***Abstract***

Bitcoin işlemlerinin (transactionların) çoğunda kullanıcı yapmış olduğu işlemin bitmesi için onlarca dakika beklemek zorunda kalır. Üstelik bu işleme ait trasaction ın gerçekleşip gerçekleşmeyeceğine dair Bitcoin sistemi olası garanti sunar. Bu makale Bitcoin sisteminde yapılan bu transaction ları (işlemleri) saniyeler içinde yapan yeni bir Byzantine anlaşma protokolü olan ByzCoin ‘ i anlatmak için hazırlanmıştır. Byzcoin en son başaralı block miner ları gösteren anlaşma gruplarını (consensus groups) dinamik olarak oluşturarak bir Byzatine consensus (fikir birliği) protokolü oluşturur. ByzCoin transaction işlemlerini işlemek ve doğrulamak için iletişim ağaçlarını (communacation tree ) denen yapıları kullanır. Toplam *3f + 2* Byzatine hatasının oluştuğu ve *f* tolerans değerinin optimal kabul edildiği bir consensus grupta bu ağaç yapıları kullanılarak sisteme güvenilir düzeyde bir güvenlik kazandırılır. ByzCoin collectiive signed transactionlar (toplu imzalanmış işlemler) oluşturarak double spending ve selfish mining ataklarınız azaltır. Üstelik bu işlemi ByzCoin yaklışık bir dakikada yapar. Eğer bahsedilen ağaç yapılarıda düzgün optimize edilirse bu gecikme süresi yaklaşık 30 saniye kadar olur. Böylelikle ByzCoin Paybal şu an sunduğu throughput (maksimimum data transferi) den bile daha fazla throughput a ulaşır.

***Introduction***

Bitcoin şu an bankların kullandığı gibi bir merkezi otoritenin olmadığıdı bir kripto döviz kurudur (cryptocurrency) diyebiliriz. Yani transaction ları doğrulayacak, kontrol edecek bir merkezi otoriteye yoktur. Bitcoin sistemi peer to peer bir network üzerine kurulmuştur. Yani kullanıcılar bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan birbileri arasında doğrudan transactionlar gerçekleştirebilmektedir. Miner denilen özel node’ lar transactionları toplar ve bu transactionlar üzerinde çeşitli hesaplamalar yaparak bu transactionların doğruluğuna karar verir ve bunları blockchain denilen dağıtık herkese açık bir veritabanına (distributed public ledger) bloklar halinde kaydeder.

Bitcoin makalesi ilk yazıldığında bu sistemde gerçekleşen bu transaction’ ların güvenilir ve geriye dönük işlenemeyeceğini söylemekteydi; fakat bu transactioların miner lar tarafından doğrulanması uzun gecikmelere sebep oldu ve bu da bitcoini gerçek zamanlı transactionlarda uygun olmadığını ortaya çıkardı. Ayrıca bu sisteme transaction reversibility, double-spending gibi ataklar yapıldı.

Mail den gelecek

ByzCoin collective signing (CoSi) adı verilen bir protokol üzerine kurulmuştur. Bu protokol yüzlerce hatta binlerce imzayı etkili bir şekilde birleştirmektedir. Ayrica CoSi PBFT round sayıların düşürerek müşterilerin transaction işlemlerinde daha hızlı sonuç alması sağlamaktadır. CoSi bir consensus protokolu değlildir. Consensus protokolü olarak Byzcoin de Byzantine consensus protokolü kullanılır. CoSi bu sistem de PBFT round ların imzalamak için kullanılır ve PBFT yi hazırlık ve işleme fazları için daha ölçeklenebilir yapar.

***Background and Motivation***

Bu bölümde Byzcoin i oluşturan cryptocurrency, Byzantine fault tolerance ve collective signing temel altyapıları anlatılacaktır.

