区块链技术与应用
(2024年春季)

计算机科学与技术学院　李京

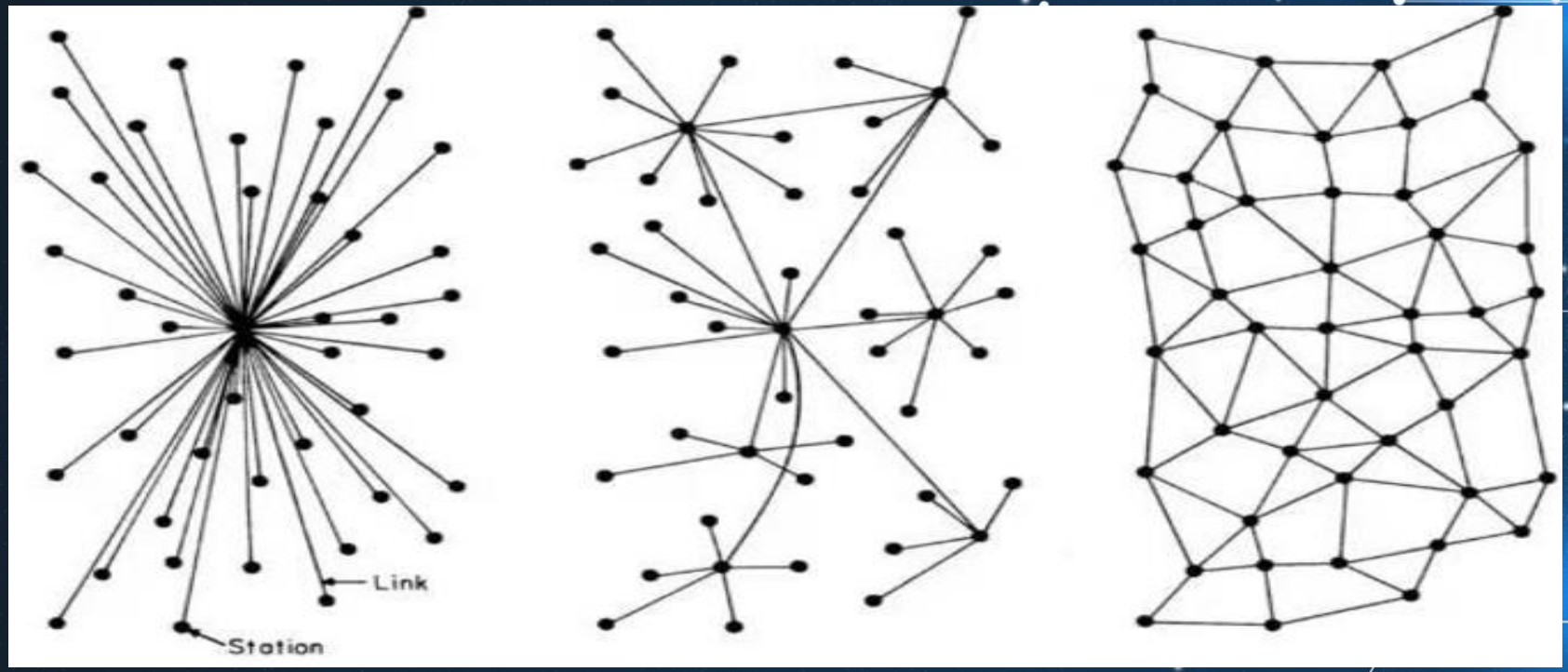
03章 区块链网络层

目 录

- 3.1 P2P网络
- 3.2 比特币区块链网络
- 3.3 数据传播协议
- 3.4 数据验证机制
- 3.5 矿池网络协议
- 3.6 区块链分叉

3.1 P2P网络

- 分布式系统的网络拓扑结构



(a) 中心化
私有链

(b) 多中心化
联盟链或私有链

(c) 去中心化
公有链

什么是P2P网络?

- P2P网络（Peer-to-Peer Network）即对等网络或对等计算机网络，也称“点对点”或“端对端”网络，是一种在对等网络实体（Peer）之间分配资源、任务和工作负载的分布式应用框架。
- 在P2P网络中，对等节点拥有同等特权，每个节点将其部分资源（如计算、存储、网络带宽）直接提供给其他节点使用，而不需要中央服务器进行中间协调。每台计算机既是服务器，又是客户端。
- 去中心化：网络中无需中央管理节点的存在。

P2P网络的特点

- 可扩展性强：节点可以自由加入和退出，P2P网络的自组织、自配置和自动负载均衡特性，破解了C/S模式下中心服务器的性能瓶颈问题。
- 健壮性好：服务和资源分散于各个节点，不经由第三方，无明显弱节点。
- 高性价比：有效利用分散于网络中大量节点上的空闲资源。
- 私密性：信息传输无需通过集中节点，所有节点都具备中继转发能力，大幅提高了通信的匿名性，个人隐私得到保护。
- 均衡性：资源和处理能力分布于多个节点，避免网络流量过于集中。

P2P网络的分类

根据网络结构的不同，P2P网络可以分为以下几种类型：

- 纯P2P (Pure P2P) 或 无结构化P2P：网络中的每个节点都既是客户端又是服务器。没有中央服务器来协调节点之间的通信。纯P2P网络强调去中心化，每个节点都对网络的健康状况和数据传输负责。例如：eDonkey和Gnutella。
- 集中式P2P (Centralized P2P)：尽管每个节点仍然可以作为服务器，但集中式P2P网络有中央服务器来协调节点之间的通信和数据交换。这些中央服务器通常用于索引和搜索功能，而实际的数据传输仍然在节点之间直接进行。Napster是集中式P2P网络的一个著名例子。
- 混合P2P (Hybrid P2P)：混合P2P网络结合了纯P2P和集中式P2P的特点。它们通常有一个中央服务器来处理搜索请求和索引，但数据传输是在节点之间直接进行的。这种结构试图平衡集中式和去中心化的优点，提高效率和可扩展性。例如，BitTorrent在某种程度上采用了这种结构。
- 结构化P2P网络：这类网络通过特定的规则和算法来组织节点和数据，以提高搜索效率和数据传输的性能。结构化P2P网络通常使用分布式哈希表 (Distributed Hash Tables, DHT) 或其他算法来维护网络的组织结构。例如，Chord和CAN（Content Addressable Network）是结构化P2P网络的例子。例如采用DHT的P2P网络使用分布式哈希表来管理数据的存储和检索。每个节点负责存储一部分数据索引，并帮助路由查询到正确的节点。这种结构允许网络在大量节点加入或离开时仍然保持高效。Kademlia协议就是一个典型的DHT实现。

P2P与覆盖网（Overlay Network）

- P2P网络通常构建在更底层的物理网络之上，并为特定应用提供支持，是典型的覆盖网络（OverLay Network）。
- 覆盖网络（OverLay Network）：建立在另一个网络上、并为更高层应用提供支持的中间层网络。
- 覆盖网络的作用：使得上层应用无需过多考虑与网络有关的对等实体发现、直接通信、数据安全、资源定位、网络标识及其分配、节点加入与退出、负载均衡等问题，将精力集中在业务功能实现上。

Gossip协议

- Gossip是流言的意思，Gossip协议受现实社会的流言蜚语或病毒的传播方式的启发而来。比如办公室八卦，只要一个人八卦一下，在有限的时间内所有的人都会知道该八卦的信息。Gossip有众多的别名“闲话算法”、“疫情传播算法”、“病毒感染算法”、“谣言传播算法”。
- Gossip协议也被称为反熵（Anti-Entropy），熵是物理学上的一个概念，代表杂乱无序，而反熵就是在杂乱中寻求一致，这充分说明了Gossip的特点：在一个有界网络中，每个节点都随机地与其他节点通信，经过一番杂乱无章的通信，最终所有节点的状态都会达成一致。每个节点可能知道所有其他节点，也可能仅知道几个邻居节点，只要这些节可以通过网络连通，最终它们的状态都是一致的，当然这也是疫情传播的特点。

Gossip协议流程

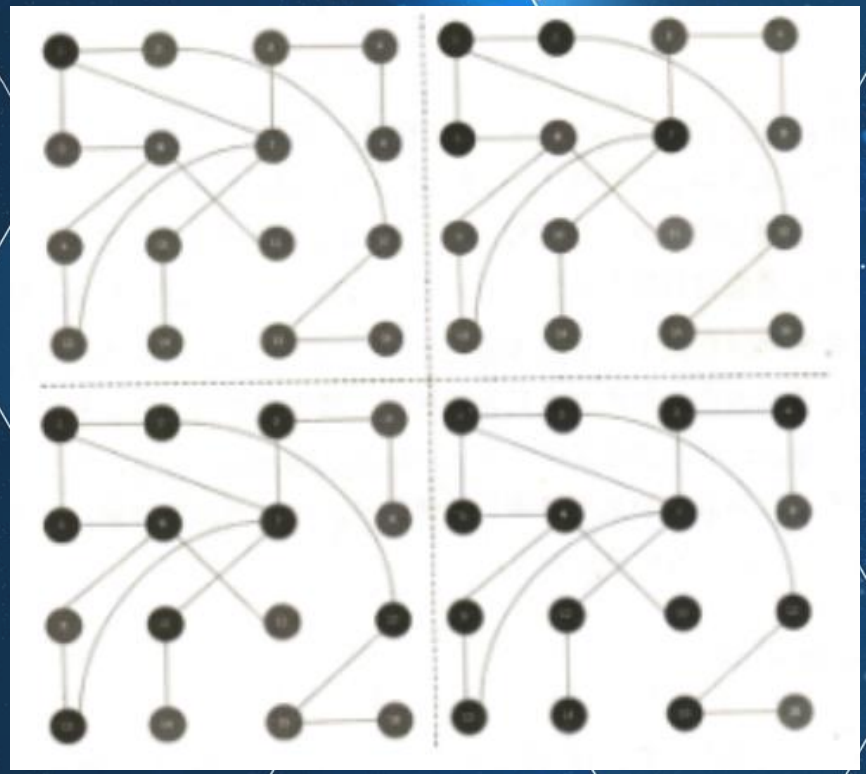
Gossip协议的步骤只有如下两步：

- 节点A周期性地选择相邻的K个节点，并且向这K个节点发送自身存储的数据。
- K个节点接收到A发送过来的数据后，发现自身没有相同的数据则存储下来，如果有则丢掉，并且重复节点A的行为。

Gossip协议节点间发送数据的方式有三种，以节点A向节点K发送数据为例，三种方式如下：

- push模式：节点A将数据(key,version,value)推送给相邻的K个节点，每个相邻节点根据version更新比本地新的数据。
- pull模式：节点A将数据(key,version)推送给相邻的K个节点，每个相邻节点将本地version比节点A新的数据推送给节点A。
- push/pull模式：结点A首先采用push模式更新相邻的K个节点，然后采用pull模式更新节点 A。

Gossip协议三种发送数据的方式，push模式需要通信一次，pull模式需要通信两次，pull/push模式需要通信三次，最终一致性的收敛速度与通信次数成正比。



Gossip协议本质和缺陷

Gossip协议的缺陷：

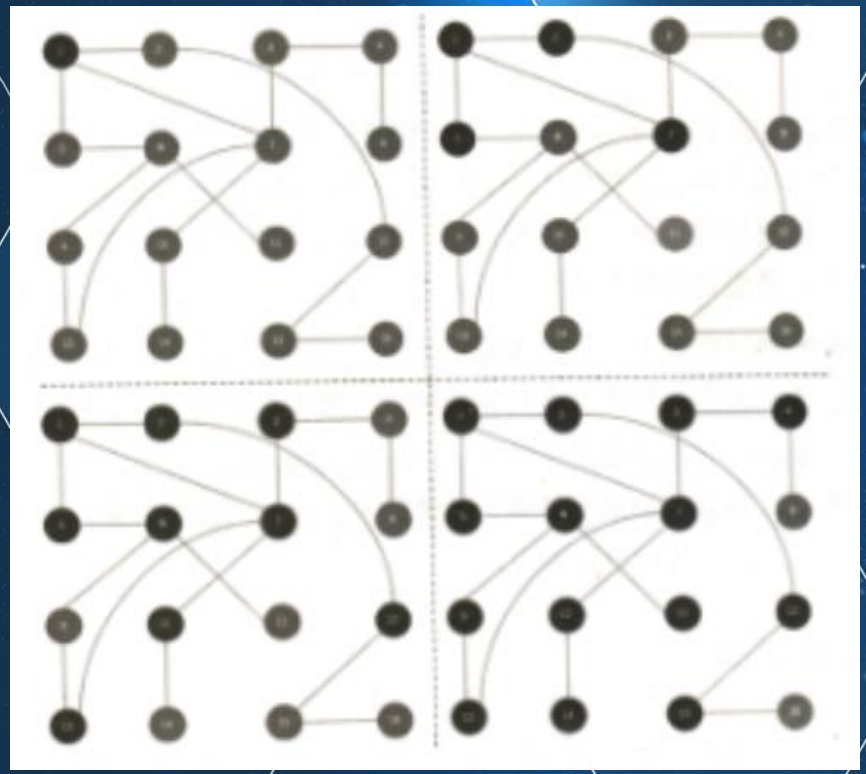
- 消息延迟
- 消息冗余

冗余通信会对网路带宽、CPU资源、IO带宽造成很大的负载。

Gossip本质：

- Gossip是一个带冗余的容错算法，进一步是一个最终一致性算法。虽然无法保证在某个时刻所有节点状态一致，但可以保证“最终”所有节点一致，“最终”是一个现实中存在，但理论上无法证明的时间点。
- Gossip不要求任一节点知道所有其他节点，具有去中心化的特点，节点之间完全对等，不需要任何的中心节点。

