

ZKSwap：基于 ZK-Rollup 的 Layer2 代币 Swap 协议

L2 Lab

dev@l2lab.org

November 2, 2020

1 引言

2019 年以来，区块链行业发生了翻天覆地的变化，分布式金融 DeFi 正在快速崛起。各类链上资产在各种 DeFi 协议中，锁定的资产规模已突破 100 亿美金。随着链上资产的继续蓬勃发展和链下资产上链的不断推进，我们有理由相信 DeFi 协议锁定的资产规模将很快突破 1000 亿美金的市值。这些链上资产都有快速、零摩擦、免信任实时兑换的需求，因此带动了 Uniswap [1] 等新型兑换协议的崛起。

虽然以 Uniswap 为代表的新型 DEX 取得了很大的发展，但是依然有非常明确的缺点。第一：动辄几十美金的 Gas 费用，阻碍了新增用户进入；第二：每一笔交易、每一个操作都需要等待至少一个区块确认，实时性差；第三：受制于以太坊链上 TPS 的限制，Uniswap 每秒钟可以成交的交易次数和交易容量有明显的天花板。以上三点是目前所有 DEX 面临的痛点。

ZK-Rollup [2] 是一种新型的 Layer-2 扩容方案，与 Plasma 等其他 Layer-2 扩容方案相比，ZK-Rollup 在安全性、经济性、TPS 以及可用性方面都有巨大的优势，特别适合用于搭建 Layer-2 去中心化交易所。

ZKSwap (ZK-Rollup based Swap) 是一套全新的基于 Zkrollup 技术的兑换协议，通过 Zk-Rollups 技术把所有的 ERC20 token 转移到 Layer2 上，基于不断生成的零知识证明来保证 Layer1 和 Layer2 状态的一致性，从而让所有的兑换在 Layer2 上发生，可以做到零 Gas 费用的实时兑换（不再要等待一个区块确认时间），并且具备无限的拓展性，摆脱以太坊 TPS 和区块确认时间的限制，让 DEX 具备 CEX (中心化交易所) 般丝滑的体验，并同时实时掌控自己的资金安全。我们认为 ZKSwap 就是未来的交易形态，必将对现有所有的 DEX 和 CEX 带来极大的变革。

目前大部分开发工作已经完成，我们将在 10 月初发布 ZKSwap 的兑换协议，后续我们将推动 Layer-2 上面的 DEX 兑换标准，使目前现有的 DEX，都可以无缝接入和使用 ZKSwap 突破性的兑换协议。

2 技术基础

2.1 Uniswap v1 版本

Uniswap[3] 是一套基于“固定乘积”自动化做市商机制的去中心化交易协议，由一系列部署在以太坊上的智能合约组成。用户可以通过提供一定比例的 ETH 和

任意 ERC20 资产创建资金池，每个资金池都保存了一对资产，并为这两种资产的交易提供流动性。作为回报，所有流动性的提供者会根据所提供流动性的比例分享交易量的 0.3% 作为手续费。在 uniswap 中，第一个流动性提供者需要设定资金池中两种资产的比例，自动做市商算法会保证每次交易前后两种资产的乘积保持恒定。以下简要介绍 uniswap 各项基本操作，帮助理解后文相关概念。

创建资金池 在 Uniswap 中，每个交易对有且只有一个资金池，一般由第一个流动性提供者创建。例如，流动性提供者创建了一个 ETH-ZKS 的资金池，随后可以开始添加流动性。初始存入的 ETH 数量为 x_0 ，存入的 ZKS 数量为 y_0 ，且 $x_0 * y_0 = c_0$ 。其中，ZKS 是以太坊上任意 ERC-20 代币。

流动性代币 流动性提供者 (Liquidity Provider, 以下简称 LP) 将获得对应资金池的流动性代币 (Liquidity Provider Token, 以下简称 LP Token)，用来代表 LP 占目前资金池的份额。LP Token 是一种符合 ERC-20 标准代币，可以在不移除资金池流动性的情况下进行传输。每个资金池都有一种对应的 LP Token。上述初始 LP 可以获得 $n_0 = \sqrt{(x_0 * y_0)} - MIN_LIQUIDITY$ 个 LP Token。其中，由于 LP Token 的总量将在后续计算中作为分母被用到，因此在首次添加流动性时，系统会把 $MIN_LIQUIDITY$ 作为 LP Token 最小预留量，发送到 0x0 地址，防止 LP Token 总量变为零。

以下假设在任意时刻 i ，资金池中有 x_i 个 ETH， y_i 个 ZKS 代币，它们的乘积常量为 $c_i = x_i * y_i$ ，发行的 LP Token 总量为 n_i 。其中， $i = 0, 1, 2, \dots$

