A-023

3次元移動幾何オブジェクトの相互可視情報検索手法
A Method for Searching Mutual-Visible-Regions of Moving Objects in 3-Dimensional Space

丹野　芳史† 　草苅　良至‡ 　能登谷　淳一‡ 　笠井　雅夫‡
Yoshifumi Tanno　Yoshiyuki Kusakari　Junichi Notoya　Masao Kasai

1.はじめに

近年、時刻経過に伴い位置や形状等の幾何情報が変化する幾何オブジェクト（幾何学的対象）に対する情報管理手法に関心が集まっている。従来は移動に伴い幾何情報を再計算する手法が多かったが、最近幾何情報を再計算しない手法も提案されている。例えば、２次元平面上を等速直線運動する２つの凸多角形に対して、相互可視面を効率的に検索する手法が杉本らによって提案されている[1]。ここで相互可視面とは、２つの凸多角形の境界でお互いが“可視”になる部分領域の組である。本研究では、杉本らの手法を３次元に拡張することを目指す。即ち、３次元空間において２つの凸多面体が等速直線運動する場合に、相互可視面を効率的に検索する手法を与える。

2.準備

本稿では移動体を３次元直交空間 $\mathbb{R}^3$ 上で等速直線運動する凸多面体としてモデル化する。２つの移動体からなる集合を $\mathrm{M}=\{M_0,M_1\}$ と表す。各移動体 $M_i, i=0,1,$ は移動する代表点 $c_i(t)$ および凸多面体 M_i を持つとする。凸多面体 M_i の頂点の集合を $V(M_i)$、辺の集合を $E(M_i)$ と表す。このとき、$V(M_i)$ と $E(M_i)$ で構成するグラフを $G(M_i)=(V(M_i),E(M_i))$ と表す。また、一般性を失うことなく、凸多面体 M_i の全ての面は３角形とする。ある頂点 $v_i \in V(M_i)$ は $c_i(t)$ からの相対位置を表す座標とする。よって、ある頂点 $v_i \in V(M_i)$ の時刻 t での位置 $v_i(t)$ は、$v_i(t)=c_i(t)+v_i$ で求められる。各移動体 M_i はそれぞれ等速直線運動するので、M_i は固定された速度ベクトル vel_i に従って移動する。このような等速直線運動を単に移動と呼ぶ。

3.相互可視領域の発見問題

始めに移動しない凸多面体に対する相互可視領域発見問題について定義を与える。凸多面体 M に対して、M の境界（表面）を $B(M)$ と書き、M の真の内部を $I(M)$ と書く。凸多面体の外の点 p と凸多面体の点 q に対し $\overline{pq} \cap I(M)=\phi$ であるとき、p から q が可視であるという。点 p から可視である表面 $B(M)$ の部分領域を(p からの) M の可視領域(Visible Region)といい、$VR_p(M)$ と書く。点 $p_0 \in M_0$ と点 $p_1 \in M_1$ に対して、$\overline{p_0q_1}$ が２つの凸多面体の真の共通部分を持たないとき、点 p_0 と点 q_1 は相互可視(Mutual visible)であるという。M_1 のいずれかの点から可視であるような M_0 の部分領域を(M_1 からの) M_0 の可視領域といい、$VR_{M_1}(M_0)$ と表す。$VR_{M_0}(M_1)$ も同様に求める。$VR_{M_1}(M_0)$ は $B(M_0)$ 上の閉領域となる。$VR_{M_1}(M_0)$ の境界の閉路を地平面と呼び H_0 と書く[2]。同様に H_1 も定める。M_0 と M_1 の相互可視領域は H_0 と H_1 の対 (H_0,H_1) によって記述される。

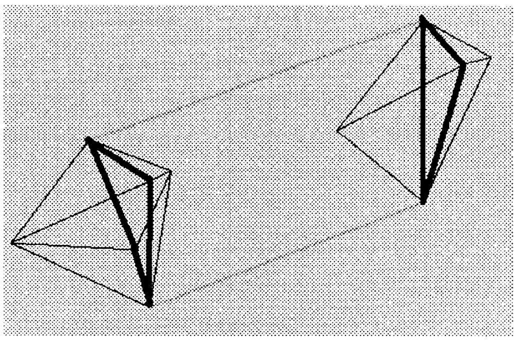

図１.凸多面体の相互可視領域

次に移動する凸多面体の相互可視領域の定義を与える。時刻の集合を $T=(-\infty,\infty)$ とし、時刻 $t \in T$ の変化に伴って２つの凸多面体が３次元空間 $\mathbb{R}^3$ 上を移動する場合を考える。各凸多面体 M_i の移動は空間 $\mathbb{R}^3 \times T$ 内の部分領域として捉えることができる。空間 $\mathbb{R}^3 \times T$ を移動空間と呼ぶ。ある時刻 $t_c \in T$ のシーンとは、移動空間と時刻 $t=t_c$ なる平面との交わりであり、$SC:T \to 2^{\mathbb{R}^3}$ という写像 SC として捉えることができる。移動空間中の各幾何オブジェクト o に対して、シーン $SC(t)$ での幾何学的配置を $o(t)$ と表す。$t=0$ におけるシーン $SC(0)$ を初期配置と呼ぶ。ここで、初期配置 $SC(0)$、移動体の速度ベクトル $vel_0, vel_1,$ お

