Dederi：一个去中心化的衍生品清结算协议

Del W., Jason Y., Seven W., Louis Y., Steven G., Jeffry Z.

2024-03-12

摘要

Dederi 是一系列基于以太坊及以太坊二层网络的智能合约，以提供去中心化衍生品 (期货，期权) 的清算和结算服务。同时，它可以支持最多包含 8 个任意的期货和期权头寸的结构化头寸组合 (以下称“策略”) 的组合保证金交易。

Dederi 的愿景是成为链上衍生品清结算的基础设施和规范，以推动加密衍生品领域的发展，为未来更多其他加密衍生品的产品和服务提供思路和支撑。

1 介绍

本文第 2 部分分析了 Crytpo 衍生品市场现在的构成，以及未被满足的需求，这部分主要阐述了建立 Dederi 的原因；

本文第 3 部分介绍了 Dederi 的衍生品发行规则和清结算规则，这部分解释了构建 Dederi 的方法；

本文第 4 部分介绍了基于 Dederi 协议的一些已经开发的应用和正在开发中的应用，着重讲述了将 Dederi 推广到市场的策略；

本文的第 5 部分展望了未来任何个人或机构都能开发和使用基于 Dederi 协议的多种应用场景；

本文最后提供了算法附录，附录 A 提供了 Dederi 指数价格和标记价格计算方法及示例；附录 B 则详述了 Dederi 组合保证金计算方法及示例。

2 Crypto 市场的期权、期货和结构化产品

2.1 Defi 衍生品现状

随着以太坊的兴起和 Defi 的发展，在加密资产借贷领域诞生了 Compound 和 AAVE 等头部项目，基本满足了借贷这一金融场景需求，为 Defi 利率市场的建立和发展提供了基础。

在现货交易领域，Uniswap 革命性的解决了区块链实现交易撮合成本太高，效率太低的问题，对加密资产进行链上的价格发现提供了几乎完美的替代解决方案。随着 Uniswap, Curve 等头部项目的探索和发展，为 Defi 汇率市场的建立和发展提供了基础。

在利率和汇率市场都有了一定基础后，按照传统金融发展的路径，金融衍生品的市场一定会随之蓬勃发展，并且随着加密货币市场日趋成熟，市场参与者中专业和成熟交易者的数量和交易量占比会逐步提升，对于各类衍生品的需求也会随之增长。

随着以太坊 Layer 2 和其他底层区块链技术的进步，衍生品平台的确迎来了发展的新机遇。尽管如此，衍生品交易的复杂性及底层区块链性能的限制导致其发展速度不如预期中那样迅速。

在线性衍生品 (期货) 领域，已经有了一些表现不俗的产品，比如 DYDX 和 GMX，它们正在不断地优化以更好地满足用户需求，并已经获得了一定的市场份额。然而，在非线性衍生品 (如期权及相关结构化产品) 的 DeFi 项目方面，尚未出现重大突破，现有项目在用户体验和流动性方面难以满足市场对衍生品的需求。此外，衍生品的发行、清算和结算过程缺乏一个普遍接受且适用于大多数场景的基础设施，这也是推动该领域发展的一个关键挑战。

2.2 流动性

作为一个新兴资产类别，加密货币市场的基础设施尚处于不完善的阶段，市场参与者的成熟度相对较低，且投机性较强，这些因素共同导致市场流动性容易快速聚集与消散，市场波动性较大。加密衍生品市场产品的同质化问题严重，流动性大多集中在少数几个头部的中心化交易所，尤其是期权市场，高门槛限制了参与者的数量，导致市场在流动性短缺时难以维持正常的价格发现和交易活动。即便在市场条件正常时，期权交易所也面临着维护多个合约订单簿深度的挑战，导致大量流动性仅聚集在少数几个周期性合约 (如月度、季度) 上。因此，构建一套加密衍生品的场外交易 (OTC) 基础设施，采用去中心化的方式来实现衍生品的发行、清算和结算，可以有效地缓解中心化清算所带来的系统性风险。

2.3 中心化道德风险

在每个传统金融周期中，系统性风险的出现和规则制定者对规则遵守者的剥削是常见现象。加密货币市场的周期也不例外，每一轮都伴随着中心化机构的崩溃、倒闭和违约，以及在地缘政治冲突中，中心化机构在外部压力下冻结冲突一方资产的事件。随着加密资产主流化，这类问题的持续出现为去中心化金融 (DeFi) 的发展带来了基本面上的利好。
建立一个既能被广泛信任又具备应用广度的去中心化加密衍生品发行和清结算体系，已经成为市场的自然需求。这样的体系不仅能补齐 DeFi 领域的空缺，为目前由中心化清结算机构主导的衍生品市场提供新的选择，而且也为未来更多样化、更复杂的加密衍生品应用建立基础。

