

「情報処理学会論文誌」第29巻 第6号別刷 昭和63年6月発行

## バイパス機能をもつ多重多段リングシステムの信頼性

海老原 義彦      劉      曉      明      池 田 克 夫

## バイパス機能をもつ多重多段リングシステムの信頼性†

海老原 義彦†† 劉 曉 明†† 池 田 克 夫††

バイパス機能を持つ多段多重リングシステムの信頼性について評価する。ここでは集中型制御の多重多段リングシステムを対象として、モデル化と信頼性解析を行っている。システムの信頼性の評価パラメータとして、端末を集中監視するスーパーバイザの管理下にあるアクティブ端末数を用いている。この評価パラメータに基づき、リングシステムに接続される総端末数を一定とした場合のリングの多重化によるシステム信頼性の向上効果、アクティブ端末数を最大にする最適ファンアウト数と最適段数について定量的に評価している。

## 1. はじめに

近年、ローカルエリアネットワーク (LAN) の進展には目ざましいものがある。LAN の持つ機能が高度になるにつれ、LAN の高信頼性が重要となる。

リング型 LAN は代表的 LAN の一つであり、多くの開発研究が行われてきた<sup>11)~13)</sup>。リング型 LAN のフレーム同期制御方式にはリング上の1箇所の制御局で行う集中制御方式<sup>12)~14)</sup>とリング上の各局が制御する分散制御方式<sup>15)~17)</sup>がある。本論文では集中制御方式のリング型 LAN (以後、単にリングシステムと呼ぶ) を対象にシステムの信頼性を論ずる。

システムの信頼性を高める手段として、リングの多重化<sup>18)</sup>、リングの階層構造化<sup>11), 19), 20)</sup> および自動的に障害箇所を切り離すバイパス機能<sup>21), 22)</sup> や U ターン (ループバック) 機能<sup>23)</sup> を付加するなど多くの障害対策が取られている。

集中制御方式のリングに関しては、予備リングを用いたバイパスと U ターン機能付単一リング<sup>24)</sup> および階層構造を持つ単一リングの信頼性<sup>25)</sup> の定量評価が行われている。

本論文では、バイパス機能を持つ多重多段リングシステムの信頼性評価を行う。システムは階層構造を持ち、最上位層に位置するスーパーバイザ (図1のゲートウェイ  $g_1$ ) が端末の管理を行っている。システムの信頼性の評価パラメータとして平均実効端末数を用いる。平均実効端末数とは、スーパーバイザが管理できるアクティブ端末数の期待値である。アクティブ端末とは、端末の生死ではなく、スーパーバイザがある端末と通信できる場合、その端末はアクティブであると定義

する。すなわち、アクティブ端末とは、スーパーバイザの管理下にあるものを指す。ここでの端末とは計算機、ワークステーション、パソコンや端末などを総称する。

本論文ではこの平均実効端末数を評価パラメータとして採用し、多重多段リングシステムの信頼性を議論する。具体的にはリングの多重化による信頼性の効果、各構成要素の障害発生頻度が与える信頼性の影響度や最適多重多段リングシステム構成について述べる。

以下、第2章で多重多段リングシステムのモデル化を行い、第3章でシステム信頼性の評価パラメータである平均実効端末数の定義を行い、第4章ではバイパス機能を持つ多重リングシステムの解析と多重多段リングシステムの解析を行う。第5章では最適多重多段リングシステム構成について述べる。最後に得られた解析結果から平均実効端末数、多重多段リングシステムの稼働率、リングの多重化効果や階層構造による多段化効果について考察する。

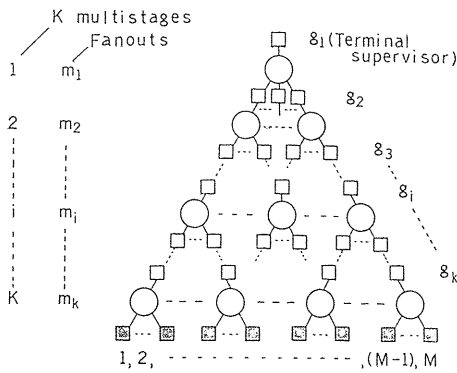
## 2. 多重多段リングシステムのモデル化

多重多段リングシステムは構成単位である幾つかの  $L$  重リングシステム ( $L$  は一定) から成り、 $K$  段の階層構造を構成している (図1参照)。最上位のゲートウェイ ( $g_1$ ) は端末を監視するスーパーバイザの機能を有している。各階層は各々のゲートウェイ ( $g_2 \sim g_n$ ) により結合されている。これらのゲートウェイは所属する  $L$  重リングシステムのフレーム同期を司る機能と層間のデータの送受信機能を有している。最下位層 ( $K$  層) には端末群が接続されている。ただし、本論文では多重多段リングシステムの信頼性を議論しているので、端末は常に生きていても一般性を失わない。

まず、構成単位である  $L$  重リングシステムの構成

† Reliability of Multiring and Multistage System with Bypass Facilities by YOSHIHIKO EBIHARA, LIU XIAO-MING and KATSUO IKEDA (Institute of Information Science and Electronics, University of Tsukuba).

