

Ανάλυση Ευαισθησίας της Επίδρασης των Χαρακτηριστικών Λειτουργίας στην Αποτελεσματικότητα Δυναμικών Διαγραμμάτων Ελέγχου Παραγωγικών Διαδικασιών

Λαυρέντιος Ταργουτζίδης

Διπλωματούχος Χημικός Μηχανικός
Μεταπτυχιακός Φοιτητής ΔΙΠ, ΕΑΠ

targo70@gmail.com, std106645@ac.eap.gr

Γεώργιος Νενές

Αναπλ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτ. Μακεδονίας
Μέλος ΣΕΠ ΔΙΠ ΕΑΠ

gneses@uowm.gr

Περίληψη – Η παρούσα εργασία πραγματεύτηκε θέματα οικονομικής διάστασης των Δυναμικών Διαγραμμάτων Ελέγχου Shewhart. Πιο συγκεκριμένα, διερεύνησε με χρήση προσομοιώσεων και συνέκρινε το υπολογιζόμενο αναμενόμενο κόστος διεργασίας ανά μονάδα χρόνου, με αυτό που υπολογίσθηκε στην εργασία του Nenes (2011) με τίτλο «A new approach for the economic design of fully adaptive control charts» από αναλυτική μαθηματική επίλυση, που αποτελεί και την εργασία αναφοράς της παρούσας. Σε αυτή, με βασικό σενάριο το συνδυασμό Κανονικής Κατανομής του ποιοτικού χαρακτηριστικού της διεργασίας και Εκθετικής Κατανομής του χρόνου εμφάνισης συστηματικής αιτίας, επιλύθηκε με αναλυτικό μαθηματικό τρόπο το μοντέλο που θεμελιώθηκε, και υπολογίσθηκε το βέλτιστο σετ παραμέτρων που ελαχιστοποιούσε το αναμενόμενο κόστος διεργασίας ανά μονάδα χρόνου, για 32 υποθέσεις.

Στην παρούσα εργασία, για 7 από τις ανωτέρω υποθέσεις, εκτελέσθηκαν προσομοιώσεις με συνολικά 24 διαφορετικά σενάρια συνδυασμού στατιστικών κατανομών. Οι προσομοιώσεις, βασίσθηκαν στα βέλτιστα σετ παραμέτρων, που υπολογίσθηκαν με χρήση αλυσίδων Markov, στην ως άνω εργασία του Nenes (2011).

Η εφαρμογή των προσομοιώσεων έγινε, ώστε να διερευνηθούν σενάρια συνδυασμού κατανομών, που προσομοιάζουν καλύτερα στις πραγματικές συνθήκες. Τα σενάρια αυτά, είναι εξαιρετικά δύσκολο έως αδύνατο

να επιλυθούν με αναλυτικές μαθηματικές μεθόδους, χωρίς χρήση πολλών παραδοχών που επηρεάζουν την ακρίβεια της επίλυσης.

Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι, το αναμενόμενο κόστος λειτουργίας ανά μονάδα χρόνου, που υπολογίζεται αναλυτικά, με μαθηματική επίλυση του μοντέλου του βασικού σεναρίου, δεν επηρεάζεται ουσιαστικά, από τη χρήση άλλων στατιστικών κατανομών, αρκεί, αφενός, να διατηρούνται τα ίδια σετ παραμέτρων και αφετέρου, οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των στατιστικών κατανομών να έχουν λογικές τυπικές αποκλίσεις.

Οπότε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις πραγματικές συνθήκες, όταν οι στατιστικές κατανομές δεν ακολουθούν το συνδυασμό του βασικού σεναρίου, εξοικονομώντας χρόνο και πόρους, απλουστεύοντας τη διαδικασία των εκτιμήσεων για το αναμενόμενο κόστος λειτουργίας ανά μονάδα χρόνου μιας διεργασίας.

