

## 1. Фильтр Калмана для RSSI

Применение фильтра Калмана для «сырых» RSSI предполагает решение двух задач:

- сглаживание флуктуирующих значений RSSI;
- восстановление «пропущенных» пакетов показаниями модели фильтра Калмана.

В результате применения фильтра ожидается более эффективное сглаживание (шумоподавление) принятых значений RSSI и восстановление пропущенных пакетов на основе модели фильтра Калмана.

В основу фильтра положена модель равномерного изменения RSSI от времени, которая записывается в следующем виде:

$$\begin{cases} RSSI_i = RSSI_{i-1} + \Delta t \cdot \Delta RSSI_{i-1} \\ \Delta RSSI_i = \Delta RSSI_{i-1} \end{cases}$$

где  $\Delta RSSI_i$  – скорость изменения RSSI.

## 2. Основные уравнения

Под реализацией фильтра Калмана будем понимать формирование всех матриц, необходимых для его использования (рисунок ниже).

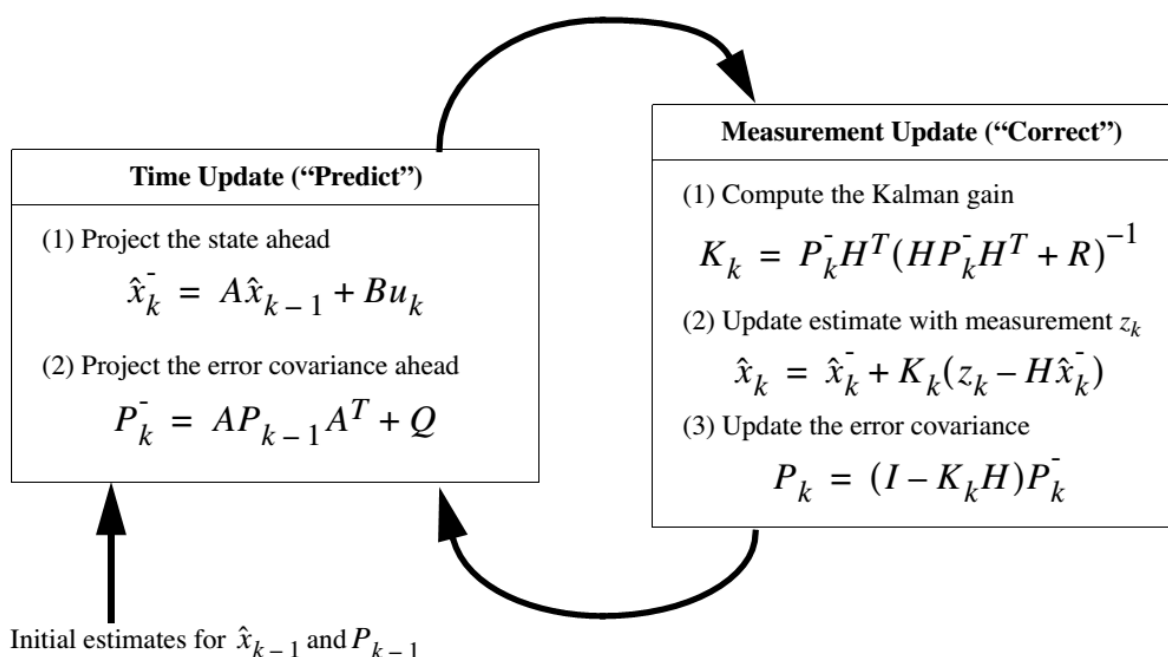


Рисунок 1 – Общая схема работы фильтра Калмана

Фильтрация осуществляется в несколько этапов:

1) **Предсказание** ("Predict" на рис. выше). Этап заключается: **а)** в предсказании значений  $RSSI_k$  и  $\Delta RSSI_k$  для текущего момента времени  $k$  (вектор  $X_k^-$ ) по модели фильтра с использованием значения  $RSSI$  за предыдущий момент времени  $k-1$  (вектор  $X_{k-1}$ ); **б)** в предсказании значения матрицы ковариации ошибок модели ( $P_k^-$ ) с использованием значения матрицы за предыдущий момент времени  $k-1$  ( $P_{k-1}$ ) и матрицы шума модели фильтра ( $Q$ ).