Gossip可以用于众多能接受“最终一致性”的领域：失败检测、路由同步、Pub/Sub、动态负载均衡等。



P2P网络应用经典案例

Napster——P2P网络的先驱

- Napster是P2P技术在文件分享领域的最先尝试
- 创新点在于通过构建存储音乐文件索引与存放位置的信息的Napster服务器
- 用户需要某个音乐文件时，首先与Napster服务器相连，检索信息，根据返回的存放节点择优再进行下载
- 中心化终归是隐患，不可避免地带来了系统瓶颈、单点故障等问题

BitTorrent——Napster衍生强化版

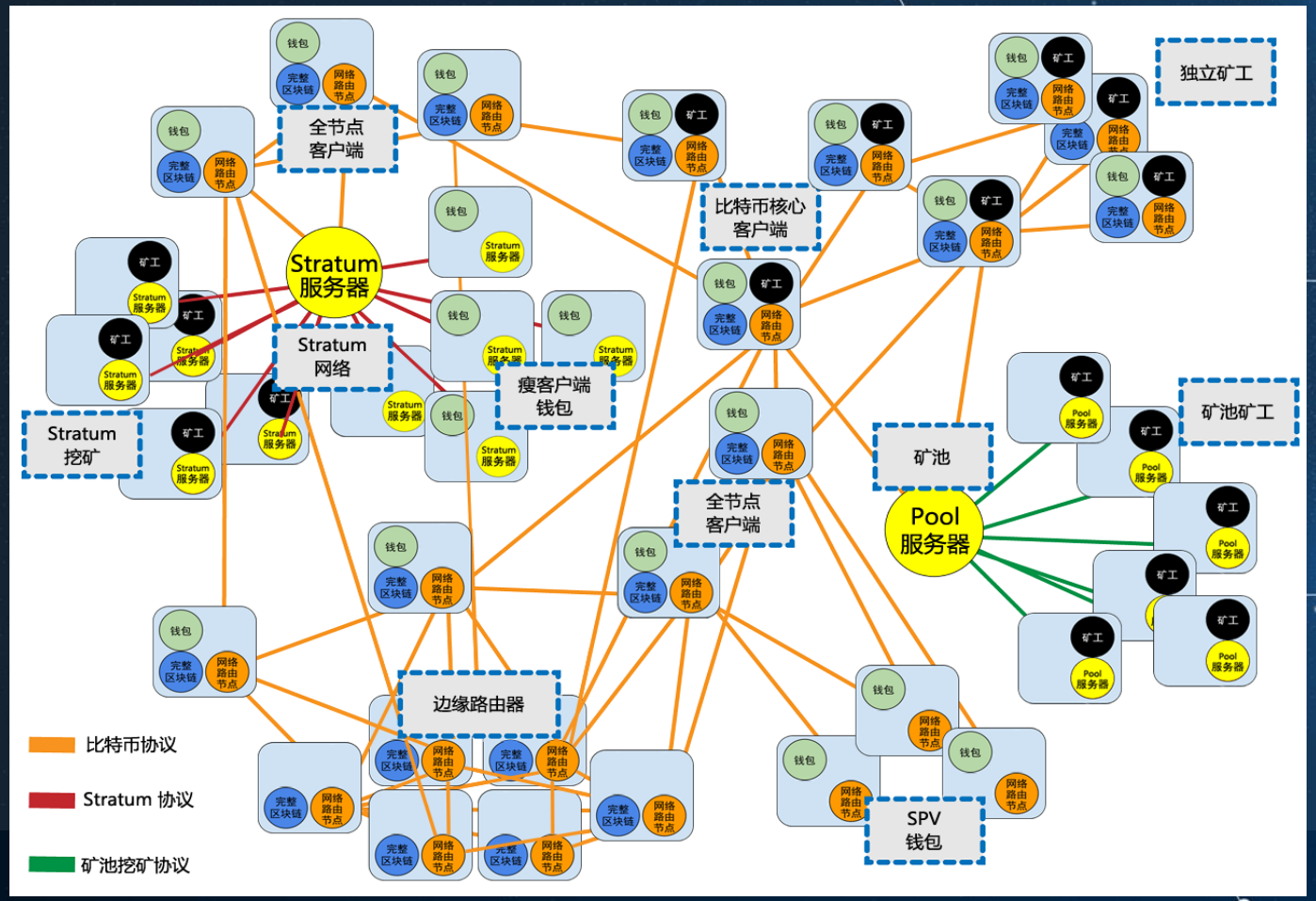
- BitTorrent网络中共享同一文件的用户形成一个独立的子网，从而将服务端分散化了，不会因为单点故障影响整体网络。
- 文件的持有者将文件发送给其中一名用户，再由这名用户转发给其它用户，用户之间相互转发自己所拥有的文件部分，直到每个用户的下载都全部完成。

区块链——去中心化和去中介化

- 区块链网络层大多是选择P2P模式作为其组网模型，其理念就是去中心化和去中介化
- P2P网络天然的全网均等的属性与区块链不谋而合
- 再加上P2P已经是发展成熟、经过考验的技术，二者的结合几乎是必然的

3.2 比特币区块链网络

- 比特币网络是一个典型的P2P网络，包括系统的组网方式、消息传播机制和验证机制。



比特币网络节点

- 比特币网络由多种类型的节点组成，其功能集合一般包括网络路由(Network Route，简写为N)、完整区块链(Full Blockchain，简写为B)、矿工(Miner，简写为M)、钱包(Wallet，简写为W)。每个区块链节点都参与全网路由，同时也可能包含其他功能。

全节点和轻节点

- 全节点：指那些下载并存储了比特币区块链完整副本的节点，拥有完整的、最新区块链数据的节点。
  - 它们对网络的去中心化和安全性至关重要，因为它们提供了独立验证交易的能力，不依赖于任何第三方。
  - 全节点不依赖于任何外部信息源来验证交易的历史和状态，因为它们自己就拥有所有必要的信息。
  - 验证所有的交易和区块，确保它们遵守比特币的协议规则。
  - 全节点可以参与比特币的治理过程，例如通过投票支持或反对协议更新。
  - 运行全节点需要较多的存储空间（随着区块链的增长而增加），计算资源和网络带宽。
- 轻节点/SPV节点：轻节点不存储完整的区块链副本，只保留区块头数据，依赖于信任全节点来获取区块链的数据。
  - 它们使用简单支付验证（SPV）的技术来验证交易，可以在不存储整个区块链的情况下验证交易的有效性。因此轻节点也称为SPV节点。
  - 轻节点通常用于那些不需要完整区块链数据的场景，例如移动设备或网页钱包。
  - 由于不存储完整区块链，轻节点在资源消耗上比全节点要少得多，但它们在安全性和隐私性方面依赖于所信任的全节点。
  - 轻节点无法独立验证区块链的历史，因此它们在某种程度上牺牲了去中心化的特性。

新节点加入区块链网络的方式

1. 选择网络：新节点需要确定要加入的区块链网络，例如比特币、以太坊或其他区块链网络。
2. 安装客户端软件：节点需要安装相应的区块链客户端软件。对于大多数区块链网络，如比特币和以太坊，都有官方推荐的客户端软件，例如Bitcoin Core和Geth/Parity（以太坊客户端）。
3. 配置节点：安装完成后，节点需要进行配置。通常包括设置网络参数、选择数据存储位置、配置端口以允许其他节点连接等。
4. 建立连接：新节点启动后，会立即开始尝试连接到其他已知的节点。这通常是通过内置的节点发现服务或者预先配置的节点列表来完成的。节点之间建立连接后，新节点可以开始接收来自网络的信息，包括区块链数据和其他节点的状态。
5. 同步区块链数据：一旦新节点成功连接到网络，会自动开始同步区块链数据。对于全节点来说，这意味着下载从创世区块到最新区块的所有区块链数据。这个过程可能需要较长时间，取决于区块链的大小和网络的带宽。
6. 验证和广播交易：一旦同步完成，节点就可以开始验证接收到的交易和区块，并将其广播给网络中的其他节点。全节点会独立验证每个交易和区块的有效性，而轻节点则依赖于其他全节点来完成验证。
7. 参与共识过程：对于某些区块链网络，节点可能还可以参与共识过程，例如通过挖矿（对于PoW区块链）或验证（对于PoS区块链）来帮助保护网络安全和添加新的区块到区块链上。
8. 维护节点：节点运行者需要定期更新软件，以确保与区块链网络的最新协议和安全标准保持一致。同时，也需要监控节点的性能和稳定性，确保其持续有效地为网络做出贡献。

比特币网络组网方式

新区块链节点加入区块链网络通过以下五种方式发现其他网络节点：

地址数据库

- 网络节点的地址信息会由地址管理器(**Address Manager**)存储在地址数据库peers.dat中。
- 节点启动时，由address manager载入。
- 节点第一次启动时，无法使用这种方式。

通过命令行指定

- 用户可以通过命令行方式将指定节点的地址传递给新节点。
- 命令行传递参数格式形如：
  -addnode <ip>
  或者
  -connect <ip>。

DNS种子

- 当地址数据库为空或者没有使用命令行指定，则可以使用DNS种子，默认有：

seed.bitcoin.sipa.be
dnsseed.bluematt.me
dnsseed.bitcoin.dashjr.org
seed.bitcoinstats.com
seed.bitcoin.jonasschnelli.ch
seed.btc.petertodd.org

