УДК 519.178 DOI 10.17223/20710410/63/6

КОНТЕКСТНЫЙ АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ ДВУХПОЛЮСНЫХ СТРУКТУР[1]

А. С. Лосев

ИПМ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

E-mail: A.S.Losev@yandex.ru

Разрабатывается способ повышения вероятности связности двухполюсника, состоящего из низконадёжных рёбер. Методами контекстного анализа выделяется множество доминант, к которому относятся рёбра с наибольшим влиянием на связность всего двухполюсника. Разработаны два метода воздействия на множество доминант, приводящие к желаемому эффекту. В результате их сравнительного анализа получены соответствующие условия, позволяющие выбрать подходящий метод в зависимости от структуры двухполюсника.

Ключевые слова: *связность, двухполюсник, множество доминант, сетевые структуры.*

CONTEXTUAL ANALYSIS OF THE BIPOLAR STRUCTURES CONNECTIVITY

A. S. Losev

IAM FEB RAS, Vladivostok, Russia

The paper discusses an original approach to the analysis of network structures of various natures, which are represented in the form of graphs. It is assumed that the probability of connectivity of individual edges functionally depends on their physical characteristics (edge length) and tends to zero. The issue of increasing the connectivity probability of the entire graph is being addressed, which is defined as the probability of the existence of a sequential set of edges connecting the selected start and end vertices. A distinctive feature of the proposed method is the move away from the traditional reservation of obviously weak connection points towards a functional impact on individual connections of the structure, changing their physical characteristics. Based on the theory of systems functioning and the theory of dominants, contextual approach is being developed aimed at identifying the dominant connections of the graph, reflecting the functional and meaningful meaning of the connections between the vertices of the original modeled object. As a result, a set of dominants $\mathcal{S}$ is identified, consisting of edges whose parameters meet the given criteria. The selection criterion is the length of the edge included in the asymptotic relation, which characterizes the connectivity probability of the entire graph. It has been proven that changing the length of edges from a given set by $\varepsilon > 0$ increases the probability of connectedness of the original graph in the maximum case in $h^{-\varepsilon}$ or $h^{-\varepsilon\beta}$ times, where $h \to 0$ and β is a parameter depending on the number of graph paths passing through this edge. Various methods have been proposed to increase the connectivity probability of the graph under consideration: from the point of view of the point effect, by reducing the length of a

[1]Работа выполнена в рамках госзадания ИПМ ДВО РАН № 075-01290-23-00.

single edge from the set $\mathcal{S}$; from the position of influencing the maximum set of edges from $\mathcal{S}$, allowing to obtain the overall maximum effect. A comparative analysis of the proposed ways to increase the probability of graph connectivity has been carried out, and the appropriate conditions have been identified to achieve the maximum effect from the selected methods of influence.

Keywords: *connectivity, bipolar network, set of dominants, network structure.*

Введение

Объёмы передаваемых данных в различных сферах растут с невероятной скоростью и требуют новых математических подходов и методов по их обработке. Существующие мощности обработки не всегда могут охватить весь объём информации и требуют всё большего технического ресурса. В задаче обработки большого количества данных на помощь приходят современные разработки в информационных системах, связанные с распараллеливанием, самообучением и участием искусственного интеллекта [1–4]. Например, в работе [1] на основе методов распараллеливания и самообучения нейросети предлагаются решения нестандартных или нечётко сформулированных задач. В работах [5, 6] исследуются интеллектуальные системы слежения и контроля в непрерывном потоке информации с элементами распознавания объектов и субъектов.

Первоначально задача алгоритмической обработки данных, представленных в виде сетевых структур или графов, связана с исследованиями У. Мак-Каллока в области биологических процессов головного мозга и У. Питтса, работавшего над созданием искусственного интеллекта на основе нейронных сетей [7]. Она нашла своё продолжение во многих исследованиях, в том числе у С. Гроссберга, Т. Кохонена, Д. Хопфилда [8, 9]. Отдельное место данная задача занимает в исследованиях нейропроцессов, моделируемых в нейросетях.

