Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού

Κατεύθυνση Β':

Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου και Ρομποτικής

Προηγμένα Συστήματα Κατεργασιών

(CIM – Industry 4.0)

Τρίτη Εργασία Εξαμήνου

Γενετικός Αλγόριθμος βελτιστοποίησης κατεργασίας συγκόλλησης

Συμμετέχοντες	***ΑΜ***
Γεώργιος Κασσαβετάκης	*02121203*
Γεώργιος Κρομμύδας	*02121208*
Λάμπης Παπακώστας	*02121211*

ΑΘΗΝΑ, 2023

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων συγκόλλησης με σκοπό η μέγιστη θερμοκρασία των επιλεγμένων σημείων να είναι εντός του επιθυμητού διαστήματος. Η εύρεση των παραμέτρων αυτών θα επιτευχθεί με την χρήση γενετικού αλγόριθμου.

Τα σημεία της πλάκας τα οποία ικανοποιούν τις προδιαγραφές του προβλήματος έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Τα σημεία πρέπει να βρίσκονται στην επιφάνεια κόλλησης ($z_p = 0$)
2. Τα σημεία πρέπει να απέχουν από την επιφάνεια κόλλησης απόσταση 0.004m ($y_p = 0.02 \pm 0.004$)
3. Η μέγιστη θερμοκρασία του κάθε σημείου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $K = 750$°C και μικρότερη από $A = 1400$°C, με ιδανική θερμοκρασία την $\frac{K+A}{2}$

Επιλέγοντας το πάχος της πλάκας ίσο με 0.005m, και θεωρώντας το πρόβλημα συμμετρικό ως προς τον άξονα y, τα σημεία που ικανοποιούν τις προδιαγραφές του προβλήματος είναι της μορφής $\left(x_p, y_p, z_p\right) = (x, 0.024, 0), x \in [0, 0.05]$. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης ανάγεται στην κατάλληλη επιλογή της συναρτήσεων κόστους $f(x)$ και της συνάρτησης $g(x)$ που περιγράφει τους περιορισμούς του προβλήματος. Το πρόβλημα το οποίο θα λυθεί μέσω του γενετικού αλγόριθμου εκφράζεται ως:

$$\min_{\substack{x \\ g(x) \leq 0}} f(x)$$

Το αποτέλεσμα του νευρωνικού δικτύου που εκφράζει την μέγιστη θερμοκρασία σημείου εντός της πλάκας, σύμφωνα με τις υπόλοιπες παραμέτρους εισόδου, μοντελοποιείται από την συνάρτηση h, για την οποία ισχύει:

$$h\left(P_{Thickness}, T_0, P, v_E, x_p, y_p, z_p\right) = T_{max}(x_p, y_p, z_p)$$

Επιλέγοντας το πλήθος των εξεταζόμενων στοιχείων σε $N_{Points} = 8$, και τις συντεταγμένες x των σημείων ως $[0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03, 0.035, 0.04, 0.045]$ η συνάρτηση κόστους του προβλήματος εκφράζεται ως:

$$f(T_0, P, v_E) = \sum_{i=1}^{N_{Points}} \left(T_{max}\left(x_{p,i}, 0.024, 0\right) - \frac{K+A}{2}\right)^2 = \sum_{i=1}^{N_{Points}} \left(h\left(0.005, T_0, P, v_E, x_{p,i}, 0.024, 0\right) - \frac{K+A}{2}\right)^2$$

Για την εναπόθεση των περιορισμών προκύπτει με όμοιο τρόπο η σχέση:

$$g(T_0,P,v_E)=\begin{bmatrix} g_1(T_0,P,v_E) \\ \vdots \\ g_i(T_0,P,v_E) \\ \vdots \\ g_{2\times N_{points}}(T_0,P,v_E) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} K-T_{max}(x_{p,1},0.024,0) \\ \vdots \\ K-T_{max}(x_{p,N_{Points}},0.024,0) \\ T_{max}(x_{p,1},0.024,0)-A \\ \vdots \\ T_{max}(x_{p,N_{Points}},0.024,0)-A \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} K-h(0.005,T_0,P,v_E,x_{p,1},0.024,0) \\ \vdots \\ K-h(0.005,T_0,P,v_E,x_{p,N_{Points}},0.024,0) \\ h(0.005,T_0,P,v_E,x_{p,1},0.024,0)-A \\ \vdots \\ h(0.005,T_0,P,v_E,x_{p,N_{Points}},0.024,0)-A \end{bmatrix}\leq 0$$

