



Материалы международной научной конференции

ИТС 2021

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ**

Information Technologies and Systems

ITS 2021

Proceeding of the International Conference

**24 ноября 2021
БГУИР, Минск, Беларусь**

**24th November 2021
BSUIR, Minsk, Belarus**

iTechArt

software
technologies

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

**Информационные технологии и системы 2021
(ИТС 2021)**

Материалы международной научной конференции
(Республика Беларусь, Минск, 24 ноября 2021)

**Information Technologies and Systems 2021
(ITS 2021)**

Proceeding of the International Conference
(Republic of Belarus, Minsk, 24th November 2021)

УДК 004
ББК 32.81
И74

Редакционная коллегия:

Л. Ю. Шилин (главный редактор), А. А. Иванюк, С. В. Колосов,
В. С. Муха, В. В. Голенков, А. В. Марков, Д. П. Кукин, А. А. Навроцкий,
В. И. Журавлев, А. Ф. Трофимович, Н. В. Гракова, Д. В. Шункевич,
А. Б. Гуринович (ответственный секретарь)

Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021) =
И74 Information Tehnologies and Systems 2021 (ITS 2021) : материалы
междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 24 ноября
2021) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2021. – 248 с.
ISBN 978-985-543-634-9.

Сборник включает прошедшие рецензирование доклады международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2021» (ИТС 2021).

Сборник предназначен для преподавателей высших учебных заведений, научных сотрудников, студентов, аспирантов, магистрантов, а также для специалистов предприятий в сфере IT-технологий.

Материалы сборника одобрены организационным комитетом и печатаются в авторской редакции.

УДК 004
ББК 32.81

ISBN 978-985-543-634-9

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2021

О ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ОДНОРОДНОГО ПОТОКА В ДВУНАПРАВЛЕННОЙ СЕТИ

Пилипчук Л. А., Романчук М. П.

Кафедра компьютерных технологий и систем, Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {pilipchuk, fpm.romanchuk}@bsu.by

Рассматривается задача локализации специальных программируемых устройств (сенсоров) в узлах двунаправленной сети для сбора, обработки, анализа информации о функции потока в целях оценки потока в той части сети, которая непосредственно не наблюдается. Задача минимизации размера множества обзораемых узлов (оптимальное решение) относится к классу NP-полных задач. Рассматривается задача поиска приемлемого числа обзораемых узлов (субоптимальное решение).

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривается актуальная задача расположения специальных программируемых устройств (сенсоров) в узлах двунаправленной сети для сбора информации о функции потока с целью оценки однородного потока в сети. Задача минимизации размера множества обзораемых узлов, в которых локализованы сенсоры [1,2], потребует огромных вычислительных затрат, поскольку эта задача принадлежит классу NP-полных задач дискретной математики [3]. Для установления полной наблюдаемости сети относительно большой размерности осуществляется поиск приемлемого числа узлов (субоптимальное решение). Работа посвящена разработке стратегий идентификации расположения специальных программируемых устройств (сенсоров) в узлах сети для сбора, обработки, анализа информации о функции потока в целях оценки дуговых потоков в той части сети, которая непосредственно не наблюдается. В качестве модели потоковой сети с локализацией специальных программируемых устройств (сенсоров) в узлах двунаправленной сети используется разреженная недоопределенная система линейных алгебраических уравнений. Сформируем разреженную систему специального вида на основе априорной информации от сенсоров, установленных в обзораемых узлах сети [4].

I. МОДЕЛЬ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ СЕТИ С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ СЕНСОРОВ В УЗЛАХ

Для каждого узла $i \in I$ конечного, связного, ориентированного двунаправленного графа $G = (I, U)$ выполняются условия сохранения потока

$$\sum_{j \in I_i^+(U)} x_{i,j} - \sum_{j \in I_i^-(U)} x_{j,i} = \begin{cases} x_i, & i \in I^*, \\ 0, & i \in I \setminus I^*, \end{cases} \quad (1)$$

где $x = (x_{i,j}, (i,j) \in U; x_i, i \in I^*)$ – вектор неизвестных дуговых и внешних потоков.

