

「情報処理学会論文誌」第29巻 第1号別刷 昭和63年1月発行

バイパス機能をもつ多重リングシステムの信頼性

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†

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について評価する。リングシステムのフレーム同期には集中型制御と分散型制御方式がある。ここでは集中型制御の多重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、アクティブ端末数を表現する平均実効端末数を用いている。この評価パラメータに基づき、リングの多重化によるシステム信頼性の向上効果、バイパスを付加することによる信頼性効果、各リングシステム構成要素の障害発生確率が与える影響度と多重リングの最適リングシステム構成について定量的評価を行っている。

1. はじめに

ローカルエリアネットワーク (LAN) はオフィス、工場や研究室のオートメーション化や分散処理などのためのデータ通信システムとして、広く普及している。このように LAN が多くの分野で活用され、LAN のもつ機能が高度化されるに従い、データ通信の中核的役割を果たす LAN の高信頼性が、ますます重要な課題となる。

LAN の 1 つの代表的トポロジーにリング型 LAN があり、多くの研究開発が行われてきた^{1)~12)}。一般に、リング型 LAN のフレーム同期の制御方法には、リング上の 1 箇所制御局 (スーパーバイザ・ノード) で行う集中型制御方式^{13)~15)} とリング上の各局ごとに制御する分散型制御方式^{16)~18)} がある。集中型制御方式はフレーム同期制御の容易さのほかに、LAN 資源の統一制御・管理やシステムの故障診断・保守の容易さおよび制作コストの低廉性から、数多くの市販 LAN に採用されている重要な 1 つの制御方式である。一般に、制御局の故障を避けるため、制御局のスーパーバイザの 2 重化を行い、制御局の信頼性向上を図っている¹⁹⁾。一方、分散制御方式は各局がスーパーバイザ機能を持ち、障害が発生したとき、自主的にシステムの再構成を行う。自主性はシステム全体の信頼性向上に寄与する。反面、資源管理の意志決定が一意でないため、分散型制御方式は統一資源管理が難しい。現実には分散制御型 LAN といえども、システムの故障診断・保守を容易にするため部分的に集中管理を採用しているものが多い¹⁸⁾。ここでは、集中型制御方式のリング型 LAN を対象に、システムの信頼性について述

べる。

システムの信頼性を高める手段として、リングを多重化¹⁹⁾したり、障害箇所を発見したとき自動的に障害箇所を切り離すバイパス機能^{20), 21)}や U ターン (ループバック) 機能²²⁾を付加するなど、種々の障害対策^{23), 24)}がとられている。集中型制御のリング型 LAN に関しては、予備リングを用いたバイパスと U ターン機能付き単一リングおよび階層構造をもつ単一リングの信頼性評価は行われている^{25), 26)}が、一般的多重リングの信頼性の定量的評価はなされていない。本論文では、バイパス機能をもつ多重リングシステムの信頼性評価を行っている。バイパス機能のみのリングシステムの信頼性解析では、端末同士の通信の可否が議論の焦点となるので、リング上のデータが流れる方向は問題とならない。このため解析モデルでは同一方向性の多重リングシステムを想定している。ただし、解析の対象に U ターン機能まで考慮するならば、ループバックによるシステム再構成のため、リングの方向性 (たとえば Counter Rotating Ring) が重要となる。一般にバイパスと U ターン機能を併用しているシステムは次のような再構成アルゴリズムにより両機能を使い分けている。説明を簡単にするため、2 重リングシステムを取り上げる¹⁹⁾。ただしそれぞれのリングは反対方向に流れているものとする。U ターン機能が働くときは、2 重系が故障した場合である。このとき障害箇所を取り除くように 1 重リングに縮退し、システムを再構成する。1 つのリングの故障は他の残りのリングによる運転を続行する。その他の障害はバイパス機能を使って障害に対処している。システム再構成アルゴリズムから明らかのように、2 重リングが同時に故障する確率は極めて小さい。よって、本論文ではバイパス機能のみの多重リングシステムの信頼性解析に限るが、この結果はバイパスと U ターンの両機能をもつ多重リ

† Reliability of Multiring System with Bypass Facilities by YOSHIHIKO EBIHARA and Katsuo IKEDA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba).