†† 筑波大学電子・情報工学系



○ L multirings, □ Gateway  $g_i$ , □ Terminal

図 1 L重K段リングシステム構成

Fig. 1 L multiring and K multistage system structure.

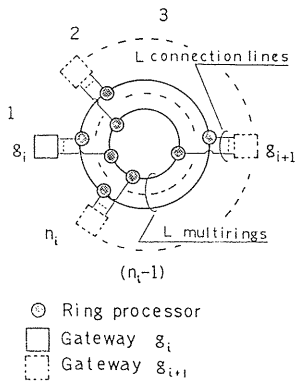


図 2 第  $i$  段階層の  $L$  重システム構成  
Fig. 2 L multiring system structure at the  $i$  th layer.

について述べる (図 2 参照).  $i$  階層 ( $i=1\sim K$ ) の  $L$  重リングシステムは  $n_i$  個の局から成り、1つのゲートウェイ ( $g_i$ ) と  $m_i$  個の下位層に属するゲートウェイ ( $g_{i+1}$ ) から構成されている。ただし、 $m_i+1=n_i$ 。各局は1つのゲートウェイ、 $L$  個のリングプロセッサ、 $L$  重リングとゲートウェイ・リングプロセッサ間の  $L$  重接続線から成る。リングプロセッサはリング上のデータの送受信と障害時のバイパス機能を持つ。リングは伝送回線と幾つかのリングプロセッサからなり、環を構成する。

フレーム同期の壊れを引き起こす原因にはゲートウェイの故障、リングプロセッサの故障またはリングの伝送回線の切断などがある。その他のシステム構成要素の障害は直接のフレーム同期障害とはならない。バイパス機能のみのリングシステムの信頼性解析では

スーパーバイザと端末との通信の可否が議論の焦点となるので、リング上のデータの流れる方向は問題にならない。このため、リング上を流れる情報データは単一方向とする。

リングプロセッサの障害には二種類ある。1つはリングプロセッサの部分障害が発生しても、その障害箇所をバイパスすることにより、フレーム同期を回復させることができる障害である。ただし、バイパスすることにより、ゲートウェイまたは端末から該当するリングプロセッサを介してリングをアクセスすることができない。このような障害を非カタストロヒック障害という。他はフレーム同期が回復できない状態を引き起こす障害で、これをカタストロヒック障害と呼ぶ。この場合、該当しているリングプロセッサの故障を意味し、そのリングプロセッサが接続しているリングは使用不可能となる。

次に各局の構成要素の障害確率を以下のように定める。

- $G_i$ :  $i$  層のゲートウェイの障害確率
- $R_i$ :  $i$  層のリングプロセッサの非カタストロヒック障害確率
- $D_i$ :  $i$  層のリングプロセッサのカタストロヒック障害確率

すなわち、同層のゲートウェイやリングプロセッサは同品質の信頼性を持つものとする。なお、リングの伝送回線の障害は受信側リングプロセッサのカタストロヒック障害として含める。またゲートウェイ・リングプロセッサ間接続線の障害はリングプロセッサの非カタストロヒック障害として含める。表 1 に障害の種類とその障害の処理の関係を示す。

表 1 障害の種類と障害対策  
Table 1 Failures and recovery procedures.

最上位のゲートウェイ ( $g_1$ ) の故障	システム全体のダウン。
$i$ 層のゲートウェイの故障 ( $g_i$ )、ただし $i=2\sim K$	該当するゲートウェイのリングシステムおよびこれと結合している下位層のすべてのリングシステムのダウン。上位層のゲートウェイは該当ゲートウェイをシステムから切り離して、続行運転。
リングプロセッサの非カタストロヒック障害	バイパスすることにより該当箇所を切り離しフレーム同期を回復して、続行運転。
リングプロセッサのカタストロヒック障害	該当リングプロセッサが接続しているリングのダウン。

### 3. 平均実効端末数

多重多段リングシステムに接続されている総端末数  $M$  を一定とする.

$$M = \prod_{i=1}^K (n_i - 1) = \prod_{i=1}^K m_i \quad (1)$$

ただし、すべての  $i$  に対して  $m_i \geq 1$ .

平均実効端末数を  $N(m_1, m_2, \dots, m_K, K)$  と表す. 障害確率  $G_i, R_i, D_i$  とリングの多重度  $L$  が与えられたとき、平均実効端末数を最大とする最適多重多段リングシステム構成を求める. その手順として、最初に多重多段リングシステムの構成単位である多重リングシステムの信頼性を求め、最後に多重多段リングシステムの信頼性を解析する.

今、ゲートウェイ  $g_i$  から第  $i$  層の多重リングシステムを経由して1つのゲートウェイ  $g_{i+1}$  ( $g_{i+1}$  の障害確率は含まない.) に至る通信路  $i$  が生きている確率を  $P_i$  とする (図3参照). 前章の定義より、端末管理スーパーバイザの機能を持つゲートウェイ  $g_i$  からある端末への通信路が存在するとき、その端末はアクティブであるという. この通信路はタンデム型に  $K$  段の  $L$  重リングシステムから構成されている. この  $K$  段の通信路が生きている確率  $P$  は、

$$P = \prod_{i=1}^K P_i \quad (2)$$

で表される. ただし、すべての  $i$  に対して  $m_i \geq 1$  が成り立ち、かつ端末は常に生きているものとする.

