

автокорреляционной функции и обладающий энергетической эффективностью, близкой к единице. Последовательности, обладающие такими свойствами, получили название несогласованных почти-идеальных двоичных (МАРВ) последовательностей. Найдена энергетическая эффективность МАРВ последовательностей и показано, что она асимптотически стремится к 1 с ростом N .

Построенные МАРВ последовательности существенно расширяют множество известных АРВ последовательностей. При этом возможны два случая: когда длина МАРВ последовательностей совпадает с длиной АРВ последовательностей, и когда МАРВ последовательности имеют уникальную длину. Установлено, что в случае равенства длин общее число МАРВ последовательностей длины $4(p^{m_1} + 1)$ равно общему числу АРВ последовательностей длины $2(p^{m_2} + 1)$ только когда $m_1 = m_2$. Исследуется возможность применения МАРВ последовательностей в широкополосной связи в качестве пилот-сигнальных последовательностей. При этом для устранения ложного захвата за боковой выброс, отстоящий от основного лепестка на $N/2$ тактов, предложено в периодически передаваемой МАРВ последовательности инвертировать каждую k -последовательность.

3. Ортогональные последовательности с низким пик-фактором для MC-CDMA систем

Численной характеристикой уменьшения динамического диапазона OFDM сигнала служит пик-фактор (PAPR), определяемый как отношение пиковой мощности сигнала к его средней мощности. В литературе описаны различные методы уменьшения пик-фактора OFDM сигналов. Наиболее эффективным из них является метод «расширяющих» кодовых последовательностей. В результате его применения система OFDM преобразуется в MC-CDMA систему, являющаяся комбинацией CDMA и OFDM систем.

Известно, что наименьший PAPR в MC-CDMA системах демонстрируют идеальные многофазные последовательности Фрэнка (Frank), Задова-Чу (Zadoff-Chu), тогда как двоичные комплементарные последовательности Голя, включая последовательности Шапиро-Рудина (Shapiro-Rudin) длины 2^m , обеспечивают $\text{PAPR} \leq 4$ (6dB). Недостатком многофазных идеальных последовательностей является увеличение их объема алфавита (числа различных фаз) с ростом N , а число ортогональных последовательностей Шапиро-Рудина равно $2^m/4$.

В качестве ортогональных и биортогональных «расширяющих» кодовых последовательностей для BPSK модулированных MC-CDMA систем предложено использовать новые сбалансированные почти идеальные троичные (АРТ) последовательности. Найдено, что эти последовательности в BPSK модулированных MC-CDMA системах обеспечивают PAPR на 2-3 dB хуже, чем двоичные комплементарные последовательности. Достоинством АРТ последовательностей является то, что на их основе строятся совокупности ортогональных последовательностей (циркулянт), общее число которых в два раза больше числа возможных двоичных ортогональных комплементарных последовательностей. Так, для $N=64$ на основе одной АРТ последовательности можно построить 32 новых ортогональных последовательностей, тогда как число двоичных ортогональных последовательностей Шапиро-Рудина равно 16.

4. Новые идеальные 4-фазные и 8-фазные последовательности с нулями

Псевдослучайные многофазные последовательности с идеальными автокорреляционными свойствами широко используются в системах связи, радиолокации и гидролокации. Эти последовательности условно можно подразделить на два типа: идеальные q -фазные последовательности без нулей (тип I) и идеальные q -фазные последовательности с нулями (тип II). На основе новых троичных последовательностей длины $N=2(p^n-1)/(p^m-1)$, где $p>2$ - простое, $n=mk$, $m \geq 1$, $k>1$, p^m-1 кратно 4, с нечетно-идеальной периодической

автокорреляционной функцией разработаны новые семейства идеальных 4-фазных ($N/2$ – нечетно) и 8-фазных ($N/4$ – нечетно) последовательностей типа II длины N . В частности, для случая $n=2m$ построены семейство идеальных 8-фазных последовательностей длины $2(p^m+1)$ с двумя нулевыми элементами. Найдены условия «уникальности» полученных последовательностей относительно известных идеальных последовательностей Ли (Lee) и Люке-Шоттена (Lüke-Schotten) длины $(p^n-1)/(p^m-1)$.

5. Аппаратный потоковый скремблер для высокоскоростных каналов связи

В 2005г Nawaz и Gong из университета Ватерлоо (Канада) подробно исследовали одноканальный потоковый скремблер на основе GMW последовательности длины $2^{319}-1$, в котором использовались m -последовательность над полем Галуа $GF(29)$ длины $2^{319}-1$ и WG преобразование из $GF(2^{29})$ в $GF(2)$ в качестве нелинейного фильтр. Было показано, что в случае аппаратной реализации при распараллеливании вычислительных процессов относительная скорость обработки равна 8 тактам на 1 бит. Это связано с тем, что по меньшей мере 6 тактов требуется для выполнения операции инверсии и 2 такта для двух последовательных операций умножения в поле $GF(29)$. Поэтому при тактовой частоте 400 МГц быстродействие шифратор составляет 50 Мбит/с.

Мы предлагаем другой алгоритм генерации, в котором все операции выполняются над полем $GF(2)$. Однако для экономии аппаратуры скремблер строим на основе GMW последовательности длины $2^{391}-1$ с использованием WG преобразование из $GF(2^{23})$ в $GF(2)$. При этом формирование 1 бита последовательности осуществляется за 1 такт.

В результате для аппаратной реализации данного скремблера с быстродействием 400 Мбит/с потребуется одна микросхема типа FPGA XC5VLX330 с тактовой частотой 400 МГц.

6. Двоичные ZCZ последовательности с несогласованной фильтрацией

На основе r почти идеальных двоичных и троичных последовательностей и несогласованной фильтрации построены множества двоичных последовательностей с нулевой зоной корреляцией (ZCZ), величина которой в $\varepsilon \approx 2-1/2^{r-1}$ раз превосходит известную границу для двоичных ZCZ последовательностей. Полученные последовательности обладают энергетической эффективностью близкой к единице и могут быть использованы в квазисинхронных системах связи с кодовым разделением каналов (QS-CDMA), а также в радиолокации для уменьшения уровня межканальных и многолучевых помех.