

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ ДО КАНАЛІВ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Національний авіаційний університет

У роботі розглянута концепція побудови та використання інтегральної мережі авіаційного електрозв'язку для обслуговування повітряного руху, множинний доступ (МД) доступ у авіаційних мобільних системах супутникового зв'язку. Були досліджені протоколи МДКЗ. Запропонована модель встановлення ефективності протоколів МД. По цій моделі був встановлений найефективніший серед розглянутих протокол МДКЗ

Вступ

Супутниковий зв'язок широко поширений у світі і використовується для створення міжнародних і національних мереж зв'язку.

Сучасні технології супутникових телекомунікацій забезпечують велику гнучкість при створенні мереж відомчого та ділового зв'язку в інтересах державних та комерційних структур, при організації некомутованих каналів для побудови комп'ютерних мереж на великих територіях (технології VSAT), забезпечують можливість надавати водночас кілька видів послуг за допомогою однієї станції супутникового зв'язку (передавання даних, двосторонній телефонний, відеоконференцзв'язок тощо).

Дана ж робота присвячується супутниковим системам зв'язку для мережі авіаційного електрозв'язку АТН, зокрема протоколам, які використовуються в супутниковому сегменті інтегральної мережі авіаційного електрозв'язку для обслуговування повітряного руху.

Аналіз досліджень та публікацій

У зв'язку з розвитком сучасних супутникових систем, їх високою економічною ефективністю, проблеми функціонування даних систем розглядаються у працях багатьох вітчизняних та закордонних вчених. Значний внесок у дослідження даної області внесли як вітчизняні вчені – Зубарев Ю.Б., Кукко К.І., Кантор Л.Я., Шахгільдян В.В., Варакин Л.Є. та ін, так і зарубіжні – Спілкер Д., Прокіс Д., Мідлтон Д., Файнстен Л., Голомб та ін

Постановка завдання

Існує велика кількість протоколів супутникового зв'язку, які мають особливості свого використання. Кожний із них характеризується своїми властивостями. Необхідним є визначення характеристик даних

протоколів, їх порівняння та вибір оптимального у визначених умовах використання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо протоколи вільного доступу до каналів супутникового зв'язку. Вільним доступом (множинним доступом-МД) називають певний порядок використання абонентами загального ресурсу каналів зв'язку, при якому кожний з абонентів може в рвзі потреби в необхідний для нього момент часу зробити спррбу зайняти канал зв'язку для передавання повідомлення.

Порядок використання загального ресурсу каналів зв'язку визначається протоколом множинного доступу (МД), набір правил якого регламентує поведінку сукупності абонентів по сумісному використанню загального ресурсу зв'язку [1-4]. Основною мірою характеристики протоколу МД є коефіцієнт використання пропускної спроможності каналу $R_{\text{п}}=R_{\text{е}}/C_{\text{к}}$, де $R_{\text{е}}$ - ефективна швидкість передавання інформації в каналі зв'язку; $C_{\text{к}}$ – пропускна спроможність каналу.

Із метою підвищення коефіцієнта $R_{\text{п}}$ повідомлення подрібнюють на пакети і колективно використовують канали великою кількістю абонентів. Реалізація переваг такого методу залежить від конкретного вибору та реалізації протоколу МД для вирішення проблеми активного доступу до комунікаційного ресурсу без зайвих витрат.

Протоколи з активним пошуком доступу абонентів до початку зв'язку розподіляються на 2 великих класи: суперечливі протоколи (протоколи вільного (або випадкового МД) і протоколом із резервуванням (статичного і динамічного).

У суперечливих протоколах відсутні заходи з координації готових до передавання інформації абонентів з метою запобігання накладок повідомлень. Кожний готовий абонент приймає своє рішення на доступ до каналу.

