Κατανεμημένα Συστήματα
Χειμερινό Εξάμηνο 2019-2020, Σχολή ΗΜ&ΜΥ
Εξαμηνιαία Εργασία - Αναφορά

Θεοδωρόπουλος Νικήτας	*Κασουρίδης Στυλιανός*	*Χαρδούβελης Γεώργιος-Ορέστης*
Α.Μ: 03115185	*Α.Μ: 03115172*	*Α.Μ: 03115100*
9ο Εξάμηνο	*9ο Εξάμηνο*	*9ο Εξάμηνο*

Στην παρούσα άσκηση δημιουργήσαμε ένα απλό σύστημα blockchain, το **noobcash**, στο οποίο καταγράφονται οι δοσοληψίες μεταξύ των συμμετεχόντων. Στο σύστημα καταγράφονται οι δοσοληψίες των χρηστών και η αξιοπιστία του συστήματος και το consensus εξασφαλίζονται με Proof of Work.

Σχεδιασμός Συστήματος

Το σύστημα αποτελείται από δύο διακριτά μέρη. Η επικοινωνία των χρηστών υλοποιείται με χρήση distributed server και API REST calls. Για το backend χρησιμοποιήθηκε το Flask API στην γλώσσα Python<=3.5 (για τις ανάγκες του συστήματος Ωκεανός). Στο frontend οι χρήστες μπορούν μέσω του command line interface , να δώσει εντολές για να ζητήσει απο το backend να υλοποιήσει μια συναλλαγή ή να δει το υπόλοιπο του.

Οι πόροι της εργασίας μας δόθηκαν από την υπηρεσία ~okeanos-knossos. Συγκεκριμένα, για τις ανάγκες της εργασίας είχαμε πρόσβαση σε 5 VMs.

Υλοποίηση Λειτουργιών στο Backend

Για το σύστημα υιοθετήσαμε μια object-oriented προσέγγιση, όπου κάθε σημαντική οντότητα στο blockchain διαθέτει και την δική της κλάση με κατάλληλες μεθόδους και πεδία. Παρακάτω εξηγούμε την δομή των κλάσεων και του συστήματος γενικότερα.

Οι λειτουργίες του συστήματος σύμφωνα με την εκφώνηση είναι οι παρακάτω:

- Κάθε χρήστης θα έχει το δικό του noobcash wallet για να πραγματοποιεί transactions. Ένα wallet είναι ουσιαστικά ένα private key γνωστό μόνο σε αυτόν και ένα public key. Τα transactions είναι συναλλαγές στις οποίες ένας χρήστης δίνει NBC (noobcash) coins σε κάποιον άλλον και στον κώδικα μας υλοποιούνται από την *create_transaction(receiver, amount)*. Ο αποστολέας χρησιμοποιεί το private key του για να υπογράψει την συναλλαγή -συνάρτηση *sign_transaction()*-, ενώ το public key ενός λειτουργεί και σαν την διεύθυνση του wallet του. Έτσι μέσω του transaction θα στείλει τα "χρήματα" στην διεύθυνση του παραλήπτη.

- Η αποστολή transaction, block ή άλλων πληροφοριών γίνεται με κατάλληλα POST requests ή ως απάντηση σε GET requests. Η αποστολή συναλλαγών γίνεται μέσω της broadcast transaction.

- Όταν οι miners (για τα πλαίσια της εργασίας όλοι οι χρήστες είναι miners), λάβουν ένα transaction -συνάρτηση *receive_transaction* μέσω μεθόδου POST του Flask Api- το επικυρώνουν -καλείται η *validate_transaction*-.