***2.1 - Bitcoin and Variations***

Bitcoin’in dayandığı en temel altyapı blockchaindir. Bilindiği gibi blockchainde tüm transaction ların kayıtlarının tutulduğu bir dağıtık veri tabanı (ledger) vardır. Hash değerleri minerlar tarafından doğrulanan transactionlar bu veri tabanına (ledger a) eklenir. Transaction lar bloklara ayrılır ve bu blokların doğruluk değerleri proof of work denilen bir mekanizmayla sağlanır. Her blokta en son doğrulan blokların hashini tutan hash zinciri vardır ve yine her blokta sonraki çıkacak yani blokaları gösteren Merkle tree [1] denen yapılar vardır. Bu mekanizma blok zinciri oluşturulmuş olur.

Bir miner tarafından çıkarılan ve proof of work mekanizmasından geçip doğruluğu kesin olan bir blok diğer minerlar tarafından da doğruluğu onaylanırsa bu blok zincire eklenir ve zincir uzar. Blok doğrulama mekanizması blockchain de bu şekilde çalışır; fakat Bitcon’ de ki bu mekanizma sadece olası kalıcı garanti sunar ve bu durum beraberinde iki problemlere sebep olur.

İlk olarak, iki ya da daha fazla miner aynı parent a sahip farklı bloklar bulmuş olabilir ve bu durum network bu blokların doğruluğuyla ilgili karar vermesinden yani zincire eklenip eklenmemisine karar verme öncesinde probleme sebep olur. Bu duruma blockchainde fork adı verilir. Bu durum bu bloğun herhangi bir geçerli bir blok zincirine eklenmesine kadar devam eder. Yani geçici bir durumdur fakat ağda tutarsızlığa (inconsistency) ve gecikmeye neden olur diyebiliriz. Blockchainde kabul edilen thumb [2] kuralı gereği bir bloğun kalıcı olarak blok zincirine kaydedilmesi için üzerinde yaklaşık olarak 6 yeni blok daha çıkarılmalıdır. Fork durumunun oluşması (yani fork )yeni blokların zincire eklenmesini geciktireceğinden bitcoin müşterilerinin transaction işlemlerinde gecikmeye sebep olur.

İkinci problem ise Bitcoin’deki blok boyutunun 1MB olmasıdır. Böyle bir limit saniyede işlenecek transaction sayısı sınırlamaktadır.(Bu transaction sınırı Bitcoin tahminen 7TPS. (Yani saniye 7 transaction). Oysa Paypal saniye 500 TPS, VISA 4000 TPS işlem yapabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için blok boyutları artırılabilir; fakat bu durum ise ağda oluşacak fork sayısı artırır ve bu da gecikmeklere neden olur. Ayrıca double spending attack [3][4][5] gibi atakların artmasına neden olur. Bitcoin in güvenliği oluşacak fork sayısıyla doğrudan ilişkili olduğundan bu duruma çözüm bulunması gerekir.

**Bitcoin-NG :** Bitcoin NG’ e göre [6] Bitcoin’ de ki blokların iki temel amaca hizmet eder. Birincisi muhtemel çıkacak transaction tutarsızlığında bunların nasıl çözüleceğini belirleyen leader (çözecek lider node) node un seçimi. İkinci ise transactionların doğrulanması. Yani Bitcoin-NG blokları amaçlarına göre bu şekilde 2 gruba ayırır. *Keyblocks*  (Anahtar bloklar) lider (leader) i seçmek kullanırlar ve yaklaşık her on dakikada bir mining yapılarak oluşturulurlar. *Microblocks* (mikro bloklar) transcation ları içeren bloklardır. Bu bloklar seçilen lider blok tarafından oluşturulurlar ve doğrulanırlar(signed). Blokları bu şeklide ayıtmak Bitcoin-NG ye daha fazla throughput değeri verir.

Bitcoin-NG’ de Bitcoin’ de de olduğu gibi tutarsızlık problemleri mevcuttur. Aynı anda oluşabilecek keyblock sırasında fork durumları yaşanır ve bu da muhtemel saldırı türlerine karşı bu sistemi açık kılar.