У протоколах з резервуванням, які використовуються у випадках суттєвої середньої довжини повідомлення, передбачається окремий канал резервування. Мета цього каналу – така координація дій абонентів, які готові до передавання повідомлень, щоб в кожний момент часу тільки один із них мав доступ до каналу. Оскільки в AMSS абоненти географічно розкидані, проблема конфліктів повідомлень існує, бо доступ до каналу резервування там, як правило, будується на основі випадкового МД [2, 5].

Протоколи випадкового МД діляться на два великих підкласи: протоколи неконтрольованого МД і протоколи з контролем стану каналів зв'язку.

Протоколи випадкового МД з перевіркою стану каналу

Серед протоколів із перевіркою стану каналу велику групу складають протоколи, згідно з якими стан каналу визначається контролем зайнятості (МДКЗ). На відміну від протоколів АЛОНА в алгоритмах протоколів МДКЗ є операція прослуховування абонентом каналу зв'язку до передавання повідомлень. Залежно від алгоритму подальші дії абонента відрізняють цілий ряд протоколів з МДКЗ. Базовими є гнучкий (ненастирливий) і жорсткий (настирливий) протокол з МДКЗ.

Гнучкий (ненастирливий) протокол МДКЗ передбачає передавання пакета, якщо прослуховування не виявило в каналі сигналів несучої частоти, тобто передавання конфліктуючого пакета відсутнє. При виявленні зайнятості каналу, передавання пакету відкладається на випадковий інтервал, який визначається генератором випадкових чисел. По закінченні цього інтервалу канал знов контролюється на зайнятість, і цикл протоколу продовжується.

Пропускна спроможність гнучкого протоколу МДКЗ може досягати $R_{\text{пmax}} = 0,815$, а його синхронного варіанта – $R_{\text{пmax}} = 0,875$ [2, 6]. Гнучкий протокол МДКЗ має високу ефективність при значному трафіку, бо супроводжується розрівнюючим ефектом. При низькому трафіку ефективність протоколу знижується. Тому був запропонований жорсткий протокол МДКЗ.

Жорсткий (настирливий) протокол МДКЗ має наступні процедури. При відсутності передачі інших абонентів і необхідності передавати повідомлення абонент передає пакет. Якщо ж встановлена зайнятість каналу зв'язку, то абонент безперервно контролює наявність інших передач і при їх зникненні починає передавання свого пакета. Жорсткий протокол МДКЗ

дозволяє концентрувати низькоінтенсивний трафік і забезпечує $R_{\text{пmax}} \approx 0,529$. Практично таку ж саму пропускну спроможність забезпечує і синхронний (тактований) варіант жорсткого МДКЗ.

Між діапазонами зміни трафіку (навантаження), в яких гнучкий і жорсткий протокол МДКЗ ефективні, існує область, де обидва протоколи «працюють» не так успішно. Компромісним варіантом стратегії поведінки абонента після фіксації зайнятого стану каналу є

Р-жорсткий синхронний протокол МДКЗ. При фіксації зайнятості каналу процес продовжується, як у жорсткому протоколі МДКЗ.

Залежно від імовірності P пропускна спроможність Р-жорсткого протоколу МДКЗ може становити 0,827.

Із метою зменшення витрат часу для повторного передавання пакетів, які уражені внаслідок конфліктів, використовують більш складні протоколи МДКЗ – протоколи з прогнозуванням. Один з протоколів із прогнозом обумовлює таку стратегію поведінки абонентів. Всі абоненти постійно контролюють стан каналу. При зайнятості каналу ця ознака фіксується. Коли визначається, що канал вільний, ознака зайнятості скидається із затримкою на інтервал часу, який дорівнює часу розповсюдження радіосигналу в мережі. Після дозволу на передавання пакета використовують два основних варіанти дій абонентів залежно від значення системного параметра P . У першому варіанті ($P=0$, гнучкий прогноз) абоненти відкладають передавання і повторюють його через інтервал часу випадкової довжини $\tau_{\text{п}}$. У другому варіанті ($P=1$, жорсткий прогноз) абоненти очікують вивільнення каналу, контролюючи його стан на кожному такті.

