様式Ｃ－１９

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２５年５月２６日現在

機関番号：３２６６５
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2010 ～2012
課題番号：２２５０００３５
研究課題名（和文）　媒介中心性を計算する高速アルゴリズムの開発

研究課題名（英文）　The Fast Algorithm for the Between Centrality

研究代表者
栗野　俊一　（KURINO SHUN-ICHI）
日本大学・理工学部・専任講師
研究者番号：30215066

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、与えられた任意の単連結な単純グラフにおける媒介中心性の計算の高速アルゴリズムを開発する事にある。本研究の結果、極大平面グラフの場合には、単純な隣接探査法による高速なアルゴリズムの構成可能性が得られた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research was development of a fast algorithm for the between centrality in simple graph. By the result of this research, we found the composition possibility of the high-speed algorithm for maximal planar graph, with simple contiguity exploration method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２０１０年度	400,000	120,000	520,000
２０１１年度	100,000	30,000	130,000
２０１２年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総　計	600,000	180,000	780,000

研究分野：総合領域
科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア
キーワード：アルゴリズム、情報基礎、最短経路、極大平面グラフ

１．研究開始当初の背景

(1) 中心性を用いた組織分析

複数の構成員からなる組織の活動を分析するために、その構成員を点とし、構成員間の関係を辺とするグラフを作成して、そのグラフから、その組織や構成員の特性を調べる社会学的な手法が知られている。

特に、そのグラフの形から得られる抽象的な特性値を計算し、それの値の大きさから、組織活動の活発性や、その構成員の組織内における、個人の役割の大きさなどが評価できる。

例えば、次数中心性と呼ばれる数値は、グラフ内の点のその隣接点の個数、すなわち、その点から出ている辺の本数の事であるが、この値が大きいという事は、その点が多くの点と関係を持っているという事を表しているため、その点、すなわち構成員の社交性の高さを表すと考える事ができる。

(2) 媒介中心性

媒介中心性もそのような評価に用いられる指標の一つである。媒介中心性は、その点が、その点以外の任意の二点が最短経路で結ばれる場合、その点が、その最短経路に含まれていれば、その数値が高まるような指標である。グラフ上の二点間に複数の経路があっても、基本的に、最短経路を通じて通信が行

われる事を考えると、その経路上の点が、失われれば、その通信経路が遠回りになり、また、最悪の場合は、通信そのものが不可能になってしまう事も考えられる。この場合、媒介中心性が高い点は、直接関係のない点同士が通信をする場合に、どうしても経由しなければならないような点となるため、組織の要あるいは、組織の骨格を作るよう構成員を表すと考える事が可能であり、組織の分析には、重要な指標と考えられている。

(3) 課題 : 媒介中心性の計算量

ところが、媒介中心性の計算には、他の指標(例えば、次数中心性)と比較して、多くの計算時間を費やす必要がある（理論的には、ほぼ､点の個数 N と辺の個数 L の積となる。辺の個数は、一般に N×N のオーダーとなる可能性があるので、最悪の場合は点の個数 N の三乗に比例する計算時間が必要となる可能性がある)。これは、媒介中心性を計算するには、二点間の最短経路の計算が必要となり、ここで、多くの計算時間を消費するからである。

分析の対象となる組織の規模が大きくなると、それを表現するネットワークが大きくなる。点の個数 N が大きくなると、その結果として、媒介中心性の計算が困難となり、その値が計算できず、分析ができなくなるといった問題が出てくる事になる。

２．研究の目的

媒介中心性を計算するためには、グラフの単一始点最短経路問題を繰り返し解く事が要求される。これに関して、従来取られてきた媒介中心性の計算方法では、ダイクストラのアルゴリズム(辺の個数 L に比例した計算量を必要とする事が解っている)を､中心性を計算する点毎に､繰り返し適用する(点の個数が N なので、結果的に、L×N の計算量となる）事によって、実現している。しかし、この方法では、すでに他の点からの最短経路の情報があったとしても、これを利用せず、改めて求める始点からの最短経路の計算を行っている。