***Byzantine Fault Tolerance***

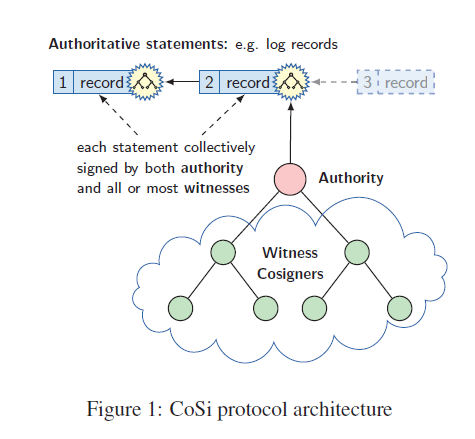
Bir sistemde fonksiyonlarını düzgün yerine getiremeyen bir ya da daha fazla eleman varsa bu elemanlar sistemin düzgün şekilde çalışmasını engelleyebilir ve bu probleme genel olarak Byzantine problemi denir. Bir sistemde f değeri kadar hata varsa başka deyişle f eleman düzgün çalışmıyorsa bu sistemi düzeltmek için 3f + 1 eleman gereklidir [6]. Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) internet gibi senkronizasyon problemlerinin olduğu ortamlarda bahsedilen Byzantine problemine çözüm getiren ilk algoritmadır.

PBFT de her round farklı 3 fazdan oluşur. İlk fazda yani *pre-phase* denilen fazda current primary node ya da lider node (leader) tarafından yeni eklenecek kayıt belirlenir ve sisteme bildirilir. Bu mesajı alan node lar bu önerinin doğruluğunu değerlendirir ve diğer node lara (gruba) bir prepare mesaj denilen bu mesajı iletir. Bu mesajı ilettikten sonra nodelar yeterli çoğunluk sağlanırsa yani 2f +1 mesaj toplanırsa bu mesajı işlerler (commit).

PBFT roundların yani bu algoritmanın kullanıldığı bu sisteminin düzgün çalışabilmesi tamamen correct leader (doğru lider) bağlıdır. Bu yüzden bu lider doğru ya da sahte olup olmadığı kontrol eden view-change denilen bir protokol vardır. Nodelar sürekli olarak liderin hareketleriniz izlerler. Eğer lider node un hareketlerinde şüpheli bir durum varsa nodelar liderin gönderdiği mesajları doğrulamayı durdurlar. Eğer nodelar arasında 2f + 1 kadar node liderin doğru olmadığı kararına varısa yeni lider seçilir.

PBFT algoritması bazı kısıtları vardır. İlk olarak bu sistemdeki kopyalar iyi tanımlanmış sabit uzunlukta gruplar olmalıdır. Böyle bir sistemde Bitcoin sisteminin öne sürdüğü dağıtık ve herkese açık olma kuralıyla uyuşmamaktadır. İkinci problem ise her kopya herhangi bir rounda diğer kopyalarla doğrudan haberleşir. Bu işlem yaklış O(n^2) lik bir karmaşıklık yaratır. Bu karmşıklık değerleri n=4 ve daha düşük değerler için uygundur; fakat n değeri yani node sayısı yüzlerce olduğunda bu algoritma uygulanabilir değildir. Son problem ise PBFT servisine bir transaction gönderildiğinde client transaction ın doğruluğunu öğrenmek için birden çok kopyayla(replicas) haberleşmek zorundadır.

***Scalable Collective Signing***

******

CoSi ölçeklenebilir ve toplu bir şekilde imzalanmayı (scalable collective signing) sağlayan bir protokoldür. Bu protokol de doğrulamayı sağlayan *author* denilen ve toplu imzalamayı sağlayan *witnesses* denilen yapılardan oluşur. Tek bir imza mekanizmasıyla karşılaştırıldığında daha fazla işlem yüküne ve maliyete sebep olsada bir işlemin hem leader hem de witness lardan tarafından onaylananmasıyla sistem daha güvenli hale gelir.

