

n 番目最短経路を用いた簡便な信頼性解析法

信州大学工学部 正員 中川真治
 名城大学都市情報学部 正員 若林拓史
 京都大学工学部 正員 飯田恭敬

1. はじめに

都市の社会経済活動において人や物資の移動は極めて重要な位置を占めている。連結信頼性の高い道路網は代替経路の存在により安定した交通サービスを利用者に提供することができる。しかし、大規模システムである道路網の信頼性解析は非常に困難である。本研究では、道路網全体の信頼性評価への展開も可能なノード間信頼度の簡便な計算方法を提案する。さらに、図-1-aに示す京都市道路網を対象として数値計算を行い、その考察を通して、本方法の問題点や今後の課題について考える。

2. n 番目最短経路を用いた信頼度の近似計算法

道路ネットワークが与えられたとき、あるノード間信頼度を求めるには、①個々のリンク信頼度を推定するステップ、②ステップ①で得られたリンク信頼度を用いてノード間信頼度を算定するステップ、という2つのステップが必要である。本研究では、ステップ②における簡便な近似計算法を提案する。ここで提案する方法は、システム工学における信頼性グラフ解析(Reliability Graph Analysis, RGA)の方法に基づくものであり、以下に示すようなプロセスにしたがう。なお、リンク信頼度の推定は、若林・飯田・井上¹⁾が提案した方法を用いる。この推定法は1回の交通量配分結果を用いてリンク信頼度を推定するという簡便さに特徴がある。

本研究で提案するノード間信頼度の近似計算法のプロセスを以下に示す。

- ① 交通量配分を実行し、リンク交通量を算定するとともに前述の方法を用いてリンク信頼度 r_a を推定する。ここに a はオリジナルの道路ネットワークのリンク番号である。
- ② 交通量配分結果を用いて n 番目最短経路を探索する。こうして得られる道路網を限定ネットワークと呼ぶ。本研究では、 $n = 3$ とする。
- ③ 限定ネットワークのリンクはオリジナルのネットワークの1つもしくは複数のリンクから構成される。そのリンク信頼度 r_A は構成(オリジナルネットワークの)リンクのリンク信頼度の最小値、つまり

$r_A = \min_{a \in a_A} \{r_a\}$ として与える。ここに、 a_A は限定ネットワークのリンク A に含まれるオリジナルネットワークのリンク番号、 A は限定ネットワークのリンク番号である。

- ④ 限定ネットワークのノード間信頼度 R を、1~3 番目最短経路のうち少なくとも1つの経路が通行可能な確率として次式により定義する。

$$R = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \prod_{A \in P_i} r_A)$$

となる。ここに、 P_i は限定ネットワークの i 番目最短経路を表す。

- ⑤ 関数 R にリンク信頼度 r_A を代入してノード間信頼度 R を求める。その際、確率の重複計算をさけるブール演算 ($r_A \times r_A = r_A$) を施す。

例えば、図-1-bのように $(1, 2, 4)$, $(1, 3, 5, 4)$, $(1, 3, 6)$ という3経路から構成される $(\quad)$ 内の番号は限定ネットワークのリンク番号、図-1-b参照) 限定ネットワークの場合は、ノード間信頼度 R は次式で与えられる。

$$R = 1 - (1 - r_1 r_2 r_4)(1 - r_1 r_3 r_5 r_4)(1 - r_1 r_3 r_6)$$

この方法により、比較的簡単にノード間信頼度を推定することが可能である。ただし、限定ネットワークのリンク信頼度 r_A の決定方法、ブール演算を考慮した効率的な計算プログラムの開発が課題として挙げられる。

3. 京都市道路網を対象とした数値計算例

(1) 数値計算の前提条件

Fisk²⁾が定式化した確率利用者均衡配分(SUE)を定式化する最適化問題の目的関数 Z ,

$$Z = \frac{1}{\theta} \sum_{i,j} \sum_k h_{k,ij} \ln(h_{k,ij}) + \sum_a \int_0^{v_a} t_a(v) dv \quad (1)$$

をみると、SUE配分結果は、分担パラメータ θ の値が0の場合は均等配分に一致し、 θ が ∞ になると等時間配分に一致することがわかる。そこで、分担パラメータ θ をドライバーが有する交通状態に関する情報のレベルと位置づけられる。

