POW 算法实验指导书

实验课时：3 学时
实验认识 3-4 人

一、实验名称

Pow 共识算法的实践

二、实验内容

理解 POW 算法的工作原理和流程，能够使用编程语言实现 POW 算法

三、实验环境

GO 开发环境：go1.18.1
IDE 开发工具：vscode
操作系统：windows 11

四、算法描述

POW（Proof of Work，工作量证明）是一种用于比特币和其他加密货币的共识算法。它的核心思想是通过利用 HASH 运算的复杂度进行 CPU 运算实现工作量确定，当然也可以利用卷积求导、大质数分解这些复杂的运算来达到证明的目的。通过这种方式，可以保证节点没有欺骗行为，从而确保整个网络的安全性。

在 POW 算法中，节点需要进行一定量的计算，才能获得一个区块的记账权。这个计算过程需要大量的计算资源，因此一般只能由拥有专业设备的矿工来完成。每次计算都会依据区块头中的数据生成一组哈希值，如果这组哈希值符合一定规则（即满足指定的复杂度要求），那么这个节点就可以获得一个新区块的记账权。

五、实验过程

POW 算法的流程如下：

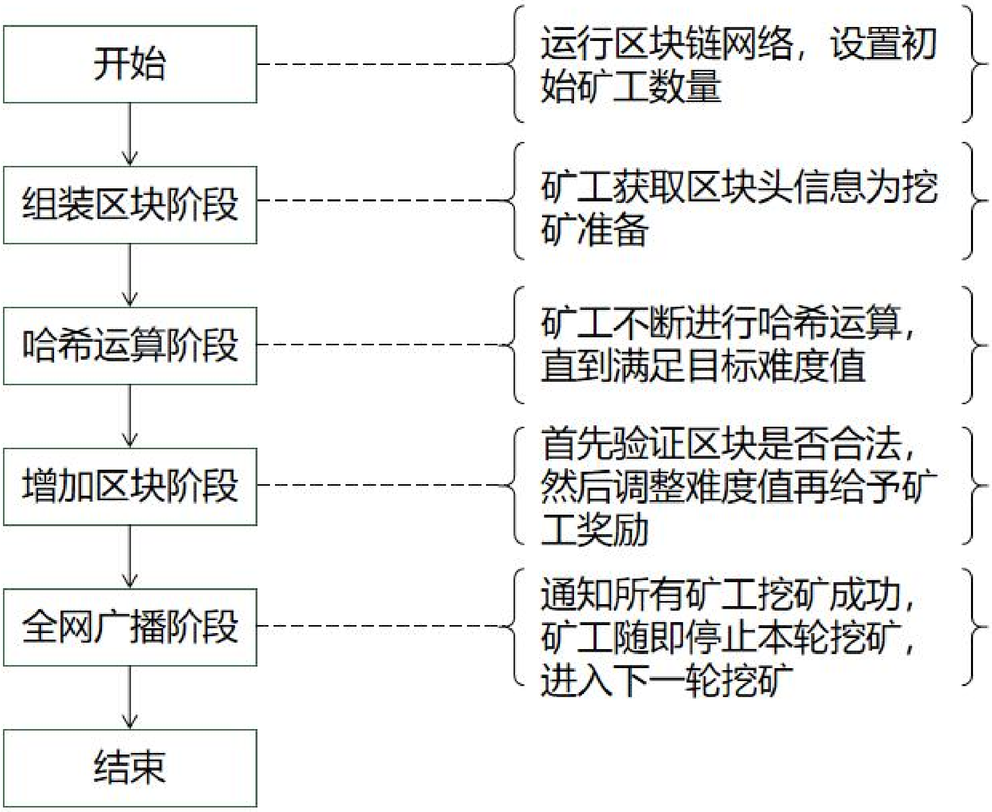

开始
运行区块链网络，设置初始矿工数量
组装区块阶段
矿工获取区块头信息为挖矿准备
哈希运算阶段
矿工不断进行哈希运算，直到满足目标难度值
增加区块阶段
首先验证区块是否合法，然后调整难度值再给予矿工奖励
全网广播阶段
通知所有矿工挖矿成功，矿工随即停止本轮挖矿，进入下一轮挖矿
结束

