

УДК 004.942
<https://www.doi.org/10.47813/dnit-III.2024.11.3004>

EDN [LBNDHK](#)

Формализация условий реализуемости и допустимости подсетей в GERT-сетевых моделях

В.А. Подоплелова

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

E-mail: podoplelovava@mail.ru

Аннотация. В статье в рамках нотации К. Neuman предлагается формализация условий реализуемости и допустимости подсетей в GERT-сетевых моделях. Сформулирован ряд условий, которым должна отвечать подсеть. С учетом введенных условий и правил с использованием GERT-подобной узловой логики обеспечивается допустимое исполнение подсети, для чего при необходимости вводится дополнительная «фиктивная» деятельность на дуге (с использованием вспомогательных узлов). Предложенный подход позволяет выполнять графоаналитическое моделирование современных информационных, технологических, транспортных и производственных систем, процессы в которых характеризуются вложенностью циклов на многих структурных уровнях.

Ключевые слова: GERT-сетевых моделях, графоаналитическое моделирование.

Formalization of conditions for the feasibility and admissibility of subnets in GERT network models

V.A. Podoplelova

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
Sochi State University, Sochi, Russia

E-mail: podoplelovava@mail.ru

Abstract. The article, within the framework of the K. Neuman notation, proposes a formalization of the conditions for the feasibility and admissibility of subnets in GERT network models. A number of conditions have been formulated that the subnetwork must meet. Taking into account the entered conditions and rules, using GERT-like nodal logic, the executability of the subnet is ensured, for which, if necessary, additional “fictitious” activity is introduced on the arc (using auxiliary nodes). The proposed approach makes it possible to perform graphic-analytical modeling of modern information, technological, transport and production systems, the processes in which are characterized by nesting of cycles at many structural levels.

Keywords: GERT network models, graphic-analytical modeling.

1. Введение

Графоаналитические методы моделирования на основе GERT-сетей активно применяются во многих отраслях деятельности [1-5]. GERT-сети являются основой метода графической оценки и анализа [6-8], базирующегося на основных понятиях из теории графов и сетей [9-11]. В литературе по теории графов, в которой терминология достаточно стандартизована, есть разные определения концепции сетей. В основном, каждый взвешенный ориентированный граф, как правило, определяется в качестве сети. Предполагается, что сеть не имеет изолированных узлов, потому что большинство взвешенных ориентированных графов в приложениях (например, в планировании проектов, в задачах нахождения кратчайших путей, транспортных задачах, в задачах анализа потоков сетей и т.п. [12, 13]) обладают определенными свойствами.

В [8], в частности, дается следующее определение.

Взвешенный ориентированный граф без изолированных узлов называется сетью. Мы говорим о сети N с источниками и стоками, если

- N содержит по меньшей мере один источник и по меньшей мере один сток;
- каждый узел N достижим по крайней мере из одного источника и от каждого узла достижим по крайней мере один сток.

Причина введения понятия сети с источниками и стоками заключается в том, что сетевые графики представляют собой сети с источниками и стоками.

Так как современные информационные, технологические, транспортные и производственные процессы обладают сложной многоуровневой структурой [12-15], возникает необходимость рассмотрения GERT-сети, состоящей из множества подсетей, для которых важным этапом исследования является формализация условий реализуемости и допустимости подсетей в GERT-сетевых моделях [16-18].

2. Материалы и методы

Введем следующее обозначение: N' - подсеть GERT-сети N с множеством узлов V' и множеством источников R' . Предполагается, что узлы, принадлежащие N' , являются узлами такого же типа, как и соответствующие узлы GERT-сети N . В общем случае подсеть N' может не представлять собой GERT-сеть в том случае, когда она рассматривается как отдельный объект.

В подсети $N' \mid R' \mid > 1$ должны выполняться условия GERT-узловой логики, если подсеть N' используется для представления GERT сети. Начальное распределение N'

может быть не известно, так как, согласно [8] рассматриваются подсети, которые могут быть сведены к STEOR сетям (рассматриваются переходы от их источников к стокам).

3. Результаты и обсуждение

Установим ряд условий, которым должна отвечать подсеть.

Условие (1). Каждый входной узел подсети N' является источником N' , и каждый выходной узел N' является стоком N' . Это гарантирует, что N' представляет собой сеть с источниками и стоками. Мы можем рассматривать ее как самостоятельную подсеть. При этом все входные и выходные узлы подсети N' имеют тот же тип, что и узлы сети N . Из этого условия также следует, что ни один входной и выходной узел подсети N' не принадлежит циклу, который может иметь место в N' .