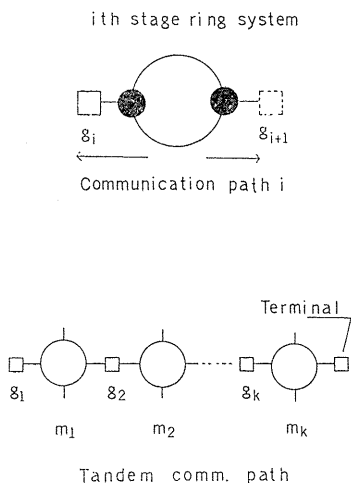


図3 スーパーバイザと端末間のコミュニケーション通信路  
Fig. 3 Communication path between the supervisor and a terminal.

同層に属する多重リングシステムは同品質の構成要素からなっているので、どの端末に至るタンデム型通信路をとっても、その通信路が生きている確率  $P$  は同じである. したがって、平均実効端末数は次式で表される.

$$N(m_1, m_2, \dots, m_K, K) = MP \quad (3)$$

次章では式(3)に関して具体的解析を行う.

### 4. 多重多段リングシステムの信頼性

ここでは前章の多重多段リングシステムのモデル化に関して幾つかの仮定を設定する.

1. リングプロセッサに障害が発生した時、カストロヒックまたは非カストロヒック障害のいずれか1つしか生じない.
2. バイパスやゲートウェイの切り離しには障害が発生しない.
3. ゲートウェイや端末はいずれか1つの生きているリングを使用して通信できる.

#### 4.1 多重リングシステムの信頼性

最初に図3に示したように  $i$  層の通信路  $i$  が正常に生きている確率を求める. ゲートウェイ  $g_i$  はリングのフレーム同期を制御しているので常に正常でなければならない. まず  $L$  重リングのいずれかのリングを使用して  $g_i$  と下位層の1つの  $g_{i+1}$  と通信できる確率を求める.  $A_i$  を  $i$  番目のリングが使用できる状態とし、 $P(A_i)$  をその確率とすると、少なくとも1つのリングを使用して通信できる確率  $P_0$  は次の式で表される.

$$P_0 = P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_L) \\ = 1 - P(A_1^c \cap A_2^c \cap \dots \cap A_L^c)$$

ただし、各  $A_i$  は互いに独立であり、 $A_i^c$  は  $A_i$  の補完である. 一般に各リングの構成要素は均質であるので、各  $P(A_i)$  は等しい.

$$P(A_1) = P(A_2) = \dots = P(A_L)$$

以後、上記の確率を  $P(A)$  で表す.

ゆえに多重リングを介してゲートウェイ  $g_i$  と  $g_{i+1}$  が通信できる確率  $P_i$  は次式となる

$$P_i = (1 - G_i) [1 - \{1 - P(A)\}^L]$$

次に  $P(A)$  を求める. バイパス機能があるとき、1つのリングを通してゲートウェイ  $g_i$  と1つの  $g_{i+1}$  が通信できる状態は次のとおりである.

- 1: ゲートウェイ  $g_i$  とその  $g_{i+1}$  のリングプロセッサが正常である.
- 2: 上記以外の  $(n_i - 2)$  個のリングプロセッサが

カタストロヒック障害を起していない。すなわち、バイパス状態または正常状態のいずれかである。

ゆえに  $i$  層の  $L$  重リングシステムで1つのリングが生きている確率  $P(A)$  は、

$$P(A) = (1-R_i-D_i)^2(1-D_i)^{m_i-2} \\ = (1-R_i-D_i)^2(1-D_i)^{m_i-1}$$

である。したがって、求める  $P_i$  は、

$$P_i = (1-G_i)[1 - \{1 - (1-R_i-D_i)^2 \\ (1-D_i)^{m_i-1}\}^L] \\ = (1-G_i)[1 - \{1 - \alpha(1-D_i)^{m_i}\}^L]$$

ただし、 $m_i \geq 1$ ,  $L \geq 1$ ,  $\alpha = (1-R_i-D_i)^2/(1-D_i)$ 。得られた  $P_i$  を(2)式に代入し、(3)式より  $K$  段の通信路が生きている確率  $P$  が求まる。

