

Использование параллельных вычислений в интеллектуальной системе управления транспортными сетями

Сое Мое Аунг, С.А. Лупин, Д.А. Федяшин, Ба Хла Тхан

Аннотация — Комплексность и значимость задач, решаемых системами управления общественным транспортом, определяют актуальность исследований в области их совершенствования. В работе проанализирована возможность использования параллельных вычислений в интеллектуальных системах управления транспортом. Показано, что параллельный алгоритм анализа транспортных сетей может быть использован для получения прогнозных оценок доступности ее узлов.

Ключевые слова — интеллектуальные системы управления общественным транспортом, параллельный алгоритм анализа графовых моделей.

I. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на значительные успехи в развитии авиации и скоростного железнодорожного транспорта, автомобильный транспорт продолжает играть ведущую роль в обеспечении мобильности населения и логистических потребностей промышленности. Разрабатываются новые системы управления транспортными сетями, позволяющие минимизировать влияние дорожных происшествий на пропускную способность сети. Проблема становится актуальной и для развивающихся стран, где урбанизация и использование автотранспорта увеличиваются наиболее быстро. Существующие системы управления не могут обеспечить взаимодействие всех сторон процесса транспортировки, поскольку создавались как автономные подсистемы. Альтернативным решением является создание интеллектуальных транспортных систем (ИТС), обеспечивающих возможность не только сбора информации о состоянии сети, но и ее анализа и распространения между всеми компонентами транспортной системы. Важнейшей особенностью ИТС является то, что циркулирующая в ней информация позволяет оптимизировать работу не отдельных элементов, а всей системы в целом.

Статья получена 28 декабря 2016. Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 16-07-01055\165 "Адаптация ресурсоемких алгоритмов к распределенной вычислительной среде".

Сое Мое Аунг, аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: maymyotar50@gmail.com);

Лупин Сергей Андреевич, профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: lupin@miec.ru).

Федяшин Дмитрий Андреевич - аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: varlok-diman@mail.ru);

Ба Хла Тхан, аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: bahlahan51@gmail.com);

Концепция интеллектуальных транспортных систем нацелена на решение проблемы предоставления эффективных, дешевых, энергосберегающих транспортных услуг в транспортных сетях следующего поколения. Наличие интеллектуальных транспортных систем неотъемлемая черта умных городов. Используя передовые транспортные технологии, ИТС изменяют отношения между транспортными средствами, дорожными сетями и людьми, делая систему организации дорожного движения более эффективной, удобной, и безопасной. Однако для эффективного решения новых задач необходим и новый алгоритмический подход. Он может основываться на широком использовании параллельных вычислительных систем, которые обеспечивают не только оперативность управления, но и повышают обоснованность принимаемых решений.

В работе представлены результаты анализа применимости параллельной реализации графовых алгоритмов в ИТС.

II. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В разных странах мира были изучены последние достижения ИТС, и приняты решения, связанные с их развитием. США, Европа и Япония – стали первыми в области разработки методов, инструментов и сфер применения интеллектуальных транспортных систем.

Таблица 1 Региональные особенности ИТС

Общие функции	Азия	Восточная Европа	Латинская Америка
Контроль трафика	Сбор информации о текущем трафике		
Управление трафиком	Распространение информации о трафике		
Коммерческие перевозки	Сопровождение коммерческих перевозок		
Управление общественным транспортом	Управление автобусным движением		
	IC-card, электронные билеты		IC-card, электронные билеты
Региональные функции	Контроль трафика	Управление попутными перевозками	Контроль пересечения границ

Исходными данными для функционирования интеллектуальных транспортных систем является информация о состоянии всех элементов транспортной системы - транспортных средств, дорог и потребителей.

Наиболее общими функциями ИТС можно считать следующие: контроль текущего состояния ТС, регулирование и организация дорожного движения, управление в чрезвычайных ситуациях и оптимизация процессов транспортировки.

Однако у каждого региона сформировался и свой собственный индивидуальный подход к представлению интеллектуальных транспортных систем [1]. Некоторые региональные особенности представлены в табл. 1.

Рассмотрим несколько примеров регионального внедрения ИТС. В работе [2] представлена архитектура новой системы управления общественным транспортом в Белграде. Основное внимание уделяется описанию системы связи и структурам данных, необходимых для эффективной работы и управления общественным транспортом. Опыт эксплуатации ИТС позволяет авторам сделать вывод о том, что наиболее острой проблемой является предотвращение нарушения графика движения общественного транспорта. И причиной этого является алгоритмическая сложность процедуры оценки влияния последствий аварий транспортных средств, плановых и аварийных ремонтов дорожного полотна и инфраструктуры на пропускную способность сети. Без точной оценки скорости движения транспорта планирование его ритмичной работы невозможно, а наличие развитой системы связи и фиксации может только снизить остроту проблемы, но не решить ее.