图 1：Pow 算法流程图

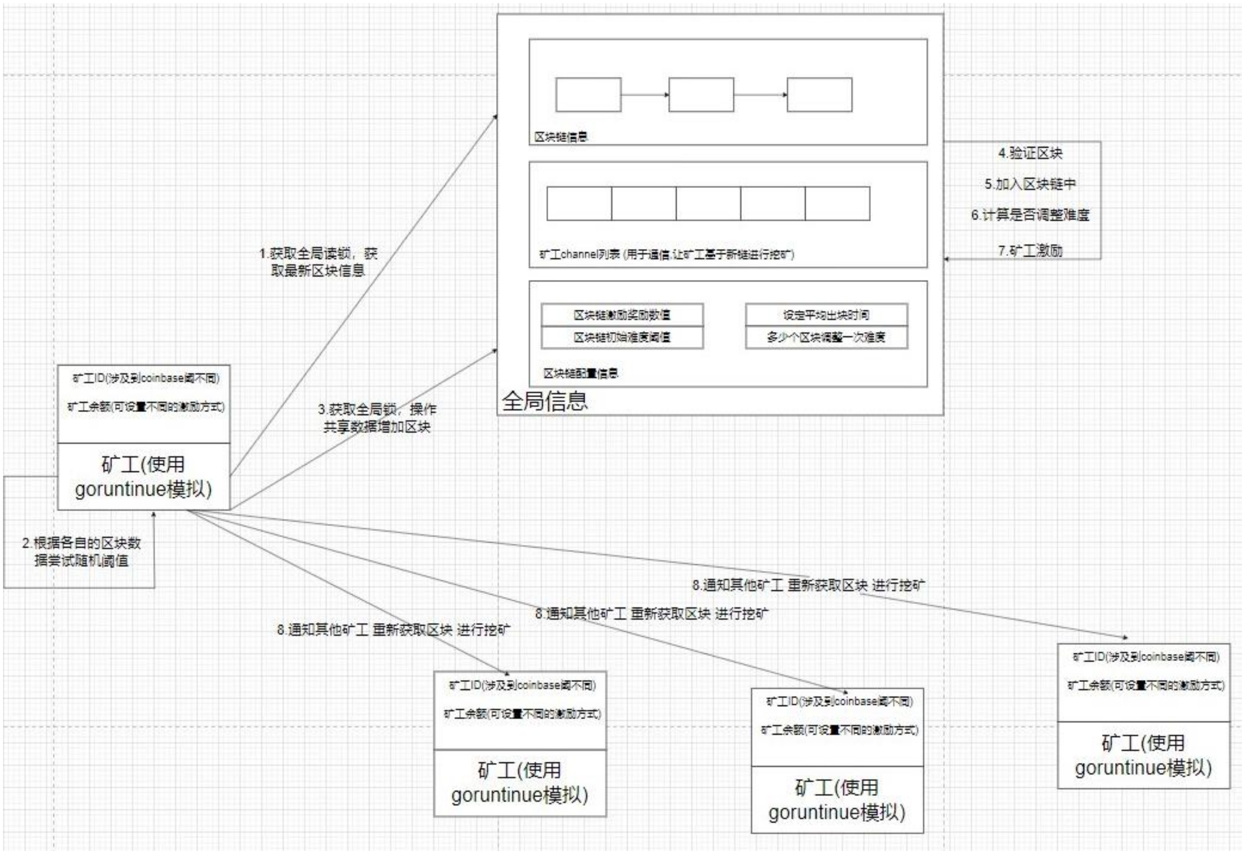

区块链信息
矿工channel列表 (用于通信.让矿工基于新链进行挖矿)
区块链激励奖励数值
区块链初始难度阈值
设定平均出块时间
多少个区块调整一次难度
区块链配置信息
全局信息
4.验证区块
5.加入区块链中
6.计算是否调整难度
7.矿工激励
1.获取全局读锁，获取最新区块信息
3.获取全局锁，操作共享数据增加区块
2.根据各自的区块数据尝试随机阈值
矿工ID(涉及到coinbase阈不同)
矿工余额(可设置不同的激励方式)
矿工(使用goruntinue模拟)
8.通知其他矿工 重新获取区块 进行挖矿

