

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛІ

Gavrylko Ye. V. Construction method development of environmental satellite network system telecommunication system of remote monitoring of the Earth. The method of constructing the network system of environmental satellite telecommunication system of remote monitoring of the Earth, which unlike the known topological placement takes into account the spacecraft orbital grouping many satellite systems for environmental monitoring.

Keywords: telecommunication network, satellite telecommunications system, spacecraft, remote monitoring of the Earth

Гаврилко Є. В. Розробка методики побудови мережевої системи супутникової екологічної телекомунікаційної системи дистанційного моніторингу Землі. Розроблено методику побудови мережевої системи супутникової екологічної телекомунікаційної системи дистанційного моніторингу Землі, яка на відміну від відомих враховує особливості топологічного розміщення космічних апаратів багатосупутникової системи орбітального угруповання для проведення екологічного моніторингу.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, супутникова телекомунікаційна система, космічний апарат, дистанційний моніторинг Землі

Гаврилко Е. В. Разработка методики построения сетевой системы спутниковой экологической телекоммуникационной системы дистанционного мониторинга Земли. Разработана методика построения сетевой системы спутниковой экологической телекоммуникационной системы дистанционного мониторинга Земли, в отличие от известных учитывает особенности топологического размещения космических аппаратов багатосупутниковой системы орбитальной группировки для проведения экологического мониторинга.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, спутниковая телекоммуникационная система, космический аппарат, дистанционный мониторинг Земли

1. Вступна частина. В останні роки бурхливий розвиток зазнають телекомунікаційні системи та мережі. Одним з перспективних напрямів є розвиток супутникових телекомунікаційних систем і мереж. Одним з напрямків їх вдосконалення є перехід від використання супутників зв'язку, розміщених на геостационарній і високо еліптичних орбітах, до ефективних і маловартісних низькоорбітальних супутникових телекомунікаційних систем. Це дозволяє реалізувати глобальну мережу зв'язку для обслуговування споживачів, що знаходяться на поверхні Землі і в навколосупутниковому просторі, та забезпечити надвисоку оперативність системи.

Актуальним напрямом розвитку таких супутникових телекомунікаційних систем є органічне поєднання їх в комплекси з засобами дистанційного моніторингу Землі для виконання тематичних завдань. Виходячи з цього побудова супутникових екологічних телекомунікаційних систем (СЕТС) дистанційного моніторингу Землі (ДМЗ) є важливим і актуальним напрямом розвитку сучасних телекомунікацій.

Проблематиці побудови супутникових телекомунікаційних систем та супутникових каналів передачі інформації присвячено ряд наукових досліджень Волосяка В. К., Лукашевича Е. Л., Капитонової Н. В., Хижниченка В. И., Гарбука С. В., Гершензона В. Е., Можаява Г. В., Козелкова С. В., Козелкової К. С. та інш. [1-5].

На основі аналізу робіт відомих вчених та літературних джерел можна зробити *наступні висновки*. Сучасні супутникові телекомунікаційні системи є складною системою, які потребують стійкого зв'язку. Тому питання утворення міжсупутникових телекомунікаційних мереж є актуальним і невирішеним.

Метою роботи є розробка методики побудови мережі в супутниковій екологічній телекомунікаційній системі дистанційного моніторингу Землі.

2. Розробка моделі. В ході проведених досліджень встановлено, що відомі підходи створення моделей функціонування мереж, реалізовані у межах теорії масового обслуговування і напівмарковських процесів, не відповідають вимогам до супутникових телекомунікаційних систем через значного збільшення розмірності задачі і неможливості їх практичної реалізації.

В ході проведення дослідження методом аналізу ієрархій за показниками «ефективність» встановлено, що орбітальне угруповання супутникової екологічної телекомунікаційної системи доцільно утворювати за варіантом, наведеним на Рис. 1.

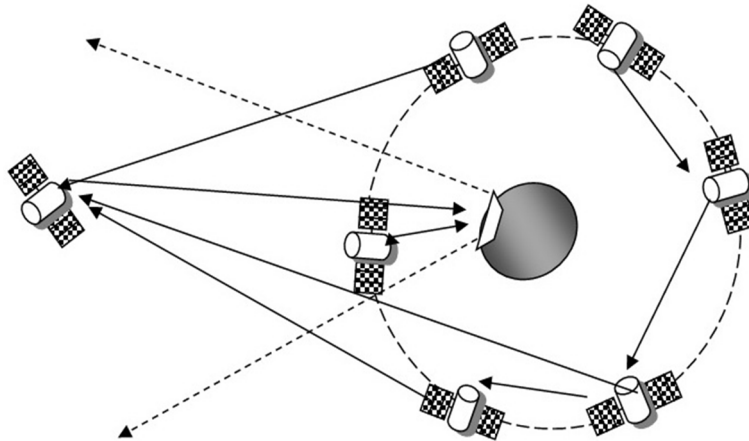


Рис. 1. Варіант побудови СЕТС ДМЗ за принципом замкнутого циклу «КА - КА - СЗв - ЦУ-КА - ...».