†† 筑波大学電子・情報工学系

グシステムの信頼性解析にも近似的に適応できると考えられる。

LAN 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、1つの端末から通信できるアクティブ端末数の期待値である。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ものである。リングシステムは環状であるので、平均実効端末数は端末の位置に依存せず、どの端末から見ても同じ平均実効端末数となる。言い換えると、ある端末から通信できるアクティブ端末数のリングシステム系全体での期待値でもある。いくつかの局は障害発生により、LAN から切り離されているかもしれない。このため他の局の端末は障害局に接続されている端末と通信することができない。極端な場合、すべての端末がバイパスされていることも考えられる。このようなシステム状態でも、システムは正常に稼動していると評価することができる。しかし LAN を利用するユーザの立場からは、実際に通信できる端末数の方が重要である。本論文では評価パラメータとして平均実効端末数を採用して、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向上の効果、バイパス機能の付加効果、各局構成要素の障害発生頻度が与える信頼性への影響度や最適リングシステム構成について述べる。

以下、第2章で多重リングシステムのモデル化を行い、第3章でバイパス機能をもつ場合とバイパス機能をもたない場合の多重リングシステムの信頼性の解析を行い、第4章では高信頼性を与える最適リングシステム構成について述べる。最後に、得られた解析結果をもとに、平均実効端末数、リングの稼動率、リングの多重化効果やバイパス効果について考察する。

2. 多重リングシステムのモデル化

各局構成要素をモジュール化した2重リングの実システム^{19),27)}のシステム構成を参照し、より一般化したシステムのモデルを考える。リングシステムのフレーム同期は集中型制御方式をとり、リングシステムは1つの制御局と $(m-1)$ 個の非制御局 (ノンスーパーバイザ・ノード) から構成されているものとする (図1参照)。図2に示すように、局は1つの端末、 l 個のリングプロセッサ、 l 重の伝送回線と端末・リングプロセッサ間の l 個の接続線からなる。リングプロセッサはデータの送受信と障害時のバイパス機能をもつ。制御局と非制御局のシステム構成は同一であるが、制御

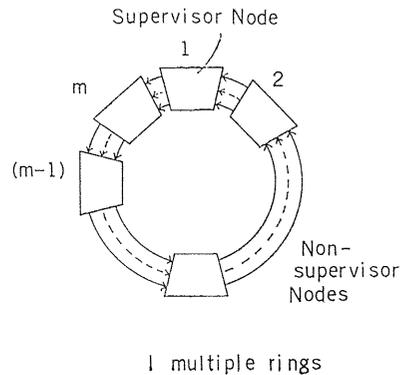


図1 多重リングシステム構成
Fig. 1 Multiring system structure.

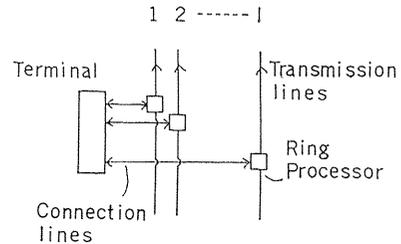


図2 局 (ノード) の構成
Fig. 2 Node structure.

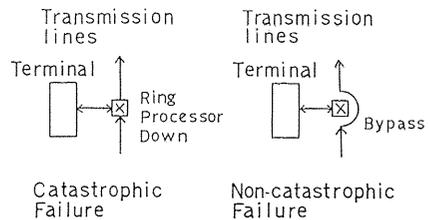


図3 カタストロヒックと非カタストロヒック障害
Fig. 3 Catastrophic and non-catastrophic failures.

