

UDC 621.395.31

蜂の巣形交換網*

正員 尾佐竹 徇† 正員 秋山 稔† 正員 田中英彦†

あらまし 将来、通信網が非常に発達しぼう大になったときには通信網は網の目のように構成され、相当の融通性が要求されてくることが予想される。また交換機能に多段中継、遠隔制御などの新しい技術が導入されればそれに応じて交換網の構成法も変わってくるであろう。ここで提案する蜂の巣形交換網はそれに対処する一方式であり、局階位を定めない多段中継回線網としては最も単純な形態のものである。本文ではこの通信網に類似である格子形交換網などの一般のルート選択法についても合わせて検討し、各リンクの占有を独立と仮定して呼損率を求め、また発着加入者間の距離分布を指数形と仮定して流れる呼び量、回線使用能率、所要線路長などを求めた。その結果、蜂の巣形網は多段中継による回線共用、ルート選択の自由度から回線使用能率がかなり高く、また 1 通話当りの占有回線長も比較的に短いので、格子形中継網などに比べても所要線路長は短くて済むなど種々の利点があることがわかった。さらにこの特性と将来の I.C. や機器その他の種々の発展をあわせ考慮すれば、現在考えられている大局化、集中化とは逆に局の分散という方向の可能性も考えられてくる。

1. ま え が き

現在高度の成長を続けつつある通信網が将来どのように発展してゆくかは、きわめて重大かつ興味ある問題である。巨大な都市の形成とあいまって、電話やデータ伝送回線網もますますぼう大になってゆくことは必至である。そのような場合に対処して、将来の通信網のあるべき姿を考え直してみることは意義のあることと考えられる。

星状、網状およびそれらの複合した現在の交換回線網は既存の技術の上に立てば一応妥当なものと考えられるが、電子交換、PCM 伝送など将来の新技術の発展をも考えに入れるとこれがそのまま将来の通信網に発展し得るか否かについては十分検討が必要であろう。現在考えられているような電話局の大局化や機能の集中化の方向は、将来 PCM 交換方式が適用されたり遠隔制御技術が大幅に導入されるような暁には果たして望ましいものかどうか再検討せねばならないし、さらに交換機が固体回路化されたときには電話局という概念さえも変わってくるものと思われる。更にこのような系を考える場合には将来の発着加入者の距離分布やトラヒックの流れの変化も一つの重要な要因として考えておくべきである。たとえば一つの都市内だけを考える場合、市外系も含める場合など、対象とする地域の規模でもかなり変わるように思われるし、また電話の利用の仕方の変化によっても変化することが

考えられる。将来の通信網を夢見るときこれらをどのように考えるべきかは、将来の都市人口、都市形態ならびに国内における住居者の生活様式、集中度合分布等をも関連付けながら検討すべきであり、広い視野に立って将来に備えるべきものと思われる。交換システムは過去の技術の積重ねとして発展せざるを得ないのであるが、たとえそうであるにせよ少なくとも将来の方向を定めるためには的確なビジョンが必要であり、それは過去にとらわれすぎたものであってはならないであろう。

本文では、検討の第一段階として多段中継形の蜂の巣形交換網を想定し、適当なルート選択方式を与え、総合の呼損率と各リンクに認定すべき閉そく確率との関連、各中継リンクを流れる呼び量、所要回線数などを求めた。さらにこれに類似のものとして格子形およびその変形の回線網も比較のために解析した。これらの方式は中継線の使用能率をかなり高くとることができ、加入者間の最悪呼損率を 1% とした場合でも 1 局当りの発信呼び量が 20 アーラン以上なら 80% 以上にもなる。またこのような検討を通じて、従来考えられていた大局化、集中化とは逆の“局の分散化”の有意性も考えられてくる。

もちろん本文は抽象化し図形化した計算を行なったものであり、現実にそのまま直ちに適用できるものとはいえないが、将来の通信網計画や電話交換網計画への方向付けに対する“示唆”となり得るものではないかと考える。

2. 蜂の巣形交換網

ここに提案する蜂の巣形交換網は、図 1 のようなものであり、一様な二次元網としては最も単純な図形で

* Honey-Comb Type Switching Network. By TONAU OSATAKE, MINORU AKIYAMA and HIDEHIKO TANAKA Members (The Faculty of Engineering, University of Tokyo, Tokyo). [論文番号 4319]

† 東京大学工学部

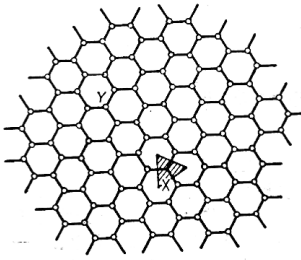


図1 蜂の巣形交換網
Fig. 1—Honey-comb type switching network.

