Προανάκτηση σε Blockchain Client με στατική ανάλυση και υποθετική εκτέλεση των Έξυπνων Συμβολαίων

Διπλωματική Εργσία
Παναγιώτης Γκόνης

Motivation

- Συμμετέχοντες στο δίκτυο τρέχουν ένα client
- Κατεβάζουν ολόκληρο το blockchain και εκτελούν όλα τα transaction που περιέχει
- Χρονοβόρα διαδικασία: πολλές ώρες – μέρες σε τυπικό hardware
- Τελική χρήση δίσκου: τάξης TB

Προσπάθειες βελτίωσης

- Κάποιες απαιτούν αλλαγές αρχιτεκτονικής του δικτύου (Rainblock)
- Άλλες είναι συμβατές, αλλάζουν δομές αποθήκευσης δεδομένων (Erigon)
- Μελέτες για παραλληλοποίηση εκτέλεσης, με ή χωρίς επεκτάσεις πρωτοκόλλου

- Σκοπός της διπλωματικής: εφαρμογή prefetching, επιτάχυνση διατηρώντας συμβατότητα

World State

- Σύνολο ζυγών K-V, ίδιο σε όλους τους clients, τροποποιείται από τα Transactions
- Περιέχει λογαριασμούς
  Key=διεύθυνση → Value=λογαριασμός
- Για κάθε συμβολαιο, το χώρο αποθήκευσής του
  Key=slot → Value=περιεχόμενο
- Οργάνωση modified Merkle Patricia Trie (MPT)

Merkle Patricia Trie

- Λειτουργεί ως KV store
- Δενδρική δομή
- Το κλειδί είναι το μονοπάτι από τη ρίζα στον κόμβο
- Ο κόμβος περιέχει την τιμή για το κλειδί αυτό
- Οι ακμές δεν είναι διευθύνσεις μνήμης αλλά hash

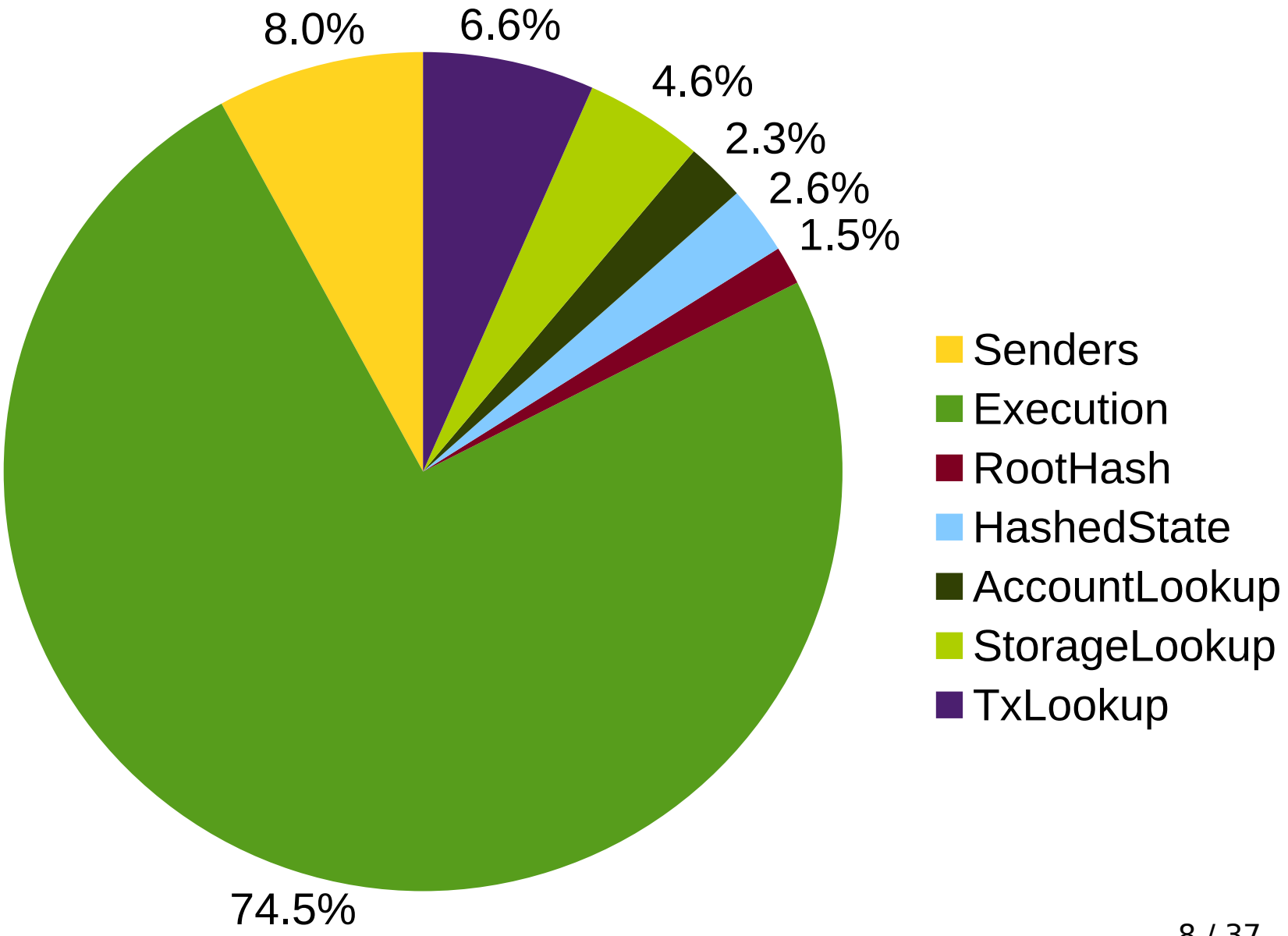
Go-ethereum

- Official client
- Χρησιμοποιεί εσωτερικά το MPT
- Το αποθηκεύει σε LevelDB
- Trivial αναδρομή σε ιστορικά state
- Μέγεθος βάσης σε archive node: 9 TB

Erigon

- Fork του go-ethereum
- Η δουλειά χωρίζεται σε stages, πχ download, execute, ...
- Δεν χρησιμοποιεί Trie, αντιθέτως αποθηκεύει σε “flat” μορφή
- Database: MDBX (fork της LMDB), mmap
- Σημαντική βελτίωση σε χρόνο και χώρο
- Μέγεθος βάσης σε archive node: 1,5 TB

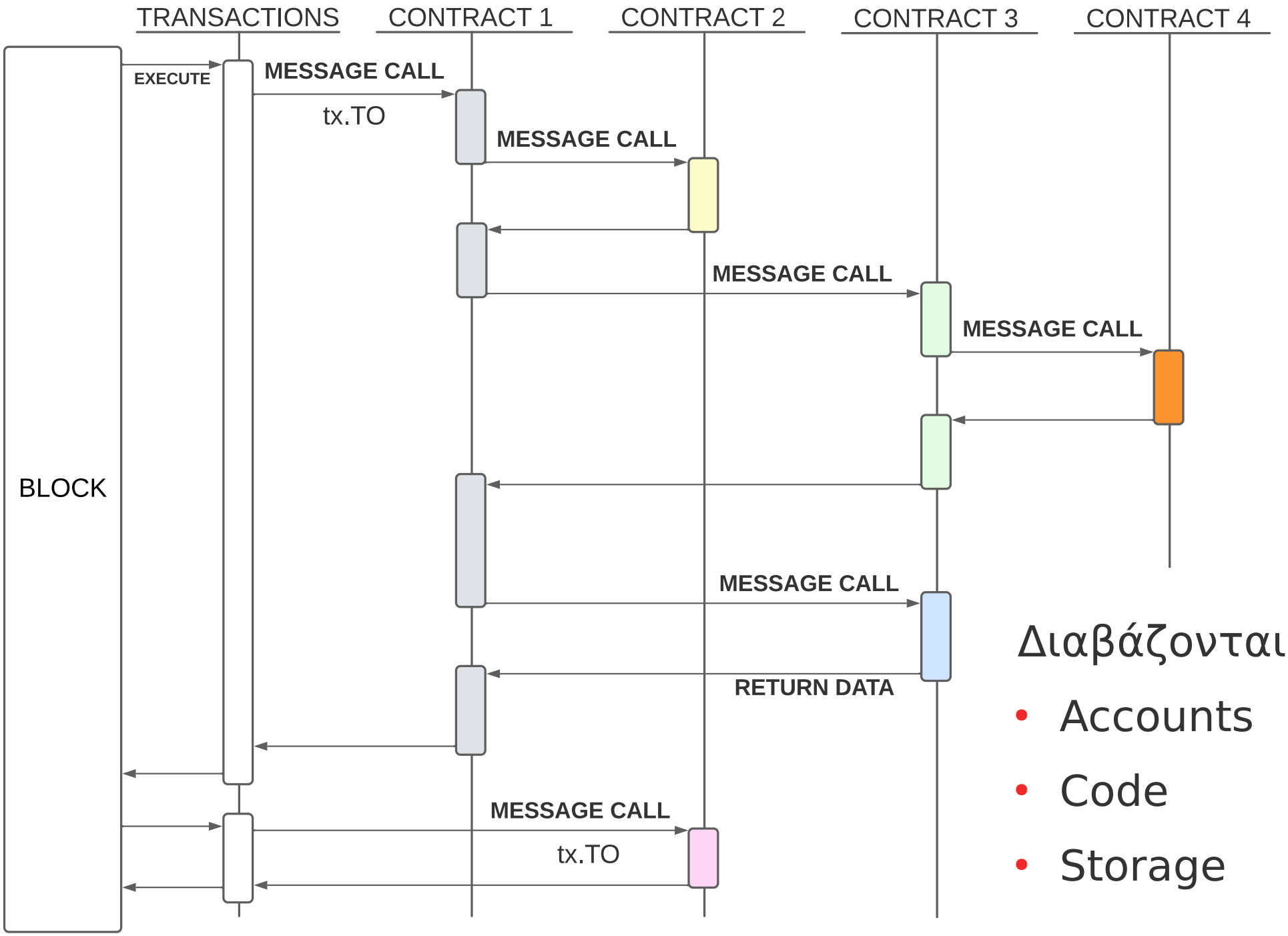
Stages (χωρίς δικτύου)



