

有限期間における点検方策の概観

01400043 愛知工業大学 *中川 暉夫 NAKAGAWA Toshio
02602443 水谷 聡志 MIZUTANI Satoshi

1 はじめに

本研究は、有限期間における最適点検方策について、いくつかのモデルをまとめたものである。ユニットは、故障が発生しない限り、与えられた有限期間の間使用され、定期的に点検を実施する。実際に、プラントや設備などにおいて、原価消却計算などに基づき運用年数が与えられる場合がある。このとき、点検に必要な費用と故障による損失費用によって、総期待費用を導出する。さらに、総期待費用を最小にする最適な点検回数を決定する。

最初に、一般的な定期点検モデルに対して、与えられた運用時間間隔を分割する方法を説明する [1]。つぎに、この方法を以下の二つのモデルに対し適用する。

- (1) セルフテストモデル：ユニットは、自身の故障に対して、自己検出可能である。このとき、故障検出までの時間は確率分布によって与えられる。とくに、高い信頼性を要求される場合は、故障の早期検出のため、定期的に外部から点検を実施する必要がある [2]。
- (2) 2種類の点検を考慮したモデル：ユニットは、次の2種類の点検を実施する [3]。(a) Type-1 点検：少ない費用で点検できるため高い頻度で実施されるが、検出不能な故障が存在する。(b) Type-2 点検：あらゆる故障を検出可能であるが、費用が高いため少ない頻度で実施される。

これらのモデルに対して、故障分布が指数分布で与えられるとき、具体的に数値例を示し、種々議論する。

2 モデル化

2.1 一般点検モデル

ユニットは、有限期間 $(0, S]$ の間、故障検出のため、定期的に点検を実施する。このモデルに対し、次のように仮定する。

- (i) ユニットの時刻 kT ($k = 1, 2, \dots, n$) で定期的に点検される。ここで、 $nT = S$ である。

- (ii) ユニットの故障時間は有限な平均 $1/\lambda$ をもつ一般分布 $F(t)$ に従う。ここで、 $\bar{F}(t) \equiv 1 - F(t)$ である。

- (iii) 1 回当たりの点検費用を c_1 とする。また、故障した時間にかかる損失費用を c_2 とする。

このとき、総期待費用は、次式で与えられる。

$$\sum_{k=0}^{n-1} \int_{kT}^{(k+1)T} \{c_1(k+1) + c_2[(k+1)T - t]\} dF(t) + c_1 n \bar{F}(nT) \\ = \left(c_1 + \frac{Sc_2}{n} \right) \sum_{k=0}^{n-1} \bar{F}\left(\frac{kS}{n}\right) - c_2 \int_0^S \bar{F}(t) dt. \quad (1)$$

2.2 セルフテストモデル

セルフテスト性をもつシステムに対し、以下のように仮定する。

仮定 (i), (ii), (iii) は、2.1 節と同様である。

- (iv) 定期点検とは別に、故障はセルフテスト性によっても検出される。このとき、故障発生から検出までの時間分布は、有限な平均 $1/\mu$ ($\mu > \lambda$) をもつ一般分布 $G(x)$ に従う。

ユニット動作の総平均時間は、次式で与えられる。

$$\int_0^S \bar{F}(t) dt + \sum_{k=0}^{n-1} \int_0^T [\bar{F}(kT) - \bar{F}((k+1)T - x)] \bar{G}(x) dx. \quad (2)$$

同様に、総期待費用は、次式で与えられる。

$$c_2 \sum_{k=0}^{n-1} \int_0^T [\bar{F}(kT) - \bar{F}((k+1)T - x)] \bar{G}(x) dx \\ + c_1 \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ \bar{F}(kT) - \int_0^T [\bar{F}(kT) - \bar{F}((k+1)T - x)] dG(x) \right\}. \quad (3)$$

2.3 2種類の点検を考慮したモデル

2種類の点検を考慮したモデルについて、次のように仮定する。

- (i) Type-1 点検は、一定時間間隔 T ($0 < T < \infty$) 毎に行う。すなわち、時刻 jT ($j = 1, 2, \dots, Nm$) で点検する。さらに、 m 回目毎に Type-2 点検を行う。すなわち、Type-2 点検を時刻 kmT ($k = 1, 2, \dots, N$) で実施する。

