

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Сысоевой Марины Вячеславовны

на диссертационную работу Мохсени Тимура Исхаковича
«Относительная передача информации на основе хаотических
радиоимпульсов», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.4. Радиофизика.

Диссертация Мохсени Т.И. посвящена развитию концепции прямохаотических систем связи, в которых динамический хаос используется в качестве несущей, а информация кодируется потоком сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов. Эти системы предназначены, в первую очередь, для использования в беспроводных сетевых приложениях интернета вещей, робототехники и др. Достоинством сверхширокополосных систем является использование радиочастотного спектра на вторичной основе, т.е. возможность работы в одном физическом пространстве с узкополосными системами связи, не создавая для них заметных помех.

Одним из требований к таким прямохаотическим системам является способность функционировать в условиях разделения канала и множественного доступа. В традиционных узкополосных системах связи для этого используют корреляционные методы приема, которые неприменимы «в чистом виде» в хаотических системах ввиду невозможности иметь копию сигнала передатчика в приемнике. Известные относительные когерентные методы передачи информации с помощью хаотических сигналов имеют существенные технические ограничения, в частности, на задержку принятого сигнала в приемнике.

Поэтому особый интерес и актуальность в работе Мохсени Т.И. представляет исследование нового некогерентного метода приема хаотических радиоимпульсов – схемы относительной прямохаотической связи.

Данная работа имеет как фундаментальное, так и прикладное значение, так как предлагает технически реализуемую (полностью снимает ограничение на задержку), экспериментально подтвержденную некогерентную схему связи на основе хаотических сигналов, что позволяет реализовать средства связи для массовых приложений и сетей интернета вещей.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 100 наименований, включая 9 ссылок на работы диссертанта из списка журналов, рекомендованных ВАК РФ.

Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание диссертации.

Во введении обоснована актуальность заявленной темы, определены цели и задачи исследования, сформулированы научные положения, выносимые на защиту, приведено обоснование научной новизны и практической значимости полученных результатов, показан потенциал их внедрения в современные технологии связи, а также изложено краткое содержание работы.

Первая глава является обзорной, в ней выполнен детальный анализ известных относительных схем передачи/приема данных на основе хаотических сигналов, включая наиболее известные из класса схем относительной передачи DCSK, CDSK, FM-DCSK. Все эти схемы требуют наличия в тракте передатчика и приемника блока задержки длительностью, сопоставимой с длительностью бита и более. Выполнение блока задержки для скоростей передачи порядка 1 Мбит/с в виде линии задержки потребует линий длиной в сотни метров, что делает эти теоретические схемы технически нереализуемыми.

Также проанализирована некогерентная прямохаотическая схема связи с энергетическим приемом, которая взята за основу данной работы.

Во второй главе предложена новая прямохаотическая схема относительной передачи. Приведено подробное описание передатчика и приемника, особенностей и принципов их функционирования. Построена математическая модель предложенной схемы относительной передачи в виде системы дифференциальных уравнений с запаздыванием и проведено численное моделирование, подтверждающее работоспособность схемы.

В третьей главе проведено аналитическое исследование приемника системы. Показано, что даже при отсутствии внешних помех и искажений, при декодировании принятого сигнала в системе возникает систематическая ошибка (шум) приема, обусловленная задержанными относительно друг друга компонентами полезного сигнала.

Выявлены условия, при которых шум метода не выходит за рамки приемлемого, в частности, показано, что при увеличении базы сигнала вероятность ошибки приема при отсутствии внешнего шума быстро падает, и при базе 200 ее величина не превышает 10^{-10} . Поэтому даже при наличии внешних шумов при больших базах сигнала внутренние шумы схемы практически не влияют на помехоустойчивость схемы.

