

Mejoras software RMES

Javier E. Nuñez F.
<jnunezf@gmail.com>

1 de agosto de 2011

1. Casos con condición no-reparable

1.1. CASO I: *Configuración en standby 1/n (n ≥ 3) con trabajo en frío*

- Clase: ColdStandbySystem extends NonRepairableSystem
- Input:

$$\{\lambda_0, \lambda_1 \dots, \lambda_{n-1}\} \quad (1)$$

$$\{MTTR_0, MTTR_1 \dots, MTTR_{n-1}\} \quad (2)$$

- Indicadores:

$$MTTR_s = \min \{MTTR_i\}, i = 0 : n - 1 \quad (3)$$

$$MTTF_s = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{\lambda_i} \quad (4)$$

$$R_s(t) = \sum_{i=0}^{n-1} e^{-\lambda_i t} \left(\prod_{i \neq j} \frac{\lambda_i}{\lambda_i - \lambda_j} \right) \quad (5)$$

$$A_s = \frac{MTTF_s}{MTTF_s + MTTR_s} \quad (6)$$

1.2. CASO II: *Configuración en redundancia parcial k/n (n ≥ 3) con trabajo en frío*

- Clase: ColdPartialRedundancySystem extends NonRepairableSystem
- Input:

$$\{\lambda_0, \lambda_1 \dots, \lambda_{n-1}\} \quad (7)$$

$$\{MTTR_0, MTTR_1 \dots, MTTR_{n-1}\} \quad (8)$$

$$k \quad (9)$$

- Indicadores:

Se calcula primero una tasa de falla promedio para el sistema:

$$\lambda = \frac{\lambda_i}{n} \quad (10)$$

$$MTTR_s = \min\{MTTR_i\}, \quad i = 0 : n - 1 \quad (11)$$

$$MTTF_s = \frac{n - k + 1}{k\lambda} \quad (12)$$

$$R_s(t) = e^{-k\lambda t} \sum_{i=0}^{n-k} \frac{(k\lambda t)^i}{i!} \quad (13)$$

$$A_s = \frac{MTTF_s}{MTTF_s + MTTR_s} \quad (14)$$

2. Casos con condición reparable

Los N estados de un sistema reparable están determinados por el número de subsistemas que han fallado. Sea λ_i la tasa de falla del sistema cuando hayan fallado i subsistemas, y μ_i la tasa de reparación del sistema cuando hayan fallado i subsistemas, con $i = 0 : N$. La solución del sistema de ecuaciones diferenciales que define las probabilidades de transición de estados para este sistema está dado por el determinante de la siguiente matriz D:

$$D = \begin{bmatrix} s + \lambda_0 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -\lambda_0 & s + \lambda_1 + \mu_1 & -\mu_2 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_1 & s + \lambda_2 + \mu_2 & -\mu_3 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -\lambda_{N-2} & s + \lambda_{N-1} + \mu_{N-1} \end{bmatrix} \quad (15)$$

El determinante conforma un polinomio de grado N en s , y se puede expresar como

$$|D| = \prod_{i=0}^{N-1} (s - s_i) \quad (16)$$

donde s_i , con $i = 0 : N - 1$, conforman las soluciones del polinomio.

2.1. CASO III: Configuración en redundancia parcial k/n con trabajo en caliente

- Clase: `ActivePartialRedundancySystem` extends `RepairableSystem`
- Input:

$$(n, k, r, \lambda, \mu) \quad (17)$$

- Indicadores:

Para este caso, se considera $N = n - k + 1$.

