



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Digital Currencies and 5G

Ηλίας Α. Ορφανός

Επιβλέπων: Διονύσιος Ξενάκης, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Digital Currencies and 5G

Ηλίας Α. Ορφανός

A.M.: en2200003

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Διονύσιος Ξενάκης, Επίκουρος Καθηγητής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Διονύσιος Ξενάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Νικόλαος Πασσάς, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογία Blockchain χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Satoshi Nakamoto το 2009 για την δημιουργία της πλατφόρμας bitcoin, ενός ψηφιακού κρυπτονομίσματος που ακόμα και σήμερα θεωρείται το πιο επιτυχημένο κρυπτονομίσμα παγκοσμίως. Μέσω της πλατφόρμας του bitcoin, επιτυγχάνεται η εκτέλεση ψηφιακών οικονομικών συναλλαγών, χωρίς την ύπαρξη ενδιάμεσης οντότητας που μεσολαβεί για την έγκυρη ολοκλήρωση της συναλλαγής.

Με την πάροδο των χρόνων, η τεχνολογία Blockchain άρχισε να χρησιμοποιείται και σε άλλες εφαρμογές όπως της βιομηχανίας και της οικονομίας, όπου το 2013 δημιουργήθηκε, από τον Vitalik Buterin, το Ethereum blockchain, μία πλατφόρμα που υποστηρίζει τη δημιουργία κατακεντρωμένων εφαρμογών γνωστά ως DApps (decentralized applications). Η κύρια διαφορά μεταξύ του blockchain του Ethereum και του Bitcoin είναι ότι η πλατφόρμα του Ethereum δεν περιορίζεται μόνο σε οικονομικές συναλλαγές αλλά επιτρέπει την δημιουργία διάφορων εφαρμογών, όπως τα έξυπνα συμβόλαια.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Digital Currencies and 5G” μελετάται η τεχνολογία blockchain, ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η τιμολόγηση της υπηρεσίας που εξαρτάται από τον τύπο, το πλήθος, το είδος της υπηρεσίας που επιθυμεί ο εκάστοτε χρήστης αλλά και πως επηρεάζεται το QoE από την υφιστάμενη πολιτική τιμολόγησης.

Η εργασία αποτελείται από τρία κεφάλαια κάθε ένα εκ των οποίων αντιμετωπίζει και από μια διαφορετική οπτική το υπό εξέταση θέμα. Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύονται βασικές θεωρητικές έννοιες που αποτελούν το υπόβαθρο για την κατανόηση της τεχνολογίας blockchain, όπως Content Delivery Network, Content Caching αλλά και Blockchain Technologies.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, μελετάται η τιμολόγηση της υπηρεσίας που ζητήθηκε από τους χρήστες που αναφέρεται κυρίως στη λογική που ακολουθούν οι RE-CENT διακομιστές για να καταλήξουν στην τελική τιμολόγηση. Επίσης, οι τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στη στρατηγική τιμολόγησης και αποτελούν το τελευταίο επίπεδο για την υλοποίηση της υπηρεσίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμολόγηση μιας υπηρεσίας και στη συνέχεια υλοποιείται ένα μαθηματικό μοντέλο για την ανάλυση της τιμολόγησης της υπηρεσίας σε ένα ιεραρχικό δίκτυο που αποτελείται από το σύνολο των κόμβων, τους χρήστες και έναν πάροχο περιεχομένου.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Blockchain

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Asset Pricing, Content caching, CDN, Bitcoin, RE-CENT, 5G

ABSTRACT

Blockchain technology was first used by Shatoshi Nakamoto in 2009 to create the bitcoin platform, a digital cryptocurrency that is still considered the fastest cryptocurrency in the world. Through the bitcoin platform, the execution of digital financial transactions is achieved, without the existence of an intermediary entity that mediates for the valid completion of the transaction.

Over the years, Blockchain technology began to be used in other applications such as industry and economics, where in 2013 Vitalik Buterin created Ethereum blockchain, a platform that supports the creation of distributed applications known as DApps (decentralized applications). The main difference between the Ethereum blockchain and Bitcoin is that the Ethereum platform is not limited to financial transactions but allows the creation of various applications, such as smart contracts.

In this work entitled "Digital Currencies and 5G" the blockchain technology is studied, the way in which the service is priced depending on the type, number, type of service desired by each user and how the QoE from the existing pricing policy.

The work consists of three chapters, each of which deals with the subject in question from a different perspective. The first chapter analyzes basic theoretical concepts that form the basis for understanding blockchain technology, such as Content Delivery Network, Content Caching and Blockchain Technologies.

In the second chapter, the pricing of the service requested by the users is studied, which refers mainly to the logic followed by the RE-CENT servers to reach the final pricing. Also, radio access technologies play an important role in the pricing strategy and are the last level for the implementation of the service.

In the third chapter, the factors that affect the pricing of a service are analyzed and then a mathematical model is made to analyze the pricing of the service in a hierarchical network consisting of all nodes, users and a content provider.

SUBJECT AREA: Blockchain

KEYWORDS: Asset Pricing, Content caching, CDN, Bitcoin, RE-CENT, 5G

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον Επιβλέποντα καθηγητή κ. Διονύσιο Ξενάκη, γιατί μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα, για την αμέριστη και ουσιαστική επιστημονική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε. Τον ευχαριστώ θερμά για τις εξαιρετικά ωφέλιμες κριτικές παρατηρήσεις του στην επεξεργασία του θέματος αυτού.

Ακόμη ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες που με δίδαξαν στα μαθήματα της Σχολής, αφού μου έδωσαν τα κατάλληλα κίνητρα και τις απαραίτητες γνώσεις για να φθάσω σε αυτό το στάδιο παρουσίασης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και τις συμφοιτήτριες μου, για τη συμπαράσταση τους, αφού όλοι βρισκόμαστε στην ίδια κατάσταση, αλλά και την οικογένεια μου για τη στήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, οι οποίοι ευγενικά δέχθηκαν να αξιολογήσουν την παρούσα πτυχιακή εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 Motivation – Mobile Traffic Outlook	12
1.2 Content Delivery Network	14
1.3 Video Streaming	17
1.4 Content Caching.....	20
1.5 Τεχνολογία Blockchain.....	21
1.5.1 Δομή της τεχνολογίας Blockchain	22
1.5.2 Εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain	25
1.5.3 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Blockchain	26
1.5.4 Μειονεκτήματα της τεχνολογίας Blockchain	27
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	30
2.1 Επισκόπηση μοντέλου RE-CENT	30
2.2 Αρχιτεκτονική μοντέλου RE-CENT	31
2.3 Asset Pricing	32
2.4 Ανάλυση μοντέλων Asset Pricing / Content Caching	34
2.5 Σύγκριση των προτεινόμενων μοντέλων	40
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	42
3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την τιμολόγηση	42
3.2 Μοντέλο Συστήματος / Ανάλυση του Asset Pricing	43
3.2.1 Περιγραφή	45
3.2.2 Δημοτικότητα Περιεχομένου	46
3.2.3 Μοντέλο Κόστους	47
3.2.4 Μοντέλο Ζήτησης των χρηστών για περιεχόμενο	49
3.2.5 Αποτελέσματα / Διαγράμματα	49
3.3 Προτεινόμενες Λύσεις	54

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	64
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Τοπολογία Δικτύου Single Server (α) και CDN (β) [19]	16
Σχήμα 2: CDNs and Web Content Distribution [20]	17
Σχήμα 3: Απλοποιημένο μοντέλο ενός ICN [60]	35
Σχήμα 4: Αρχιτεκτονική του SCDN	37
Σχήμα 5: Μοντέλο ιεραρχικού δικτύου M κόμβων.....	45
Σχήμα 6: Συνολικό Κόστος για διαφορετικό πλήθος κόμβων.....	50
Σχήμα 7: Συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος κόμβων	51
Σχήμα 8: Συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος αρχείων	52
Σχήμα 9: Συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος αρχείων	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Mobile subscriptions by technology (billion) [3].....	σελ. 12
Εικόνα 2: Global Mobile Data Traffic [4]	σελ. 13
Εικόνα 3: Τι είναι το Content Delivery Network (CDN).....	σελ. 15
Εικόνα 4: Share of adults subscribing since the Covid-19 outbreak [85].....	σελ. 19
Εικόνα 5: Video Streaming Platforms	σελ. 20
Εικόνα 6: Cryptocurrency Mining.....	σελ. 23
Εικόνα 7: From Private Key to Public Address	σελ. 24
Εικόνα 8: The sequence of blocks of Blockchain.....	σελ. 25
Εικόνα 9: Benefits of Blockchain technology [87]	σελ. 27
Εικόνα 10: Disadvantages of Blockchain Technology [87]	σελ. 28
Εικόνα 11: RE-CENT System Architecture.....	σελ. 32
Εικόνα 12: The sequence diagram of three smart contracts.....	σελ. 33
Εικόνα 13: Τεχνική Off-chain μεταξύ 2 κόμβων Blockchain.....	σελ. 55
Εικόνα 14: Απεικόνιση μιας επιτυχημένης συναλλαγής στο Ethereum	σελ. 56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Comparative Summary of Pricing models.....	39
Πίνακας 2: Σύνοψη των συμβόλων - Περιγραφή.....	46

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Digital Currencies and 5G» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προϋποθέσεων του μεταπτυχιακού, για τη λήψη του αντίστοιχου Πτυχίου από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ) της Σχολής Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, με έδρα του Ζωγράφου Αττικής. Η ανάληψή της ορίστηκε τον Σεπτέμβριο του 2021, με επιβλέπων καθηγητή τον κύριο Ξενάκη Διονύσιο.

Η ολοκλήρωσή της πραγματοποιήθηκε εντός των προβλεπόμενων χρονικών ορίων, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, δηλαδή τον Σεπτέμβριο του 2022.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του ψηφιακού κόσμου γύρω από τα κρυπτονομίσματα, πως γίνεται η αλληλεπίδραση του εικονικού με τον πραγματικό κόσμο, αλλά και πως ο εικονικός κόσμος των κρυπτονομισμάτων διαχειρίζεται ορισμένες λειτουργίες όπως η τιμολόγηση της υπηρεσίας του χρήστη αλλά και την διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

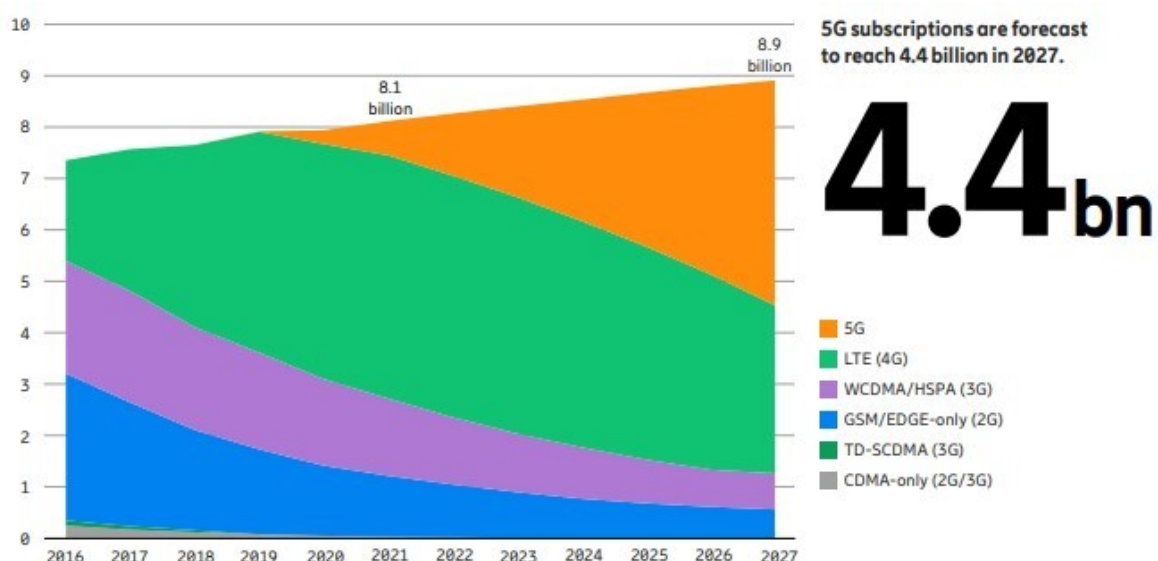
1.1 Motivation – Mobile Traffic Outlook

Πρόσφατα, με την προόδο της τεχνολογίας στο κλάδο των πληροφοριών και επικοινωνιών έχουν μεταμορφώσει τον κόσμο σε μια μικρή γειτονιά. Μεταξύ αυτών των τεχνολογιών είναι το cloud computing, οι ασύρματες επικοινωνίες (3G/4G/5G) αλλά και οι φορητές συσκευές που μπορούν να παρέχουν ποικίλες υπηρεσίες για να διευκολύνουν τον τρόπο ζωής μας [1].

Η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών στην καθημερινή ζωή μας βοηθούν στην εκτέλεση ποικίλων εργασιών όπως προσδιορισμός τοποθεσίας, διαχείριση χρόνου, επεξεργασία εικόνας, αγορές στο διαδίκτυο αλλά και διατήρηση της επαφής με τους συνανθρώπους μας ανά τον κόσμο.

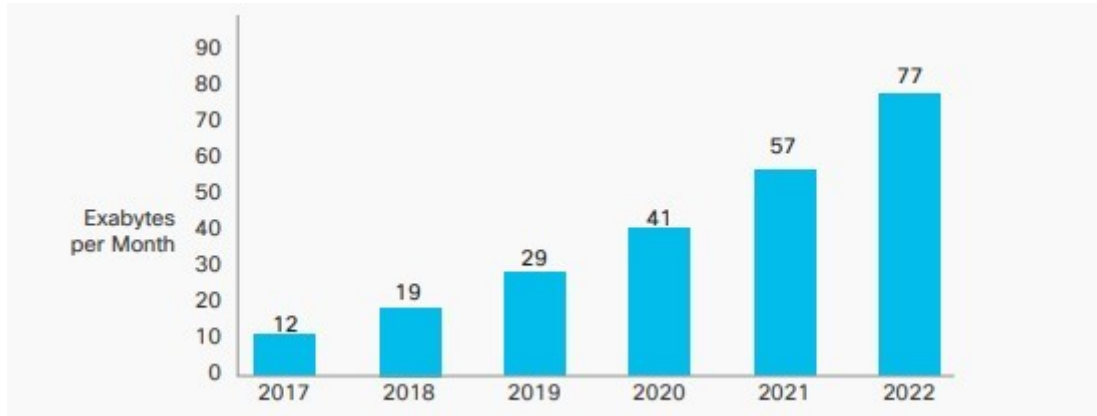
Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές για κινητά που βοηθούν στην διαχείριση της υγείας όπως μέτρηση αρτηριακής πίεσης, ασκήσεις, απώλεια βάρους [2]. Αποτέλεσμα αυτού, ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών, ο αριθμός και ο τύπος υπηρεσιών αλλά και τα επίπεδα κίνησης, διαχείρισης, επεξεργασίας, αποθήκευσης δεδομένων να αυξάνονται διαρκώς. Η άνευ προηγουμένου αύξηση του όγκου κίνησης στο Διαδίκτυο που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια αποδίδεται στο διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας και στην έλευση της τεχνολογίας των έξυπνων τηλεφώνων. Επομένως, σε συνδυασμό με τη ζήτηση για μαζική συνδεσιμότητα και πλήρως εξατομικευμένη κατανάλωση περιεχομένου, έχουν τεθεί νέα πρότυπα για την πρόσβαση στα δεδομένα κινητής τηλεφωνίας.

Σύμφωνα με πρόσφατες αναφορές [3], έως το 2025, οι συνδρομές ευρυζωνικών κινητών θα φτάσουν τα 8 δισεκατομμύρια, ενώ οι συνδεδεμένες συσκευές πρέπει να ξεπερνούν τα 50 δισεκατομμύρια (συμπεριλαμβανομένων των συσκευών Internet-of-Things - IoT) και η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα ξεπεράσει τα 160 Exabytes το μήνα.



Εικόνα 1: Mobile subscriptions by technology (billion) [3]

Επιπλέον, η απίστευτη ζήτηση για νέες εφαρμογές που επιθυμούν μεγάλο εύρος ζώνης θα οδηγήσει σε μια σημαντική αύξηση του όγκου κίνησης. Η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα αυξηθεί από 10,7 exabytes/μήνα το 2016 σε 83,6 exabytes/μήνα έως το 2021 [4], και αυτός ο αριθμός θα αυξηθεί περαιτέρω εκθετικά τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 2: Global Mobile Data Traffic [4]

Τα κυψελοειδή δίκτυα, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) ως η επανάσταση της τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας, πρέπει να υποστηρίξουν τον συνεχή αυξανόμενο αριθμό χρηστών κινητών συσκευών, να παρέχουν επαρκή ρυθμό δεδομένων για εφαρμογές που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης (bandwidth), να αντιμετωπίσουν σημαντικά ζητήματα σε θέματα QoS για εφαρμογές που είναι ανεκτικές σε καθυστερήσεις και να υλοποιήσουν την έννοια του Internet-of-Things (IoT) [5], [6].

Το 5G αναμένεται να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις, με τα πολλαπλά use cases του, και μεταξύ άλλων υπόσχεται να προσφέρει [7] α) μέγιστες ταχύτητες έως και 1 Gbps, β) ταχύτητα δεδομένων 100 Mbps ανά τελικό χρήστη ακόμη και στην άκρη του κελιού, γ) καθυστερήσεις RTT (Round-Trip-Time) σε εύρος millisecond, δ) πιο πυκνές συνδέσεις (1 εκατομμύριο συνδέσεις ανά km² [8]), και ε) υποστήριξη για φορητές συσκευές με ταχύτητα έως και 500 km/h.

Λαμβάνοντας υπόψη, τις απαιτήσεις που υπάρχουν αλλά και η ανάγκη για ικανοποίηση των αναγκών των χρηστών, η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών έχει καταβάλει σημαντική προσπάθεια για την εδραίωση των 5ης γενιάς (5G) δικτύων δεδομένων κινητής τηλεφωνίας.

Πρώτον, με την κυκλοφορία μιας stand-alone έκδοσης του 5G New Radio (NR) [9], το 3GPP έχει καθορίσει τις αρχιτεκτονικές για την εξέλιξη των δικτύων που συμμορφώνονται με το LTE, ενσωματώνοντας τεχνολογίες πρόσβασης, όπως επικοινωνίες φάσματος multi-GHz, δυναμική διαμόρφωση δέσμης και μικρού μεγέθους κυψελοειδή σημεία πρόσβασης.

Δεύτερον, μέσω της εικονικοποίησης του δικτύου, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας (MNO) θα μπορούν να απομονώνουν δυναμικά τους πόρους του δικτύου προς εξυπηρέτηση συγκεκριμένων κάθετων εφαρμογών με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) ή

ποιότητα εμπειρίας (QoE) , γνωστό και ως network slicing [10], ή ακόμη και να μοιράσουν τη βασική λειτουργικότητα του δικτύου τους σε άλλους παρόχους υπηρεσιών τρίτων (OTT), π.χ. έλεγχο ταυτότητας, εξουσιοδότηση, λογιστική (AAA).

Σύμφωνα με την πρόσφατη αναφορά [11], ο βαθμός διείσδυσης της νέας τεχνολογίας 5G είναι πολύ μεγαλύτερος από ό,τι για το 4G, πόσο μάλλον για το 3G, δείχνοντας με αυτόν τον τρόπο πως η βιομηχανία οδηγεί την καινοτομία και φέρνει την νέα τεχνολογία στην αγορά.

Επιπροσθέτως, μέχρι τον Ιούνιο του 2021, περισσότεροι από 160 πάροχοι υπηρεσιών επικοινωνιών έχουν ξεκινήσει υπηρεσίες 5G και πάνω από 300 μοντέλα smartphone 5G έχουν ανακοινωθεί ή κυκλοφορήσει εμπορικά.

Οι πάροχοι υπηρεσιών συνεχίζουν να εντάσσουν την δυνατότητα συνδεσιμότητας 5G στα κινητά, και σύμφωνα με την πρόσφατη μελέτη [11], έως το τέλος του 2021 αναμένονται κοντά στα 580 εκατομμύρια συνδρομές 5G. Ειδικότερα, η Βορειοανατολική Ασία έχει το υψηλότερο ποσοστό διείσδυσης συνδρομητών 5G, ακολουθούμενη από Βόρεια Αμερική, χώρες από το Συμβούλιο Συνεργασίας του Κόλπου και τη Δυτική Ευρώπη.

Το 2026, προβλέπεται ότι η Βόρεια Αμερική θα έχει το υψηλότερο μερίδιο συνδρομητών 5G από όλες τις περιοχές σε ποσοστό 84%, ενώ εκτιμάται ότι οι συνδρομές 5G θα φτάσουν το 1 δισεκατομμύριο 2 χρόνια νωρίτερα από το 4G. Μέχρι το τέλος του 2026, προβλέπονται 3,5 δισεκατομμύρια συνδρομές 5G παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 40% όλων των συνδρομών για κινητά εκείνη την εποχή, σημειώνει η έκθεση στο [11].

Παράλληλα, το 4G θα παραμείνει κυρίαρχη τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας, και για αυτό το λόγο το πρώτο τρίμηνο του 2021 οι συνδρομές 4G αυξήθηκαν κατά περίπου 100 εκατομμύρια, ξεπερνώντας τα 4,6 δισεκατομμύρια, που ισούται με το 58% του συνόλου για κινητές συνδρομές.

1.2 Content Delivery Network

Η ροή περιεχομένου στο Διαδίκτυο γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια καθώς οι ευρυζωνικές τεχνολογίες συνεχίζουν να εξελίσσονται συνεχώς. Καθώς το Διαδίκτυο γίνεται μια ολοένα και πιο δημοφιλής εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά μέσα επικοινωνίας, η ροή στο Διαδίκτυο θα γίνει μια σημαντική στρατηγική για πολλούς παρόχους περιεχομένου.

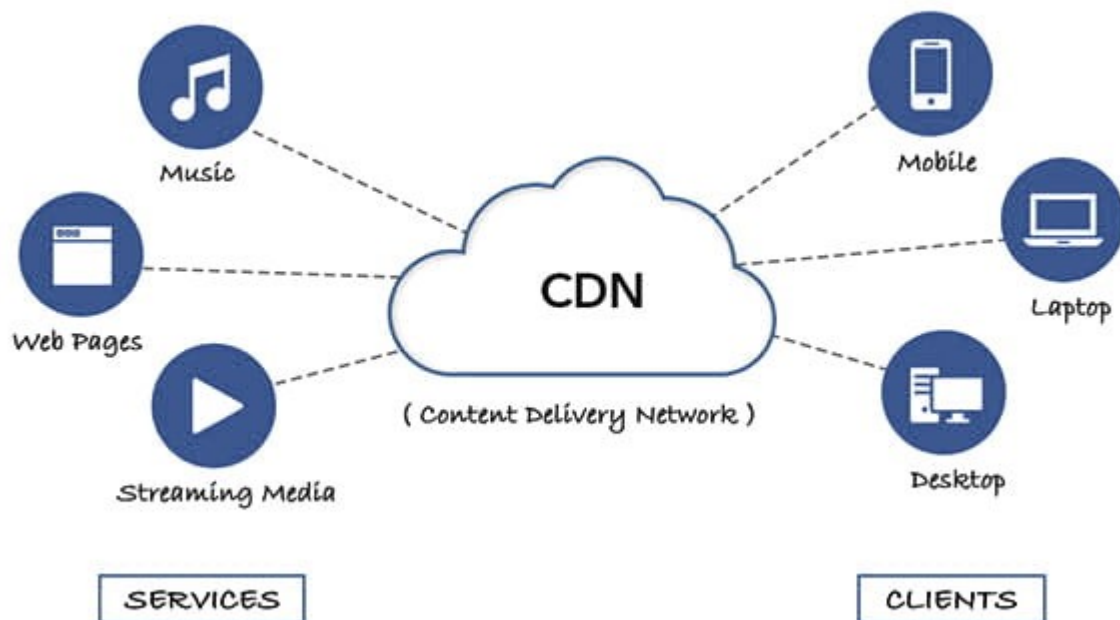
Η κίνηση δεδομένων στο Διαδίκτυο, θέτει σημαντικές προκλήσεις για τους παρόχους σε σημαντικά ζητήματα με θεμελιώδη ερωτήματα να παραμένουν άγνωστα όπως για παράδειγμα κατανομή πόρων, κόστος.

Η επεκτασιμότητα, ποιότητα, αξιοπιστία και το κόστος είναι κάποια ζητήματα, στα οποία τα Content Delivery Networks (CDNs) προσπαθούν να δώσουν λύσεις, που αντιμετωπίζουν πολλές από τις εφαρμογές ροής περιεχομένου. Για αυτό το λόγο, οι περισσότεροι πάροχοι περιεχομένου χρησιμοποιούν δίκτυα παράδοσης περιεχομένου (CDN) για την εξυπηρέτηση των αναγκών των χρηστών για πλοήγηση στο Διαδίκτυο αλλά και για υπηρεσίες βίντεο.

Το CDN είναι ένα μεγάλο κατανεμημένο σύστημα διακομιστών (servers) που αποθηκεύει και παραδίδει περιεχόμενο στους χρήστες. Ο στόχος είναι να παρέχει υψηλή διαθεσιμότητα και απόδοση διανέμοντας την υπηρεσία χωρικά στους τελικούς χρήστες.

Αναφορικά, τα CDN δημιουργήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1990, προκειμένου να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση σημαντικών ζητημάτων απόδοσης του Διαδικτύου [12] [13] καθώς το Διαδίκτυο είχε αρχίσει να γίνει ένα σημαντικό μέσο επικοινωνίας για ανθρώπους και επιχειρήσεις.