ここに、 $h_{k,ij}$ はODペア (i, j) の k 番目経路の交通量、 v_a はリンク a の交通量、 $t_a(\cdot)$ はリンク a の走行時間関数、 X_{ij} はODペア (i, j) のOD交通量、 $\delta_{ak,ij}$ は経路行列を表す。

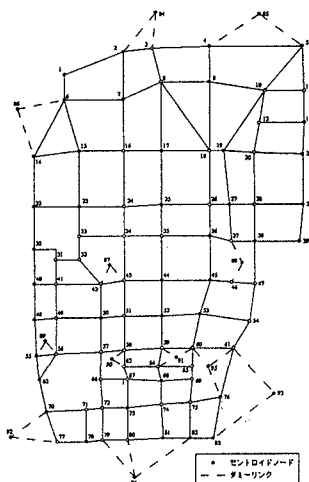


図 1-a 数値計算の対象道路網 (京都市道路網)

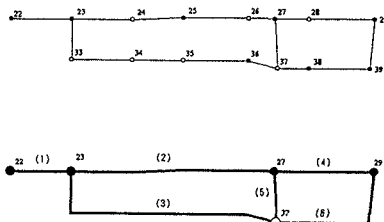


図 1-b 限定ネットワークの例 (京都市道路網)

図 1 数値計算に用いる道路網

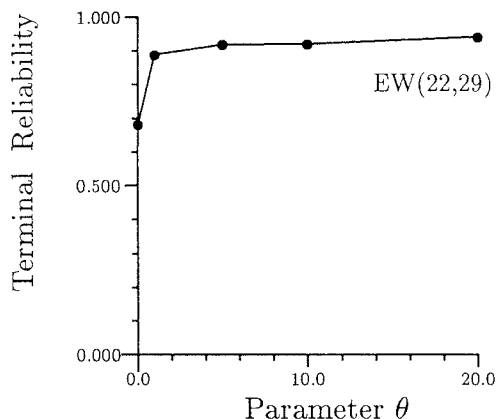


図 2 ノードペア EW のノード間信頼度の変化

また、信頼度計算の最初の段階で必要な交通量配分計算は、

$$\theta = 0.0, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0$$

なる 5 つの値の分担パラメータ θ について、近似解法の 1 つである逐次平均化法³⁾を用いて行う。

ノード間信頼度の計算は、(4,81), (22,29), (5,70), (1,83) という 4 つのノードペアに対して行う。これらのノードペアを NS, EW, DG1, DG2 とそれぞれ呼ぶ。ただし、紙面の都合上、計算結果と考察はノードペア EW についてのみ行う。

(2) 計算結果と考察

パラメータ θ の値とノードペア EW のノード間信頼度の関係を示す図-2より、ノード間信頼度はかなり高い値

であり、比較的高いサービスレベルであると考えられる。これは、1~3 番目最短経路にリンク信頼度の低いリンクが含まれないこと、さらに、比較的リンク信頼度の高いリンクが多いこと、が理由と思われる。また、ノード間信頼度は θ が 0.0 のときに最小であり、 θ が 0.0 から 1.0 になるときに急激に増加する。しかし、それ以上の θ の増加に対してはノード間信頼度は増加傾向にあるものの増加幅は小さい。

4. おわりに

本研究で提案した方法は、3 番目最短経路が得られればノード間信頼度の近似値が計算できるという簡便さを有する。また、ノードペアごとの信頼性解析結果を用いて、ノードペアごとの交通管理運用策の効果分析や道路網全体への信頼性評価への展開も可能である。今後は、本方法の有効性を検証するために、他の道路網信頼性解析法との比較、オリジナルのネットワークのリンク信頼度の推定方法、限定ネットワークのリンク信頼度の決定方法などについての分析・検討が必要である。

参考文献

- 1) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法，土木学会論文集，No.458/IV-18，pp.35-44，1993。
- 2) C. Fisk：Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment，*Transportation Research-B*，Vol. 14B，pp.243-255，1980。
- 3) 土木学会土木計画学研究委員会編：第 18 回土木計画学講習会テキスト-交通ネットワークの分析と計画，pp.81-82，1987。