



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

«Μελέτη νομοτελειακών στην καθυστέρηση δικτύων και εφαρμογές τους στην 4η βιομηχανική επανάσταση»

ΠΙΚΡΙΔΑΣ ΜΕΝΕΛΑΟΣ

A.M. 711141291

Εισηγητής: Ψαρράς Νικόλαος

Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

ΑΘΗΝΑ 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη νομοτελειακών στην καθυστέρηση δικτύων και εφαρμογές τους στην 4η βιομηχανική επανάσταση.

ΠΙΚΡΙΔΑΣ ΜΕΝΕΛΑΟΣ

A.M. 711141291

Εισηγητής: Ψαρράς Νικόλαος

A/A	Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1	Αντώνης Μπόγρης	Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	
2	Καρκαζής Παναγιώτης	Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	
3	Ψαρράς Νικόλαος	Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.	

Ημ/νία Εξέτασης: Παρασκευή 10/03/2023.

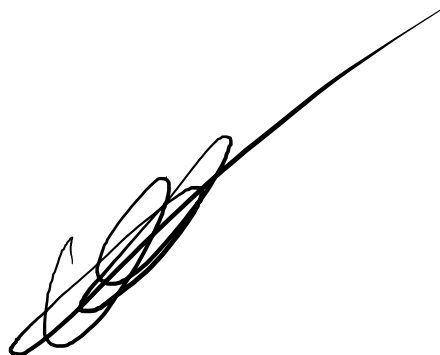
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πικριδάς Μενέλαος του Δημοσθένη, με αριθμό μητρώου 711141291 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος».

Ο Δηλών:

Πικριδάς Μενέλαος



Πίνακας περιεχομένων

Σκοπός της Εργασίας.....	9
Ερευνητικά Ερωτήματα.....	10
Κεφάλαιο 1- Θεωρητικό Υπόβαθρο	11
1.1. Time Sensitive Networks (TSN) για βιομηχανικούς αυτοματισμούς	13
1.2. Time Deterministic δίκτυα Profinet To Profinet over	14
Κεφάλαιο 2- 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση	18
Κεφάλαιο 3 – Time-deterministic Δίκτυα.....	20
3.1. Η χρήση των Time-deterministic Δικτύων στην Βιομηχανία	20
3.2. 802.1 Time Sensitive Networking (TSN) και Deterministic Networking (DETNET).....	25
3.3. Ζητήματα συγχρονισμού χρόνου για δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN)	29
3.4. Ερευνητικές Προσπάθειες: Διαμόρφωση κυκλοφορίας, ουρά και δρομολόγηση για Επικοινωνίες.....	33
3.5. Άλλες μεθοδολογίες.....	37
3.6. Τρόπος Επικοινωνίας Time-Deterministic.....	47
Κεφάλαιο 4- Δίκτυα ευαίσθητα στον χρόνο	55
4.1. Πλεονεκτήματα του TSN	55
Ενότητα 5-Ντετερμινιστική χρήση του χρόνου στη βιομηχανία	63
5.1. Πλεονεκτήματα Time-Deterministic στον Τομέα της Βιομηχανίας	63
5.2. Τεχνολογία 3GPP 5G για TSN	70
Συμπεράσματα	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

Περίληψη

Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται το θέμα των time-deterministic networks καθώς και των time sensitive networks. Ειδικότερα, μέσα από την εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση θα γίνει προσπάθεια να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας έρευνας τα οποία είναι να εξετάσουν τα χαρακτηριστικά των time-deterministic networks και τα οφέλη τους στον κλάδο της βιομηχανίας και του αυτοματισμού. Ποια οφέλη μπορούν να προσφέρουν στα σύγχρονα απαιτητικά δίκτυα της βιομηχανίας, σε σχέση με τα παραδοσιακά πρωτόκολλα και δίκτυα που χρησιμοποιούνται συνήθως.

Η εργασία δομείται σε πέντε κεφάλαια. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο θέμα της εργασίας και αναφέρονται τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται. Επίσης γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες των time sensitive και time deterministic δικτύων. Το δεύτερο κεφάλαιο, ασχολείται και μελετά την 4^η βιομηχανική επανάσταση και ειδικότερα τις απαιτήσεις στον τομέα των δικτύων και της ανταλλαγής δεδομένων στις βιομηχανίες. Στην συνέχεια, το 3^ο κεφάλαιο μελετά σε βάθος τον τρόπο λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά καθώς και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα time-deterministic. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο, αναφέρονται σημαντικές πρόσφατες έρευνες από ερευνητές που έχουν προτείνει βελτιώσεις στα δίκτυα αυτά. Το 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που προσφέρουν τα δίκτυα αυτά στην βιομηχανία και γίνεται σύγκριση με τα παραδοσιακά δίκτυα. Τέλος, το 5^ο κεφάλαιο εστιάζει στην χρήση των time deterministic δικτύων μέσω της τεχνολογίας 3GPP και 5G.

Περίληψη στα Αγγλικά

This thesis deals with the topic of time-deterministic networks as well as time sensitive networks. Through the extensive literature review, an attempt will be made to answer the research questions of the present research, which are to examine the characteristics of time-deterministic networks and what their benefits are in the industry and automation industry. What benefits can they offer in today's demanding industry networks, compared to the traditional protocols and networks that are commonly used.

The work is structured in five chapters. Initially, the first chapter introduces the topic of the work and mentions the research questions which are posed. There is also an introduction to the concepts of time sensitive and time deterministic networks. The second chapter deals with and studies the 4th industrial revolution and in particular the requirements in the field of networks and data exchange in industries. Then, the 3rd chapter studies in depth the mode of operation and the characteristics as well as the protocols used by time-deterministic networks. Also, in the same chapter, important recent research by researchers who have proposed improvements to these networks are mentioned. The 4th chapter presents the advantages and benefits that these networks offer to industry and a comparison is made with traditional networks. Finally, the 5th chapter focuses on the use of time deterministic networks through 3GPP and 5G technology.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1- Η εξέλιξη του Ethernet από το 1980 έως σήμερα	12
Εικόνα 2- Για υψηλή ακρίβεια, πρέπει να μετρούνται καθυστερήσεις στη γραμμή και στους διακόπτες	14
Εικόνα 3- Αντιγραφή, Εξάλειψη και Υπερακρόαση	22
Εικόνα 4- Time Aware Shaper	25
Εικόνα 5- Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου ATS.....	28
Εικόνα 6- Adaptive Bandwidth Sharing (ABS.....	34
Εικόνα 7- Μοντέλο Paternoster	36
Εικόνα 8- Regulated Schedulers	39
Εικόνα 9- Network Function Virtualization (NFV	43
Εικόνα 10- Απόδοση με χρήση του LeapFrog Collaboration.....	45
Εικόνα 11- VLAN tag	58
Εικόνα 12- TNS Tools	60
Εικόνα 13- Πρωτόκολλο TSN	66
Εικόνα 14- Πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου TSN (Time Sensitive Network)	67
Εικόνα 15- Χρήση του πρωτοκόλλου 801.11 στο TSN	69

Σκοπός της Εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των σύγχρονων τάσεων των νομοτελειακών δικτύων (time-deterministic) ή και των ευαίσθητων στον χρόνο δικτύων, καθώς και η εφαρμογή τους στην 4^η βιομηχανική επανάσταση. Ειδικότερα, θα γίνει εκτενής μελέτη των σύγχρονων αρχιτεκτονικών των δικτύων αυτών που βασίζονται σε οπτικές τεχνολογίες εφαρμόζοντας συγκεκριμένα σενάρια χρήσης.

Ερευνητικά Ερωτήματα

Σύμφωνα με τον σκοπό της έρευνας όπως ορίστηκε παραπάνω, τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία τίθενται στην παρούσα εργασία είναι τα ακόλουθα:

A) Ποια τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη των νομοτελειακών και ευαίσθητων στον χρόνο δικτύων στην 4^η βιομηχανική επανάσταση; Ειδικότερα, σε ποιες περιπτώσεις μπορούν τα παραπάνω δίκτυα να βελτιώσουν τις διαδικασίες σε περιπτώσεις που αφορούν την 4^η βιομηχανική επανάσταση;

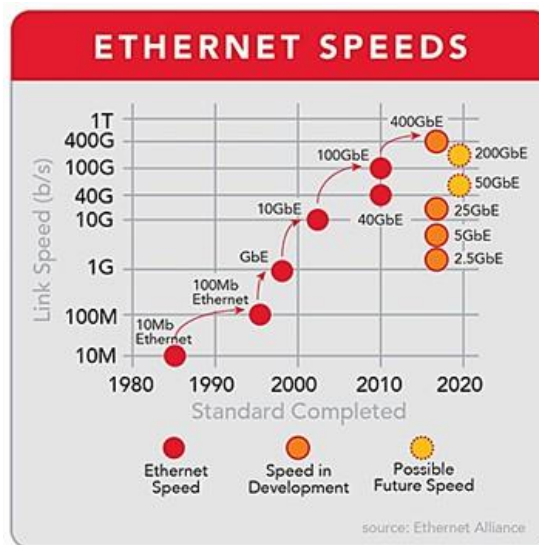
B) Ποια η απόδοση των νομοτελειακών και ευαίσθητων στον χρόνο δικτύων σε σύγκριση με άλλους τύπους δικτύων.

Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα θα γίνει ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και μελέτη επιστημονικών άρθρων και προσομοιώσεων που έχουν πραγματοποιηθεί σε εφαρμογής της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης.

Κεφάλαιο 1- Θεωρητικό Υπόβαθρο

Με την πάροδο του χρόνου, τα πρότυπα Ethernet αλλάζουν. Οι πρώιμες εκδόσεις Ethernet μετά βίας διαχειρίζονταν ταχύτητες 10 Mbps στη δεκαετία του 1970. Στη συνέχεια, το 1995, αναπτύχθηκαν γρήγορες ταχύτητες Ethernet έως 100 Mbps (εικόνα 1). Το Gigabit Ethernet είναι προσβάσιμο σήμερα. Επιπλέον, δεδομένου ότι το Ethernet έχει εξαπλωθεί στην πλειονότητα των επιχειρήσεων, τα εξαρτήματα Ethernet έχουν γίνει φθηνότερα και απλούστερα στη χρήση (Law, 2013).

Το Ethernet υποστηρίζεται ως μέσο επικοινωνίας από τα περισσότερα πρωτόκολλα δικτύου. Ως αποτέλεσμα, ένα μεγάλο εύρος πρωτοκόλλων χρησιμοποιεί τα δίκτυα Ethernet για την υλοποίηση εφαρμογών. Αν και οι ταχύτητες Ethernet έχουν αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου, ο ντετερμινισμός παραμένει ένα κρίσιμο στοιχείο απόδοσης. Σε ένα ντετερμινιστικό δίκτυο, τα δεδομένα ανταλλάσσονται με ακρίβεια και με προκαθορισμένο λανθάνοντα χρόνο. Η ανταλλαγή δεδομένων σε δίκτυα Ethernet στερείται προβλεψιμότητας επειδή εξαρτάται από την έννοια της βέλτιστης προσπάθειας (Latha et al., 2015).



Εικόνα 1- Η εξέλιξη του Ethernet από το 1980 έως σήμερα

Το Ethernet γίνεται “ντετερμινιστικό” από προεπιλογή χάρη σε ένα σύνολο προτύπων IEEE 802 που ονομάζεται TSN. Το TSN προσθέτει ορισμούς στο Επίπεδο 2 του Μοντέλου OSI που παρέχουν ντετερμινισμό και απόδοση σε δίκτυα Ethernet. Μερικά από τα πρότυπα IEEE που απαρτίζουν το TSN περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Feng, 2020):

- Βελτιωμένη συμπεριφορά κατά τον συγχρονισμό (IEEE 802.1AS)
- Πρόληψη μαζικής αναστολής πλαισίων (IEEE 802.1-2018)
- Βελτιώσεις για προγραμματισμένη κυκλοφορία (IEEE 802.1Q-2018)
- Δέσμευση εύρους ζώνης και έλεγχος διαδρομής (IEEEQ-202.81) (IEEE 802.1Q-2018).

Η ολοένα και αυξανόμενη μεταφορά δεδομένων ήχου/εικόνας μέσω Ethernet, η ζήτηση για περισσότερες συσκευές και οι συγχρονισμένες επικοινωνίες οδήγησαν στην ανάπτυξη του TSN. Περισσότερες συσκευές από ποτέ συνδέονται σε δίκτυα και περισσότερα δεδομένα ανταλλάσσονται και αναλύονται.

1.1. Time Sensitive Networks (TSN) για βιομηχανικούς αυτοματισμούς

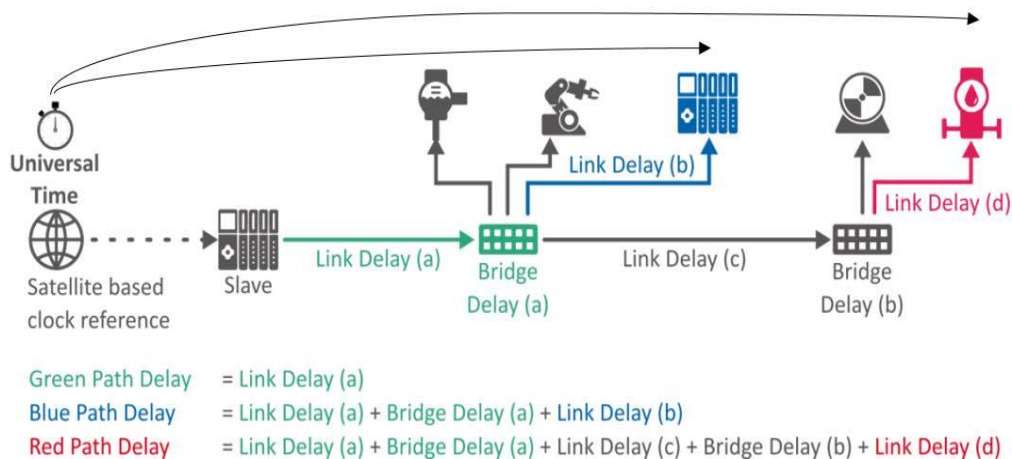
Ο βιομηχανικός αυτοματισμός είναι ένας από τους πολλούς τομείς που απαιτούν ντετερμινιστικό Ethernet. Ο τομέας αυτοματισμού αναζητά πάντα τρόπους για να δημιουργήσει γρήγορη, ακριβή και αξιόπιστη επικοινωνία. Επί του παρόντος, ένας αριθμός εξειδικευμένων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των Profinet IRT, Sercos III και Varan, προσφέρονται για το σκοπό αυτό. Το TSN μπορεί να βοηθήσει στην τυποποίηση Ethernet σε πραγματικό χρόνο σε ολόκληρη τη βιομηχανία (Serna, 2020).

Βιομηχανικές τεχνολογίες όπως το Industry 4.0 και το Industrial Internet of Things (IIoT) προκαλούν αύξηση της κίνησης των δικτύων. Για να φιλοξενήσουν τόσο μικρές συσκευές όσο και τεράστια συστήματα διακομιστών δεδομένων διατηρώντας παράλληλα την ελάχιστη καθυστέρηση για κρίσιμη επικοινωνία, τέτοια δίκτυα χρειάζονται ευελιξία και επεκτασιμότητα. Το TSN σχεδιάζει να εκπληρώσει καθεμία από αυτές τις απαιτήσεις. Για την ταυτόχρονη χρήση ντετερμινιστικής και μη ντετερμινιστικής επικοινωνίας, θα προσφέρει τυποποιημένους μηχανισμούς (Ginthör, 2021).

1.2. Time Deterministic δίκτυα Profinet To Profinet over

Η σύγκλιση, η επεκτασιμότητα και η προσαρμοστικότητα είναι οφέλη του TSN. Επιπλέον, οι χρήστες θα εξακολουθούν να έχουν πρόσβαση σε όλες τις ήδη διαθέσιμες λειτουργίες και προφίλ του Profinet. Προκειμένου να παρέχει χαμηλή καθυστέρηση και ντετερμινιστική ροή δεδομένων όταν χρειάζεται, το TSN χρησιμοποιεί τυποποιημένες τεχνολογίες διαμόρφωσης κίνησης (Xu et al., 2018).

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός είναι ένας από τους πολλούς τομείς που απαιτούν ντετερμινιστικό Ethernet. Ο τομέας αυτοματισμού αναζητά πάντα τρόπους για να δημιουργήσει γρήγορη, ακριβή και αξιόπιστη επικοινωνία. Επί του παρόντος, ένας αριθμός εξειδικευμένων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των Profinet IRT, Sercos III και Varan, προσφέρονται για το σκοπό αυτό. Το TSN μπορεί να βοηθήσει στην τυποποίηση Ethernet σε πραγματικό χρόνο σε ολόκληρη τη βιομηχανία.



Εικόνα 2- Για υψηλή ακρίβεια, πρέπει να μετρούνται καθυστερήσεις στη γραμμή και στους διακόπτες

Το TSN σκοπεύει να ενσωματώσει την αξιοπιστία και τον ντετερμινισμό των δικτύων αυτοματισμού για το Profinet με διάφορα δίκτυα πληροφορικής. Στοχεύει να προσθέσει τη δυνατότητα στα συμβατικά δίκτυα πληροφορικής να χειρίζονται εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο που απαιτούν προβλέψιμη και συνεπή παράδοση δεδομένων εντός αυστηρού χρονικού περιορισμού. Για να αυξήσει τον ντετερμινισμό του Ethernet, η IEEE σχεδίασε ένα σύνολο μεθόδων που ονομάζεται TSN. Σύμφωνα με το Profinet, αυτές οι αλλαγές TSN χρησιμοποιούνται (Fedullo, 2022):

- Βελτιώσεις AS για προγραμματισμένη κυκλοφορία 802.1 Qbv
- Time Synchronization 802.1 802.1 Qbu
- Frame Preemption 802.3 br Interspersing Express Traffic
- Έλεγχος πρόσβασης για πολυμέσα και τηλεπικοινωνίες
- Connectivity Discovery 1.02.AB.

Ένα δίκτυο που αποτελείται κυρίως από MPLS bridges, routers ή/και label switches μπορεί να προσφέρει ντετερμινιστική δικτύωση, η οποία διασφαλίζει σταθερή ποιότητα υπηρεσιών για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο που έχουν χαρακτηριστεί ως κρίσιμες. Αυτό συνήθως δεν επηρεάζει την ποιότητα του δικτύου για κυκλοφορία βέλτιστης προσπάθειας, εκτός από την απαραίτητη κατανομή εύρους ζώνης για κρίσιμη κυκλοφορία. (Fedullo, 2022)

Βασικά Χαρακτηριστικά των ντετερμινιστικών Δικτύων

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ντετερμινιστικών δικτύων είναι:

1. Time Synchronization. Με ακρίβεια μεταξύ 1 s και 10 ns, όλες οι συσκευές δικτύου και οι κεντρικοί υπολογιστές μπορούν να συγχρονίσουν τα εσωτερικά τους ρολόγια. Για την επίτευξη συγχρονισμού χρησιμοποιείται κάποια παραλλαγή του πρωτοκόλλου χρόνου ακριβείας IEEE 1588 (Nasrallah, 2019).
2. Η πλειονότητα των αιτιοκρατικών εφαρμογών δικτύωσης, απαιτούν τον έγκαιρο συγχρονισμό των τερματικών. Ορισμένες μέθοδοι ουράς απαιτούν το συγχρονισμό των κόμβων δικτύου, ενώ άλλες όχι.

Κανόνες-πρωτόκολλα μεταξύ του δικτύου και των πομπών

Οι συμβάσεις μεταξύ του αποστολέα της ροής και του δικτύου διέπουν κάθε κρίσιμη ροή.

