Глава 2. ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С OCDM МОДУЛЯИЕЙ И МОДУЛЯЦИЕЙ ИНДЕКСА

2.1. OCDM МОДУЛЯЦИЯ

***2.1.1. Введение в тему***

Чирп-сигналы используют широкополосный спектр за счет чего устойчивы к различным пагубным эффектам, среди которых, многолучевое распространение и эффект Допплера. В системах с chirp spread spectrum (CSS) (системы с расширенным спектром чирпов?) за один период *T* и полосой *B* присутствует только один модулированный чирп (можно вставить картинку + ссылка на какое-нибудь описание CSS). Если присутствует больше одного сигнала за один период и с одной полосой, присутствует интерференция. Таким образом, чирпы привлекательны/пригодны для систем с низкой скоростью передачи данных. [дальше в статье идет описание как с таким борятся и повышают скорость передачи данных для UBW, надо ли это писать? Или сразу переходить дальше]. В работе [1] предлагается метод создания/синтеза (synthesizing) набора чирпов в один период и с одной полосой без наличия интерференции и так, чтобы использовать их амплитуды и фазы для модуляции информации. [Также до этого в статье говорится, что обычно в системах, где используются чирпы, они генерируются аналоговыми методами, а сейчас предлагается генерировать их цифровыми методами]. Таким методом оказывается технология ортогонального мультиплексирования с разделением чирпов (Orthogonal Chirp Division Multiplexing). [Написать по русски или сразу по английски]. Принцип этой технологии заключается в ортогональном мультиплексировании некоторого числа чирпов с одинаковой полосой частот, что приводит к максимальной скорости коммуникации (?). Как видно из рисунка 1 [пока что взял из статьи], несколько чирпов накладываются друг на друга/ пересекаются (overlap) во временной и частотной области. Амплитуда и/или фаза чирпов может использоваться для модуляции.

Изображение выглядит как диаграмма, снимок экрана, линия, План

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рисунок 1 – Картинка

2.1.2. Преобразование Френеля

[Пока что переписываю из статьи, потом можно написать подробнее из источников]

Преобразование Френеля – интегральное преобразование, берущее начало из оптики и описывающее оптическую дифракцию в ближнем поле. Когда монохроматическая плоская волна с длиной волны *λ* натыкается на щель (решетку), чей размер сравним с *λ*, результирующая дифракционная картина на пластине на расстояние *z* описывается уравнением 1

где (∙) – обозначение преобразование Френеля с параметром *a=λz,* обозначающимнормированной дистанцией Талбота (расстояние Талбота? Изучить вопрос),

*s(t)* – коэффициент пропускание решетки.

Ядром преобразования Френеля является уравнение 2

Важным свойством преобразования Френеля является то, что преобразование Френеля от линейной свертки является сверткой одного с преобразованием Френеля другого, что показано в уравнении (3). [ссылка на источник “Why Fresnel is so little known?” 1994, Gori]

Это свойство отличается от свойства преобразования Фурье, которое заключается в том, что преобразование Фурье от свертки равно произведению преобразований Фурье.

Дискретная форма преобразования Френеля, DFnT, связана с эффектом Талбота, который представляет собой периодическую решётку дифракции Френеля [источник]. Матрица DFnT даёт коэффициенты поля изображения Талбота, или так называемого автоизображения на расстоянии Талбота z =  ZT/N,

где = d2/λ – расстояние Талбота, d – расстояние между повторяющимися решётками.

В работе [2] элемент (m, n) матрицы дискретного преобразования Френеля **Φ** размером N на N определяется следующим образом

Матрица дискретного преобразования Френеля обладает рядом важных свойств, таких как унитарность и способность к разложению на собственные векторы. Остальные свойства описаны в [2]. [Дальше описано свойство свертки в матричной форме, пока не выяснил насколько нужно, видимо при описании эквалайзеров и прохождении через канал полезно. Затем описание chirp Z-transform и последовательностей Задова-Чу].

2.1.3. Прямое формирование OCDM и обработка

[Описание чирпов в системах с Chirp Spread Spectrum].

Для применения преобразования Френеля из оптики в OCDM необходимо выполнение некоторых условий. Во-первых, ЛЧМ-сигналы ограничены по времени. Во-вторых, пространственный эффект Талбота преобразуется во временной для OCDM. На основе уравнения (4) мы определяем временной аналог расстояния Талбота *Z*T следующим образом

где T – период ЛЧМ-сигнала. В уравнении (4) периодическое расстояние *d* заменяетсявременной длительностью *T*. Предположим, что имеется *N* ЛЧМ-сигналов. Можно получить эти чирпы, подставив долю расстояния Талбота *z* = *Z*T/*N* в уравнение (2), и таким образом можно получить временной период Талбота . Подставив переменную *a* в уравнение (2), получаем "базовый" чирп:

где

прямоугольный импульс.

Можно получить набор из *N* чирпов, используя базовый чирп в (7), тогда *k*-ый (*k* = 0, 1, …, N-1) чирп определяется как

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Красочность

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рисунок 2 – Набор из 16 чирпов (заглушка)

Легко можно доказать, что чирпы взаимно ортогональны

Уравнение (8) описывает набор из *N* ортогональных ЛЧМ-сигналов. Чтобы наглядно продемонстрировать сравнение между OFDM и OCDM, на рисунке 3 представлены сигналы в OFDM с линейным законом фазы, которые являются взаимно ортогональными в частотной области, и сигналы с квадратично изменяющейся фазой в OCDM, которые являются взаимно ортогональными в области ЛЧМ-сигналов.

Изображение выглядит как текст, График, диаграмма, линия

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рисунок 3 – Сравнение поднесущих в OFDM и OCDM

В системе OCDM амплитуда и фаза каждого чирпа могут быть использованы для модуляции. Таким образом, могут применяться такие методы модуляции, как АМ, ФМ и КАМ. В зависимости от вида модуляции символы выбираются из кодовой книги χ [созвездия?] для кодирования информационных битов. Подобно OFDM-символам, которые передаются блоками, модулированные чирпы также передаются блоками. В блоке OCDM *k*-й символ, модулирующий *k*-й чирп, обозначается как . Синтезированный [какое-то неправильное слово] и модулированный чирп-сигнал представляет собой

Согласно (9), *x*(*m*) может быть получен с помощью согласованного фильтра к *m*-ому чирпу

Таким образом, в общем виде систему OCDM можно представить так, как это показано на рисунке 4.

Изображение выглядит как диаграмма, План, линия, Технический чертеж

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рисунок 4 – Структурная схема OCDM трансивера

[Дальше тут про спектр аналоговго и цифроого OCDM, элайзинг и тд]

Изображение выглядит как диаграмма, линия, Технический чертеж, зарисовка

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рисунок 5 – Спектр чирпов

2.1.4. Формирование при помощи преобразования Френеля

Чирп-сигналы

2.1.5. Связь преобразования Френеля с преобразованием Фурье и формирование OCDM при помощи преобразования Фурье и поворота фазы

Чирп-сигнал

**Список использованных источников**

1. X. Ouyang and J. Zhao, "Orthogonal Chirp Division Multiplexing," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 9, pp. 3946-3957, Sept. 2016, doi: 10.1109/TCOMM.2016.2594792.
2. X. Ouyang, C. Antony, F. Gunning, H. Zhang, and Y. L. Guan. (2015).“Discrete Fresnel transform and its circular convolution.” [Online].Available: <http://arxiv.org/abs/1510.00574>