3 衍生品的链上发行、清结算

3.1 Dederi 账户逻辑和衍生品合约发行

当用户链接自己的链上钱包地址至 Dederi 之后，可以在对应的 Dederi 智能合约中持有两种资产：

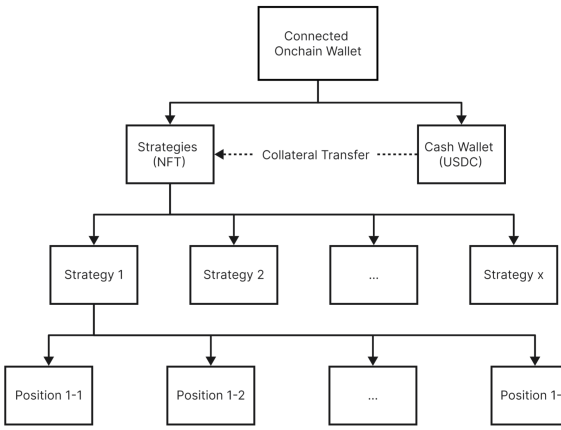

图 1: Dederi 账户逻辑

- 现金 (USDC)：目前 Dederi 的清结算均使用 USDC 进行，用户须充值 USDC 到 Dederi 合约（Cash Wallet）中，也可以从 Cash Wallet 中提取 USDC 到自己的链上钱包地址。
- 策略 (NFT)：Dederi 的交易账户被定义为“策略”，每个策略即为一个交易子账户，每个策略可以同时持有最多 8 个不同的期货或期权头寸。每个关联的加密钱包地址可以创建多个策略，多个策略之间盈亏和风险均独立计算。当每个策略被建立时，用户需要从 Cash Wallet 余额中转入该策略所需的资金，Dederi 智能合约会发行一个与该策略对应的 NFT 给予策略持有人，该 NFT 可以被持有人转移至任意其他链上钱包地址，整个策略的所有权益，包括持仓，盈亏和保证金也会随之转移。当策略中所有头寸到期或被平仓时，策略中所有权益会被结算至当前持有该 NFT 的关联链上钱包地址的 Cash Wallet。同时，该策略 NFT 被销毁。

Dederi 允许任何人发行基于 BTC 和 ETH 两种加密货币标的的期权和期货衍生品合约，发行规则如下：

Contract Duration	1～24 周，每周结算时开放第 24 周合约
Settlement Time	每周五 08:00 UTC
Settlement Price	交割前 30min TWAP
Settlement Method	现金交割
Settlement Currency	USDC
Contract Start Time	08:00 UTC

表 1: 合约发行规则

同时，合约参数数据如下：

Underlying	BTC Index	ETH Index
Symbol	BTC/ETH-29SEP23-Future	
Min Order Size	0.1	1
Price Quotation	1BTC	1ETH
Tick Size	1 USD	0.1 USD
Position Limit	10000BTC	100000ETH
Allowed Trading Bandwidth	$[TickSize, 2\cdot I]$	$[TickSize, 2\cdot I]$ [1]

表 2: 期货合约参数

Underlying	BTC Index	ETH Index
Symbol	BTC/ETH-29SEP23-2800-C/P	
Exercise Style	欧式	
Strike	100 USD 的整数倍，范围为 Index 价格的 50%～150%	
Min Order Size	0.1	1
Tick Size	1 USD	0.1 USD
Multiplier	1	1
Short Position Limit	10000BTC	100000ETH
Allowed Trading Bandwidth	C:$[\max(F-K, TickSize), F]$ P:$[\max(K-F, TickSize), K]$ 其中，F 为同期限期货的标记价格	

表 3: 期权合约参数

3.2 清算和结算

3.2.1 组合保证金 (Portfolio Margin)

Dederi 采用组合保证金制度，以极大的提高交易者的资金效率。单个策略内的多个头寸共同决定该策略所需要的保证金数量，并实时计算。当一个策略

[1] 指数价格和标记价格算法见附录 A.1 & A.2

内同时持有多个可互相抵消对冲的头寸时，所需的保证金会显著低于普通保证金模式。
当建立新策略或在已有策略中增加头寸时，需要的保证金金额为 Initial Margin(IM)；需要维持一个策略的最低保证金数量为 Maintainace Margin (MM)，当该策略亏损导致 Equity 低于 MM 时，该策略会处于可强制清算状态。

3.2.2 强制清算 (Liquidating)

Dederi 采用第三方清算人模式。任何人都可以清算人的身份 (Liquidator) 对处于可清算状态的策略发起清算 (Liquidating),在验证待清算策略状态通过之后，Dederi 会计算出公允的清算价 LiquidatingPrice [2], 如果 Liquidator 同意该价格进行清算，Liquidator 将支付足额保证金并获得被清算策略的所有头寸。

3.2.3 自动减仓 (Auto-Deleveraging/ADL)

如果处于可清算状态的策略没有被及时清算，且账户风险情况继续恶化时，就会触发 ADL 清算。触发 ADL 的策略内所有头寸的对手头寸将会按照当前杠杆收益比 (LeveragePnL) 从高到低的顺序依次被减仓，直到触发 ADL 的策略内所有头寸均被抵扣平仓。

3.3 交易

Dederi 协议不能进行价格发现，也意味着没有交易订单簿和撮合引擎。任何人都可以通过调用 Dederi 的一个或多个合约来直接使用 Dederi 提供的衍生品清结算服务。
同时，我们也开发了 Dederi-RFQ，提供了一套场外交易询报价交易工具应用，以满足衍生品的场外交易需求，并吸引做市商提供流动性。另外，我们还开发了 Dederi-Builder，一个图形化的策略 (结构化产品) 构建工具，以帮助用户更简单的构建结构化产品或策略组合。这两个工具应用将在下文中做详细介绍。

