

Высокомобильная система транспондерного хронометража

А.О. Беляев, А.А. Бубнов

НТЦ "Техноцентр" ЮФУ

Аннотация: В статье рассмотрен альтернативный подход к построению систем транспондерного хронометража. Описан предложенный подход к созданию высокомобильной системы, основные принципы ее функционирования и дан анализ результатов экспериментальных исследований.

Ключевые слова: транспондерный хронометраж, системы фиксации времени, беспроводные метки, специализированные протоколы обмена данными.

Введение

Системы транспондерного хронометража распространены в автомобильном, горнолыжном, конном и других видах спорта как самостоятельные средства фиксации временных интервалов, либо в составе более сложных систем совместно с устройствами оптической фиксации финиша.

Классический вариант транспондерной системы представлен на рис. 1 и состоит из декодера (1), петли считывания (2) и транспондеров (3)-(5). Транспондеры (3)-(5) являются индивидуальными идентификаторами каждого из участников соревнований. При прохождении над петлей считывания (2) – антенной, расположенной поперек трассы, внутри которой располагается финишная линия или линия отсечки (см. рис. 1), происходит обмен данными между транспондером участника и декодером (1), в котором фиксируется время и уникальный номер транспондера. Опционально декодер может быть привязан к географическим координатам и иметь канал дальней связи. При использовании систем с несколькими декодерами (для финиша и каждой из отсечек) возможно автоматизировать процесс наблюдения за прохождением трассы и установки контрольных точек.

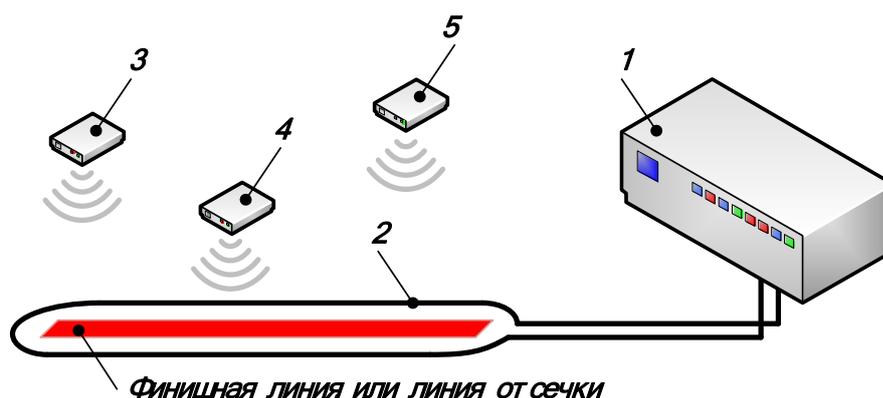


Рис. 1 – Мнемо-схема классической транспондерной системы хронометража

Системы транспондерного хронометража, построенные по схеме, представленной на рис. 1 достаточно широко распространены на рынке и представлены такими компаниями как TAG Heuer (Швейцария) [1], MYLAPS Sports Timing (Нидерланды) [2], Спортивная электроника (Россия) [3] и др. Основным их недостатком является необходимость монтажа петли считывания, которая должна располагаться под финишной чертой или линией отсечки на глубине до 30 см.

Для повышения мобильности системы были рассмотрены варианты использования существующих подходов, например с использованием RFID, как в [4] и NFC [5], но анализ технических характеристик оборудования показал невозможность фиксации временных интервалов при использовании данной технологии.

Альтернативный вариант транспондерной системы

Альтернативой является использование совместно с детектором беспроводного трансивера, имеющего апертурную антенну с узкой диаграммой направленности. Мнемо-схема такого варианта транспондерной системы показана на рис. 2.