局の端末は伝送回線のフレーム同期を司るスーパーバイザとしての機能を有している。フレーム同期のくずれを引き起こす原因には制御局の端末であるスーパーバイザの故障、リングプロセッサの故障または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。リング上を流れる情報データは単一方向である。

リングプロセッサの障害には2種類ある²³⁾。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 (図3参照) 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、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は

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(図3参照)。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発生確率を次のように定める。

D_s : 制御局のスーパーバイザの障害発生確率

D_t : 端末の障害発生確率

D_r : リングプロセッサの非カタストロヒック障害発生確率

D_c : リングプロセッサのカタストロヒック障害発生確率

なお、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。受信側リングプロセッサはキャリア検出機能により、伝送回線の切断などの障害を容易に検出することができる。さらに、端末・リングプロセッサ間の接続線の障害は端末が通信できない点から、リングプロセッサがバイパスした状況と本質的に同じであり、非カタストロヒック障害と考えられる。すなわち、接続線の障害は該当リングプロセッサの非カタストロヒック障害として扱う。表1に障害の種類とその障害処理の関係を示す。

3. 多重リングシステムの信頼性

ここでは、バイパス機能をもたない多重リングシステムとリングプロセッサにバイパス機能をもたせた多重リングシステムの信頼性について考察する。前章の多重リングシステムのモデル化に関して仮定を設ける。

1. リングプロセッサに障害が発生したとき、カタストロヒックまたは非カタストロヒック障害のいずれか1つしか生じない。
2. リングプロセッサの全回路に比べて、バイパス制御回路の占める割合は小さいので、バイパス機能を付加した障害発生確率はバイパス機能のない場合の障害発生確率と変わらないものとする。
3. バイパスや端末の切り離しには障害が発生しないものとする。
4. 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することができる。ただしデータは途中の端末を経由することができない。

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

障 害	障害対策/結果
スーパーバイザ ダウン	システム全体のダウン
ターミナル ダウン	該当ターミナルをシステムから切り放して、続行運転をする。
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障害箇所を切り離し、フレーム同期を回復して、続行運転をする。
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

ここでは、リングプロセッサがバイパス機能をもたない多重リングともつ多重リングを考える。今、 m 局で l 重リングの場合の平均実効端末数を $N(m, l)$ で表す。

最初に通信し合う2つの端末が生きている確率 P_0 を求める。このとき、リングのフレーム同期をとっているのがスーパーバイザなので、スーパーバイザは常に正常でなければならない。

$$P_0 = (1 - D_s)(1 - D_t)^2 \quad (1)$$

次に、 l 重リングのいずれかのリングを使用して、自分自身の端末とスーパーバイザを除いた $(m-2)$ の相手端末と通信できる確率 $P(A)$ 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_1 は次式となる。

$$P_1 = P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_l) \\ = 1 - P(A_1^c \cap A_2^c \cap \dots \cap A_l^c)$$

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 $P(A_i)$ の確率は等しい。

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

すなわち

$$P_1 = 1 - \{1 - P(A_1)\}^l$$

ゆえに、多重リングを介して自局と相手局の端末が通信できる確率は次のとおりである。

$$P(A) = (1 - D_s)(1 - D_t)^2 [1 - \{1 - P(A_1)\}^l] \quad (2)$$

上式はリング型 LAN なので、リング上の自局の位置に依存しない。多重リングには、自分の端末とスーパーバイザを除くと $(m-2)$ 個の端末が存在するので、平均実効端末数 $N(m, l)$ は次のとおりになる。

$$N(m, l) = (m-2)(1 - D_s)(1 - D_t)^2$$

$$\times [1 - \{1 - P(A_1)\}^l] \quad (3)$$

ただし $m \geq 3, l \geq 1$

次にバイパス機能なしとありの多重リングシステムに関して $P(A_1)$ を導出する。

(1) バイパス機能なしの多重リングシステム

バイパス機能がないため、1つのリングが生きている条件はそのリング上の m 個のリングプロセッサが正常である必要がある。すなわち、 $P(A_1)$ は、

$$P(A_1) = (1 - D_c - D_r)^m$$

であり、式(3)より平均実効端末数 $N_1(m, l)$ は次のようになる。

$$N_1(m, l) = (m-2)(1 - D_s)(1 - D_c)^2 \times [1 - \{1 - (1 - D_r - D_c)^m\}^l] \quad (4)$$

ただし $m \geq 3, l \geq 1$

(2) バイパス機能をもつ多重リングシステム

リングプロセッサに非カタストロヒック障害が発生した場合、自主的にその障害箇所を切り離し、リングをバイパスすることにより、フレーム同期を回復することができる。バイパス機能があるとき、1つのリングを使って自局と相手局の両端末が通信できる状態は次のとおりである。

