

On the Method of Group Polling Upon the Independent Activity of Sensors in Unsynchronized Wireless Monitoring Networks

Alexander Shtokhov, Ivan Tsitovich

Описание проблемы

- Передача информации с использованием беспроводных сенсорных сетей (wireless sensor networks)
- В настоящее время используются при построении сетей сенсоров мониторинга чрезвычайных ситуаций, мониторинга состояния сложных архитектурных сооружений, экологический мониторинг и др.
- В беспроводных сенсорных сетях отсутствует ограничение на количество устройств использующих каналы связи
- Технические требования и стандарты на устройства и принципы передачи информации с использованием беспроводных сенсорных сетей не проработаны.

Постановка задачи

- Задача рассматривается в условии применения беспроводной сенсорной сети построенной на базе LTE протокола
- Сенсоры передают информацию трех типов
 - индикация работы сенсора
 - обнаружение чрезвычайной ситуации
 - детальная информация о чрезвычайной ситуации
- Для сбора информации об обнаружении чрезвычайных ситуаций используется один канал
- Стоит задача идентификации сенсоров передающих сигнал об обнаружение чрезвычайной ситуации
- После обнаружения таких сенсоров им выделяется отдельный канал для передачи детальной информации

Математическая модель организации связи по одному каналу

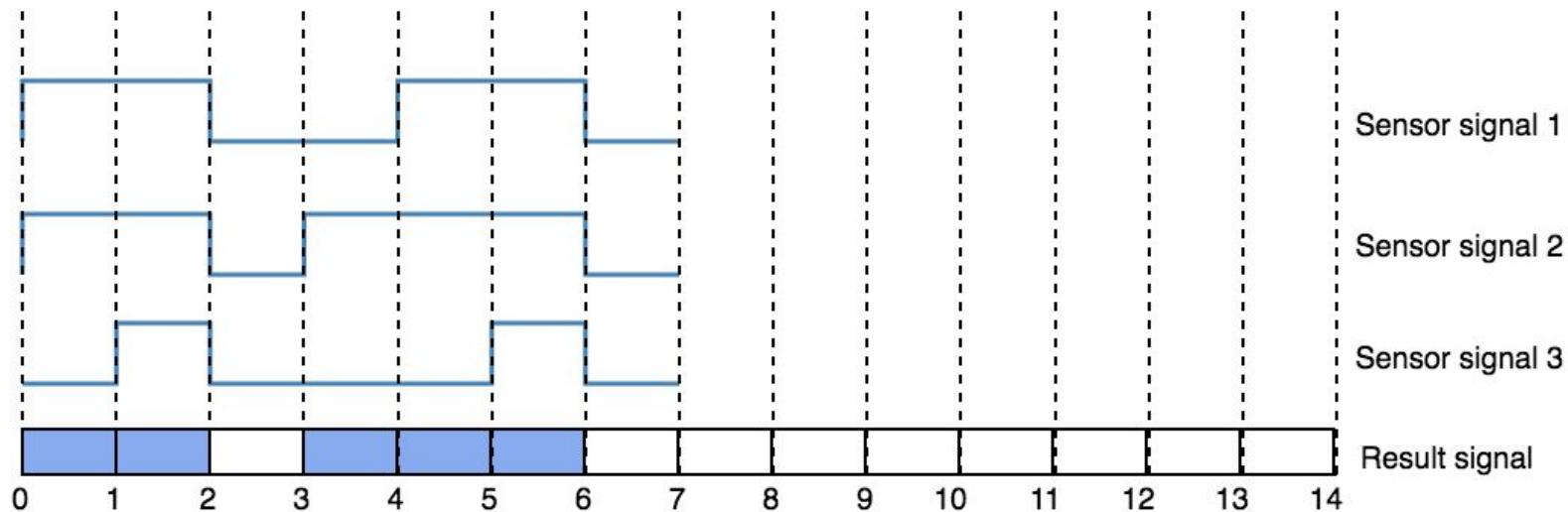
- Беспроводная сеть содержит t сенсоров
- Каждый сенсор обладает своим уникальным кодом $A=(a_1 \dots a_t)$
- a_i принимает значение 0 или 1, активен сенсор или нет.
- Количество активных сенсоров $s \ll t$
- Сенсор начинает передавать сигнал в момент времени u_i и передает его в течении времени U
- Состояние t сенсоров описывается переменными $x_1 \dots x_t$
- Ответ от сенсоров для j -ого опроса

$$f_j = (a_1^j \wedge x_1) \vee \dots \vee (a_t^j \wedge x_t)$$

- Наблюдаемый сигнал g_j , возможно искажен помехами в канале связи
- Задача определить индексы активных сенсоров

