

УДК 004.75

А.С. Епифанов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ МОБИЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются вопросы оценивания функциональной целостности в групповом управлении децентрализованных самоорганизующихся систем типа «рой». Рассматриваются свойства самоорганизующихся систем, особенности их функционирования. Предлагаются показатели для оценивания функциональной целостности децентрализованных самоорганизующихся систем.

Ключевые слова: роевой интеллект; децентрализованная мобильная система; функциональная целостность.

Введение

Постановка проблемы и анализ исследований и публикаций. В последнее время широкий интерес вызывают исследования самоорганизующихся децентрализованных мобильных систем. Для решения задачи коллективного управления множеством однотипных объектов применяют роевой интеллект (Swarm Intelligence) [1]. Большинство алгоритмов роевого интеллекта являются алгоритмами оптимизации для решения одной узкоспециализированной задачи.

Важной составляющей управляющих алгоритмов являются алгоритмы обеспечения коммуникации между объектами, составляющими рой [2, 3]. Объекты роя способны перемещаться в пространстве, поэтому единственным способом передачи остается беспроводная связь. Поскольку среда передачи сигнала едина для всех объектов роя, неизбежны коллизии передачи.

Это накладывает ограничения на допустимое расстояние передачи сигнала. Кроме того, часть объектов, составляющих рой, выполняет функции по обеспечению коммуникации между остальными объектами.

Это предполагает, что рой должен обладать некоторой избыточностью.

В таких условиях коммуникация в рое представляет собой пространственно расположенный граф. В этом графе объекты связаны только с несколькими ближайшими, образуя подграф или некую группу. В этом случае можно считать, что эта группа может быть представлена в виде целостной функциональной единицы – кластера. И весь рой будет представлять собой множество кластеров.

Согласно [4] сохранение основных функций системы во время ее функционирования называют *функциональной целостностью (ФЦ)*.

Более строго ФЦ предлагается определять как набор характеристик, которые показывают готов-

ность системы к выполнению задачи, несмотря на влияние внешних условий.

Множественная кластерная структура роя такова, что каждый кластер является динамически конфигурируемым. Это связано со свойствами мобильности каждого объекта в рое. Обычно узлы, включаемые в кластер, являются стационарными. Роли, присваиваемые узлам, являются мобильными. В зависимости от внешних условий, роль «узла кластера» может перемещаться между существующими в сети узлами.

Поэтому концепция кластерной структуры может быть применена к структуре роя. Кроме того, понятие «функциональная целостность» может быть использовано и для динамически конфигурируемого кластера.

Функциональность отдельного кластера зависит от связности каждого узла с кластером и степени функциональности этого узла. В

системе рой происходит эффект постоянного переконфигурирования кластеров поэтому задача оценки функциональной целостности распределенной мобильной системы является актуальной задачей.

Анализ публикаций [4 – 8], показал, что вычисление показателя функциональной целостности не формализовано и неоднозначно. Целесообразно этот показатель представлять некоторой интегральной оценкой охватывающей простые в вычислении показатели.

Целью статьи является оценивание функциональной целостности и формирование характеристик для определения интегрального показателя функциональной целостности.

Концепция оценивания функциональной целостности

Пусть $G = (N, V)$ – граф, описывающий текущее пространственное расположение узлов и соответствующих им каналов передачи данных, где N –

множество всех узлов графа, V – множество связей, представляющие каналы передачи данных между ближайшими объектами.

Определим $n=|N|$ – количество узлов графа.

Управляющие программы узла предполагают, что каждый узел может выполнять функции в рамках одной или нескольких заранее определённых ролей.

На децентрализованную мобильную систему влияют внешние условия. Эти условия могут приводить как к потере коммуникации между узлами, так и к выходу некоторых узлов и строя.

Если при этом система остаётся способной на выполнение поставленной задачи, то можно говорить о высокой функциональной целостности системы.

Для формализации оценки функциональной целостности предлагается использовать набор

$$(L, Z, S),$$

где L – связность,

Z – масштабируемость,

S – устойчивость.

Устойчивость S – способность системы выполнять задачу независимо от изменения количества задействованных объектов (узлов).

Связность L – способность системы оставаться связанной при нарушениях существующих внутри системы каналов передачи данных.

Масштабируемость Z – сохранение приемлемого быстродействия при изменении количества задействованных объектов (узлов).

Иными словами, функциональную целостность мобильной децентрализованной системы можно определить как некоторую функцию

$$I(L, Z, R).$$

Оценка функциональной целостности

Рассмотрим более подробно особенности вычисления каждой из предложенных оценок.

1. Как указывалось, устойчивость – это способность роя выполнять задачи при изъятии некоторого количества узлов.

Пусть для задачи, поставленной перед роем, определено минимальное количество узлов n_T с ролью, отвечающей непосредственно за выполнение задачи, а также минимальное количество узлов n_C с ролью обеспечения коммуникации между узлами.

