

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22700077

研究課題名（和文） 大規模ネットワークに適応性をもたらす進化的 P2P ネットワーキングに関する研究

研究課題名（英文） Evolutionary P2P Networking for Bringing Adaptability to Large-scale Networks

研究代表者

大西 圭（OHNISHI KEI）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：30419618

研究成果の概要（和文）：大規模複雑化が進むネットワークを核とする社会の中で、人とネットワークがともに持続的に発展していけるように、ネットワークの発展の方向性を専門家だけが与えるのではなく、利用者からの要求にネットワークが適応的に応えることができる「並列進化的 P2P ネットワーキング技術」を考案し、計算機シミュレーションにより評価した。評価の結果、本提案技術は、大規模 P2P ネットワークに適応性をもたらすことが示された。

研究成果の概要（英文）：We proposed the parallel evolutionary P2P networking technique that enables a network to adaptively respond to users' demands in order to achieve sustainable growth of the network society involving a growing large-scale network, in which a future direction of the network is given not by some authorities but by users, and evaluated the technique through simulations. Simulation results showed that the proposed technique could indeed bring adaptability to a large-scale P2P network.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：オーバーレイネットワーク

1. 研究開始当初の背景

- (1) 近年の情報通信技術の進歩、例えば、通信速度、記憶容量、演算速度の向上、は顕著である。
- (2) このような技術の量的な進歩を背景に、「人」の「ネットワーク」への依存も急激に高まっている。例えば、世界中のインターネットの利用者数は、1991年に4百万人ほどであったが2005年には9億6

千5百万人にも増えている。

- (3) 技術が量的に進歩し続ける一方で、ネットワーク社会の主役である「人」の量的な特性、例えば計算速度、は今後も変わることはない。「人」と「ネットワーク」の間の量的な差の拡大が急速に進む中で、「人」と「ネットワーク」の間の関係をどのように考えるかは、今後「人」と「ネットワーク」がともに持続的に発展できるかに関わる。

- (4) 量的な差の拡大が進む「人」と「計算機」の間の関係を考慮した技術の一つには、インタラクティブ進化的計算手法がある。この技術は、低速だが総合的な判断が可能な「人」を最適化問題の評価系として、高速に規定の手続きを実行可能な「計算機」が最適化手法としての進化的アルゴリズムを実行する。これにより「人」にしか評価できないシステムのパラメータを、「人」と「計算機」の共同作業により最適化することができる。
- (5) 一方で、量的な差の拡大が進む「人」と「ネットワーク」の間の関係を考慮した技術はこれまでにほとんどなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大規模複雑化が進むネットワークを核とする社会の中で、「人」と「ネットワーク」がともに持続的に発展していくために、利用者の要求に応じて適応的に P2P ネットワークのトポロジ構造を変化させる技術である「進化的 P2P ネットワーキング技術」を、大規模な P2P ネットワークに対して、効果的に機能させることである。

3. 研究の方法

P2P ネットワークのトポロジ構造を利用者の要求に合うように進化的に適応させる技術である進化的 P2P ネットワーキング技術 (図 1) を、数十万台のノードからなる大規模ネットワークに対して有効に機能させるために、本技術の並列分散実行のための機構を考案し、その効果をシミュレーションにより評価する。

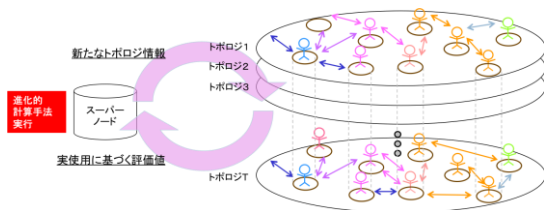


図 1 進化的 P2P ネットワーキング

以下では、報告者が過去に提案し、本研究成果の理解の基礎となる進化的 P2P ネットワーキングについて説明する。

(1) 技術の概要

進化的 P2P ネットワーキング技術は、最適化手法である進化計算手法により、与えられた目的に合うように、進化的な方法で P2P ネットワークのトポロジ群を再構成する技術である。進化的な方法とは、現世代の環境に適合している個体群から次の世代の個体群を作り出すことであり、進化的 P2P ネットワーキング技術においては、P2P ネットワーク