Λέξεις-Κλειδιά: Δυναμικά Διαγράμματα Ελέγχου, συστηματική αιτία, αναμενόμενο κόστος λειτουργίας ανά μονάδα χρόνου, βελτιστοποίηση παραμέτρων, προσομοίωση

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την οικονομική διάσταση των Διαγραμμάτων Ελέγχου $\bar{F}$ - και κυρίως, των V_p - Shewhart και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προσομοιώσεων με αυτά της αναλυτικής μαθηματικής επίλυσης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων του συνδυασμού των βασικών παραδοχών που χρησιμοποίησε ο κ. Νενές το 2011 στην εργασία του με τίτλο «A new approach for the economic design of fully adaptive control charts», που αποτελεί και την εργασία αναφοράς της παρούσας.

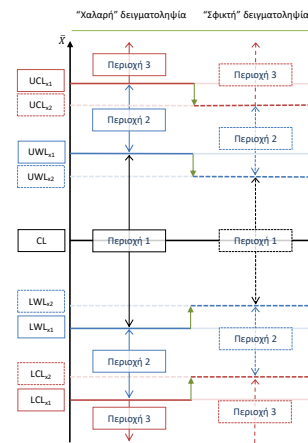
Αντικείμενα και στόχοι της παρούσας εργασίας, είναι

- η δημιουργία λογισμικού με το οποίο θα εφαρμοσθούν προσομοιώσεις στις διεργασίες που περιγράφονται στις 7 από τις 32 υποθέσεις της εργασίας αναφοράς
- η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της αναλυτικής επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου της εργασίας αναφοράς, άρα και της αξιόπιστης λειτουργίας του λογισμικού των προσομοιώσεων
- η διερεύνηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, από την εφαρμογή 24 σεναρίων άλλων συνδυασμών στατιστικών κατανομών, τόσο στην πρόβλεψη εμφάνισης της συστηματικής αιτίας, όσο και στην κατανομή του ποιοτικού χαρακτηριστικού της διεργασίας.

Το ζητούμενο και κύριος στόχος της εργασίας είναι το εάν, η χρήση άλλων στατιστικών κατανομών από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο αναλυτικό μαθηματικό μοντέλο, διαφοροποιούν το αναμενόμενο κόστος της διεργασίας.

Τα Διαγράμματα Ελέγχου Fp-Shewhart, είναι τα Διαγράμματα που έχουν σταθερές παραμέτρους ($Fp = \text{Fixed parameters}$) και κυρίως αφορούν το μέγεθος των Ορίων Ελέγχου, τα διαστήματα δειγματοληψίας και το μέγεθος δείγματος. Είναι η πιο τυπική και κλασσική μορφή Διαγράμματος Ελέγχου Shewhart.

Η μετεξέλιξη των Διαγραμμάτων Ελέγχου Fp-Shewhart, είναι τα Διαγράμματα Ελέγχου μεταβλητών παραμέτρων Vp-Shewhart ($Vp = \text{Variable parameters}$), όπου μία ή περισσότερες παράμετροι μεταβάλλονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος επίλυσης προβλημάτων που προέρχονται από ειδικά αίτια σε μια διεργασία που παρακολουθείται, που τελικώς οδηγεί, πέραν της αρτιότερης λειτουργίας της διεργασίας και της βέλτιστης αποδοτικότητάς της, σε βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα. Η λειτουργία του Vp-Shewhart (Nenes, 2011) φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Απεικόνιση περιοχών λειτουργίας ΔΕ Vp- X Shewhart

Οι τρεις περιοχές του προτεινόμενου ΔΕ Vp-X Shewhart, ορίζονται ως εξής:

- Περιοχή 1 : η μέση τιμή του δείγματος, βρίσκεται μεταξύ της Κεντρικής Γραμμής των Ορίων Προειδοποίησης
Απόφαση: συνέχιση διεργασίας και η επόμενη δειγματοληψία είναι «χαλαρή», με σετ παραμέτρων (h_1, n_1, k_1)
- Περιοχή 2: η μέση τιμή του δείγματος, βρίσκεται μεταξύ των Ορίων Προειδοποίησης και Ελέγχου
Απόφαση: συνέχιση διεργασίας και η επόμενη δειγματοληψία είναι «σφικτή», με σετ παραμέτρων (h_2, n_2, k_2)
- Περιοχή 3: η μέση τιμή του δείγματος, βρίσκεται εκτός των Ορίων Ελέγχου
Απόφαση: διακοπή διεργασίας, διόρθωση/επισκευή και «εξαφάνιση» συστηματικής αιτίας και η επόμενη δειγματοληψία είναι «χαλαρή», με σετ παραμέτρων (h_1, n_1, k_1)