При вільному стані каналу обидва протоколи діють однаково і прогнозують зіткнення пакетів ще до їхнього передавання. Прогнозування вільного каналу відбувається передаванням в канал короткого прогноуючого сигналу і

перевіркою його на вході приймача в зворотному каналі. Якщо прогнозуючий канал подають декілька абонентів, можливим є їх конфлікт. Повторна спроба передавання призначається через інтервал τ_n . Якщо

прогнозуючий сигнал подає тільки один абонент, зіткнення не фіксується і формується сигнал дозволу на видачу пакета.

Результати досліджень пропускну́ї спроможності різних протоколів наведено в табл. 1 [2, 6] та рис. 1.

Таблиця 1. Ефективність алгоритмів із вільним доступом

Номер алгоритму (протоколу)	Назва протоколу	$R_n=f(Y), b \neq 0$	$R_n=f(Y), b = 0$	$R_{nmax} b=0,01$
A1	ALOHA	Ye^{-2Y}	Ye^{-2Y}	0,184
A2	S-ALOHA	Ye^{-Y}	Ye^{-Y}	0,368
A3	Гнучкий нетактований МДКЗ	$Ye^{-bY}/[Y(1+2b)+e^{-bY}]$	$Y/(1+Y)$	0,815
A4	Гнучкий тактований МДКЗ	$bYe^{-bY}/(1+b-e^{-bY})$	$Y/(1+Y)$	0,875
A5	Жорсткий нетактований МДКЗ	$\frac{Y[1+Y+bY(1+Y+bY)/2]e^{-Y(1+2b)}}{Y(1+2b)-1-e^{-bY}+(1+bY)e^{-Y}}$	$\frac{Ye^{-Y(1+Y)}}{Y+e^{-Y}}$	0,529
A6	Жорсткий тактований МДКЗ	$\frac{Ye^{-Y} (1+b) (1+b-e^{-bY})}{1+b-1-e^{-bY}+be^{-Y(1+b)}}$	$\frac{Ye^{-Y(1+Y)}}{Y+e^{-Y}}$	0,531
A7	Гнучкий 0,03 МДКЗ	$I_n \approx 0,03$	$Y/(Y+e^{-Y})$	0,827
A8	Жорсткий прогнозуючий МДКЗ	$\Delta Fk=1MГц$	$\approx Y/(1+Y)$	0,799
A9	Гнучкий прогнозуючий МДКЗ	-	-	0,36... $\approx 0,993$
A10	R-ALOHA	-	-	0,997
A11	URN	-	-	$\rightarrow 1$