2) **Коррекция** ("Correct" на рис. выше). Этап заключается:

**а)** в вычислении коэффициента Калмана  $K_k$  (по сути, он показывает, в какой пропорции доверять предсказанным значениям  $RSSI_k$  и  $\Delta RSSI_k$  по модели ( $X_k^-$ ) и измеренному значению  $RSSI$  ( $Z_k$ ));

**б)** в вычислении значений  $RSSI_k$  и  $\Delta RSSI_k$  для текущего момента времени  $k$  ( $X_k$ ) с учетом предсказанных значений по модели фильтра ( $X_k^-$ ), измеренного значения  $RSSI$  ( $Z_k$ ) и коэффициента Калмана  $K_k$  (другими словами, в коррекции предсказанных значений ( $X_k^-$ ) по измерению  $RSSI$  ( $Z_k$ ), где степень коррекции определяется коэффициентом Калмана ( $K_k$ ));

**в)** в вычислении значения матрицы ковариации ошибок модели для текущего момента времени ( $P_k$ ) по ее предсказанному значению ( $P_k^-$ ) и коэффициенту Калмана  $K_k$  (другими словами, в коррекции предсказанных значений ( $P_k^-$ ), где степень коррекции определяется коэффициентом Калмана ( $K_k$ )).

### 3. Основные уравнения

#### Уравнение 1:

$$X_k^- = A_k \cdot X_{k-1} + B \cdot U_k,$$

где

$$X_{k-1} = \begin{bmatrix} RSSI_{k-1} \\ \Delta RSSI_{k-1} \end{bmatrix};$$

$$\Delta RSSI_{k-1} = RSSI_{k-1} - RSSI_{k-2};$$

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$B = U_k = 0;$$

$\Delta t_k$  – интервал времени между приходом двух пакетов ( $k$ -го и  $(k-1)$ -го) от маячка;

### **Уравнение 2:**

$$P_k^- = A_k \cdot P_{k-1} \cdot A_k^T + Q,$$

где  $P_k = \begin{bmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) \\ p_{21}(k) & p_{22}(k) \end{bmatrix}$  – ковариационная матрица, пересчитывается на каждой итерации; для инициализации используются следующие ее значения  $P_0 = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix}$ , которые взяты из рекомендаций в научной статье.

$Q = \begin{bmatrix} 0.001 & 0 \\ 0 & 0.001 \end{bmatrix}$  – матрица шума модели процесса; показывает, насколько точна наша модель; считаем, что модель достаточно точна; значение "0" установить нельзя, так как в этом случае фильтр выродится;

"." – операция матричного умножения.

### **Уравнение 3:**

$$K_k = P_k^- \cdot H^T \cdot (H \cdot P_k^- \cdot H^T + R)^{-1},$$

$R = [0.1]$  – матрица шума измерения RSSI;

$H = [1 \ 0]$  – матрица соответствия (идентичности).

### **Уравнение 4:**

$$X_k = X_k^- + K_k \cdot (Z_k - H \cdot X_k^-),$$

где  $Z_k$  – текущее измеренное значение RSSI.

### **Уравнение 5:**

$$P_i = (I - K_i \cdot H) \cdot P_i^-,$$

где  $I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  – единичная матрица.