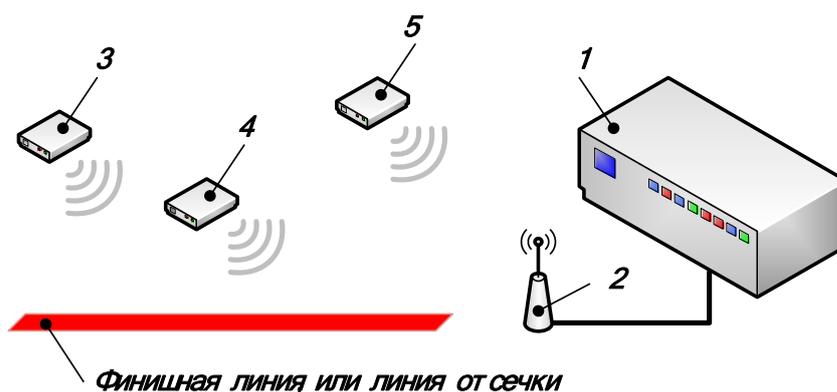


Рис. 2 – Мнемосхема транспондерной системы хронометража с апертурной антенной

В качестве антенны предполагается использование рупорной антенны с горизонтальным раскрытием рупора (Н-секториальной), которая обеспечивает узкую диаграмму направленности (ДН) в азимутальной плоскости (Е-плоскость на рис. 3а) и широкую ДН в вертикальной плоскости, перпендикулярной трассе (Н-плоскость, на рис. 3а).

Фрагмент объемной ДН, ограниченный поверхностью земли и границами трассы формирует коридор (рис. 3б), в котором должен обеспечиваться обмен данными между транспондером и декодером. Сечение коридора в Е-плоскости, представленное на рис. 3в симметрично относительно линии финиша или отсечки, но имеет неравномерную ширину. Таким образом, при идентичной скорости движения транспондер соревнующегося, передвигающегося по траектории ближе к антенне, будет находиться в области приема меньше времени, чем соревнующийся, передвигающийся по более удаленной (от антенны) траектории.

