GPを用いたベクトル加算システム上のベクトル系列探索法

7K-06

亀島 琢磨† 梅田 賢司†, †† 荒木 宏行† 阿江 忠†
† 広島大学 工学部 †† 現在、日立ソフトウェアエンジニアリング(株)

1 はじめに

ベクトル加算システム (Vector Addition System, 以下 VAS)[1] は、ベクトルデータ系列を表現するモデルとして興味深い。本稿では、VAS に獲得されているベクトル系列の探索問題について考える。

このとき、数値ベクトルがつくる状態空間を探索することは、指数的に増加する手順を必要とするため、近似解法が必要となる。ここでいくつかの近似解法が考えられる。その中で、最適解に近い近似解が得ることができる、GA(Genetic Algorithm,GA) に着目した。GA の問題点として探索時間がかかるという問題がある。そこで、この探索時間を短縮するために、本稿では GA を拡張した GP(Genetic Programming,GP)[2] を用いた探索法を適用することをこころみた。その結果、GA を用いた探索法と比較した場合、ほぼ同精度の近似解を得ることができ、探索時間を短縮することができた。

2 VAS 上の系列探索問題

2.1 ベクトル加算システム (VAS)

本稿での VAS M の定義をここでは述べる。Z を整数の集合とし、ベクトル $\mathbf{V}$ を $\mathbf{V} = [v_1, v_2, \ldots, v_l] (v_u \in Z, u = 1, 2, \ldots, l)$ とする。M は初期値ベクトル $\mathbf{V}(0)$ と加算のためのベクトルの集合 S からなり、

$$M = (\mathbf{V}(0), S)$$

と表す。時刻 $t = 0, 1, 2, \ldots, n-1$ でのベクトル $\mathbf{V}(t)$ から、時刻 $t+1$ でのベクトル $\mathbf{V}(t+1)$ への遷移を

$$\mathbf{V}(0) = 0 (= [0, 0, \ldots, 0])$$
$$\mathbf{V}(t+1) = \mathbf{V}(t) + \mathbf{A}(t)$$
$$\left(\begin{array}{l} t = 0, 1, \ldots, n-1 \\ \mathbf{A}(t) \in S \\ S_i = \{\mathbf{a}_{i1}, \mathbf{a}_{i2}, \ldots, \mathbf{a}_{iq}\} \end{array} \right)$$

と定義する。ただし、時刻 t における加算ベクトル $\mathbf{A}(t)$ は部分集合 $S_i \subset S$ に含まれる q 個の加算ベクトルのうちから一つ選ばれる。
l 次元空間上に状態を表す点の並びが生成され、これを点列とよぶ。点列 $\mathcal{V}$ は

$$\mathcal{V} = \mathbf{V}(0)\mathbf{V}(1)\ldots\mathbf{V}(\text{n-1})\mathbf{V}(\text{n})$$

と表す。システム M から生成される長さ n+1 の点列の集合を R(M) と表す。また、点列 $\mathcal{V}$ をを生成するために選択した、長さ n の加算ベクトルの系列を $\mathcal{A}$ とすると、

$$\mathcal{A} = \mathbf{A}(0)\mathbf{A}(1)\ldots\mathbf{A}(\text{n-1})$$

となる。VAS 上の系列探索問題は、ベクトル空間上の m 個の探索する点列を入力とし、それらを通過する点列 $\mathcal{V} \in$ R(M) を生成する加算ベクトルの系列を求める問題である。

2.2 系列探索問題

VAS 上の系列探索問題は、VAS に獲得された系列の集合から所望の系列を探索するために、初期値を$\mathbf{V}(0)$とし、ベクトル空間上の m 個の探索点を与え、その点に順に到達するような加算ベクトルの系列を探索することである。この問題を解く一つの解法として全探索が考えられる。この解法を用いれば、解が存在するならば、この問題の解となる系列を必ず求めることができる。しかし、この解法は探索時間が入力点に対し指数的に増大してしまい、組合せ爆発をおこしてしまう。そこで、ある程度の許容誤差を許し、探索系列の各点を近似的に通過する近似問題と問題を緩和し、誤差を小さくするような加算ベクトルの系列の探索をおこなうことを考える。そのようにすることにより、探索時間を指数時間から多項式時間に還元することができる。

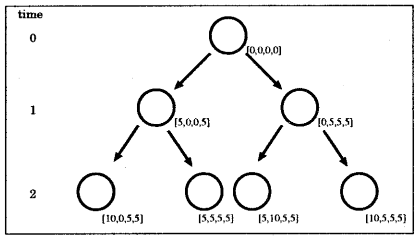

図 1: ベクトル加算システムの木表現

3 近似解法

はじめに、B&B や GA といった既存の近似解法を適用した。その後、それらの解法の探索時間と精度を考慮して、新たな探索法を試みた。

3.1 遺伝的アルゴリズム (GA)

