**Detección de colisión para entorno virtual utilizando optimización de enjambre de partículas con mutación adaptativa cauchy**

**1. Introducción**

Con el desarrollo de internet de las cosas, big data y computación en la nube, el diseño y fabricación basados ​​en la nube (CBDM) se ha convertido en un nuevo paradigma para el desarrollo de productos colaborativos (CPD) [1]. La detección de colisiones es una técnica típica de proceso de datos para el análisis de datos 3D y contribuirá al nuevo paradigma de CPD. La detección de colisión, que también se conoce como detección de interferencia o búsqueda de intersección, es un tema clave en muchos campos, como la realidad virtual, los gráficos por computadora, los juegos de computadora y el movimiento del robot. Los algoritmos de detección de colisión suelen ser diferentes en los diferentes campos. Por ejemplo, la colisión entre los órganos de tejidos blandos y los instrumentos quirúrgicos en la cirugía virtual, la autocolisión de la tela y la colisión de personajes en los juegos de computadora son distintos. Las técnicas de detección de colisión existentes se pueden dividir aproximadamente en métodos de cuerpo rígido y de cuerpo blando. La velocidad de ejecución de la primera es rápida y fácil de satisfacer la detección en tiempo real porque no es necesario actualizar los datos de detección en cada paso del tiempo. Si bien esto último puede llevar una gran cantidad de tiempo, ya que la estructura topológica modificada del cuerpo blando debe actualizarse en el proceso de interacción.

Con el fin de proporcionar detección de colisión en tiempo real entre cuerpos blandos, los investigadores han propuesto muchos algoritmos, como el método de caja de delimitación jerárquica [2], el método de subdivisión espacial [3], la detección de colisión aleatoria [4,5], la detección de colisión basada en campo de distancia y detección de colisión basado en el espacio de imagen [6], etc. Muchos académicos realizan la mejora y optimización adicionales de los algoritmos clásicos [7–9]. Además, algunos algoritmos inteligentes también se utilizan en la detección de colisiones. Por ejemplo, en la literatura [10,11], el algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO) y el algoritmo genético se aplican a la detección de colisión, los algoritmos mejorados muestran una mayor eficiencia computacional que el algoritmo tradicional. En la literatura [12], la detección de colisión entre objetos tridimensionales se convierte en un problema de programación no lineal con restricciones, y se emplea un algoritmo genético de recocido simulado para resolver el problema.

Este algoritmo muestra la alta eficiencia de cálculo, y la selección de la función de acondicionamiento físico puede mejorarse aún más. En [13] se propone un método de detección rápida de colisión basado en un enjambre de partículas multiagente. El algoritmo basado en la detección de colisión astocástica convirtió la detección de colisión en un problema de optimización no lineal de la distancia entre las características del objeto, y sobre la base de la topología jerárquica, la tecnología de sistema de múltiples agentes y el algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO) se combinan para resolver la detección de colisión problema. Este algoritmo muestra el alto rendimiento de la optimización y la computación. Sin embargo, la velocidad y la precisión han sido un par de contradicciones, la velocidad de detección de colisión se mejora con la disminución de la precisión al mismo tiempo en los algoritmos anteriores. Para proporcionar un buen equilibrio entre la precisión y rendimiento de velocidad, en este artículo se propone un algoritmo de detección de colisión basado en el enjambre de partículas de mutación adaptativa de Cauchy. En el algoritmo, los objetos en el entorno virtual se construyen primero en un árbol de cajas de volumen delimitador jerárquico para la detección. Luego, cuando se detecta una cierta profundidad, todos los nodos foliares involucrados en la profundidad se inspeccionarán en detalle basándose en la detección de colisión aleatoria. Para una inspección detallada, el problema de detección de colisión se puede convertir en el problema de optimización no lineal de la distancia entre puntos del modelo de objeto en el entorno dinámico, y el algoritmo de calentamiento de partículas se emplea para buscar la solución óptima. Dado que la información de colisión en el entorno virtual es continua, establecemos la parte de las partículas en la mejor posición sin cambios en cada paso de tiempo y las partículas restantes se reasignan de acuerdo con el método de mutación adaptativa de Cauchy para mejorar la eficiencia de la optimización, que no solo retiene memoria histórica de partículas, pero también hace que la partícula enjambre de diversidad al mismo tiempo. El algoritmo propuesto fue validado a través de múltiples experimentos, y los resultados experimentales muestran que el método garantiza la precisión al mismo tiempo que logra un objetivo de detección de colisión en tiempo real simultáneamente. El resto de este documento se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 revisa la detección de colisión aleatoria algoritmo, método de árbol de cuadro de límite jerárquico y algoritmo de optimización de enjambre de partículas. En la Sección 3, proponemos el algoritmo de optimización de enjambre de partículas de mutación Cauchy adaptativo para detectar el área de colisión. Los experimentos realizados en muchos entornos virtuales se presentan en la Sección 4. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro se dan en la Sección 5.

