

**Стратегия группового опроса датчиков в сетях мониторинга  
# 05, май 2012****DOI: 10.7463/0512.0351666****Богомолова Н. Е., Маликов А. Ю.**

УДК 004.71

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[nbogomolova09@gmail.com](mailto:nbogomolova09@gmail.com)**Введение.**

В настоящее время во всем мире внедрены различные общедоступные беспроводные сети передачи данных (БСПД): сети подвижной сотовой связи (СПСС) второго поколения стандартов GSM и CDMA, внедрен стандарт мобильных сетей третьего поколения UMTS, остаются востребованными и спутниковые системы, и специализированные сети пакетной радиосвязи. Одновременно с мобильными сетями третьего поколения получили широкое развитие широкополосные беспроводные сети типа Wi-Fi и WiMAX [1], началось внедрение системы широкополосной мобильной связи LTE, а также начинается внедрение различных сенсорных сетей.

Повсеместное проникновение различных общедоступных БСПД, а также специализированных сетей позволяет создавать на их основе различные общественные и корпоративные системы мониторинга и телеметрии. В последнее время стремительными темпами развиваются системы наблюдения за общегородским транспортом, системы управления платежными терминалами, экологический мониторинг, телемедицина и т.д.

В масштабах страны повсеместно развиваются различные корпоративные сети распределенного мониторинга, например состояние газо- и нефтепроводов. Различные типы датчиков могут устанавливаться на транспортных средствах, принадлежащих частным или государственным структурам: таксопаркам, службе скорой помощи. При этом они подключаются к системе GPS и постоянно могут передавать информацию о местонахождении и состоянии объекта. В большинстве таких систем оконечные устройства (датчики) удалены на значительные расстояния от центра сборов данных. Обычно в системах мониторинга применяются методы

упорядоченного опроса датчиков, получившие название поллинга [1, 2]. В литературе, в основном, рассматриваются циклический поллинг и адаптивный динамический поллинг. В зависимости от числа датчиков число опросов может занимать значительное время. При адаптивном динамическом поллинге опрос датчиков происходит в зависимости от их активности на предыдущем шаге. Число опросов при применении адаптивных динамических алгоритмов может быть снижено не более чем в два раза.

Если число датчиков сети превосходит несколько сотен, то индивидуальный опрос каждого датчика требует излишних ресурсов и может быть весьма продолжительным по времени, а следовательно внештатная ситуация может быть выявлена несвоевременно. В данной работе проводится анализ эффективности этого метода при использовании стратегии случайного выбора группы датчиков и опроса всей группы целиком.

#### **Математическая модель.**

Пусть имеется сеть мониторинга и телеметрии, содержащая  $t$  датчиков; требуется разработать стратегию их опроса с целью скорейшего выявления  $s$  датчиков, имеющих данные для передачи. Необходимо за наименьшее число шагов определить активные датчики таким образом, чтобы средняя вероятность неправильного определения хотя бы одного из них не превосходила заданный уровень.

В данной задаче предполагается, что  $s \ll t$ , что соответствует случаям, когда число активных датчиков в сети мало. Такая ситуация является наиболее типичной для телеметрической сети, которая покрывает большую территорию, а вероятность чрезвычайной ситуации на ее локальном участке мала. В этих условиях проведение опроса всех датчиков заняло бы значительное время, поскольку каждый цикл занимал бы не менее  $t$  опросов.

Таким образом, имеется  $t$  датчиков, состояние которых описывается переменными  $x_1, \dots, x_t$ , которые принимают значения 0 или 1; значение 0 означает, что соответствующий датчик пассивен, т.е. не имеет информации для передачи, значение 1 – что соответствующий датчик активен, т.е. должен передавать информацию. Среди них лишь переменные с номерами  $i_1, \dots, i_s$  принимают значения 1, а остальные равны 0.

Групповой опрос состоит в том, что принимается одновременно сигнал от нескольких источников. Он задается с помощью вектора  $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_t)$ , где  $a_i$  принимает значение 0 или 1. Значение  $a_i = 1$  означает, что  $i$ -й датчик участвует в опросе, а  $a_i = 0$  означает, что  $i$ -й датчик не участвует в опросе. Если  $N$ - число опросов, то все опросы задаются булевой матрицей опросов  $\mathbf{A} = (\mathbf{a}^1, \dots, \mathbf{a}^N)^T$ , где  $\mathbf{a}^j = (a_1^j, \dots, a_t^j)$  – вектор  $j$ -го опроса. Если в группе опрашиваемых датчиков имеется хотя бы один активный, то наблюдается наличие сигнала, который интерпретируется как 1. Если в группе нет ни одного активного источника, то от нее не поступает ни одного сигнала, что интерпретируется как 0. Таким образом, в качестве ответа датчиков  $j$ -ой группы сформируется результат

$$y_j = (a_1^j \wedge x_1) \vee \dots \vee (a_t^j \wedge x_t), \quad (1)$$

где  $\wedge$  – булево произведение,  $\vee$  – булева сумма.

