

Accuracies of Decomposition-type Approximate Models for Large-Scale Mobile Communication Networks

高橋 成晃

(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・伊藤忠テクノサイエンス(株))

指導教官 高橋幸雄 教授)

移動体通信網の性能評価に関して、これまでは基地局同士が均一に、かつ独立に振舞うものと仮定して計算を行う、デコンポジション法が主に使われてきた。この方法を用いることで、少ない計算量で簡単に性能評価値を得ることができた。しかし、大規模移動体通信網では、真の値をシミュレーションですら得ることは難しく、デコンポジション法で得られた解の近似値がどれくらいの精度をもっているかが不明確であった。いくつかのモデルは不均一な場合も考えているが、実際は大規模かつ不均一なモデルを考えなければならない。

この論文の主な目的は、大規模な均一、もしくは不均一なデコンポジション型モデルの近似精度を検証することである。最初に均一なモデルに対するデコンポジション型近似モデルの精度を検証した。しかし、精度を検証するためには、正確な値が必要になってくる。そこで、文献[1]ではいくつかの評価量に対する正確な上下限を得るための方法を提案した。これについては後ほど説明する。この上下限を使うことで、精度を検証することができる。次に、不均一かつ大規模な通信網に対応するデコンポジション型近似モデルを提案し、その近似値を計算する。精度検証の評価量として、呼損率と通話完了確率の二つを扱う。それらは、移動体通信網の性能評価の中で最も重要だと思われるものである。しかし、文献[1]では呼損率の上下限を得ることはできるが、通話完了確率の上下限は得ることができない。そこで、この論文ではデコンポジション型近似モデルの精度検証に加えて、通話完了確率の上下限の導出も行う。

いくつかの性能評価値に対する正確な上下限を得るために、文献[1]ではアグリゲーション法と呼ばれる方法が使われた。その方法は、大規模な基地局の中から、いくつかの基地局のみを取り出し、その他の基地局の状態を無視することで、小規模な確率過程を導く方法である。そして、この確率過程に対して、弱D

マルコフ理論とマルコフ決定過程を用いることで、性能評価量の正確な上下限を得ることができる。この論文の驚くべき結果は、呼損率と平均通話呼数を含むいくつかの性能評価値の上下限は、二つの特別なモデルが得られることである。一つは、注目していない基地局でのすべてのチャンネルがいつでも全て使われている状態に設定したモデル（モデル1と呼ぶことにする）であり、このモデルからは上限が得られる。もう一つは、注目していない基地局でのチャンネルがいつでも全て使われていない状態に設定したモデル（モデル2と呼ぶことにする）であり、このモデルからは下限が得られる。この二つのモデルを使えば、非常に少ない計算量で数値計算、もしくはシミュレーションを行うことで、上下限を簡単に得ることができる。上限と下限の値の差は、注目する基地局の数に強く依存していることがわかっている。注目する基地局が多いほど、上限と下限の差は縮まり、ある程度の基地局に注目することで、ほぼ正確な性能評価値を得ることができる。しかし、この方法を使って、直接上下限を計算できない評価量も存在する。上で述べた、通話完了確率もその一つである。通話完了確率とは、ある基地局で通話を開始できた呼が強制切断されることなく、通話を完了できる確率である。強制切断されることは、最初から繋がらない（呼損）よりも、非常に不愉快な現象だと思われるので、この確率を計算することは非常に重要である。そこで、本論文ではモデル1とモデル2から得られるいろいろな評価量を組み合わせることによって、通話完了確率の上下限を求める。次にその方法の概要を述べる。

共通の確率空間上で、通常モデル、モデル1、モデル2の振る舞いに対応するマルコフ連鎖を構築する。それぞれのマルコフ連鎖は、 k 番目の要素が、基地局 k でサービスされている呼数として表現される。そして、このマルコフ連鎖の状態確率がある単調な性質を持つことを導き出す。そして、この性質を用いること

で、まずは条件付通話完了確率の上下限が導出される。通話完了確率の上下限は、単調な性質と、この条件付完了確率の上下限から得ることができる。数値計算から、呼損率の場合と同様に、注目する基地局の数が多いほど、上下限の差が縮まることが確認されている。

呼損率と通話完了確率の上下限を使うことによって、デコンポジション型の近似モデルの精度を検証する。最初に均一な通信網に対して検証したところ、近似モデルの精度は非常に良いことが判明した。このデコンポジション型近似モデルを使えば、非常に少ない計算量で解を得ることができる。例えば、あるモデルで、呼損率の近似解 0.1859 を得るのに、0.0001 秒しかかからないが、アグリゲーション法を使って、シミュレーションによる正確な上限の推定値 0.1869 を得るのに 650 秒もかかってしまう。したがって、均一なモデルに対しては、デコンポジション法は非常に有効だということがわかる。次に、不均一なモデルに対して、精度を検証してみる。しかし、これまでは、大規模かつ不均一なモデルに対応するデコンポジション法は提案されていなかった。そこで、本論文では大規模かつ不均一なモデルに対応する近似モデルを構築し、その精度を検証する。

呼損率に関しては、近似精度はそれほど悪くはない結果が得られた。例えば、ある不均一モデルに対して、呼損率の近似値 0.1922 を算出するのに 0.01 秒しかか

からないが、デコンポジション法でのシミュレーションによる上限の推定値 0.1919 を得るのに約 1500 秒もかかってしまう。よって、呼損率に関しては、デコンポジション法は非常に有効だということがわかる。しかし、通話完了確率に関しては、時々非常に精度の悪い値が算出されることがわかった。真値と近似値の相対誤差は 25% を超えることもある。したがって、不均一なモデルで、デコンポジション法を使うことは十分注意が必要だと思われる。

呼損率の精度が良い理由は、移動体通信システムはロスシステムであり、互いのノードにあまり影響を与えないからだと思われる。一方、通話完了確率に関しては、呼は頻繁に隣接するノードに移り、隣接するノードに強く影響をうけるので、精度が悪く見積もられると思われる。もちろん、この予想を正当化するために、さらなる研究が必要だと思われる。また、このモデルは CDMA 方式には対応していないので、CDMA モデルに対応するモデルの構築も早急に行わなければならない。

参考文献

- [1] 高橋利臣, 小沢利久, 高橋幸雄: Bounds of performance measures in large-scale mobile communication networks, *Performance Evaluation*, vol. 54, no. 3, pp. 263-283, 2003.