Έπειτα, τα CDN αναπτύχθηκαν για να εξυπηρετούν μεγάλο μέρος του περιεχομένου του Διαδικτύου, συμπεριλαμβανομένων περιπτώσεων χρήσης όπως κείμενο, γραφικά, λήψη αρχείων πολυμέσων, ηλεκτρονικό εμπόριο, ζωντανή ροή (live streaming) αλλά και ιστοτόποι κοινωνικής δικτύωσης (π.χ. Facebook, Skype) [14].



Εικόνα 3: Τι είναι το Content Delivery Network (CDN)

Το CDN είναι ένα δίκτυο πάνω από το Διαδίκτυο που ωθεί το περιεχόμενο στους τελικούς χρήστες. Αυτό επιτυγχάνεται με μια στρατηγική τοποθέτηση των διακομιστών, που ονομάζονται surrogates, δίπλα στους χρήστες ώστε να ικανοποιήσει τις επιθυμητές τους ανάγκες για περιεχόμενο. Τα surrogates ενεργούν ως ευφυείς κρυφές μνήμες που ανακτούν περιεχόμενο από τον διακομιστή πριν ανταποκριθούν στην εκάστοτε υπηρεσία του χρήστη.

Καθώς, ο διακομιστής είναι λιγότερο προσβάσιμος, η κίνηση στο δίκτυο μειώνεται, με αποτέλεσμα το εύρος ζώνης του δικτύου να είναι αποτελεσματικά διαχειρίσιμο. Λειτουργικά, τα δίκτυα παράδοσης περιεχομένου (CDNs) [15] βελτιώνουν την απόδοση αποθηκεύοντας αντικείμενα σε διακομιστές, οι οποίοι βρίσκονται σε πολύ κοντινή

απόσταση από τους χρήστες και στη συνέχεια γίνεται τυχαία παράδοση αυτών των αντικειμένων στους χρήστες (Σχήμα 1). Ένα μεγάλο CDN δίκτυο, όπως αυτό που χειριζόταν ο Akamai [16], εξυπηρετεί τρισεκατομμύρια αιτήματα χρηστών την ημέρα από 170.000+ διακομιστές που βρίσκονται σε 1500+ δίκτυα σε 100+ χώρες σε όλο τον κόσμο.

Τα CDN μεταφέρουν την πλειοψηφία της σημερινής κίνησης στο Διαδίκτυο και αναμένεται να διαχειρίζονται σχεδόν τα δύο τρίτα στα επόμενα χρόνια [17]. Ένας διακομιστής CDN χρησιμοποιεί δύο επίπεδα προσωρινής αποθήκευσης: μια μικρή αλλά γρήγορη μνήμη cache που ονομάζεται Hot Object Cache (HOC) και μια μεγάλη μνήμη Disk Cache που αποτελεί το δεύτερο επίπεδο (DC). Κάθε αίτηση ζήτησης για ένα αντικείμενο αναζητείται πρώτα στην HOC και στη συνέχεια εάν απουσιάζει και εκεί, γίνεται αναζήτηση στην DC.

Σε περίπτωση, που απουσιάζει και εκεί, το αντικείμενο μεταφέρθηκε μέσω Wide-Area-Network (WAN) από τον πάροχο του συγκεκριμένου αντικειμένου ή υπηρεσίας. Ο κύριος στόχος ενός CDN είναι η μεγιστοποίηση των HOC, όμως εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους αλλά και σε συνδυασμό με την τεράστια ποικιλία σε αιτήματα υπηρεσιών όπως video, κείμενο καθιστούν αυτόν τον στόχο προκλητικό.

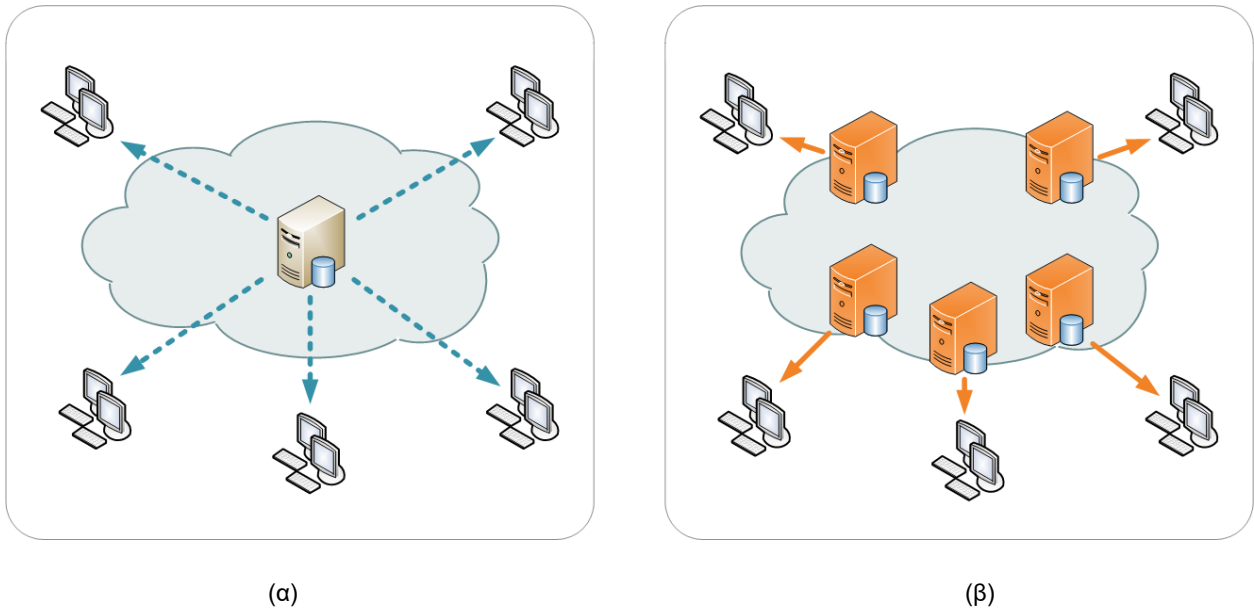
Το CDN χρησιμοποιείται παγκοσμίως από πολλές εταιρείες που ασχολούνται με κίνηση περιεχομένου στο Διαδίκτυο, έχοντας τοποθετήσει εκατοντάδες έως χιλιάδες CDN servers, προκειμένου να παρέχουν άμεσα υπηρεσίες στους χρήστες, ανάλογα με το τι ζήτησαν, από surrogates που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από αυτούς.

Έτσι, το CDN θεωρείται ένα δίκτυο παγκόσμιας κλίμακας που προσπαθεί να μειώσει την καθυστέρηση (latency) του δικτύου αποφεύγοντας τις διαδρομές με έντονη συμφόρηση. Μια προηγούμενη έρευνα [18], είχε επικεντρωθεί στην απόδοση των CDN, η οποία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα που έχουν να δρομολογούν απευθείας τα αιτήματα του πελάτη στον πιο κατάλληλο διακομιστή. Σε ένα τυπικό περιβάλλον CDN Σχήμα 2, οι Web servers είναι τοποθετημένοι στο άκρο του δικτύου, στο οποίο είναι συνδεδεμένοι οι τελικοί χρήστες.

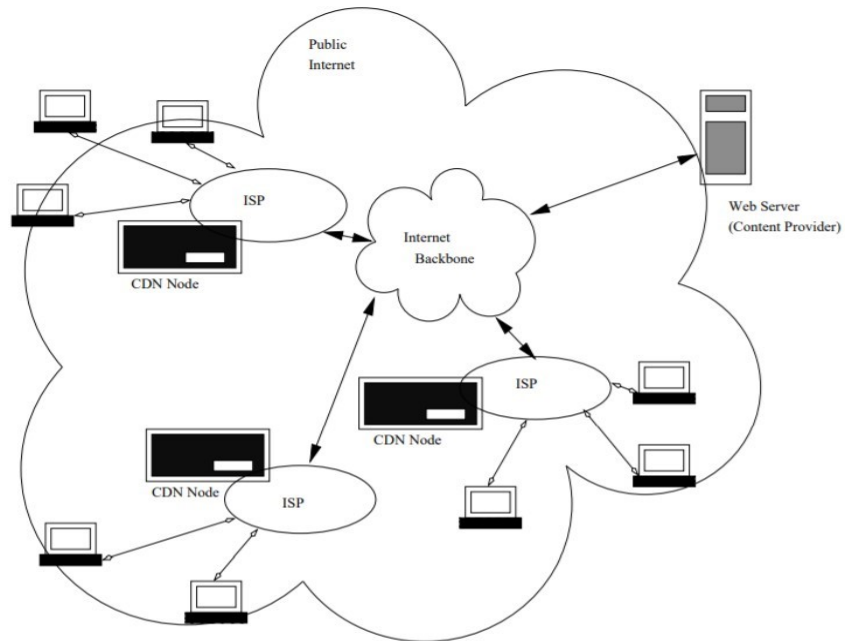
Οι τελικοί χρήστες αλληλεπιδρούν με το CDN που καθορίζει το αίτημα υπηρεσίας-περιεχομένου μέσω κινητού τηλεφώνου, φορητού υπολογιστή, επιτραπέζιου υπολογιστή κ.λπ. Το περιεχόμενο από το Web που βασίζεται σε αιτήματα χρηστών, λαμβάνεται από τον διακομιστή προέλευσης (origin server) και ο χρήστης λαμβάνει το περιεχόμενο από τον κοντινό replicated Web Server.

Με αυτόν τον τρόπο, οι χρήστες καταλήγουν να επικοινωνούν με τον replicated CDN server, ο οποίος βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτούς και διατηρούν μια συνεχή επικοινωνία για την διαχείριση των δεδομένων [20].

Με τα CDN επιτυγχάνεται η άμεση εξυπηρέτηση των ζητηθέντων υπηρεσιών των χρηστών, κυρίως λόγω της κατανεμημένης και βελτιστοποιημένης πλατφόρμας του server CDN. Επίσης, δεν απαιτείται η αντιγραφή ενός ιστότοπου σε εκατοντάδες servers, επειδή χρησιμοποιεί την προσωρινή μνήμη για αποθήκευση δεδομένων.



Σχήμα 1: Τοπολογία Δικτύου Single Server (α) και CDN (β) [19]



Σχήμα 2: CDNs and Web Content Distribution [20]

1.3 Video Streaming

Το βίντεο αποτελεί σημαντικό μέσο επικοινωνίας και ψυχαγωγίας για πολλές δεκαετίες. Αρχικά, το βίντεο ήταν σε αναλογική μορφή, όμως με το πέρασμα των χρόνων και με την πρόοδο της τεχνολογίας, άμεσα έγινε η ψηφιοποίηση του βίντεο. Έτσι, με την έλευση των

ψηφιακών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των υπολογιστών το αναλογικό βίντεο σιγά σιγά άρχισε να παραγκωνίζεται, με το ψηφιακό βίντεο να είναι πια γεγονός.

Επίσης, σημαντικές λειτουργίες του βίντεο όπως συμπίεση, αποσυμπίεση, καταγραφή άρχισαν να υλοποιούνται και να εφαρμόζονται απο το κοινωνικό σύνολο. Πιο συγκεκριμένα, η συμπίεση του βίντεο έγινε ένας σημαντικός τομέας έρευνας στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και του 1990 και επέτρεψε σε διάφορες εφαρμογές που περιλαμβάνουν αποθήκευση βίντεο σε DVD και Video-CD, μετάδοση βίντεο over ψηφιακή καλωδιακή, δορυφορική και επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DTV) αλλά και βίντεο συνδιασκέψεων να μεταδίδονται μέσω δικτύων μεταγωγής κυκλώματος [21].

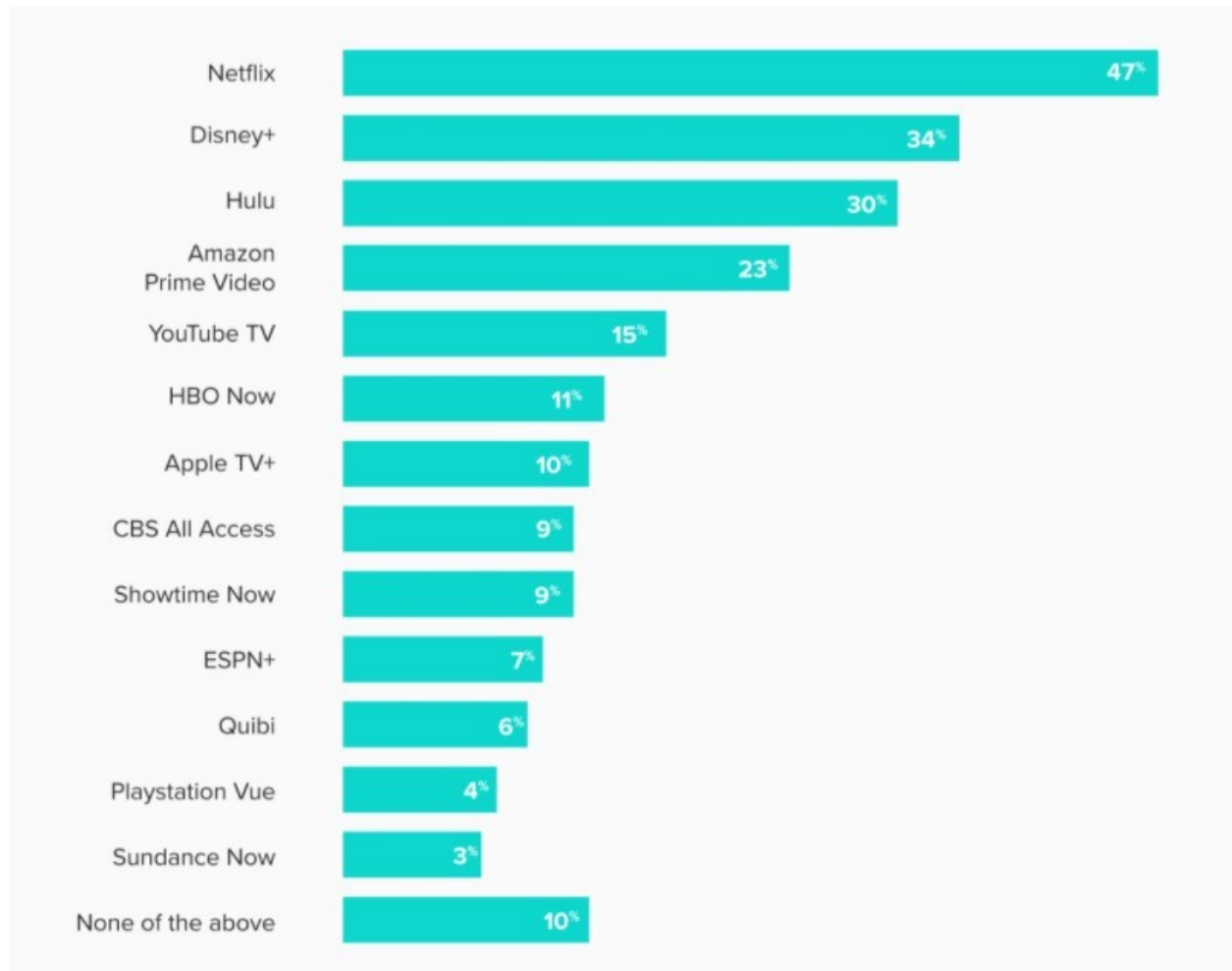
Η πιο διαδεδομένη χρήση του βίντεο είναι το video streaming, δηλαδή η μεταφορά βίντεο και ήχου μέσω του Διαδικτύου, απευθείας από τον server ή υπηρεσία που φιλοξενεί αυτά τα δεδομένα. Η δημοτικότητα του video streaming έχει αυξηθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία, αντιπροσωπεύοντας ένα μεγάλο μέρος της κίνησης στο Διαδίκτυο, ενώ πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η ροή βίντεο είναι υπεύθυνη για το 25-40% όλης της κίνησης στο Διαδίκτυο [22, 23].

Οι δύο κυρίαρχες πηγές για την κυκλοφορία ροής βίντεο στη Βόρεια Αμερική είναι το Netflix και το YouTube [22]. Το YouTube είναι επίσης η πιο δημοφιλής πηγή κυκλοφορίας ροής βίντεο στην Ευρώπη και στη Λατινική Αμερική [22, 23]. Πιο συγκεκριμένα, το 2006, ο αριθμός των video streaming αυξήθηκε κατά 38,8% σε 24,92 δισεκατομμύρια [25] ενώ το Youtube μόνο φιλοξενούσε περίπου 45 terabytes βίντεο και συγκέντρωσε 1,73 δισεκατομμύρια προβολές μέχρι το τέλος του Αυγούστου 2006.

Επίσης, με την πρόοδο της τεχνολογίας και των υψηλών ταχυτήτων που προσφέρουν πολλές τεχνολογίες όπως το Fiber-to-the-Home (FTTH), το βίντεο αναμένεται να αποτελέσει την κυρίαρχη κίνηση στο Διαδίκτυο στο εγγύς μέλλον [26].

Κατά την διάρκεια της πανδημίας Covid-19, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, οι εγγραφές νέων χρηστών σε μια πλατφόρμα video streaming όπως Netflix, Disney+ κ.α. αυξήθηκαν με ραγδαίο ρυθμό. Παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα, η πιο διαδεδομένη πλατφόρμα στις προτιμήσεις των χρηστών παγκοσμίως είναι το Netflix, που διαθέτει περιεχόμενο ταινιών, σε ποσοστό που αγγίζει το 50%, δηλαδή σχεδόν οι μισοί νέοι παγκοσμίως πραγματοποίησαν την εγγραφή τους ως νέοι χρήστες σε αυτήν την συγκεκριμένη πλατφόρμα.

Είναι φανερό, ότι η υπηρεσία video streaming αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα από το ξέσπασμα της πανδημίας Covid-19 και έκτοτε και συνεχίζει ακόμα και τώρα να αποτελεί την δημοφιλέστερη ενασχόληση του ανθρώπου, και σε αυτό το γεγονός έγκειται η συνεχής δημιουργία νέων υπηρεσιών streaming παγκοσμίως.



Εικόνα 4: Share of adults subscribing since the Covid-19 outbreak [85]

Οι χρήστες μπορούν να δούν Netflix και YouTube είτε σε υπολογιστές, χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα περιήγησης ή σε κινητά τηλέφωνα μέσω προγράμματος περιήγησης ή εφαρμογή. Παρά αυτή τη δημοτικότητα, αν και τα χαρακτηριστικά δικτύου αυτής της κίνησης είναι ελάχιστα γνωστά, οι στρατηγικές video streaming διαφέρουν ανάλογα τον τύπο της εφαρμογής (πρόγραμμα περιήγησης στο Web, εφαρμογή σε κινητά) αλλά και τον τύπο container που χρησιμοποιείται όπως Silverlight, Flash, HTML5 [24].

Για την μεταφορά του περιεχομένου βίντεο, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TCP, αλλά εάν η κίνηση ελέγχεται από την εφαρμογή και το ποσοστό κίνησης είναι χαμηλότερο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης από άκρο σε άκρο, τα χαρακτηριστικά κίνησης δεν θα είναι τα ίδια με μιας συμβατικής ροής κίνησης TCP. Αποτέλεσμα αυτού, είναι να υπάρχει σημαντικό αντίκτυπο στην κίνηση του δικτύου που προέρχεται από άλλες εφαρμογές [24].

Πράγματι, τα βίντεο που έχουν ληφθεί αλλά δεν έχουν προβληθεί δημιουργούν μια επιβάρυνση στο δίκτυο, δημιουργώντας συμφόρηση στον εκάστοτε διακομιστή. Το μοντέλο υπηρεσίας που χρησιμοποιείται για την μετάδοση του video streaming είναι το πελάτης- διακομιστής (client-server).

Ο πελάτης δημιουργεί μια σύνδεση με την διακομιστή, από τον οποίο προέρχεται η συγκεκριμένη υπηρεσία, και στη συνέχεια το περιεχόμενο του βίντεο μεταβιβάζεται

απευθείας στον πελάτη από τον διακομιστή. Μια παραλλαγή του μοντέλου υπηρεσίας πελάτη-διακομιστή είναι το βίντεο που βασίζεται στο Content Delivery Network (CDN). Σε μια λύση που είναι βασισμένη σε CDN [26], ο διακομιστής πηγής βίντεο ωθεί πρώτα το περιεχόμενο σε ένα σύνολο διακομιστών CDN που τοποθετούνται στις άκρες του δικτύου.

Επομένως, αντι να πραγματοποιηθεί λήψη από τον κεντρικό διακομιστή, ο πελάτης λαμβάνει το περιεχόμενο από τον διακομιστή CDN, ο οποίος βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από τον χρήστη. Το CDN μειώνει τις καθυστερήσεις για την λήψη του βίντεο, την επισκεψιμότητα στο δίκτυο, την συμφόρηση, εξυπηρετεί όμως περισσότερους χρήστες στο σύνολό τους.

Για παράδειγμα, το YouTube χρησιμοποιεί CDN για την μετάδοση του βίντεο στους τελικούς χρήστες. Αναφορικά με το video streaming που βασίζεται σε διακομιστές, υπάρχουν κύριες προκλήσεις όπως η επεκτασιμότητα του δικτύου, το εύρος ζώνης αλλά και το QoS (Quality-of-Service). Και αυτό, γιατί μια συνεδρία μέσω βίντεο απαιτεί υψηλό εύρος ζώνης, προκειμένου να υπάρξει καλή ποιότητα υπηρεσίας. Επίσης, το εύρος ζώνης σε διακομιστές πηγής ή CDN, θα πρέπει να αυξηθεί αναλογικά με τον αριθμό των πελατών, γεγονός που απαιτεί υψηλό κόστος και πολυπλοκότητα.

Επίσης, υπάρχουν πολλές διαφορετικές εφαρμογές video ή εφαρμογές streaming, οι οποίες έχουν διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας αλλά και ιδιότητες. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές video μπορούν να αποτελούν επικοινωνία από σημείο σε σημείο π.χ. μια τηλεδιάσκεψη μέσω Skype ή Zoom ενώ οι εφαρμογές ροής αποτελούν ζωντανή αναπαράσταση μιας σειράς εικόνων σε ζωντανή μετάδοση π.χ. μια ταινία.

Ορισμένες ιδιότητες του βίντεο, όπως για παράδειγμα εάν είναι κωδικοποιημένο από πριν ή θα κωδικοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο, εάν θα υποστηριχθεί σταθερή ή μεταβλητή μετάδοση ρυθμού ή θα πρέπει να υποστηριχθεί μια συγκεκριμένα τιμή QoS, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τον σχεδιασμό του συστήματος.



Εικόνα 5: Video Streaming Platforms

1.4 Content Caching

Στο Διαδίκτυο παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στην δημοτικότητα των video streamings και εξυπηρετεί περίπου τα $\frac{3}{4}$ της παγκόσμιας κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Προκειμένου να ικανοποιήσει το σημαντικό αριθμό αιτήσεων για περιεχόμενο βίντεο, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν διακομιστές CDN στα άκρα του δικτύου τους για προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου αλλά και για καλύτερη ανατροφοδότηση στο δίκτυο μεταξύ χρηστών-διακομιστή.

Με την χρήση των δικτύων CDN, οι πάροχοι βελτιώνουν την συνολική καθυστέρηση, η οποία μπορεί να γίνεται αντιληπτή από τους χρήστες δημιουργώντας κακή ποιότητα QoS, την συνολική απόδοση του δικτύου (throughput) αλλά και το συνολικό κόστος [27]. Η τεχνολογία WiFi αλλά και η χρήση κυψελοειδών σταθμών βάσης είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά παραδείγματα δικτύων content caching. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά αλλά και ο τρόπος διαχείρισης των αιτημάτων βίντεο σε κινητά είναι ασαφή σε πρακτικά ασύρματα δίκτυα.

Οι δύο βασικές προκλήσεις που αναμένεται να επηρεάσουν την διανομή περιεχομένου βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα είναι τα δίκτυα CDN αλλά και τα ICN. Πιο συγκεκριμένα [28] [29] [30], τα δίκτυα CDN, με σύντομο αντίκτυπο, κυρίως λόγω της ταχείας ανάπτυξης τους θα οδηγήσουν τους παρόχους να είναι υπεύθυνοι για τη λειτουργία μιας δικτυωμένης υποδομής προσωρινής αποθήκευσης (networked caching infrastructure).

Με τις αρχιτεκτονικές του Information Centric Networking (ICN), CCN [31] και NDN [32], προβλέπεται η ανάπτυξη packet caches σε δρομολογητές δικτύων. Σε σχέση με τα δίκτυα CDN, των οποίων ο στόχος ήταν να βελτιωθεί η απόδοση της διανομής περιεχομένου, οι πάροχοι έχουν έναν επιπρόσθετο στόχο της ελαχιστοποίησης του λειτουργικού κόστους του δικτύου.

Για τον σχεδιασμό συστημάτων caching, απαιτείται αξιοποίηση από τους παρόχους δικτύων, κινητής τηλεφωνίας σημαντικών προδιαγραφών όπως γνώσης τοπολογίας, έλεγχος δρομολόγησης, μείωση του κόστους λειτουργίας του δικτύου [27].

Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα δίκτυα content caching βασίζονται σε τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης [33], [34], [35], ο σχεδιασμός ενός συστήματος εκτελείται σε δύο ξεχωριστές φάσεις:

- Content placement, όπου κάθε μνήμη cache φορτώνει με τα κατάλληλα δεδομένα, αξιοποιώντας χρονικές περιόδους κατά τις οποίες στο δίκτυο δεν υπάρχει συμφόρηση.
- Delivery, όπου τα περιεχόμενα που δεν έχουν αποθηκευτεί (cached) μεταδίδονται όταν ζητηθούν από τους χρήστες. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχουν δύο τύποι caching gains που έχουν αναγνωριστεί, τα local και τα global [34]. Το local caching gain λαμβάνεται όταν ζητηθεί ένα αρχείο που είναι τοπικά διαθέσιμο στην μνήμη cache (είτε στο SBS είτε στους χρήστες), στέλνοντας αυτό το αρχείο από την μνήμη cache χωρίς σύνδεση στο Macro Base Station (MBS). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την μείωση της κίνησης στο backhaul ασύρματο κανάλι [33] αλλά και στην βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη (QoS) [34]. Αντιθέτως, το global caching

gain, λαμβάνεται με πολλαπλή κωδικοποίηση πληροφοριών στη φάση της παράδοσης [34], [35].

