

УДК 621.396.21

Є. В. ГАВРИЛКО, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник;

К. С. КОЗЕЛКОВА, доктор техн. наук, професор;

О. В. ФРОЛОВ, аспірант;

Є. П. ГОРОХОВСЬКИЙ, здобувач,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Дослідження дифузійних моделей апроксимації дискретних процесів передавання інформації для визначення обрису мережі псевдосупутникової телекомунікаційної системи зв'язку

Викладено головні аспекти побудови телекомунікаційної системи мобільного зв'язку на базі угруповання псевдосупутників.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа; псевдосупутникові системи зв'язку; передавання інформації; дифузійні моделі апроксимації дискретних процесів.

Вступ

Серед сучасних засобів телекомунікацій найвищі темпи розвитку демонструють системи та мережі мобільного зв'язку. Їхня істотна перевага полягає, зокрема, у тому, що вони дозволяють раціонально використовувати виділену смугу частот обробленням сигналів, завдяки чому збільшується пропускна здатність таких мереж.

Проте оскільки потреба в дедалі вищих швидкостях передавання даних неухильно зростає, а вільних радіочастотних ресурсів усе відчутніше бракує, доводиться шукати нових вирішень, таких, скажімо, як побудова псевдосупутникової телекомунікаційної системи (ПСТС) мобільного зв'язку.

Споживачами високошвидкісних каналів передавання даних виступають не лише люди, а й найрізноманітніші технічні засоби — від пристроїв «розумного будинку» до устаткування зі збору, обробки та передавання даних спеціального призначення.

Світовий досвід переконує, що подальший розвиток мобільного зв'язку відбуватиметься в напрямку створення постійних чи оперативних «оазисів швидкісного інтернету» [1].

У Державному університеті телекомунікацій розроблено теорію побудови супутникових телекомунікаційних систем мобільного зв'язку на основі застосування угруповань малих космічних апаратів (МКА) [2; 3]. Утім розгортання такого угруповання для побудови оперативних мереж передавання даних — проект надто високовартісний.

Мета статті — дослідити можливість і спосіб створення ПСТС мобільного зв'язку.

Основна частина

Як показали наші дослідження, ПСТС має являти собою локальну захищену уніфіковану широко-смугову мережу передавання даних, на базі якої можна організувати:

- віртуальні мережі;
- віртуальні локальні корпоративні мережі;
- захищені безпроводові служби даних;
- мобільні хмарні сервіси.

До складу мережі ПСТС мають входити від чотирьох до шести основних компонентів із такого переліку:

- 1) універсальні транслятори;
- 2) існуюча стаціонарна транспортна мережа;
- 3) транспортна мережа на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА);
- 4) транспортна мережа на базі угруповання дирижаблів;
- 5) транспортна мережа на базі угруповання аеростатів;
- 6) наземний комплекс управління та забезпечення угруповання транспортної мережі.

Зрештою йдеться про створення середовища, в якому пристрої з'єднуються один з одним без втручання людини і без використання телекомунікаційного чи інтернет-з'єднання.

Мобільна мережа ПСТС має поєднувати в собі системи передавання голосу, відео й даних на основі IP і Wi-Fi, а також штучного інтелекту машина–машина.

Передбачається, що пропоновані вирішення забезпечать показники прийнятної вартості мережі ПСТС, її захищеності, швидкості та мережної гнучкості й стійкості.

Очікуваний успіх можливий у разі високої якості побудови мережі згідно з результатами відповідного її моделювання.

© Є. В. Гаврилко, К. С. Козелкова, О. В. Фролов, Є. П. Гороховський, 2017

Один із найбільш конструктивних підходів до моделювання мережі ПСТС полягає в застосуванні та розвитку дифузійних методів апроксимації дискретних процесів передавання інформації. Адже відомі моделі функціонування мереж, реалізовані в межах теорії масового обслуговування і напівмарковських процесів, непридатні для ПСТС через значне збільшення розмірності задачі та неможливість практичного застосування здобутих результатів.

Що ж до дифузійної апроксимації, то вона дозволяє істотно зменшити розмірність задачі, причому забезпечувана точність опису функціонування системи з урахуванням значної завантаженості каналів достатньо висока. При цьому визначивши параметри зносу та дифузії процесу, який апроксимує стан транслятора того чи іншого вузла мережі ПСТС, можна для кожного її вузла дістати рівняння Фоккера–Планка–Колмогорова.