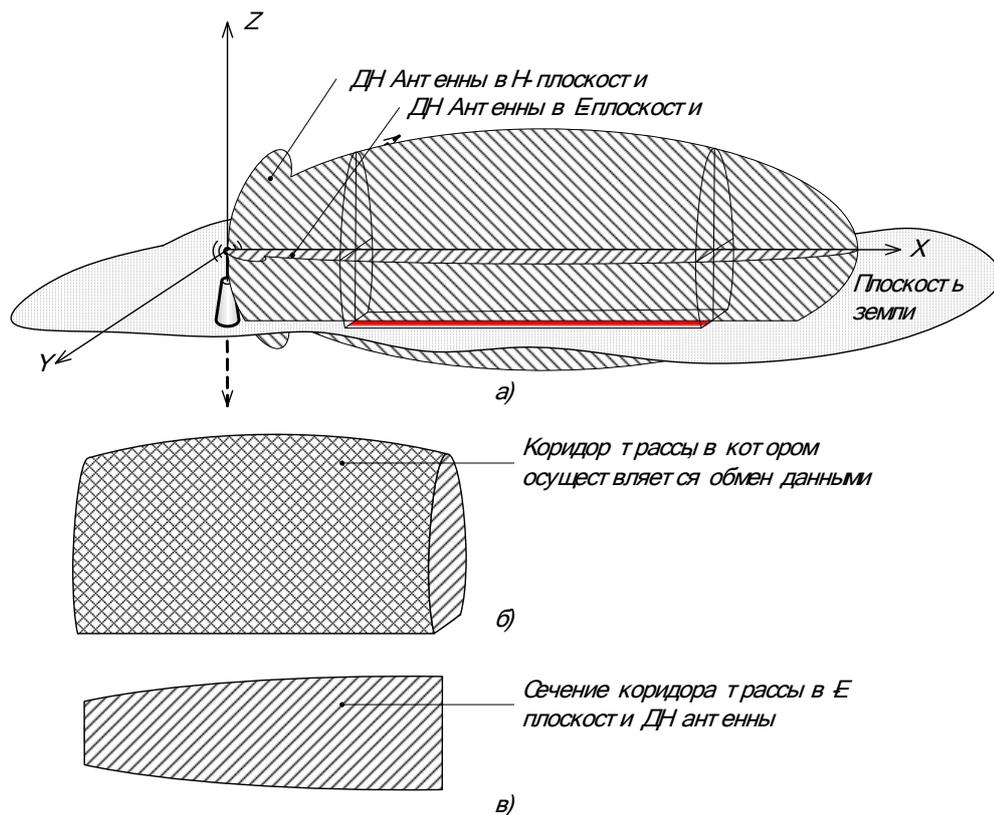


Рис. 3 – Мнемо-схема транспондерной системы хронометража с апертурной антенной

На рис. 4 показано, что протяженность коридора в плоскости движения на границе трассы вблизи антенны равна L_0 , а на удаленной границе трассы – L_0 . Таким образом, для 1-го соревнующегося длина его траектории внутри коридора равна L_1 , а для второго – L_2 . Из рисунка видно, что граница коридора для второго соревнующегося на L_0 ближе, чем для первого, и второй соревнующийся пересечет границу коридора с опережением. Так, при прочих неизменных параметрах движения соревнующихся, из-за неравномерности ДН антенны, на результат фиксации временного интервала влияет удаление траектории от антенны.

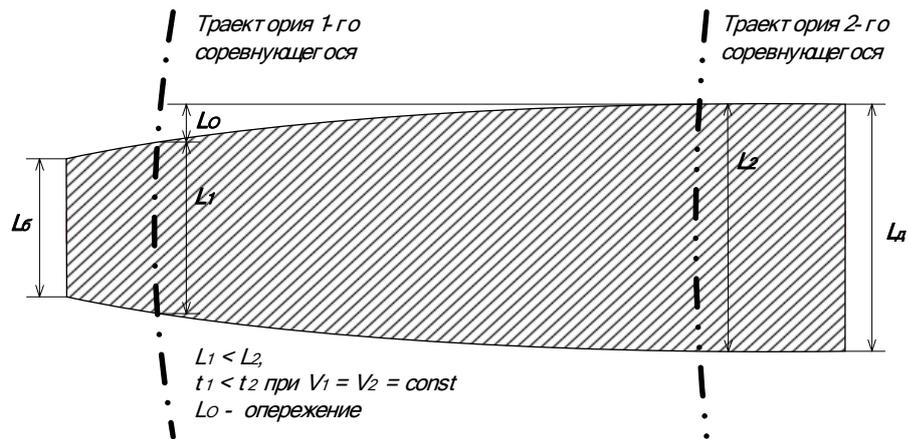


Рис. 4 – Траектории соревнующихся внутри коридора

Поскольку геометрическую протяженность коридора в плоскости движения соревнующихся можно считать несущественной с точки зрения параметров их движения, то можно принять допущение, что внутри коридора соревнующиеся движутся равномерно и прямолинейно. Тогда, учитывая, что ДН антенны в плоскости движения симметрична относительно линии финиша или линии отсечки, фиксация времени может производиться в середине интервала времени, в течение которого транспондер соревнующегося находился в области приема (см. рис. 5). Для более точной фиксации времени необходимо как можно большее количество транзакций за время пребывания транспондера (соревнующегося) в коридоре.

Из рисунка видно, что обмен данными для 2-го соревнующегося начался раньше, чем для 1-го, но 1-й соревнующийся двигался по траектории находящейся ближе к антенне, где протяженность коридора меньше. Таким образом, количество транзакций между транспондером и декодером, и общее время обмена данными было меньше чем у декодера и 2-го транспондера. Исходя из симметричности коридора относительно плоскости финиша можно утверждать, что первым пересек финишную черту именно 1-й соревнующийся.