1. 自局、相手局と制御局のリングプロセッサが正常である。
2. 上記以外の $(m-3)$ 個のリングプロセッサがカタストロヒック障害を起こしていない。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、1つのリングが生きている確率 $P(A_1)$ は

$$P(A_1) = (1 - D_c - D_r)^3 (1 - D_c)^{m-3}$$

である。よって、バイパス機能をもつ多重リングシステムの平均実効端末数 $N_2(m, l)$ は次式で表される。

$$N_2(m, l) = (m-2)(1 - D_s)(1 - D_c)^2 \times [1 - \{1 - (1 - D_c - D_r)^3 \times (1 - D_c)^{m-3}\}^l] \quad (5)$$

ただし $m \geq 3, l \geq 1$

4. 最適リングシステム構成

多重リングの多重度とそれぞれの障害発生確率が与えられると、平均実効端末数 $N_1(m, l)$ と $N_2(m, l)$ を最大とする最適端末数 m_0 が存在する。すなわち、システムの信頼性が最も高くなる最適リングシステム構成が存在する。式

(4)と(5)をまとめると次式で表される。

$$N(m, l) = \alpha(m-2)[1 - \{1 - \beta(1 - \gamma)^m\}^l] \quad (6)$$

ただしバイパスなしの場合、

$$\alpha = (1 - D_s)(1 - D_c)^2, \beta = 1, \gamma = D_r + D_c$$

バイパスありの場合、

$$\alpha = (1 - D_s)(1 - D_c)^2, \beta = (1 - D_r - D_c)(1 - D_c)^3, \gamma = D_c$$

(6)式より、直接、最適端末数 m_0 を求めようとしたが、一般解が得られなかったので近似的に最適端末数 m_0 を求める。一般に、実際に稼動している LAN に接続されている端末は多数あるので、 $m \gg 1$ が成り立つ。かつ現実には発生する障害は極めて少ないことを考慮するなら、 $0 < D_r, D_c \ll 1$ が成り立つ。これらの条件を満たす場合、(6)式は次式となる(付録参照)。

$$N(m, l) = \alpha m \{1 - (m\gamma)^l\} \quad (7)$$

ただし、 $\alpha = (1 - D_s)(1 - D_c)^2$ 、バイパスなしの場合、 $\gamma = D_r + D_c$ であり、バイパスありの場合、 $\gamma = D_c$ である。

式(7)より近似的に最適端末数を求めることができる(付録参照)。結果は次のとおりである。

$$m_0 = \gamma^{-1} \cdot (l+1)^{-1/l} \quad (8)$$

一般に、バイパス機能の有無にかかわらず、リングの多重度が小さい場合には、得られた近似解は式(6)から数値計算した結果とほぼ一致している。図4にバイパス機能をもつ多重リングシステムの場合の数値計算結果と近似解結果の比較を示す。 $D_s = 10^{-5}, D_r = 10^{-4}$,

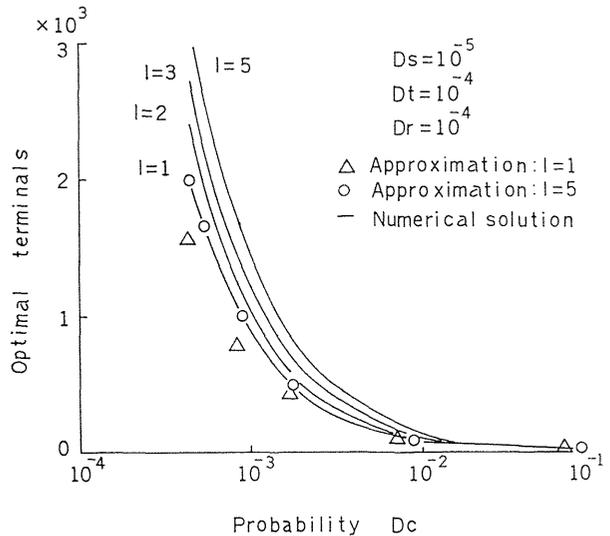


図4 最適端末数と近似最適解
Fig. 4 Optimal terminal numbers and approximation.