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, είναι αυτή της μελέτης των επιλεχθέντων σεναρίων με προσομοιώσεις, με χρήση λογισμικού, που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C-Sharp, λογισμικό που ακολουθεί το βασικό μοντέλο λειτουργίας των Διαγραμμάτων Ελέγχου Fp-X και Vp-X Shewhart, που αναπτύσσεται στην εργασία του Nenes (2011). Τα κύρια στοιχεία και οι παραδοχές του μοντέλου που αναπτύχθηκε στην εργασία αναφοράς έχουν ως εξής:

Υποθέτουμε μια διεργασία που λειτουργεί συνεχώς, με το μετρούμενο χαρακτηριστικό ποιότητας, να είναι μια συνεχής, τυχαία,

κανονικά κατανομημένη μεταβλητή X , να έχει τιμή-στόχο την τιμή μ_0 και τυπική απόκλιση σ_0 . Ξεκινά πάντα με την τιμή-στόχο. Η 1^η βασική παραδοχή είναι ότι, η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί την Κανονική Κατανομή. Μια συστηματική αιτία, μπορεί να μεταβάλλει τη μέση τιμή μ_0 , αυξάνοντάς την ή μειώνοντάς την. Ο χρόνος εμφάνισης της συστηματικής αιτίας, θεωρείται ότι είναι μια τυχαία μεταβλητή Y , με μέση τιμή $1/\lambda$. Η 2^η βασική παραδοχή, είναι ότι η τυχαία μεταβλητή Y , ακολουθεί την εκθετική κατανομή. Μπορούν να εμφανισθούν δύο συστηματικές αιτίες στο μοντέλο, με την πρώτη να αυξάνει τη μέση τιμή και τη δεύτερη να τη μειώνει. Εάν συμβεί μια συστηματική αιτία, η διεργασία παραμένει υπό την επίδρασή της, έως ότου αυτή εξαλειφθεί. Ο χρόνος λήψης του κάθε δείγματος, ο χρόνος των μετρήσεων της μέσης τιμής και οι χρόνοι εκτίμησης της πορείας του Διαγράμματος Ελέγχου και σχεδιασμού του πλάνου δειγματοληψίας, θεωρούνται αμελητέοι.

Οι παράμετροι κόστους είναι οι:

- T_0 = αναμενόμενος χρόνος αναζήτησης όταν σημειωθεί ψευδής συναγερμός
- T_1 = αναμενόμενος χρόνος αναζήτησης ύπαρξης πιθανής συστηματικής αιτίας
- T_2 = αναμενόμενος χρόνος επιδιόρθωσης της διεργασίας
- c = μεταβλητό κόστος δειγματοληψίας και ελέγχου ανά μονάδα δείγματος
- b = σταθερό κόστος ανά δείγμα
- M = κόστος λειτουργίας ανά μονάδα χρόνου, όταν η διεργασία βρίσκεται υπό την επίδραση συστηματικής αιτίας
- L_0 = κόστος ενός ψευδούς συναγερμού (κόστος αναζήτησης συστηματικής αιτίας)
- L_1 = κόστος εξάλειψης συστηματικής αιτίας

Το κόστος της διεργασίας που διερευνάται, είναι το αναμενόμενο κόστος ανά μονάδα χρόνου και συμβολίζεται με ECT .

