

マイクロデシックネットワークの特性分析

— シミュレーションによる負荷特性評価 —

水谷 直樹[†], 上杉 志朗[‡], 篠原 健^{††}, 真田 英彦[†]

[†] 大阪大学大学院経済学研究科 [‡] 大阪大学大学院国際公共政策研究科
〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-7 06-6850-5240

^{††} (株)野村総合研究所 システムコンサルティング部 (京都大学大学院情報学研究科客員教授)
〒 100-0004 東京都千代田区大手町 2-2-1 03-5203-2616

MizutaniNaoki@compsrv.econ.osaka-u.ac.jp, suesugi@osipp.osaka-u.ac.jp,
t-shinohara@nri.co.jp, sanada@econ.osaka-u.ac.jp

あらまし 筆者らは、階層構造が中心である既存のネットワークの機能を補完する新しい構想として、自律分散構造のマイクロデシックネットワークを提案している。この自律分散型ネットワークでは、負荷の集中がおこるとネットワーク全体の機能に大きな影響が及ぶことになり、ひとつの問題点としてあげられる。本論文では、マイクロデシックネットワークの負荷に関する特性をシミュレーションにより分析し、マイクロデシックネットワークの実現性を検証する。

キーワード マイクロデシックネットワーク, 自律分散ネットワーク, ネットワーク負荷

Characteristic Analysis of Microdesic Network

— Estimation of Network Load by Simulation —

Naoki Mizutani[†], Shiro Uesugi[‡], Takeshi Shinohara^{††}, Hidehiko Sanada[†]

[†] Osaka University Graduate School of Economics

[‡] Osaka University School of International Public Policy

Machikaneyama 1-7, Toyonaka, Osaka 560-0043

^{††} Nomura Research Institute, Ltd. (Visiting Prof. Kyoto University)

Shin Otemachi Bldg. 2-2-1, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004

MizutaniNaoki@compsrv.econ.osaka-u.ac.jp, suesugi@osipp.osaka-u.ac.jp,
t-shinohara@nri.co.jp, sanada@econ.osaka-u.ac.jp

abstract A new idea of an autonomous and distributed network called “Microdesic Network” was proposed in order to complement the existing hierarchical network. But one of the problems of autonomous and distributed network is that concentration of transactions sometimes makes the network fail to function. This report shows the characteristics of network load in the Microdesic Network by simulation, and comments the possibility of its realization.

key words Microdesic Network, Autonomous Distributed Network, Network Load

1 はじめに

マイクロデシックネットワーク [1] (以下 MDN) とは、各ノードが交換機の機能を併せ持ち、複数の隣接するノードから自動的に通信リンクを設定して、自律的に通信のリレーを行うネットワークの構想である。従来の通信ネットワークは集中型が主流であったが、技術進歩・社会状況の変化により、集中型の優位性を問はず時期と考え [2]、我々は MDN のような分散システムの出現を予測している。

MDN の各ノードは交換機能を持つことになるが、分散システムであるため、各々の処理能力は低いものになる。ここで、通話が頻発し特定のノードに負荷が集中すると、処理しきれずに通話不能になる状況も考えられ、自律的に最適経路を探索して負荷を分散させる仕組みが必要となる。ここでは、シミュレーションによる MDN の基本的特性の分析として、参加者がネットワークの中で任意に呼を発生した場合に、ノードに加わる負荷がどのような性質を示すか考察する。

2 シミュレーション・モデル

MDN を構成する各ノードの負荷についての基本的な特性を明らかにするために、図 1 のように単純化したネットワークのモデルを用いる。これは、ある正方形の地域の内部に、2次元の格子状に参加者(ノード)が並んでいることを意味し、このような正規化されたネットワークの中で通話が発生するものとする。シミュレーションでは以下のように MDN を規定して負荷の特性を評価した。