Ωστόσο, ο διαχωρισμός αυτών των δύο φάσεων αντιμετωπίζουν περιοριστικά ζητήματα όπως i) το content placement τι κόστος χρειάζεται (ενέργεια, εύρος ζώνης) και ii) το περιεχόμενο της μνήμης cache δεν ενημερώνεται ποτέ κατά την διάρκεια της φάσης παράδοσης.

Στη συνέχεια στο [36], εξετάζεται το πρόβλημα caching στο δίκτυο, το οποίο μπορεί να χωριστεί σε τρία υποπροβλήματα:

- Content placement and content-to-cache distribution, όπου διαπραγματεύεται το πρόβλημα της απόφασης ποια στοιχεία περιεχομένου πρέπει να τοποθετηθούν, σε ποιον caching κόμβο αλλά και πως θα διανεμηθούν τα δεδομένα σε αυτούς τους κόμβους.
- Request-to-cache routing, όπου ασχολείται με τον τρόπο δρομολόγησης των αιτημάτων περιεχομένου από τον αιτούντα σε έναν κατάλληλο caching node που περιέχει το αντίγραφο του ζητούμενου περιεχομένου.
- Cache placement, η οποία ασχολείται με την απόφαση/βελτιστοποίηση.

1.5 Τεχνολογία Blockchain

Με την ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), των κοινωνικών μέσων, της τεχνολογίας cloud, ο ψηφιακός κόσμος συνέβαλε στην δημιουργία νέων καινοτόμων προϊόντων. Το Blockchain είναι η νεότερη και με πολλές προοπτικές τεχνολογία στη σύγχρονη οικονομία. Στην αρχή, η έννοια του blockchain συνδυάστηκε με αρκετές τεχνολογίες και υπολογιστικές έννοιες για να δημιουργηθούν αρκετά κρυπτονομίσματα που υπάρχουν αυτήν την στιγμή όπως Ripple, Ethereum, Cardano [39].

Το πρώτο κρυπτονομίσμα που βασίζεται σε τεχνολογία blockchain είναι το Bitcoin. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να δώσει λύσεις σε πολλά ζητήματα όπως στη βιομηχανία, ηλεκτρονικό εμπόριο, συναλλαγές, προσφέροντας ασφάλεια, αξιοπιστία στην επεξεργασία των δεδομένων [37]. Αρχικά, ενώ έγινε αρκετά δημοφιλές από το Bitcoin, το Blockchain δεν αποτελεί μόνο το θεμέλιο για την κατοχύρωση των κρυπτονομισμάτων, ως το κύριο νόμισμα συναλλαγών.

Από την άλλη προσφέρει έναν ασφαλή τρόπο ανταλλαγής κάθε είδους αγαθού, υπηρεσίας ή συναλλαγής, προσφέροντας αξιόπιστες συνεργασίες στην βιομηχανική ανάπτυξη [38]. Η βιομηχανική ανάπτυξη εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από αξιόπιστες συνεργασίες, όμως το έγκλημα στον κυβερνοχώρο και η απάτη εμποδίζουν την επέκτασή τους.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η τεχνολογία Blockchain επιτρέπει πιο στενές σχέσεις με τους πελάτες, ταχύτερη ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως IoT, cloud ενώ παρέχει χαμηλότερο κόστος συναλλαγών με την σύναψη αξιόπιστων συμβολαίων, δεσμεύσεων, συμφωνιών με ισχυρά χαρακτηριστικά ασφαλείας στον κυβερνοχώρο.

Στη συνέχεια στο [37], η τεχνολογία Blockchain σχετίζεται πάντα με τα κρυπτονομίσματα, επειδή αυτή η τεχνολογία αποτελεί την βάση για τον ψηφιακό κόσμο των

κρυπτονομισμάτων, στη πραγματικότητα όμως διαφέρουν στον τρόπο λειτουργίας τους. Η τεχνολογία Blockchain χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς όπως π.χ. συστήματα εφοδιαστικής αλυσίδας, ιατρική κ.α.

1.5.1 Δομή της τεχνολογίας Blockchain

Η τεχνολογία Blockchain βασίζεται σε αποκεντρωμένο σύστημα σύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ο βασικός στόχος της, είναι η αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων, η απλοποίηση του συνολικού συστήματος επικοινωνίας, αποθήκευσης αλλά και διαχείρισης του μεγάλου όγκου δεδομένων μεταξύ πληροφοριακών συστημάτων. Όσον αφορά την τεχνολογία blockchain είναι απαραίτητο να αναφερθούν έννοιες όπως validators, mining αλλά και public address.

Ειδικότερα, στο Proof-of-Stake (PoS), που είναι ένα πρωτόκολλο consensus για αλυσίδες μπλοκ, οι οποίες διαθέτουν την ιδιότητα να επιτρέπουν σε οποιονδήποτε κόμβο να ενταχθεί στο δίκτυο, ορίζεται μια ομάδα από validators, οι οποίοι προτείνουν την επόμενη συναλλαγή που θα περιληφθεί στην αλυσίδα. Οι προτάσεις αυτές, αποτυπώνονται στο δίκτυο σε μορφή μπλοκ, τα οποία ενώνονται το ένα με το άλλο, σχηματίζοντας μια αλυσίδα, για αυτό και blockchain.

Επίσης, οι validators είναι υπολογιστές που διατηρούν την ακεραιότητα του blockchain, διατηρώντας συνεχώς την σύνδεση από το πρώτο μπλοκ έως το τελευταίο. Σε ένα blockchain όπως του Ethereum ή του Bitcoin, υπάρχουν χιλιάδες επικυρωτές.

Το blockchain mining, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία προσθήκης συναλλαγών, δηλαδή τη διαδικασία προσθήκης μπλοκ στο blockchain. Αυτή η διαδικασία εξόρυξης εκτελείται από μια ομάδα ανθρώπων σε όλο το κόσμο που ονομάζονται «blockchain miners». Η εξόρυξη γίνεται συνήθως σε έναν αποκλειστικό υπολογιστή για αυτήν την διαδικασία και μόνο, διότι απαιτεί γρήγορη CPU, καθώς και υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότεροι άνθρωποι συνδέουν την εξόρυξη (mining) ως έναν απλό τρόπο δημιουργίας νέων νομισμάτων, όμως εκτός από αυτό συνδέεται άμεσα και με την επικύρωση των συναλλαγών σε ένα δίκτυο blockchain.

Προκειμένου, να υπάρχει ασφάλεια και αξιοπιστία, το κατανεμημένο ledger του Bitcoin, επιτρέπει μόνο στους επαληθευμένους miners να ενημερώνουν τις συναλλαγές στο ψηφιακό ledger. Για να διασφαλιστεί ότι μόνο επαληθευμένοι miners μπορούν να εξορύσουν και να επικυρώσουν συναλλαγές, έχει τεθεί σε εφαρμογή ένα πρωτόκολλο Proof-of-Work (PoW).



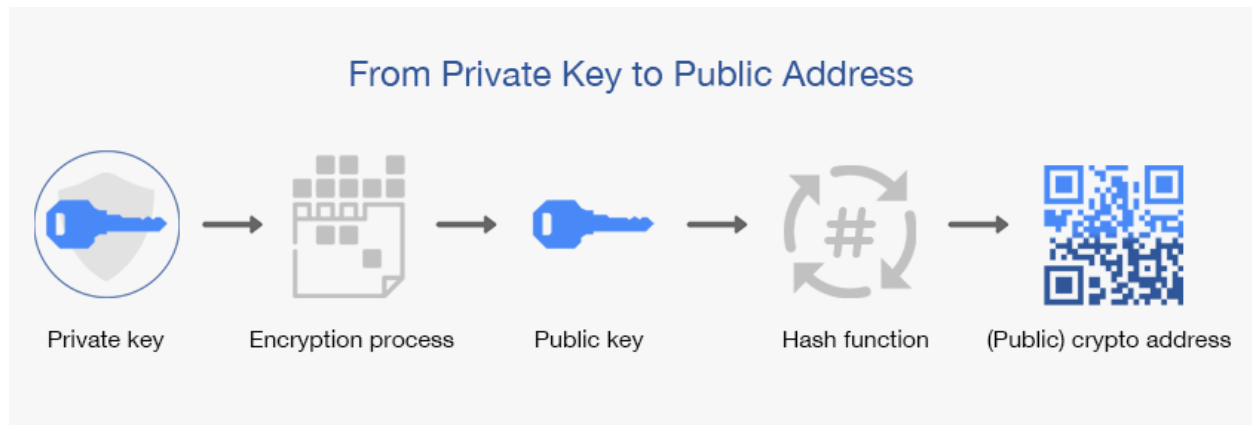
Εικόνα 6: Cryptocurrency Mining

Διάφορα κρυπτονομίσματα, όπως το Bitcoin βασίζεται στη κρυπτογράφηση ενός δημόσιου κλειδιού, δηλαδή ένα κρυπτογραφικό σύστημα που χρησιμοποιεί ζεύγη κλειδιών. Για παράδειγμα, *public keys*, τα οποία είναι δημόσια γνωστά και απαραίτητα για την αναγνώριση αλλά και τα *private keys*, τα οποία χρησιμοποιούνται για έλεγχο ταυτότητας αλλά και κρυπτογράφηση.

Στο [86] τα μεγάλα κρυπτονομίσματα, όπως το Bitcoin και το Ethereum λειτουργούν χρησιμοποιώντας τρεις βασικές πληροφορίες όπως τη διεύθυνση (*address*) που σχετίζεται για την αποστολή και λήψη κεφαλαίων, και τα αντίστοιχα *public* και *private keys*.

Για να δημιουργηθεί μια διεύθυνση bitcoin θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα ιδιωτικό κλειδί και στη συνέχεια το αντίστοιχο δημόσιο κλειδί μπορεί να εξαχθεί χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο. Η διεύθυνση, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί σε συναλλαγές, είναι μια συντομότερη, αντιπροσωπευτική μορφή του δημόσιου κλειδιού.

Επίσης, το *private key* είναι αυτό που εκχωρεί σε έναν χρήστη την ιδιοκτησία των κεφαλαίων σε μια δεδομένη διεύθυνση, για παράδειγμα εάν ένας χρήστης θέλει να μεταφέρει χρήματα σε κάποια άλλη διεύθυνση/ λογαριασμό, τότε το λογισμικό υπογράφει την συναλλαγή με το *private* κλειδί του χρήστη και υποδεικνύει σε ολόκληρο το δίκτυο ότι ο χρήστης μπορεί να μεταφέρει χρήματα από την διεύθυνση από την οποία τα στέλνει.



Εικόνα 7: From Private Key to Public Address

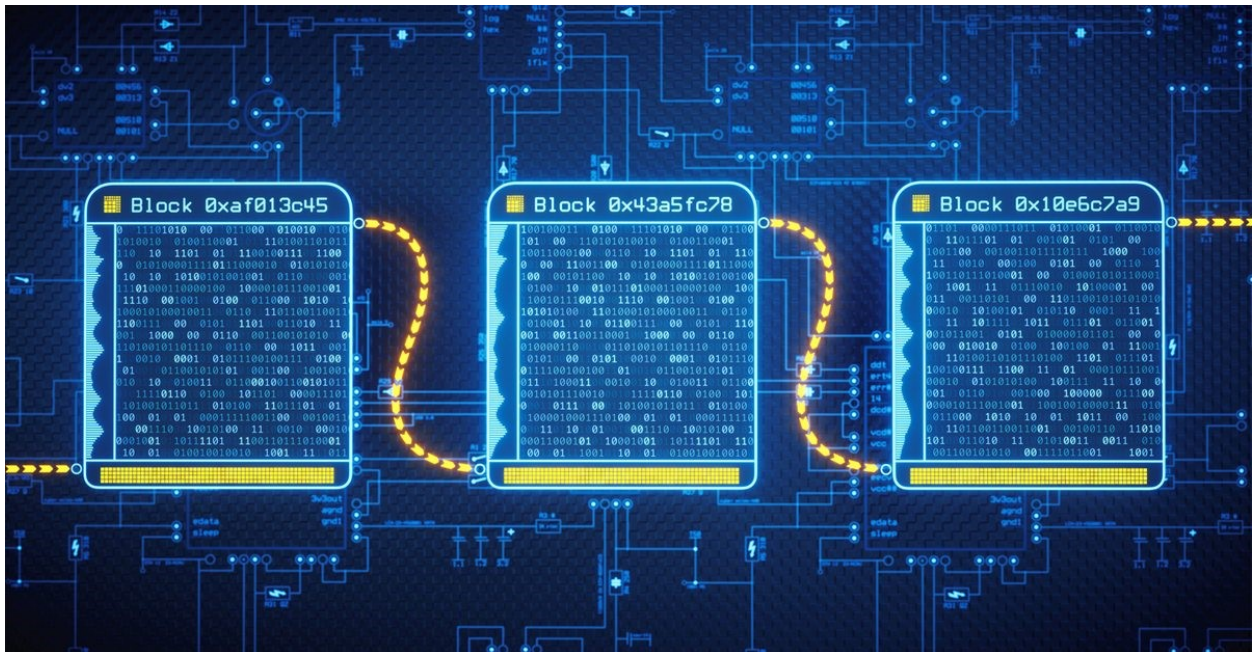
Η δομή του Blockchain αποτελείται από γραμμικά μπλοκ ακολουθίας (sequence blocks), τα οποία προστίθενται στην αλυσίδα σε κανονικά διαστήματα [40]. Επίσης, η τεχνολογία Blockchain αποτελείται από μια αλυσίδα (chain) που σχηματίζεται μέσω της σύνδεσης του ενός μπλοκ με το επόμενο και χρησιμοποιεί τεχνικές hashing.

Οι τεχνικές hashing βοηθούν την ασφάλεια του συστήματος, διότι κάθε μπλοκ δημιουργείται μόνο από δεδομένα του προηγούμενου, με τέτοιο τρόπο ώστε ένα μπλοκ να αναγνωρίζει μόνο το προηγούμενο του. Έτσι, πετυχαίνεται μια κρυπτογραφική διαδικασία, προσφέροντας περισσότερη ασφάλεια, διακρίβωση και έλεγχο του συστήματος. Οι πληροφορίες στα μπλοκ εξαρτώνται από το δίκτυο Blockchain, αλλά η χρονική σήμανση (timestamp), η συναλλαγή και το hash υπάρχουν σε όλες τις παραλλαγές συστημάτων blockchain. Κάθε μπλοκ περιέχει το κρυπτογραφικό κατακερματισμό του προηγούμενου μπλοκ (Εικόνα 8).

Όλες οι πληροφορίες hash δημιουργούνται αυτόματα που σημαίνει ότι δεν είναι δυνατή η αλλαγή οποιασδήποτε πληροφορίας στο hash. Έτσι, κάθε επόμενο μπλοκ ενισχύει την επαλήθευση του προηγούμενου μπλοκ, επομένως και την ασφάλεια ολόκληρου του Blockchain. Όσα περισσότερα μπλοκ υπάρχουν σε μια αλυσίδα, τόσο πιο ασφαλές και αξιόπιστο είναι το σύστημα Blockchain [41].

Στη συνέχεια στο [39], αναλύεται η τεχνολογία Blockchain στο κρυπτονόμισμα Bitcoin, όπου πληροφορίες που αναπαριστούν ηλεκτρονικά μετρητά ενσωματώνονται σε μια ψηφιακή διεύθυνση. Οι χρήστες που χρησιμοποιούν το Bitcoin, μπορούν ψηφιακά να μεταβιβάσουν τα δικαιώματά τους σε αυτές τις πληροφορίες, σε άλλους χρήστες και το Blockchain καταγράφει αυτές τις κινήσεις δημόσια, επιτρέποντας σε όλους όσους βρίσκονται στο δίκτυο να αναγνωρίσουν την εγκυρότητα των συναλλαγών.

Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται από όλους τους χρήστες η ασφάλεια, η κρυπτογράφηση των συναλλαγών αλλά και η αξιοπιστία του συστήματος. Επίσης, οι χρήστες που βρίσκονται στο δίκτυο διατηρούν, διαχειρίζονται συλλογικά το Bitcoin Blockchain. Με την κρυπτογράφηση του συστήματος, το blockchain καθίσταται ανθεκτικό σε ζητήματα ασφαλείας σε περιπτώσεις όπως τροποποίηση των μπλοκ, παρακολούθηση συναλλαγών.



Εικόνα 8: The sequence of blocks of Blockchain

1.5.2 Εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain

Η τεχνολογία Blockchain αυξάνεται ραγδαία την τελευταία δεκαετία με σημαντικό αντίκτυπο στην τρόπο ζωής επίσης. Αν και πολλοί άνθρωποι συγχέουν την έννοια του Blockchain με το Bitcoin, στην ουσία είναι δύο διαφορετικές έννοιες με το τελευταίο να αποτελεί μια εφαρμογή επίσης τεχνολογίας Blockchain.

Οι εφαρμογές επίσης τεχνολογίας Blockchain μπορούν να χωριστούν σε τρία κύρια πεδία:

- **Digital Payments (Ψηφιακές Πληρωμές):** Οι κύριοι εμπορικοί μηχανισμοί ηλεκτρονικών συναλλαγών επίσης για παράδειγμα πληρωμή λογαριασμών βασίζονται σε κεντρικά συστήματα των τραπεζών για την καταγραφή όλων των συναλλαγών αλλά και για την διατήρηση των υπολοίπων του εκάστοτε τραπεζικού λογαριασμού κάθε χρήστη. Ειδικότερα, η κάθε συναλλαγή που εκτελείται, μεταδίδεται στο κεντρικό σύστημα επίσης κάθε τράπεζας, ώστε να ελεγχθεί η εγκυρότητα επίσης και κατά συνέπεια οι δύο λογαριασμοί προσαρμόζονται. Στην τεχνολογία blockchain, η συναλλαγή μεταδίδεται σε όλους του κόμβους δικτύου, επομένως απαιτείται περισσότερη ισχύ, περισσότερο χρόνο επεξεργασίας. Επίσης, η συναλλαγή αντιγράφεται σε κάθε υπολογιστή που είναι μέλος του δικτύου. Το Bitcoin χρησιμοποιεί Blockchain επειδή δεν απαιτεί να υπάρχει εμπιστοσύνη σε τρίτους, διότι οι συναλλαγές εκκαθαρίζονται, επομένως δεν χρειάζεται κανένας κόμβος να ελεγχθεί για την αξιοπιστία του.
- **Συμβάσεις (Contracts):** Σύμβαση είναι η επισημοποίηση επίσης συμφωνίας 2 ή περισσότερων μερών και σε αυτό μπορεί να συμβάλει η τεχνολογία blockchain κάνοντας την συμφωνία authorized. Το Ethereum, είναι ένα κρυπτογραφικό σύστημα έξυπνων συμβάσεων, κωδικοποιεί επίσης συμβάσεις σε ένα blockchain για την δημιουργία επίσης, χωρίς την δυνατότητα προσφυγής ή ανατροπής. Το πρόβλημα με αυτήν την περίπτωση, είναι ότι η γλώσσα που χρησιμοποιεί ο

φυσικός κόσμος για την σύνταξη των συμβάσεων είναι κατανοητή σε πολύ περισσότερους ανθρώπους σε σχέση με τον κώδικα που χρησιμοποιείται από επίσης έξυπνους συντάκτες συμβάσεων.

- Βάση δεδομένων και διαχείριση αρχείων (Database & record management): Η τεχνολογία Blockchain εξαιτίας του γεγονότος ότι αποτελεί μια αποκεντρωμένη βάση προσφέρει αξιοπιστία και ασφάλεια, διότι η πλειοψηφία των κόμβων σε ποσοστό που αγγίζει το 51% δεν μπορεί να παραβιαστεί. Επίσης, προσφέρει την δυνατότητα διαχείρισης αρχείων μέσω εξωτερικών συνδέσμων σε αρχεία.

1.5.3 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Blockchain

Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνολογίας Blockchain είναι ότι θεωρείται ένα αποκεντρωμένο σύστημα, δηλαδή δεν είναι απαραίτητη η συνεργασία με τρίτους ή με έναν κεντρικό διαχειριστή.

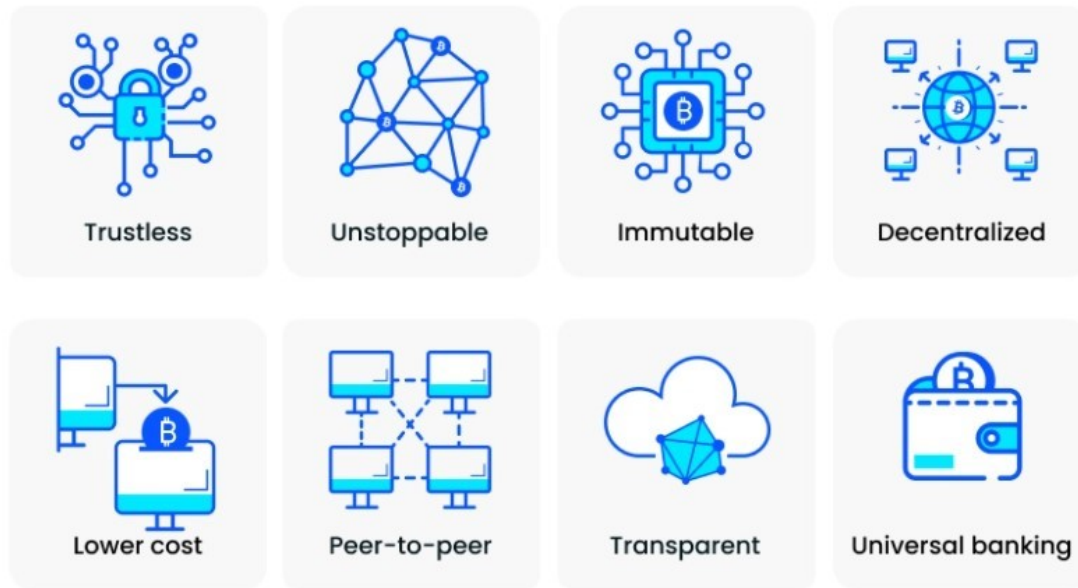
Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι χρήστες που συμμετέχουν στο Blockchain λειτουργούν ως διαχειριστές, αποφασίζουν και εκτελούν συγκεκριμένες ενέργειες. Κάθε σύστημα έχει την βάση δεδομένων και προσπαθεί να προσφέρει ασφάλεια, ώστε να αποφευχθούν κίνδυνοι παραβίασης της βάσης δεδομένων ή ακόμα και τα δεδομένα των χρηστών.

Κάθε ενέργεια καταγράφεται στο Blockchain και τα δεδομένα των αρχείων είναι διαθέσιμα σε κάθε χρήστη που βρίσκεται στο δίκτυο και δεν μπορούν να αλλάξουν ή να διαγραφούν. Έτσι, στο σύστημα Blockchain προσδίδεται ασφάλεια, αξιοπιστία και εμπιστοσύνη [44], [45]. Επίσης, η αξιοπιστία του συστήματος βασίζεται ότι δύο ή περισσότεροι χρήστες δεν γνωρίζονται μεταξύ τους.

Η μέγιστη σταθερότητα (immutable) του συστήματος επιτυγχάνεται όταν όλες οι συναλλαγές μοιραστούν σε ολόκληρο το Blockchain. Αυτό εξαρτάται κυρίως από το είδος του συστήματος που μπορεί να είναι είτε συγκεντρωμένο (centralized) ή αποκεντρωμένο (decentralized). Στη πρώτη περίπτωση, κάθε συναλλαγή μπορεί να αλλάξει ή να διαγραφεί, επειδή υπάρχει μόνο ένας χρήστης και παίζει το ρόλο του διαχειριστή.

Στην δεύτερη περίπτωση, κάθε συναλλαγή, η οποία συνδέεται με το Blockchain αντιγράφεται σε κάθε υπολογιστή, γεγονός που καθιστά την τεχνολογία ως αναλλοίωτη και άφθαρτη. Η διαφάνεια (transparency) του Blockchain επιτυγχάνεται με την διαδικασία αντιγραφής των συναλλαγών, δηλαδή ότι κάθε συναλλαγή αντιγράφεται σε οποιονδήποτε υπολογιστή που ανήκει στο Blockchain δίκτυο. Επομένως, κάθε χρήστης μπορεί να δει όλες τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται στο δίκτυο [46], [47].

Benefit



Εικόνα 9: Benefits of Blockchain technology [87]

Επίσης, το Blockchain μπορεί να ανιχνεύσει τυχόν λάθη, προβλήματα και να διορθωθούν σε άμεσο χρονικό διάστημα, αυτό δίνει το πλεονέκτημα της ιχνηλασιμότητας [48]. Η υψηλή ασφάλεια της τεχνολογίας Blockchain σχετίζεται ότι κάθε άτομο που εισέρχεται στο Blockchain αναγνωρίζεται με την μοναδική του ταυτότητα που συνδέεται με τον λογαριασμό του.

Επίσης, χρησιμοποιείται κρυπτογραφία hash, δηλαδή όταν δημιουργείται νέο μπλοκ υπολογίζεται η τιμή hash, που περιλαμβάνει σίγουρα την προηγούμενη τιμή του hash, για το νέο μπλοκ. Το hash αποτελείται από τον τύπο, αριθμό ταυτότητας του μπλοκ, την τιμή του προηγούμενου hash, τον χρόνο που δημιουργήθηκε το μπλοκ, τον αριθμό του χρήστη κ.α. Σε αυτήν την περίπτωση, είναι αδύνατο να αλλάξει οποιαδήποτε πληροφορία στην τιμή hash, διότι δημιουργείται αυτόματα με το κλειδί του κόμβου [48].

Η τεχνολογία Blockchain αποτελεί μια απλοποίηση του οικοσυστήματος, επειδή όλες οι συναλλαγές πραγματοποιούνται σε ένα ενιαίο δίκτυο. Το τελευταίο πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός της ταχύτερης επεξεργασίας, επειδή η συναλλαγή απαιτεί πολύ λιγότερο χρόνο επεξεργασίας, για παράδειγμα ταχύτερες συναλλαγές μεταξύ τραπεζικών οργανισμών.