式(3)は離散関数であるが、以後、連続関数として扱う。

#### 4.2 多重多段リングシステムの信頼性

最上位のスーパーバイザからある端末への通信路が存在する確率  $P$  は式(2)と式(3)より、

$$P = \prod_{i=1}^K (1-G_i)[1 - \{1 - \alpha(1-D_i)^{m_i}\}^L]$$

となる。実用システムでは障害が発生する確率は極めて小さいと考えられるので、すべての  $i$  に対して、

$$0 < D_i, R_i \ll 1$$

が成り立つ。このことから  $\alpha \approx 1$  かつ  $(1-D_i)^{m_i} \approx 1 - m_i D_i$  とおけるので、上式は次のように簡略化できる。ただし  $(1-D_i)^{m_i}$  は正数なので、 $m_i < D_i^{-1}$  である。

$$P = \prod_{i=1}^K (1-G_i)[1 - (m_i D_i)^L] \quad (4)$$

ただし、すべての  $i$  に対して  $D_i^{-1} > m_i \geq 1$ 。

多重多段リングシステムに接続している総端末数  $M$  は定義から、次式で表される。

$$M = \prod_{i=1}^K m_i$$

ただし、すべての  $i$  に対して、 $m_i \geq 1$ 。

最上位のスーパーバイザからある端末への通信路が存在する確率はすべての端末に対して等しいので、最上位のスーパーバイザの管理下にある平均実効端末数は次式となる。

$$N(m_1, m_2, \dots, m_K, K) = MP \\ = \prod_{i=1}^K m_i (1-G_i) [1 - (D_i m_i)^L] \quad (5)$$

ただし、すべての  $i$  に対して  $D_i^{-1} > m_i \geq 1$ ,  $L \geq 1$ 。

以後  $N(m_1, m_2, \dots, m_K, K)$  を単に  $N$  で表す。

#### 5. 最適リングシステム構成

ここでは、与えられた  $G_i$ ,  $L$  と  $D_i$  に対して多重多段リングシステムの平均実効端末数を最大にする最適ファンアウト数と最適段数について論ずる。ファンアウトとはスーパーバイザの扇を除いたリングシステムを持つ扇数とする。たとえば  $i$  層のファンアウト数は  $m_i$  である。 $N$  を  $m_i$  で2次偏微分すると、常に  $\partial^2 N / \partial^2 m_i < 0$  である。このことは平均実効端末数を最大にする最適解が存在することを示している。しかし本論文では総端末数が与えられた場合の最適リングシステム構成に興味があるので、以後  $M$  が一定の場合を考察する。

最初に Lagrange の未定係数法により、 $L, K, G_i$  と  $D_i$  が与えられて、かつ  $M$  が一定での条件のもとで、最適ファンアウト数  $m_{i,opt}$  を求める。

$$M = \prod_{i=1}^K m_i \quad (\text{一定}) \\ N = \prod_{i=1}^K m_i (1-G_i) \{1 - (D_i m_i)^L\} \\ = M \prod_{i=1}^K (1-G_i) \{1 - (m_i D_i)^L\} \\ F = M \prod_{i=1}^K (1-G_i) \{1 - (D_i m_i)^L\} \\ - \lambda \left( M - \prod_{i=1}^K m_i \right)$$

とおく。ただし  $\lambda$  は未定係数である。 $\lambda$  および  $m_i$  に関する偏微分をそれぞれ  $F_\lambda$  と  $F_{m_i}$  とおくと、 $F_\lambda = 0$  より、

$$M = \prod_{i=1}^K m_i \quad (6)$$

$F_{m_i} = 0$  より、

$$MLD^L m_i^{L-1} \prod_{r=1}^K (1-G_r) \prod_{\substack{r=1 \\ r \neq i}}^K \{1 - (m_r D_r)^L\} \\ - \lambda \prod_{r=1}^K m_r = 0$$

両辺に  $m_i$  を乗じた結果をまとめると、次式が成り立つ。すべての  $i$  に対して

$$(D_i m_i)^L \prod_{\substack{r=1 \\ r \neq i}}^K \{1 - (D_r m_r)^L\} \\ = \lambda \left( L \prod_{r=1}^K (1-G_r) \right) \quad (\text{一定})$$

上式を上式の  $i$  に  $(i+1)$  を代入した式で割ると、

$$\frac{(D_i m_i)^L \{1 - (D_{i+1} m_{i+1})^L\}}{(D_{i+1} m_{i+1})^L \{1 - (D_i m_i)^L\}} = 1$$

となる。ゆえに、

$$D_i m_i = D_{i+1} m_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, (k-1) \quad (7)$$

(6)式と(7)式より(付録1参照), すべての  $i$  に対して

$$m_{i \text{ opt}} = \sqrt[K]{M \prod_{r=1}^K D_r} / D_i \quad (8)$$

が求まる。最適ファンアウト数  $m_{i \text{ opt}}$  を(5)式に代入すると、平均実効端末数は、

$$N = M \prod_{i=1}^K (1 - G_i) \cdot \left\{ 1 - \left( M \prod_{i=1}^K D_i \right)^{L/K} \right\}^K \quad (9)$$

が求まる。

(9)式を用いて信頼性の評価を行ってゆくが、信頼性を評価する変数を少なくするため、次の仮定を設ける。各層のカスタロヒック障害確率とゲートウェイ生存確率の幾何学平均は一定とする。

$$\sqrt[K]{\prod_{i=1}^K D_i} = D_{av} \quad (\text{一定})$$

$$\sqrt[K]{\prod_{i=1}^K (1 - G_i)} = H_{av} \quad (\text{一定})$$

このとき、(9)式は次式となる。

$$N = M H_{av}^K (1 - D_{av}^L M^{L/K})^K \quad (10)$$

次に多重多段リングシステムの平均実効端末数を最大とする最適段数について述べる。しかし直接(10)式から  $K$  に対して微分して、最適段数の一般解を求めることができないので、数値計算により最適段数を求める(図6参照)。