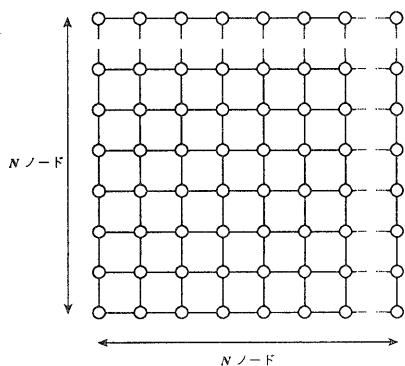


図 1: マイクロデシックネットワークのモデル

- ネットワークを構成するノードは、正方形の地域の内部に2次元の格子状に等間隔に並んでいるものとし、正方形の1辺に並ぶノードの数を N とする。

- 各ノードは東西南北の4方向に隣接する各々1つのノードとのみ直接の通信を可能とする。図1では、ノードどうしをつなぐリンクで通信可能性を示している。

- 通話は、ネットワーク中のノードを2つずつ無作為に選び、選ばれた2つのノードの間で通話が次々に始まるものとする。

1つの通話が発生すると2つのノードが通話に従事すると考える。また、通話は確率的に起こるものとし、通話をしていないノードもあれば、2通話、3通話といった複数の通話を同時に行っているノードの存在も許すことにする。ここで、発生させる通話の数を C とする。

- 通話は継続的に行われるものとし、通話の切断は考慮しない。

- ノードの仕事(通話あるいは交換)をタスクという言葉で表現し、ノードが通話を新たに始める場合は1単位のタスクが加算されるものとする。また、他の通話の経由点として、ノードの交換機能が利用される場合にも1単位のタスクが加算されるものとする。

ここでは、通話も交換も同一の次元で考え、その和のタスク数を算出し、各ノードの負荷をこのタスク数で示す。

- 新たな通話が発生した場合に、発信者と受信者を結ぶ経路は、両者を結ぶ最短経路の中から、負荷が集中している(タスク数が大きい)ノードを避けるように経路を選ぶことにする。また、同順位の経路が複数あるならば、経路中のノードのタスク数の和が最小のものを選択する。

(経路の探索は総当たりで行うが、発信者と受信者が離れると幾何級数的に候補の数が増加する。シミュレーションでは、20,000通り以上の候補がある場合には、ランダムに与えた10,000通りのパスの中から上記の方法で最良のパスを選択することにした。)

このように1辺に N のノードが並ぶ正方形の格子状に並んだネットワークで、ランダムに C の通話を発生させた場合の各ノードにおけるタスクの数に着目する。

3 シミュレーション結果

MDN では、負荷が集中するノードに特に注意しなければならない。負荷が集中したノードが機能不全に陥ると、ネットワーク全体に影響が及ぶ恐れがある。そこで、ネットワークのノードの負荷について考察するため、種々のシミュレーションを試みた。ここでのシミュレーションは、ネットワークの規模に関する 3.4 節を除いて $N = 20$ つまり1辺に20のノードが並ぶ、全体で400ノードのネットワークで行った。

3.1 ネットワーク中の負荷の地理的分布

ネットワーク中のノードの負荷の様子を図2に示す。これは、通話数 $C = 200$ のシミュレーションを100回行い、各ノードのタスク数の100回の平均値を示したものである。

