



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού

Κατεύθυνση Β':

Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου και Ρομποτικής

Προηγμένα Συστήματα Κατεργασιών

(CIM – Industry 4.0)

Δεύτερη Εργασία Εξαμήνου

*Πρόβλεψη θερμοκρασίας - χρόνου σε σημεία πλάκας συγκόλλησης με
τεχνητά νευρωνικά δίκτυα*

<i>Συμμετέχοντες</i>	<i>ΑΜ</i>
<i>Γεώργιος Κασσαβετάκης</i>	<i>02121203</i>
<i>Γεώργιος Κρομμύδας</i>	<i>02121208</i>
<i>Λάμπης Παπακώστας</i>	<i>02121211</i>

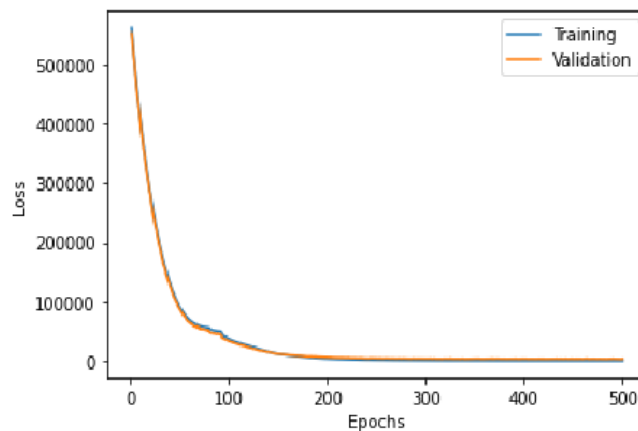
ΑΘΗΝΑ, 2023

Ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παραγωγή ενός συνόλου δεδομένων που αφορά την θερμοκρασία μιας κατεργασίας συγκόλλησης και την επεξεργασία αυτών μέσω δύο μοντέλων νευρωνικών δικτύων, τα οποία προβλέπουν την μέγιστη θερμοκρασία πάνω στην πλάκα συγκόλλησης και τον εκτιμώμενο χρόνο για τις θερμοκρασίες που βρίσκονται πάνω από τους 723°C αντίστοιχα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση και την επικύρωση των νευρωνικών δικτύων δημιουργήθηκαν από το αρχείο **welding_sim_2022_no_interface.exe**. Εν συνεχεία, τα παραγόμενα .csv αρχεία επεξεργάστηκαν και ενσωματώθηκαν σε ένα τελικό .csv αρχείο που περιλαμβάνει και τις αντίστοιχες εισόδους (θέση στο δοκίμιο, πάχος του δοκιμίου, ισχύς και ταχύτητα ηλεκτροδίου και αρχική θερμοκρασία) μαζί με τις εξόδους που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση των μοντέλων μηχανικής μάθησης. Η επεξεργασία, καθώς και η απομάκρυνση των εσφαλμένων και μη έγκυρων αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε από κώδικα σε **MATLAB**. Τέλος, το αρχείο **create_data.py** κατηγοριοποιεί το τελικό .csv αρχείο σε τρία υποσύνολα *training*, *testing* και *validation*, για κάθε ένα από τα νευρωνικά δίκτυα και τα αποθηκεύει στον φάκελο **data**. Πρέπει να τονίσουμε ότι, το *training set* αποτελείται από το 80% των δεδομένων, το *testing set* αποτελείται από το 10% των δεδομένων και τέλος, το υπόλοιπο 10% αποτελεί το *validation set*.

Το πρώτο νευρωνικό δίκτυο προβλέπει την μέγιστη θερμοκρασία στα σημεία της πλάκας συγκόλλησης. Πραγματοποιήθηκαν οκτώ πειράματα με οκτώ διαφορετικές αρχιτεκτονικές, με την καλύτερη λύση να αποτελείται από δύο κρυμμένα επίπεδα. Αναλυτικότερα, το πρώτο κρυμμένο επίπεδο περιέχει 64 νευρώνες με συνάρτηση ενεργοποίησης την $\tanh(\cdot)$ και το δεύτερο κρυμμένο επίπεδο αποτελείται από 32 νευρώνες με συνάρτηση ενεργοποίησης την $\text{sigmoid}(\cdot)$. Η εκπαίδευση πραγματοποιήθηκε σε 500 εποχές με ρυθμό μάθησης $lr = 0.005$. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο *Adam* και το κριτήριο ελαχιστοποίησης είναι η συνάρτηση *MSE* (Mean Error Square).

