

# САМОКОРРЕКТИРУЮЩАЯСЯ ВРЕМЕННАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОМОЩНЫХ УСТРОЙСТВ

**Брицун А. В.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского*

*Email: nobodylovesnazi@gmail.com*

## **Self-Correcting Time Synchronization in wireless sensor networks using Low-Power Devices**

This article focuses in proposing and implementing a time synchronization service for low-power wireless sensor networks using low frequency real-time clocks in each node. This work present the design, implementation and test of an adaptive algorithm, making the timing of the clocks convert as quickly as possible and after this conversion, keeping them most similar as possible. The goal is to achieve the best method that ensures right timing and still having low energy consumption.

Системы на основе беспроводных сенсорных сетей (БСС) являются очень масштабируемыми и гибкими, что делает их пригодными для наблюдения и мониторинга различных аспектов физического мира в различных областях. Для выполнения своих действий БСС должна обмениваться данными, а для эффективной коммуникации требуется временная синхронизация между узлами датчиков, которая также поможет обрабатывать и анализировать данные для прогнозирования будущего поведения системы, что полезно даже на прикладном уровне. Координация времени позволяет создавать расписание передач и синхронизации рабочих циклов узлов.

Среди известных методов синхронизации можно упомянуть двунаправленную парную синхронизацию, синхронизирующий протокол для сенсорных сетей (TPSN) и облегченную временную синхронизацию (LTS). Для второй группы можно выделить два протокола, называемые Tiny-Sync и Mini-Sync (TS / MS). Они подробно описаны в работах [7] [5]. В работе [4] проводится сравнение между методами измерения времени задержки синхронизации (DMTS) и RBS, и заключает, что DMTS обеспечивает наилучшие показатели энергопотребления. В исследовании [2] анализируется ошибка синхронизации в RBS и CesiumSpray и предложено распределение гауссовской вероятности для ошибки синхронизации и вероятность фактической синхронизации с ошибкой меньше заданного порога.

**Проблема синхронизации времени.** Основные типы синхронизации часов: глобальные часы, относительные часы, относительное понятие времени, физическое упорядочение. Большинство моделей должны

учитывать, могут ли возникать ошибки, адаптировать и улучшить синхронизацию системы.

Наиболее важным источником ошибок в системе синхронизации является недетерминированность [2]. В работе Li [8] перечислены пять из этих ошибок недетерминированности, а в Korpetz [1] - вариации ошибок кристалла кварца в этом списке, как описано далее: время отправки, время доступа, время перехода, время задержки распространения, время приема, кристалл кварца (различные единицы оборудования, изготовленного в одном и том же лоте, могут быть разными часами).

Даже измеренное время может быть неправильным, и такие факторы, как температура и время жизни, могут влиять на меру времени.

**Методы временной синхронизации.** Для идеальных часов производная  $dC(t) / dt$  должна быть равна 1. Сдвиг часов может меняться, но мы предполагаем, что он остается ограниченным и может находиться в пределах следующих значений:

$$1 - \rho \leq \frac{dC(t)}{dt} \leq 1 + \rho \quad (1)$$

где  $\rho$  обозначает максимальный коэффициент сдвига [6]. Если время часов в узле датчика A равно  $C_a(t)$ , где  $C_a(t) = t$  для идеального тактового сигнала, а тактовая частота - это скорость, с которой часы прогрессируют. Смещение тактовой частоты представляет собой разность между временем, сообщенным часами на двух сенсорных узлах. Временной сдвиг определяется как разность частот двух часов  $C'_A(t) - C'_B(t)$ [6].

**Самокоррекция.** Самокоррекция - это метод, в котором узел датчика использует полученное значение тактового сигнала от временного узла сервера, чтобы аппроксимировать свои собственные часы. В дополнение к этому методу существует также автоматическая коррекция по времени для уравнения 2, если разрешен метод точной настройки. В результате этого  $\Delta$ Часов не может превышать определенное значение.

$$\Delta Clock_k = Clock_k - Clock_{k-1} \quad (2)$$

**Прогнозирование часов.** Алгоритм прогнозирования тактовых импульсов [7] предсказывает значение опорного тактового сигнала с последними параметрами, посылаемыми опорным основным устройством, что улучшает точность времени. Зная задержку передачи и измеряя разницу между часами, можно приблизительно предсказать значение опорного тактового генератора. Затем принимающее устройство синхронизируется с принятием этого значения в качестве эталона. Устройство многократно выполняет функцию синхронизации и, таким образом, оставляет устройство с большей точностью, чем без метода прогнозирования.

**Предлагаемые подходы.** Справочный узел: у узла временного сервера, Reference RTC, есть функция для распространения своих часов для синхронизации узлов в сети. RTC - это компьютерные часы, которые

отслеживают текущее время. Есть две возможности для режимов передачи. Первая имеет только одну передачу в начале периода ожидания и ждет до конца периода, как это можно увидеть на рисунке 4а. Второй режим, в котором активна точная синхронизация, действует, не принимая во внимание, где он находится в периоде ожидания. Таким образом, он передает каждую половину секунды.

Синхронизирующий узел. В этой работе предлагаются три различных подхода к синхронизации для узла датчика. В первом способе синхронизирующий узел предназначен для ожидания передачи RTC. Второй предложенный подход потребляет меньше энергии, чем первый. В этом случае синхронизирующий узел принимает информацию о задержке передачи синхронизирующего сообщения, поэтому можно оставаться в режиме пониженной мощности (режим ожидания) до следующей передачи, переключаясь в режим приема, когда ожидается следующая передача.

Последний подход - это усиление по сравнению с первыми двумя, имеющими более низкое энергопотребление, чем первое. Этот подход использует ту же информацию о следующей передаче, что и второй подход, объясненный выше. Кроме того, этот третий измеряет разность между двумя последними передачами опорного времени от временного узла сервера и прогнозирует приблизительное значение для него, корректируя часы каждую половину секунды с прогнозируемым значением.

## Литература

1. Hermann Kopetz and Wilhelm Ochsenreiter. Clock synchronization in distributed real-time systems. *Computers, IEEE Transactions on*, 100(8):933–940, 1987.
2. Santashil PalChaudhuri, Amit Kumar Saha, and David B Johnson. Adaptive clock synchronization in sensor networks. In *Proceedings of the 3rd international symposium on Information processing in sensor networks*, pages 340–348. ACM, 2004.
3. G Panfilo and P Tavella. Atomic clock prediction based on stochastic differential equations. *Metrologia*, 45(6):S108, 2008.
4. Su Ping. Delay measurement time synchronization for wireless sensor networks. Intel Research Berkeley Lab, 6, 2003.
5. Fengyuan Ren, Chuang Lin, and Feng Liu. Self-correcting time synchronization using reference broadcast in wireless sensor network. *Wireless Communications, IEEE*, 15(4):79–85, 2008.
6. Ill-Keun Rhee, Jaehan Lee, Jangsub Kim, Erchin Serpedin, and Yik-Chung Wu. Clock synchronization in wireless sensor networks: An overview. *Sensors*, 9(1):56–85, 2009.
7. Bharath Sundararaman, Ugo Buy, and Ajay D Kshemkalyani. Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey. *Ad Hoc Networks*, 3(3):281–323, 2005.
8. Zhengbao Li, Zhongwen Guo, Feng Hong, and Lu Hong. E 2 dts: an energy efficiency distributed time synchronization algorithm for underwater acoustic mobile sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 11(4):1372–1380