Execution Stage

- Γίνεται η εκτέλεση των block, transaction και SC
- Σειριακή εκτέλεση, άγνωστα dependencies μεταξύ transaction
- CPU και IO heavy
- Συνεχής πρόσβαση στο World State (DB), χρονοβόρα blocking reads
- Αν γινόταν prefetching, οι σελίδες της βάσης θα ήταν στη μνήμη (FS cache) και τα reads γρήγορα

  → στόχος της εργασίας



Διαβάζονται:

- Accounts
- Code
- Storage

Πόσο I/O;

- Δοκιμαστική εκτέλεση 30K block,
  μέτρηση πόσου χρόνου περιμένει στη βάση

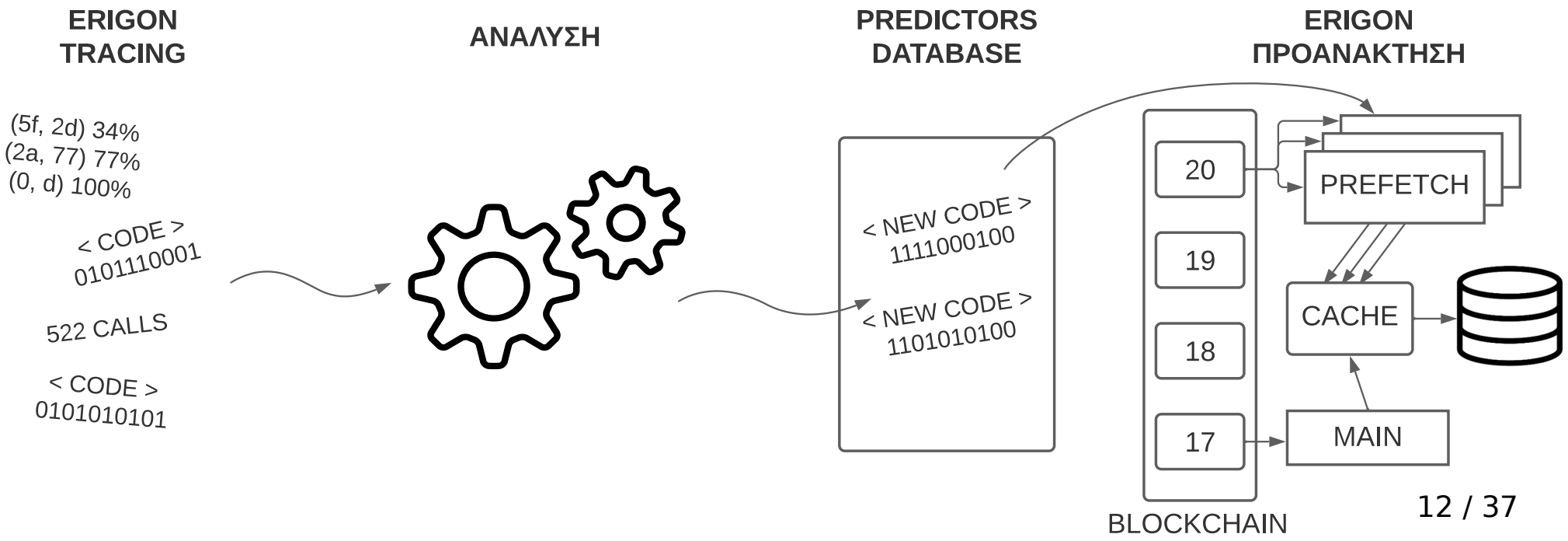
- Με γρήγορο δίσκο NVME: 22 %
- Με πιο αργό δίσκο sata SSD: 35 %

- Υπάρχει η δυνατότητα για σημαντική βελτίωση

(με σκληρό δίσκο δεν έγιναν δοκιμές, η ταχύτητα εκτέλεσης είναι 1-2 τάξεις μεγέθους χαμηλότερη)

Δομή του συστήματος

- Tracing: Συλλογή μετρικών και κώδικα των SC
- Ανάλυση των SC που συλλέχθηκαν και σύνθεση νέων προγραμμάτων (predictors)
- Προανάκτηση και υποθετική εκτέλεση των predictors

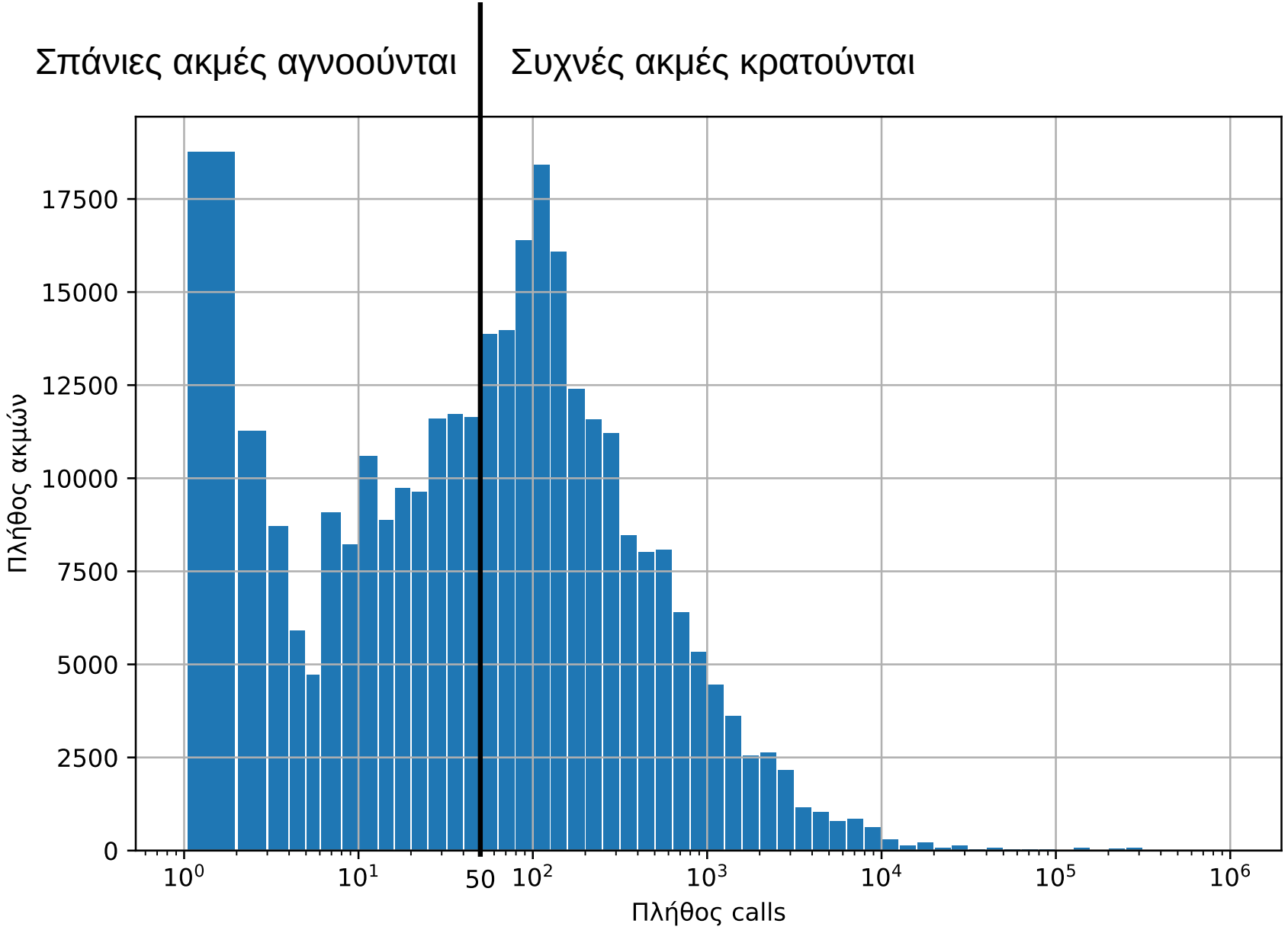


Tracing

- Κατά την πραγματική εκτέλεση*, συλλέγεται ο κώδικας των SC και πλήθος κλήσεων στο καθένα
- Τα δημοφιλή αποθηκεύονται για ανάλυση
- Εξάγονται ακμές CFG σχετικές με JUMP, και πλήθος calls που περνάνε από κάθε μία
- Οι ακμές με “πολλές” κλήσεις δίνονται σαν υποβοήθηση στον αναλυτή