Среди возможных подходов, направленных на решение задачи алгоритмической обработки данных, представленных в виде различных систем, особый интерес представляет теория функционирования систем П. К. Анохина [10]. Он предлагает отбросить догмат о саморегулировании систем и оценивать функционирование сложных систем как совокупность конкретных и частных вопросов, которые решаются с меньшими затруднениями и затратами ресурса. Действительно, с одной стороны, метод декомпозиции существенно уменьшает размерность модели и входных параметров исследуемого объекта. Но, с другой стороны, обладает существенным недостатком: отражая характеристики отдельных частей системы, плохо характеризует объект в целом, упуская из виду возможные синергетические эффекты, возникающие при композиции обработанных частей системы в единое целое. Однако в сочетании с теорией доминант А. А. Ухтомского [11] он позволяет оценить объект в целом. В своих исследованиях А. А. Ухтомский [12] показал, что в любой системе присутствует множество доминант, которое формирует фокус рассмотрения системы в целом, отражая её основные характеристики вплоть до того, что отсутствие доминанты в системе влечёт ликвидацию системы полностью. Таким образом, наблюдается взаимно однозначное соответствие доминанты системы и контекста рассмотрения системы, где изменение одного влечёт изменение другого.

В данной работе методами контекстного анализа исследуется влияние отдельных рёбер двухполюсника на вероятность его связности. Выделяется множество доминант, состоящее из рёбер, оказывающих наибольшее влияние на вероятность связности двухполюсника по сравнению с прочими элементами. Рассматриваются различные способы повышения вероятности связности двухполюсника через изменение длины рёбер из множества доминант. Проводится сравнительный анализ предложенных подходов.

1. Основные обозначения и постановка задачи

Введём в рассмотрение двухполюсник $\Gamma = \{U, W\}$ в виде неориентированного графа с конечным множеством вершин U, множеством рёбер W и выделенными начальной u_* и конечной v_* вершинами. Обозначим через $\mathcal{R}$ множество всех ацикличных путей R двухполюсника Γ из вершины u_* в v_*. Положим, что каждое ребро $w \in W$ характеризуется длиной $d(w)$ и работает независимо с вероятностью p_w, $0 < p_w < 1$. Обозначим P_Γ вероятность связности двухполюсника, которая характеризуется наличием хотя бы одного работающего пути между начальной и конечной вершинами. Длину пути R определим как $D(R) = \sum\limits_{w \in R} d(w)$, а длину минимального пути — $D(\mathcal{R}) = \min\limits_{R \in \mathcal{R}} D(R)$.

В работах [13, 14] получены асимптотические соотношения, характеризующие вероятность связности двухполюсника, состоящего из низконадёжных рёбер — таких, что $p_w = p_w(h)$, где $p_w(h)$ — функция от некоторого параметра h, характеризующая вероятность работы ребра длиной $d(w)$. Здесь и далее $h > 0$.

Теорема 1. Пусть $p_w(h) \sim h^{d(w)}$ при $h \to 0$, где $d(w) > 0$, $w \in W$, тогда

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim \mathcal{N}(\mathcal{R}) h^{D(\mathcal{R})}, \tag{1}$$

где $\mathcal{N}(\mathcal{R})$ — количество путей минимальной длины в двухполюснике Γ.

Соотношение (1) позволяет построить асимптотическую оценку вероятности связности двухполюсника через характеристики отдельных рёбер. Обозначим множество таких рёбер через $\mathcal{S} = \{w \in R : D(R) = D(\mathcal{R})\}$. С позиции контекстного анализа, множество $\mathcal{S}$ является множеством доминант и представляет отдельный интерес, так как его элементы считаются основополагающими в вопросах функционирования двухполюсника в целом и его связности в частности.

В данном представлении вероятность связности отдельно взятого ребра двухполюсника выражается через функциональную зависимость от его длины. Соответственно изменение длины любого ребра из множества доминант приводит к значимому изменению связности двухполюсника в целом. При этом нужно отметить, что в силу определения множества доминант изменение длины отдельно взятого ребра из $\mathcal{S}$ может привести к аналогичному эффекту, сравнимому с изменением некоторого набора рёбер.

Рассмотрим различные способы повышения вероятности связности всего двухполюсника через изменение длины отдельно взятого ребра из множества доминант и соответствующего набора. Проведём сравнительный анализ этих подходов с целью выявления условий, позволяющих получить наилучший эффект в зависимости от выбранного подхода и особенности строения двухполюсника.