Розв'язуючи це рівняння при нормальній апроксимації перехідної густини ймовірності, знаходимо ефективні інструменти для опису стану відповідного вузла.

Маючи дифузійну модель функціонування одного вузла та використовуючи матрицю суміжності, можна записати багатовимірне диференціальне рівняння, що є, по суті, рівнянням стану мережі.

Дослідимо, наприклад, дифузійну модель апроксимації дискретних процесів передавання інформації при функціонуванні мережі ПСТС [2; 3].

Задачу апроксимації дискретних процесів дифузійними методами розглянемо для двох випадків:

1) ланцюга $\{X(t, u, \Theta)\}$, елементи якого, залежні від кроку u і такту Θ , являють собою відстані між можливими значеннями координати x і часу t ;

2) дискретного процесу $\{X(t, u)\}$, елементи якого в разі неперервного часу залежать тільки від кроку u .

Отже, маємо ланцюг $X(t, u, \Theta)$ і дискретний процес $X(t, u)$, які задано в координатах і часі. Згідно з процедурою апроксимації крок u набуває послідовності значень $u_k (k = 1, 2, \dots)$, $u_{k+1} > u_k$, що належать інтервалу (Θ, u_1) , де u_1 — крок початкового процесу (здебільшого $u_1 = 0$).

Керуючою змінною в цій процедурі є саме крок u_k , залежно від якого змінюються інші параметри процесів $X(t, u, \Theta)$ та $X(t, u)$ (далі для спрощення індекс k опускаємо).

Граничний процес, що становить предмет дослідження, — це дифузійний процес $X(t)$, визначений на $\Omega_x \times \Omega_t$. Нагадаємо, що неперервний випадковий процес $X(t)$ із густиною ймовірності переходу $p(x, t | x_0, t_0)$, $t > t_0$, називають *дифузійним процесом*, 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 такі рівності:

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

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

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

де $\alpha(x, t)$ — коефіцієнт зносу; $\beta(x, t)$ — коефіцієнт дифузії.

Якщо при цьому існують неперервні похідні dp/dt , $d(\alpha p)/dx$, $d^2(\beta p)/dx^2$, то густина ймовірності $p(x, t | x_0, t_0)$ як функція від x і t задовольняє рівняння Фоккера–Планка–Колмогорова

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

Умовні прирости

$$X(t+\tau, u, \Theta) - X(t, u, \Theta) | X(t, u, \Theta) = x \text{ позначимо як } \Delta X(\tau, u, \Theta) | x;$$

$$X(t+\tau, u) - X(t, u) | X(t, u) = x \text{ — як } \Delta X(\tau, u) | x,$$

$$X(t+\tau) - X(t) | X(t) = x \text{ — як } \Delta X(\tau) | x,$$

а далі шукатимемо такі послідовності процесів $X(t, u)$ (або $X(t, u, \Theta)$), моменти приросту яких при $u \rightarrow \Theta$, $t \rightarrow 0$ (або $u \rightarrow 0$, $\tau \rightarrow 0$, $\Theta \rightarrow 0$) задовольняють такі умови:

$$M[\Delta X(\tau, u) | x] = \alpha(x, t)\tau + \Theta(\tau), \quad (6)$$

$$M[(\Delta X(\tau, u))^2 | x] = \beta(x, t)\tau + \Theta(\tau), \quad (7)$$

$$M[(\Delta X(\tau, u))^n | x] = \Theta(\tau), \quad n \geq 3, \quad (8)$$

тобто при $\Theta \rightarrow 0$ поводяться як моменти приросту $X(\tau)/x$ дифузійного процесу $X(t)$, маючи коефіцієнти зносу і дифузії, що дорівнюють відповідно $\alpha(x, t)$ і $\beta(x, t)$.

Після визначення коефіцієнтів зносу і дифузії необхідно довести збіжність при $u \rightarrow 0$ послідовності похідних процесів $X(t, u, \Theta)$, $X(t, u)$ до відображуваного дифузійного процесу $X(t)$ з урахуванням відповідних умов.