仮定 (ii) は、2.1 節と同様である。

- (iii) システムに故障が発生したとき、Type-1 点検で検出可能な故障である確率を p ($0 < p \leq 1$) とする。また、確率 $1-p$ でその故障は、Type-1 点検で検出不可であり、Type-2 点検でのみ検出可能とする。

- (iv) Type-1 点検を 1 回実施することに要する費用を c_{11} とする。また、Type-2 点検を一回実施することに要する費用と c_{11} との差分を c_{12} とする。すなわち、Type-2 点検を 1 回実施する費用は $c_{12} + c_{11}$ である。

ユニット動作の総平均時間は、次式で与えられる。

$$p \left[T \sum_{k=0}^{Nm-1} \bar{F}(kT) \right] + (1-p) \left[mT \sum_{k=0}^{N-1} \bar{F}(kmT) \right]. \quad (4)$$

同様にして、総期待費用は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & (c_{11} + c_2 T) \left[p \sum_{k=0}^{Nm-1} \bar{F}(kT) + (1-p) m \sum_{k=0}^{N-1} \bar{F}(kmT) \right] \\ & + c_{12} \left[p \sum_{k=1}^N \bar{F}(kmT) + (1-p) \sum_{k=0}^{N-1} \bar{F}(kmT) \right] \\ & - c_2 \int_0^S \bar{F}(t) dt. \end{aligned} \quad (5)$$

3 最適方策

総期待費用を最小にする最適な点検回数を導出する。ここでは、故障時間分布は、指数分布 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ に従うと仮定し、その総期待費用を示す。期待費用は、有限期間における点検回数の関数として与えていることに注意する。

3.1 一般点検モデル

式 (1) における総期待費用は、

$$C(n) = \left(c_1 + \frac{Sc_2}{n} \right) \frac{1 - e^{-\lambda S}}{1 - e^{-\lambda S/n}} - \frac{c_2}{\lambda} (1 - e^{-\lambda S}) \quad (n = 1, 2, \dots). \quad (6)$$

3.2 セルフテストモデル

$G(x) = 1 - e^{-\mu x}$ とする。このとき、式 (3) における総期待費用は、

$$C(n) = \frac{1 - e^{-\lambda S}}{1 - e^{-\lambda S/n}} \left\{ c_1 e^{-\mu S/n} + c_2 \frac{1 - e^{-\mu S/n}}{\mu} - \frac{\mu e^{-\lambda S/n}}{\mu - \lambda} \left(\frac{c_2}{\mu} - c_1 \right) (1 - e^{-(\mu - \lambda) S/n}) \right\} \quad (7)$$

3.3 2種類の点検を考慮したモデル

Type-2 点検の実施回数 N は、与えられるとする。 $T = S/(Nm)$ とおくと、式 (5) における総期待費用は、

$$\begin{aligned} C(m) = & \left\{ \left(c_{11} + c_2 \frac{S}{Nm} \right) \left[\frac{p}{1 - e^{-\lambda S/(Nm)}} + \frac{(1-p)m}{1 - e^{-\lambda S/N}} \right] \right. \\ & \left. + c_{12} \frac{1 - p(1 - e^{-\lambda S/N})}{1 - e^{-\lambda S/N}} - \frac{c_2}{\lambda} \right\} (1 - e^{-\lambda S}). \end{aligned} \quad (8)$$

参考文献

- [1] T. Nakagawa, S. Mizutani and N. Igaki, "Optimal inspection policies for a finite interval," *The Second Euro-Japanese Workshop on Stochastic Risk Modelling for Finance, Insurance, Production and Reliability*, Chamonix, France, pp. 334-339, 2002.
- [2] S. Mizutani, T. Nakagawa, K. Ito and H. Sandoh, "Optimal periodic testing policy for circuit with self-testing," *The Second Euro-Japanese Workshop on Stochastic Risk Modelling for Finance, Insurance, Production and Reliability*, Chamonix, France, pp. 307-313, 2002.
- [3] S. Mizutani, T. Nakagawa and K. Ito, "Optimal inspection policies for a self-diagnosis system with two-types of inspection," *Ninth ISSAT International Conference on Reliability and Quality Design*, Honolulu, Hawaii, pp. 46-49, 2003.