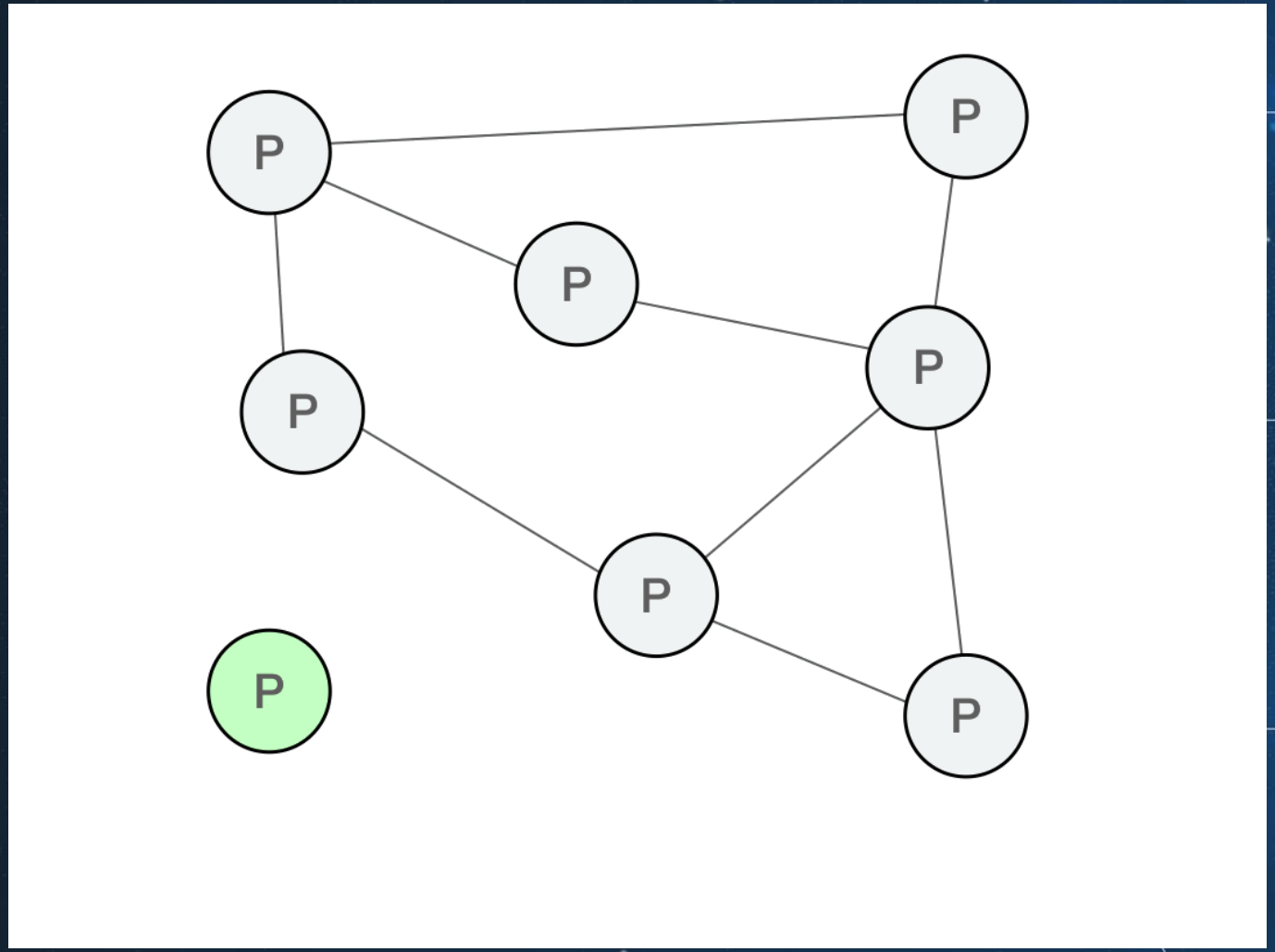
硬编码地址

- 如果DNS种子方式失败，还有最后的手段，即硬编码地址。
- 需要注意的是，需要避免DNS种子和硬编码种子节点的过载。
- 使用后应该断开与这些种子节点的连接

通过其他节点获得

- 节点间通过getaddr消息和addr消息交换IP地址信息

新节点加入网络



节点发现过程

1. 用户比特币程序启动时，并不知道任何活跃的全节点的IP地址;
2. 为了接入网络和发现这些地址，程序会向DNS地址(种子)发出查询请求;
3. DNS服务器返回的响应包（DNS的A记录）中会包含一个或多个全功能节点的IP地址

DNS种子服务器例子

```
// From: https://github.com/bitcoin/bitcoin/blob/master/src/chainparams.cpp

vSeeds.emplace_back("seed.bitcoin.sipa.be"); // Pieter Wuille, only supports x1, x5
vSeeds.emplace_back("dnsseed.bluematt.me"); // Matt Corallo, only supports x9
vSeeds.emplace_back("dnsseed.bitcoin.dashjr.org"); // Luke Dashjr
vSeeds.emplace_back("seed.bitcoinstats.com"); // Christian Decker, supports x1 - xf
vSeeds.emplace_back("seed.bitcoin.jonasschnelli.ch"); // Jonas Schnelli, only suppo
vSeeds.emplace_back("seed.btc.petertodd.org"); // Peter Todd, only supports x1, x5,
vSeeds.emplace_back("seed.bitcoin.sprovoost.nl"); // Sjors Provoost
vSeeds.emplace_back("dnsseed.emzy.de"); // Stephan Oeste
```

DNS种子服务器返回的信息

- 用Linux的dig命令查看某个DNS种子服务器返回的信息

```
$ dig seed.bitcoin.sipa.be

; <<>> DiG 9.10.6 <<>> seed.bitcoin.sipa.be
;; global options: +cmd
;; Got answer:
;; ->>HEADER<<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 64217
;; flags: qr rd ra; QUERY: 1, ANSWER: 25, AUTHORITY: 0, ADDITIONAL: 1

;; ANSWER SECTION:
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    214.99.158.195
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    202.230.171.5
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    20.79.84.168
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    91.173.63.7
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    45.74.113.110
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    168.160.113.156
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    29.239.106.205
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    25.142.230.178
seed.bitcoin.sipa.be.    3337    IN    A    146.73.72.54
# ... and so on.
```

3.3 数据传播协议

- 比特币节点间采用TCP协议通信，端口是8333。一个通用的区块链网络一般包括如下核心场景：

① 节点入网建立初始连接
② 节点地址传播发现
③ 矿工、全节点同步区块数据
④ 客户端创建一笔交易并广播
⑤ 矿工、全节点接受交易
⑥ 矿工、全节点挖出新区块，并广播到网络中
⑦ 矿工、全节点接收广播的区块

参考：“知乎：**比特币源码解读 - 消息处理**” https://zhuanlan.zhihu.com/p/121791191

比特币的数据传播协议

比特币的数据传播协议是比特币网络中节点之间交换信息的一系列规则和标准。这些协议确保了比特币交易和区块数据在去中心化网络中的有效传播和验证。比特币数据传播协议的关键组成部分包括：

1. P2P网络协议：比特币使用点对点（P2P）网络协议，允许节点直接连接并通信，无需中央服务器。节点可以是全节点，存储完整的区块链副本，或者是轻节点，只存储必要的数据。
2. 交易传播：当一个比特币节点接收到新交易时，验证通过后会将该交易添加到本地的内存池（mempool）中，并开始向其他节点广播该交易。交易的广播通常使用“洪泛”（flooding）策略，即节点将验证过的新交易发送给其已知的对等节点，而这些节点再继续广播给它们的对等节点，依此类推。
3. 区块传播：当矿工解决工作量证明（Proof of Work，PoW）难题并创建新区块后，新区块会被广播到网络中。节点验证新区块的有效性，包括检查区块内的交易、工作量证明以及区块是否遵循比特币协议规则。一旦区块被验证，它会被添加到区块链中，节点会将验证过的新区块的信息传播给其他节点。

比特币的数据传播协议

4. 数据验证和共识：比特币网络中的节点独立验证所有交易和区块，确保网络中的每个节点都同意当前的区块链状态。节点使用共识算法（如PoW）来达成一致，选择最长的有效区块链作为主链。
5. 协议升级和兼容性：比特币协议可以通过软分叉和硬分叉进行升级。软分叉是向后兼容的，旧节点可以继续参与网络，而硬分叉可能导致网络分裂，形成新的区块链。
6. 安全性和隐私：比特币协议包括加密和签名机制，确保交易的安全性和用户隐私。节点之间的通信可以使用Tor和SSL/TLS加密，以提高隐私和安全性。

消息(Message)

- 比特币的P2P网络中，节点之间通过发送和接收消息来交换信息。这些消息遵循特定的格式，以确保数据的一致性和网络的有效通信。
- 比特币消息基本格式：消息头+消息体

  - 起始字符串：奇异数（Magic Number：0xf9beb4d9），用于标识一个消息的开始
  - 命令名：ASCII形式的命令码，命令内容在消息体中
  - 消息体大小：以字节为单位，消息体的长度
  - 校验：校验值（消息体的双SHA256的前4个字节）

消息体

- 消息体又称消息负载（payload），是消息的实际数据部分，其内容取决于消息的类型。

  例如：

  - Version Message: 包含节点的协议版本、服务位、时间戳、节点的网络地址和随机数等信息。
  - Transaction Message (tx): 包含一笔比特币交易的详细信息，如输入、输出和锁定脚本等。
  - Block Message: 包含一个完整的比特币区块数据，包括区块头和所有交易。

消息示例

消息头定义（C语言）

```c
typedef struct {
    char magic_number[4]; // 魔数，用于标识网络（例如比特币主网、测试网等）
    char command[12];     // 消息命令，标识消息类型
    uint32_t payload_length; // 消息负载的长度（字节）
    uint32_t checksum;     // 消息的校验和
} CustomMessageHeader;
```

f9beb4d976657273696f6e00000000650005f1a69d27211010001000006600 0bc8f5e5400000100000000000c61b6
40928d01000000000000000006ffcb0071c0208d128035cbc97953f80f2f5361746f7368693302e392e332fcf5650001

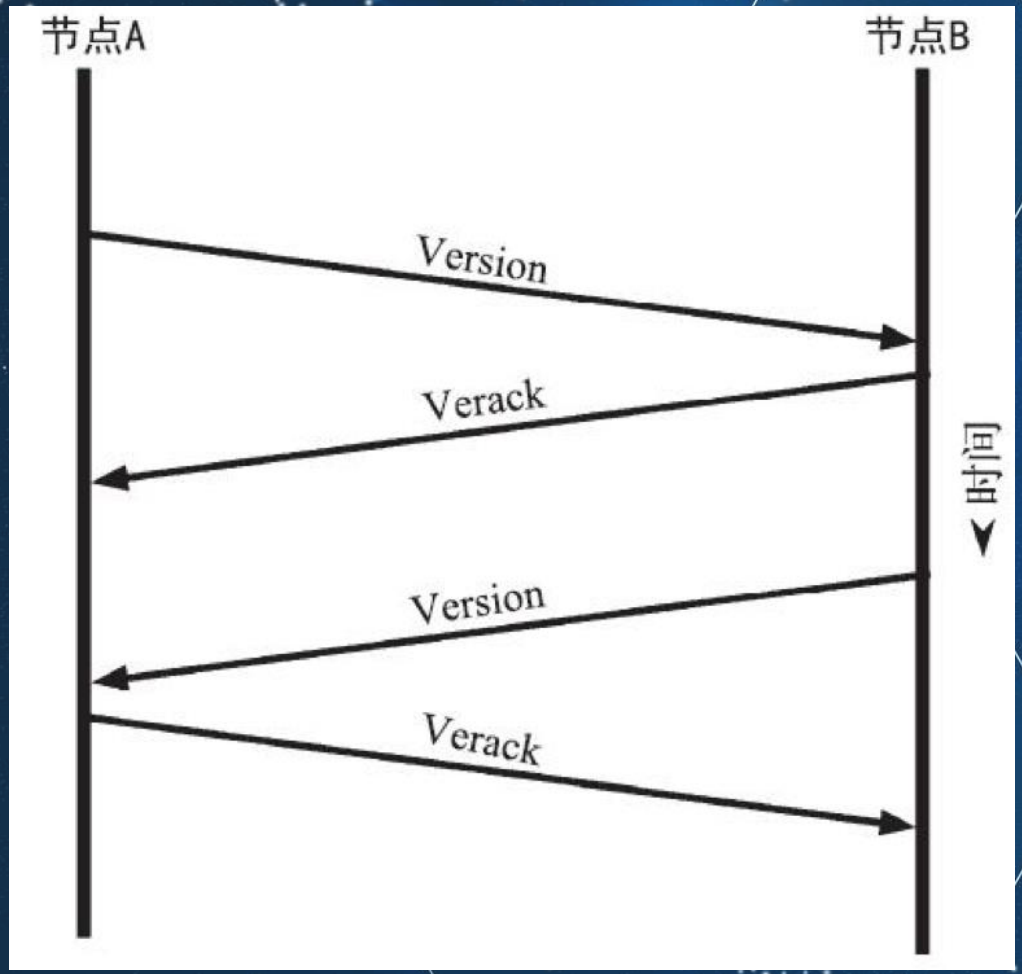
- f9beb4d9 -network magic (always 0xf9beb4d9 for mainnet)
- 76657273696f6e000000 -command, *version* 12 bytes human-readable
- 65000000 -pay Load Length, 4 bytes, Little-endian
- 5f1a69d2 -payload checksum, first 4 bytes of double SHA256 of the pay Load
- 7211.. -pay Load
  - Version (4 bytes): 协议版本号，用于指示发送节点使用的比特币协议的版本。
  - Services (8 bytes): 服务标志，一个64位的整数，表示节点提供的服务类型。这些服务类型定义了节点能够响应的请求类型。
  - Timestamp (8 bytes): 以Unix时间戳格式表示的当前时间，用于检测网络延迟和防止DDoS攻击。
  - Address Sender (26 bytes): 发送节点的网络地址，包括IP地址和端口号。
  - Address Receiver (26 bytes): 接收节点的网络地址，通常在初始的version消息中不使用。
  - Nonce (8 bytes): 一个随机数，用于初始化。
  - Subversion (Variable Length): 发送节点的辅助版本信息，通常是实现的软件名称和版本。
  - Start Height (4 bytes, 可选): 发送节点拥有的最新区块的高度。这个字段在协议版本0.3.19或更高版本中使用。

