

УДК 621:629.78:519

Метод выявления динамических групп близко расположенных элементов в задачах практического использования космоса

Лабуткина Т.В.

Днепропетровский национальный университет, г. Днепр, Украина

Аннотация: Предложен «быстрый» метод выявления во множестве движущихся элементов групп элементов, имеющих близкое пространственное расположение. На основе информации о парах объектов, для которых выполняется условие расположения в пределах заданных границ близости (условие связности пары) выявляются группы связности k (в группу k -й связности входят связанные между собой элементы, у каждого из которых не менее k связей). Метод базируется на организации массивов информации о связях элементов и принадлежности их к группам и на алгоритмах первоначального определения групп и обработке информации об изменениях связей. Метод показан в задачах практического использования космоса (задачах прогноза сближений орбитальных объектов и эксплуатации космических аппаратов многоспутниковых систем). Представлено его применение для широкого спектра технических задач.

Ключевые слова: динамические группы близко расположенных элементов, пары и группы элементов, многоэлементные системы, прогноз сближений орбитальных объектов, многоспутниковые системы.

Широкий спектр технических задач требует анализа множества элементов (в том числе, изменяющих свое пространственное расположение) с точки зрения выявления групп его элементов, расположенных в пределах заданных границ близости по отношению друг к другу. Проблемой выявления и текущего контроля динамических групп близко расположенных элементов часто являются ограничения по времени. Комплекс причин, обуславливающих появление указанной проблемы, может включать в себя следующие: 1) многочисленность рассматриваемого множества объектов или (и) значительное число рассматриваемых множеств (в том числе и немногочисленных); 2) необходимость принятия решений «в реальном времени» на основе контроля текущей динамики множества; 3) существенные ограничения возможностей вычислительной техники, применяемой в автономных системах контроля и управления сложными процессами и системами. Поэтому представляет интерес развитие методов, обеспечивающих обнаружение и наблюдение динамики групп близкорасположенных элементов при относительно невысоких затратах времени на вычисления («быстрых» методов). Перспективны методы, основанные на выявлении пар близко расположенных элементов (будем рассматривать их как пары элементов, связанных заданным отношением) и последующей обработке этой информации. Работа посвящена развитию методов названного направления.

В динамическом множестве N механических элементов необходим поиск групп элементов, каждый из которых имеет не менее одной связи с другими элементами группы (близко расположен хотя бы к одному элементу группы). Иными словами, реализуется поиск групп близко расположенных элементов, образованных парами близко расположенных элементов. В общем случае близость механических элементов определяется с учетом их формы (условие связности формулируется так: у двух близких элементов есть части, расположенные друг от друга на расстоянии, меньшем граничного). В частном случае элементы рассматриваются как материальные точки (условие связности пары элементов – расположение соответствующих точек на расстоянии, которое меньше граничного). В задачах механики естественно рассмотрение положений элементов в трехмерном пространстве или на плоскости. Однако возможен и вариант, когда элемент множества рассматривается как точка, представляющая объект в n -мерном фазовом пространстве его параметров (при такой трактовке задача может выходить и за пределы задач механики). В общем случае элемент связан условием близости не с одним, а с k элементами (составляет пары с k элементами, или, иначе говоря, является элементом связности k). Если