ある。図において3本の線（リンク）の集まった所はすべて1つの交換局であり、近くの地域（たとえばX局では斜線内）からの呼を引き受けているとする。またこれらの局は中継機能も持っており、リンクから入って来た呼びを適当にさばくものとする。たとえばX局内の加入者がY局内の加入者に呼びを起したとき、各局の適当なルート選択機能によりルートを探し接続する。これは、1つの局の規模の考え方によっては星状回線網という機能集中の最たる形態とは逆に、交換局の機能を地域に分散させたもので、網状という片一方の極端までは行かないまでもその中間に位置するものと言えよう。こういう“本来の”網状をなす交換網は、他にたとえば格子状も考えられ、この場合は1局に集まるリンクは4方向である。あるリンクから入って来た呼びはその局の加入者に着信するのであれば、蜂の巣では2方向、格子形では3方向の選択が行われ中継されることになる。以下ある局からある局へ行く呼損率を求め、つぎに各リンクを流れる呼び量を求め、回線使用能率や所要総線路長を計算して、蜂の巣形や格子形の交換網の特性を調べることにする。

3. 呼 損 率

3.1 リンク占有相互独立の仮定とルート選択法

一般に、ある局から他のある局へ呼びが起こったときの呼損率は正確には求め難い。状態方程式を作って解くことは、特に蜂の巣形 (honey-comb type) や格子形 (grid type) のような交換網ではまず不可能である。そこで各リンクの占有が相互に独立であると、リンクの開そく状態は互いに独立であると仮定する。この仮定は、実際よりも閉そくの可能性を高めに評価するので一般に安全側となるが、これを導入することにより呼損率は比較的容易に求めることができる。つぎにある局 X から、ある局 Y へ行くルート選択の方法を指定する必要があるが、ルート選択に付ける条件の強さによって

- ① あらゆる X, Y の組合せに対し定まったルートを与える。
- ② ある条件付のもとで随時ルート選択を行なう。
- ③ 条件を付けず、ともかく中継が可能なら X と Y とを結ぶ。

と分類される。蜂の巣形網などのように多段中継が本質的と思われる網に対しては、②③のようにルート選択をある程度自由に行なわせることが必要であり、ここからその特徴が生まれる。③は少々極端であり、1つの通話が多数の中継リンクを占有して能率を低下させる可能性があるのをこれを除くことにして、ここでは②の選択方式を採用することにした。

3.2 蜂の巣形網の呼損率

蜂の巣形交換網を引き延ばすと図2のようなれんが積み構造になる。このような網一般について任意の所

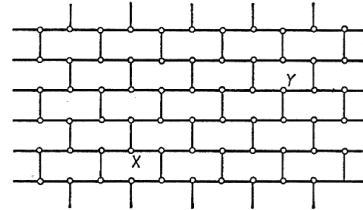


図2 変形蜂の巣形交換網
Fig. 2—Modified honey-comb type switching network.

から任意の所へゆく呼損率を求めることは少々煩雑であるので、横側への接続リンク数には制限を付けませんが、縦側のリンク数に制限を付けた帯状の中継回線網内の接続について考えることにする。もとの蜂の巣形中継網について言えば、図のようなれんが積み構造は“引っぱる方向”により3通り考えられるから実際のルート選択に際しては、この3通りを適当に組み合わせさせてルートを選ぶようにすれば、上記の条件のもとでも任意の局間の接続が可能である。

さて、図2においてX局からY局へのルートを選択する場合、ルート選択の条件としてつぎの2通りを考える。

- (1) 縦横各リンクについて後戻りを許さない場合
- (2) 縦方向のリンクについては後戻りを許すが、横方向のリンクについては許さない場合

ただし、ここに述べている後戻りとは、目指すY局から遠ざかるような（中継数でいって）ルートを選ぶことを言う。

本文では図3のように縦リンク数が2段の回線網を対象とし、各中継局を座標 (x, y) で与えることにし、

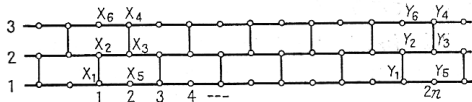


図3 2段変形蜂の巣形交換網
Fig. 3—Modified honey-comb type switching network in three rows with vertical links between rows.

つぎのような記号を用いる. 各リンクの閉そく率は一様に設計されているとしこれを b とする. 縦リンクが任意の段数の場合についても解析が行なわれているが, これについては別の機会に発表する予定である.

b ……各リンクの閉そく率 $c=1-b$

B_{ij} …… X_i 局から Y_j 局へ向かう呼びの呼損率

さらに呼損率を出発局(発信) X_i により細かく分類しつぎの記号で表わす.

- $P_i(n)$ …… X_i
- $Q_1(n)$ …… X_1 or X_2
- $Q_2(n)$ …… X_3 or X_4
- $Q_3(n)$ …… X_1 or X_3
- $Q_4(n)$ …… X_2 or X_4
- $Q_5(n)$ …… X_1 or X_4
- $Q_6(n)$ …… X_2 or X_4 (ただし, X_3 へは不通)
- $R_1(n)$ …… X_1 or X_2 or X_4
- $R_2(n)$ …… X_1 or X_3 or X_4

(注)

$P_i(n)$ などの意味は, 二, 三の例で示せばつぎの通りである. 図3において X_i 局が発信局, Y_j が着信局であり発信局の x 座標は 1 または 2, 着信局の x 座標は $2n-1$ または $2n$ であるとすると,

$P_i(n)$ …… X_i 局から Y_j 局へ向かう呼びの呼損率
 $Q_1(n)$ …… X_1, X_2 の両局を発信局として Y_j 局に向かう呼びの呼損率, すなわち, X_1, X_2 のいずれの局からも Y_j 局に到り得ない確率.