#### 4. Блок-схема реализации фильтра (с учетом всех маячков)

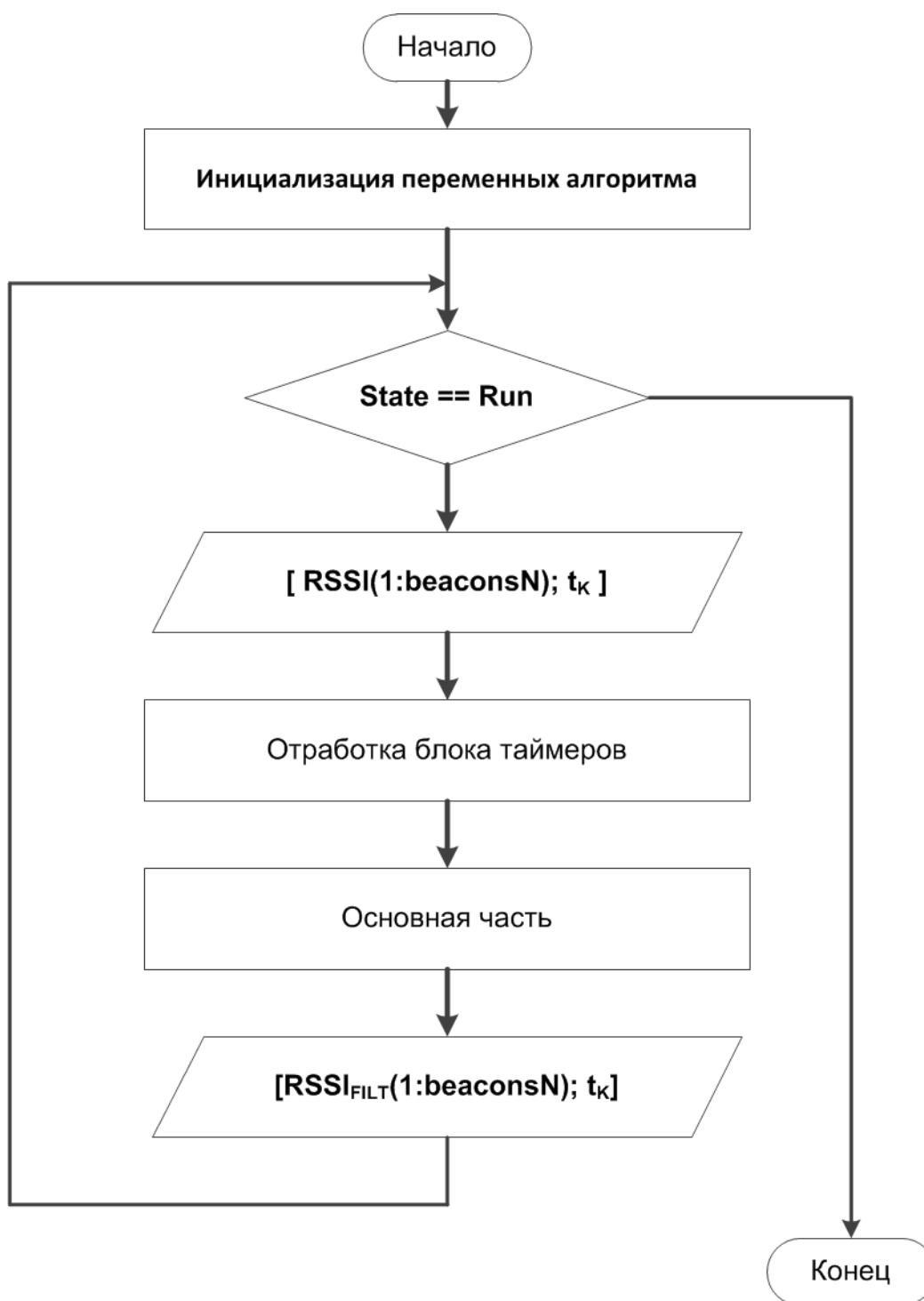


Рисунок 2 - Общий поток этапов алгоритма

### Инициализация переменных алгоритма

В алгоритме используются следующие глобальные переменные:

**beaconsN** – Количество маячков

**X\_many** – массив (размером 2 строки x **beaconsN** столбцов), который в столбце для каждого маячка хранит параметры ( $RSSI(t)$ ;  $\Delta RSSI(t)$ ); инициализируется нулями; используется для хранения значений матрицы **X** для каждого маячка;

**P\_many** – массив (размером 4 строки x **beaconsN** столбцов) состояний ковариационной матрицы; инициализируется нулями; используется для хранения значений матрицы **P** для каждого маячка;

**timer** – массив (размером 1 строка x **beaconsN** столбцов) счетчиков; хранит информацию о том, как давно было получено последнее измерение для определенного маячка.

В алгоритме используются следующие константы и параметры:

**P\_init** – массив (матрица 2 x 2) начальных значений ковариационной матрицы; значения: (1я строка) (100, 0) и (2я строка) (0, 100);

**Q** – массив (матрица 2 x 2) значений дисперсии шума модели процесса; значения: (1я строка) (0.001, 0) и (2я строка) (0, 0.001);

**R** – значение дисперсии шума измерений; равно 0.1;

**timeout** – время, в течении которого потерянные пакеты восстанавливаются при помощи модели; если новых пакетов от маячка за данное время не пришло, то далее используется последнее сохраненное значение на выходе фильтра; равно 1.5 сек.

