

二次曲面体検索を可能にする 高速空間索引技術

検索範囲の柔軟性を高めて、 高度な地理空間情報サービスを実現

デジタル化の進む地理空間情報を有効活用するための、地理空間情報システムが脚光を浴びています。空間索引技術はその基盤技術で、空間内の物体配置を記憶し、指定した範囲内の物体を高速に検索する機能を提供します。

既存の空間索引技術は、主に検索の高速性を重視し、検索範囲には直方体や球など単純な形状しか指定できないものが中心でした。しかし、東芝の事業分野であるインフラの設計などで地理空間情報システムを活用する場合、検索範囲の指定に複雑な形状を指定できることが重要となります。

当社はこの課題に対し、検索範囲に二次曲面体（二次曲面が成す領域）を指定できる空間索引技術を開発しました。

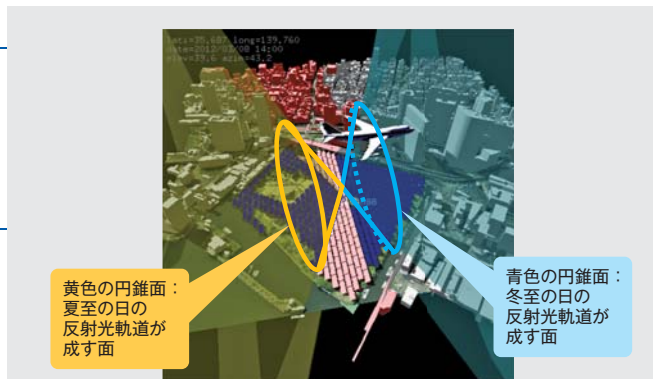


図1. 太陽光発電プラントにおける反射光解析の例 — 夏至と冬至の日の二つの円すい面の間にあり、かつ反射元のパネルの前面にある物体が、反射光が到達しうる範囲として赤く表示されます。

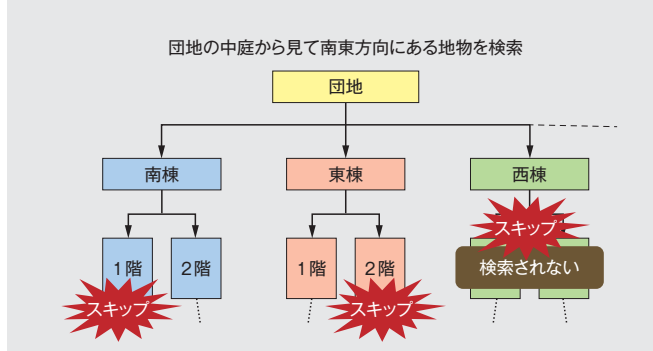


図2. 検索の高速性を実現する空間探索木 — 近い物体を自動的にグループ化して階層化し、検索範囲外の部分木を枝刈りすることで高速性を実現しています。

空間索引技術の必要性と課題

近年、「地理空間情報活用推進基本法」の成立や準天頂衛星「みちびき」の打上げなどを背景として、精密な人流、天候、及び交通のデータに基づくマーケティングや、荷物や在庫をリアルタイムで把握できる物流管理システムなど、地理空間情報を活用したサービスの需要が高まっています。

空間索引技術は地理空間情報システムの核となる技術です。空間内に配置された物体群の位置と大きさを記憶し、指定範囲内に存在する物体を高速に列挙し集計する機能を提供します。

近年のデータベース管理システムの多くが空間索引技術を備えています。しかし、既存の空間索引技術は、検索範囲として指定できる形状が、直方体

や球などの単純な形状に制限されていて、発展的な応用を開発しにくいという課題がありました。

東芝の事業領域での例を挙げると、太陽光発電プラントにおける反射光の到達範囲の解析では、円すい体を検索範囲とする必要があり、既存の空間索引技術では容易に扱えません。これ以外にも、搜索範囲を円すい体で近似できるレーダや監視カメラの最適配置問題や、カメラに映り込む可能性のある物体や指定方向に存在する物体を列挙する、拡張現実を意識した応用などの例が挙げられます。

これらの応用の開発を容易にするために、当社は、応用範囲が広くパラメータ指定も容易な検索形状として二次曲面体に注目し、二次曲面体検索を可能にする技術を開発しました。

二次曲面体による柔軟な検索を可能にする空間索引技術

この技術では、だ円体や、円すい体、双曲面体などを含む一般の二次曲面体と、それらの積集合や和集合など組合せを用いた検索が可能です。

この技術を用いることで、前述のような発展的な応用が開発できます。図1は、太陽光発電プラントにおける反射光の到達範囲を解析した例です。太陽光発電パネルの表面で反射した光が、近隣のビルや航空機のcockpitに侵入してしまう可能性を解析します。太陽の反射光の軌跡は円すい面を描くため、反射光が到達する範囲は夏至の日の円すい面と冬至の日の円すい面の間に存在する地物が、反射光の到達範囲として赤く表示されます。

