

不安定な通信環境における モバイルエージェント再送機能の有効性とその評価

佐藤 正行[†] 浦上 美佐子^{†,††} 松野 浩嗣[‡]

[†] 山口大学大学院理工学研究科 ^{††} 大島商船高等専門学校 [‡] 山口大学理学部

概要

近年、高速ネットワークインフラ整備が行われている。しかし、非常時の安否情報取得や海上無線環境下の情報提供等のように通信輻輳や物理的障害が生じやすく、必ずしも安定した高速回線が利用できないような状況での情報検索の需要は未だ多く存在する。このような通信環境においてもネットワーク通信が実現する手段として、一括転送や再送などの機能を持つモバイルエージェントがある。そこで、本稿では、不安定な通信環境における情報検索システムをモデルとし、モバイルエージェント再送機能に焦点をあて、全端末を巡回するのに要する移動回数およびモバイルエージェント生成数に着目した計算機シミュレーションを行う。これにより、2局間を移動する平均時間を再送間隔とした再送機能を持つモバイルエージェントが、全体的な情報収集能力を高めることを確かめた。

Effect of Retransmissions in Mobile Agent Communications under Unstable Network Conditions

Masayuki Sato[†] Misako Urakami^{†,††} Hiroshi Matsuno[‡]

[†] Graduate school of Science and Engineering, Yamaguchi University

^{††} Oshima College of Maritime Technology [‡] Faculty of Science, Yamaguchi University

ABSTRACT

In recent years, developments of high-speed network infrastructure have been progressed. However, demands for information retrieval through narrow band lines are still exist as getting safety information in an emergency and information for navigate vessels in the inland sea, since in such situations, improper conditions for networks including traffic congestions and/or physical troubles are likely to occur. The use of mobile agent is a method which enables to transmit data even in such improper conditions. Hence, focusing on the function to retransmit mobile agent, we conduct computer simulations with introducing the following two parameters of mobile agent in unstable communication environments; the number of migrations and the number of produced mobile agents traveling all servers. The simulations confirmed that the ability of mobile agent in correcting information can be enhanced by setting the retransmission period of a mobile agent to the average time for its migration between two stations.

1 まえがき

近年、屋内外において高速ネットワークインフラ整備が行われている。しかしながら、非常時における安否情報取得時に通信輻輳の発生や物理的障害の発生^[1]、海上無線環境下における情報提供時に気象条件の変化や通行船による障害の発生^[2]など、必ずしも安定した高速回線が利用できない場合が多い。また、設備情報の巡視をイントラネットとアナログ回線接続をしている場合もある^[3]。したがって、このような通信環境では、通信品質が不安定な通信環境になりやすい。

このように通信品質が不安定な通信環境でもネットワーク通信が実現する手段として、モバイルエー

ジェントがある^[4]。モバイルエージェントは、必要なデータを一括して転送することができ^[5]、またモバイルエージェントが移動先のコンピュータに移動失敗した場合、再びモバイルエージェントを移動する再送機能などの特徴を持っている。

そこで本稿では、モバイルエージェントの典型的な応用事例である情報検索システムにおいて、低帯域幅で通信品質が不安定な通信環境におけるネットワークモデルを想定する。そして、モバイルエージェントの特徴の1つである再送機能に焦点をあて、不安定な通信環境におけるモバイルエージェント導入評価実験を計算機シミュレーションにより実施し、

この再送機能の有効性と導入評価を行う。

以降、2.では不安定な通信環境におけるモバイルエージェントの特徴および導入効果について述べる。3.では、本稿の計算機シミュレーションで用いるモバイルエージェントシステムのネットワークモデルおよび再送機能を持つモバイルエージェントの動作条件について述べる。4.では、通信品質が不安定な通信環境におけるモバイルエージェント再送機能の評価実験を行う。モバイルエージェントが、全移動基地局を巡回するのに必要な移動回数およびモバイルエージェント数(モバイルエージェント生成数)に着目した実験を行う。5.では、再送の時間間隔(再送間隔)およびモバイルエージェント生成数に留意し、不安定な通信環境がモバイルエージェントの巡回に与える影響について調査する。これらの調査により、不安定な通信環境における最適な再送間隔を提案し、モバイルエージェント再送機能の有効性を示す。