- Όταν γεμίσει το τρέχων block, οι χρήστες ξεκινάνε mining χρησιμοποιώντας την μέθοδο proof of work. Συγκεκριμένα, όταν δημιουργηθεί ή γίνει επικύρωση ενός transaction, αν ο αριθμός των transactions στο block φτάσει στο ορισμένο CAPACITY, καλείται η συνάρτηση *mine_block_and_broadcast* του αρχείου state.py που καλεί την *mine_block* του αρχείου block. Κατά την διαδικασία του mining, αρχικά, χρησιμοποιούμε την δομή Merkle Tree στην οποία αποθηκευουμε της hash τιμές των transactions. Με τον τρόπο αυτό το mining έχει constant χρόνο εκτέλεσης. Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήσαμε όμως απαιτεί Python>=3.6 και δεν χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα.
- Ύστερα οι miners ψάχνουν το σωστό nonce ώστε η Hex hash τιμή του block να ξεκινάει με όσα μηδενικά έχουν οριστεί με το difficulty. Ο miner που θα βρει πρώτος αποδεκτό nonce καλεί την συνάρτηση *add_block(block)* η οποία προσθέτει το block στον blockchain αφού το επικυρώσει. Για την επικύρωση εξετάζεται αν το previous_hash πεδίο είναι ίδιο με το hash του προηγούμενου block ενώ καλείται και η *validate_hash()* που επικυρώνει πως η τιμή hash του block είναι η σωστή (και άρα έχει γίνει σωστό mining). Ταυτόχρονα, όταν τρέχει η *add_block* χρησιμοποιούμε κλείδωμα RLock για να επιβεβαιώσουμε ότι όσο κάνουμε αλλαγές στο global state δε θα λάβουμε κάποιο block ή transaction. Ύστερα ο miner κάνει broadcast το νέο block μέσω της συνάρτησης *broadcast_block(block).*

- Υπάρχει περίπτωση δύο ή παραπάνω miners να κάνουν ταυτόχρονα mine ένα block. Έτσι οι παραλήπτες προσθέτουν το block που λαμβάνουν αντίστοιχα, κάτι που μπορεί να καταλήξει σε δύο ή παραπάνω διακλαδώσεις της αλυσίδας. Σε τέτοια περίπτωση καλείται η συνάρτηση *resolve_conflict* που υλοποιεί τον αλγόριθμο consensus. Συγκεκριμένα, δεδομένης της μίας αλυσίδας, υπολογίζεται το μήκος της άλλης που στέλνεται μέσω μεθόδου GET του Api, και κρατάμε την μεγαλύτερη αλυσίδα. Αφού λάβουμε μια αλυσίδα πρέπει να την επιβεβαιώσουμε απο την αρχή της. Έτσι αφου ελέγξουμε οτι το genesis block είναι ίδιο με το δικό μας, εκτελούμε “playback” των transactions επαληθεύοντας κάθε φορά την ορθότητα κάθε block. Εάν η νέα αλυσίδα είναι σωστή τότε για τα unmined transactions που είχαμε πριν το consensus, ελέγχουμε ποιά ισχύουν ακόμα με βάση τα νέα δεδομένα κάνοντας validate. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η εγκυρότητα του συστήματος.

Η validate_transaction που αναφέρθηκε πάνω περιλαμβάνει αρκετούς διαφορετικού ελέγχους.
Αρχικά επαληθεύεται η υπογραφή του αποστολέα με την *verify_signature()*.
Ύστερα ελέγχονται τα transaction input και outputs.
Τα transaction inputs περιέχει πληροφορία για τα προηγούμενα transactions από όπου προήλθαν τα χρήματα που τώρα μεταφέρονται.
Τα transaction outputs από την άλλη είναι δύο για κάθε transaction· ένα για τον αποστολέα με τα “ρέστα”, το ποσό που του έμεινε απο την συναλλαγή, και ένα για τον παραλήπτη, με το ποσό που πήρε. Τα transaction outputs παράγονται κάθε φορά που δημιουργείται / επαληθεύεται ένα transaction και έχουν δομή λεξικού που περιλαμβανουν το id του

transaction από όπου προέρχονται, ένα μοναδικό id για το συγκεκριμένο output (id του transaction από όπου προήλθαν + ‘0’ για τον αποστολέα και + ‘1’ για τον παραλήπτη), την διεύθυνση / public key του παραλήπτη και τέλος το μεταφερόμενο ποσό / ρέστα.
Τα transaction inputs αποτελούνται από UTXOs (unspent transaction outputs), δηλαδή από transaction outputs που δεν έχουν ξοδευτεί ακόμη. Το πεδίο των inputs σε κάθε transaction δημιουργείται στην create_transaction, παίρνοντας αρκετά UTXOs ώστε να συμπληρωθεί το ποσό του transaction, εφόσον υπάρχουν. Τα inputs αποτελούν απλά ids των αντίστοιχων UTXOs.
Έτσι στην *validate_transaction()* ελέγχεται αν τα transaction inputs αντιστοιχούν σε έγκυρα UTXOs. Τα UTXOs κάθε wallet είναι γνωστά σε όλους τους κόμβους ώστε κάθε χρήστης να μπορεί να κάνει την επαλήθευση. Εφόσον επαληθευτεί το transaction, τα UTXOs που χρησιμοποιήθηκαν σαν input που έχουν αποθηκευτεί στην *pending_removed* λίστα αφαιρούνται από τα UTXOs globally με την χρήση της συνάρτησης *remove_utxo(utxo)*.
Τέλος, τόσο στην *validate_transaction* όσο και στην *create_transaction* προσθέτουμε globally στα UTXOs τα νέα outputs (μέσω της *add_utxo(utxo))*, καθώς και το νέο transaction στην λίστα με τα unmined *transactions*.