Ως αποτέλεσμα, τα ντετερμινιστικά δίκτυα μπορούν να προσφέρουν:

- Μικρή καθυστέρηση και ανύπαρκτη απώλεια συμφόρησης. Ο κύριος λόγος για την απώλεια πακέτων σε ένα δίκτυο με την καλύτερη δυνατή προσπάθεια είναι η απώλεια συμφόρησης, η οποία είναι η στατιστική υπερχειλίση ενός buffer εξόδου σε έναν κόμβο δικτύου. Η συμφόρηση απομακρύνεται επιταχύνοντας την παράδοση πακέτων και εκχωρώντας επαρκή χώρο αποθήκευσης για κρίσιμες ροές (Nasrallah, 2019).
- Εγγυημένη μέγιστη καθυστέρηση για την παράδοση ενός πακέτου κρίσιμης ροής από άκρο σε άκρο μέσω του δικτύου. Μετά τη μείωση της απώλειας συμφόρησης, η αστοχία του εξοπλισμού είναι η κύρια αιτία απώλειας πακέτων. Τα ντετερμινιστικά δίκτυα μπορούν να στείλουν πολλαπλά

αντίγραφα μιας ροής κατά μήκος διαφόρων μονοπατιών, ενώ αφαιρούν διπλότυπα σε προορισμούς ή κοντά σε αυτούς.

- Κάθε πακέτο αντιγράφεται και μεταφέρεται προς τους προορισμούς του, ή κοντά τους, επομένως ένα μεμονωμένο τυχαίο περιστατικό ή μια μεμονωμένη αστοχία εξοπλισμού δεν έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενός μόνο πακέτου. Ως αποτέλεσμα, δεν υπάρχει κύκλος ανίχνευσης αστοχίας και ανάκτησης.
- Συμβόλαια ενδέχεται να ακυρωθούν και να δημιουργηθούν νέα. Ενώ οι κρίσιμες ροές έρχονται και φεύγουν, η κατάλληλη λειτουργία του δικτύου διατηρείται πάντα.
- Η κρίσιμη κυκλοφορία μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται πρότυπα QoS βέλτιστης προσπάθειας, όπως ο προγραμματισμός προτεραιότητας, το ιεραρχικό QoS, η δίκαιη ουρά ζύγισης (weighted fair queuing), η τυχαία πρόωρη απόρριψη κ.λπ., έως ότου οι απαιτήσεις των κρίσιμων ροών καταναλώσουν πάρα πολύ συγκεκριμένο πόρο, όπως το εύρος ζώνης ενός συγκεκριμένου συνδέσμου.

Κεφάλαιο 2- 4^η Βιομηχανική Επανάσταση

Ο ιδρυτής και εκτελεστικός πρόεδρος του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ, Klaus Schwab, επινόησε τη φράση «τέταρτη βιομηχανική επανάσταση» για να περιγράψει μια κοινωνία στην οποία τα άτομα κινούνται μεταξύ διαδικτυακού και πραγματικού κόσμου ενώ χρησιμοποιούν την τεχνολογία για να διευκολύνουν την καθημερινότητά τους. (Miller, 2015).

Οι ζωές και η οικονομία άλλαξαν κατά την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, η οποία αντικατέστησε μια οικονομία βασισμένη στη γεωργία και τη βιοτεχνία με μια οικονομία που κυριαρχείται από τη βιομηχανία και την παραγωγή μηχανών. Στη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, η μαζική παραγωγή κατέστη δυνατή χάρη στο πετρέλαιο και την ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνολογία της πληροφορίας χρησιμοποιήθηκε για την αυτοματοποίηση της παραγωγής κατά την τρίτη βιομηχανική επανάσταση. Αν και κάθε βιομηχανική επανάσταση θεωρείται συχνά ως ένα ξεχωριστό γεγονός, όταν λαμβάνεται υπόψη ως σύνολο, γίνεται καλύτερα κατανοητή ως μια αλυσίδα διασυνδεδεμένων δραστηριοτήτων που βασίζονται σε εφευρέσεις από προηγούμενες επαναστάσεις και δημιουργούν πιο εξελιγμένες μορφές παραγωγής (Xu et al., 2018).

Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε την ταχύτητα και το εύρος των μετασχηματισμών της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Να αναγνωρίσουμε τον ρυθμό και το εύρος των αλλαγών που συμβαίνουν. Οι επιπτώσεις στην οικονομία, την εξουσία και τη γνώση θα είναι αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις πληροφορίες και τις τεχνολογικές εξελίξεις ώστε να ωφεληθούμε όλοι από αυτές τις αλλαγές.

Με την ανάπτυξη της ατμομηχανής το 1760, ξεκίνησε η πρώτη βιομηχανική επανάσταση. Η μετάβαση από την αγροτική και φεουδαρχική κοινωνία στη νέα μέθοδο παραγωγής έγινε δυνατή χάρη στην ατμομηχανή. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι σιδηρόδρομοι χρησίμευαν ως ο πρωταρχικός τρόπος μεταφοράς αγαθών και ο άνθρακας ως η κύρια πηγή ενέργειας. Η κλωστοϋφαντουργία και ο χάλυβας ήταν οι δύο κλάδοι που κυριάρχησαν καθώς τα παραγόμενα προϊόντα αυτών των κλάδων είχαν την μεγαλύτερη αγοραστική αξία, το μεγαλύτερο κεφάλαιο και το μεγαλύτερο κομμάτι του εργατικού δυναμικού.

Η δημιουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης το 1900 σηματοδότησε την έναρξη της δεύτερης βιομηχανικής επανάστασης. Αυτό πυροδότησε μια περίοδο γρήγορης εκβιομηχάνισης που βασίστηκε στην ηλεκτρική ενέργεια και το πετρέλαιο για να οδηγήσει στην μαζική παραγωγή. Η χρήση ηλεκτρονικών ειδών και τεχνολογίας πληροφοριών για την αυτοματοποίηση της παραγωγής σηματοδότησε την τρίτη βιομηχανική επανάσταση, η οποία ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960. Στο παρελθόν, η κατασκευή συνεπαγόταν με την ένωση πολλών εξαρτημάτων με βίδες ή συγκόλληση. Ο σχεδιασμός προϊόντων που δημιουργείται από υπολογιστή και η τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση, η οποία μπορεί να παράγει στερεά αντικείμενα με τη δημιουργία στρωμάτων υλικών, αποτελούν επί του παρόντος μέρος της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης (Prisecaru, 2016).

Κεφάλαιο 3 – Time-deterministic Δίκτυα

3.1. Η χρήση των Time-deterministic Δικτύων στην Βιομηχανία

Στην σύγχρονη εποχή υπάρχουν πολλοί τομείς βιομηχανίας που απαιτούν αξιοπιστία από άκρο σε άκρο και ταχεία μεταφορά δεδομένων μέσω καλωδιακών δικτύων. Μερικά παραδείγματα είναι ο έλεγχος βιομηχανικών διεργασιών, το έξυπνο δίκτυο και ο αυτοματισμός των οχημάτων. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών ανάπτυξης, την αύξηση της προσαρμοστικότητας των εγκαταστάσεων και τον εξορθολογισμό των αλυσίδων παραγωγής. Χρησιμοποιεί εκτενώς την ντετερμινιστική τεχνολογία δικτύωσης, η οποία διασφαλίζει ότι τα δεδομένα μεταδίδονται με σταθερή και προβλέψιμη καθυστέρηση, ανεξάρτητα από την ποιότητα της σύνδεσης ή τη χρήση του δικτύου. Η προσφορά σχεδόν near-low jitter είναι ένας από τους βασικούς στόχους του δικτύου.

Η τεχνολογία του Internet of Things χρησιμοποιεί δίκτυα στα οποία υπάρχει αυξανόμενη κίνηση λόγω του μεγάλου αριθμού των συσκευών που συνδέονται σε αυτή με αποτέλεσμα να υπάρχουν καθυστερήσεις στην αποστολή και λήψη δεδομένων.

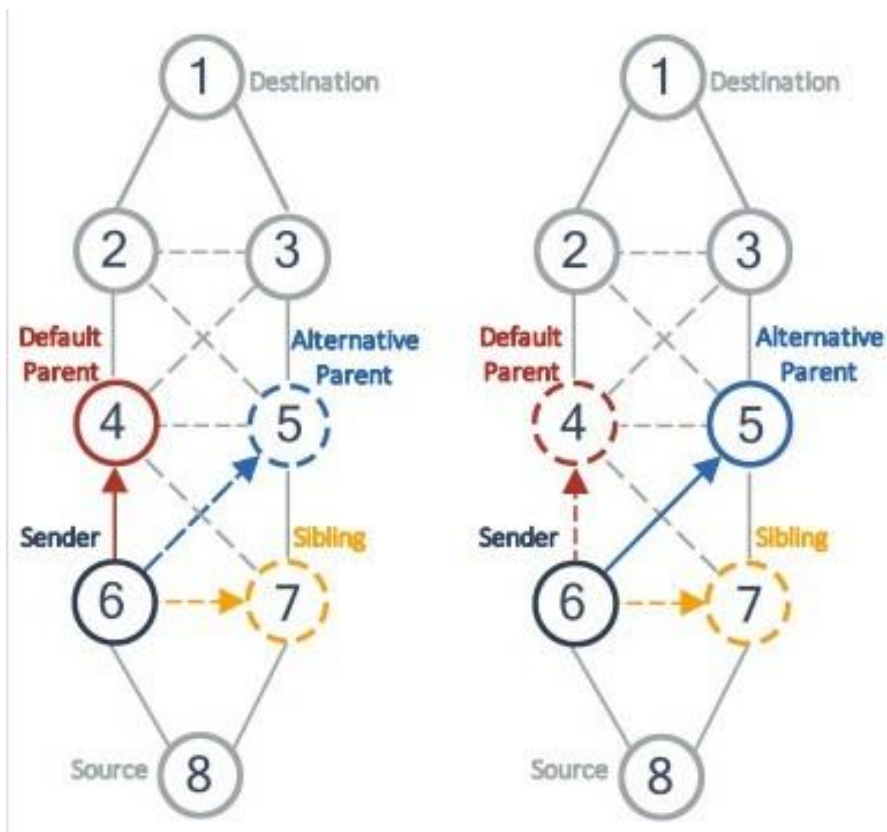
Μια νέα έκδοση του προτύπου IEEE802.15.4 κυκλοφόρησε το 2016. Εισάγει μια νέα λειτουργία στην Medium Access Control (MAC) που ονομάζεται Time-Slotted Channel Hopping (TSCH), η οποία δημιουργήθηκε για απαιτητικές βιομηχανικές εφαρμογές. Ένα πακέτο το οποίο μεταδίδεται μέσω μιας ενσύρματης ή ασύρματης μετάδοσης, περνά από πολλούς δρομολογητές, μέχρις ότου να φτάσει στον προορισμό του. Όταν δεν υπάρχει γρήγορη σύνδεση ή υπάρχει πρόβλημα στην

επικοινωνία μεταξύ των γειτονικών δρομολογητών, τότε ένα πακέτο μπορεί να μεταδοθεί πολλές φορές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία «λανθάνουσας κατάστασης», όπως ονομάζεται. (Thubert, 2017).

Κάθε κόμβος στη διαδρομή Leapfrog Collaboration μεταδίδει δύο αντίγραφα του ίδιου πακέτου: ένα στον Προεπιλεγμένο γονέα (DP) και ένα στον Εναλλακτικό γονέα (AP). Κάθε πακέτο έχει τον δικό του μετρητή και κάθε κόμβος έχει ένα buffer το οποίο μετρά τα πακέτα που μεταδόθηκαν (διεύθυνση IPv6 πηγής, διεύθυνση IPv6 προορισμού, μετρητής) (Joung, 2021).

Ένας κόμβος απορρίπτει ορισμένα πακέτα που έχει ήδη λάβει, δηλαδή, που υπάρχουν ήδη στον buffer. Βέβαια, το πιο πρόσφατο πακέτο που μεταδόθηκε, στέλνεται στον DP και στον AP. Κάθε κόμβος έχει εξειδικευμένα κελιά κωδικοποιημένα στον DP και τον AP. (Joung, 2021).

Οι αναμεταδόσεις αυξάνουν την καθυστέρηση, την κατανάλωση ενέργειας και το εύρος ζώνης. Σε ορισμένα περιβάλλοντα, οι απώλειες μπορεί να είναι ακόμη και εκρηκτικές, δηλαδή η ποιότητα σύνδεσης μεταξύ δύο γειτόνων πέφτει ξαφνικά για κάποιο χρονικό διάστημα. Οι διαδοχικές αναμεταδόσεις στην ίδια συχνότητα δεν βοηθούν σε αυτή την περίπτωση. Το RPL συνοδεύεται από έναν μηχανισμό αποτυχίας, αλλά η καθυστέρηση για την ανακάλυψη και χρήση μιας εναλλακτικής διαδρομής μπορεί να είναι μεγάλη (της τάξης των δευτερολέπτων). Αντί να υπολογίσουμε ξανά τη διαδρομή, αντιγράφουμε πακέτα κατά μήκος ασύνδετων μονοπατιών (Fedullo, 2022).



Εικόνα 3- Αντιγραφή, Εξάλειψη και Υπερακρόαση

Οι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας ήταν ο κανόνας για τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων και διαχειρίζονταν και εγγυόνταν μέσες καθυστερήσεις. Διαφορετικές τεχνικές (όπως η ρητή ειδοποίηση συμφόρησης, ο έλεγχος ροής και η διαχείριση συμφόρησης) χρησιμοποιούνται συχνά για να υπάρξει σωστή διαχείριση, παρακολούθηση και έλεγχος της μετάδοσης των πακέτων όταν χρησιμοποιούνται διάφορες εφαρμογές. Αυτός ο έλεγχος εγγυάται την σωστή λειτουργία του δικτύου όσον αφορά την μετάδοση των πακέτων, ιδιαίτερα όταν πραγματοποιείται ταυτόχρονη μετάδοση πακέτων από πολλές συσκευές ώστε να μην χαθεί κάποιο πακέτο κατά την μετάδοση δεδομένων.

Ωστόσο, λόγω της φύσης των εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο (όπως τα κυβερνοφυσικά συστήματα), ο περιορισμός των ρυθμών δεδομένων λόγω των ταλαντώσεων του δικτύου δεν αποτελεί επιλογή. Επιπλέον, τα παραδοσιακά δίκτυα έχουν σοβαρούς περιορισμούς στην ακριβή εκτίμηση των άνω ορίων λανθάνοντος χρόνου, τη διασφάλιση μηδενικής απώλειας πακέτων και την υπόσχεση χαμηλής απόκλισης (διακύμανση καθυστέρησης).

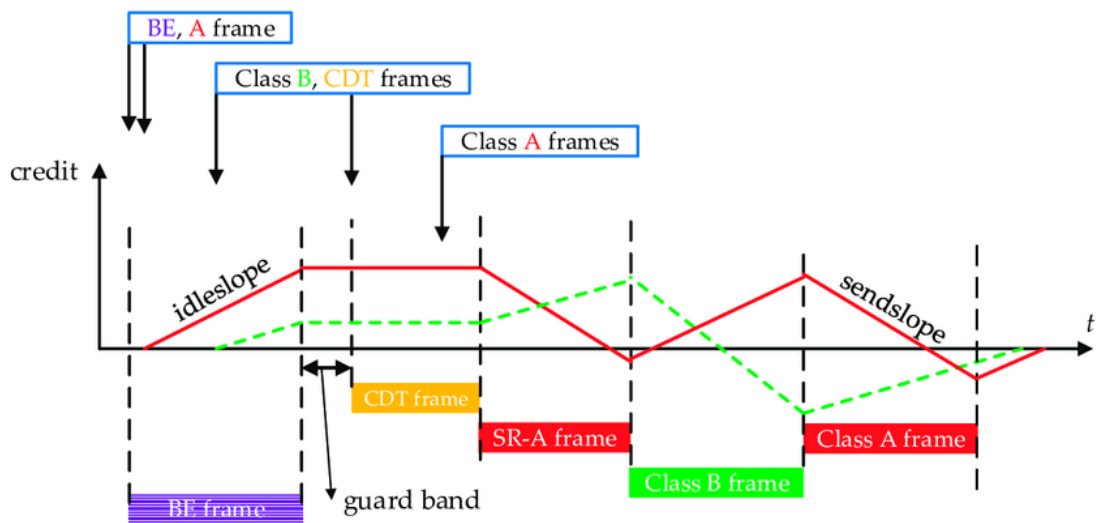
Για απαιτητικές εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο που επιτρέπουν τη συγχώνευση IT και επιχειρησιακής τεχνολογίας (IT/OT) κάτω από μια ενιαία τεχνολογία Ethernet, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή μια ντετερμινιστική υπηρεσία προώθησης.

Η ομάδα εργασίας Time Sensitive Networking (TSN) στο IEEE 802.1 (η οποία αναπτύχθηκε από την ομάδα Audio/Video Bridging, AVB) αναπτύσσει προδιαγραφές για αυθαίρετα κατευθυνόμενη προώθηση και γεφύρωση μεταξύ δικτύων, ιδιαίτερα επιπέδου 2, για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη μετάδοση κίνησης δεδομένων, όπως εφαρμογές backhaul (βιομηχανικός έλεγχος, αυτοκινητοβιομηχανία αεροπορία). Παρόμοια με αυτό, η ομάδα TSN και η ομάδα IETF Deterministic Networking (DetNet) συνεργάζονται για τη δημιουργία προτύπων για ντετερμινιστικές υπηρεσίες προώθησης επιπέδου IP (L3). Το πρωτόκολλο Cyclic Queuing and Forwarding (CQF) είναι το βασικό πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα σε ντετερμινιστικές υπηρεσίες προώθησης κυκλοφορίας.

Ένα δίκτυο μεγάλης κλίμακας είναι ένα δίκτυο που εκτείνεται σε σημαντική έκταση εδάφους, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές καθυστερήσεις μετάδοσης μεταξύ των κόμβων του δικτύου και των δρομολογητών. Ένα δίκτυο μεγάλης κλίμακας περιλαμβάνει επίσης σημαντικό αριθμό κόμβων δικτύου, δρομολογητών και ροών κυκλοφορίας. Ένα ντετερμινιστικό δίκτυο μεγάλης κλίμακας

(LDN) είναι πιο συγκεκριμένα ένα δίκτυο με πολλές ροές κυκλοφορίας που απαιτούν ντετερμινιστική ποιότητα υπηρεσίας. Η πλειοψηφία των μηχανισμών προγραμματισμού LDN είναι τροποποιήσεις των εννοιών προγραμματισμού CQF. Εξετάζονται προσεκτικά διάφορες εκδόσεις CQF, τα οφέλη τους, καθώς και τα μειονεκτήματα και τους περιορισμούς τους. Συζητούνται προεκτάσεις για επερχόμενη έρευνα (Tan, 2021).

Το πρωτόκολλο CQF συνδυάζει συνήθως ένα Time-Aware Shaper (TAS) στη θύρα εξόδου ενός δρομολογητή και Per-Stream Filtering and Policing (PSFP) στη θύρα εισόδου ενός switch για τη διαμόρφωση και τον έλεγχο της σωστής μετάδοσης των πακέτων. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (time-division-multiplexing – TDM). Οι καθυστερήσεις του πρωτοκόλλου CQF επηρεάζονται από τον Χρόνο Κύκλου (Cycle Time), ο οποίος τυπικά υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας (QoS) όλων των προγραμματισμένων ροών κυκλοφορίας (ST) και τον αριθμό των αναπηδήσεων. Αυτή η μελέτη παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των τεχνικών προγραμματισμού (προώθησης) για ντετερμινιστική QoS σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας (Tan, 2021).



Εικόνα 4- Time Aware Shaper

3.2. 802.1 Time Sensitive Networking (TSN) και Deterministic Networking (DETNET)

Αυτή η ενότητα αποτελεί μια γρήγορη εισαγωγή των προτύπων και της έρευνας TSN και DetNet μεγάλης κλίμακας που σχετίζονται με δίκτυα. Λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων για βιομηχανικές εφαρμογές όπως το Internet of Things (IoT) και το Industry 4.0, το TSN έχει εξελιχθεί από το AVB. Το TSN ισχυρίζεται ότι παρέχει ροές εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης (ULL), οι οποίες είναι ακολουθίες πακέτων δεδομένων που εμπλέκονται στην επικοινωνία από άκρο σε άκρο, μεταξύ συνομιλητή (αποστολέα) και ακροατών (δεκτών), με ελάχιστες καθυστερήσεις, χωρίς απώλεια πακέτων συμφόρησης.