2 不安定な通信環境におけるモバイルエージェント導入の効果

2.1 モバイルエージェントとは

モバイルエージェントは、ユーザの代理として活動し、ユーザの目的とする作業を支援するソフトウェアの総称として定義されている。すなわち、モバイルエージェントは、コンピュータ間の自律的移動能力を持つプログラムであり、モバイルエージェント自体がユーザの代理人としてネットワーク上を自律的に移動しながら特定の仕事を遂行する(図1)。そのため、ユーザが移動先のコンピュータと移動前のコンピュータとの通信を切断しても、移動後のモバイルエージェントは、処理可能である。

2.2 モバイルエージェント導入効果

不安定な通信環境へモバイルエージェントを導入する利点を以下に示す。

通信トラフィックの削減や通信回数・遅延の低減化モバイルエージェントとして実現された分散処理プログラムを移動先のコンピュータへ移動し処理を行うことにより、コンピュータ間で行われていた通信を1つのコンピュータ内のプログラム間通信に局所

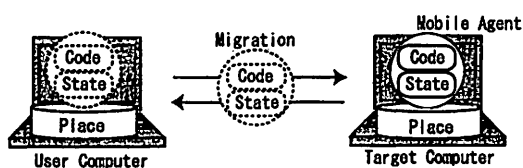


図1: モバイルエージェントの移動形態

化する。

再送機能 モバイルエージェントが任意の移動先のコンピュータへの移動を失敗した場合、新たなモバイルエージェントを生成せずに、移動前のコンピュータにおいて再送間隔(モバイルエージェントが再送を行うまでの待機時間)分待機し、再びモバイルエージェントの移動を行う。したがって、モバイルエージェントが全てのコンピュータを移動するのに必要なモバイルエージェント数は減少する。

ライフタイムの設定 モバイルエージェントは、ライフタイム(モバイルエージェントが生成し、消滅するまでに要する時間)を持つことにより、モバイルエージェントが不意なネットワーク回線切断などでライフタイム内にユーザの下へ帰着できない場合、そのモバイルエージェントは消滅する。したがって、不要なモバイルエージェントを半永久的に存在させることを防止する。

以上のことよりモバイルエージェントは、通信品質が不安定な通信環境でもネットワーク通信を実現する有効な手段となる。

3 モバイルエージェントネットワークモデル

3.1 ネットワークモデル

本稿で用いる計算機シミュレーション用ネットワークモデルは、多くのモバイルエージェントシステム研究で引用されている *Strasser* らのネットワークモデル^[7]を基にした(図2)。これは、2つの異なるネットワーク環境から成り立つ。*Network1* に存在するモバイルコンピュータやPDAなどの遠隔情報端末を想定したユーザ端末(基地局)において生成されたモバイルエージェントが、ネットワーク伝送速度やネットワーク遅延時間の異なる *Network2* に存在する検索対象の端末(移動基地局)へ移動し、チケットに記述されている全ての移動基地局を巡回して基地局へ帰着後、消滅する。ただし、本稿で用いるモバイルエージェントは、各移動基地局にある情報(ターゲットデータ)を取得する最小限の機能を持つ。また、モバイルエージェントの移動の場であるプレース(Place)は、基地局や移動基地局に事前に配置する。

また非常時による通信輻輳の発生や遮蔽物や気候などによる物理的障害、従来の通信回線との併用による低品質なコンピュータ通信などから不安定な通信環境になり、スループットの低下やパケット損失確率の増加、伝送遅延の増加などが生じる。このよ

うな通信環境を想定するため、移動基地局間において通信帯域幅を減少させるパケットを発生させ、ネットワーク負荷を増加させる。またパケット損失として、モバイルエージェントが移動失敗する確率(回線切断確率: P_f)およびモバイルエージェントが移動成功する確率($P_s = 1 - P_f$)を与える。

以上のパラメータを与えたネットワークモデルを図3に示す。

3.2 再送機能を持つモバイルエージェントおよび計算機シミュレーションの動作手順

モバイルエージェントは、ユーザが設定する制約時間内に情報検索を行う。ユーザが設定する制約時間として情報取得間隔と情報取得回数を与える。情報取得間隔は、基地局で生成されたモバイルエージェントが全移動基地局を巡回後、基地局へターゲットデータを受け渡すまでの最大時間である。これを情報取得回数として指定された回数だけ繰り返す。ただし、情報取得間隔内にモバイルエージェントが基地局へ帰着できなかった場合は、その情報取得間隔として与えられた時間内の情報検索は失敗したとみなす。これらのことから、ユーザが与える仕事の完了時間は、情報取得間隔と情報取得回数の乗算で表現できる。