Пример передачи сигнала активными сенсорами

- $A_1 = (1, 1, 0, 0)$ $A_2 = (1, 1, 0, 1)$ $A_3 = (0, 1, 0, 0)$



Отсутствие синхронизации во времени

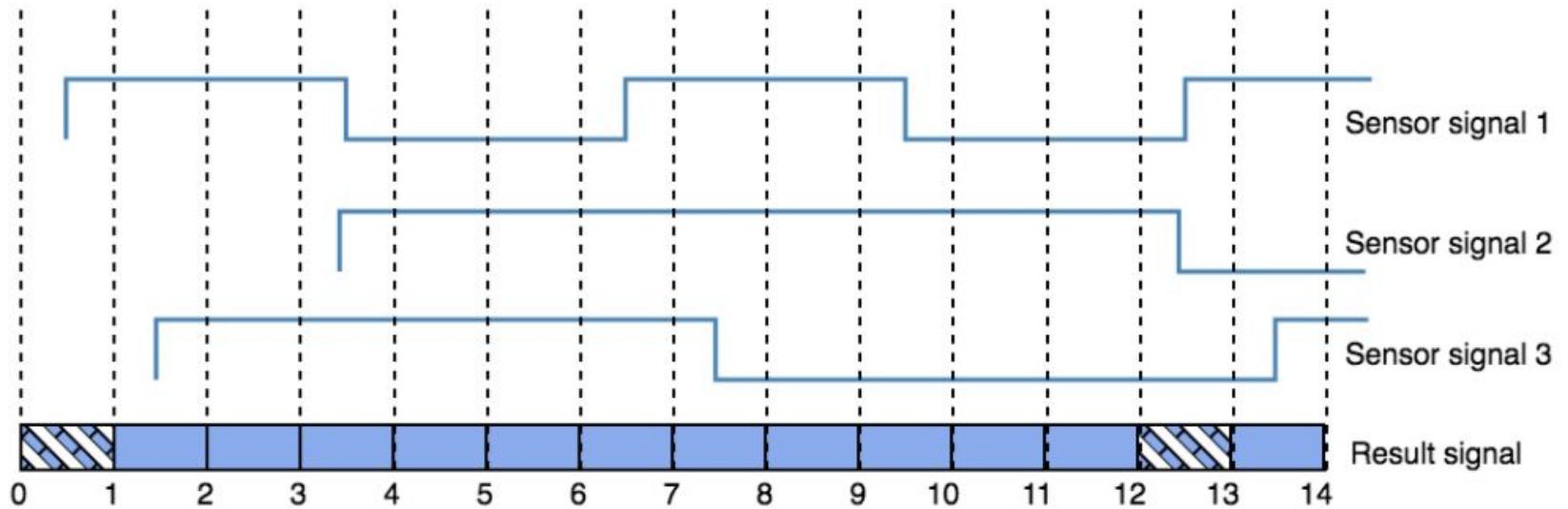
- Время разбито на такты одинаковой длины
- Необходимо передавать сигнал сенсором в течении одного полного такта
- Сигналы от сенсоров, также как и передаваемый и наблюдаемый сигналы - это функции от времени

$$a_i(u) = \begin{cases} 0, & \text{if } u < u_i, \\ a_i^j, & \text{if } u_i + (j-1)k\Delta \leq u < u_i + jk\Delta, j = 1, \dots, N, \\ a_i^j, & \text{if } u_i + (N+j-1)k\Delta \leq u < u_i + (N+j)k\Delta, \\ & j = 1, \dots, N, \\ & \text{and so on.} \end{cases}$$

$$f(u) = (a_1(u) \wedge x_1) \vee \dots \vee (a_t(u) \wedge x_t)$$

$$f_j = \begin{cases} 1, & \text{if } f(u) \equiv 1, \\ 0, & \text{if } f(u) \equiv 0, \\ nil, & \text{if } \exists u_1, u_2 : f(u_1) \neq f(u_2). \end{cases}$$