トポロジ群が個体群に相当する。このとき、全てのノードは、どの時刻においても、複数のトポロジに同時に属する。この技術は、実際に動いている P2P ネットワーク上のノードからネットワークトポロジ群に対する評価値をもらい、その評価値に基づき、生物の遺伝進化にヒントを得た進化的演算によりネットワークトポロジ群を動的に再構成する。

(2) ネットワーク構成

進化的 P2P ネットワーキング技術は、図 1 に描いたように、全てのノードが同時に属する複数のネットワークトポロジからなる P2P ネットワークと、複数の P2P ネットワークトポロジ群を最適化する進化計算手法を実行するスーパーノードからなる。

このスーパーノードの役割は、(a)初めて P2P ネットワークに参加するノードに対してその接続先ノード、つまりリンクを決定すること、(b)進化計算手法を実行してネットワークトポロジ群を再構成すること、(c)どのノードが現時刻にネットワークに参加あるいは不参加であるかを管理すること、である。ノードからどのように各トポロジに対する評価値をもらうか、どのようにトポロジ群を再構成するか、については後述する。スーパーノードが行うことは上述の 3 点だけであり、P2P ネットワーク上のノードがどのようなサービス提供可能か、例えば、ファイル共有アプリケーションの場合、ノードがどのようなファイルを持っているか、を管理しない。

(3) P2P ノードの参加と離脱

P2P ネットワーク上のノードは、P2P ネットワークに参加するとき、および P2P ネットワークから離脱するときには、それを必ず上述のスーパーノードに通知する。これにより、スーパーノードは、どのノードがこれまでに P2P ネットワークに参加したことがあり、さらにそれが現時刻に P2P ネットワークに参加しているかどうかを管理できる。

ノードが初めて P2P ネットワークに参加するとき、スーパーノードは、その時刻にネットワークに参加しているノード群から、その初参加ノードの接続先ノード群を無作為に決定する。複数の P2P ネットワークトポロジがあるので、それらのトポロジ分だけ接続先を決定する。次に、P2P ネットワークに参加しているノードが P2P ネットワークから離脱するときは、それをスーパーノードに通知する。そして、そのノードが再度 P2P ネットワークに参加するときは、それをスーパーノードに通知するが、その接続先ノード群は、それが離脱する前に接続していたノード群と同じとする。ただし、離脱する前に接続していたノード群の一部または全部が、その時刻にネットワークから離脱している可能性はある。

(4) P2P ノードが与える評価値

P2P ノードは、自身が所属する複数のトポロジを定められた時間 T 使用し、その使用結果から各トポロジに評価値を与える。P2P ネットワークの最初の使用開始時と T 時間の使用後は、各トポロジの評価値は 0 にセットされ、その後実際に使用されて評価値が増えていく。

P2P ネットワークに参加するノードは、P2P ネットワーク上で要求するサービスを提供可能なノードを検索する際に、自身が属する全てのトポロジを使用する。従って、定められた許容ホップ数 H_{max} の範囲で、あるトポロジにおいては要求サービスを提供するノードが見つかり、あるトポロジにおいては見つけることができない、ということが起こる。あるトポロジにおいて要求サービスを提供するノードが見つからなければ、そのトポロジに評価値 1 が加算され、見つかったときはそのトポロジには評価値が加算されない。

以上のようなノードによる検索と評価値の付与を一定時間 T 行くと、各トポロジの評価値はある大きさを持つ。このとき、進化計算手法の中では評価値が小さいほど有用なトポロジと判断される。

(5) 進化計算手法のトポロジの表現

進化的 P2P ネットワーキング技術においては、P2P ネットワークトポロジが最適化対象であり、1つの個体は、1つの P2P ネットワークトポロジの進化計算手法内部における表現となる。

P2P ネットワークを構成するノードを L 個としたとき、ここで想定する P2P ネットワークトポロジは、各ノードが他のノードに対して 1 本の有向リンクを生成してできるものである（原理的には複数本の有向リンクが生成は可能）。従って 1つの個体は、このトポロジの進化計算手法内部における表現となる。個体の表現は、図 2 に示すように、 L 個の要素（遺伝子）からなる 1次元のベクトルである。各ノードにはその識別子となるノード番号が与えられ、このベクトルの要素番号は、ノード番号に対応し、ベクトル要素値は、その要素に対応するノードがどのノードに有向リンクを生成しているかを表す。ここで、各ノードが生成する一本の有向リンクは、その向きにしか検索クエリは伝搬されないことを意味する。従って、あるノードから発生した検索クエリは、あるトポロジ上で、有向リンクが指し示すノードを順に経由し、それにより一意にクエリ伝搬経路は定まる。ただし、検索により発見された検索対象、例えばファイルは、検索対象を持つノードと検索クエリを生成したノードの間の直接通信により受け渡しされるものとする。

