سیاست تعمیر و نگهداری یک سیستم تحت ترکیب خطی از فرایندهای فرسایش

شبنم طیوری، سودابه شمه سوار

دانشگاه تهران

۲۸ و ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۱

بیان سیاست تعمیر و نگهداری سیستم

- سیستم در لحظه $t = 0$ نو است و از این لحظه شروع به کار می‌کند.
- سیستم تحت بررسی می‌تواند تحت n نوع نقص متفاوت قرار بگیرد($n \in \mathbb{N}, n < \infty$).
- در هر فاصله زمانی به طول T، $T > 0$ تعمیر و نگهداری ناکامل بر روی سیستم انجام می‌شود.
- سیستم در زمان انجام N امین تعمیر و نگهداری با یک سیستم نو تعویض می‌شود. به NT طول چرخه تعویض می‌گوییم.
- تاثیر استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی نرخ رخداد نقص‌ها و فرسایش سیستم تحت مدل فرایند هندسی در مدل بندی فرایند فرسایش سیستم بررسی می‌شود.
- تا زمان انجام j امین تعمیر و نگهداری ناکامل، N ,$j = 1, \ldots$، رخداد نقص ها درون سیستم تحت فرایند پواسون همگن با نرخ $\frac{(a_1(T))^{j-1}}{\lambda}$ مدل بندی می‌شود. $a_1(T)$ یک تابع مثبت و صعودی نسبت به T و $\lambda > 0$ است.

بیان سیاست تعمیر و نگهداری سیستم

- تا زمان انجام j امین تعمیر و نگهداری میزان فرسایش k امین نقص، $k = ۱, \ldots, n$، درون سیستم توسط فرایند گامای $\{X_{k,j}(t), t \geq ۰\}$ مدل‌بندی می‌شود، به طوری که،
  - $X_{k,j}(۰) = ۰$
  - نموهای $\Delta X_{k,j}(t) = X_{k,j}(t + \Delta t) - X_{k,j}(t)$ به ازای هر $\Delta t, t > ۰$ متغیرهای تصادفی مستقل هستند.
  - $X_{k,j}(t + \Delta t) - X_{k,j}(t) \sim Gamma\left(\alpha_k(t + \Delta t) - \alpha_k(t), (a_۲(T))^{j-۱}\beta_k\right)$
    که در آن $\alpha_k(t)$ یک تابع حقیقی مقدار نامنفی و صعودی نسبت t و $\alpha_k(۰) = ۰$ است.
    بعلاوه، $a_۲(T)$ یک تابع مثبت و صعودی نسبت به T است.

- فرایند $\{Y_j^*(t), t \geq ۰\}$ فرایند فرسایش سیستم تا زمان انجام j امین عملیات تعمیر و نگهداری ناکامل است که $Y_j^*(t) = \sum_{k=۱}^{n} b_k X_{k,j}(t)$ سطح فرسایش سیستم در زمان t تا زمان انجام j امین تعمیر و نگهداری ناکامل است.

بیان سیاست تعمیر و نگهداری سیستم

- زمانی که میزان فرسایش $Y_j^*(t)$ به آستانه از پیش تعیین شده L برسد سیستم شکست می‌خورد که به لحظه اصابت سیستم به آستانه شکست L اولین زمان اصابت گفته می‌شود که به صورت $\sigma_L^{(j)} = \inf\{t > 0 : Y_j^*(t) \geq L\}$ تعریف می‌شود و تابع توزیع آن برابر است با:

$$F_{\sigma_L}^{(j)}(t) = D_j(t) \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\zeta_{i,j}(t)}{\Gamma(\rho_j(t)+i)} \Gamma_{\mathrm{ui}}(\rho_j(t)+i, \frac{L}{\beta_{0,j}}) \qquad (1)$$

- c_p، هزینه ثابت انجام j امین تعمیر و نگهداری ناکامل است.
- c_R، هزینه تعویض سیستم با یک سیستم نو است.
- c_F، هزینه اضافی بابت شکست سیستم است.

