DOI: 10.24892/RIJIE/20250404

Метод моделирования уменьшенного множества рассматриваемых вершин графа при поиске минимального ребра и вводимом ограничении на максимальное расстояние*

Астахов А.М., Черненькая Л.В.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
astahov_am@spbstu.ru, chern_lv@spbstu.ru

Аннотация. **В исследовании ведется разработка метода, позволяющего снизить время выполнения программной реализации алгоритма Беллмана-Форда за счет поиска минимального ребра графа в условиях ограничения рассматриваемого множества вершин. Приведено теоретическое описание метода ограничения максимального расстояния для формирования ограниченного множества вершин графа, на основе которого производится формирование нового метода. Описана математическая формализация разрабатываемого метода с описанием принципов, позволяющих выявить отличительные признаки нового метода от имеющегося, также представлено описание возможных ограничений данного метода. В качестве практического эксперимента проведено рассмотрение случаев, возникающих при обработке графа, в результате было проведено моделирование возможных случаев использования метода и его принципов функционирования. Также проведена практическая проверка скорости выполнения моделируемого программного обеспечения, которое использует алгоритм Беллмана-Форда с предлагаемым методом для поиска кратчайших путей с заданным ограничением на расстояние. В результате проведенного тестирования, программное обеспечение с реализацией нового метода показало уменьшение времени выполнения поиска кратчайших путей на 11,2%, а также выявлено низкое влияние на общее время работы программной реализации в случае, если метод не сможет снизить количества рассматриваемых вершин при условии ограничения их множества, что обосновывает практическую применимость предлагаемого метода в рассматриваемой задаче. Реализованная на основе предложенного метода вычислительная модель применима в задачах улучшения взаимодействия объектов предприятий.**

Ключевые слова**: граф, ограничение графа, посик кратчайшего пути, множество вершин, алгоритм Беллмана-Форда, программное обеспечение**

Введение

Применение алгоритмов поиска кратчайшего пути в настоящее время является основополагающим элементов в задачах навигации транспортных средств [1-3]. Также алгоритмы используются для осуществления взаимодействия объектов предприятий между собой за счет улучшения поиска ближайших складов [4,5].

Подобные алгоритмы имеют различные подходы и методы в процессе анализа графовых данных, в результате чего каждый имеет свою вычислительную сложность [6-8].

Несмотря на многообразие алгоритмов поиска кратчайшего пути, их применение связано с изменением их структуры и методов проведения вычислений, что позволяет обеспечить снижения времени выполнения программных реализаций алгоритмов [9-11]. Также в процессе разработок новых методов поиска кратчайшего пути достигается формирование новых методов в обработке графовых данных, тем самым обеспечивая снижение не только скорости выполнения программных реализаций, но и в целом вычислительной сложности алгоритмов поиска кратчайшего пути [12-15].

Одним из принципов снижения времени выполнения программной реализации алгоритма поиска кратчайшего пути является введение ограничения на максимальное расстояние, как основы ограничения области рассматриваемых вершин для проведения частичного анализа графа. Подобное решение является подходящим в условиях необходимости нахождения ближайших к рассматриваемому графу вершин. Данный метод вводимого максимального расстояния может быть применением для алгоритма Беллмана-Форда, но и для иных алгоритмов.

Немотря на эффективность метода вводимого максимального расстояния как критерия ограничения множества рассматриваемых вершин графа, его применение связано с анализом кратчайших путей до вершин, которые не входят в множество, удовлетворяющее условие. На основе это возникает необходимость формирования нового метода, обеспечивающего применение основ существующего подхода с дополнительными критериями, для возможности снижения времени выполенения анализа графа.

Теоретическое описание используемого метода ограничения максмиального расстояния

Стоит отметить, что в исследовании рассматривается работа с алгоритмом поиска кратчайшего пути Беллмана-Форда с вводимым ограничением на максимальное расстояние.