图 2：矿工结构图

数据结构如下：

```
var (
    //Nonce 循环上限
    maxNonce = math.MaxInt64
)

// Block  自定义区块结构
type Block struct {
    *BlockWithoutProof
    Proof
}

//区块的证明信息
type Proof struct {
    //实际的时间戳  由于比特币在挖矿中不光要变动 nonce 值  也要变动时间戳
    ActualTimestamp int64 `json:"actualTimestamp"`
    //随机值
    Nonce int64 `json:"nonce"`
    //当前块哈希
    hash []byte
    //  转换成十六进制可读
    HashHex string `json:"hashHex"`
}

//不带证明信息的区块
type BlockWithoutProof struct {
    //  挖矿成功矿工
    CoinBase int64 `json:"coinBase"`
    //时间戳
    timestamp int64
    //数据域
    data []byte
    //前一块 hash
    prevBlockHash []byte
    //前一块 hash
    PrevBlockHashHex string `json:"prevBlockHashHex"`
    //目标阈值
    TargetBit float64 `json:"targetBit"`
}

//矿工结构
type Miner struct {
    //矿工 ID
```

```
    Id int64 `json:"id"`
    //矿工账户余额
    Balance uint `json:"balance"`
    //当前矿工正在挖的区块
    blockchain *Blockchain
    // 用于通知 当接收到新区块的时候 不应该从原有的链继续往后挖
    waitForSignal chan interface{} `json:"-"`
}

// Blockchain 区块链数据，因为是模拟，所以我们假设所有节点共享一条区块链数据，且所有节点共享所有矿工信息
type Blockchain struct {
    // 区块链配置信息
    config BlockchainConfig
    // 当前难度
    currentDifficulty float64
    // 区块列表
    blocks []Block
    // 矿工列表
    miners []Miner
    // 互斥锁 防止发生读写异常
    mutex *sync.RWMutex
}

//区块链配置信息
type BlockchainConfig struct {
    MinerCount                  int     // 矿工个数
    OutBlockTime                uint    // 平均出块时间
    InitialDifficulty           float64 // 初始难度
    ModifyDifficultyBlockNumber uint    // 每多少个区块修改一次难度阈值
    BookkeepingIncentives       uint    // 记账奖励
}

type BlockchainInfo struct {
    Blocks []*Block `json:"blocks"` // 区块列表
    Miners []*Miner `json:"miners"` // 矿工列表
}
```

1. 初始化阶段

此部分进行了矿工的初始化，以及创世区块的生成

```
func main() {
    var count int
    fmt.Printf("请输入初始矿工数量：")
    fmt.Scanf("%d", &count)
    time.Sleep(10000)
    fmt.Printf("开始挖矿")
    //新建区块链网络
    work := pow.NewBlockChainNetWork(pow.BlockchainConfig{
        //矿工数量
        MinerCount: count,
        //平均出块时间
        OutBlockTime: 10,
        //初始难道值
        InitialDifficulty: 20,
        //每多少个区块修改一次难度值
        ModifyDifficultyBlockNumber: 10,
        //每次记账奖励
        BookkeepingIncentives: 20,
    })
    //运行区块链网络
    work.RunBlockChainNetWork()
    //启动 web 服务
    web.RunRouter(work)
}

//新建一个区块链网络
func NewBlockChainNetWork(blockchainConfig BlockchainConfig) *Blockchain {
    b := &Blockchain{
        blocks:            nil,
        miners:            nil,
        config:            blockchainConfig,
        mutex:             &sync.RWMutex{},
        currentDifficulty: blockchainConfig.InitialDifficulty,
    }
    b.blocks = append(b.blocks, *GenerateGenesisBlock([]byte("")))
    //新建矿工
    for i := 0; i < blockchainConfig.MinerCount; i++ {
        miner := Miner{
            Id:            int64(i),
            Balance:       0,
            blockchain:    b,
            waitForSignal: make(chan interface{}, 1),
        }
        b.miners = append(b.miners, miner)
```

```
    }
    return b
}


//生成创世区块
func GenerateGenesisBlock(data []byte) *Block {
    b := &Block{BlockWithoutProof: &BlockWithoutProof{}}
    b.ActualTimestamp = time.Now().Unix()
    b.data = data
    return b
}

//  运行区块链网络
func (b *Blockchain) RunBlockChainNetWork() {
    for _, m := range b.miners {
        go m.run()
    }
}
```