пространственная форма объекта учитывается, то у элемента связности k есть часть, близкая частям k элементов. Если элемент представлен точкой, то эта точка находится на близком расстоянии от точек k других элементов. Используем понятие группы элементов связности k . Такую группу составляют связанные между собой (хотя бы одной связью) элементы, каждый из которых имеет не менее k связей (k -связные элементы) с элементами этой группы или других групп. Группа связности k является подгруппой связности $k-1$ или в частном случае совпадает с ней. Группа связности $k=1$ – наиболее общий вариант группы близких элементов (группа связности $k=1$ собственно выделяет группу близко расположенных элементов в рассматриваемом множестве элементов). В составе группы связности $k=1$ могут быть иерархически подчиненные подгруппы, принадлежащие группам с большими значениями связности k . Решение проблемы снижения затрат времени на решение описанной задачи при одних и тех же вычислительных возможностях обеспечивают две составляющие. Первая составляющая – наличие «быстрых» методов поиска связанных отношений близкого расположения пар элементов. Такие методы, чаще всего, основаны на разрабатываемых для конкретных задач правилах предварительного исключения из рассмотрения элементов, которые не могут составить близкую пару (на методах «фильтрации» рассматриваемого множества). Эта составляющая в данной работе рассматриваться не будет. Полагается, что текущее множество пар связанных элементов определено на каждом шаге по времени. Вторая составляющая – «быстрые» методы обработки этой информации для выявления групп близких элементов (групп связности и их иерархической принадлежности). Такой метод представлен в данной работе. Некоторые модификации метода упоминались в ряде работ (в том числе – в работах [1,2]) при пояснении методического «инструментария» решаемых задач. Данная работа посвящена специально разработанному методу и возможностям его применения. Для пояснения метода приведено описание организации информации в оперативной памяти вычислительного устройства. Принята сквозная нумерация элементов рассматриваемого множества. Исходные данные для поиска связанных групп и текущие изменения связей записаны в двумерном массиве m_con (если между элементами i и j есть связь, то ячейка i -й строки и j -го столбца массива содержит значение 1, если связи нет, то в ячейке записан 0). На основе информации массива m_con формируется часть двумерного массива m_groups , в котором представлена информация о связях элементов и принадлежности их группам связностей. Первые N строк и N столбцов массива m_groups сформированы по следующему принципу. Если между элементами i и j есть связь, то ячейка i -й строки и j -го столбца содержит значение числа связей k_j j -го элемента, при отсутствии связей в ней записан 0. В ячейку под номером $N+1$ строки i записано число связей k_i i -го элемента. Строка массива под номером $N+k$, содержит информацию о группах элементов со связностью k (группы k -го уровня связности). Группы каждого k -го уровня связности имеют сквозную нумерацию. Если элемент под номером j входит в группу k -го уровня связности, то в ячейке, принадлежащей строке $N+k$ и столбцу j , записан порядковый номер этой группы согласно нумерации групп уровня (видна принадлежность элемента j группам связности). Элемент строки $N+k$ под номером $N+1$ одержит информацию о числе групп уровня связности k . Число элементов в группе под номером n уровня связности k записано в k -й строке n -го столбца двумерного массива m_set .

На рис. 1 пример, в котором для схематичного изображения множества элементов с тремя группами связности $k=1$ и принадлежащими им группами большей связности (рис. 1а) показаны массив m_set (рис. 1б) и m_groups (рис. 1в). Метод включает три алгоритма.

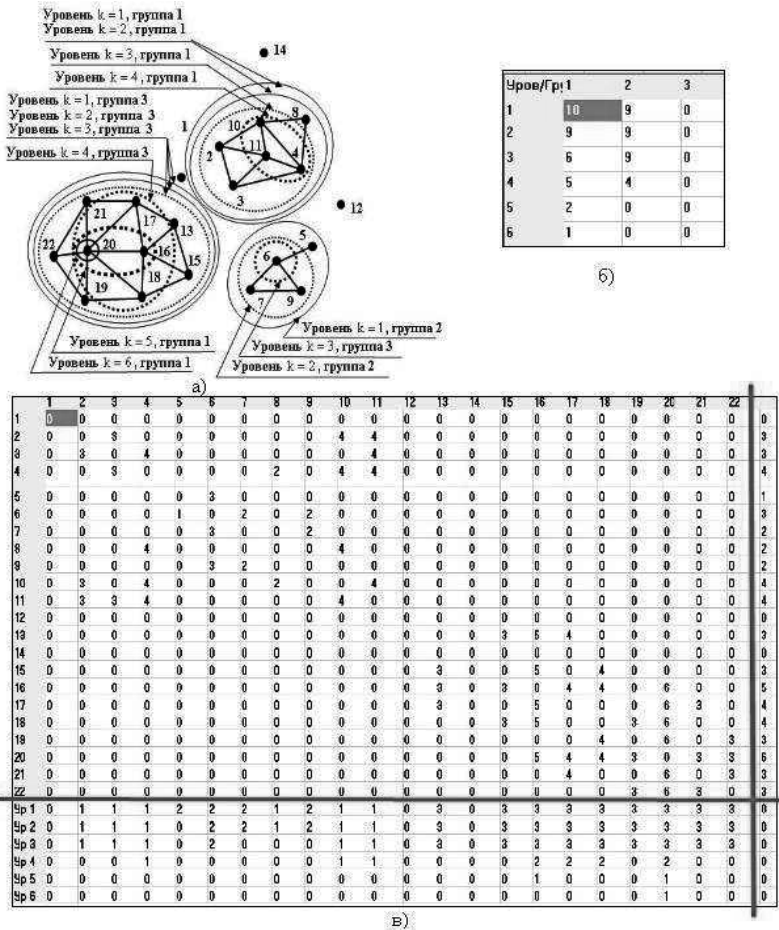


Рис. 1. Пример выделения групп близких элементов: а) схематическое изображение множества элементов с указанием связанных групп; б) массив m_{groups} ; в) массив m_{set} .