Οι παράμετροι σχεδιασμού (Fp-X Shewhart: i =σταθερό, Vp-X Shewhart: i =1 για «χαλαρή και i =2 για «σφικτή» δειγματοληψία) είναι:

- Διάστημα δειγματοληψίας h_i ($h_1 \geq h_2$)
- Μέγεθος δειγματοληψίας n_i ($n_1 \leq n_2$)
- Συντελεστής ορίου ελέγχου k_i ($k_1 \geq k_2$)
- Συντελεστής του ορίου προειδοποίησης w_v ($w_v = ct$)

Για την έρευνα της παρούσας εργασίας, επελέγησαν 7 από τις 32 υποθέσεις της εργασίας αναφοράς (κάθε υπόθεση προέκυψε από συνδυασμό τιμών παραμέτρων κόστους), ώστε

να διερευνηθεί με χρήση προσομοιώσεων, το κατά πόσο διαφοροποιείται το αναμενόμενο κόστος της διεργασίας, με συνδυασμούς κατανομών, διαφορετικών από αυτών της 1ης και 2ης βασικής παραδοχής.

Το λογισμικό των προσομοιώσεων αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C-Sharp. Ως Κύκλο, ορίζουμε το τμήμα της διεργασίας από την έναρξή της (ή την αμέσως προηγούμενη επισκευή και επανέναρξή της), έως την διάγνωση της επόμενης πραγματικής συστηματικής αιτίας. Ως Πείραμα, ορίζουμε ένα προκαθορισμένο σύνολο Κύκλων. Σε κάθε νέο Πείραμα άλλαζαν οι ροπογεννήτριες τυχαίων αριθμών. Για τον υπολογισμό του αναμενόμενου κόστους ανά μονάδα χρόνου ενός Πειράματος, προσθέτουμε το κόστος όλων των Κύκλων του Πειράματος και διαιρούμε διά το συνολικό χρόνο όλων των Κύκλων. Εν συνεχεία, για την εύρεση του αναμενόμενου μέσου κόστους της προσομοίωσης, βρίσκουμε το μέσο όρο των 5 Πειραμάτων της προσομοίωσης.

Ως παράμετροι σχεδιασμού των Διαγραμμάτων Ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν τα σετ των βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού h_i , n_i , k_i , w_v , που ελαχιστοποιούν το αναμενόμενο κόστος της διεργασίας ανά μονάδα χρόνου της υπόθεσης που προσομοιώνεται και υπολογίσθηκαν στην εργασία αναφοράς, με αναλυτική μαθηματική επίλυση.

Τα χαρακτηριστικά των σεναρίων των προσομοιώσεων, σε όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν, έχουν ως εξής:

- η Μέση Τιμή μ_0 ήταν 100 και η Τυπική Απόκλιση σ_0 ήταν 10.
- οι στατιστικές κατανομές του ποιοτικού χαρ/κού της διεργασίας, ήταν η Κανονική, η Weibull και η Λογαριθμοκανονική
- οι στατιστικές κατανομές του χρόνου εμφάνισης συστηματικής αιτίας, ήταν η Εκθετική, η Weibull, η Γάμα και η Λογαριθμοκανονική
- Κάθε προσομοίωση περιελάμβανε 5 Πειράματα και κάθε Πείραμα 4.000.000 Κύκλους

Συνολικά, για τα 24 σενάρια για κάθε μια από τις 7 υποθέσεις και για 2 είδη Διαγραμμάτων Ελέγχου, εκτελέσθηκαν 336 runs προσομοιώσεων

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι παράμετροι κόστους και τα βέλτιστα σετ παραμέτρων των 7 υποθέσεων που ερευνήθηκαν, δίνονται στον Πίνακα Ι.

Στον Πίνακα ΙΙ, παρουσιάζονται κάποια επιλεγμένα (λόγω χώρου) αποτελέσματα των προσομοιώσεων, με βάση την χρησιμοποιούμενη Κατανομή του χρόνου εμφάνισης συστηματικής αιτίας, για 4 από τις 7 ερευνηθείσες υποθέσεις

Εξετάστηκε αρχικά η αξιοπιστία του λογισμικού, με το βασικό σενάριο Κανονική Κατανομή ποιοτικού χαρακτηριστικού διεργασίας - Εκθετική Κατανομή χρόνου εμφάνισης συστηματικής αιτίας. Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, η απόκλιση της τιμής του ECT των προσομοιώσεων, από το ECT_{Markov} που υπολογίστηκε από την αναλυτική μαθηματική επίλυση, κυμαίνεται από 0% έως $\pm 0,27\%$, δηλαδή η απόκλιση είναι ανεπαίσθητη, οπότε επιβεβαιώνεται η ορθή λειτουργία του λογισμικού. Ειδικά στα ΔΕ Fr-X Shewhart, υπάρχει ακρίβεια της τάξης του 0 έως $\pm 0,02\%$.