これに対して、もし、すでに計算済の情報を活用する事ができれば、求めたい新しい点からの最短経路の計算量を減らせる可能性がある。

３．研究の方法

(1) 研究のアプローチ

この高速化の基本的なアプローチは、これから、最短経路を求めたい点に対して、それと隣接した点の最短経路の計算結果の存在を仮定する。そして、その計算結果と、これから求めたい最短経路とでの差分に相当する部分を見つけ出し、変化する部分だけを、更新する事によって、新しい解を構成する。

もし、更新に必要な範囲が狭く、解のほとんどが、再利用できれば、効率の良く高速化できる可能性が生じる。特に、変更する部分の探索において、情報の参照が必要となる部分を如何に、絞り込むかが、高速化への工夫となる。

近隣探査による、解集合の拡大での解法は、このような目的に都合がよく、もし、これが適用できれば、必要な部分だけを参照して、解を求める事が可能となる。

特に、最短経路は距離概念なので、始点が隣接しているような互いに近い点であれば、その二点と遠い点から、その二点への最短経路には、重複する部分が多く含まれる可能性が高い。

(2) アルゴリズムの対象範囲

以前の研究成果から、一般のグラフにおいて、隣接した点の最短経路の計算結果を利用すれば、これから別の点を始点とする最短経路の計算が高速化できる事(平均的なグラフでは、半分程度になる定数オーダーの改良にしかならないが、グラフの形状が特殊な場合は、オーダーそのものを下げる事ができる)、そして、また、その高速化の効果は、対象とするグラフの辺の点に対する密度に影響される事が 予想できていた（点に対する辺の密度が低いと、本手法が相対的に有利になる。例えば、最も密度が高い完全グラフの場合は、全ての点への経路の書き換えが必要なので、本手法による最適化ができない。その一方、逆に最も密度の低い木の場合は、従来の方法が、L 個ある全ての辺を調べる必要がある事に対し、本手法を適用した場合は、書き換え場所が一か所になる。木の場合は辺の個数 L と点の個数 N の間には、L=N-1 の関係があるので、ほぼ、N と考えてよい。すなわち、結果的に N 倍の高速化が期待できる。そして、中間の例として、メッシュの場合は、N の平方根程度の高速化が期待できる事が数値実験から分っている。)。

そこで、本研究では、比較的応用範囲が広く、また、辺の密度が低いと考えられる平面グラフを対象にすることにした。

すなわち、平面グラフの性質を配慮した、特定アルゴリズムを開発する事を、本研究の目的とした。

４．研究成果

(1) 一般の平面グラフへの適用

平面グラフの場合、直感的には、既存の隣接した点の最短経路と、これから求める新しい最短経路で変化する部分は、平面グラフ内

の帯状の部分になる事が予想できる。

平面グラフの辺の個数Ｌは、点の個数Ｎの定数倍程度(L=cN)になる事が知られているので、従来のアルゴリズム(L×N=cN×N)では、Ｎの二乗の計算量となるが、もし、この書き換える帯状の部分だけを探索するだけで、新しい経路が計算できるとすれば、従来の研究成果で得られているメッシュの場合の数値結果と同様、Ｎの平方根のオーダーに改良できる可能性がある。

いくつかの具体的なグラフを調査した結果、その現象を確認する事ができている。

しかし、その一方、いくつかの具体例で、この変化する部分の辺が、隣接していない場合があることも分かった。

この結果、単純な近隣探査法（すでに、求められた性質を持つような点や辺と、直接接続している点や辺だけを調べ、それが求める性質を保持しているかどうかを判定する事によって、解の集合を拡大する事を繰り返す事により、最終的に全ての解を求めるという方法）は適用できない事が判明した。

(2) 極大平面グラフへの適用

そこで、対象を更に、一般の平面グラフから、より辺密度の高い(辺密度が高いため、本手法で目的とする、既存の最短経路と、求める最短経路では、情報が変化する部分の辺や点同士が隣接しやすくなる)、極大平面グラフに限定して、再度、検討する事とした。

この結果、極大平面であれば、上記のような変化部分が、相互に隣接している事が、論理的に示せる事が分かってきた。

具体的には、点ｐからの始点最短経路が計算済とし、それと隣接している点ｑからの始点最短経路を求める場合、書き換えが必要となるのは、二つの点ｐ、ｑから距離が等しい点や、辺であることがわかっており、そのような、点や辺の集合、並びに、それらに隣接している辺や点の集合は、単連結している事を論理的に示す事ができる。