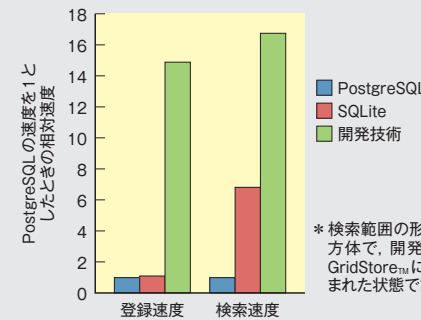


図3. 空間索引の性能比較 — この技術は、PostgreSQLやSQLiteに比べ、オブジェクトの登録速度で13~15倍、検索速度で2.5~17倍の性能を達成しました。

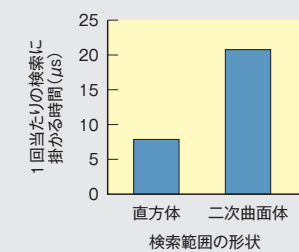


図5. 形状ごとの平均検索時間 — 二次曲面体を検索範囲とした場合の検索時間が、直方体の場合に比べ3倍以内であることを確認できました。

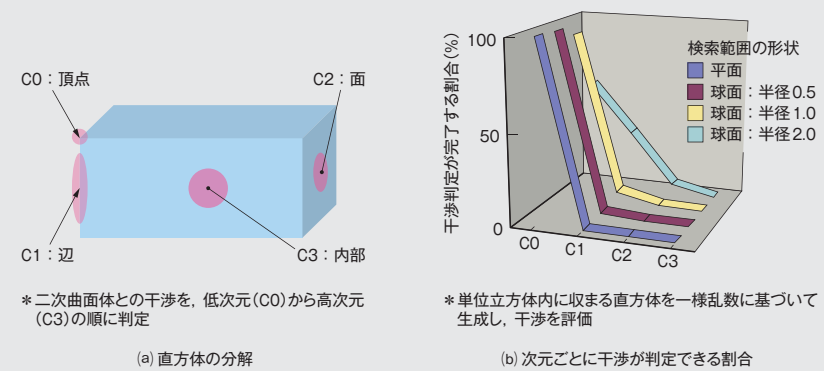


図4. 二次曲面体と直方体の干渉判定アルゴリズム — 低次元 (C0) から高次元 (C3) の順に判定しますが、二次曲面体と直方体が重なる場合、ほとんどのケースは低次元 (C0) で判定できます。

空間索引木とオンメモリ処理に基づく高速性

この技術は、既存の空間索引で広く使われている空間索引木 (R-Tree) を用いて高速性を実現しました。近い位置に存在する物体群をグループ化し、更にこのグループを階層化します (図2)。この階層構造により、検索範囲から外れた位置にある物体をまとめて枝刈りすることで、検索を高速化できます。ここで、グループ化と階層化は、物体の登録・削除時に自動的に行われ、手動で階層を設計する必要はありません。

この処理を全てオンメモリで行うことで、更なる高速性を実現しています。汐留 (しおどめ) 地域のビル群の地物データ (93,565 物体) を用いて、空間索引性能をオープンソースのデータベース

管理システム SQLite^(注1)及び PostgreSQL^(注2)と比較しました。その結果、SQLiteと比べ物体の登録速度で約13倍、検索速度で約2.5倍に、また、PostgreSQLと比べ登録速度で約15倍、検索速度で約17倍になりました (図3)。

二次曲面体と直方体の干渉を判定するアルゴリズム

高速性を保ちながら二次曲面体検索を実現するため、二次曲面体と直方体の干渉を高速に判定する独自のアルゴリズムを開発しました。

二次曲面は、空間の直交座標 x, y, z の二次方程式で表現されます。例え

(注1) SQLiteは、Hipp, Wyrick & Company, Inc.の商標。
(注2) PostgreSQLは、PostgreSQLの米国及びその他の国における商標。

ば、 $f(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 - 1 = 0$ は単位球の表面を表し、二次曲面体は $f(x, y, z) < 0$ を満たす領域として表されます。二次曲面体と直方体の干渉判定は、 $f(x, y, z) < 0$ になるような点 (x, y, z) が直方体内部に存在するか否かにより判定できます。

これを効率的に判定するために、直方体の内点を頂点上、辺上、面上、及び内部の4種類に分け (図4(a))、低次元から高次元の順に干渉の判定を行います。一般に低次元の判定のほうが高速で、例えば頂点は、 $f(x, y, z)$ に座標を代入して得た値の正負から判定します。二次曲面体と直方体が重なる場合は、低次元の判定で「干渉する」となることが多く (図4(b))、時間の掛かる高次元の判定を省略できます。

二次曲面体を検索範囲とした実験では、検索時間が直方体の場合に比べ3倍以内であることを確認できました (図5)。

今後の展望

この技術は既に、太陽光発電プラントの設計ツールや、東芝ソリューション (株) が開発したデータストア 基盤 GridStore™ に搭載されています。

今後、GPU (Graphic Processing Unit) の採用で更なる高速性を目指します。また、二次曲面体に含まれるかどうかの判定だけでなく、「可視範囲」の検索、すなわち他の物体に遮られていない物体の検索を可能にすることも考えています。より広範な地理空間情報サービスで利用できるように、空間検索機能を強化していきます。

遠藤 侑介

研究開発センター
システム技術ラボラトリー 研究主務