Η τεχνολογία Blockchain συμβάλλει στην μείωση του συνολικού χρόνου για επεξεργασία από περίπου 3 ημέρες έως αρκετά λεπτά ή ακόμα και δευτερόλεπτα [47], [48].

1.5.4 Μειονεκτήματα της τεχνολογίας Blockchain

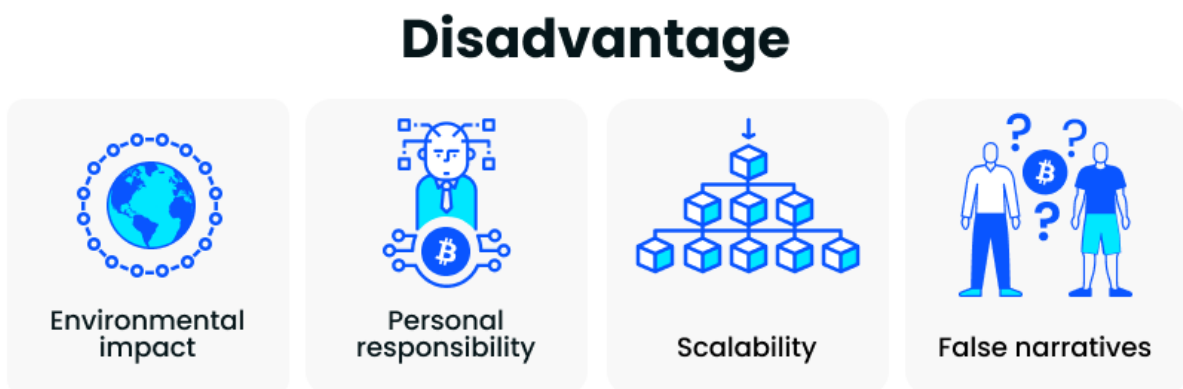
Η τεχνολογία Blockchain εκτός από πλεονεκτήματα, έχει και μειονεκτήματα ή καλύτερα κάποιες σημαντικές προκλήσεις που θα πρέπει σίγουρα να ληφθούν υπόψη. Το κύριο μειονέκτημα της τεχνολογίας Blockchain είναι ο αργός ρυθμός διεκπεραίωσης των συναλλαγών, διότι θεωρείται ένα αποκεντρωμένο σύστημα.

Η επαλήθευση των συναλλαγών γίνεται μέσω μεθόδων συναίνεσης όπως Proof-of-Work (PoW), Proof-of-Stake (PoS). Προκειμένου να ελεγχθεί μια συναλλαγή, μπορεί να χρειαστούν μερικά λεπτά έως κάποιες ώρες, για παράδειγμα το Bitcoin μπορεί να διαχειρίζεται μόνο επτά συναλλαγές ανά δευτερόλεπτο σε σύγκριση με 24.000 συναλλαγές ανά δευτερόλεπτο που μπορεί να διαχειριστεί το τραπεζικό σύστημα της VISA. Αυτό συμβαίνει, επειδή απαιτείται τεράστιος χρόνος για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων και στη συνέχεια ολοκλήρωση της συναλλαγής.

Ένα άλλο πρόβλημα με το Public Blockchain είναι η επεκτασιμότητα, δηλαδή όσο περισσότεροι είναι οι κόμβοι, τόσο πιο αδέξιο και αργό γίνεται το δίκτυο. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, το Bitcoin υλοποιεί τις συναλλαγές εκτός αλυσίδας (off-chain transactions) για να κάνει το κύριο δίκτυο του Bitcoin πιο γρήγορο και επεκτάσιμο.

Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα της τεχνολογίας Blockchain είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι απαραίτητη για την εκτέλεση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο [37]. Κάθε φορά που δημιουργείται ένας νέος κόμβος, επικοινωνεί και με τους υπόλοιπους κόμβους τους δικτύου.

Ο έλεγχος, η επικύρωση των συναλλαγών από τους τεράστιους διαχειριστικούς πόρους του δικτύου όπως τράπεζες απαιτούν τεράστια υπολογιστική ισχύ, επομένως χρησιμοποιούν τεράστια ενέργεια και χρόνο [47], [50]. Επίσης, η διαδικασία της επαλήθευσης, της υπογραφής είναι μια σημαντική πρόκληση του Blockchain, γιατί κάθε συναλλαγή θα πρέπει να κρυπτογραφείται, επομένως απαιτείται υψηλή υπολογιστική ισχύς, άρα υψηλή κατανάλωση ενέργειας [47].



Εικόνα 10: Disadvantages of Blockchain Technology [87]

Στη συνέχεια στο [49], [50] αναφέρεται το μειονέκτημα του διαχωρισμού της αλυσίδας, επειδή οι κόμβοι που λειτουργούν με το παλιό λογισμικό, δεν δέχονται τις συναλλαγές στη νέα αλυσίδα. Αυτό ονομάζεται fork και υπάρχουν δύο είδη, το soft fork και το hard fork.

Για παράδειγμα, στην πρώτη περίπτωση το soft fork καθιερώνει τους κανόνες των μπλοκ, με τους κόμβους να ενημερώνονται ώστε να ικανοποιήσουν τους κανόνες. Εάν το μπλοκ, ήταν έγκυρο πριν, και τώρα παραβιάζει τους κανόνες, το μπλοκ δεν θα ληφθεί υπόψη. Για παράδειγμα, το soft fork έχει περιορίσει το μέγεθος του μπλοκ μέχρι 500 kB, ενώ πριν ήταν το 1 MB. Αυτό σημαίνει ότι τα μπλοκ, τα οποία είναι μεγαλύτερα από 500 kB, απορρίπτονται μετά από αναβαθμίσεις [49], [50].

Στη δεύτερη περίπτωση, ο τρόπος λειτουργίας είναι ο ίδιος, το αποτέλεσμα όμως διαφέρει για παράδειγμα το hard fork αυξάνει το μέγεθος του μπλοκ στα 2 MB από 1 MB. Αν το μπλοκ έχει περάσει όλους τους κανόνες που έχει θέσει το hard fork, τότε θα γίνει αποδεκτό, ακόμα και αν το μπλοκ δεν ήταν στην αλυσίδα [49], [50].

Το υψηλό κόστος του Blockchain είναι από τα κυριότερα μειονεκτήματα και ήδη πολλές έρευνες και μελέτες αναπτύσσονται για να αντισταθμίσουν αυτό το αποτέλεσμα. Τέλος, το υψηλό αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται, δημιουργεί ιδιαίτερες προκλήσεις για αυτόν τον ψηφιακό κόσμο του Blockchain [47].

2. Κεφάλαιο 2

2.1 Επισκόπηση μοντέλου RE-CENT

Σε ένα ετερογενές ασύρματο δίκτυο, οι χρήστες κινητών τηλεφώνων ενδιαφέρονται να καταναλώσουν περιεχόμενο βίντεο που φιλοξενείται από διακομιστές που βρίσκονται στο Διαδίκτυο. Για αυτό το λόγο στο [51], οι χρήστες χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης (RAT) για να αποκτήσουν πρόσβαση στο δίκτυο, αφού πρώτα κατέχουν το κλειδί είσοδο, το οποίο παρέχεται από τον πάροχο του οικιακού δικτύου τους όπως για παράδειγμα το αναγνωριστικό (id) του συνδρομητή, IMSI, κλειδιά και κωδικοί πρόσβασης του δικτύου.

Όπως αναφέρεται στο [52], η τεχνολογία Ραδιοπρόσβασης ή (RAT) είναι η βασική μέθοδος φυσικής σύνδεσης σε ένα ραδιοφωνικό δίκτυο επικοινωνίας και παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών είναι το Bluetooth, Wi-Fi, GSM, UMTS, LTE, 5G NR. Ανάλογα με τον τύπου RAT που χρησιμοποιείται και τα δικαιώματα πρόσβασης που έχουν οι χρήστες, η πρόσβαση στα δεδομένα κινητής τηλεφωνίας εξαρτάται από i) από το επίπεδο κάλυψης που παρέχεται από τα διαθέσιμα δίκτυα στην συγκεκριμένη περιοχή, ii) από την κατάσταση των κοντινών σημείων πρόσβασης (υπό την έννοια της κατάστασης του δικτύου από το πρόσθετο φορτίο που προσφέρεται από τους άλλους χρήστες αλλά και από το backhaul δίκτυο και τη διαθέσιμη συνδεσιμότητα) και iii) το προβλεπόμενο επίπεδο χρήσης των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας που συμφωνήθηκε με τον οικιακό πάροχο ανά χρήση.

Αντίθετα, το προτεινόμενο μοντέλο πρόσβασης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας επιτρέπει στους τελικούς χρήστες, σημεία πρόσβασης αλλά και σε κυψελοειδείς σταθμούς βάσης να μοιράζονται, να εμπορεύονται και να καταναλώνουν περιουσιακά στοιχεία του δικτύου όπως συνδέσεις backhaul, συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο κλπ. σε πραγματικό χρόνο και χωρίς συμφωνίες άδειας παροχής υπηρεσιών (SLA).

Με το προτεινόμενο μοντέλο πρόσβασης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, το οποίο ονομάζεται ως REsource sharing model for user-CENTric digital content delivery over beyond 5G mobile data networks (RE-CENT), τελικοί χρήστες (που ονομάζονται πελάτες RE-CENT) και παρόχοι υπηρεσιών (που ονομάζονται διακομιστές RE-CENT) μπορούν να συνάψουν συμφωνίες εξυπηρέτησης on-the-fly και να εφαρμόσουν υπηρεσία που υποστηρίζεται από την τεχνολογία blockchain. Πιο συγκεκριμένα, το Blockchain επιτρέπει την αντίστοιχη χρέωση ανά βίντεο, ανά παράδοση περιεχομένου, σύμφωνα με τις τρέχουσες απαιτήσεις υπηρεσιών των χρηστών.

Όπως αναφέρεται στο [51], οι τελικοί χρήστες και οι πάροχοι υπηρεσιών θα πρέπει να διατηρούν ένα αναγνωριστικό blockchain, που είναι μια δημόσια διεύθυνση και να μπορεί να αξιολογηθεί η κατάσταση blockchain, π.χ. ερωτώντας του κόμβους εάν μπορούν να διατηρήσουν το blockchain RE-CENT (διάδοση συναλλαγών, επικύρωση μπλοκ κλπ.).

Ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις, οι κόμβοι RE-CENT αναλαμβάνουν εξειδικευμένους ρόλους π.χ. επικυρωτές μπλοκ, relays πληρωμών κ.α. Ακόμα και αν οι υπάρχοντες πάροχοι κινητής τηλεφωνίας εξακολουθούν να έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα λόγω της μεγάλης κάλυψης αλλά και φήμης που διαθέτουν, σύμφωνα με το μοντέλο RE-CENT, κάθε πάροχος δικτύου θα μπορεί να εμπορεύεται υπηρεσίες ή ακόμα και να ανταγωνιστεί παρόχους σε γεωγραφικές περιοχές με κακή κάλυψη υπηρεσιών ή μη ανταγωνιστικές τιμές. Η υποστήριξη του μοντέλου πρόσβασης των δεδομένων κινητής

τηλεφωνίας RE-CENT, απαιτεί την χρήση λειτουργικών βελτιώσεων τόσο στο blockchain όσο και στο δίκτυο.

Στο τομέα του blockchain, το δίκτυο δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα πρέπει να είναι χτισμένο πάνω από την πλατφόρμα blockchain και να επιτρέπει i) υψηλό βαθμό αποκέντρωσης, επιτρέποντας διαφορετικούς ρόλους και επίπεδα συμμετοχής στο 5G, ii) επεκτασιμότητα, υποστηρίζοντας εκατομμύρια συναλλαγές και iii) ασφάλεια, αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα της σύζευξης blockchain/network id.

2.2 Αρχιτεκτονική μοντέλου RE-CENT

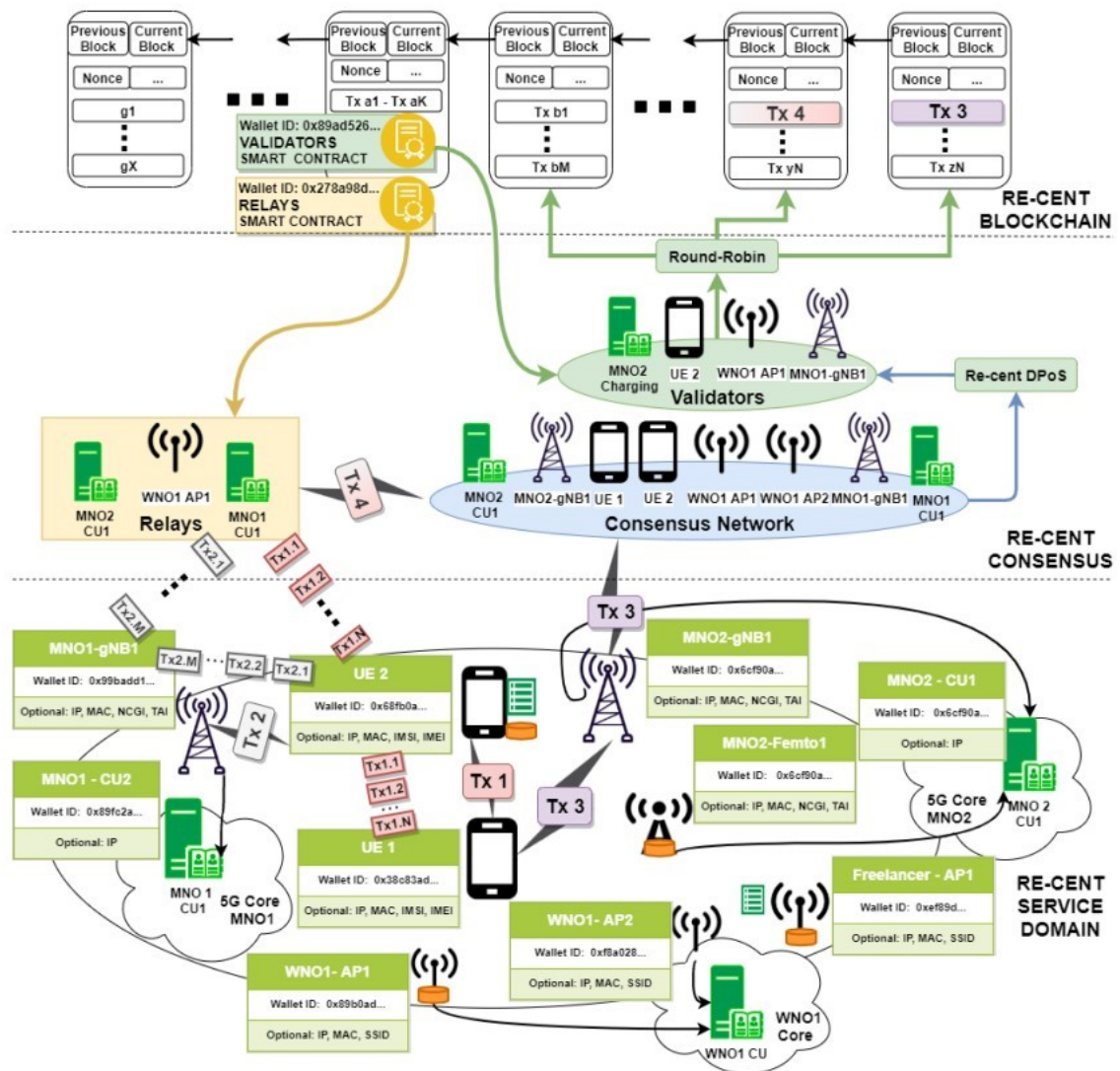
Ας θεωρήσουμε ένα ετερογενές ασύρματο δίκτυο, όπου κάθε επίπεδο δικτύου αποτελείται από στοιχεία ασύρματης δικτύωσης (WNEs) που υποστηρίζουν την ίδια τεχνολογία και λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Στην κορυφή της υποδομής του ετερογενούς ασύρματου δικτύου, θεωρούμε μια επίπεδη αρχιτεκτονική συστήματος όπου τα WNE σχηματίζουν μια επίπεδη λογική αρχιτεκτονική που είναι υπεύθυνη για τα περιουσιακά στοιχεία όπως συναλλαγές, διαχείριση συναλλαγών και αποτελεί την υπηρεσία RE-CENT domain (Εικόνα 11).

Κάθε κόμβος RE-CENT χρησιμοποιεί τουλάχιστον μια δημόσια διεύθυνση για παράδοση και κατανάλωση βίντεο σε κινητά. Οι κόμβοι RE-CENT αποτελούν το δίκτυο σύνδεσης του RE-CENT για την διάδοση των συναλλαγών από κόμβο σε κόμβο αλλά και για την διατήρηση του RE-CENT blockchain (Εικόνα 11). Χρησιμοποιώντας το μηχανισμό RE-CENT delegated PoS (DPoS), το δίκτυο consensus εξουσιοδοτεί έναν περιορισμένο αριθμό κόμβων RE-CENT που ονομάζονται επικυρωτές για την σηματοδότηση των νέων μπλοκ που τοποθετούνται σε σειρά κυκλικής αναμονής.

Οι επικυρωτές χρησιμοποιούνται για καθορισμένο χρόνο που ονομάζεται epoch, που μετρείται σε μπλοκ. Όλες οι παράμετροι και οι κανόνες που επηρεάζουν τη διαδικασία επικύρωσης είναι δημόσια γνωστή και υλοποιείται από τους Validators SC (VSC) που αναπτύσσεται στα πρώτα μπλοκ της αλυσίδας μπλοκ RE-CENT (ενότητα III.Γ). Η χρήση του DPoS αλλά και η σηματοδότηση των μπλοκς roundrobin στοχεύει για την επίτευξη πολύ υψηλής απόδοσης συναλλαγών.

Τα Smart Contracts (SC) εκτελούνται αυτόματα και υπάρχουν στο blockchain ώστε να ενεργοποιούν υπολογισμούς γενικής χρήσης. Κάθε SC έχει μια μοναδική διεύθυνση και οι συναλλαγές που περιέχουν δεδομένα μπορούν αποσταλούν σε αυτήν την διεύθυνση, ενεργοποιώντας την εκτέλεση του κώδικα SC. Το Ethereum είναι μια πλατφόρμα που επιτρέπει την εκτέλεση SC [54] και υποστηρίζει το μοντέλο πρόσβασης RE-CENT, εξαιτίας των πολλών εκατομμυρίων συναλλαγών που λαμβάνουν χώρα ανά δευτερόλεπτο.

Δεδομένου, ότι οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται σε όλες τις υπάρχουσες πλατφόρμες κρυπτονομισμάτων είναι της τάξης των εκατοντάδων συναλλαγών ανα δευτερόλεπτο [55], νέα πρωτόκολλα συναίνεσης απαιτούνται ώστε να υποστηριχθεί η σωστή λειτουργία.



Εικόνα 11: RE-CENT System Architecture

Σύμφωνα με το [56], η αρχιτεκτονική υπηρεσίας RE-CENT επιτρέπει στους κόμβους RE-CENT να χρησιμοποιεί ρελέ πληρωμής ώστε να επιτευχθεί χαμηλό κόστος, αξιοπιστία μεταξύ των χρηστών και του blockchain και εμπιστοσύνη μέσω του RE-CENT Relay SC (RSC – Section III.D). Οι συναλλαγές εκτός blockchain είναι νόμιμες συναλλαγές που κρυπτογραφούνται από τον πελάτη RE-CENT, που είναι αποθηκευμένες στα ρελε και απελευθερώνονται χρησιμοποιώντας συγκεκριμένους μηχανισμούς που επιβάλλονται από τον πελάτη RE-CENT και τη λογική RSC.

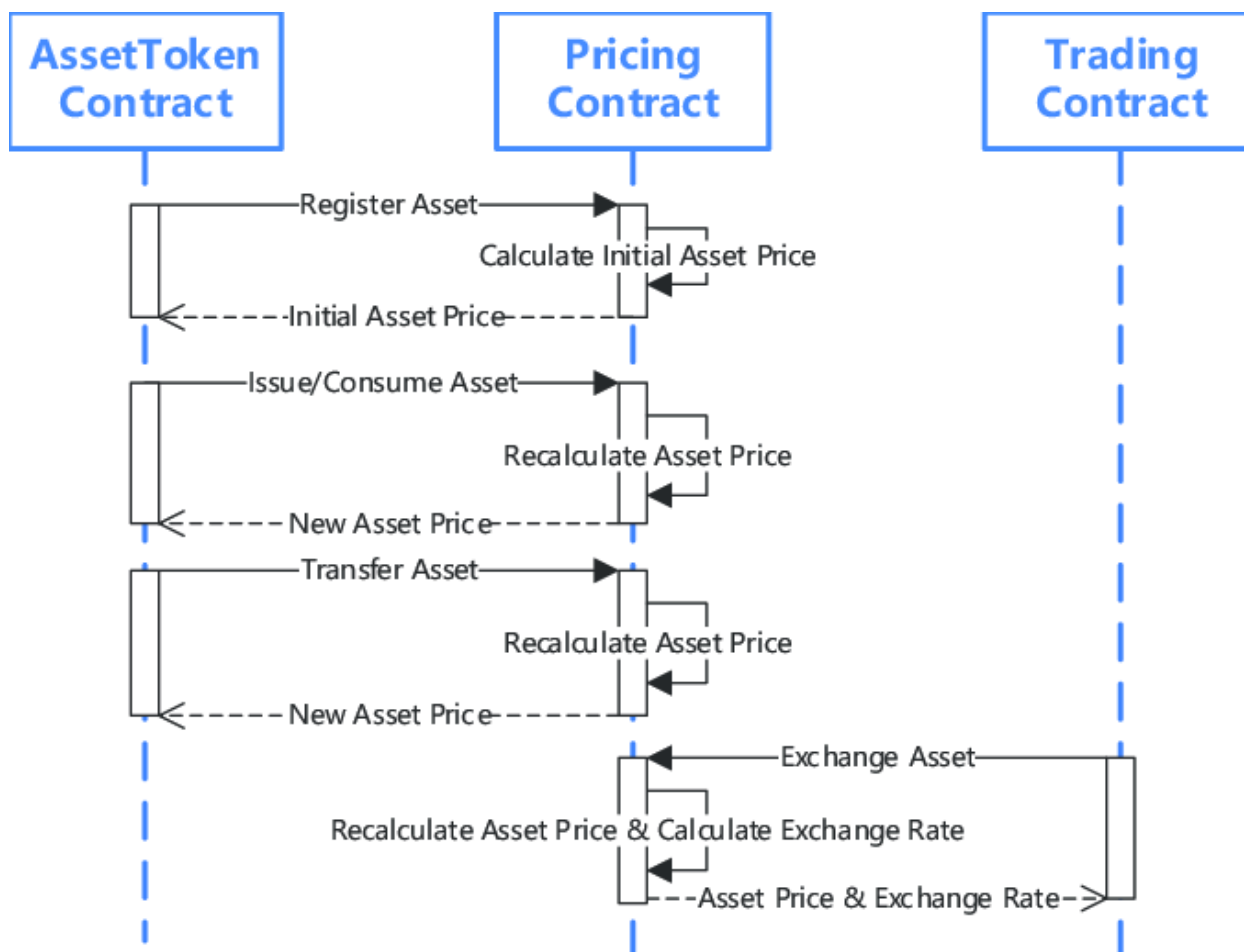
2.3 Asset pricing

Οι τεχνολογίες blockchain χαρακτηρίζονται από περιορισμένη επεκτασιμότητα στην επεξεργασία των συναλλαγών, γεγονός που επηρεάζει την τιμολόγηση των περιουσιακών στοιχείων που βασίζονται σε blockchain [57]. Ο μεγάλος όγκος συναλλαγών, αλλά και σε περιόδους που το κεφάλαιο υπερβαίνει την ικανότητα

επεξεργασίας ενός blockchain, θα μπορούσε να δημιουργηθεί συμφόρηση εξαιτίας ότι περιορίζεται η διάδοση των πληροφοριών λόγω αργής επαλήθευσης των συναλλαγών.

Πιο συγκεκριμένα, η τιμολόγηση των περιουσιακών στοιχείων αναφέρεται στη λογική που ακολουθούν οι RE-CENT διακομιστές (servers) ώστε να καταλήξουν στην τελική τιμολόγηση που θα προσφέρουν στους πελάτες RE-CENT ανάλογα με τον τύπο, το πλήθος, το είδος της υπηρεσίας που επιθυμεί ο εκάστοτε χρήστης [58].

Επίσης, εκτός από τα προαναφερθέντα σημαντικό ρόλο για την τιμολόγηση μιας ή περισσότερων υπηρεσιών παίζει η διαθεσιμότητα των στοιχείων του τοπικού δικτύου και των υπηρεσιών, το πλήθος των ληφθέντων αιτημάτων για υπηρεσία που παρέχονται από άλλους διακομιστές. Στη συνέχεια, οι διακομιστές RE-CENT θα χρησιμοποιήσουν τις δικές τους στρατηγικές τιμολόγησης των περιουσιακών στοιχείων και θα κοινοποιήσουν τις προσφορές τους, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα σε επίπεδο δικτύου.



Εικόνα 12: The sequence diagram of three smart contracts

Η τιμολόγηση της υπηρεσίας θα πρέπει να λαμβάνεται σημαντικά υπόψη για τιμές QoE KPI που καθορίζονται στο αίτημα της υπηρεσίας. Για παράδειγμα, εάν ένας χρήστης επιθυμεί βίντεο με υψηλότερο ρυθμό bit, λόγω ανάγκης για καλύτερη ανάλυση, καλύτερα

ποιότητα υπηρεσίας αυτό σημαίνει ότι το κόστος της υπηρεσίας θα αυξηθεί, διότι απαιτούνται περισσότεροι πόροι δικτύου, μεγαλύτερο εύρος φάσματος.