2. Trabajo relacionado

2.1 Algoritmo de detección de colisión aleatorio  
  
El método de detección de colisión aleatoria es una especie de algoritmo de búsqueda basado en el espacio geométrico de los modelos.

Primero, los pares de características de colisión se seleccionan aleatoria-mente como valor inicial del área de colisión potencial.

Entonces, todos los pares de colisión se logran mediante búsqueda global. Dado que el conjunto de características de colisión par se obtiene mediante el muestreo de características de todo el objeto.

Más características de muestreo pueden conducir a una menor eficiencia computacional y una mayor precisión. Por el contrario, se puede lograr una mayor eficiencia computacional y una menor precisión para obtener menos características de muestreo. Las características de distancia entre puntos de objetos tridimensionales a menudo se seleccionan como pares de características de colisión debido al costo de cálculo barato. La desventaja del método de detección de colisión estocástica es que la región de puntos más cercanos entre los objetos generalmente se reúne en un área relativamente pequeña. Sin embargo, las áreas de búsqueda iterativa de los puntos de colisión candidatos se distribuyen aleatoriamente en todo el modelo. En vista de las ventajas de la estructura jerárquica de árbol de cajas de volumen delimitador en la determinación del área adyacente del punto, el método de detección de árbol de caja de delimitación se combina con el algoritmo de detección de colisión aleatorio en este documento.

2.2 Método jerárquico de árbol de cuadro delimitador  
  
El método de árbol de cuadro de límite jerárquico se aproxima al modelo geométrico de objetos mediante la construcción de un cuadro de límite jerárquico, de los cuales, el cuadro de límite más grande representa el nodo raíz de la jerarquía que contiene todos los otros cuadros en la parte inferior. Esta estructura es fácil de construir y no hay límite para las características topológicas del modelo. El árbol de cuadro delimitador se puede configurar en los datos de superficie o en los datos de volumen de los objetos. La ventaja de la detección de colisiones basada en datos de superficie es la alta eficiencia computacional debido a la pequeña cantidad de datos. Sin embargo, para los objetos blandos, si solo se detectan los datos de la superficie, el movimiento real de los objetos no puede simularse. En vista de esta situación, los datos de volumen se seleccionan como datos de detección en el algoritmo propuesto. El proceso de detección de colisión de dos objetos es un recorrido de arriba hacia abajo para cada árbol de cuadro delimitador y proceso de detección recursiva de nodos de dos árboles. El proceso de detección de colisión basado en árbol binario y octree para dos objetos se muestra en la figura 1. Primero, juzgamos si el nodo raíz de dos árboles se cruza. Si se confirma la intersección, sus nodos secundarios tendrán una prueba de intersección iterativa adicional. Si se detecta un cierto nodo disjunto de dos árboles, podemos determinar que todos los descendientes de los nodos disjuntos son disjuntos y la detección se detiene. El árbol jerárquico se puede construir en un árbol binario, quadtree y octree. El árbol binario a menudo se aplica a métodos anteriores debido a la menor cantidad de detección iterativa. Mientras que el quadtree u octree es más efectivo para la detección de colisiones de objetos blandos. La razón es que los árboles jerárquicos de los objetos blandos deben actualizarse en cada paso a la deformación, mientras que los nodos menos actualizados para el quadtree y octree conducen a un menor costo. Además, su profundidad de recursión es menor y el tamaño de la memoria de la pila es pequeño para las pruebas iterativas. En base a las razones anteriores, en este documento se emplea la tecnología de árbol de caja de límite de octree sobre la base de la detección de colisión aleatoria. Primero, los cuadros delimitadores de octree se construyen para múltiples objetos en la escena virtual para realizar una detección de colisión aproximada y eliminar objetos obviamente disjuntos. En segundo lugar, cuando se detectan nodos foliares, utilizamos la detección de colisión aleatoria para una inspección detallada y controlamos la precisión y la eficiencia ajustando el número de características de muestreo. Debido a la reducción del espacio de búsqueda innecesario, la detección de colisiones basada en el método del cuadro delimitador mejora la eficiencia. Sin embargo, el método todavía no puede cumplir con los requisitos de tiempo real para un entorno virtual más complejo y más objetos. Para mejorar aún más la eficiencia del cálculo, la detección de colisión entre objetos se convierte en un problema de optimización no lineal de las características de distancia. Además, el problema de detección de colisión se convierte en un problema de optimización de la optimización del enjambre de partículas.