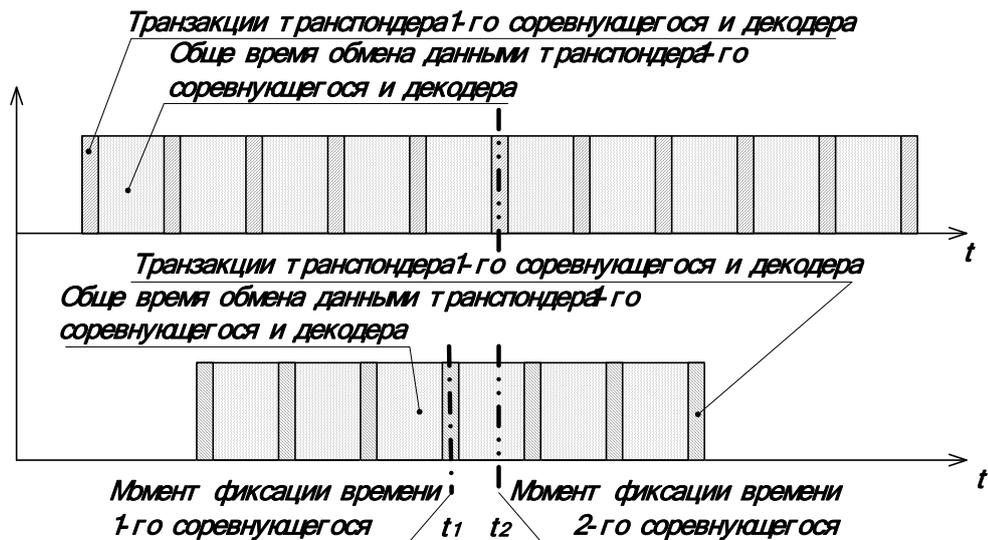


Рис. 5 – Временная диаграмма транзакций конкурирующих транспондеров

Относительно конного спорта, к транспондерной системе предъявляются следующие требования:

- скорость движения соревнующихся (не более): 20 м/с;
- точность фиксации временных интервалов (не менее): 0,1 с;
- общее количество транспондеров (не более): 70;
- количество одновременно фиксируемых транспондеров: 5.

Как ранее было отмечено, необходимо обеспечить количество транзакций достаточное для выполнения требований по точности фиксации времени. Исходя из перечисленных требований и сути используемого метода, должно быть определено следующее:

- характеристики беспроводной технологии (скорость передачи данных, модуляция, кодирование);
- конструктив антенны.

В зависимости от конструктивного исполнения антенны (ее диаграммы направленности) протяженность коридора может составлять от 1 до 3 м, учитывая, что максимальная скорость, которую может развить лошадь 20 м/с, то время нахождения транспондера в коридоре будет в пределах:

$$0.05 \text{ сек} \leq t \leq 0.15 \text{ сек}.$$

При расчете скорости передачи данных необходимо учитывать минимальный временной интервал. Таким образом, для обеспечения фиксации корректного значения времени необходимо не менее 20 транзакций за время пребывания транспондера в коридоре внутри участка с минимальной протяженностью и при максимальной скорости движения соревнующегося. Поскольку обмен данными между декодером и транспондерами двусторонний, т.е. транспондер выдает свой идентификатор по запросу декодера, то в беспроводной сети типа звезда, образованной декодером и транспондерами всего 6 элементов. Временная диаграмма обмена данными в рабочем режиме (рассматривается худший случай – когда в коридоре находится максимально допустимое количество транспондеров) представлена на рис. 6.

