

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.13>

УДК 621.396.67

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕГУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРНЫХ СТРУКТУР В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

В. Н. Маковский, А. М. Рахматулин, А. Н. Смирнов
Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,
197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Статья поступила в редакцию 23 марта 2021 г.

Аннотация. В статье рассматриваются основные проблемы, связанные с распознаванием состояния системы связи с динамической топологией сети частично наблюдаемых систем.

Ключевые слова: система связи, динамическая топология сети, информационное поле.

Abstract. The article deals with the main problems associated with the communication system state recognition with the dynamic network topology of partially observed systems.

Keywords: communication system, dynamic network topology, data field.

Введение

Современные системы связи с динамической топологией сети (ССДТС), обеспечивающие высокую скорость передачи мультимедийной информации, находят применение на объектах различного назначения (промышленных, военных и др.). Их особенность состоит в использовании подвижных базовых станций, так называемых точек радиодоступа (ТРД), позволяющих оперативно решать проблему «последней мили» [1,3].

Осуществлять наблюдение за работоспособностью ССДТС можно с воздушных и космических средств [2]. Но в этом случае априорно неизвестно ни точное число элементов системы и ее структура, ни алгоритм поведения

элементов системы и др. В силу этого возникает необходимость разработки модели ССДТС обеспечивающей возможность решения задачи распознавания состояний частично наблюдаемой сложной динамической системы.

1. Теоретические предпосылки построения модели ССДТС.

Общеизвестно, что кластер, образующий регулярную сетевую структуру, может состоять из одной, трех, четырех, семи, двенадцати и т.д. сот (рисунок 1). При этом регулярной принято считать структуру, в которой количество «мешающих» (работающих на одинаковых частотах) ТРД и их взаимное расположение, в том числе расстояние до «опорной» (анализируемой) соты, определены однозначно на любом ярусе (эшелоне) сети.

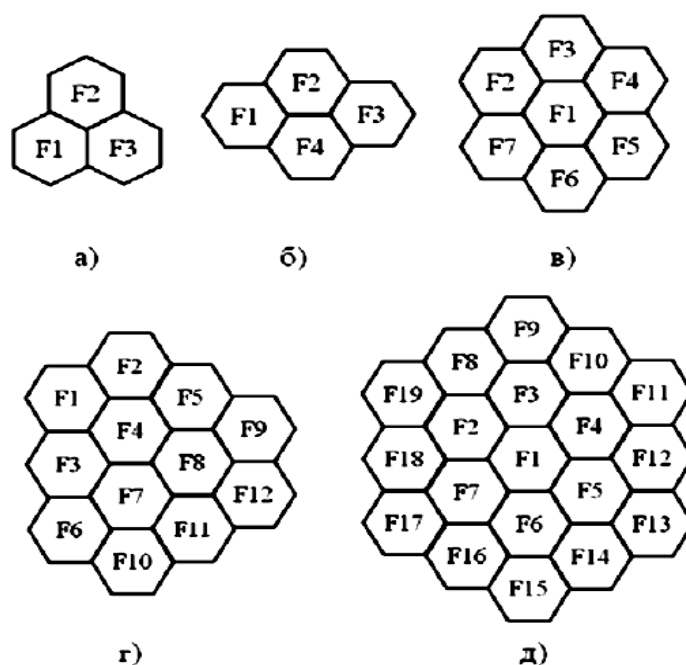


Рис. 1. Типовые многоэлементные кластеры: а) 3-элементного; б) 4-элементного; в) 7-элементного; г) 12-элементного; д) 19-элементного, где F_i – частота ТРД

Между тем, очевидно, что количество сот в кластере не ограничено, и можно предположить, что благодаря большему количеству ячеек в кластере форма регулярной структуры может быть инвариантной, позволяя оптимальным образом выбирать геометрию зоны обслуживания, что особенно актуально для военных телекоммуникационных сетей тактического звена.

Для проведения дальнейших исследований представим базовые модели ССДТС с позиции теоретико-информационного подхода [4, 5]. Сущность указанного подхода при оценивании состояния дискретной системы заключается в переносе наблюдаемых признаков функционирования ее элементов в единое метрическое информационное пространство на основе предложенных к использованию показателей организованности R и R_S , которые характеризуют отражение дискретных систем через свои части с различных сторон, – определённости и неопределённости, соответственно.