2.3 Algoritmo de optimización de enjambre de partículas

PSO es un algoritmo de optimización de inteligencia de enjambre en el campo de la inteligencia computacional [14], que fue propuesto por Eberhart y Kennedy en 1995. Se ha aplicado ampliamente a la optimización de problemas de objetivos múltiples, procesamiento de señales, soporte de toma de decisiones, simulación y otros campos a su método simple, realización conveniente y menos parámetros de control. Cada partícula en el algoritmo PSO recibe un valor inicial, así como el valor inicial de la función de aptitud. Después de una iteración, el valor actual de cada partícula se comparará con el valor óptimo y se actualizará el valor óptimo (pbest) de las partículas individuales. Después de atravesar todas las partículas, se compara el valor óptimo histórico del grupo con el valor actual, y se actualiza el valor óptimo global (gbest) del grupo. Un valor de aptitud (FitnessValue) determinado por la función de optimización se utiliza para evaluar las partículas. En el proceso de optimización, las partículas se ajustan a su propio estado de vuelo utilizando el valor óptimo de individuo y grupo. Si el espacio de búsqueda objetivo se define como dimensión D, el número de todas las partículas es n, el enjambre que consiste en n partículas puede representarse X = (X1, X2, ..., Xn), y la posición de la i-ésima partícula se puede expresar como un vector de dimensión D Xi = (xi1, xi2, ..., xid) T. El valor de aptitud de cada partícula puede calcularse sustituyendo Xi en la función objetivo, y luego Xi se evalúa de acuerdo con el valor de aptitud. La velocidad de la i-ésima partícula es Vi = (Vi1, Vi2, ···, Vid) T, el extremo individual se expresa como Pi = (Pi1, Pi2, ..., Pid) T y el extremo de todo el enjambre es Pg = (Pg1, Pg2, ... Pgd) T. En el proceso de cada iteración, la velocidad y la posición de la partícula se actualizan como Vk + 1id = ωVkid + c1r1 (Pkid − Xkid) + c2r2 (Pkgd − Xkid) (1) Xk + 1id = Xkid + Vk + 1id (2 ) donde, Xkid es la posición de la partícula i en la población de la generación k en el espacio d dimensional, Vkid es la velocidad de la partícula en el espacio d dimensional. c1 y c2 son factor acelerado, r1 y r2 son números aleatorios en [0,1], ω es el peso de inercia, su valor está entre 0.1 y 0.9.

3 El algoritmo propuesto

En la simulación virtual, la deformación plástico-elástica de los objetos puede producirse cuando ocurre la colisión, lo que conduce a la nueva coordenada de puntos del modelo de geometría. La detección de colisión es un problema de búsqueda en un entorno dinámico para el enjambre de partículas si todo su proceso se considera como un todo desde el primer corte hasta el final. Se ha confirmado que la optimización del enjambre de partículas es adecuada para la optimización en un entorno estático [15, 16] y también tiene la ventaja de la optimización en un entorno dinámico. Mientras que un entorno dinámico de detección de colisión tiene una característica que es el espacio de solución en los dos segmentos de tiempo adyacentes tiene continuidad en el tiempo y el espacio. Podemos obtener experiencia de búsqueda y acelerar para buscar la solución óptima siempre que se conserve la última información de búsqueda. En vista de la característica, se mejora el algoritmo de optimización de enjambre de partículas y se utiliza el algoritmo de optimización de enjambre de partículas de mutación Cauchy para resolver el problema de optimización de la detección de colisión en este documento.

Modelo basico

Las características de muestreo aleatorio de dos objetos se guardan en el conjunto A y el conjunto B, respectivamente. El número de elementos en el conjunto A y B se representa usando N\_a y N\_b. Por lo tanto, el espacio de búsqueda bidimensional del enjambre de partículas se define como el punto discreto establecido en una región rectangular determinada por N\_a y N\_b. Cualquier combinación de par de características en dos conjuntos representa una solución de problemas, que se expresa como p (ai, bj) .Punto, línea y parche triangular pueden seleccionarse como candidatos de pares de características para el modelo de geometría de objetos tridimensionales. Debido a la cantidad mínima de cálculo y la velocidad de cálculo más rápida, la distancia euclidiana entre puntos se selecciona como aptitud de cada partícula



donde (x, y, z) son las coordenadas de puntos en el espacio de objetos. La detección de colisiones en el entorno virtual está encontrando pares característicos en el tiempo limitado, cuya aptitud es menor que el umbral. Además, más pares de características pueden conducir a una información de colisión más precisa. Las condiciones de terminación de la búsqueda de PSO se pueden lograr estableciendo el número máximo de iteraciones