添加流动性 用户可以根据当前资金池中代币的比例，以同等比例添加流动性，并获得 LP Token。假设新的 LP 向流动性池中注入 X 个 ETH 和 Y 个 ZKS，注入时必须保证 $X/Y = x_i/y_i$ 。该 LP 可以获得合约增发的 $N = n_i * X/x_i$ 个 LP Token。增加流动性之后，资金池的 reserve 将更新为 $x_{i+1} * y_{i+1} = (x_i + X) * (y_i + Y) = c_{i+1}$ 。LP Token 的总量为 $n_{i+1} = n_i + N$ 。

减少流动性 LP 可以通过在流动性池合约中销毁 LP Token 来减少流动性，并从资金池中取回对应份额的 ETH 和 ZKS 代币。假设 LP 销毁的 LP Token 数量为 N' ，则 LP 可取回的 ETH 数量为 $X' = x_i * N'/n_i$ ，可取回的 ZKS 代币的数量为 $Y' = y_i * N'/n_i$ 。移除流动性后，资金池的 reserve 将更新为 $x_{i+1} * y_{i+1} = (x_i - X') * (y_i - Y') = c_{i+1}$ 。LP Token 总量更新为 $n_{i+1} = n_i - N'$ 。值得注意的是，由于 LP 在添加流动性和移除流动性时资金池的 reserve 可能不同，因此 LP 存入和取出的币的数量和比例都可能发生变化。

Swap 交易 资金池创建并注入流动性后，持有 ETH 或 ZKS 的用户就可以开始在资金池中进行 Swap，用 ETH 兑换 ZKS，或者用 ZKS 兑换 ETH。这里以用 ETH 兑换 ZKS 为例。用户向资金池转入 m 个 ETH，资金池中 ETH 将变为 $x_{i+1} = x_i + m$ 用户可以对获得 y_{i+1} 个 ZKS 代币。根据 uniswap 的 AMM 算法，在扣除 $0.003m$ 的手续费后，应保持 $(x_{i+1} - 0.003m) * y_{i+1} = x_i * y_i$ 。因此，用户将获得 $y_{i+1} = (x_i * y_i) / (x_{i+1} - 0.003m)$ 个 ZKS 代币。手续费会在交易后自动加入资金池的 reserve，因此交易后整个资金池的 reserve 变为

$x_{i+1} * y_{i+1} = c_{i+1} > c_i$ 由于没有新的 LP Token 生成或销毁, LP Token 的总量保持不变, 即 $n_{i+1} = n_i$ 。这意味着所有 LP 的份额不变, 但每单位份额对应的资金池 reserve 总量增加了。

2.2 Uniswap v2 版本

Uniswap v1 实现了基本的 AMM 交易所功能, 但也存在一些问题。但由于其合约是不可升级的, 开发团队为了修复这一问题, 又重新实现了一版 Uniswap v2 [4], 其基本功能和 Uniswap v1 一致, 但增加了一些新特性, 包括:

- 可以直接创建两种 ERC-20 代币的交易对, 而不需要像 uniswap v1 一样需要通过 ETH 作为中间媒介来间接进行两者的交易;
- 更加合理的价格预言机, 利用区块第一笔交易前一笔交易价格的随机性, 使价格不容易被操控;
- 闪电兑换 (Flash Swap), 用户可以先获得目标代币, 后续再完成 swap; 或者可以在规定时间内归还代币, 从而不触发 swap 过程, 这相当于可以借用资金池中的代币;
- 资金池中原本交易收取的 0.3% 手续费可以分为两部分, 其中 0.25% 仍用于手续费, 另外 0.05% 被发送到预先设定的地址, 作为预留的协议手续费, 可用作不同用途;

这些新增特性增加了 uniswap 的实用性, 本文所述的 ZKSwap 的交易特性与 uniswap v2 保持一致。

2.3 ZK-Rollup 和 zkSync

ZK-Rollups 是近年来比较流行的 Layer-2 扩容解决方案, 其基本思想是通过把大量交易聚合, 链上验证证明的方式达到扩容的目的。ZK-Rollups 通过智能合约来解析和验证这些聚合的交易, 并利用零知识证明技术把聚合交易的证明上链, 从而减少了链上需要存储的数据。所有资金本身都锁定在智能合约中, 而大部分的计算和存储都放在链下。zkSync[5] 是 ZK-Rollups 的一个实现, 目前其 v1 版本已经在以太坊主网部署。其基本的工作原理如下:

- 用户把签好名的交易提交给 Validator;
- Validator 把一段时间内收到的多笔交易执行 roll up 操作, 合并为一个区块, 并把更新后的合约状态树的根哈希, 以及状态更新对应的 SNARK 证明发送到链上合约中。这个 SNARK 可以证明新状态确实是这一系列交易作用在旧状态上的结果;
- 另外, validator 还会把每笔交易对应的状态增量 发送到链上, 这使得任何人都可以重新构建出每一笔交易后的状态;
- 上述的 SNARK 证明和状态增量 都需要经过链上合约的验证, 从而证明所有交易的合法性以及区块数据的可用性。