† 秋田県立大学　システム科学技術研究科
‡ 秋田県立大学　システム科学技術学部

よびある時刻$t \in T$が与えられた時、$M=\{M_0,M_1\}$の相互可視領域は$(H_0(t),H_1(t))$である。

たとえvel_0が０ベクトルでなかったとしても$vel_0'=0$，$vel_1'=vel_1-vel_0$とすれば、相互可視領域は双方が移動する場合と同じになる。よって、以降では、$vel_0=0$とする。

4.相互可視領域探索手法

まず、初期相互可視領域$(H_0(0),H_1(0))$の求め方を与える。２つの凸多面体$M_0(0)$、$M_1(0)$の凸包を包装法により求める。即ち、$M_0(0)$の２点および$M_1(0)$の１点の３点を通る平面で、２つの移動体が一方の側に含まれるものを１つ見る。その平面を$M_0(0)$の１点、$M_1(0)$の１点を通る直線を軸に回転し、同様の性質を持った平面を見つけ出す。これを繰り返すことで、各多面体上に環状の道として、地平面$H_0(0),H_1(0)$を見つけることができる。

次に、時刻が経過する場合の相互可視領域$(H_0(t),H_1(t))$の見つけ方を与える。相互可視領域$(H_0(t),H_1(t))$が変化する時刻の集合をCTと書く。この集合CTは離散的な集合である。この変化時刻集合CTを求めるために、いくつかの定義を追加する。

移動体表面$B(M_i)$は、地平面$H_i(t)$により可視領域$VR_{M_{i+1}}(M_i)$と非可視領域$B(M_i)-VR_{M_{i+1}}(M_i)$に分割される。$H_0(t)$上に辺を持つ面で可視領域$VR_{M_1}(M_0)$にあるものの集合を$T_i^-(t)$と表し、非可視領域$B(M_0)-VR_{M_1}(M_0)$にあるものの集合を$T_i^+(t)$と表す。さらに、$T_i^-(t)$の各三角形面を延長して得られる平面を境界として$M_i(t)$を含む半空間を、$T_i^-(t)$の全ての要素で共通部分を取って得られる領域を内コーンと呼び$C_i^-(t)$と表す。同様に、$T_i^+(t)$の各三角形面を延長して得られる平面のから定義できる領域を外コーンと呼び$C_i^+(t)$と表す。すべての時刻$t \in T$において、$H_{i+1}(t) \subset \overline{C_i^-(t)}$かつ$H_{i+1}(t) \subset C_i^+(t)$が成り立つことが容易に確かめられる。

以上より、M_1が移動することにより、頂点$v_1 \in V(M_1)$が内コーン$C_0^-(t)$の境界あるいは$C_0^+(t)$の境界に接するとき、地平面$H_0(t)$が変化することがわかる。また、M_1が移動することにより、内コーン$C_1^-(t)$および外コーン$C_1^+(t)$が移動するので、頂点$v_0 \in V(M_0)$が$C_1^-(t)$の境界あるいは$C_1^+(t)$の境界に接する。このようなときに、地平面$H_1(t)$が変化する。凸多面体のある頂点が各コーンの境界との接する時刻は、移動ベクトルより容易に計算できる。この時刻を変化時刻集合$S \subset CT$として保持し、時刻$t=0$より順次Sを更新することで全ての変化時刻の集合CTを求めることができる。即ち、アルゴリズム中で現れる全てのSの和集合がCTである。

最後に、各変化時刻$t \in CT$における、地平面$H_i(t)$の更新について述べる。多面体の頂点が接した平面上の面を$f \in T_i(t)$とする。このとき、三角形fがコーンの境界から削除され、fに隣接する三角形面f'が新たにコーンの境界に含まれる。よって、$H_i(t)$から$f \cap f'$となる辺を削除し、新たにf'のf以外の辺を$H_i(t)$に挿入すればよい。このような更新は定数時間で行うことができる。

以上より、全て時刻$t \in CT$に対する相互可視領域$(H_0(t),H_1(t))$が一意に求めることができる。各変化時刻$t \in CT$は時間軸によって全順序がつけることができ、2分探索が適用可能である。よって、任意の時刻$t \in T$が与えられたとき、$t' \le t \le t''$となる２つの連続する変化時刻$t',t'' \in CT$を見つけることができ、$(H_0(t),H_1(t))$を求めることができる。

5.まとめ

本稿では、２つの凸多面体が等速直線運動する場合に、相互可視領域を効率よく探索する手法を与えた。変化時刻の集合を予め求めることで、繰り返しシーンを更新すること無く相互可視領域を発見することができる。

今後の課題として、本稿で与えたアルゴリズムの計算量の解析や、より高速に相互可視領域を検索する手法の開発が挙げられる。また、３体以上の凸多面体が移動する場合に、相互可視領域を求める手法の開発も今後の課題である。

参考文献

[1]杉本雄太,草苅良至,能登谷淳一,笠井雅夫,“移動幾何オブジェクトの相互可視区間検索用データ構造に関する研究”
[2]M.ドバーグ,M.ファン.クリベルト,M.オーバマーズ,O.主ワルツコップ共著,佐藤義雄監訳,“コンピュータグラフィクス理論と実践”オーム社(2001)