

交通ネットワークに対する信頼度解析手法の開発研究

京都大学工学部 正 員 飯田 恭敬
 大阪府立工業高等専門学校 正 員 若林 拓史
 京都大学大学院 学生員 福島 博
 京都大学工学部 学生員 金子 哲也

1. 研究目的

道路網整備水準の一指標として「信頼性」を考える。ここでは、道路網を一つのシステムと考え、それを構成するリンクを部品（ユニット）として、リンクの信頼度がシステムの信頼度に与える影響について考察する。大規模ネットワークを対象とした場合、信頼度の厳密値を求めることは計算量が膨大となり困難であるので、近似値を求める方法が有効となる。そこで、モンテカルロ・シミュレーションによる方法（従来のモンテカルロ法および分散減少法を取り入れたモンテカルロ法）を取り上げ、それらを道路網の信頼性解析に用いる場合の適用性について検討する。

2. 従来のモンテカルロ・シミュレーションによる近似値計算

対象とする交通ネットワークのそれぞれのリンク a に二値変数 x_a （リンクが機能しているとき 1、故障しているとき 0）を対応させる。また、システムはこの x_a を用いた二値関数 $\phi(x)$ で表現されるものとする。

統計的に独立な x のサンプルベクトルを N 個（試行回数）サンプリングしてモンテカルロ・シミュレーションを行うとシステム信頼度の推定値 R および厳密値 R に対する分散 V は次のように与えられる。

x として $c_1, \dots, c_N$ という N 個の統計的に独立なサンプルベクトルを発生させると、

$$R_c = N^{-1} \sum_N \phi(c_v) \quad (1)$$

$$V_c = N^{-1} R (1 - R) \quad (2)$$

で与えられる。しかし、この方法はネットワークが大規模化した場合、有効な近似値を得るためには膨大な試行回数を必要とするためあまり実用的ではないと考えられる。

3. 分散減少法を取り入れたモンテカルロ・シミュレーションによる近似値計算¹⁾

次に、前で述べた従来のモンテカルロ・シミュレーション（以下、直接法と呼ぶ）の欠点を改良するために分散減少法を取り入れたモンテカルロ・シミュレーション（以下、分散減少法と呼ぶ）について考える。

分散減少法とは、システム信頼度の一部がすでに解析的に計算されている場合、これを利用してシステム信頼度の推定値の分散を減少させて、求める数値の精度を向上させようというものである。RGAによれば、対象としているネットワークのすべてのミニマルパス（あるいはミニマルカット）を用いて計算すればシステム信頼度の厳密値を求めることができる。しかし、ネットワークが大規模化するにつれてすべてのミニマルパス（ミニマルカット）を求めることは困難となる。一方、一部のミニマルパスを用いて求めた値はシステム信頼度の下限値を与え、ミニマルカットを用いて求めた値は上限値を与える。そこで、このようにして求める上・下限値を利用し、この間だけでサンプリングすることによってシステム信頼度の推定値の分散を減少させることができる。すなわち、分散減少法に

Yasunori IIDA, Hiroshi WAKABAYASHI, Hirishi FUKUSHIMA and Tetsuya KANEKO

よるシステム信頼度の推定値 R_r および厳密値 R に対する分散 V_r は次のように与えられる。

統計的に独立な N 個のサンプルベクトル $s_1, \dots, s_N$ を発生させると、

$$R_r = [R_u - R_L] N^{-1} \sum \phi(s_v) + R_L \quad (3)$$

$$V_r = N^{-1} (R_u - R) (R - R_L) \quad (4)$$

ここで、 R_u とはシステム信頼度の上限値、 R_L とは下限値である。式(2)、(4)より $V_o > V_r$ であるので、同一試行回数ならば分散減少法の方が直接法よりも分散が小さく有効な近似値を与えることがわかる。

4. 仮想のネットワークにおけるケーススタディ

次に直接法と分散減少法を下図のネットワークに適用する。ここではノードペア(1,16)の信頼度について考える。各リンクの信頼度を 0.9 とした場合それぞれの推定値と分散は次のようになった。

$$\begin{aligned} R &= 0.97505 & R_o &= 0.97770 & R_r &= 0.97542 \\ V_o &= 2.4327 \times 10^{-6} & V_r &= 5.4064 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

また、シミュレーションに要した時間はそれぞれ

$$T_o = 5.863(\text{sec}) \quad T_r = 6.698(\text{sec})$$

であり、計算効率を計算時間×分散で定義すると、分散減少法の方が直接法に比べて約38倍の計算効率を持っている。

また、各リンク信頼度を0.5とした場合は次のようになった。

$$\begin{aligned} R &= 0.19844 & R_o &= 0.19170 & R_r &= 0.19818 \\ V_o &= 1.5906 \times 10^{-5} & V_r &= 4.4658 \times 10^{-6} \\ T_o &= 3.989(\text{sec}) & T_r &= 5.545(\text{sec}) \end{aligned}$$

したがって、分散減少法の方が直接法よりも約2.6倍の計算効率を持つ。

以上の結果より、分散減少法は直接法に比べて非常に有効な近似値を与えることがわかった。しかし、分散減少法の場合シミュレーションを行う以前に一部のミニマルパス（ミニマルカット）を用いて構造関数の構築を行わなければならないのであるが、ここでいう計算時間にはそれが含まれていない。したがって、それをどのように評価するかが今後の検討課題である。そのほか、今後の検討課題としてはミニマルパス（ミニマルカット）をどのように選択するかが問題となるであろう。なお、計算結果は講演時に示す。

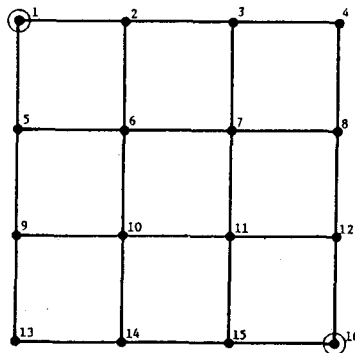


図 ネットワーク形状

参考文献 1) Henley, E. J and Kumamoto, H.: RELIABILITY ENGINEERING AND RISK ASSESSMENT, Chapter 12, Prentice-Hall, Inc., 1981.