Η κλάση *State* συνοδεύεται από ένα αντικείμενο state και αποτελεί ουσιαστικά τον κύριο κόμβο συγκέντρωσης δεδομένων για την υλοποίηση μας. Εκεί υπάρχει η πληροφορία των transactions, UTXOs και εκτελείται ο αλγόριθμος consensus. Απο το global αντικείμενο state μοιράζεται η πληροφορία στις διάφορες κλάσεις και αυτό είναι που τροποποιείται όταν έχουμε αλλαγές στην αλυσίδα.

Δίκτυο

Όσον αφορά το δίκτυο μας, οι συμμετέχοντες συμβολίζονται με κόμβους με μοναδικό id. Κάθε συμμετέχοντας / κόμβος μπορεί να ανταλλάσει μηνύματα με τους υπόλοιπους κόμβους. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω REST api όπως είδαμε και παραπάνω.
Ο πρώτος κόμβος στο δίκτυο μας με id 0 είναι ο coordinator. Η αρχικοποίηση του γίνεται με το κάλεσμα της συνάρτησης *start_coordinator()* με ένα POST request, η οποία καλεί την *genesis(n)* που δημιουργεί τον κόμβο και αρχικοποιεί τα απαραίτητα πεδία. Έτσι δημιουργείται το genesis block (το οποίο ως το πρώτο block δεν επαληθεύεται) με το πρώτο transaction που έχει ως ποσό 100 φορές τους κόμβους / χρήστες NBC (noobcash) coins. Τα δεδομένα του coordinator μπορούμε να τα δούμε με ένα GET request με την βοήθεια της *show_coordinator_data()*.

Στη συνέχεια μέσω του πρώτου κόμβου προστίθενται και οι υπόλοιποι. Αρχικά το σύστημα επικοινωνεί με τον κόμβο-coordinator και στέλνει το public key του wallet του. Στη συνέχεια ο κόμβος-coordinator του δίνει το μοναδικό id του. Με την δημιουργία κάθε κόμβου, που πραγματοποιείται με την συνάρτηση *register_new_node()*, δημιουργείται αυτόματα και ένα transaction από τον αρχικό κόμβο σε αυτόν, με ποσό 100 NBC coins.

Γενικά η παραπάνω επικοινωνία πραγματοποιείται με την χρήση της συνάρτησης *connect_to_coordinator*. Για την ακρίβεια γίνεται POST request από τον χρήστη, με αποτέλεσμα να τρέξει η *register_new_node()*. Κατά την διαδικασία ζητείται και το blockchain όπως έχει διαμορφωθεί, το οποίο γίνεται μέσω ενός GET request με την βοήθεια της *request_chain()*. Ακόμη, η αλυσίδα επιβεβαιώνεται μέσω της *validate_chain()*, η οποία τρέχει μόνο αν έχει "κλειδώσει" και δεν τρέχει ταυτόχρονα ο αλγόριθμος consesus, και εξετάζει αν το previous_hash πεδίο είναι ίδιο με το hash του προηγούμενου block για κάθε block, ενώ καλείται και η *validate_hash()* για κάθε block, επικυρώνοντας έτσι την hash τιμή του.

Αφού εισαχθούν όλοι οι κόμβοι στην αρχή, το δίκτυο παραμένει ίδιο, δηλαδή δεν έχουμε εισαγωγή ή αποχώρηση κόμβων. Ύστερα γίνονται broadcast σε όλους τους κόμβους τα απαραίτητα στοιχεία (ip adress / port υπόλοιπων κόμβων και τα public keys των wallets τους) μέσω της συνάρτησης *broadcast_nodes_info()* στο αρχείο *broadcast.py*.