4 Builder，RFQ，AMM

4.1 Dederi-RFQ：询报价平台工具

通过直接调用链上合约来使用 Dederi 协议，其体验对于很多潜在的用户是不友好的，所以我们开发了基于 Dederi 协议的第一个应用，一个衍生品场外交易询报价工具：Dederi-RFQ。
Dederi-RFQ 提供的功能有：

- 策略构建，包括逐个头寸构建和导入常用策略模版
- 发起询价，包括开仓询价和平仓询价，可新建策略或合并到已有策略
- 对其他人的询价进行筛选和报价，包括新建策略报价和合并到已有策略的报价
- 拆分单个策略中的头寸至多个策略
- 合并多个策略中的头寸至单个策略
- 调整策略保证金
- 交易和风险参数展示
- 平仓询价

基于以上功能，任何不熟悉链上合约的用户都能链接自己的链上钱包，并简单的通过 Dederi-RFQ 图形界面来进行交易。对于专业交易者，RFQ 工具提供了场外做市的机会，对于普通的交易者，Dederi-RFQ 提供了目前 Defi 领域内功能最全面，最符合真实交易需求的衍生品工具，任何人都可以轻松的构建衍生品交易头寸或策略，并在链上实现清结算。这给市场提供了除中心化交易所外的另一选择。目前 Dederi-RFQ 已经上线公测版。

4.2 Dederi-Builder：一种基于 Pay-Off 的图形化结构化工具

为了帮助用户更简单的构建策略，我们还开发了一个图形化的 postion builder 工具，即 Dederi-Builder。和其他的 position builder 工具一样，它可以直接计算已添加的头寸组合的整体 Pay-Off，并图形化展示。除此之外，Dederi-Builder 支持在 Pay-Off 图中直接调整组合的单个头寸，进一步降低 Structring 的门槛，任何用户都可以在经过简单的尝试之后，轻松的构建自己的结构化产品。目前，Dederi-Builder 已经内嵌至 Dederi-RFQ。

4.3 AMM Pool：自动化做市池

我们正在开发一个自动化做市池，对 Dederi-RFQ 中的询价或爆仓策略进行自动化报价。基于 Dederi 的 MarkPrice 算法对期货基差的定价和对期权波动率的定价，附加基于做市池的 Greeks 风险调整之后，在做市池规模允许范围内为整个 Dederi 协议上的交易请求提供流动性。
该做市池须解决流动性提供者 (LPs) 的收益与保证

[2] 清算价算法见附录 A.2.4.

报价的竞争力这一矛盾，需进行大量的计算和测试，会在准备充分后推出。

5 Dederi 未来生态

随着 Dederi 建立并完善衍生品合约的去中心化发行，清算和结算等基础设施后，将具备发展出丰富衍生品交易生态的潜力，如：

- 去中心化衍生品交易所：建立基于 Dederi 清结算体系的中心化或去中心化衍生品交易所，交易标的为 Dederi 发行的策略 (NFT)，吸引流动性以提供更充分和更公允的衍生品定价；
- 去中心化资产管理：直接使用 Dederi 策略进行被动型资管产品 (如期权结构化产品) 的募集，交易执行，分发和退出，并且全流程完全透明和去中心化。
- 支持更多的底层资产：除 BTC 和 ETH 外，Dederi 将很容易的拓展支持更多的资产，如 Altcoins，指数，利率等。

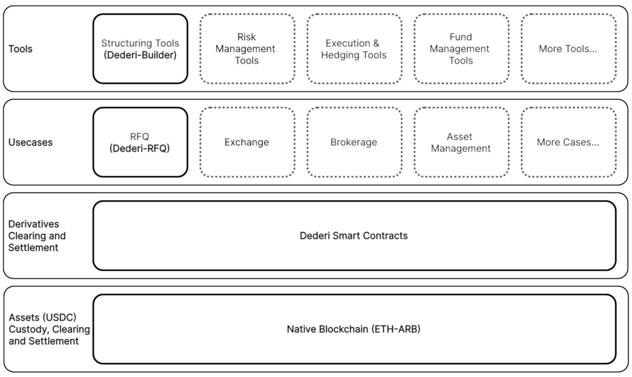

图 2: Dederi 未来生态

生态的建立需要众多的参与者，任何人或机构都可以使用 Dederi 为基础来搭建以上提到的或未提到的更多的应用，Dederi 团队将会持续提供技术支持。

Dederi 也计划在不远的将来推出 Dederi Token，以进一步对生态贡献者，包括交易者和建设者提供激励。

附录 A Dederi 指数和标记价格算法及示例

A.1 指数价格 (Index Price)

Dederi 使用的指数价格包括 BTC 指数和 ETH 指数，具体通过对 Bitstamp、Gemini、Bitfinex、Coinbase、Binance 五家交易所的最新现货价格进行以下计算和校验得到。如果存在 3 分钟以上延迟的情况，这个交易所数据将被剔除，只将其余交易所数据纳入指数计算。指数价格每秒更新，通过预言机喂价至链上。具体算法如下：

