

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



Ημερομηνία:

Αρ. Πρωτ. :

[Συμπληρώνεται από τη Γραμματεία]

Προς:

Γραμματεία Τμήματος

Μηχανικών Βιοϊατρικής

ΠΡΟΤΑΣΗ

ΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

του Μενέλαου Σκοντράνη

με θέμα

«Spiking Photonic Chips for Neuromorphic Computing and Hardware Security Applications»

Προτεινόμενος επιβλέπων Μεταδιδακτορικής Έρευνας

Αναπληρωτής Καθηγητής Χάρης Μεσαριτάκης

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η ταχεία πρόοδος της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και των Big Data την τελευταία εικοσαετία έχει προκαλέσει ριζικές αλλαγές στο παγκόσμιο τεχνολογικό τοπίο. Ιδιαίτερα, η μελέτη της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου ενέπνευσε την ανάπτυξη τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία, σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς Von Neumann επεξεργαστές, βασίζονται στη συλλογική λειτουργία πολλών απλών μονάδων επεξεργασίας (νευρώνες) οι οποίοι ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους με τη χρήση παλμών δυναμικού (spikes). Οι αρχικές υλοποιήσεις των τεχνητών νευρωνικών δικτύων πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση συμβατικών επεξεργαστών (CPU και GPU), οι οποίοι ενσωματώνουν όλες τις εγγενείς αδυναμίες της ηλεκτρονικής τεχνολογίας, όπως αυξημένες ανάγκες ψύξης, υψηλό ενεργειακό αποτύπωμα και περιορισμένη ταχύτητα επεξεργασίας. Οι αδυναμίες αυτές, σε συνδυασμό με την ανάγκη για πιο αποδοτικές λύσεις, ώθησαν την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση εναλλακτικών τεχνολογιών για την ανάπτυξη των επεξεργαστών του μέλλοντος.

Προς αυτή την κατεύθυνση, η φωτονική τεχνολογία έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση καθώς προσφέρει εξαιρετικά γρήγορους χρόνους απόκρισης, χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και δυνατότητα συχνοτικής και χρονικής πολυπλεξίας. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα

μεταδιδακτορική έρευνα επικεντρώνεται στην αξιοποίηση ολοκληρωμένων φωτονικών κυκλωμάτων που έχουν παραχθεί στο πλαίσιο του έργου PROMETHEUS (Grant Agreement No 101070195), με στόχο την ανάπτυξη φωτονικών νευρωνικών δικτύων και προηγμένων τεχνικών φυσικής ασφάλειας μέσω φωτονικών φυσικά μη κλωνοποιήσιμων λειτουργιών (PUFs).

Στόχοι

1. Πλήρης χαρακτηρισμός των στατικών και δυναμικών ιδιοτήτων των spiking Gain Saturable Absorber (GSA) λέιζερ.
2. Ανάπτυξη φωτονικών νευρομορφικών συστημάτων για ταξινόμηση δεδομένων μέσω time-delay reservoir computing και time-delay extreme learning machines.
3. Υλοποίηση PUFs για εφαρμογές ασφάλειας.

Μεθοδολογία

Φάση 1: Χαρακτηρισμός των GSA Lasers

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τον στατικό και δυναμικό χαρακτηρισμό των GSA λέιζερ τα οποία διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς το μήκος κοιλότητας του λέιζερ και τα χαρακτηριστικά του απορροφητή (μήκος, θέση και τάση).

. Θα πραγματοποιηθούν:

- Μετρήσεις ισχύος εξόδου των GSA λέιζερ σε σχέση με το ρεύμα άντλησης και τη τάση του απορροφητή.
- Ανάλυση των παραγόμενων spikes (κατώφλι ενεργοποίησης, μέγιστη ισχύς παλμών, διάρκεια παλμών (FWHM) και ρυθμός εκπομπής) για διάφορα ρεύματα άντλησης και τάσεις του απορροφητή με τη χρήση υψηλής ταχύτητας παλμογράφων, RF και οπτικών φασματογράφων για χρονική και συχνотική ανάλυση.
- Συγκριτική μελέτη με αριθμητικά μοντέλα ρυθμών (rate equations models) ώστε να προβλεφθεί και να ερμηνευθεί η μη γραμμική συμπεριφορά.