Το Stream Reservation Protocol (SRP) και το Precision Time Protocol (PTP) χρησιμοποιήθηκαν ως λύσεις για την υλοποίηση του AVB (Audio Video Bridging), ακολουθούμενες από τα πρωτόκολλα 802.1Qat, 802.1Qav και 802.1Qat (Feng, 2020).

Πολυάριθμες νόρμες έχουν διανεμηθεί προληπτικά, συμπεριλαμβανομένων:

- I) Frame Preemption (802.1Qbu και 802.3br) [6], [7]
- II) Time-Aware Shaper (802.1Qbu, TAS) [8]
- III) Φιλτράρισμα ανά ροή και Αστυνόμευση (802.1Qci, PSFP) [9]
- IV) Κυκλική επένδυση και αποστολή (802.1Qch, CQF) [10] και
- V) Αναβαθμίσεις SRP και διευθέτηση των στελεχών (802.1Qcc) [11].

TSN Shapers

Credit-Based Shaper (CBS)

Το πρότυπο IEEE 802.1Qav (CBS – Credit Based Shaper) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά σε υπηρεσίες Audio Video Bridging (μετάδοση ήχου και εικόνας/βίντεο). Το πρωτόκολλο CBS λειτουργεί ρυθμίζοντας την διαδικτυακή κίνηση χρησιμοποιώντας δυο τιμές, το sendSlope και το idleSlope. Αυτό το πρότυπο ορίζει έναν αλγόριθμο για τις ροές δεδομένων με απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο που πρέπει να έχουν προτεραιότητα έναντι της κίνησης με την καλύτερη δυνατή προσπάθεια. Το Credit Based Shaper (CBS) αναπτύχθηκε το 2009 από την ομάδα εργασίας IEEE 802.1 για την τεχνολογία Audio/Video Bridging (AVB). Ο διαμορφωτής εκχωρεί πιστώσεις αποστολής σε ροές δεδομένων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο SRP χρησιμοποιείται σε σχέση με το CBS για την εγγραφή και τη δέσμευση προσβάσιμης χωρητικότητας μετάδοσης.

Time-Aware Shaper (TAS)

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.1Qbn (TAS) δημιουργείται μια πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου για όλες τις συνδέσεις στον δρομολογητή. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο δημιουργούνται δυο κατηγορίες συνδέσεων, ανάλογα με την καθυστέρηση που εισάγεται, και έτσι επιτρέπει την είσοδο και την έξοδο της μετάδοσης πακέτων

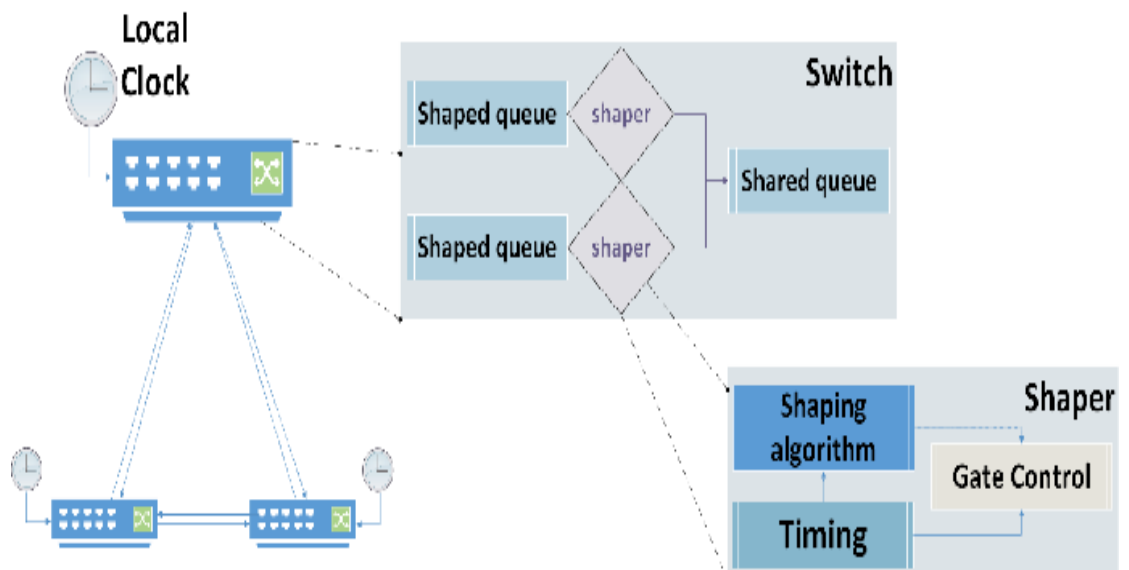
ανάλογα με την κατηγορία των συνδέσεων (με βάση την καθυστέρηση) (Craciunas, 2016).

Asynchronous Traffic Shaper (ATS)

Ο διαμορφωτής ATS εξαρτάται από τον προγραμματιστή βάσει πιθανοτήτων (UBS) των Specht et al. (2017). Η ασύγχρονη διαμόρφωση κυκλοφορίας μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα πρόσθετο επίπεδο διαμορφωμένων ουρών εξόδου για τη συγχώνευση ροών στην υπάρχουσα δομή ουράς. Ο απαιτούμενος ελάχιστος αριθμός ανεξάρτητων ουρών σε μια θύρα εξόδου είναι ρυθμιζόμενος και είναι τουλάχιστον ίσος με τον αριθμό των θυρών εισόδου της συγκεκριμένης γέφυρας για την οποία απαιτείται συγχώνευση.

Η τροπολογία καθορίζει ένα μοντέλο πληροφοριών για τις δυνατότητες ασύγχρονης διαμόρφωσης κυκλοφορίας. Προσδιορίζει περαιτέρω ένα μοντέλο δεδομένων YANG και λειτουργικές μονάδες Βάσης Πληροφοριών Διαχείρισης (MIB) που βασίζονται σε αυτό το μοντέλο πληροφοριών για υποστήριξη διαμόρφωσης και αναφοράς κατάστασης. Ορίζει περαιτέρω τη σχέση μεταξύ των μοντέλων που εισάγονται με αυτήν την τροποποίηση και των μοντέλων στο ήδη υπάρχων βασικό πρότυπο.

Επιπλέον, αυτή η τροπολογία παρέχει ένα ενημερωτικό πλαίσιο για ανάλυση της χειρότερης περίπτωσης καθυστέρησης σε στατικά δίκτυα με στατικές διαμορφώσεις. Αυτή η τροπολογία αντιμετωπίζει επίσης σφάλματα και παραλείψεις στην περιγραφή της υπάρχουσας λειτουργικότητας. Υπάρχει καλά καθορισμένη κίνηση που απαιτεί μηδενική απώλεια συμφόρησης και ντετερμινιστικό λανθάνοντα χρόνο. Τα τρέχοντα πρότυπα γεφύρωσης δεν παρέχουν έναν επαρκή μηχανισμό ασύγχρονης κυκλοφορίας για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων χωρίς τη χρήση πληροφοριών τοπολογίας δικτύου (Specht, 2017).



Εικόνα 5- Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου ATS

Deterministic Networking (DetNet)

Η μηχανική DetNet παρέχει ντετερμινισμό και αξιόπιστους διαχειριστές αποστολής στο Layer 3 (L3).

Οι διαχειριστές DetNet βασίζονται:

A) στην εύρεση, σχεδιασμό και προσδιορισμό στοιχείων δικτύου για μεταφορές DetNet (ή TSN)

B) σχεδιασμό και οργάνωση έργων διαχείρισης και μεταφοράς, ώστε όλες οι ροές DetNet και μη DetNet να μπορούν να έχουν μια αξιοπρεπή ποσότητα του μέσου μετάδοσης

Χρήση Lining Model σε Δίκτυα Time Sensitive και Δίκτυα DetNet

Στα δίκτυα **Time Sensitive** και **Δίκτυα DetNet** Κάθε γραμμή χωρίζεται σε μια από τις δυο κατηγορίες, ανάλογα με την προτεραιότητά τους, συγκεκριμένα :

- i) γραμμή ανά κατηγορία και
- ii) γραμμή ανά ρεύμα.

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση αποτελεί μια στρατηγική για να καθορίσει την προτεραιότητα σε κάθε γραμμή-σύνδεση (Διαφοροποιημένη Υπηρεσία, DiffServ).

Η εφαρμογή μιας προσέγγισης ανά ροή επιτρέπει την παρακολούθηση της ριπής και του ρυθμού ροής, η οποία βοηθά στη διασφάλιση της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS). Για παράδειγμα QoS μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης της Προδιαγραφής Κυκλοφορίας (T-spec) στην Ολοκληρωμένη Υπηρεσία (IntServ). Ωστόσο, καθώς ο οργανισμός επεκτείνεται, η εφαρμογή μιας επενδυτικής στρατηγικής ανά ροή γίνεται όλο και πιο περίπλοκη και δαπανηρή, γεγονός που την καθιστά ανέφικτη σε πολλές περιπτώσεις. Εναλλακτικά, μπορεί να υιοθετηθεί μια προσέγγιση crossover, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση επένδυσης ανά κατηγορία με ρυθμιστές παρεμβολής τοποθετημένους, πριν από το υποσύστημα επένδυσης, σε έναν διακόπτη όπως ο 802.1Qcr (ATS) [13]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο παράγοντας δεν αντιπροσωπεύει το πιο απαισιόδοξο σενάριο για την αναβολή της επένδυσης στο υποσύστημα.

3.3. Ζητήματα συγχρονισμού χρόνου για δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN)

Το πρωτόκολλο ώρας δικτύου (NTP) υπήρξε εξαιρετικά αποτελεσματικό στην εγγύηση του time – synchronization για δίκτυα WAN/LAN με απόκλιση 10 ms. Σε κάθε περίπτωση, όπως εφίσταται η προσοχή από τους Huston et al. (2020), σχεδόν το 50%

των gadget που σχετίζονται με το Διαδίκτυο λειτουργούν είτε πιο γρήγορα είτε πιο αργά σε σχέση με τον χρόνο αναφοράς της Συντονισμένης Παγκόσμιας Ώρας (UTC) με απόκλιση 2 δευτερολέπτων ή λιγότερο. Αυτό το ζήτημα μπορεί να πιστωθεί σε δύο κύριες μεταβλητές:

- I) Clock float/shift από μηχανές γειτνίασης και
- II) ζητήματα ρύθμισης σε κοντινές ημερομηνίες και ώρα ρολογιού.

Στη συνέχεια, οι οργανισμοί κλίμακας WAN (οι οποίοι διαχειρίζονται το DetNet) θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις πιθανές ανεπάρκειες time – synchronization και επανάληψης. Σε μια ιδανική κατάσταση οι δρομολογητές θα πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίζουν και να διαχειρίζονται κάθε σύνδεση ανάλογα με την προτεραιότητα μετάδοσης και ανάλογα με την ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) στα δίκτυα DetNet και στα Time Sensitive δίκτυα.

Συνομιλία των προτύπων μοντελοποίησης

Ένα μοντέλο που έχει εμφανιστεί πρόσφατα είναι το edge server farm. Ακόμη πιο ξεκάθαρα, το edge server farm μειώνει τον λήθαργο και λειτουργεί με πιο προοδευτικό τρόπο. Από τις υποκείμενες διερευνημένες προσεγγίσεις LDN μας, διάφορες στρατηγικές εξαρτώνται από το CQF και προσπαθούν να συμπεριλάβουν την κυκλική ιδιότητα του CQF με σκοπό τη διασφάλιση του TSN και του DetNet QoS. Η συμμετοχή του CQF σε ένα τέτοιο κλίμα είναι ζωτικής σημασίας για να δούμε τα πλεονεκτήματα του προγράμματος.

Τα μοτίβα χρήσης για τις εστίες μικροδεδομένων είναι συγκρίσιμα όσον αφορά την ακριβή χρήση του χρόνου. Όταν πρόκειται να καθορίσουμε ποια προσέγγιση θα

χρησιμοποιήσουμε, τα βασικά μας μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τους ακόλουθους παράγοντες:

1) Είτε η μεθοδολογία χρησιμοποιεί χρόνο, επανάληψη ή καθόλου συγχρονισμό. Βασικά, θα πρέπει να αξιολογηθούν τα έξοδα και τα θέματα που σχετίζονται με τον καθορισμό του χρονοδιαγράμματος.

2) Στο πλαίσιο αυτών των προσπαθειών, φανταζόμαστε υποστήριξη για γεωγραφίες τεράστιου εύρους ή περιορισμένης εμβέλειας, ενώ χρησιμοποιούμε επένδυση ανά κατηγορία, επένδυση ανά ρεύμα ή μια μίξη και των δύο σχεδίων επένδυσης. Εν συνέχεια, φαίνεται ότι είναι ζωτικής σημασίας να αναλυθεί ποσοτικά η επίδραση του CQF στα προκύπτοντα πρότυπα οργάνωσης, για παράδειγμα, καταχώριση ακμών και δέσμη κατανεμημένων υπολογιστών εντός του οργανισμού (Nasrallah, 2019).

Σε γενικές γραμμές, το πρωτόκολλο CQF προκύπτει ως η βασική σύμβαση αποστολής τόσο σε εφαρμογές των δικτύων TSN όσο και για τις εφαρμογές DetNet, καθώς δίνει μια απλή εξέταση του QoS και μπορεί να ενσωματωθεί με διαλειτουργικούς διακόπτες, με την προϋπόθεση ότι ρυθμίζεται ο χρονισμός μεταξύ της ανταλλαγής γραμμής λήψης και επικοινωνίας.

Κατά τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση που ο οργανισμός έχει συνήθως χαμηλό jitter και ροή κίνησης, επαρκούν δύο γραμμές. Μια ανοιχτή έρευνα είναι εάν απαιτούνται πολλαπλές γραμμές στο CQF για LDN με εξαιρετικά μεγάλες καθυστερήσεις διασποράς. Οι συστάσεις του IETF (SDF και CSQF) είναι και οι δύο πρακτικά ίδιες καθώς απαιτούν την επέκταση των κεφαλίδων δεμάτων με σαφή δεδομένα σχετικά με τον κύκλο στον οποίο πρέπει να κοινοποιηθεί μια δέσμη. Και οι δύο λειτουργούν στο οικόπεδο CQF 3 γραμμών όπου η τρίτη γραμμή χρησιμοποιείται για την αφομοίωση της κυκλοφορίας που επηρεάζεται από το jitter και το burst. Θα ήταν χρήσιμη μια εξαντλητικά ενδεδειγμένη εξέταση των διαφορετικών κανόνων,

συμπεριλαμβανομένων των δύο και τριών γραμμών 802.1Qch CQF, καθώς και SDF και CSQF. (Nasrallah, 2019).

Μια τέτοια εξαντλητική διαδικασία θα πρέπει να εξετάζει συγκεκριμένα τους συμβιβασμούς μεταξύ των χρονικά συγχρονισμένων προσεγγίσεων (two-and three-tail CQF) σε αντίθεση με διαφορετικές μεθοδολογίες, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς time – synchronization, για παράδειγμα SDF και CSQF, σε μια ευρεία διάταξη καταστάσεων δραστηριότητας. Μια συνδεδεμένη ανοιχτή έρευνα είναι ο τρόπος με τον οποίο οι τυπικοί διαμορφωτές TSN που παράγονται για οργανισμούς περιορισμένου εμβέλειας, συγκεκριμένα TAS και ATS (Ενότητα II) θα μπορούσαν να προσαρμοστούν σε LDN.

Η μελλοντική έρευνα που πρέπει να γίνει καλό είναι να εξετάσει εάν αυτή η κλιμάκωση των χρονικών βάσεων είναι μια πιθανή και λογικά επιτυχημένη τεχνική για την προσαρμογή των TAS και ATS σε LDN. Ειδικότερα, θα πρέπει να εξεταστούν οι περιπτώσεις όπου χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την διεργασία λόγω της υπάρχουσας απόστασης σύνδεσης καθώς θα υπάρξει καθυστέρηση στην μετάδοση επιπλέον πληροφοριών μεταξύ των δρομολογητών.

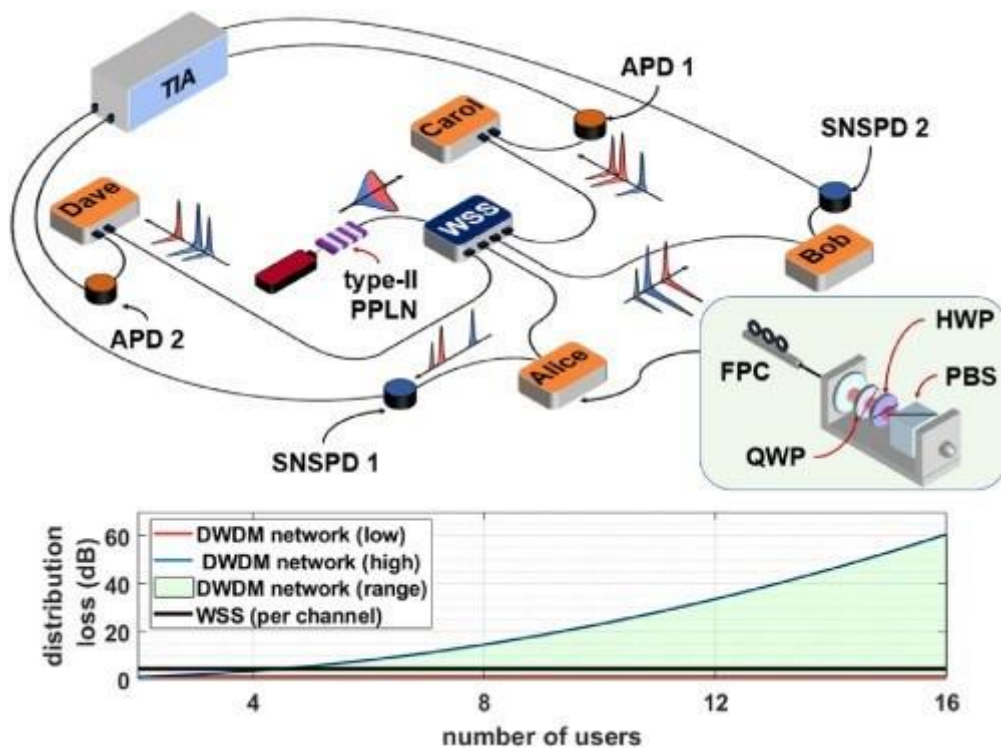
3.4. Ερευνητικές Προσπάθειες: Διαμόρφωση κυκλοφορίας, ουρά και δρομολόγηση για Επικοινωνίες.

Traffic Shapers

Βελτιώσεις του πρωτοκόλλου TAS

Adaptive Bandwidth Sharing (ABS) και (ASW1)

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο ABS και το σύστημα ASW επιτυγχάνεται η διαχείριση με αποτελεσματικό τρόπο της μετάδοσης των δεδομένων με βάση τους συγκριτικούς πίνακες ST και BE. Για παράδειγμα, όταν έχει κοινοποιηθεί όλη η κίνηση ST με γραμμή, ωστόσο απομένει ακόμη χρόνος στο παράθυρο ST, τότε, σε εκείνο το σημείο, το σύστημα ABS στέλνει κίνηση BE (υποθέτοντας ότι υπάρχει κίνηση BE με γραμμή) στο υπόλοιπο παράθυρο ST. Επιπλέον, το ABS επικοινωνεί την κυκλοφορία ST σε ένα παράθυρο BE με την ευκαιρία να έχει σταλεί όλη η κίνηση BE με γραμμή και να υπάρχει χρόνος στο παράθυρο BE. Το εξάρτημα ABS είναι μια απλή, χαμηλής περιπλοκής βελτίωση του διαμορφωτή TAS που μπορεί να μειώσει τις καθυστερήσεις, ενώ παράλληλα διασφαλίζει τη διατήρηση του συνηθισμένου χρονισμού TAS (Nasrallah, 2020).