A.1.1 计算指数价格

取各交易所最新中间价作为样本价格 P:

$$P = \frac{Bid + Ask}{2} \tag{1}$$

找到中位数作基准价格 $BenchmarkPrice$:

$$BenchmarkPrice = median(P_1, P_2, \ldots, P_n) \tag{2}$$

将所有价格限定在基准价 +/-0.5% 的区间内，得到调整后的样本价格 $\tilde{P}_k$:

$$\tilde{P}_k = \text{clamp}\left(P_k, BenchmarkPrice \cdot 99.5\%, BenchmarkPrice \cdot 100.5\%\right) \tag{3}$$

计算等权重平均值得到指数价格 $IndexPrice$:

$$IndexPrice = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \tilde{P}_k \tag{4}$$

A.1.2 链上价格交叉校验

将计算出的指数价格与 Chainlink 和 UniSwap 的指数价格进行价差比较:

$$\min\left(\frac{|IndexPrice - P_{\text{Chainlink}}|}{IndexPrice}, \frac{|IndexPrice - P_{\text{Uniswap}}|}{IndexPrice}\right) \le MaxIndexDiscrepancy \tag{5}$$

若两组比较的价差中有至少一组比例不超过限定范围 $MaxIndexDiscrepancy(MID)$ 时，本次计算的 $IndexPrice$ 有效，取用；反之则提示异常，$IndexPrice$ 被调整为：
$\min(LastIndexPrice \cdot (1 + MID), MedianPrice)$，若 $LastIndexPrice < MedianPrice$;

$\max(LastIndexPrice \cdot (1 - MID), MedianPrice)$, 若 $LastIndexPrice > MedianPrice$.

其中,$LastIndexPrice$ 为上一刻发布的 $IndexPrice$, $MedianPrice$ 计算方法如下:

$$\text{median}\{Index, ChainlinkPrice, UniswapPrice\} \quad (6)$$

示例 1:在 2024 年 1 月 9 日下午 3:22,我们从五个交易所收集了如下市场数据。假设上一秒指数价格为 46,212.56。已知 ChainLink 和 UniSwap 提供的价格分别为 46,725.12 和 46,334.29。Dederi 指数价格算法如下:

价格\交易所	Bitstamp	Gemini	Bitfinex	Coinbase	Binance
最低的卖价 Ask	46869.52	46873.84	46849	46862.39	46838.09
最高的买价 Bid	46869.21	46867.88	46848	46860.61	46838.08
样本价格 P	46869.37	46870.86	46849	46861.50	46838.09
基准价格 Benchmark Price	46861.50				
调整后样本价格 Adjusted Price	46869.37	46870.86	46849	46861.50	46838.09
未验证指数价格 Unverified Index	46857.66				
链上交叉校验 Cross Verification	(Index - ChainLink) / Index = 0.28% (within range) (Index - UniSwap) / Index = 1.12% (out of range) 与ChainLink的价差在1%以内,未验证指数价格通过校验				
指数价格 Dederi Index	46857.66				

A.2 标记价格 (Mark Price)

标记价格是 Dederi 出于风险管理和清算目的,对期货价格和期权价格的一个公允估计值。合理的标记价格是计算保证金的必备要素之一,该值会随着市场波动不断更新以更好地反映市场风险水平。

A.2.1 期货标记价格与年化基差率

根据期货定价理论,定义到期日为 T 的期货标记价格为:

$$F_t = I_t \cdot e^{ABR(T)\cdot(T-t)} \quad (7)$$

其中,I_t 为 Dederi 的指数价格,t 为当前时间,$ABR(T)$ (Annualized Basis Rate) 为对应到期日 T 的期货合约的年化基差率。

我们取 Deribit 不同期限期货交割合约的最新价格数据 $\{(T_i, F_t^{T_i})\}_{i=1,2,\ldots,n}$,反算得到不同期限的 $ABR(T_i)$:

$$ABR(T_i) = \frac{1}{T_i - t}\log(\frac{F_t^{T_i}}{S_t}) \quad (8)$$

其中,S_t 为对应标的的指数价格。

通过对这些数据进行插值处理,我们便能得到任何给定到期日 T 对应的期货合约的年化基差率 ABR。Dederi 的 ABR 更新频率为每小时更新。

A.2.2 期权波动率与波动率曲面

在期权定价中,波动率是最核心的要素。Black-Scholes 模型假设资产价格遵循恒定波动率的几何布朗运动,但实际市场波动率会随行权价和到期时间变化。拟合波动率曲面能够更好的避免严格套利同时揭示定价偏误,有助于做市商纠正报价减少风险敞口。

我们采用 SVI 模型 [1] 拟合场内交易所的隐含波动率曲面。对于具有相同到期日 T 的一系列期权,给定一组待定参数集合 $\chi_R = \{a, b, \rho, m, \sigma\}$,假设行权价 K 期权对应的总隐含方差 (total implied variance) 符合以下公式:

$$\omega(k;\chi_R) = a + b\left[\rho(k-m) + \sqrt{(k-m)^2 + \sigma^2}\right] \quad (9)$$