Έτσι τελικά δημιουργείται ένα αμετάβλητο δίκτυο με όσους κόμβους χρειαζόμαστε (5 ή 10 για τις ανάγκες των πειραμάτων της εργασίας), ο καθένας εκ των οποίων έχει 100 NBC coins.

Noobcash Client

Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύχθηκε και ένα cli που λειτουργεί ως client. Η υλοποίηση του φαίνεται στο αρχείο cli.py..
Αφού στηθεί ο δίκτυο μπορούμε με ένα POST request να ξεκινήσουμε την λειτουργία του client (με την βοήθεια της *start_client()*). Μέσω του cli μπορούμε να:

- δημιουργήσουμε νέο transaction: ο client μπορεί να δημιουργήσει ένα transaction της μορφής t <recipient_address> <amount>, κάνοντας ένα POST request με την βοήθεια της εντολής cli_*new_transaction*, που παίρνει ως όρισμα την διεύθυνση του recipient (δηλαδή το public key του wallet του) και το ποσό της συναλλαγής.

- δούμε τα τελευταία transactions: με την εντολή view καλείται *view_transactions,* ο client βλέπει τις συναλλαγές του τελευταίου επικυρωμένου block στην αλυσίδα.

- δούμε το υπόλοιπο του wallet: με την εντολή balance καλείται η συνάρτηση *show_balance* (POST request) που καλεί την *wallet_balance*, ο client βλέπει το υπόλοιπο στο wallet του. Το υπόλοιπο προκύπτει ουσιαστικά από όλα τα UTXOs που έχουν ως κάτοχο αυτόν. Τόσο η *wallet_ballance* όσο και η *view_transactions* από πάνω χρησιμοποιούν την *get_node_id* για να πάρουν το id των εμπλεκόμενων χρηστών.

- ζητήσουμε επεξήγηση των εντολών: με την help μπορούμε να δούμε επεξηγήσεις για τις παραπάνω εντολές.

Αποτελέσματα Πειραμάτων

Απόδοση του Συστήματος

- Τα παρακάτω αποτελέσματα προέκυψαν από ένα noobcash με 5 clients -όσα και VMs-. Ο καθένας διαβάζει το αντίστοιχο αρχείο txt (με το ίδιο id) που περιέχει τα transactions προς άλλους χρήστες.

Συνεπώς κάθε κόμβος δημιουργεί και στέλνει ένα transaction ανά γραμμή. Αυτό γίνεται ταυτόχρονα για όλους τους clients.
Για διαφορετικές τιμές του capacity (transactions σε κάθε block) και difficulty (απαραίτητα μηδενικά στην αρχή hashed block κατά το mining) εξετάσαμε το **throughput** του συστήματος, δηλαδή πόσα transactions αξιοποιούνται ανά μονάδα χρόνου, καθώς και το **block time**, δηλαδή τον μέσο χρόνο που απαιτείται για την πρόσθεση ενός νέου block στην αλυσίδα, τα οποία είναι ενδεικτικά της απόδοσης του συστήματος.

Capacity	Throughput (Transactions/sec)		Block time (in seconds)	
1	2.0437	0.2822	0.4893	3.5437
5	7.6786	1.1899	0.6511	4.2017
10	13.5452	1.8002	0.7382	5.5547
Difficulty	4	5	4	5

