Сравнение Zero-Crossing (data-aided) и Gardner (non-data-aided) методов символьной синхронизации

***Введение***

Data-aided (DA) и non-data-aided (NDA) методы символьной синхронизации используются для согласования частоты и фазы принимающей стороны с передающей стороной в цифровой связи. Они отличаются принципами работы и точностью оценки.

**Data-aided (DA) методы:**

1. *Основаны на использовании известных данных:* DA методы используют заранее определенные тренировочные последовательности (pilots) или синхропосылки, внедренные в передаваемый сигнал для упрощения процесса синхронизации.
2. *Высокая точность оценки:* Благодаря известным данным, DA методы обеспечивают более точную оценку параметров синхронизации, что улучшает качество связи.
3. *Выше нагрузка на канал:* Использование тренировочных последовательностей или синхропосылок увеличивает нагрузку на канал, так как часть полосы пропускания занимают известные данные.

**Non-data-aided (NDA) методы:**

1. *Оценка параметров на основе принятого сигнала:* NDA методы оценивают параметры синхронизации, используя только информацию, полученную из принятого сигнала, без каких-либо заранее известных данных.
2. *Ниже точность оценки:* Из-за отсутствия заранее известных данных, NDA методы обычно имеют более низкую точность оценки параметров синхронизации по сравнению с DA методами.
3. *Меньшая нагрузка на канал:* Поскольку NDA методы не требуют передачи дополнительных данных, они обеспечивают более эффективное использование полосы пропускания.

В зависимости от требований к точности и нагрузке на канал, выбираются подходящие методы символьной синхронизации. DA методы обеспечивают лучшие результаты при высокой точности оценки, в то время как NDA методы предпочтительны при ограниченной полосе пропускания.

***Краткая теория по каждому из методов***

**Zero-Crossing (data-aided) символьная синхронизация**

DA-Методы TED используют знаковую функцию для оценки синфазной и квадратурной составляющих полученных выборок, что приводит к меньшей вычислительной сложности, чем NDA-методы TED. Метод пересечения нуля (**Zero-Crossing**)— это метод, основанный на принятии решения, который требует 2 выборки на символ на входе в синхронизатор. Он используется в условиях низкого SNR для всех значений избыточной полосы пропускания и в условиях умеренного SNR для умеренных коэффициентов избыточной полосы пропускания в приблизительном диапазоне [0,4, 0,6].

**Gardner (non-data-aided) символьная синхронизация**

NDA-методы TED используют полученные выборки без каких-либо знаний о передаваемом сигнале или результатах оценки канала. TED без учета данных используется для оценки временной ошибки для сигналов со схемами модуляции, в которых точки созвездия выровнены по синфазной или квадратурной оси. Примеры сигналов, подходящих для метода Гарднера, включают QPSK-модулированные сигналы со смещением нулевой фазы, которые имеют точки в {1+0i, 0+1i, -1+0i, 0−1i} и BPSK-модулированные сигналы со смещением нулевой фазы.

***Критерии сравнения методов***

1. Производительность и точность
2. Сложность и вычислительные требования
3. Устойчивость к условиям канала

Теоретическое сравнение

1. Производительность и точность

Data-aided (DA) методы обычно обеспечивают лучшую производительность с точки зрения точности благодаря наличию известных символов данных или последовательностей, которые можно использовать в качестве эталона для процесса синхронизации. С другой стороны, Non-data aided (NDA) методы полагаются исключительно на статистические свойства полученных данных, что может привести к снижению точности, особенно в шумной среде или когда характеристики данных недостаточно известны.

1. Сложность и вычислительные требования

DA-методы часто требуют дополнительных шагов обработки для извлечения известных символов данных или последовательностей, используемых для синхронизации, что может увеличить сложность и требования к вычислениям. Напротив, NDA-методы могут быть менее сложными, поскольку они не требуют каких-либо предварительных знаний о данных, но это может быть достигнуто за счет снижения точности синхронизации.

1. Устойчивость к условиям канала

На эффективность методов символьной синхронизации могут влиять различные условия канала, такие как отношение сигнал/шум (SNR) и многолучевое распространение. Крайне важно оценить, насколько хорошо методы DA и NDA работают в различных условиях канала. DA-методы могут обеспечить лучшую устойчивость к шуму и другим искажениям, поскольку наличие известных символов данных или последовательностей может улучшить процесс синхронизации. Однако NDA-методы потенциально могут обеспечить лучшую устойчивость к определенным типам помех, поскольку они не полагаются на определенные шаблоны данных, на которые могут повлиять такие искажения.

***Экспериментальное сравнение***

BER спустя 15 секунд

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Eb/N0 (dB) | Zero-Crossing (data-aided), BER | Gardner (non-data-aided), BER |
| 0 | 0.4995 | 0.5005 |
| 2 | 0.4996 | 0.4978 |
| 4 | 0.4987 | 0.1065 |
| 6 | 0.4987 | 0.4987 |
| 8 | 0.4986 | 0.4987 |
| 8.5 | 0.4987 | 0.4986 |
| 9 | 0.4987 | 0.4986 |
| 9.5 | 0.4986 | 0.4986 |
| 10 | 0.005396 | 0.4986 |
| 12 | 0.002089 | 0.4986 |
| 14 | 0.001438 | 0.4986 |
| 16 | 0.0003144 | 0.000025 |
| 18 | 0.0001709 | 0.000025 |
| 20 | 0.0000889 | 0.000021 |