最後に多重多段リングシステムを最小コストで構成するためのリングシステム配置問題について述べる。

$M, K, L, H_{av}$  と  $D_{av}$  が与えられると(10)式より、平均実効端末数を最大にする最適多重多段リングシステム構成が得られる。この状況下で多重多段リングシステムを最小コストで構成する方法がある。

多重多段リングシステムの構成要素のうち、経費が最もかかるのは、ゲートウェイとリングプロセッサである。その他の構成要素のコストは無視できるかまたは伝送回線や接続線は該当リングプロセッサのコストに含めることができる。ここでゲートウェイのコストを  $C_G$  とし、リングプロセッサのコストを  $C_r$  とする。便宜上、端末のコストはゲートウェイのコストと同じであるとする。

多重多段リングシステムを構成している総ゲートウェイ数  $S_G$  は、

$$S_G = 1 + \sum_{j=1}^K \prod_{i=1}^j m_i$$

と表される。また総リングプロセッサ数  $S_r$  は、

$$\begin{aligned} S_r &= L \{ (m_1 + 1) + m_1(m_2 + 1) + m_1 m_2(m_3 + 1) \\ &\quad + \dots + m_1 m_2 \dots m_{K-1}(m_K + 1) \} \\ &= L \left( 1 + M + 2 \sum_{j=1}^{K-1} \prod_{i=1}^j m_i \right) \end{aligned}$$

で表される。ゆえに多重多段リングシステムを構成する総コスト  $C$  は次式となる。

$$\begin{aligned} C &= C_G S_G + C_r S_r \\ &= (C_G + C_r L)(M + 1) + (C_G + 2C_r L) \cdot \sum_{j=1}^{K-1} \prod_{i=1}^j m_i \end{aligned} \quad (11)$$

最適ファンアウトに対して(11)式は次式となる。

$$C = (C_G + C_r L)(M + 1) + (C_G + 2C_r L) \cdot \sum_{j=1}^{K-1} \prod_{i=1}^j a_i \quad (12)$$

ただし、すべての  $i$  に対して  $a_i = m_{i \text{ opt}}$  かつ  $a_i \geq 1$ 。(12)式を最小にするには、次式を最小にする  $a_i$  を選ぶことである。

$$\sum_{j=1}^{K-1} \prod_{i=1}^j a_i = (a_1 + a_1 a_2 + \dots + a_1 a_2 \dots a_{K-1}) \quad (13)$$

総端末数  $M$  は一定であるので、次式となり、

$$M = \prod_{i=1}^K a_i, \quad a_i \geq 1.$$

各  $a_i$  を並び換えても不変である。すなわち(8)式の関係から、 $a_i$  の並び換えに対して  $D_{av}$  も変わらない。したがって、(10)式の平均実効端末数も不変である。しかし、コストに関しては、(13)式は各  $a_i$  の大小関係に依存することを示している。 $a_1, \dots, a_{K-1}$  の組を小さい順に次のように並び換えると、

$$a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_{K-1} \quad (14)$$

明らかに(13)式は最小となり、このとき最小コストの多重多段リングシステムを構成することができる。

## 6. 考 察

得られた解析結果から平均実効端末数、リングの多重化や階層構造の多段化による信頼性向上効果、最適ファンアウト数や多重多段リングシステムのコストについて述べる。ただし、ファンアウト数などの変数は実際には離散値であるが、すべて連続値として、以下議論する。システムの信頼性を検討するにあたり、研究開発が頻繁なシステム環境を想定し、カスタロヒック障害確率を  $10^{-4}$  前後の範囲<sup>(24), (26), (27)</sup> でシステムの信頼性を議論する。

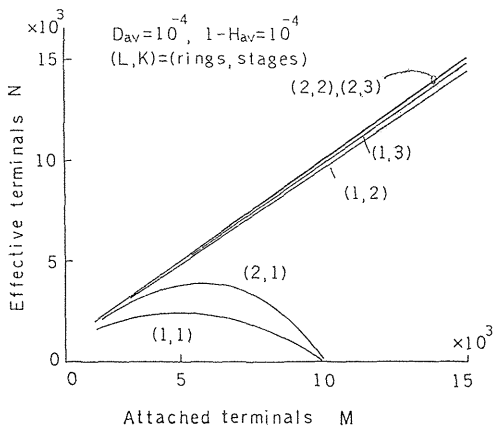


図 4 平均実効端末数と端末数  
Fig. 4 Effective terminals and attached terminals.