**έγινε με δείγμα transaction, offline, αλλά σε μια πραγματική υλοποίηση θα γίνεται online*

Tracing


Σπάνιες ακμές αγνοούνται
Συχνές ακμές κρατούνται
Πλήθος ακμών
17500
15000
12500
10000
7500
5000
2500
0
10^0
10^1
50
10^2
10^3
10^4
10^5
10^6
Πλήθος calls

Ανάλυση

- Ξεχωριστή διεργασία, σε Python
- Σκοπός: εξάγει απ’ τα SC μόνο “χρήσιμες” εντολές: πρόσβασης storage, calls, return
- Έχει ως είσοδο SC code, παράγει ως έξοδο predictors με παρόμοιο κώδικα
- Η συμπεριφορά τους επιτρέπεται να διαφέρει από του αρχικού κώδικα
- ευκαιρίες για unsafe optimization,
  πχ αφαίρεση σπάνιων εντολών

Ανάλυση 1/12

- Παίρνει ως είσοδο τον κώδικα ενός SC, που είναι σε μορφή EVM bytecode

```
6080604052600436106100565763ffffffff7c01000000000000000000000000000000000000000000000000000000006000350416636ae17ab7811461005b578063771c0ad91461008d578063e80db5db146100ab575b600080fd5b348015610067576000080f...
```

Ανάλυση 2/12

- Κάνει disassemble

```
00000000: PUSH1 0x80
00000002: PUSH1 0x40
00000004: MSTORE
00000005: PUSH1 0x4
00000007: CALLDATASIZE
00000008: LT
00000009: PUSH2 0x56
0000000c: JUMPI
0000000d: PUSH4 0xffffffff
00000012: PUSH29 0x1000000000000000...
00000030: PUSH1 0x0
00000032: CALLDATALOAD
00000033: DIV
00000034: AND
....
```

Ανάλυση 3/12

- Το χωρίζει σε basic blocks

```
-----   BLOCK ~0 -----
00000000: PUSH1 0x80
00000002: PUSH1 0x40
00000004: MSTORE
00000005: PUSH1 0x4
00000007: CALLDATASIZE
00000008: LT
00000009: PUSH2 0x56
0000000c: JUMPI
```

```
-----   BLOCK ~d -----
0000000d: PUSH4 0xffffffff
00000012: PUSH29 0x100000000...
00000030: PUSH1 0x0
00000032: CALLDATALOAD
00000033: DIV
00000034: AND
00000035: PUSH4 0x6ae17ab7
0000003a: DUP2
0000003b: EQ
0000003c: PUSH2 0x5b
0000003f: JUMPI
```

```
-----   BLOCK ~40 -----
00000040: DUP1
00000041: PUSH4 0x771c0ad9
00000046: EQ
00000047: PUSH2 0x8d
0000004a: JUMPI
```

Ανάλυση 4/12

- Μετατρέπει τις εντολές σε μορφή SSA

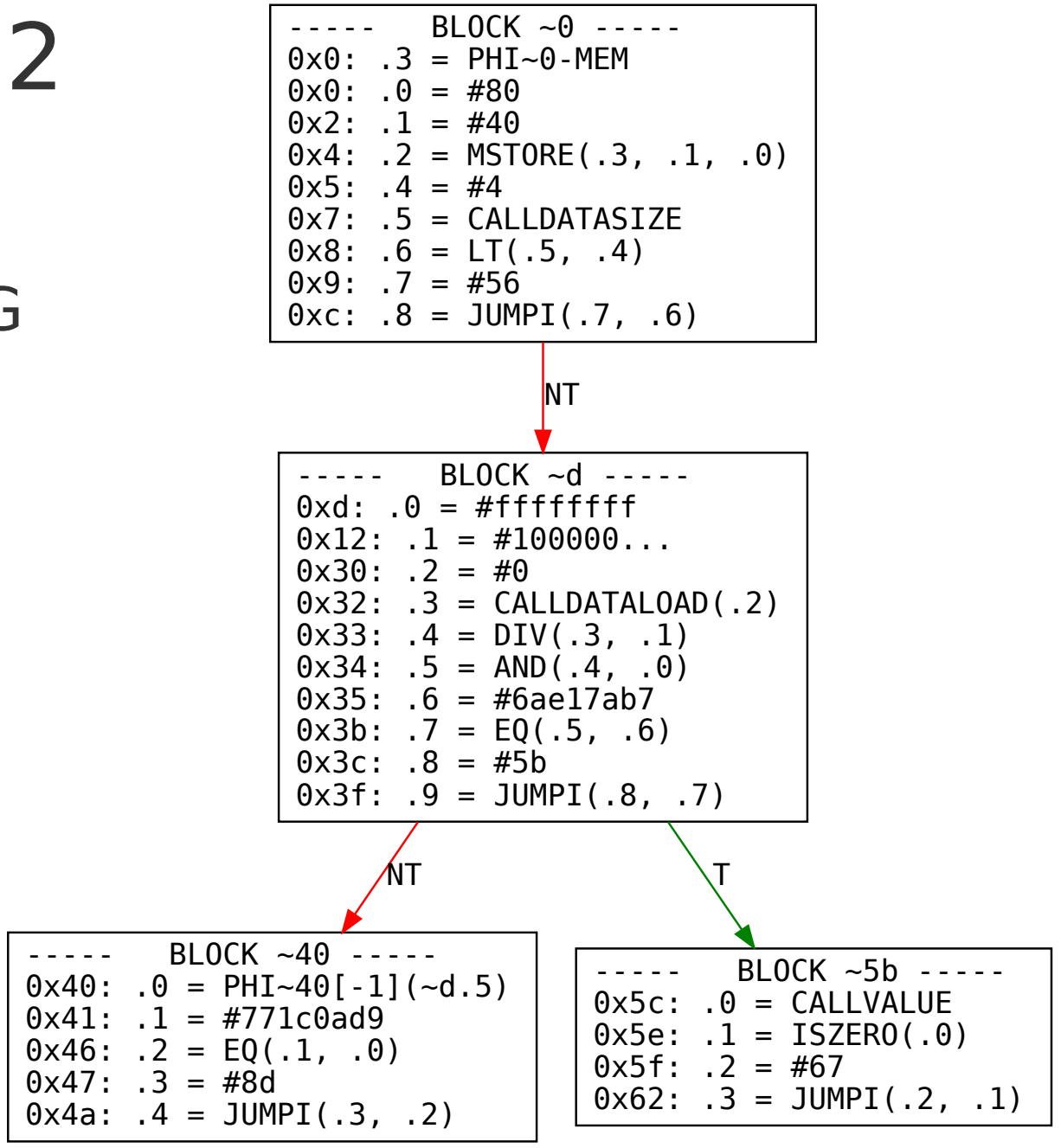
```
-----   BLOCK ~0 -----
0x0: .3 = PHI~0-MEM
0x0: .0 = #80
0x2: .1 = #40
0x4: .2 = MSTORE(.3, .1, .0)
0x5: .4 = #4
0x7: .5 = CALLDATASIZE
0x8: .6 = LT(.5, .4)
0x9: .7 = #56
0xc: .8 = JUMPI(.7, .6)
```

```
-----   BLOCK ~d -----
0xd: .0 = #ffffffff
0x12: .1 = #10000...
0x30: .2 = #0
0x32: .3 = CALLDATALOAD(.2)
0x33: .4 = DIV(.3, .1)
0x34: .5 = AND(.4, .0)
0x35: .6 = #6ae17ab7
0x3b: .7 = EQ(.5, .6)
0x3c: .8 = #5b
0x3f: .9 = JUMPI(.8, .7)
```

```
-----   BLOCK ~40 -----
0x40: .0 = PHI~40[-1]
0x41: .1 = #771c0ad9
0x46: .2 = EQ(.1, .0)
0x47: .3 = #8d
0x4a: .4 = JUMPI(.3, .2)
```