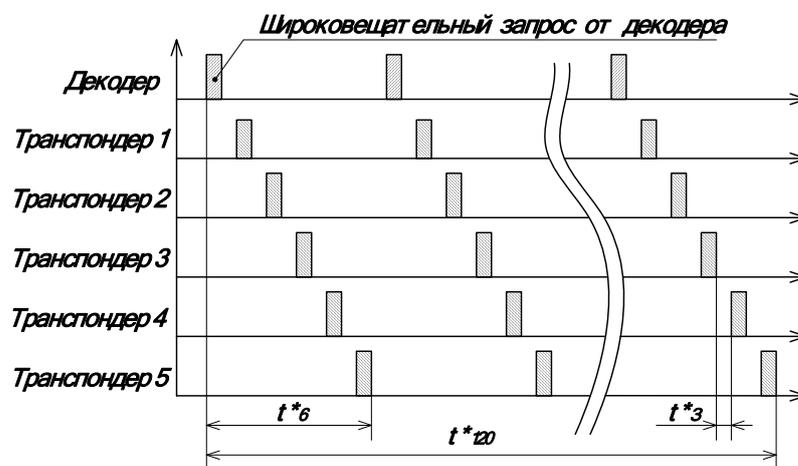


Рис. 6 – Временная диаграмма обмена данными в рабочем режиме

Каждая транзакция инициируется широковещательным запросом декодера, после чего каждый из транспондеров отправляет собственный идентификатор, для обеспечения надежности и избегания коллизий каждый из транспондеров предварительно прослушивает канал, что вызывает

задержки при ответах. По предварительной оценке расчетным методом, на основании спецификаций по различным беспроводным технологиям, как широко распространенным (Bluetooth [6]), так и проприетарным (NanoLOC [7], Enhanced Shock Burst [8] и др.), эффективность использования эфирного времени в таких системах составляет $k_{ЗАП} \leq 70\%$.

Для повышения точности фиксации времени целесообразно учитывать задержку между приемом транспондером широковещательного запроса и выдачей ответа с идентификатором, особенно если транспондер не получил доступ к эфиру с первой попытки. Для этого сообщение кроме адреса самого транспондера (входит в состав MAC уровня протокола обмена данными) должно содержать значение этой задержки в миллисекундах (1 байт: от 0 до 255), заряд батареи (1 байт) и 2 байта контрольной суммы. Эффективность кодирования рассмотренных протоколов для небольших сообщений невелика в силу накладных расходов, и по предварительной оценке составляет порядка $k_{ЭФФ} \leq 30\%$.

Таким образом, длина сообщения будет равна:

$$L_D = \frac{D}{k_{ЭФФ}} = \left\lceil \frac{4}{0,3} \right\rceil = 14 \text{ байт},$$

где D - количество полезных данных.

За период обмена данными (0,05 сек) должно быть выполнено 120 транзакций (см. рис. 6), таким образом время на одну транзакцию:

$$t_1 = \frac{t}{120} = \frac{0.05 \text{ сек}}{120} = 420 \text{ мкс}.$$

С учетом затрат на подготовку пакета к отправке и проверки доступности среды передачи данных, фактическое время составит:

$$t_1^* = t_1 \times k_{ЗАП} = 0.00042 \text{ сек} \times 0.7 = 300 \text{ мкс}.$$

При длине сообщения 14 байт, требуемая скорость передачи данных будет равна:

$$V_D = \frac{L_D}{t_1^*} = \frac{14}{0.0003} = 47 \text{ кБ} / \text{с} = 376 \text{ кб} / \text{с}.$$

Исходя из полученного значения требуемой скорости, задача построения системы транспондерного хронометража с апертурной антенной может быть решена большинством беспроводных технологий, с канальной скоростью передачи данных порядка 500 кбит/сек.

В данном случае были выбраны системы на кристалле семейства CC430F6147 [9] производства Texas Instruments, работающие в субгигагерцовом диапазоне, что обеспечивает высокую помехозащищенность и низкое энергопотребление. В отладочных наборах для тестирования протокола, и временных диаграмм используются штыревые антенны с круговой диаграммой направленности, которые при проведении испытаний были заменены антеннами с узкими ДН (рупорной и яги).

Заключение

Результаты испытаний системы транспондерного хронометража в данной конфигурации показали, что ее функционирование с предъявленными характеристиками принципиально возможно. При тестировании системы с одним активным транспондером система отработывала без ошибок с заданной точностью фиксации времени. При использовании двух и более транспондеров на максимальных скоростях система теряла надежность, присутствовал высокий процент потери пакетов, алгоритмы доступа к среде как реализованные аппаратно, так и программно оказались не надежными. Ситуация улучшалась со снижением скорости но устойчивой работы при выполнении требуемых технических характеристик добиться не удалось.