$D_r=10^{-4}$ のときの最適端末数とカタストロヒック障害確率 D_c の関係を示している。

5. 考 察

現実に各障害発生確率はどの程度の範囲に存在するか興味があるが、具体的実測データは極めて少ない。故障確率がある定常状態値をもつと仮定し、その故障確率を D とする。 D は次式で与えられるものとする。

$$D = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR}$$

ただし、MTBF は平均故障間隔時間であり、MTTR は平均修復時間である。この定義に従って、障害発生確率について述べる。Zafiropulo は根拠を示していないが、 $10^{-4} \leq D_c \leq 10^{-6}$ の範囲で単一リングシステムの信頼性を論じている²⁵⁾。また、2重リング Gamma-net¹⁹⁾ の故障確率は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ のオーダーである。これからカタストロヒックや非カタストロヒック障害発生確率も同程度のオーダーであろうと推論できる。ちなみに Gamma-net に接続されている1つの端末 (大型計算機 M 380) の故障確率は 10^{-3} のオーダーである²⁶⁾。本論文では研究開発が頻繁なシステム環境を想定し、カタストロヒックや非カタストロヒック障害発生確率の値を $10^{-2} \sim 10^{-4}$ の範囲にとり、信頼性を議論する。

次に、得られた解析結果から平均実効端末数、リングの多重化による信頼性向上効果とバイパス効果について述べる。

(1) 平均実効端末数

平均実効端末数はリングシステムに接続されている端末のうち、平均して幾つのアクティブ端末があるかを示しており、一般に、バイパス機能の有無にかかわらずシステムの信頼性を最も高める最適端末数が存在する。最適端末数が存在する理由は次のように考えられる。端末の総数が増加すればするほど、平均アクティブ端末数が増える。一方、端末数が増えるとリングプロセッサも増加する。リングプロセッサの増加はリングプロセッサの障害発生確率の増加を意味し、システムのダウンの確率が高くなる。すなわち、これらのトレードオフには最適値が存在すると考えられる。例としてバイパス機能付き2重リングシステムの平均実効端末数とリングに接続された総端末数との関係を図5に示す。パラメータは $D_s=10^{-5}$, $D_t=10^{-4}$, $D_r=10^{-4}$, $l=2$ と $10^{-3} \leq D_c \leq 10^{-1}$ の範囲を選択している。

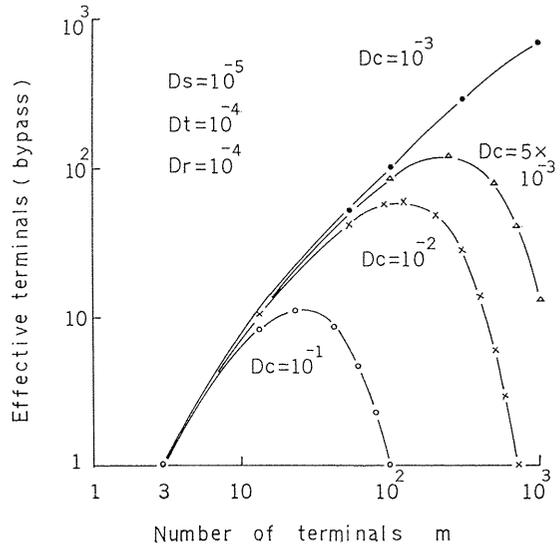


図5 平均実効端末数と端末数 (バイパス機能をもつ場合)
Fig. 5 Effective terminal numbers and attached terminal numbers in case of bypass facility.

$$\frac{N_2(203, 1)}{N_2(203, 1)}$$

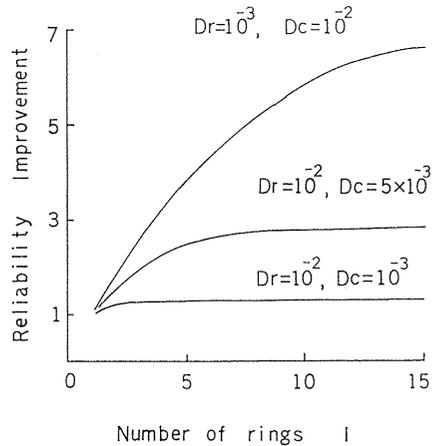


図6 リングの多重化による信頼性改善度
Fig. 6 Reliability improvement achieved by multirings.