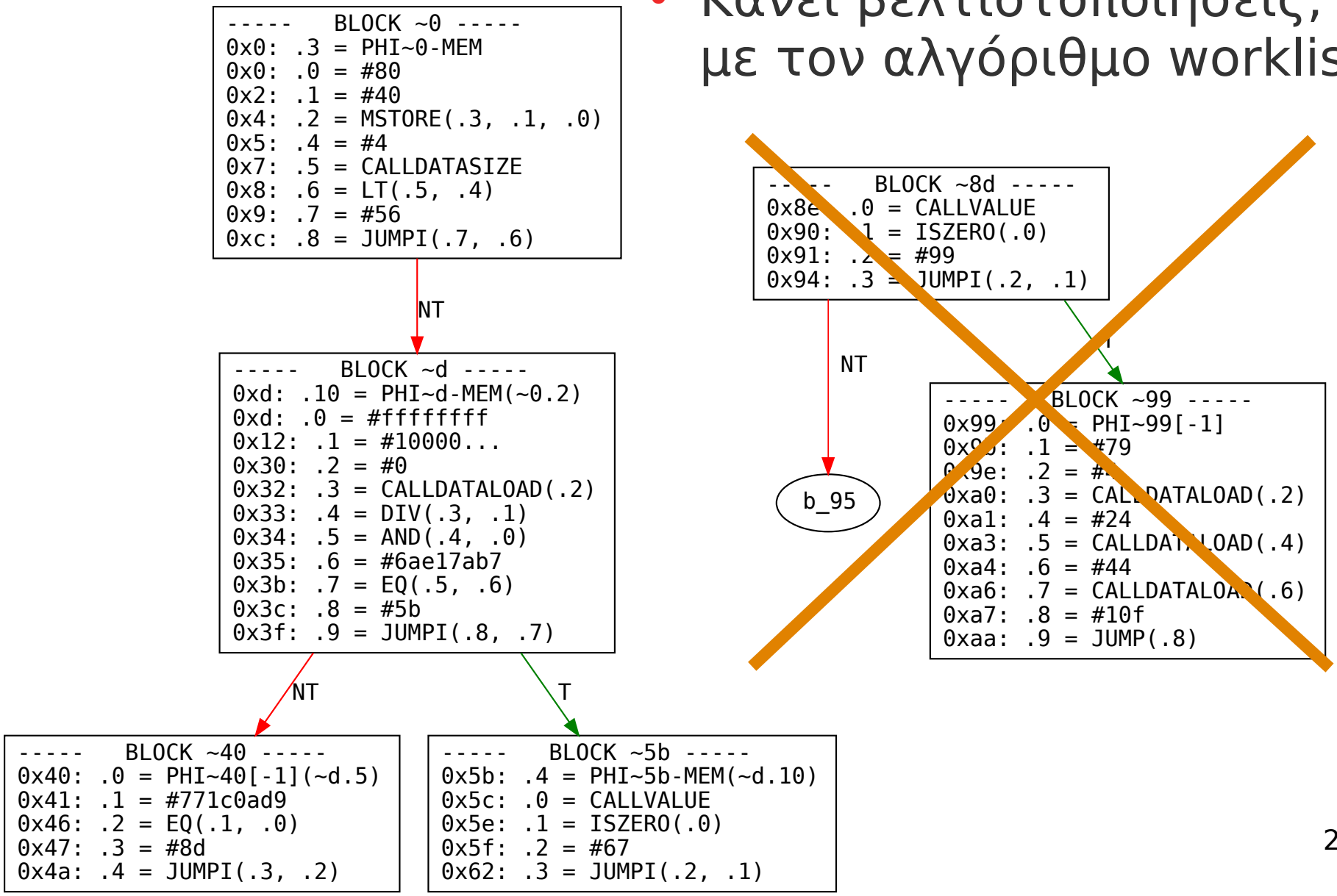
Ανάλυση 5/12

- Σύνδεση των block, αρχική εκτίμηση CFG



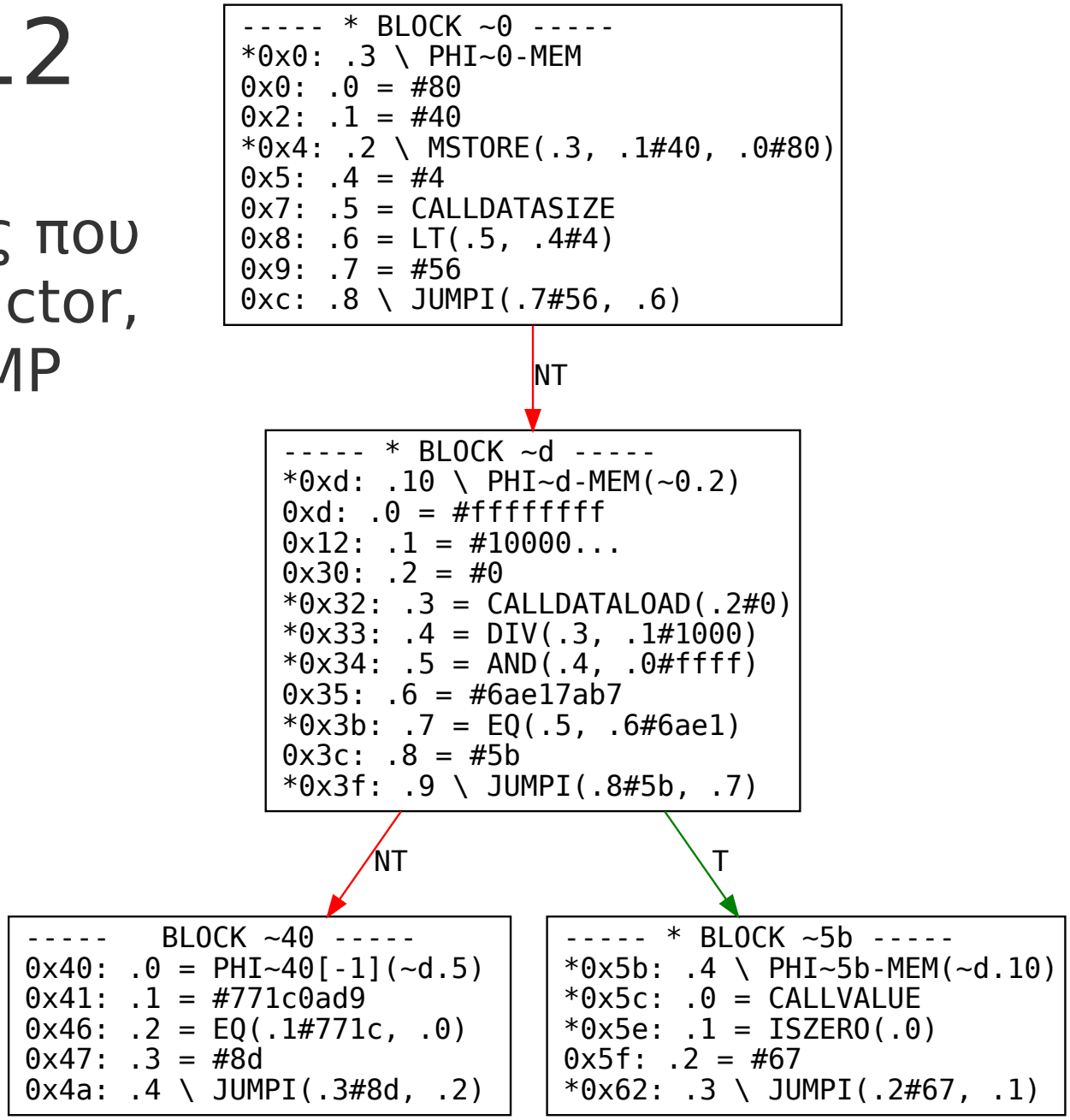
Ανάλυση 6/12

- Κάνει βελτιστοποιήσεις, με τον αλγόριθμο worklist



Ανάλυση 7/12

- Επιλέγει τις εντολές που θα μπουν στον predictor, πχ SLOAD, CALL, JUMP και εξαρτήσεις