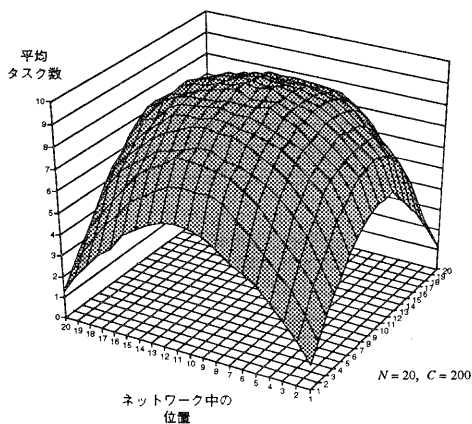


図2: ネットワーク中の負荷の地理的分布

この図からもわかるように、エリアの中心部で負荷が高く、4隅では負荷が小さい。4隅は通話のパスとなる確率が低く、交換のタスクがほとんど行われていないためである。

3.2 通話の数とネットワークの負荷との関係

ネットワークの中で最も負荷が集中したノードのタスク数に着目する。図3の実線はネットワーク中の最大タスク数の期待値を示したものである。

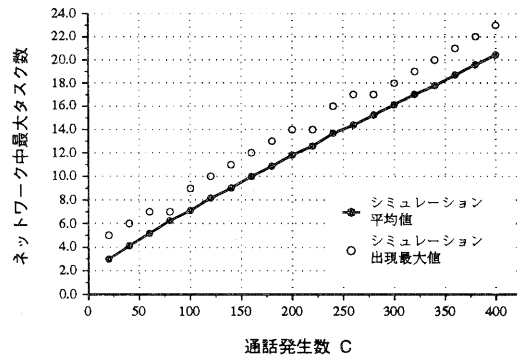


図3: 通話発生数とネットワークの負荷の関係

ここでは、同一の通話数 C のシミュレーションを100回行い、そこで得られた100個のデータの平均(最大タスク数の100回試行平均)を描いている。このグラフをみると、呼の発生数と負荷の関係は線形関係にあるといえる。また、出現したタスク数の最大値を白丸で示したが、この値を超えるタスク数のノードは100回のシミュレーションを通じて出現することはなかった。

3.3 ノードにかかる負荷の分布

ネットワーク中のノードにかかるタスク数の分布を図4に示す。これは、ネットワーク中に通話を100, 200, 300, 400通話それぞれランダムに発生させた場合を考え、そのときのノードのタスク数についての度数分布をイメージしており、シミュレーションを100回試行して得た平均度数分布を図示したものである。

ネットワークは400個のノードで構成され、100回のシミュレーションを行うことにより、延40,000ノードのサンプルが得られるが、たとえば通話数400の場合、タスク数24以上の負荷は1つも現れることはなく、23以内におさまることが確認できた。図3中に示した白丸がこの出現最大値に相当する。このような右に偏った分布になるのは、特定のノードに負荷が集中することがないよう、経路を

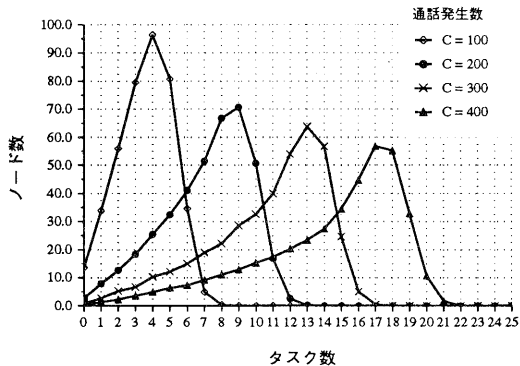


図 4: ネットワーク中のタスクの分布

探索するアルゴリズムが与えられているためであるが、ノードの処理能力についての仕様を決める上で有利に働くと考えられる。

3.4 ネットワークの規模と負荷の関係

ネットワークの1辺のノード数 N とノードのタスク数との関係について考察する。ネットワーク中で発生させる通話数 C は $C = N^2/2$ として評価を行った。この値は、ネットワークの規模にかかわらず、ノードのそれぞれが平均的に1通話の通信を行っている状態を意味している。

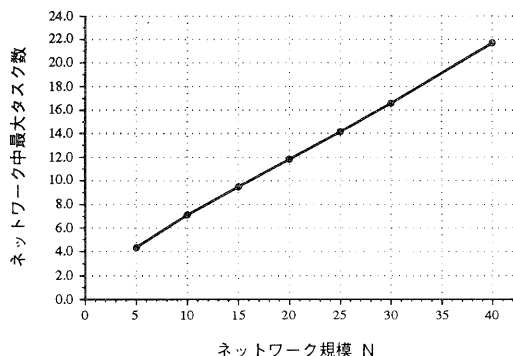


図 5: ネットワークの規模と負荷の関係

図 5 は、ネットワークの中で最も負荷の集中するノードのタスク数が、ノード数 N の増加に対して

どのように変化するかを示したグラフである。これを見ると、ネットワーク中のタスク数の最大値は、1 辺のノード数 N に比例して増加している。エリア全体のノード数 $N' = N^2$ で考えると $\sqrt{N'}$ に比例することがわかる。

