

I-594

遺伝的アルゴリズムを用いたライフライン網の最適復旧過程

運輸省港湾技術研究所 正員 ○一井康二
京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信

1 概説

ライフライン網の構成要素のすべてに十分な耐震性を与えることは不可能であり、震災時にどのような復旧方法をとればよいかという問題を事前に十分に検討しておく必要がある。本研究では、複雑な離散型組み合わせ最適化問題に優れた方法とされる遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm; GA）及びその拡張形であるハイブリッド遺伝的アルゴリズム（Hybrid GA）を被災要素の復旧順序の最適化問題に適用した。また、同じく遺伝的アルゴリズムの拡張形である単体遺伝アルゴリズム（Single Populated Genetic Algorithm; SPGA）を復旧班の配分問題に適用した。

2 GAおよびHybrid GAの概要

GAとはダーウィンの自然淘汰説による適者生存の過程を最適解探索の過程に応用したものである。まず、探索すべき解空間から解候補の集団を抽出する。この要素の一つ一つを生物の個体と考え、遺伝子で表現する。この遺伝子の集団に生物進化のプロセス（繁殖・淘汰・遺伝子の交叉・突然変異）を適用することで最適解を得ようとする手法である。遺伝的アルゴリズムの流れを図1に示す。

GAは大域的探索に優れるが局所探索能力が弱い。そこで、GAが苦手とする解の近傍から最適解への山登りを反復改善法で行なうHybrid GAを提案した。Hybrid GAのアイデアを図2に示す。この結果、厳密解への収束性が大きく改善された。

3 Hybrid GAによる、重みを考慮した復旧順序の最適化

a) 復旧過程の評価規準と問題設定

最適性の評価基準として、復旧曲線の上部の面積に着目した累積非復旧率を採用する。ただし、復旧時間の経過に伴い復旧の重要性も変化すると考えられるので、復旧率に重みを付けて評価する。被災後、すべての被災要素が復旧するまでの時間を T 、時刻 t における重みを $w(t)$ 、復旧率を $R(t)$ とすれば、非復旧率が $1-R(t)$ となるので、重み付き累積非復旧率 TR は次式で表される。

$$TR = \int_0^T w(t) \cdot [1 - R(t)] dt$$

したがって、本研究における問題設定はNetworkにおいて各リンクが被災し復旧所要時間が与えられている場合に、重み付き累積非復旧率 TR を最小にするようなリンクの復旧順序を求める問題となる。

