

確率重要度とクリティカルリティ重要度によるネットワークの信頼性向上効果

名城大学都市情報学部 正会員 若林拓史
東建コーポレーション 非会員 大野隆晴

1. はじめに

災害時等、交通ネットワークの信頼性を高く保つ必要のある場合どのようなリンクに着目して交通規制等をすればいいかを考える。従来、ネットワークの信頼度を効率的に向上させることのできるリンクの評価指標として確率重要度(Birnbaum's structural importance)が提案されている。確率重要度 PI_a とは、

$$PI_a = \partial R(r) / \partial r_a, \quad (1)$$

で定義される測度である。確率重要度には $0 \leq PI_a \leq 1$ という性質があり、そのリンクの信頼度の維持（向上／低下）がノード間信頼度の維持（向上／低下）に与える影響度を知ることができる。ここに、 R とはノード間信頼度、 a はリンク番号であり、 r_a とはリンク信頼度である。確率重要度には、効果的にノード間信頼度を向上させる可能性がある反面、時節以降で述べる欠点も持ち合わせている。本研究では、従来から提案されている確率重要度に加え、本研究で独自に考案したクリティカルリティ重要度と比較することで、これらの指標による信頼度の向上効果を数値計算するものである。

2. 確率重要度の性質

(1) 直列ネットワークの場合

確率重要度が高く計算されるリンクは、リンク信頼度が最も小さいリンクであり、このリンクの信頼度を向上させることによって効率的にネットワークの信頼度を向上させることができる。この結果は、ネットワーク運用上、実際の、合理的である。

(2) 並列ネットワークの場合

図-1 のネットワークを考える。AB 間のノード間信頼度は、

$$R_{AB} = 1 - (1 - r_1)(1 - r_2) \quad (2)$$

で計算されるから、 $PI_1 = 1 - r_2$ 、 $PI_2 = 1 - r_1$ である。仮に $r_1 > r_2$ の場合、 $PI_1 > PI_2$ となり、信頼度の高いリンク 1 が信頼度改善対象リンクとして選択される。リンク信

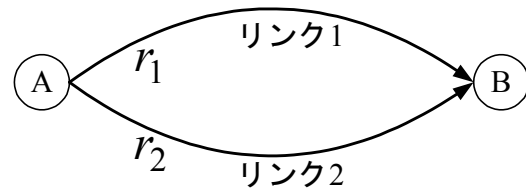


図-1 並列ネットワーク

頼度が交通量に依存する場合、信頼度改善は交通量を減少させることを意味し、混雑しているリンクはますます混雑し、円滑なリンクはその逆となる、実用上非現実的非合理的な運用結果となる欠点がある。

さらに、確率重要度には、信頼度のきわめて高いリンクの信頼度改善は困難であるという考慮ができないという欠点がある。

3. クリティカルリティ重要度

上記の確率重要度の特性を踏まえ、クリティカルリティ重要度を提案する。確率重要度には、もともと信頼度の高いリンク信頼度をさらに改善することは、信頼度の低いリンクを改善することより困難であるという事情が反映されていない。したがって、リンク信頼度のパーセント変化に対するノード間信頼度のパーセント変化の比として重要度を定義する方が交通計画の立場から便利である。これがクリティカルティ重要度である。システム信頼度解析でのクリティカルティ重要度とは式の定義を少し変え、リンク不信頼度を

$$q_a = 1 - r_a \quad (3)$$

とし、クリティカルティ重要度 CI_a を

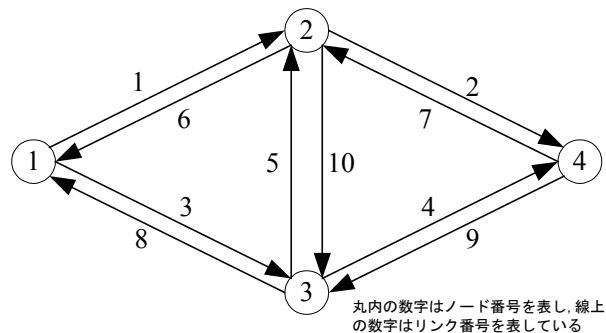


図-2 ネットワーク形状(4ノード10リンク)

KeyWords : ネットワーク信頼性, 重要度解析, 確率重要度, クリティカルリティ重要度, 道路網管理
連絡先 : 〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘 名城大学都市情報学部, Tel:0574-69-0131, Fax:0574-69-0155

$$CI_a = -\frac{\partial \ln R(r)}{\partial \ln q_a} \quad (4)$$

で定義する。CI_aとPI_aの間には

$$CI_a = (1-r_d)PI_a/R \quad (5)$$

の関係がある。信頼度が非常に高いリンクの信頼度を向上させることが困難であるということ表現できる。なお、(1)直列ネットワークの場合は確率重要度と同じ性質が、(2)図-1の並列ネットワークの場合はCI₁=CI₂の性質がある。