Sistemi daha ölçeklenebilir yapmak için CoSi protokolü multicast protokollerde kullanılan haberleşme ağaçlarını (communication trees) [8][9][10] ve Schnorr multi signature [11] yapılarını birlikte kullanır. Bir mesajın topluca (collective) imzalanabilmesi için leader tarafından dört fazdan oluşan bir işlem başlatılır. Bu işlem leader ve witness lar arasında olur ve bu iki yapının haberleşmesi için communication trees kullanılır.

**1-Announcement :** Bu fazda lider haberleşme ağacına collective signing işleminin ilk round un başladığını bildirir ve ek olarak imzalanacak mesajı gönderilebilir. Eğer mesaj gönderilmezse 3. Fazda gönderilir.

**2-Commitment :** Her node rastgele bir secret seçer ve bunu bir Schnorr commitment (Schnorr taahhütü) değerini hesaplamak için kullanır. İlk olarak alt node larından (childrens) değerlerini alır ve bunları birleştirerek bir Schnorr commitment oluşturarak haberleşme ağacına iletir.

**3-Challenge :** Lider kriptografik hash fonksiyonlarını kullanarak collective Schnorr challenge değerini hesaplar ve bunu ağaca aktarır. Eğer mesaj birinci fazda gönderilmediyse bu fazda mesaj da ağaca aktarılır.

**4-Response :** Leader den gelen schnorr challenge değeri nodelar tarafından alınır ve ortak bir response üretilir.

Tüm bu dört fazın sonunda Schnorr imzası denilen ve 64 byte olan bir değer ortaya çıkar. Bu imza daha sonra imzalama işlemlerinde efektif bir şekilde kullanılabilir.

***Byzcoin Design***

Bu bölümde Byzcoin adım adım en temel yapıtaşlarından ki bunlar; strowman combination of PBFT ve Bitcoin başlayarak ele alınacaktır.

***System Model***

İlk olarak Byzcoin güvenilmeyen networkler için geliştirilmiştir. Bu tür networkler mesajlar iletilmeye bilir, gecikebilir ya da mesajlar çoklanabilir(duplicate). Byzcoin N block miner dan oluşur ve bu minerlar key pairlerini üretebilirler; fakat güvelinen bir public-key altyapısı yoktur. Bu yapıda her nodeun sınırlı hash hesaplayabilme gücü vardır. Herhangi bir t anında bir miner grubu bir hacker tarafından ele geçirilirse bu ele geçirilen miner grubunun toplam hash gücü sistemin toplam hash gücünün 1/4 den büyükse ve bu sistemde selfish mining[14] attack gibi ataklar yapılabilir.

***Strawman Design : PBFTCoin***

Byzcoin detaylı incelemeden önce PBFT algortiması ile çalışan en basit coin yapısı olan PBFTCoin’e bakalım.

n= 3f + 1 replicası olan bir grup varsayalım. Trustess denilen bu yapıların sayısı sabittir ve bu trustess lerin f kadar note hatalıdır. Herhangi bir t anında trustees lar arasında bir leader vardır ve bu leader consensus aşamasını yönetir. Bu yapılar clientlardan transactionları alır ve bunları yeni bloklar şeklinde blockchain e eklerler. BFT düşünülürse bu yapılar f kadar node hatalı olsa bile sistemin güvenliği sağlar; fakat trustees yapılarının grup boylarının sabit olması dağıtık çalışacan Bitcoin network yapısında uygulanabilir değildir. Ayrıca her trustees her rounda başında diğer trustees yapılarıyla non-transferable symetric key MACs yoluyla haberleşir ve bu sistemin karmaşıklığı O(n^2) olur.

PBFTCoin yapısına aşağıda belirtilen ek özellikler eklenerek Byzcoin oluşturulur.

1-Bitcoin in proof of work mekaniması kullanılarak consensus gruplar dinamik bir şekilde oluşturulur.

2-Trustees nodelar arasında haberşirken kullanılan MAC-authenticated yapısı yerine sayısal imzalar kullanılarak sistemin karmaşıklığı O(n^2) den O(n) e indirilir.