Розглянемо марковський процес $X(t, u)$, в якому, на відміну від ланцюга, зміна станів може відбуватися в будь-який момент часу: частинка перебуває в точці x протягом часу, розподіленого за експоненціальним законом, а далі стрибком переміщується в одну із сусідніх точок $x + u$ або $x - u$ інтенсивністю переходу λ^+ або λ^- .

Апроксимуємо цей процес дифузійним процесом $X(t)$. Тоді часовою мікрохарактеристикою процесу $X(t, u)$ є інтервал порядку середнього часу перебування в будь-якій точці x (середній час між стрибками)

$$\Theta_c = 1/(\lambda^+ + \lambda^-). \quad (9)$$

Приріст $\Delta X(\tau, u) | x$ за довільний час складається з двох незалежних зсувів у додатному і від'ємному напрямках, які мають розподіл Пуассона з параметром відповідно $\lambda^+\tau$ і $\lambda^-\tau$.

Вирази для моментів приросту набирають вигляду

$$M[\Delta X(\tau, u) | x] = u(\lambda^+ - \lambda^-)\tau, \quad (10)$$

$$M[(\Delta X(\tau, u))^2 | x] = u^2(\lambda^+ - \lambda^-)\tau + [u(\lambda^+ - \lambda^-)\tau]^2, \quad (11)$$

$$M[(\Delta X(\tau, u))^3 | x] = u^3 \left\{ [(\lambda^+ - \lambda^-)\tau]^3 + 3[(\lambda^+\tau)^2 - (\lambda^-\tau)^2] + (\lambda^+ - \lambda^-)\tau \right\}. \quad (12)$$

Висновки

Запропоновано дифузійну модель апроксимації дискретних процесів передавання інформації, найбільш прийнятну для обрання обрисів мережі ПСТС мобільного зв'язку.

Варто наголосити, що застосування ПСТС для створення так званих локальних базисів 5G — вельми перспективний напрямок досліджень, які дадуть змогу якнайшвидше забезпечити певні задалегідь визначені райони високошвидкісним мобільним зв'язком. Результати таких досліджень будуть корисні, зокрема, у рамках проведення таких масштабних культурних заходів, як Євробачення-2017.

Список використаної літератури

1. Гольшко, А. Мобильная связь 5G на базе наноспутников [Электронный ресурс] / А. Гольшко, В. Павлов, А. Козлова. — Режим доступу: <http://www.tssonline.ru/articles2/sputnik/mobiljnaya-svyazj-5g-na-baze-nanosputnikov>. — Стаття з екрана.
2. Козелкова, Е. С. Методика повышения качества моделирования многоспутниковой низкоорбитальной экологической системы дистанционного зондирования Земли: монография / Е. С. Козелкова. — К.: ЦНИИ НуУ, 2005. — 120 с.
3. Гаврилко, Є. В. Розробка методики побудови мережної системи супутникової екологічної телекомунікаційної системи дистанційного моніторингу Землі / Є. В. Гаврилко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. — 2016. — № 1. — С. 56–60.

Рецензент: доктор техн. наук, професор Л. Н. Беркман, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Е. В. Гаврилко, Е. С. Козелкова, О. В. Фролов, Е. П. Гороховский

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФУЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ АППРОКСИМАЦИИ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧЕРТАНИЙ СЕТИ ПСЕВДОСПУТНИКОВОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Изложены важнейшие аспекты построения телекоммуникационной системы мобильной связи на базе группировки псевдоспутников.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть; псевдоспутниковые системы связи; передача информации; диффузионные модели аппроксимации дискретных процессов.

E. V. Gavrylko, K. S. Kozelkova, O. V. Frolov, E. P. Gorokhovskiy

THE INVESTIGATION OF DISCRETE PROCESSES WITH INFORMATION TRANSMISSION APPROXIMATE DIFFUSION MODELS FOR THE PROFILE OF PSEUDOSATELLITE TELECOMMUNICATION NETWORK DETERMINATION

The principal aspects of the mobile telecommunication system construction on the base of pseudosatellite group are considered.

Keywords: telecommunication network; pseudosatellite telecommunication system; information transmission; discrete processes approximate diffusion models.