

通信網における迂回路割当て問題

加藤 亘 (沼田一道助教授, 松垣正浩助手)

1. はじめに

現代社会において、電話網、通信網は人や組織とをつなぐ主要な手段の一つとして不可欠なものであり、その利用は増加の一途を辿っている。

通信網能力(加入, 交換回線数, 交換能力など)は、平均的な接続要求(=呼)を考慮し、それに耐えられるよう設計されているはずであるが、一時的要因により網が平均以上に混雑し、接続要求が拒まれること(呼損)もままある。需要の増加傾向に応じて通信網を拡充していく事は、もちろん重要であるが、ピーク時の需要に合わせて網を設備する事は不経済である。従って、与えられた通信網設備をできるだけ有効に使用する事がきわめて重要となり、網内の対象回線の空き状態に応じて柔軟に接続ルートを選択していく制御装置や、選択方法が研究されている [3, 4]。

本研究では、複数の交換局から成る網シミュレータを作成し、呼損の低減を狙った割当て法 [4] がランダムな割当て法に比べて、どの程度有効かを明らかにする。

2. 迂回路割当て問題

M個の交換局とそれらをつなぐ交換回線及び交換局に接続される加入回線からなる通信網を考える(図1参照)。ここで、交換局を節点、交換回線を枝で表すと通信網はM個の節点からなる完全グラフ $G(V, E)$

$$V = \{X_1, X_2, \dots, X_M\}$$

X_i : 第i交換局

$$E = \{X_i \leftrightarrow X_j \mid i, j=1, 2, \dots, M; i \neq j\}$$

$X_i \leftrightarrow X_j$ の回線数: n_{ij}

で表すことができる(本研究では簡単のため無向グラフで考える)。

交換局 X_i に接続された加入者から交換局

X_j に接続された加入者への接続要求(=呼)を

R_{ij} と書く。交換局 X_i における呼 R_{ij} の到着

は平均到着率 λ_{ij} のポアソン到着とする。すなわち Δt 時間内に k 個の呼が到着する確率は

$e^{-\lambda_{ij}\Delta t} (\lambda_{ij}\Delta t)^k / k!$ である。(到着間隔は平均 $1/\lambda_{ij}$ の指数分布で、到着間隔の確率密度関数は $f(t) = \lambda_{ij} e^{-\lambda_{ij}t}$)

呼の保留時間(接続時間) t は平均 $h = 1/\mu$ (μ : 終了率)の確率分布にしたがうものとする(発着局によらず一定)。指数分布を仮定する場合の密度関数は $g(t) = \mu e^{-\mu t}$ となる。位相 k のアーラン分布を仮定する場合、 t は平均 $1/(\mu k)$ の指数分布の和で与えられる($k=1$ の時指数分布, $k \rightarrow \infty$ の時、一定分布を表す)。

3. 呼の処理

交換局 X_i に呼 R_{ij} が到着したとき $X_i \leftrightarrow X_j$ の回線が空いていればそれを $X_i \leftrightarrow X_j$ の

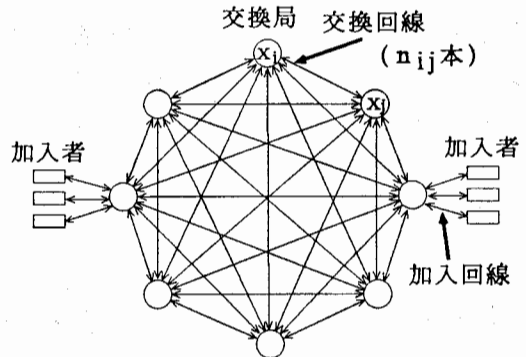


図1. 電話網のネットワークによるモデル化

回線に接続する。これを第1選択路と呼ぶ。第1選択路が塞がっているとき、他の交換局 X_k を経由する。

$X_i \leftrightarrow X_j$ 間の回線が確保できれば X_k を迂回して呼を接続する、この回線 $X_i \leftrightarrow X_k \leftrightarrow X_j$ を迂回路と呼び迂回路に回された呼を溢れ呼と言う（図2参照）。第1選択路から溢れ、さらに迂回路も確保できないことを呼損と呼ぶ。

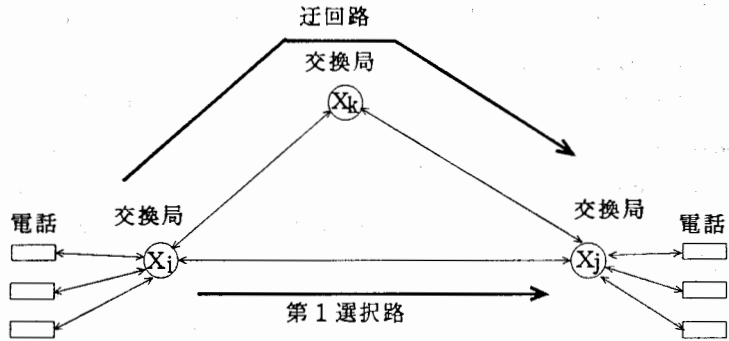


図2. 第1選択路と迂回路

各局に到着する呼の平均到着率と平均保留時間の積を「呼量」と呼ぶ。すなわち、 $X_i \leftrightarrow X_j$ に到着する呼 R_{ij} の呼量 a_{ij} を $a_{ij} = \lambda_{ij} h = \lambda_{ij} / \mu$ で定義する。呼量は呼の系列が網に与える負荷の程度を表しており、平均呼量は単位時間当たりの