简记为 $\omega(k)$,则隐含波动率 $IV(K,T)$ 为:

$$IV(K,T) = \sqrt{\frac{\omega(k)}{T-t}} \quad (10)$$

其中,t 为当前时间,$k = log(K/F_t^T)$ 为行权价 K 的对数转换,表示对数在值程度。

我们获取 Derbit 虚值期权不同行权价 K 对应的隐含波动率数据 $\{(K_i, v_i)\}_{i=1,2,\ldots,n}$,$F_t^T$ 为对应期限的标的期货价格,则有:

$$k_i = log(K_i/F_t^T) \quad (11)$$

$$\omega(k_i) = v_i^2 \cdot (T-t) \quad (12)$$

通过上式可得数据集 $\{(k_i, \omega_i)\}_{i=1,2,\ldots,n}$。我们进而采用 Quasi-Explicit 方法 [2] 对 SVI 原式进行参数转换 (降维)。
定义 $u = \frac{k-m}{\sigma}$,式 (8) 可被转化为:

$$\omega(u) = a + b\sigma\left[\rho u + \sqrt{u^2+1}\right] \quad (13)$$

定义 $c = b\sigma, d = \rho b\sigma$ 则有:

$$\omega(u) = a + du + c\sqrt{1+u^2} \quad (14)$$

我们固定一组 m 和 σ 的值,用最小二乘的方法求解

$\{a, c, d\}$:

$$\min_{a,c,d \in D} \sum_{i=1}^{n} \left(a + du_i + c\sqrt{1+u_i^2} - \omega_i\right)^2 \tag{15}$$

其中，求解区域 D 为：

$$D = \begin{cases} 0 \leq c \leq 4\sigma \\ |d| \leq \min(c, 4\sigma - c) \\ 0 \leq a \leq \max_i \{\omega_i\} \end{cases} \tag{16}$$

式 (14) 求解结果为特定 (m, σ) 参数组合下的最优参数集 $\{a^*, c^*, d^*\}$，通过 (c^*, d^*) 可计算得到原模型表达式的对应参数 (b^*, ρ^*)。

因此，我们可以将拟合问题进一步转化为两层嵌套的优化问题，即：

$$\min_{\sigma,m} \sum_{i=1}^{n} \left(\omega_{a^*,b^*,\rho^*,m,\sigma}(k_i) - \omega_i\right)^2 \tag{17}$$

最终，将最优参数集 $\{a^*, b^*, \rho^*, m^*, \sigma^*\}$ 应用到期权的隐含波动率计算中，进而通过插值的方法便可得到 Dederi 经过校准的波动率曲面。

A.2.3 期权标记价格

期权标记价格通过 Black 模型 [3] 计算得到。F_t 为对应标的期货的标记价格，r 为无风险利率：

$$c(K,T) = e^{-r(T-t)}[F_t N(d_1) - KN(d_2)] \tag{18}$$

$$p(K,T) = e^{-r(T-t)}[KN(-d_2) - F_t N(-d_1)] \tag{19}$$

其中

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F_t}{K}) + (\frac{\sigma^2}{2})(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \tag{20}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t} \tag{21}$$

示例 2：Emma 持有一张 BTC-10JAN24-43000-C，目前，此期权的标的期货价格为 42,562.84，距离到期还剩 0.0195 年。假设隐含波动率为 0.353，计算看涨期权价格。

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{42563}{43000}) + (\frac{0.353^2}{2})(0.0195)}{0.353\sqrt{0.0195}} = -0.1827$$

$$d_2 = -0.1827 - 0.353\sqrt{0.0195} = -0.2319$$

$$c(K,T) = 42563 \cdot 0.43 - 43000 \cdot 0.41 = 640.65$$

A.2.4 清算价格 (Liquidating Price)

首先，以最近 10 分钟的指数价格进行时间加权平均 (TWAP) 后，计算出平滑标记价格 $(SmoothMarkPrice, SMP)$，期货与期权的平滑标记价格则分别是 $FSMP$ 和 $OSMP$；其次，我们需要通过平滑标记价格 SMP 计算账户仓位的维持保证金率 $(MMRatio)$，如果超过 100%，那么当前账户进入可清算状态；最后，在平滑标记价格基础上分别引入多空调整因子，调整后便能得到最终的清算价 (仓位接管价)。

定义期货和期权的清算价分别为 $FLDP$ 和 $OLDP$：

$$FLDP = \begin{cases} FSMP/(1 + LongFLDF), Q_f > 0 \\ FSMP \cdot (1 + ShortFLDF), Q_f < 0 \end{cases} \tag{22}$$

$$OLDP = \begin{cases} OSMP/(1 + LongOLDF), Q_o > 0 \\ OSMP \cdot (1 + ShortOLDF), Q_o < 0 \end{cases} \tag{23}$$

示例 3:Jaz 创建了一个策略,由 1 张 BTC-23FEB24-39800-C 期权空头 (持仓价 1000)，以及 1 张 BTC-23FEB24 期货空头 (持仓价 43100) 组成。当前策略保证金总额是 20090.54，MM Ratio 为 66.86%。
假设在到期日前的某一天，市场在 BTC 利好消息的驱动下大涨。Jaz 的仓位在某一时刻起的十分钟内期权平滑标记价格涨到了 3000，期货平滑价格也涨到了 45700，Jaz 策略的 MM Ratio 超过了 100%，进入可被清算的状态。由于 $Q_f < 0$ 及 $Q_o < 0$：

$$FSDP = 45700 \cdot (1 + 10\%) = 50270$$

$$OSDP = 3000 \cdot (1 + 15\%) = 3450$$

A.2.5 附录 A 参数

参数[3]	数值
MaxIndexDiscrepancy	0.01
r	0
LongFLDF	0.1
ShortFLDF	0.1
LongOLDF	0.15
ShortOLDF	0.15