最適端末数は式(8)からも明らかであるように γ の逆数すなわちカタストロヒック障害確率 D_c の逆数に比例して変化する。

(2) リングの多重化と信頼性の効果

リングシステムの信頼性を高める1つの方法としてリングの多重化がある。図6は1重リングに比べて多重化により、どの程度システム信頼性が改善されるか

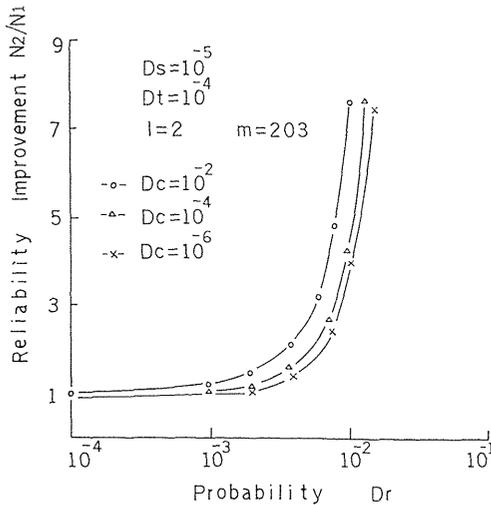


図7 システム信頼性に与える非カタストロヒック障害の影響度

Fig. 7 Effectiveness of non-catastrophic failure probability on reliability.

を示している。バイパス機能をもつ多重リングシステムについて、パラメータを $D_s=10^{-5}$, $D_t=10^{-4}$ とし信頼性の改善度 $N_z(203, l)/N_z(203, 1)$ と多重度の関係を示す。一般にカタストロヒック障害確率 D_c と非カタストロヒック障害確率 D_r に依存するが、ある程度の多重化を施すと信頼性の改善度は飽和する。たとえば、図の $D_r=10^{-2}$ と $D_c=5 \times 10^{-3}$ の場合、リングの多重化に伴って著しく信頼性は良くなるが、5重リング以上では信頼性の改善はほとんど見られない。

一般的傾向として、リングプロセッサの信頼性が低い場合には多重化の効果が大きい。一方、リングプロセッサの信頼性が高い場合は著しい効果もなく、ある程度の多重化で信頼性の改善度が飽和するといえる。

(3) バイパスによる信頼性の改善

リングプロセッサにバイパス機能を付加したときのリングシステム信頼性の改善度を述べる。一般にバイパス機能のないリングシステムに比べて、バイパス機能をもつリングシステムの信頼性は非カタストロヒック障害確率 D_r に強く依存する。図7に2重リングシステムの例を示す。固定パラメータはそれぞれ $D_s=10^{-5}$, $D_t=10^{-4}$, $l=2$ と $m=203$ である。 D_r の変化に対するバイパス効果 $N_z(203, 2)/N_z(203, 1)$ を示している。 D_r の確率が小さい場合はバイパスによる効果は低い。しかし、図に示すように $D_r=10^{-2} \sim 10^{-3}$ の範囲では、バイパス効果が現れ、システムの信頼性が著しく改善されることを示している。

6. あとがき

フレーム同期を1つの制御局で行う集中型制御LANをモデルの対象として、システムの信頼性の評価を行った。具体的には、バイパス機能をもつ多重リングシステムとバイパス機能をもたない多重リングシステムに関して、信頼性解析を行い、リングの多重化やバイパスによる信頼性の改善および最適リングシステム構成について定量的評価を行った。残された課題はUターン機能をもつ多重リングや大規模LANに見られる多段多重リングの信頼性評価である。

謝辞 最後に、本研究について様々な御教示をいただいた池田研究室の諸氏に感謝致します。また、本論文の作成に協力していただいた本学大学院理工学修士1年生、高野 智君に感謝する。