比特币常用消息的类型

1.version：版本消息，用于初始化连接。
2.verack：版本确认消息，表示已接收并确认对方的版本消息。
3.addr：地址消息，用于传播节点的IP地址和端口信息。
4.getaddr：请求地址消息，请求对方提供其已知的节点地址。
5.inv：发明消息，用于通知对方有新的数据项可用。
6.getdata：请求数据消息，用于请求特定数据项。
7.block：区块消息，用于传输区块数据。
8.tx：交易消息，用于传输交易数据。
9.getblocks：请求区块消息，用于请求区块头的列表。
10.blockheader：区块头部消息，用于传输区块头部数据。
11.getheaders：请求头部消息，用于请求区块链的头部信息。
12.headers：头部消息，用于传输一系列区块头部数据。
13. alert：警告消息，用于网络警告和通知。
14.sendheaders：发送头部消息，用于节点之间同步头部信息。
15.sendcmpct：发送紧凑区块消息，用于传输紧凑区块信息。
16.cmpctblock：紧凑区块消息，用于传输紧凑区块数据。
17.getblocktxn：请求区块交易消息，用于请求特定区块中的交易。
18.blocktxn：区块交易消息，用于传输区块中的交易数据。
19.getaddrv2：请求地址v2消息，用于请求节点的IP地址和端口信息，支持IPv6。
20.addrv2：地址v2消息，用于传播节点的IP地址和端口信息，支持IPv6。
21.getnodebloom：请求节点布隆过滤器消息，用于请求节点的布隆过滤器。
22.nodebloom：节点布隆过滤器消息，用于传输节点的布隆过滤器数据。
23.getutxos：请求未花费交易输出（UTXO）消息，用于请求特定交易输出的信息。
24.utxos：未花费交易输出消息，用于传输特定交易输出的数据。

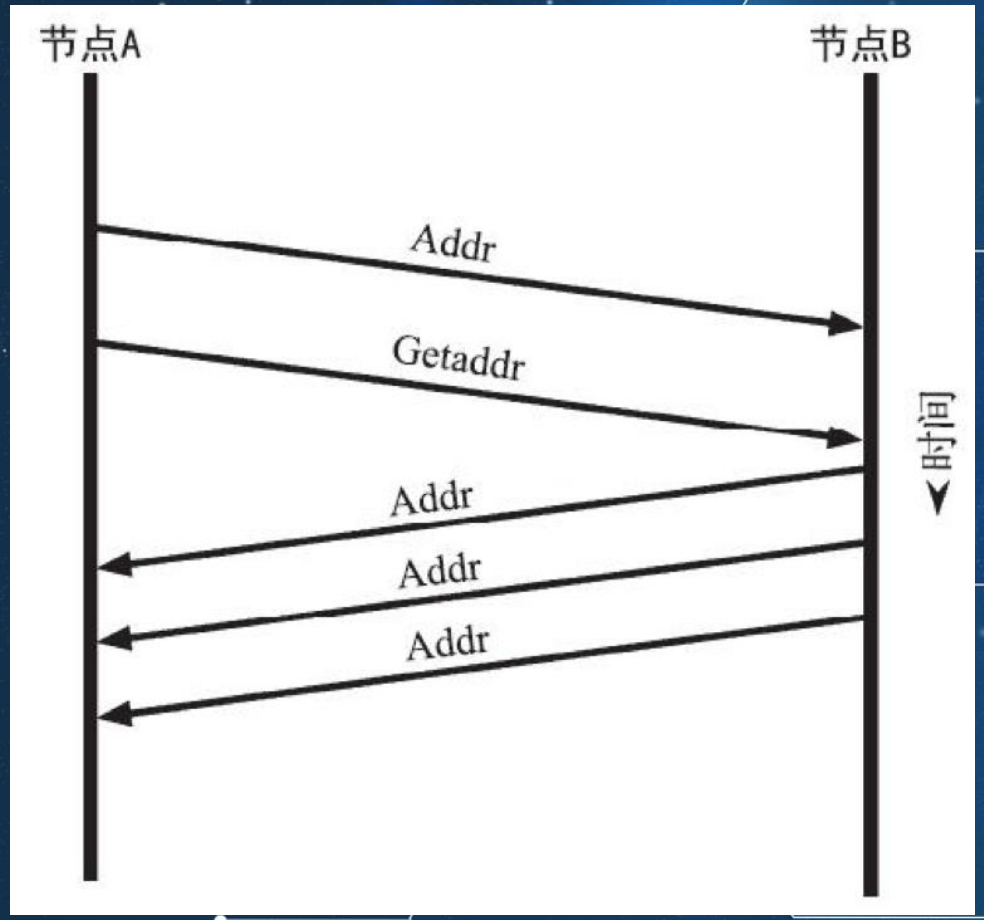
数据传播协议-建立初始连接

- 节点A通过发送Version消息到远端对等节点节点B表示连接成功，该消息包括当前节点的版本消息、区块和当前的时间；
- 节点B收到后检查兼容性，兼容则确定连接，返回Verack消息，也会向节点 A 发送它的Version消息；
- 节点 A 收到后检查兼容性，兼容则返回Verack消息，连接成功建立。



数据传播协议-地址广播及发现

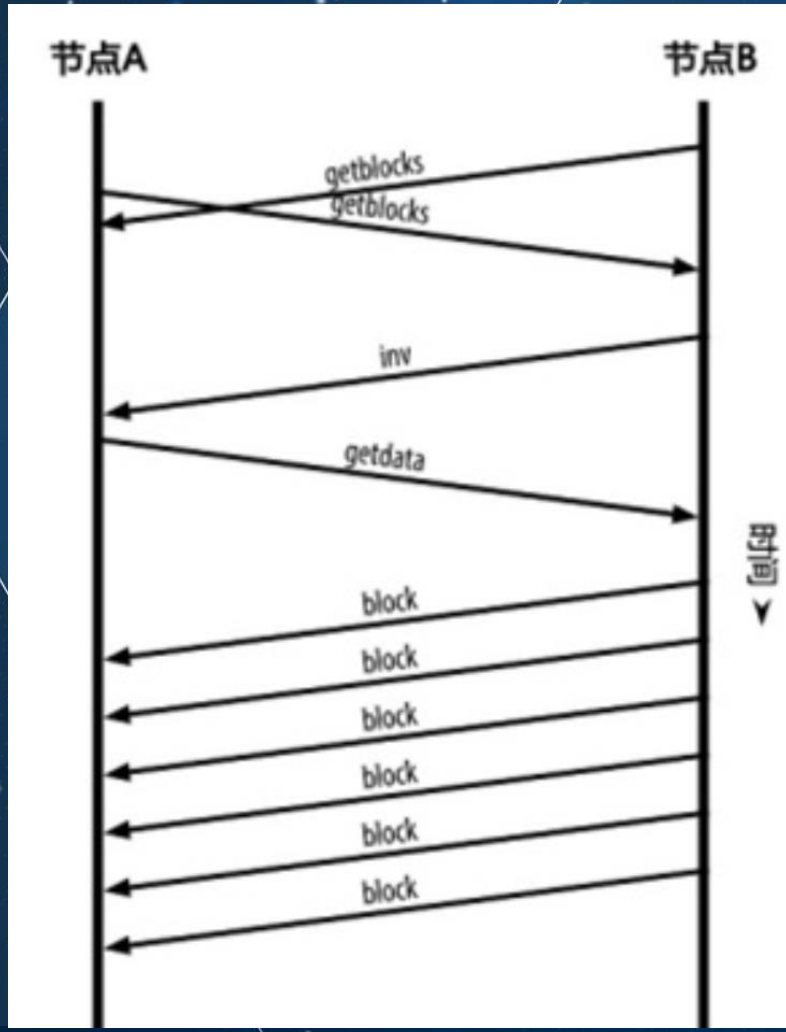
- 成功连接后，新节点 A 向相邻节点 B 发送包含自身IP地址的Addr消息。相邻节点会将此Addr消息再度转发给各自相邻节点，保证新结点A可被更多节点获知。
- 节点 A 可以向其相邻节点 B 发送Getaddr消息，节点B会回送若干地址信息，如其它节点（Peer）的IP地址、端口等数据。



数据传播协议-同步区块数据（全节点）

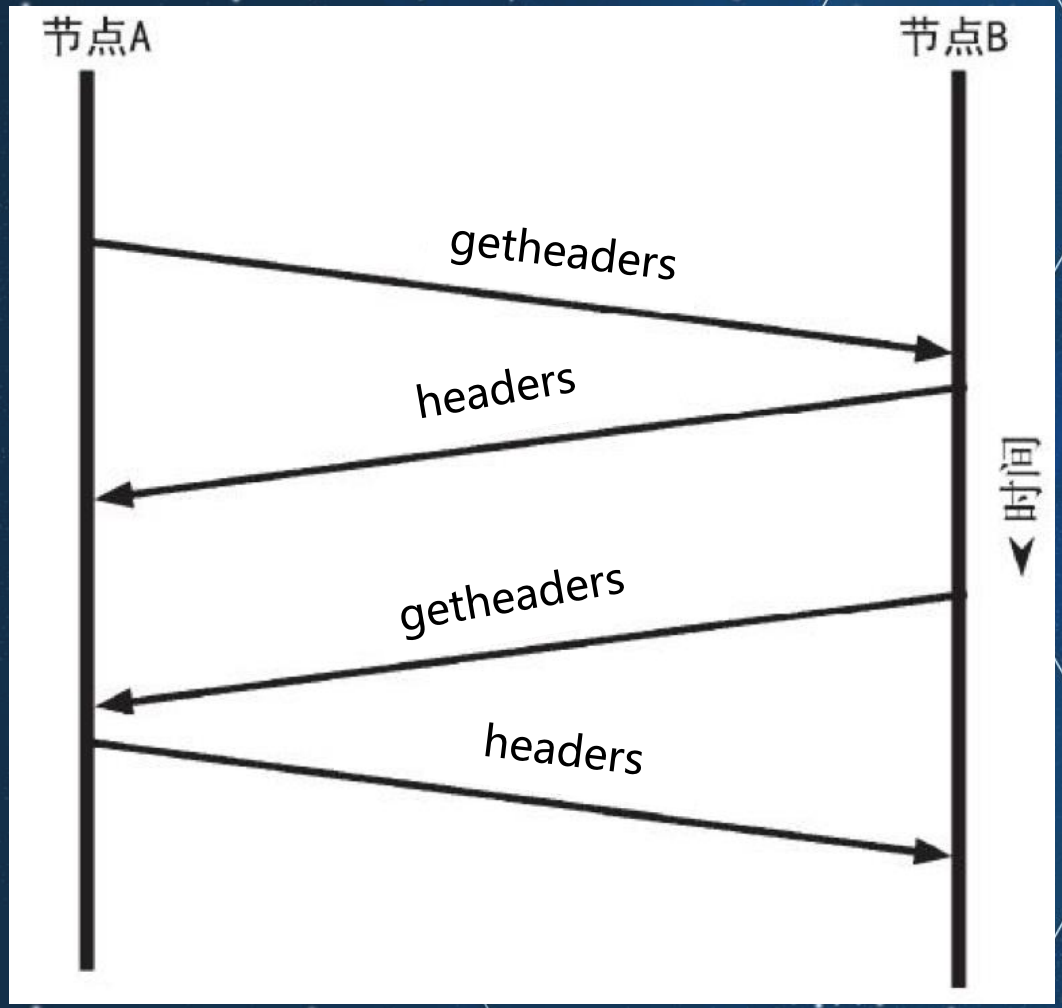
一个全节点连接到对等节点之后，需要构建自己的完整区块链。

- 该节点向相邻节点发送的version消息中包含StartHeight字段标示了自己的区块高度。通过互相发送version消息，对等节点就可得知双方的区块数量。
- 对等节点还会发送getblocks消息，该消息中包含了本节点保存的区块链顶端的区块hash值，如果一个节点收到的hash在自己的区块链中不属于顶部，那么就代表自己的链比较长。
- 拥有更长区块链的节点会识别出其他节点需要补充的块，从而发送库存inv(inventory)消息，这个消息会包含块的hash值，从而告知其他节点这些块的存在。收到库存消息的节点发现自己缺少块，就会向周围节点(未必是发送库存节点)发送getdata消息，来请求具体某些块的数据，从而补全自己。收到getdata消息的节点再把节点请求的块数据发送出去。



数据传播协议-同步区块数据（SPV节点）

- SPV节点同步的不是区块数据，而是区块头。
- 使用getheaders和headers消息。



初始化区块下载IBD

- 初始区块下载IBD（Initial Block Download），通过下载区块、区块头、以及交易，比特币的所有区块交易在本地就有了副本，成为一个完整的比特币网络节点，完全跟比特币网络同步。
- 通常要求下载并验证此时网络中最长、最正确的区块序列（区块链），该链从编号为1的区块开始。
- 一般新加入的节点或者节点离线24小时以上，均需执行这个操作，方可接入比特币网络，才能参与验证未确认的交易或新近挖出的区块。