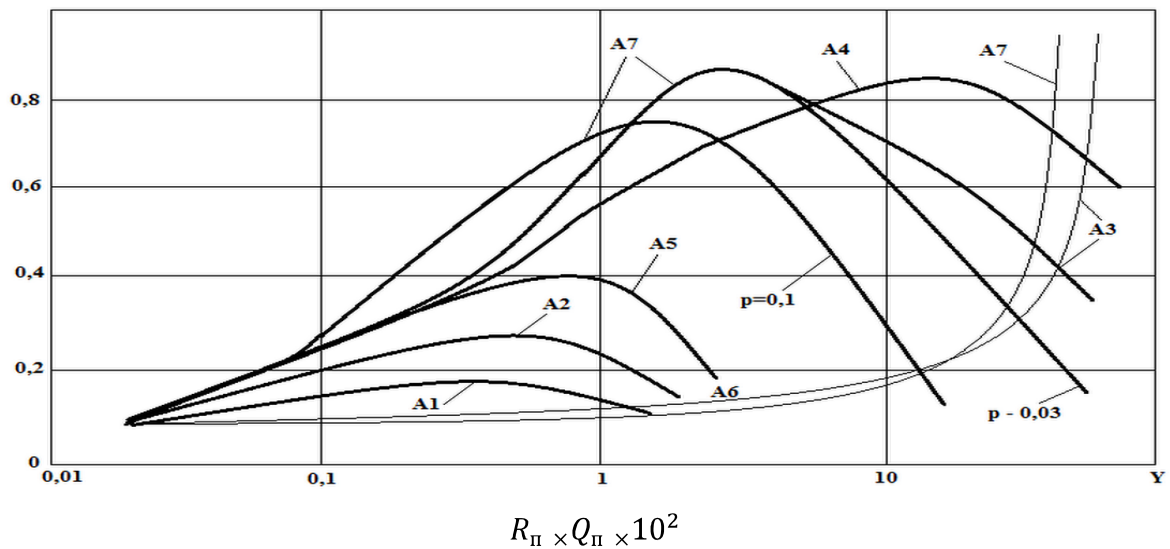


Рис. 1 Ефективність протоколів вільного доступу

У формулах таблиці 1 параметр $b = t_p / 2T_n$, де t_p - час розповсюдження сигналу; T_n - довжина пакета; F_k - ширина смуги частот каналу. При зростанні параметра b збільшується інтервал можливого конфлікту повідомлень і значення R_n знижується. При великих b інформація про стан каналу старіє більше і протоколи (алгоритми) A_1 та A_2 можуть виявитися кращими ніж протоколи $A_5 \dots A_8$. Коли $b \approx 0$ і час розповсюдження можна не враховувати, більш ефективними стають алгоритми $A_5 \dots A_7$. У всіх випадках із ростом трафіку Y середня кількість повторних передач повідомлення Q_n (а значить і затримка повідомлень) зростає. Для всіх наведених протоколів при $Y \leq 1$ можна вважати $Q_n < 5$.

Порівняльний аналіз пропускної спроможності R_n для різних груп протоколів за даними таблиці 1 показує, що R_n для жорсткого прогнозуючого протоколу більше ніж 50%, а гнучкого – на 8% вище, ніж у відповідних протоколів МДКЗ. З точки зору затримки передавання в області середніх і високих

швидкостей прогнозуючі протоколи теж мають перевагу над протоколами МДКЗ. В області невеликих швидкостей має місце збільшення затримки для гнучкого прогнозуючого протоколу в порівнянні з гнучким МДКЗ. Це пояснюється впливом процедури прогнозування.

Необхідно також відзначити, що якість протоколів у випадкових МДКЗ суттєво залежить від параметра b і, як наслідок, від висоти орбіт супутникових ретрансляторів. Існує критичне значення b , при якому інтервал конфліктності збільшується на стільки, що втрати від конфліктів пакетів стають більше позитивного ефекта від контролю стану перед передачею.

Таким чином, для визначення ефективності протоколів вільного доступу, були обрані: гнучкий нетактовний МДКЗ (протокол A_3), гнучкий тактований МДКЗ (протокол A_4), жорсткий нетактовний МДКЗ (протокол A_5), та жорсткий тактовний МДКЗ (протокол A_6).