Перед проведением анализа данного метода опишем принцип поиска кратчайшего пути алгоритмом Беллмана-Форда, а также оценим вычислительную сложность без вводимых ограничений.

Алгоритм Беллмана-Форда позволяет производить поиск кратчайшего пути от начальной вершины до всех, поступательно расширяя область рассматриваемых вершин

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", https://icie-rus.org

[16]. В данном исследовании рассматривается использование ориентированного двунаправленного графа с положительными весами ребер. Вычислительная сложность алгоритма Беллмана-Форда имеет следующий вид

$$O(V,E),$$

где V – множество вершин графа, E – множество ребер графа.

Опишем процесс анализа вершин в задаче формирования удовлетворяющего критерию множества. Пусть задан граф $G=(V,E)$, а также начальная вершина $s \in V$. Введем критерий ограничения множества рассматриваемых вершин в виде максимального расстояния $d_{\max}$ так, что множество допустимых вершин определяется следующим образом:

$$V_{d_{\max}} = \{v \in V \mid d(s,v) \le d_{\max}\},$$

где $d(s,v)$ – кратчайшее расстояние от s до v, вычисляемое с помощью алгоритма Беллмана-Форда.

В результате работы алгоритма будет существовать вершина v^* такая, что:

$$d(s,v^*) > d_{\max},$$

так как в случае, если существует хотя бы одна вершина $v \in V_{d_{\max}}$ и выполняется условие $d(s,v) < d_{\max}$, то алгоритм продолжит поиск кратчайшего пути до v^*, выходящей за пределы множества $V_{d_{\max}}$. Это связано с тем, что алгоритм Беллмана-Форда теоретически не достиг границы $V_{d_{\max}}$ из-за того, что значение кратчайшего пути $d(s,v)$ не равно максимальному расстоянию $d_{\max}$.

Будем называть вершины, выходящие за границы множества $V_{d_{\max}}$ и являющиеся соседними для вершин, входящих в данное множество, внешними соседями. Данные внешние соседи образуют множество следующего вида

$$V_{out} = \{v^* \in V \mid d(s,v^*) > d_{\max}, v^* \notin \partial V_{d_{\max}}\},$$

где $\partial V_{d_{\max}}$ – множество граничных вершин.

Множество граничных вершин, которое формируются при использовании метода максимального расстояния, имеет вид:

$$\partial V_{d_{\max}} = \{v \in V \mid d(s,v) = d_{\max}\} \cup$$
$$\{v \in V \mid \exists v^* \in P(v) : d(s,v^*) > d_{\max}\},$$

где $P(v)$ – множество вершин, достижимых из v.

Вычислительная сложность алгоритма Беллмана-Форда при использовании данного ограничения на максимальное расстояние от начальной вершины

$$O(V_k, E),$$

где V_k – множество вершин, которое содержит подмножества $V_{d_{\max}}$ и V_{out}.

Несмотря на эффективность предлагаемого метода в ограничении максимального расстояния, подобный метод имеет особенность, которая приводит к чрезмерному анализу вершин, в том числе тех, которые выходят за границы множества вершин, удовлетворяющих вводимое условие.

В результате вычислительная сложность алгоритма снижается, но при выполнении описанного условия алгоритм рассматривает вершин больше, чем то количество вершин, которые удовлетворяют критерию максимального расстояния. Рассмотрение алгоритмом вершин, принадлежащих к множеству V_{out}, не несет за собой существенного увеличения времени выполнения алгоритма при крупных множествах вершин, удовлетворяющих условию, но при рассмотрении малых групп подобных вершин, количество соседних вершин может существенно замедлить работу алгоритма поиска кратчайшего пути.

Формализация метода снижения количества рассматриваемых вершин в процессе ограничения множества вершин

Предложим метод к уменьшению количества рассматриваемых внешних соседних вершин. Для этого в процессе формирования данных, потребуется производить дополнительный анализ, направленный на поиск минимального ребра, которое будет в дальнейшем использоваться как критерий проверки вершин. В начале рассмотрим математическую формализацию предлагаемого метода.