3-Collective signing algoritması kullanılarak round başına oluşan karmaşıklık değeri O(logn) e ve sayısal imza doğrulama karmaşıklığı ise O(n) den O(1) e indilir.

4- Daha yüksek throughput değerine ulaşmak için leader node yapıları kullanılarak çift doğrulama yapılır.

***3.3 Opening the Consensus Group***

Bitcoin ve benzeri sistemlerde doğrulama sağlamak için proof of work mekanizması kullanılır. Bu altyapıda sadece belli kaynaklara sahip nodelar yani bitcoin de bunlara miner lar consensus grubun üyesi olabilirler. PBFTCoin de Bitcoinin proof of work mining mekanizması proof of membership e dönüştürülmüştür. Bu yapıda kayan sabit uzunlukta *share window* denilen yapılar kullanılarak pencere içindeki node lar arasında güç dengesi *balance power* yapılır. Herhangi bir miner yeni bir blok bulduğunda *consensus group share* denilen bir nesne alır. Bu nesne ile miner bu trusteesler arasında üyelik kazanır diyebiliriz ve pencereyi bir birim ileri iter. Pencerenin dışında kalan eski share lar consensus grubun üyesi olmak için kullanılamazlar ve yok olurlar. Pencererin içinde share i olmayan node artık consensus grup içinde doğrulama yapmak başka deyişle karar vermek için kullanılamaz. Miner lar hash güçlerine göre grup içinde share alırlar ve bir miner ın ne kadar share i varsa grup içinde o kadar oy verme gücü(voting power) vardır. Kayan bu pencerenin boyu *w* ise ortalama block- mining oranı ve verilen zaman aralığı baz alınarak belirlenir. Örneğin; ortalama blok mining oranın 10 dakika olduğu bir ortamda zaman aralığını bir gün belirlersek W= 144 olur. Pencere boyu şekilde ayarlanarak consensus grup sayısı ya da share sayısı belli değerlerde tutulabilir.

***3.4 Mining Rewards and Transaction Fees***

Bilindiği gibi Bitcoin ve Bitcoin ile aynı altyapıyı kullanan sanal paralarda en son bloğu bulan miner reward ödül ve ayrıca transaction ödülü verilir ve bu yolla miner lar işlem yapmaya teşvik edilerek ağın güvenliği artırılır. PBFTcoin de ise kazanılan ödül pencere içinde yer alan nodelara pencere içindeki share oranlarına göre paylaştırılır. Yani bir consensus grup üyesinin pencere içindeki hash gücünü temsil eden share ne kadar fazla ise o kadar ödül olur.

***3.5 Replacing MACs by Digital Signature***

Bilindiği gibi PBFTcoin de MAC authentacion altyapısı kullanılır. Bu doğrulama biçiminde consensus grubu oluşturan tüm node lar birbirleri arasında doğrudan haberleşir ve bu sistemi karmaşıklık değeri O(n^2) dir. ByzCoin de MAC authentication mekaniması yerini sayısal imzalara bırakmıştır. Consensus grup içerisinden belirlenen bir lider tüm imzaları toplar ve dağıtır. Böylelikle tüm nodelar birbirleri arasında haberleşmemiş olur. Bu da sistemin karmaşıklık değerini O(n^2) den O(n) lere indirir.

***3.5 Scalable Collective Signing***

Daha önceden de bahsettiğimiz gibi ByzCoin de lider node her round da mesajları dağıtır ve diğer nodeların bireysel olarak bunları imzalamasını bekler ve sonra bunları toplar. Bu sisteme belli oranda performans katkısı sağlar; fakat node sayısı binlere ulaşmaya başladığında bu sistemde bazı problemlere sebep olur. Bunu ortadan kaldırmak için CoSi protokolü oluşturulmuştur. Bu protokol uygulanırken sıradan bir ByzCoin round una iki CoSi round işlemi uygulanır. İlk rounda PBFT protokolünün pre-phase işlemi aynen uygulanır. Yani bu rounda lider node (owner of the current view) toplu imzaları (collective signature) ları toplar ve PBFT protokolunün pre-pare aşamasını uygular. Bu fazda liderin önerisi consensus node grubun üçte iki oyunu alarak onaylanırsa liderin önerisi doğru olarak kabul edilir.

