

УДК 621.398 П82

В.П. КВАСНИКОВ, Є.О. КУЛІШ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РАДІОКЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Умови використання мобільних роботів накладають необхідність установки різних типів сенсорів, систем технічного зору, апаратури локації та навігації. В даній роботі проводиться побудова каналу зв'язку між роботом та оператором, вирішуються задачі підвищення пропускної здатності, надійності та захищеності. В статті відображено досвід проектування систем передачі даних для мобільних роботів на зразку безпроводних каналів. Розглянуті особливості побудови схем, їх уніфікації та комплексування.

**Ключові слова:** мобільний робот, канал передачі даних, кодування, серіалайзер, OFDM- модуляція, мультимплексор.

### Вступ

В даний час ведуться активні роботи по створенню мобільних робототехнічних комплексів (МРК). Розвиток нових технологій обумовлює можливість їхнього застосування в широкому діапазоні задач, першорядними з яких являються задачі де робот діє в умовах небезпечних для людини. Таких як місця екологічних та техногенних катастроф, для дослідження та знешкодження підозрілих предметів в місцях масового скупчення людей, при цьому контактування людини з небезпечними матеріалами повинно бути зведено до мінімуму.

Для вирішення подібних задач використовуються МРК дистанційно керовані по командам оператора.

В склад такого робота зазвичай входять мобільний робот, оснащений маніпулятором і необхідним набором спеціальної апаратури, та система дистанційного керування, яка включає пульт дистанційного керування (ПДУ) і канали зв'язку [1].

### 1. Постановка задачі

Сучасні роботи стають інформаційно навантаженими, умови застосування викликають необхідність установки різних типів сенсорів, систем технічного зору, апаратури локації та навігації. Тому актуальними є дослідження в області побудови каналу зв'язку з МРК, так як зростають вимоги до каналу передачі інформації від робота до оператора, його надійності та пропускної здатності.

На рис. 1 зображено структурну схему системи керування мобільним роботом за допомогою пульта дистанційного керування.

Її бортова частина підключається до штатної системи керування МРК через послідовний інтерфейс та не порушує роботу штатного пульта керування. Бортова система керування виконує прийом та обробку команд керування від ПДУ, формування команд керування, обробку та передачу сигналів з давачів, керування виконавчими механізмами, передачу зображення з відеокамер в ПДУ[2].



Рис. 1. Структурна схема системи керування

## 2. Вирішення задачі

Обмін інформацією здійснюється по двом незалежним цифровим каналам: низькошвидкісному радіоканалу (призначений для передачі команд керування та низькошвидкісних даних в) та високошвидкісний (призначений для передачі відеозображення та високошвидкісних даних).

Вимоги до пропускної здатності приводять до пошуку нових підходів підвищення швидкості передачі даних, один з найбільш ефективних – застосування OFDM-модуляції, яка розроблена для боротьби з завадами при багатолучовому прийомі.

При OFDM послідовний цифровий потік перетворюється в велике число паралельних потоків, кожний з яких передається на окремій несучій. Частотний рознос  $\Delta f$  між сусідніми несучими  $f_1, f_2, \dots, f_n$  в груповому радіоспектрі OFDM вибирається з умови можливості виділення в демодуляторі індивідуальних несучих. При цьому можливе застосування двох методів частотного поділу (демультиплексування) несучих. По-перше за допомогою смугових фільтрів, по-друге за допомогою ортогональних перетворень сигналів. У першому випадку частотний рознос між модульованими несучими вибирається таким, щоб їх сусідні бічні смуги взаємно не перекривалися. Ця умова буде виконана, якщо величину частотного розносу вибрати рівною  $\Delta f > 2/TU$ , де  $TU$  – робочий інтервал інформаційного символу. Однак при цьому ефективність використання радіоспектру буде не високою. Навпаки, стандарт OFDM характеризується сильним перекриттям спектрів сусідніх піднесуть, що дозволяє зменшити в два рази значення частотного розносу і в стільки ж разів підвищити щільність передачі цифрової інформації (біт / с) / Гц. Завдяки ортогональному методу демодуляції піднесучих групового спектра відбувається компенсація перешкод від сусідніх частот, незважаючи на те, що їх бічні смуги взаємно перекриваються.