В четвертой главе теоретически обоснована возможность реализации множественного доступа на базе схемы относительной передачи. Проанализирована зависимость числа пользователей в схеме и скорости передачи от базы при фиксированной вероятности ошибок и полосе сигнала. Компьютерное моделирование показало, что число пар приемопередатчиков, которые могут независимо работать одновременно в одной и той же области

пространства в полосе частот 2 ГГц может исчисляться десятками при пропускной способности для каждой пары более 1 Мбит/с.

Пятая глава посвящена экспериментальной верификации предложенной прямохаотической схемы относительной передачи данных. Создан экспериментальный макет и проведены натурные эксперименты. Показано хорошее соответствие экспериментальных результатов данным численного моделирования. Продемонстрирована устойчивость приемника к немодулированному внешнему шуму, равному по мощности полезному сигналу.

В заключении выделены основные результаты работы.

Научная новизна результатов работы заключается в том, что:

- предложена схема относительной передачи/приема информации, использующая в качестве носителя информации хаотические радиоимпульсы, в которой отсутствует проблема задержек большой длительности, свойственная известным существующим схемам относительной передачи на основе хаоса,
- создана математическая модель прямохаотической схемы относительной передачи, и осуществлены комплексные расчеты ее динамики;
- получены теоретические оценки помехоустойчивости прямохаотической схемы относительной передачи;
- предложен метод разделения каналов на основе корреляционных свойств хаотических радиоимпульсов, и исследованы возможности многопользовательского доступа в прямохаотической схеме относительной передачи;
- проведена экспериментальная верификация прямохаотической схемы относительной передачи.

Достоверность результатов и апробация работы

В работе использованы известные, хорошо себя зарекомендовавшие себя методы исследования. Все выводы обоснованы, а теоретические результаты соответствуют экспериментальным данным.

Основные результаты работы были широко представлены научной общественности. Результаты диссертации опубликованы в 9 работах в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ (все 9 статей входят в международные реферативные базы данных SCOPUS и WOS), в 16 работах в трудах научных конференций.

Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе Мохсени Т.И., не вызывает сомнений.

Научная и практическая ценность работы заключается в том, что предложена прямохаотическая схема относительной передачи/приема, использующая задержки с малой длительностью, что делает ее практически реализуемой. Предложенная схема исследована и экспериментально апробирована. Результаты работы могут быть использованы при разработке и создании сверхширокополосных приемопередатчиков для систем связи, в том числе систем связи с множественным доступом и беспроводных сенсорных сетей.

Вопросы и замечания.

1. Почему в качестве запаздывания решили использовать кабель, а не схему, например, фазового фильтра?

2. При описании модели приемника не объясняется переменная y_6 (по-видимому, это выход фильтра-интегратора). Также, по-видимому, не совсем корректно утверждать, что «В целом, динамика модели приемника описывается уравнением (2.8)», потому что это уравнение описывает только один блок приемника (интегратор-фильтр).

3. Вместо одного рисунка 2.5, для читателя было бы удобнее привести два рисунка отдельно для сигналов в передатчике и в приемнике.

4. Формула (3.12) выведена в предположении, что при большом процессинге ($\Delta F \cdot T_n \gg 30$) шумовые компоненты сигнала в приемнике имеют нормальное распределение. Для малых значений процессинга, как на рис. 3.2, использование этой формулы может быть некорректно. Для рис. 3.2. следовало бы провести прямое моделирование и сравнить численные и аналитические результаты.

Указанные замечания не являются критическими и носят рекомендательный характер, а сама работа заслуживает самой высокой оценки.

Работа Мохсени Т.И. является значимым вкладом в развитие относительных некогерентных методов приема, а полученные результаты открывают перспективы для разработки новых методов некогерентного приема и создания систем хаотической радиосвязи, обладающих избирательностью.

На основании изложенного можно заключить, что диссертация Мохсени Т.И. «Относительная передача информации на основе хаотических радиоимпульсов» представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяющее требованиям пп. 9-11, 13-14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в текущей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует паспорту специальности, по которой она представлена к защите, а ее автор Мохсени Т.И. заслуживает присуждения

[illegible]