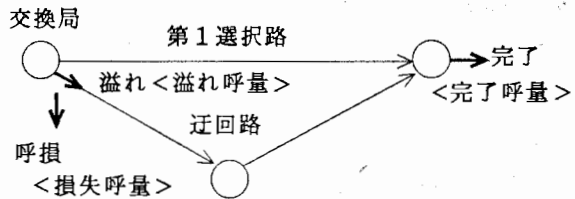


図3. 溢れ、溢れ呼量と呼損、損失呼量

回線の平均延べ保留時間と考えられる。（回線の平均同時接続数、あるいは平均保留時間内に生じうる平均呼数と考えることもできる）。 R_{ij} について溢れ呼が起きる確率（溢れ率） B_{ij} は呼量 a_{ij} と回線数 n_{ij} によって決まり、次のアランB式 [4] で与えられる。

$$B_{ij} = \left\{ (a_{ij})^{n_{ij}} / n_{ij}! \right\} / \sum_{x=0}^{n_{ij}} \left\{ (a_{ij})^x / x! \right\}$$

第1選択路から溢れた呼量を溢れ呼量、第1選択路から溢れ、さらに迂回路からも溢れた呼量を損失呼量と呼ぶ。（図3参照）

4. シミュレーション

M個の交換局からなる網の状態の把握は解析的には困難である。そこで、呼の到着と保留時間を、逆関数法により指数乱数によって与え（終了時刻は到着時刻+保留時間）、到着、終了の事象をイベント構造体で表し、それらの時系列をリスト構造で保持する交換網シミュレータを作成して、迂回候補群割当て法の評価を行う。

イベント構造体の要素として、通し番号、到着/終了イベントの判断、到着/終了時刻、中継局経由（0は呼損、1は第1選択路、2は迂回路）、発着交換局 X_i 、 X_j 、迂回先、次のイベント構造体へのポインタを持つ。

イベントリストは到着/終了の事象を併せ生起時刻の早い順に常にソートされている。シミュレーションプログラムはC言語で約500行、概略の流れは図6の通りである。

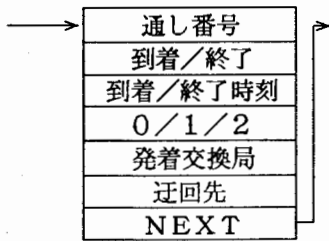


図4. イベント構造体の要素

```

typedef struct event{
    int    no;
    int    se;
    double ct;
    int    ukai,
           i,j,
           saki;
    struct event *next;
} event;

```

図5. C言語によるプログラム

5. 割当て方法

5. 1. 積み上げ法 [4]

この方法の迂回路割当ては次の2つのフェーズから成る。

フェーズ1: 各 R_{ij} に対してあらかじめ迂回候補群(迂回路として適切な交換局群)を定める。

フェーズ2: 溢れが起きたとき迂回候補群の中の交換局を経由する迂回路を探しそれに割り付ける。

積み上げ法はフェーズ1に対応するもので、迂回候補群を求める発見的算法である。その基本的な考え方は、各枝からの溢れ呼量を、各迂回可能路に、それらの受け入れ可能な迂回呼量

に応じて割当てていく、というものであり、次の2つの処理からなる。

(1) 余裕呼量, 要求呼量の計算: 呼量と回線数より、各枝ごとに次の2つの値を計算する。

[要求呼量] 第1選択呼のみが各枝に加わると仮定したときの各枝からの溢れ呼量。

[余裕呼量] 第1選択呼の基準品質(溢れ率: 入力値)を満足する範囲で各枝が受け入れることのできる迂回呼量。

(2) 呼量割当て: 以下の操作を繰り返す。

最も要求呼量の大きい枝を選び、その枝の迂回可能路の中で最も余裕呼量の大きい路(迂回可能路の余裕呼量は構成する枝の余裕呼量の小さい方の値で定義する)に、要求呼量の一部を割り当てる。