К аналогичному выводу приходят и авторы работы [3]. Они отмечают, что пробки и аварии, влияющие на ритмичность работы транспорта. Для того чтобы добиться высокого качества обслуживания необходимо разрабатывать информационные системы, отражающие динамически изменяющиеся параметры среды, и алгоритмы планирования работы транспорта. Цель такого планирования состоит в том, чтобы создать оптимизированное расписание, которое определяет скорость движения транспорта для улучшения качества обслуживания пассажиров. Авторы отмечают, что предлагаемая ими модель дает хорошие результаты только в случае стабильных характеристик транспортной сети.

В работе [4] рассмотрена возможность решения задачи составления расписания движения общественного транспорта с помощью алгоритмов оптимизации. Исходными данными для работы алгоритма также являются пропускные способности фрагментов сети, определяющие время движения между остановками. При изменении характеристик сети, расписание необходимо составлять заново. Алгоритм не предусматривает динамической реакции на текущую дорожную ситуацию.

Стабилизировать характеристики сети позволяет введение специальных выделенных полос для движения общественного транспорта, но при высоком трафике и их пропускная способность падает.

В качестве возможного решения проблемы может быть предложен подход, который опирается на метод динамической оценки характеристик транспортной сети

[5] с последующим использованием этой информации для оптимизации работы транспорта.

Одним из признаков, характеризующих состояние транспортной сети, является время движения между ее узлами. При снижении пропускной способности отдельных фрагментов сети снижается скорость движения транспорта на них и увеличивается время движения. ИТС используют различные механизмы реакции на такие события, например, перераспределение потоков на альтернативные участки сети. Однако, это борьба не с причиной, а с ее последствиями. Большой эффект дают методы, направленные на оценку и нивелирование последствий событий. Графовые алгоритмы позволяют находить различные характеристики ТС, в частности оценку достижимости узлов. Этот параметр может применяться как для оперативного планирования работы ТС, так и для стратегического анализа путей ее развития.

Получаемые временные оценки достижимости узлов транспортной сети могут использоваться в алгоритмах [2] - [4] и аналогичных им для повышения точности планирования работы транспорта.

III. АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ДОСТИЖИМОСТИ УЗЛОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Рассмотрим применимость алгоритма для получения временных оценок. Пусть в транспортной сети имеется K узлов и задана матрица смежности узлов $\{R\}$ размерностью K^2 . В общем случае матрица $\{R\}$ симметрична относительно главной диагонали. В отличие от традиционных моделей мы используем в матрице $\{R\}$ не расстояния между узлами, а время движения между ними. Эти параметры линейно зависимы, поэтому такой подход не требует модификации классического алгоритма нахождения кратчайшего пути.

Поясним работу предлагаемого алгоритма на небольшом примере (рис. 1), где $K=6$.

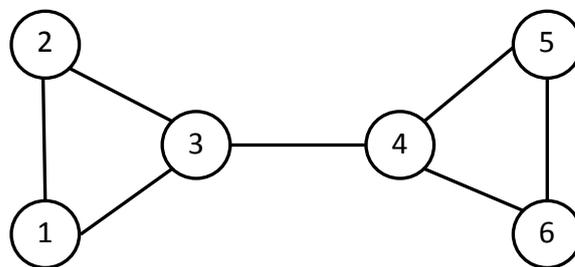


Рис. 1. Транспортная сеть

Матрица смежности узлов $\{R\}$ для этого примера представлена на рис. 2.

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	-	1	2	∞	∞	∞
2	1	-	3	∞	∞	∞
3	2	3	-	1	∞	∞
4	∞	∞	1	-	3	4
5	∞	∞	∞	3	-	1

6	∞	∞	∞	4	1	-
---	----------	----------	----------	---	---	---

Рис. 2. Матрица $\{R\}$

Основные процедуры алгоритма:

1. Используя алгоритм нахождения кратчайшего пути в графе [6], вычислим матрицу доступности узлов $\{D\}$, элементы $d_{i,j}$ которой определяют время движения между всеми узлами сети (рис. 3).

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	-	1	2	3	6	7
2	1	-	2	3	7	8
3	2	2	-	1	4	5
4	3	3	1	-	3	4
5	6	7	4	3	-	1
6	7	8	5	4	1	-

Рис. 3. Матрица $\{D\}$

2. Создадим новую матрицу $\{R'\}$, где элемент r'_{ij} будет равен $r'_{ij}=r_{ij}+\Delta r$. В качестве приращения Δr может быть использовано любое положительное число. Вычислим новую матрицу доступности узлов $\{D'\}$. При $\Delta r=1$ матрица для элемента $r'_{1,2}=r_{1,2}+1=2$ представлена на рис. 4.

