Информационные системы и модели

УДК 004.722

Кластеризация в сетях на принципах симметричного разбиения пространства

Григорьева А.М., Горшков К.А., Никитин О.Р.

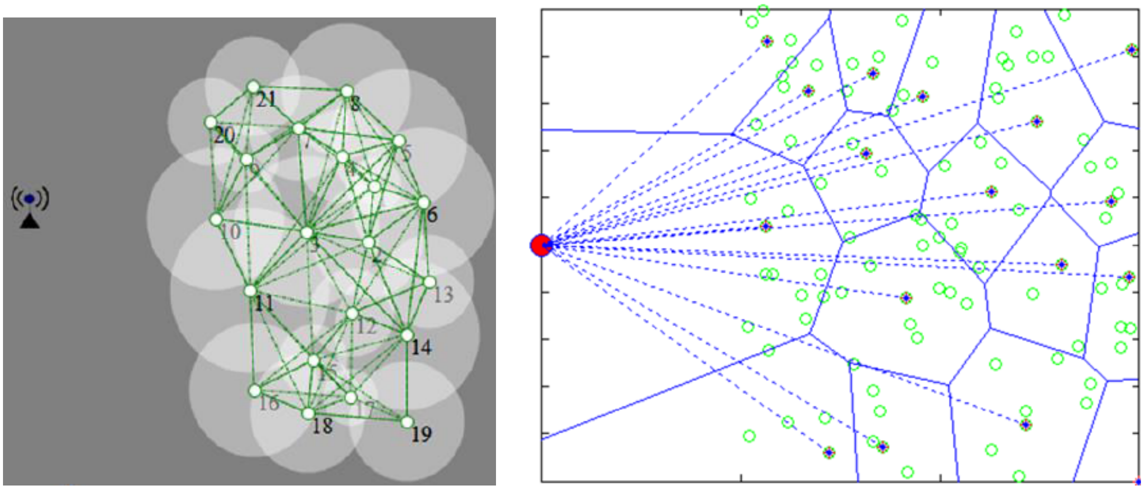
В работе показана возможность использования периодических разбиений пространства для осуществления кластеризации сетей с большим числом узлов. Рассмотрены алгоритмы послойного роста разбиений и упаковок элементарных кластеров и роста дуального разбиению периодического графа. Показана самоорганизация сети в дискретном периодическом пространстве.

Ключевые слова: дискретное пространство сети, симметричные сети, кластеризация сетей.

На текущий момент большой интерес вызывают системы, в основе которых лежит сетевая организация. Причем в равной степени определенные вызовы стоят как перед сферой разработки материальных составляющих сетей, в частности, в области оптоволоконных систем и квантовой телекоммуникации [1], так и в сфере, затрагивающей структурную организацию сетей безотносительно специфических особенностей её основных компонентов. Переориентация компаний, специализирующихся на производстве программного обеспечения, на разработку приложений и управляемого контента в рамках концепции Интернета вещей (IoT) [2] ставит ряд задач поиска оптимальных вариантов топологии сетей или её кластеризации в случае наличия мобильных свойств узлов, например, в сенсорных сетях USN (Ubiquitous Sensor Network) [4]. Новый интерес к пиринговым сетям возник в связи с большим коммерческим успехом компании Uber, породившим в открытой печати термин «уберизация» применительно к различным отраслям рынка, а также с появлением и развитием систем перераспределения так называемой криптовалюты (Bitcoin). Кроме того, учитывая, что узлами сетей являются по большей части устройства, а не конкретные люди, количество которых ограничено численностью населения, число узлов может достигать нескольких триллионов [4], что приводит к необходимости создания всевозможных способов структурирования: непрерывная передача транзитных данных может стать причиной выхода из строя источника питания, а большой объем трафика – привести к состояния переполнения буфера приема. Одним из способов решения задач структурирования является кластерная организация, реализующаяся в различных вариантах в беспроводных сенсорных сетях USN и мобильных сенсорных сетях MSN (Mobile Sensor Network).

Критерий связности для таких сетей подробно рассмотрен в работах [4,5]. Связность рассматривается как мера возможностей взаимосвязи сенсорных узлов друг с другом (рис. 1). Если рассмотреть MSN, которая характеризуется достаточно большим количеством сенсорных узлов, распределенных в так называемом сенсорном поле: $S = \{s_1, \ldots, s_n\}$.

Область взаимосвязи сенсорного узла s – это область, в которой один сенсорный узел может взаимодействовать с другими сенсорными узлами. Пределом взаимосвязи (R_i) произвольного сенсорного узла s_j называют максимальное расстояние между узлами s_i и s_j, где s_j оказывается в диапазоне взаимосвязи s_i.