Найбільш широко поширений спосіб формування OFDM-радіосигналу полягає у формуванні первинного квадратурного OFDM-сигналу за допомогою зворотного дискретного перетворення Фур'є (РДПФ), зокрема, за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (ОБПФ), і перетворенні отриманого OFDM-сигналу за допомогою квадратурного модулятора (КМ) та генератора несучої частоти ( $\Gamma$ ) на задану радіочастоту [1]. Базове пристрій, що формує OFDM-радіосигнал таким способом (рис. 1), складається з OFDM-модулятора, що виконує процедуру ЗДПФ, двох цифроаналогових перетворювачів (ЦАП), двох фільтрів нижніх частот (ФНЧ), КМ і  $\Gamma$ . КМ в свою чергу містить два змішу-

вача (СМ), фазообертач (ФВ) і суматор (С). Одним з існуючих недоліків OFDM являється пік-фактор (PARP) [2]. Великі коливання потужності, які присутні в OFDM, роблять її, включаючи підсилювач потужності, чутливою до нелінійних ефектів. Такі коливання не тільки знижують потужність випромінювання, але і ефективність підсилювача.

Була запропонована концепція фіксованих OFDM конвертів (constant envelop OFDM, CE-OFDM).

В CE-OFDM, корисний сигнал знаходиться в фазі постійного конверту несучого коливання. Таким чином, вдається знизити ефект PARP, що робить CE-OFDM ефективним методом для боротьби з коливаннями потужності. Низькі показники модуляції заставили ввести обмеження на фазу сигналу, що знизило втрати біт, але зменшило пропускну здатність.

CE-OFDM сигнал отримують шляхом модуляції фази носія OFDM сигналу. Це можна розглядати як просте перетворення OFDM. Воно утворюється в рамках простої модифікації стандартної OFDM системи, як показано на рис. 2.

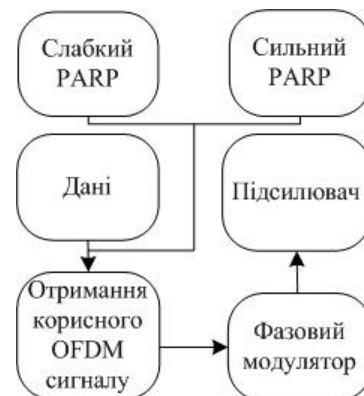


Рис. 2. Синтез CE-OFDM сигнала

Полоса CE-OFDM сигналу визначається як  $p(t) = Ae^{j\gamma(t)}$ , де  $A$  – амплітуда сигналу. Фазовий сигнал  $\gamma(t)$ , з корисним OFDM сигналом представимо у вигляді:

$$\gamma(t) = M_i + 2\pi s C_N \times \sum_{k=1}^N d_{ik} q_k(t - iT_{sep}), \text{ if } iT_{sep} \leq t \leq (i+1)T_{sep},$$

де  $M_i$  – фазова пам'ять;  $s$  – множник, який визначається з просторово-часових властивостей сигналу;  $C_N = \sqrt{2/\sigma_1^2 N}$  – нормовані коефіцієнти ( $N$  – кількість піднесучих,  $\sigma_1$  – коефіцієнти, які відповідають передаваним даним, для двійкових даних  $\sigma_1^2 = 1$ );  $-1 \leq d_{ik} \leq 1$  – реальні передавані символи, при

цьому на під несучі  $q_k$  накладається обмеження:

$$q_k = \begin{cases} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T_s}\right), k = 1, 2, \dots, \frac{N}{2}; \\ \sin\left(\frac{2\pi\left(k - \frac{N}{2}\right)t}{T_s}\right), k = \frac{N}{2} + 1, \dots, N. \end{cases}$$

Розглянемо способи формування потоків даних. Для передачі дискретних даних використовується цифрове кодування.

Потенціальні коди мають вузьку смугу частот, що являється їх перевагою, але мають постійну складову та втрати синхронізації при втрати синхронізації при передачі довгих серій однакових елементів або груп.

Для боротьби з цим явищем використовують логічне кодування.

Для логічного кодування характерні методи надлишкових кодів та скремблювання.

В системах керування роботами використовують цифровий надлишковий код 8/10В, данні передавати пакетами фіксованої довжини (пакет складається з заголовку та блоку даних, для захисту пакету оптимально використовувати циклічний надлишковий код CRC\_32).

Розглянемо формування пакету (рис. 3), який складається з заголовку та блоку даних. Формування пакету починається з заголовку.