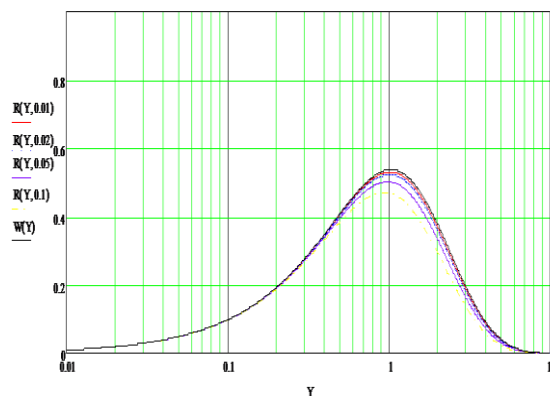


Рис. 2. Ефективність жорсткого тактованого МДКЗ

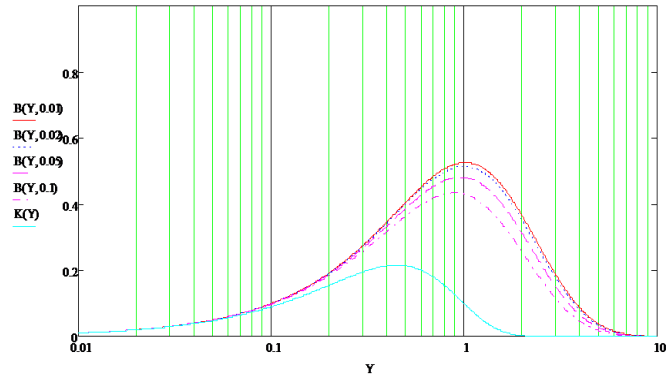


Рис. 3 Ефективність жорсткого нетактованого МДКЗ

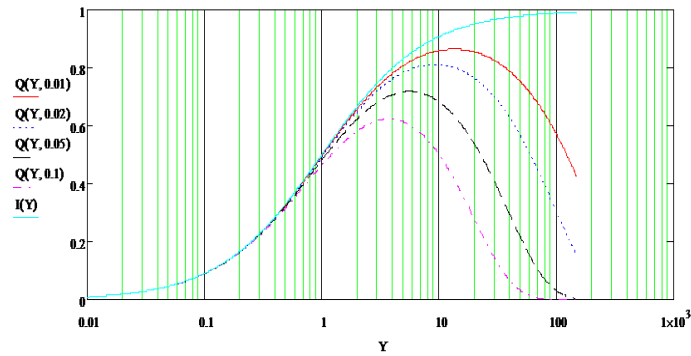


Рис. 4 Ефективність гнучкого тактованого МДКЗ

З рис. 2 – рис. 4 видно, що найбільш оптимальним рішенням буде протокол А4 з значенням параметра b рівним 0.01.

Максимальна ефективність = 0.875.

При такій ефективності кількість пакетів має бути від 11 до 16 в секунду.

Візьмемо ефективність меншу на 5 % від оптимальної (що є прийнятною для нашої системи).