Следовательно, устойчивость предлагается оценивать коэффициентом:

$$S(G) = \frac{n}{(n_T + n_C)}$$

где $n=|N|$ – количество узлов графа.

Случаи, при которых $S(G) < 1$, приводят к полной неработоспособности роя и нами не рассматриваются.

Область значений параметра S лежит в интервале $[1; +\infty]$. Чем больше значение параметра $S(G)$, тем рой устойчивее к изъятию из него узлов.

Устойчивость зависит от условий, в которых работает рой.

Так как объекты роя перемещаются в пространстве, возможно нарушение существующих путей передачи данных или потеря связности между частями роя.

2. Связность L зависит от расположения узлов в пространстве и их количества. Кроме того, все узлы в мобильной децентрализованной системе могут перемещаться. Из-за этого возможна ситуация, при которой некоторые связи будут разорваны, например, из-за увеличения расстояния между соответствующими узлами.

Помимо этого, некоторые узлы могут выйти из строя, что приведёт к разрыву соответствующих узлам связей. При этом в графе могут образовываться участки, не имеющие связей с остальной частью графа.

Предположим, что в процессе работы роя сложилась следующая ситуация. Из-за перемещения узлов были потеряны несколько установившихся связей $V_S \in V$, а также вышли из строя несколько узлов $D \in N$.

При этом вместе с узлами из множества D были разорваны соответствующие им связи

$$V_D \in V, V_D = \{(n_d, n_i), n_d \in D, n_i \in N\}.$$

Предположим, что потеря связей V_S и узлов D приводит к разделению графа G на несколько непересекающихся графов G_i , таких что $G_i \in G$ для любого i , и $G_i \cap G_j = \emptyset$ для любых i, j .

В таком случае существует минимальный набор (D, V_S) , при котором

$$\forall G_i \rightarrow S(G_i) < 1,$$

а связностью L будем называть количество узлов и связей такого набора:

$$L = |D| + |V_S|.$$

Область значения параметра связности находится в интервале $[1; |N|+|V|]$, причем, чем больше значение параметра, тем больше узлов и связей необходимо удалить из роя, чтобы нарушить связность.

3. В свою очередь, масштабируемость предлагается оценивать как увеличение среднего вре-

мени построения маршрута между узлами при увеличении количества задействованных в рое объектов. То есть, относительным ростом функции зависимости времени построения маршрута $T_1(n)$ от количества узлов в сети для текущего количества узлов:

$$Z = \frac{T_1(n+1) - T_1(n)}{T_1(n)}.$$

Предполагается, что функция зависимости количества времени, необходимого для построения маршрута между узлами $T_1(n)$ неубывающая. Тогда область значения параметра Z находится в интервале $[0; +\infty)$. Чем меньше значение параметра Z , тем меньше потери времени при добавлении новых узлов.

Как указывалось, функциональная целостность – это комплексная оценка. Она представляет собой некоторую функцию

$$I(L, Z, R).$$

Примем структуру этой функции в виде простой суммы. В этом случае необходимо, чтобы все показатели были однородными и монотонно возрастающими на интервале $[0,1]$ при получении лучших значений.

Все значения показателей должны быть нормализованы.

Нормализованное значение для $S(G)$ предлагается вычислять по формуле:

$$S^* = 1 - \frac{1}{S}.$$

Для нормализации параметра L предлагается использовать формулу:

$$L^* = \frac{L}{|N| + |V|}.$$

Для нормализации параметра Z предлагается использовать формулу:

$$Z^* = \frac{1}{(1+Z)}.$$

Выберем пороги использования характеристик L^* , Z^* , S^* . Примем, что при значении указанных характеристик на интервале $[0; 0,2]$ система не функциональна.

Предлагается использовать формулу для получения значения параметра функциональной целостности I :

$$\begin{cases} I = \frac{L^* + Z^* + S^*}{3}; \\ L^* > 0,2; Z^* > 0,2; S^* > 0,2. \end{cases} \quad (1)$$

Функциональная целостность, определенная по формуле (1), отражает общее состояние децентрализованной мобильной системы.

Также изменение вычисленного значения I показывает динамику изменения состояния роа и его пригодность для выполнения поставленной перед ним задачи.

Значение параметра I лежит в интервале $[0; 1]$. При значениях параметра $I \in [0,7; 1]$ функциональная целостность системы высока, и работу системы очень сложно нарушить.

При значениях параметра $I \in (0,2; 0,4]$ функциональная целостность низкая, разрушение функциональности системы может произойти в любой момент.

При промежуточных значениях параметра I , т. е. $I \in (0,4; 0,7)$, система в целом стабильна, функциональна, но при некоторых условиях работоспособность системы может быть нарушена.

Примеры использования

Пример 1.

Рассмотрим роа, состоящий из $n=100$ объектов. Коммуникация в роа обеспечивается $|V|=200$ установленными связями. При этом непосредственно поставленную перед роа задачу выполняет $n_T = 40$ объектов.