Блок керування записує інформацію про номер інформаційного пакету, номеру блоку гідроакустичних даних та іншу службову інформацію в блок службової інформації. Потім отримані дані поступають на вхід блоку, де розраховується 8-бітний циклічний надлишковий код (блок розрахунок CRC\_8). Повністю сформований заголовок з виходу

блоку розрахунку CRC\_8 подається на мультиплексор.

На входи блоків двохпортової пам'яті і розрахунку поступає потік 8-бітних даних.

Розпакову і демультимплексування потоку виконує блок розпізнавання пакету (рисю 4). Потік 8-бітних даних з блоку десеріалайзер поступає на вхід блоку розпізнавання пакету.

Блок пошуку заголовку аналізує потік даних, які поступають з блоку десеріалайзер на кожному такті синхросигналу рахує циклічний надлишковий код CRC\_8 від підряд йдучих трьох байт та порівнює отриманий результат з четвертим байтом, якщо байти співпадають, то дані чотири байти з визначеним ступенем ймовірності вважається заголовком інформаційного пакету, наступні 996 байт вважаються блоком даних.

Після визначення заголовку пакету блок пошук заголовку передає сигнал блоку розрахунок CRC\_32, який запускає розрахунок циклічного надлишкового коду CRC\_32, отриманий в даному блоці при розрахунку CRC\_32 від 992 байт з чотирма послідовними байтами, якщо результат совпадає то пакет з визначеною степінню ймовірності вважається дійсним.

Блок розділу аналізує службові дані отриманого пакету зі службовими даними пакета попереднього. Якщо номер отриманого пакету більше або дорівнює номеру попереднього, і якщо час між двома сусідніми пакетами більше або дорівнює часу передачі інформаційного пакету, то такий пакет подається на блок демультимплексер. Службові дані передаються в блок керування для послідовного аналізу. Блок керування синхронізує роботу всіх внутрішніх структур блоку розпізнавання пакету. Серіалайзер (рис. 5) виконує перетворення поступаючих на нього 8-розрядних даних послідовний код для передачі по каналу зв'язку.