**H** – матрица идентичности (матрица-строка на 2 элемента); значения равны (1, 0);

**A** – матрица преобразования (матрица 2 x 2); значения равны: (1я строка) (1,  $\Delta t$ ) и (2я строка) (0, 1); значение  $\Delta t$  (интервал времени между предыдущим и текущим пакетами) меняется в процессе работы алгоритма;

**I** – единичная матрица (матрица 2 x 2) с единицами на главной диагонали, т.е. значения равны: (1я строка) (1, 0) и (2я строка) (0, 1);

В алгоритме используются следующие локальные переменные:

**X** – массив (размером 2 ячейки), который для текущего маячка хранит параметры ( $RSSI(t)$ ;  $\Delta RSSI(t)$ ); инициализируется нулями;

**P** – массив (размером 2 строки x 2 столбца) текущих значений ковариационной матрицы для рассматриваемого маячка

Рисунок 3 – Инициализация переменных

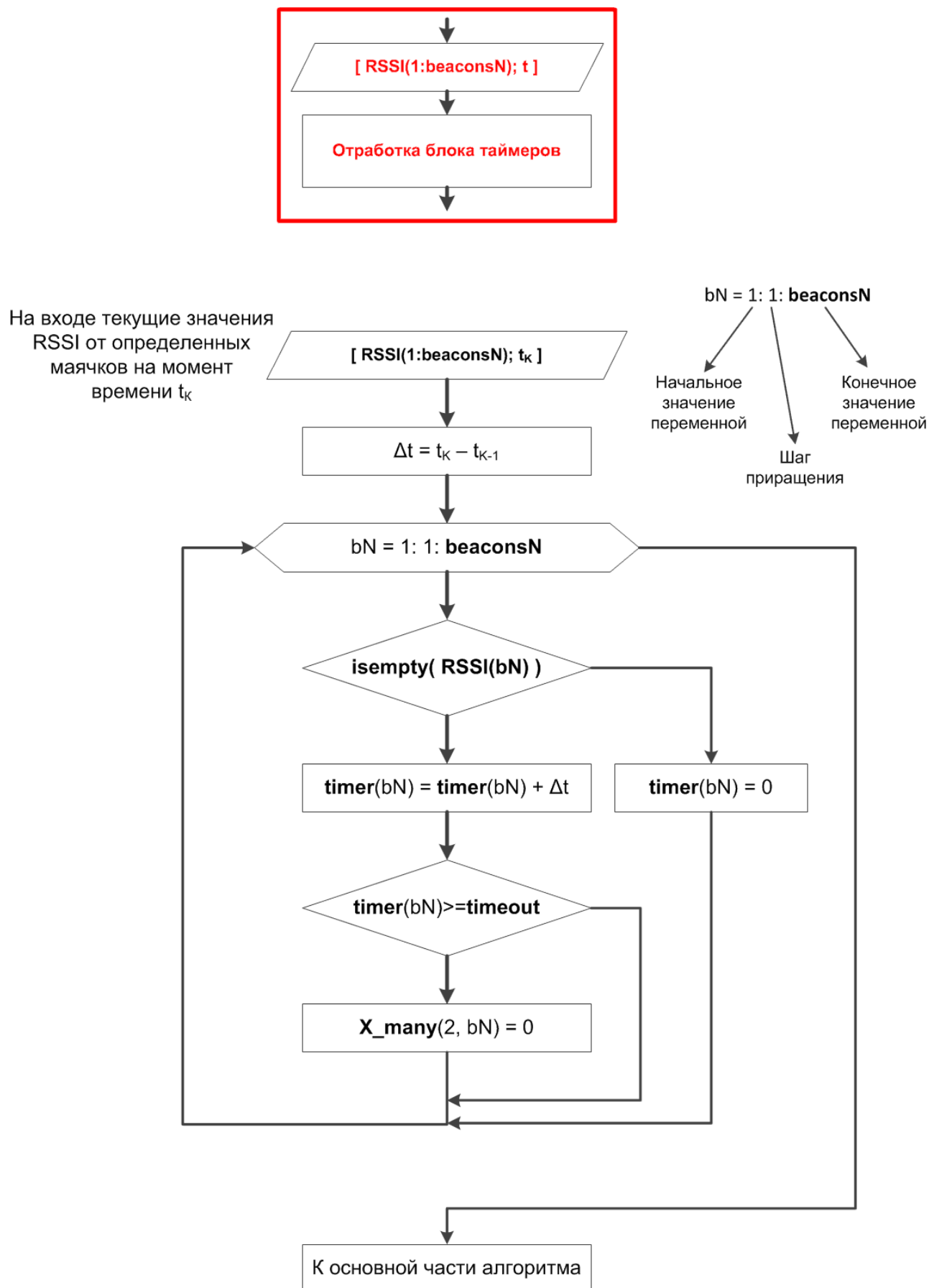


Рисунок 4 – Блок таймеров

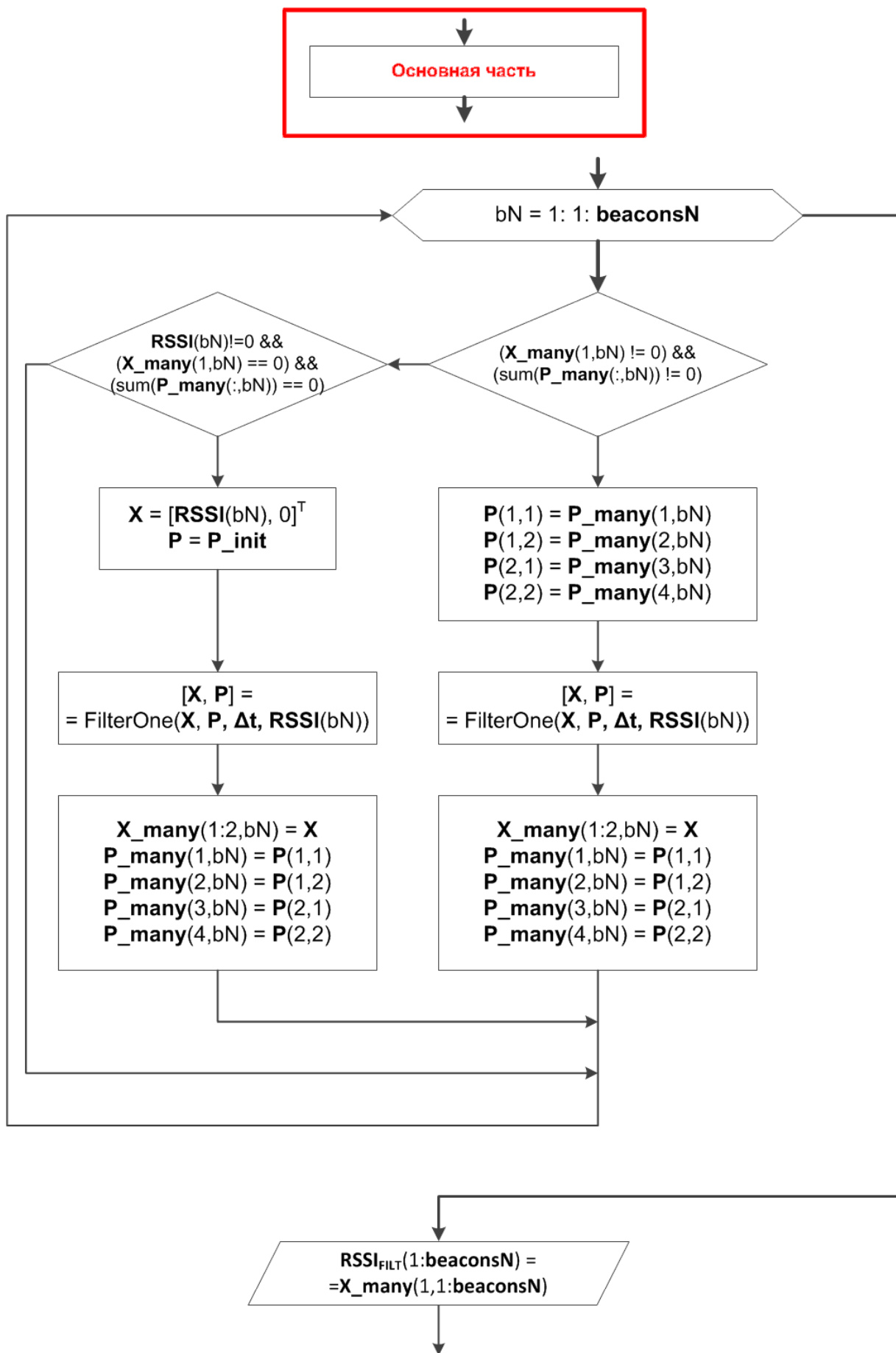


Рисунок 5 – Основная часть