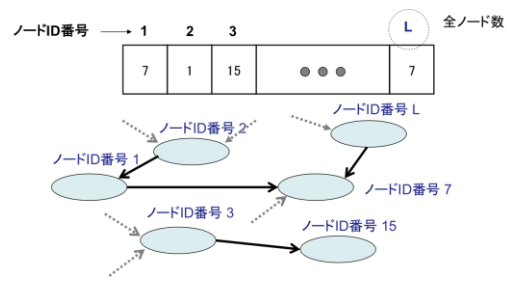


図 2 個体の表現

(6) 進化的演算

上述した表現を持つ P2P ネットワークトポロジ群、つまり個体群に対して進化的演算を適用して新たな個体群を生成する。個体群のサイズ、つまり全個体数を N とする。以下では、進化的 P2P ネットワーキング技術で用いる進化的演算を説明する。

選択演算として、トーナメント選択を用いる。トーナメント選択は、現個体群から予め決められた数（トーナメントサイズ） K の個体をランダムに選択し、その中で最も評価値の高い個体を選出する。この個体選出手続きを、個体数 (N) の個体が得られるまで繰り返す。

交叉演算として、以下の (a) から (e) の手順で実行されるノード連鎖交叉を用いる。

(a) 選択演算により選択された N 個の個体を、2 個体を 1 組とする $N/2$ 組に分ける。

(b) 各組に対して確率 p_c で演算を適用する。

(c) 交叉演算を適用することが決まった組において、 L 個の個体ベクトル要素の中からランダムに 1 個要素を選択する。選択した要素の組み換えを、確率 p_e で行うことにする。

(d) あるベクトル要素に対して組み換えを行うことが決まれば、次に 2 個体ベクトルのうちどちらのベクトルの要素の値をもう片方の個体ベクトル上にコピーするかを等しい確率で決定する。

(e) どちらの個体ベクトル要素の値をもう片方のベクトル上にコピーするかが決まれば、ノード間の有向リンクがつくるノード連鎖に対応するベクトル要素をコピーする。例えば、今 5 番目のベクトル要素に対して組み換えを行うこととコピー元ベクトルとコピー先ベクトルが決まれば、コピー元ベクトルの 5 番目の要素の値をまず参照する。この要素の値が 10 であれば、次にコピー元ベクトルの 10 番目の要素の値を参照する。この要素の値が 2 であればさらにコピー元ベクトルの 2 番目の要素の値を参照する。通常このような参照を N_L 回行い、参照された N_L 個のベクトル要素を、もう片方のベクトル上にコピーする。この例の場合、 $N_L=3$ であり、参照された要素番号は、順に 5, 10, 2, である。参照された要素の番号に対応するノードは、参照順に有向リンクでつながっている。この交叉の例を図 3 に示す。

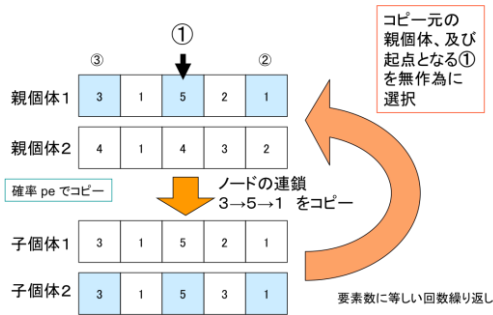


図 3 ノード連鎖交叉

突然変異演算として、交叉演算が適用された N 個の個体であるベクトルの各要素(各遺伝子)の値を、確率 p_m でランダムに他の値にする方法を用いる。個体であるベクトルの各要素の値は、その位置に対応するノードが有向リンクを生成しているノードの ID を表すので、突然変異演算が適用されると、現在の有向リンク生成先のノードが、ランダムに他のノードに変わる。