由于 SNARK 验证的 Gas 消耗远小于验证大量单笔交易的 Gas 消耗总和, 且把完整状态存在链下也比存在链上要便宜, 因此 ZK-Rollup 在理论上可以实现对以太坊主网 100 200 倍的扩容, 同时显著降低 Gas 消耗。ZK-Rollup 的安全性几乎和对应 Layer-1 的安全性保持一致, 因为:

- Validator 无法篡改状态，也无法挪用任何 Layer-2 的资金，因为所有状态的改变都需要对应的证明，无法伪造；且私钥始终掌握在用户手中；
- 由于链上存储了交易状态的增量和相关证明，即使 Validator 停止工作，用户也可以从链上数据恢复出每一笔交易，并取回锁定的 Token；
- 用户不需要保持在线，因为不需要存储任何额外数据。

zkSync 目前支持三种操作：

- Deposit，存币：把 Layer-1 中的 Token 转移到 zkSync Layer-2；
- Withdraw，取币：从 Layer-2 中取回账户的 Token，并发送到 Layer-1 的账户；
- Transfer，转账：在 Layer-2 上实现 Token 的转账，无需手续费。

3 ZKSwap 去中心化 Swap 协议

本项目实现一种基于 ZK-Rollup 技术的 Layer-2 AMM 去中心化交易协议 ZK-Swap，在 Layer-2 上实现了 uniswap 的所有功能，在保证去中心化交易的核心价值的同时，实现实时交易，把 Uniswap 的 TPS（每秒可以处理的交易数量）提升了多个数量级，同时交易的过程几乎不需要消耗任何 Gas 费用。

3.1 ZKSwap 系统框架

ZKSwap 系统由链上智能合约，链下 ZKSwap Server，零知识证明系统和前端用户界面组成。

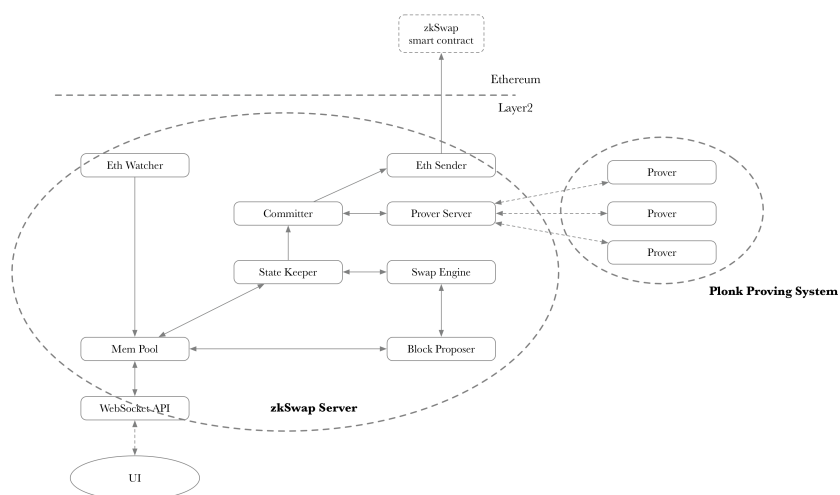


Fig. 1. 系统架构

ZKSwap 智能合约 ZKSwap 会在以太坊区块链上部署一系列智能合约，用于存储用户存入的代币，同时需要记录和验证 Layer-2 的状态更新和相关证明，是连接链上和链下的关键枢纽。

ZKSwap Layer-2 服务端 ZKSwap 服务端是在链下实际处理所有交易的模块。ZKSwap 服务端可以通过 WebSocket 接口和用户发生交互，同时还可以监听以太坊区块链上的交易。所有合法的交易请求将被放入 ZKSwap 内存池中，最终由 Swap Engine 负责处理。内存池中的交易类型和上一节中 Uniswap 所有操作类型保持一致。Block proposer 对交易进行 Rollup，生成新区块，并由 State Keeper 更新 Layer-2 中所有代币的状态。State Keeper 会把状态发送给 Committer，后者负责与 Prove server 通信，获得对应交易的证明，并最终将状态和对应的 SNARK 证明通过 Ethereum sender 发送到链上的 ZKSwap 智能合约。

Plonk 零知识证明系 ZKSwap 的零知识证明系统采用分布式架构，并采用最新的零知识证明算法 PLONK[6] 生成证明。Prove server 支持多个 Prover。多个 Prover 主动查询 Prove server 中的证明任务，生成证明后发回 Prove server。PLONK 的全局 trust setup 只需要生成一次，电路规模在一定范围内的应用都可复用，极大地降低了零知识证明的使用门槛。

3.2 ZKSwap 状态树

ZKSwap 系统的状态树记录了当前系统中所有账户的余额状态。ZKSwap 的状态树是一棵高度为 34 的默克尔树。根节点 Root 的子节点为系统中所有账户节点 (24 层)。账户节点分为两种类型：