初识区块下载方法

- 比特币的区块链数据下载有两种方式：
  - 块优先Blocks-First
  - 头优先Headers-First

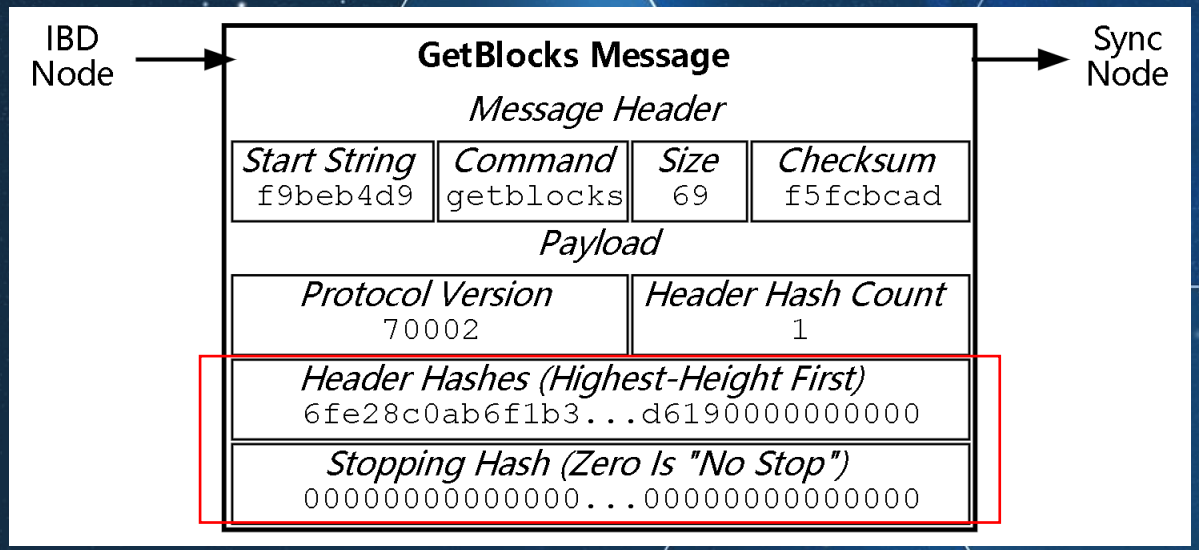
初始化区块下载-块优先

假设有两个节点A和B，其中B是已经完成区块同步的对外提供服务的正常节点，A是一个刚启动的节点，A上除了创世区块以外没有任何其他区块数据。那么A怎么用Blocks-First的模式从B上同步到自己想要的区块数据呢?

① A向B发送一个“Getblocks"消息

GetBlocks消息结构:

```
type MsgGetBlocks struct {
        ProtocolVersion uint32
        BlockLocatorHashes [ ]*chainhash.Hash
        HashStop chainhash.Hash
}
```

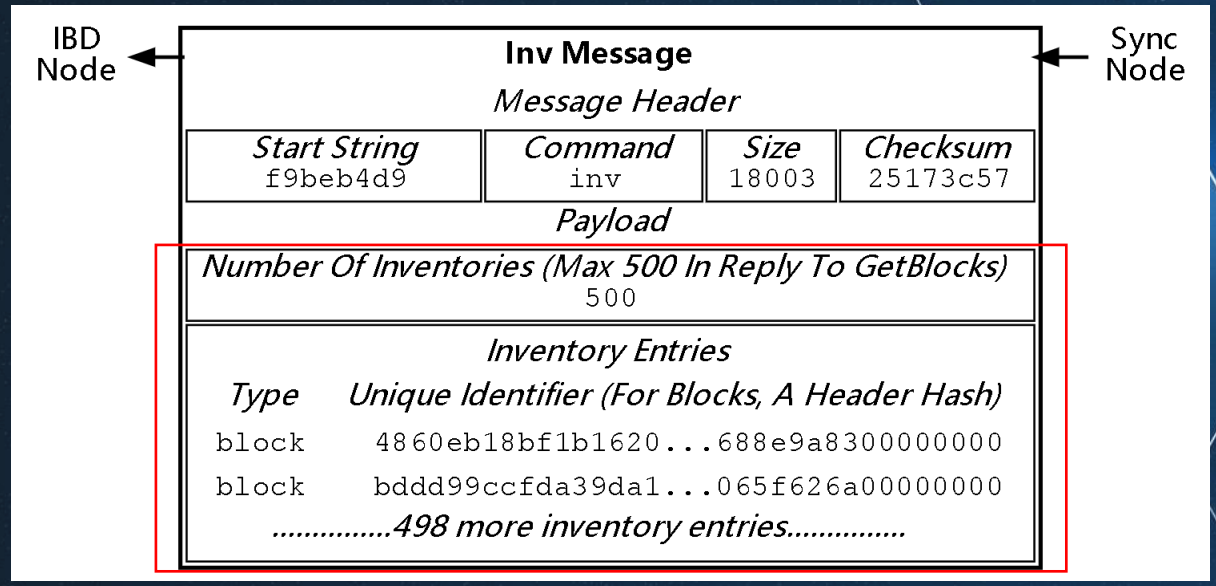


Header Hashes: 区块0的哈希值（大端模式），表示自己最新的区块是创世区块

Stopping Hash: 填写全0，表示想要同步到最新区块。

初始化区块下载-块优先

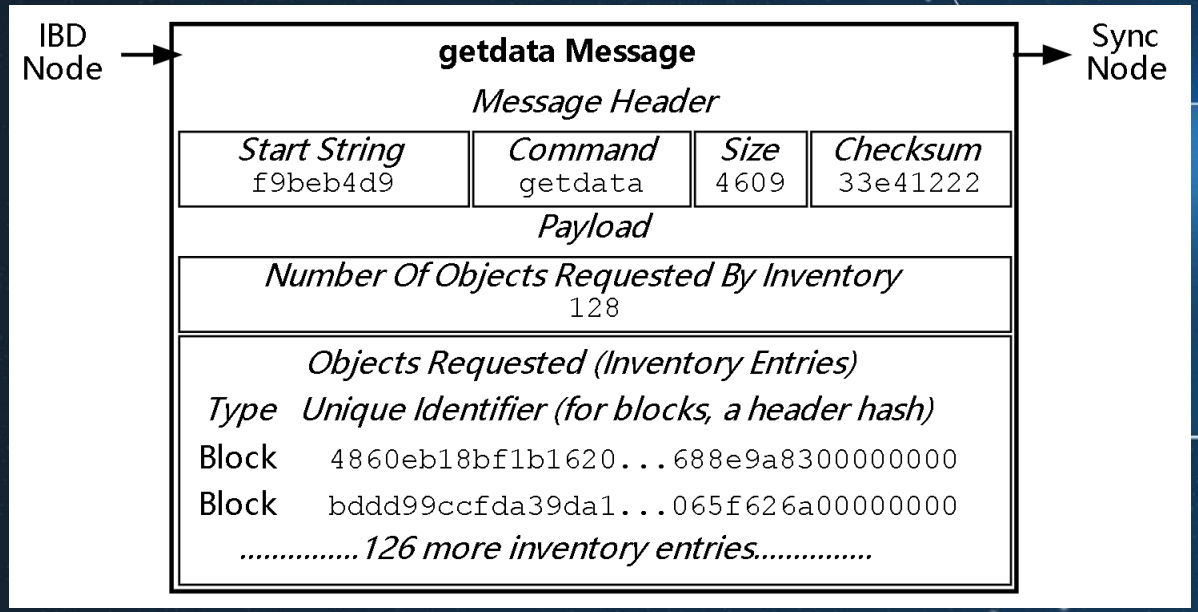
② B收到消息后，根据要求返回“inv”消息给A节点。



节点B返回最多有500（上限）条内容的inventory清单条目：Type字段是block，表示这是区块，Unique Identifier字段是区块哈希值。这些区块哈希的顺序很重要，它代表的是区块的顺序。

初始化区块下载-块优先

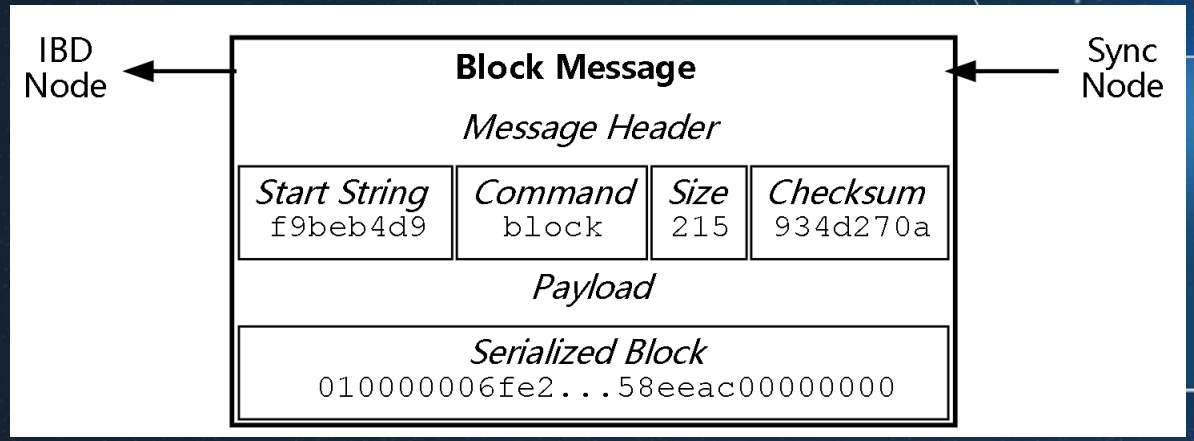
③ IBD节点A使用接收到的清单发送getdata消息向同步节点B请求128个块（上限）。



对于块优先节点，按顺序请求很重要，因为每个块头均引用前一个块的头哈希。

初始化区块下载-块优先

④ 收到getdata消息后，同步节点B将回复所请求的每个块。每个块都以序列化的块格式放入并以单独的block消息发送。block发送的第一条消息（针对块1）如下所示。



⑤ 节点A对接收到的每个块，对其进行验证，并保持最多128个块的下载队列。

初始化区块下载-块优先

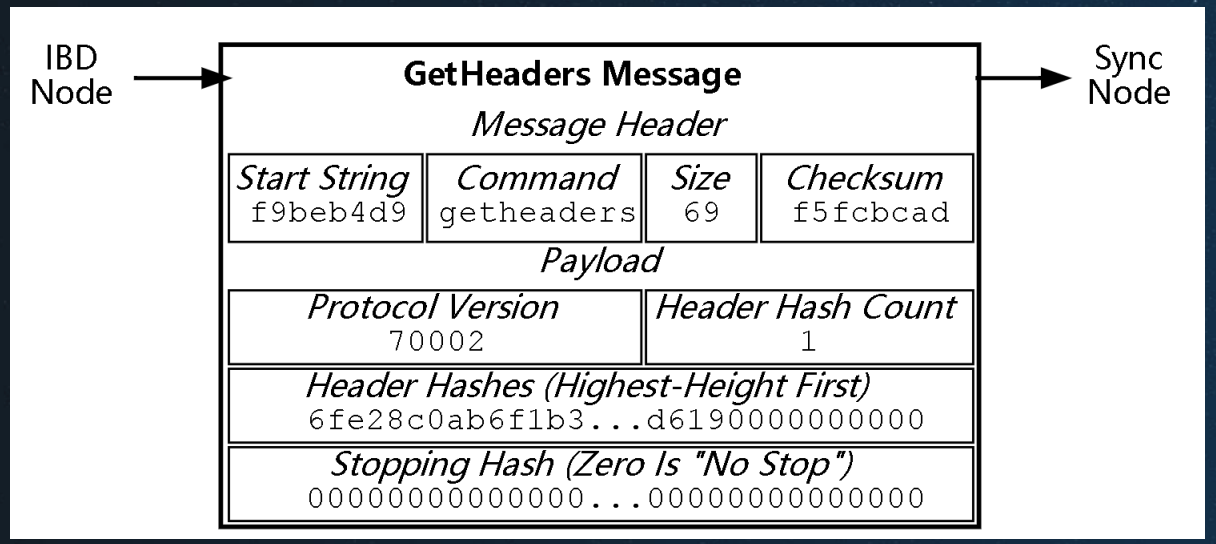
- A收到区块数据，对这个区块的合法性进行验证，同时等待B发送下一个区块数据。A接收到128个区块数据后，A根据之前接收到的B的"inv"消息里的清单还剩下500-128=372个条目，于是继续发送下一个"getdata"消息（内含128个区块哈希）给B，如此循环一直到500个区块数据都从B发送给了A。这样就完成了一轮区块发送任务。
- 比特币的区块高度已经达到了83万多，这个过程要经过1600多轮才完成同步。为了避免出错，比特币加入了Checkpoint功能，Checkpoint就是指定一个区块高度的区块哈希必须等于某个哈希值。