Φάση 2: Υλοποίηση Neuromorphic Υπολογιστών

Στη δεύτερη φάση, θα σχεδιαστούν και θα υλοποιηθούν νευρομορφικές αρχιτεκτονικές spiking time-delay reservoir computing (TD-RC) και spiking extreme learning machines (TD-ELMs) με τεχνικές χρονικής πολυπλεξίας. Η είσοδος των δεδομένων θα αποτυπωθεί σε διακυμάνσεις του ρεύματος άντλησης (εικόνες χειρόγραφων ψηφίων MNIST, κινούμενα κύτταρα) ενώ η κωδικοποίηση των εξόδων του δικτύου θα είναι είτε δυαδική είτε rate-encoded. Την ταξινόμηση των εξόδων του δικτύου θα επωμιστεί ένα απλό πλήρες συνδεδεμένο νευρωνικό δίκτυο για να αποφευχθούν τα υψηλά κόστη εκπαίδευσης των μεγάλων νευρωνικών δικτύων.

Φάση 3: Ανάπτυξη Photonic PUFs

Η τρίτη φάση αφορά την ανάπτυξη PUFs βασισμένων στα GSA λέιζερ για κρυπτογραφικές εφαρμογές και ενίσχυση φυσικής ασφάλειας σε συστήματα hardware. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιώντας τις αναπόφευκτες κατασκευαστικές διαφοροποιήσεις των GSA λέιζερ θα κατασκευαστούν κρυπτογραφικά κλειδιά τα οποία θα παράγουν μοναδικές και μη αντιγράψιμες χρονικές αποκρίσεις σε κοινές εισόδους. Η αξιολόγηση των επιδόσεων τους θα γίνει με τη χρήση δεικτών μοναδικότητας, επαναληψιμότητας και της Ευκλείδειας απόστασης.

Χρονοδιάγραμμα (Διάρκεια: 24 μήνες)

- **Μήνες 1–6:**
Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων, στατικές και δυναμικές μετρήσεις GSA lasers.
 - **Μήνες 7–12:**
Ολοκλήρωση χαρακτηρισμού και ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων. Πιλοτική υλοποίηση νευρομορφικών δομών.
 - **Μήνες 13–18:**
Πλήρης ανάπτυξη TD-RC και TD-ELMs για την ταξινόμηση δεδομένων εικόνας (MNIST και κυτταρομετρία). Βελτιστοποίηση παραμέτρων απόδοσης.
 - **Μήνες 19–24:**
Ανάπτυξη και αξιολόγηση PUFs. Οριστικοποίηση αποτελεσμάτων και συγγραφή επιστημονικών δημοσιεύσεων.
-

Αναμενόμενα Αποτελέσματα

- Πλήρης πειραματική και θεωρητική κατανόηση της spiking δυναμικής των GSA λέιζερ.
- Υλοποίηση φωτονικών νευρομορφικών επεξεργατών με δυνατότητες ταξινόμησης εικόνας και βιοϊατρικών δεδομένων.
- Ανάπτυξη ασφαλών και ανθεκτικών PUFs, ενισχύοντας την κρυπτογραφία υλικού και τη φυσική ασφάλεια.
- Δημοσιεύσεις υψηλού επιπέδου σε τομείς φωτονικής, υπολογιστικής νευρομηχανικής και ασφάλειας υλικού.

Η προτεινόμενη έρευνα αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην πρόοδο της φωτονικής τεχνολογίας και των νευρωνικών υπολογιστικών αρχιτεκτονικών, συνεισφέροντας τόσο στη βασική επιστήμη όσο και στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών αιχμής, σε ευθυγράμμιση με τους στόχους των προγραμμάτων PROMETHEUS και QUASAR.

Ο αιτών

Μενέλαος Σκοντράνης