Определим минимальный вес ребра в графе $G=(V,E)$ как следующее выражение:

$$\omega_{\min} = \min_{u,v \in E} d(u,v).$$

Это значение используется для оценки возможности достижения следующей вершины в пределах заданного критерия максимального расстояния $d_{\max}$.

Рассмотрим предыдущий пример с использованием предложенного метода.

Пусть найдена вершина v, для которой расстояние от начальной вершины s удовлетворяет критерию максимального расстояния

$$d(s,v) \le d_{\max}.$$

Рассмотрим следующую вершину v^*, путь до которой проходит через v. Для нее кратчайшее расстояние можно оценить как

$$d(s,v) + \omega_{\min} \le d(s,v^*).$$

Если при проверке выполняется неравенство

$$d(s,v^*) + \omega_{\min} > d_{\max}, \quad (1)$$

то вершина v^* безусловно не удовлетворяет критерию максимального расстояния. Следовательно, если вес пути из v до остальных неизвестных ранее вершин будут равны критерию из (1), то вершина v является граничной для множества удовлетворяющего условие максимального расстояния несмотря на то, что $d(s,v) < d_{\max}$.

В результате при помощи найденного минимального ребра графа в условиях использования ограничения на максимальное расстояние, появляется возможности произвести проверку на теоретическую возможность найти ребро до следующей вершины так, чтобы удостовериться возможен ли переход, удовлетворяющий критерию максимального расстояния.

Обратимся к вычислительной сложности алгоритма Беллмана-Форда при использовании разработанного метода. Данная вычислительная сложность будет иметь следующий вид

$$O(V_t, E) \mid V_t \le V_k,$$

где V_t – множество вершин, которое содержит подмножество $V_{d_{\max}}$ и подножество вершин, которые не были отфильтрованы разработанным методом.

Данный метод имеет ряд особенностей при практическом использовании в задаче поиска кратчайшего пути алгоритмом Беллмана-Форда. Перейдем к практическому эксперименту, демонстрирующему возможности и ограничения разработанного метода снижения количества рассматриваемых вершин.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАССМАТРИВАЕМЫХ ВЕРШИН В УСЛОВИИ ОГРАНИЧЕНИЯ МНОЖЕСТВА РАССМАТРИВАЕМЫХ ВЕРШИН

На рис. 1 представлена иллюстрация примера реализации метода ограничения максимального расстояния от начальной вершины, а также применение метода снижения количества рассматриваемых вершин. На нем представлены все возможные сценарии, которые могут возникнуть при использовании данных методов в процессе поиска каратчайших путей от начальной вершины. Рассмотрим проиллюстрированный граф детальнее.

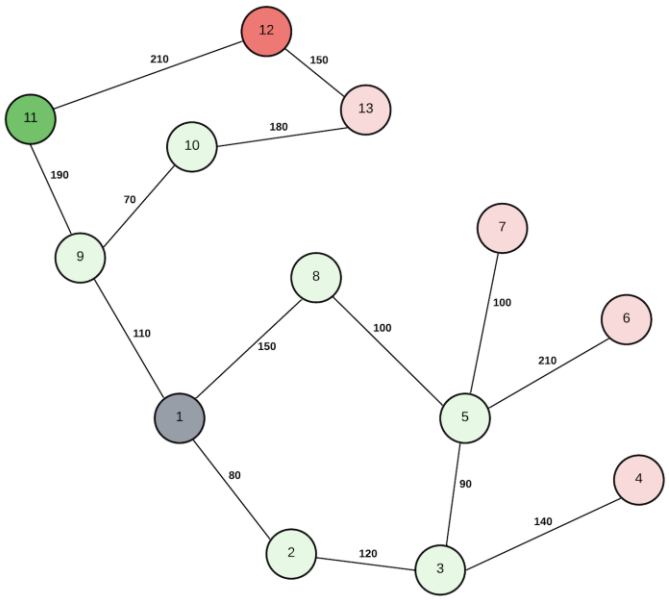

Рис. 1. Пример исследуемого графа

В начале выполнения поиска кратчайших путей введем максимальное расстояние от начальной вершины до остальных в 300 единиц, а также в соответствии с предлагаемым методом снижения количества рассматриваемых вершин определим минимальное ребро графа. В приведенном примере минимальное ребро имеет значение равное 70 единицам.