Под показателем организованности R дискретной системы будем понимать количественную оценку организованности системы в отношении состава, структуры и свойств как на уровне всей системы в целом, так и на уровне подсистем и элементов [3]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M_A} \log_2 \left(m_i + \frac{1}{N} \right)}{\log_2 (M_A + 1)}, \quad (1)$$

где M_A - число элементов системы A ;

N - число частей, на которое делится система A в плоскости признака ее рассмотрения;

m_i - число элементов в i -части системы A .

Под энтропийным показателем организованности R_S системы будем понимать величину обратную R

$$R_S = \frac{-\sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M_A} \log_2 \left(\frac{m_i}{M_A} \right)}{\log_2 (M_A + 1)}. \quad (2)$$

С практической точки зрения при анализе состояния ССДТС увеличение энтропийного показателя организованности R_S может свидетельствовать о признаках реорганизации системы или ее разрушения. В то же время уменьшение значения R_S свидетельствует о развитии системы, ее более высокой степени организованности.

Рассмотрим возможность построения модели ССДТС на основе выражений (1) и (2). Область возможных значений принимаемых показателями организованности дискретных систем R и R_S , (ограниченных $R^{\max}, R^{\min}, R_S^{\max}, R_S^{\min}$) при фиксированном количестве частей системы N , будем называть информационным полем представления дискретных систем.

С целью выявления информативных признаков функционирования ССДТС проведем исследование закономерностей изменения значений показателя организованности ССДТС в зависимости от изменения пространственного положения ее элементов (ТРД), их численного состава и распределения частотного ресурса между ними.

2. Модель ССДТС в пространстве состояний организованности многоэлементных регулярных кластерных структур

В качестве такого признака будем рассматривать распределение частотного ресурса между ТРД ССДТС.

По значениям признака частоты ТРД $P_B = P_{B_1}, P_{B_2}, \dots, P_{B_N}$ ССДТС делится на N частей в виде совокупности конечных множеств $B_{f1}, B_{f2}, \dots, B_{fN}$, каждое из которых отражает о системе определённую информацию, численно равную негэнтропии отражения. Рассмотрим ССДТС в виде набора частных моделей дискретной системы в плоскости частотного признака ее функционирования:

Рассмотрим частный случай, когда общее число элементов системы ТРД ССДТС и количество частот используемых ТРД постоянно ($M_A = const, N = const$). Происходит формирование новых кластеров за счет перераспределения выделенных ССДТС частот между ТРД.

В качестве примера рассмотрим ССДТС состоящую из 10 ТРД и использующую набор из пяти частот ($f1, f2, f3, f4, f5$). В этом случае, по значениям признака рабочей частоты ТРД ($P_{Bf} = P_{Bf1}, P_{Bf2}, P_{Bf3}, P_{Bf4}, P_{Bf5}$) система делится на пять частей в виде совокупности конечных множеств $B_{f1}, B_{f2}, B_{f3}, B_{f4}, B_{f5}$.

За время наблюдения происходит перераспределение частот между ТРД. Графическое отображение состояний ССДТС в информационном поле представления дискретных систем в соответствии с выражениями (1) и (2), для указанного случая, представлено на рисунке 2. Как видно из рисунка значения R_s лежат в пространстве возможных значений ограниченных функциями R_s^{\max} и R_s^{\min} .