Εν συνεχεία, και παρατηρώντας τα αποτελέσματα των σεναρίων Weibull - Εκθετική και Λογαριθμοκανονική - Εκθετική, σε ΔΕ Vr-X Shewhart, σε όλες τις υποθέσεις, οι αποκλίσεις δεν ξεπερνούν το $\pm 0,44\%$. Αυτό σημαίνει ότι, το κόστος, δεν επηρεάζεται από την αλλαγή της στατιστικής κατανομής του ποιοτικού χαρακτηριστικού της διεργασίας από Κανονική σε άλλη και αυτό είναι αναμενόμενο λόγω του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος, του οποίου η ισχύς αποδεικνύεται από τις προσομοιώσεις. Υπενθυμίζεται ότι σε όλες τις υποθέσεις, τα μεγέθη των δειγμάτων κυμαίνονται από 5 έως 35.

Η μεταβλητότητα του ECT στα 5 πειράματα, μετρήθηκε σε μικρές τιμές. Για παράδειγμα, στο βασικό σενάριο, για την Υπόθεση 1, σε Vr-X Shewhart, η τυπική απόκλιση στις προκύπτουσες τιμές του ECT μεταξύ των 5 πειραμάτων είναι 0,0029.

Οπότε, το 99% Διάστημα Εμπιστοσύνης που προκύπτει για την Υπόθεση 1, ισούται με διάστημα από 11,134 έως 11,146. Το πολύ

μικρό Διάστημα Εμπιστοσύνης, δείχνει σαφώς ότι, η λειτουργία του λογισμικού είναι αξιόπιστη και στα αποτελέσματα που παράγει, με το σύνολο των πειραμάτων να παράγουν αποτέλεσμα ECT με πολύ μικρή διακύμανση.

Γενικά, στον Πίνακα ΙΙ, βλέπουμε σε όλα τα σενάρια και εφόσον οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των στατιστικών κατανομών να έχουν λογικές τυπικές αποκλίσεις (πχ. σε Weibull $\alpha > 0,8$), δεν υπάρχει ουσιαστική διαφοροποίηση στο αναμενόμενο κόστος ανά μονάδα χρόνου, από την αναλυτική μαθηματική επίλυση του βασικού σεναρίου της εργασίας αναφοράς, όταν οι παράμετροι σχεδιασμού είναι ίδιες. Επίσης, η μεταβλητότητα μεταξύ των πειραμάτων, έχει πάντα πολύ μικρές τιμές και τα 99% διαστήματα εμπιστοσύνης που υπολογίστηκαν, έχουν πολύ μικρό μήκος.

IV.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν, είναι τα εξής:

- το λογισμικό που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις, είναι αξιόπιστο και παράγει σταθερά αποτελέσματα. Η αξιοπιστία του προκύπτει από την πολύ μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, με τα αποτελέσματα της αναλυτικής μαθηματικής επίλυσης, για το βασικό σενάριο της εργασίας αναφοράς. Η επαναληψιμότητά του προκύπτει από την πολύ μικρή μεταβλητότητα που παρουσιάζεται μεταξύ των πειραμάτων κάθε προσομοίωσης και τα ικανοποιητικότερα 99% Διαστήματα Εμπιστοσύνης που προκύπτουν

- Η χρήση Λογαριθμοκανονικής Κατανομής και Κατανομής Weibull αντί της Κανονικής, για το χαρακτηριστικό ποιότητας της διεργασίας, δεν άλλαξε τα αποτελέσματα και έδειξε την ισχύ του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος στο μοντέλο. Το εν λόγω συμπέρασμα ήταν αναμενόμενο, εφόσον, το λογισμικό λειτουργεί αξιόπιστα, αφού σε όλες τις υποθέσεις, τα μεγέθη των δειγμάτων κυμαίνονται από 5 έως 35