[3]注：以上参数以 Dederi 官网公布最新数值为准

附录 B　组合保证金算法及示例

为精确评估组合保证金可能面临的最大损失，我们综合考虑了两个关键因素：期货价格正负 15% 波动幅度以及期权隐含波动率的最大变动幅度 $MaxIVChange$。在此基础上，我们同时考虑了期货或期权仓位大小对现有流动性的潜在影响，分别引入期货调整保证金 ($FutureContingency$) 以及期权调整保证金 ($OptionContingency$)。基于这些考虑，我们最终能够推算出整个投资组合的保证金要求。

B.1　期货最大损失与调整保证金

假设到期日为 T_i 的期货 i 的标记价格为 $F_0^{T_i}$，当前仓位是 Q_i。价格波动系数为 Δ_k, 其中 Δ_k 是集合 $\Omega(PriceShockRange)$ 的一个元素。期货模拟盈亏 ($FutureSimPnL, FSimPnL$) 计算方法如下:

$$\begin{aligned} FSimPnL &= \sum_i [Q_i \left(F_0^{T_i}(1+\Delta_k)\right) - Q_i F_0^{T_i}] \\ &= \Delta_k \sum_i Q_i F_0^{T_i} \end{aligned} \tag{24}$$

期货调整保证金 ($FutureContingency, FContgy$) 的设置考虑到交易可能对市场流动性产生的负面影响。特别是对于大仓位的交易者而言，交易带来的流动性冲击尤为显著。通过将期货调整保证金纳入保证金的计算，可以有效减轻因交易导致的流动性变化引起的潜在风险。

$$FContgy = FContgyFA \cdot I_0 \cdot \sum_{i=1}^{N} |Q_i| \tag{25}$$

示例 4: Alice 持有合约大小为 $Q_1 = 10$ ETH-10JAN24 期货的多头。当前日期是 2023 年 12 月 21 日，她的仓位会在 20 天后，即 2024 年 1 月 12 日到期。假设当前的年化溢价率 $ABR = 0.08$，当前的指数价格 $I_0 = 2243.31$，计算需要收取的期货调整保证金与期货模拟盈亏。

$$F_0 = 2243.31 \cdot e^{0.08 \cdot \left(\frac{20}{365}\right)} = 2253.17$$

$$F_{\text{Contgy}} = 0.006 \cdot 2243.31 \cdot 10 = 134.60$$

FuturesSimPnL											
Price Shock	-15%	-12%	-9%	-6%	-3%	**0**	3%	6%	9%	12%	15%
P&L	-3380	-2704	-2028	-1352	-676	**0**	676	1352	2028	2704	3380

$$FutureMaxLoss = 3380$$

B.2　期权最大损失与调整保证金

B.2.1　期权最大损失

假设当前时间为 t，期权 i 的行权价和到期时间分别是 K 和 T_i, 相同到期日的期货的标记价格为 $F_0^{T_i}$。期货价格在 +/-15% 之间波动的情况可以表示为：

$$F_k^{T_i} = (1+\Delta_k) F_0^{T_i} \tag{26}$$

对于隐含波动率，我们考虑上升、持平、下降三个场景，具体通过计算不同场景下对应的 $MaxIVChange$ 得到：

$$MaxIVChange_{\text{up}} = \left(\frac{30}{T_{\text{days}}}\right)^{VPower} \cdot UpFA \tag{27}$$

$$MaxIVChange_{\text{down}} = \left(\frac{30}{T_{\text{days}}}\right)^{VPower} \cdot DownFA \tag{28}$$

$VPower$ 根据 T_{days}(距离到期日的天数 $(T_i - t) \cdot 365days$) 得到。如果 T_{days} 大于 30, $VPower$ 将会被设置为 $LongTermVPower$; 相反，如果 T_{days} 小于等于 30, $VPower$ 将会被设置为 $ShortTermVPower$.

假设当前的隐含波动率为 σ_i，在使用 $MaxIVChange$ 对当前的隐含波动率进行调整后，我们能得到对应上升、持平、下降三种场景下调整后的隐含波动率，即：$\sigma_i^{down} = \sigma_i \left(1 - MaxIVChange_{down}\right), \sigma_i, \sigma_i^{up} = \sigma_i \left(1 + MaxIVChange_{up}\right)$。