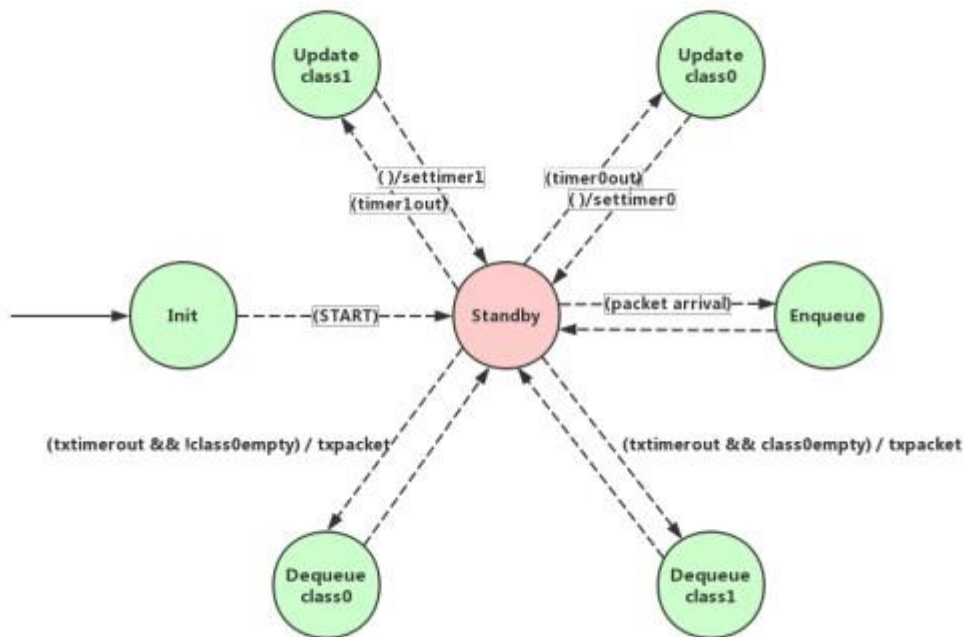
Εικόνα 6- Adaptive Bandwidth Sharing (ABS)

Το όργανο ASW φροντίζει για τις εκτιμήσεις αναβολής των παραθύρων ST της κυκλοφορίας από τους κόμβους. Με βάση αυτές τις καθυστερήσεις μετάδοσης των ST, οι διακόπτες διαχειρίζονται τις εισόδους κυκλοφορίας ST και BE για να διατηρήσουν την αναβολή μεταδόσεις των ST. Το εργαλείο ASW προσθέτει κάποια περιπλοκότητα, κυρίως λόγω της ανάγκης μετάδοσης σκόπιμων καθυστερήσεων αγωγής ST. Ένα πλεονέκτημα του εργαλείου ASW είναι ότι μπορεί να υποχρεώσει διάφορες μεταδόσεις ST έναντι BE, ανεξάρτητα από το ποια είναι η υποκείμενη ρύθμιση της αναλογίας εισόδου ST σε BE κατά την εισαγωγή.

Το πρότυπο TAS προορίζεται ουσιαστικά για οργανισμούς περιορισμένης εμβέλειας. Οι βελτιώσεις ABS και ASW καθιστούν τα TAS tires κατάλληλα για να κάνουν το TAS κατάλληλο για LDN.

Προγραμματισμός Paternoster

Ο υπολογισμός Paternoster είναι μια βελτίωση που προτείνεται από τον Mike Seaman (2019) στο τυπικό CQF. Το Paternoster παρέχει περιορισμένη αδράνεια και βοήθεια χωρίς απώλειες για ροές που συλλαμβάνονται αποτελεσματικά στον οργανισμό χωρίς προαπαιτούμενο time – synchronization. Για κάθε θύρα αποτελεσμάτων, η σύμβαση Paternoster χαρακτηρίζει έναν μετρητή κρατήσεων ροής και τέσσερις γραμμές αποτελεσμάτων (παρελθόν, τρέχον, επόμενο, τελευταίο), όπου όλοι οι διακόπτες στο Paternoster λειτουργούν κάτω από μια χρονική κλίμακα ηλικίας που δεν είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους. Σε κάθε παράθυρο ηλικίας, τα περιγράμματα στην προηγούμενη γραμμή αποστέλλονται πρώτα μέχρι να κοινοποιηθούν όλα τα περιβλήματα. Όταν η προηγούμενη γραμμή εξαντληθεί, η τρέχουσα γραμμή επιλέγεται για μετάδοση για την υπόλοιπη τρέχουσα ηλικία (Nasrallah, 2019).



Εικόνα 7- Μοντέλο Paternoster

Πηγή: Zhou (2019)

Ενώ τα περιγράμματα κοινοποιούνται από τις προηγούμενες και τις τρέχουσες γραμμές, τα περιγράμματα λήφθηκαν σε γραμμή στη συνεχή γραμμή έως ότου συμπληρωθεί το όριο μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με την τρέχουσα ηλικία. Τυχόν επιπλέον θήκες τοποθετούνται στις ακόλουθες και τελευταίες γραμμές ομοίως, για παράδειγμα μέχρι να συμπληρωθεί το όριο κράτησης σε σχέση με την ηλικία που συνεχίζεται, με την προϋπόθεση ότι η τελευταία γραμμή έχει αποθηκευτεί πλήρως για την τρέχουσα ηλικία. Σημειώστε ότι σε όλες τις ροές κυκλοφορίας ST παρέχεται εξασφαλισμένη χωρητικότητα μετάδοσης, ενώ στην κίνηση BE δίνεται η πλεονάζουσα ταχύτητα μεταφοράς. Στο σημείο που ξεκινά μια άλλη περίοδος, η προηγούμενη τρέχουσα γραμμή πηγαίνει ως η προηγούμενη γραμμή ενώ η επόμενη

και η τελευταία γραμμή γίνονται η τρέχουσα και η επόμενη γραμμή, αντίστοιχα. Η προηγούμενη γραμμή (η οποία θα έπρεπε να είναι μη συμπληρωμένη) μετατρέπεται στη νέα τελευταία γραμμή.

Οι Zhou et al. (2019) σε μελέτη τους, δοκίμασαν το μοντέλο Paternoster, μόνο για μετάδοση στην οποία γίνεται μετάδοση από ένα δρομολογητή σε έναν άλλο δρομολογητή. Η προσέγγιση Paternoster χρησιμοποιεί τέσσερις γραμμές, όπου άλλες κάθε ηλικίας (ή κύκλου) χρησιμοποιούν απλώς τον συγχρονισμό επανάληψης, δηλαδή, το εύρος ηλικίας είναι κάτι πολύ παρόμοιο μεταξύ των κόμβων. Ανόμοια με το CQF, η προσέγγιση Paternoster παραδίδει κάποια συνέπεια αναβολής σε αντάλλαγμα για τη μη ανάγκη συγχρονισμού ρολογιού και τη μείωση της κανονικής αναβολής.

Υπήρχε μόνο ένα περιορισμένο συμπύκνωμα εξέτασης Paternoster από τους Zhou et al., (2018), το οποίο πραγματοποίησε μια μετάδοση με μία αναπήδηση, αντί για μια πλήρη οργάνωση πολλαπλών μεταδόσεων από δρομολογητή σε δρομολογητή, και αντιπαραβάλλει το Paternoster και τον ταυτόχρονο σχεδιασμό, ως συγκεκριμένα 802.1Qbv TAS και 802.1Qch CQF με δύο ουρές. Απαιτείται πλήρης διερεύνηση του Paternoster σε αντίθεση με διαφορετικές μεθοδολογίες, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς time – synchronization, για παράδειγμα SDF και CSQF, σε μια ευρεία διάταξη εργασιακών συνθηκών.

3.5. Άλλες μεθοδολογίες

Μία από τις εφαρμογές που απαιτούν χαμηλές αναβολές σε σημαντικές αποστάσεις είναι η εφαρμογή των brilliant network. Τα brilliant networks απαιτούν υψηλή αξιοπιστία. Με αυτόν τον τρόπο, οι Ball et. al (2020) εισήγαγε μετρήσεις συγχρονισμού πλέγματος και σχέδιο πλαισίου ελέγχου σε έναν οργανισμό ευρείας

περιοχής. Το κύριο κέντρο σχεδίου τους είναι να εγγυώνται τις προϋποθέσεις συνεχούς αλληλογραφίας σε σημαντικές αποστάσεις.

Για να επιτευχθεί αυτό, οι ερευνητές στην προτεινόμενη μέθοδο συμπεριλαμβάνουν ελέγχους που σχετίζονται με:

A) Τον βαθμό προτεραιότητας των μεταδιδόμενων δεδομένων

B) Την διαχείριση μεγάλου όγκου μετάδοσης (μέσω της ανάκτησης σφαλμάτων

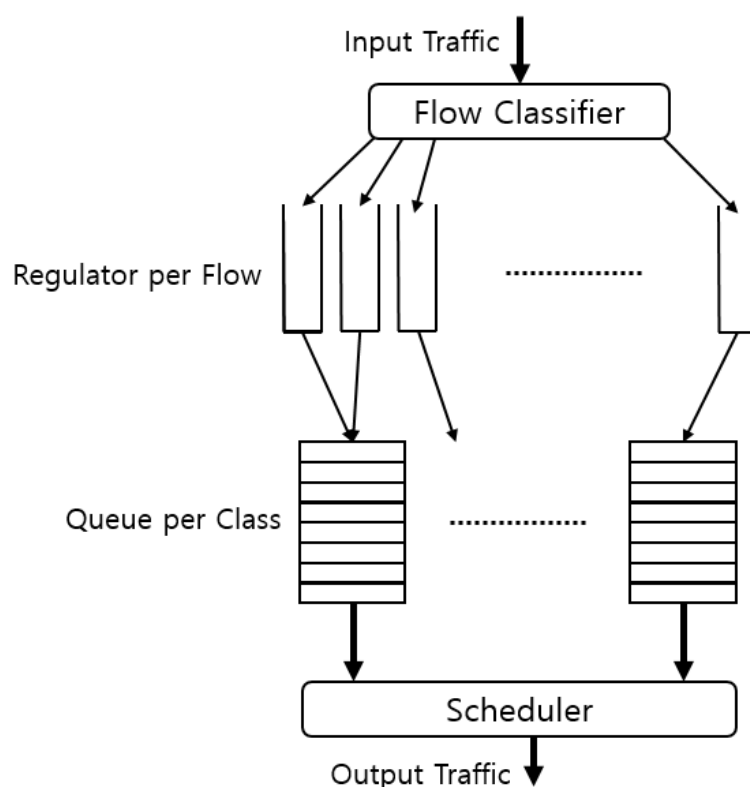
Γ) Την μετάδοση κανόνων με σκοπό να αναζητήσουν πληροφορίες που σχετίζονται με την κεφαλίδα των μεταδιδόμενων πακέτων

Για να πραγματοποιηθούν οι παραπάνω έλεγχοι, χρειάζεται να αξιολογηθούν οι ντετερμινιστικές αναβολές, αναζητώντας μέσα σε όλο το δίκτυο, πληροφορίες που σχετίζονται με τον υπολογισμό του χρόνου που χρειάστηκε μια μετάδοση να περάσει από τους δρομολογητές και στην συνέχεια γίνεται εκτίμηση του επιπλέον χρόνου που θα χρειαστεί η μετάδοση (Specht et al. , 2017)

Γραμμή και πρόδος

Η αξιολόγηση των πακέτων στους κόμβους αποστολής καθορίζει τον απόλυτο χρόνο που χρειάζεται η σύνδεση να παραμείνει σε ένα κόμβο. Με αυτόν τον τρόπο, είναι απαραίτητο να εξετάζουμε προσεκτικά τις προσεγγίσεις επένδυσης κατά τον σχεδιασμό οργανισμών με βάση το χρόνο. Προγραμματιστές ροής που προτάθηκαν από τους Jung et al. (2019) όσον αφορά τις συνήθεις συντονισμένες διοικήσεις (IntServ) έχουν περιπλοκές $O(N)$ ή $O(\log N)$, όπου N είναι η ποσότητα των ροών στον προγραμματιστή, η οποία μπορεί να αυξηθεί σε αρκετές χιλιάδες σε έναν εστιακό διακόπτη.

Τα πλαίσια που βασίζονται σε τάξεις, δεν μπορούν να δώσουν περιορισμένες καθυστερήσεις σε αυτό το πλαίσιο σκέψης, καθώς οι μεγαλύτερες αυξήσεις αυξάνονται ασταμάτητα κατά τη διάρκεια του κύκλου. Ως εκ τούτου, οι Joung et al. (2019) εξετάστε έναν βιώσιμο χρονοπρογραμματιστή γνωστό ως Regulated Schedulers (RSCs). Το RSC λειτουργεί και ως ελεγκτής και ως μηχανικός για να επιτύχει ευπρέπεια στον προγραμματισμό.



Εικόνα 8- Regulated Schedulers

Πηγή: Joung (2019)

Παρά τη χαμηλότερη πολυπλοκότητα, το DRR, που βασίζεται στη θύρα εισόδου, φαίνεται να είναι ότι το σύστημα αποστολής βρίσκεται μεταξύ της προσέγγισης TSN. Το DRR μπορεί να υπολογίσει τον χρόνο αδράνειας από την αρχή έως το τέλος για κάποιο αίτημα με ακρίβεια χιλιοστού του δευτερολέπτου

Ενώ, για ένα Δίκτυο Ανεκτικής Καθυστερήσης (DTN), ο Ayub et al. (2017) εισήγαγε ένα εργαλείο για τη διαχείριση των καθυστερήσεων που αναδύεται από πολλά αντίγραφα δεμάτων που αποστέλλονται για ακλόνητη ποιότητα. Διαφορετικές διπλότυπες συμβάσεις διεύθυνσης αντιγράφουν τα πακέτα προκαλώντας μπλοκάρισμα δικτύου. Για να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα του δικτύου ο οργανισμός θα μπορούσε να απορρίψει τα πακέτα που μεταδίδονται. ώστε να μην υπάρχουν αρνητικές συνέπειες στο σύστημα(Ayub et al., 2017).

Αυτό επιτυγχάνεται με μια δεκτική βάση με βάση τις ανάγκες (PQB-R) της στρατηγικής των στελεχών σε μια μητροπολιτική κλιματική κατάσταση. Το PQB-R παραγγέλνει κυρίως τα δέματα με επένδυση σε τρεις μοναδικές γραμμές και επιβάλλει μια διαφορετική μέτρηση πτώσης σε κάθε γραμμή, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα σύστημα απόθεσης που βασίζεται στην κατηγορία. Τα αποτελέσματα της δοκιμής που εισήχθησαν στο έγγραφο δείχνουν ότι το προτεινόμενο PQB-R έχει μειώσει τον γενικό χαμηλό αριθμό δεμάτων στον οργανισμό λόγω της πτώσης των δεσμίδων που προκάλεσε διευρυμένη αναλογία μεταφοράς.

Με τελικό στόχο να κατανοήσουν τις λεπτές ιδιότητες ενός μοντέλου κράτησης και κράτησης, οι Ma et al. (2018) πρότεινε ένα μοντέλο προγραμματισμού για ένα Flexilink, το οποίο είναι μια πρόσφατα προτεινόμενη σύμβαση και σχεδιασμός δυναμικού δικτύου TDM που προσπαθεί να είναι ασφαλής και σταθερός. Η προτεινόμενη προσέγγιση Flexilink που βασίζεται σε καθυστερήσεις είναι αντίθετη σε παραδοσιακές μεθόδους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο προτεινόμενος υπολογισμός προγραμματισμού αποδίδει καλύτερα, σε κάθε περίπτωση, όταν ο οργανισμός στοιβάζεται έντονα. Το φράξιμο των στελεχών κατά την κατασκευή ενός οργάνου επένδυσης είναι μια σημαντική εργασία για τη διαφύλαξη των ευαίσθητων ιδιοτήτων του οργανισμού.

Για το σκοπό αυτό, οι Mahdian et al. (2011) προτείνουν ένα σύστημα για την κράτηση οργανισμών για αμοιβαία βελτίωση των τεχνικών αποστολής και αποθήκευσης για τον περιορισμό του φραγμού του κόστους υφισταμένων οργανισμών. Γίνονται εκτιμήσεις με βάσει συγκεκριμένους συντελεστές οι οποίοι έχουν συνήθως ιδιότητες ακέραιου αριθμού που προκαλούν ένα ζήτημα βελτίωσης του NPhard. Με αυτόν τον τρόπο, για να μειωθεί η πολυπλοκότητα της βελτίωσης, οι δημιουργοί προτείνουν μια διαδικασία όπου οι βασικοί παράγοντες επεκτείνονται σε γνήσιες ιδιότητες, γεγονός που μειώνει την πολυπλοκότητα της βελτίωσης. Οι δημιουργοί παρουσιάζουν επίσης τις συνθήκες βελτίωσης που είναι σημαντικές για το γνήσιο αξιολογικό ζήτημα βελτίωσης.

Στη συνέχεια γίνεται η πρόταση για να επινοηθεί ένας ευέλικτος και διάχυτος κοινός υπολογισμός αποστολής και αποθήκευσης, MinDelay. Η βελτίωση MinDelay εξαρτάται από μια ενδεχόμενη εικασία κλίσης που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεταδιδόμενο σχέδιο. Η μέθοδος του MinDelay έχει μικρή περιπλοκότητα και φαίνεται να είναι αποτελεσματική και αποδοτική επιτυγχάνοντας καλύτερη αναβολή εκτέλεσης σε τοπικές ρυθμίσεις χαμηλού έως άμεσου ρυθμού ζήτησης σε μια εκτεταμένη ποικιλία γεωγραφικών περιοχών οργανισμού. Η μέθοδος παρακολούθησης MinDelay παρουσιάστηκε από τους Melin et al. (2018) με σκοπό την αποστολή με βάση καθυστέρηση για μια εγγενώς ευέλικτη οργάνωση επικάλυψης (που αναφέρεται ως IRON).

Το IRON εξαρτάται από το Back-Pressure Forwarding (BPF) και υποστηρίζει την κυκλοφορία με καθυστέρηση. Το Inertness Aware Forwarding προσθέτει υποστήριξη για μικρή αδράνεια, ενώ συμβαδίζει με την ιδανική παρουσίαση του BPF για σκληρές ροές σε λήθαργο. Το Dormancy Aware Forwarding ενοποιεί διάφορες προόδους σε

α) πακέτα που υποχρεωτικά μένουν σε αδράνεια και

β) μειώνει την περίοδο διακίνησης αυτών των πακέτων σε κάθε άλμα (μετάδοση από δρομολογητή σε δρομολογητή).

Οι εκτιμήσεις της παραπάνω μεθόδου, σε αντίθεση με την μέθοδο Latency-Aware Forwarding που προστατεύουν το BPF, καταδεικνύουν μια αύξηση 233% στη διεκπεραίωση για τη μεταφορά κυκλοφορίας περιορισμένης αδράνειας.

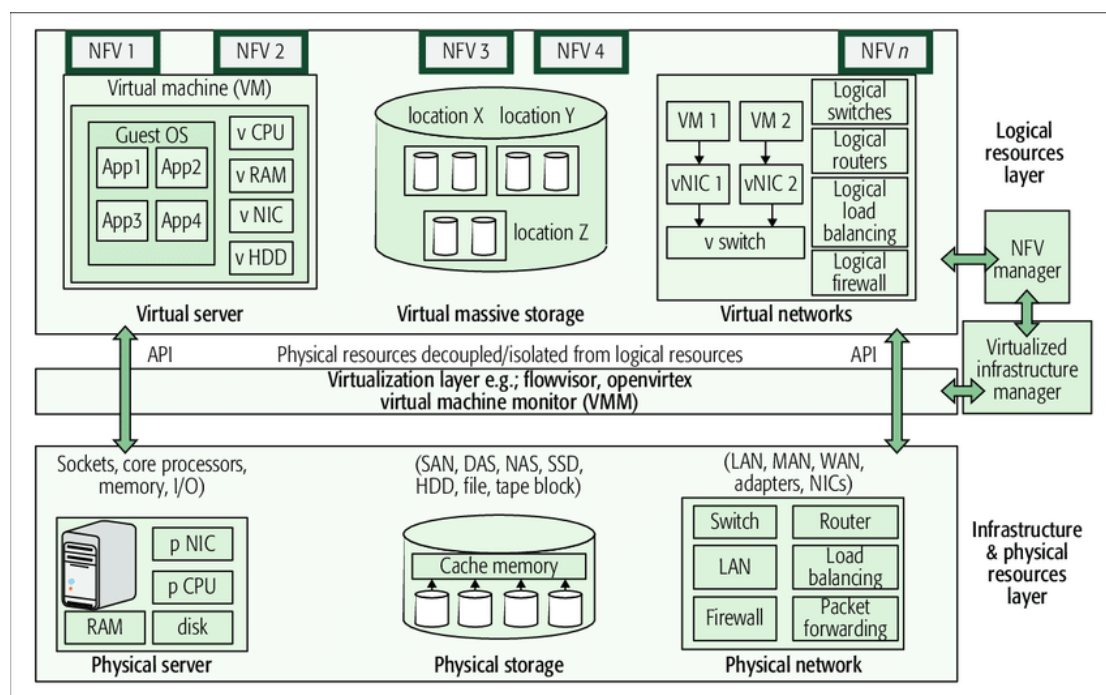
Για να διασφαλιστεί χαμηλή επιρροή επένδυσης από τη διαδικασία της διαχείρισης, Carofiglio et al. (2015) προτείνουν μια απεικόνιση παρουσίασης ενός διακόπτη με βάση ένα μοντέλο πρόβλεψης των πακέτων.