$Q_6(n)$ …… X_2, X_4 の両局を発信局とするが, そのいずれから X_3 局へ行けない場合に, Y_j 局へ向かう呼びの呼損率.

その他も同様である. ところでこの場合, Y_j の j が記号 $P_i(n)$ などの中へ積極的に入ってこないが, それは漸化式の初期値 $P_i(1)$ などを求めるとき, 任意に入れ得るものである.

3.2.1 縦リンク 2 段の場合

(1) ルート選択に後戻りを許さない場合

図3を用いて種々の呼損率間の漸化式を作る. このとき, 初期値を適当に変更することにより発信局 X_i と着信局 Y_j を自由に設定でき, したがって任意の呼損率 B_{ij} を求めることができる. まず $P_1(n)$ について考えれば, X_1 と X_2 の間のリンクに着目して, それが

空いている場合の呼損率は $Q_1(n)$

ふさがっている場合の呼損率は, ルートが 1 方向 (X_i の方向) しかないから $(1-c^2)+c^2P_1(n-1)$

であるので

$$P_1(n) = cQ_1(n) + bc^2P_1(n-1) + b(1-c^2) \quad (1)$$

となる. 以下同様にして求めれば,

$$P_2(n) = cP_3(n) + b \quad (2)$$

$$P_3(n) = cQ_2(n) + bcP_2(n-1) + b^2 \quad (3)$$

$$P_4(n) = c^2P_4(n-1) + (1-c^2) \quad (4)$$

$$Q_1(n) = cQ_3(n) + bc^2P_1(n-1) + b(1-c^2) \quad (5)$$

$$Q_2(n) = c(1-c^2)P_2(n-1) + bc^2P_4(n-1) + c^2Q_4(n-1) + b(1-c^2) \quad (6)$$

$$Q_3(n) = cR_2(n) + bc(1-c^2)P_2(n-1) + b^2c^2P_1(n-1) + bc^2Q_1(n-1) + b^2(1-c^2) \quad (7)$$

$$Q_4(n) = cQ_2(n) + bP_4(n) \quad (8)$$

$$Q_5(n) = cR_1(n) + bQ_6(n) \quad (9)$$

$$Q_6(n) = c^2(1-c^2)[P_1(n-1) + P_4(n-1)] + c^4Q_5(n-1) + (1-c^2)^2 \quad (10)$$

$$R_1(n) = bQ_6(n) + cR_2(n) \quad (11)$$

$$R_2(n) = c(1-c^2)^2P_2(n-1) + c^2(1-c^2) \cdot [Q_1(n-1) + Q_4(n-1)] + c^6R_1(n-1) + bQ_6(n) \quad (12)$$

(2) ルート選択に縦方向の後戻りを許す場合

$$P_1(n) = cQ_1(n) + bc^2P_1(n-1) + b(1-c^2) \quad (13)$$

$$P_2(n) = cQ_1(n) + bcP_3(n) + b^2 \quad (14)$$

$$P_3(n) = cQ_2(n) + bcP_2(n-1) + b^2 \quad (15)$$

$$P_4(n) = cQ_2(n) + bc^2P_2(n-1) + b(1-c^2) \quad (16)$$

$$Q_1(n) = cQ_3(n) + bc^2P_1(n-1) + b(1-c^2) \quad (17)$$

$$Q_2(n) = c(1-c^2)P_2(n-1) + bc^2P_4(n-1) + c^2Q_4(n-1) + b(1-c^2) \quad (18)$$

$$Q_3(n) = cR_2(n) + bc(1-c^2)P_2(n-1) + b^2c^2P_1(n-1) + bc^2Q_1(n-1) + b^2(1-c^2) \quad (19)$$

$$Q_4(n) = cR_1(n) + b^2P_4(n) + bcQ_2(n) \quad (20)$$

$$Q_5(n) = cR_1(n) + bcR_2(n) + b^2Q_6(n) \quad (21)$$

$$Q_6(n) = c^2(1-c^2) \cdot [P_1(n-1) + P_4(n-1)] + c^4Q_5(n-1) + (1-c^2)^2 \quad (22)$$

$$R_1(n) = cR_2(n) + bQ_6(n) \quad (23)$$

$$R_2(n) = bQ_6(n) + c(1-c^2)^2P_2(n-1) + c^5R_1(n-1) + c^2(1-c^2) \cdot [Q_1(n-1) + Q_4(n-1)] \quad (24)$$

(3) 初期条件の設定

上の諸式に入れる初期値の 2 例を示す.