本ネットワークモデルにおいて、再送機能を持つモバイルエージェントに対して以下に示す動作手順を与える。ここでは、モバイルエージェントが基地局で生成されてから経過した時間を移動時間と呼ぶことにする。

- (1) モバイルエージェントに固定したパラメータ値(再送間隔, ライフタイム, 情報取得間隔, 情報取得回数)を設定する。
- (2) 基地局において全移動基地局を移動する巡回順を決定し、モバイルエージェントを生成した後、移動基地局へ移動を開始する。
- (3) 移動時間が情報取得間隔に達するまで、次の手順を繰り返す。
 - (a) モバイルエージェントが全移動基地局を巡回

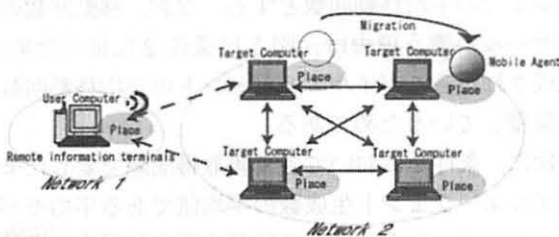


図2: モバイルエージェントネットワークモデル^[7]

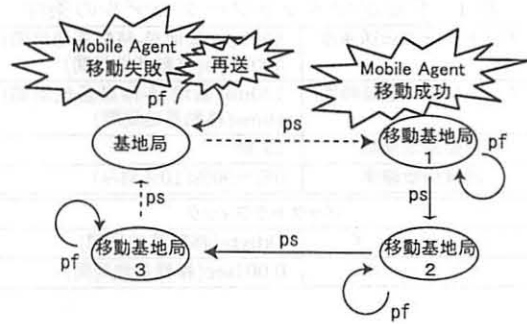


図3: モバイルエージェントネットワークモデル(移動基地局が3局の場合)

し基地局へ帰着した場合、モバイルエージェントは消滅を行い、次の情報取得間隔まで待機し、(4)の手順へ進む。

- (b) モバイルエージェントが移動失敗した場合(回線切断確率 P_f)、移動前の基地局または移動基地局において再送間隔分待機し、再びモバイルエージェントは移動を開始する。
 - (c) 移動時間がライフタイムに達した場合、モバイルエージェントは消滅し、基地局において新たにモバイルエージェントを生成し、移動を開始する。
 - (d) 移動時間が情報取得間隔に達した場合、モバイルエージェントは消滅し、(4)の手順へ進む。
- (4) 次の情報取得間隔へ移行し、情報取得回数に達するまで(2)から(4)を繰り返す。

4 モバイルエージェントの移動回数および生成数に着目した再送機能の評価実験

4.1 評価実験概要

本稿では、現実のネットワークに近い計算機シミュレーションを実現できることで定評があるネットワークシミュレータ *NS-2(Network Simulator version 2)*^[6]を用いる。また、*NS-2*でモバイルエージェントシステムを実装するために、文献[7]のシステムを基に作られたモバイルエージェントのモジュール^[8]を *NS-2*に導入する。この *NS-2*を用い、3.1で定義したネットワークモデルに対して、モバイルエージェント再送機能の有効性についての実験的評価を行う。

ネットワークモデルに設定した計算機シミュレーション用パラメータを表1、表2に示す。ここで、基地局と移動基地局は異なるネットワーク環境に存在し、安定した高速回線が利用できない場合を想定しているため、その間のネットワーク伝送速度は遅く、遅延時間は大きくするように設定する。通信環境の

表 1: 不安定なネットワークモデルの条件

ネットワーク伝送速度	50kbps(基地局-移動基地局間) 400kbps(移動基地局間)
ネットワーク遅延時間	120ms(基地局-移動基地局間) 10ms(移動基地局間)
移動基地局数	15 局
回線切断確率	0%~90%(10%刻み)
バックトラフィック	
パケットサイズ	1kbyte(移動基地局間)
インターバル	0.001sec(移動基地局間)

表 2: 再送機能を持つモバイルエージェントの条件

モバイルエージェントプログラムサイズ	10kbyte
モバイルエージェント内データサイズ	100byte
モバイルエージェントの実行状態サイズ	5kbyte
ターゲットデータサイズ	5kbyte
モバイルエージェント生成時間	0sec
モバイルエージェント消滅時間	0sec
モバイルエージェント処理時間	0sec
再送間隔	1.5sec, 3sec, 6sec
ライフタイム	100sec
情報取得間隔	100sec(条件 1) 600sec(条件 2)
情報取得回数	10 回