- 普通账户节点，用于记录账户内所有 Token 的状态。普通账户节点可以有任意多个叶子节点 (10 层)，每个叶子节点都代表一种类型的 Token 及其数量；同一账户下的 Token 类型不可重复；
- Pair 账户节点，用于记录 ZKSwap 中某个交易对资金池的状态。Pair 账户节点只包含两个叶子节点，每个叶子节点代表该资金池中一种 Token 的余额和类型。

ZKSwap 中交易的过程实际就是状态树更新的过程。下面介绍 ZKSwap 中所有交易类型和对应的状态变化。

3.3 存币 (Deposit)

Deposit 是指用户把以太坊链上的代币存入 ZKSwap 合约，使其可以在 Layer-2 中使用的过程。Deposit 操作由用户从链上发起。当 ZKSwap Server 监听到用户在链上将 Token 转入 ZKSwap 智能合约的交易后，会根据交易详情更新状态树。首先，根据交易所属的账户找到对应的 Account，并根据 Deposit 的金额更新 Account 下对应 Token 的状态。若该 Account 下没有对应 Token 的叶子节点，首先需要创建该 Token 对应的叶子节点，再进行状态更新。叶子节点的状态更新完成后，根节点的哈希也会随之更新。

更新后的状态树根节点哈希会和 Deposit 交易的 SNARK 证明一起被发送到链上的 ZKSwap 合约中。

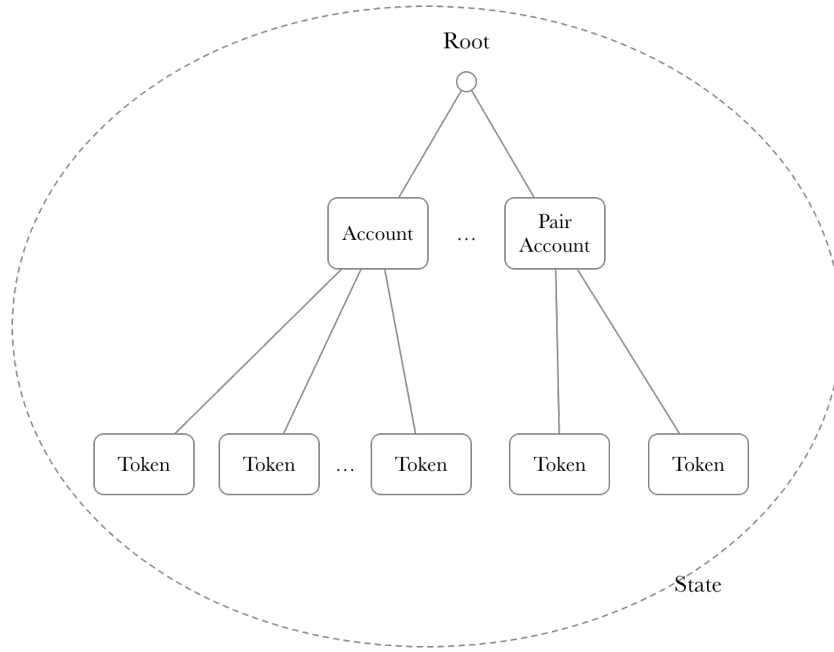


Fig. 2. 状态树

3.4 取币 (Withdraw)

Withdraw 是指用户从 Layer-2 中将 Token 提出，并从 ZKSwap 合约中解锁，发到对应 Layer-1 账户的过程。Withdraw 操作由用户从 Layer-2 发起，ZKSwap server 在收到用户对某一 Token 的提币请求后，会更新对应账户下对应 Token 的状态，并把更新后的状态树根节点哈希和 Withdraw 操作应用的证明发送到链上 ZKSwap 合约。合约验证通过后会把合约中锁定的对应 Token 发送到对应链上账户。

3.5 转账 (Transfer)

Transfer 是指用户在 ZKSwap Layer-2 把某种 Token 发送给另一用户的过程。Transfer 由用户在 Layer-2 发起。当 ZKSwap Server 收到 Transfer 请求后，会根据请求详情找到对应的收发账户，并根据发送金额更新收发双方账户下该 Token 的状态。状态树根节点哈希也会随之更新，并和 Transfer 操作对应的 SNARK 证明一起被发送到 ZKSwap 链上合约。Transfer 不会改变链上对应 Token 的状态，因为 Token 仍然锁定在 ZKSwap 合约中，并没有在链上发生转移。