(i) B_{i_4} (Y_4 局へ向かう場合)

後戻りの有無にかかわらず

$$P_1(1)=Q_2(1)=Q_4(1)=Q_5(1)=Q_6(1)=R_1(1) \\ =R_2(1)=0$$

$$P_1(1)=1-c^3, \quad P_2(1)=Q_1(1)=1-c^2$$

$$P_3(1)=Q_3(1)=b$$

(ii) B_{i_3} (Y_3 局へ向かう場合)

ルート制限を付け縦横の後戻りを許さない場合は

$$P_3(1)=Q_2(1)=Q_3(1)=R_2(1)=0$$

$$P_1(1)=Q_5(1)=1-c^2$$

$$P_2(1)=Q_4(1)=Q_1(1)=R_1(1)=b$$

$$P_4(1)=Q_6(1)=1$$

縦方向の後戻りを許すと

$$P_3(1)=Q_2(1)=Q_3(1)=R_2(1)=0$$

$$R_1(1)=Q_4(1)=b^2, \quad Q_6(1)=1$$

$$P_2(1)=P_4(1)=Q_1(1)=b, \quad P_1(1)=1-c^2$$

$$Q_5(1)=b(1-c^2)$$

各リンクの閉そく率 b をパラメータとし、横リンク数に対する呼損率の数値計算結果の一例を図4に示す。縦軸は B_{i_4} である。横リンク数は図3の $2n$ の値である。選択の自由度を上げて縦方向の後戻りを許すと呼損率はかなり少なくなり、横方向のリンク数が増しても呼損率はあまり上昇せず、ほぼ一樣なサービスを与え得ることがわかる。なお、この計算は電子計算

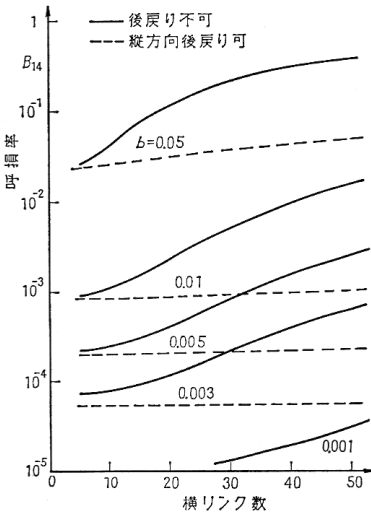


図4 中継数と呼損率(縦2段蜂の巣形)

Fig. 4—Relation between number of horizontal links in a connection and blocking probability, in honey-comb type switching network in three rows with vertical links between rows.

機を用いて行なった。

3.2.2 縦リンク1段の場合

この場合は2段の場合より簡単で、特に後戻りを許さない場合は、上の諸式の特解とみなせるからそのまま用いればよい(上述(1)の場合で B_{i_2} など)。一方縦方向の後戻りを許す場合は、局 X_1, X_2 と局 Y_1, Y_2 とで囲まれる中継網を考えて、

$$P_1(n)=cQ_1(n)+bc^2P_1(n-1)+b(1-c^2) \quad (25)$$

$$P_2(n)=cQ_1(n)+bc^2P_2(n-1)+b(1-c^2) \quad (26)$$

$$Q_1(n)=c^4Q_1(n-1)+c^2(1-c^2)[P_1(n-1) \\ +P_2(n-1)]+(1-c^2)^2 \quad (27)$$

この初期値を前と同様に2例あげると

(i) B_{i_2} (Y_2 局へ向かう場合)

$$P_1(1)=b, \quad P_2(1)=Q_1(1)=0$$

(ii) B_{i_3} (Y_3 局へ向かう場合)

$$P_1(1)=1-c^2, \quad P_2(1)=Q_1(1)=b$$

なお、縦リンクが無い場合はただ単なる直列リンクであるので明白である。数値例として B_{i_2} を図5に示す。

3.3 格子形網の呼損率

蜂の巣形と同様にして、格子形についても一般に前述の手法を用いて呼損率を計算することができる。ここではその結果のみを要約して示すことにする。蜂の巣形と同じく縦のリンク数に制限を付けた図6のよう

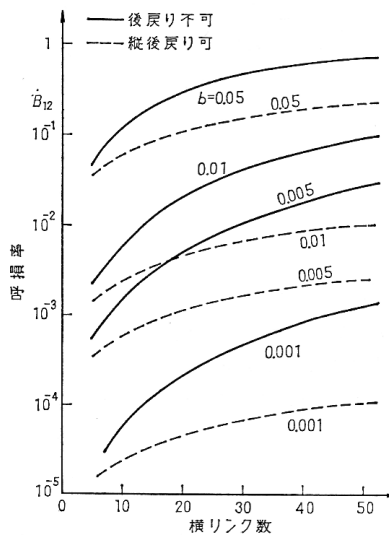


図5 中継数と呼損率(縦リンク1段蜂の巣形)

Fig. 5—Relation between number of horizontal links in a connection and blocking probability, in honey-comb type switching network in two rows with vertical links between rows.

な帯状の中継網を考える。

ルート選択は、後戻りを許さぬ場合と縦方向のみ許す場合について考え、横中継リンク数 n の漸化式を作るための記号として前と同様な意味を持ったつぎの呼損率を用いる。 X_i' を発信局, Y_i' を着信局として、

$$P_i'(n) \cdots X_i', \\ Q_1'(n) \cdots X_1' \text{ or } X_2' \\ Q_2'(n) \cdots X_2' \text{ or } X_3', \\ Q_3'(n) \cdots X_1' \text{ or } X_3' \\ R'(n) \cdots X_1' \text{ or } X_2'$$

or X_3'

$$B_{ij}' \cdots X_i' \text{ より } Y_j'$$

へ向かう呼びの呼損率

(1) 後戻りを許さない場合

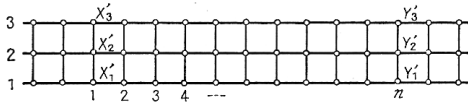


図 6 2 段階格子形交換網

Fig. 6—Grid type switching network in three rows with vertical links between rows