変化によるモバイルエージェントの振舞いを調べるため、回線切断確率を0%から90%の範囲で与える。基準となる再送間隔は、全移動基地局を巡回するのに必要な時間を事前に測定し、端末数(基地局数と移動基地局数の合計)で除算し、モバイルエージェントが2局間を移動するのに必要な平均時間(3sec)として与える。評価実験では、基準となる再送間隔とその1/2倍した値(1.5sec)および2倍した値(6sec)の合計3種類を用いる。

まず、以下に示す条件1, 条件2に従い、再送間隔とネットワークの回線切断確率を変化させ、モバイルエージェントが情報取得間隔内に全移動基地局を巡回できた(巡回可能)か、巡回できなかった(巡回不可能)かについて調査する。次に、情報取得間隔内における移動回数について調査する。特に条件2では、与えられたライフタイム内で巡回不可能でも、情報取得間隔内にモバイルエージェントを最大6個生成することができるため、全移動基地局を巡回するために生成されたモバイルエージェント数についても調査する。

条件1: 情報取得間隔内にモバイルエージェント生成を1回行う場合 情報取得間隔内に生成できるモバイルエージェント生成数を1個に限定した場合について調査する。(情報取得間隔とライフタイムを同

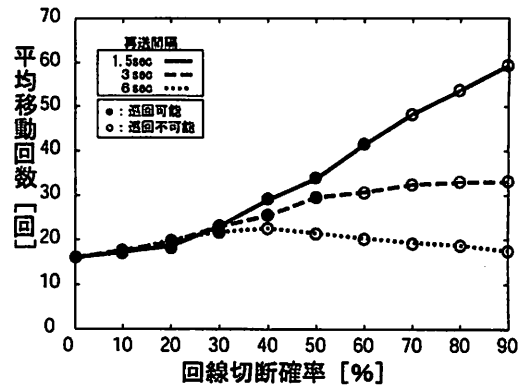


図 4: 平均移動回数 (条件 1)

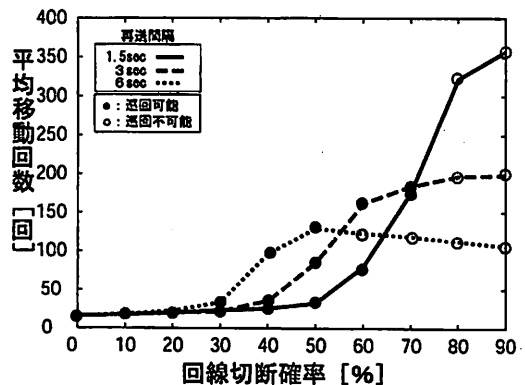


図 5: 平均移動回数 (条件 2)

値に設定)

条件2: 情報取得間隔内にモバイルエージェント生成を最大6回行う場合 情報取得間隔内に生成できるモバイルエージェント生成数を6個に限定した場合について調査する。(情報取得間隔をライフタイムの6倍(600sec)に設定)

4.2 評価実験結果

条件1, 条件2に従い、再送間隔とネットワークの回線切断確率を変化させたときの各情報取得間隔で要した移動回数の平均値である平均移動回数の結果を図4, 図5に示す。横軸は回線切断確率、縦軸は平均移動回数を示す。また、モバイルエージェントが巡回可能な場合は黒丸、巡回不可能な場合は白丸で示す。ただし、モバイルエージェントが巡回不可能な場合は、情報取得間隔内に移動できた移動基地局までの平均移動回数とする。なお、移動回数のスケールが違う理由は、図5は条件2に従うため、生成された各モバイルエージェントの平均移動回数を累積しているためである。

次に、条件2において各情報取得間隔で要したモバイルエージェント生成数の平均値である平均モバイルエージェント生成数の結果を図6に示す。横軸

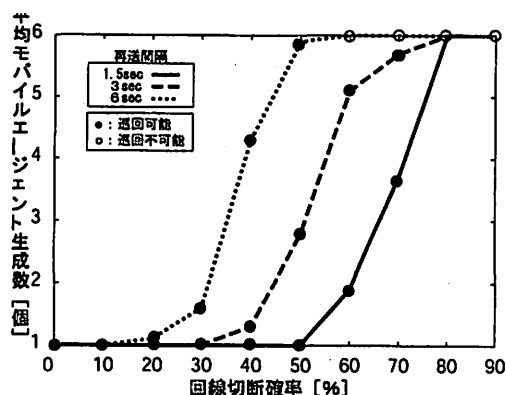


図 6: 平均モバイルエージェント生成数 (条件 2)