将初始入参 $F_0^{T_i}, T_i, \sigma_i, K, r$ 带入 Black 模型我们能得到当前市场情况下，不同期权类型 (看涨/看跌)、不同行权价的初始期权价格。我们逐个将不同期货价格以及不同波动率带入 Black 模型，会得到 33 个期权价格 (11 个 $\Delta_k \cdot 3$ 种情景)。最后，分别拿这些价格与对应相同类型且相同行权价的初始期权价格做差，得到的结果即期权模拟盈亏 ($OptionSimPnL, OSimPnL$)。其算法如下：

$$\begin{aligned} OSimPnL_k^{up} &= \sum_{i=1}^{N} \left[Q_i \left(Black(F_k^{T_i}, T_i, \sigma_i^{up}) - Black(F_0^{T_i}, T_i, \sigma_i)\right)\right] \\ OSimPnL_k^{same} &= \sum_{i=1}^{N} \left[Q_i \left(Black(F_k^{T_i}, T_i, \sigma_i^{same}) - Black(F_0^{T_i}, T_i, \sigma_i)\right)\right] \\ OSimPnL_k^{down} &= \sum_{i=1}^{N} \left[Q_i \left(Black(F_k^{T_i}, T_i, \sigma_i^{down}) - Black(F_0^{T_i}, T_i, \sigma_i)\right)\right] \end{aligned} \tag{29}$$

其中 $Black$ 指用 Black 模型计算期权价格

示例 5：延续上一个例子，当前标的期货价格 $F_0 = 2253.17$。另外，Alice 除了拥有 10 张 ETH-10JAN24 期货合约多头外，同时拥有 10 张 ETH-10JAN24-2300-C 看涨期权多头，到期时间和波动率分别为 $(T_i - t) = \frac{20}{365}$ 以及 $\sigma_i = 0.2$：

$$MaxIVChange_{\mathrm{up}} = (\frac{30}{20})^{0.3} \cdot 0.45 = 0.5082$$
$$MaxIVChange_{\mathrm{down}} = (\frac{30}{20})^{0.3} \cdot 0.3 = 0.3388$$
$$\sigma_i^{up} = 0.2 \cdot (1 + 0.508) = 0.3016$$
$$\sigma_i^{down} = 0.2 \cdot (1 - 0.339) = 0.1322$$

OptionSimPnL				
Price Shock	Futures Price	up	same	down
-15%	1915.19	-229.18	-231.39	-231.40
-12%	1982.79	-221.70	-231.19	-231.40
-9%	2050.38	-197.98	-229.05	-231.38
-6%	2117.98	-138.04	-215.14	-230.58
-3%	2185.57	-13.86	-157.95	-217.02
0%	2253.17	202.62	0.00	-124.54
3%	2320.77	528.36	311.83	169.67
6%	2388.36	962.46	782.87	691.44
9%	2455.96	1487.82	1368.83	1332.67
12%	2523.55	2079.30	2014.17	2004.40
15%	2591.15	2712.50	2682.04	2680.07

$$OptionMaxLoss = 231.4$$

B.2.2 期权调整保证金

期权调整保证金 ($OptionContingency, OContgy$) 与期货调整保证金类似，考虑到期权交易会对流动性造成影响。将其纳入保证金的计算，可以有效减轻因交易导致的流动性变化引起的潜在风险。首先，对于给定到期日 i 的期权 K^i，将这些期权按照行权价大小排序 (即 $K_1, K_2, ..., K_n$)。在此基础上，依次计算行权价 j 的期权头寸：

$$StrikePos(K_j^i) = CallPos(K_j^i) + PutPos(K_j^i) \quad (30)$$

1. 计算调整后头寸 $AdjStrikePos$：

$$AdjStrikePos(K_j^i) = \begin{cases} \mathrm{StrikePos} \cdot \frac{\left|\frac{K_j^i - F}{F}\right|}{\mathrm{ATMRange}}, & \text{if } \left|\frac{K_j^i - F}{F}\right| < \mathrm{ATMRange} \\ \mathrm{StrikePos}, & \text{else} \end{cases} \quad (31)$$

2. 基于调整后头寸计算净头寸 $NetPosition$：
对于最靠近 $ATMRange$ 的两个行权价，直接使用调整后的头寸作为净头寸。

从最近的两个行权价开始，向两端扩展至所有行权价。具体来说，接近 $ATMRange$ 的较大行权价向最大行权价逐个依次扩展，而接近 $ATMRange$ 的较小行权价则向最小行权价逐个依次扩展。

如果前一行权价对应的净头寸为正，当前行权价的净头寸就等于当前行权价的调整头寸加上前一行权价的净头寸；如果前一行权价对应的净头寸为 0 或为负，当前行权价的净头寸就等于当前行权价的调整头寸。

3. 计算期权调整保证金 $OContgy$：

$$ContgyFAPos_i = -\sum_{j=1}^{n} \min(NetPosition(K_j), 0) \quad (32)$$

$$TotalContgyFAPos = \sum_{i=1}^{M} ContgyFAPos_i \quad (33)$$

$$OContgy = OContgyFA \cdot TotalContgyFAPos \cdot I_0 \quad (34)$$

B.3 组合保证金

B.3.1 保证金豁免政策

如果仅持有期权多仓，Dederi 不会收取保证金。

B.3.2 保证金指标

$$SimpleMM = -\min\left\{0, \min_{\Delta_k \in \Omega}\left\{\min_{\Theta \in \Lambda}\{FutureSimPnL_k + OptionSimPnL_k^{\Theta}\}\right\}\right\} \quad (35)$$