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	-	2	2	3	6	7
2	2	-	2	3	7	8
3	2	2	-	1	4	5
4	3	3	1	-	3	4
5	6	7	4	3	-	1
6	7	8	5	4	1	-

Рис. 4. Матрица $\{D'\}$

3. Вычтем поэлементно из матрицы $\{D'\}$ матрицу $\{D\}$ и получим разностную матрицу (рис. 5), состоящую из 0 и Δr .

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

Рис. 5. Разностная матрица для ребра r_{12}

Подсчитав число элементов разностной матрицы равных Δr , определим элемент $f_{i,j}$.

Этот элемент равен числу вершин, на доступность которых влияет изменение характеристик ребра $r_{i,j}$. С учетом симметрии матрицы изменился только один элемент, поэтому $f_{1,2}=1$.

4. Повторив процедуры 2 и 3 для всех элементов матрицы $\{R\}$, сформируем матрицу $\{F\}$, которая и является решением задачи (рис. 6). Для получения матрицы доступности узлов $\{F\}$ необходимо повторить процедуры $(K-1)/2$ раз.

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	0	1	4	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	4	0	0	9	0	0
4	0	0	9	0	3	0
5	0	0	0	3	0	1
6	0	0	0	0	1	0

Рис. 6. Матрица $\{F\}$

5. Отсортировав по убыванию элементы $f_{i,j}$, мы получим список ребер графа в порядке убывания их влияния на стабильность работы транспортной системы. Наибольшее значение параметра в нашем примере имеет ребро 3-4.

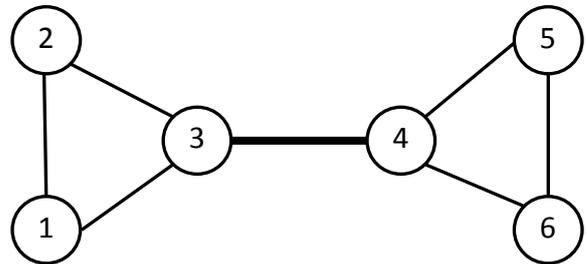


Рис. 7. Критический сегмент сети

На рисунке 7 показан результат работы алгоритма. Ребро 3-4, оказывающее наибольшее влияние на доступность узлов сети, отмечено жирной линией.

Оценим вычислительную сложность алгоритма. Сложность первой процедуры составляет $O(K^2)$. Вторая процедура алгоритмически аналогична первой, но ее необходимо провести K^2 раз, поэтому общая оценка сложности алгоритма составляет $O(K^4)$. Для больших значений K время вычисления будет значительным, что делает актуальным рассмотрение возможности распараллеливания алгоритма.

Используемый в первой процедуре алгоритм Ли не требует распараллеливания даже при большом значении K . Процесс построения матрицы доступности узлов $\{D\}$ распараллеливать уже можно, но это неэффективно, поскольку матрица формируется всего один раз. Намного целесообразнее разработать параллельную версию второй процедуры. В зависимости от вычислительной платформы можно использовать как многопроцессное, так и многопоточное приложение [7]. При этом входные данные – матрицы $\{R\}$ и $\{D\}$ реплицируются, а уникальным для потока будет анализируемое ребро $d_{i,j}$. Выходными данными будут значения $f_{i,j}$ из которых на ведущем узле и сформируется матрица $\{F\}$.

IV. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА

Для исследования масштабируемости программной реализации алгоритма в среде Intel Parallel Studio разработано многопоточное приложение.

В качестве тестовой задачи используется граф связности узлов дорожной сети $\{R\}$, содержащий 50 вершин.

Распараллеливание работы алгоритма происходит на этапе формирования элементов $f_{i,j}$ матрицы $\{F\}$. Каждый поток может формировать очередной элемент матрицы независимо, поскольку изменения элементов исходной матрицы $\{R\}$ не происходит.

Результаты исследования эффективности параллельной реализации алгоритма представлены в табл. 2. Эксперименты проводились на рабочей станции, имеющей 2 процессора Intel XEON E5335 (2.0 GHz, quad-core), объем оперативной памяти 4x1Gb FBDIMM 5300.

Таблица 2 Масштабируемость алгоритма анализа элементов транспортной сети

Число потоков	Время работы (сек)	Ускорение
1	11,63	1
2	6,68	1,74
3	4,31	2,69
4	3,66	3,17
5	3,23	3,61
6	3,11	3,73
7	2,87	4,05
8	2,32	5,01

Представленные данные показывают, что алгоритм обладает достаточно хорошей масштабируемостью. При проведении стратегического анализа ТС время решения задачи не является критическим фактором, что позволяет рассматривать сети с большим количеством узлов.