Также было определено, что устойчивость работы системы очень сильно зависит от качества антенны. На небольших дистанциях несимметричность и ярко выраженные боковые лепестки ДН антенны в горизонтальной плоскости, при прохождении коридора на скоростях выше 20



км/ч даже с одним активным транспондером могут вызывать ложные предварительные или дополнительные срабатывания.

В качестве дальнейшего направления исследований выбран подход, аналогичный представленному в [10]. Для повышения надежности решено разнести по частотным диапазонам каналы приема и передачи данных, т.е. использовать нескольких радиоканалов.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации госзадания №213.01-11/2014-47 «Разработка систем диагностики состояния биологических и технических объектов с использованием алгоритмов анализа нестационарных сигналов».

Литература

1. Транспондерные системы // TAG Heuer Professional Timing URL: www.tagheuer-timing.com/ru/transponder-transponder (дата обращения: 23.07.2014).
 2. Timing Systems // MYLAPS Sports Timing URL: www.tagheuer-timing.com/ru/transponder-transponder (дата обращения: 23.07.2014).
 3. Системы хронометража по видам спорта // ООО «Спортивная электроника» URL: www.sport-timing.ru/index/products/sports/default.htm (дата обращения: 23.07.2014).
 4. Еремеев Е.Г. Применение системы радиочастотной идентификации (RFID) для автоматизации работы автомобильного транспорта в порту // «Инженерный вестник Дона», 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2116
 5. NFC Forum Technical Specifications // NFC Forum URL: nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/nfc-forum-technical-specifications (дата обращения: 8.08.2014).
-



6. BLUETOOTH SPECIFICATION Version 4.1. Vol. 0 // Bluetooth SIG URL: www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.aspx?doc_id=282159 (дата обращения: 4.06.2014).
7. nanoLOC TRX Transceiver (NA5TR1) User Guide. Version 1.01. Berlin: Nanotron Technologies GmbH, 2006.
8. Enhanced ShockBurst User Guide // NORDIC DEVELOPER ZONE URL: devzone.nordicsemi.com/documentation/nrf51/4.3.0/html/group__esb__users__guide.html (дата обращения: 16.04.2014).
9. CC430F6147 // Texas Instruments URL: www.ti.com/product/cc430f6147 (дата обращения: 16.08.2014).
10. Баринов В.В., Смирнов А.В., Мигалин Д.С. Модифицированный протокол канального уровня для высокомобильной эпизодической сети с направленными антеннами // «Инженерный вестник Дона», 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/466.

References

1. Transpondernye sistemy [Transponder systems] // TAG Heuer Professional Timing URL: www.tagheuer-timing.com/ru/transponder-transponder (data obrashcheniya: 23.07.2014).
2. Timing Systems // MYLAPS Sports Timing URL: www.tagheuer-timing.com/ru/transponder-transponder (дата обращения: 23.07.2014).
3. Sistemy khronometrazha po vidam sporta [Systems of timing sport] // ООО «Sportivnaya elektronika» URL: www.sport-timing.ru/index/products/sports/default.htm (data obrashcheniya: 23.07.2014).
4. Eremeenko E.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2116



5. NFC Forum Technical Specifications // NFC Forum URL: nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/nfc-forum-technical-specifications (дата обращения: 8.08.2014).
6. BLUETOOTH SPECIFICATION Version 4.1. Vol. 0 // Bluetooth SIG URL: www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=282159 (дата обращения: 4.06.2014).
7. nanoLOC TRX Transceiver (NA5TR1) User Guide. Version 1.01. Berlin: Nanotron Technologies GmbH, 2006.
8. Enhanced ShockBurst User Guide // NORDIC DEVELOPER ZONE URL: devzone.nordicsemi.com/documentation/nrf51/4.3.0/html/group__esb__users__guide.html (дата обращения: 16.04.2014).
9. CC430F6147 // Texas Instruments URL: www.ti.com/product/cc430f6147 (дата обращения: 16.08.2014).
10. Barinov V.V., Smirnov A.V., Migalin D.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/466