Στο Σχήμα 1.1, παρατηρούμε την πορεία των σφαλμάτων εκπαίδευσης και επικύρωσης κατά την διαδικασία την εκπαίδευσης.



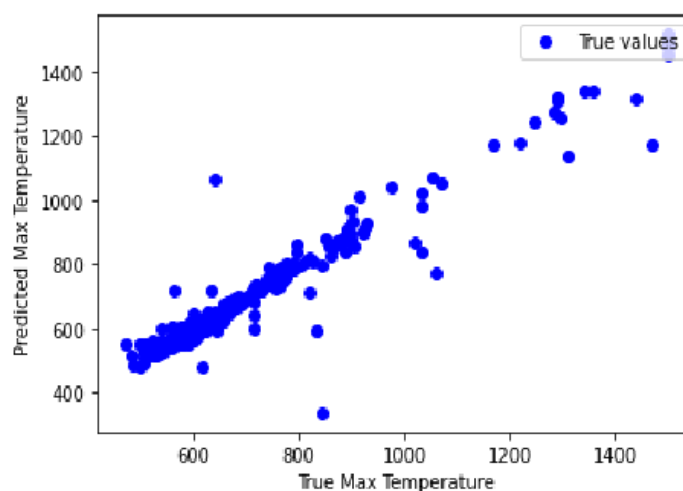
Σχήμα 1.1 Σφάλμα Εκπαίδευσης/Επικύρωσης Νευρωνικού Δικτύου Πρόβλεψης Θερμοκρασίας

Στο σχήμα 1.2, βλέπουμε την επίδοση του νευρωνικού δικτύου κατά την πρόβλεψη των μέγιστων θερμοκρασιών κατά τον έλεγχο.

```
Performance report
Mean Squared Error: 3233.37
Mean Absolute Error: 25.30
Median Absolute Error: 13.24
Max Error: 509.25
R2 score: 0.94
```

Σχήμα 1.2 Απόδοση Νευρωνικού Δικτύου Πρόβλεψης Θερμοκρασίας

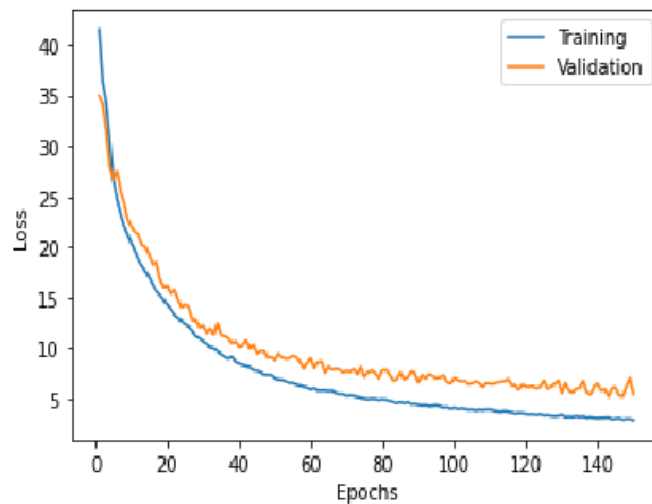
Τέλος, στο σχήμα 1.3 βλέπουμε την πρόβλεψη που κάνει το νευρωνικό δίκτυο κατά τον έλεγχο.



