

Bounds of Performance Measures in Large-Scale Mobile Communication Networks

高橋 利臣

(東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻 現所属・ノーテルネットワークス(株)
指導教官 高橋幸雄 教授

1. はじめに

本論文では、移動体通信網の性能評価に関する理論的な解析方法を提案する。移動体通信網は多くの基地局で構成される。移動中の通話が切断されないよう、基地局はそれ自身が持つゾーン（基地局から端末への電波が届く範囲）が互いに重なり合うように配置される。移動体通信網の性能評価を行うには、1つの基地局についての評価が基本となるが、ゾーンが重なり合うために、各基地局における呼の挙動は隣接する基地局にある呼から影響を受ける。さらに、これが次々と影響を及ぼしあい、遠方にある呼からの影響も無視できなくなり、移動体通信網の性能評価を難しくする。従来、その影響を近似的に捉えた評価が行われていたが、網全体における呼の挙動を考慮していないため、得られた特性量の精度は未知であった[1]。本論文では、この点を改良し、それらの影響を厳密に捉え、様々な評価量の上下限を数値的に解析するための理論的枠組みを提供する。さらに、以降で述べる命題により、数値計算の簡略化が図れるだけでなく、評価量の上下限を求めるシミュレーションモデルの提案も行う。

2. モデル

網は N 個の基地局で構成されている。各基地局はそれぞれゾーンを持っていて、基地局 k が持つゾーンを「ゾーン k 」と呼ぶ。また、3つ以上のゾーンは重ならないものとし、ゾーン k のみがカバーしているエリアを「エリア k 」、ゾーン k とゾーン l が重なり合うエリアを「エリア (k, l) 」と呼ぶ。

基地局 k では c_k 個のチャンネルが存在し、そのうちハンドオーバーしてくる呼のためにガードチャンネルを設ける。このとき、ガードチャンネル数を g_k 個とする。呼の振る舞いは以下の通りである。

a. 呼の発生 エリア k で新しく発生する呼はパラメータ λ_k のポアソン分布に、エリア (k, l) で新しく

発生する呼はパラメータ $\lambda_{(k,l)}$ のポアソン分布に従う。

b. 新しく発生した呼へのチャンネルの割り当て エリア k で発生した呼は、基地局 k の空きチャンネルが g_k より多いときサービスを受け、そうでないとき呼損となる。エリア (k, l) で発生した呼は、基地局 k あるいは基地局 l が確率 $\frac{1}{2}$ で選ばれてサービスを受けようとする。ここでは、基地局 k が選ばれたものとする。基地局 k の空きチャンネルが g_k より多いとき、呼は基地局 k でサービスを受け、そうでないとき基地局 l へオーバーフローする。その際、基地局 l の空きチャンネルが g_l より多ければ、呼は基地局 l でサービスを受けるが、そうでないとき呼損となる。

c. 呼の保留時間と滞在時間 呼の保留時間はパラメータ μ の指数分布に従う。基地局 k での呼の滞在時間はパラメータ γ_k の指数分布に従う。ある基地局において、呼の滞在時間が保留時間よりも長いとき、その基地局でサービスは終了し、滞在時間が保留時間よりも短いとき、呼は他の基地局へ移動する。そのとき、確率 $p_{(k,l)}$ で基地局 l が選ばれるものとする。基地局 k から基地局 l へのハンドオーバー率が $\gamma_{k,l} = p_{(k,l)}\gamma_k$ で表される。

d. ハンドオーバーする呼へのチャンネルの割り当て 基地局 k から基地局 l へハンドオーバーするとき、基地局 l で1つでもチャンネルが空いていればサービスを受け、チャンネルが空いていない場合は呼損となる。

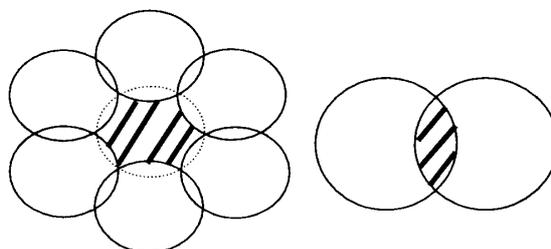


図1 エリア k とエリア (k, l)