2. Повышение связности структуры через контекстное воздействие

2.1. Точечный подход

Выделим из множества $\mathcal{R}$ подмножество всех кратчайших путей $\widetilde{\mathcal{R}} = \{R \in \mathcal{R} : D(R) = D(\mathcal{R})\}$. Обозначим $N(A)$ число элементов множества A.

Утверждение 1. Если заменить $d(w')$ на $d(w') - \varepsilon$ для одного любого $w' \in \mathcal{S}$, то

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) h^{D(\mathcal{R}) - \varepsilon}, \quad h \to 0,$$

где $1 < \varepsilon < d(w')$, $0 < N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) \leqslant \mathcal{N}(\mathcal{R})$.

Доказательство. В силу теоремы 1 имеем

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim \mathcal{N}(\mathcal{R})h^{D(\mathcal{R})} = \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}}\prod_{w\in R} h^{d(w)}.$$

Представим $\widetilde{\mathcal{R}} = \widetilde{\mathcal{R}}_0 \cup \widetilde{\mathcal{R}}_1$, где $\widetilde{\mathcal{R}}_0 = \{R \in \widetilde{\mathcal{R}} : w' \notin R\}$, $\widetilde{\mathcal{R}}_1 = \{R \in \widetilde{\mathcal{R}} : w' \in R\}$, тогда

$$\sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}}\prod_{w\in R} h^{d(w)} = \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_0}\prod_{w\in R} h^{d(w)} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_1}\prod_{w\in R} h^{d(w)}.$$

Заменим $d(w')$ на $d(w') - \varepsilon$ и получим

$$P_\Gamma \sim \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_0}\prod_{w\in R} h^{d(w)} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_1}\left(h^{d(w')-\varepsilon}\prod_{w\in R\setminus w'} h^{d(w)}\right) = \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_0}\prod_{w\in R} h^{d(w)} +$$
$$+ \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_1}\left(h^{-\varepsilon}\prod_{w\in R} h^{d(w)}\right) = \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_0} h^{D(\mathcal{R})} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_1} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon} =$$
$$= \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_1} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon}\left(1 + \frac{\sum\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_0} h^{D(\mathcal{R})}}{\sum\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}_1} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon}}\right) = N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon}\left(1 + \frac{N(\widetilde{\mathcal{R}}_0)}{N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)}h^{\varepsilon}\right).$$

При условии $h \to 0$ и $1 < \varepsilon < d(w')$ получаем

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon}(1 + o(1)) \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon}.$$

Утверждение 1 доказано. ■

2.2. Множественный подход

Выделим из множества $\widetilde{\mathcal{R}}$ подмножество $\widetilde{\mathcal{R}}' = \{R \in \widetilde{\mathcal{R}} : N(R) = \widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})\}$, где $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) = \max\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}} N(R)$, а из множества доминант $\mathcal{S}$ — подмножество $\mathcal{S}' = \{w \in R : R \in \widetilde{\mathcal{R}}'\}$.

Утверждение 2. Если заменить $d(w)$ на $d(w) - \varepsilon$ для всех $w \in \mathcal{S}'$, то

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}, \quad h \to 0,$$

где $1 < \varepsilon < \min\limits_{w\in\mathcal{S}'} d(w)$, $0 < N(\widetilde{\mathcal{R}}') \leqslant \mathcal{N}(\mathcal{R})$.

Доказательство. В силу теоремы 1 имеем

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim \mathcal{N}(\mathcal{R})h^{D(\mathcal{R})} = \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}}\prod_{w\in R} h^{d(w)} = \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}\setminus(\widetilde{\mathcal{R}}'\cup\widetilde{\mathcal{R}}'_0)}\prod_{w\in R} h^{d(w)} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'_0}\prod_{w\in R} h^{d(w)} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'}\prod_{w\in R} h^{d(w)},$$

где $\widetilde{\mathcal{R}}'_0 = \{R \in \widetilde{\mathcal{R}} : N(R) \neq \widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}), R \cap \mathcal{S}' \neq \varnothing\}$. Заменим $d(w)$ на $d(w) - \varepsilon$ для всех $w \in \mathcal{S}'$, тогда