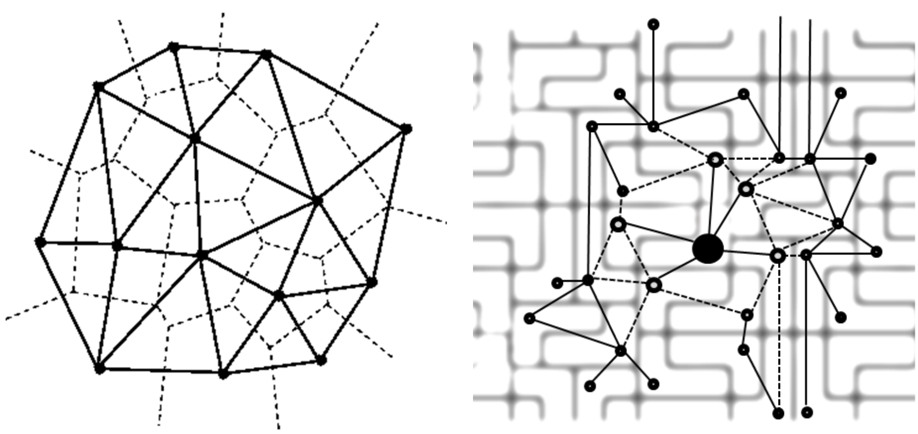
(а) (б)

Рис. 1. Пример связности в сенсорной сети (а) и кластеризации (б) [4]

Число ближайших к узлу сенсоров вычисляется как $N(s_i) = \{s_j : d(s_i, s_j) < R_i\}$, где d – Евклидово расстояние между s_i и s_j. С учетом этого критерий связности может быть определен так: $ConC(s_i) = |N(s_i)|$.

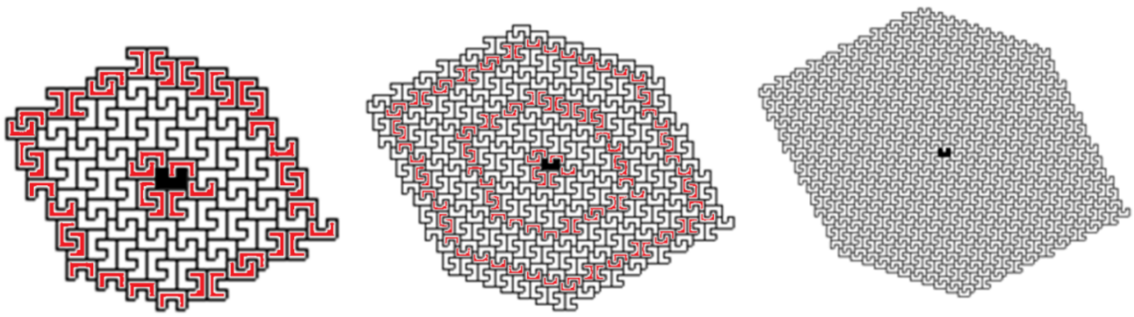
С математической позиции это условие представляет собой условие Делоне для (R,r)-системы: расстояние от любой точки множества до ближайшей к ней точки этого же множества больше или равно некоторому фиксированному отрезку длины r, а расстояние от любой точки пространства до ближайшей к ней точки системы меньше или равно некоторому фиксированному отрезку длины R (рис. 2а).

Одним из примеров такой (r,R)-системы является система, основанная на принципах симметрии. Этот метод Делоне впервые применил для описания периодических структур вещества. Аналогичный подход может быть применен и для кластеризации сетей на принципах симметричного разбиения пространства (с топологией дуального к разбиению симметричного графа, выбранного в качестве модели сети (рис. 2б) [6]. Узлу или совокупности узлов, объединенных в один кластер, ставится в соответствие область пространства, состоящая из равных квадратов – полимино, связь между узлами (или головными узлами кластера (Cluster Head)) изображается в случае наличия у полимино общих сторон. Таким образом, если задано отношение соседства на множестве полимино, можно всегда перейти к геометрическому описанию сети в виде графа. Для осуществления процедуры кластеризации на



(а) (б)

Рис. 2. Пример (R,r)-системы Делоне – (а); симметричное разбиение на полимино и соответствующий ему граф соседства – (б)



n=5 n=10 n=15

Рис. 3. Образование формы роста в разбиении плоскости на кластеры [8]

основе симметричного разбиения могут быть использованы алгоритмы послойного роста разбиений и упаковок элементарных кластеров-полимино или алгоритм роста периодического графа.