Одним з найбільш конструктивних підходів розв'язання проблематики статті є застосування і розвиток дифузійних методів апроксимації дискретних процесів передачі інформації. Відомо, що для повного опису системи масового обслуговування необхідно вирішити систему з $N+1$ диференціальних рівнянь, де N – число станів (кількість повідомлень) обслуговуючого приладу космічних апаратів (КА) в циклі організації зв'язку КА – КА -КА-СЗв- ЦУ КА).

При числі КА в орбітальному угрупованні кілька десятків і сотень, кількості станів вузлів на КА буде занадто велике. А надходження інформації від елементів екологічного моніторингу ДМЗ або занадто велике (спектральні знімки) або занадто малі та часті за надходженням в часі (радіологічні заміри) виникає проблемам лавинообразного збільшення запитів на лінію зв'язку.

Тому визначення мережі супутникової телекомунікаційної системи на сьогодні є складною і малодослідженою і є науковою задачею дослідження. Для розв'язання наукової задачі в роботі використано дифузійну апроксимацію.

Дифузійна апроксимація дозволяє істотно знизити розмірність задачі, причому її точність при описі функціонування системи в умовах значних завантажень каналів вельми висока. Визначивши параметри зсуву і дифузії процесу, апроксимуючого стан телекомунікаційного вузла на КА, можна для кожного вузла мережі одержати рівняння Фоккера - Планка - Колмогорова. А рішення даного рівняння при нормальній апроксимації перехідної щільності ймовірності дає відповідні результати для опису стану вузла в умовах змінного навантаження.

Маючи дифузну модель функціонування одного вузла на КА, і використовуючи матрицю суміжності, можна отримати багатовимірне диференціальне рівняння, що є за своєю методом стану мережі. Обсяги обчислення, пов'язаних з реалізацією такої моделі, є малими, що є перевагою такого методу.

Для вирішення наукового завдання апроксимації дискретних процесів дифузними методами розглянемо два процеси:

- $\{X(t, u, \Theta)\}$, елементи якого залежать від кроку і такту Θ , що представляють собою відстані між можливими значеннями координати X і часу t .
- $\{X(t, u)\}$, елементи якого залежать тільки від кроку при безперервному часу.

Ланцюг $X(t, u, \Theta)$ і дискретний процес $X(t, u)$ задані на просторах координати і часу, що позначаються відповідно u_1, u . У процедурі апроксимації крок u пробігає послідовність значень u_k ($k=1, 2, \dots$), $u_{k+1} < u$, що належать інтервалу (Θ, u_1) , де u_1 – крок початкового процесу, частіш за все рівний 1.

Керуючої змінної в процедурі є саме крок u , в залежності від якого змінюються інші параметри процесів $X(t, u, \Theta)$, $X(t, u)$ (наприклад, такт Θ_k (Θ, Θ_1)), тому індекс k нижче опущений.

Шуканим граничним процесом є дифузний процес $X(t)$, заданий на i . Безперервний випадковий процес, який має щільність ймовірності переходу $p(x, t | x_0, t_0), t > t_0$, називається дифузійним, якщо моменти

$$E[X(t+\tau) - X(t)]_n | X(t) = x = \int (y-x)^n p(y, t+\tau | x, t) dy, \quad n=1, 2, \dots \quad (1)$$

умовного приросту координати x за час t задовольняють наступним умовам.

$$M [X(t+\tau) - X(t) | X(t) = x] = \alpha(x, t)\tau + \Theta(\tau), \quad (2)$$

$$M [(X(t+\tau) - X(t))^2 | X(t) = x] = \beta(x, t)\tau + \Theta(\tau), \quad (3)$$

$$M [(X(t+\tau) - X(t))^n | X(t) = x] = \Theta(\tau), \quad n \geq 3, \quad (4)$$

де функції $\alpha(x, t)$ – коефіцієнту зносу, $\beta(x, t)$ – коефіцієнт дифузії.