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}\setminus(\widetilde{\mathcal{R}}'\cup\widetilde{\mathcal{R}}'_0)}\prod_{w\in R} h^{d(w)} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'_0}\left(\prod_{w\in R\setminus\mathcal{S}'} h^{d(w)}\prod_{w\in R\cap\mathcal{S}'} h^{d(w)-\varepsilon}\right) + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'}\prod_{w\in R} h^{d(w)-\varepsilon} =$$
$$= \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}\setminus(\widetilde{\mathcal{R}}'\cup\widetilde{\mathcal{R}}'_0)} h^{D(\mathcal{R})} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'_0} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon N(R\cap\mathcal{S}')} + \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})} =$$

$$= \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})} \left(\frac{\sum\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}\setminus(\widetilde{\mathcal{R}}'\cup\widetilde{\mathcal{R}}'_0)} h^{D(\mathcal{R})}}{\sum\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}} + \frac{\sum\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'_0} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon N(R\cap\mathcal{S}')}}{\sum\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'} h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}} + 1 \right) =$$

$$= N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})} \left(1 + k_0 h^{\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})} + \frac{1}{N(\widetilde{\mathcal{R}}')} \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'_0} h^{\varepsilon(\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})-N(R\cap\mathcal{S}'))} \right), \ k_0 = \mathrm{const}\,.$$

Отдельно рассмотрим разность $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) - N(R\cap\mathcal{S}')$. Из определения $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$ следует, что $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) - N(R\cap\mathcal{S}') > 0$. Действительно, если существует $R^* \in \widetilde{\mathcal{R}}'_0$, для которого $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) - N(R^*\cap\mathcal{S}') = 0$, то $R^* \in \widetilde{\mathcal{R}}'$ и, следовательно, $R^* \notin \widetilde{\mathcal{R}}'_0$. С другой стороны, если существует $R^* \in \widetilde{\mathcal{R}}'_0$, для которого $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) - N(R^*\cap\mathcal{S}') < 0$, то $N(R^*\cap\mathcal{S}') > \widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$, что противоречит определению $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) = \max\limits_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}} N(R)$. Значит,

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})} \left(1 + k_0 h^{\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})} + \frac{1}{N(\widetilde{\mathcal{R}}')} \sum_{R\in\widetilde{\mathcal{R}}'_0} h^{\varepsilon k_1(R)} \right), \ k_0, k_1(R) > 0.$$

При условии $1 < \varepsilon < \min\limits_{w\in\mathcal{S}'} d(w)$ и $h \to 0$ получаем

$$\mathsf{P}_\Gamma \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}(1+o(1)) \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}.$$

Утверждение 2 доказано. ■

3. Сравнительный анализ подходов

Эффект, связанный с увеличением вероятности связности двухполюсника, зависит не только от выбранного подхода, но и от особенностей строения рассматриваемого графа. И хотя очевидно, что $N(\mathcal{S}) \geqslant N(\mathcal{S}')$ и один из подходов предполагает изменение длины одного ребра, а другой — некоторого количества рёбер, заранее неизвестно, какой из них приведет к наилучшему результату.

Обозначим P_{Γ_1} и P_{Γ_2} — вероятности связности фиксированного двухполюсника Γ после изменения длины фиксированного ребра $w' \in \mathcal{S}$ и множества рёбер $\mathcal{S}'$ соответственно. Тогда

$$\mathsf{P}_{\Gamma_1} \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon_1}, \quad \mathsf{P}_{\Gamma_2} \sim N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}, \quad h \to 0,$$

где $1 < \varepsilon_1 < d(w')$, $1 < \varepsilon_2 < \min\limits_{w\in\mathcal{S}'} d(w)$. Сравним полученные асимптотические соотношения:

$$\frac{\mathsf{P}_{\Gamma_1}}{\mathsf{P}_{\Gamma_2}} \sim \frac{N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon_1}}{N(\widetilde{\mathcal{R}}')h^{D(\mathcal{R})-\varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}} = \frac{N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)}{N(\widetilde{\mathcal{R}}')} h^{-\varepsilon_1+\varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})}, \quad h \to 0.$$