其中，Λ 代表上升、持平、下降的集合，Ω 同 2.1。

$$MM = SimpleMM + FContgy + OContgy \quad (36)$$

$$IM = InitialMarginFA \cdot MM \quad (37)$$

$$IMRatio = \frac{IM}{Equity} \quad (38)$$

$$MMRatio = \frac{MM}{Equity} \quad (39)$$

示例 6：接续前例，当前指数价格 $I_0 = 2243.31$，对应的标的期货价格 $F_0 = 2253.17$。Alice 整体的投资组合包括：
1. 持有 10 张 ETH-10JAN24-2200-C 的多头头寸和 15 张 ETH-10JAN24-2200-P 的空头头寸，执行价格 $K_1 = 2200$；2. 持有 5 张 ETH-10JAN24-2500-P 的

空头头寸，执行价格 $K_2 = 2500$。基于标的期货不同的价格变动大小以及不同波动率场景，Alice 所有头寸的模拟盈亏如下：

Price Change	Futures	Option			Total	Vol
	10Jan24	10Jan24				
	ETH	ETH				
		2200-P	2200-C	2500-P		
Size	10	-15	10	-15		
-15%	-3379.76	-4342.19	-484.96	-1704.95	-9911.86	up
	-3379.76	-4055.93	-675.80	-1687.98	-9799.47	same
	-3379.76	-3976.04	-729.06	-1687.32	-9772.17	down
-12%	-2703.80	-3547.33	-338.92	-1382.41	-7972.46	up
	-2703.80	-3150.90	-603.20	-1351.59	-7809.50	same
	-2703.80	-2991.10	-709.74	-1349.36	-7754.00	down
-9%	-2027.85	-2830.41	-140.92	-1069.38	-6068.55	up
	-2027.85	-2329.40	-474.92	-1017.89	-5850.06	same
	-2027.85	-2065.42	-650.90	-1011.49	-5755.68	down
-6%	-1351.90	-2199.27	114.28	-769.31	-4206.20	up
	-1351.90	-1618.17	-273.12	-689.91	-3933.11	same
	-1351.90	-1256.54	-514.21	-674.20	-3796.85	down
-3%	-675.95	-1657.39	428.97	-485.80	-2390.16	up
	-675.95	-1035.04	14.08	-372.48	-2069.39	same
	-675.95	-620.71	-262.15	-339.25	-1898.06	down
0%	0.00	-1203.73	802.49	-222.27	-623.51	up
	0.00	-584.29	389.53	-72.10	-266.87	same
	0.00	-182.27	121.51	-11.58	-72.33	down
3%	675.95	-833.31	1231.49	18.38	1092.51	up
	675.95	-256.52	846.97	203.76	1470.15	same
	675.95	79.05	623.25	298.85	1677.10	down
6%	1351.90	-538.17	1710.68	234.05	2758.46	up
	1351.90	-32.37	1373.48	448.06	3141.08	same
	1351.90	212.88	1209.98	577.22	3351.98	down
9%	2027.85	-308.50	2233.52	423.63	4376.51	up
	2027.85	111.93	1953.23	655.65	4748.67	same
	2027.85	271.78	1846.66	808.09	4954.39	down
12%	2703.80	-133.78	2792.99	587.06	5950.07	up
	2703.80	199.56	2570.77	824.28	6298.41	same
	2703.80	294.16	2507.70	981.88	6487.54	down
15%	3379.76	-3.71	3382.23	725.22	7483.49	up
	3379.76	249.87	3213.17	955.00	7797.80	same
	3379.76	301.54	3178.73	1099.11	7959.13	down

在这个例子中，期货价格下跌 15% 且波动率“上升”的场景下，整体最大损失为 -9911.86，故：

$$SimpleMM = -min(0, -9911.86) = 9911.86$$

根据上文计算步骤可以得到 $OContgy$：

1. 调整后头寸：

Strike Price	**K=2200**	**K=2500**
Strike Position	5.00	-15.00
absolute $\frac{K-F}{F}$	1.93%	11.44%
within ATM Range	TRUE	FALSE
Adjusted Strike Position	0.97	-15.00

2. 基于调整后头寸计算净头寸：

$$NetPosition(2500) = AdjStrikePos(2500) = -15$$
$$NetPosition(2200) = AdjStrikePos(2200) = 0.97$$

3. 计算期权调整保证金：

$$ContingencyFactorPosition = -(-15) = 15$$
$$OptionContingency = 2243.31 \cdot 0.01 \cdot 15 = 336.50$$

由此，我们可以得到保证金指标：

$$MM = 9911.86 + 134.60 + 336.50 = 10382.96$$
$$IM = 130\% \cdot 10382.96 = 13497.85$$

B.3.3 附录 B 参数

参数[4]	数值
FContgyFA	0.006
OContgyFA	0.01
UpFA	0.45
DownFA	0.30
ShortTermVPower	0.3
LongTermVPower	0.13
ATMRange	0.1
InitialMarginFA	1.30
PriceShockRange	[-15%,-12%,...,15%]

参考文献

[1] Gatheral, J. and Jacquier, A. (2014). Arbitrage-free SVI volatility surfaces. *Quantitative Finance*, 14(1), pp.59-71.

[2] Zeliade Systems. (2009). Quasi-explicit calibration of Gatheral's SVI model. *Zeliade White Paper.*

[3] Black, F. (1976). The pricing of commodity contracts. *Journal of financial economics*, 3(1-2), 167-179.

[4]注：以上参数以 Dederi 官网公布最新数值为准