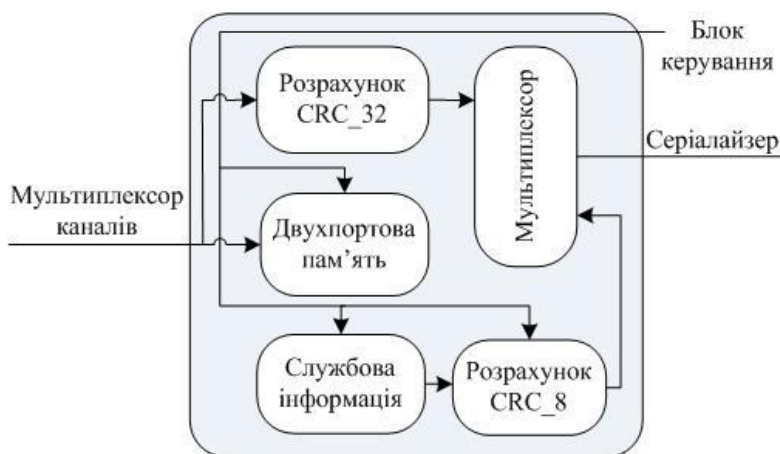


Рис. 3. Структурна схема блоку формування пакету

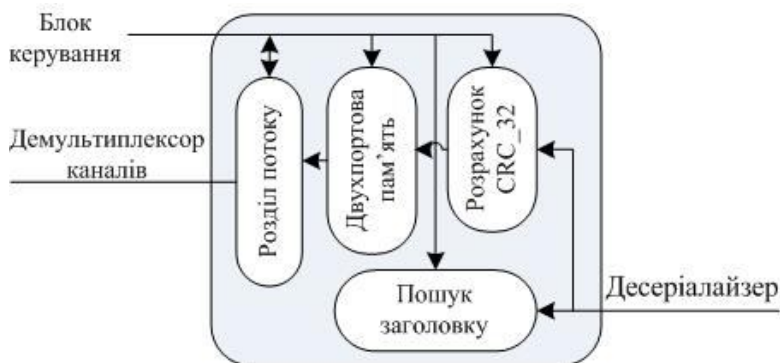


Рис. 4. Структурна схема блоку розпізнавання пакету

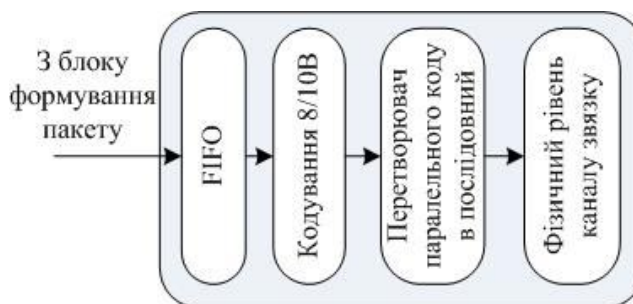


Рис. 5. Структурна схема серіалізера

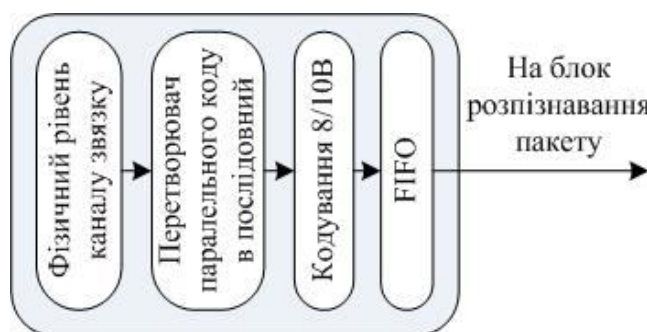


Рис. 6. Структурна схема десеріалізера

У відповідності зі схемою кодування 8/10В блоки даних з 8-ми біт перетворюються в блоки даних з 10 біт. Некодована інформація розбивається на блоки по 8 біт: А, В, С, D, E, F, G, H плюс контрольна змінна Z. Остання може приймати значення D у випадку звичайних символів даних (D-типу) або K у випадку спеціальних символів (K - типу). Ця інформація перетворюється у відповідності з правилами 8/10В в так званий передавальний код з 10 біт: a, b, c, d, e, f, g, h, j.

Десеріалізер виконує виділення з однобітного потоку 8- розрядних даних і тактового сигналу (рис. б). В нього входять: схема відновлення даних, перетворювач послідовного коду в паралельний, перетворювач, який здійснює 8/10В, вихідний блок обробки черги FIFO. Схема відновлення даних виділяє з послідовного однобітного потоку, який поступає на десеріалізер, тактовий сигнал та 10- бітні блоки даних. Потім відбувається перетворення послідов-

ного коду в паралельний та декодування з 10- бітних блоків даних в 8- бітні.

### Висновки

В запропонованих параметрах каналу зв'язку відображено досвід побудови систем дистанційного керування. Дані методи являються оптимальними для вирішення поставленої задачі.

### Література

1. Успенский, А.Ю. Защита информации в радиоканалах мобильных робототехнических комплексов [Текст] / А.Ю. Успенский, Н.В. Медведев. – Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 2002. – №. 4. – С. 56-83.
2. Van Nee R. OFDM for Wireless Multimedia Communications [Text] / R. Van Nee and R. Prasad. – Boston, MA: Artech House, 2000. – P. 119-129.

*Надійшла до редакції 1.06.2012*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Г. Корченко, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ**

***В.П. Квасников, Е.А. Кулиш***

Условия использования мобильных роботов накладывают необходимость установки различных типов сенсоров, систем технического зрения, аппаратуры локации и навигации. В данной работе приведено построение канала связи между роботом и оператором, решаются задачи повышения пропускной способности, надежности и защищенности. В статье отображен опыт проектирования систем передачи данных для мобильных роботов на примере беспроводных каналов. Рассмотрены особенности построения схем, их унификации и комплексирования.

**Ключевые слова:** мобильный робот, канал передачи данных, кодирования, сериалайзер, OFDM-модуляция, мультиплексор.

## **MATHEMATICAL MODEL OF RADIO MOBILE ROBOT**

***V.P. Kvasnikov, E.A. Kulish***

Terms of use of mobile robots impose the need to install different types of sensors, vision systems, equipment location and navigation. In this paper, we construct a communication channel between the robot and the operator, are solved the problem of increasing the capacity, reliability and security. The article reflects the experience of designing communication systems for mobile robots on a sample of wireless channels. The features of the construction of schemes, their unification and aggregation.

**Key words:** mobile robot, the data channel, encoding, serializer, OFDM-modulation multiplexer.

**Квасніков Володимир Павлович** – доктор технічних наук, професор Національного авіаційного університету, заслужений метролог України, Київ, Україна, e-mail: kvp@nau.edu.ua.

**Куліш Євгеній Олександрович** – аспірант кафедри інформаційних технологій Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: sinasp@i.ua.