$$P_1'(n) = cQ_1'(n) + bcP_1'(n-1) + b^2 \quad (28)$$

$$P_2'(n) = cQ_2'(n) + bcP_2'(n-1) + b^2 \quad (29)$$

$$P_3'(n) = cP_3'(n-1) + b \quad (30)$$

$$Q_1'(n) = cR'(n) + b^2c[P_1'(n-1) + P_2'(n-1)] + bc^2Q_1'(n-1) + b^3 \quad (31)$$

$$Q_2'(n) = c^2Q_2'(n-1) + bc[P_2'(n-1) + P_3'(n-1)] + b^2 \quad (32)$$

$$Q_3'(n) = cR'(n) + b^2c[P_1'(n-1) + P_3'(n-1)] + bc^2Q_3'(n-1) + b^3 \quad (33)$$

$$R'(n) = c^2R'(n-1) + bc^2[Q_1'(n-1) + Q_2'(n-1) + Q_3'(n-1)] + b^2c[P_1'(n-1) + P_2'(n-1) + P_3'(n-1)] + b^3 \quad (34)$$

(2) 縦方向の後戻りを許す場合

縦リンク 2 段の時, $P_1'(n)$, $Q_1'(n)$, $R'(n)$ は後戻りを許さない場合と同じで, その他に

$$P_2'(n) = cQ_2'(n) + bc(1-c^2)P_2'(n-1) + b^2c^2P_1'(n-1) + bc^3Q_1'(n-1)$$

$$+ b^2(1-c^2) \quad (35)$$

$$Q_2'(n) = cR'(n) + b^2c[P_2'(n-1) + P_3'(n-1)] + bc^2Q_2'(n-1) + b^3 \quad (36)$$

$$Q_3'(n) = (1-b^2)R'(n) + b^2c[P_1'(n-1) + P_3'(n-1)] + b^2c^2Q_3'(n-1) + b^4 \quad (38)$$

縦リンク 1 段のときは,

$$P_1'(n) = cQ_1'(n) + bcP_1'(n-1) + b^2 \quad (39)$$

$$P_2'(n) = cQ_1'(n) + bcP_2'(n-1) + b^2 \quad (40)$$

$$Q_1'(n) = c^2Q_1'(n-1) + bc[P_1'(n-1) + P_2'(n-1)] + b^2 \quad (41)$$

数値例として B_{13}' と B_{12}' の計算結果を図 7, 図 8 に示す. そのときの初期値は, 後戻りにかかわらず,

(i) B_{13}' (Y_3' 局へ向かう場合)

縦リンクを 2 段として

$$P_3'(1) = Q_3'(1) = Q_3'(1) = R'(1) = 0$$

$$P_2'(1) = Q_1'(1) = b, \quad P_1'(1) = 1 - c^2$$

(ii) B_{12}' (Y_2' 局へ向かう場合)

縦リンクを 1 段として

$$P_1'(1) = b, \quad P_2'(1) = Q_1'(1) = 0$$

4. 呼びの流れ

4.1 呼びの接続距離とその生起確率

いま, 図 9 のように極座標を導入し, 0 点で生じた

1 つの呼びが r 離れたところに着信する確率密度を $P(r, \theta)$ とする (θ はある基準方向からの傾きである). 加入者がある広い地域一面に分布する場合を考えて, それを一様とみなせば (逆に言えば中継局を適当に配置して入ってくる呼びが大体バランスするように作る), $P(r, \theta)$ は, 距離 r だけの関数である. $P(r, \theta)$ の形は現在のところ必ずしも明らかではないが, 仮りに融通性に富み簡単であるような指数形を仮定すれば,

$$P(r, \theta) = \frac{\alpha^2}{2\pi} \cdot e^{-\alpha r} \quad (42)$$

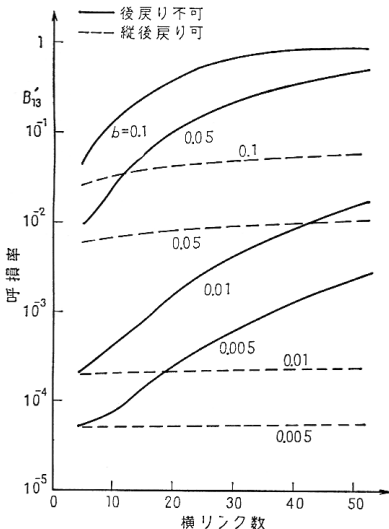


図 7 中継数と呼損率 (縦 2 段階格子形)

Fig. 7—Relation between number of horizontal links in a connection and blocking probability, in grid type switching network in three rows with vertical links between rows.

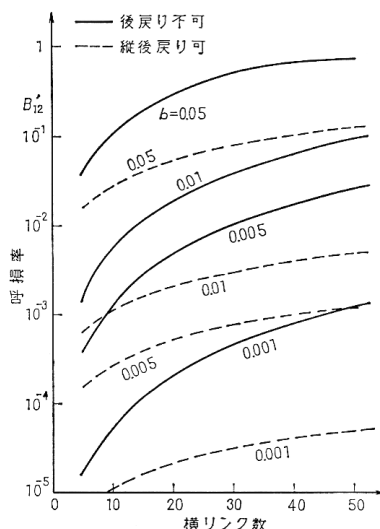


図 8 中継数と呼損率 (縦リンク 1 段階格子形)

Fig. 8—Relation between number of horizontal links in a connection and blocking probability, in grid type switching network in two rows with vertical links between rows.