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΣΕΤ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ 7 ΕΡΕΥΝΗΘΕΝΤΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ

Υπόθεση	Παράμετροι Κόστους	Βέλτιστα σετ παραμέτρων σχεδιασμού Fr-X Shewhart	Βέλτιστα σετ παραμέτρων σχεδιασμού Vr-X Shewhart
---------	--------------------	--	--

	b	M	L ₀	λ	δ	h	n	k	ECT _{Fp}	h ₁	w _v	n ₁	n ₂	k ₁	k ₂	ECT _{Vp}
1	0	100	100	0,01	0,5	7,2	24	1,6	11,76	6,2	1,2	18	25	2,2	2	11,17
11	0	1000	100	0,1	0,5	0,7	23	1,6	117,66	0,7	1,1	19	24	2	1,9	113,03
16	5	1000	200	0,1	0,5	0,9	34	1,9	132,18	0,9	1,3	27	35	2,3	2,2	125,48
17	0	100	100	0,01	0,1	4,4	10	2,2	7,82	3,3	1,3	5	10	3,2	2,6	6,87
20	0	1000	200	0,01	0,1	1,6	13	2,5	22,03	1	1,4	5	12	3,4	2,8	18,28
25	0	100	100	0,1	0,1	1,7	10	2,2	35,9	1,2	1,3	5	9	2,8	2,4	34,18
31	5	1000	100	0,1	0,1	0,6	12	2,2	87,81	0,6	1,5	10	12	2,5	2,4	84,38

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ Fp-X ΚΑΙ Vp-X SHEWHART

Ποιοτικό Χαρ/κό	Αναλ. επίλυση	Κανονική	Προσομοίωση	Κανονική	Weibull	Κανονική	Κανονική	Weibull	Κανονική	Κανονική	Κανονική
Χρόνος Εμφ. Συστ. Αιτίας		Εκθετική		Εκθετική		Weibull			Γάμα	Λογαριθμικοκανονική	
Παράμετρος					0,8	2,8		2,8	2	2	4
Διάγραμμα Ελέγχου : Fp-X Shewhart											
Υπόθεση 1		11,76		11,76	11,75	11,83	11,72	11,72	11,72		11,71
Απόκλιση από ECT _{Markov}				0,00%	-0,09%	0,60%	-0,34%	-0,34%	-0,34%		-0,43%
Υπόθεση 16		132,15		132,16	131,62	133,13	131,62	131,5	131,59	131,61	
Απόκλιση από ECT _{Markov}				-0,02%	-0,42%	0,72%	-0,42%	-0,51%	-0,45%	-0,43%	
Υπόθεση 20		22,03		22,03	22,05	22,09	22,01	22,04	22		21,99
Απόκλιση από ECT _{Markov}				0,00%	0,09%	0,27%	-0,09%	0,05%	-0,14%		-0,18%
Υπόθεση 31		87,81		87,83	87,78	88,31	87,54	87,49	87,55	87,56	
Απόκλιση από ECT _{Markov}				0,02%	-0,03%	0,57%	-0,31%	-0,36%	-0,30%	-0,28%	
Διάγραμμα Ελέγχου : Vp-X Shewhart											
Υπόθεση 1		11,17		11,14	11,13	11,19	11,11	11,11	11,11		11,11
Απόκλιση από ECT _{Markov}				-0,27%	-0,36%	0,18%	-0,54%	-0,54%	-0,54%		-0,54%
Υπόθεση 16		125,48		125,16	125,06	126,12	124,55	124,55	124,56	124,56	
Απόκλιση από ECT _{Markov}				-0,26%	-0,33%	0,51%	-0,74%	-0,74%	-0,73%	-0,74%	
Υπόθεση 20		18,28		18,27	18,36	18,29	18,25	18,26	18,25		18,25
Απόκλιση από ECT _{Markov}				-0,05%	0,44%	0,05%	-0,16%	-0,11%	-0,16%		-0,16%
Υπόθεση 31		84,38		84,3	84,24	84,81	84,01	84,01	84,01	84,05	
Απόκλιση από ECT _{Markov}				-0,09%	-0,17%	0,51%	-0,44%	-0,44%	-0,44%	-0,40%	

