3D-1

連続冗長系モデルについて

トランスポンダ応用列車制御システムの信頼度計算とその一般化

福田久治
(財)鉄道総合技術研究所

1．はじめに

トランスポンダという名称は衛星通信の分野で使用されているが、鉄道においては列車に搭載された質問装置（車上子）と地上に設備された応答装置（地上子）で構成されるデジタル方式による点制御多情報伝送装置のことである。

ここでは、列車が軌道内に取り付けられた地上子の上を通過する時、車上子に受けた情報（前方区間の列車の有無等）によって、次の閉塞区間の速度を逐次決定するシステムに対して[1]、信頼度計算アルゴリズム、数値例、一般化による連続冗長系モデルの提案等について述べる。

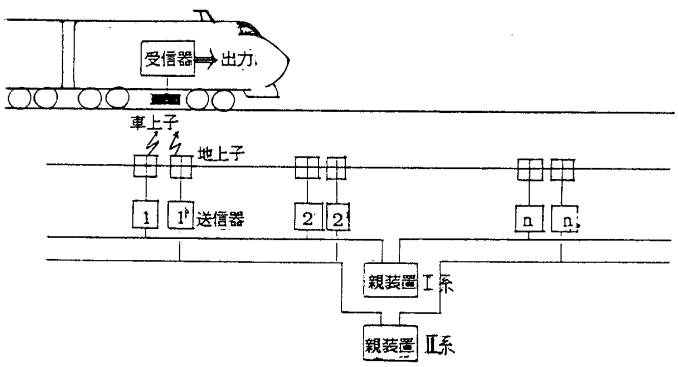

図1　トランスポンダを応用した列車制御システム

2．システムの信頼度

システム信頼度を計算するに当たっては次の条件を与える。

(1) ある1つの装置の故障は車上子によって判断でき、その場合、速度レベルを現行レベルより1つダウンさせる。

(2) 連続する2つの装置故障は、安全性よりシステムダウンとする。

(3) I系と独立なII系のバックアップシステムを持つ。

(4) ここでは親装置、車上側の装置故障は考えない。

数学的に表現するなら、N個のシリアルに並んだ装置より構成されるシステムにおいて、少なくとも任意な2つが連続して故障する確率、バックアップ系があるときは、I系において少なくとも任意な2つが連続して故障するとき、II系においても、少なくともその2つと同位置の装置を含む故障が発生する確率を求めることになる。

この解は次の差分方程式で与えられることを示すことが出来る。

$$P_{K+1} = P_K\, q + P_{K-1}\, q\, p \qquad (1)$$

ここに、　P_K：N個の内の第k番装置から連続故障が発生する確率

p：装置の故障確率

q：装置の非故障確率，$q = 1 - p$

差分方程式（1）の一般解は特性方程式の解をG_1、G_2とすると

$$P_K = \frac{p^2}{G_1 - G_2}\left\{G_1^{K} - G_2^{K}\right\} \qquad (G_1 > G_2)$$

これより、システム信頼度Pは

$$P = \sum_{K=1}^{N-1} P_K = \frac{p^2}{G_1 - G_2}\left\{\sum_{K=1}^{N-1} G_1^{K} - \sum_{K=1}^{N-1} G_2^{K}\right\} = \frac{p^2}{G_1 - G_2}\left\{\frac{1-G_1^{N}}{1-G_1} - \frac{1-G_2^{N}}{1-G_2}\right\}$$

On the Continuous Redundancy System Model
Hisaji Fukuda
Railway Technical Research Institute

バックアップ系の場合

$$P=\sum_{K=1}^{N-1}P_K^{2}=\frac{p^4}{(G_1-G_2)^2}\sum_{K=1}^{N-1}\{G_1^{K}-G_2^{K}\}^2=\frac{p^4}{(G_1-G_2)^2}\left\{\frac{1-G_1^{2N}}{1-G_1^{2}}+\frac{1-G_2^{2N}}{1-G_2^{2}}-2\frac{1-(G_1G_2)^N}{1-G_1G_2}\right\}$$

3．数値例と考察

装置故障がランダム発生、すなわちPoisson分布（故障間隔は指数分布）に従うとすれば、q、pに対してそれぞれ信頼度R（t）＝EXP（－λt）、不信頼度F（t）=1－R（t）を与えることができる。

