

特集 BDD/ZDD を用いた新しい列挙索引化技法（フロンティア法）とその応用

特集にあたって

湊 真一（北海道大学/JST ERATO）

BDD (Binary Decision Diagram; 二分決定グラフ) は、大規模な論理関数を効率よく表現するデータ構造であり、1990 年頃より、主に VLSI 設計自動化の分野で盛んに研究開発されてきた。近年、この BDD が、電力網や道路網などの種々の社会インフラの制約充足問題や、大規模ビジネスデータのマイニング、遺伝子データの解析など、幅広い分野で活用できることがわかってきた。特に、ZDD (Zero-suppressed BDD; ゼロサプレス型 BDD) と呼ばれるタイプの BDD が、現実的な多くのデータベースの処理に適することが明らかになり、実用的な技術として注目され始めている。

BDD や ZDD は論理関数や集合データを表現するデータ構造とアルゴリズムの技法である。これらの技法を始めとして、さまざまな離散構造を統合的に演算処理する技法を体系化し、分野横断的かつ大規模な実問題を高速に処理する技術基盤を構築することを目標として「JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト」が発足し、本格的な研究活動を始めてから 3 年目に入っている。これまでに、いくつかの興味深い研究成果が得られているが、そのなかでも、種々の制約条件を満たすグラフ構造を ZDD を用いて全列挙して索引化する技法（通称フロンティア法）は、Knuth が近年示したパス列挙アルゴリズム「Simpath」をさらに一般化したものであり、多くの実用的な問題で従来より桁違いに優れた性能を示すことから、今後の発展が大いに期待される技法である。

本特集では BDD/ZDD を用いた新しい列挙索引化技法（フロンティア法）を解説し、さらにその応用について、いくつかの実例を挙げて紹介する。以下、個々の記事の概要を紹介する。

まず、筆者（湊）による「BDD/ZDD を用いたグラフ列挙索引化技法」では、BDD/ZDD とその演算処理系について簡単に説明し、Knuth のパス列挙アルゴリズムとそれを一般化したフロンティア法がなぜ高速であるかを解説する。

次に、川原純氏らによる「グラフ列挙索引化技法の種々の問題への適用」では、フロンティア法がパス列挙の問題だけでなく、全域木やマッチング、集合被覆

等の問題にも適用できることを示し、フロンティア法が適用可能な種々の問題を分類・整理して、統一的な視点から解説している。

3 件目は、井上武氏らによる「フロンティア法による電力網構成制御」である。東日本大震災直後の計画停電等により、電力網制御への社会的な関心が高まっている。電力網の最適化は、線形性や凸性を想定できない複雑な組合せ問題であるため、これまでの伝統的な最適化手法では、現実的な計算時間で大域的な最適解を保証する解法が知られていなかった。われわれは、フロンティア法と ZDD の集合演算処理を併用することで、 2^{468} という膨大な空間の網羅的探索に世界で初めて成功した。BDD/ZDD を用いて探索空間を圧縮列挙することにより、最適解探索も高速化できるという興味深い結果である。

4 件目は、吉仲亮氏らによる「種々のリンクパズルへの応用」である。この記事では、フロンティア法を用いた部分グラフ列挙の応用例として、ナンバーリンクとスリザーリンクと呼ばれる 2 つのパズルを取り上げている。このようなパズルへの応用は、一見すると遊びのように見えるが、実はこれらを解くための技法は、例えば避難所の配置問題であるとか、電子回路の配置配線といった、さまざまな現実の問題につながっている。

最後に、堀田敬介氏らによる「選挙区割の最適化と列挙索引化」では、列挙索引化技術と選挙区割り問題との関わりについて述べる。選挙区割りは一票の格差の問題に密接に関わるが、実はほかにもさまざまな制度的な制約があるため、列挙索引化による解析が有効と考えられている。選挙制度は、わが国の民主主義の根幹を支えるものであり、社会的重要性が高い問題である。

以上、本特集をきっかけに OR 分野の研究者の方々が、BDD/ZDD を用いた列挙索引化の技法に興味をもっていただき、離散構造に関するアルゴリズム技術分野の研究者と連携して、さまざまな問題への活用を考えるきっかけとなれば幸いである。