Для каждой дуги $(i,j) \in U$ известно численное значение $p_{i,j} \in (0,1]$, которое является долей

общего потока, исходящего из узла $i \in I$:

$$x_{i,j} = p_{i,j} \sum_{j \in I_i^+(U)} x_{i,j}, \quad \sum_{j \in I_i^+(U)} p_{i,j} = 1. \quad (2)$$

Узлы $i \in M$ сети G , в которых размещены специальные программируемые устройства (сенсоры) – обзораемые узлы, $M \subseteq I$. Дуга (i,j) – каноническая дуга узла i , если $p_{i,j} \neq 0$, $j \in I_i^+(U)$, $i \in I$. Для двунаправленного графа G при условии $p_{i,j} \in (0,1]$, $(i,j) \in U$ существует каноническая дуга (i,k) , $k \in I_i^+(U)$ с ненулевым дуговым потоком $x_{i,k}$ для каждого узла $i \in I$.

В результате размещения сенсоров в обзораемых узлах $M \subset I$ графа G известна следующая информация о функции потока:

- численные значения $f_{i,j}, f_{j,i}$ дуговых потоков соответственно для исходящих и входящих дуг каждого обзораемого узла $i \in M$:

$$x_{i,j} = f_{i,j}, \quad j \in I_i^+(U), \\ x_{j,i} = f_{j,i}, \quad j \in I_i^-(U), \quad i \in M, \quad (3)$$

- численные значения внешнего потока f_i в узлах $i \in M \cap I^* \neq \emptyset$:

$$x_i = f_i, \quad i \in M \cap I^*. \quad (4)$$

- численные значения дуговых потоков, полученные посредством известной информации, полученной от сенсоров:

$$x_{i,j} = \beta_{i,j} f_{i,k_i}, \quad j \in I_i^+(U) \setminus \{k_i\}, \\ \beta_{i,j} = \frac{p_{i,j}}{p_{i,k_i}}, \quad |I_i^+(U)| > 1; \quad (5)$$

$$\beta_{i,j} = p_{i,k_i} = 1, \quad |I_i^+(U)| = 1.$$

II. НЕНАБЛЮДАЕМАЯ ЧАСТЬ СЕТИ

Построим граф $\bar{G} = (\bar{I}, \bar{U})$ – ненаблюдаемую часть графа G . Удалим из графа G дуги и узлы, для которых известны численные значения (3) – (5). Система для вычисления неизвестных дуговых потоков графа $\bar{G} = (\bar{I}, \bar{U})$ примет вид:

$$\sum_{j \in \bar{I}_i^+(\bar{U})} x_{i,j} - \sum_{j \in \bar{I}_i^-(\bar{U})} x_{j,i} = \begin{cases} x_i + b_i, & i \in \bar{I}^*, \\ b_i, & i \in \bar{I} \setminus \bar{I}^*, \end{cases} \quad (6)$$

$$x_{i,j} = \beta_{i,j} x_{i,k_i}, j \in I_i^+(\bar{U}) \setminus \{k_i\},$$

$$\beta_{i,j} = \frac{p_{i,j}}{p_{i,k_i}}, |I_i^+(\bar{U})| > 1;$$

где $b_i, i \in \bar{I}$ – константы, полученные на основании априорной информации (3) – (5).

Граф $\bar{G} = (\bar{I}, \bar{U})$ – ненаблюдаемая часть графа $G = (I, U)$ – может быть несвязным. Некоторые компоненты связности графа $\bar{G}$ могут не содержать узлов из множества $\bar{I}^*$ с ненулевым внешним потоком. В этом случае базисный граф является **остовным деревом**. Для других компонент связности выполняется условие $\bar{I}^* \neq \emptyset$ и базисный граф – **лес деревьев**, со специальными свойствами.

III. УСЛОВИЯ ПОЛНОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ СЕТИ

Разреженная система (6) может быть одного из следующих типов:

- недоопределенная
- переопределенная
- имеет единственное решение

Основные вычислительные затраты по определению типа системы (6) (является недоопределенной, переопределенной или имеет единственное решение) относятся к вычислению ранга матрицы системы (6).

Теорема 1. Если для множества обозреваемых узлов M ранг матрицы системы (6) равен числу ее неизвестных, то система имеет единственное решение.