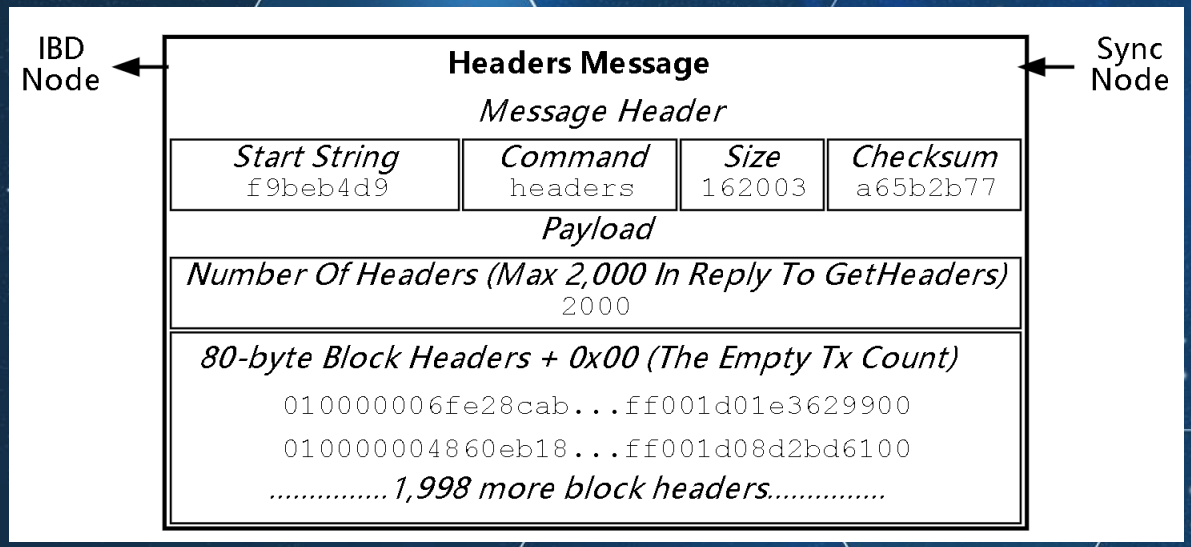
初始化区块下载-块优先

- 块优先的优点是简单
- 主要缺点是，IBD节点的所有下载都依赖于单个同步节点和块发送的顺序性。这导致：
  - 速度限制：所有请求均发送到同步节点，因此，如果同步节点的上传带宽有限，则IBD节点的下载速度会很慢。
  - 重复下载：同步节点可以向IBD节点发送非最佳（但有效）的区块链，从而迫使IBD节点再次从其他节点重新开始其区块链下载。
  - 磁盘空间浪费：与重复下载密切相关，如果同步节点发送了一个非最佳（但有效）的块链，该链将存储在磁盘上，浪费空间，并可能在磁盘驱动器中填充无用的数据。
  - 高内存使用：无论是恶意还是偶然，同步节点都可以无序发送块，创建孤立块，直到接收并验证其父节点后才能对其进行验证。孤立块在等待验证时会存储在内存中，这可能会导致大量内存使用。

初始化区块下载-头优先

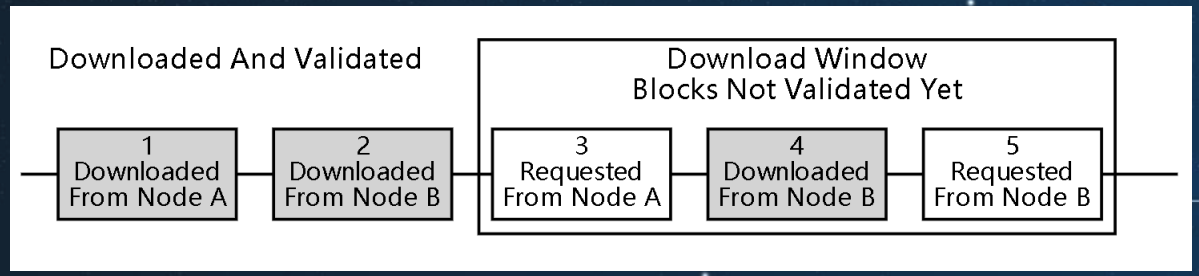
- 先尝试下载链中区块的描述头结构，然后以并行方式连接多个网络节点下载区块。
- 头优先是A使用GetHeaders消息发起，B返回Headers消息（最多包含2000条清单）





初始化区块下载-头优先

- A在收到B的“headers”消息后，验证这些区块哈希合法性，同时：
  - 继续同步剩下的block headers。（目前比特币区块头大致63M左右，整个区块链的体积超过555G）
  - 开始同步区块数据。（使用“getdata”和“data”消息传输区块数据）
- 比特币默认最大连接数是8个，可以同时从8个节点并行下载区块数据。并行下载区块的时候，为了在多个节点之间分摊负载，每次从一个节点最多只请求16个区块，这就意味着每次最多下载8*16=128个区块。比特币还使用最大1024个区块的下载移动窗口，这样来最大化下载速度。下载移动窗口之前的区块都是被验证过的合法的区块，而窗口里的区块，只要下载了就马上进行验证，等全部下载完了，基本上也就验证完了。



示意图（真实窗口是1024）

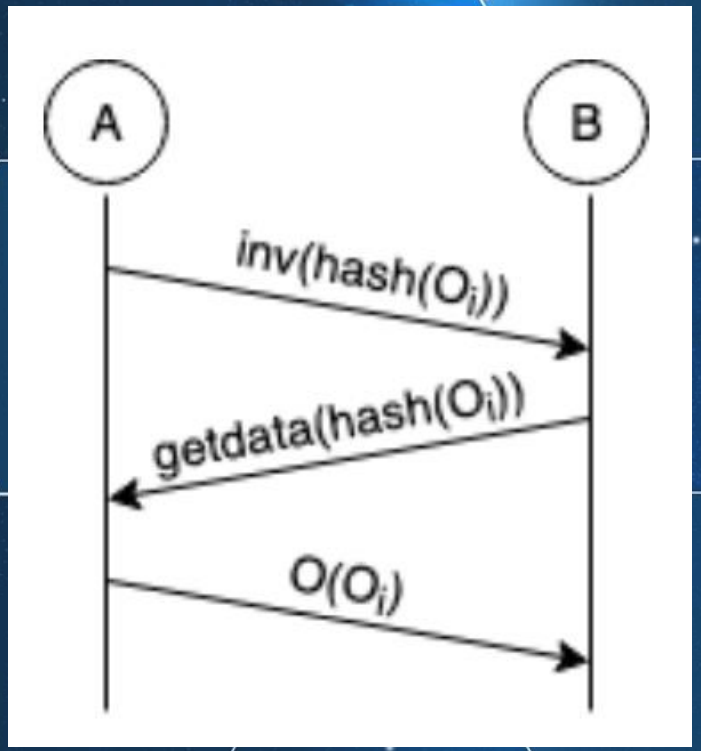
数据传播协议-交易广播

- 交易数据的广播：节点需要发送交易，首先发送一条包含该交易的inv消息给邻居节点，邻居节点使用getdata消息请求inv中所有交易的完整信息。发送方接收到getdata响应消息，则使用tx消息发送交易。接收方收到交易并验证通过后，使用上面逻辑继续转发交易。
- 比特币系统的交易数据传播协议核心步骤：
  ① 比特币交易节点将新生成的交易数据使用inv消息向全网所有节点进行广播；
  ② 每个节点发送getdata消息请求inv消息中所有交易的完整信息，收到的节点使用tx发送交易。接收节点将收集到的交易数据存储到一个区块中；
  ③ 每个节点基于自身算力基于该区块进行工作量证明工作；
  ④ 当节点找到区块的工作量证明后，就向全网所有节点广播此区块（block消息）；
  ⑤ 仅当包含在区块中的所有交易都是有效的且之前未存在过的，其他节点才认同该区块的有效性；
  ⑥ 其他节点接受该数据区块以延长该链条。

数据传播协议-新块广播

当一个矿工节点发现新的区块后，它需要将此区块在全网尽可能大的范围内广播。有两种方式：

- 1. **主动推送：**
  - 向每个全节点对等发送一条带有新区块的block消息；
  - 矿工使用这种方式合理地绕过标准中继方法；
  - 它不能判断其对等方是否已经拥有刚发现的块。
- 2. **区块中继**
  - 不主动推送；
  - 发出Inv消息，在Inv中携带新区块消息；
  - 由收到Inv消息的节点把区块取走。



数据传播协议-检测节点存活

- ping消息用于确认接收方是否仍处于连接状态。通过发送ping消息，可以检测节点是否存活。
- 接收方通过回复pong消息，告诉发送节点自己仍然存在。
- 默认情况，任何超过20分钟未响应ping消息的节点会被认为该节点已经从网络中断开。

3.4 数据验证机制

- 当新区块在区块链网络传播时，每个接收到区块的节点都将对区块进行独立验证，验证通过的区块才会进行转发，从而尽早杜绝无效或者恶意数据在网内传播，预防小部分节点串通作恶导致无效区块被网络接受，尽最大可能保证网络中传播区块的正确性。
- 以比特币网络为例，节点接收到邻近节点发来的数据后，其首要工作就是验证该数据的有效性。矿工节点会收集和验证P2P网络中广播的尚未确认的交易数据，并对照预定义的标准清单，从数据结构、语法规范性、输入输出和数字签名等各方面校验交易数据的有效性，并将有效交易打包到当前区块中。

数据验证清单

① 验证区块大小在有效范畴；

② 确认区块数据结构（语法）的有效性；

③ 验证区块至少含有一条交易；

④ 验证第一个交易是coinbase交易（Previous Transaction hash为0且Previous Txout-index为-1），有且仅有一个；

⑤ 验证区块头的有效性

- 确认区块版本号是本节点可兼容的
- 区块引用的前一区块是有效的
- 区块包含的所有交易构建的默克尔树是正确的
- 时间戳合理
- 区块难度与本节点计算的相符
- 区块哈希值满足难度要求（PoW证明）

数据验证清单

⑥ 验证区块内交易的有效性，具体检查列表如下：

- 检查交易语法正确性
- 确保输入与输出列表都不能为空
- lock_time小于或等于INT_MAX，或者nLockTime和nSequence的值满足MedianTimePast（当前区块之前的11个区块时间的中位数）
- 交易的字节数大于等于100
- 交易中签名数量小于签名操作数量上限（MAX_BLOCK_SIGOPS）
- 解锁脚本（scriptSig）只能够将数字压入栈中，并且锁定脚本（scriptPubkey）必须要符合isStandard的格式（拒绝非标准交易）
- 对于coinbase交易，验证签名长度2至100字节
- 每一个输出值，以及总量，必须在规定值的范围内（不超过全网总币量，大于0）
- 对于每一个输入，如果引用的输出存在于内存池中任何的交易，该交易将被拒绝
- 验证孤立交易：对于每一个输入，在主分支和内存池中寻找引用的输出交易，如果输出交易缺少任何一个输入，该交易将被认为是孤立交易。如果与其匹配的交易还没有出现在内存池中，那么将被加入到孤立交易池中

数据验证清单

⑥ 验证区块内的交易有效性，具体检查列表如下：（继续）

- 如果交易费用太低（低于minRelayTxFee设定值）以至于无法进入一个空的区块，则交易将被拒绝
- 每一个输入的解锁脚本必须依据相应输出的锁定脚本来验证
- 不是coinbase交易，确认交易输入有效，对于每一个输入：
  - 验证引用的交易存于主链
  - 验证引用的输出存于交易
  - 如果引用的是coinbase交易，确认至少获得COINBASE_MATURITY(100)个确认
  - 确认引用的输出没有被花费
  - 验证交易签名有效
  - 验证引用的输出金额有效
  - 确认输出金额小于等于输入金额（差额即为手续费）
- 如果是coinbase交易，确认金额小于等于交易手续费与新区块奖励之和