Вершина под номером 1, выделенная серым цветом, является начальной, от которой будет производиться анализ графа. Вершины, выделенные зеленым цветом (вершины под номерами: 2, 3, 5, 8, 9, 10 и 11), удовлетворяют требованию максимального расстояния от начальной вершины. Вершины, выделенные красным цветом (вершины под номерами 4, 6, 7, 12 и 13), в свою очередь, не удовлетворяют требованию максимального расстояния и их кратчайший путь от начальной вершины превышает введенное условие.

Далее рассмотрим вершины, которые являются граничными в отношении разных категорий.

Детально рассмотрим вершины 11 и 12. В данном случае кратчайший путь из вершины 1 до вершины 11 равен 300 единиц, что соответствует введенному ограничению на максимальное расстояние. В связи с этим вершина 11 является граничной вершиной допустимого множества вершин, удовлетворяющих вводимому ограничению. Все остальные вершины, до которых путь пролегает через ребра вершины 11, являются неудовлетворяющими условию, в связи с чем поиск кратчайшего пути до вершины 12 не требуется. Данный сценарий является идеальным при введении ограничений на максимальное расстояние, так как в данном случае поиск кратчайшего пути заканчивается на вершине, которая удовлетворяет требованию. В результате подобного соответствия кратчайшего пути вводимому ограничению не требуется использование предлагаемого метода снижения количества рассматриваемых вершин.

Для примера противоположной ситуации произведем анализ вершин 5, 6 и 7. Вершина 5 является удовлетворяющей условию максимального расстояния от начальной, кратчайший путь до нее составляет 250 единиц. В условиях метода ограничения максимального расстояния, данная вершина не является граничной, в связи с чем требуется дальнейший анализ ребер данной вершины для поиска путей, проходящих через нее. Но в таком случае, метод ограничения максимального расстояния произведет поиск вершин, которые принадлежат к множеству V_{out}, так как вершины 6 и 7 имеют кратчайший путь от начальной в 460 и 350 единиц соответственно. В результате чего алгоритм Беллмана-Форда произведет поиск кратчайших путей излишнее количество раз, так как данные вершины не соответствуют введенным ограничениям. Но в случае использования метода снижения количества рассматриваемых вершин, процесс анализа изменится. Когда алгоритм Беллмана-Форда найдет кратчайший путь от начальной вершины 1 до вершины 5, который равен 250 единицам, перед началом анализа следующих ребер, будет проводиться проверка условия, в виде суммирования минимального ребра графа со значением кратчайшего пути вершины 5. В данном случае это значение является больше, чем требуемое условие максимального расстояния, что определяет вершину 5 как граничную множества удовлетворяющих условию вершин.

Далее стоит перейти к рассмотрению пар вершин 10 и 13, а также 3 и 4. Вершины 10 и 3 удовлетворяют требованию максимального расстояния от начальной, что означает их присвоение к множеству вершин, удовлетворяющих условию (кратчайший путь от начальной вершины до 10 и 3 равен 180 и 200 единиц соответственно). В случае использования разработанного метода, их значения также ниже введенного максимального расстояния от начальной, что позволяет производить дальнейший поиск иных вершин, путь до которых пролегает через ребра рассматриваемых 10 и 3 вершины. Но при поиске кратчайшего пути алгоритмом Беллмана-Форда возникает ситуация, при которой путь до вершин 13 и 4 не удовлетворяет требованию максимального расстояния, из-за чего они являются ближайшими соседними вершинами, не входящих в множество удовлетворяющих условию максимального расстояния. В данном примере использование метода снижения количества рассматриваемых вершин не позволяет реализовать

снижение количества рассматриваемых вершин, в результате чего алгоритмом Беллмана-Форда производится дальнейший анализ.