(7) 個体群からトポロジ群への変換

演算が適用された後の個体群は、スーパーノード上で P2P ネットワークトポロジ群に変換され、ネットワークに参加しているノードに新たな接続先ノード情報を渡される。ネットワークから離脱しているノードは、次にネットワークに参加したときにスーパーノードへそれを通知するタイミングで新たな接続先ノード情報を受け取る。接続先情報を受け取ったノードは、新たなリンクを実際に生成する。

(8) 全体の流れ

進化的 P2P ネットワーキングの全体の流れは、以下ようになる。

1. スーパーノード上での進化計算手法の個体群のランダム初期化。
2. スーパーノード上での個体群から P2P ネットワークトポロジ群への変換とノードへのトポロジ情報の通知。
3. P2P ノードによるリンク生成。
4. P2P ノードによる定められた時間のトポロジの使用と各トポロジに対応する個体へ評価値の付与。
5. スーパーノード上での個体群への進化的演算の適用。
6. 2. に戻る。

4. 研究成果

本研究では、P2P ネットワークの大規模化に対して進化的 P2P ネットワーキング技術をスケーラブルとする方法を提案した。その方法の基本的アイデアは、多数のノードを複数のノードグループに分割し、そのそれぞれに対してスーパーノードを割り当て、進化的 P2P ネットワーキング技術を適用する、とい

うものである。ここでの提案技術を、「並列進化的 P2P ネットワーキング技術」と呼ぶ(図 4)。ここで、ノードグループ数を、 NG とし、第 k 番目 ($k=1, 2, \dots, NG$) のノードグループに含まれるノード数を、 G_k とする。

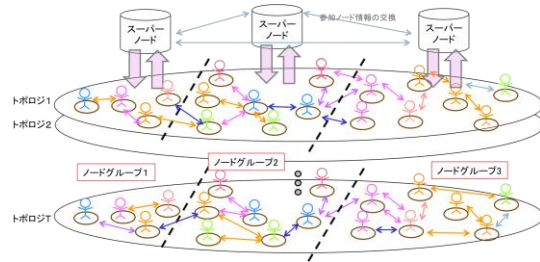


図 4 並列進化的 P2P ネットワーキング

ただし、本研究では、ノード群をどのように複数のノードグループに分割するかについては論じない。予めノード群がノードグループに分かれていることを想定する。さらに、スーパーノードの選出方法についても論じない。しかし、複数ノードグループへの単純な分割方法としては、1 台のスーパーノードに割り当てられるノード数の上限を決めておき、ネットワークの参加順にノードをスーパーノードに割り当てるのが考えられる。

ここで提案する並列進化的 P2P ネットワーキング技術は、上述のように、全ノードを複数のノードグループに分割し、そのそれぞれに対して進化的 P2P ネットワーキング技術を適用する。これによって以前に提案した進化的 P2P ネットワーキング技術と何が異なるのかを記述することを通じて、ここでの提案技術を説明する。上述のように、スーパーノードの選出とノード群のノードグループへの分割が予めなされていることを想定する。このとき、並列進化的 P2P ネットワーキング技術と進化的 P2P ネットワーキング技術との違いは、(1) スーパーノードによる評価値の収集、(2) 進化的演算、にある。以下ではこれら 2 点について述べる。ただし、複数のスーパーノードは、情報交換により、どの瞬間にも、どのノードがネットワークに参加しているかは知っているとして想定する。

(1) スーパーノードによる評価値の収集

進化的 P2P ネットワーキング技術においては、1 台のスーパーノードが全ノードからの評価値を収集する。一方、並列進化的 P2P ネットワーキング技術においては、 NG 個のノードグループの各グループに 1 台のスーパーノードが割り当てられ、各スーパーノードは、自身が担当するノードグループに属する G_k 個 ($k=1, 2, \dots, G_k$) のノードからのみ評価値を収集する。全 L 個のノードは、 N 個のネットワークトポロジに属しており、さらに NG 個のノードグループに分かれている。したがって、各ノードグループが同一のネットワーク

トポロジに対して異なる評価値を与える可能性がある。

(2) 進化的演算

進化的演算は、各ノードグループのスーパーノードにおいて、そのグループに属するノードに対してのみ適用される。

まず、選択演算であるトーナメント選択は、各ノードグループにおいて、そのグループに属するノードが個体（ネットワークトポロジ）に与えた評価値を用いて実行される。前述のように、同一のネットワークトポロジに対して、各ノードグループが異なる評価値を与えている可能性があるため、選択されるネットワークトポロジも各ノードグループにおいて異なる可能性がある。

