 투 피어(peer-to-peer) 모델과 중앙 서버 모델이다. 더블제로 네트워크는 두 가지 모두를 강화할 수 있다.

일부 게임은 피어 투 피어 모델을 사용하며, 최종 플레이어들이 공용 인터넷을 통해 직접 연결된다.⁷ 이는 특히 플레이어 수가 적을 때 상대적으로 효율적이지만, 공용 인터넷의 한계에 직접적으로 제약을 받는다. 지연, 제한된 대역폭, 지터(jitter)는 사용자에게 좌절감을 줄 수 있다. 더블제로 네트워크는 전용 링크와 유연한 사용 모델을 통해 연결 안정성을 제공하고, 게임을 더 즐겁게 만들 수 있다.

다른 게임은 모든 플레이어가 중앙 서버에 연결되는 모델을 사용한다. 이러한 모델은 특히 플레이어 수가 많을 때 사용된다. 전통적으로 이러한 게임들은 클라우드 제공업체 위에 구축되었으며, 이는 장단점을 동시에 가진다. 클라우드 제공업체는 네트워크 가장자리에 가까운 플레이어에게는 안정적인 성능을 제공하지만, 멀리 떨어진 플레이어들은 다시금 공용 인터넷의 한계에 직면한다. 또한 이는 게임 개발사에게 클라우드 제공업체와 관련된 상당한 거래상대방(counterparty) 위험을 발생시킨다.⁸

더블제로 네트워크는 두 가지 측면 모두에서 개선을 제공한다. 다양한 기여자로부터 링크가 제공되는 네트워크로서, 단일 클라우드 제공업체가 구축한 네트워크보다 더 광범위한 도달성을 확보하는 것을 목표로 한다. 또한 무허가적(permissionless)이고 탈중앙화된 네트워크이기 때문에, 근본적으로 사용자가 부담해야 하는 거래상대방 위험을 제한한다.

대형 언어 모델(LLM) 학습

대형 언어 모델(LLM)의 인기가 폭발적으로 증가함에 따라, 이들의 학습을 최적화하기 위한 새로운 아키텍처가 제안되고 있다. 특히 한 범주의 제안은 다수의 데이터 센터에 학습을 분산시키는 것이다. 하나의 시설에 대규모 GPU를 집중 배치하고 그 유휴 용량을 정렬하는 것은 어려우므로, 대형 기술 기업들은 비동기적이고 분산된 자원을 조율하여 통합 모델을 학습할 수 있는 시스템을 설계했다(예: Gangidi 외 [2024]).

7 OatmealDome [2024]는 스플래툰(Splatoon)을 예시로 들어 이에 대한 특히 상세한 설명을 제공한다.

8 에픽게임즈(Epic Games)는 포트나이트(Fortnite)를 아마존웹서비스(AWS) 위에서 운영하고 있으며, 동시에 앱스토어(App Store) 배제로 인해 애플과 치열한 소송을 벌이고 있다. 이는 게임 개발사가 하이퍼스케일러와 맞아야 하는 미묘한 균형의 유용한 사례를 보여준다.

그러나 Patel et al [2024]이 설명하듯, 분산 학습에서의 제한 요소 중 하나는 종종 대역폭이다. 특히 학습이 깊이 분산되거나, 심지어 약간의 동시성을 갖는 경우에도 마찬가지다. DoubleZero 네트워크는 이러한 제약을 완화할 수 있다. 다양한 설비 및 GPU 가용성에 걸쳐 모델을 보다 원활하게 학습시킬 수 있으며, DoubleZero 네트워크가 이러한 리소스 간을 연결하는 고대역폭 통신 역할을 수행함으로써 모델의 스냅샷을 전송하거나 복제할 수 있다. 이는 공용 인터넷을 통해 스냅샷이 느리게 전송되는 동안 유휴 상태로 있는 컴퓨팅 자원을 방지하는 데 도움이 된다. 개방성을 지향하는 DoubleZero 시스템은 단일 주체가 자체 분산 인프라 전반에서 성능을 개선하는 데도, 독립적인 서버 팜에서 기기를 임대하는 주체가 성능을 개선하는 데도 기여할 수 있으며, 결과적으로 해당 분야의 보다 빠른 혁신을 가능하게 한다.

이 제약은 더블제로(DoubleZero) 네트워크가 완화할 수 있다. 모델은 다양한 시설과 GPU 가용성 전반에서 더 원활하게 학습될 수 있으며, 더블제로 네트워크는 이러한 자원 간에 모델 스냅샷을 전송하거나 복제하는 고대역폭 연결로 작동한다. 이를 통해 공용 인터넷을 통해 스냅샷이 느리게 전송되는 동안 유휴 상태로 남아 있는 연산 자원이 최소화된다. 개방적 정신을 바탕으로, 더블제로 시스템은 개별 기업이 자체 분산 인프라 전반에서 성능을 개선하는 데 도움을 줄 수 있을 뿐 아니라, 독립적인 인프라로부터 머신을 임대하는 기업에도 기여할 수 있어, 해당 분야에서 보다 신속한 혁신을 가능하게 한다.