Η εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου συνοδεύεται με προσαρμογή των περιορισμών στην συνάρτηση κόστους. Για τον λόγο αυτόν, χρησιμοποιούνται συναρτήσεις ποινής με συντελεστές R_i, όπου $R_i = 0$ όταν $g_i(T_0,P,v_E) \leq 0$ και $R_i = 1$ όταν $g_i(T_0,P,v_E) > 0$. Με την χρήση αυτών των συντελεστών προκύπτει η γενικευμένη συνάρτηση κόστους:

$$f_g(T_0,P,v_E)=\sum_{i=1}^{N_{Points}}\left(h(0.005,T_0,P,v_E,x_{p,i},0.024,0)-\frac{K+A}{2}\right)^2+\sum_{i=1}^{2\times N_{Points}} R_i g_i(T_0,P,v_E)^2$$

Από την παραπάνω συνάρτηση, με την χρήση μίας μικρής σταθεράς ε>0 για αποφυγή οριακής κατάστασης στην περίπτωση $f_g(T_0,P,v_E)=0$, προκύπτει η συνάρτηση καταλληλόλητας (*fitness function*) του γενετικού αλγορίθμου:

$$F(T_0,P,v_E)=\frac{1}{f_g(T_0,P,v_E)+\varepsilon}$$

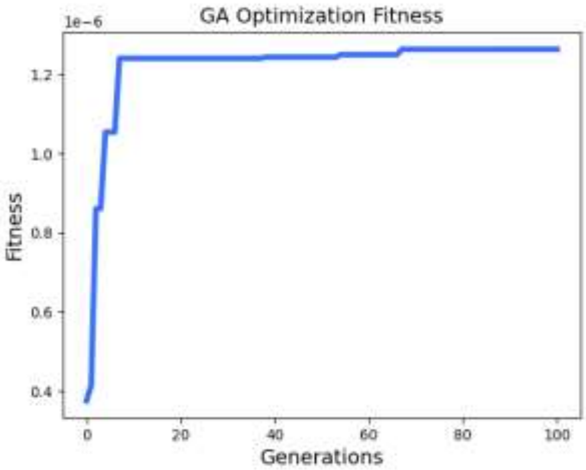
Ο γενετικός αλγόριθμος της εργασίας χρησιμοποιεί ένα χρωμόσωμα τριών γονιδίων, με πρώτο γονίδιο την τιμή της αρχικής θερμοκρασίας (T_0), δεύτερο γονίδιο την ισχύ ηλεκτροδίου (P) και τρίτο γονίδιο την ταχύτητα ηλεκτροδίου (v_E). Εκτενέστερα, επιλέχθηκε για τα γονίδια ο τύπος *float* με τιμές στα διαστήματα $(T_{0.min},T_{0.max}) = (180{,}240)$ και $(P_{min},P_{max}) = (900{,}1200)$ και $(v_{E.min},v_{E.max}) = (0.003{,}0.004)$. Τα διαστήματα των γονιδίων επιλέχθηκαν με βάση τις τιμές των παραμέτρων κανονικοποίησης (μέσος όρος, τυπική απόκλιση) των εισόδων του νευρωνικού δικτύου. Θεωρήθηκε ότι και ο γενετικός αλγόριθμος πρέπει να κινηθεί σε αυτό το διάστημα τιμών.

Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε για πληθυσμούς των 100 ατόμων και έτρεξε για 100 εποχές. Στα *Σχήμα 1* εμφανίζεται εξέλιξη της τιμής της συνάρτηση καταλληλόλητας των ατόμων του πληθυσμού και του βέλτιστου ατόμου σε συνάρτηση με τις γενεές. Στον αλγόριθμο επιπλέον έγινε επιλογή και των γενετικών τελεστών *selection*, *crossover* και *mutation*. Για τον τελεστή *selection* επιλέχθηκε η μέθοδος *<u>επιλογής με ρουλέτα</u>* για αριθμό γονέων 40, κρατώντας τους γονείς στον πληθυσμό. Επιπλέον, έγινε χρήση *<u>ελιτισμού</u>* για το βέλτιστο άτομο του πληθυσμού. Για τον τελεστή *crossover*, επιλέχθηκε η μέθοδος *<u>ενός σημείου διασταύρωσης</u>*, με πιθανότητα διασταύρωσης 60%. Τέλος, για τον τελεστή *mutation* επιλέχθηκε να εφαρμοστεί *<u>τυχαία επιλογή</u>* σημείου μετάλλαξης, με πιθανότητα μετάλλαξης 50%, με χρήση της παραμέτρου αντικατάστασης του γονιδίου από το τυχαία παραγόμενο γονίδιο.

Στον *Πίνακα 1* εμφανίζονται τα αποτελέσματα από την μέγιστη πρόβλεψη της θερμοκρασίας για τα πέντε καλύτερα άτομα του τελικού πληθυσμού ενώ στον *Πίνακα 2* εμφανίζονται τα αποτελέσματα κάθε πειράματος. Παρατηρώντας τα γραφήματα εξέλιξης των πειραμάτων (επισυναπτόμενα αρχεία) είναι εμφανές ότι ο ελιτισμός επιτρέπει στην γρηγορότερη σύγκλιση και σταθεροποίηση με κίνδυνο περιορισμού σε τοπικά μέγιστα. Επιπλέον, βλέπουμε ότι το μέγεθος του πληθυσμού δεν επηρεάζει πολύ την λύση στο πρόβλημα μας.

i	$InitT$	P	V	$Max\,T$ $x=0.01$	$Max\,T$ $x=0.015$	$Max\,T$ $x=0.02$	$Max\,T$ $x=0.025$	$Max\,T$ $x=0.03$	$Max\,T$ $x=0.035$	$Max\,T$ $x=0.04$	$Max\,T$ $x=0.045$
1	231.22	1065.08	0.0031	813.14	927.78	1036.42	1042.18	1060.69	1099.43	1079.01	1002.04
2	231.22	1037.56	0.0031	789.57	884.47	974.17	1060.93	1131.51	1140.86	1057.29	932.49
3	225.82	1065.61	0.0031	790.59	856.15	985.35	1051.11	1067.04	1045.74	1021.96	935.10
4	231.22	1054.41	0.0032	762.44	879.76	997.70	1056.91	1109.18	1143.35	1081.28	950.89
5	231.12	1086.53	0.0031	781.09	884.33	956.76	952.00	955.16	1009.71	1044.15	966.66

Πίνακας 1. Μέγιστη Πρόβλεψη Θερμοκρασίας Καλύτερου πληθυσμού



Σχήμα 1. Γράφημα Εξέλιξης Fitness ανά γενεές

Πείραμα	$InitT$	P	V	$Max\,T$ $x=0.01$	$Max\,T$ $x=0.015$	$Max\,T$ $x=0.02$	$Max\,T$ $x=0.025$	$Max\,T$ $x=0.03$	$Max\,T$ $x=0.035$	$Max\,T$ $x=0.04$	$Max\,T$ $x=0.045$
Standard Solution	231.22	1065.08	0.0031	813.14	927.78	1036.42	1042.18	1060.69	1099.43	1079.01	1002.04
No Elitism	231.12	1060.34	0.0031	811.34	925.14	1039.51	1052.33	1074.49	1113.00	1079.73	998.34
High Mutation	230.87	1062.84	0.0031	810.39	923.50	1038.20	1049.54	1068.83	1104.94	1077.53	999.24
Small Population	230.72	1066.93	0.0031	808.33	921.05	1032.49	1040.90	1057.82	1091.96	1074.76	999.76

Πίνακας 2. Αποτελέσματα Κάθε Πειράματος