4. 数値計算例と考察・今後の課題

図-2のネットワークに対し、同一の初期値に対して

確率重要度、クリティカリティ重要度で規制リンクを選択し、ノード1-4間の信頼度および総所要時間等を比較したのが表-1,2である。確率重要度に着目した場合は常にリンク2が選択されるが、クリティカリティ重要度の場合は交互にリンクが選択される。ノード間信頼度および総所要時間の結果もクリティカリティ重要度の方が優れている。今後の課題は、クリティカリティ重要度についてはそのネットワーク信頼度向上への貢献挙動がどのようになっているか不明な点も残っている。今後、種々のネットワークに対して数値計算を行い、その挙動と利害得失を考察する予定である。

表-1 確率重要度に着目したネットワーク信頼度改善(総交通量3000台)

		初期状態	交通状態1	交通状態2	交通状態3	交通状態4	
交通量(単位:台) (合計3000台)	リンク1	1860(6.86)	1860(6.86)	1920(7.25)	1920(7.25)	1920(7.25)	
	リンク2	1860(6.86)	1560(5.28)	1380(4.58)	1200(4.04)	1080(3.76)	
	リンク3	1140(6.74)	1140(6.74)	1080(6.03)	1080(6.03)	1080(6.03)	
	リンク4	1140(6.74)	1440(11.56)	1620(15.60)	1800(20.66)	1920(24.65)	
	()内:所要時間(単位:分)	リンク5	0(1.00)	0(1.00)	60(1.00)	60(1.00)	60(1.00)
		リンク10	0(1.00)	300(1.00)	600(1.01)	780(1.03)	900(1.04)
確率重要度		リンク1	0.481926	0.555051	0.554833	0.582261	0.592812
		リンク2	0.481926	0.617914	0.656315	0.680140	0.690841
		リンク3	0.296886	0.341934	0.416025	0.438814	0.444502
		リンク4	0.296886	0.133832	0.055648	0.013198	0.003041
	リンク5	0.054380	0.095643	0.149220	0.164308	0.169243	
	リンク10	0.054380	0.011370	0.002656	0.000438	0.000081	
	規制リンク	なし	リンク2	リンク2	リンク2	リンク2	
クリティカリティ重要度	リンク1	0.359540	0.359542	0.361602	0.361602	0.361602	
	リンク2	0.359540	0.180432	0.072629	0.016923	0.003910	
	リンク3	0.359540	0.359542	0.361602	0.361602	0.361602	
	リンク4	0.359540	0.180432	0.072629	0.016923	0.003910	
	リンク5	0	0	0	0	0	
	リンク10	0	0	0	0	0	
混雑リンク個数	1.0<混雑度<1.5	4	4	3	3	3	
	1.5<混雑度	0	0	1	1	1	
	合計	4	4	4	4	4	
ノード間信頼度		0.541021	0.623112	0.684700	0.722207	0.731569	
総所要時間(単位:分)		40886.4	45626.4	52690.8	63331.8	72817.2	

表-2 クリティカリティ重要度に着目したネットワーク信頼度改善(総交通量3000)

		初期状態	交通状態1	交通状態2	交通状態3	交通状態4	
交通量(単位:台) (合計3000台)	リンク1	1860(6.86)	1860(6.86)	1620(5.55)	1560(5.28)	1380(4.5)	
	リンク2	1860(6.86)	1560(5.28)	1620(5.55)	1380(4.58)	1380(4.58)	
	リンク3	1140(6.74)	1140(6.74)	1380(10.41)	1440(11.56)	1620(15.60)	
	リンク4	1140(6.74)	1440(11.56)	1380(10.41)	1620(15.60)	1620(15.60)	
	()内:所要時間(単位:分)	リンク5	0(1.00)	0(1.00)	0(1.00)	0(1.00)	0(1.00)
		リンク10	0(1.00)	300(1.00)	0(1.00)	180(1.00)	0(1.00)
確率重要度		リンク1	0.481927	0.555051	0.665763	0.783197	0.833131
		リンク2	0.481927	0.617914	0.665763	0.757045	0.833131
		リンク3	0.296886	0.341934	0.183526	0.169630	0.070640
		リンク4	0.296886	0.133832	0.183526	0.064188	0.070640
	リンク5	0.054380	0.095643	0.026265	0.024032	0.006656	
	リンク10	0.054380	0.011370	0.026265	0.005538	0.006656	
クリティカリティ重要度	リンク1	0.359542	0.359542	0.224130	0.180432	0.072629	
	リンク2	0.359542	0.180432	0.224130	0.072629	0.072629	
	リンク3	0.359542	0.359542	0.224130	0.180432	0.072629	
	リンク4	0.359542	0.180432	0.224130	0.072629	0.072629	
	リンク5	0	0	0	0	0	
	リンク10	0	0	0	0	0	
	規制リンク	なし	リンク2	リンク1	リンク2	リンク1	
混雑リンク個数	1.0<混雑度<1.5	4	4	4	3	2	
	1.5<混雑度	0	0	0	1	2	
	合計	4	4	4	4	4	
ノード間信頼度		0.541021	0.623112	0.667336	0.789786	0.869163	
総所要時間(単位:分)		40886.400	45626.400	46713.600	56655.600	63074.400	