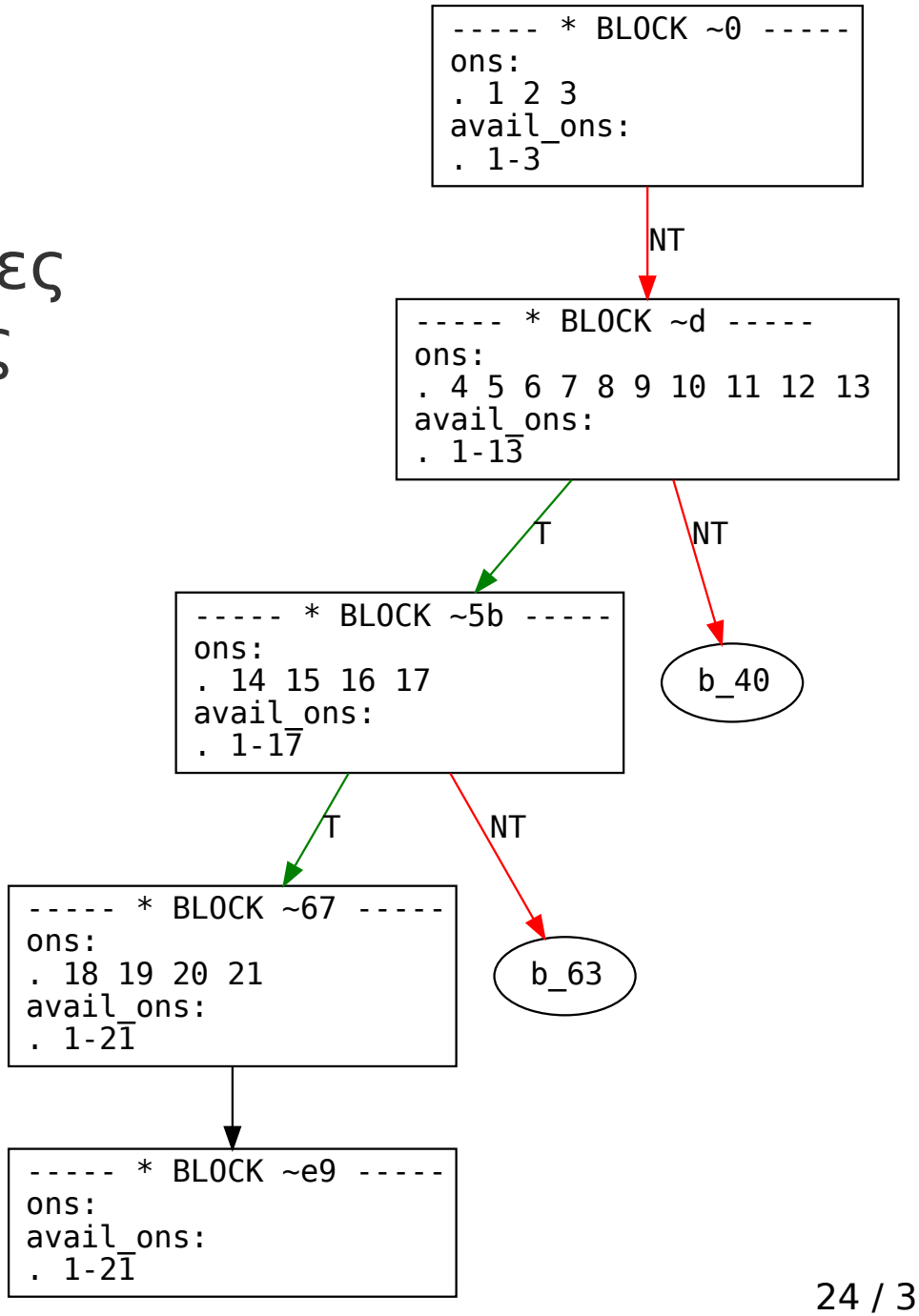
Ανάλυση 8/12

- Απαριθμεί τις τιμές των επιλεγμένων εντολών

```
----- ON MAP -----
1 = #40
2 = #80
3 = V~0.2-MSTORE(v~0.3-PHIxb232-0B, #40, #80)-xad80-NV
4 = #10000...
5 = #0
6 = #6ae17ab7
7 = #5b
8 = #ffffffff
9 = V~d.3-CALLDATALOAD(#0)-x15b2
10 = V~d.4-DIV(v~d.3-CALLDATALOADx15b2, #10000...)-x4ea2
11 = V~d.5-AND(v~d.4-DIVx4ea2, #ffffffff)-x4954
12 = V~d.7-EQ(v~d.5-ANDx4954, #6ae17ab7)-x30c9
13 = V~d.9-JUMPI(#5b, v~d.7-EQx30c9)-x2f1e-NV
14 = #67
15 = V~5b.0-CALLVALUE()-x78d0
16 = V~5b.1-ISZERO(v~5b.0-CALLVALUEx78d0)-x8a44
17 = V~5b.3-JUMPI(#67, v~5b.1-ISZEROx8a44)-x9d52-NV
```

Ανάλυση 9/12

- Βρίσκει σε κάθε block ποιες είναι διαθέσιμες και ποιες πρέπει να υπολογιστούν (εξάλειψη κοινών εκφράσεων)



Ανάλυση 10/12

- Υπολογίζει τις νέες εκφράσεις τους

```
----- ON CALCS -----
0 = ON_0_RESERVED
1 = #40
2 = #80
3 = MSTORE 0 1 2
4 = #10000...
5 = #0
6 = #6ae17ab7
7 = #5b
8 = #ffffffff
9 = CALLDATALOAD 5
10 = DIV 9 4
11 = AND 10 8
12 = EQ 11 6
13 = JUMPI 7 12
14 = #67
15 = CALLVALUE
16 = ISZERO 15
17 = JUMPI 14 16
18 = #24
```

Ανάλυση 11/12

- Συνθέτει τον κώδικα του predictor

```
~0 | ENTRY
     1 = #40
     2 = #80
     3 = MSTORE 0 1 2
~d | ~0
     4 = #10000...
     5 = #0
     6 = #6ae17ab7
     7 = #5b
     8 = #ffffffff
     9 = CALLDATALOAD 5
    10 = DIV 9 4
    11 = AND 10 8
    12 = EQ 11 6
    13 = JUMPI 7 12
....
```

Ανάλυση 12/12

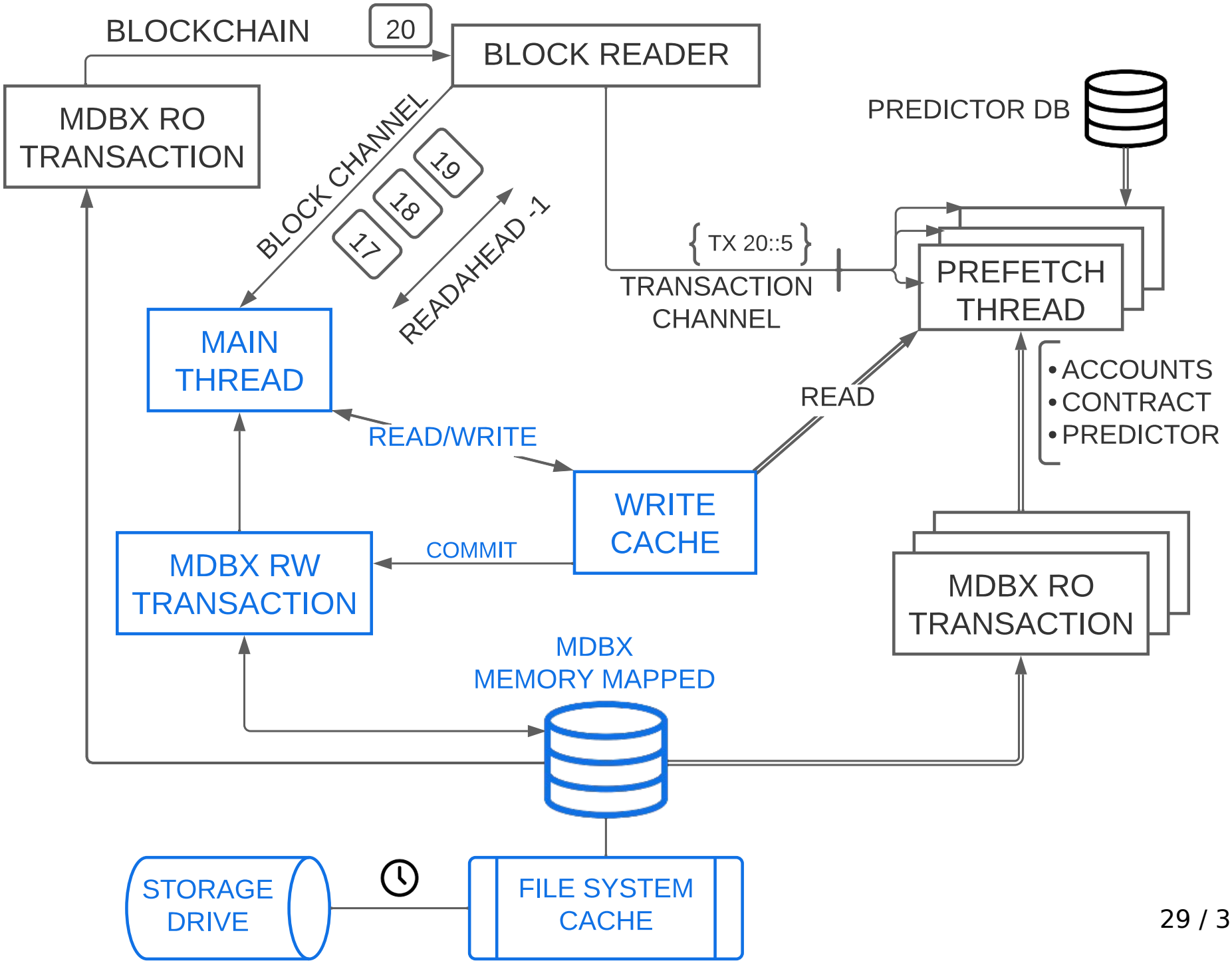
- Έξοδος σε binary encoding, εισάγεται στη DB

```
Key = 00a5e63813215d7783df9673e42ec7e1d2e5c0896f17e
96ef6f8d28f1e19f663 (original contract’s code hash)

Value = 6a000d00100000100005b00680000010d0067007c0
000015b00790098000010701e900cb00000016700f400d60000
01cd01fc00d9000001f4000501e4000001cd010701ec0000010
5013401f6000002e900fc00a30198010013401b701c3010001
a301cd01e4010001b701010100400102008090010020022 0d0
01d040001000000000000000000000000000000000000000
0000000000000105000040600...
```