Рассмотрим частный случай, когда $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$. Тогда

$$\frac{\mathsf{P}_{\Gamma_1}}{\mathsf{P}_{\Gamma_2}} \sim \frac{N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)}{N(\widetilde{\mathcal{R}}')} h^{\varepsilon_1(\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})-1)}, \quad h \to 0.$$

Если $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) - 1 = 0$, то минимальный путь состоит из одного ребра и $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) = 1$. Если в графе нет кратных рёбер одинаковой длины, то $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) = N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\mathsf{P}_{\Gamma_1} \sim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$, в противном случае $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) < N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\mathsf{P}_{\Gamma_1} \lesssim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$.

Если $\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}}) - 1 > 0$, то $0 < h^{\varepsilon_1(\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})-1)} < 1$, $h \to 0$. Следовательно, при условии $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) \leqslant N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ получаем, что $\mathsf{P}_{\Gamma_1} \lesssim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$. С другой стороны, при $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) > N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ возможна ситуация, в которой как $\mathsf{P}_{\Gamma_1} \lesssim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$, так и $\mathsf{P}_{\Gamma_1} \gtrsim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$ в зависимости от структурных особенностей двухполюсника.

Аналогичным образом проведён сравнительный анализ полученных асимптотических соотношений в общем виде, его результаты представлены в таблице.

Сравнение точечного и множественного подходов

$\mathsf{P}_{\Gamma_1} \gtrsim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$	$\mathsf{P}_{\Gamma_1} \lesssim \mathsf{P}_{\Gamma_2}$
$N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) > N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\varepsilon_1 > \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$	$N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) < N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\varepsilon_1 < \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$
$N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) = N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\varepsilon_1 > \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$	$N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) = N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\varepsilon_1 < \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$
$N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) > N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\varepsilon_1 = \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$	$N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) < N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ и $\varepsilon_1 = \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$

Неопределённой остается ситуация, когда $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) < N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ при $\varepsilon_1 > \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$ и $N(\widetilde{\mathcal{R}}_1) > N(\widetilde{\mathcal{R}}')$ при $\varepsilon_1 < \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$. Действительно, если положить $k = \varepsilon_1 - \varepsilon_2\widetilde{N}(\widetilde{\mathcal{R}})$ и $\Delta = N(\widetilde{\mathcal{R}}_1)/N(\widetilde{\mathcal{R}}')$, то в первом случае $\Delta < 1$ и $k > 0$, значит, $h^{-k} > 1$ при $h \to 0$. Во втором случае $\Delta > 1$ и $k < 0$, т.е. $0 < h^{-k} < 1$ при $h \to 0$. В обоих случаях $\Delta h^{-k} > 0$, но остаётся неопределённым значение полученного выражения относительно единицы, что не позволяет однозначно ответить на вопрос эффективности того или иного подхода. Полученная неопределённость при наличии обобщённого результата является отличительной особенностью контекстного подхода, направленного на выделение доминант. В данном случае только определение множества доминант в отдельно взятом двухполюснике позволяет однозначно разрешить неопределённость и выбрать наиболее эффективный метод повышения его связности.

Заключение

Полученные асимптотические соотношения, характеризующие вероятность связности двухполюсника, в отличие от традиционных способов повышения связности графов позволяют существенно влиять на связность всего соединения через изменение длины отдельных рёбер, входящих в множество доминант. В итоге результатом применения контекстного анализа является решение поставленной прикладной задачи, обладающей практической значимостью, а не поиск места модели в классификации имеющихся математических моделей.

В целом, применение контекстного подхода для оценки вероятности связности сетевой структуры произвольного вида приводит к более детализированному результату, который отражает особенности её строения. Последнее особенно важно, если предполагается дальнейшая работа со структурой, направленная на изменение её связности через воздействие на её отдельные части.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аксенов С. В.* Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 128 с.
2. *Богачев К. Ю.* Основы параллельного программирования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
3. *Воеводин В. В.* Суперкомпьютеры: вчера, сегодня, завтра // Наука и жизнь. 2000. № 5. С. 76–83.
4. *Воеводин В. В.* Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
5. *Круг П. Г.* Нейронные сети и нейрокомпьютеры. М.: МЭИ, 2002. 176 с.
6. *Collinger J. L.* High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia // The Lancet. 2012. V. 6736(12). P. 61816–61819.