2. 区块组装阶段

所有矿工同时获取了区块数据并将其组装为当前区块头部分，接下来哈希运算准备

```
//挖矿逻辑
func (m Miner) run() {
    count := 0
    //死循环
    for ; ; count++ {
        //根据全局信息组装去了
        blockWithoutProof := m.blockchain.assembleNewBlock(m.Id,
    []byte(fmt.Sprintf("模拟区块数据:%d:%d", m.Id, count)))
        block, finish := blockWithoutProof.Mine(m.waitForSignal)
        if !finish {
            //如果不满足条件则计数器增加继续计算 hash 并判断
            continue
        } else {
            //如果条件满足则增加区块
            m.blockchain.AddBlock(block, m.waitForSignal)
        }
    }
```

```
}

// 根据全局信息组装区块
func (b *Blockchain) assembleNewBlock(coinBase int64, data []byte) BlockWithoutProof {
    b.mutex.RLock()
    defer b.mutex.RUnlock()
    proof := BlockWithoutProof{
        CoinBase:          coinBase,
        timestamp:         time.Now().Unix(),
        data:              data,
        prevBlockHash:     b.blocks[len(b.blocks)-1].hash,
        TargetBit:         b.currentDifficulty,
        PrevBlockHashHex: b.blocks[len(b.blocks)-1].HashHex,
    }
    return proof
}
```

3. 哈希运算阶段

若矿工在哈希运算过程中收到其他矿工挖矿成功消息则停止挖矿

```
// Mine 挖矿函数
func (b *BlockWithoutProof) Mine(waitForSignal chan interface{}) (*Block, bool) {
    //target 为最终难度值
    target := big.NewInt(1)
    //target 为 1 向左位移 256-24（挖矿难度）
    target.Lsh(target, uint(256-b.TargetBit))

    var hashInt big.Int
    var hash [32]byte
    nonce := 0
    for nonce != maxNonce {
        // 判断一下是否别的矿工已经计算出来结果了 模拟 一旦收到其他矿工的交易，立即停止计算
        select {
        case _ = <-waitForSignal:
            return nil, false
        default:
```

```
            //准备数据整理为哈希
            data := b.prepareData(int64(nonce))
            //计算哈希
            hash = sha256.Sum256(data)
            hashInt.SetBytes(hash[:])
            //按字节比较，hashInt cmp 小于 0 代表找到目标 Nonce
            if hashInt.Cmp(target) < 0 {
                block := &Block{
                    BlockWithoutProof: b,
                    Proof: Proof{
                        Nonce:    int64(nonce),
                        hash:     hash[:],
                        HashHex: hex.EncodeToString(hash[:]),
                    },
                }
                return block, true
            } else {
                nonce++
            }
        }
    }
    return nil, false
}
```

其中涉及的方法：

```
// 准备数据 整理成待计算哈希
func (block *BlockWithoutProof) prepareData(nonce int64) []byte {
    data := bytes.Join(
        [][]byte{
            int2Hex(block.CoinBase),
            block.prevBlockHash,
            block.data,
            int2Hex(block.timestamp),
            int2Hex(int64(block.TargetBit)),
            int2Hex(nonce),
        },
        []byte{},
    )
```

```
	return data
}
```