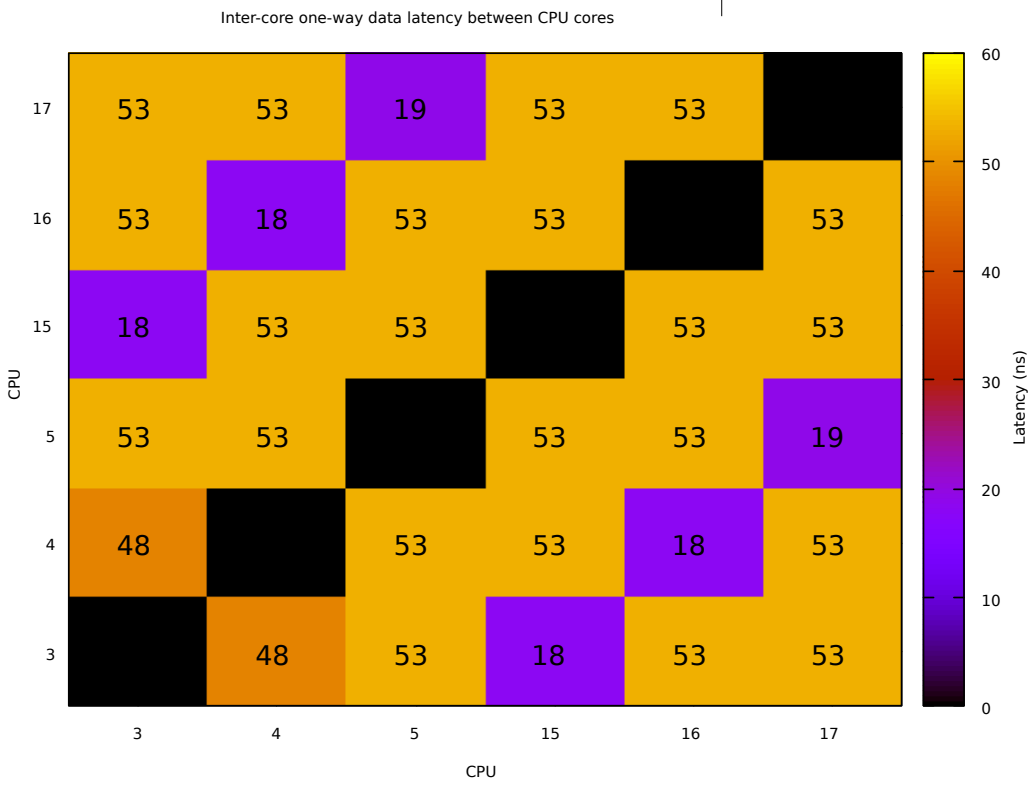
Prefetching

- Προσθήκη στον erigon, ξεχωριστό go package

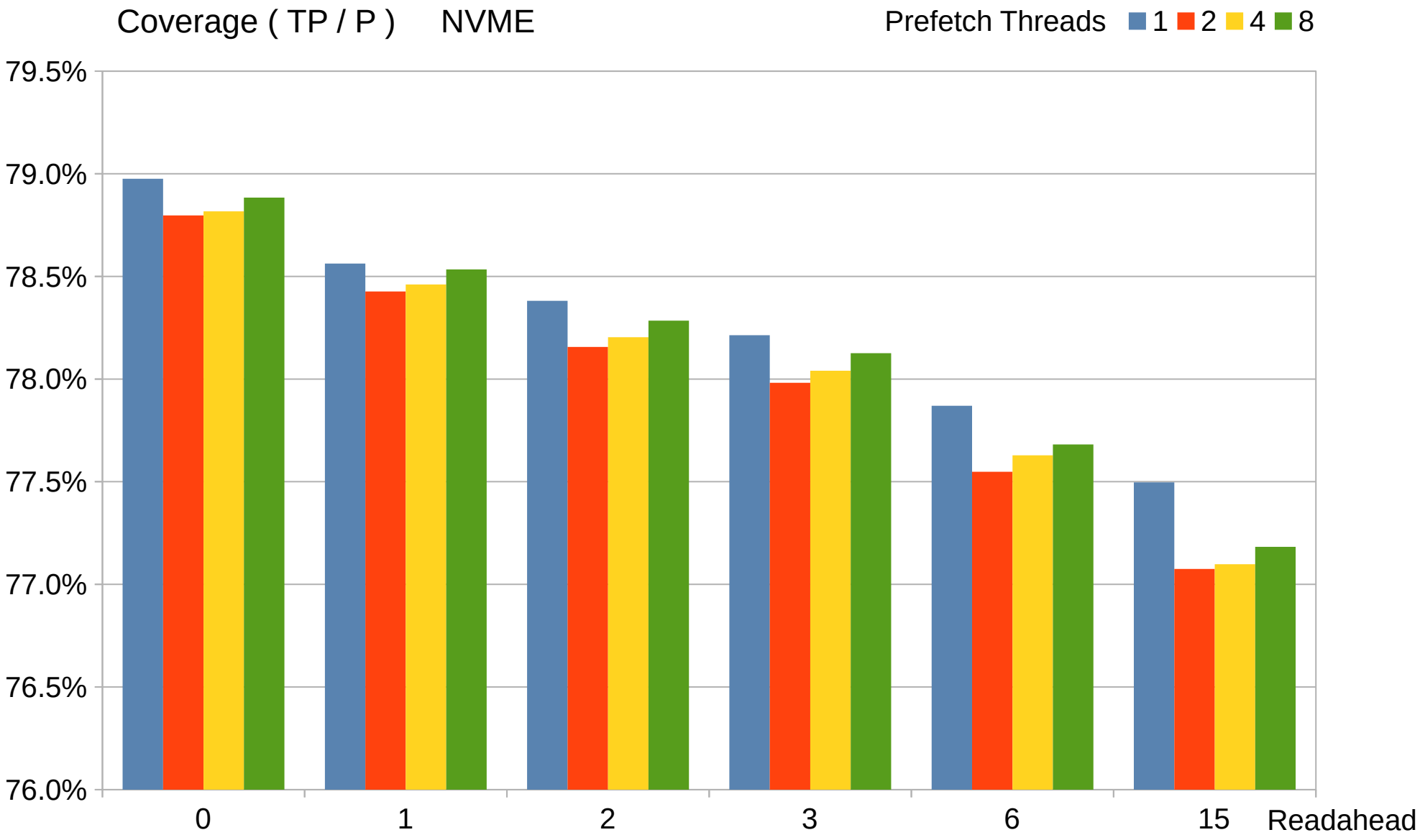

BLOCKCHAIN
20
BLOCK READER
MDBX RO TRANSACTION
BLOCK CHANNEL
19
18
17
READAHEAD -1
PREDICTOR DB
TX 20::5
TRANSACTION CHANNEL
PREFETCH THREAD
MAIN THREAD
READ
• ACCOUNTS
• CONTRACT
• PREDICTOR
READ/WRITE
WRITE CACHE
COMMIT
MDBX RW TRANSACTION
MDBX RO TRANSACTION
MDBX MEMORY MAPPED
STORAGE DRIVE
FILE SYSTEM CACHE

Πειράματα

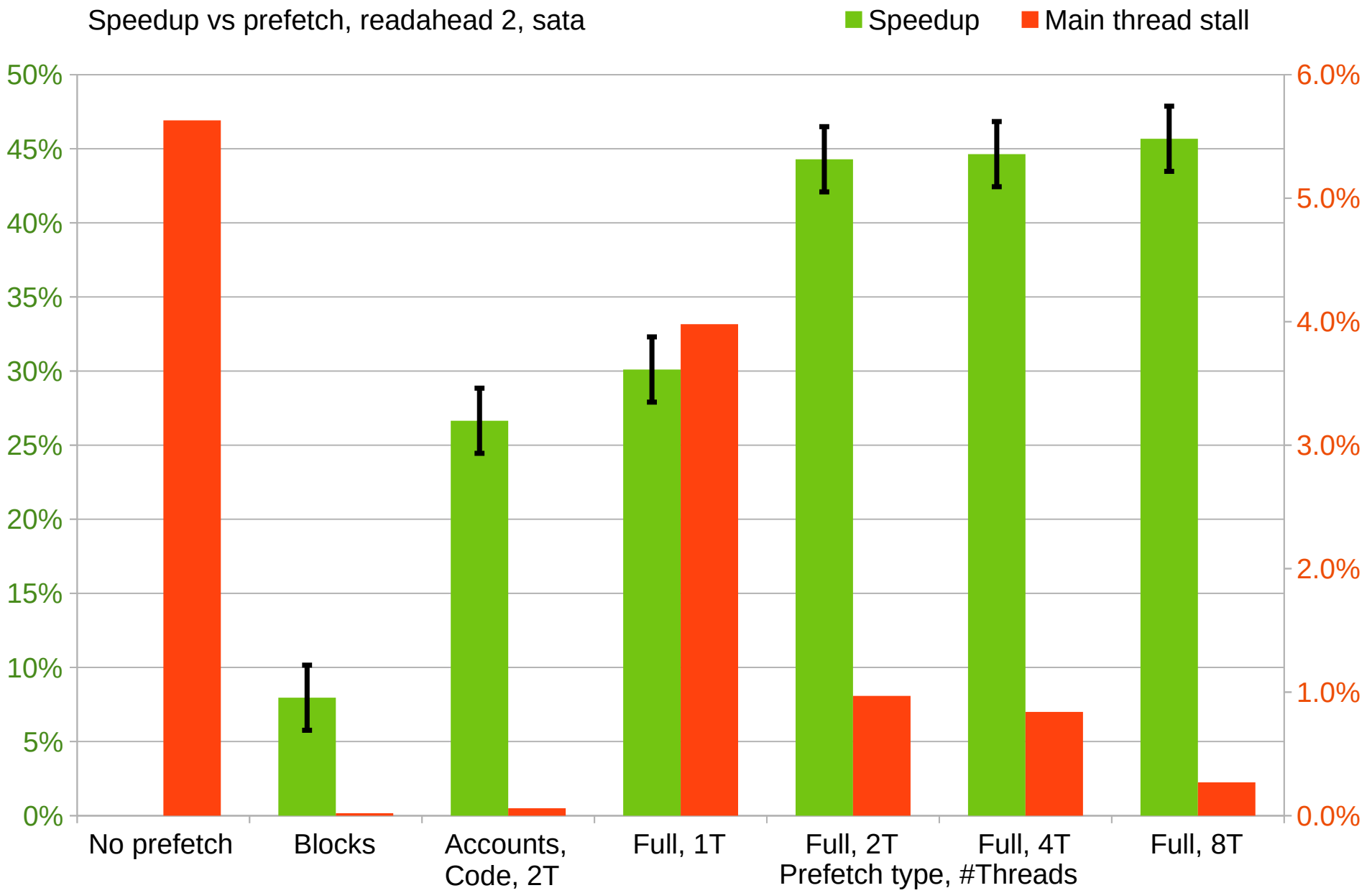
- Όλα στο ίδιο μηχάνημα
- CPU: zen 2, 3.8 GHz, περιορίζουμε σε 1 CCX 3C/6T, κοινή L3
- RAM: περιορίζουμε δεσμεύοντας με ξεχωριστό process
- Δίσκος 1: nvme tlc ssd
- Δίσκος 2: sata qlc ssd
- 30K blocks / δοκιμή (10-20min)