装置故障率 ＼ System	Single 系		Back up系	
	MTSF	故障率 Λ_S	MTSF	故障率 Λ_B
$\lambda=1*10^{-5}$	$3.25*10^{4}$	$3.07*10^{-5}$	$1.26*10^{5}$	$7.91*10^{-6}$
$2*10^{-5}$	$1.63*10^{4}$	$6.13*10^{-5}$	$9.01*10^{4}$	$1.11*10^{-5}$
$3*10^{-5}$	$1.09*10^{4}$	$9.16*10^{-5}$	$6.50*10^{4}$	$1.54*10^{-5}$
$4*10^{-5}$	$8.32*10^{3}$	$1.20*10^{-4}$	$4.96*10^{4}$	$2.02*10^{-5}$
$5*10^{-5}$	$6.89*10^{3}$	$1.45*10^{-4}$	$3.98*10^{4}$	$2.51*10^{-5}$
$6*10^{-5}$	$6.06*10^{3}$	$1.65*10^{-4}$	$3.32*10^{4}$	$3.01*10^{-5}$
$7*10^{-5}$	$5.58*10^{3}$	$1.79*10^{-4}$	$2.85*10^{4}$	$3.51*10^{-5}$
$8*10^{-5}$	$5.32*10^{3}$	$1.88*10^{-4}$	$2.50*10^{4}$	$4.01*10^{-5}$
$9*10^{-5}$	$5.17*10^{3}$	$1.94*10^{-4}$	$2.21*10^{4}$	$4.51*10^{-5}$
$10*10^{-5}$	$5.09*10^{3}$	$1.97*10^{-4}$	$1.99*10^{4}$	$5.01*10^{-5}$

（N=14とした）

図2　連続冗長系モデルのMTSFと故障率の数値例

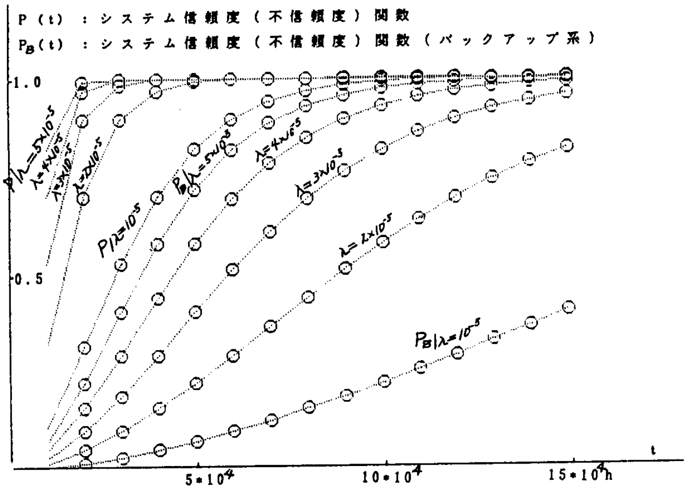

図2　システム信頼度（不信頼度）関数

図2はλ＝10000から100000fit(10^{-5}～10^{-4} 1/h)のときのシステム信頼度（不信頼度）関数を示したもの、表1はシステムのMTSFおよび故障率 Λ＝1／MTSFを示したものである。ここに、MTSF＝$\int_0^{\infty}\{1-P(t)\}dt$ である。これより例えば、λ=10^{-5}1/hのとき、シングル系で$\Lambda_S=3.07\times10^{-5}$、バックアップ系で$\Lambda_B=7.91\times10^{-6}$という結果が得られた。システム故障率を1万fit以下にするには、バックアップ系でほぼλ=2×10^{-5}以下にすれば良いこと等がわかる。(N=14とした)

4．まとめ

シリアルに装置が並んで構成されるシステムで、連続して装置故障が発生するときシステムがダウンする連続冗長系モデルの信頼度が差分方程式で与えられることを示した。これはさらに一般化して、任意な長さの連続、任意な分布形に拡張を考えることが出来る。

参考文献　1）宮地、佐藤：トランスポンダを用いた高速化対応ATCシステムの開発，鉄道総研報告，2巻，2号，1988