特に、点ｐ、ｑ並びに、それを結ぶ辺ｐｑは、必ず書き換えが必要であり、それらを初期集合の要素とし、これに隣接している点や辺を調べれば、そのどこかに、やはり、書き換えが必要か、あるいは、それに隣接している点や辺である事が示される。

したがって、単純な近隣探査アルゴリズムを利用して、求める「変更が必要な辺の集合」を探す事が可能であり、その結果を利用して、従来の経路を書き換える事により、目的とする最短経路を得る事ができる。

近隣探査アルゴリズムを使う事ができるとすれば、そのアルゴリズムの性質から、その計算量は、その探索集合のサイズに比例すると予想できる。

(3) 今後のアルゴリズムの設計と課題

先に述べた様に、この探査集合、すなわち、新しい最短経路を求めるために既存の経路を変更する必要が辺の集合は、グラフの中に帯状に存在するとすれば、Ｎの平方根のオーダーになるため、このアルゴリズムのオーダーもそれと同じになる事が期待される。

もちろん、このアルゴリズムを実装するには、すでに与えられたｐからの最短経路の情報を利用して、隣接している要素が、ｐ、ｑから等距離にある要素であるかどうかを判定する必要があり、現在のところ、その条件が明確に得られていない。

また、もう一つの課題として、書き換える辺が発見できたとしても、その辺をどのように書き換えるか(辺 ts の状態は、ｔ＝ｓ［ｑとｔ、ｓまでの距離が等しい場合、以下同様]、ｔ＞ｓ、ｓ＜ｔの三状態ある。書き換えが必要だという事が解っているので、三つの内、現在の状態とは違う事はわかるが、残りの二つの内のどちらかを決定する必要がある)も決定する必要がある。

いずれの場合も、一般的な場合のアルゴリズムでも同様な問題を解決しているので、それを応用する事によって、解決できるのではないかと考えている。

しかし、その性質を利用した、アルゴリズムの構成ならびにその評価は、まだできていない。

(4) 研究成果の応用と今後の検討

もし、このような限定した形であっても、高速なアルゴリズムを構成できれば、このアルゴリズムを改良する事により、対象を平面グラフ全体に拡大できる可能性がある。

そうなれば、本来の目的である、媒介中心性の計算の高速化に利用でき、本研究の目的が実現できる。

ただし、アルゴリズムの拡張の方針として、近接探査を利用し続けるのであれば、点と辺の接続とは異なった観点の「隣接性」を考える必要がある。現在の所、双対グラフを考え、その上での隣接関係が利用できるかどうかの検討を行っている。

また、それと同時に、平面上の最短経路の著名な応用であるカーナビゲーションにおける経路探査の高速化にも応用できる可能性がある。これは、先に指定した経路(通常、最短経路が選択される)通りに車を移動できなかった場合、再度、現在場所から、目的地への経路(最短経路)の再計算が必要となる。今回の研究で考えられたアルゴリズムを利用すれば、この再計算を高速に実行できるようになる可能性がある。すなわち、この研究の結果、産業上の価値も生まれると考えられる。

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）

〔学会発表〕（計２件）
① 浜津　翔・永井葉津美・栗野俊一・吉開範章、「コンピュータウィルス対策のための集団的防護動機モデルの提案」、電子情報通信学会、2013 年 3 月 21 日、岐阜大学、
（ http://www.gakkai-web.net/gakkai/ieice/2013gpro/Settings/html/program/ess_ippan.html）
② 佐藤真弥子・西畑美保・栗野俊一・吉開範章、「Twitter における選挙情報コミュニティに関する検討」、電子情報通信学会、2013 年 3 月 21 日、岐阜大学、
（ http://www.gakkai-web.net/gakkai/ieice/2013gpro/Settings/html/program/ess_ippan.html）

６．研究組織
(1)研究代表者
栗野 俊一　（KURINO SHUN-ICHI）
日本大学・理工学部・専任講師
研究者番号：３０２１５０６６