Отсутствие синхронизации во времени



Алгоритм обнаружения активных сенсоров во всех совпадениях

- Вычисляются априорные вероятности $a_{00}, a_{01}, a_{10}, a_{11}$ с учетом совпадения по всем битам сдвига
- Вычисляются функции правдоподобия для каждого сдвига во времени, циклического сдвига кода сенсора и каждого опроса

$$L(i, l, m) = a_{00}x_{00}(i, l, m) + a_{01}x_{01}(i, l, m) + a_{10}x_{10}(i, l, m) + a_{11}x_{11}(i, l, m)$$

- На основании значения максимума оценки для функции правдоподобия определяем акт

$$\max_{l=0, \dots, Nk} \max_{m=1, \dots, Nk} L(i, l, m) > L_0,$$

Алгоритм обнаружения активных сенсоров в части совпадений

- Вычисляются априорные вероятности $a_{00}, a_{01}, a_{10}, a_{11}$ с учетом совпадения хотябы по одному биту сдвига
- Вычисляются функции правдоподобия для каждого сдвига во времени, циклического сдвига кода сенсора и каждого опроса

$$L(i, l, m) = a_{00}x_{00}(i, l, m) + a_{01}x_{01}(i, l, m) + a_{10}x_{10}(i, l, m) + a_{11}x_{11}(i, l, m)$$

- На основании значения максимума оценки для функции правдоподобия определяем акт

$$\max_{l=0, \dots, Nk} \max_{m=1, \dots, Nk} L(i, l, m) > L_0,$$

Результаты алгоритма 1

Table 2. Results for $t = 500$, $N = 144$.

| k | M | P_1 | P_2 | \bar{s} |
|-----|------|--------|-------|-----------|
| 3 | 1000 | 0.004 | 0.007 | 1.999 |
| 4 | 2000 | 0.0025 | 0.004 | 1.999 |
| 5 | 3000 | 0.0023 | 0.004 | 1.999 |

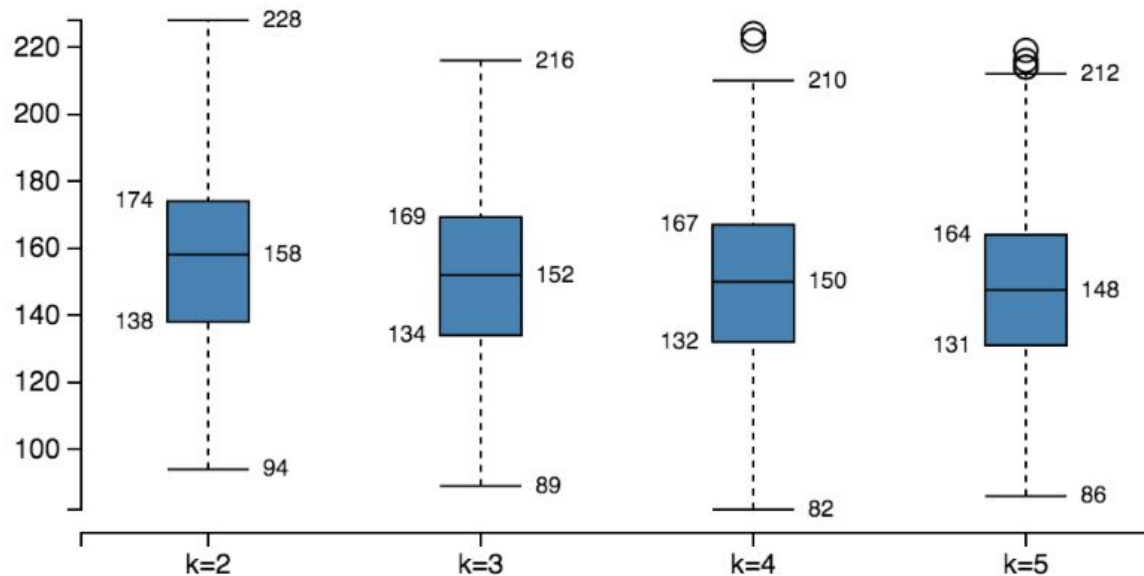
Table 3. Results for $t = 1000$, $N = 152$.