После детального обзора принципа работы предлагаемого метода перейдем к практическому эксперименту.

Для проведения данного эксперимента, позволяющего сравнить время выполнения поиска кратчайших путей алгоритмом Беллмана-Форда при заданном максимальном расстоянии до вершин от начальной, будет реализовано программное обеспечение.

Для выявления разницы во времени выполнения поиска кратчайшего пути будет проводиться запуск алгоритма 100 000 раз с одной и той же начальной вершиной. Максимальное расстояние до ближайших вершин задано в 300 единиц.

На рис. 2 представлена реализация программного обеспечения, использующего алгоритм Беллмана-Форда с ограничением на максимальное расстояние без использования предлагаемого метода снижения количества рассматриваемых вершин.

```
Количество измерений: 100000
Общее время выполнения алгоритма: 18 мс
```

Рис. 2. Время выполнения программы без использования предлагаемого метода

На рис. 3 представлена реализация программного обеспечения, использующая алгоритм Беллмана-Форда с ограничением на максимальное расстояние и применением метода снижения количества рассматриваемых вершин.

```
Количество измерений: 100000
Общее время выполнения алгоритма: 16 мс
```

Рис. 3. Время выполнения программы с использованием разработанного метода, основанного на поиске минимального ребра

Исходя из приведенных результатов можно обратить внимание, что реализация с применением метода, направленного на снижение количества рассматриваемых вершин на 11,2% быстрее реализации, представленной на рис. 2.

Повторим эксперимент при рассмотрении вершины, для которой применение метода снижения количества рассматриваемых вершин не приведет к уменьшению вершин, до которых алгоритм Беллмана-Форда будет находить кратчайшие пути. Данный эксперимент позволит определить, влияет ли предлагаемый метод на время выполнения поиска кратчайших путей в ограниченном множестве вершин.

На рис. 4 представлена реализация программного обеспечения, реализующая алгоритм Беллмана-Форда с ограничением на максимальное расстояние без использования предлагаемого метода снижения количества рассматриваемых вершин и новой начальной вершины.

```
Количество измерений: 100000
Общее время выполнения алгоритма: 20 мс
```

Рис. 4. Время выполнения программы на новой вершине графа без использования разработанного метода

На рис. 5 представлена реализация программного обеспечения, реализующая алгоритм Беллмана-Форда с ограничением на максимальное расстояние и применением метода снижения количества рассматриваемых вершин для новой начальной вершины, для которой предлагаемый метод не позволяет уменьшить количество найденных кратчайших путей.

```
Количество измерений: 100000
Общее время выполнения алгоритма: 20 мс
```

Рис. 5. Время выполнения программы на новой вершине графа с использованием разработанного метода, основанного на поиске минимального ребра

Время выполнения программного обеспечения меняется не существенно, в результате изменения составили менее одной миллисекунды для 100 000 итераций поиска кратчайшего пути, что позволяет оценить слабое воздействие вводимого метода на общую скорость выполнения алгоритма поиска кратчайшего пути.

В результате, несмотря на не безусловность подобного решения, применение данного метода имеет практический эффект, позволяющий снизить время выполнения поиска кратчайшего пути до ближайших вершин.

На основе приведенных практических экспериментов можно сформулировать следующее. Благодаря данному методу будет возможно уменьшить количество вершин, до которых будет найден кратчайших путь, но расстояние данного пути не будет удовлетворять критерию максимального расстояния, тем самым снижая время выполнения алгоритма Беллмана-Форда. Данный метод не позволяет обеспечить полного устранения внешних соседних вершин при работе алгоритма, так как минимальное значение ребра в графе может относиться только к одной из-за граничных вершин, а также может оказаться за областью будущих рассматриваемых вершин.