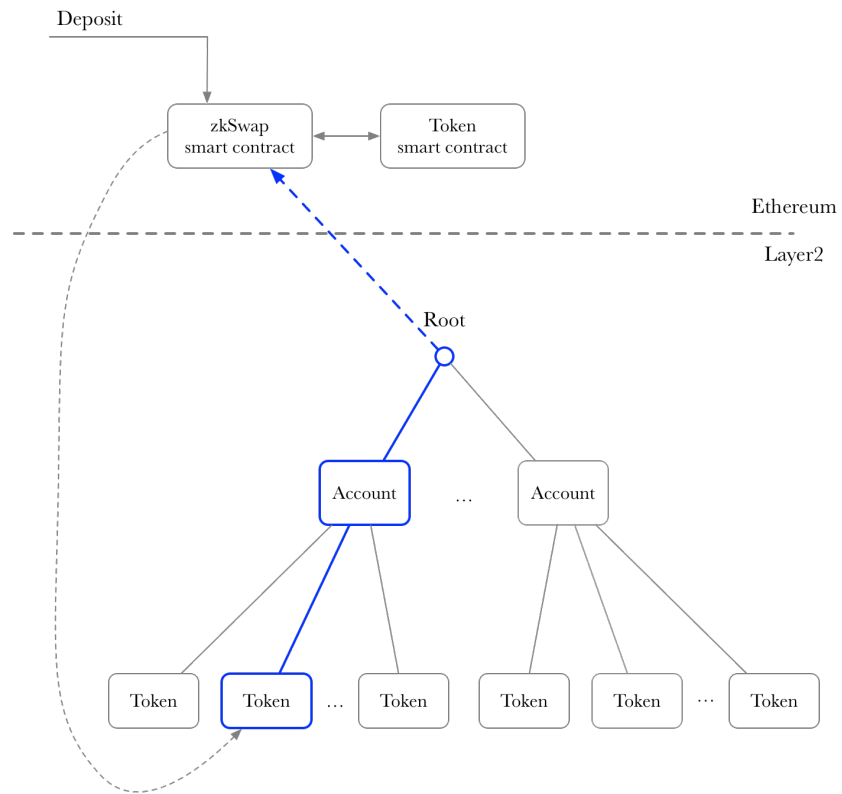


Fig. 3. Deposit

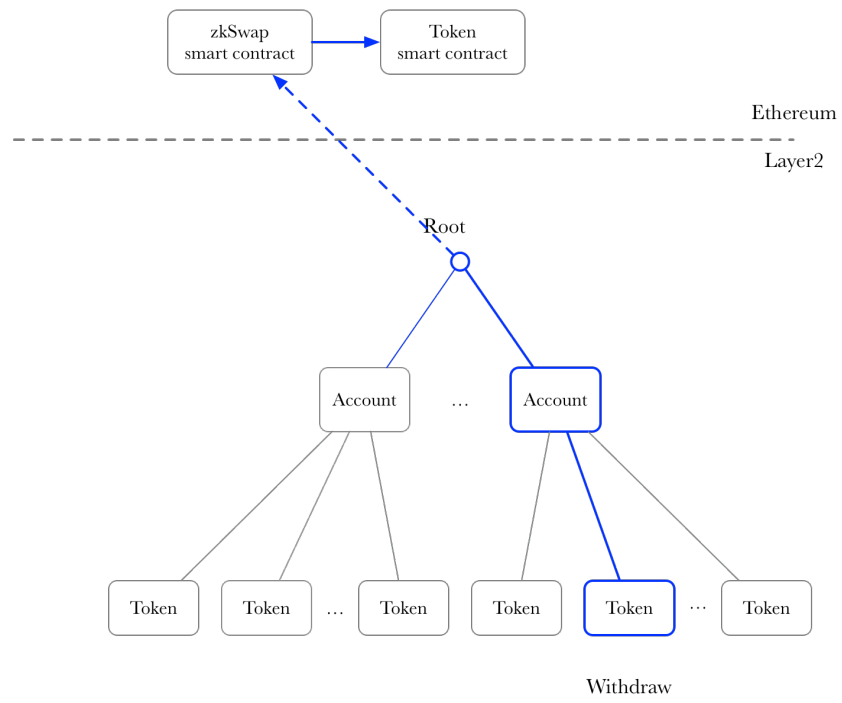


Fig. 4. Withdraw

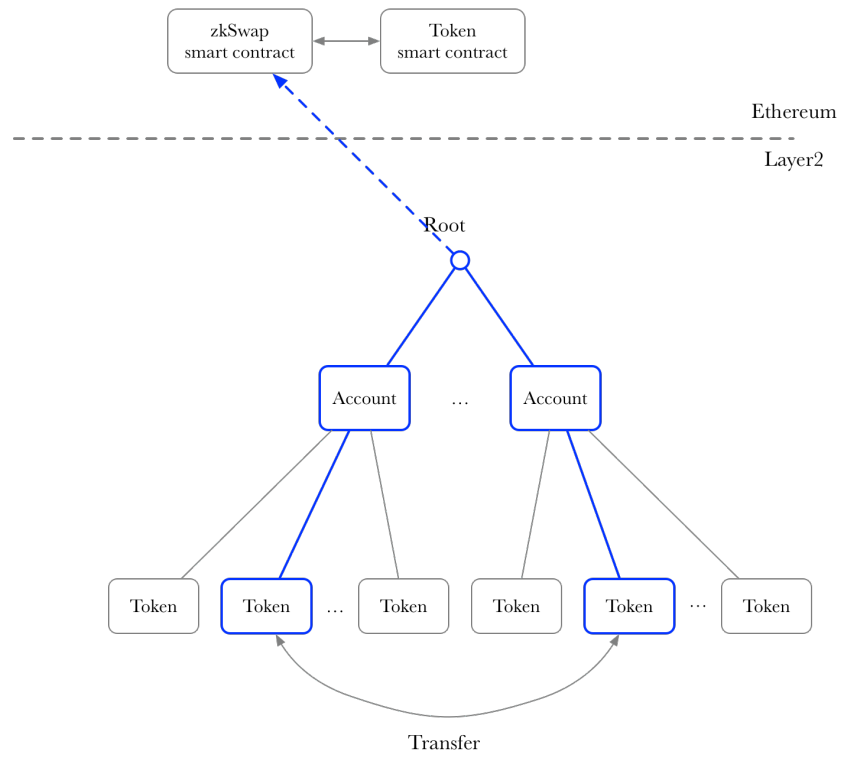


Fig. 5. Transfer

3.6 增加流动性 (Create Liquidity)

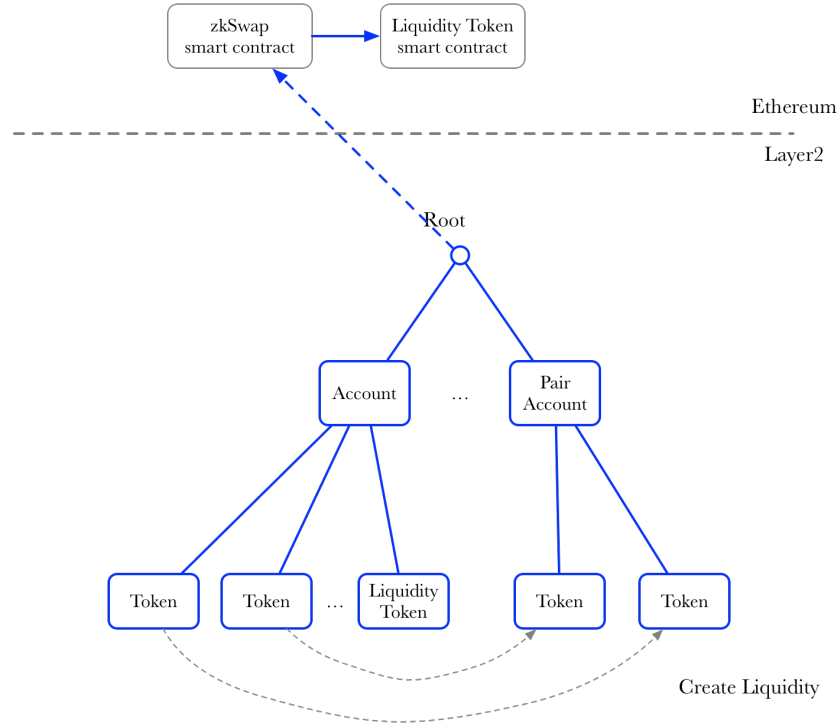


Fig. 6. Create Liquidity

Create liquidity 是指用户在 Layer-2 完成创建或增加流动性的操作，其定义和 uniswap 保持一致。Create liquidity 由用户在 Layer-2 发起，当 ZKSwap server 收到用户创建某一对 Token 流动性的请求后，首先需要找到对应的发起人 Account 和这一对 Token 的 Pair Account (若 Pair Account 不存在，需要先创建 Pair 资金池)；然后把 Account 下两种 Token 按照 AMM 算法规定的比例要求 Transfer 到 Pair Account 下；同时系统会计算出用户可以获得的 LP Token 数量，并更新流动性提供者 Account 下对应的 LP Token 状态。所有状态更新完成后，状态树的根节点哈希将会和 Create Liquidity 对应的证明一起被发送到链上的 ZKSwap 合约。首次创建的 LP token 需要由 ZKSwap 合约在链上部署对应 LP Token 的合约。

3.7 减少流动性 (Remove Liquidity)