| k | M | P_1 | P_2 | \bar{s} |
|-----|------|--------|--------|-----------|
| 3 | 1000 | 0.001 | 0.010 | 2.009 |
| 4 | 2000 | 0.0015 | 0.006 | 2.003 |
| 5 | 3000 | 0.0017 | 0.0047 | 2.001 |

Table 4. Results for $t = 5000$, $N = 172$.

| k | M | P_1 | P_2 | \bar{s} |
|-----|------|-------|--------|-----------|
| 3 | 1000 | 0.000 | 0.009 | 2.009 |
| 4 | 2000 | 0.000 | 0.0045 | 2.004 |
| 5 | 3000 | 0.000 | 0.0030 | 2.003 |

Результаты алгоритма 1



Box plot распределения количества nil значений в результирующем сигнале для $t=1000$, $N=152$, $s=2$ (оценки на основе 1000 симуляций)

Результаты алгоритма 2

Table 5. Results for $t = 500$, $N = 144$.

| k | M | P_1 | P_2 | \bar{s} |
|-----|------|--------|--------|-----------|
| 3 | 1008 | 0.002 | 0.006 | 2.003 |
| 4 | 2016 | 0.0025 | 0.1736 | 3.31 |
| 5 | 3024 | 0.0030 | 0.1859 | 3.26 |

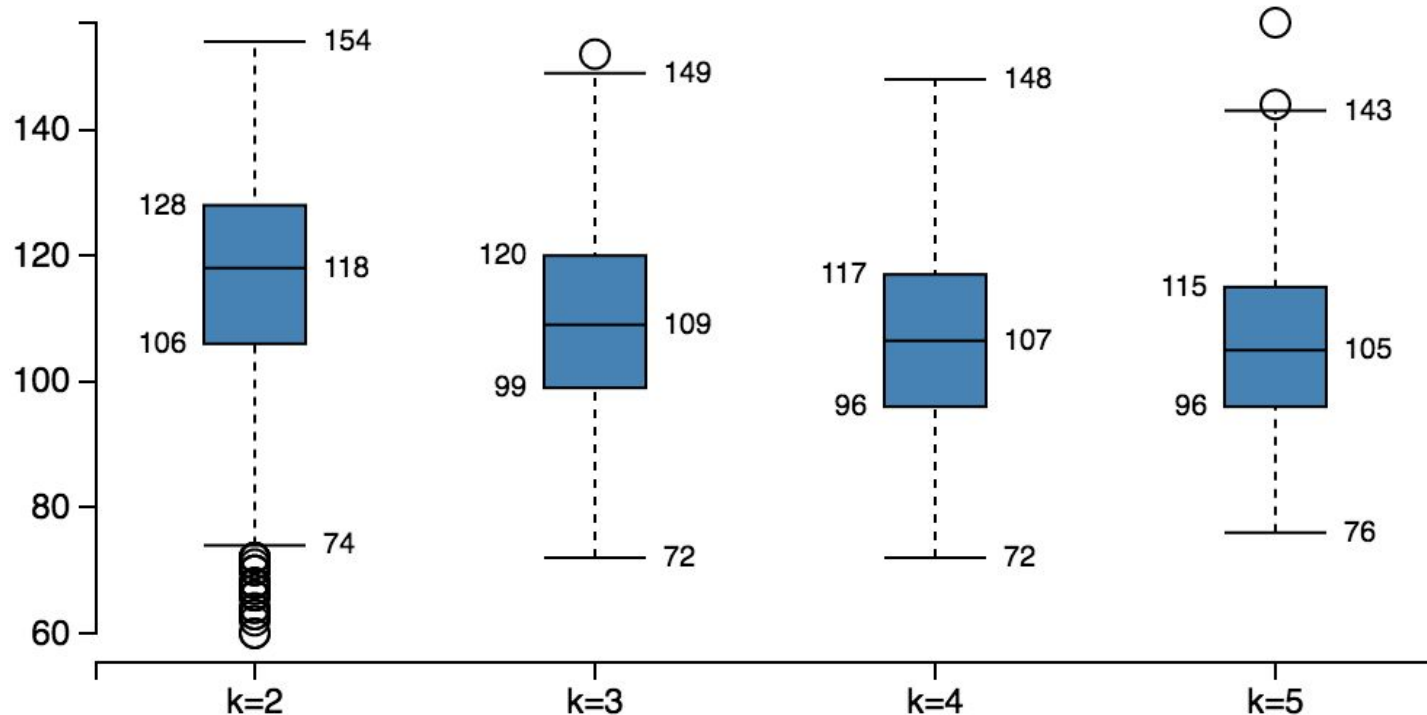
Table 6. Results for $t = 1000$, $N = 152$.