Однако, это не противоречит тому, что есть вероятность вхождения входного или выходного узла N' в цикл C в сети N (при условии, что C не лежит полностью в N'). Таким образом, если мы будем рассматривать подсети N' в рамках заданной GERT-сети N , то данное условие (1) всегда будет выполняться с учетом того, что при необходимости его соблюдения для выявленных нарушений вводится дополнительная «фиктивная» деятельность на дуге (с использованием вспомогательных узлов).

Чтобы удовлетворить условию, когда подсеть N' считается отдельной сущностью, мы устанавливается следующее правило: у каждого входного узла подсети N' есть EOR-вход, и у каждого выходного узла есть стохастический выход. В [8] показано, что данное правило также может быть выполнено путем добавления фиктивной деятельности при необходимости.

Следует отметить, что не только подсеть N' , но и GERT-сеть N может быть модифицирована таким образом. Важно, что такие изменения для допустимой GERT-сети N и n -й подсети из N' , не влияют на алгоритмы, обеспечивающие временной анализ N .

Выше отмечалось, что узлы подсети N' в GERT-сети N должны быть того же типа, что и соответствующие узлы в сети N . Подсеть N' из GERT-сети N называется полной, если она индуцируется некоторым подмножеством множества узлов из N , и, если она удовлетворяет условию и правилам, введенным ранее. Для того, что полная подсеть N' представляла собой GERT-сеть, должно выполняться дополнительное условие, которое гарантирует следующее (а): различные источники (и стоки) подсети N' не достижимы из любой другой не N' подсети.

Введем следующее определение. Полная подсеть N' из GERT-сети N называется GERT-подсетью, если соблюдено следующее условие (а):

- во время каждого исполнения N , как минимум, один из источников, из которого достижим один и тот же сток подсети N' активируется. Каждая полная подсеть с одним источником представляет собой GERT-подсеть.

Утверждение, соответствующее условию (а), можно считать "глобальным" условием для состояний сети, удовлетворение которого зависит не только от структуры подсети N' , но и от той части GERT-сети N , которая предшествует N' .

Примером GERT-подсети является подсеть $N(i)$, индуцированная $R(i)$, где i - любой узел основной GERT-сети N , при условии, что все правила GERT-подобной узловой логики соблюдены. Последнее условие всегда предполагается выполненным, если мы говорим о "GERT-подсети $N(i)$ ".

Из приведенных нами определений и условий можно сделать следующее заключение. GERT-подсеть N' GERT-сети представляет собой GERT-сеть (без начального распределения), если подсеть N' рассматривается изолированно (как отдельная сущность). Сформулируем условия реализуемости и допустимости GERT-подсети:

- Под исполнением (или, соответственно, реализацией) в рамках GERT-сети подсети N' мы имеем в виду исполнение (или, соответственно, реализацию) подсети N' , которая рассматривается как отдельная GERT-сеть.
- GERT-подсеть N' называется допустимой, если N' рассматривается изолированно (как отдельная сущность) и является допустимой GERT-сетью. То есть, очевидно, что каждая GERT-подсеть допустимой GERT-сети допустима.

4. Заключение

Таким образом, на основе методологии К. Neuman [9] в статье представлен подход к формализации условий реализуемости и допустимости подсетей в GERT-сетевых моделях. Это позволяет выполнять графоаналитическое моделирование современных информационных, технологических, транспортных и производственных систем, процессы в которых характеризуются вложенностью циклов на многих структурных уровнях. В этом случае GERT-сеть рассматривается как сеть, состоящая из множества GERT-подсетей, для которых сформулированы условия реализуемости и допустимости. Использование предложенной формализации данных условий позволит

принимать обоснованные решения относительно реализуемости полной сети, обобщая данные, полученные на уровне моделирования подсетей.