Η αξιολόγηση των αναβολών από το μοντέλο προσδοκίας βοηθά επιπλέον στην επιλογή σχεδιασμού (CS), έτσι ώστε να μπορεί να επιλεγεί η ρύθμιση που προτρέπει τη βασική τυπική αναβολή δεμάτων για μια εφαρμογή. Η επένδυση και το σύστημα αποστολής μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο μέσω διάφορων επιθέσεων. Ως ένα από τα θεμελιώδη είδη των διαδεδομένων επιθέσεων απόρριψης διαχείρισης (DDoS) είναι η επίθεση πλημμύρας SYN, η οποία προκαλεί άρνηση διαχείρισης. Αυτό συμβαίνει λόγω των συγκλονιστικών απαιτήσεων βοήθειας από τον δράστη.

Σε έρευνα των Ngo et al. (2019) παρουσιάζεται μια αποτελεσματική μέθοδος για την διαχείριση περιπτώσεων χαμηλής αδράνειας και τη περίπτωση πλημμυρών SYN. Η πλημμύρα SYN διαμορφώνεται μέσω μιας αριθμητικής επίδειξης στην οποία ο σχεδιασμός αξιολόγησης διακρίνει τις επιθέσεις πλημμύρας SYN τόσο σε απόδοση όσο και σε αδράνεια.

Οι αξιολογήσεις με τα στάδια NetFPGA-10G έδειξαν τον τρόπο με τον οποίο το κέντρο μπορεί να προστατεύσει τους διακομιστές από επιθέσεις πλημμύρας SYN για σχεδόν πάνω από 28 εκατομμύρια πακέτα κάθε δευτερόλεπτο, κάτι που είναι συνολικά καλύτερο σε σύγκριση με προσεγγίσεις που βασίζονται σε συμβατικό εξοπλισμό. Καθώς οι καινοτομίες του Network Function Virtualization (NFV) και του

Software Defined Networking (SDN) ενηλικιώνονται βήμα προς βήμα ως εξελιγμένες δικτυακές εξελίξεις, οι καινοτομίες στελέχη και ρυθμίσεις (MANO) που ασχολούνται με την αλυσίδα δυνατοτήτων βοήθειας (SFC) έχουν λάβει ευρεία εξέταση.



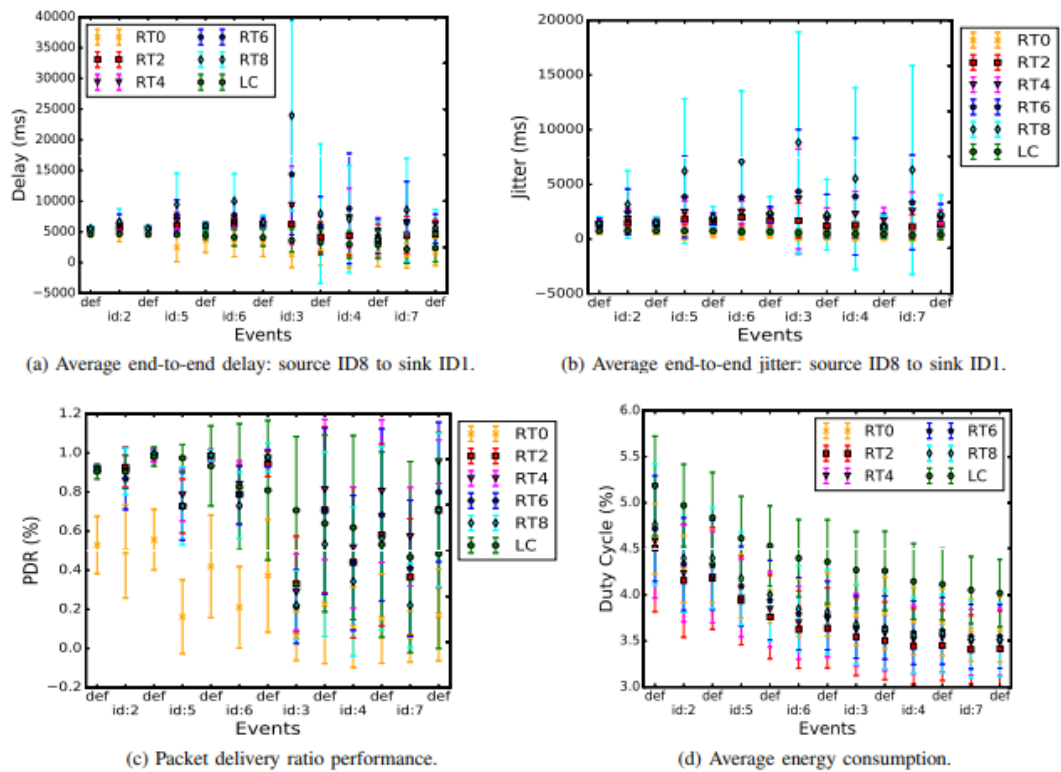
Εικόνα 9- Network Function Virtualization (NFV)

Πηγή: Chaudhary (2018)

Οι Kim et al. (2016) έχουν προτείνει έναν Διαχειριστή επιλογής γραφήματος (GSM) για να δώσει τουλάχιστον ένα γραφήματα αποστολής VNF με το μεγαλύτερο όριο αναβολής, καθώς και VNF και όριο δικτύου. Οι αξιολογήσεις αναπαραγωγής καταδεικνύουν ότι τουλάχιστον ένα διάγραμμα αποστολής VNF μπορεί να πληροί την κατανόηση επιπέδου διαχείρισης (SLA) ενός επιβάτη σε καταστάσεις με περιορισμένο όριο δικτύου και μπορεί να ορίσει διαφορετικούς origin-to-termination low-latency διαχειριστές δικτύου.

Η διεύθυνση πολλαπλών διαδρομών μιας ροής εξαρτιόταν από την απλή αναζήτηση επόμενου τρόπου εν όψει περιορισμένων δεδομένων πηγής και αντικειμενικού κόμβου, η οποία παραβλέπει τις ευαίσθητες ιδιότητες της δέσμης μεταφοράς μεταξύ των τελικών σημείων.

Το σύστημα ελέγχου μεσαίας πρόσβασης IEEE 802.15.4 Time-Slotted Channel Hopping (TSCH) χρησιμοποιεί συνήθεις τεχνικές αναγνώρισης σύγκρουσης και αναμετάδοσης που δεν μπορούν να εξουσιοδοτήσουν μικρές χρονικές ανταποκρίσεις έναρξης και τερματισμού. Αντίστοιχα, οι Papadopoulos et al. (2017) έχουν προτείνει τη χρήση του LeapFrog Collaboration (LFC) πάνω από ένα Πρωτόκολλο Δρομολόγησης (RPL) για τη διαμόρφωση ντετερμινιστικής και σταθερής αντιστοιχίας μεταξύ των τελικών σημείων.



Εικόνα 10- Απόδοση με χρήση του LeapFrog Collaboration

Πηγή Papadopoulos (2017).

Ο υπολογισμός LFC αντιγράφει τη ροή πληροφοριών σε έναν υποκατάστατο τρόπο που έχει αποφασιστεί να εκμεταλλευτεί την ποικιλία τρόπων για την επίτευξη χαμηλής αδράνειας και αξιοπιστίας. Σε μια άλλη έρευνα, το RFC 2210 δίνει λύση στο πρόβλημα διαχείρισης της αδράνειας πολλών μεταδόσεων.

Η καθοδήγηση της κυκλοφορίας πολλαπλών εκπομπών σε ένα ευαίσθητο κλίμα περιόδου απαιτεί συγχρονισμό χρονικά εύχρηστης εγκατάστασης σε διαφορετικούς κόμβους με διάφορους τρόπους που θα πρέπει να σχεδιάζονται συνεχώς. Demand et al. [48] έχουν προτείνει ένα δέντρο αποστολής πολλαπλής εκπομπής που προκύπτει από τη ρίζα, όπου μια μοναχική πηγή πολλαπλής εκπομπής, ως ρίζα, προωθεί τα δεδομένα σχεδίασης σε μια δέσμη κόμβων φύλλων για να σχεδιάσουν τους κόμβους

φύλλων έτσι ώστε μια ροή πολλαπλών διαδρομών να εμφανίζεται όλη την ώρα στον στόχο τερματικών κόμβων . Μία από τις συνήθεις χρήσεις των δικτύων TSN είναι οι οργανισμοί οχημάτων. Οι αυτοσχέδιοι οργανισμοί οχημάτων (VANET) απαιτούν τρόπους χαμηλής αδράνειας για βασική χρονική κυκλοφορία που σχετίζεται με αισθητήρες και πλαίσια ελέγχου που εντοπίζονται στα οχήματα.

Οι Khan et al. (2018) πρότειναν μια μέθοδο που ονομάζεται «Traffic Aware Segment-based Routing (TASR)». Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε ένα Αναμενόμενο Βαθμό Συνδεσιμότητας (ECD) που ενσωματώνει τα δεδομένα πάχους του οχήματος και τα γεωγραφικά δεδομένα διαφόρων τμημάτων μεταξύ πηγών και αντικειμενικών κόμβων για την αξιολόγηση του τρόπου κατεύθυνσης. Με τελικό στόχο την προστασία της προσαρμοστικότητας των ντετερμινιστικών ροών στους κόμβους αποστολής.

Οι Thubert et al. (2017), εισήγαγε μια τεχνική για την ταξινόμηση των ντετερμινιστικών οργανισμών εν όψει ντετερμινιστικών θραυσμάτων και ντετερμινιστικών χώρων. Τα δεδομένα διανέμονται στα ντετερμινιστικά τμήματα και χώρους που βασίζονται σε ρεύματα που διατηρούνται σε τμήματα και χώρους. Αντίστοιχα για σημαντικές αποστάσεις, οι Kim et al. (2018) εισήγαγε ένα τεράστιο πλαίσιο εμβέλειας, το KREONETS, το οποίο σχεδιάστηκε ως προϊόν που χαρακτηρίζεται από μια οργάνωση ευρείας περιοχής (SDWAN) στην Κορέα που δίνει έμφαση στην παροχή βασικού χρόνου έναρξης και λήξης του δικτύου WAN. Τα αποτελέσματα από την οργάνωσή τους έδειξαν περαιτέρω ανεπτυγμένη εκτέλεση δικτύου, ασήμαντο λήθαργο και προβλέψιμο jitter που είναι θεμελιώδη για τη διευκόλυνση εφαρμογών που απαιτούν χρόνο σε ένα WAN.

Αντίθετα με το SDN, χρειάζεται να γνωρίζουμε την διεύθυνση αποστολής από την αρχή έως το τέλος και αυτό απαιτεί ένα περίπλοκο συντονισμό μεταξύ των

κόμβων αποστολής. Σε συνδυασμό με οργανισμούς SD-WAN, οι οργανισμοί 5G παρέχουν ρυθμίσεις μεγάλης εμβέλειας και χαμηλού λήθαργου. Όσον αφορά το 5G, οι χρονικά ευαίσθητες εφαρμογές μέσω της οργάνωσης IP έχουν εξεταστεί.

Για να βοηθήσουν τις ντετερμινιστικές καθυστερήσεις αποστολής έναντι των οργανισμών 5G, οι Chen et al. (2019) πρότεινε μια μέθοδο που βασίζεται στο πρότυπο Ethernet που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για φορητές εταιρείες διασύνδεσης οχημάτων, μετρό και διακομιστών 5G. Η διαμόρφωση Ethernet υποστηρίζει πλήρως την πρόσβαση πολλαπλών διαχειριστών, την αδράνεια αποστολής, την αποσύνδεση σκληρής κυκλοφορίας, την προοδευτική πολυπλεξία κυκλοφορίας και την προσαρμόσιμη αποστολή σε οργανισμούς L1, L2 και L3 και σύστημα πολλαπλών όψεων Λειτουργιών και Διαχείρισης (OAM). Οι χρονοβόρες εφαρμογές σε οργανισμούς 5G ενσωματώνουν το fronthaul και το Industry 4.0 που απαιτούν σοβαρές ντετερμινιστικές ανάγκες με μηδενικό jitter.

3.6. Τρόπος Επικοινωνίας Time-Deterministic

Συνήθως, η αποστολή κόμβων μεταδίδει δεδομένα διεύθυνσης όταν υπάρχει μια προσαρμογή του οργανισμού, όπως η παρουσίαση ενός άλλου κόμβου ή μια απογοήτευση κόμβου. Η κίνηση που σχετίζεται με τον συντονισμό ενός τρόπου κατεύθυνσης κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής οργανισμού θα πρέπει να είναι εγκάρδια για να εγγυάται ασήμαντη οργανωτική διαταραχή.

Επίσης, έχει προταθεί ένα πλαίσιο για την παροχή μιας επιεικής οργάνωσης για αναβολή/μπλακάουτ (DTN). Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο χρειάζεται να εκτιμηθεί και να υπολογιστεί ο χρόνος μετάδοσης μέχρι 10 κόμβων. Ένα από τα μειονεκτήματα της αξιοπιστίας της αναπαραγωγής δέσμης είναι ότι η αναπαραγωγή αυξάνει τη χρήση ισχύος.

Με τελικό στόχο να εγγυηθεί την ακλόνητη ποιότητα και να εξοικονομήσει όλη την ενέργεια που δαπανάται για την εξασφάλιση αξιοπιστίας, οι Borah et al. (2019) εισήγαγαν ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα διεύθυνσης Προώθησης με βάση την πρόβλεψη τοποθεσίας με ενεργειακή απόδοση για δρομολόγηση με χρήση αλυσίδας Markov (ELPFR-MC). Το ELPFR-MC δημιουργήθηκε για πονηρούς οργανισμούς (OppNets). Παρόλα αυτά, τα OppNets είναι μια υποκατηγορία οργανισμών επιεικής αναβολής που μπορούν να προσεγγιστούν για να προσαρμοστούν σε ευαίσθητους χρόνους οργανισμούς για να προστατεύσουν τόσο τις ευαίσθητες στο χρόνο ιδιότητες όσο και την ενεργειακή επάρκεια. Εισήγαγαν ένα στοιχείο στο οποίο τα πακέτα αποστέλλονται εντός των κόμβων με βάση μια συγκεκριμένη πολιτική διαχείρισης.

Δηλαδή, το σημείο στο οποίο ένας κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο, η δέσμη σχεδιάζεται σε μια συνεπή στρατηγική βοήθειας του οργανισμού και ο τρόπος αποστολής εξαρτάται από τις προσεγγίσεις βοήθειας που τηρούνται στους κόμβους. Μια διεύθυνση βοήθειας χρησιμοποιείται για την αναγνώριση πληροφοριών διαχείρισης και στρατηγικής διαχείρισης οργανισμού. Μπορούν να προστεθούν νέες διοικήσεις στον οργανισμό μέσω ρυθμίσεων βοήθειας. Η προσέγγιση αυτή μειώνει την πολυπλοκότητα του δικτύου για τη δημιουργία μαθημάτων, όπως υποδεικνύεται από ένα πιο εκτεταμένο τμήμα του ενεργητικού, εν όψει της στρατηγικής διαχείρισης και όχι των αναγκών που βασίζονται σε ροή.

Η τοποθέτηση και η αποστολή δεσμίδων μέσω του επιπέδου οχήματος ενός gadget συνήθως δεν λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα της εφαρμογής, όπως τις ανάγκες και τις ιδιότητες ροής τους. Για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας συνιστώσας προόδου, οι Thubert et al. (2017) έχουν δώσει μια τεχνική για την παρακολούθηση και την ενσωμάτωση αναγνωριστικών, έτσι ώστε ο κόμβος λήψης να μπορεί να ζητήσει και να συσκευάσει τη ροή που πλησιάζει στο αίτημα με το οποίο στάλθηκε. Υποθέτοντας

ότι οι συνδέσεις είναι ντετερμινιστικές, η εξέλιξη της κυκλοφορίας σε διαφορετικούς κόμβους όπου προστατεύεται το αίτημα ροής δέσμης μπορεί να εγγυηθεί ότι η σύνδεση από την αρχή έως το τέλος θα έχει ντετερμινιστικές ιδιότητες.

Οι Thubert et al. (2021) προτείνουν μια μέθοδο όπου για κάθε πακέτο υπάρχει μια επιπλέον πληροφορία ώστε να εγγυάται η επανάληψη της μετάδοσης του όταν πρόκειται για μετάδοση που έχει υψηλή προτεραιότητα. Στο σημείο που η δέσμη διασχίζει τα τμήματα οργάνωσης, το σχετικό bit μέσα στη λίστα ψηφίων του δέματος χρησιμοποιείται για να ολοκληρωθεί ο κύκλος αναπαραγωγής για αυτό το πακέτο. Στη συνέχεια, μια πηγή έχει κάποιο έλεγχο στους ειδικούς αναπαραγωγής ορίζοντας και καταργώντας τα πεδία της λίστας κομματιών για να εγγυηθεί το τελευταίο QoS που αναμένεται μεταξύ της πηγής και του στόχου. Ο καθορισμός μιας ντετερμινιστικής συσχέτισης θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός σε μη σταθερούς κόμβους. Στην περίπτωση που οι κόμβοι μέτριας αποστολής είναι φορητοί και κινούνται τακτικά, μια απάντηση για τη ροή από την αρχή έως το τέλος της διάταξης είναι να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, μια ενσωματωμένη ρύθμιση μέσω SDN.

Οι περιορισμοί της ενσωματωμένης διάταξης οφείλονται τόσο στην αδράνεια του επιπέδου ελέγχου όσο και στις υπολογιστικές απαιτήσεις. Για την αντιμετώπιση του ζητήματος της εξοικονόμησης χώρου σε κάθε κόμβο αποστολής για ροή εκκίνησης προς διακοπή, οι Thubert et al. (2017) πρότειναν μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική στην εστιακή προετοιμασία. Ουσιαστικά, όταν ένας κόμβος αλλάζει την κατάστασή του και η δέσμη εισέρχεται σε μια ντετερμινιστική λειτουργία, τα δεδομένα για το συγκεκριμένο ρεύμα αποθηκεύονται για μεταγενέστερο χειρισμό και αποστολή ως ενσωματωμένα ανοίγματα όταν το ρεύμα τοποθετηθεί.