Заключение

В результате проведенного исследования поиска минимального ребра в условиях формирования ограниченного множества рассматриваемого графа было произведено теоретическое описание части метода ограничения рассматриваемых вершин, которое используется для введения разработанного метода.

В соответствии с выявленными критериями поиска кратчайшего пути до вершин, являющихся ближайшими соседними к множеству вершин, удовлетворяющих критерию максимального расстояния, была проведена формализация метода, использующего поиск минимального ребра в условиях формирования ограниченного множества рассматриваемого графа, которая обосновывает применение метода в процессе анализа графа и формирования области рассматриваемых вершин.

По результатам проведенного анализа было проведено экспериментальное исследование предлагаемого метода снижения количества рассматриваемых вершин, в котором приведены сценарии работы метода, использующего критерий максимального расстояния и метода снижения количества рассматриваемых вершин в задаче поиска кратчайшего пути алгоритмом Беллмана-Форда.

Также было проведено практическое испытание, основанное на программных реализациях метода, использующего ограничение максимального расстояния, а также нового метода снижения количества рассматриваемых вершин. В результате проведенного сравнения скорости выполнения данных методов было выявлено, что в случае возникающих условий для выполнения разработанного метода, время выполнения программной реализации снижается на 11,2%, в случае если метод не способен снизить количества рассмотренных вершин, скорость программной реализации не изменяется или его изменение минимально.

Реализованная вычислительная модель, представленная в виде программного обеспечения, применима на предприятиях, требующих формировать собственную структуру логистики с необходимым автоматизированным процессом анализа ближайших объектов промышленности. При помощи предложенного метода, обеспечивающего повышение скорости выполнения поиска кратчайших путей, возможно использование модели для систем предприятий, требующих низкое время вычислений проводимых операций по обеспечению поиска некоторой области, которая может быть сформирована на основе графовых данных.

Литература

1. Агафонов А.А. Метод определения надежного кратчайшего пути в стохастической сети с использованием параметрически заданных устойчивых распределений вероятностей / А.А. Агафонов, В.В. Мясников // Информатика и автоматизация. – 2019. – Т.18, №3. – С. 558-582.

2. Агафонов А.А. Метод определения надежного кратчайшего пути в зависящей от времен стохастической сети и его применение в геоинформационных задачах управления транспортом / А.А. Агафонов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2016. – Т.40, №2. – С. 275-283.

3. Клюева С.Ф. Применение алгоритмов кластеризации в задачах навигации по глубинам морского дна / С.Ф. Клюева // Евразийское научное объединение. – 2016. – Т.1, №4. – С. 4-9.

4. Астахов А.М. Программное средство для автоматизации и контроля материально-технического обеспечения нефтеперекачивающих станций в системе трубопроводного транспорта / А.М. Астахов, А.В. Логинова // Системный анализ в проектировании и управлении: Межвуз. сб. научн. тр. – СПб: Политех-Пресс, 2024. – №2. – С. 472-479.

5. Беляков С.Л. Оптимизация потоков в транспортных системах / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, А.В. Боженюк, М.Н. Савельева // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – №5. – С. 161-167.

6. Изотова Т.Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе / Т.Ю. Изотова // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – №19. – С. 341-344

7. Митрофанов Е.М. Анализ эффективности алгоритмов поиска кратчайших путей в графах / Е.М. Митрофанов, А.С. Сазонов, В.Ю. Руднев // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2014. – №1. – С. 15-17.

8. Bannister M.J. Randomized speedup of the Bellman–Ford algorithm / M.J. Bannister, D. Eppstein // Society for Industrial and Applied Mathematics. – 2012. – vol. 1. – P. 41-47.

9. Ватутин Э.И. Анализ результатов использования метода перебора с ограничением глубины в задаче поиска кратчайшего пути в графе / Э.И. Ватутин, И.А. Мартынов, В.С. Титов // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов: Межвуз. сб. научн. тр. – Барнаул: Алтайский государственный университет – 2015. – Т.1. – С. 120-128.