4. 增加区块阶段

矿工打包的区块得到验证，即可加入区块链并且获得奖励

```
// 增加一个区块到区块链
func (bc *Blockchain) AddBlock(block *Block, signal chan interface{}) {
	bc.mutex.Lock()
	defer bc.mutex.Unlock()
	block.ActualTimestamp = time.Now().Unix()
	//验证新区块
	if !bc.verifyNewBlock(block) {
		return
	}

	bc.blocks = append(bc.blocks, *block)
	//根据挖矿难度调整难度值
	bc.adjustDifficulty()
	//给予挖矿矿工奖励
	bc.bookkeepingRewards(block.CoinBase)

	//通知所有矿工挖矿成功
	bc.notifyMiners(block.CoinBase)

	fmt.Printf(" %s: %d 节点挖出了一个新的区块 %s\n", time.Now(), block.CoinBase, block.HashHex)
}
```

涉及到的方法：

```
//验证新区块
func (bc *Blockchain) verifyNewBlock(block *Block) bool {
	prevBlock := bc.blocks[len(bc.blocks)-1]
	// 新区块 一定要符合 当前难度值的 要求
	if uint64(block.TargetBit) != uint64(bc.currentDifficulty) {
```

```
		return false
	}
	// hash 链一定要符合
	if string(prevBlock.hash) != string(block.prevBlockHash) {
		return false
	}
	// 区块 本身需要符合规范
	if !block.Verify() {
		return false
	}
	return true
}


//根据挖矿的时间调整难度值
func (bc *Blockchain) adjustDifficulty() {
	if uint(len(bc.blocks))%bc.config.ModifyDifficultyBlockNumber == 0 {
		block := bc.blocks[len(bc.blocks)-1]
		preDiff := bc.currentDifficulty
		actuallyTime := float64(block.ActualTimestamp - bc.blocks[uint(len(bc.blocks))-bc.config.ModifyDifficultyBlockNumber].ActualTimestamp)
		theoryTime := float64(bc.config.OutBlockTime * bc.config.ModifyDifficultyBlockNumber)
		ratio := theoryTime / actuallyTime
		if ratio > 1.1 {
			ratio = 1.1
		} else if ratio < 0.5 {
			ratio = 0.5
		}
		bc.currentDifficulty = bc.currentDifficulty * ratio
		fmt.Println("难度阈值改变  preDiff: ", preDiff, "nowDiff", bc.currentDifficulty)
	}
}


//给予挖矿成功的矿工奖励
func (bc *Blockchain) bookkeepingRewards(coinBase int64) {
	bc.miners[coinBase].Balance += bc.config.BookkeepingIncentives
}
```

5. 全网广播阶段

成功挖矿的矿工通知其他所有矿工

```
//通知所有矿工挖矿成功 重置矿工的 Block 字段
func (bc *Blockchain) notifyMiners(sponsor int64) {
	for i, miner := range bc.miners {
		if i != int(sponsor) {
			go func(signal chan interface{}) {
				signal <- struct{}{}
			}(miner.waitForSignal)
		}
	}
}
```

附：本实验采用 web 服务，若在挖矿过程中需增加矿工则访问 localhost:8080/addMiner 增加矿工，亦可访问 localhost:8080/getBlockChainInfo 获取到目前为止的打印信息

```
//运行 web 服务
//访问 localhost:8080/addMiner   可以增加矿工
//访问 localhost:8080/getBlockChainInfo   获取到目前为止打印的挖矿信息
func RunRouter(blockchain *pow.Blockchain) {
	r := gin.Default()
	r.GET("/addMiner", addMiner(blockchain))
	r.GET("/getBlockChainInfo", getBlockChainInfo(blockchain))
	r.Run()
}

//增加矿工
func addMiner(blockchain *pow.Blockchain) gin.HandlerFunc {
	return func(c *gin.Context) {
		blockchain.IncreaseMiner()
		c.JSON(200, gin.H{
			"message": "增加成功",
		})
	}
}

//打印挖矿信息
func getBlockChainInfo(blockchain *pow.Blockchain) gin.HandlerFunc {
	return func(c *gin.Context) {
```

```go
        blocks, miners := blockchain.GetBlockInfo()
        c.JSON(200, gin.H{
            "blocks": blocks,
            "miners": miners,
        })
    }
}

//增加矿工
func (bc *Blockchain) IncreaseMiner() bool {
    bc.mutex.Lock()
    defer bc.mutex.Unlock()
    var miner = Miner{
        Id:            int64(len(bc.miners)),
        Balance:       0,
        blockchain:    bc,
        waitForSignal: make(chan interface{}, 1),
    }
    bc.miners = append(bc.miners, miner)
    go miner.run()
    return true
}

//获取区块信息
func (bc *Blockchain) GetBlockInfo() ([]Block, []Miner) {
    bc.mutex.RLock()
    defer bc.mutex.RUnlock()
    blocks := make([]Block, len(bc.blocks))
    miners := make([]Miner, len(bc.miners))
    copy(blocks, bc.blocks)
    copy(miners, bc.miners)
    return blocks, miners
}
```