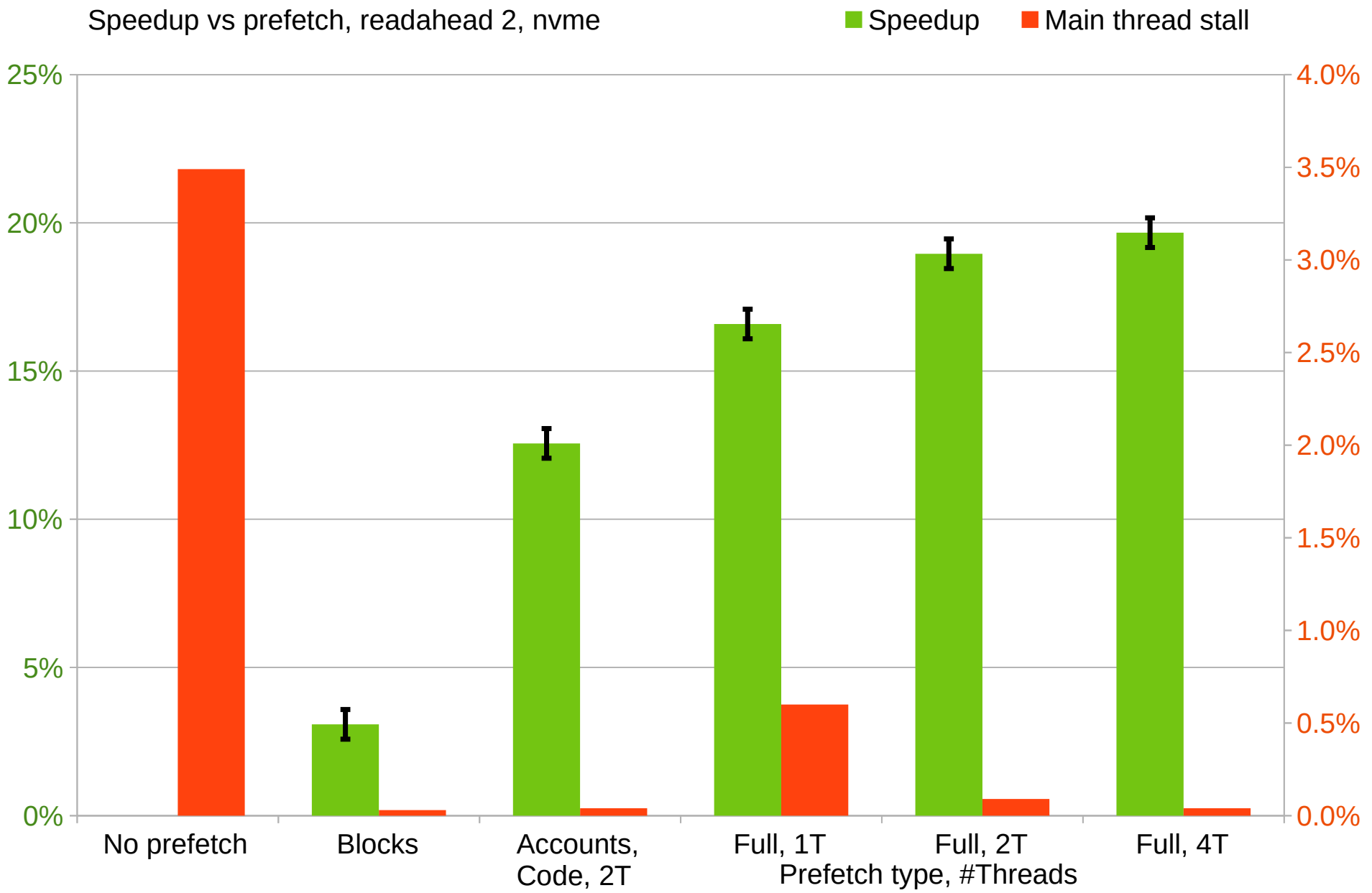
Readahead και % επιτυχίας



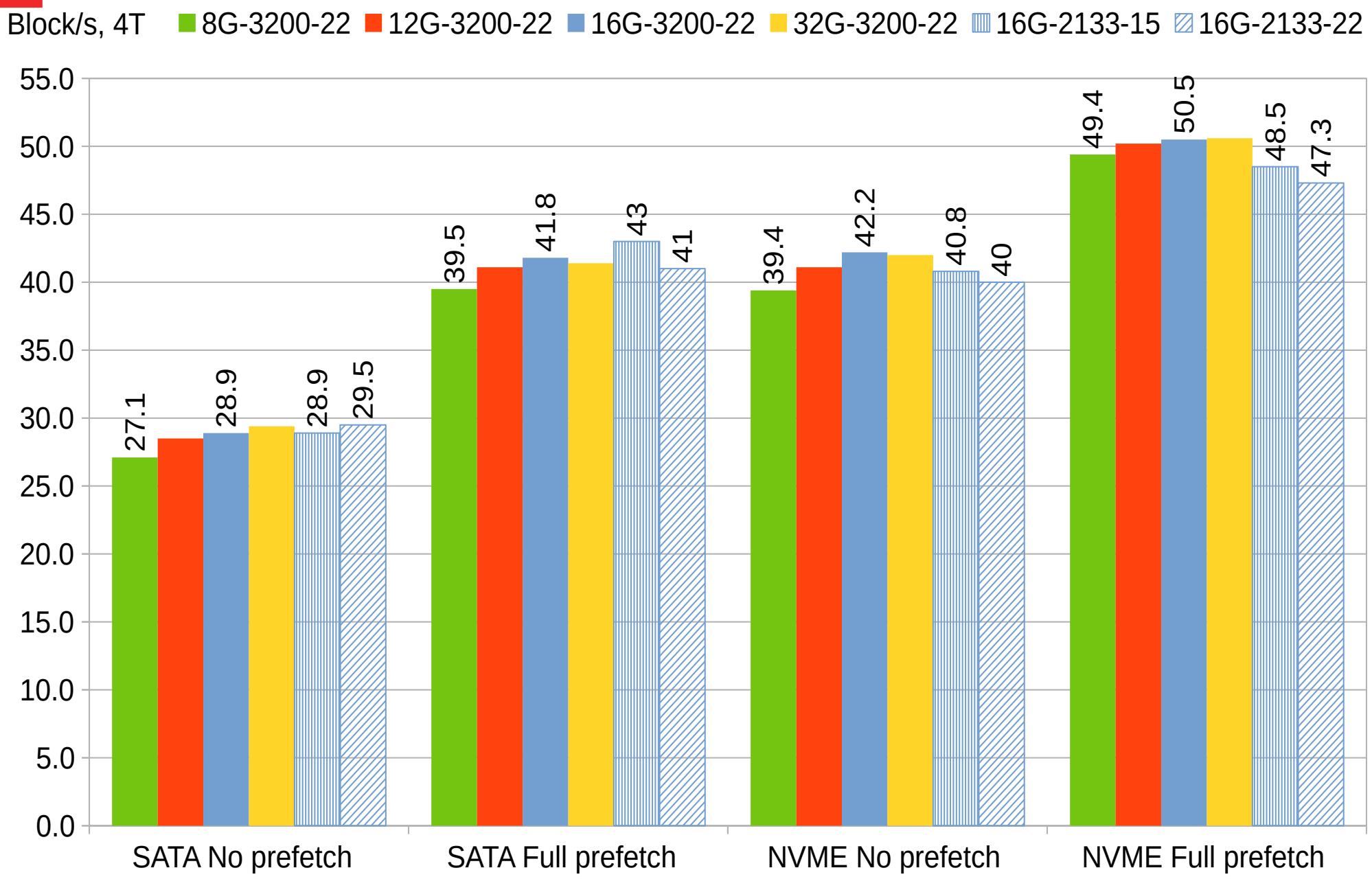
Speedup, sata



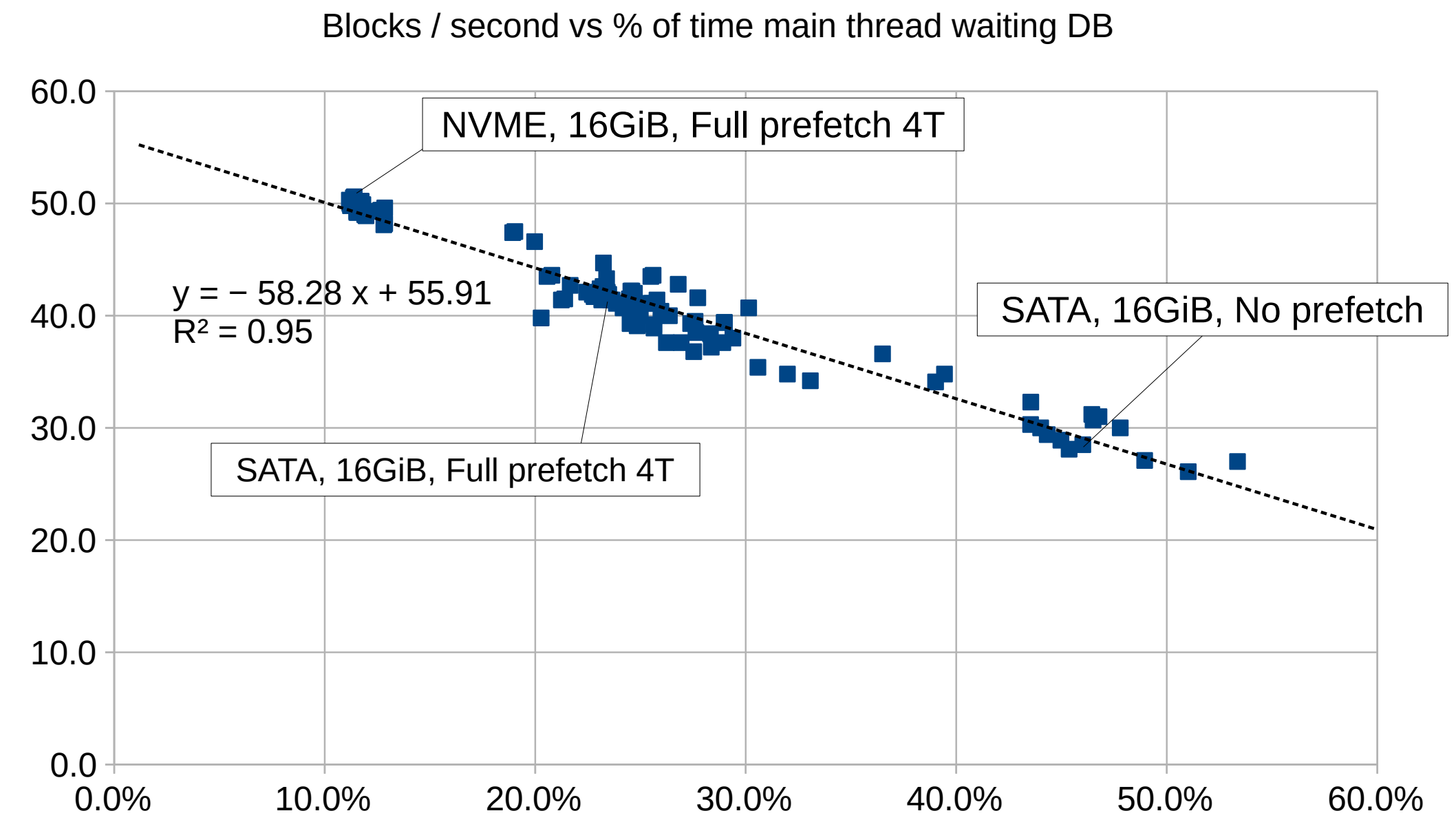
Speedup, nvme



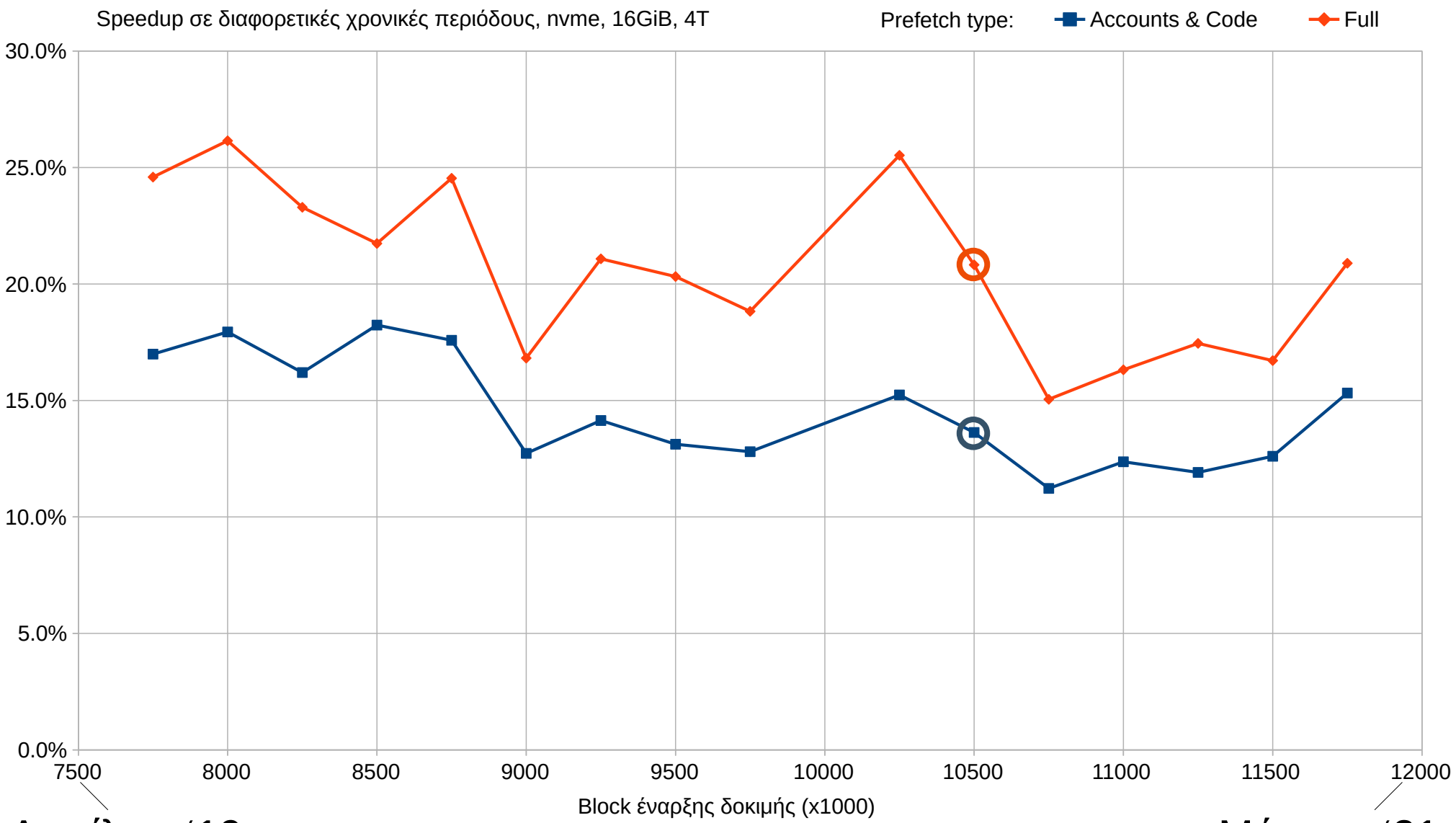
Επίδραση μνήμης



Scatter με όλες τις δοκιμές



Χρονική εξέλιξη



Απρίλιος ‘19

Μάρτιος ‘21

Συμπεράσματα

- Σημαντική βελτίωση σε έναν ήδη βελτιστοποιημένο client
- Αρκετά κοντά στο εκτιμώμενο μέγιστο speedup για τέλεια πρόβλεψη
- Μιας και προβλέπει read/write set των transaction, εκτιμά στην ουσία dependencies τους
- ➔ Δυνατότητα για μελλοντικές επεκτάσεις με παραλληλοποίηση του main execution