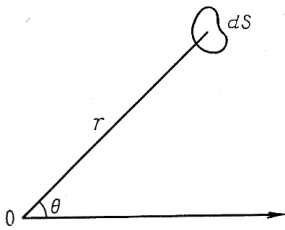


図9 通話距離の表示
Fig. 9—Representation of call transferring distance.

となり、 $D=1/a$ を呼びの距離定数と呼ぶことにすれば、 $P(r)$ は図10のような形となる。すなわち D は、 $P(r)$ が $P(0)/e$ になる距離、または $2\pi rP(r)$ が最大になる距離である。この発着両加入者間の距離分布は実測に基づくものではないが、簡単で融通性に富む一表示方式として試みに採用した訳である。

4.2 平均中継数

発着加入者間の距離分布 $P(r)$ を与えたときのある呼びの平均中継数を求める。前と同様、蜂の巣形と格子形について求める。

4.2.1 蜂の巣形網の平均中継数 図11のような蜂の巣形交換網において、中継回数はルート選択の方法にもよるが、ここでは前述の後戻りを禁ずる場合のルート選択を取ることにする。この場合は、たとえば O 局から Q 局に呼びが起こった時、いくつか存在する最短ルートの1つを取るようになる。 O 局から同中継数で到達可能な局を破線で結べば (Q の場合は6中継)、図のような六角形となる。中継数を n とすれば、 n が偶数のとき六角形は正六角形でその一辺の長さは1リンク長を d として $\sqrt{3}/2 \cdot dn$ であり、 n が奇数の時は正六角形ではないが、辺の長さが $\sqrt{3}/2 \cdot d \cdot (n+1)$ と $\sqrt{3}/2 \cdot d \cdot (n-1)$ の2種あるような六角形である。よって中継で到達可能な局は、平均一辺が $\sqrt{3}/2 \cdot d \cdot n$ の六角形の辺上にあるとみなせる。ゆえに図11のような直交座標を用いる時、対称性を考慮すれば、着信局が x 軸と、 x 軸より 30° の傾斜を持つ直線とで囲まれる領域にある場合のみ考えれば十分

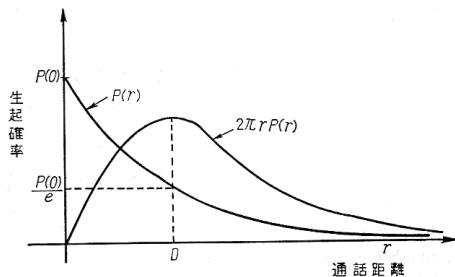


図10 発着加入者間距離と生起確率
Fig. 10—Call transferring distance and probability of their occurrence.

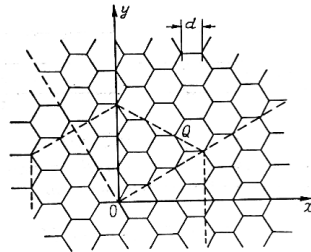


図11 発信局 O から着信局 Q までの通話距離の表示
Fig. 11—Representation of call transferring distance from originating office O to terminating office Q .

である。この領域内の一点 (x, y) に到るために必要な中継数 $n(x, y)$ は、 x のみの関数で、

$$x = \frac{\sqrt{3}}{2} dn \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

の所へは n 中継でゆけるのだから、ガウス記号を用いて大体

$$n(x, y) = \left[\frac{4}{3} \cdot \frac{x}{d} + \frac{1}{2} \right] \quad (43)$$

平均中継数 \bar{n} は $P(r)$ を使い、このような領域が全体で12あることから、

$$\bar{n} = 12 \int_0^\infty dx \int_0^{x/\sqrt{3}} n(x, y) \cdot P(\sqrt{x^2 + y^2}) dy \quad (44)$$

となり、諸式を代入して極座標に直せば、

$$\begin{aligned} \bar{n} &= 12 \int_0^\infty dr \int_0^{\pi/6} \frac{3}{4} \cdot \frac{r}{d} \cos \theta \cdot \frac{1}{2\pi D^2} e^{-r/D} \cdot r d\theta \quad (45) \\ &= \frac{8}{\pi} \cdot \frac{D}{d} = \frac{8}{\pi} m \quad (\text{ただし、} m = D/d) \quad (46) \end{aligned}$$

こうして \bar{n} は、呼びの確率が最大になる距離 D をリンクの長さで正規化した値 m で表わすことができる。

4.2.2 格子形の平均中継数 前と同様な考え方を求めると (記号すべてに'を付けて前と区別することにする)、1本のリンク長を d' とし、ある局 $Q(x, y)$ に到るに要する最短の中継数 $n'(x, y)$ は、第一象限内で

$$n'(x, y) = \left[\frac{x}{d'} + \frac{1}{2} \right] + \left[\frac{y}{d'} + \frac{1}{2} \right] \quad (47)$$