엔터프라이즈 활용

엔터프라이즈를 위한 전용 인터넷은 오랫동안 존재해왔다. 네트워크 서비스 제공업체가 기업에 내부 운영을 위해 대역폭을 임대하는 이러한 전용 네트워크는 기업이 공용 인터넷의 한계를 우회할 수 있도록 해준다. 실제로 더블제로가 예상하는 많은 연결은 이러한 동학을 기반으로 할 것이다.

그러나 이 비즈니스 모델은 유연성이 부족하다. 대역폭은 고정된 용량과 장기간 단위로 판매된다. 임대 계약은 협상이 필요하며, 신규 고객은 시간 소모적인 온보딩 절차를 따라야 한다. 이는 대역폭 수요가 종종 유연하게 변하는(예: 예기치 못한 트래픽 급증) 엔터프라이즈 사용 사례와 잘 맞지 않는다. 클라우드 제공업체가 이러한 비즈니스 수요를 더 잘 충족하지만, 그들 또한 높은 비용, 제한된 네트워크 도달성, 주요 데이터 센터 위치에서의 인그레스/이그레스 혼잡, 생태계 종속과 같은 단점을 가진다.

더블제로 프로토콜은 더 나은 대안을 제공할 수 있다. 사용자가 지연(latency), 처리량(throughput), 기간(duration)을 유연하게 조정할 수 있도록 하고, 고정된 임대나 계약 없이 무허가(permissionless) 방식으로 대역폭을 구매하고 활용할 수 있게 함으로써, 더블제로의 대안적 솔루션은 빠르게 변화하는 시장의 비즈니스 요구에 더 적합하다. 실제로 더블제로는 기존 임대 계약을 위한 버퍼(buffer)로 작동하여, 엔터프라이즈가 변화하는 상황에 민첩하게 대응할 수 있도록 할 수도 있다.

결론

근본적으로, 고성능 중앙집중형 시스템과 고성능 탈중앙화 시스템은 놀랍도록 유사해 보인다. 예를 들어, 현대의 x86 프로세서를 생각해 보자. 이 프로세서는 24개의 코어, 통합 GPU, 특수 실행용 실리콘을 탑재하고 있다. 비록 단일 엔티티처럼 작동하지만, 그 하드웨어 아키텍처는 깊이 분산되어 있다. 즉, 24개의 독립적인 코어가 각각 별도의 작업을 수행하며, 코어 간 데이터를 이동시키고 명령어를 전달하는 고대역폭 인터커넥트가 정의된 인그레스와 이그레스 지점을 통해 연결한다.

그러나 x86 프로세서는 동시에 경계해야 할 교훈도 제공한다. 칩의 성능을 제한하는 요소는 거의 언제나 코어 자체가 아니라, 코어 간 데이터 이동이다. 온칩 인터커넥트, 메모리 컨트롤러, 기타 데이터 플로우 시스템의 효율이 비슷하게 개선되지 않는 한, 코어를 두 배로 늘려도 성능이 두 배로 증가하지 않는다. 이러한 최적화가 없다면, 각 코어는 실제로 명령어를 처리하는 시간보다 명령어를 기다리는 데 더 많은 사이클을 허비하게 된다.

오늘날 탈중앙화 애플리케이션은 점점 더 데이터 흐름에서 병목 현상에 부딪히며, 이는 성능을 제한한다. 강력한 필터링, 설정 가능한 라우팅, 넉넉한 대역폭을 갖춘 더블제로(DoubleZero)는 이러한 한계를 해방시키는 해답이다. 이것이 현대 분산 시스템을 위한 새로운 인터넷이다.

더블제로가 하는 일은 단순하다: **대역폭을 늘리고, 지연을 줄인다.**

참고문헌

- Federal Communications Commission (2007). *Statistics of communications common carriers (2006–2007)*.
- Fiber Broadband Association and Cartesian (2023). *Fiber Deployment Annual Report 2023*.
- FTTH Council Europe (April 5, 2024). “EU39 reaches 70% FTTH/B coverage.” *Shaping Europe's digital future*. European Commission.
- Gangidi, A., Miao, R., Zheng, S., Bondu, S., Goes, G., Morsy, H., Puri, R., Rifadi, M., Shetty, A., Yang, J., Zhang, S., Fernandez, M., Gandham, S., and Zeng, H. (2024). *RDMA over Ethernet for Distributed Training at Meta Scale*. ACM SIGCOMM 2024 Conference.
- MegaLabs (2024). “Megaeth: Unveiling the First real-time blockchain.” MegaETH Research blog.

- OatmealDome (2024). “Splatoon 2’s netcode and matchmaking: An in-depth look.” Personal blog.
- Patel, D., Nishball, D., and Ontiveros, J.E. (September 4, 2024). “Multi-Datacenter Training: OpenAI’s Ambitious Plan To Beat Google’s Infrastructure.” *Semi-Analysis*.
- Schwarz-Schilling, C., Saleh, F., Thiery, T., Pan, J., Shah, N. and Monnot, B. (2023). *Time is money: Strategic timing games in proof-of-stake protocols*. arXiv:2305.09032.