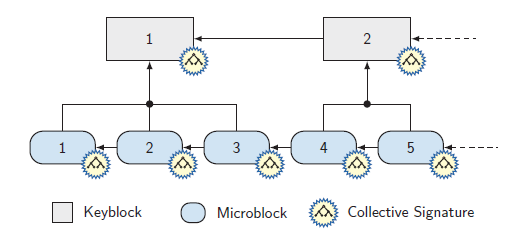
PBFT tinin pre-pare fazında da olduğu gibi liderin bu önerisi kalıcı olarak kabul edilebilirdir; fakat bu önerinin kalıcı olarak işlenmesi için yeterli değildir. İkinci CoSi aşamasında lider node önerisinin işlenmesi için PBFT protokolünün commit phase aşamasını başlatır. İkinci aşama sonrasında alınan collective signature larda da liderin isteği üçte ikiden daha fazla oy alırsa bu istek kalıcı olarak işlenir.

***3.6 Decoupling Transaction Verification from Leader***

Daha önce ki bölümlerde anlatıldığı gibi Byzcoin’de ölçeklenebilir güçlü kalıcılığı sağlamak için (strong consistency) collective signing protokolü kullanıldı. Bilindiği gibi Bitcoin de bir transaction in doğrulanması için birden fazla blok tarafından onaylanması gerekir; fakat bu durum Byzcoin de sadece yeni gelen(sıradaki) bir blok tarafından yapılır ve bu sisteme hız kazandırır. Bu sistem de yine de client lar doğrulayacak yeni blok gelene kadar bir süre beklemiş olurlar. Bu bekleme süresi Bitcoin de yaklaşık 10 dakikadır. Daha düşük transaction gecikmeleri elde etmek için daha önce bölüm 2.1 anlatılan Bitcoin-NG deki transaction doğrulama fonksiyonlarını ayırma (decoupling functions of transaction verification) işlemi yapılabilir.

BitCoin-NG de iki farklı tip blog vardır. *Microblock* lar işlenecek ya da kaydedilecek transactionları tutan blok türüdür. Leader tarafından birkaç dakika da bir bu bloklar oluşturulur. Bu blokları işlemek ve toplu imzalamak için ise CoSi tabanlı PBFT protokolünü kullanır. Diğer blok türü ise *keyblock* tur. Bu blok türü proof of work işlemi için kullanırlar. Liderin seçiminden ve daha önce de bahsettiğimiz gibi consensus grup içindeki share ların oluşturulmasından sorumludurlar. Bitcoin-NG de microblock içindeki transaction ları onaylamak için current leader ayrımı yapılır ve transactionlar bu şekilde onaylanır; fakat bu sistemde current leader bir saldırgan tarafından kullanılıyorsa transactionları değiştirip yeniden işleyebilir bundan dolayı bu sistemin güvenilir olup olmadığı ayrımı yapılamadığıdan bu sisteme bazı saldırılar yapılabilir. Byzcoin bu durumun aksine current leader in durumuna bakmadan microblock içindeki transactionlar geriye döndürülemez şekilde işlenir.

Bitcoin-NG de blockchain her iki türden bloğuda içinde barındırır ve bu durum miner lar arasında race condition a sebep olur. Byzcoin de ise blockchain birbirine parelel olacak şekilde microblock blockchain ve keyblock block chain olarak ikiye ayrılır.