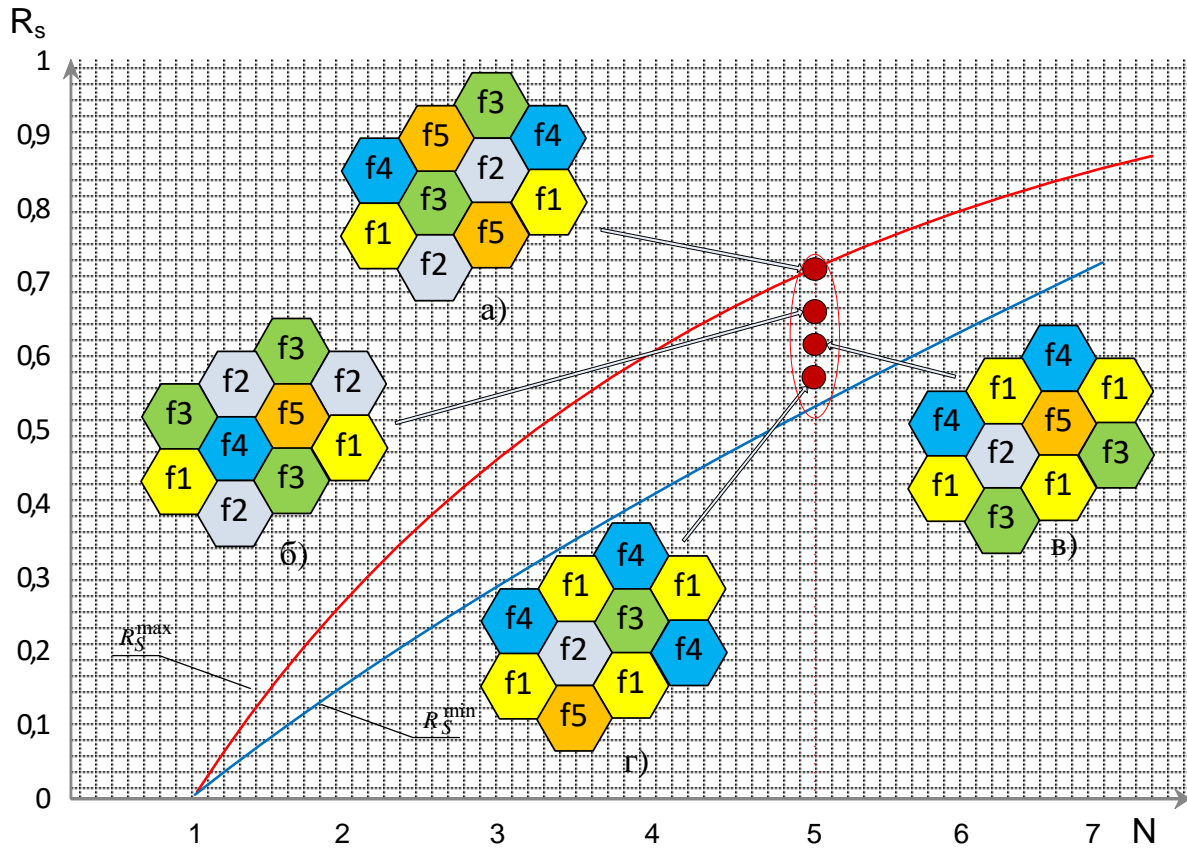


Рис. 2. Пример возможных состояний ССДТС состоящей из 10 ТРД (M_A) использующих 5 частот в информационном поле представления дискретных систем.

Как было ранее отмечено, при формировании регулярных структур могут использоваться кластеры с разным числом элементов. При изменении числа элементов кластера ССДТС - изменяется набор частот используемых ССДТС, что влечет за собой перераспределение частот между ТРД.

Графическое отображение взаимосвязи изменения значения энтропийного показателя организованности в пространстве возможных состояний ССДТС

состоящей из 10 ТРД и изменения числа используемых системой частот представлено рисунке 3.

