

## СИНХРОНИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЕННЫХ МЕТОК ЧАСОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Брицун А. В., Петрова В.Н.

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского*

*Email: nobodylovesnazi@gmail.com*

### Timestamp Clock-based Synchronization in Wireless Sensor Networks

Many applications in wireless sensor networks demand synchronizations in a local or global range, but most of existing synchronization protocols consume too much energy of sensor nodes due to periodical synchronization operations. This paper proposes an on demand mechanism, in which a sensor node uses its local clock to generate timestamps for events that it senses, and then the timestamps can be synchronized to a reference time base. By decoupling the synchronization operations from the data communication, the transformation of timestamps can be optimized independently from the delivery of data packets.

Синхронизация времени играет важную роль в беспроводных сенсорных сетях. Единственным рабочим способом большинства этих сетей является обмен пакетами, содержащими временные метки. Если временные метки данных, поступающих с разных узлов датчиков, не основаны на одной и той же ссылке времени, невозможно слияние данных [1]. Для того, чтобы избежать зависимости от достижимости опорного узла, который обеспечивает глобальное время сетей (GNT), каждый узел датчика использует локальные часы для генерации метки времени для событий, которые он мониторит. Каждое событие, обнаруженное узлом, инкапсулируется в два типа пакетов: пакет времени и пакет данных, которые могут быть маршрутизированы независимо и объединены в одно сообщение узле приемника.

Рассмотрим беспроводную сеть, состоящую из узлов, сконфигурированных с помощью генераторов, которые могут обеспечивать локальное время синхронизации. События, собранные на каждом узле, агрегируются и отправляются на узел-приемник для объединения данных или для принятия решения. Предполагается, что диапазон передачи каждого узла ограничен, коммуникация работает в режиме нескольких ходов и единственный способ достижения синхронизации - это обмен пакетами. Местное время синхронизации узла  $i$  можно приближенно указать как [2]:

$$T_i(t) = \beta_i * t + T_i(0) \quad (1)$$

где  $T_i$  - временной процесс часов,  $t$  - реальное время,  $\beta_i$  - перекося часов узла  $i$  по отношению к реальному времени, а  $T_i(0)$  - начальное время часов узла  $i$ . В общем случае  $T_i(0)$  и  $\beta_i$  будут разными для каждого узла и приблизительно постоянны в течение длительного периода времени [2]. Каждый узел может немедленно запустить операции обнаружения, даже если его часы еще не синхронизированы. Каждое событие, обнаруженное сенсорным узлом, разделяется на два типа пакетов: пакеты времени и пакеты данных с одинаковой идентификацией события (EID) [3]. Пакеты данных направляются непосредственно на приемник. Однако временная метка события генерируется с использованием локальных часов и должна быть преобразована в локальное время узла приемника

или глобального сетевого времени (GNT), если по крайней мере глобальный поставщик времени доступен.

Рассмотрим два сценария. В первом узел датчика сообщает о событии узлу приемника, а глобальный поставщик времени доступен из узла датчика. Временная метка события (EID) преобразуется в GNT, используя процесс преобразования временной метки и переносится на узел приемника. После получения пакета временной метки и пакета данных узел приемника будет соответствовать им с помощью EID и объединить их в одно сообщение о событии (EID, TIMESTAMPGnt, Data) с меткой времени, соответствующей GNT.

Другой сценарий – когда глобальный поставщик времени недоступен от узла датчика, но доступен только с узла приемника. Узел отправит пакет данных в узел приемника и преобразует временную метку события в локальное время узла приемника. Так как последний способен достичь глобального поставщика времени, он может преобразовать временную метку события в GNT. Достаточно преобразовать временные метки в локальное время узла приемника, если GNT не требуется.

Каждый узел преобразует временные метки, встроенные в принятые пакеты, из соседних узлов в локальное время. Хотя преобразование временной метки происходит только между соседними узлами, оно обычно не может быть выполнено в точности из-за непредсказуемости компьютерных часов. Введение эмпирической оценки неизбежно.