Предполагается, что в сети возможны ошибки при передаче информации. Это означает, что значение функции  $\mathcal{Y}$  известно с некоторой ошибкой: при каждом опросе происходит искажение результата независимо от других опросов в соответствии со стохастической матрицей переходов

$$W = \begin{pmatrix} 1 - \beta_0 & \beta_0 \\ \beta_1 & 1 - \beta_1 \end{pmatrix},$$

где  $\beta_0$ - вероятность искажения приема 0 (т.е. наблюдается значение 1 вместо 0), а  $\beta_1$ - вероятность искажения приема 1 (т.е. наблюдается значение 0 вместо 1). Поэтому результат  $j$ -го опроса будет  $z_j$ , который принимает значение 0 или 1 в соответствии с  $W$  независимо от значений в других наблюдениях при условии, что значения  $y_j$  фиксированы.

Необходимо получить алгоритмы построения матрицы опроса  $\mathbf{A}$  и определить множества  $S$  активных датчиков на основании наблюдений  $\mathcal{Y}_1, \dots, \mathcal{Y}_N$ .

### Описание алгоритма.

Как следует и [3], асимптотически оптимальный план опроса  $\mathbf{A}$  получается при использовании случайной матрицы, в которой значения 1 в матрице опроса выбираются независимо друг от друга с вероятностью  $p_0$ , где  $1 - (1 - p_0)^{S_0}$

обеспечивает достижение пропускной способности  $C$  двоичного канала с переходной матрицей  $W$  ([3]);

$$C = 1 + \beta_0 \log_2(\beta_0) + (1 - \beta_0) \log_2(1 - \beta_0) \quad (2)$$

При  $\beta_0 = \beta_1$  вероятность значения 1 в матрице опроса определяется из выражения  $p_0 = 1 - \frac{s_0}{\sqrt{2}}$ . Здесь  $s_0$ - предполагаемое число активных датчиков. Из [3] следует, что нижняя граница для требуемого числа опросов  $N_0 = s \frac{\log_2(\varepsilon)}{C}$ . При создании матрицы опросов  $A$  используется избыточное число опросов  $N = \frac{s_0 \log_2(\varepsilon)}{C} (1 + \psi)$ , где параметр  $\psi > 0$  задает величину превышения числа опросов над минимально допустимым при сделанном предположении о числе активных датчиков.

Для упрощения процедуры идентификации решение об активности конкретного датчика принимается на основе пофакторного анализа [3] с использованием метода максимального правдоподобия.

Отношение правдоподобия для  $i$ -го фактора  $L(i) = a_{10}x_{10}(i) + a_{11}x_{11}(i)$ ,

где  $a_{10} = \log \frac{\beta_1}{1 - \beta_0 - p^*(1 - \beta_0 - \beta_1)}$ ;

$$a_{11} = \log \frac{1 - \beta_1}{\beta_0 + p^*(1 - \beta_0 - \beta_1)}$$

$x_{10}(i)$  - количество наблюдений, когда  $i$  - датчик опрашивался и результат опроса  $z = 0$ , и  $x_{11}(i)$  - количество наблюдений, когда  $i$  - датчик опрашивался и результат опроса  $z = 1, p^* = 1 - (1 - p_0)^{s_0}$ .

Если  $L(i) > L_0$ , то  $i$  - датчик считается активным. Порог  $L_0 > 0$  выбирается таким образом, чтобы минимизировать влияние случайных факторов. Чем выше значение порога, тем меньше вероятность ошибки неправильной идентификации неактивного датчика, но, вместе с тем, возрастает вероятность пропуска активного датчика.

Проводилось исследование эффективности предлагаемого метода группового поллинга в зависимости от изменения различных параметров модели: роста числа факторов  $t$ , величины ошибки в канале передачи данных  $\beta_0 = \beta_1$ , числа активных датчиков  $s$ . При моделировании предполагалось, что любой из датчиков может быть активным независимо от состояния других датчиков с вероятностью  $p = \frac{s}{t}$ . Для каждого варианта исходных данных проводилось 1000 численных экспериментов, в

которых каждый раз изменялся случайный план опроса. В качестве параметров качества алгоритма обнаружения активных датчиков, использовались две характеристики:  $P_1$  – вероятность того, что будет пропущен активный датчик (обнаружение лишних активных датчиков не является ошибкой) и  $P_2$  - вероятность неправильного определения хотя бы одного датчика, т.е. вероятность правильного решения задачи. Кроме того, вычислялась величина  $\hat{s}$  – среднее число обнаруженных активных датчиков.