3. マルコフ連鎖モデルとその解析

時刻 t の基地局 k での通話呼数を $X_k(t)$ とおくと、網全体の状態は $X_k(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_N(t))$ と記述でき、 $\{X(t)\}$ はマルコフ連鎖を形成する。

政策反復法により特性量の上下限を求める方法 マルコフ連鎖モデルの状態数が多いと数値計算は困難である。そこで、Aggregation 法により網の状態をまとめあげて、評価したい基地局とその周辺の数個ないし十数個の基地局の状態のみを考慮した数値計算可能なサイズのサブモデルを導出する。

サブモデルでは、考慮している基地局の状態を条件とする。さらに外側の基地局の条件付き状態確率が現れる。この条件付き確率が、外側の基地局における呼の挙動をサブモデルに伝えている。しかし、これら条件付き確率の値は未知のため、パラメータとして扱い、その値が少なくとも $[0, 1]$ の範囲に収まっていることを利用し、weak D-Markov chain を定義する。この weak D-Markov chain に対し、マルコフ決定過程における Howard の政策反復アルゴリズムを用いることで、元のモデルの評価量の上下限が求められる。

この手法が適用できる特性量は限られるが、各種呼損率や強制切断確率など主要な特性量はすべて解析可能である。

特性量の上下限を与えるサブモデル 政策反復法で期待利得の最大、最小を与える場合を精査することによって、そのようなサブモデルを直接構成することができる事が証明された。

命題 呼損率などある特定の性質を満たす評価量に対し、値が未知の条件付き確率を、外側の基地局に空きチャンネルがないという状況に設定することで上限が、外側の基地局のチャンネルがすべて空いているという状況に設定することで下限が、政策反復を行わずに求められる。

この命題は数値計算を簡略化するだけでなく、計算不能なサイズのサブモデルに対し、シミュレーションにより評価量の上下限を求めることも可能にする。

4. 数値例

図2のように、各ゾーンが6つのゾーンと隣り合うように基地局が配置されているモデルを考える。任意の k, l に対し、各パラメータを $\mu = 5.0, \lambda_k = 3.0, \lambda_{(k,l)} = 0.5, \gamma_{k,l} = 0.5, c_k = 3, g_k = 0$ とおく。中央のゾーンに対し、1つのゾーンのみでカバーされるエリアの呼

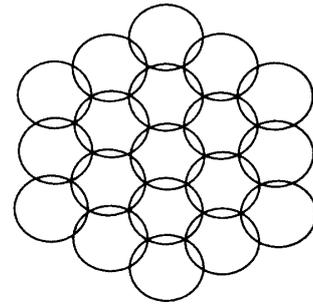


図2

表1 呼損率と呼の滞在時間との関係

$\gamma_{k,l}$	$\mu = 5.0$		
	上限	下限	比
0.05	0.0536	0.0513	1.05
0.5	0.0704	0.0412	1.71
5.0	0.14012	0.00466	30.09

損率の上下限の値とその比を求める。呼損率と $\gamma_{k,l}$ との関係の数値計算により求めた。サブモデルのサイズが7のときの計算結果が表1である。パラメータ $\gamma_{k,l}$ の値を大きくすると、上限と下限の比が大きくなるのが分かる。これは、呼がゾーン間を頻繁に移動することで、評価対象エリア内の呼の振る舞いが、遠く離れた場所にいる呼から大きく影響を受けているためであると言える。

5. まとめ

網全体を考慮した評価量の正確な値の上下限を計算する方法を提案した。この方法を用いて、様々なエリアにおける呼損率、平均呼数などの評価量が求められる。また、上下限が求まるため、その評価の精度が一目瞭然で、サブモデルのサイズを調節することで精度を高めることができる。さらには、計算の簡略化を行う命題を証明し、シミュレーションモデルも提案できた。この方法では、網内の基地局の状態を正確に捉えられるため、動的にチャンネルを割り当てるなど様々な制御方法をモデルに取り入れることも可能と思われる。

参考文献

- [1] Takagi, H., K. Sakamaki, and T. Miyashiro: Call Loss and Forced Termination Probabilities in Cellular Radio Communication Networks with Irregular Topologies, in Proceedings of the SPIE Conference on Performance and Control of Network Systems II, vol. 3530, pp. 66-75, Boston, Massachusetts, 1998.