Επίσης, οι τεχνολογίες RAT, αποτελούν το τελευταίο επίπεδο για την υλοποίηση της υπηρεσίας, που χρησιμοποιούνται για να είναι δυνατή η μετάβαση της υπηρεσίας παράδοσης του περιεχομένου διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στη στρατηγική τιμολόγησης π.χ. υπηρεσία χωρίς αδειοδοτημένο φάσμα συνεπάγεται χαμηλότερο κόστος αλλά και χαμηλότερο QoE (Quality-of-Experience) [58].

Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να υποστηριχθούν, τα jitter αλλά και το κόστος των backhaul ασύρματων ζεύξεων για την υλοποίηση της παράδοσης του περιεχομένου από άκρο σε άκρο.

Επιπλέον, η σύνδεση backhaul για την πρόσβαση σε απομακρυσμένους διαχειριστές είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, επομένως η τιμολόγηση της υπηρεσίας θα πρέπει να προσαρμοστεί ανάλογα. Επίσης, το κόστος της υπηρεσίας δεν περιλαμβάνει μόνο το κόστος για την χρήση φάσματος αλλά θα πρέπει επιπλέον να περιλαμβάνει και άλλα λειτουργικά κόστη όπως π.χ. κόστος εξοπλισμού, ενεργειακής κατανάλωσης.

Η τιμολόγηση της υπηρεσίας θα πρέπει να συμβαδίζει και να εναρμονίζεται με την τρέχουσα κατάσταση της τοπικής αγοράς, οπότε μια πιθανή συρρίκνωση της οικονομικής αγοράς θα συντελέσει στην αύξηση των τιμών.

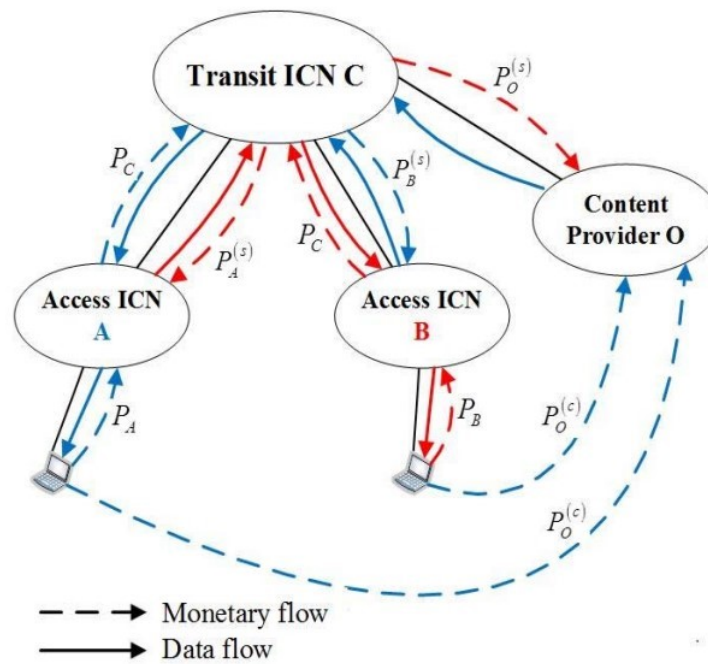
2.4 Ανάλυση μοντέλων Asset Pricing / Content Caching

Η τεχνολογία blockchain φέρνει επανάσταση στην δημιουργία τόσο κλιμακούμενων πληροφοριακών συστημάτων όσο και διαφοροποιημένων εφαρμογών ενσωματώνοντας διάφορες τεχνολογίες όπως τεχνητή νοημοσύνη, cloud computing.

Στη συνέχεια αναλύονται βασικά μοντέλα τιμολόγησης αλλά και ο τρόπος με τον οποίο ο content provider υλοποιεί μια στρατηγική τιμολόγησης της υπηρεσίας.

- a. Στο [59] προτείνεται ένα μοντέλο τιμολόγησης για να μελετήσει τα οικονομικά κίνητρα για προσωρινή αποθήκευση, κοινή χρήση περιεχομένου σε ICN που αποτελείται από ICNs πρόσβασης, ICN μεταφοράς και έναν πάροχο περιεχομένου (Σχήμα 3). Αυτό το έργο έχει δείξει ότι εάν η στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης (τιμολόγησης) του κάθε χρήστη παραμένει σταθερή, τότε η χρησιμότητα (utility) κάθε χρήστη γίνεται κοίλη συνάρτηση της δική του στρατηγικής τιμολόγησης.

Utility κάθε χρήστη: εξετάζεται το utility κάθε χρήστη σε συνάρτηση με την στρατηγική τιμολόγησης



Σχήμα 3: Απλοποιημένο μοντέλο ενός ICN [60]

- b. Στο [60], μελετήθηκε ένα παρόμοιο μοντέλο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κοινής προσωρινής αποθήκευσης και στρατηγικών τιμολόγησης σε ένα δίκτυο που περιλαμβάνει δύο ICN πρόσβασης, ένα ICN μεταφοράς και ένα πάροχο περιεχομένου. Σύμφωνα με αυτό, φαίνεται ότι κάθε χρήστης μπορεί να βελτιστοποιήσει τις στρατηγικές προσωρινής αποθήκευσης, παίζοντας ένα μη συνεργατικό παιχνίδι.

Στο Nash Equilibrium, οι στρατηγικές προσωρινής αποθήκευσης αποδεικνύονται στρατηγικές 0-1 (όλα ή τίποτα), όπου κάθε ICN πρόσβασης αποθηκεύει προσωρινά όλη την ζητούμενη ζήτηση εάν το κόστος προσωρινής αποθήκευσης είναι μικρότερο από το κόστος προσωρινής αποθήκευσης των ICNs μεταφοράς.

Όταν το κόστος προσωρινής αποθήκευσης του ICN πρόσβασης είναι υψηλότερο από το ICN μεταφοράς, όλο το ζητούμενο περιεχόμενο θα εξυπηρετείται από οποιοδήποτε ICN μεταφοράς ή πάροχο περιεχομένου που έχει το χαμηλότερο κόστος προσωρινής αποθήκευσης. Αυτό σημαίνει ότι το περιεχόμενο θα αποθηκευτεί προσωρινά στο ICN με το μικρότερο κόστος προσωρινής αποθήκευσης.

Caching Strategy: Κάθε χρήστης προσπαθεί να βελτιστοποιήσει τις στρατηγικές προσωρινής αποθήκευσης παίζοντας ένα μη συνεργατικό παιχνίδι.

- c. Στο [59], [61], οι συγγραφείς προτείνουν ένα μοντέλο ιεραρχικού δικτύου με δύο access ICN (A και B), ένα transit ICN (C), ένα πάροχο περιεχομένου (O) και ένα σύνολο από χρήστες που μπορούν να αλλάξουν πρόσβαση από ένα Information Centric Network σε ένα άλλο. Τα access ICNs συνδέουν τους τελικούς χρήστες στο δίκτυο περιεχομένου και το ICN μεταφοράς παρέχει μεταφορά ευρείας περιοχής για τα ICN πρόσβασης ενώ ο πάροχος παρέχει το περιεχόμενο στους χρήστες. Είναι

φανερó ότι η οικονομία του δικτύου εξαρτάται από την προσωρινή αποθήκευση αλλά και από την τιμολόγηση.

Οι συγγραφείς μελετούν την απαίτηση των χρηστών που επηρεάζεται τόσο από την τιμή περιεχομένου όσο και από την τιμή πρόσβασης και ορίζεται ως γραμμική συνάρτηση.

User's demand: είναι παράμετρος που ορίζεται ως γραμμική συνάρτηση και εξαρτάται από την network price του ICN, την storage price του access ICN ή του πάροχο περιεχομένου, την τιμή περιεχομένου που πληρώνουν οι χρήστες, την τιμή περιεχομένου για την παροχή περιεχομένου από τον πάροχο αλλά και τα coefficients των τιμών που επηρεάζουν τη ζήτηση χρηστών.

- d. Στο [62] αναλύεται μια αρχιτεκτονική CDN (Σχήμα 4) που βασίζεται σε λογισμικό προκειμένου να βρεθεί μια αποδοτική τιμολόγηση και αποθήκευση περιεχομένου. Για να επιτευχθεί αυτό, στο SCDN χρησιμοποιούνται cache servers που αναλαμβάνουν την τιμολόγηση του περιεχομένου και την προσωρινή αποθήκευση.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα , οι cache servers συνδέονται με τον SDN controller που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τα σχήματα τιμολόγησης και αποθήκευσης περιεχομένου. Όσον αφορά, το τρόπο με τον οποίο ικανοποιούνται τα αιτήματα των πελατών για περιεχόμενο, όταν ο πελάτης ζητά κάποιο περιεχόμενο, αυτό το αίτημα κατευθύνεται στον διακομιστή κρυφής μνήμης που είναι συνδεδεμένος με το DSLAM (Βήμα 1).

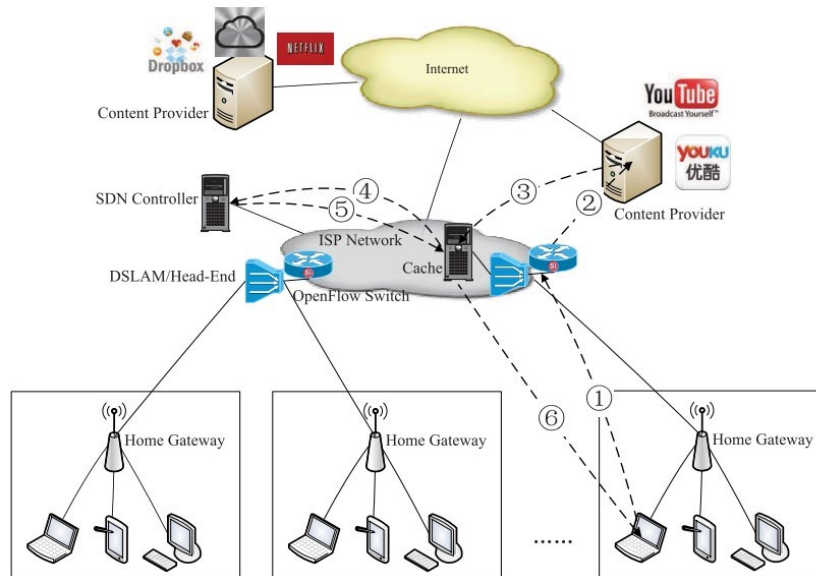
Εάν το απαιτούμενο περιεχόμενο φιλοξενείται από τον cache server, ο cache server μπορεί να απαντήσει στο αίτημα απευθείας (βήμα 6). Διαφορετικά, ο διακομιστής κρυφής μνήμης το αναμεταδίδει στο αντίστοιχο CP και ζητά το απαιτούμενο περιεχόμενο (βήμα 2). Λαμβάνοντας αυτήν την απάντηση από το CP (βήμα 3), ο cache server δεν πρέπει μόνο να απαντά στον πελάτη, αλλά και να στέλνει τις πληροφορίες περιεχομένου και τη συχνότητα αιτημάτων στο SDN controller (βήμα 4).

Με βάση τη συχνότητα αιτήματος, ο SDN controller μπορεί να καθορίσει εάν ο cache server πρέπει να αποθηκεύσει προσωρινά το περιεχόμενο ή όχι. Επιπλέον, μπορεί επίσης να καθορίσει το ποσό της τιμής για κάθε περιεχόμενο που ζητήθηκε.

Η απόφαση προσωρινής αποθήκευσης και οι τιμές κοινοποιούνται από τον SDN controller στον διακομιστή κρυφής μνήμης (βήμα 5). Επίσης, το σύστημα πληρωμών στο SCDN είναι επίσης διαφορετικό από αυτό στα παραδοσιακά CDN. Στο SCDN, η τιμή κάθε περιεχομένου υπολογίζεται από τον SDN controller και κοινοποιείται στους πελάτες από τον cache server.

Αντίστοιχα, οι πελάτες θα πρέπει να πληρώνουν στο IP, αντί για τους CP, όπως στο συμβατικό CDN. Τα έσοδα από τα IP θα πρέπει να μοιραστούν στα CPs.

Κέρδος από την ζήτηση περιεχομένου: είναι παράμετρος που εξαρτάται από το γεγονός εάν το περιεχόμενο είναι αποθηκευμένο στη κρυφή μνήμη, από την τιμή του περιεχομένου, την συχνότητα αιτήματος του περιεχομένου αλλά και από την τιμή που θα πρέπει να πληρώσει ο χρήστης στο πάροχο του περιεχομένου.



Σχήμα 4: Αρχιτεκτονική του SCDN

- e. Στο [63], οι συγγραφείς μελετούν μια στρατηγική τιμολόγησης, μεταξύ ενός Spectrum Provider (SP), ο οποίος αποκομίζει έσοδα από την πώληση εύρους ζώνης σε σταθμούς βάσης (BSs).

Η πληρωμή του BS από την κατανάλωση φάσματος από τους χρήστες μοντελοποιείται ως μια γραμμική συνάρτηση της κατανάλωσης εύρους ζώνης.

Average income of SP: είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από τα έσοδα που λαμβάνει ο SP όταν ο χρήστης ζητά το περιεχόμενο και του το μεταβιβάζει αλλά και από τα έσοδα του SP όταν ο χρήστης ζητά περιεχόμενο και ο BS δεν έχει τους απαιτούμενους πόρους, επομένως αγοράζει εύρος ζώνης και του παραδίδει το ζητούμενο περιεχόμενο.

Με βάση αυτό, μπορούμε να θεωρήσουμε το μοντέλο λήψης αποφάσεων ως ένα Stackelberg Game, δυο επιπέδων, όπου το SP είναι ο leader και BS οι ακόλουθοι. Ο Spectrum Provider πρώτα ανακοινώνει τις τιμές για την πώληση του εύρους ζώνης και ανάλογα με το ποσό, το BS καθορίζει το ποσό του εύρους ζώνης για αγορά.

- f. Στο [64] μελετάται ένα σύστημα που περιλαμβάνει ένα Service Provider όπως Youtube, Netflix αλλά και ένα σύνολο χρηστών. Οι χρήστες ανά διαστήματα δημιουργούν αιτήματα περιεχομένου και ο SP απαντά με τη σειρά στα αιτήματα.

User's Demand: η απαίτηση του χρήστη για το περιεχόμενο είναι μια παράμετρος που μοντελοποιείται ως μια τυχαία μεταβλητή με τιμές 0 ή 1 και εξαρτάται από την τιμή της πιθανότητας εάν ο χρήστης θέλει να καταναλώσει περιεχόμενο ή όχι. Η πιθανότητα εξαρτάται από την τιμή του περιεχομένου.

- g. Στο [65] μελετάται ένα δίκτυο από selfish caches, όπου αντιπροσωπεύονται από ένα κατευθυνόμενο caching γράφημα. Κάθε cache node ζητά ένα ή περισσότερα στοιχεία περιεχομένου.

Caching Strategy: είναι μια μεταβλητή που εξαρτάται από την χωρητικότητα της cache κάθε κόμβου.

- h. Στο [66] μελετάται ένα σύστημα caching σε ασύρματα δίκτυα Device-to-Device (D2D), όπου το περιεχόμενο μπορεί να έρθει πιο κοντά στους χρήστες και να μειώσει το backhaul traffic. Ωστόσο, το κύριο εμπόδιο που συναντάται σε υλοποίηση επικοινωνιών D2D με δυνατότητα cache είναι η selfish nature των χρηστών.

Για αυτό, προτείνεται ένα παιχνίδι Stackelberg για την επίλυση της σύγκρουσης συμφερόντων μεταξύ του operator και των D2D πομπών. Ο σκοπός αυτού του παιχνιδιού είναι να επιτευχθεί Stackelberg Equilibrium, όπου τόσο ο operator όσο και οι πομποί D2D επιτυγχάνουν μέγιστο κέρδος σχεδιάζοντας βέλτιστη τιμή και βέλτιστη caching strategy.

Caching Strategy: είναι μια παράμετρος που υπολογίζεται μέσω του Stackelberg Game ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη τιμή.

Πίνακας 1: Comparative Summary of Pricing models

Reference	Phat et al [59]	Reznik et al. [60]	Borst et al. [61]	Duan et al. [62]	Pham et al. [63]	Tadrous et al [64]	Ma et al. [65]	Shi et al [66]
Theoretical	v	v			v		v	v
Arithmetic			v	v		v		
Pricing Model	v	v			v	v		
Hierarchical network model			v	v			v	
Caching (pricing) strategy	v	v	v		v		v	v
User's demand			v			v		
Utility	v							
Content Provider	v	v	v	v		v		
Spectrum Provider					v			
Customer Content Price (Cost)		v	v	v		v		
Provider Content Price (Transfer Price)			v	v				
Request frequency for content				v				
Revenues from Content					v			
Stackelberg Game (Nash Equilibrium)		v			v	v		v
Optimization of caching and pricing strategy		v		v				v

2.5 Σύγκριση των προτεινόμενων μοντέλων

Η συντριπτική πλειοψηφία της κίνησης στο Διαδίκτυο σχετίζεται με περιεχόμενο από πηγές όπως Youtube, Netflix, Bit Torrent κλπ. Επομένως, αυτή η ταχεία ανάπτυξη της κίνησης περιεχομένου στο Διαδίκτυο έχει αποκαλύψει την ανάγκη για μια διαφορετική τοπολογία δικτύου που θα προσφέρει στους χρήστες το ζητούμενο περιεχόμενο χωρίς να τους νοιάζει που βρίσκεται, ακόμη και τον τρόπο παράδοσης [67].

Αυτή η υψηλή αύξηση της ζήτησης για περιεχόμενο βίντεο στο Διαδίκτυο έχει δημιουργήσει την ανάγκη για νέες προσεγγίσεις και ανάπτυξη μελλοντικών αρχιτεκτονικών Διαδικτύου για τον έλεγχο αυτού του μεγάλου όγκου δεδομένων [68].

Παραδείγματα τέτοιων αρχιτεκτονικών αναφέρονται ως Information Centric Networking (ICN), το οποίο αυξάνει την αποτελεσματικότητα της παράδοσης περιεχομένου και επίσης την διαθεσιμότητα περιεχομένου [69], [70], [71] από δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G).

Με αυτόν τον τρόπο, η προσωρινή αποθήκευση (caching) εντός δικτύου έχει πολλαπλά οφέλη και έχει μελετηθεί από πολλά έργα και από θεωρητικής προσέγγισης αλλά και με πρακτικές εφαρμογές. Στο [67], μελετάται το φαινόμενο της κοινής προσωρινής αποθήκευσης και τιμολόγησης χρησιμοποιώντας ICN πρόσβασης, μεταφοράς αλλά και περιεχομένου του παρόχου.

Επίσης, μελετώνται οι στρατηγικές Nash σε ένα μη συνεργατικό παιχνίδι μεταξύ των παραπάνω ICN χρησιμοποιώντας πιθανοτικό μοντέλο, υποθέτοντας ότι τα αιτήματα για πρόσβαση στο περιεχόμενο ακολουθούν την γενικευμένη κατανομή Zipf. Στο μοντέλο που εξετάζεται, το κόστος προσωρινής αποθήκευσης ICN ποικίλλει ανάλογα με την δημοτικότητα του περιεχομένου, ενώ το κόστος του περιεχομένου για τον πάροχο ανά μονάδα δεδομένων παραμένει σταθερό για όλους τους τύπους περιεχομένου.

Στη συνέχεια στο [62], προτείνεται ένα άλλο μοντέλο για την αποτελεσματική προσωρινή αποθήκευση και τιμολόγηση περιεχομένου βασισμένο σε Software Content Delivery Network (SCDN).

Αρχικά, σε ένα CDN (Content Delivery Network), τα CP (Content Providers) φιλοξενούν πολλούς διακομιστές κρυφής μνήμης, και όταν κάθε φορά ένας πελάτης ζητά περιεχόμενο, το αντίστοιχο CP θα αφήσει τον πιο κοντινό διακομιστή κρυφής μνήμης να απαντήσει στο αίτημα.

Με αυτόν τον τρόπο, βελτιώνεται η ποιότητα υπηρεσίας (QoS), ωστόσο δεν είναι και η καλύτερη λύση γιατί: 1) Τα CP δεν έχουν πληροφορίες για την τοπολογία, 2) είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ποιος διακομιστής κρυφής μνήμης είναι ο καλύτερος για να εξυπηρετήσει το αίτημα, αφού πάντα ο πλησιέστερος δεν σημαίνει ότι είναι και ο πιο γρήγορος για να ανταποκριθεί στο αίτημα, 3) τα μικρά CP δεν μπορούν να λειτουργούν τους δικούς τους διακομιστές κρυφής μνήμης λόγω κόστους.

Στο [72], οι συγγραφείς προτείνουν έναν τρόπο βελτιστοποίησης της προσωρινής αποθήκευσης και παράδοσης περιεχομένου, όπου υποθέτουν ότι τα CP φιλοξενούν διακομιστές κρυφής μνήμης στο δίκτυο πρόσβασης με την σειρά για να μειώσει τον λανθάνοντα χρόνο που προκαλείται από την συμφόρηση στο δίκτυο.

Για αυτόν τον λόγο, προτάθηκε στο [62] μια νέα αρχιτεκτονική CDN με το όνομα Software-driven CDN (SCDN). Ειδικότερα, στο SCDN, το IP φιλοξενεί όλους τους διακομιστές κρυφής μνήμης πίσω από το DSLAM [73], που χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση του περιεχομένου των πελατών στην ίδια περιοχή.

Έτσι, με αυτόν τον τρόπο στο SCDN προτείνεται ο IP (Infrastructure Provider) να αναλάβει την άδεια τιμολόγησης του περιεχομένου, επομένως όχι μόνο οι πελάτες μπορούν να βιώσουν καλύτερο QoS, αλλά επίσης ο IP μπορεί να βελτιστοποιήσει καλύτερα την πολιτική τιμολόγησης και προσωρινής αποθήκευσης.

Στη συνέχεια, μελετάται η διαδικασία τιμολόγησης από μια πιο θεωρητική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας το Stackelberg Game. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται στο [74], μία βέλτιστη διαχείριση υπολογιστικών πόρων με βάση την τιμολογιακή υποστήριξη εφαρμογών blockchain για κινητές συσκευές όπου η διαδικασία μπορεί να φορτωθεί στο Edge computing Service Provider (ESP).

Επίσης, στο [63] μελετάται μια στρατηγική τιμολόγησης όπου σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται πάροχος περιεχομένου αλλά πάροχος φάσματος συχνοτήτων που αποκομίζει έσοδα από την πώληση εύρους ζώνης σε σταθμούς βάσης. Το πρόβλημα της τιμολόγησης μοντελοποιείται ως μια γραμμική συνάρτηση της κατανάλωσης του εύρους ζώνης. Και σε αυτήν την περίπτωση, το μοντέλο λήψης αποφάσεων θεωρείται ένα Stackelberg Game δυο επιπέδων.

Στο [60], [62], [66] προτείνονται διάφορα μοντέλα προκειμένου να βρεθεί αποδοτική λύση τόσο για την τιμολόγηση όσο για την προσωρινή αποθήκευση. Ειδικότερα, στο [60] κάθε χρήστης προσπαθεί να βελτιστοποιήσει τις στρατηγικές προσωρινής αποθήκευσης παίζοντας ένα μη συνεργατικό παιχνίδι, στο [62] προτείνεται μια αρχιτεκτονική βασισμένη στο λογισμικό ενώ στο [66] χρησιμοποιείται Stackelberg Game για την επίλυση συγκρούσεων μεταξύ του operator και των D2D πομπών ώστε να επιτευχθεί μέγιστο κέρδος σχεδιάζοντας βέλτιστη τιμή και caching strategy.

3. Κεφάλαιο 3

3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την τιμολόγηση

Η τεχνολογία Blockchain αποτελεί μια νέα τεχνολογία, με πολλές έρευνες και μελέτες να υλοποιούνται, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας, οι δυνατότητες της αλλά και ο τρόπος αλληλεπίδρασης με τους χρήστες.

Ιδιαίτερα σημαντικό, είναι η μελέτη του τρόπου τιμολόγησης της εκάστοτε υπηρεσίας από τον CP (Content Provider), δηλαδή από τον πάροχο περιεχομένου που τροφοδοτεί τους χρήστες. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμολόγηση της υπηρεσίας. Αρχικά, η τιμολόγηση της υπηρεσίας αναφέρεται στην λογική που ακολουθεί ο διακομιστής ώστε να καταλήξει σε μια τελική τιμή για την προσφορά της υπηρεσίας στους χρήστες.

Όπως αναφέρουν οι συγγραφείς στο [58], η τιμολόγηση της υπηρεσίας εξαρτάται από το σύνολο των αιτημάτων που έχουν ληφθεί για υπηρεσίες, την διαθεσιμότητα του δικτύου, αλλά και των προσφορών που έχουν καταθέσει οι υπόλοιποι διακομιστές για την συγκεκριμένη υπηρεσία. Έτσι, οι διακομιστές θα ακολουθήσουν την δική τους στρατηγική τιμολόγησης και στη συνέχεια κοινοποιούν τις προσφορές τους χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα σε επίπεδο δικτύου.

Επίσης, το τελικό κόστος μιας υπηρεσίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της υπηρεσίας για παράδειγμα εάν οι χρήστες επιθυμούν βίντεο με μεγάλη ανάλυση όπως 4K, τότε απαιτούνται περισσότεροι πόροι φάσματος, επομένως μεγαλύτερο κόστος.

Στη συνέχεια, σημαντικό ρόλο στην τελική τιμολόγηση της υπηρεσίας διαδραματίζει το πλήθος των κόμβων που υπάρχει στο δίκτυο, διότι υψηλός αριθμός κόμβων είναι απόδειξη μιας ισχυρής κοινότητας και μπορεί να υποδηλώνει την ισχύ και την αποκέντρωση του δικτύου, δύο σημαντικοί παράγοντες όταν πρόκειται για κρυπτογράφηση.