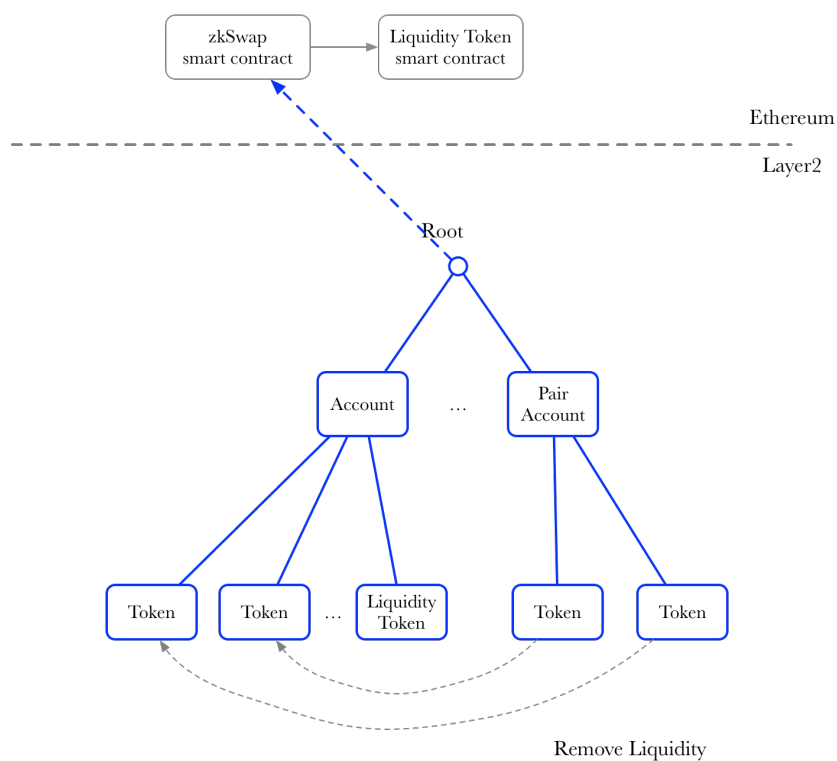


Fig. 7. Remove Liquidity

Remove Liquidity 是指用户从 Layer-2 的某一 Pair 资金池中销毁 LP Token, 并在 Layer-2 中取回相应比例的两种 Token 的过程。Remove Liquidity 由用户在 Layer-2 发起, 当 ZKSwap Server 收到用户 Remove Liquidity 请求时, 首先会找到对应 Account, 销毁 Account 下对应数量的 Liquidity Token; 接着会将 Liquidity Token 对应的 Pair Account 下的两种 Token 按照比例 Transfer 给销毁 Liquidity Token 的 Account。操作完成后状态树会做相应更新, 根节点哈希和对应的 Remove Liquidity 操作的证明将被发送到链上的 ZKSwap 合约。

3.8 Swap 交易

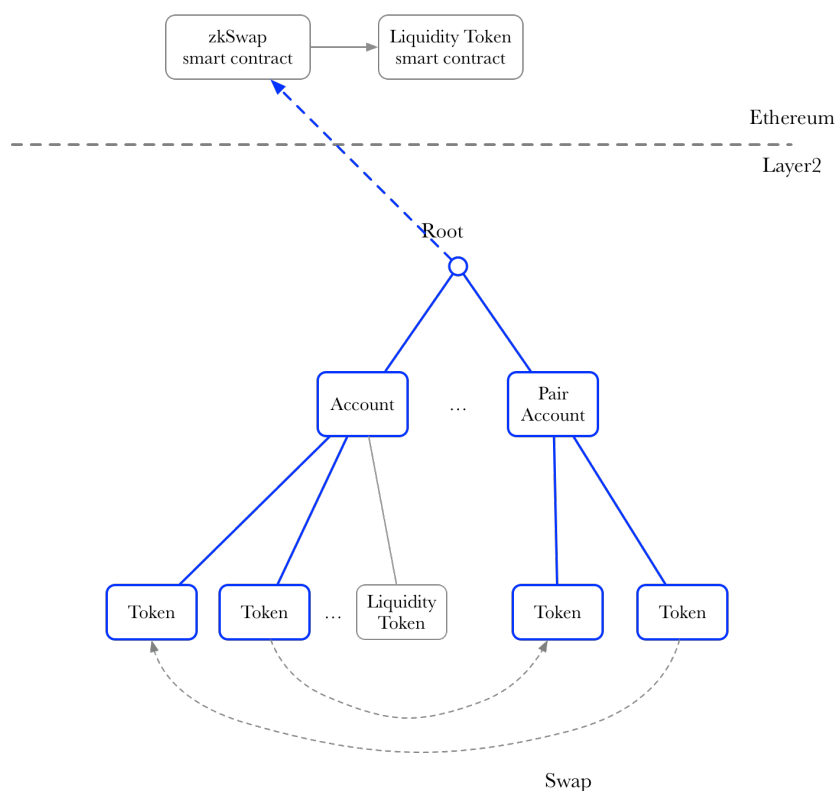


Fig. 8. Swap 交易

Swap 是指用户在 Layer-2 的资金池中完成交易的过程。假设用户需要在包含 TokenA -TokenB Pair Token 的资金池中进行 Swap 交易。用户首先从 Layer-2 将自己 Account 下的 TokenA 发送到对应的 Pair Account, ZKSwap 会根据 AMM 算法计算用户可以获得的 TokenB 的数量并发送给用户。状态树随之更新, ZKSwap Server 会将更新后的状态树根节点哈希以及 Swap 操作对应的证明发送到链上的 ZKSwap 合约。Swap 交易不会改变链上 Token 的状态, 因为 Token 本身仍然锁定在 ZKSwap 合约中。