10. Кочкаров А.А. Параллельный алгоритм поиска кратчайшего пути на предфрактальном графе / А.А. Кочкаров, Р.А. Кочкаров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2004. – Т.44, №6. – С. 1147-1152.

11. Magzhan K. A review and evaluations of shortest path algorithms / K. Magzhan, H.M. Jani // Int. J. Sci. Technol. Res. – 2013. – vol. 2, is. 6. – P. 99-104.

12. Макаренко С.И. Модифицированный алгоритм Беллмана-Форда с формированием кратчайших и резервных путей и его применение для повышения устойчивости телекоммуникационных систем / С.И. Макаренко, М.Н. Квасов // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Т.14, №3. – С. 264-274.

13. Михайлов И.Е. Разработка модификации алгоритма волновой трассировки (алгоритма Ли) // Наука, техника и образование. – 2016. – №3 (21). – С. 60-62.

14. Абдулганиева И.И. Исследование ускорения метода определения надёжного кратчайшего пути в зависящей от времени стохастической транспортной сети / И.И. Абдулганиева, А.А. Агафонова // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017): Межвуз. сб. научн. тр. – Самара: Предприятие «Новая техника», 2017. – Т.1. – С. 490-495.

15. Быкова В.В. Адаптивное размещение ориентиров в задаче о кратчайшем пути для графов большой размерности / В.В. Быкова, А.А. Солдатенко // Программные продукты и системы. – 2016. – Т.1, №1 (113). – С. 60-67.

16. Bellman R. On a routing problem / R. Bellman // Quarterly of applied mathematics. – 1958. – vol. 16, is. 1 – P. 87-90.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250404

Method for Modeling a Reduced Set of Considered Graph Vertices in the Search for the Minimal Edge and the Introduced Restriction on the Maximum Distance

Astakhov A.M., Chernenkaya L.V.
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
St. Petersburg, Russian Federation
astahov_am@spbstu.ru, chern_lv@spbstu.ru

Abstract. **In the research the development of a method is carried out, which allows to reduce the execution time of the program realization of the Bellman-Ford algorithm by searching for the minimum edge of the graph under the conditions of restriction of the considered set of vertices. The theoretical description of the maximum distance constraint method for forming a bounded set of graph vertices is given, on the basis of which the new method is formed. The mathematical formalization of the developed method is described with the description of the principles allowing to reveal the distinguishing features of the new method from the existing one, also the description of possible limitations of this method is presented. As a practical experiment the consideration of cases arising at processing of a graph is carried out, as a result the modeling of possible cases of use of the method and its functioning principles has been carried out. Also a practical test of the speed of execution of the simulated software, which uses the Bellman-Ford algorithm with the proposed method to find the shortest paths with a given distance constraint, was carried out. As a result of testing, the software with the implementation of the new method showed a decrease in the execution time of the shortest paths search by 11.2%, and also revealed a low impact on the total running time of the software implementation in the case that the method can not reduce the number of considered vertices under the condition of limiting their set, which substantiates the practical applicability of the proposed method in the considered task. The computational model realized on the basis of the proposed method is applicable in the tasks of improving the interaction of enterprise objects.**

Keywords: ***graph, graph constraint, shortest path search, set of vertices, Bellman-Ford algorithm, software***

Библиографическое описание статьи

Астахов А.М. Метод моделирования уменьшенного множества рассматриваемых вершин графа при поиске минимального ребра и вводимом ограничении на максимальное расстояние / А.М. Астахов, Л.В. Черненькая // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2025. – Т.12, №4. – С. 22-27. DOI: 10.24892/RIJIE/20250404

Reference to article

Astakhov A.M., Chernenkaya L.V. Method for modeling a reduced set of considered graph vertices in the search for the minimal edge and the introduced restriction on the maximum distance, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2025, vol.12, no.4, pp. 22-27. DOI: 10.24892/RIJIE/20250404