Οι τεχνολογίες RAT, όπως 4G, 5G, WiFi παίζουν σημαντικό ρόλο στην στρατηγική τιμολόγησης και αποτελούν το τελευταίο επίπεδο για την παράδοση της υπηρεσίας περιεχομένου στους χρήστες. Για παράδειγμα, η χρησιμοποίηση μη αδειοδοτημένου φάσματος σε μια ζώνη συχνοτήτων θα έχει χαμηλότερο κόστος αλλά θα έχει χαμηλότερο QoE. Στη συνέχεια, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως οι διαθέσιμοι σύνδεσμοι backhaul για την υλοποίηση της αλυσίδας παράδοσης του περιεχομένου από άκρο σε άκρο.

Το κόστος υπηρεσιών θα πρέπει να περιλαμβάνει και τις αποσβέσεις αλλά και το κόστος λειτουργίας όπως για παράδειγμα αγορά εξοπλισμού, κατανάλωση ενέργειας. Οι διακομιστές για να αυξήσουν την φήμη τους μπορεί να προσφέρουν χαμηλότερες τιμές για την προσέλκυση νέων χρηστών, επομένως το μονοπώλιο ενός διακομιστή από την τοπική αγορά συναλλαγών μπορεί να αυξηθεί την κοστολόγηση μιας υπηρεσίας. Με αυτόν τον τρόπο, η διαμόρφωση της τελικής τιμής μιας υπηρεσίας από τον διακομιστή στους χρήστες εξαρτάται και από δικτυακούς αλλά και από υπολογιστικούς παράγοντες.

Άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την τιμολόγηση της υπηρεσίας είναι οι κανονισμοί των Κυβερνήσεων (Government Regulations), όπου μπορεί να χρειαστεί αύξηση των τιμών από τους παρόχους περιεχομένου ή τους κόμβους δικτύου

προκειμένου να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις κυρώσεις ή στις απαιτήσεις της εκάστοτε κυβέρνησης.

Ένας πρόσθετος παράγοντας που τελικά μπορεί να επηρεάσει την τιμολόγηση της υπηρεσίας, είναι τα Social Media π.χ. διαφήμιση μιας υπηρεσίας, με ιδιαίτερα μεγάλη επιρροή διότι ένας πάροχος περιεχομένου μπορεί να το καταστήσει πιο δημοφιλές, επομένως θα έχει μεγαλύτερη ζήτηση, δίνοντας του περισσότερο περιθώριο για κέρδος.

Συνοπτικά, οι παρακάτω παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν το κόστος της υπηρεσίας:

- σύνολο των αιτημάτων για υπηρεσία
- διαθεσιμότητα του δικτύου
- πλήθος των χρηστών στο δίκτυο
- ανταγωνισμός
- είδος της υπηρεσίας
- πλήθος των κόμβων του δικτύου
- τεχνολογίες RAT όπως 4G,5G,Wi-Fi
- κόστος για λειτουργικά έξοδα όπως εξοπλισμός, κατανάλωση ενέργειας
- Government Regulations
- Social Media

3.2 Μοντέλο Συστήματος / Ανάλυση του Asset Pricing

3.2.1 Περιγραφή

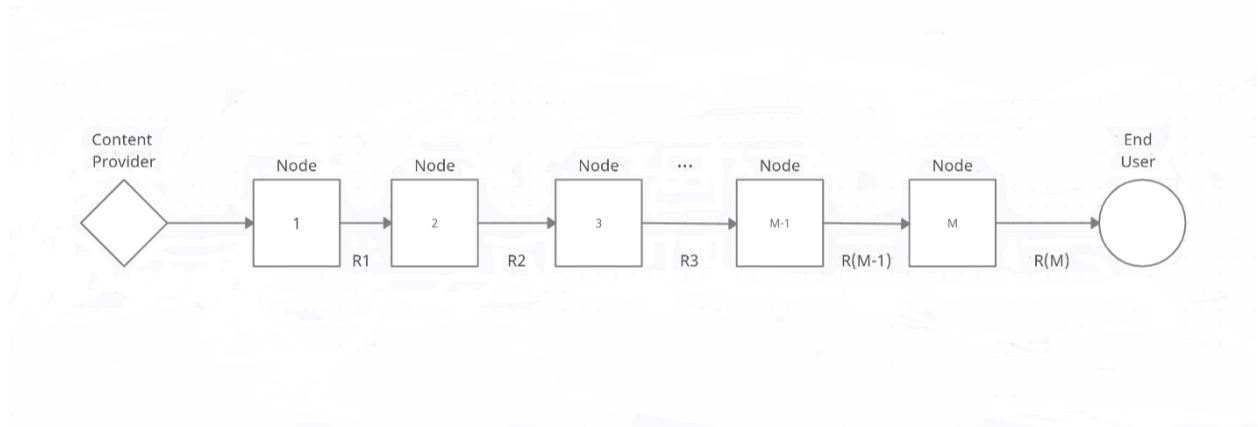
Σε αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε με ποιον τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε την δημοτικότητα του κάθε περιεχομένου, δηλαδή εάν είναι δημοφιλές ή όχι, θα αναλύσουμε τον τρόπο υπολογισμού του συνολικού κόστους που θα πρέπει να πληρώσει ο χρήστης για την παροχή της υπηρεσίας και τέλος θα γίνει παρουσίαση αποτελεσμάτων του προτεινόμενου μοντέλου τιμολόγησης.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι ο τρόπος υπολογισμού του κόστους της υπηρεσίας σε αυτό το μοντέλο που θα αναλύσουμε, έχει άμεση σχέση με την τιμολόγηση της υπηρεσίας σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί τεχνολογία blockchain, διότι και σε αυτό υπάρχουν ενδιάμεσοι κόμβοι που διατρέχει η υπηρεσία για να φτάσει στον τελικό χρήστη από τον πάροχο περιεχομένου.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο συστήματος υποθέτουμε ότι υπάρχουν M κόμβοι στο δίκτυο που συνδέονται μεταξύ τους, μεταφέροντας το ζητούμενο περιεχόμενο ώστε να φτάσει στον τελικό χρήστη. Με άλλα λόγια, για να ληφθεί το περιεχόμενο από τον χρήστη θα

πρέπει η υπηρεσία να μεταβεί από όλους τους κόμβους του δικτύου, η οποία δίνεται από τον πάροχο περιεχομένου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, το ιεραρχικό μοντέλο δικτύου αποτελείται από M κόμβους, έναν πάροχο περιεχομένου αλλά και έναν τελικό χρήστη, στον οποίο θα αποδοθεί η ζητούμενη υπηρεσία, πληρώνοντας ένα συνολικό τίμημα για την παροχή της υπηρεσίας.



Σχήμα 5: Μοντέλο ιεραρχικού δικτύου M κόμβων

3.2.2 Δημοτικότητα Περιεχομένου

Λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω μοντέλο ιεραρχικού δικτύου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, υποθέτουμε ότι υπάρχουν N αρχεία μέσα από μια βιβλιοθήκη αρχείων, που μπορεί να ζητήσει ο χρήστης από τον πάροχο περιεχομένου (content provider).

Με άλλα λόγια, ο πάροχος περιεχομένου έχει στην διάθεση του διάφορους τύπους υπηρεσίας και ο χρήστης επιλέγει ανάμεσα από αυτούς μέσα από ένα σύνολο N διαφορετικών αρχείων.

Κάθε τύπος περιεχομένου έχει διαφορετική δημοτικότητα και αυτό εξαρτάται από την πιθανότητα των αιτημάτων για αυτό. Επομένως, μεγαλύτερη πιθανότητα σημαίνει ότι είναι πιο δημοφιλές, επομένως οι χρήστες το ζητούν περισσότερες φορές έναντι κάποιου άλλου τύπου περιεχομένου.

Στο μοντέλο στο οποίο εμείς μελετάμε, θα θεωρήσουμε ότι η δημοτικότητα κάθε περιεχομένου είναι παρόμοια, επομένως οι χρήστες ζητούν όλους τους τύπους περιεχομένου με την ίδια ζήτηση.

Η κατανομή των αιτημάτων των χρηστών για περιεχόμενο περιγράφεται από την γενικευμένη συνάρτηση κατανομής Zipf ως εξής:

$$p_n = \frac{\left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{n^\gamma}\right)^{-1}}{n^\gamma} \quad \text{όπου } n = \{1,2,3,\dots,N\} \text{ και } \gamma > 0 \text{ (1)}$$

Η κατανομή Zipf χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσουμε την δημοτικότητα που έχει κάθε διαφορετικός τύπος περιεχομένου N από την βιβλιοθήκη αρχείων που είναι διαθέσιμα για αποστολή στον τελικό χρήστη. Ο εκθέτης γ είναι ένας παράγοντας που χαρακτηρίζει αυτήν την κατανομή Zipf.

Πίνακας 2: Σύνοψη των συμβόλων - Περιγραφή

Σύμβολο	Περιγραφή
M	πλήθος κόμβος στο ιεραρχικό δίκτυο
N	Αριθμός αρχείων
p_n	δημοτικότητα (ρυθμός αιτημάτων) για το αρχείο n από το συνολικό πλήθος των αρχείων N
γ	εκθέτης δημοτικότητας κατανομής Zipf
v_m	κόστος συνδεσιμότητας για τον κόμβο m
$c_{n,m}$	κόστος αρχείου n για τον κόμβο m
$g_{n,m}$	κόστος της υπηρεσίας / περιθώριο κέρδους του παρόχου
c_n	συνολικό κόστος για την παροχή ενός αρχείου
L_n	μέγεθος του κάθε αρχείου n σε bytes
S_m	μνήμη προσωρινής αποθήκευσης κάθε κόμβου m σε bytes
α	εκθέτης απωλειών για την διάδοση στον ελεύθερο χώρο
R_m	απόσταση για κάθε κόμβο m

3.2.3 Μοντέλο Κόστους

Στο ιεραρχικό μοντέλο δικτύου που μελετάμε, υποθέτουμε ότι υπάρχουν M κόμβοι στο δίκτυο που συνδέονται και απέχουν απόσταση R μεταξύ τους (Σχήμα 5) και N διαφορετικά αρχεία μέσα από μια βιβλιοθήκη αρχείων.

Υποθέτουμε ότι κάθε τύπος περιεχομένου που προέρχεται από τον πάροχο περιεχομένου για να καταλήξει στον τελικό χρήστη θα πρέπει να διανύσει όλους τους κόμβους δικτύου.

Η πυκνότητα του δικτύου εξαρτάται από το πλήθος των κόμβων που αποτελούν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο, επομένως περισσότεροι κόμβοι δημιουργούν ένα πιο πυκνό δίκτυο. Έστω, ότι η απόσταση του πρώτου κόμβου με τον δεύτερο κόμβο είναι R_1 , τότε για κάθε έναν κόμβο m με $m=\{2, \dots, M-1, M\}$ με τον επόμενο είναι R_{m-1} . Η απόσταση του τελευταίου κόμβου με τον τελικό χρήστη είναι R_m . Έτσι, μοντελοποιούμε το κόστος συνδεσιμότητας ως εξής:

$$v_m = \frac{1}{R_m^{-\alpha}} \quad (2)$$

όπου το $m = \{1, 2, 3, \dots, M\}$ με $\alpha > 0$ και $R > 0$

Ο εκθέτης απωλειών α που προκύπτει λόγω της απόστασης R που απέχουν μεταξύ τους οι κόμβοι, είναι μια παράμετρος που δείχνει τον ρυθμό με τον οποίο η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος μειώνεται με την απόσταση και η τιμή του εξαρτάται από το συγκεκριμένο περιβάλλον διάδοσης.

Επομένως, η παράμετρος α αποτελεί μια σημαντική ποσότητα για την μελέτη του συγκεκριμένου μοντέλου και όπως θα δούμε παρακάτω εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την φύση του περιβάλλοντος και την διάδοση στον ελεύθερο χώρο.

Στη συνέχεια, υποθέτουμε ότι το μέγεθος κάθε αρχείου n σε bytes είναι L_n και ο κόμβος m έχει προσωρινή μνήμη συνολικού μεγέθους S_m σε bytes για την ταχεία εξυπηρέτηση των αρχείων. Επίσης, ο τύπος περιεχομένου n έχει διαφορετική δημοτικότητα ως προς τα αιτήματα των χρηστών που λαμβάνουν που συμβολίζεται με την παράμετρο p_n .

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει το κόστος αρχείου n για τον κόμβο m :

$$C_{n,m} = \frac{L_n}{p_n S_m} \quad (3)$$

όπου το $n = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ και $m = \{1, 2, 3, \dots, M\}$

Επομένως, σύμφωνα με την εξίσωση το κόστος αρχείου n για τον κόμβο m είναι αντιστρόφως ανάλογο της δημοτικότητας κάθε περιεχομένου αλλά και του μεγέθους της μνήμης της προσωρινής μνήμης σε bytes και ανάλογο του μεγέθους του αρχείου σε bytes.

Επίσης, για την τιμολόγηση της υπηρεσίας σημαντικό ρόλο παίζει εάν ένα περιεχόμενο είναι δημοφιλές ή όχι, για αυτό τον λόγο μεγαλύτερο κόστος μπορεί να προκύπτει για αρχεία που έχουν χαμηλό δείκτη δημοτικότητας.

Στην τιμολόγηση της υπηρεσίας εκτός από το κόστος που προκύπτει τόσο από την τοπολογία του δικτύου όσο και από το κόστος του δικτύου κάθε κόμβου, σημαντικό παράγοντα διαδραματίζει και το τίμημα που πρέπει να πληρώσει ο χρήστης στον πάροχο του περιεχομένου για την παροχή της ζητούμενης υπηρεσίας.

Το περιθώριο κέρδους του παρόχου περιεχομένου είναι διαφορετικό ανάλογα με τον τύπο του περιεχομένου και ορίζεται ως η παράμετρος $g_{n,m}$ και προστίθεται στο συνολικό κόστος που προκύπτει στο τέλος που είναι το συνολικό ποσό που πρέπει να πληρώσει ο χρήστης.

Το διαφορετικό κόστος του περιεχομένου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από διάφορα σενάρια όπως για παράδειγμα δημοτικότητα περιεχομένου, μέγεθος αρχείου, είδος του περιεχομένου κ.α.

Το συνολικό κόστος που προκύπτει είναι:

$$c_n = \left(\sum_{m=1}^M (v_m + c_{n,m} + g_{n,m}) \right) \quad (4)$$

όπου το $n = \{1,2,3,\dots,N\}$ και $m = \{1,2,3,\dots,M\}$

3.2.4 Ανάλυση του μοντέλου κόστους

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα αναλύσουμε το μοντέλο κόστους σε ένα ιεραρχικό δίκτυο που αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων με $M=[1,10]$ με βήμα 1, ένα πλήθος αρχείων, έναν πάροχο περιεχομένου και έναν τελικό χρήστη που αναμένει την υπηρεσία για την ικανοποίηση των αναγκών του.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, για να καταλήξει η ζητούμενη υπηρεσία στον τελικό χρήστη θα πρέπει να παραδοθεί από τον πάροχο περιεχομένου στον πρώτο κόμβο, στην δεδομένη περίπτωση θεωρούμε ότι ο κάθε κόμβος είναι ένα σταθμός βάσης, και στη συνέχεια μεταφέρεται το περιεχόμενο σε κάθε έναν από τους επόμενους κόμβους, ώστε στο τέλος να καταλήξει στον τελικό χρήστη.

Οι κόμβοι μεταξύ τους απέχουν απόσταση R_m , απόσταση που είναι διαφορετική μεταξύ των διαφορετικών κόμβων. Η μεταβλητή R_m ακολουθεί την κατανομή Rayleigh με μέση τιμή που προκύπτει από την αριθμητική πράξη $M \cdot \sqrt{2/\pi}$.

Η παράμετρος α που είναι ο εκθέτης απωλειών για την διάδοση στον ελεύθερο χώρο, λαμβάνει σταθερή τιμή, ανάλογα με το μοντέλο προσομοίωσης.

Έχοντας υπολογίσει το κόστος συνδεσιμότητας που βασίζεται στην τοπολογία του δικτύου σύμφωνα με την εξίσωση (2), υπολογίζουμε το κόστος του αρχείου n για κάθε κόμβο m σύμφωνα με την εξίσωση (3).

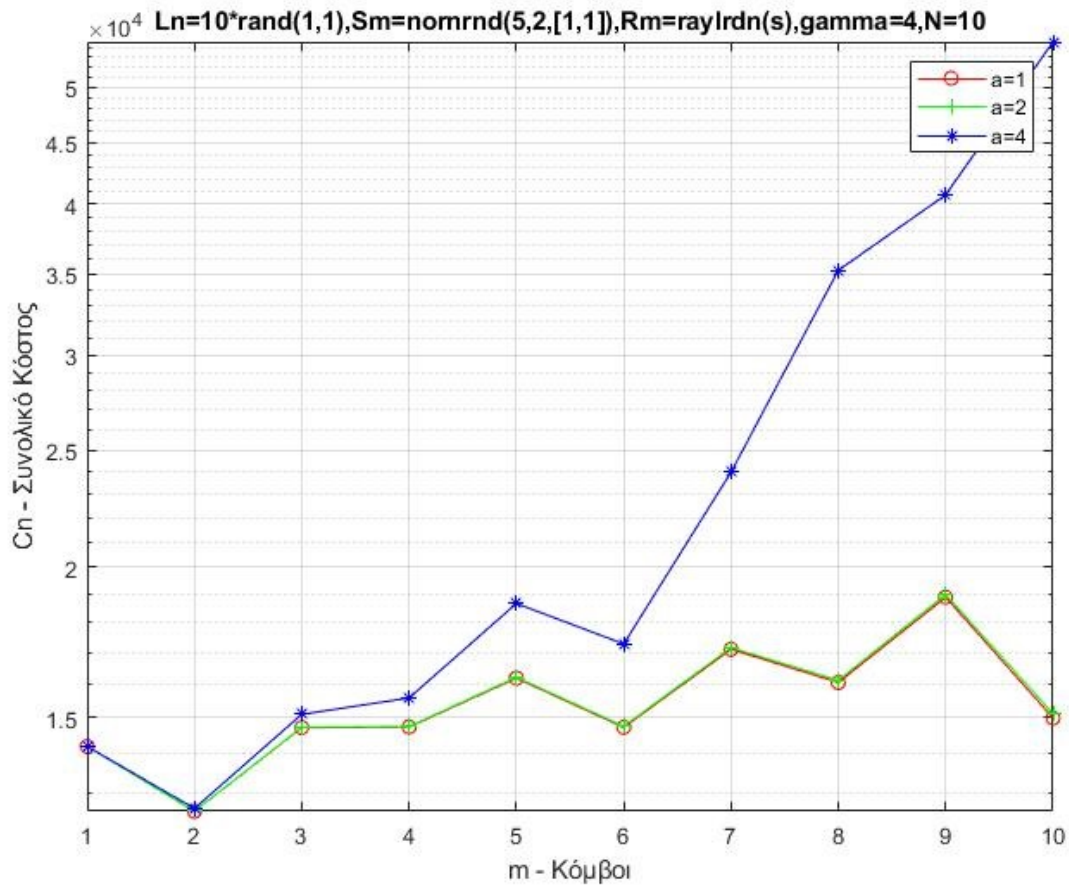
Η μεταβλητή L_n που εκφράζει το μέγεθος του αρχείου σε bytes ακολουθεί την τυχαία ομοιόμορφη κατανομή με τιμές στο διάστημα $[1, 10]$. Η μεταβλητή S_m που εκφράζει την χωρητικότητα κάθε κόμβου σε bytes ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέσο όρο 5 και $\sigma=2$.

Επίσης, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας και το περιθώριο κέρδους του παρόχου περιεχομένου, το οποίο για κάθε κόμβο n λαμβάνει τυχαίες τιμές. Έτσι, στο μοντέλο που εμείς μελετάμε η παράμετρος $g_{n,m}$ ακολουθεί την τυχαία ομοιόμορφη κατανομή (rand) στο διάστημα $(1, 10)$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω υπολογίζουμε το συνολικό κόστος για παροχή ενός αρχείου με βάση την εξίσωση (4), ύστερα από την μετάβαση όλων των κόμβων που υπάρχουν στο δίκτυο, κόστος που επιβαρύνει τον χρήστη για την παροχή της υπηρεσίας.

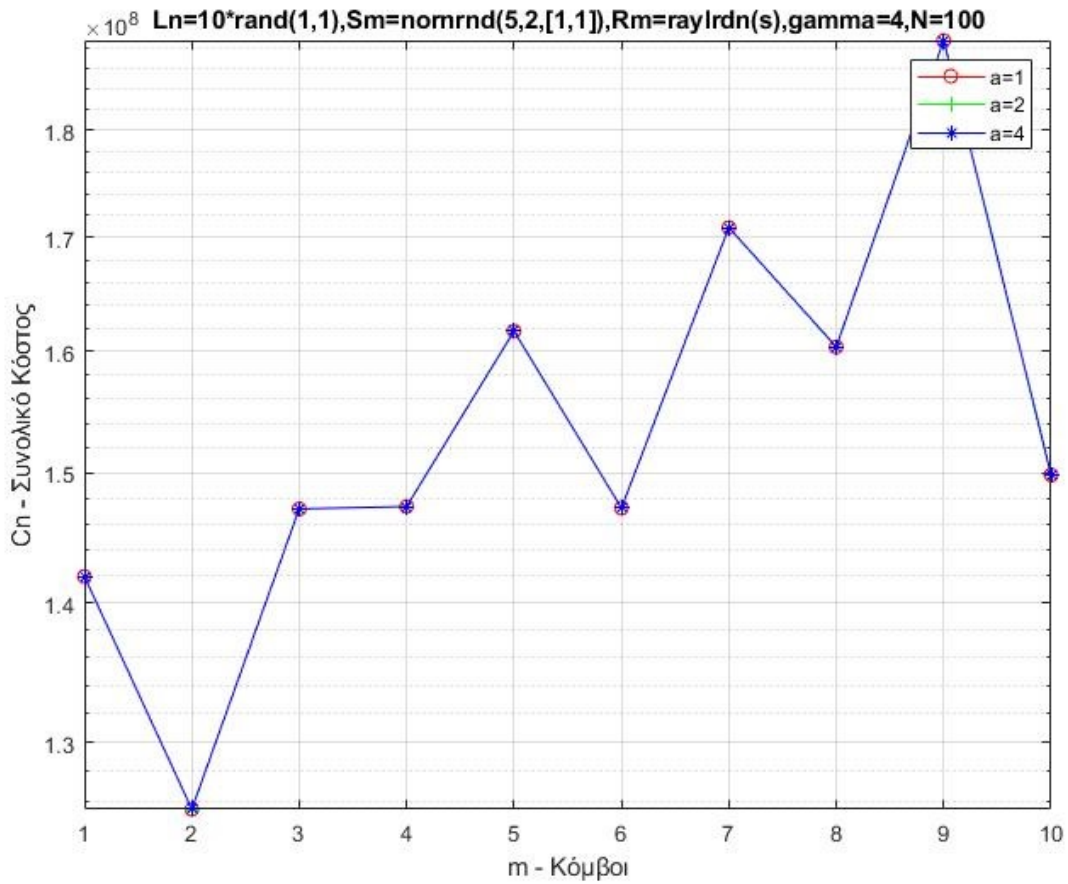
3.2.5 Αποτελέσματα / Διαγράμματα

Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο που περιγράψαμε, θα αναλύσουμε το μοντέλο κόστους σε ένα ιεραρχικό δίκτυο και θα παρουσιάσουμε τα διαγράμματα/αποτελέσματα που προκύπτουν.



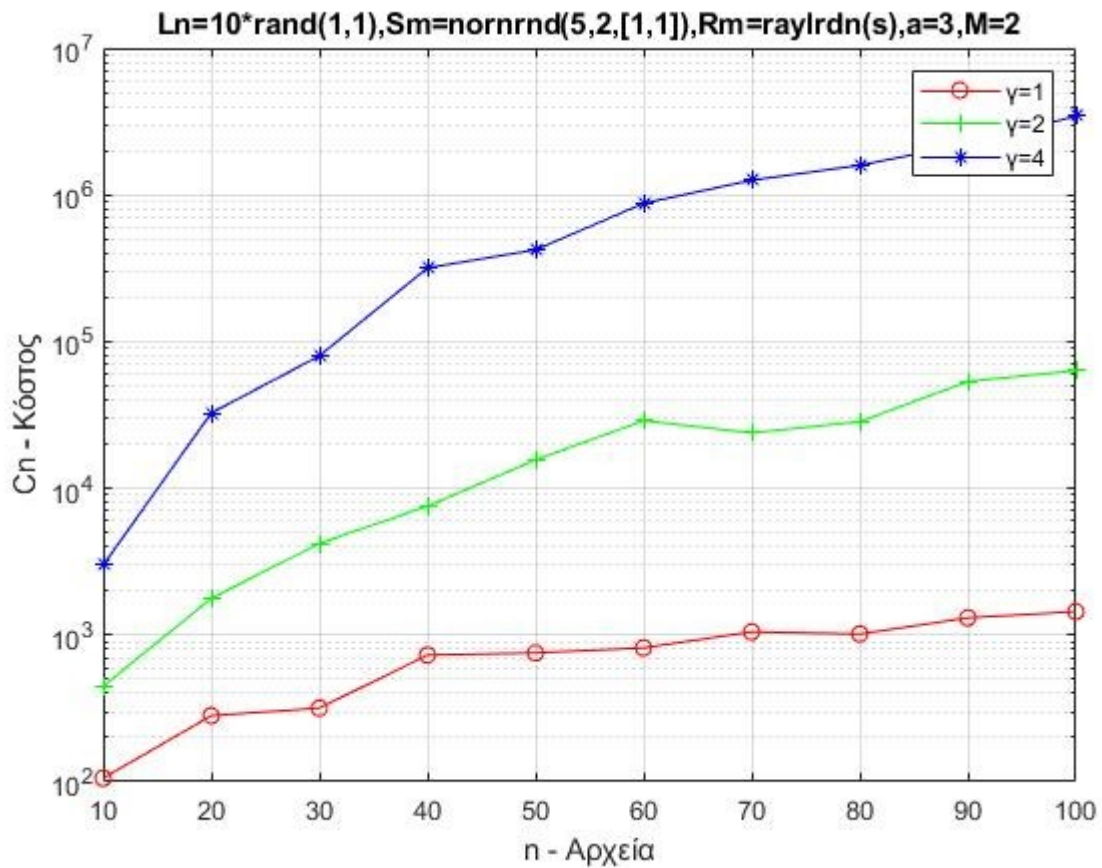
Σχήμα 6: Συνολικό Κόστος για διαφορετικό πλήθος κόμβων

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, παρατηρούμε ότι το συνολικό κόστος για κόμβους που ανήκουν στο $[1, 10]$ και για τιμές $\alpha=1$, $\alpha=2$ τα αποτελέσματα είναι παρόμοια, για την περίπτωση όμως που το $\alpha=4$, οι τιμές του συνολικού κόστους αυξάνονται συνεχώς. Η αναμενομένη αυτή συμπεριφορά, βασίζεται στο γεγονός ότι όσο αυξάνεται το α , αυξάνεται η παράμετρος V_m , επομένως προσδίδει μεγαλύτερο συνολικό κόστος. Για τιμές $\alpha=1$ και $\alpha=2$ παρατηρούμε ότι υπάρχει πανομοιότυπη συμπεριφορά στις τιμές και αυτό συμβαίνει γιατί οι τιμές του α είναι μικρές.