Σχήμα 1.3 Σχέση Πραγματικής και Εκτιμώμενης Θερμοκρασίας

Το δεύτερο νευρωνικό δίκτυο που υλοποιήθηκε προβλέπει τον εκτιμώμενο χρόνο για τις θερμοκρασίες που έχουν τιμή πάνω από τους 723°C. Πραγματοποιήθηκαν 8 πειράματα με οκτώ διαφορετικές αρχιτεκτονικές, με την καλύτερη λύση να αποτελείται από δύο κρυμμένα επίπεδα. Αναλυτικότερα, το πρώτο κρυμμένο επίπεδο περιέχει 64 νευρώνες με συνάρτηση ενεργοποίησης την $ReLU(.)$ και το δεύτερο κρυμμένο επίπεδο αποτελείται από 32 νευρώνες με συνάρτηση ενεργοποίησης την $ReLU(.)$. Η εκπαίδευση πραγματοποιήθηκε σε 150 εποχές με ρυθμό μάθησης $lr = 0.001$. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο *Adam* και το κριτήριο ελαχιστοποίησης είναι η συνάρτηση $MSE(Mean Error Square)$.

Στο Σχήμα 2.1, παρατηρούμε την πορεία των σφαλμάτων εκπαίδευσης και επικύρωσης κατά την διαδικασία την εκπαίδευσης.



Σχήμα 2.1 Σφάλμα Εκπαίδευσης/Επικύρωσης Νευρωνικού Δικτύου Πρόβλεψης Θερμοκρασίας

Στο σχήμα 2.2, βλέπουμε την επίδοση του νευρωνικού δικτύου κατά την πρόβλεψη των μέγιστων θερμοκρασιών κατά τον έλεγχο.

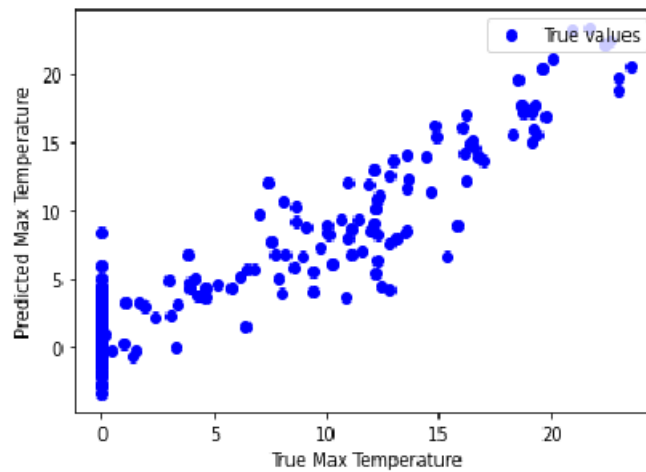
```

Performance report
Mean Squared Error: 3.59
Mean Absolute Error: 1.14
Median Absolute Error: 0.54
Max Error: 12.94
R2 score: 0.92

```

Σχήμα 2.2 Απόδοση Νευρωνικού Δικτύου Πρόβλεψης Θερμοκρασίας

Τέλος, στο σχήμα 2.3 βλέπουμε την πρόβλεψη που κάνει το νευρωνικό δίκτυο κατά τον έλεγχο.



Σχήμα 2.3 Σχέση Πραγματικής και Εκτιμώμενης Θερμοκρασίας

Κατά την διαδικασία εκπαίδευσης, εφαρμόστηκαν κάποιες κοινές διαδικασίες και στα δύο μοντέλα.

- Για την αποφυγή του overfitting κατά το πέρας των εποχών εκπαίδευσης, επιλέγεται και αποθηκεύεται το εκάστοτε μοντέλο με το μικρότερο validation loss σε σχέση με τις προηγούμενες εποχές.
- Στα δεδομένα εκπαίδευσης, πριν την διαδικασία εκπαίδευσης, εφαρμόστηκε μια συνάρτηση προ-επεξεργασίας ,ωστε οι τιμές τους να κυμαίνονται μεταξύ του διαστήματος $[0, 1]$.
- Για την επιλογή του εκάστοτε μοντέλου, χρησιμοποιείται το R2 Score καθώς αποτελεί ένα μέτρο της γενικότητας της μεταβλητής εξόδου σε σχέση με την συσχέτιση της ως προς τις μεταβλητές εισόδου.

Όλοι οι κώδικες, μαζί με τις εντολές εγκατάστασης και εκτέλεσης των επιμέρους προγραμμάτων, βρίσκεται στον επισυναπτόμενο φάκελο **Code**.