4 局所的な通話経路探索の場合の負荷特性

ここまでの評価における通話経路の探索は、最短経路の全ての候補の中から、負荷の集中が起こらないような経路を選択するものとして議論してきた。自律分散型の MDN では、このような全経路からの最適探索は困難なので、局所的な探索による通話経路の決定方法について評価する必要がある。ここでは、全経路から最適な経路を求める全探索による場合と比較して、局所的探索によってネットワークの負荷にどれだけの差が生じるかを検討する。

発信者と受信者間の最適経路を自律的に探索する方法としては、目的ノードまでたどり着くまでのそれぞれのノードで、ネットワークの負荷が集中しないよう局所的に経路を決定して繋げていく方法を考える。このような局所的探索として2つの方法を用意し評価を行った。

全探索

第 2 章で紹介した方法で、最短経路となる経路の候補の中から、負荷が集中しているノードは避けるような経路を選ぶ方法である。前掲と同様、同順位の経路があるならば、経路中のノードのタスク数の和が最小のものを選択する。また、候補の数が多く、20,000 通り以上の候補がある場合は、ランダムに与えた 10,000 通りの中から最良のパスを選択することにした。

通話要求方向の局所探索：アドホック 1

格子状のネットワーク中で最短経路を探索することが前提であるので、発信者から受信者にとり着くまでの各ノードで、隣接する 4 つのノードのうち経路となりうる候補は 2 つだけである。その 2 つの候補からタスク数が小さいものを選択することを繰り返す方法で、具体的には、以下のように行う。

- 候補となる 2 つのノードのうち、タスク数が少ないノードを選択するものとし、発

信者から受信者にたどりつくまで、すべてこの方法で探索し、経路を決定する。

- 候補となる2つのノードのタスク数が同じである場合は、2つのうちからランダムに1つを選択する。

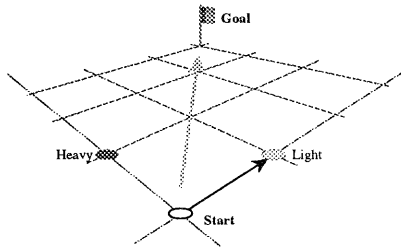


図 6: 局所的な経路探索方法

双方向による局所探索：アドホック 2

上のアドホック 1 の方法は、発信者から受信者にたどり着くまでの往路のみの探索である。局所探索の 2 番目の方法は、復路でも局所探索を行い、往路と復路のうち条件のよい方を選択する方法である。

- アドホック 1 の方法を往路だけでなく復路にも適用する。
- 往路の探索による経路と復路の探索における経路で、経路中のタスク数が最も大きいノードを比較して、そのタスク数が小さい経路を選択する。
- 往路と復路の最大タスク数が同じ場合は、経路中の全ノードの合計タスク数が小さい経路を選択する。

この方法では、往路と復路を異なる経路で通話するのではなく、探索を2つの方向で行い、そのうち条件のよい経路を通話に用いることを意味する。

ここで想定する局所的探索が実現されるには、通話の目的となるノードがどの方向に存在するか、任意のノードで判別できることが要求される。たとえば、ネットワークのノードのアドレスを緯度・経度情報と一意に対応できれば、この実現は容易であると考えられる。

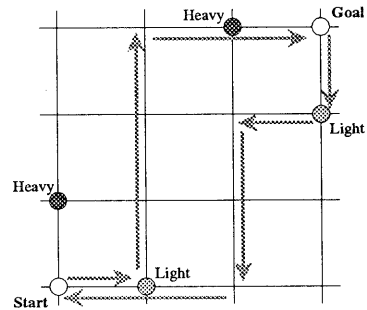


図 7: 双方向の局所的経路探索 (アドホック 2)

シミュレーションは、ネットワークの規模を $N = 20$ 、つまり正方形の1辺に20個、ネットワーク全体で400のノードが並ぶ場合で考察した。

4.1 局所的探索の場合のネットワーク負荷

第 3.2 節と同様に、ネットワークの中で最も負荷が集中したノードのタスク数に着目する。ここでも、 20×20 のネットワークで、ある通話数 C のシミュレーションを 100 回行い、ネットワーク中の最大タスク数の 100 回試行平均を、3つの探索方法のそれぞれについて図 8 に描いた。