は回線切断確率，縦軸は平均モバイルエージェント生成数を示す。

まず 4.2.1 で，条件 1，条件 2 におけるモバイルエージェントが巡回可能な回線切断確率と，再送間隔と平均移動回数の変化に着目したモバイルエージェントの振る舞いについて述べる。そして 4.2.2 で，条件 2 における平均モバイルエージェント生成数の振る舞いについて述べる。

4.2.1 移動回数に着目したモバイルエージェントの振る舞い

図 4，図 5 より，再送間隔が短い方が，巡回可能な回線切断確率が高いことが分かる。

巡回可能な場合に着目すると，条件 1，条件 2 において，各再送間隔とも回線切断確率が増加するにつれて，平均移動回数は増加する。しかし，巡回不可能な場合に着目すると，条件 1，条件 2 において，平均移動回数は再送間隔が 1.5sec の場合は増加，6sec の場合は減少，そして 3sec の場合は，ほぼ一定した値である。このように再送間隔によって平均移動回数の増減が異なっている。

また，モバイルエージェント生成数に着目すると，条件 1 より，モバイルエージェントを 1 個生成する場合は，再送間隔が長い方が移動回数は少ない。これは，再送間隔が長い方が，モバイルエージェントが移動を失敗したときに行われる再送の実行回数が少ないからである。条件 2 より，モバイルエージェントを複数個生成する場合は，巡回可能であるとき，再送間隔が短い方が，移動回数が少ない。これは，再送間隔が短い方が，情報取得間隔内に生成されるモバイルエージェント数が少ないためである。しかし，巡回不可能な場合，再送間隔が長い方が，移動回数が少ない。これは再送間隔が長い方が，モバイルエージェントが移動失敗したときに行われる再送

の実行回数が少ないためである。

したがって，モバイルエージェントを 1 個生成する場合，回線切断確率が高い場合は，再送間隔が長い方が，移動回数が少ない。一方，モバイルエージェントを複数個生成する場合，全移動基地局をモバイルエージェントが巡回可能か否かによって，モバイルエージェントに与える再送間隔を使い分ける必要があることがわかる。

4.2.2 モバイルエージェント生成数に着目したモバイルエージェントの振る舞い

図 6 より，各再送間隔とも回線切断確率が増加するにつれて，平均モバイルエージェント生成数は増加する。しかし，再送間隔が短い方が，回線切断確率が増加しても少ない平均モバイルエージェント生成数で巡回可能なことが分かる。これは，再送間隔が短い方が，モバイルエージェントが移動失敗したときに行われる再送の実行回数が多いため，ライフタイムを超えずに巡回可能であるからである。

また図 4，図 5 より，条件 1，条件 2 における巡回可能な回線切断確率は，再送間隔が 3sec の場合に着目すると，50%から 70%へと 20%増加することがわかる。このように，モバイルエージェントを複数個生成する場合の方が，回線切断確率が高い場合でも巡回可能となることが分かる。

5 不安定な通信環境がモバイルエージェント巡回に与える影響の考察

本章では，4. の評価実験結果に基づいて，再送間隔およびモバイルエージェント生成数に着目して，不安定な通信環境がモバイルエージェントの巡回に与える影響について実験的な考察を与える。

本評価実験では，回線切断確率が高い場合をより不安定な通信環境であるとしているため，本章においても，不安定な通信環境の度合いを回線切断確率として表現する。

回線切断確率が高い場合に着目する。短い再送間隔を持つモバイルエージェントの方が，全移動基地局を巡回可能となる。これは，再送間隔が短い方が，モバイルエージェントが移動を失敗したときに行われる再送の実行回数が多いためである。また，複数個のモバイルエージェントを生成できる方が，全移動基地局を巡回可能となる。これは，情報取得間隔内に生成されるモバイルエージェントの個数を増加することにより，実行回数(チャレンジ回数)を増やすことができるためである。

すなわち，回線切断確率が高い場合には，モバイ

ルエージェントの再送機能が持つ再送間隔を短く設定し、ユーザが指定した情報取得間隔内にモバイルエージェントを複数個生成できるように、情報取得間隔とライフタイムを設定した方が得策であるといえる。