$$0.875 - 0.875 \cdot 0.05 = 0.831$$

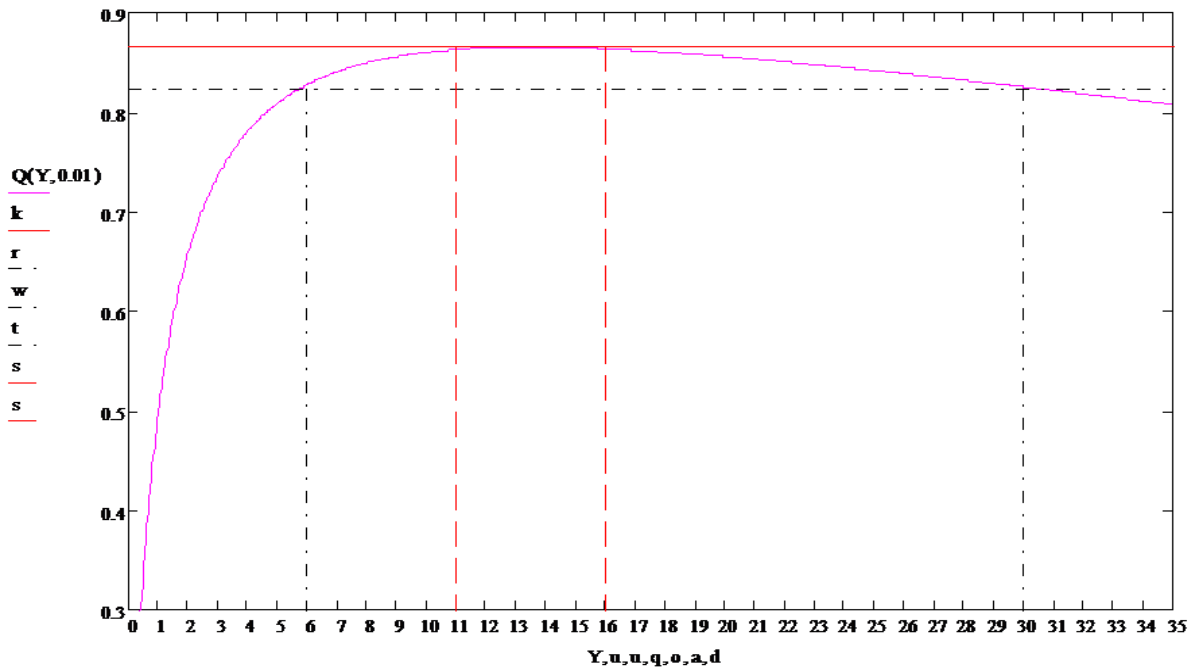


Рис. 5. Оптимальна ефективність гнучкого тактованого МДКЗ

З графіка видно, що при зменшенні ефективності на 5 % кількість пакетів можна збільшити до 30 в секунду.

Отже, у розділі моделювання для визначення ефективності протоколів вільного доступу, було досліджено чотири типи протоколів МДКЗ: Гнучкий нетактовний МДКЗ (протокол А3), Гнучкий тактований МДКЗ (протокол А4), Жорсткий нетактовний МДКЗ (протокол А5), та Жорсткий тактований МДКЗ (протокол А6).

В результаті дослідження було визначено, що самий ефективний протокол вільного доступу є гнучкий тактований МДКЗ (протокол А4). При параметрі $b \leq 0.01$, саме при цьому значенні параметра b ефективність не погіршується. Отже, чим менше параметр b , тим вище ефективність.

Так як параметр b залежить від часу розповсюдження та довжини пакета, для зменшення цього параметра необхідно збільшити довжину пакета та зменшити швидкість передачі. При ефективності 0,875 швидкість передачі змінюється від 11 до 16 пакетів/с. При зниженні ефективності на 5% вона буде рівною 0,831 (що являється допустимим в реальних умовах). Кількість передавання пакетів можна збільшити до 30 пакетів/с. Якщо при передачі повідомлення з'являється перезапит, то допустиме число перезапитів п'ять.

Тому рекомендується використовувати гнучкий тактований МДКЗ (протокол А4), зі значенням параметра $b \leq 0,01$, при передачі повідомлень з ЗС на борт літака, так як він являється найефективнішим, навіть тоді коли при передачі повідомлення виникає перезапит.

Висновки

В даній роботі розглянуті протоколи вільного множинного доступу (МД) в системах авіаційного радіозв'язку які показують, що висока ефективність використання пропускну здатності каналу досягається за рахунок значного ускладнення апаратури авіаційного зв'язку та управління режимами її роботи.

В ході математичного моделювання було встановлено, який протокол і за яких параметрів є найефективнішим. Таким чином, рекомендується використовувати гнучкий тактований МДКЗ (протокол А4) із параметрами, що зазначені у роботі.

Список літератури

1. Полянцев М.А. Состояние и перспективы развития систем подвижной спутниковой связи// Технологии электронных телекоммуникаций. – 1994. Т. 49. – С. 62-70.
2. Паук С.М. Сети авиационной электросвязи. – М.: Транспорт, 1986. – 272 с.
3. Шелухин О.И., Лукьянов Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи. - М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.
4. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. – М.: Мир, 1975. – 412 с.
5. Приложение 10 к Конвенции ИКАО. Т.3. Системі святы. – Монреаль: ИКАО, 1995. – 432 с.
6. Цимбал В.А., Шиманов С.Н., Людоговский А.С. Протоколы множественного доступа в спутниковой сети связи с низкоорбитными ретрансляторами// Технологии электронных коммуникаций. – М.: 1995. – 81 с.