程序执行过程：

1.首先在根目录运行：

2.随后开始运行程序

```
PS E:\Consensus mechanism\Power Of Work (2)> go run main.go
```

3.需要输入初始矿工数量，后面可以在 web 中增加矿工数量

```
PS E:\Consensus mechanism\Power Of Work (2)> go run main.go
请输入初始矿工数量: 10
```

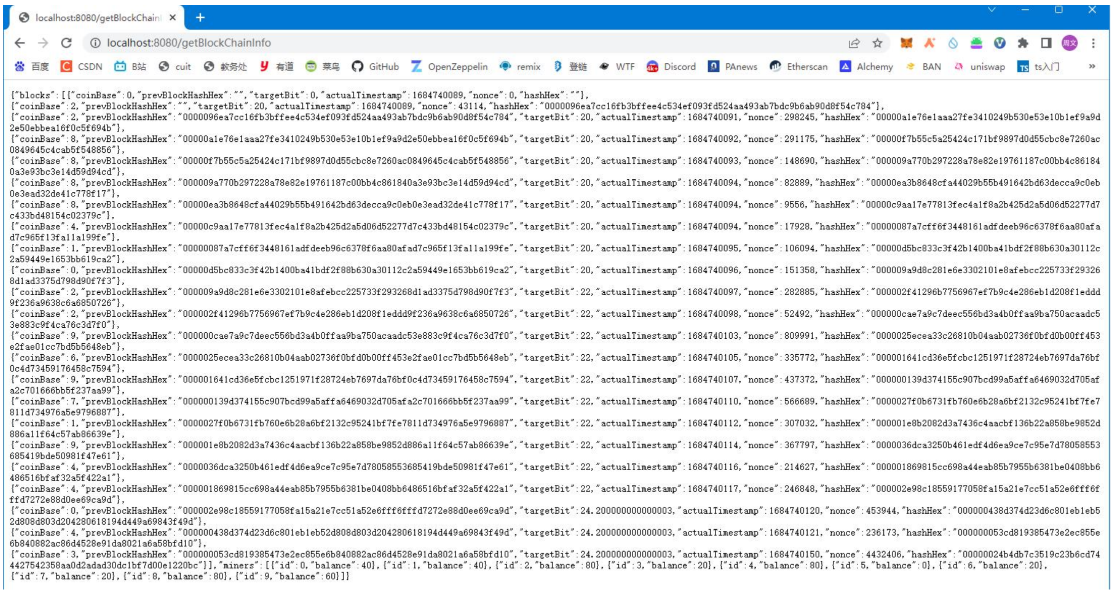
4.随后可以看见已经开始挖矿

```
请输入初始矿工数量: 10
开始挖矿[GIN-debug] [WARNING] Creating an Engine instance with the Logger and Recovery middleware already attached.

[GIN-debug] [WARNING] Running in "debug" mode. Switch to "release" mode in production.
 - using env:   export GIN_MODE=release
 - using code:  gin.SetMode(gin.ReleaseMode)

[GIN-debug] GET    /addMiner                 --> pow/web.addMiner.func1 (3 handlers)
[GIN-debug] GET    /getBlockChainInfo        --> pow/web.getBlockChainInfo.func1 (3 handlers)
[GIN-debug] [WARNING] You trusted all proxies, this is NOT safe. We recommend you to set a value.
Please check https://pkg.go.dev/github.com/gin-gonic/gin#readme-don-t-trust-all-proxies for details.
[GIN-debug] Environment variable PORT is undefined. Using port :8080 by default
[GIN-debug] Listening and serving HTTP on :8080
 2023-05-22 15:21:29.3670607 +0800 CST m=+41.614754301: 2 节点挖出了一个新的区块 0000096ea7cc16fb3bffee4c534ef093fd524aa493ab7bdc9b6ab90d8f54c784
 2023-05-22 15:21:31.1067929 +0800 CST m=+43.354486501: 2 节点挖出了一个新的区块 00000a1e76e1aaa27fe3410249b530e53e10b1ef9a9d2e50ebbea16f0c5f694b
 2023-05-22 15:21:32.953763 +0800 CST m=+45.201456601: 8 节点挖出了一个新的区块 00000f7b55c5a25424c171bf9897d0d55cbc8e7260ac0849645c4cab5f548856
 2023-05-22 15:21:33.8754362 +0800 CST m=+46.123129801: 8 节点挖出了一个新的区块 000009a770b297228a78e82e19761187c00bb4c861840a3e93bc3e14d59d94cd
 2023-05-22 15:21:34.3969409 +0800 CST m=+46.644634501: 8 节点挖出了一个新的区块 00000ea3b8648cfa44029b55b491642bd63decca9c0eb0e3ead32de41c778f17
```