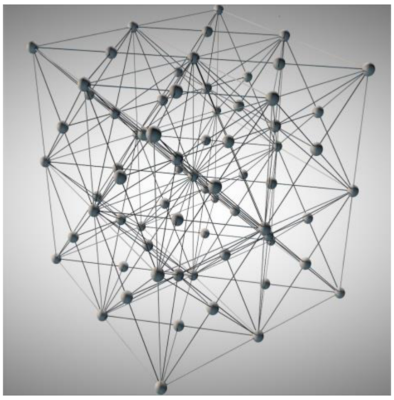
Алгоритм первого подхода предполагает [6]:

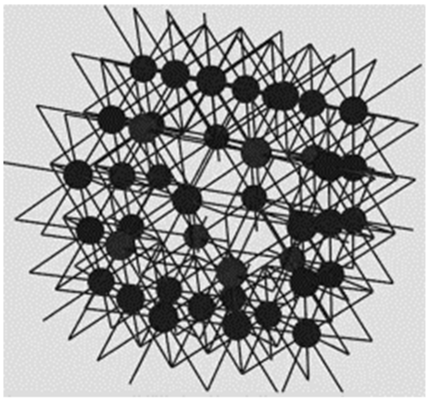
1. Выбор упаковочного пространства с N– конечным числом полимино.
2. Выбор фундаментальной области и ячейки трансляций в разбиении.
3. Выбор в дискретном пространстве сети одного полимино-кластера (или нескольких кластеров-соседей) в качестве исходного. Соседними следует считать такие многоугольники, которые имеют с исходным хотя бы одну общую сторону (связь).
4. Присоединение к затравочному кластеру его первого координационного окружения, то есть совокупности фигур, являющихся соседними для него.
5. Далее описанная процедура повторяется многократно, на каждом новом шаге в качестве исходного структурного элемента принимается совокупность кластеров, построенная на предыдущем шаге.

Координационные окружения условно называют слоями роста разбиения, а сам алгоритм – послойным ростом упаковки или разбиения (рис.3).

Второй алгоритм, подробно изложенный в работах [7,9], требует рассмотрение асимптотического поведения при $n \to \infty$ координационного круга $Eq(a,n)$ с центром в вершине a и его границы – n-й координационной окружности или эквидистантного множества $eq(a, n)$ уровня n. Они состоят из вершин x $\in V(G)$ на расстоянии $d(a,x) \le n$ и $d(a,x) = n$ соответственно. Который в конечном счете приводит к появлению множества лучей длины s, объединение которых может быть задано: $P_G = \bigcup_{1\le i\le f} \bigcup_{1\le s\le f} p(a_i, s)$, где p представляет собой цепь $p: a_i \to b_1 \to \cdots \to b_{s-1} \to a_i^{`}$. А форма нормированной звезды $st_G = P_G \cup \left\{v = \frac{\bar{p}}{d(p)} : p \in P_G\right\}$, состоящая из векторов $\bar{p}$ и когерентных цепей $p = p_s \to \cdots \to p_s$ $(k - \text{раз})$ – реальных цепей графа G, совпадает с формой разбиения, дуального данному графу.

Алгоритмы послойного роста разбиения или роста периодического графа могут найти применение и в формировании беспроводных сенсорных сетей в качестве мотива самоорганизации. Сенсорная сеть представляет собой набор сенсоров, распределенных хаотическим образом в некоторой области, называемой сенсорным полем (Sensor Field), где с течением времени они должны самоорганизоваться в сеть без участия внешнего администратора. Любой узел сенсорной сети может выполнять функции как оконечного, так и транзитного узла, а передача данных осуществляется пошаговым образом (Multihop Network). В область покрытия сигнала, сгенерированного сенсором, должен попадать как минимум еще один из сенсоров (рис. 4а).





(а) (б)

Рис. 4. Примеры сенсорной сети в трехмерном пространстве (а) [4], модель формирования структуры твердого тела в дискретном пространстве, на основе разбиения (б)

Таким образом, связь образуется между узлами, находящимися в такой области, сами связанные узлы принято называть соседними. Надежность сети определяется числом «соседей» — чем больше связанных узлов, тем надежней сеть: вывод из строя одного из сенсоров не должен влиять на возможность передачи данных, которая может быть осуществлена через альтернативные маршруты [4,5]. По аналогии с кристаллами (рис. 4б) [8,10], рост которых может быть смоделирован в дискретном периодическом пространстве, формирование связей может происходить в дискретном периодическом пространстве, где каждому узлу сети поставлен в соответствие элементарный дескриптор такого пространства — полимино. Отношение соседства на множестве полимино позволяют также формировать связь между узлами, соответствующими соседним (обладающим общей стороной) полимино (рис. 5).