При оперативном управлении ТС время решения задачи является критичным, поэтому алгоритм может быть реализован как многопоточное приложение для многоядерных ускорителей типа Intel Xeon Phi.

В графическом виде результаты работы приложения представлены на рис. 8.

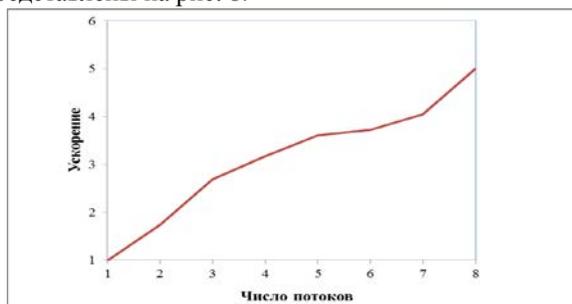


Рис. 8. Ускорение вычислений

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают возможность использования предложенного алгоритма в качестве средства оперативного прогнозирования состояния сети в интеллектуальных транспортных системах.

В рассмотренном примере было проанализировано влияние, которое оказывает изменение параметров только одного ребра сети, на ее характеристики. Использование параллельной реализации алгоритма делает возможным проведение и более глубокого анализа. Например, мы можем изменять параметры нескольких ребер сети одновременно. Если наборы таких ребер заданы, то вычислительная сложность алгоритма не изменится, но если необходимо рассмотреть все возможные комбинации ребер, то для реализации алгоритма потребуются значительные вычислительные ресурсы. Предложенный вариант распараллеливания позволяет использовать для вычислений и грид-системы. Оценка возможности практической реализации такого подхода будет проведена в ходе дальнейших исследований.

ПОДДЕРЖКА

Статья подготовлена в рамках исследовательского проекта РФФИ № 16-07-01055\165 "Адаптация ресурсоемких алгоритмов к распределенной вычислительной среде".

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Xiong Zhang, Sheng Hao, Rong WenGe, Cooper Dave, "Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review," Science China. Information Sciences. December 2012, Vol. 55 No. 12: 2908–2914
- [2] Stanko A. Bajčetić, Predrag V. Živanović, Slaven M. Tica, Miroslav M. Petrović, Andrea M. Đorojević, Branko M. Milovanović, "Implementation of the New Public Transport Management System in Belgrade," in *Proceedings of conference TELSIS 2013*, Serbia, October 2013
- [3] Dridi M., Mesghouni K., Borne P., "Public transport regulation using evolutionary algorithms," in *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Transport Systems, ITS'2003*, November 2003, Madrid.
- [4] X.M. Zhou, X.G. Yang, "Study of dispatching at minimum waiting time of public transportation transfer under the condition of ITS," *China Journal of Highway and Transport*, Vol. 17, No. 2, pp.82-84, 2004.
- [5] S. Lupin, Soe Moe Aung, Ba Hla Than, Vic Grout, "Algorithmic Aspects of Transport System Survivability Analysis," in *Proceedings of the Fifth International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 15)*, Glyndwr University, Wrexham, UK, 2015, P.573, p.71-75
- [6] JinFu Leng, Wen Zeng, "An Improved Shortest Path Algorithm for Computing One-to-One Shortest Paths on Road Networks," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 1979-1982
- [7] Лупин С.А., Посыпкин М.А. Технологии параллельного программирования. Учебное пособие. Москва, ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007, 205 с.

Parallel Computations in Intelligent Transport System Management

Soe Moe Aung, S. Lupin, D. Fedyashin, Ba Hla Than

Abstract— The complexity of the tasks which are solved in the control systems of public transport determines the topicality of the research in this field of study. In this paper we analyze the possibility of using the parallel computing in the intelligent control systems of public transport. We showed that the parallel algorithm for transportation networks analysis can be used for estimating the availability of a nodes. Also the proposed algorithm can be used as an analytical tool in intelligent transportation systems for prediction a future state of the network. With the help of Intel Parallel Studio, we have developed a parallel program and examined it, to assess the scalability of the algorithm. We use the connectivity graph with 50 vertexes as a model of transportation system. This test model is analyzed by using a workstation with 2 Intel XEON E5335 processors (2.0 GHz, quad-core) and with 4x1Gb of RAM (FBDIMM 5300). Our results are shown that the proposed algorithm has a good scalability.

Keywords — Intelligent control systems of public transport, parallel algorithm for analysis of graph models.