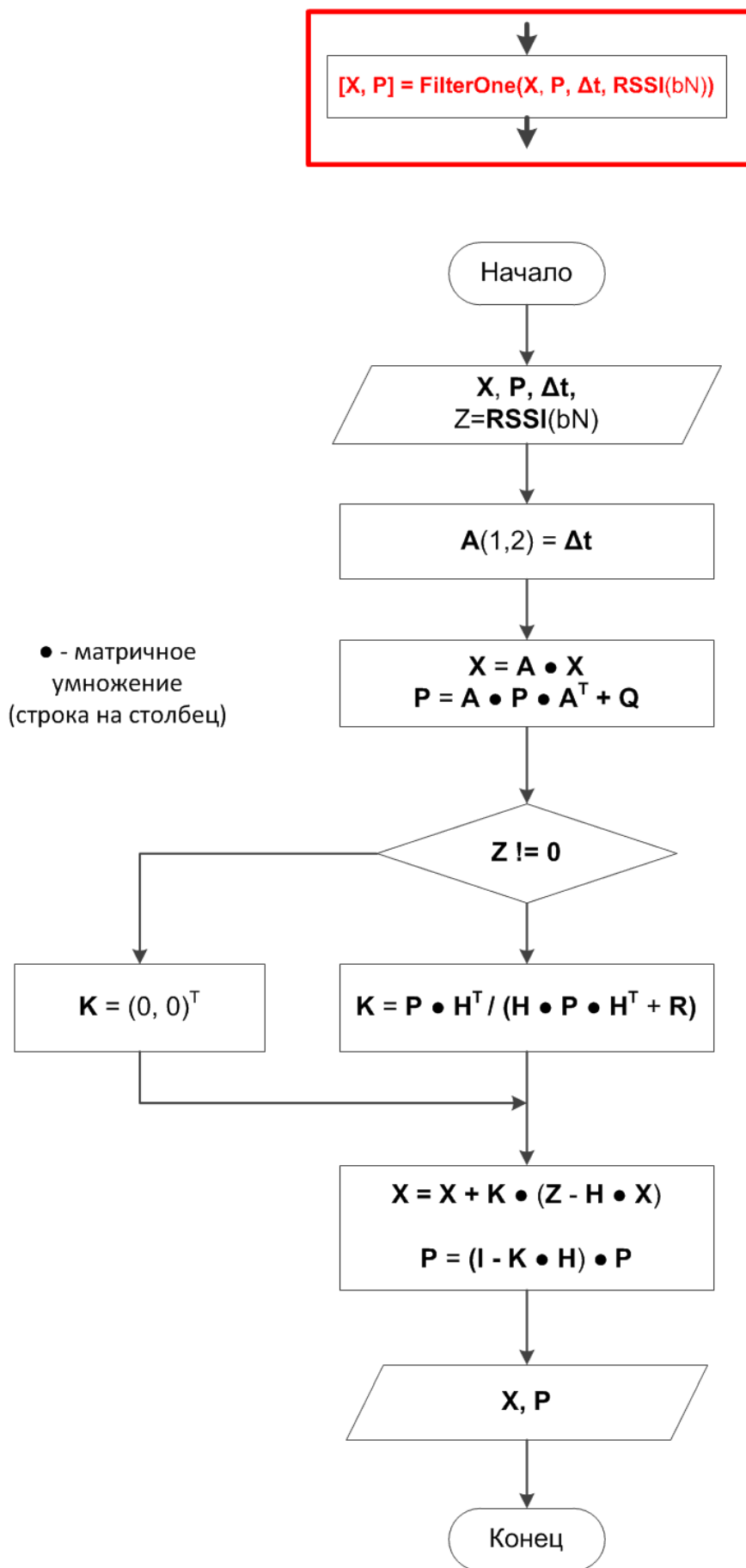


Рисунок 6 – Функция FilterOne



Поскольку фильтр Калмана довольно распространен в задачах трекинга и управления, и в Indoor, скорее всего, будет использовано две его реализации (фильтр для RSSI – текущий, и для координат – в будущем), возможно имеет смысл создать виртуальный класс, от которого затем наследовать конкретные реализации. Это будет достаточно удобно и эффективно, поскольку уравнения в фильтре в любом случае остаются неизменными.