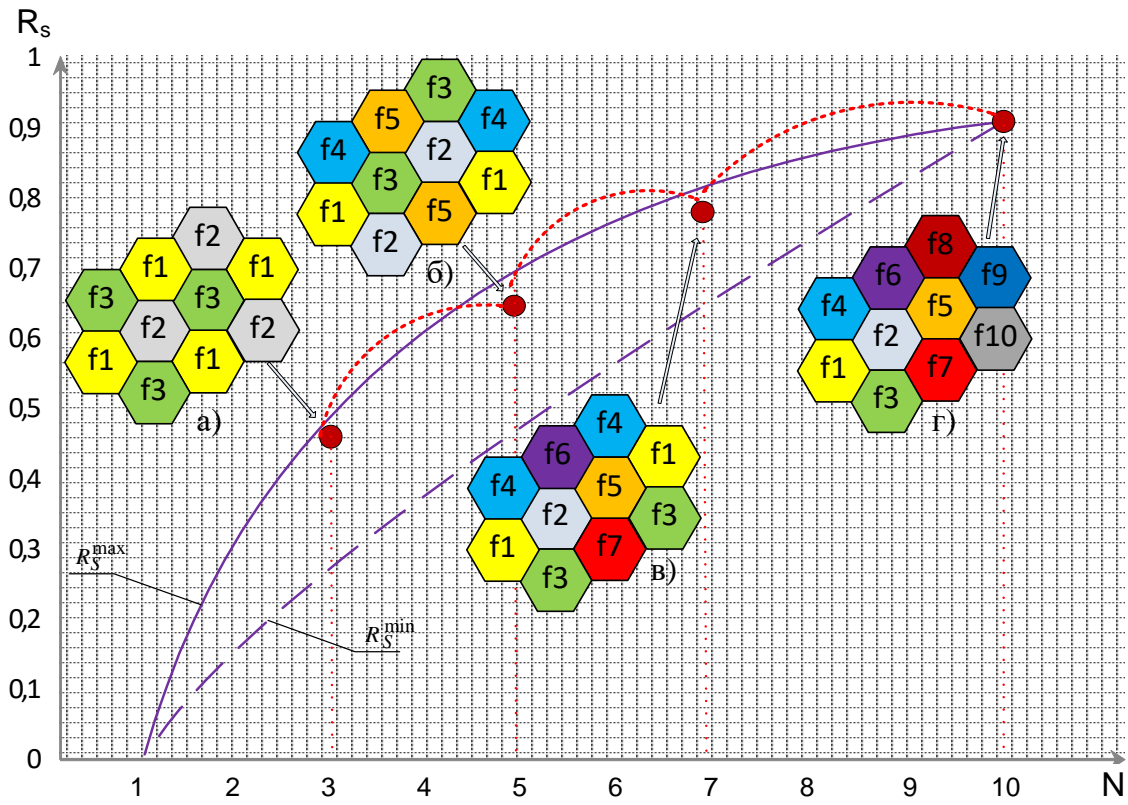


Рис. 3. Пример возможных состояний ССДТС из 10 ТРД (M_A) в информационном поле представления дискретных систем (где варианту а) соответствует набор из трех частот, б) - 5, в) - 7 г) - 10 частот).

Как видно из рисунка, увеличение числа используемых ССДТС частот при фиксированном числе ТРД ведет к росту значения показателя R_S , который достигает своего максимального значения, когда каждая ТРД работает на своей частоте (рисунок 3г). Очевидно, что при сокращении числа используемых ССДТС частот и увеличении случаев повторного использования частот наблюдается уменьшение значения показателя R_S (рисунок 3 а,б,в).

График зависимости энтропийного показателя организованности ССДТС от числа ТРД, использующих 5 частот, представлен на рисунке 4.

Проведенные исследования модели ССДТС в пространстве состояний организованности многоэлементных регулярных кластерных структур показали, что возможные значения показателя организованности при

фиксированном числе ТРД в плоскости частотного признака ее функционирования, могут принимать значения в пределах области, ограниченной функциями R_S^{\max} и R_S^{\min} . Каждое состояние ССДТС может быть охарактеризовано значением показателя организованности дискретной системы. При этом значения показателей организованности R и R_s , что наиболее важно, уникальны для каждого отдельно взятого состояния ССДТС.