B&B と比較して、探索時間は長くなるが、解の探索能力においては高いとされる GA による探索を行う。GA では、B&B と同条件とするため、長さ n の加算ベクトルの系列を p 本保存する。この系列に対し、適応度評価をおこなう。ここでの適応度は誤差評価とし、誤差が少ないものほどよい系列として扱う。各系列に対し、交差、突然変異などの遺伝子操作を行うことにより探索を進めていく。

A Search for Vector Sequences on Vector Addition System using GP
Takuma Kameshima,Kenji Umeda,Hiroyuki Araki, Tadashi Ae
Faculty of Engineering,Hiroshima University

表 1: パラメータ設定 (GA)

突然変異発生確率	$P_m = 10\%$
各点交差発生確率	$P_c = 60\%$

表 2: パラメータ設定 (GP)

系列分割数	$a = 4, n/4$
複製発生確率	$P_d = 30\%$
突然変異発生確率	$P_m = 10\%$
交差 (1) 発生確率	$P_{c1} = 30\%$
交差 (2) 発生確率	$P_{c2} = 30\%$

3.2 遺伝的プログラミング (GP)

GA と同程度の解の探索能力をもち、GA よりも探索時間を短くする解法として、GP による探索を試みている。GA に構造をもたせ、その部分列に関して遺伝的操作を適用することにより、GA における探索で多くの時間を要する、適合度評価と遺伝操作での時間短縮を目指す。ここでは、長さ n の系列を a 個の部分列に分割し、それから部分木を構成する。これにより系列全体としては構造をもち、部分列ごとに加算ベクトルの加算結果を保持する。このツリーに GP で行われる、部分木に対しての遺伝操作をおこなうことにより探索を進めていく。

4 結果とその考察

B&B における探索では、ランダムに発生させた 1024 個の加算ベクトルを用いて実験をおこなった。その結果、10〜100ms オーダの比較的短い時間で探索が行われた。しかし、精度の高い近似解を必ずしも得ることはできず、精度のばらつきがみられた。

次に加算ベクトルのデータ、及び入力データは B&B による探索に用いたのと同様のデータを用いて、GA による探索を行った。ここで、GA に対するパラメータは表 1 に示したものとした。その結果、GA による探索では、100〜1000ms オーダの実行時間、B&B と比べて、約 10 倍の時間を要した。しかし、近似解は、最適解に近いものを得ることができ、誤差を比較的小さくすることができた。

B&B の精度をその探索時間を保ったまま、向上させるのは難しいと考えられる。そのため、GA による探索の探索時間を向上させる解法として GP による探索を試みた。

GP による探索では、B&B や GA と同様のデータを用いて実験をおこなった。また、GP に対するパラメータは表 2 に示した。系列分割数 a は加算回数 n に対する、部分列に分割する数である。結果として、GP による探索では、GA における探索よりも短い探索時間で、GA において求めれれた近似解と同程度の解を得ることができた。

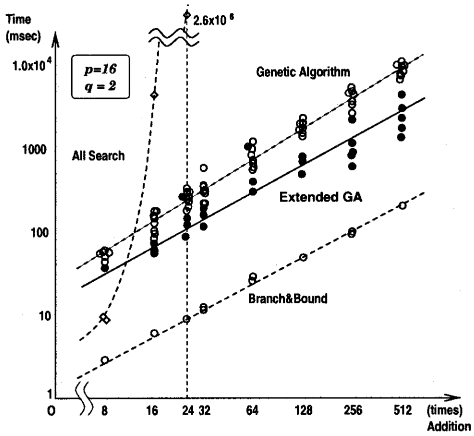

図 2: 加算回数と探索時間

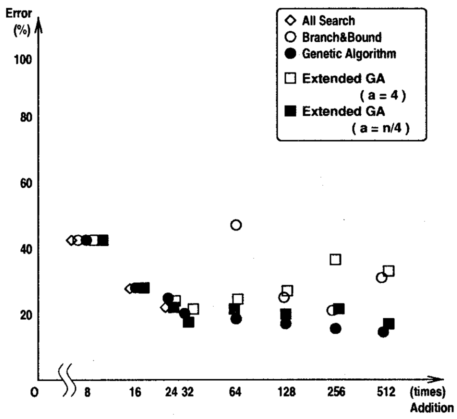

図 3: 加算回数と近似解の精度

5 まとめ

本稿では、VAS 上での系列探索問題を解く探索法として、GA や B&B といった近似解法を用いることを考えた。そして、必要と考えられる精度を保ったまま探索時間を短縮するために GA に着目し、そこに構造をもたせた GP による探索法をこころみた。その結果、GA と同程度の精度を持ち、GA よりも少ない探索時間で問題を解くことができた。

参考文献

[1] R.Karp and R Miler: "Parallel Program Schemata," J.Comput.Syst.Sci 3, pp147-195,1968.

[2] J. Koza: "Architecture-Altering Operations for Evolving the Architecture of a Multi-Part in Genetic Programming," Report No.STAN-CS-TR-94-1527,1994.

[3] 梅田賢司, 荒木宏行, 阿江忠, "ベクトル加算システム上の系列の探索法," 信学技報,SS99-62,2000.