Список литературы

1. Ковалев И.В. Методология оценки и повышения надежности программно-информационных технологий и структур: монография / И.В. Ковалев, Т.И. Семенко, Р.Ю. Царев // Федер. агентство по образованию, Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: КГТУ, 2005. – 160 с. – ISBN 5-7636-0719-1. – EDN QMPHWR
2. Kovalev I. The efficiency analysis of the automated plants / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XVII International Scientific Conference "Reshetnev Readings", Krasnoyarsk, 12–14 November 2014. Vol. 70. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2015. – P. 012007. – DOI 10.1088/1757-899X/70/1/012007. – EDN UEMYRJ
3. Распопин Н.А. Модели и методы оптимизации сбора и обработки информации / Н.А. Распопин, М.В. Карасева, П.В. Зеленков [и др.] // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – № 2(42). – С. 69-72. – EDN PBYXSD
4. Kovalev I.V. Multiversion environment creation for control algorithm execution by autonomous unmanned objects / I.V. Kovalev, P.V. Zelenkov, V.V. Losev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 5th International Workshop on Mathematical Models and their Applications 2016, IWMA 2016, Krasnoyarsk, 07–09 ноября 2016 года. Vol. 173. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012025. – DOI 10.1088/1757-899X/173/1/012025. – EDN YVPDPB
5. Saramud M.V. Development of methods for equivalent transformation of GERT networks for application in multi-version software / M.V. Saramud, P.V. Zelenkov, I.V. Kovalev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, 11–15 April 2016. Vol. 155. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2016. – P. 012015. – DOI 10.1088/1757-899X/155/1/012015. – EDN YVDFAL
6. Kovalev I. The Efficiency Analysis of Automated Lines of Companies Based on DEA Method / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. – 2014. – Vol. 675. – P. 107-115. – DOI 10.1007/978-3-319-03907-7_12. – EDN UFMVAV

7. Kovalev I. Model implementation of the simulation environment of voting algorithms, as a dynamic system for increasing the reliability of the control complex of autonomous unmanned objects / I. Kovalev, V. Losev, M. Saramud, M. Petrosyan // MATEC Web of Conferences, Rostov-on-Don, 13–15 September 2017. Vol. 132. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2017. – P. 04011. – DOI 10.1051/mateconf/201713204011. – EDN XNKSVN.
8. Neuman K. Stochastic Project Networks. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 1990. – 237 p
9. Kovalev I.V. GERT analysis of UAV transport technological cycles when used in precision agriculture / I.V. Kovalev, D.I. Kovalev, A.A. Voroshilova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 1076, No. 1. – P. 012055. – DOI 10.1088/1755-1315/1076/1/012055. – EDN ULLRWB
10. Панфилова Т.А. Модель функционирования программной системы на основе GERT-сети / Т.А. Панфилова, И.А. Панфилов, В.В. Золотарев [и др.] // Сибирский журнал науки и технологий. – 2017. – Т. 18, № 4. – С. 773-778. – EDN FHZVXK
11. Ковалев И.В. К вопросу минимизации затрат в GERT-сетевых моделях транспортно-технологических циклов БПЛА / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, К.Д. Астанакулов [и др.] // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. № 2(41). – С. 30-31. – DOI 10.26102/2310-6018/2023.41.2.014. – EDN RYOYMW
12. Kozlova M.F. Multi-stage analysis of business processes using GERT-networks / M.F. Kozlova // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. – 2021. – No. 20. – P. 343-345. – EDN FVBQHO
13. Ковалев И.В. GERT-сетевой анализ мультиверсионных программных архитектур информационно-управляющих систем / И.В. Ковалев, П.В. Ковалев, А.И. Кудинкин, Ю.А. Нургалева // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 8. – С. 1-7. – EDN MUFZIT
14. Ковалев И.В. Анализ аппарата GERT-сетей для оценки вероятностной составляющей временных характеристик в многоконтурных системах управления АСУ ТП / И.В. Ковалев, В.В. Лосев, А.О. Калинин, М.В. Сарамуд // Наука, технологии, общество: экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий : сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции с международным участием, Красноярск, 16–18 ноября 2022 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники

- Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2022. – С. 536-541. – EDN NXXKDI
15. Ковалев И.В. Анализ и оптимизация бизнес-процессов с использованием GERT сети / И.В. Ковалев, М.Ф. Козлова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 томах, Красноярск, 12–16 апреля 2021 года / Под общей редакцией Ю. Ю. Логинова. Том 2. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 152-154. – EDN SXOTNK.
16. Ковалев И.В. Формализация организационной структуры предприятия на основе сетевой GERT-модели / И.В. Ковалев, М.Ф. Иконникова, В.А. Подоппелова // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2023. – № 3. – С. 144-156. – DOI 10.18137/RNU.V9187.23.03. P.144. – EDN CTCNNW.
17. Kovalev I.V. Computational approach to the structure spectral analysis of GERT-network models of mobile object monitoring systems / I.V. Kovalev, D.I. Kovalev, N.A. Testoyedov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022), Krasnoyarsk, 03–05 March 2022. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 52003. – DOI 10.1088/1742-6596/2373/5/052003. – EDN ORXQBM.
18. Podoplelova V.A. Review of research in the field of GERT analysis of transport and technological cycles / V.A. Podoplelova // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – P. 785-788. – EDN GCSTJM.