7. *Culloch W. C. and Pitts W. H.* Logical calculus of ideas immanent in nervous activity // Bull. Math. Biophysics. 1943. V. 5. P. 115–119.
8. *Hopfield J. J.* Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. National Academy of Sci. 1982. V. 79. P. 2554–2558.
9. *Hopfield J. J.* Neural computation of decision in optimization problems // Biol. Cybernet. 1985. V. 52. P. 141–152.
10. *Анохин П. К.* Избранные труды: Кибернетика функциональных систем. М.: Медицина, 1998. 400 с.
11. *Ухтомский А. А.* Доминанта. СПб.: Питер, 2002. 448 с.
12. *Ухтомский А. А.* Доминанта: физиология поведения. М.: АСТ, 2020. 117 с.
13. *Лосев А. С.* Асимптотический анализ надежности стохастических сетей // Информатика и системы управления. 2008. № 4(18). С. 101–105.
14. *Цициашвили Г. Ш., Лосев А. С., Осипова М. А.* Асимптотические формулы для вероятностей связности случайных графов // Автоматика и вычислительная техника. 2013. № 2. С. 22–28.

REFERENCES

1. *Aksenov S. V.* Organizatsiya i ispol'zovanie neyronnykh setey (metody i tekhnologii) [Organization and Use of Neural Networks (Methods and Technologies)]. Tomsk, NTL Publ., 2006. 128 p. (in Russian)
2. *Bogachev K. Yu.* Osnovy parallel'nogo programmirovaniya [Basics of Parallel Programming]. Moscow, BINOM Publ., 2003. (in Russian)
3. *Voevodin V. V.* Superkomp'yutery: vchera, segodnya, zavtra [Supercomputers: yesterday, today, tomorrow]. Nauka i Zhizn', 2000, no. 5, pp. 76–83. (in Russian)
4. *Voevodin V. V.* Parallel'nye vychisleniya [Parallel Computing]. Saint Petersburg, BKhV Publ., 2002. (in Russian)
5. *Krug P. G.* Neyronnye seti i neyrokomp'yutery [Neural Networks and Neurocomputers]. Moscow, MPEI Publ., 2002. 176 p. (in Russian)
6. *Collinger J. L.* High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia. The Lancet, 2012, vol. 6736(12), pp. 61816–61819.
7. *Culloch W. C. and Pitts W. H.* Logical calculus of ideas immanent in nervous activity. Bull. Math. Biophysics, 1943, vol. 5, pp. 115–119.
8. *Hopfield J. J.* Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proc. National Academy of Sciences, 1982, vol. 79, pp. 2554–2558.
9. *Hopfield J. J.* Neural computation of decision in optimization problems. Biol. Cybernet., 1985, vol. 52, pp. 141–152.
10. *Anokhin P. K.* Izbrannye trudy: Kibernetika funktsional'nykh sistem [Selected Works: Cybernetics of Functional Systems]. Moscow, Meditsina, 1998. 400 p. (in Russian)
11. *Ukhtomskiy A. A.* Dominanta [Dominant]. Saint Petersburg, Piter, 2002. 448 p. (in Russian)
12. *Ukhtomskiy A. A.* Dominanta: fiziologiya povedeniya [Dominant: Physiology of Behavior]. Moscow, AST Publ., 2020. 117 p. (in Russian)
13. *Losev A. S.* Asimptoticheskiy analiz nadezhnosti stokhasticheskikh setey [Asymptotic analysis of the reliability of stochastic networks]. Informatika i Sistemy Upravleniya, 2008, no. 4(18), pp. 101–105. (in Russian)
14. *Tsitsiashvili G. Sh., Losev A. S., and Osipova M. A.* Asimptoticheskie formuly dlya veroyatnostey svyaznosti sluchaynykh grafov [Asymptotic formulas for the connectedness probabilities of random graphs]. Avtomatika i Vychislitel'naya Tekhnika, 2013, no. 2, pp. 22–28. (in Russian)