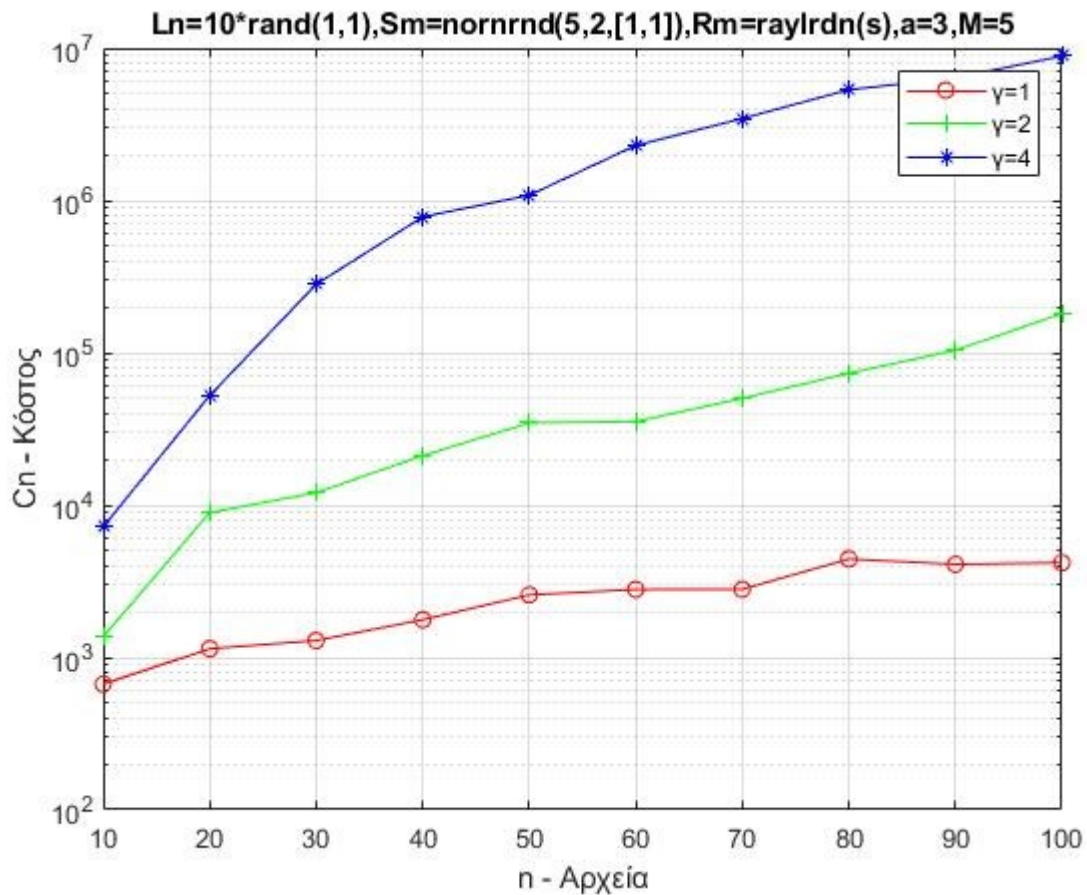
Σχήμα 7: Συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος κόμβων

Σύμφωνα με το Σχήμα 7, παρατηρούμε την γραφική παράσταση του συνολικού κόστους για διάφορες τιμές του α και για ένα μεγάλο δείγμα αρχείων, όπου συνολικά έχουμε 100 αρχεία. Εξαιτίας αυτού, το συνολικό κόστος για $\alpha=1$, $\alpha=2$ και $\alpha=4$ είναι παρόμοιο με πολύ μικρές αποκλίσεις στις τιμές που στην γραφική παράσταση δεν είναι ευκρινείς, διότι οι τιμές κόστους είναι μεγάλες. Επομένως, είναι φανερό ότι η παρουσία μεγάλου αριθμού αρχείων στην αλυσίδα μας, δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από τις διάφορες τιμές του α .



Σχήμα 8: Συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος αρχείων

Στη συνέχεια, παρατηρώντας την γραφική παράσταση (Σχήμα 8) βλέπουμε ότι το συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος αρχείων, πλήθος κόμβων $M=2$, διαφορετικές τιμές του γ , αυξάνεται διαρκώς όσο αυξάνεται το γ που είναι ο εκθέτης δημοτικότητας κατανομής Zipf. Παρατηρούμε, την ύπαρξη μιας γραμμικής συμπεριφοράς όσο αυξάνεται ο αριθμός των αρχείων, και όσο αυξάνεται το γ αυξάνεται και το κόστος αρχείου n , επομένως στο τέλος στο συνολικό κόστος αναμένουμε μια έντονη αύξηση σε σχέση με μικρότερες τιμές του γ .



Σχήμα 9: Συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος αρχείων

Τέλος, παρατηρώντας το Σχήμα 9, το συνολικό κόστος για διαφορετικό πλήθος αρχείων, πλήθος κόμβων $M=5$, διαφορετικές τιμές του γ , αυξάνεται διαρκώς όσο αυξάνεται το γ . Σε σύγκριση με το Σχήμα 8, βλέπουμε ότι οι τιμές του συνολικού κόστους είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το προηγούμενο γράφημα, διότι ο αριθμός των κόμβων είναι μεγαλύτερος. Επίσης, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το γ , αυξάνεται το κόστος αρχείου n , επομένως σαν αποτέλεσμα έχουμε μεγαλύτερες τιμές κόστους και σε συνδυασμό με μεγαλύτερο αριθμό κόμβων στο δίκτυο μας, βλέπουμε ότι το συνολικό κόστος αυξάνεται.

3.3 Προτεινόμενες λύσεις

Η τεχνολογία Blockchain αποτελεί μια εξέλιξη στο κλάδο των διαδικτυακών συναλλαγών, με πολλές μελέτες και εφαρμογές να έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να υποστηρίξουν αυτήν την νέα τεχνολογία αλλά και να «κατανοήσουν» τον τρόπο λειτουργίας.

Εκτός αυτού, πολλοί επιστήμονες έχουν εκπονήσει διατριβές επισημαίνοντας πιθανές λύσεις που θα βοηθήσουν στην εδραίωση των κρυπτονομισμάτων, ως βασικό συναλλακτικό στοιχείο μεταξύ φυσικών προσώπων, υπηρεσιών, αντικειμένων. Ήδη περισσότερα από 2.000 είδη κρυπτονομισμάτων όπως Bitcoin, Ethereum, Cardano βρίσκονται την οικονομική αγορά, με τα περισσότερα από αυτά να έχουν τεράστια αύξηση στην τιμή αγοράς τους.

Η εξέλιξη του Blockchain την τελευταία δεκαετία αποτελεί ένα αξιοσημείωτο γεγονός, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά να εξελίσσονται συνεχώς, ωστόσο αυτό που θεωρείται αμετάβλητο είναι η αδυναμία επεξεργασίας, διαγραφής των δεδομένων προσδίδοντας με αυτόν τον τρόπο ασφάλεια.

Ωστόσο, όπως αναφέρεται στο [78], η αμετάβλητη αλυσίδα του blockchain τίθεται υπό αμφισβήτηση τον τελευταίο καιρό υπό το φως των νέων απαιτήσεων διαγραφής που επιβάλλονται από το GDPR “Right to be Forgotten (RtbF)”. Το RtbF υποχρεώνει τα δεδομένα του blockchain να είναι επεξεργάσιμα προκειμένου να περιοριστούν διορθώσεις, τροποποιήσεις ή διαγραφές περιεχομένου. Αυτό θεωρείται σημαντική πρόκληση, και διάφορες μέθοδοι και τεχνικές για mutable blockchains έχουν προταθεί σε μια προσπάθεια διατήρησης της ασφάλειας blockchain.

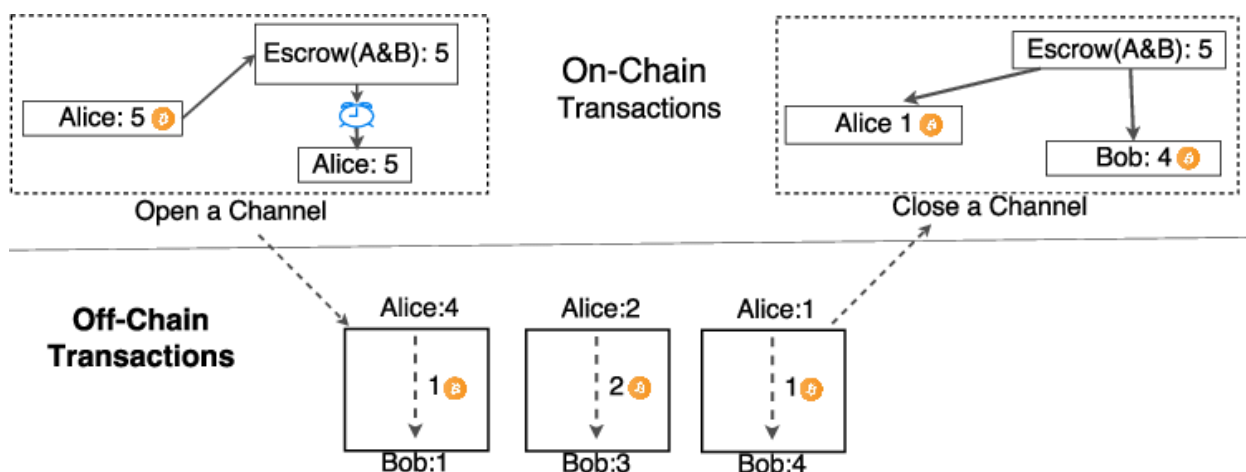
Η αμεταβλητότητα της τεχνολογίας blockchain πηγάζει από το γεγονός ότι οι συναλλαγές δεν μπορούν να επεξεργαστούν ή να διαγραφούν, και αυτό είναι συνέπεια των κρυπτογραφικά συνδεδεμένων μπλοκ. Κάθε επόμενο μπλοκ είναι κρυπτογραφικά συνδεδεμένο με την τιμή του προηγούμενου μπλοκ.

Πιο συγκεκριμένα, κάθε μπλοκ περιέχει μια αναφορά στην κεφαλίδα του προηγούμενου μπλοκ ένα κρυπτογραφικό κατακερματισμό. Ο κρυπτογραφικός κατακερματισμός υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα δέντρο Merkle σε όλες τις συναλλαγές του μπλοκ. Ένα δέντρο Merkle είναι μια δομή δεδομένων που κατασκευάζεται με αναδρομικό κατακερματισμό ζευγών συναλλαγών μέχρι να υπάρξει μόνο ένα hash, που ονομάζεται ρίζα Merkle.

Δέντρα Merkle χρησιμοποιούνται στο bitcoin για να συνοψίσουν όλες τις συναλλαγές σε ένα μπλοκ, παρέχοντας έτσι μια πολύ αποτελεσματική διαδικασία επαλήθευσης εάν μια συναλλαγή περιλαμβάνεται σε ένα μπλοκ ή όχι.

Μια βέλτιστη λύση, όπως προτείνεται στο [78] σχετικά με τις απαιτήσεις απορρήτου GDPR και της τεχνολογίας blockchain, είναι οι τεχνικές off-chaining (Εικόνα 13), δηλαδή όταν οι πληροφορίες πρέπει να τροποποιηθούν ή να διαγραφούν, το blockchain θα διατηρήσει το περιεχόμενο σε μια δεδομένη χρονική στιγμή που πρόκειται να διαγραφεί [79], [80].

Εκτός από τον ορισμό της ασφάλειας της τεχνολογίας blockchain, τίθεται το ζήτημα της μετάβασης των περιουσιακών στοιχείων μεταξύ των μπλοκς της αλυσίδας.



Εικόνα 13: Τεχνική Off-chain μεταξύ 2 κόμβων Blockchain

Στο [81] προτείνεται μια νέα τεχνολογία, όπου επιτυγχάνεται ενεργοποίηση Blockchain Innovations με Pegged Sidechains, που επιτρέπει στα bitcoin και άλλα περιουσιακά στοιχεία να μεταφέρονται μεταξύ πολλαπλών αλυσίδων μπλοκ. Ειδικότερα, αυτό δίνει στους χρήστες πρόσβαση σε νέα και καινοτόμα συστήματα κρυπτονομισμάτων, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση του νομίσματος Bitcoin.

Έτσι, τα συστήματα αυτά μπορούν πιο εύκολα να διαλειτουργήσουν μεταξύ τους με το Bitcoin, αποφεύγοντας τις ελλείψεις ρευστότητας και τις διακυμάνσεις της αγοράς που συνδέονται με τα νέα νομίσματα.

Σε περίπτωση, που κάποιος χρήστης δεν θέλει να παρακολουθεί τις πλευρικές αλυσίδες που δεν χρησιμοποιεί συχνά, στο [82] προτείνονται δύο πιθανές λύσεις. Η πρώτη λύση είναι η «μεταφορά» νομισμάτων καταστρέφοντας τα bitcoin με τρόπο δημόσια αναγνωρίσιμο, που θα ανιχνευόταν από ένα νέο blockchain για να επιτρέψει την δημιουργία νέων νομισμάτων, όχι βέλτιστη λύση γιατί επιτρέπει μόνοκατευθυντικές μεταφορές μεταξύ αλυσίδων [83].

Η προτεινόμενη λύση είναι η μεταβίβαση περιουσιακών στοιχείων με την παροχή αποδείξεων κατοχής κατά την μεταβίβαση 130 συναλλαγών, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάγκη παρακολούθησης των κόμβων της αλυσίδας blockchain.

Όπως και στην καθημερινή ζωή, έτσι και στις διαδικτυακές αγορές, κάθε χρήστης θέλει να λαμβάνει μια απόδειξη πληρωμής κάποιας οφειλής, λογαριασμού, υπηρεσίας. Έτσι και στην τεχνολογία κυρίαρχο θέμα είναι η απόδειξη παράδοσης των περιουσιακών στοιχείων, στο [84] παρουσιάζεται μια λύση που βασίζεται σε blockchain για την απόδειξη παράδοσης των περιουσιακών στοιχείων.

Με την ευρεία διάδοση της τεχνολογίας και του διαδικτύου, οι διαδικτυακές αγορές και συναλλαγές έχουν γίνει μέρος της καθημερινής δραστηριότητας των ανθρώπων.

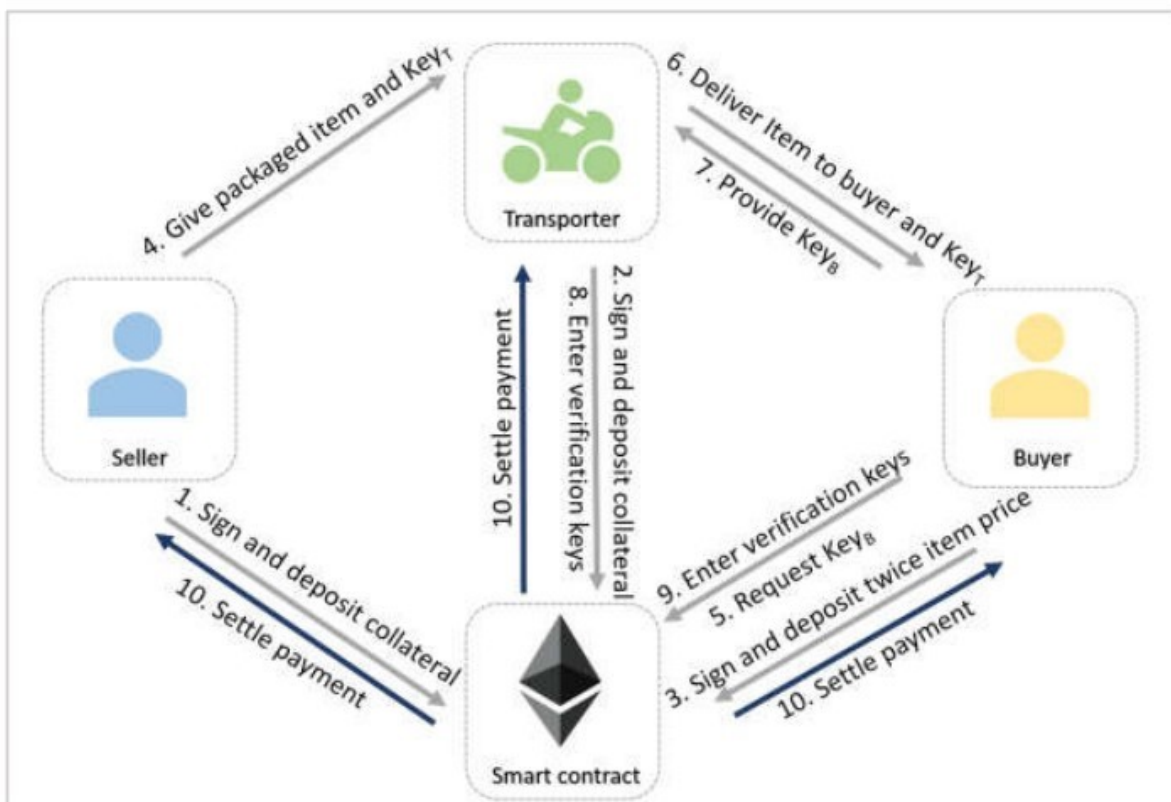
Επομένως, υπάρχει μεγάλη ανάγκη να υπάρξει μια λύση που να παρέχει απόδειξη παράδοσης κάποιου φυσικού αντικείμενου, περιεχομένου κτλ. Η απόδειξη παράδοσης (POD) αποτελεί το τελευταίο στάδιο, ίσως το πιο σημαντικό όμως, καθώς δείχνει ότι ένα αντικείμενο έφτασε στον τελικό του προορισμό. Στο [84] παρουσιάζεται μια λύση που

χρησιμοποιεί το blockchain Ethereum για να δημιουργήσει ένα σύστημα αποκεντρωμένο, παρέχοντας εμπιστοσύνη και αποδεικτικό παράδοσης χωρίς την παρουσία ενδιάμεσης υπηρεσίας.

Για να συμβεί αυτό, χρησιμοποιούνται έξυπνα συμβόλαια που διευκολύνουν την αυτοματοποίηση της διαδικασίας και βοηθούν στην αποθήκευση του ιστορικού των συναλλαγών χωρίς αλλαγές.

Η προτεινόμενη λύση αποτελείται από τον πωλητή, τον ενδιαφερόμενο αγοραστή, έναν μεταφορέα που είναι υπεύθυνος για την παράδοση του περιεχομένου αλλά και έναν «διαιτητή» που μπορεί να επέμβει μόνο αν υπάρξει κάποια διαφωνία μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 14, η αρχιτεκτονική της λύσης που βασίζεται στο Ethereum, αποτελείται από τις κύριες οντότητες που συμμετέχουν προκειμένου να υπάρξει μια επιτυχημένη συναλλαγή.



Εικόνα 14: Απεικόνιση μιας επιτυχημένης συναλλαγής στο Ethereum

4. Συμπέρασμα

Η τεχνολογία Blockchain αποτελεί την πιο διαδεδομένη πλατφόρμα για την δημιουργία κρυπτονομισμάτων, κυρίως του Bitcoin, ενός ψηφιακού κρυπτονομίσματος που ακόμα και σήμερα θεωρείται το πιο επιτυχημένο παγκοσμίως.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ανάγκη για έναν ψηφιακό κόσμο ενοποιημένο και αποκεντρωμένο από κεντρικές αρχές, η τεχνολογία Blockchain αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα και σε αρκετά μικρό χρονικό διάστημα πολλές μελέτες και έρευνες από ειδικούς του χώρου της οικονομίας, επιστήμονες ανέπτυξαν διατριβές για την καλύτερη κατανόηση αυτής.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η τεχνολογία blockchain και ειδικότερα η τιμολόγηση της υπηρεσίας από παρόχους περιεχομένου και πως επηρεάζεται η στρατηγική του εκάστοτε παρόχου από συγκεκριμένους παράγοντες όπως ο τύπος, το πλήθος, το είδος της υπηρεσίας που επιθυμεί ο κάθε χρήστης.

Η τιμολόγηση της υπηρεσίας επηρεάζει το QoE (Quality-of-Experience) του κάθε χρήστη και ταυτόχρονα βασικό ρόλο για την ανάλυση του κόστους της υπηρεσίας αποτελεί η τεχνολογία ραδιοπρόσβασης (RAT) όπως 5G, Wi-Fi, LTE, που είναι η βασική μέθοδος φυσικής σύνδεσης με ένα ραδιοφωνικό δίκτυο επικοινωνίας και αποτελεί το τελευταίο επίπεδο για την υλοποίηση της υπηρεσίας.

Επίσης, η τιμολόγηση της υπηρεσίας εξαρτάται από το πλήθος των ενδιάμεσων κόμβων που απαιτούνται, προκειμένου να φτάσει η ζητούμενη υπηρεσία στον τελικό χρήστη αλλά και από το κόστος που προσδίδει ο πάροχος του περιεχομένου. Σημαντικός παράγοντας στην εξίσωση αυτή είναι, το κόστος υπηρεσίας κάθε κόμβου που εξαρτάται τόσο από την τιμή δικτύου όσο και από την τιμή για την προσωρινή αποθήκευση του περιεχομένου (caching).

Η τεχνολογία Blockchain και ειδικότερα η τιμολόγηση της υπηρεσίας βασίζεται στο κόστος που προκύπτει από το σύνολο των κόμβων, χωρίς την διαμεσολάβηση τρίτων σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα συναλλαγών, πιο άμεσο και αξιόπιστο.

Το βασικό τεχνικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας Blockchain είναι η αδυναμία επεξεργασίας, διαγραφής των δεδομένων προσδίδοντας με αυτόν τον τρόπο ασφάλεια. Η αμεταβλητότητα πηγάζει από το γεγονός ότι συναλλαγές δεν μπορούν να επεξεργαστούν ή να διαγραφούν, και αυτό είναι συνέπεια των κρυπτογραφικά συνδεδεμένων μπλοκ. Κάθε επόμενο μπλοκ είναι κρυπτογραφικά συνδεδεμένο με την τιμή του προηγούμενο μπλοκ.