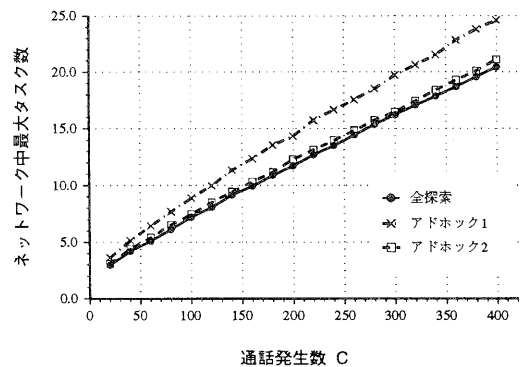


図 8: 局所的探索の場合のネットワークの負荷

通話要求方向のみの局所探索 (アドホック 1) の場合は全探索の場合に比べて 20% ~ 26% ほど負荷が増加している。しかし、双方向の局所探索 (アドホック 2) の場合は全探索の場合に比べて 2% ~

7%の増加にとどまっていることがわかる。

4.2 局所的探索の場合の負荷の分布

ネットワーク中のノードに負荷としてかかるタスク数の分布を図9に示す。これは、ネットワーク中に通話を200通話ランダムに発生させた場合を考え、そのときのノードのタスク数についての度数分布をイメージしており、シミュレーションを100回試行して得た平均度数分布を図示したものである。

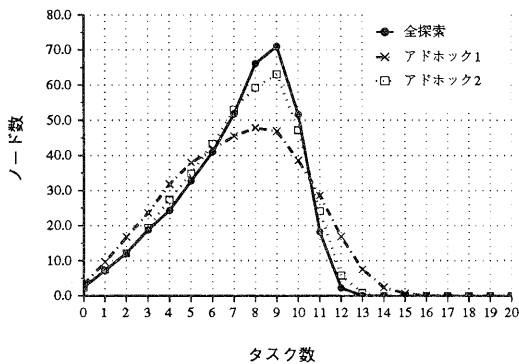


図9: 局所的探索の場合のネットワークの負荷の分布

ネットワークは400個のノードで構成されており、100回のシミュレーションを行うことにより、延べ40,000ノードのサンプルを得ている。そのなかで、全探索についてはタスク数15以上となったノードは1つも現れることはなかった。局所的探索と併せて示すとタスク数の分布の範囲は表1のようになった。

表1: タスク数の分布の範囲

探索方法	タスク数の分布
全探索	14以内
アドホック1 (片方向)	18以内
アドホック2 (双方向)	14以内

($N = 20, C = 200$)

特定のノードに負荷が集中することがないように、経路を探索するアルゴリズムを与えると、負荷の分布が右に偏った分布になるが、局所的な探索アルゴ

リズムの場合にも右に偏った分布が保存されていることがわかる。この性質は、MDNのノードの処理能力の仕様を決める上で有利である。

アドホック1の方法はタスク数の分布が18まで広がっており、全探索に比べると約30%の増加となっている。それに対して、アドホック2の方法では、分布の最大値は全探索の場合と同一であった。

5 まとめ

マイクロデシックネットワークにおいて、正規化されたノード配置を前提として、ランダムに通話が発生した場合に、各ノードにおける負荷の状況をシミュレーションによって把握する方法を提案し、種々のシミュレーションを行い、その統計的性質を考察した。

その結果、ネットワークの負荷はエリアの中央部で高くなること、ノード数の増加によってネットワークの負荷が大きくなること、その増加は全ノード数の平方根に比例することが確認できた。

また、発信者から受信者までの通話経路を自律的探索によって割り当てる方法によっても、負荷の増加がわずかかすむ場合があることを示した。

参考文献

- [1] 篠原 健, 上杉志朗, 真田英彦. マイクロデシックネットワーク. 信学技報, OFS99-3:pp17-21, 1999-5.
- [2] 上杉志朗, 篠原 健, 真田英彦. マイクロデシックネットワークの経済効果に関する一考察. 信学技報, OFS99-4:pp23-29, 1999-5.