

로봇시스템에서 휴먼에러를 고려한 마코프모형 -Morkov Model of Robot System With Human Error-

최성운*
Choi, Sungwoon*

요 약

최근 자동화생산 및 장치산업에서 로봇시스템의 사용이 증가하고 있다. 그러나 로봇 오퍼레이터, 프로그래머, 공무요원 등 간의 커뮤니케이션 부족으로 휴먼에러가 발생하여 사람의 안전 재해사고 뿐 아니라 로봇시스템 가동율에서도 나쁜 영향을 주고 있다.

따라서 본 연구에서는 여유컴포넌트 마코프모형을 기초로 휴먼에러를 고려한 마코프모형을 제안한다.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

- 로봇사용 이유 : Cost, Impossible task, Dangerous task, Unavailability of humans, Performance and quality
- 휴먼에러 : 로봇 프로그래머, 트러블 슈터, 오퍼레이터, 공무요원간의 커뮤니케이션 결여[1]

순서	Worker 유형	도수율(%)
1	로봇 프로그래머	57
2	트러블 슈터	26
3	오퍼레이터	13
4	공무요원	4
총		100

도표1. 휴먼 에러[2]

- 휴먼 에러를 고려한 로봇시스템의 Availability 와 Reliability(MTTF)

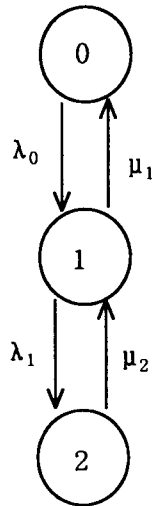
* 경원대학교 교수

1.2 연구방법

- 두 개의 상이한 컴포넌트, Standby redundancy인 경우 Markov Model[3-4]
- 두개의 동일한 컴포넌트, Parallel, Standby redundancy인 경우 Markov Model[3-4]
- 휴먼에러와 기타 원인에 의한 로봇고장인 경우 Markov Model[3-4]

2. 마코프 모형

2.1 MM1



0상태 : 1개 가동, 1개 대기 또는 병렬

1상태 : 1개 가동, 1개 고장

2상태 : 둘다 고장

도표2. MM1

$$\frac{d}{dt} P_0(t) = -\lambda_0 P_0(t) + \mu_1 P_1(t)$$

$$\frac{d}{dt} P_1(t) = \lambda_0 P_0(t) - (\lambda_1 + \mu_1) P_1(t) + \mu_2 P_2(t)$$

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1$$

$$P_0(0) = 1$$

· Nonstationary availability

$$K(t) = P_0(t) + P_1(t) = 1 - P_2(t) = 1 - \frac{\lambda_0 \lambda_1}{s_1 s_2} \left[1 - \frac{1}{s_1 s_2} (s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}) \right]$$

$$s_{1,2} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - \beta}$$

$$a = \lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1 + \mu_2$$

$$\beta = \lambda_0 \lambda_1 + \lambda_0 \mu_2 + \mu_1 \mu_2$$

• Stationary availability

$$-\lambda_0 P_0 + \mu_1 P_1 = 0$$

$$\lambda_0 P_0 - (\lambda_1 + \mu_1) P_1 + \mu_2 P_2 = 0$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1$$

$$K = 1 - P_2 = 1 - \frac{\begin{vmatrix} -\lambda_0 & \mu_1 & 0 \\ \lambda_0 & -(\lambda_1 + \mu_1) & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -\lambda_0 & \mu_1 & 0 \\ \lambda_0 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \mu_2 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}} = 1 - \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\lambda_0 \lambda_1 + \lambda_0 \mu_2 + \mu_1 \mu_2}$$

$$K = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\lambda_0 \mu_2 + \mu_1 \mu_2}}$$

2.2 MM2

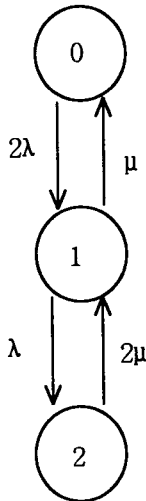


도표3.a. 병렬 컴포넌트
2개 수리시설

$$K = \frac{1}{1 + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^2}{1 + 2\frac{\lambda}{\mu}}}$$

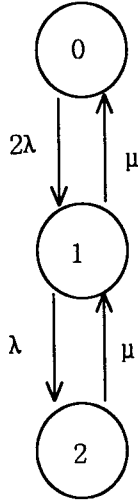


도표3.b. 병렬 컴포넌트
1개 수리시설

$$K = \frac{1}{1 + \frac{2(\frac{\lambda}{\mu})^2}{1 + 4\frac{\lambda}{\mu}}}$$

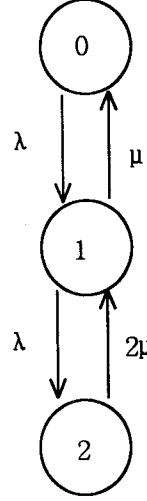


도표3.c. 대기 컴포넌트
2개 수리시설

$$K = \frac{1}{1 + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^2}{2(1 + \frac{\lambda}{\mu})}}$$

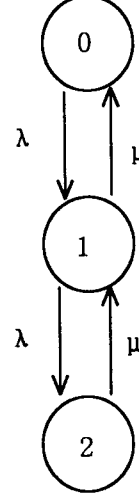


도표3.d. 대기 컴포넌트
1개 수리시설

$$K = \frac{1}{1 + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^2}{1 + \frac{\lambda}{\mu}}}$$