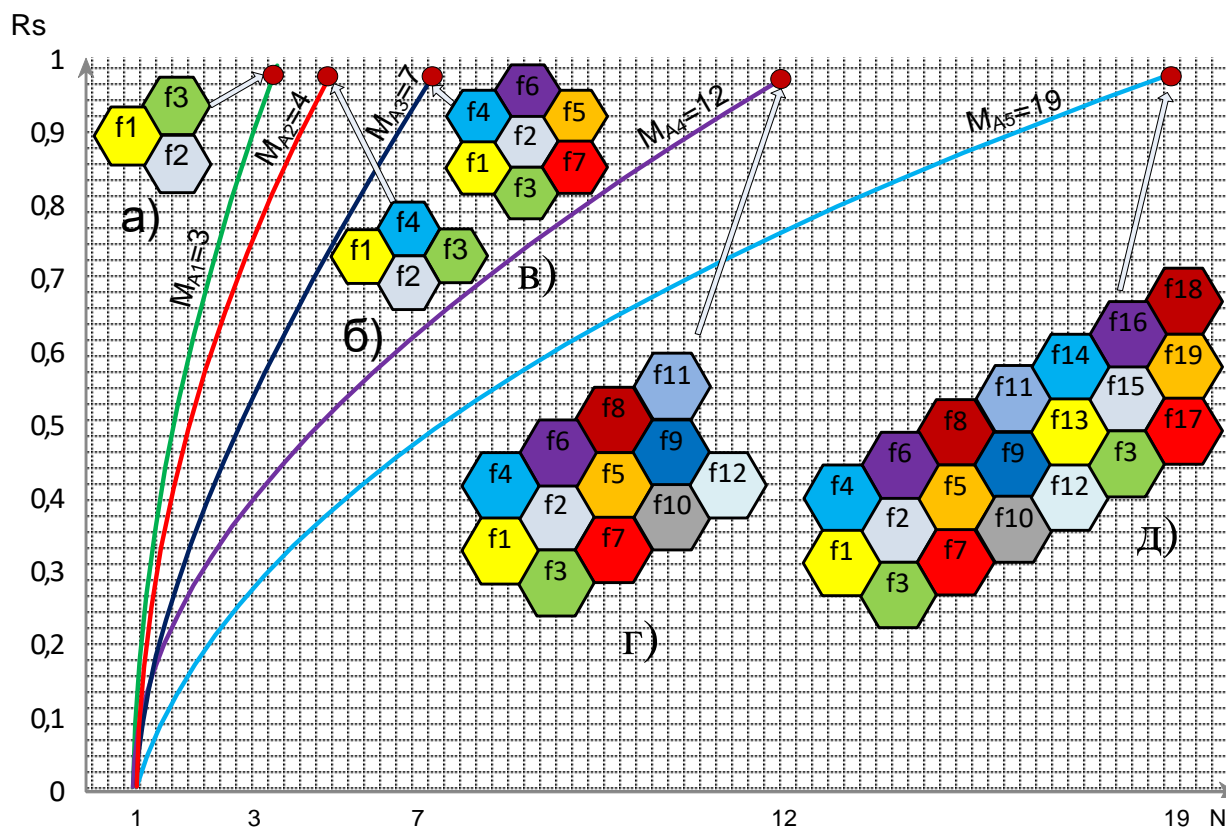


Рис. 4. Пример возможных состояний ССДТС использующих 5 частот в информационном поле представления дискретных систем (типичные многоэлементные кластеры: а) 3-элементный; б) 4- элементный; в) 7- элементный; г) 12- элементный; д) 19- элементный).

Вывод

Таким образом, полученная взаимосвязь поведения элементов системы и информации о ее организованности позволяет классифицировать все состояния систем связи с динамической топологией сети в зависимости от общего количества их элементов и числа частей, сформированных по признаку частотного распределения ресурса между ТРД, и решать задачу распознавания состояния частично наблюдаемых систем.

Литература

1. Маковский В.Н., Зайцев И.Е., Сайбель А.Г. Координатометрия мобильных абонентов: проблемы, методы и решения. *Информация и космос: научно-технический журнал*. СПб.: Санкт-Петербургская научно-техническая общественная организация «Институт телекоммуникаций». 2005. №2. С.30-36.
2. Маковский В.Н., Данилюк А.С., Доброгорский Н.И. Модель процесса обнаружения сигналов баллистически связанной орбитальной группой космических аппаратов. *Естественные и технические науки*. 2019. №12(138). С.338-341.
3. Маковский В.Н., Чеботарь И.В., Кузьмин В.В. и др. Методы оценивания пространственных характеристик мобильных абонентов. *Антенны*. 2014. Т.10. №11. С.38–42.
4. Маковский В.Н., Еремеев И.Ю., Свистунов Ф.Н. Энтропийный метод распознавания состояния системы связи с динамической топологией сети. *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. Вып. 650. 2016. С.41 - 47.
5. Маковский В.Н., Данилюк А.И. Теоретико-информационный подход при решении задач наблюдения подвижных систем связи. *Естественные и технические науки*. 2018. №10(124). С.148-151.

Для цитирования:

Маковский В.Н., Рахматулин А.М., Смирнов А.Н. Модель системы связи с динамической топологией сети на основе многоэлементных регулярных кластерных структур в информационном поле представления дискретных систем. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2021. №4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.13>