*А. Временная трансформация.* Когда узел  $j$  получает сообщение с отметкой времени из узла  $i$ , временная метка события будет преобразована в локальное время узла  $j$ , используя выражение:

$$T_j(t_0) = T_i(t_0) + D_{i,j}(t_0), \quad (2)$$

где  $t_0$  - недоступное идеальное время, в котором произошло событие, а  $T_i(t_0)$  - метка времени события, соответствующего местному времени узла  $i$ . Однако конкретные формы функции  $D_{i,j}(t)$  также недоступны. Мы можем вычислить временную метку локального времени узла таким образом:

$$T_j(t^0) = T_j(t^1) - \frac{\beta_j}{\beta_i} \times (T_i(t^1) - T_i(t^0)). \quad (3)$$

Чтобы получить  $T_j(t^0)$ , узлу  $j$  нужно не только знать  $T_i(t^0)$ ,  $T_i(t^1)$  и  $T_j(t^1)$ , но и вычислить эмпирическую оценку  $\frac{\beta_j}{\beta_i}$ . Единственный способ получить значения этих переменных - обмен пакетами между узлом  $i$  и узлом  $j$ .

*В. Процесс синхронизации.* Предполагаем, что исходный узел пытается преобразовать метку времени в глобальный провайдер времени. Основные этапы по требованию синхронизации выполняются следующим образом:

1) Исходный узел начинает обнаружение маршрута, передавая пакет запроса (RREQ), чтобы найти маршрут к узлу назначения;

2) Когда глобальный провайдер времени получает RREQ, он отправляет ответный пакет (RREP), который несет информацию о времени,  $T_{31}$ , указывающий, когда отправляется RREP;

3) После получения сообщений каждый промежуточный узел будет передавать сообщение RREP, как обычно. Одновременно промежуточный узел

должен записывать как информацию  $T_{31}$ , так и  $T_{22}$  при отправке RREP. Когда исходный узел получает RREP, он также записывает информацию  $T_{11}$ ;

4) Затем исходный узел может преобразовать метку времени в GNT, используя найденный маршрут маршрутизации. Исходный узел начинает посылать пакет временной метки (EID, timestamp1) поставщику времени, где timestamp1 указывает момент, в который собираются события. Чтобы включить промежуточный узел для преобразования временной метки пакет временных меток также содержит информацию  $T_{22}$   $T_{11}$  и  $T_{12}$ ;

5) После приема пакета подтверждения при  $T_{1,2}$  промежуточное устройство может вычислять смещение тактового сигнала  $\delta$  и задержку  $d$ . Итак, промежуточный узел преобразует Timestamp1 в Timestamp2, соответствующий его местному времени, а затем глобальный поставщик времени преобразует Timestamp2 в Timestamp3, соответствующий его местному времени, то есть, GNT.

$$\delta = \frac{(T_{23} - T_{12}) - (T_{11} - T_{22})}{2} \quad (4)$$

$$d = \frac{(T_{23} - T_{12}) + (T_{11} - T_{22})}{2} \quad (5)$$

Предполагая, что задержка обмена сообщениями в обоих направлениях равна, мы можем получить  $D_{i,j}(t) = d$  (для  $T_{1,1} < t \leq T_{1,2}$ ) в уравнении (2). Фактически, из-за больших временных изменений обмена сообщениями расчеты должны повторяться с использованием статистики для получения достаточно точных результатов. Учитывая продолжительность, на которую хранится метка времени в исходном узле, мы можем получить следующие уравнения.

$$\frac{\beta_j}{\beta_i} = \frac{T_{12} - T_{11} + 2d}{T_{12} - T_{11}} \quad (6)$$

$$Timestamp2 = T_{23} - \frac{\beta_j}{\beta_i} (T_{12} + d - Timestamp1) \quad (7)$$

$$Timestamp2 = T_{32} - \frac{\beta'_j}{\beta'_i} (T_{24} + d' - Timestamp2) \quad (8)$$

Где  $\beta'_j$ ,  $\beta'_i$  и  $d'$  – оцениваемые параметры в двустороннем обмене сообщениями между промежуточным узлом и глобальным провайдером времени.

### Литература

1. J. Dong, L. Gu, and C. Zheng, "Research on fault-tolerant strategy of time synchronization for industrial wireless sensor network," in Proc. ICMTMA Conf, vol. 2, 2011, pp. 1146–1149.
2. M. L. Sichitiu and C. Veerarittiphan, "Simple, accurate time synchronization for wireless sensor networks," in Proc. IEEE WCNC 2003, vol. 2, 2003, pp. 1266–1273.
3. Z. Zhong, P. Chen, and T. He, "On-demand time synchronization with predictable accuracy" / in INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE, 2011, pp. 2480–2488.
4. A. Al-Shaikhi and A. Masoud, "Efficient, single hop time synchronization protocol for randomly-connected wsns," IEEE Wireless Communications Letters, vol. PP, no. 99, p. 1, 2017.