3.5 矿池网络协议

- 挖矿本质是执行Hash函数的过程，而Hash函数是一个单输入单输出函数，输入数据就是这个区块头。比特币区块头共有6个字段。比特币每一次挖矿就是对这80个字节连续进行双重SHA256运算（SHA256D），运算结果是固定的32字节（二进制256位）。
- 固定字段：
  - nVersion，区块版本号，只有在升级时候才会改变。
  - hashPrevBlock，由前一个区块决定。
  - nBits，由全网决定，每2016个区块重新调整，调整算法固定。
- 矿工可以自由调整的3个字段：
  - nNonce，提供2^{32}种可能取值。
  - nTime，其实本字段能提供的值空间非常有限，因为合理的区块时间有一个范围。一般来说，矿工会直接使用机器当前时间戳。
  - hashMerkleRoot，理论上提供2^{256}种可能，变化来自于对包含进区块的交易进行增删，或改变顺序，或者修改Coinbase交易的输入字段。
- 在CPU挖矿的矿工时代，搜索空间主要由nNonce提供，进入矿机时代，nNonce提供的4个字节已经远远不够，搜索空间转向hashMerkleRoot。

```
int32_t nVersion;         //版本号，4字节
uint256 hashPrevBlock;    //前一个区块的区块头hash值，32字节
uint256 hashMerkleRoot;   //包含进本区块的所有交易构造的Merkle树根，32字节
uint32_t nTime;           //Unix时间戳，4字节
uint32_t nBits;           //记录本区块难度，4字节
uint32_t nNonce;          //随机数，4字节
```

3.5 矿池网络协议

比特币挖矿的流程：

- 打包交易，检索待确认交易内存池，选择包含进区块的交易。矿工可以任意选择，甚至可以不选择（挖空块），因为每一个区块有容量限制（当前是1M），所以矿工也不能无限选择。对于矿工来说，最合理的策略是首先根据手续费对待确认交易集进行排序，然后由高到低尽量纳入最多的交易。
- 构造Coinbase，确定了包含进区块的交易集后，就可以统计本区块手续费总额，结合产出规则，矿工可以计算自己本区块的收益。
- 对所有交易构造Merkle树，得到hashMerkleRoot，。
- 填充其他字段，获得完整区块头。
- Hash运算，对区块头进行SHA256D运算。
- 验证结果，如果符合难度（SHA256D(区块头) < F(nBits)），则向全网广播，挖下一个块；不符合难度则根据一定策略改变以上某个字段后再进行Hash运算并验证。

3.5 矿池网络协议

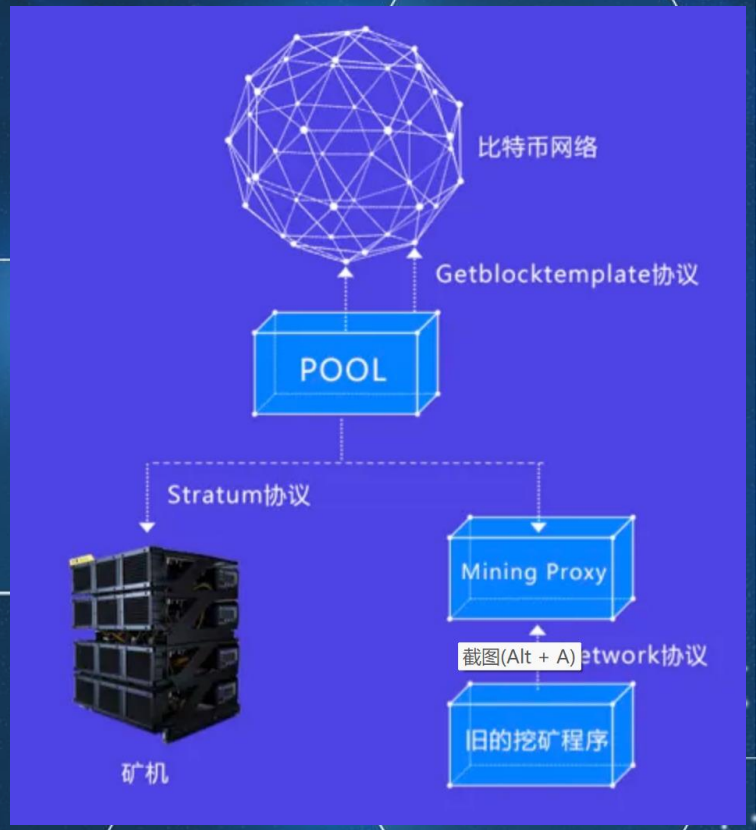
- Setgenerate协议接口代表了CPU挖矿时代。最初版本的客户端就附带了挖矿功能，客户端挖矿非常简单。节点挖矿过程非常简单：构造区块，初始化区块头各个字段，计算Hash并验证区块，不合格则nNonce自增，再计算并验证，如此往复。在CPU挖矿时代，nNonce提供的4字节搜索空间完全够用（4字节即4G种可能，单核CPU运算SHA256D算力一般是2M左右），其实nNonce只遍历完两个字节就返回去重构块。

3.5 矿池网络协议

- Getwork协议代表了GPU挖矿时代，需求主要源于挖矿程序与节点客户端分离，区块链数据与挖矿部件分离。其核心设计思路是：由节点客户端构造区块，然后将区块头数据交给外部挖矿程序，挖矿程序遍历nNonce进行挖矿，验证合格后交付回给节点客户端，节点客户端验证合格后广播到全网。
  - 拥有完整数据的节点构造区块头，即提供Version，Prev-block，Bits和Merkle-root这4个字段
  - 挖矿程序主要是递增遍历nNonce
  - 对于Getwork而言，矿工对区块一无所知，只知道修改nNonce这4个字节，共计2^{32}大小的搜索空间
  - 如今比特币和莱特币节点都已经禁用Getwork协议，转向更高效的Getblocktemplate协议
- 只给外部挖矿程序提供32字节共4G的搜索空间，继续使用getwork协议会导致矿机需要频繁调用RPC接口。

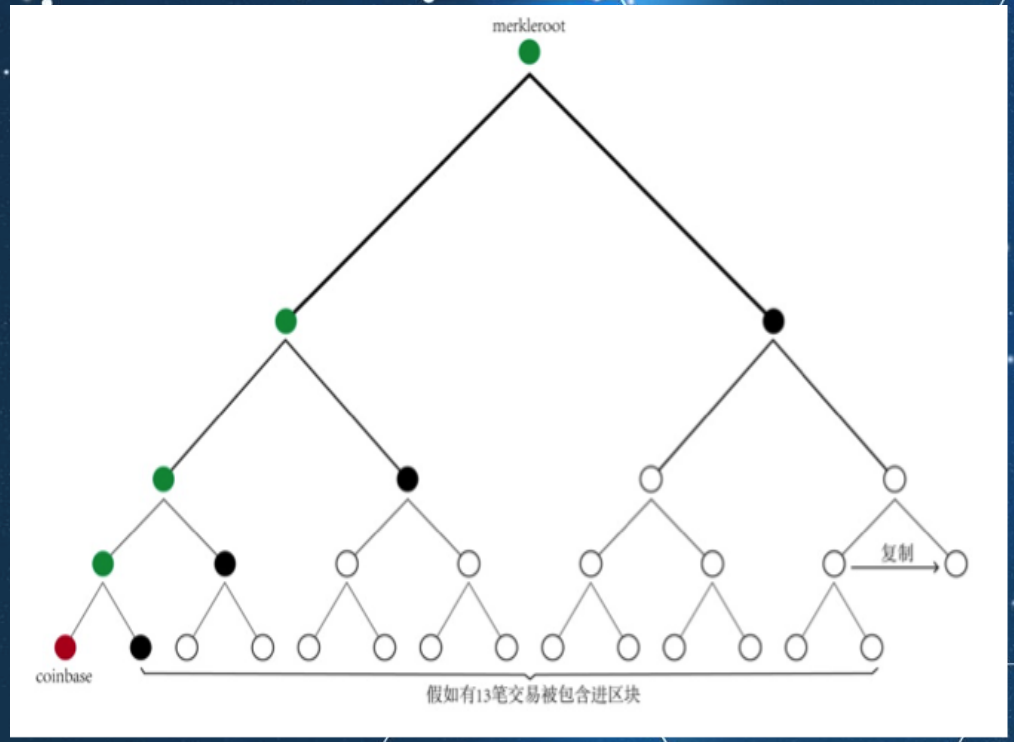
矿池

- 矿池的形成：假设比特币全网算力1600P+，先进的矿机算力10T左右，因此单台矿机SOLO挖到一个块的概率不到16万分之一，成功率极低，抱团挖矿是必然。
- 矿池的核心工作是给矿工分配任务，统计工作量并分发收益。矿池将区块难度分成很多难度更小的任务下发给矿工计算，矿工完成一个任务后将工作量提交给矿池，叫提交一个share。假如全网区块难度要求Hash运算结果的前70个比特位都是0，那么矿池给矿工分配的任务可能只要求前30位是0（根据矿工算力调节），矿工完成指定难度任务后上交share，矿池再检测在满足前30位为0的基础上，看看是否碰巧前70位都是0。
- 矿池会根据每个矿工的算力情况分配不同难度的任务，矿池是如何判断矿工算力大小以分配合适的任务难度呢？调节思路和比特币区块难度一样，矿池需要借助矿工的share率，矿池希望给每个矿工分配的任务都足够让矿工运算一定时间，比如说1秒，如果矿工在一秒之内完成了几次任务，说明矿池当前给到的难度低了，需要调高，反之。如此下来，经过一段时间调节，矿池能给矿工分配合理难度，并计算出矿工的算力。



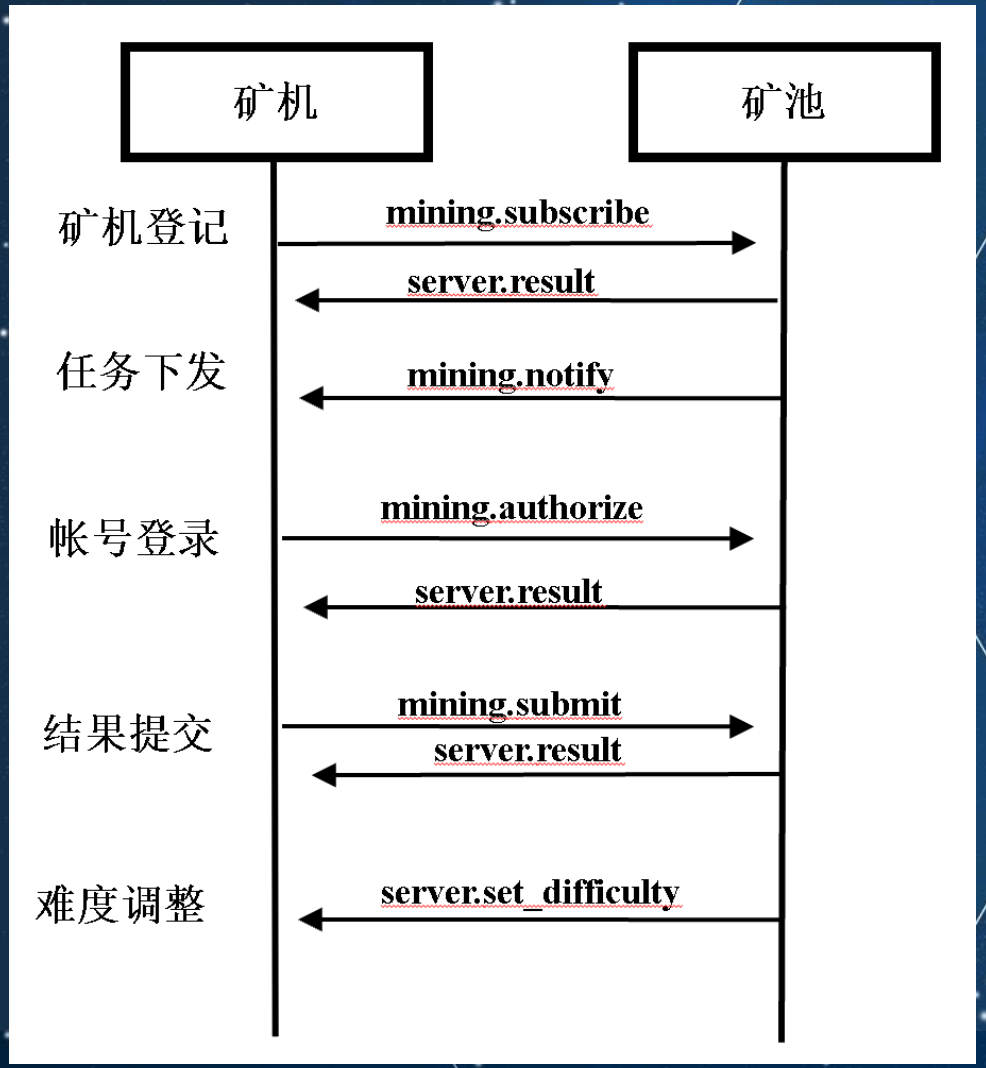
矿池网络协议-Getblocktemplate

- Getblocktemplate 协议 2012 年随着矿池出现。矿池采用getblocktemplate协议与节点客户端交互，采用stratum协议与矿工交互，这是最典型的矿池搭建模式。
- 其最大的不同点是：Getblocktemplate协议让矿工自行构造区块
- 因为由矿工构建coinbase交易，这种方式所带来的搜索空间巨大
- Getblocktemplate协议虽然扩大了搜索空间，但数据负载过大，每次调用约返回1.5M左右数据。（区块所有交易交给矿工）
- Stratum协议巧妙解决了这个问题。（右图中矿池只需将黑点的哈希值和红点Coinbase传给矿工，矿工修改Coinbase，计算绿点哈希即可。）