| k | M | P_1 | P_2 | \bar{s} |
|-----|------|--------|-------|-----------|
| 3 | 1008 | 0.001 | 0.006 | 2.004 |
| 4 | 2016 | 0.0015 | 0.197 | 4.92 |
| 5 | 3024 | 0.0017 | 0.209 | 4.39 |

Table 7. Results for $t = 5000$, $N = 172$.

| k | M | P_1 | P_2 | \bar{s} |
|-----|------|---------|-------|-----------|
| 3 | 1008 | 0.000 | 0.004 | 2.004 |
| 4 | 2016 | 0.0001 | 0.211 | 6.85 |
| 5 | 3024 | 0.00006 | 0.214 | 6.11 |

Результаты алгоритма 2



Box plot распределения количества nil значений в результирующем сигнале для $t=1000$, $N=152$, $s=2$ (оценки на основе 1000 симуляций)

Оптимизация длины кодового слова

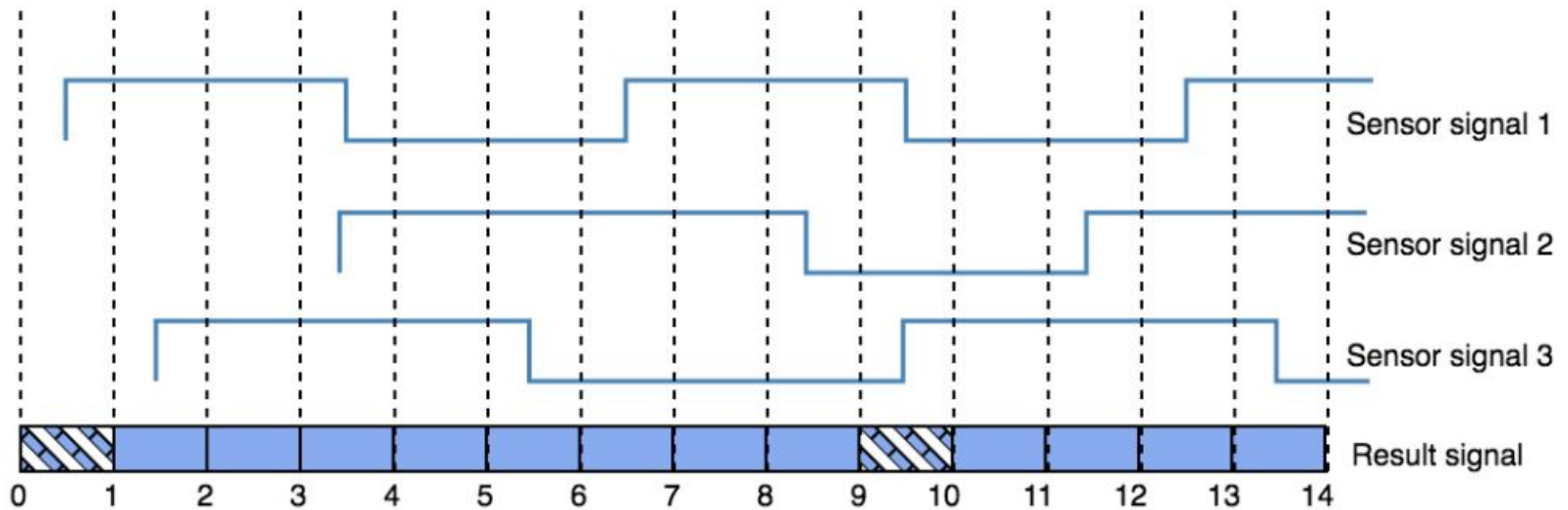


Fig. 3. Codes with varied length for $k = 3$

Выводы

- Составлена математическая модель организации связи в одном канале при отсутствии синхронизации во времени
- Разработан алгоритм решения задачи обнаружения активных датчиков в рамках составленной модели
- Проведено численное моделирование
- Обнаружение активных сенсоров требует $O(\log t)$

Вопросы