(1) 平均実効端末数

平均実効端末数は端末を監視しているスーパーバイザの管理下にあるアクティブ端末数を示している。リング数  $L$ 、階層構造の段数  $K$ 、カストロヒック障害確率の幾何平均値  $(D_{av})$  とゲートウェイの生存確率の幾何平均値  $(H_{av})$  が与えられると、システムの信頼性を最大にする最適ファンアウト数が存在する。その理由の詳細は後述のファンアウトで議論するので、ここでは結果の一般論を述べる。リングの多重化と段数の組合せに対して、平均実効端末数と端末数の関係を図 4 に示す。パラメータは  $D_{av}=10^{-4}$  と  $1-H_{av}=10^{-4}$  を選択している。グラフが示唆する重要な点は実効端末数を増したいとき、各種障害確率を考慮して多重多段リングシステムの構成をしなければならないことである。具体的に図 4 の 1 重 1 段リングシステムのグラフを取り上げて説明する。1 段のときはファンアウト数と総端末数  $M$  が一致する。実効端末数を増加させたいため、単にファンアウト数を増して、接続端末を増しても逆効果となる場合があることを示している。グラフでは端末数  $4 \times 10^3$  を境に平均実効端末数は、むしろ低下し、 $10^4$  でゼロとなる。これに対処する 1 つの方法はリングの多重化である。リングの多重化によりシステムの信頼性を改善することができるが、2 重 1 段リングシステムのグラフが示すように、1 重 1 段リングシステムと同様に端末数  $10^4$  で平均実効端末数は零となる。このことは端末数  $10^4$  程度の大規模なシステムでは、もはやリングの多重化による信頼性の改善はできなくなる。このような場合の 1 つの対処方法はシステムの多段化である。図 4 に示すように 1 重 2 段リングシステムの平均実効端末数

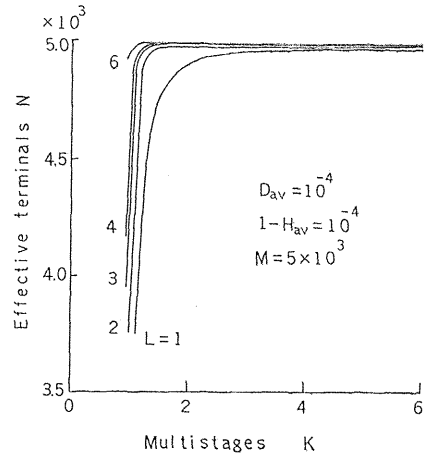


図 5 平均実効端末数と階層段数  
Fig. 5 Effective terminals and multistages.

が著しく改善する。パラメータの選択によりグラフの大小は変わるが、カストロヒック障害確率が比較的小さい場合は上記の事柄は一般的にいえる。

(2) リングシステムのファンアウト数

一般に、ファンアウト数には最適値が存在する。その理由は次のように考えられる。説明を簡単にするため段数を一定とする。接続端末数を増すには  $L$  重リングシステムのファンアウト数を多くとる必要がある。一方、ファンアウト数を増すとリングプロセスも増し、 $L$  重リングシステムの故障確率が高くなる。すなわち、これらのトレードオフには、最適ファンアウト数が存在する。1 例として 1 重 1 段リングシステムについて平均実効端末数とファンアウト数の関係を図 4 に示す。図の  $(L, K)=(1, 1)$  のグラフであり、パラメータは  $D_{av}=10^{-4}$  と  $1-H_{av}=10^{-4}$  を選択している。

最適ファンアウト数は、式 (8) から明らかのように、カストロヒック障害確率の逆数に比例して変化する。

(3) リングの多重化と信頼性向上効果

リングシステムの信頼性を高める 1 つの手段としてリングの多重化がある。図 5 は平均実効端末数とシステムの段数の関係を示したものであるが、同時にリングの多重化とシステムの信頼性向上効果の関係を示している。すなわち、パラメータを  $D_{av}=10^{-4}$  と  $1-H_{av}=10^{-4}$  と  $M=5 \times 10^3$  を選択した場合、 $L=1 \sim 6$  まで変化させたときの平均実効端末数を表している。たとえば  $K=1 \sim 2$  の段数の範囲では、多重化を 2 重リング以上にしてもシステムの著しい信頼性向上は期

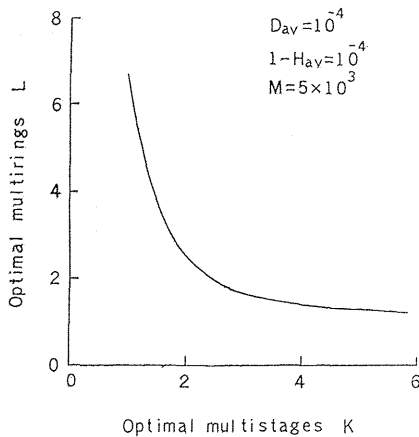


図6 最適段数と最適リング多重数

Fig. 6 Optimal multistage and optimal multiring.