Алгоритм первоначального выявления групп позволяет на момент начала анализа множества элементов сформировать на основе массива m_{con} массивы m_{groups} и m_{set} . Ячейки N первых строк массива m_{groups} определяются на основе статистической обработки массива m_{con} . Далее на основе полученной информации реализуется алгоритм определения принадлежности элементов группам связи. Алгоритм предполагает минимизацию числа операций. Появление или уход связи запускает один из двух алгоритмов реакции на событие (соответствующий). Выполнение этих алгоритмов не требует анализа информации обо всем множестве элементов (не требует обработки всех N строк массива m_{groups}). Несколько ячеек этих строк изменяют свои значения, а далее выполняется ряд преобразований в строках массива m_{groups} , которые содержат информацию о вхождении элементов в группы связей различных уровней. Для реализации этих алгоритмов составлено описание множества возможных «реакций» групп связи на изменения связей и определен соответствующий набор операций по изменению информации о составе групп связи. Представленный метод показан на примерах его использования в методах прогноза опасных

сближений орбитальних об'єктів (прогноза поліконфліктних сближень). При цьому метод применим в задачах двух видов: 1) объекты множества – орбитальные объекты, рассматриваемые как материальные точки; 2) объекты множества – близко расположенные участки орбит орбитальных объектов, изменяющие свое положение вследствие эволюции орбитальных параметров. Также на базе описанного алгоритма разработан метод быстрого выявления в сетях космических аппаратов многоспутниковых систем компактных групп космических аппаратов, требующих определенного вида обслуживания. Метод может применяться в задачах анализа выявления близких групп в группировках авиационных объектов или во множествах объектов наземной техники. Он может использоваться при контроле и анализе появления флуктуационных групп множества взвешенных элементов в жидкостях или газах, применяться для анализа изменяющихся выделенных элементов (включений, повреждений) в материалах.

Метод виявлення груп близько розташованих елементів в задачах практичного використання космосу

Лабуткіна Т.В.

***Анотація:** Запропонований «швидкий» метод виявлення у множині рухомих елементів груп елементів, які мають близьке просторове розташування. На основі інформації о парах об'єктів, для яких виконується умова розташування у межах заданих границь близькості (умова зв'язності пари) виявляються групи зв'язності k (до групи k -ї зв'язності входять зв'язані між собою елементи, у кожного з яких не менше ніж k зв'язків). Метод базується на організації масиву інформації о зв'язках елементів і приналежності їх групам та на алгоритмах початкового виявлення груп і обробки інформації про зміну зв'язків. Метод показаний у задачах практичного використання космосу (задачах прогнозу зближення орбітальних об'єктів і експлуатації космічних апаратів багатосупутникових систем). Представлено його застосування для широкого спектру технічних задач.*

***Ключові слова:** динамічні групи близько розташованих елементів, пари і групи елементів, багатоелементні системи, прогноз зближень орбітальних об'єктів, багато супутникові системи.*

A method for identifying dynamic groups of closely spaced elements in the problems of the practical using of space

Labutkina T.

***Annotation:** A “fast” method for identifying groups of closely spaced elements in a set of moving elements is proposed. Groups of k -th connections (the k -th connectivity group includes interconnected elements, each of which has at least k connections) are identified on the base of information about pairs of objects for which the condition of location within the specified boundaries of proximity is fulfilled (the condition of connectivity of the pair). Based on information about pairs of objects for which the condition of location within the specified boundaries of proximity (the condition of connectivity of the pair) is fulfilled, connectivity groups k are identified (the group of k th connectivity includes related elements, each of which has at least k connections). The method is based on the organization of arrays of information about the relationships of elements and their belonging to groups and on the algorithms for the initial definition of groups and processing information about changes in relationships. The method is shown in the problems of the practical using of space (the tasks of forecasting the proximity of orbital objects and the operation of spacecraft of multisatellite systems). Its application for a wide range of technical problems is presented*

***Key words:** dynamic groups of closely spaced elements, pairs and groups of elements, multi-element systems, forecast of proximity of orbital objects, multi-satellite systems.*

Список литературы

1. Labutkina T.V. A “Worn-out Net” Model for Analysis of Conflicts in a Multitude of Orbital Objects / T.V. Labutkina, V.O. Larin, V.V. Belikov // 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1-5 October 2018. – Paper nr: IAC-18-A6.2.1.
2. Лабуткіна Т.В. «Комбинированное» управление сетевой нагрузкой в сети коммутации пакетов / Т.В. Лабуткіна, Д.И. Шабазов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології у металургії і машинобудуванні, 26-29 березня, Дніпро, Україна. – С. 122.