5.浏览器访问 localhost:8080/getBlockChainInfo 获取区块链信息

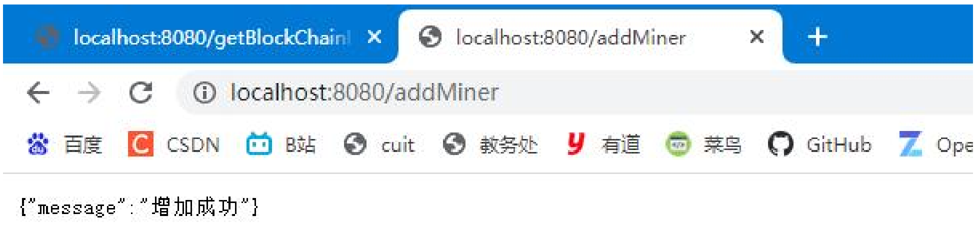


可以看见已经存在 id 为 0-9 的矿工节点，以及节点目前获得的挖矿奖励

分析每一条区块信息可以看见挖矿成功的矿工，前一区块的哈希，当前难度值，时间戳，随机数，交易哈希等信息。

{"coinBase":1,"prevBlockHashHex":"00000087a7cff6f3448161adfdeeb96c6378f6aa80afad7c965f13fa11a199fe","targetBit":20,"actualTimestamp":1684740095,"nonce":106094,"hashHex":"00000d5bc833c3f42b1400ba41bdf2f88b630a30112c2a59449e1653bb619ca2"},

6.访问 localhost:8080/addMiner 增加矿工



{"coinBase":3,"prevBlockHashHex":"000000528695c41bbdb43483728b693ea472022a7ef0016cf64a55af484f9567","targetBit":24.200000000000003,"actualTimestamp":1684740263,"nonce":2223807,"hashHex":"00000032f31a1e6994a749ca119ead74063f5106a6d48fd602e57f38a83c556e"}],"miners":[{"id":0,"balance":40},{"id":1,"balance":60},{"id":2,"balance":100},{"id":3,"balance":60},{"id":4,"balance":80},{"id":5,"balance":20},{"id":6,"balance":20},{"id":7,"balance":20},{"id":8,"balance":100},{"id":9,"balance":60},{"id":10,"balance":0}]}

可以看见目前存在 id 为 0-10 的矿工节点