となるから平均中継数 \bar{n}' は、

$$\bar{n}' = 4 \int_0^\infty dx \int_0^\infty n'(x, y) \cdot P(\sqrt{x^2 + y^2}) dy \quad (48)$$

$$= \frac{8}{\pi} \cdot \frac{D}{d'} = \frac{8}{\pi} m' \quad \left(m' = \frac{D}{d'} \right) \quad (49)$$

4.3 呼び量と能率

各局の平均発信呼び量 (その局に属する加入者からの) をすべて一様に a Erlang としたとき、各リンクを流れる平均呼び量を求める。

4.3.1 蜂の巣形網 a のうち完了呼を a_c とすれ

ば、平均呼損率 \bar{B} を用いて、

$$a_c = a(1 - \bar{B}) \quad (50)$$

また面積 S の大きな領域に存在する局数 N は、1 局の占める加入者地域面積を S_0 として

$$N = \frac{S}{S_0}, \quad \left(S_0 = \frac{3}{4} \sqrt{3} d^2 \right) \quad (51)$$

各リンクを流れる一方向の呼び量 A_c は、各局から外へ 3 方向にリンクが出ていることにより、平均中継数 \bar{n} を用いて、

$$A_c = 1/3 \cdot \bar{n} a_c = 8/3 \pi \cdot m \cdot a_c \text{ Erlangs} \quad (52)$$

ただし、これは中継に後戻りを許さない場合であり、後戻りを入れるとこれより少々大きくなる。

各リンクの一方向の本数を K とし、各リンクの閉そく率を b とすれば、リンクの呼び分布に Erlang 式を仮定して、

$$b = \frac{\frac{A^K}{K!}}{\sum_{i=0}^K \frac{A^i}{i!}}, \quad A_c = (1 - \bar{B}) A \quad (53)$$

この領域 S 内の線路長 l と使用能率 η は、上から得られた K を用いて

$$l = 3 K d N \quad (54)$$

$$\eta = A_c / K \quad (55)$$

また、 $r = d/d'$ として l を $N d'$ で規格化すれば

$$l_0 = 3 K r \quad (56)$$

4.3.2 格子形網 記号に ' を付けて蜂の巣網と区別すると

$$N' = S/S_0, \quad (S_0' = d'^2) \quad (57)$$

$$A_c' = 1/4 \cdot \bar{n}' \cdot a_c' = 2/\pi \cdot m' \cdot a_c' \text{ Erlang} \quad (58)$$

$$a_c' = a(1 - \bar{B}') \quad (59)$$

$$b' = \frac{\frac{(A')^{K'}}{K'!}}{\sum_{i=0}^{K'} \frac{(A')^i}{i!}}, \quad A_c' = A'(1 - \bar{B}') \quad (60)$$

$$l' = 4 K' d' N', \quad l_0' = 4 K' \quad (61)$$

$$\eta' = A_c' / K' \quad (62)$$

5. 回線使用能率と必要な線路長

今までの解析で得た呼損率やリンクを流れる呼び量等を基にして、実際の数値を入れて回線使用能率や線路長などを二、三求めてみる。どのような値を入れるかは、将来の問題とか周囲条件、使用する対象によって異なり、それぞれに合った数値を用いるべきであるのでここではほんの一例をあげるに止める。

5.1 リンク当りの閉そく率

ある有限の大きさの蜂の巣形および格子形網につい

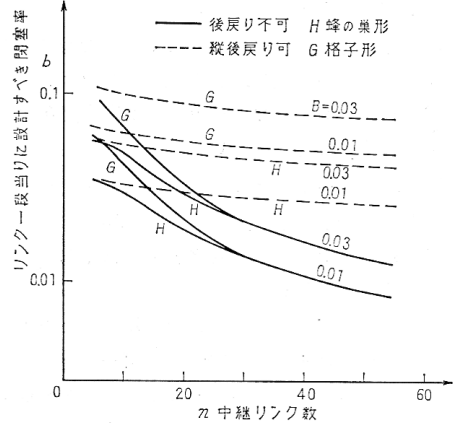


図 12 最悪呼損率を定めた場合の、最大中継リンク数とリンク 1 段当りに設定すべき閉そく率 (パラメータ B は最悪呼損率)

Fig. 12—Relation between number of links to connect switching stations located in the largest distance and blocking probability of a link provided worst call-loss probability is designed to be B .

て前に得た結果より、最も距離の離れた 2 局間の接続に要する最大中継数と各リンクに設定すべき閉そく率の関係を、選択範囲を縦リンク 2 段に限定した場合につき、最悪呼損率をパラメータ (1% と 3%) として示すと図 12 のようになる。

さていま、直径 R の円形領域を考える。その領域内にある 2 局を接続する場合、後戻りを許さないルート選択の方法で、最悪の中継回数 M は、図 1 などを参照してつぎのようになる。

$$M = \frac{2}{\sqrt{3}} R \div \frac{\sqrt{3}}{2} d = \frac{4}{3} \cdot \frac{R}{d}$$

$$M' = \sqrt{2} \cdot \frac{R}{d'}$$

この円形領域内に含まれる局の総数を、蜂の巣形網と格子形網とで等しくすれば、 $N = N'$ より

$$r = \frac{d}{d'} = \frac{2}{\sqrt{3} \sqrt{3}} = 0.8774$$

$$M = \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{R}{d'} = 1.520 \cdot \frac{R}{d'}$$