В зависимости от значения  $s_0$  рассчитывалось число опросов по формуле

$$N = 4 \frac{s_0 \log_2(t)}{c},$$

т.е. параметр избыточности числа опросов  $\psi = 3$ . В таблице 1 приведены результаты расчетов при различных значениях числа датчиков в сети  $t$ . Значения постоянных параметров модели:

$$\beta_0 = \beta_1 = 0.01, \quad s = 2, \quad s_0 = 2.$$

Таблица 1.

Результаты расчетов при различных значениях числа датчиков в сети.

$t$	$N$	$P_1$	$P_2$	$\hat{s}$
100	56	0.09	1.00	2.10
200	64	0.08	0.97	2.03
300	68	0.06	0.99	2.05
400	72	0.07	0.98	2.04
500	76	0.03	0.99	2.03

Из таблицы видно, что с увеличением числа датчиков метод становится более эффективным, так как число опросов значительно меньше общего количества датчиков. Так при увеличении количества датчиков в пять раз, количество наблюдений увеличилось меньше чем на 30 %. Вероятность неправильного определения датчика -  $P_1$  при этом снижается, а вероятность того, что не пропустили активный датчик -  $P_2$  практически не меняется.

Далее в таблице 2 приведены результаты исследования влияния величины ошибки в канале передачи данных, при этом  $\beta_0 = \beta_1, t = 500, s = 2, s_0 = 2$ .

Результаты исследования влияния величины ошибки в канале передачи данных.

$\beta$	N	$P_1$	$P_2$	$\hat{S}$
0.01	76	0.06	1.00	2.06
0.02	80	0.06	0.99	2.06
0.03	88	0.09	0.98	2.06
0.04	92	0.04	0.98	2.01
0.05	100	0.11	0.99	2.25

Результаты моделирования показали, что с увеличением числа ошибок необходимо увеличить число наблюдений, но в целом метод устойчив к вероятностям искажения сигнала в сетях передачи данных, включая потерю единичных пакетов.

### **Выводы.**

Для современных беспроводных сетей мониторинга и телеметрии характерно большое количество датчиков информации, причем во многих случаях вероятность передачи полезной информации конкретным датчиком очень мала. В этом случае предоставлять датчикам постоянный канал связи с центральным диспетчерским пунктом экономически нецелесообразно.

Если число датчиков сети превосходит несколько сотен, то применение циклических опросов или других способов индивидуального опроса датчиков требует излишних ресурсов и может быть весьма продолжительным по времени.

Метод группового опроса датчиков оправдан для сетей большой емкости. Чем больше размер сети, тем больше эффективность метода группового опроса.

Метод группового опроса датчиков устойчив к вероятностям искажения сигнала в сетях передачи данных, включая потерю единичных пакетов.

Метод группового опроса датчиков предполагает наличие нескольких режимов опроса при фиксированном числе активных датчиков.

### **Литература**

1. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. М.: Техносфера, 2009. -472 с.
2. Вишневский В.М., Семенова О.В. Системы поллинга: теория и применение в широкополосных и беспроводных сетях. М: Техносфера, 2007. – 312 с.
3. Малютов М.Б. Нижние границы для средней длины последовательного планирования экспериментов. – Известия вузов. Математика, 1983, т. 27, № 11, с. 19-41.

## Strategy of group query of sensors in monitoring networks

# 05, May 2012

DOI: [10.7463/0512.0351666](https://doi.org/10.7463/0512.0351666)

Bogomolova N.E., Malikov A.Yu.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

[nbogomolova09@gmail.com](mailto:nbogomolova09@gmail.com)

This article deals with the strategy of group query of sensors in wireless monitoring networks. The authors proposed a mathematical model of monitoring networks; construction algorithms of matrix query were obtained. The results of network numerical simulation in the case of changing of various parameters of the model are included in the article.

---

**Publications with keywords:** [wire-less sensor networks](#), [group polling of sensors](#), [polling matrix](#), [cyclic polling](#), [adaptive dynamic polling](#)

**Publications with words:** [wire-less sensor networks](#), [group polling of sensors](#), [polling matrix](#), [cyclic polling](#), [adaptive dynamic polling](#)

---

### References

1. Vishnevskii V.M., Portnoi S.L., Shakhnovich I.V. *Entsiklopediia WiMAX. Put' k 4G* [Encyclopedia of WiMAX. The path to 4G]. Moscow, Tekhnosfera, 2009. 472 p.
2. Vishnevskii V.M., Semenova O.V. *Sistemy pollinga: teoriia i primenenie v shirokopolosnykh i besprovodnykh setiakh* [The system of polling: theory and application in broadband and wireless networks]. Moscow, Tekhnosfera, 2007. 312 p.
3. Maliutov M.B. Nizhnie granitsy dlia srednei dliny posledovatel'nogo planirovaniia eksperimentov [Lower bounds for the average length of the sequential planning of experiments]. *Izvestiia vuzov. Ser. Matematika*, 1983, vol. 27, no. 11, pp. 19-41.