b) 道路網に対する復旧シミュレーション

1978年の伊豆大島近海地震により被災した伊豆半島の道路網に対して、通行不能の道がなくなり、1台ずつでも通れるよ

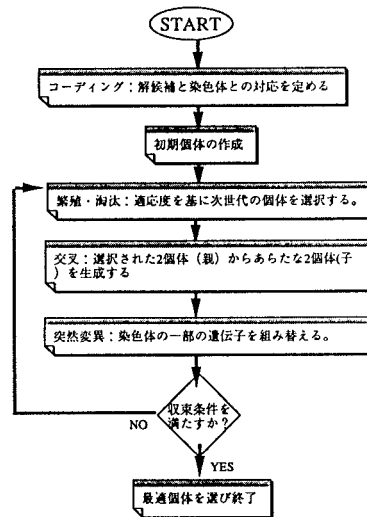


図1 GAの流れ

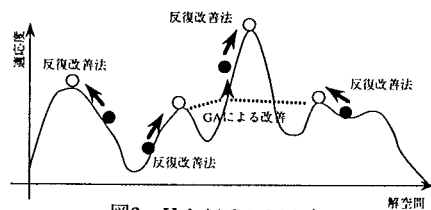


図2 Hybrid GAのアイデア

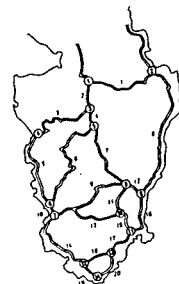


図3 伊豆半島の道路網モデル

うになった状態を解析の初期条件として、本復旧に対する復旧シミュレーションを行なった。モデル化した伊豆半島の道路網を図3に示す。復旧が進行するに連れ各リンクの走行時間が短くなることに着目し、全車両の各時刻での走行時間の総和をもとに復旧率を定義した。重みが時間と共に二次曲線的に増加する場合(図4)の復旧曲線を図5に示す。実線がHybrid GAで求めた復旧順序によるもの、破線が最大勾配法で求めた復旧順序によるものである。最大勾配法とは、各時刻において復旧曲線の傾きが最大となるように、復旧するリンクを定めていく手法である。Hybrid GAで求めた復旧曲線は、中盤以降で復旧率が上昇し、最大勾配法による復旧曲線より上にある。復旧後半での復旧率を重視しているのであるから、Hybrid GAでより最適な復旧順序を策定できている。重みが時間と共に二次曲線的に減少する場合(図6)の復旧曲線を図7に示す。Hybrid GAで求めた復旧曲線は曲線の立ち上がりが早く、緊急復旧を重視した復旧順序を策定できている。以上から、問題設定に応じて、的確な復旧順序がHybrid GAで求まっている。

4 ライフライン網の復旧班の配分問題へのSPGAの適用

a) 復旧班配分の問題設定

復旧効率の飽和効率がなく、つまり破壊要素の復旧所要時間が投入される復旧資源に比例して短縮されるという仮定のもとでは被害要素を1要素づつ復旧したほうが有利である。しかし実際には、復旧効率の飽和効果等も考慮にいれて、復旧班を配分する必要がある。本研究では、図8に示すような復旧効率の飽和効果がある場合の、復旧班配分の効率化手法として単体遺伝アルゴリズム (SPGA) を適用した。

b) SPGAの概要

遺伝的アルゴリズムにはいくつかの長所があるが、1) 遺伝子の表現及び評価関数の設定が困難である、2) 計算速度・メモリ効率がかならずしもよくない、という短所もある。特に、復旧班の配分問題に適用する際には、この短所がネックとなる。そこで、交叉を用いず1世代の個体を一人にし、突然変異を工夫した手法が単体遺伝アルゴリズムである。これは生物界におけるバクテリアなどの単体生殖と同様の発想である。

c) 道路網に対する復旧シミュレーション

同様に、伊豆半島の道路網に対して復旧シミュレーションを行なった。図9の破線が最適な復旧順序(ここでは最大勾配法で求めた順序と一致している)に従って復旧班の配分を行なったときの復旧曲線、実線がSPGAにより配分の効率化を行なったときの復旧曲線である。SPGAによる復旧曲線は破線よりも左上にあり、累積非復旧率は小さくなっていることがわかる。

5 まとめ

GAの拡張形であるHybrid GAにより、ライフライン網の被災要素の復旧順序を的確に定めることができた。また、同じくGAの拡張形であるSPGAにより、復旧効率の飽和効果等を考えても復旧班を的確に配分することができるとわかった。

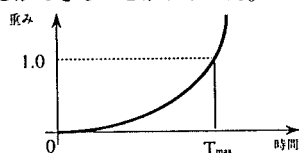


図4 重み(二次曲線的増加)

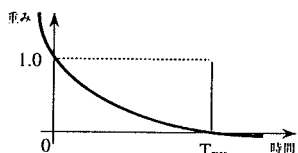


図6 重み(二次曲線的減少)

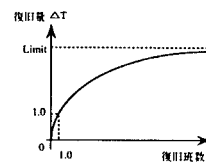


図8 復旧効率の飽和効果

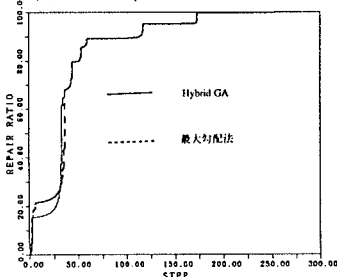


図5 復旧曲線

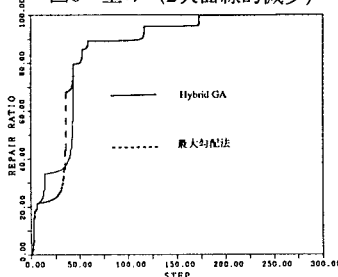


図7 復旧曲線

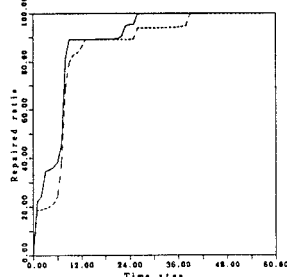


図9 復旧曲線(復旧班数20)