矿池网络协议-Stratum

- Stratum协议是为了扩展支持矿池挖矿而提出的挖矿协议，2012年底出现，是目前最常用的矿机和矿池之间的TCP通信协议之一，
- 数据采用JSON格式封装，矿机与矿池通信过程如右图所示。 Stratum 协议利用 Merkle 树结构特性，从coinbase构造merkleroot，无须全部交易，只要把与coinbase涉及的默克尔路径上的hash值返回即可。假如区块包含N笔交易，这种方式数据规模将压缩至log2(N)，大大降低了矿池和矿工交互的数据量。



3.6 区块链分叉

自然分叉，机器共识过程产生的临时分叉

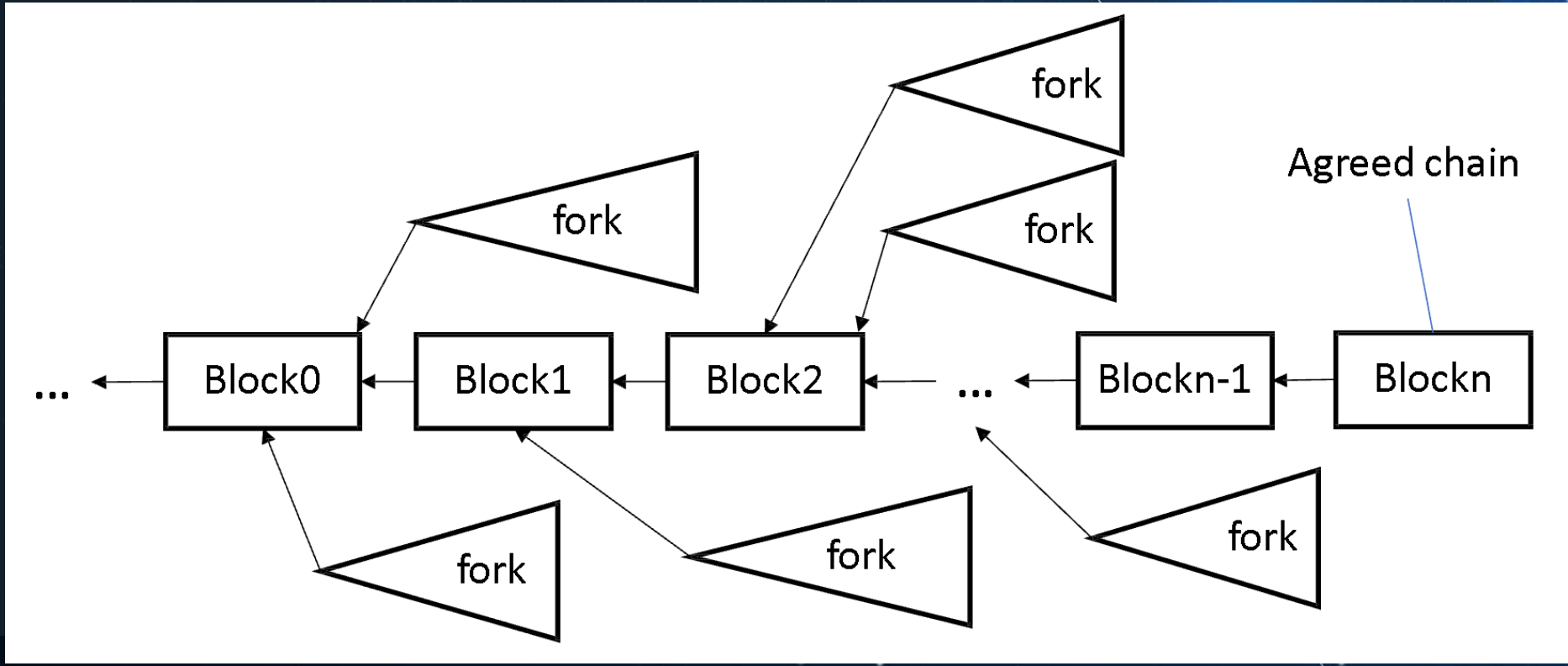
人为分叉，人的共识失败产生的分叉

自然分叉

- 自然分叉，机器共识过程产生的临时分叉
  - 比特币网络是一个去中心化的P2P网络。
  - 固有的节点地域分布、网络传输延迟，造成节点接收新区块存在一定的时间差异。
  - 当两个不同节点近乎同时发掘出新区块A、B并进行广播的时候，就会造成后继区块链分叉的发生。

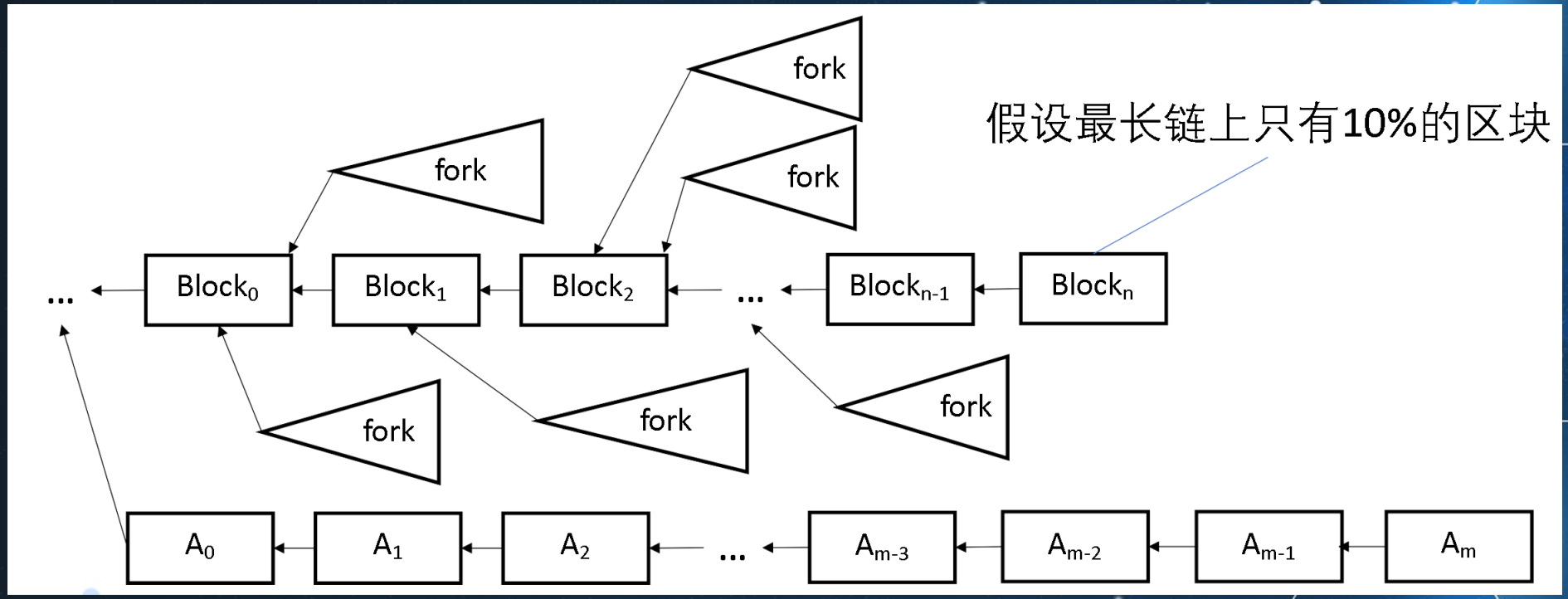
自然分叉

- 区块是并发产生的，并且具有广播延迟，高出块率会导致更多的分叉
- 分叉浪费网络和处理资源，分叉降低安全性



自然分叉

- 最长链规则不再安全



攻击者只需要超过 10% 的算力就可以改变最长链！

同步账本的时间应该远小于出块时间，否则就会增加分叉的概率。

人为分叉

- 人为分叉，人的共识失败产生的分叉（BIP）
  - “软分叉”是向后兼容的分叉。新规则下产生的区块可被未升级的旧节点所接受，旧节点只是无法识别、解析新规则。新、旧版本互相兼容，软分叉对整个系统的影响较小。（比如增加交易类型）
  - “硬分叉”是不向后兼容的，旧版本节点不会接受新版本节点创建的合法区块，于是新旧版本节点开始在不同的区块链上运行，由于新旧节点可能长期并存，不像软分叉是临时的，硬分叉是有可能会长期存在的，分叉链的存活在于其算力的大小。

区块链分叉-软分叉示例

- 基于coinbase字段的随机数扩展，coinbase data大小在2-100字节，原本可任意定制，但BIP-34要求开始必须在开头包含块高度且更新块版本信息，保证了交易和区块的唯一性，来帮助区块验证。其升级过程如下：

初始矿工将块版本号设置为“2”，表示其准备好升级，但此刻并不要求coinbase data包含块高度；

当最近1000个区块中超过75%的版本号是“2”时，整个系统开始强制要求版本号设置为“2”，且要求coinbase data包含块高度，但此时版本号为“1”的区块仍被接受；

当最近1000个区块中超过95%的版本号是“2”时，版本号为“1”的区块将不被接受，迫使最后一小部分节点进行升级。

硬分叉

- 如果原区块链称为A版本，硬分叉产生的同源分叉链称为B版本，则具体可以分为如下几种情况：

A版本仍然被广泛支持，B版本算力不足消亡，即还是保留原链。

B版本获得广泛支持，A版本算力不足消亡，即保留新链。

A、B版本都有相当的支持，同时并存，这种情况是最为符合严格意义上的硬分叉，例如ETH与ETC，两者都有其代币，这种分叉存在一定的门槛。

A版本仍然被广泛支持，B版本通过代码调整难度，小部分节点也能够让它存活。与3）的区别在于这种分叉币几乎没有门槛，人人可以分叉。

B版本获得支持，A版本调整代码，小算力也可存活。

硬分叉

- 硬分叉的过程一般经历如下几个阶段：

软件分叉	网络分叉	算力分叉	链分叉
• 新的客户端发布，新版本改变规则且不被旧客户端兼容，首先客户端出现了分叉	• 接受新版的节点在网络上运行，其发现的区块将被旧版节点拒绝，旧版节点断开与这些新版节点的连接，因此进一步网络出现了分叉	• 运行不同客户端版本的矿工的算力将逐渐出现分叉	• 升级的矿工基于新规则挖矿，而拒绝升级的矿工仍基于旧规则，导致整个区块链出现了分叉

社区分叉

- 每一种区块链的背后都有其对应的社区、开发者、矿工等利益、信仰共同体，链的硬分叉同时也会带来对应社区的分裂：

2016年因“The DAO事件”出现的以太坊经典

2016年以太坊一个知名项目The DAO被黑客攻击，损失了价值超过6000万美金的ETH，随后以太坊团队通过硬分叉的方式（变相回滚）“追回”了被黑客盗取资产，一部分社区成员认为此举有违区块链不可回滚、不可篡改的基本精神仍旧坚持维护旧链，自此分裂出——以太坊（ETH）和以太经典（ETC）两个独立的区块链项目，对应不同的价值观理念。

2017年催生出的比特币现金

BCH是从BTC硬分叉而来，当时它把比特币的区块上限由1M修改为8M，目前已经升级为32M。

2018年比特币现金的进一步分叉

2018年11月16日BCH正式硬分叉为BCHABC和BCHSV。

对于数字货币持有者来说，硬分叉会让他们额外增加一笔财富（分叉链 Token）
不分叉怎么搞钱，一个比特币变成一千多种虚拟币不都是为了两个字？利益

扩展阅读

- 比特币源码解读 - P2P网络 https://zhuanlan.zhihu.com/p/120332139
- 比特币源码解读 - 消息处理 https://zhuanlan.zhihu.com/p/121791191
- 比特币网络之初始化区块下载 https://blog.csdn.net/maxdaic/article/details/106450613
- Bitcoin's P2P Network https://nakamoto.com/bitcoins-p2p-network/
- Bitcoin DevGuide P2P Network https://github.com/bitcoin-dot-org/developer.bitcoin.org/blob/master/devguide/p2p_network.rst

谢谢!