Se calculan las tasas de falla/reparación cuando hayan fallado i componentes, con $i = 0 : n - k + 1$:

$$\lambda_i = (n - i)\lambda \quad (18)$$

$$\mu_i = \begin{cases} i\mu, & 0 \leq i \leq r \\ r\mu, & r < i \leq n - k + 1 \end{cases} \quad (19)$$

Se calculan las probabilidades (con $t \rightarrow \infty$) que hayan i subsistemas en falla en el sistema:

$$P_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^{n-k+1} \frac{\lambda_0 \cdots \lambda_{i-1}}{\mu_1 \cdots \mu_i} \right)^{-1} \quad (20)$$

$$P_i = \frac{\lambda_0 \cdots \lambda_{i-1}}{\mu_1 \cdots \mu_i} P_0, \quad i = 1 : n - k + 1 \quad (21)$$

$$MTBR_s = \frac{1}{\mu(n-k+1)} \quad (22)$$

$$A_s = 1 - P_{n-k+1} \quad (23)$$

$$MTBF_s = \frac{A_s \times MTBR_s}{1 - A_s} \quad (24)$$

$$R_s(t) = 1 - \sum_{j=0}^{n-k} \left(\prod_{i=0, i \neq j}^{n-k} s_i \right) \left(\prod_{i=0, i \neq j}^{n-k} (s_j - s_i) \right)^{-1} (e^{s_j t} - 1) \quad (25)$$

2.2. CASO IV: Configuración en redundancia parcial k/n con trabajo en frío

- Clase: ColdStandByPartialRedundancySystem extends RepairableSystem
- Input:

$$(n, k, r, m, \lambda, \mu) \quad (26)$$

- Indicadores:

Para este caso, se considera $N = n + m - k + 1$.

Se calculan las tasas de falla/reparación cuando hayan fallado i componentes, con $i = 0 : n + m - k + 1$:

$$\lambda_i = \begin{cases} n\lambda & 0 \leq i \leq m \\ (n + m - i)\lambda & m < i \leq n + m \\ 0 & i > n + m \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_i = \begin{cases} i\mu, & 0 \leq i \leq r \\ r\mu, & i > r \end{cases} \quad (28)$$

Se calculan las probabilidades (con $t \rightarrow \infty$) que hayan i subsistemas en falla en el sistema:

Si $r \leq m$, entonces:

$$P_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^r \frac{n^i}{i!} \gamma^i + \sum_{i=r+1}^m \frac{n^i}{r^{i-r} r!} \gamma^i + \sum_{i=m+1}^{n+m-k+1} \frac{1}{r^{i-r} r!} n^m \gamma^i \frac{n!}{(n+m-i)!} \right)^{-1} \quad (29)$$

Si $r > m$, entonces:

$$P_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^m \frac{n^i}{i!} \gamma^i + \sum_{i=m+1}^r n^m \gamma^i \frac{n!}{(n+m-i)! i!} + \sum_{i=r+1}^{n+m-k+1} \frac{1}{r^{i-r} r!} n^m \gamma^i \frac{n!}{(n+m-i)!} \right)^{-1} \quad (30)$$

$$P_i = \begin{cases} \frac{n^i}{i!} \gamma^i P_0 & 1 \leq i \leq \min\{r, m\} \\ \frac{n^i}{r^{i-r} r!} \gamma^i P_0 & r+1 \leq i \leq m \\ n^m \gamma^i \frac{n!}{(n+m-i)! i!} P_0 & m+1 \leq i \leq r \\ \frac{1}{r^{i-r} r!} n^m \gamma^i \frac{n!}{(n+m-i)!} P_0 & \max\{r, m\} + 1 \leq i \leq n + m \end{cases} \quad (31)$$

donde $\gamma = \lambda/\mu$.

$$MTBR_s = \frac{1}{\mu(n+m-k+1)} \quad (32)$$

$$A_s = 1 - P_{n+m-k+1} \quad (33)$$

$$MTBF_s = \frac{A_s \times MTBR_s}{1 - A_s} \quad (34)$$

$$R_s(t) = 1 - \sum_{j=0}^{n+m-k} \left(\prod_{i=0, i \neq j}^{n+m-k} s_i \right) \left(\prod_{i=0, i \neq j}^{n+m-k} (s_j - s_i) \right)^{-1} (e^{s_j t} - 1) \quad (35)$$