Κλιμακωσιμότητα του συστήματος

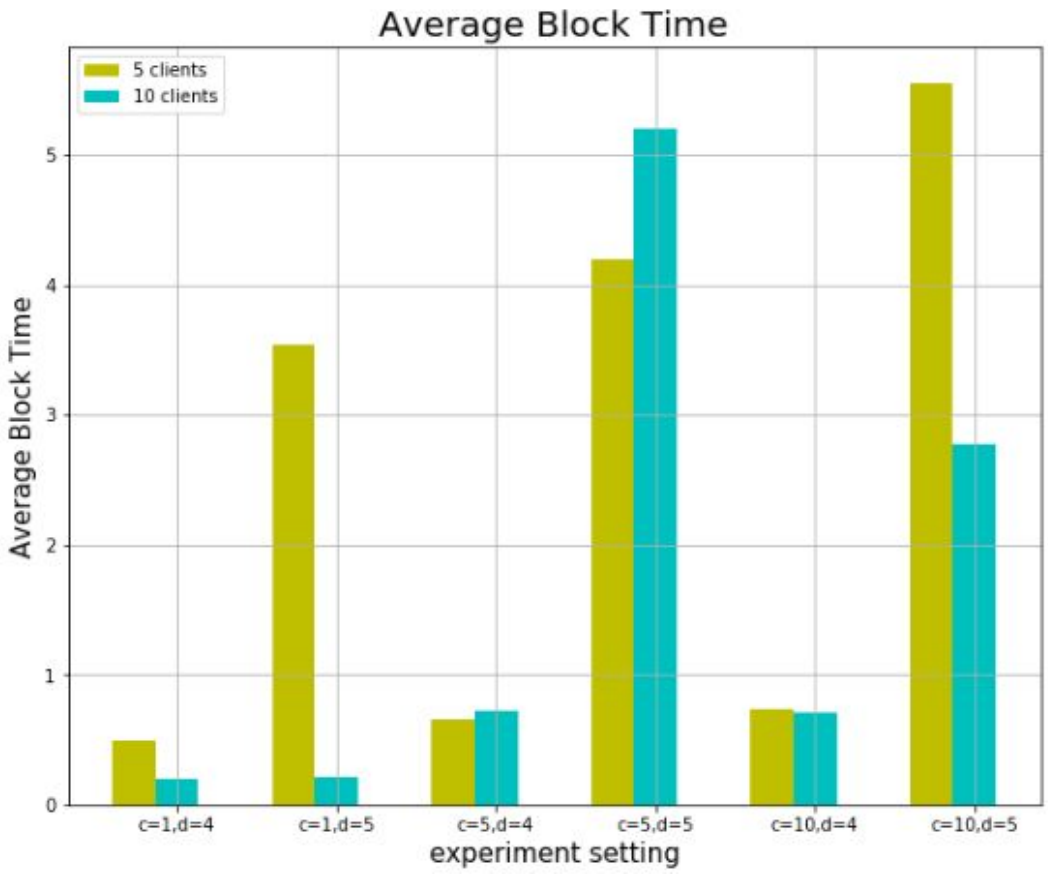
Εδώ επαναλάβαμε το παραπάνω πείραμα για 10 clients.

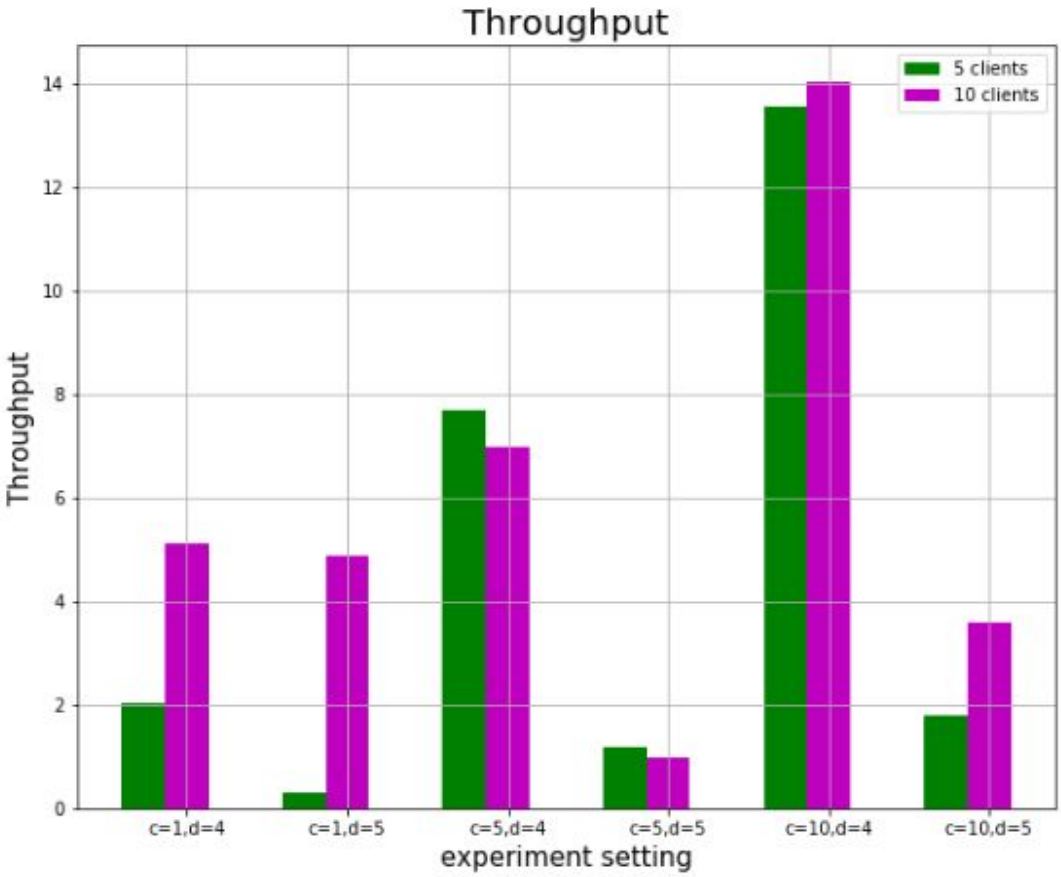
Capacity	Throughput		Block time	
1	5.1099	4.8709	0.1957	0.2053
5	6.9813	0.9612	0.7162	5.2019
10	14.045	3.6006	0.7120	2.7773
Difficulty	4	5	4	5