Минимальное количество узлов, необходимых для обеспечения коммуникации составляет $n_C = 10$ узлов.

Пространственное расположение элементов роа предполагает, что для нарушения функциональности необходимо изъять 40 узлов и соответствующих ему связей, а также 60 связей.

Кроме того, опытным путём было вычислено значение параметра $Z = 0,03$.

Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение показателей функциональной целостности для примера 1

L	Z	S	L*	Z*	S*	I
100	0,03	2	0,33	0,97	0,5	0,6

Значение параметра I показывает, что функциональная целостность на достаточно высоком уровне для обеспечения выполнения задач роа.

Пример 2.

Рассмотрим роа, состоящий из $n=100$ объектов. Коммуникация в роа обеспечивается $|V|=200$ установленными связями. При этом непосредственно

венно поставлену перед роем задачу виконує $n_T=60$ об'єктів.

Мінімальне кількість вузів, необхідних для забезпечення комунікації становить $n_C = 20$ вузів.

Просторове розташування елементів роя передбачає, що для порушення функціональності необхідно ізняти 10 вузів і відповідних їм зв'язей, а так же 30 зв'язей.

Крім того, опитним путєм було вивчено значення параметра $Z=0,2$. Таким образом, $L = 40$.

Результати сведены в табл. 2.

Таблиця 2

Значення показателів функціональної цілісності для прикладу 2

L	Z	S	L*	Z*	S*	I
40	0,2	1,25	0,13	0,83	0,2	0,39

В даному випадку видно, що рой здатний виконувати поставлену перед ним задачу, але функціональна цілісність роя не гарантує успішного виконання завдань.

Висновки

Розглянуті особливості функціонування та передачі даних в децентралізованих мобільних системах. Предложено оцінки функціональної цілісності системи.

Предложенные характеристики децентралізованої мобільної системи можуть бути використані при розробці алгоритмів комунікації та управління, а також при експлуатації як показателі функціональної цілісності мобільних систем.

Предложенные характеристики могут быть использованы для оценки функциональной целостности вычислительного кластера.

Научная новизна заключается в разработке показателей для оценивания функциональной целостности мобильных децентрализованных систем.

Практическая ценность заключается в экономии времени при разработке децентрализованных мобильных систем и увеличении надёжности таких систем за счёт предварительной оценки условий их работы.

Список литературы

1. Simon D. *Evolutionary optimization algorithms*. – John Wiley & Sons, 2013.
2. Engelbrecht A. P. *Fundamentals of computational swarm intelligence*. – John Wiley & Sons, 2006.
3. Ducatelle F., Di Caro G. A., Gambardella L. M. *Principles and applications of swarm intelligence for adaptive routing in telecommunications networks // Swarm Intelligence*. – 2010. – Т. 4. – №. 3. – С. 173-198.
4. Cetnarowicz K., Drezewski R. *Maintaining functional integrity in multi-agent systems for resource allocation // Computing and Informatics*. – 2010. – Т. 29. – №. 6. – С. 947-973.
5. Paul A. K. *Experimental exploration of functional integrity, functional reliability and reliability of modern power electronics equipments // International Journal of Power Electronics*. – 2011. – Т. 3. – №. 4. – С. 374-398.
6. Sharma R. K., Ghose D. *Collision avoidance between uav clusters using swarm intelligence techniques // International Journal of Systems Science*. – 2009. – Т. 40. – №. 5. – С. 521-538.
7. Jamont J. P., Ocelllo M., Lagrèze A. *A decentralized self-organized approach for wireless sensor networks // Design Methods and Applications for Distributed Embedded Systems*. – Springer US, 2004. – С. 123-132.
8. Piętak K. et al. *Functional integrity of multi-agent computational system supported by component-based implementation // International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. – С. 82-91.

Надійшла до редакції 16.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Філатов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ПОКАЗНИКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЦІЛІСНОСТІ МОБІЛЬНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ

А.С. Єпіфанов

У статті розглядаються питання оцінювання функціональної цілісності в груповому управлінні децентралізованих систем, що самоорганізуються. Розглядаються властивості систем, що самоорганізуються, особливості їх функціонування. Пропонуються показники для оцінювання функціональної цілісності децентралізованих систем, що самоорганізуються.

Ключові слова: ройовий інтелект; децентралізована мобільна система; функціональна цілісність.

INDICATORS FOR ASSESSING THE FUNCTIONAL INTEGRITY OF MOBILE DISTRIBUTED SYSTEMS

A.S. Yepifanov

The article deals with the issues of evaluating functional integrity in the group management of decentralized self-organizing systems of the "swarm" type. The properties of self-organizing systems, features of their functioning are considered. Estimates of the functional integrity of decentralized self-organizing systems are proposed.

Keywords: Swarm Intelligence, Decentralized Mobile System, Functional Integrity.