بیان سیاست تعمیر و نگهداری سیستم

- هزینه تعمیر نقص k ام در زمان انجام j امین تعمیر و نگهداری، $c_{k,j} = c_{f,k} + c_{k,y}$ است که در آن $c_{f,k}$ هزینه ثابت تعمیر نقص k ام و $c_{k,y}$ هزینه متغیر تعمیر نقص k ام است که تابعی از میزان فرسایش نقص k ام در زمان انجام j امین تعمیر و نگهداری است.
- هدف از این مقاله بهینه‌سازی استراتژی تعمیر و نگهداری پیشنهاد شده است که در آن هزینه کل مورد انتظار در واحد زمان در یک چرخه تعویض به ازای مقادیر بهینه N_{opt} و T_{opt} مینیمم شود؛ به بیان دیگر:

$$Q_{\circ}\left(N_{\text{opt}}, T_{\text{opt}}\right) = \min_{\substack{N=۱,۲,\ldots \\ T>\circ}} Q_{\circ}\left(N, T\right) \qquad (۲)$$

تعریف

هزینه کل مورد انتظار در واحد زمان در یک چرخه تعویض به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q_0(N,T) = \frac{1}{NT}\sum_{j=1}^{N}\Bigg[c_p + c_F\frac{(a_1(T))^{j-1}}{\lambda}F_{\sigma_L}^{(j)}(T) + \frac{(a_1(T))^{j-1}}{\lambda}\sum_{k=1}^{n}\left(c_{f,k} + \int_0^\infty c_{k,y} f\left(y;\alpha_k(T),(a_2(T))^{j-1}\beta_k\right)\,\mathrm{d}y\right)\Bigg] + \frac{c_R}{NT} \qquad (3)$$

هزینه متغیر مورد انتظار در واحد زمان در یک چرخه تعویض به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathrm{CV}(N,T) = \frac{1}{NT}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{n}\frac{(a_1(T))^{j-1}}{\lambda}\int_0^\infty c_{k,y} f\left(y;\alpha_k(T),(a_2(T))^{j-1}\beta_k\right)\,\mathrm{d}y \qquad (4)$$

مثال

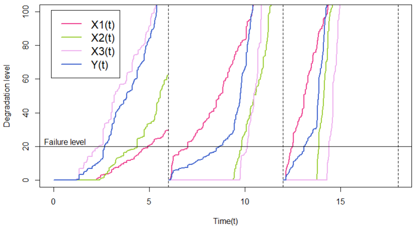
در این مثال به شبیه‌سازی سیاست تعمیر و نگهداری پیشنهاد شده، تحت مفروضات زیر، برای یک سیستم می پردازیم که در طول زمان می تواند تحت سه نوع نقص متفاوت قرار بگیرد $(k = ۱, ۲, ۳; n = ۳)$.

$$a_۱(T) = ۱/۱(۱/۲ - ۰/۲\exp(-T)),\ a_۲(T) = ۱/۱۵(۱/۲ - ۰/۲\exp(-T))$$

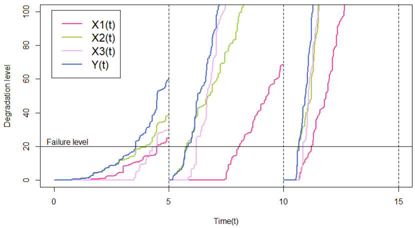
$$\lambda = ۱,\ \alpha_k(t) = t^۲,\ \beta_k = k,\ c_{k,y} = c_k y$$

$$c_p = ۱۵,\ c_R = ۱۲۰۰,\ c_F = ۱۱۰$$

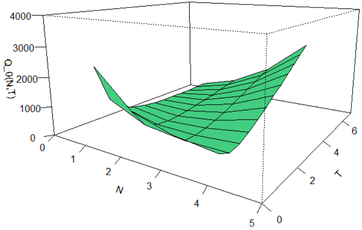
$$c_{f,۱} = ۴,\ c_{f,۲} = ۶,\ c_{f,۳} = ۳,\ c_۱ = ۱۰,\ c_۲ = ۸,\ c_۳ = ۱۲$$



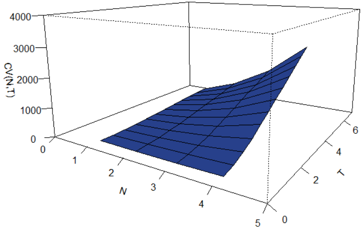
شکل: فرایند فرسایش سیستم(NT=۱۸)



شکل: فرایند فرسایش سیستم(NT=۱۵)



شکل: منحنی هزینه کل مورد انتظار در واحد زمان



شکل: منحنی هزینه متغیر مورد انتظار در واحد زمان

مراجع:

[1] Moschopoulos, Peter G. The distribution of the sum of independent gamma random variables. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 37(3):541–544, 1985.

[2] Wu, Shaomin and Castro, Inma T. Maintenance policy for a system with a weighted linear combination of degradation processes. European Journal of Operational Research, 280(1):124–133, 2020.

[3] Yeh, Lam. A note on the optimal replacement problem. Advances in Applied Probability, 20(2):479– 482, 1988.