3.9 提取流动性 (Withdraw Liquidity)

Withdraw Liquidity 是指用户从 Layer-2 账户中的 Liquidity Token 提取到 Layer-1 的过程。Withdraw Liquidity 在 Layer-2 的发起过程和状态更新与上述普通的 Withdraw 完全一致, 但在 Layer-1 中产生的结果不同。ZKSwap 合约收到 Withdraw Liquidity 请求后, 会自动触发 Liquidity Token 的 mint 操作, 在 Layer-1 中创造出额外的 Liquidity Token, 并发送给指定账户。

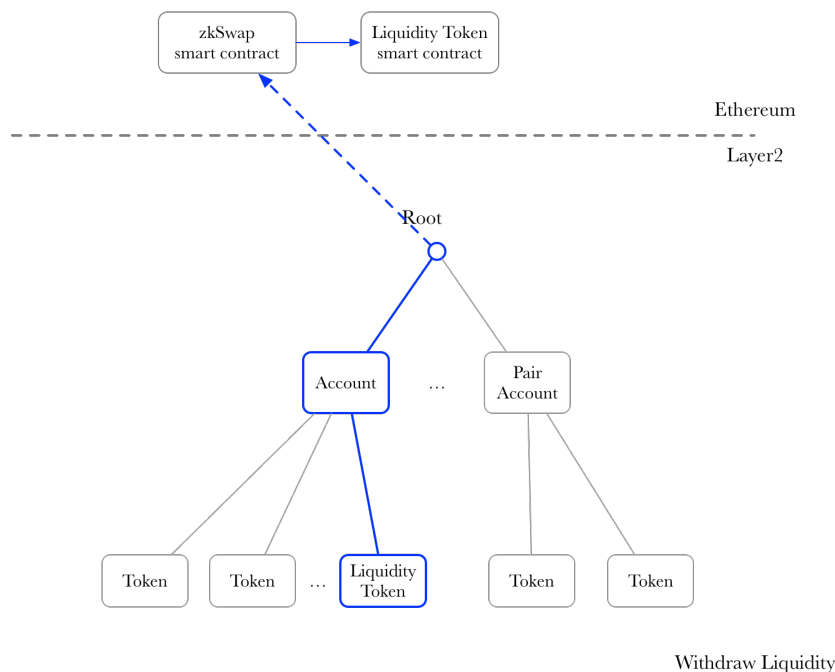


Fig. 9. Withdraw Liquidity

4 总结与展望

ZKSwap 利用 ZK-Rollup 技术，在 Layer-2 实现了 Uniswap 的完整功能，是一套去中心化的 Layer-2 代币 AMM 自动化做市商 Swap 协议。ZKSwap 协议可无限扩展，支持超高 TPS，且流动性提供者和用户不需要支付高昂的 gas 费用，并且具备实时交易性，用户不再需要等待区块确认，就可以在 Layer2 上面完成极速的交易，极大降低了 DEX 的使用门槛，对现在所有的 DEX 和 CEX 都带来了巨大变革。

ZKSwap 由 L2 Lab 支持开发。在未来，L2 Lab 将继续推动 Layer-2 协议层的发展，结合 ZKSwap、Layer-2 隐私稳定币等一系列 Layer-2 基础协议，打造完整的 Layer-2 DeFi 生态。

通过打造用户体验极佳的 Layer-2 协议标准，L2 Lab 致力于推动区块链行业的范式转换，让 Layer-1 成为清结算的根基，Layer-2 成为连接区块链应用和 Layer-3 的桥梁和出入口。我们会致力于推动让所有的区块链应用都运行在没有任何限制的 Layer-3 的世界。我们会致力于让 ZKSwap 成为 DEX 中最好用的产品，时机成熟的时候，也会推出流动性挖矿计划和 DAO 计划，助力分布式金融 DeFi 的崛起，一起引领区块链应用的范式变革。

References

1. Uniswap is a decentralized protocol for automated liquidity provision on ethereum. <https://https://uniswap.org/>.
2. Alex Gluchowski. Zk rollup: scaling with zero-knowledge proofs. <https://pandax-statics.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/statics/1221233526992813.pdf>.
3. Uniswap v1. <https://uniswap.org/docs/v1/>.
4. Uniswap v2 github. <https://github.com/Uniswap/uniswap-v2-core>.
5. zksync is a fully trustless, secure, user-centric protocol for scaling payments and smart contracts on ethereum. <https://zksync.io/>.
6. Ariel Gabizon, Zachary J. Williamson, and Oana Ciobotaru. Plonk: Permutations over lagrange-bases for oecumenical noninteractive arguments of knowledge. Cryptology ePrint Archive, Report 2019/953, 2019. <https://eprint.iacr.org/2019/953>.