次に、交叉演算であるノード連鎖交叉は、各ノードグループにおいて、トーナメント選択により選択された個体群に対して適用される。交叉演算の適用範囲は、そのノードグループに属するノードに対応するベクトル要素群（遺伝子群）のみである。ノード連鎖交叉は、片方の親個体にあるノード間の有向リンクによるつながりをもう片方の個体にコピーする。このとき、あるノードグループ内のノードから他のノードグループ内のノードにリンクが生成されている可能性がある。例えば、いま注目しているノードグループ1内のノード a1 から他のノードグループ2内のノード b2 にリンクが張られており、さらにそのノード b2 から他のノードグループのノード c3 にリンクが張られているとし、それらのノード間の有向リンクによるつながり $a1 \rightarrow b2 \rightarrow c3$ のコピーについて考える。ノードがグループ化されていない場合は、ノード間のつながり $a1 \rightarrow b2 \rightarrow c3$ はコピーされる。しかし、ノードがグループ化されており、ノードグループ 1 が注目グループのときは、ノード a1 からノード b2 へのつながり（注目グループから他のグループのノードへのリンク）はコピーされるが、ノード b2 からノード c3 へのつながり（他のグループから他のグループあるいは自グループのノードへのリンク）はコピーされない。ここで、ノード a1 からノード b2 へのつながりが存在することは、ノード a1 に対応するベクトル要素（遺伝子座）の値が b2 であることと等価である。ノード連鎖交叉において、個体ベクトル要素の組み換え数 NL に達しないときに自ノードグループのノードから他ノードグループのノードへのリンクが現れた場合は、その他ノードグループのノードからのリンクをコピーすることができないので、新たなコピー対象ベクトル要素（遺伝子）を、自ノードグループからランダムに選ぶ。コピーするベクトル要素数が NL に達すれば1回のノード間のリンクコピーは終了である。

最後に、突然変異演算は、個体であるベク

トルの各要素（各遺伝子）の値を、与えられた突然変異率でランダムに他の値にする。

以上のように、ノードグループが複数ある場合、あるノードグループ内での交叉演算や突然変異演算は、自グループから他のグループへの1ホップのリンクのみしか変化させることができない。さらに、上述のように、同一のネットワークトポロジに対して、ノードグループ毎に異なる評価値を与える可能性がある。したがって、ノードグループが1つだけの場合よりも複数の場合の方が、効率良くネットワークトポロジの適応を達成できないかもしれない。

シミュレーション設定

進化的P2Pネットワークキング技術におけるスーパーノードは、全ノードのネットワークへの参加と離脱を管理し、ノードから評価値を収集し、収集した評価値を用いて進化計算手法を実行する。並列進化的P2Pネットワークキング技術では、ノードを複数グループに分割し、そのそれぞれにスーパーノードを割り当てるため、1台のスーパーノードが抱えていた負荷が分散される。一方で、上述のように、ノードグループが1つだけの場合よりも複数の場合の方が、効率良くトポロジの適応を達成できないかもしれない。そこで、本節では、ノードグループ数とネットワークトポロジの適応効率の関係を調査した。

ここでは、ノードグループ数とネットワークトポロジの適応効率の関係をのみできるだけ焦点を当てられるように、他の事柄は単純にする。そこで、シミュレーションモデルにおいては、ノードの参加と離脱を想定せず、シミュレーション開始から終了まで、全てのノードがネットワークに参加しているとする。さらに、シミュレーション開始から終了まで、探索対象ノードを除く全てのノードが1つのノードを探すとする。探索対象となる1つのノードは、探索を行わない。以上の想定は現実的ではないかもしれないが、これは静的な環境であり、ネットワークトポロジの変化が適応の程度に直接的に反映される。シミュレーションにおける単位時間は、探索対象となる1つのノード以外の全ノードが1回のノード探索を行うのに要する時間とする。

並列進化的P2Pネットワークキング技術のパラメータ値のうち、シミュレーションにおいて変化させるものは、ノード数 L (1000, 100000) とノードグループ数 NG (1, 2, 5, 10) である。

シミュレーションの結果

シミュレーションでは、T 時間毎（ここでは $T=20$ ）に、直前の T 時間内に行われたノード探索の失敗率を観測した。図 5、6 には、様々なノードグループ数を用いた時のノード探索失敗率の時間変化を示している。結果は、10回の独立したシミュレーション実行で