余裕呼量, 要求呼量は初期値算出時のみ確率性を考慮して、アランB式を用いる。

積み上げ法の概略を図7に示す。

フェーズ2では候補群中の交換局を若い方から順に使用可能かどうか試していく。

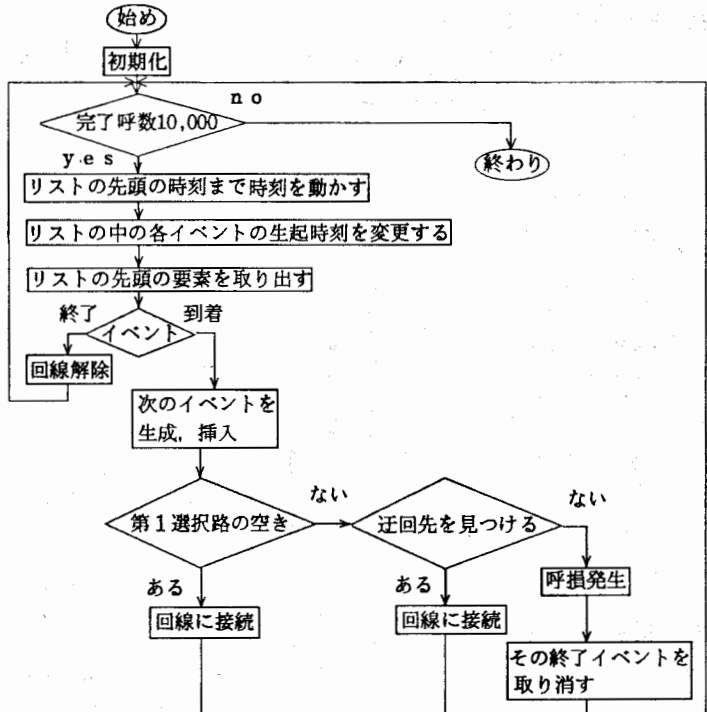


図6. シミュレーション概略図

5. 2. ランダム法

迂回先（中継局数）を積み上げ法により求められた迂回候補数でランダムに迂回先を決め選択していく方法である。この方法は呼量や回線数を無視しているため、必ずしも”良い”方法ではないが種々の割当て方法を評価する際の目安として採用した。

6. シミュレーション結果

交換局 $M=8$ ，平均保留時間 $h=30$ 秒，各局間の交換回線数を平均 20 回線で固定したときに平均到着率を λ_{ij} （呼/秒） $= (n_{ij} * \rho) / h$ となるとき ρ を 0.5~0.9 として回線の混み具合を変え，迂回候補数を 0~5 に変え，積み上げ法とランダム法により迂回路選択のシミュレーションを完了呼数 10,000 まで行った。 $\rho=0.7$ 近辺での結果（4 回の平均）を表 1 と図 8 に示す。

表 1. $\rho=0.70$ の迂回 呼損数 □ TA 呼損数
候補数と呼損数 ■ R

迂回候補数	呼損数
0	TA, R 270.5
1	TA 66.25
	R 112.5
2	TA 36.5
	R 74.5
3	TA 18.25
	R 42.5
4	TA 13
	R 16.25
5	TA 13.25
	R 8.75

TA = 積み上げ法
R = ランダム法

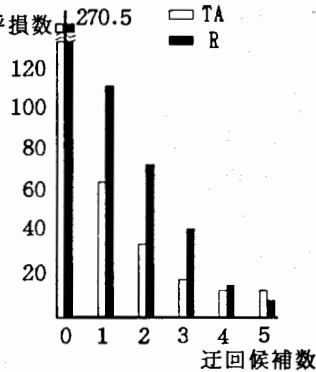


図 8. $\rho=0.70$ の迂回候補数と呼損数

7. まとめ

作成したシミュレータは，網の状態を把握するのに十分な性能を持つことが確かめられた。迂回候補群の割当て法について既存の方法と最も簡単なランダム法を比較しただけであるが，迂回候補数が小さい場合，積み上げ法による割当てはかなり有効であるように見える。

シミュレーション中の様子を，図形表示したり，任意の構成の網を扱えるようにシミュレータを改良することは今後の課題である。

<参考文献>

- 【1】秋山稔：近代通信交換工学，電気書院，pp.107-192，1973.
- 【2】秋山稔：通信網工学，コロナ社，pp.102-140，1981.
- 【3】井上明也，伊藤大雄：“通信網管理への数理計画法の適用について”，第4回 RAMP シンポジウム，1992.
- 【4】伊藤大雄，井上明也：“ダイナミックルーティングのための迂回候補群作成法”，電子情報通信学会論文誌，Vol. J75-B-1, No. 5, pp. 323-332, 1992.

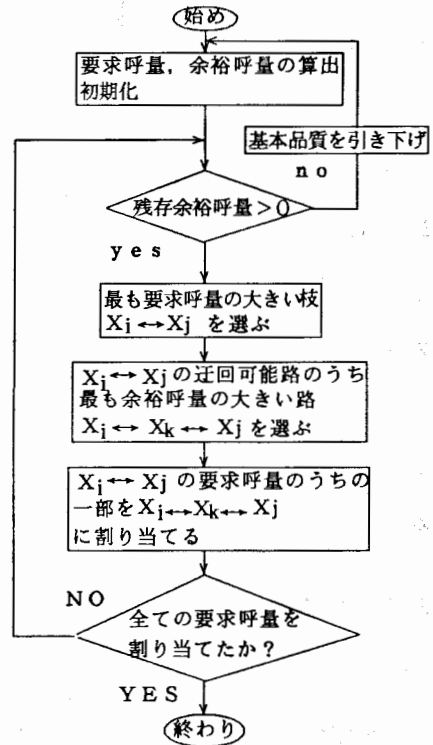


図 7. 積み上げ法