本稿では、通信品質が不安定な通信環境における再送機能を持つ最適なモバイルエージェントを次のように考えた。

- 再送回数も含めた移動回数が少ないモバイルエージェント
- モバイルエージェント生成数が少ないモバイルエージェント

通信品質が不安定な通信環境で、モバイルエージェントを1個生成する場合、再送間隔が短い場合は、全移動基地局を巡回可能であるが、移動回数が多くなる。一方、再送間隔が長い場合は、移動回数は少ないが、全移動基地局を巡回しにくくなる。したがって、再送間隔として2局間の移動する平均時間を与えることで、全移動基地局を巡回しやすく、再送回数も含めた移動回数が少なくなる。

通信品質が不安定な通信環境で、モバイルエージェントを複数個生成する場合、再送間隔が短い場合は、全移動基地局を巡回可能であり、モバイルエージェント生成数が少なくすむが、移動回数が増加する問題がある。一方、再送間隔が長い場合は、移動回数は少ないが、全移動基地局を巡回しにくく、モバイルエージェント生成数が増える問題がある。したがって、再送間隔を2局間の移動する平均時間を与えることで、全移動基地局を巡回しやすく、移動回数が少なく、モバイルエージェント生成数が少ない。

以上のように、モバイルエージェントが移動する不安定なネットワーク環境を考慮したうえで、モバイルエージェントの再送機能として再送間隔を決定し、情報取得間隔としてモバイルエージェント生成数を決定することにより、モバイルエージェントの巡回による影響を与えることが示された。

6 おわりに

本稿では、通信品質が不安定な通信環境における遠隔情報検索システムをモデルとし、ネットワーク上で全移動基地局からターゲットデータを取得する際の再送機能を持つモバイルエージェントの性能を再送間隔に着目して調べた。そこで、モバイルエージェントの再送機能のためのパラメータだけではなく、ユーザが仕事の完了を決定できるように情報取得間隔と情報取得回数のパラメータを与えた。

その結果、通信品質が不安定な通信環境では、モバイルエージェントを複数個生成し、再送間隔が短いモバイルエージェントの方が、再送の実行回数が多いため、巡回可能となる確率が高くなることが分かった。しかし、巡回不可能な場合、新たにモバイルエージェントを生成させることで、より通信品質の悪いネットワークにおいても巡回可能であるが、生成数分だけ総移動回数が増加するため、端末やネットワークに対して輻輳を助長する可能性も考えられる。そのため、適切な再送間隔は、基準となる再送間隔(2局間を移動する平均時間)に設定することが適しているといえる。したがって、最適な再送間隔を設定し、モバイルエージェント生成数を増加させることにより、全体的な情報収集効率を上げることができる。

今後、実験から求めた移動回数やモバイルエージェント生成数に関する理論式を導出し、これらの値を事前に見積もれるようになれば、より最適な再送間隔や不要なモバイルエージェントを生成しなくても済む。これについては、また別の機会で報告する予定である。また、再送機能の有無によるモバイルエージェントを比較する評価実験を行い、通信品質に影響を受けないモバイルエージェントの性能評価を行いたい。

参考文献

- [1] 磯貝 光雄, 熊井 滴之, 小林 陽一, 黒岩 勝年, 荒川 佳樹, 鈴木 龍太郎: エージェント技術に基づいた安否照会システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-B No.3, pp.297-307 (2000).
- [2] 浦上 美佐子, 松野 浩嗣, 岩崎 寛希: 海上無線 LAN を利用した小型船舶対象の安心ネットワーク構築, 日本航海学会論文集, Vol.111, pp.173-180 (2004).
- [3] 長 健太, 入江 豊, 大須賀 昭彦, 関口 勝彦, 本位田 真一: 組込み機器向け知的移動エージェント μ Plangent を用いた電力系統監視システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-I No.5, pp.465-475 (2002).
- [4] 川原崎 兼介, 高橋 和子: モバイルエージェントを用いた動的ネットワークルーティングシステムの拡張, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-B No.11, pp.2433-2436 (2003).
- [5] 牧野 聡, 大越 匡, 中澤 仁, 徳田 英幸: Inforgent モバイルエージェントを用いた情報閲覧支援環境の構築, 情報処理学会研究報告, Vol.1999 No.032, pp.113-118 (1999).
- [6] The Network Simulator NS2 : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [7] Strasser, M. and Schwelm, M.: A Performance Model for Mobile Agent Systems, In Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPATA'97), Vol.II, pp.1132-1140 (1997).
- [8] Shah, K.: Performance Analysis of Mobile Agents in Wireless Internet Applications Using Simulation : <http://cs.lamar.edu/faculty/osborne/Thesis/thesis-final.pdf>