Αυτή η προσέγγιση αναμένει ότι υπάρχει ένας ντετερμινιστικός τρόπος για να φτάσουν τα δέματα στο τελικό σημείο, λαμβάνοντας υπόψη ότι η δέσμη κινείται μέσω κόμβων πηγής και μεσαίου κόμβου που είναι φορητοί, αλλά ο ίδιος ο αριθμός των κόμβων που ομαδοποιούνται με απροσδόκητο τρόπο. Αναμένεται ότι τα A, B, C και D είναι οι κόμβοι στον τρόπο ροής, όπου τα A και D είναι τα τελικά σημεία. Οι περιοχές των B και C θα μπορούσαν να ανταλλάσσονται με την τεχνική ανοίγματος, με την οποία ο A μπορούσε να προωθήσει το δέμα στο ένα ή στο άλλο B ή C ενώ πραγματικά προστατεύει τις ιδιότητες QoS. Αυτή η μέθοδος μπορεί να κλιμακωθεί σε αμέτρητους κόμβους, υποστηρίζοντας σημαντικές αποστάσεις. Όπως ένας χώρος προσθήκης, οι Wetterwald et al. (2015) εισήγαγαν μια ευθύνη περιουσιακού στοιχείου για ντετερμινιστική οργάνωση από την αρχή έως το τέλος μεταξύ των τελικών σημείων. Σε κάθε ροή εκχωρούνται ειδικοί χώροι εν όψει των προαπαιτήσεων QoS κατά μήκος του ντετερμινιστικού τρόπου μεταξύ των τελικών σημείων.

Δρομολόγηση τμήματος (SR)

Το σύστημα διεύθυνσης τμήματος (SR) αναμένει να χρησιμοποιήσει θραύσματα MPLS (Multi-Protocol Label Switching) και IPv6 για να δημιουργήσει συσχετίσεις από την αρχή έως το τέλος με ντετερμινιστικές ιδιότητες. Οι στρατηγικές SR εκτελούν κατευθύνσεις κυκλοφορίας σε ρητά τμήματα χρησιμοποιώντας αναγνωριστικά τμημάτων σχεδιασμένων μαθημάτων. Ο SR θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει το SDN για να διασυνδέσει και να οργανώσει μαθήματα ενοτήτων.

Με αυτόν τον τρόπο, με μια επέκταση του SR σε αμέτρητα τμήματα, ένα SR μπορεί να επεκταθεί για να επιτύχει ντετερμινιστικά στοιχεία σε σημαντικές αποστάσεις που μπορούν να δώσουν πολυάριθμες ρυθμίσεις επιπέδου βοήθειας

αναμφισβήτητου επιπέδου (SLA) σε μια δεδομένη οργάνωση μεταξύ τελικών σημείων.

Παρά ταύτα, ένα βασικό ζήτημα είναι να διασφαλιστεί η εξασφαλισμένη QoS μέσω του δικτύου SR χωρίς να διακυβεύεται η προσαρμοστικότητα και η ευελιξία. Οι Bashandy et al. (2017) έχουν απεικονίσει μια στρατηγική SR που χρησιμοποιεί το Πρωτόκολλο Διανομής Ετικετών (LDP). Το LDP συνδέει ένα όνομα σε μια δέσμη που πλησιάζει με ένα αναγνωριστικό τμήματος.

Το πλαίσιο χρησιμοποιεί μια λειτουργική μονάδα μέτρησης απόδοσης (PM) για την προβολή ενοτήτων SR για σύνδεση SLA σε υπάρχοντες τρόπους καθώς και μετά την προσθήκη νέων τμημάτων και τρόπων μέσω της αναδιαμόρφωσης δικτύου. Το PM εξουσιοδοτεί την αξιολόγηση ροής έναρξης για την ολοκλήρωση των ποικιλιών αναβολής δεύτερου επιπέδου και προσπαθεί να απευθυνθεί στον οργανισμό για οποιαδήποτε ποικιλία μέσω αναδιαμόρφωσης.

Αυτοί οι μετρητές ροής χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη διάκριση και την αντιμετώπιση των σχεδίων SR όταν η διαφθορά συμβαίνει τελικά μέχρι το τέλος. Για μια δεδομένη στρατηγική, το PM μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί για ένα SR όταν υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι μεταξύ των τελικών σημείων. Ως εκ τούτου, μια στρατηγική SR διαχωρίζεται σε πιο μέτρια τμήματα που μπορούν να ακολουθηθούν ως χαρακτηριστικό των Root-Nodes και Sub-Path Trees (SPT).

Τα SPT χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των δευτερευουσών διαδρομών που σχετίζονται με τους κεντρικούς διανομείς για να ελέγξει και να δράσει κατά της καταστροφής της εκτέλεσης για άλλη μια φορά. Οι Filsfils et al (2020) προτείνουν την εισαγωγή επιπλέον στοιχείου που θα αφορά την εκτέλεση προγραμματιζόμενων εργασιών για οργανισμούς SR.

Η ευελιξία του SR έχει επιπλέον μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό, ειδικά για δίκτυα μεγάλης εμβέλειας που σχετίζονται με τμήματα SR μεγάλης εμβέλειας. Εκεί οι αξιολογήσεις καταδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να επιτευχθούν στενές ιδανικές διευθετήσεις στην ηλικία του τρόπου SR που μπορεί επίσης να κλιμακωθεί παραγωγικά για τεράστιες γεωγραφίες. Η εξέλιξη του SR που μπορεί να ενισχύσει τη δυναμική κατανομή πορείας με ντετερμινιστικές ιδιότητες έχει θέσει ένταση στις προϋποθέσεις του εξοπλισμού. Τα συνηθισμένα δίκτυα Ethernet δεν προορίζονται για έλεγχο και προσαρμογή στα περίπλοκα σχέδια που αναμένει η SR.

Με αυτόν τον τρόπο, παρουσιάζεται μια άλλη γραφική παράσταση Ethernet, το Flex-E, για να βοηθήσει την ασυνέχεια, την προσαρμοστικότητα και την ευελιξία του στοιχείου για SR. Οι συμβάσεις που υποστηρίζουν ρυθμίσεις SR είναι σε μεγάλο βαθμό πολύπλοκες για επίβλεψη λόγω της διευρυμένης εξάρτησης από μηνύματα επισήμανσης συμβάσεων. Καθώς το SR απαιτεί περισσότερες ρυθμίσεις, η κρυφή σύμβαση θα πρέπει να δημιουργήσει πρόσθετα μηνύματα επισήμανσης για τον σχεδιασμό κόμβων δικτύου. Για παράδειγμα, το Πρωτόκολλο Κράτησης Πόρων με Μηχανική Κυκλοφορίας (RSVP-TE) χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές SR, όπου το RSVP-TE ως επί το πλείστον περιορίζει την προσαρμοστικότητα της δυναμικής κλιμάκωσης και αναδιαμόρφωσης λόγω των αναγκών υπολογισμού και επισήμανσης.

Με τελικό στόχο να μειώσει την παραπάνω επισήμανση των συνηθισμένων συμβάσεων που υποστηρίζουν την SR, οι Bhattacharjee et al.(2020) έχουν προτείνει μια σύμβαση Προτιμώμενης Δρομολόγησης Διαδρομών (PPR) που υπογράφει δεδομένα διεύθυνσης από υπολογιστικές μηχανές για την οργάνωση κόμβων απευθείας μέσω μιας τρέχουσας μετάδοσης μηνυμάτων, για παράδειγμα, REST API στον οργανισμό SDN. Το PPR υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων αποστολής IP και του SR.

Ως αποτέλεσμα, οι μηχανισμοί PPR καταλήγουν σε ένα ελαφρύ, επεκτάσιμο και ευέλικτο πρωτόκολλο για τη φιλοξενία υπηρεσιών δικτύου υψηλής ακρίβειας. Οι Chunduri et al. (2020) παρουσίασαν επίσης μια βελτίωση στην αρχιτεκτονική PPR, όπου τα γραφήματα PPR σηματοδοτούνται σε κόμβους προώθησης αντί για μονοπάτια PPR για να μειωθεί η συνολική σηματοδότηση που απαιτείται για τη διανομή προώθησης και καταχωρήσεων QoS στους κόμβους του. Από μια τέτοια προσέγγιση, για συνδεσιμότητα N κόμβων μπορεί να επιτευχθεί επεκτασιμότητα $O(N)$ για καταχωρήσεις προώθησης γραφήματος PPR. Αντίθετα, τα κατανεμημένα πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως τα IGP παρουσίασαν πολυπλοκότητα $O(N^2)$ για RSVP-TE με διαδρομές PPR από σημείο σε σημείο.

Συνοπτικά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα του PPR έναντι του SR είναι ότι το PPR μειώνει την επιβάρυνση της επεξεργασίας μεγάλων κεφαλίδων σε κάθε κόμβο. Επιπλέον, σε αντίθεση με το SR, το PPR μπορεί να παρέχει εκ των προτέρων συγκεκριμένες παραμέτρους QoS και αλγόριθμους ειδικά για μια διαδρομή με βάση τις δυνατότητες του κόμβου στο δίκτυο. Αυτό επιτρέπει την απρόσκοπτη εφαρμογή των αλγορίθμων QoS για την επιβολή της κυκλοφορίας PPR-ID στην προτιμώμενη διαδρομή στο δίκτυο.

Το Segment Routing μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε δίκτυα Intra-data Center (DC) όπου το δίκτυο μπορεί να εκτείνεται σε μεγάλες αποστάσεις και απαιτεί ντετερμινιστικά χαρακτηριστικά για ευαίσθητες στο χρόνο εφαρμογές όπως η τηλεϊατρική που φιλοξενείται σε πολλούς διακομιστές. Η κίνηση μετάδοσης πακέτων από διακομιστή σε διακομιστή μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων χαρακτηρίζεται ως κίνηση ανατολής-δύσης. Στα παραδοσιακά δίκτυα μεταξύ DC, η διαχείριση της δρομολόγησης ανατολής-δύσης γίνεται από το SDN, όπου χρησιμοποιείται μια πολλαπλή διαδρομή ίσου κόστους (ECMP) για τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Ωστόσο, η διαχείριση SDN με ECMP θα μπορούσε να περιοριστεί από ένα ζήτημα

επεκτασιμότητας που προκύπτει από το περιορισμένο μέγεθος της Διευθυνσιοδοτούμενης Μνήμης Τριμερούς Περιεχομένου (TCAM) στους κόμβους προώθησης.

Οι Wang et al. (2017) έχουν προτείνει μια μέθοδο μηχανικής κυκλοφορίας που βασίζεται στο SDN. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται «Πολλαπλή διαδρομή εξοικονόμησης εισόδου δυναμικής ροής (DFSM)» και χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της κυκλοφορίας ανατολής-δύσης για τη μείωση της χρήσης των καταχωρίσεων TCAM. Τα αποτελέσματα αξιολόγησής τους δείχνουν ότι το DFSM εξοικονομεί 15% έως 30% των εισόδων ροής TCAM σε πρακτικές τοπολογίες, καθώς και μειώνει την τυπική απόκλιση των καθυστερήσεων διαδρομής από 10% σε 7%.

Κεφάλαιο 4- Δίκτυα ευαίσθητα στον χρόνο

Επισκόπηση TSN

4.1. Πλεονεκτήματα του TSN

Το TSN είναι μια ανοιχτή και τυπική τεχνολογία και δεν ανήκει σε κανέναν οργανισμό ή εταιρεία. Για μεγάλο χρονικό διάστημα, η αγορά βιομηχανικού αυτοματισμού αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ασυμβατότητας των διαφόρων fieldbus. Το TSN έχει πλεονεκτήματα από αυτή την άποψη, ως εξής:

- Το TSN εγγυάται τη συμβατότητα συσκευών από διαφορετικούς προμηθευτές σε επίπεδο δικτύου. Οι πωλητές των controllers συνήθως προωθούν ένα συγκεκριμένο σύστημα fieldbus. Για τους χρήστες, αυτό σημαίνει ότι η επιλογή του controller καθορίζει και την επιλογή του διαύλου (bus) καθώς υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ των διαφορετικών δίαυλων. Επομένως ο χρήστης συχνά καταλήγει να βασίζεται στον κατασκευαστή.
- Το TSN έχει την δυνατότητα να επεκταθεί στο Ethernet, γεγονός που του επιτρέπει να μην περιορίζεται από το εύρος ζώνης ή ακόμα και από οποιοδήποτε πρότυπο Ethernet. Νέοι κόμβοι μπορούν εύκολα να προστεθούν στο δίκτυο και να ανακαλυφθούν μέσω τυπικών πρωτοκόλλων.
- Το TSN μπορεί να σπάσει τα εμπόδια επικοινωνίας μεταξύ κρίσιμων συστημάτων και μη κρίσιμων συστημάτων, επιτρέποντας τη σύγκλιση δικτύου και συστήματος. Κρίσιμες και μη κρίσιμες ροές δεδομένων μπορούν να μοιράζονται το ίδιο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο μπορεί να εξασφαλίσει τον συγχρονισμό της κρίσιμης κυκλοφορίας και τη χρονική απομόνωση της μη κρίσιμης επικοινωνίας.

Η σύγκλιση του TSN και του Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA) είναι ένα καυτό θέμα αυτές τις μέρες. Το OPC UA χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος διαλειτουργικότητας, ενώ το TSN χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος της επικοινωνίας.

Το IEEE 802.1Q (Bridged and Bridged Networks) είναι ένα πρότυπο δικτύου που υποστηρίζει εικονικό LAN (VLAN) στο IEEE 802.3 (Ethernet). Το πρότυπο ορίζει το σύστημα ετικετών VLAN για τα πλαίσια Ethernet και τις σχετικές διαδικασίες γέφυρας και μεταγωγής κατά την επεξεργασία αυτών των πλαισίων (Whang, 2020).

Προτεραιότητα

Η κράτηση και ο προγραμματισμός κυκλοφορίας (Traffic reservation and scheduling) είναι μια μέθοδος για τη διαχείριση τύπων κίνησης δικτύου που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις μεταφοράς δεδομένων και χρόνο αδράνειας. Επιτρέπει σε διαφορετικές κλάσεις κυκλοφορίας (traffic classes), π.χ Best –Effort, ανεπιθυμητής κτλ ,να συνυπάρχουν κατανέμοντας πόρους με βάση τις ανάγκες τους. Το πρότυπο IEEE 802.1Q ορίζει οκτώ διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας για την κυκλοφορία με βάση τις ανάγκες και τα σχέδια σοβαρότητάς τους (severity plans). Αυτό διασφαλίζει ότι η κυκλοφορία υψηλότερης προτεραιότητας λαμβάνει πόρους πριν από την κυκλοφορία χαμηλότερης προτεραιότητας, γεγονός που βοηθά στην αποφυγή συμφόρησης του δικτύου και διασφαλίζει μια πιο αξιόπιστη απόδοση δικτύου. (όπως φαίνεται στην Εικ. 1).

Ετικέτα VLAN

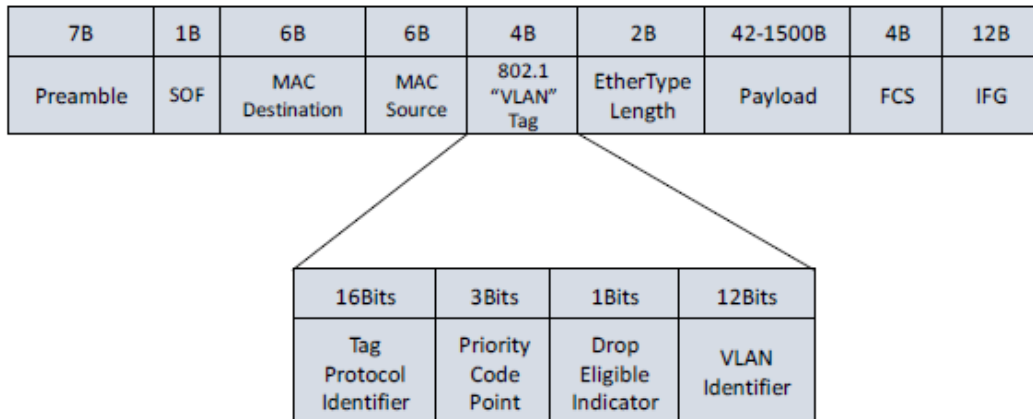
Σε σύγκριση με το Ethernet, τα δίκτυα που βασίζονται σε TSN επιτρέπουν την προσθήκη τεσσάρων byte στην κεφαλίδα της άκρης πληροφοριών (information edge

header) Ethernet για τον χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων τους, όπως εμφανίζονται στην Εικ. 2.

- Label Protocol Identifier: Χρησιμοποιείται για την αναγνώριση πλαισίων με ετικέτα IEEE 802.1Q, τα οποία χρησιμοποιούνται στις ετικέτες εικονικού LAN (VLAN). Το TSN έχει αναγνωριστικό πρωτοκόλλου 0x8100.
- Σημείο κωδικού προτεραιότητας: Ένα πεδίο 3 bit, με τιμές από 0 έως 7. Χρησιμοποιείται από τις ροές πληροφοριών.
- **Selectable drop index:** 1 πεδίο κύκλου (circle field), 0 για τυπική διαμόρφωση, 1 για μη τυπική διαμόρφωση.
- Αναγνωριστικό VLAN: πεδίο 12 bit το οποίο προσδιορίζει το VLAN στο οποίο ανήκει το πλαίσιο (frame).

Background	Best Effort	Excellent Effort	Critical Applications	Video <100ms latency	Audio <10ms latency	Internetwork Control	Network Control
1	0	2	3	4	5	6	7

Low Priority High Priority



Εικόνα 11- VLAN tag

Περιεχόμενα TSN

Το TSN μπορεί να θεωρηθεί ως μία εργαλειοθήκη η οποία περιέχει πολλές σημαντικές συσκευές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις συγκεντρώσεις (concentrations): time synchronization, constrained low inertia, asset stubs, και αξιοπιστία (βλ. Εικ. 3). Κάθε τυπικός προσδιορισμός (standard designation) στο TSN μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα και είναι θεμελιωδώς ανεξάρτητος. Σε κάθε περίπτωση, μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους και να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τρόπους. Για παράδειγμα, το IEEE 802.1AS-Rev αντιμετωπίζει το ζήτημα του time synchronization, αλλά μόνο ως προς την αξιοπιστία και την αδράνεια.

Time synchronization

Δεν υπάρχει στιγμή για χάσιμο στο TSN. Προκειμένου να επιτευχθεί συνεχή αλληλογραφία με σοβαρές χρονικές ανάγκες, όλα τα gadget στον οργανισμό θα πρέπει να κάνουν αναφορά σε κανονικές αναμνήσεις και να συγχρονίζουν τα ρολόγια τους μεταξύ τους. Μόνο μέσω των synchronized tickers είναι εφικτό για όλα τα gadget

του οργανισμού να λειτουργούν με συνέπεια και να εκτελούν με ακρίβεια τους απαραίτητους ρόλους τους την αναμενόμενη στιγμή, έτσι ώστε τα τερματικά και οι επεκτάσεις (terminals and extensions) να συγχρονίζουν τους χρονομετρητές τους με τους διπλανούς τους.

Για το TSN, ο χρόνος συνήθως κυκλοφορεί από μια πηγή εστιακού χρόνου απευθείας στην πραγματική οργάνωση. Τυπικά, αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο χρόνου ακριβείας IEEE1588 [10]. Το πρότυπο IEEE 1588 χαρακτηρίζει το Πρωτόκολλο Precise Time Protocol (PTP) για το συγχρονισμό των tickers σε έναν ολόκληρο οργανισμό. Το πρότυπο IEEE802.1AS είναι ένα προφίλ του IEEE 1588 που υποδεικνύεται από το σύνολο εργασιών IEEE TSN.