待できない。同様に  $D_{av}=10^{-4}$  以下であろうと予想される実用システムの品質レベルでは2重リングで十分であると結論づけることができる。

#### (4) システムの多段化とシステムの信頼性向上効果

平均実効端末数とシステムの多段化の関係を図5に示す。パラメータは  $D_{av}=10^{-4}$ 、 $1-H_{av}=10^{-4}$  と  $M=5 \times 10^3$  を選択している。(10)式より解析的に最適段数が求められないので、数値計算により多段化効果を求めている。図からわかるように、2段以上では平均実効端末数はほとんど変化しない。一般的傾向としてシステムの多段化は2~3段で十分であると考えられる。さらに数値計算により、平均実効端末数を最大にする最適リング数と最適段数の関係を図6に示す。

#### (5) ゲートウェイの障害確率と信頼性

多重多段リングシステムにおけるゲートウェイはリングのフレーム同期を司る重要な役割を果たす。このためゲートウェイの障害はこれに接続している下位層のリングシステムも含めて故障となる。しかし、一般的傾向として、多段化して端末を分散することにより、信頼性の低いゲートウェイを用いてもシステムの信頼性を著しく低下させることはないといえる。ゲートウェイの生存確率の幾何学平均値 ( $1-H_{av}$ ) を変化させたときの平均実効端末数と多段数の関係を示したのが図7である。パラメータは  $L=2$ 、 $M=5 \times 10^3$  と  $D_{av}=10^{-4}$  である。

図から明らかなように  $1-H_{av}=10^{-4} \sim 10^{-2}$  の範囲では、システムの信頼性は大きく変化しない。ただし  $1-H_{av}=10^{-2}$  以上になると、システムの信頼性が著

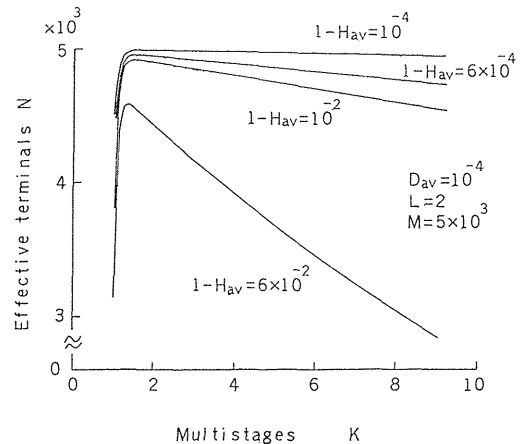


図7 システム信頼性に与えるゲートウェイ障害確率の影響度

Fig. 7 Reliability v.s. gateway probability.

しく低下する。

#### (6) 最小コストの多重多段リングシステム構成

システム的设计者にとりコストの問題は重要な評価要因である。関係式(14)は総コストを最小とする条件である。したがって  $L$  重リングシステムを信頼性の低い順に上位層から割り当てると、より小さなコストで同じ信頼性をもつ多重多段リングシステムを構成することができる。

その他のリング型 LAN に多段の階層構造をとるよりも、1段リングシステムをブリッジなどで複数個接続した複合型 LAN がある。このような複合型 LAN は一般に解析が困難である。複合型 LAN に対しても本論文の評価手法を用い、個々のリングシステムを解析し、個々のリングシステムの集合体として複合型 LAN を近似的に評価できると考えられる。

## 7. あとがき

集中型制御のバイパス機能を持つ多重多段リングシステムの信頼性の評価を行った。具体的には、平均実効端末数を評価要因として、最適ファンアウト数、多重化や多段化による信頼性向上効果や多重多段リングシステムのコストについて定量的評価を行った。

謝辞 最後に本研究に様々な御教示を頂いた中村奉夫助教授、稲垣敏之助教授およびネットワーク研究室の諸氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Liu, M. T.: *Distributed Loop Computer Net-*