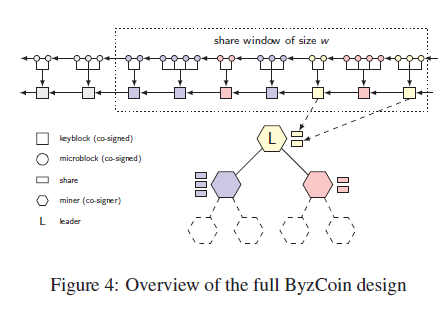


Ana blockchain keyblockchain dir bu chain çıkarılan blokları(mined blok) barındırır. Microblock lar ise keyblockchain lere bağlıdırlar ve transactionları barındırılar. Ayrıca o microblock u kontrol eden ve işleyen keyblock kim olduğunu gösterirler.

**Microblock :** Mikrobloklar (microblocks) birkaç saniyede bir current leader (mevcut lider ) node tarafından üretilen ve yeni işlenen transactionları belirten node lardır. Her mikroblok birkaç transaction ile birlikte bir collective sign (toplu imza ya da grup imzası) içerir. Ayrıca her mikroblok bir önceki mikrobloğun ve keyblock un hash değerini içerir. Bu hashlerden biri blok içerisindeki transactionları sırasını belirlemek için diğer hash ise hangi consensus grup ve leader in bu mikrobloğun imzasını oluşturduğunu gösterir. Mikrobloğun hash değeri topluca(collectively) bir consensus grup tarafından imzalanmıştır.

**Keyblocks:** Keybloklar proof of work için kullanılırlar. Bunun için bir kayan pencere oluşturulur ve consensus grup üyeleri böyle belirlenir. Daha önce bu mekanizma bölüm 3.2 de detaylı anlatılmıştır. Her çıkarılan yeni keyblock yeni bir consensus group u temsil eder. Bu da toplu imzalanacak mikrobloklar için yeni public key setleri demektir.

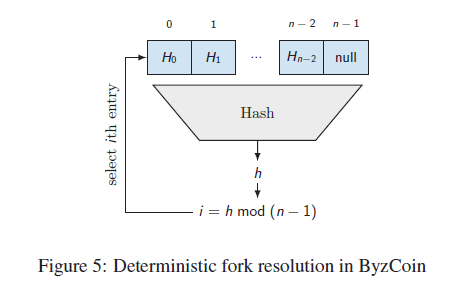
ByzCoin de consensus grup içindeki çoğunluk zararlı (saldırgan tarafıdan ele geçirilmiş) liderin son işlenen bloklar üzerinde işlem yapmasına izin vermezler. Keyblock çıkarmak için node lar arasında yine bir yarış söz konusudur. Bu da grupta fork lara neden olur ve daha tutarsız (inconsistent) grup oluşmasına neden olur. Fakat bu forklar en fazla PBFT de geçici interrupt lara neden olur ve bu problemin çözümü bölüm 3.6.1 de anlatılacaktır.



Transcation doğrulama mekanizmasını lider seçiminden ve consensus grup oluşumundan ayırarak Şekil 4 te gösterilen ByzCoin altyapısı tamamlanmıştır.

***3.6.1 Keyblock Conflict and Selfish Mining***

PBFT en temelde microbloklar içindeki forkları ortadan kalıdırarak bloğa güçlü tutarlılık (strong consistency) sağlar.Minerlar keybloklar içindeki bu tutarsızlık problemlerini çözmek için toplu olarak karar verirler. Fakat hala Bitcoin de olduğu gibi [13] Selfish mining gibi atakların bu tür tutarsızlıkların olduğu gruplara yapılması mümkündür. Bir miner iki bloktan biri rastgele seçip ve onu takip ederse bu durumda sık sık forklar oluşur. Bu yöntemde keybloklar minerlar arasında eşit dağıtılamaz ve forklar oluşur. Başka bir yöntem olarak ise en az geçen hash(smallest hash) değeri kullanılır. Yani grup içinde en az geçen hash değeri kime aitse keyblok ona veririlir; fakat bu yöntem selfish mining ataklarını oldukça artırır.



