

**Міністерство транспорту та зв'язку України
Державний університет
інформаційно – комунікаційних технологій**

**МАТЕРІАЛИ
VI НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«Сучасні тенденції розвитку технологій
в інфокомунікаціях та освіті»**

05-06 листопада 2009 року

м. Київ

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ДОПЛЕРА НА КАЧЕСТВО ДЕМОДУЛЯЦИИ OFDM СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С БПЛА

Слюсар В.И., д.т.н., профессор.

ЦНИИ ВВТ

Троцко А.А.

ВИТИ НТУУ КПИ^а

На сегодняшний день основными телекоммуникационными задачами, решаемыми с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), являются:

обеспечение единой системы передачи данных специального назначения (силовых министерств, корпоративных образований);

обеспечение единого поля теле- и радиосвязи государственных и частных компаний;

обеспечение связи по сети Интернет и единого поля мобильной связи;

наблюдение поверхности Земли в оптическом, ИК и радиолокационных диапазонах волн и передача изображений в реальном масштабе времени.

В отличие от наземных средств связи система передачи данных на базе БПЛА состоит из сети беспилотных летательных аппаратов-ретрансляторов, непосредственно обеспечивающих связью стационарных и подвижных пользователей.

Во время проектирования системы передачи данных на базе БПЛА необходимо провести оценку ее функционирования с учетом высоких скоростей самолётов-ретрансляторов и влияния эффекта Доплера на распространение радиоволн. Как известно, при использовании OFDM-сигнала для соответствия требованиям надежности связи необходимо увеличивать защитный интервал, ориентируясь на максимально возможное доплеровское смещение частоты, а это сопровождается ростом неиспользованной области задействованного частотного диапазона и снижением пропускной способности системы. Кроме того, должен неизбежно снижаться порядок модуляции сигналов с переходом от квадратурно-амплитудной модуляции (QAM) высших порядков к QPSK или BPSK. Следовательно, если не принять предохранительных мер, доплеровские сдвиги частот могут вызывать ухудшение качества демодуляции OFDM-сигналов и частые отказы каналов связи, что не позволяет гарантировать качественное предоставление услуг.

Математический расчет влияния эффекта Доплера должен начинаться с оценки требуемого увеличения защитных интервалов OFDM-поднесущих. При этом предполагается, что защитный интервал устанавливается одинаковым для всех частот с учетом доплеровского

сдвига, определяемого по максимальной частоте поднесущих OFDM-пакета известным выражением:

$$\Delta f_{3dop} = \Delta f_s + 2\Delta f_{dop}, \quad (1)$$

где Δf_s — стандартный, эквидистантный защитный интервал OFDM-сигналов в отсутствие эффекта Доплера;

Δf_{dop} — доплеровский частотный сдвиг максимальной по величине поднесущей, который рассчитывается по известной формуле:

$$\Delta f_{dop} = f_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + \frac{V}{c} \cos \theta},$$

где f_0 — максимальная частота поднесущей в пакете OFDM-сигнала;

V — относительная (радиальная) скорость движения БПЛА;

c — скорость света.

Для повышения пропускной способности в рассматриваемых системах предлагается в дополнение к увеличению защитного интервала использовать метод предварительной компенсации доплеровского сдвига частоты излучаемых сигналов [1]. Сущность метода заключается в том, что по полученной на этапе вхождения в связь оценке частоты Доплера рассчитывают номиналы поднесущих, подлежащих излучению, с таким условием, чтобы в результате влияния доплеровского эффекта поднесущие OFDM сигнала, принятого на подвижном объекте, располагались в максимумах амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтров, синтезированных посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ). При этом в идеале для каждой поднесущей рассчитывается своя, индивидуальная компенсационная поправка.

Такой подход позволяет компенсировать доплеровский частотный сдвиг на передающей стороне, тем самым увеличивая пропускную способность каналов в системах передачи данных с БПЛА, использующих OFDM-сигналы.

Для определения требований к точности оценивания доплеровских сдвигов частоты необходимо исследовать влияние погрешности предварительной компенсации эффекта Доплера на допустимую скорость передачи данных. Такую оценку можно осуществить аналитически, используя расчетные соотношения для потенциальных дисперсий ошибок оценивания, соответствующих нижним границам Крамера-Рао. Однако для проверки справедливости аналитических соотношений целесообразно провести математическое моделирование процесса функционирования канала связи с БПЛА. С этой целью в пакете Mathcad была разработана математическая модель, позволяющая проанализировать влияние эффекта Доплера на качество демодуляции OFDM сигналов в системах связи с БПЛА при условии неполной предварительной компенсации доплеровских смещений частоты. В дальнейшем предполагается сравнить результаты, полученные путем моделирования, с аналитическими оценками точности

демодуляції. Это позволит установить зависимость максимально достижимой скорости передачи данных от точности предварительной компенсации эффекта Доплера.

Литература

1. Заявка на выдачу патенту України на корисну модель № u200909212 від 07.09.2009. МПК 7 G01S7/36, H03D13/00. Спосіб випереджувальної компенсації ефекту доплера при передачі OFDM сигналів. //Слюсар В.І., Троцько О.О.