- works, Vol. 17, pp. 163-221, Academic Press, New York (1978).
- 2) Heywood, P.: The Cambridge Rings Still Making the Rounds, *Data Comm.*, Vol. 10, No. 7, pp. 23-36 (1981).
  - 3) Hafner, E.R.: A Digital Loop Communications System, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-22, pp. 877-881 (1974).
  - 4) Dixon, R.C.: Ring Network Topology for Local Data Communications, *COMPCON Fall 82*, pp. 591-605 (1982).
  - 5) 矢田ほか: リング型ローカルエリアネットワーク, 情報処理, Vol. 23, No. 12, pp. 1146-1153 (1982).
  - 6) Markov, J.D. and Strole, N.C.: Token Ring Local Area Networks; A Perspective, *COMPCON Fall 82*, pp. 606-614 (1982).
  - 7) Penny, B.K. and Baghdadi, A.A.: Survey of Computer Communications Loop Networks, *Comput. Comm.*, Vol. 2, No. 4, pp. 165-180 (1979).
  - 8) Stallings, W.: Local Networks, *Comput. Surv.*, Vol. 16, No. 1, pp. 3-41 (1984).
  - 9) Reams, C.C. et al.: Design and Simulation of the Distributed Loop Network (DLCN), *3rd Annual Symp. on Comput. Architecture*, pp. 124-129 (1976).
  - 10) Comfort, W.T.: A Fault-tolerance System Architecture for Navy Applications, *IBM J. Res. Develop.*, Vol. 27, pp. 219-236 (1983).
  - 11) Pierce, J.R.: Network for Block Switching of Data, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 51, pp. 1133-1145 (1972).
  - 12) Ikeda, K. et al.: Computer Network Coupled by 100 Mbps Optical Fiber Ring Bus—System Planning and Ring Bus Subsystem Description, *COMPCON 80 Fall*, pp. 159-165 (1980).
  - 13) Ikeda, K. et al.: A Local Computer Network That Uses a Wideband Channel, *Japan Annual Rev. in Electronics, Comput. and Telecomm.*, Vol. 7, pp. 1-13 (1983).
  - 14) Ishizaka, M. et al.: A Link Level Protocol and Its Implementation in a Ring Network, *6th Conf. on Local Computer Networks*, pp. 43-51 (1981).
  - 15) Gordon, R.L. et al.: Ring Net: A Packet Switched Local Network with Decentralized Control, *Computer Networks*, Vol. 3, pp. 373-379 (1980).
  - 16) Kohler, W.H.: Survey of Techniques for Synchronization and Recovery in Decentralized Computer Systems, *Comput. Surv.*, Vol. 13, p. 2 (1981).
  - 17) Mori, K. et al.: Autonomous Decentralized Loop Network, *COMPCON 82 Spring*, pp. 1-4 (1982).
  - 18) Ebihara, Y. et al.: Fault Diagnosis and Automatic Reconfiguration for a Ring Subsystem, *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 10, No. 2, pp. 97-109 (1985).
  - 19) Kropfl, W.J.: An Experimental Data Block Switching System, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 51, pp. 1147-1165 (1972).
  - 20) Coker, C.H.: An Experimental Interconnection of Computers through a Loop Transmission System, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 51, pp. 1167-1175 (1972).
  - 21) Metcalfe, R.M. and Boggs, D.R.: Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Network, *Comm. ACM*, Vol. 19, No. 7, pp. 395-404 (1976).
  - 22) Branscob, L.M.: Computer Communications in the Eighties-Time to Put It All Together, *Computer Networks*, Vol. 5, pp. 3-8 (1981).
  - 23) Paulish, D.J.: A Fail-soft Distributed Processing System, *COMPCON 80 Fall*, pp. 179-184 (1980).
  - 24) Zafropulo, P.: Performance Evaluation of Reliability Improvement Techniques for Single-Loop Communications Systems, *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-22, No. 6, pp. 742-751 (1974).
  - 25) Zafropulo, P.: Reliability Optimization in Multiloop Communication Networks, *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-21, No. 8, pp. 898-907 (1973).
  - 26) Ebihara, Y. et al.: GAMMA-NET: A Local Computer Network Coupled by High-Speed Optical Fiber Ring Bus—System Concept and Structure, *Computer Networks*, Vol. 7, pp. 375-388 (1983).
  - 27) 海老原義彦, 池田克夫: バイパス機能をもつ多重リングシステムの信頼性, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 1, pp. 54-61 (1988).

## 付 録 1

(7)式より,

$$m_i = (D_{i+1}/D_i)m_{i+1}, \quad i=1, \dots, (K-1)$$

となる。この関係式より,

$$\begin{aligned} m_1 &= (D_2/D_1)m_2 = (D_3/D_1)m_3 = \dots \\ &= (D_i/D_1)m_i = \dots = (D_K/D_1)m_K \end{aligned}$$

となる。同様に固定した  $j$  に対して次式が成り立つ。

$$m_j = (D_i/D_j)m_i, \quad i=1, 2, \dots, K$$

すなわち,

$$m_j = (D_1/D_j)m_1,$$

$$m_j = (D_2/D_j)m_2,$$

⋮

$$m_j = (D_K / D_j) m_K.$$

両辺同士のかけ算演算により、次式を得る.

$$m_j^K = \left( \prod_{i=1}^K m_i D_i \right) / D_j^K, \quad j=1, 2, \dots, K$$

ゆえに,

$$m_j = \sqrt[K]{M \prod_{i=1}^K D_i} / D_j.$$

(昭和 62 年 11 月 19 日受付)

(昭和 63 年 4 月 14 日採録)



海老原義彦 (正会員)

昭和 22 年生. 昭和 45 年東北大学工学部電子工学科卒業. 昭和 50 年同大学院工学研究科博士課程修了.

工学博士. 現在, 筑波大学電子・情報工学系助教授. 主たる研究分野

は, 計算機ネットワーク・アーキテクチャ, デジタル通信システムおよびシステム性能評価など.



劉 晓明

1956 年 9 月中国江蘇省に生まれる. 1982 年 2 月中国北京郵電学院通信工程系卒業. 1984 年 10 月同大学院基礎部修士課程修了. 工学修士.

同年同大学通信工程系助手. 1986 年同大学講師. 1987 年, 筑波大学電子・情報工学系研究生. 主たる研究分野は, 数値計算, コンピュータ・ネットワーク, システム信頼性評価などである.



池田 克夫 (正会員)

昭和 12 年生. 昭和 35 年京都大学工学部電子工学科卒業. 昭和 37 年同大学院修士課程修了. 昭和 40 年同博士課程学修退学, 同年京都大学助手. 昭和 46 年同助教授. 昭和

46 年 9 月より 1 年間文部省在外研究員として, 米国ユタ大学および MIT に留学. 昭和 53 年筑波大学教授, 電子・情報工学系. コンピュータ組織法, LAN, 画像処理に興味を持つ. 著者に「オペレーティングシステム論」(電子情報通信学会) などがある. 工学博士. 電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員.