得た結果の平均である。

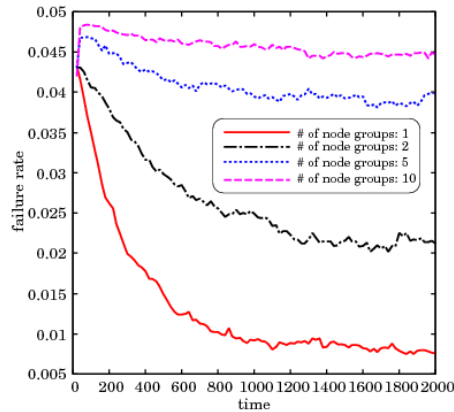


図 5 ノードグループ数が異なる場合の探索失敗率の時間変化 (ノード数 1000)

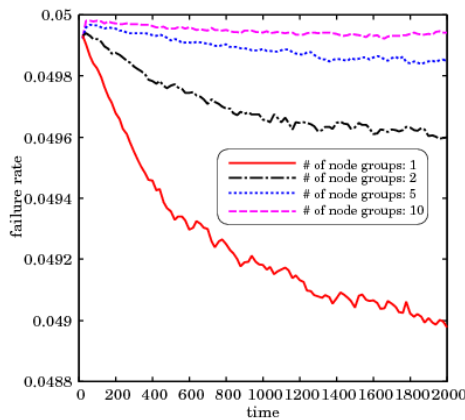


図 6 ノードグループ数が異なる場合の探索失敗率の時間変化 (ノード数 100000)

結果を示す図 5 から 6 は、提案した並列進化的 P2P ネットワーキング技術が、トポロジを適応させうることを示している。さらに、それらの図から、ノードグループ数が増加すると、ノード数によらず、時間とともに探索失敗率が改善する程度が小さくなることが分かる。これは二つのことがらが原因になっていると考えられる。一つ目は、新たなネットワークトポロジ群 (個体群) を生み出すためのノード連鎖交叉や突然変異によって、自グループのノード間の連鎖あるいは自グループのノードから他グループのノードへの 1 ホップしか変化させることができないことである。探索対象ノードが他のグループに属している場合、探索対象ノードへの直接リンクを進化的に生成できないときは、自グループノードからいくつかの他グループのノードを経由するノード連鎖を生成し強化する必要があると考えられるが、そのようなノード連鎖を 1 つのノードグループから直接的に生成し強化することができない。もう一つは、同じネットワークトポロジに対して、ノードグループ毎に異なる評価値を与える可能性

があることである。同じネットワークトポロジに対して、ノードグループ毎に異なる評価値を与えてしまうと、一つ目のことがらと同様に、自グループノードからいくつかの他グループのノードを経由するノード連鎖を生成し強化することが難しくなる。なお、ノードグループ数が増えた時にも本技術がより良くトポロジを適応させる方法は既に考案しており、現在評価を実施中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Kei Ohnishi (他 3 名、1 番目), Query-trail-mediated Cooperative Behaviors of Peers in Unstructured P2P File Sharing Networks, IEICE Transactions on Information and System, 査読有り, Vol.E94-D, No.10, 2011, pp.1966-1980.

[学会発表] (計 9 件)

- ① Kei Ohnishi, Inducing Scale-Free Characteristics of Dynamic Unstructured P2P Networks, IEEE AINA2012, 2012 年 3 月 28 日, Fukuoka, JAPAN
- ② Kei Ohnishi, Parallel Evolutionary P2P Networking for Realizing Adaptive Large-scale Networks, HEUNET 2011 Workshop, 2011 年 7 月 18 日, Munich, GERMANY.
- ③ 大西圭, 大規模ネットワークに適応性をもたらす並列進化的 P2P ネットワーキング, 進化計算シンポジウム 2010, 2010 年 12 月 19 日, レイクサイドホテル久山 (福岡)
- ④ Kei Ohnishi, Evolutionary Creation of Linkages between Information Sources in P2P Networks, World Automation Congress (WAC 2010), 2010 年 9 月 20 日, Kobe, JAPAN.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 圭 (OHNISHI KEI)

九州工業大学・大学院情報工学研究院

・准教授

研究者番号 : 30419618