Переход в «виртуальное» дискретное пространство, в котором формируется система связей между узлами, даёт возможность структурировать логическую топологию в том числе и для случая хаотического распре-

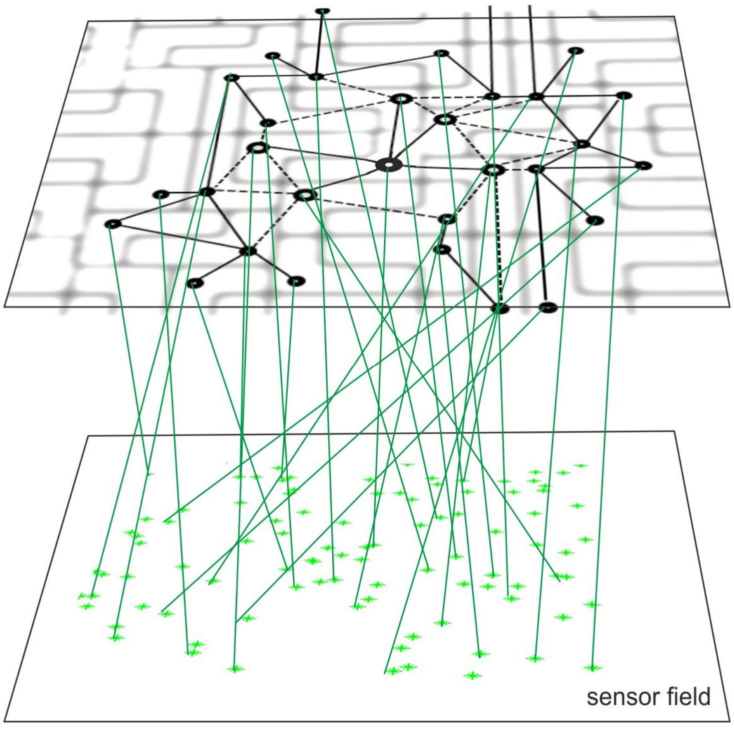


Рис. 5. Сенсорное поле и самоорганизация сети в дискретном периодическом пространстве

деления узлов в сенсорном поле. В такой сети не будет возникать проблем с «включением» даже таких узлов в сеть, зона покрытия радиосигнала которых не включает ни один узел. Сенсорные узлы в такой сети могут обладать мобильными свойствами, поскольку их логическая топология не зависит от расположения узлов в реальном пространстве, а узлы в сети будут иметь гарантированное число «соседей», что обеспечивает надежность сети. Наличие симметрии в дискретном пространстве сети (построенном из полимино) позволяет выделить в нем фундаментальную область, трансляция которой полностью задает само пространство, что может быть использовано как элемент стандартизации в алгоритмах.

Литература

1. Areeya Chantasri, Mollie E. Kimchi-Schwartz, Nicolas Roch, Irfan Siddiqi, and Andrew N. Jordan Quantum Trajectories and Their Statistics for Remotely Entangled Quantum Bits // Phys. Rev. X 6, 041052 — 2016.
2. Rob van Kranenburg. The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID // Pijnacker: Telstar Media — 2008.
3. Chong C.Y., Kumar S.P. Sensor Networks: Evolution, Opportunities and Challenges. Proceedings of the IEEE, vol. 91, issue 8 — 2003.
4. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN СПб.: БХВ Петербург, 2014. — 160 с.
5. Кучерявый А.Е. Самоорганизующиеся сети/ А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый // СПб, «Любавич»—2011.
6. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау Т.Ф., Рау Т.Ф. Иерархические сети в модели дискретного пространства сети // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново – 2015 - №4(385) – С. 141-145.
7. Журавлев В.Г. Самоподобный рост периодических разбиений и графов // Алгебра и анализ. — №13. — 2001. — с. 69-92.
8. Малеев А.В. , Рау В.Г., Потехин К.А., Пархомов Л.Г., Рау Т.Ф.и др. Метод дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах. // Доклады АН СССР. — Том 315. — 1990. — с. 1382-1385.
9. Рау В.Г., Богатов В.С., Рау Т.Ф., Никитин О.Р., Федотчев А.И. Генерация структур с самоподобием на основе свертки и преобразований симметрии // Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. Серия: ФТТ - №1, С.56. — 2006
10. Рау В.Г., Никитин О.Р., А.А. Мохсин Али, Рау Т.Ф., Ломтев Л.А., Горшков К.А. Нанокластерные системы колец для электроники // Фундаментальные исследования. – Москва – 2015. – № 1 (часть 5). – С.137-142.

Поступила 02 апреля 2018 г.

The paper shows the possibility of using periodic partitions of space for clustering networks with a large number of nodes. The algorithms layer-by-layer growth partitions and packing of elementary clusters and growth of the dual partition of a periodic graph are considered. The self-organization of a network in a discrete periodic space is shown.

Key words: discrete space network, symmetrical network, clustering in network.

Гигорьева Анна Михайловна — студент 4 курса института прикладной математики, физики и информатики. ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: anna.grigoreva.1996@gmail.com.

Горшков Кирилл Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры физики и прикладной математики. ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: godograf@list.ru.

Никитин Олег Рафаилович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем. ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: olnikitin@mail.ru.
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.