Κυρίως του γεγονότος ότι η τεχνολογία Blockchain αποτελεί μια εξέλιξη στον κλάδο των διαδικτυακών συναλλαγών, βασικός στόχος αποτελεί να προταθούν βέλτιστες λύσεις για την ανάπτυξη της ασφάλειας, την κρυπτογράφηση των συναλλαγών, την επιτυχής διεκπεραίωση των συναλλαγών και τέλος την διατήρηση του απορρήτου GDPR.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κώδικας Matlab για την υλοποίηση γραφικής παράστασης Συνολικού Κόστους ανά κόμβο m με $\gamma=4$, $N=10$

```

clear all;
clc;
rng('default'); % Να το βάλω σε σχόλιο ώστε να μην παράγονται οι ίδιοι τυχαίοι
αριθμοί κάθε φορά

a = [1, 2, 4];
gamma = 4; % εκθέτης δημοτικότητας
M = 10; % πλήθος κόμβων
N = 10; % αριθμός αρχείων
n=10;

Cn = zeros(M,length(a)); % συνολικό κόστος για την παροχή ενός αρχείου

loops = 100; % Χρήση για προσομοίωση και υπολογισμό μέσου όρου μετρήσεων
for r = 1:loops
    % Υπολογισμός της ποσότητας pN
    % Υπολογισμός του αριθμητή του pN
    s = 0;
    for i=1:N
        s = s + 1/(i^gamma);
    end
    pN = s^(-1)/(n^gamma); % δημοτικότητα (ρυθμός αιτημάτων) για κάθε αρχείο n από το
    συνολικό πλήθος N

    % Υπολογισμός του Ln
    Ln = 10*rand(1,1); % μέγεθος του κάθε αρχείου n σε bytes, 1 τυχαία τιμή,
    ομοιόμορφα κατανεμημένες στο [1,10]

    Rm = zeros(1,M);
    Sm = zeros(1,M);
    Vm = zeros(M,length(a));
    Gnm = zeros(1,M); % κόστος υπηρεσίας / περιθώριο κέρδους παρόχου
    Cnm = zeros(1, M); % κόστος δικτύου κάθε κόμβου m

    for m=1:M % Για κάθε κόμβο m
        % Μνήμη προσωρινής αποθήκευσης κάθε κόμβου m σε bytes
        Sm(m) = abs(normrnd(5,2,[1,1])); % m τυχαίες τιμές, κανονικά κατανεμημένες με
        MO=5, σ=2
        Cnm(m)=Ln/(pN*Sm(m));

        % Υπολογισμός του Ccontent
        Gnm(m) = 10*rand(1,1);

        % Υπολογισμός Rm
        s = m*sqrt(2/pi); % Παράμετρος κλίμακας Rayleigh κατανομής
        Rm(m) = raylrnd(s);

        for k=1:length(a) % Για κάθε a
            Vm(m,k) = 1./(Rm(m).^(-a(k)));
            % Υπολογισμός Ctotal ανά αρχείο
            Cn(m,k) = Cn(m,k) + Vm(m,k) + Cnm(m) + Gnm(m);
        end
    end
end
Cn = Cn / loops ; % Μέσος όρος Cn

```

```
% Γραφικές παραστάσεις
% Γραφική παράσταση Cn ανά κόμβο m, για α=1,2,4 (gamma=4), n=...
figure
semilogy(1:M, Cn(:,1),'ro-', 1:M, Cn(:,2),'g+- ', 1:M, Cn(:,3),'b*- ')
xlabel('m - Κόμβοι')
ylabel('Cn - Συνολικό Κόστος')
title(['Ln=10*rand(1,1),Sm=nornrnd(5,2,[1,1]),Rm=raylrdn(s),gamma=4,N=10' ]);
legend({'a=1','a=2','a=4'})
grid on
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Κώδικας Matlab για την υλοποίηση γραφικής παράστασης Συνολικού Κόστους ανά κόμβο m με $\gamma=4$, $N=100$

```

clear all;
clc;
rng('default'); % Να το βάλω σε σχόλιο ώστε να μην παράγονται οι ίδιοι τυχαίοι
αριθμοί κάθε φορά

a = [1, 2, 4];
gamma = 4;      % εκθέτης δημοτικότητας
M = 10;        % πλήθος κόμβων
N = 100;       % αριθμός αρχείων
n = 100;

Cn = zeros(M,length(a)); % συνολικό κόστος για την παροχή ενός αρχείου

loops = 100;    % Χρήση για προσομοίωση και υπολογισμό μέσου όρου μετρήσεων
for r = 1:loops
    %% Για το pN
    % Υπολογισμός του αριθμητή του pN
    s = 0;
    for i=1:N
        s = s + 1/(i^gamma);
    end
    % Υπολογισμός της ποσότητας pN
    pN = s^(-1)/(n^gamma);

    % Υπολογισμός του Ln - 1 τυχαία τιμή, ομοιόμορφα κατανομημένες στο [1,10]
    Ln = 10*rand(1,1); % μέγεθος του κάθε αρχείου n σε bytes
    Rm = zeros(1,M);
    Sm = zeros(1,M);
    Vm = zeros(M,length(a));
    Gnm = zeros(1,M); % κόστος υπηρεσίας / περιθώριο κέρδους παρόχου
    Cnm = zeros(1, M); % κόστος δικτύου κάθε κόμβου m

    for m=1:M % Για κάθε κόμβο m
        % Μνήμη προσωρινής αποθήκευσης κάθε κόμβου m σε bytes
        Sm(m) = abs(normrnd(5,2,[1,1])); % m τυχαίες τιμές, κανονικά κατανομημένες με
MO=5, σ=2
        Cnm(m)=Ln/(pN*Sm(m));

        % Υπολογισμός του Gnm
        Gnm(m) = 10*rand(1,1);
        s = m*sqrt(2/pi); % Παράμετρος κλίμακας Rayleigh κατανομής
        % Υπολογισμός Rm
        Rm(m) = raylrnd(s);

        % Υπολογισμός Cdensity για κάθε a
        for k=1:length(a) % Για κάθε a
            Vm(m,k) = 1./(Rm(m).^(-a(k)));
            % Υπολογισμός Ctotal ανά αρχείο
            Cn(m,k) = Cn(m,k) + Vm(m,k) + Cnm(m) + Gnm(m);
        end
    end
end
Cn = Cn / loops ; % Μέσος όρος Cn

%% Γραφικές παραστάσεις

```

```
% Γραφική παράσταση Cn(N) ανά κόμβο m, για α=1,2,4 (gamma=4), n=..  
figure  
semilogy(1:M, Cn(:,1),'ro-', 1:M, Cn(:,2),'g+- ', 1:M, Cn(:,3),'b*-')  
xlabel('m - Κόμβοι')  
ylabel('Cn - Συνολικό Κόστος')  
title('Ln=10*rand(1,1),Sm=nornrnd(5,2,[1,1]),Rm=raylrnd(s),gamma=4,N=100');  
legend({'a=1','a=2','a=4'})  
grid on
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Κώδικας Matlab για την υλοποίηση γραφικής παράστασης Συνολικού Κόστους ανά πλήθος αρχείων n με $a=3$, $M=2$

```

clear all;
clc;
rng('default'); % Να το βάλω σε σχόλιο ώστε να μην παράγονται οι ίδιοι τυχαίοι
αριθμοί κάθε φορά
a = 3;
gamma = [1,2,4]; % εκθέτης δημοτικότητας
N = 100; % αριθμός αρχείων
M = 2; % πλήθος κόμβων
Cn = zeros(N,length(gamma)); % συνολικό κόστος για την παροχή ενός αρχείου
loops = 100; % Χρήση για προσομοίωση και υπολογισμό μέσου όρου μετρήσεων
for r = 1:loops
    pN = zeros(N,1); % δημοτικότητα (ρυθμός αιτημάτων) για κάθε αρχείο n από το
    συνολικό πλήθος N
    Ln = zeros(N,1); % μέγεθος του κάθε αρχείου n σε bytes
    Cnm = zeros(N, M); % κόστος δικτύου κάθε κόμβου m
    Gnm = zeros(N, M); % κόστος υπηρεσίας / περιθώριο κέρδους παρόχου

    %% Για το pN
    % Υπολογισμός του αριθμητή του pN
    for n = 1:N % Για κάθε αρχείο n

        for g=1:length(gamma)
            s = 0;
            for i=1:n
                s = s + 1/(i^g);
            end
            pN(n) = s^(-1)/(n^g);
            % Υπολογισμός του Ln
            Ln(n) = 10*rand(1,1); % 1 τυχαία τιμή, ομοιόμορφα καταναμημένες στο
[1,10]

            Rm = zeros(1,M);
            Sm = zeros(1,M);
            Vm = zeros(1,M);
            for m=1:M % Για κάθε κόμβο m
                % Μνήμη προσωρινής αποθήκευσης κάθε κόμβου m σε bytes
                Sm(m) = abs(normrnd(5,2,[1,1])); % m τυχαίες τιμές, κανονικά
                καταναμημένες με MO=5, σ=2
                Cnm(n,m)=Ln(n)/(pN(n)*Sm(m));

                % Υπολογισμός του Gnm
                Gnm(n,m) = 10*rand(1,1); % 1 τυχαία τιμή, ομοιόμορφα καταναμημένη στο
[1,10]

                s = m*sqrt(2/pi); % Παράμετρος κλίμακας Rayleigh κατανομής
                % Υπολογισμός Rm
                Rm(m)=raylrnd(s);

                % Υπολογισμός Vm για κάθε a
                Vm(m) = 1./(Rm(m).^(-a));

                % Υπολογισμός Ctotal ανά αρχείο
                Cn(n,g) = Cn(n,g) + Vm(m) + Cnm(n,m) + Gnm(n,m);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
Cn = Cn / loops ; % Μέσος όρος Cn

%% Γραφικές παραστάσεις
% Γραφική παράσταση Cn(N) ανά αρχείο N, για α=3, gamma=[1,2,4], M=..
figure
semilogy(10:10:N, Cn(10:10:N,1),'ro-', 10:10:N, Cn(10:10:N,2),'g+- ', 10:10:N,
Cn(10:10:N,3),'b*- ')
xlabel('n - Αρχεία')
ylabel('Cn - Κόστος')
title('Ln=10*rand(1,1),Sm=normrnd(5,2,[1,1]),Rm=raylrnd(s),a=3,M=2')
legend({'γ=1', 'γ=2', 'γ=4'})
grid on

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Κώδικας Matlab για την υλοποίηση γραφικής παράστασης Συνολικού Κόστους ανά πλήθος αρχείων n με $a=3$, $M=5$

```

clear all;
clc;
rng('default'); % Να το βάλω σε σχόλιο ώστε να μην παράγονται οι ίδιοι τυχαίοι
αριθμοί κάθε φορά
a = 3;
gamma = [1,2,4]; % εκθέτης δημοτικότητας
N = 100; % αριθμός αρχείων
M = 5; % πλήθος κόμβων
Cn = zeros(N,length(gamma)); % συνολικό κόστος για την παροχή ενός αρχείου
loops = 100; % Χρήση για προσομοίωση και υπολογισμό μέσου όρου μετρήσεων
for r = 1:loops
    pN = zeros(N,1); % δημοτικότητα (ρυθμός αιτημάτων) για κάθε αρχείο n από το
    συνολικό πλήθος N
    Ln = zeros(N,1); % μέγεθος του κάθε αρχείου n σε bytes
    Cnm = zeros(N, M); % κόστος δικτύου κάθε κόμβου m
    Gnm = zeros(N, M); % κόστος υπηρεσίας / περιθώριο κέρδους παρόχου
    %% Για το pN
    % Υπολογισμός του αριθμητή του pN
    for n = 1:N % Για κάθε αρχείο n
        for g=1:length(gamma)
            s = 0;
            for i=1:n
                s = s + 1/(i^g);
            end
            pN(n) = s^(-1)/(n^g);
            % Υπολογισμός του Ln
            Ln(n) = 10*rand(1,1); % 1 τυχαία τιμή, ομοιόμορφα κατανομημένες στο
            [1,10]
            Rm = zeros(1,M);
            Sm = zeros(1,M);
            Vm = zeros(1,M);
            for m=1:M % Για κάθε κόμβο m
                % Μνήμη προσωρινής αποθήκευσης κάθε κόμβου m σε bytes
                Sm(m) = abs(normrnd(5,2,[1,1])); % m τυχαίες τιμές, κανονικά
                κατανομημένες με MO=5, σ=2
                Cnm(n,m)=Ln(n)/(pN(n)*Sm(m));
                % Υπολογισμός του Gnm
                Gnm(n,m) = 10*rand(1,1); % 1 τυχαία τιμή, ομοιόμορφα κατανομημένη στο
                [1,10]
                s = m*sqrt(2/pi); % Παράμετρος κλίμακας Rayleigh κατανομής
                % Υπολογισμός Rm
                Rm(m)=raylrnd(s);
                % Υπολογισμός Vm για κάθε a
                Vm(m) = 1./(Rm(m).^(-a));
                % Υπολογισμός Ctotal ανά αρχείο
                Cn(n,g) = Cn(n,g) + Vm(m) + Cnm(n,m) + Gnm(n,m);
            end
        end
    end
end
Cn = Cn / loops ; % Μέσος όρος Cn

%% Γραφική παράσταση
figure

```



```
semilogy(10:10:N, Cn(10:10:N,1), 'ro-', 10:10:N, Cn(10:10:N,2), 'g+- ', 10:10:N,  
Cn(10:10:N,3), 'b*- ' )  
xlabel('n - Αρχεία')  
ylabel('Cn - Κόστος')  
title('Ln=10*rand(1,1),Sm=nornrnd(5,2,[1,1]),Rm=raylrnd(s),a=3,M=5')  
legend({'γ=1', 'γ=2', 'γ=4'})  
grid on
```

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury and A. T. Campbell, "A survey of mobile phone sensing", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, pp. 140-150, Sep. 2010.
- [2] D. West, "How mobile devices are transforming healthcare", *Issues Technol. Innov.*, vol. 18, no. 1, pp. 1-11, 2012.
- [3] Ericsson Mobility Report, Ericsson, Sweden, Nov. 2020.
- [4] VNI Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2017–2021, San Jose, CA, USA, 2017.
- [5] O. G. Aliu, A. Imran, A. Imran and B. Evans, "A survey of self organisation in future cellular networks", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 15, no. 1, pp. 336-361, 1st Quart. 2013.
- [6] S. A. Busari, K. M. S. Huq, S. Mumtaz, L. Dai and J. Rodriguez, "Millimeter-wave massive MIMO communication for future wireless systems: A survey", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 20, no. 2, pp. 836-869, 2nd Quart. 2018.
- [7] W. Kiess, Y. Xun Gu, S. Thakolsri, M. R. Sama and S. Beker, "SimpleCore: A connectionless best effort no-mobility-supporting 5G core architecture", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC)*, pp. 367-372, May 2016.
- [8] G. Liu and D. Jiang, *5G: Vision and requirements for mobile communication system towards year 2020*, London, U.K., vol. 2016, 2016.
- [9] NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage-2, document TS 38.300 V15.3.1, 3GPP, Jul. 2018.
- [10] I. Afolabi, T. Taleb, K. Samdanis, A. Ksentini, and H. Flinck, "Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 20, no. 3, pp. 2429–2453, 3rd Quart., 2018.
- [11] Ericsson Mobility Report, Ericsson, Sweden, June, 2021.
- [12] "Globally Distributed Content Delivery, by J. Dilley, B. Maggs, J. Parikh, H. Prokop, R. Sitaraman and B. Weihl, *IEEE Internet Computing*, Volume 6, Issue 5, November 2002"
- [13] Nygren., E.; Sitaraman R. K.; Sun, J. (2010). "The Akamai Network: A Platform for High-Performance Internet Applications" (PDF). *ACM SIGOPS Operating Systems Review*. 44 (3): 2–19.
- [14] Evi, Nemeth (2018). "Chapter 19, Web hosting, Content delivery networks". *UNIX and Linux system administration handbook (Fifth ed.)*. Boston: Pearson Education. p. 690.
- [15] DILLEY, J., MAGGS, B. M., PARIKH, J., PROKOP, H., SITARAMAN, R. K., AND WEIHL, W. E. Globally distributed content delivery. *IEEE Internet Computing* 6, 5 (2002), 50–58.
- [16] NYGREN, E., SITARAMAN, R. K., AND SUN, J. The Akamai Network: A platform for highperformance Internet applications. *ACM SIGOPS Operating Systems Review* 44, 3 (2010), 2–19.
- [17] ERA—TRENDS, C. V. G. I. T. F. T. Z., AND ANALYSIS. CISCO VNI global IP traffic forecast: The zettabyte era—trends and analysis, May 2015.
- [18] J. Kangashaju, K. W. Ross and J.W Roberts. Performance Evaluation of Redirection Schemes in Content Distribution Networks. 5th International Workshop on Web Caching and Content Distribution, Lisbon (Portugal), June 2000

- [19] Βικιπαίδεια, ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. Content delivery network. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: https://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network
- [20] Jaison Paul Mulerikkal, An Architecture for Distributed Content Delivery Network, Melbourne, Victoria, Australia, July 2007
- [21] John G. Apostolopoulos, Wai-tian Tan, Susie J. Wee, Video Streaming: Concepts, Algorithms, and Systems, Palo Alto, CA, USA, September 2002
- [22] Global internet phenomena report. Technical report, Sandvine, 2011.
- [23] G. Maier, A. Feldmann, V. Paxson, and M. Allman. On Dominant Characteristics of Residential Broadband Internet Traffic. In IMC '09, pages 90–102, 2009.
- [24] Ashwin Rao, Yeon-sup Lim, Chadi Barakat, Arnaud Legout, Don Towsley, Walid Dabbous, “Network Characteristics of Video Streaming Traffic”, November 2011
- [25] Accustream iMedia Research Homepage. <http://www.accustreamresearch.com>
- [26] Yong Liu, Yang Guo, Chao Liang, “A survey on peer-to-peer video streaming systems”, January 2008
- [27] Lorenzo Saino, Ioannis Psaras, George Pavlou, Framework and Algorithms for Operator-managed Content Caching, November 2019
- [28] “Verizon Digital Media Services,” <https://www.verizondigitalmedia.com/>.
- [29] “AT&T CDN Services,” <http://goo.gl/KxmVAm>.
- [30] “Level3 Content Delivery Network,” <http://goo.gl/p9AyhC>.
- [31] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, “Networking named content,” in Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies (CoNEXT'09). New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 1–12.
- [32] L. Zhang, A. Afanasyev, J. Burke, V. Jacobson, K. C. Claffy, P. Crowley, C. Papadopoulos, L. Wang, and B. Zhang, “Named Data Networking,” SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 44, no. 3, pp. 66–73, Jul. 2014.
- [33] K. Poularakis, G. Iosifidis, V. Sourlas, and L. Tassiulas, “Multicast-aware caching for small cell networks,” in Proceedings of the IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf., Apr. 2014, pp. 2300–2305
- [34] M. Maddah-Ali and U. Niesen, “Fundamental limits of caching,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 60, no. 5, pp. 2856–2867, May 2014.
- [35] P. Ostovari, A. Khreishah, and J. Wu, “Cache content placement using triangular network coding,” in Proceedings of the IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf., Apr. 2013, pp. 1375–1380.
- [36] D. Kutscher, S. Eum, K. Pentikousis, I. Psaras, D. Corujo, D. Saucez, T. C. Schmidt, and M. Waehlich, “Information-Centric Networking (ICN) Research Challenges,” RFC 7927, Jul. 2016
- [37] Julija Golosova, Andrejs Romanovs, “The Advantages and Disadvantages of the Blockchain Technology”, Dec. 2018
- [38] Tareq Ahram, Arman Sargolzaei, Saman Sargolzaei, Jeff Daniels, Ben Amaba, “Blockchain technology innovations”, August 2017

- [39] Dylan Yaga, Peter Mell, Nik Roby, Karen Scarfone, "Blockchain Technology Overview", October 2018
- [40] A. Bahga, V. Madiseti, "Blockchain Platform for Industrial Internet of Things", Journal of Software Engineering and Applications, No. 9, pp. [36]533-546, 2016
- [41] T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, "A Review on the Use of Blockchain for the Internet of Things". Article, May 2018
- [42] TechBlog "Part 2: How Blockchain works" [online], May 29, 2018. Available from: <http://shyamtechno.blogspot.com/2018/05/part-2-howblockchain-works.html>
- [43] Dr. Saifedean Ammous, "Blockchain Technology: What is it good for?", August 2016
- [44] A. Bahga, V. Madiseti, "Blockchain Platform for Industrial Internet of Things", Journal of Software Engineering and Applications, No. 9, pp. [36]533-546, 2016
- [45] A. Bahga, V. Madiseti, "Internet of Things: A Hands-On Approach", Atlanta, 2014
- [46] A. Songara, L. Chouhan, "Blockchain: A Decentralized Technique for Securing Internet of Things". Conference paper, October 2017
- [47] Blockchaintechology, "Advantages & Disadvantages of Blockchain Technology" [online]. 2016. Available from: <https://blockchaintechologycom.wordpress.com/2016/11/21/advantages-disadvantages/>
- [48] Dataflair team, "Advantages and disadvantages of Blockchain Technology" [online]. 2018. Available from: <https://dataflair.training/blogs/advantages-and-disadvantages-of-blockchain/>
- [49] J.Light, "The differences between a hard fork, a soft fork, and a chain split, and what they mean for the future of bitcoin" [online]. September 2017. Available from: <https://medium.com/@lightcoin/the-differencesbetween-a-hard-fork-a-soft-fork-and-a-chain-split-and-what-they-meanfor-the-769273f358c9>
- [50] W. Fauvel, "Blockchain Advantages and Disadvantages" [online]. August 2017. Available from: <https://medium.com/nudjed/blockchainadvantage-and-disadvantages-e76dfde3bbc0>
- [51] Dionysis Xenakis, Anastasia Tsiota, Christos-Thrasyvoulos Koulis, Christos Xenakis, Nikos Passas, Contract-Less Mobile Data Access Beyond 5G: Fully-Decentralized, High-Throughput and Anonymous Asset Trading Over the Blockchain, May 2021
- [52] Radio access technology, https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_access_technology
- [53] Dionysis Xenakis, Ioannis Zarifis, Pantelis Petrogiannakis, Anastasia Tsiota, Nikos Passas, "Blockchain-driven mobile data access towards fully decentralized mobile video trading in 5G networks", July 2020
- [54] G. Wood, "Ethereum: a secure decentralised generalized transaction ledger", Byzantium Version, Aug. 2019. [Online] <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>
- [55] W. Wang et al., "A Survey on Consensus Mechanisms and Mining Strategy Management in Blockchain Networks", IEEE Access, vol. 7, pp. 22328-22370, 2019.
- [56] J. Poon, T. Dryja, "The Bitcoin Lightning Network: Scalable Off-Chain Instant Payments", White Paper, 2016. [Online] <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>
- [57] David (Dexin) Hou, Jennifer (Jie) Li, Li Liao, Hong Zhang, Asset Pricing on Blockchain: Slow moving capital, momentum, and bubbles of cryptocurrencies, September 2019

- [58] Dionysis Xenakis, Anastasia Tsiota, Christos-Thrasyvoulos Koulis, Christos Xenakis, Nikos Passas, Contract-Less Mobile Data Access Beyond 5G: Fully-Decentralized, High-Throughput and Anonymous Asset Trading Over the Blockchain, May 2021, pg. 12-13 Asset Pricing
- [59] T.-M. Pham, S. Fdida, and P. Antoniadis, "Pricing in information-centric network interconnection," in Proc. IFIP Netw. Conf., 2013, pp. 1–9.
- [60] M. Hajimirsadeghi, N. B. Mandayam, and A. Reznik, "Joint caching and pricing strategies for information centric networks," in Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM), Dec. 2015, pp. 1–6.
- [61] S. Borst, V. Gupta, and A. Walid, "Distributed caching algorithms for content distribution networks," in Proc. IEEE INFOCOM, Mar. 2010, pp. 1–9.
- [62] Jie Duan, Yuan Xing , Ruilin Tian, Guofeng Zhao, Shuai Zeng, Yuanni Liu, and Chuan Xu, "SCDN: A Novel Software-Driven CDN for Better Content Pricing and Caching", April 2018
- [63] T.-M. Pham, "Analysis of ISP caching in information-centric networks," in Proc. IEEE RIVF Int. Conf. Comput. Commun. Technol.-Res., Innov., Vis. Future, Can Tho, Vietnam, Jan. 2015, pp. 151–156.
- [64] John Tadrous, Atilla Eryilmaz and Hesham El Gamal, "Joint Smart Pricing and Proactive Content Caching for Mobile Services", Aug. 2016
- [65] Qian Ma, Edmund Yeh and Jianwei Huang, "Selfish Caching Games on Directed Graphs", April 2021
- [66] Liqin Shi, Liqiang Zhao, Gan Zheng, Zhu Han and Yinghui Ye, "Incentive Design for Cache-Enabled D2D Underlaid Cellular Networks Using Stackelberg Game", Jan. 2019
- [67] Mohammad Hajimirsadeghi, Narayan B. Mandayam, Alex Reznik, "Joint Caching and Pricing Strategies for Popular Content in Information Centric Networks", March 2017
- [68] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking named content," in Proc. 5th Int. Conf. Emerg. Netw. Experim. Technol., Rome, Italy, Dec. 2009, pp. 1–12.
- [69] B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, and B. Ohlman, "A survey of information-centric networking," IEEE Commun. Mag., vol. 50, no. 7, pp. 26–36, Jul. 2012.
- [70] G. Xylomenos et al., "A survey of information-centric networking research," IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 16, no. 2, pp. 1024–1049, May 2014.
- [71] D. Trossen, M. Särelä, and K. Sollins, "Arguments for an informationcentric internetworking architecture," ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 40, no. 2, pp. 27–33, Apr. 2010.
- [72] G. Haßlinger and F. Hartleb, "Content delivery and caching from a network provider's perspective," Comput. Netw., vol. 55, no. 18, pp. 3991–4006, Dec. 2011.
- [73] K. J. Kerpez et al., "Software-defined access networks," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 9, pp. 152–159, Sep. 2014.
- [74] Zehui Xiong, Shaohan Feng, Dusit Niyato, Ping Wang, and Zhu Han, "Optimal Pricing-Based Edge Computing Resource Management in Mobile Blockchain", Nov. 2017
- [75] Pagnotta, E. and A. Buraschi, "An equilibrium valuation of Bitcoin and decentralized network assets. Working paper", 2018
- [76] Siddharth M. Bhambhwani, Stefanos Delikouras, George M. Korniotis, "Do Fundamentals Drive Cryptocurrency Prices?", Nov. 2019

- [77] Cryptocurrency Value: Factors That Determine Price of Digital Currencies, Available at <https://gadgets.ndtv.com/cryptocurrency/features/cryptocurrency-price-value-market-volatility-factors-investment-public-ledger-node-count-exchange-wallets-2500938>
- [78] Blockchain Mutability: Challenges and Proposed Solutions, Eugenia Politou, Fran Casino, Efthimios Alepis, Constantinos Patsakis, July 2019
- [79] J. Eberhardt and S. Tai, “On or off the blockchain? insights on offchaining computation and data,” in European Conference on ServiceOriented and Cloud Computing. Springer, 2017, pp. 3–15.
- [80] E. García-Barriocanal, S. Sanchez-Alonso, and M.-A. Sicilia, “Deploying metadata on blockchain technologies,” in Research Conference on Metadata and Semantics Research. Springer, 2017, pp. 38–49.
- [81] Adam Back, Matt Corallo, Luke Dashjr, Mark Friedenbach, Gregory Maxwell, Andrew Miller, Andrew Poelstra, Jorge Timón, Pieter Wuille, “Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains”, October 2014
- [82] [Bitcoin-development] is there a way to do bitcoin-staging?, 2013, Mailing list post, <http://sourceforge.net/p/bitcoin/mailman/message/31519067/>
- [83] Haya R. Hasan, Khaled Salah, “Blockchain-based Solution for Proof of Delivery of Physical Assets”, June 2018
- [84] Share of adults Subscribing to a New Streaming Device since the Covid-19 Outbreak, Available at: <https://morningconsult.com/2020/04/30/streaming-favorited-forgotten-analysis/>
- [85] Share of adults Subscribing to a New Streaming Device since the Covid-19 Outbreak, Available at: <https://morningconsult.com/2020/04/30/streaming-favorited-forgotten-analysis/>
- [86] Public and private keys, Available at: <https://support.blockchain.com/hc/en-us/articles/360000951966-Public-and-private-keys>
- [87] Blockchain For Beginners: What Is Blockchain Technology? A Step-by-Step Guide, Available at: <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>