たとえば、 $M = 30$ とすれば、 $M' = 28$ で、図 12 より最悪呼損率が 1% のとき

$$b = 0.0140 \text{ (蜂の巣形)}$$

$$b = 0.0162 \text{ (格子形)}$$

最悪呼損率が 3% のとき

$$b = 0.0212 \text{ (蜂の巣形)}$$

$$b' = 0.0245 \text{ (格子形)}$$

5.2 回線使用能率と線路長

回線使用能率と線路長を求めるに当たって置いた仮

定はつぎのようなものである。

- (1) 平均呼損率 \bar{B} は求めにくいので安全側として、最悪呼損率 (1% または 3%) を用いた。
- (2) ルート選択法は、縦リンク 2 段内で後戻りせずに接続する場合を用いた。
- (3) 呼びの距離定数 D としては、一例として $m' = 3$ の場合を共通に用いた ($D = 3d'$)。
- (4) 蜂の巣形網と格子形網とで、ある領域内にある中継局数を等しくした。

これらを仮定して求めた図が、図 13、図 14 である。パラメータは最悪呼損率である。同一サービス状態で、リンク使用能率、全回線構成に必要な所要総線路長共に、格子形より蜂の巣形の方がすぐれていることがわかる。

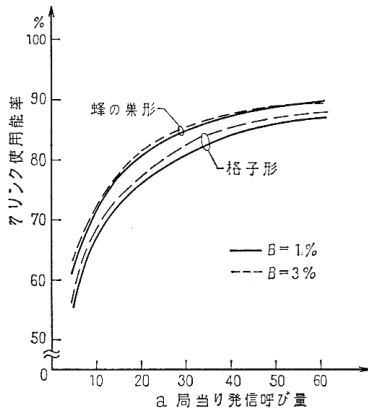


図 13 局当りの発信呼量とリンク使用能率
(パラメータ B は最悪呼損率)

Fig. 13—Traffic handling efficiency and total originating traffic from a switching office (Parameter B is the worst service grade within connection).

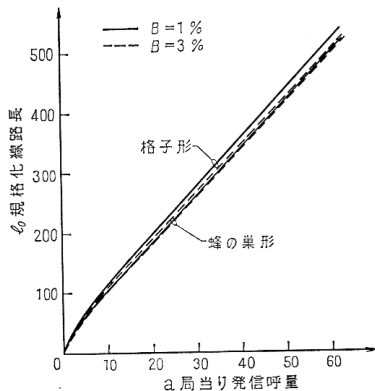


図 14 局当り発信呼量と規格化された所要総線路長

Fig. 14—Relation between normalized total line distance required and traffic originating from a switching office (Parameter B is the worst service grade).

5.3 後戻りについて

ルート選択に一方方向の後戻りを許せば、各リンクの閉そく率は図 12 から明らかなように、かなり大きく設計しても構わない。しかし一方、遠回りの中継をすることにより、各局から生じる呼び量が同じでも各リンクを流れる呼び量は増す。したがって回線使用能率は非常に高まるが (たとえば $a=20$ Erlang で 90% 近く) 線路長の方は各リンクの閉そく率が高くてよいことからくる減少と、流れる呼び量の増加からくる増大との兼ね合わせで定まることになる。ところで、後戻りの確率は、後戻りが許されぬ場合に呼損となる確率に、後戻りを許したときに後戻りして着局にその呼びが到達できる確率とを掛け合わせたものであるから、上の例で言えば少々大きく見積っても数% を越えることはない。したがって後戻りを何度も行ない、たとえば中継数が 2 倍になったとしてもリンクを流れる呼び量は平均 $2 \times$ 数% 程度の増加しか示さず、結局流れる呼び量はあまり変わらないが呼損率が十分低くなるということである。逆に言えば、ルート選択の制限を少しでも緩めると、同じ最悪呼損率のもとでは、所要の総線路長は短くなり回線使用能率は非常に高まると言える。

6. む す び

将来の通信網構成を考える第一段階として、階位局を定めない交換網としては最も単純な 2 次元網である蜂の巣形交換網を提案し、呼損率の計算を行なうとともに、流れる呼び量から回線の使用能率、所要線路長などを求め格子形回線網と比較してみた。その結果、このような中継網を採用すれば回線能率をかなり高めることが可能となり、しかも中継距離も比較的短くすむことがわかった。この種の回線網では各局からの呼び量が比較的少ない場合でも回線使用能率の低下は少ないので、もし遠隔制御など制御回路分散が経済的に行なわれるならば、従来考えられている局の集中化とは逆に局の分散化も考えられ、これにより加入者線路を節約した経済的な電話網構成の可能性もでてくるであろう。たとえば PCM による多段中継ならびに高速情報伝送技術などの今後の可能性をも考慮に入れると、少なくとも技術的には十分実現性のある方式と考える。本文が将来の通信網構成に対するひとつの足がかりになれば幸いである。

謝辞 本研究中、呼損率の数値計算は西川英徳君 (現在富士通に勤務) の本論研究に負うところが多く、また有益なご討論を得た研究室各位にも謝意を表する。

文 献

- (1) 尾佐竹, 秋山, 田中: “蜂の巣形交換網”, 信学会交換研資 (1965-06).

(昭和 41 年 10 月 20 日受付)