Selfish mining ataklarını azaltıp bu forkları ortadan kaldırmak için Şekil 5 te gösterilen algoritma kullanılabilir. Bu algoritmayla içinde fork tespit keyblokların başlık hash leri küçükten

büyüğe doğru sıralanarak bir diziye yazılır. Sonra bu dizinin hashi alınarak fork u kazanan keyblok blonur.

***3.6.2 Leader Election and PBFT View Changes***

Lider nodu transcation doğrulama için ayırmak mining işleme ek yük getirir. Şimdiye kadar anlattığımız bölümlerde lider node çalışmalarına devam ettiği sürece bu node un üzerinde hiç değişiklik olmadığı varsaydık. Eğer bu varsayım devam ederse lider node hangi transaction ın doğrulanacağına hangisinin doğrulanmayacağına karar vermiş olur. Böyle bir durumda yukardaki bölümlerde bahsedilen node lar arasında eşit olmaya zorlama kuralını ihlal etmiş olunur. Bu durumu düzeltmek için her yeni keyblock imzalandığında ByzCoin keyblock miner ı zorunlu olarak PBFT view- change (PBFT durum değişimi ) işlemine zorlar. Böyle yapılarak her durumda transaction doğrulama hakkını kazanan doğru miner a transaction doğrulama hakkını verilir.

***3.6.3 Tree Creation in ByzCoin***

Bir miner yeni bir keyblock çıkarmayı başarırsa, kendini leader node ilan edip collective signig işlemini yapmak için bir CoSi communication tree (CoSi iletişim ağacı) oluşturmak zorundadır. Eğer tüm minerlar böyle bir geçiş yapmak (view change) isterlerse, böyle bir durumda sistemin koordine olması için O(n) mesaj gerekir. Her keyblock round işleminin başında sistemin performansını düşüren bu işlemden kurtulmak için her miner bir sonraki round işleminin ağacını otomatik olarak oluşturur. Block chain i tüm tree leri tutan bir ağaç olarak düşünürsek bu işlem için yaklış O(1) mesaj gerekir ve bu işlem, sistemin performansına oldukça katkı sağlar.

***3.7 Tolerating Churn and Byzantine Faults***

Bu bölümde özellikle ağaç yapılarında ve Byzatine hata durumlarında oluşan tolerans değeri sorunları anlatılacaktır.

***3.7.1 Tree Fault Tolerance***

CoSi protokolü içerisinde ciddi hata tolerans değerleri oluşmaktadır; fakat ByzCoin içerisindeki ağaç yapılarının view değişikliği ya da başka mekanizmalar kullanılarak sistemin güvenlik seviyesi artırılmıştır; ama yapılan çalışmlar gösteriyor ki bir saldırgan sistemde imzalamak(signing tree)için kullanılan bu nodeları ele geçirirse tüm sistemi tehdit edecek ataklar yapabilir.

Böyle bir durum için ByzCoin sisteminde commication tree ler tasarlanarak bu tür saldırılar engellendi; fakat eğer sistemde bu ağaç yapısını bozacak türden bir saldırı yapılırsa ve ağaç yapısı bozulursa sisteme yukarıda belirtilen çeşitli saldırılar yapılabilir.

Leader node bu ağaç yapısının bozulup bozulmadığı başlatmış olduğu bir timer ile kontrol eder. Leader node bir timer başlatır ve bu timer sonlanana kadar göndermiş olduğu blok için ACK bekler. Eğer gönderdiği blok için gönderdiği node lar tarafından üçte iki oranında ACK dönmüş ise ağaç yapısı bozulmamıştır; fakat timer sonlanmadan üçte iki oranında ACK değeri gelmemiş ya da block rejection değeri gelmişse ağaç yapısı bozulmuştur kabul eder ve ağacı yeniden oluşturmaya çalışır.

***4 Performans Evaluation***

Bu bölümde çeşitli testler yapılarak ByzCoin in gerçek dünyada kullanılabirik testleri yapılmıştır. Özelikle farklı parametrelerle consensus latency ve transaction throughput değerleri analiz edilmiştir.

***4.1 Consensus Latency***