参考文献

- 1) Liu, M. T.: *Distributed Loop Computer Networks*, 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) Ebihara, Y. et al.: Connection of Computers of Different Architecture to a LAN via a Gateway Process, *J. Inf. Process.*, Vol. 10, No. 2, pp. 66-73 (1987).
- 10) Reams, C. C. et al.: Design and Simulation of the Distributed Loop Network (DLCN), *3rd Annual Symp. on Comput. Architecture*, pp. 124-129 (1976).
- 11) Comfort, W. T.: A Fault-tolerance System Architecture for Navy Applications, *IBM J.*

- Res. Develop.*, Vol. 27, pp. 219-236 (1983).
- 12) Pierce, J. R.: Network for Block Switching of Data, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 51, pp. 1133-1145 (1972).
- 13) 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).
- 14) Ikeda, K. et al.: A Local Computer Network that Uses a Wideband Channel, *Japan Annual Rev. in Electronics, Comput. and Telcomm.*, Vol. 7, pp. 1-13 (1983).
- 15) 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).
- 16) Gordon, R. L. et al.: Ring Net: A Packet Switched Local Network with Decentralized Control, *Computer Networks*, Vol. 3, pp. 373-379 (1980).
- 17) Kohler, W. H.: A Survey of Techniques for Synchronization and Recovery in Decentralized Computer Systems, *Comput. Surv.*, Vol. 13, p. 2 (1981).
- 18) Mori, K. et al.: Autonomous Decentralized Loop Network, *COMPCON 82 Spring*, pp. 1-4 (1982).
- 19) Ebihara, Y. et al.: Fault Diagnosis and Automatic Reconfiguration for a Ring Subsystem, *Computer Networks*, Vol. 10, No. 2, pp. 97-109 (1985).
- 20) 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).
- 21) Branscomb, L. M.: Computer Communications in the Eighties—Time to Put It All Together, *Computer Networks*, Vol. 5, pp. 3-8 (1981).
- 22) Paulish, D. J.: A Fail-soft Distributed Processing System, *COMPCON 80 Fall*, pp. 179-184 (1980).
- 23) Kropfl, W. J.: An Experimental Data Block Switching System, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 51, pp. 1147-1165 (1972).
- 24) Coker, C. H.: An Experimental Interconnection of Computers through a Loop Transmission System, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 51, pp. 1167-1175 (1972).
- 25) 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).
- 26) Zafropulo, P.: Reliability Optimization in Multiloop Communication Networks, *IEEE*

Trans. on Comm., Vol. COM-21, No. 8, pp. 898-907 (1973).

- 27) 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).
- 28) 筑波大学・学術情報処理センターニュース, No. 53 (1987).

付 録

式(6)より,

$$N(m, l) = \alpha(m-2)[1 - \{1 - \beta(1-\gamma)^m\}^l]$$

一般に LAN に接続している端末数は数十～数百のオーダーであるので, $m_0 \gg 1$ が成り立つ。ゆえに,

$$m-2 \approx m,$$

と考えられる。かつ実用システムではリングプロセッサの障害発生は極めて小さいので, $0 < D_i, D_i \ll 1$ が成立する。すなわち $0 < \gamma \ll 1$ が成り立つので,

$$(1-\gamma)^m \approx 1 - m\gamma,$$

と近似できる。

ただし, $(1-\gamma)^m$ は常に負とならないので,

$$1 - m\gamma \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad m \leq \gamma^{-1},$$

とする。また, バイパスなしのとき, $\beta=1$ であるが, バイパスありのときも, $\beta \approx 1$ で近似することができる。これらより式(6)は次の式で表せる。

$$N(m, l) = \alpha m \{1 - (m\gamma)^l\}$$

上式は微分可能な連続関数である。m に関して微分すると,

$$dN(m, l)/dm = \alpha \{1 - (l+1)(m\gamma)^l\}.$$

左辺を 0 と置くと, α は正の定数であるので m_0 は,

$$m_0 = \gamma^{-1} \cdot (l+1)^{-1/l}$$

となる。下の表より, $N(m, l)$ は上に凸の曲線であるので, m_0 は最大値をとる。

m	0	...	m_0	...	γ^{-1}
$\frac{dN(m, l)}{dm}$		+	0		-
$N(m, l)$	0	↗	最大	↘	0

(昭和 62 年 7 月 21 日受付)

(昭和 62 年 11 月 11 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。



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。著書に「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。