• Το κύριο συμπέρασμα της παρούσας εργασίας είναι ότι, το αναμενόμενο κόστος λειτουργίας ανά μονάδα χρόνου, που υπολογίζεται αναλυτικά με μαθηματική επίλυση του βασικού σεναρίου, δεν επηρεάζεται ουσιαστικά, από τη χρήση άλλων στατιστικών κατανομών, αρκεί να διατηρούνται αφενός τα ίδια σενάρια των λοιπών παραμέτρων και αφετέρου, οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των στατιστικών κατανομών να έχουν λογικές τυπικές αποκλίσεις

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, με ισχυρές ενδείξεις, δείχνουν ότι, παρόλο που το βασικό σενάριο (Κανονική – Εκθετική Κατανομή), δεν συναντάται συχνά σε

πραγματικές συνθήκες, (όπου άλλες κατανομές, όπως η Weibull, περιγράφουν καλύτερα την πραγματικότητα), εν τούτοις, η αναλυτική μαθηματική επίλυσή του, εξάγει αξιόπιστο και πολύ κοντά στην πραγματικότητα, αναμενόμενο κόστος λειτουργίας.

Οπότε, η εξαγωγή του από το απλούστερο βασικό σενάριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες, εξοικονομώντας χρόνο, πόρους και απλουστεύοντας τη διαδικασία των εκτιμήσεων για το αναμενόμενο κόστος λειτουργίας μιας διεργασίας.

Ως κύρια πρόταση για περαιτέρω έρευνα, προτείνεται η διερεύνηση μέσω προσομοιώσεων, παρομοίων ή και των ίδιων σεναρίων, για το εάν, ο υπολογισμός των βέλτιστων σεντ παραμέτρων

σχεδιασμού για την ελαχιστοποίηση του ECT, οδηγεί σε ίδια σετ παραμέτρων με αυτά που προέκυψαν από την αναλυτική μαθηματική επίλυση του μοντέλου του βασικού σεναρίου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Castagliola P., Zhang Y., Costa A., Maravelakis P., (2012). The Variable Sample Size X-Chart with Estimated Parameters, *Quality and Reliability Engineering International*, 28 (7), 687-699
- Costa, A.F.B., Rahim, M.A., (2001). Economic design of X charts with variable parameters: the Markov chain approach, *Journal of Applied Statistics*, 28 (7), 875-885
- Das, T.K., Jain, V., (1997). An economic design model for X-charts with random sampling policies, *IIE Transactions*, 29 (6), 507-518
- Lee, P.H., (2013). Joint statistical design of X and s charts with combined, *European Journal of Operational Research* 225, 285-297
- Mahadik, S.B., (2014). X Charts with Variable Sampling Interval, Control limits, and Warning Limits, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3 (8), 615-620
- Nenes, G., (2011). A new approach for the economic design of fully adaptive control charts, *International Journal of Production Economics*, 131, 631-642
- Nenes, G., Castagliola P. & Celano G., (2016). Economic and statistical design of Vp control charts for finite-horizon processes, *IIE Transactions*, 49 (1), 110-125
- Park, C., Reynolds, M.R., (1999). Economic design of a variable sampling rate X chart, *Journal of Quality Technology*, 31 (4), 427-443
- Ramalhoto M.F. & Morais M. (2010). Shewhart control charts for the scale parameter of a Weibull control variable with fixed and variable sampling intervals, *Journal of Applied Statistics*, 26 (1), 129-160
- Ran-feng Wang, Xiang Fu, Ji-cheng Yuan & Zhi-Yong Dong (2017). Economic design of variable-parameter X-Shewhart control chart used to monitor continuous production, *Quality Technology & Quantitative Management*, 15 (1), 106-124
- Zhou M., (2015). Variable sample size and variable sampling interval Shewhart control chart with estimated parameters, *Operational Research*, 17 (1), 17-37.