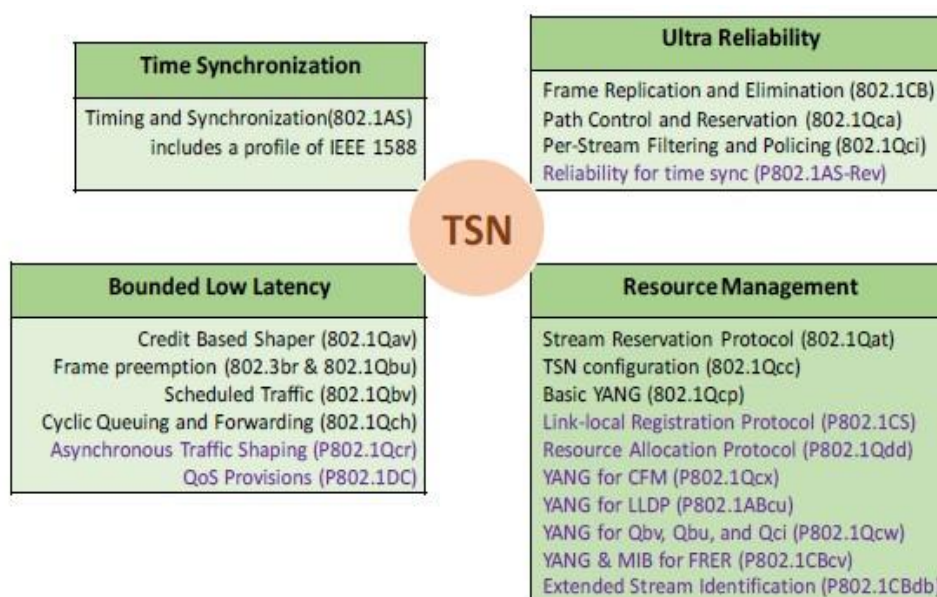
Παρέχει ακριβή time synchronization κέντρου οργάνωσης και είναι πιο αποδοτικό με ακρίβεια χρόνου αναφοράς μικρότερου από 1 μs. Το IEEE802.1AS-Rev δημιουργεί ένα προφίλ IEEE 1588 PTP σύμβασης συγχρονισμού (synchronization convention) για το TSN. Ενισχύσει την ομοιότητα συγχρονισμού ρολογιών μεταξύ των TSN gadgets και επίσης βοηθά στην προσαρμογή μιας μη κρίσιμη αστοχίας. Ο στόχος του IEEE802.1AS-Rev είναι να συμβαδίζει με τους χρόνους συγχρονισμού για λεπτές εφαρμογές (thin applications) κατά τη διάρκεια της τυπικής δραστηριότητας του οργανισμού και μετά την προσθήκη, διαγραφή ή σβήσιμο και ανακατασκευή στοιχείων δικτύου.

Limited Low Inertia

Μία από τις σημαντικές βελτιώσεις των AVB και TSN του οργανισμού IEEE 802.1 είναι η εγγύηση της συνεχούς μετάδοσης υποχρεωτικών μηνυμάτων. Το TSN παρέχει συνεχή μετάδοση υποχρεωτικών μηνυμάτων διασφαλίζοντας την αδράνεια βασικών πληροφοριών μέσω διαφόρων γραμμών και εναλλαγών θυρών

προκαταβολών. Το TSN λειτουργεί αδιαλείπτως μέσω δύο κατανεμημένων αρχών: IEEE 802.1Qbv και IEEE 802.1Qbu.

Το 802.1Qbv παρέχει χρονικά ευαίσθητη διαμόρφωση κυκλοφορίας (time-sensitive traffic shaping), η οποία περιστασιακά παρέχει έλεγχο στη ροή δίνοντας ένα κατάλληλο χρονοδιάγραμμα σε διάφορες κατηγορίες κυκλοφορίας πληροφοριών για να αποφασίσουν την έναρξη και το τέλος του session εκ των προτέρων. Αυτή η ευαίσθητη στον χρόνο επιλογή μετάδοσης μπορεί να λειτουργήσει σε επίπεδο οργανισμού όταν έχει ρυθμιστεί και συγχρονιστεί κατάλληλα το πρότυπο IEEE 802.1AS-Rev. Το IEEE 802.1Qbu κανονικοποιεί (standardizes) ένα στοιχείο κατάσχεσης (seizure element) που επιτρέπει στα βασικά μηνύματα χρόνου να παρεμποδίζουν συνεπείς μη βασικές μεταδόσεις.



Εικόνα 12- TNS Tools

Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία των πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας για τις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών στο TSN, ιδιαίτερα σε περίπτωση σφαλμάτων. Τα πρότυπα IEEE 802.1CB και IEEE P802.1Qca προτείνουν ένα στοιχείο που επιτρέπει την αναπαραγωγή και την αναμετάδοση πληροφοριών με ποικίλους τρόπους. Αυτό το σύστημα αναπτύσσει περαιτέρω την αξιοπιστία επικοινωνώντας διάφορα αντίγραφα παρόμοιων δεσμών με διαφορετικούς τρόπους στον οργανισμό. Πιο σημαντική είναι η απλότητα των επαναλαμβανόμενων εργασιών που εκτελούνται από αυτά τα συστήματα σε εφαρμογές email. Επιπλέον, οι οδηγίες φιλτραρίσματος ανά ροή του IEEE 802.1Qci ενισχύουν την αξιοπιστία αποτρέποντας συγκρούσεις, σφάλματα και κακόβουλες δραστηριότητες κατά τη μετάδοση δεδομένων.

Η αποτελεσματική διαχείριση περιουσιακών στοιχείων είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη ντετερμινιστικής δικτύωσης. Η κράτηση περιουσιακών στοιχείων και το διοικητικό συμβούλιο διαδραματίζουν βασικό ρόλο σε αυτό το θέμα. Το TSN παρέχει διάφορες κατευθυντήριες γραμμές για τη διασφάλιση της σωστής παρακολούθησης και διατήρησης της ταχύτητας μεταφοράς. Τα μοντέλα διάταξης TSN (IEEE P802.1Qcc) ορίζουν τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων στις εγκαταστάσεις πλακέτας. Το TSN προσφέρει ένα πακέτο συστημάτων και σημείων σύνδεσης στο 802.1Qcc για την υποστήριξη έγκυρου αναγνωριστικού ID, πρόσληψης και διευθέτησης. Η πλακέτα TSN (TSN board) επιτρέπει τον ακριβή προγραμματισμό της κυκλοφορίας του χρόνου χρησιμοποιώντας ρυθμίσεις προγραμματισμού.

Η κατανομή συσκευών μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τη Διαμόρφωση Ενοποιημένου Δικτύου (CNC), ενώ η Κεντρική Διαμόρφωση Χρήστη (CUC) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συσκευές τελικού κόμβου. Το πλήρως ενσωματωμένο μοντέλο ανάπτυξης χρησιμοποιεί μια προσέγγιση δικτύωσης που

καθορίζεται από λογισμικό (SDN). Το CNC και το CUC παρέχουν λεπτομερή έλεγχο αντί να βασίζονται σε τυπικά πρωτόκολλα. Ελλείψει CNC ή CUC, τα συμβόλαια καταναμημένου ελέγχου λειτουργούν στο πλήρως ενοποιημένο μοντέλο.

Ενότητα 5-Ντετερμινιστική χρήση του χρόνου στη βιομηχανία

5.1. Πλεονεκτήματα Time-Deterministic στον Τομέα της Βιομηχανίας

Ο σύγχρονος αυτοματισμός είναι ένα σύστημα που αποτελείται από agents και κατέχει εξέχουσα θέση στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Σε αυτό το πλαίσιο, οι πληροφορίες και οι εντολές ανταλλάσσονται μεταξύ των εργαλείων παραγωγής μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό πλαίσιο. Για ένα ευέλικτο σύστημα συνεχούς παραγωγής μια καθυστέρηση 10-50ms είναι αποδεκτή. Ωστόσο, σε ένα σκληρό σύστημα παραγωγής σε πραγματικό χρόνο όπου οι εργασίες πρέπει να ολοκληρωθούν εντός αυστηρής προθεσμίας, η καθυστέρηση πρέπει να είναι κάτω από 1ms λόγω του σύντομου χρόνου επεξεργασίας. Παρά την απαίτηση χαμηλής καθυστέρησης, ένας σημαντικός όγκος πληροφοριών πρέπει να μεταδοθεί χωρίς απώλεια ή χαμηλό jitter για αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο (Larrañaga, 2020).

Προκειμένου να διευκολυνθεί η ντετερμινιστική επικοινωνία, οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στο Time-Sensitive Networking (TSN). Αναπτύχθηκε από την IEEE 802.1 Task Group. Το TSN είναι μια τυποποιημένη τεχνολογία που βασίζεται σε Ethernet (802.3) που επιτυγχάνει χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης, χαμηλό jitter και αξιόπιστη παράδοση πακέτων. Το TSN μέσω Ethernet μπορεί να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο και απαιτεί καλωδίωση, εξοπλισμό δικτύου κ.λπ. για τη σύνδεση συσκευών ανάπτυξης. Ωστόσο, στις σύγχρονες επιχειρήσεις, τα ενσύρματα δίκτυα δεν προσφέρουν την απαραίτητη ευελιξία και επεκτασιμότητα, καθώς το κόστος της καλωδίωσης αυξάνεται με την προσθήκη ή τη μετεγκατάσταση υλικού (Bello, 2019).

Για να αντιμετωπιστεί έλλειψη ευελιξίας και επεκτασιμότητας προτείνεται η χρήση απομακρυσμένου TSN για την επέκταση της τεχνολογίας TSN από ενσύρματα δίκτυα σε ασύρματα δίκτυα (όπως το 5G και το 802.11be). Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών συνθηκών και της δυναμικής επικοινωνίας μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων δικτύων, η τεχνολογία TSN που βασίζεται σε Ethernet δεν είναι συμβατή με τις ασύρματες τεχνολογίες και λίγοι ειδικοί είναι πρόθυμοι να εγκαταλείψουν το TSN. Στα ασύρματα δίκτυα, τα δίκτυα LTE και 802.11ax υποστηρίζουν ποικίλες διαδικασίες παραγωγής σε πραγματικό χρόνο. (Bello, 2019).

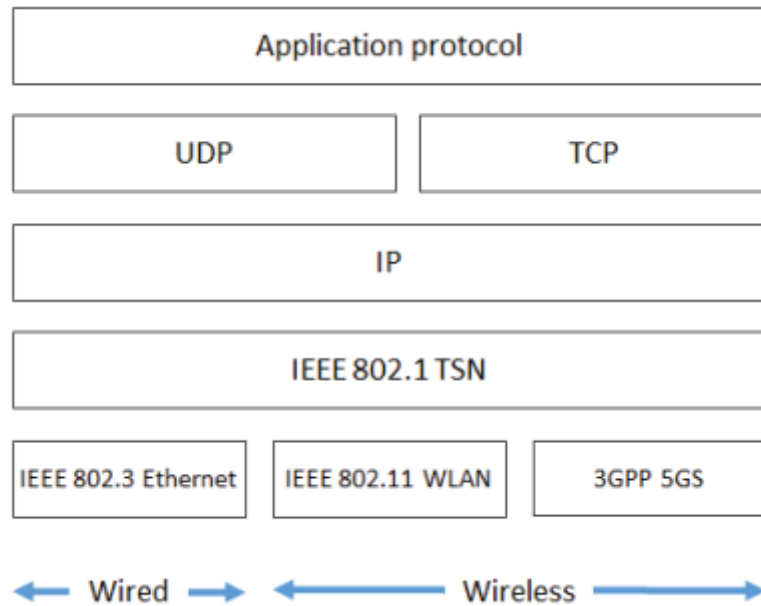
Παρά το γεγονός ότι η σκληρή διαδικασία συνεχούς συναρμολόγησης απαιτεί πολύπλοκη ντετερμινιστική μετάδοση, απαιτούνται προηγμένες εξελίξεις απομακρυσμένης αλληλογραφίας, για παράδειγμα, 5G και 802.11be. Για την αντιμετώπιση της περιστασιακά αποσταλμένης κίνησης TSN, θα πρέπει να διατηρείται time synchronization. Από τώρα, με το σκεπτικό ότι ένα 5GS δεν παρέχει time synchronization μεταξύ του εξοπλισμού πελάτη (UE), του οργανισμού απομακρυσμένης πρόσβασης (RAN) και της ικανότητας επιπέδου πελάτη (UPF), απαιτείται άλλο όργανο time synchronization. Επιπλέον, ένα νέο μέσο αποθήκευσης και κράτησης αναμένεται να χειριστεί την κυκλοφορία TSN, καθώς η διασφάλιση μιας ντετερμινιστικής αναβολής καθώς και μιας μικρής καθυστέρησης είναι θεμελιώδης (Bello, 2019).

Το WLAN μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για TSN. Το TSN μέσω WLAN μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς προσαρμογή του σχεδιασμού αναφοράς TSN, καθώς η καινοτομία WLAN είναι ένα από τα επίπεδα MAC της οικογένειας IEEE 802. Σε απομακρυσμένο TSN μέσω WLAN, απαιτείται time synchronization. Ωστόσο, ενώ η κάρτα διασύνδεσης δικτύου Ethernet (NIC) υποστηρίζει το Πρωτόκολλο Ακριβούς Χρόνου (PTP) για ακριβή time synchronization, μπορεί να γίνει αντιληπτός λιγότερο ακριβής συγχρονισμός με το σκεπτικό ότι το απομακρυσμένο NIC δεν παρέχει ρολόι

εξοπλισμού PTP (PHC). Για time synchronization, η εκτίμηση χρονισμού (TM) και η εκτίμηση ακριβούς χρονισμού (FTM) έχουν προταθεί προληπτικά στο απομακρυσμένο TSN.

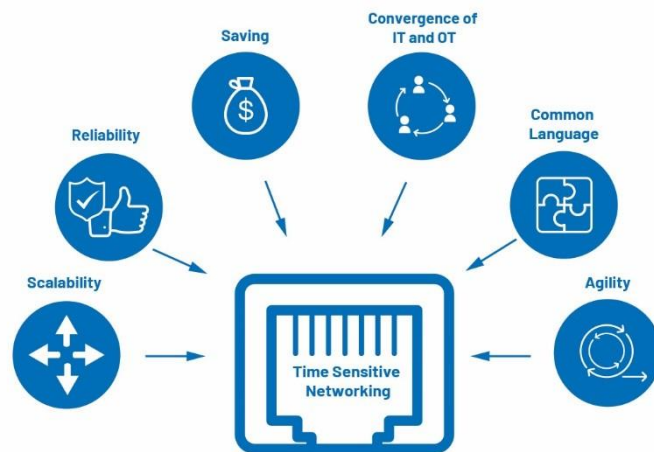
Τόσο το Ethernet όσο και το WLAN χρησιμοποιούν contention-based packet forwarding και καθορίζουν εάν θα μοιράζονται πακέτα με βάση την παρατήρηση κατάστασης καναλιού. Ωστόσο, το WLAN χρησιμοποιεί έναν τυχαίο μετρητή backoff για να αποφύγει τις συγκρούσεις, καθώς δεν μπορεί να τις εντοπίσει, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη καθυστέρηση μετάδοσης και υψηλό jitter. Επομένως, η επίτευξη σταθερής καθυστέρησης είναι πρόκληση.

Για το απομακρυσμένο TSN, προτιμάται η καινοτομία 5G και το WLAN που βασίζεται σε 802.11, παρά το ενσύρματο Ethernet. Το 3GPP και το IEEE κανονικοποιούν και εξερευνούν τις εξελίξεις για το απομακρυσμένο TSN σε 5GS και WLAN χωριστά. Όπως και να έχει, αναμένεται ότι το 5GS θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε σχέση με το WLAN για την εκτέλεση απομακρυσμένου TSN. Ως εκ τούτου, προτάθηκε μια σύνδεση δικτύου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το νέο ραδιόφωνο 5G (NR) και το WLAN, και στη συνέχεια θα δούμε τις σημαντικές καινοτομίες για τη διαχείριση του TSN ενόψει του προτεινόμενου σχεδιασμού. Η εργασία συντονίζεται ως εξής. Αρχικά, παρουσιάζουμε τις εξελίξεις και τις περιπτώσεις χρήσης TSN που βασίζονται σε Ethernet στην Ενότητα 2. Οι περιοχές 3 και 4 παρουσιάζουν τις συνέπειες εξερεύνησης του απομακρυσμένου TSN σε οργανισμούς 5G και WLAN που βασίζονται σε 802.11.



Εικόνα 13- Πρωτόκολλο TSN

Το TSN είναι μια επαύξηση της καινοτομίας διασταύρωσης βίντεο ήχου (AVB), η οποία εξαρτάται από το Ethernet. Η καινοτομία TSN αναμένει να προσφέρει σταθερή μεταφορά των δεσμών (links) με ντετερμινιστική αναβολή. Για να επιτευχθεί αυτό, η Ομάδα Εργασίας IEEE 802.1 TSN προώθησε ένα πρότυπο TSN που ενσωματώνει time synchronization, υποχρεωτικό χαμηλό λήθαργο, αταλάντευτη ποιότητα και on-board καινοτομίες.



Εικόνα 14- Πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου TSN (Time Sensitive Network)

Πηγή: Li (2020)

Η περιορισμένη καθυστέρηση μετάδοσης, η σταθερή ποιότητα και οι προόδους στοιχείων στο TSN εξαρτώνται από το time synchronization μεταξύ των κόμβων TSN. Για να επιτευχθεί συγχρονισμός σε εύρος χιλιοστών του δευτερολέπτου, το IEEE 802.1AS καθορίζει το gPTP ως τη μέθοδο για το time synchronization σε δίκτυα Ethernet. Το gPTP συγχρονίζει συσκευές δικτύου ανταλλάσσοντας μηνύματα συγχρονισμού μεταξύ του κύριου και του βοηθητικού ρολογιού. Το NIC σε συσκευές που βασίζονται σε Ethernet παρέχει το PHC, επιτρέποντας το συγχρονισμό του ρολογιού της εξαρτημένης συσκευής με την κύρια συσκευή. Compelled Low Latency, μια καινοτομία στην επικοινωνία πακέτων που εξασφαλίζει περιορισμένη καθυστέρηση μετάδοσης. (Li et al ., 2020)

Ενσωματώνοντας δυνατότητες αποστολής και διατήρησης που χαρακτηρίζονται από καθυστέρηση στο υπάρχον πλαίσιο IEEE 802.1, το TSN μπορεί να παρέχει χαμηλή καθυστέρηση στα δίκτυα. Κάθε επέκταση καθορίζει μια προκαθορισμένη καθυστέρηση μεταφοράς από την έναρξη της επεξεργασίας ροής

TSN έως την ολοκλήρωση εντός ενός συγχρονισμένου χρονικού κύκλου. Για την επίτευξη περιορισμένου λανθάνοντος χρόνου, έχει προταθεί μια χρονομετρημένη προσέγγιση σχεδιασμού και απόκτησης, όπου ο timeaware scheduling διαιρεί την κυκλοφορία Ethernet σε οκτώ προτεραιότητες και διασφαλίζει ότι ο εκχωρημένος χρόνος μετάδοσης κάθε προτεραιότητας εμπίπτει σε έναν κύκλο. Αυτή η προσέγγιση αποτρέπει την κυκλοφορία υψηλής προτεραιότητας από τον αποκλεισμό του καναλιού και τη σύγκρουση με την κυκλοφορία χαμηλής προτεραιότητας, με αποτέλεσμα χαμηλό λανθάνοντα χρόνο

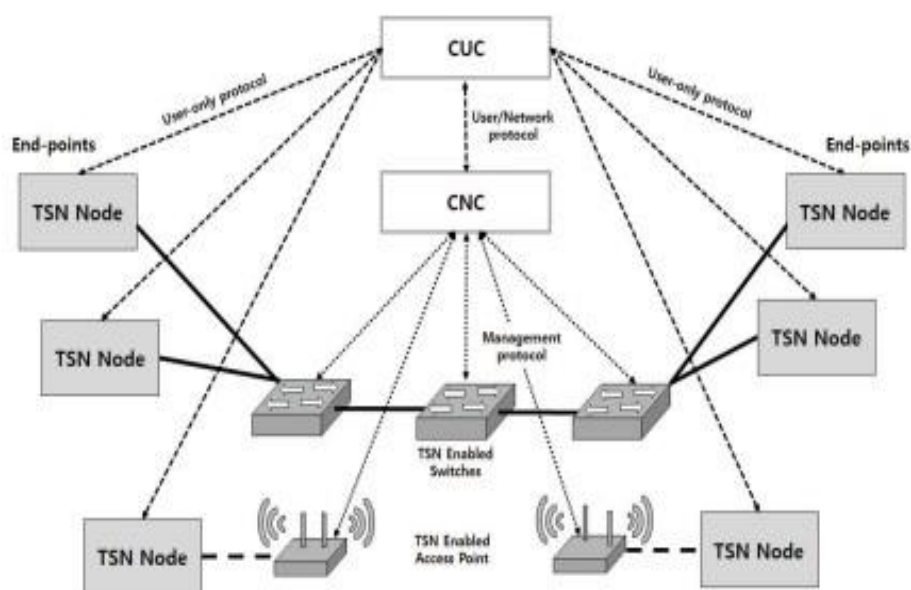
Δεύτερον, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται πιο επείγουσα ή κρίσιμη μετάδοση δέσμης, η κλίση περιγράμματος σταματά τη μετάδοση του τρέχοντος ενεργού πακέτου χαμηλής προτεραιότητας και αντ' αυτού στέλνει ένα πακέτο υψηλής προτεραιότητας. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα διακοπή μετάδοσης δέσμης. Το πρότυπο TSN ενισχύει την αξιοπιστία μετάδοσης πακέτων χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους για την αποστολή επαναλαμβανόμενων πακέτων.