Якщо при цьому існують безперервні похідні dp/dt , $d(\alpha p)/dx$, $d^2(\beta p)/dx^2$. Тоді щільність $p(x, t | x_0, t_0)$, як функція x і t задовольняє рівняння Фоккера – Планка – Колмогорова

$$\frac{dp}{dt} = - \frac{d[\alpha p]}{dx} + \frac{1}{2} \frac{d^2[\beta p]}{dx^2}. \quad (5)$$

Позначимо умовні нарощування

$$X(t+\tau, u, \Theta) - X(t, u, \Theta) | X(t, u, \Theta) = x \text{ через } \Delta X(\tau, u, \Theta) | x, \quad (6)$$

$$X(t, \tau, u) - X(t, u) | X(t, u) = x \text{ через } \Delta X(\tau, u) | x \quad (7)$$

$$X(t+\tau) - X(t) | X(t) = x \text{ через } \Delta X(\tau) | x. \quad (8)$$

Будемо шукати такі послідовності процесів $X(t, u)$ (або $X(t, u, \Theta)$), моменти збільшення яких, при $u \rightarrow \Theta$, $t \rightarrow 0$, (чи $u \rightarrow 0$, $\tau \rightarrow 0$, $\Theta \rightarrow 0$) задовольняють умовам

$$M [\Delta X(\tau, u) | x] = \alpha(x, t)\tau + \Theta(\tau), \quad (9)$$

$$M [(\Delta X(\tau, u))^2 | x] = \beta(x, t)\tau + \Theta(\tau), \quad (10)$$

$$M [(\Delta X(\tau, u))^n | x] = \Theta(\tau), \quad n \geq 3, \quad (11)$$

тобто ведуть себе при $\Theta \rightarrow 0$ так же, як моменти збільшення $X(\tau)/x$ дифузного процесу $X(t)$, що має коефіцієнт зносу і дифузії $\alpha(x, t)$ і $\beta(x, t)$ відповідно.

Після визначення коефіцієнтів зносу і дифузії необхідно довести збіжність при $u \rightarrow 0$ послідовності вихідних процесів $X(t, u, \Theta)$, $X(t, u)$ до наведеному дифузному процесу $X(t)$ з урахуванням крайових умов. Під сходимістю послідовностей $\{X(t, u, \Theta)\}$, $\{X(t, u)\}$ зазвичай розуміється слабка збіжність (або збіжність з розподілу), коли розподілу $X(t, u, \Theta)$, $X(t, u)$ сходяться до розподілу $X(t)$ в точках безперервності.

Якщо вирішується завдання наближення розподілу функціоналів від $X(x, u, \Theta)$ $X(t, u)$ відповідно розподілом функціоналу від $X(t)$, то використовуються більш сильні умови збіжності.

Розглянемо марковський процес $X(t, u)$. Він відрізняється від ланцюга тим, що зміна станів може відбуватися в будь-який момент часу: частка проводить в точці x час, розподілене по експонентному закону, потім переміщається стрибком в одну з сусідніх точок $x+u$ або $x-u$ з швидкістю переходу λ^+ та λ^- відповідно. Апроксимуємо цей процес дифузійним процесом $X(t)$. Тоді тимчасової мікроскопічної характеристикою процесу $X(t, u)$ є інтервал порядку середнього часу перебування в будь-якій точці x (середній час між стрибками)

$$\Theta_c = 1 / (\lambda^+ + \lambda^-) .$$

Приріст $\Delta X(\tau, u) | x$ за довільний час складається з двох незалежних зсувів в позитивному і негативному напрямках, які мають розподілу Пуассона з параметрами λ , що належать λ^+ τ та $\lambda^- \tau$ відповідно. Вирази для моментів збільшення мають вигляд

$$M [\Delta X(\tau, u) \mid x] = u (\lambda^+ - \lambda^-) \tau ;$$

$$M [(\Delta X(\tau, u))^2 \mid x] = u^2 (\lambda^+ - \lambda^-) \tau + [u(\lambda^+ - \lambda^-)\tau]^2 ;$$

$$M [(\Delta X(\tau, u))^3 \mid x] = u^3 \{ [(\lambda^+ - \lambda^-) \tau]^3 + 3[(\lambda^+ \tau)^2 - (\lambda^- \tau)^2] + (\lambda^+ - \lambda^-) \tau \} .$$

Прийнявши до уваги необхідні залежності від моментів збільшення (5) і (11), будемо мати

$$u(\lambda^- \lambda^+) = \alpha , u^2(\lambda^+, \lambda^-) = \beta .$$

Розглянемо дві незалежні послідовності незалежних і однаково розподілених випадкових $\{T_i^+\}$, $\{T_j^-\}$ інтервалів при $i, j=1, 2, \dots$, елементи які мають функції розподілу $A^+(t, u)$, $A^-(t, u)$, залежні від параметру $u \in (0, u_1)$.