Теорема 2. Пусть A – матрица инцидентности связного ориентированного графа G . Строки усеченной матрицы $\tilde{A}$, образованной удалением любой строки матрицы A , линейно независимы.

Теорема 3. Пусть G – связный ориентированный двудirectionalный граф с функцией потока (1), содержащий $k = |I^*|$ узлов с внешним потоком $x_i, k \neq 0$. Известны коэффициенты $p_{i,j}, (i, j) \in U$ разбиения потока. Для определения численных значений дуговых потоков всего графа достаточно разместить $k = |I^*|$ сенсоров в узлах множества I^* . [4]

Верхняя граница $\bar{h}$ интервала $[\underline{h}, \bar{h}]$, где $\underline{h} = 1, \bar{h} = |I|$, изменения количества обозреваемых узлов графа $G = (I, U)$ субоптимального решения уменьшена до значения $\bar{h} = |I^*|, I^* \neq \emptyset$. Установка специальных программируемых устройств (сенсоров) в узлы множества I^* гарантирует полную наблюдаемость сети G .

Эффективный метод декомпозиции однородного потока разработан в [5, 6].

Подмножество $M \subseteq I^*$ обозреваемых узлов сети G – t -оптимальное решение задачи идентификации сенсорной конфигурации, $|M| \in [\underline{h}, \bar{h}]$, $\underline{h} = 1, \bar{h} = |I^*|$, если выполняются условия: $|x_i| \geq t, i \in I^*, x_i = 0, i \in I \setminus I^*, t \in [t, \bar{t}]$ и система (6) имеет единственное решение. Для заданного внешнего потока $t, |x_i| \geq t, i \in I^*$ найти подмножество $M \subseteq I^*$ обозреваемых узлов графа $G, |M| \in [1, |I^*|], |M| \leq |I^*|$, такое, что система (6) для графа $\bar{G} = (\bar{I}, \bar{U})$ – ненаблюдаемой части графа G имеет единственное решение (полная наблюдаемость сети G).

Для дальнейшего уменьшения числа $|I^*|$ обозреваемых узлов и построения сенсорной конфигурации множества узлов $M \subseteq I^*$ t -оптимального решения для заданного порога интенсивности t применяются стратегии случайного поиска числа $|M|$, принадлежащего интервалу $[\underline{h}, \bar{h}]$, где $\underline{h} = 1, \bar{h} = |I^*|$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы свойства систем с различными типами разреженности, которые возникают при построении оптимальных и субоптимальных (t -оптимальных) решений задачи оценки однородного потока в сети. В синтезе с современными инновационными технологиями разреженного матричного анализа, теории графов, теоретической информатики созданы эффективные численные методы декомпозиции. Получены условия полной наблюдаемости однородного потока для случая локализации специальных программируемых устройств (сенсоров) в узлах двудirectionalной сети.

1. Gentile M. Locating active sensors on traffic networks / Gentile M., Mirchandani P. // Annals of Operation Research. – 2006. – Vol. 144, № 1. – P. 201–234.
2. Bianco L. Combinatorial aspects of the Sensor Location Problem / Bianco L., Confessore G., Gentile M. // Annals of Operation Research. – 2006. – Vol. 144, № 1. – P. 201–234.
3. Bianco L. A network based model for traffic sensor location with implications on O/D matrix estimates / Bianco L., Confessore G., Reverbery P. // Transportation Science. – 2001. – Vol. 35, № 1. – P. 50–60.
4. Пилипчук Л. А. Идентификация сенсорной конфигурации и управление потоками / Пилипчук Л. А., Пилипчук А. С., Полячок Е. Н., Фаразев А. И. // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. – 2018. – № 2. – С. 67–76.
5. Pilipchuk L. A. Algorithms of Solving Large Sparse Underdetermined Linear Systems with Embedded Network Structure / Pilipchuk L. A., Malakhouskaya Y. V., Kincaid D. R., Lai M. // East-West J. of Mathematics. – 2002. – Vol. 4, № 2. – P. 191–201.
6. Пилипчук, Л. А. Разреженные недоопределенные системы линейных алгебраических уравнений / Л. А. Пилипчук. – Минск: БГУ, 2012. – 260 с.