Το block time υπολογίστηκε ως ο μέσος χρόνος για την προσθήκη ενός block απο την προσθήκη του προηγούμενου. Το throughput των transactions υπολογίστηκε απο το average block time, διότι θεωρήσαμε ότι ένα transaction έχει εξυπηρετηθεί πλήρως μόνο αφού μπει σε κατάλληλο block και έχει γίνει δηλαδή αποδεκτό από το δίκτυο.

Παρατηρούμε ότι ή αύξηση του difficulty αυξάνει σημαντικά το average block time. Το συμπέρασμα είναι λογικό διότι το έξτρα hex ψηφίο που πρέπει να μηδενίσουμε αυξάνει 16 φορές την δυσκολία κατα μέσο όρο.

Διαγράμματα





Σχολιασμός

Αντιμετωπίσαμε διάφορα προβλήματα κατα την εξαγωγή των πειραμάτων στην πλατφόρμα okeanos. Αρχικά έπρεπε να γίνουν μετατροπές στον κώδικα λόγω της διαφορετικής έκδοσης Python. Σημαντικά ήταν τα θέματα συγχρονισμού, για τα οποία δημιουργήθηκε κατάλληλη διαδικασία με Notifications έτσι ώστε ο client να ξεκινάει τα transactions αφού όλοι οι κόμβοι έχουν συνδεθεί με επιτυχία στο δίκτυο. Αυτό έγινε γιατί θέλαμε να έχουμε βεβαιωθεί ότι ένας κόμβος έχει λάβει τις απαραίτητες πληροφορίες προτού αρχίσει να λαμβάνει η να στέλνει transactions. Τον ρόλο του συγχρονιστή ανέλαβε ο coordinator.

Παρατηρήσαμε το εξής φαινόμενο: ένας αριθμός από transactions κατέληξαν invalid γιατί ο χρήστης δεν είχε λάβει ακόμα τα transactions που ενισχύουν το υπόλοιπο του. Έτσι σταδιακά οι clients βρέθηκαν να ζητούν transactions με μηδενικό υπόλοιπο. Παρόλ'αυτά επιβαιβεώσαμε ότι το σύστημα λειτουργεί σωστά και σε κάθε στιγμή διατηρείται valid αλυσίδα χωρίς να χάνονται χρήματα η transactions. Στο τέλος της διαδικασίας το υπόλοιπο των χρηστών είναι σωστό (και κοινά αποδεκτό). Τα invalidated transactions είναι κομμάτι του πειράματος και φυσικά τα transaction των χρηστών δεν έχουν κάποια εγγενή προτεραιότητα,

το σημειώνουμε όμως σαν παρατήρηση, και γιατί επηρεάζει την ακεραιότητα των σημειωμένων χρόνων.

Τέλος οι υψηλοί χρόνοι block time οφείλονται κατα την γνώμη μας σε αργή υλοποίηση του συστήματος (όπως περιττό locking συναρτήσεων) και μετά από κατάλληλη βελτιστοποίηση καταφέραμε να τους μειώσουμε περίπου στο μισό. Ακόμα ίσως επηρεάζει η υλοποίηση του Proof of Work στην οποία έγινε προσπάθεια να είναι πιο κοντά στο πραγματικό σύστημα bitcoin.