Нехай процес $X(t, u)$ при

$$\Omega_x^u = \{ x = 0, \pm u, \pm 2u, \dots \} \text{ та } \Omega_t = \{ 0, t < \infty \}$$

управляється даними процесами відновлення в наступному розумінні: в моменти відновлення

$$S_k^+ = T_1^+ + \dots + T_k^+ (S_1^- = T_1^- + \dots + T_1^-)$$

координата X змінюється стрибком на величину кроку u . Позначимо через $N^+(t, u)$ $N^-(t, u)$ кількість відновлення за час t ; область визначення $\Omega_n^1 = \{n=1, 2, \dots\}$ цих процесів не залежить від величини u . Тоді маємо

$$X(t, u) = uN^+(t, u) - uN^-(t, u) .$$

Апроксимуємо даний процес $X(t, u)$ дифузійним процесом $X(t)$, зменшуючи разом з кроком u і математичні очікування τ_c^+ , τ_c^- інтервалів T^+ , T^- або збільшує інтенсивність $\lambda^+ = 1/\tau_c^+$, $\lambda^- = 1/\tau_c^-$.

Розглянемо приріст координати

$$\Delta X(\tau, u) = u [\Delta N(\tau, u) - \Delta N(\tau, u)] ,$$

за фіксований час τ після моменту t . Оскільки процеси $N(t, u)$ не є марковськими, розподілу збільшень $\Delta N(\tau, u)$ залежать від передісторії.

Для процесів відновлення тривалість передісторії (яку необхідно враховувати при описі розвитку процесу після моменту t) має порядок величини інтервалу між відновлення.

Тому вплив передісторії перестає позначатися на проміжках часу $\tau \gg$.

Шуканий граничний процес $X(t)$ є марковським, отже, величина τ повинна бути макроскопічними збільшенням, тобто протягом граничного переходу відношення

$$n_m^+ = \tau_m / \tau_c, \quad n_m^- = \tau_m / \tau_c,$$

повинні необмежено зростати.

Щільність ймовірності переходу за час дифузійного процесу, що має коефіцієнти зносу і дифузії α і β , є нормальною щільністю з параметрами α і $\sqrt{\beta \tau_m}$.

Щільність розподілу ймовірностей досягнення дифузійними процесами цілочисельних значень дозволяє визначити параметри залишкового часу очікування та інші характеристики вихідного потоку для кожного вузла системи. Якість апроксимації динаміки довжин черг у зазначеній телекомунікаційній системі являється високою.

Можна вважати, що в найбільш несприятливих ситуаціях похибка апроксимації не перевищує 7-10%, а середня похибка становить 1%. Що підтверджує адекватність методики.

3. Висновки. В роботі розроблено методику побудови мережевої системи супутникової екологічної телекомунікаційної системи дистанційного моніторингу Землі, яка на відміну від відомих враховує особливості топологічного розміщення космічних апаратів багатосупутникової системи орбітального угруповання для проведення екологічного моніторингу на навколосезонній низькій орбіті для забезпечення дистанційного моніторингу Землі.

Література

1. Стеклов В. К. Сучасні системи управління в телекомунікаціях / В. К. Стеклов, Б. Я. Костік, Л. Н. Беркман ; за заг.ред. В.К. Стеклова. – Київ : Техніка, 2005. – 400 с.
2. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв та систем зв'язку : підруч. для вищ. навч. закл. / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Є. В. Кільчицький; за ред. В. К. Стеклова. – Київ : Техніка, 2004. – 576 с.
3. Лазарев В. Г. Вопросы управления распределением информации на сетях связи / В. Г. Лазарев // Дискретные автоматы и сети связи. – Москва : Наука, 1970. – С. 3-13.
4. Стеклов В. К. Підходи до ситуаційного управління телекомунікаційними мережами / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Л. В. Рудик, А. С. Стец // Зв'язок. – 2005. – №1. – С. 47-57.

Автор статті

Гаврилко Євген Володимирович – кандидат військових наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом аспірантури та докторантури, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (67) 506 91 85. E-mail: dut.aspirantura@ukr.net.

Authors of the article

Havrylko Yevhen Volodymyrovych – candidate of sciences (military), senior researcher, head of postgraduate department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 506 91 85. E-mail: dut.aspirantura@ukr.net.

Дата надходження в редакцію: 09.01.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В. Г. Сайко