2.3 MM3

2.3.1 2상태 모형

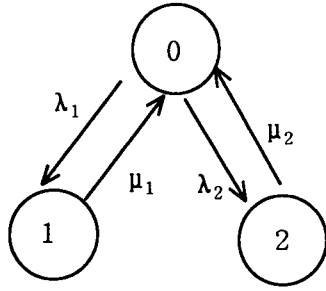


도표4. 2상태모형

0 상태 : 로봇시스템 작동

1 상태 : 휴먼에러에 의한 로봇 고장

2 상태 : 휴먼에러 이외의 기타 원인에 의한 로봇 고장

$$\frac{d}{dt} P_1(t) = -\mu_1 P_1(t) + \lambda_1 P_0(t)$$

$$\frac{d}{dt} P_2(t) = -\mu_2 P_2(t) + \lambda_2 P_0(t)$$

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1$$

$$P_0(0) = 1$$

$$P_0(t) = \frac{\mu_1 \mu_2}{c_1 c_2} + \left[\frac{(c_1 + \mu_1)(c_1 + \mu_2)}{c_1(c_1 - c_2)} \right] e^{c_1 t} - \left[\frac{(c_2 + \mu_1)(c_2 + \mu_2)}{c_2(c_1 - c_2)} \right] e^{c_2 t}$$

$$c_1, c_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4(\mu_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1)}}{2}$$

$$B = \mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2$$

$$c_1 c_2 = \mu_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1$$

$$c_1 + c_2 = -(\mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda_1 \mu_2}{c_1 c_2} + \left[\frac{\lambda_1 c_1 + \lambda_1 \mu_2}{c_1(c_1 - c_2)} \right] e^{c_1 t} - \left[\frac{(\mu_2 + c_2) \lambda_1}{c_2(c_1 - c_2)} \right] e^{c_2 t}$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda_2 \mu_1}{c_1 c_2} + \left[\frac{\lambda_2 c_1 + \lambda_2 \mu_1}{c_1(c_1 - c_2)} \right] e^{c_1 t} - \left[\frac{(\mu_1 + c_2) \lambda_2}{c_2(c_1 - c_2)} \right] e^{c_2 t}$$

· Nonstationary availability

$$K(t) = P_0(t)$$

· Human Error에 의한 로봇고장확률

$$P_H(t) = P_1(t)$$

· 기타 원인에 의한 로봇고장확률

$$P_{NH}(t) = P_2(t)$$

· Stationary availability

$$K = \lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) = \frac{\mu_1 \mu_2}{c_1 c_2}$$

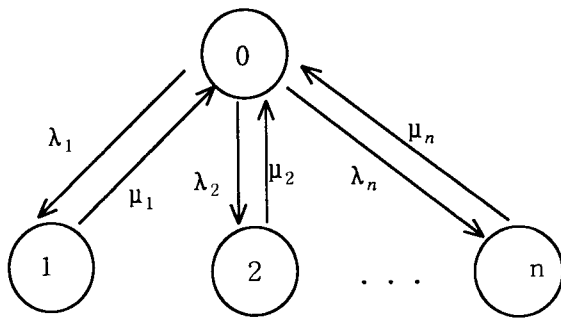
$$P_H = \lim_{t \rightarrow \infty} P_1(t) = \frac{\lambda_1 \mu_2}{c_1 c_2}$$

$$P_{NH} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_2(t) = \frac{\lambda_2 \mu_1}{c_1 c_2}$$

· Robot System MTTF

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

2.3.2 n상태 모형



- 0 상태 : 로봇시스템 작동
- 1 상태 : 로봇프로그래머 에러에 의한 로봇고장
- 2 상태 : 트러블 슈터 에러에 의한 로봇고장
- 3 상태 : 오퍼레이터 에러에 의한 로봇고장
- ⋮
- n-1 상태 : 공무요원 에러에 의한 로봇고장
- n 상태 : 휴먼에러 이외의 기타원인에 의한 로봇고장

도표5. n상태모형

$$\frac{d}{dt} P_K(t) = -\mu_K P_K(t) + \lambda_K P_0(t) \quad , \quad 1 \leq K \leq n$$

$$\sum P_K(t) = 1 \quad , \quad 0 \leq K \leq n$$

$$P_0(0) = 1$$

· Stationary availability

$$K = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{\frac{1}{\Lambda}}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\Lambda} \sum_{1 \leq i \leq n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}}$$

$$= \frac{1}{1 + \sum_{1 \leq i \leq n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}}$$

$$\text{단, } \Lambda = \sum_{1 \leq i \leq n} \lambda_i$$

3. 결론

본 연구에서는 자동생산에서 사용되는 로봇시스템에서 로봇프로그래머, 트러블슈터, 오퍼레이터, 공무요원 등 휴먼에러에 의한 고장과 기타 원인에 의한 고장 등이 발생할 경우 비정상적 가용도, 정상적 가용도와 신뢰도를 구하기 위한 마코프모형을 제안하였다.

참고문헌

- [1] Kaynak, O., et al., Intelligent Systems : Safety, Reliability and Maintainability Issues, NATO ASI Series, Springer-Verlag, 1993.
- [2] Raouf, A., and Dhillon, B.S., Safety Assessment, Lewis Publishers, 1994.
- [3] Gnedenko, B.V., and Ushakov, I.A., Probabilistic Reliability Engineering, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [4] 최성운, Time Series Modeling of Stochastic Failure Time, 공업경영학회지, Vol.24, No.48, 1998.