Η επανάληψη της μετάδοσης πακέτων όχι μόνο βελτιώνει την αξιοπιστία της μετάδοσης αλλά βοηθά επίσης στην αποφυγή καθυστερήσεων στην αναμετάδοση λόγω σφαλμάτων δέσμης. Για να αποφευχθεί η υπερβολική αύξηση της κίνησης δικτύου που προκαλείται από αναμεταδόσεις, τα πλεονάζοντα πακέτα εξαλείφονται με άλλες μεθόδους μετάδοσης μόλις ένα πακέτο φτάσει στον προορισμό του. Η διαχείριση του TSN χρησιμοποιεί τρία μοντέλα: ένα πλήρως προσαρμοσμένο μοντέλο, ένα unified organization/distributed customer μοντέλο και ένα πλήρως ενοποιημένο μοντέλο.

Στο μοντέλο unified organization/distributed customer, τόσο οι clients όσο και οι χρήστες μπορούν να διαχειρίζονται assets χρησιμοποιώντας το Πρωτόκολλο κράτησης ροής (SRP) και τα δεδομένα πελατών/δικτυακών εγκαταστάσεων

μεταφέρονται στον κεντρικό ελεγκτή (CNC) του οργανισμού για κράτηση περιουσιακών στοιχείων. Το σχήμα 2 δείχνει πώς το πλήρως ενοποιημένο μοντέλο διαχειρίζεται και εποπτεύει τα assets μέσω του πελατοκεντρικού ελέγχου (CUC) και του CNC. Ομοίως, το κεντρικό μοντέλο, είτε χρησιμοποιεί CNC/CUC είτε το μοντέλο YANG, επιβλέπει τα assets. Το TSN έχει επεκταθεί σε απομακρυσμένους οργανισμούς ως απάντηση στην εμφάνιση νέων ασύρματων τεχνολογιών, όπως το 5G και το 802.11ax. Το μοντέλο απομακρυσμένου TSN, που βασίζεται στο 802.11, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 για έναν σύγχρονο οργανισμό. Προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το ενσύρματο TSN και έχει εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης, όπως πλαίσια κλειστού βρόχου και πλαίσια κινητών ρομπότ. Η χρήση του απομακρυσμένου TSN επιτρέπει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα, ευελιξία και χαμηλότερο κόστος συντήρησης τόσο για σασί κλειστού βρόχου όσο και για

κινητά ρομπότ.



Εικόνα 15- Χρήση του πρωτοκόλλου 801.11 στο TSN

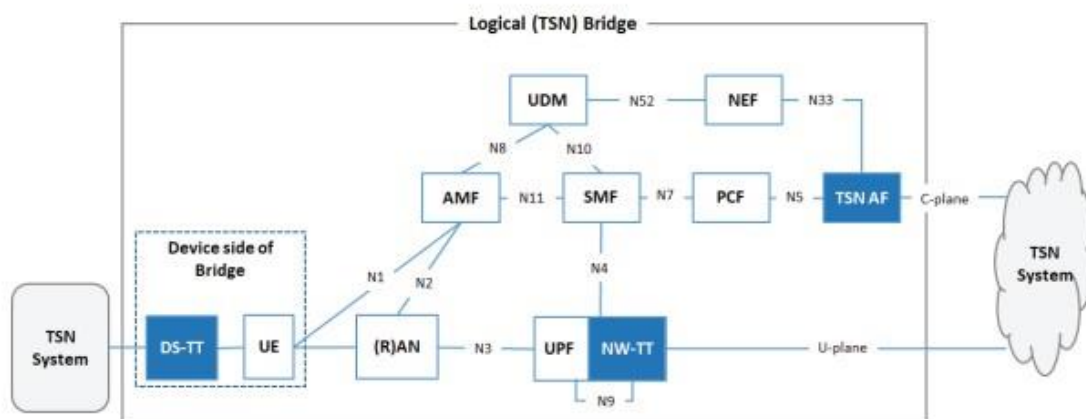
5.2. Τεχνολογία 3GPP 5G για TSN

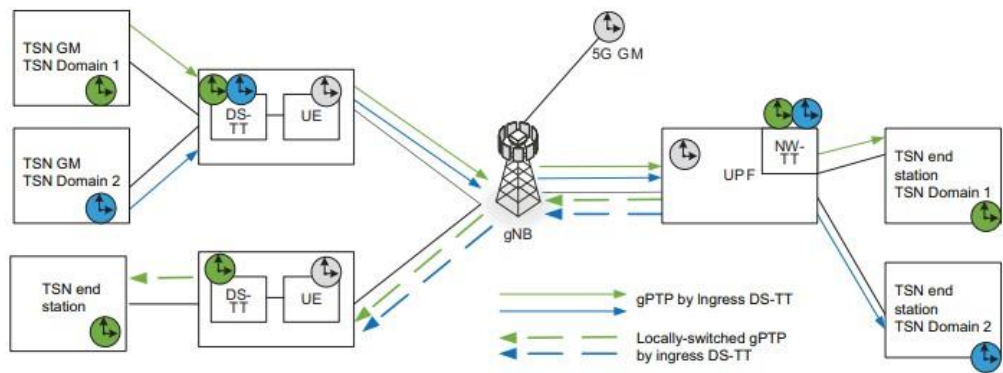
Η τεχνολογία 3GPP 5G για TSN 5GS επιτρέπει την αξιόπιστη επικοινωνία για την κυκλοφορία TSN μέσω της ενσωμάτωσης του στο δίκτυο TSN. Η 3GPP εισήγαγε ένα 5GS στην Έκδοση 15 για την υποστήριξη υπηρεσιών υψηλού εύρους ζώνης και ολοκλήρωσε τις εργασίες κανονικοποίησης στην Έκδοση 16. Η ανάπτυξη για την επίτευξη των απαιτήσεων αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης για μαζικό IoT ολοκληρώθηκαν το 2020. Η έκδοση 16 περιλάμβανε τρεις εξελίξεις που αναφέρονται στον Πίνακα 1 για την υποστήριξη προηγμένου IoT και καθιερώνουν τυπικές προδιαγραφές.

Μία από αυτές τις εξελίξεις, η καινοτομία διεπαφής IEEE 802.1 TSN, η οποία δίνει προτεραιότητα στην ευαίσθητη στον χρόνο επικοινωνία, συνεχίζει να αναπτύσσεται στην Έκδοση 17.

Αυτή η ενότητα εξηγεί την τυπική καινοτομία για το 5GS που λειτουργεί με TSN, με βάση την Έκδοση 16 του 3GPP, και εξετάζει ζητήματα που σχετίζονται με την καινοτομία διασυνεργασίας TSN που αναπτύχθηκε στην Έκδοση 17. Για την υποστήριξη της εναρμόνισης με το TSN, έχουν εξεταστεί διάφορα μοντέλα διασύνδεσης για το 3GPP 5GS. Επί του παρόντος, το 5GS λειτουργεί ως ενιαίο διάστημα TSN και διασυνδέεται με το TSN multi-span για να παρέχει τύπους βοήθειας. Το σχήμα 3 δείχνει ότι ένα νέο χαρακτηριστικό έχει προστεθεί στα επίπεδα control και client στο 5GS για επικοινωνία με τον χώρο TSN. Το 3GPP 5GS ορίζει τη λειτουργία διερμηνέα (interpreter) για διασυνεργασία με TSN, η οποία περιλαμβάνει τη συσκευή TSN (DS-TT) και τον διερμηνέα TSN από την πλευρά του δικτύου (NW-TT) για το επίπεδο client και τη λειτουργία εφαρμογής TSN (AF) για το επίπεδο control.

Τα DS-TT και NW-TT χρησιμεύουν ως θύρες scaffold, ενώ το TSN AF επικοινωνεί με το πλαίσιο TSN CNC για τον έλεγχο της διαχείρισης TSN. Το TSN AF έχει τον έλεγχο του DS-TT/NW-TT μέσω μιας σημαίας 5GS, η οποία επιτρέπει legal scaffolding εντός του εύρους 5GS, συμπεριλαμβανομένων των θυρών UPF, των περασμάτων UE-UPF και των θυρών DS-TT. Το UPF διαχειρίζεται την κυκλοφορία TSN εντός του 5GS εκτελώντας μια συνάντηση PDU σε μια θύρα DS-TT. Για να λειτουργήσει ως πεδίο TSN, τα δεδομένα του scaffold σχεδιάζονται στο 5GS και υπολογίζονται στο CNC δικτύου TSN. Το 5GS λαμβάνει δεδομένα σχεδίασης επέκτασης από το CNC, τα οποία αντιστοιχίζονται σε δεδομένα QoS 5GS, όπως το 5G QoS Identification (5QI) και το Time Sensitive Communication Assistance Information (TSCAI). Το TSN AF επικοινωνεί με το CNC στο 5GS, στέλνοντας δεδομένα θύρας και rack στο DS-TT/NW-TT.





Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε μελέτη των χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας των time-deterministic δικτύων, καθώς και των time-sensitive δικτύων. Τα εν λόγω δίκτυα μπορούν να καλύψουν και τις σύγχρονες ανάγκες και απαιτήσεις των βιομηχανιών. Στο σύγχρονο πλαίσιο μηχανοποίησης, οι πληροφορίες και οι έλεγχοι ανταλλάσσονται μεταξύ των εργαλείων συναρμολόγησης εντός ενός χαρακτηρισμένου χρονικού πλαισίου. Το ευαίσθητο πλαίσιο συνεχούς φόρμας που επιτρέπει ορισμένες παραλείψεις χρόνου αποκοπής απαιτεί αναβολή 10-50 ms. Σε ένα σκληρό πλαίσιο σταθερής δημιουργίας οι εργασίες πρέπει να ολοκληρωθούν εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

Η ανταλλαγή δεδομένων σε δίκτυα Ethernet στερείται προβλεψιμότητας επειδή εξαρτάται από την έννοια της βέλτιστης προσπάθειας. Ο τομέας αυτοματισμού και η 4^η βιομηχανική Επανάσταση αναζητά πάντα τρόπους για να δημιουργήσει γρήγορη, ακριβή και αξιόπιστη επικοινωνία. Ένα ντετερμινιστικό δίκτυο, μπορεί να προσφέρει πολλαπλά οφέλη, ειδικά στις βιομηχανίες. Τα δεδομένα ανταλλάσσονται με ακρίβεια και με προκαθορισμένο λανθάνοντα χρόνο.

Βιομηχανικές τεχνολογίες όπως το Industry 4.0 και το Industrial Internet of Things (IIoT) προκαλούν αύξηση της κίνησης των δικτύων. Για να φιλοξενήσουν τόσο μικρές συσκευές όσο και τεράστια συστήματα διακομιστών δεδομένων διατηρώντας παράλληλα την ελάχιστη καθυστέρηση για κρίσιμη επικοινωνία, τέτοια δίκτυα χρειάζονται ευελιξία και επεκτασιμότητα. Το TSN σχεδιάζει να εκπληρώσει καθεμία από αυτές τις απαιτήσεις. Για την ταυτόχρονη χρήση ντετερμινιστικής και μη ντετερμινιστικής επικοινωνίας, θα προσφέρει τυποποιημένους μηχανισμούς.

Τα Οφέλη που προσφέρουν τα δίκτυα time-deterministic είναι πολλαπλά:

- Βελτιωμένη συμπεριφορά κατά τον συγχρονισμό (IEEE 802.1AS)
- Πρόληψη μαζικής αναστολής πλαισίων (IEEE 802.1-2018)
- Βελτιώσεις για προγραμματισμένη κυκλοφορία (IEEE 802.1Q-2018)
- Δέσμευση εύρους ζώνης και έλεγχος διαδρομής (IEEEQ-202.81)

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφερθεί πως τα time-deterministic και time sensitive δίκτυα έχουν ακόμα περιθώριο βελτίωσης, καθώς εξελίσσονται συνεχώς και δεν έχουν διερευνηθεί ακόμα σε βάθος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Prisecaru, P. (2016). Challenges of the Fourth Industrial Revolution. Knowledge Horizons. Economics, 8(1), 57-62.
2. Xu, Min & David, Jeanne & Kim, Suk. (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. International Journal of Financial Research. 9. 90. 10.5430/ijfr.v9n2p90.
3. Fedullo, Tommaso & Morato, Alberto & Tramarin, Federico & Rovati, Luigi & Vitturi, Stefano. (2022). A Comprehensive Review on Time Sensitive Networks with a Special Focus on Its Applicability to Industrial Smart and Distributed Measurement Systems. Sensors. 22. 1638. 10.3390/s22041638.
4. Latha, V & Babu, Sharath. (2015). The evolution of the Ethernet: Various fields of applications. 1-7. 10.1109/GET.2015.7453807.
5. Thubert, Pascal. (2017). Converging over deterministic networks for an Industrial Internet.
6. Tan, Weiqian & Wu, Binwei. (2021). Long-distance Deterministic Transmission among TSN Networks: Converging CQF and DIP.
7. Joung, Jinoo & Kwon, Juhyeok. (2021). Zero Jitter for Deterministic Networks Without Time-Synchronization. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3068515
8. Feng, Tieshan & Zhang, Zhiyao & Gao, Feng & Wang, Jianlai. (2020). Research of Real-Time Deterministic Ethernet in Launch Vehicle. 995-999. 10.1109/ITOE49072.2020.9141781
9. Serna Oliver, Ramon & Craciunas, Silviu & Stöger, Georg. (2020). Analysis of Deterministic Ethernet Scheduling for the Industrial Internet of Things. 10.1109/CAMAD.2014.7033258.

10. Ginhör, David & Guillaume, Rene & Nayak, Naresh & Hoyningen-Huene, Johannes. (2021). Time-Sensitive Networking for Industrial Control Networks. 10.1007/978-3-030-51473-0_3.
11. Nasrallah, Ahmed & B, Venkatraman & Thyagaturu, Akhilesh & Reisslein, Martin & Elbakoury, Hesham. (2019). Large Scale Deterministic Networking: A Simulation Evaluation.
12. Steiner, Wilfried & Bonomi, Flavio & Kopetz, Hermann. (2014). Towards synchronous deterministic channels for the Internet of Things. 433-436. 10.1109/WF-IoT.2014.6803205.
13. Zhou, Zifan & Berger, Michael & Ruepp, Sarah & Yan, Ying. (2019). Insight into the IEEE 802.1 Qcr Asynchronous Traffic Shaping in Time Sensitive Network. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. 4. 10.25046/aj040128.
14. Joung, Jino. (2019). Regulating scheduler (RSC): A novel solution for IEEE 802.1 time sensitive network (TSN). Electronics. 8. 189. 10.3390/electronics8020189.
15. Chaudhary, Rajat & Aujla, Gagangeet & Kumar, Neeraj & Rodrigues, Joel. (2018). Optimized Big Data Management across Multi-Cloud Data Centers: Software-Defined-Network-Based Analysis. IEEE Communications Magazine. 56. 118-126. 10.1109/MCOM.2018.1700211.
16. Nasrallah, Ahmed & Thyagaturu, Akhilesh & Alharbi, Ziyad & Wang, Cuixiang & Shao, Xing & Reisslein, Martin & Bakoury, Hesham. (2018). Ultra-Low Latency (ULL) Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research. IEEE Communications Surveys and Tutorials. PP. 10.1109/COMST.2018.2869350.

17. Nasrallah, Ahmed & B, Venkatraman & Thyagaturu, Akhilesh & Reisslein, Martin & Elbakoury, Hesham. (2019). Large Scale Deterministic Networking: A Simulation Evaluation.
18. Craciunas, Silviu & Serna Oliver, Ramon & Chmelík, Martin & Steiner, Wilfried. (2016). Scheduling Real-Time Communication in IEEE 802.1Qbv Time Sensitive Networks.
19. Nasrallah, Ahmed & Thyagaturu, Akhilesh & Alharbi, Ziyad & Wang, Cuixiang & Shao, Xing & Reisslein, Martin & Elbakoury, Hesham. (2020). Performance comparison of IEEE 802.1 TSN time aware shaper (TAS) and asynchronous traffic shaper (ATS). IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2019.2908613. 10.1145/2997465.2997470.
20. Papadopoulos, Georgios Z. & Matsui, Tadanori & Thubert, Pascal & Texier, Géraldine & Watteyne, Thomas & Montavont, Nicolas. (2017). Leapfrog Collaboration: Toward Determinism and Predictability in Industrial-IoT Applications. 10.1109/ICC.2017.7997160.
21. Li, Yuting & Jiang, Junhui & Lee, Changdae & Hong, Seung. (2020). Practical Implementation of an OPC UA TSN Communication Architecture for a Manufacturing System. IEEE Access. 8. 10.1109/ACCESS.2020.3035548.
22. Specht, Johannes & Samii, Soheil. (2017). Synthesis of Queue and Priority Assignment for Asynchronous Traffic Shaping in Switched Ethernet. 178-187. 10.1109/RTSS.2017.00024.
23. Ayub Q, Zahid M S M, Rashid S, et al. 2017. Threshold based locking routing strategy for delay tolerant network Wireless Networks vol 19(8) pp 2067-78
24. Mahdian, Mohammad & Markakis, Evangelos & Saberi, Amin & Vazirani, Vijay. (2011). A Greedy Facility Location Algorithm Analyzed Using Dual Fitting. Lecture Notes in Computer Science. 127-137. 10.1007/3-540-44666-4_16.

25. Carofiglio, Giovanna & Mekinda, Leonce & Muscariello, Luca. (2015). FOCAL: Forwarding and Caching with Latency Awareness in Information-Centric Networking. 1-7. 10.1109/GLOCOMW.2015.7413972.
26. KIM, YOUJIN & Tracy, Nicole & Jung, Yeonjoo. (2016). A Measure of Proficiency or Short-Term Memory? Validation of an Elicited Imitation Test for SLA Research. *The Modern Language Journal*. 100. 655-673. 10.1111/modl.12346.
27. Thubert, Pascal. (2017). Converging over deterministic networks for an Industrial Internet.
28. Szczerban, Mijail & Estarán, José & Benzaoui, Nihel & Mardoyan, Haïk & Pointurier, Yvan. (2020). Real-Time Node Local Control for Ultra-Dynamic and Deterministic All-Optical Intra Data Center Networks. T3K.4. 10.1364/OFC.2020.T3K.4.
29. Wetterwald, Patrick. (2015). Fog Computing Distributing Data and Intelligence for Resiliency and Scale Necessary for IoT. *Ubiquity*. 2015. 1-12. 10.1145/2822875.
- 30.
31. Bhattacharjee, Sushmit & Schmidt, Robert & Kostas, Katsalis & Chang, Chia Yu & Bauschert, Thomas & Nikaein, Navid. (2020). Time-Sensitive Networking for 5G Fronthaul Networks. 1-7. 10.1109/ICC40277.2020.9149161.
32. Wang, Chuanan & Hu, Bo & Chen, Shanzhi & Li, Desheng & Liu, Bin. (2017). A Switch Migration-Based Decision-Making Scheme for Balancing Load in SDN. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2017.2684188.
33. Larrañaga, Ana & Lucas-Estañ, María del Carmen & Martinez, Imanol & Val, Inaki & Gozalvez, J.. (2020). Analysis of 5G-TSN Integration to Support Industry 4.0. 10.1109/ETFA46521.2020.9212141.

34. Lo Bello, Lucia & Steiner, Wilfried. (2019). A Perspective on IEEE Time-Sensitive Networking for Industrial Communication and Automation Systems. Proceedings of the IEEE. PP. 1-27. 10.1109/JPROC.2019.2905334.