

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙНОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Розглянуто сучасний підхід дослідження основних характеристик лінійного каналу передачі інформації, в тому числі, просторово-часових та спектральних. Наведена їх фізична інтерпретація.

Considered is modern point of view of researching the main linear channel's characteristics of information transmission, including space-time and spectral characteristics. Their physical interpretation is defined.

Вступ

Результати вирішення науково-технічних проблем теорії інформації є фундаментом сучасних інформаційних технологій. Однак таких проблем — дослідження каналів передачі інформації. Про актуальність і важливість цієї проблеми свідчить значна кількість публікацій.

Постановка проблеми

Доволі великий клас каналів (короткохвильові канали, канали з іоносферним та тропосферним розсіюванням і т. ін.) може бути описаний моделлю лінійного каналу зі змінними параметрами. Така модель по суті пропонує багатоканальне середовище розповсюдження, причому канали розрізняються часовими та доплерівськими зсувами, що вносяться в сигнал, який надходять на вхід каналу (рис. 1).

Для опису такого каналу використовуються [1] такі зв'язані між собою системні функції: імпульсна реакція $h(t, \xi)$, тобто реакція каналу у момент t на дельта-імпульс, поданий на вхід каналу у момент $t - \xi$; передавальна функція $H(f, t)$; функція $U(\xi, \nu)$, що характеризує інтенсивність сигналу по каналу розповсюдження із часовим зсувом ξ та доплерівським зсувом ν ; функція $G(f, \nu)$, що описує спектр завмирань (як функцію ν) при подачі на вхід каналу сигналу $\exp\{j 2 \pi f t\}$.

Системні функції $h(t, \xi)$, $H(f, t)$, $U(\xi, \nu)$, $G(f, \nu)$, пов'язані через перетворення Фур'є. Такий зв'язок вдало ілюструє діаграма на рис. 2, де стрілки визначають пару перетворень Фур'є за тими змінними, що проставлені біля стрілки.

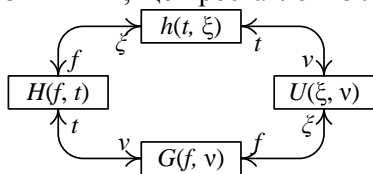


Рис. 2. Зв'язок між системними функціями каналу

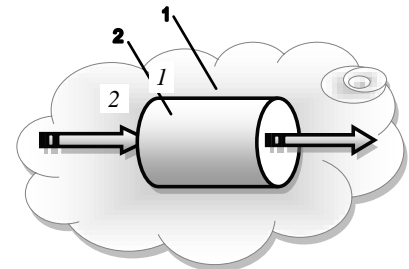


Рис. 1. Схема каналу передачі інформації:
1 — фізичне середовище каналу;
2 — фізичний просторово-часовий канал

Опис каналу системними функціями $h(t, \xi)$, $H(f, t)$, $U(\xi, \nu)$, $G(f, \nu)$ виявляється недостатнім, якщо розглядаються методи прийому, що використовують просторові параметри. Для таких задач необхідно ввести узагальнення, яке враховує просторові параметри. Дана стаття присвячена розгляду такого узагальнення.

Системні функції

Для того щоб повністю описати просторово-часові властивості лінійного каналу, достатньо ввести узагальнену імпульсну перехідну характеристику $h(t, \xi, \vec{r}, \vec{r}')$. Визначимо її величину реакції в точці \vec{r} у момент часу t на дельта-функцію, подану в момент часу $t - \xi$ у точку \vec{r}' . Тут $\vec{r} = (x, y, z)$ — векторна величина, що визначає просторові координати поля в деякій області \bar{D} . Вважаємо, що напруженість електромагнітного поля в точці з координатами (x, y, z) можна виміряти, якщо помістити в цю точку елементарну антену.

На практиці прийому зазвичай умови на передаючому кінці і в каналі є заданими. В цій ситуації достатньо більш простої просторово-часової характеристики каналу. Імпульсна характеристика каналу $h(t, \xi, \vec{r})$ визначається як відгук в точці \vec{r} у момент часу t на дельта-імпульс, що подається в момент $t - \xi$.

Передавальна функція каналу $H(f, t, \vec{r})$ визначається відношенням відгуку каналу в антені у точці \vec{r} на дію $\exp\{j 2 \pi f t\}$ до $\exp\{j 2 \pi f t\}$.

Схожим чином визначаються системні функції $U(\xi, \nu, \vec{r})$ та $G(f, \nu, \vec{r})$.

Введемо характеристику каналу $X(f, t, \vec{k})$, що залежить від вектора просторової частоти \vec{k} , записуючи формально [3] просторовий інтеграл Фур'є—Стилтьєса у вигляді звичайного інтеграла Фур'є:

$$X(f, t, \vec{k}) = \int_{\vec{D}} H(f, t, \vec{r}) \exp\{-j2\pi\vec{r}\vec{k}\} d\vec{r}. \quad (1)$$

Для практично важливих випадків справедливе припущення про те, що фронт хвилі, який надходить, на довжині вектора \vec{r} є плоским. У цих умовах

$$\vec{r} \cdot \vec{k} = |\vec{r}| \frac{1}{\lambda} \cos(\angle \vec{r}\vec{k}) = |\vec{r}| \frac{1}{\lambda} \cos(\Phi_0 - \varphi), \quad (2)$$

де λ — довжина хвилі; $|\vec{r}|$ — модуль вектора \vec{r} ; Φ_0 — середній кут прибуття хвиль в області \vec{D} .

Поряд із системними функціями $h(t, \xi, \vec{r})$, $H(f, t, \vec{r})$, $U(\xi, \nu, \vec{r})$ та $G(f, \nu, \vec{r})$, що пов'язують частот-но-часові та просторові характеристики, доцільно ввести системні функції $\eta(t, \xi, \varphi)$, $X(f, t, \varphi)$, $E(\xi, \nu, \varphi)$ та $V(f, \nu, \varphi)$, що пов'язують частотно-часові та просторові характеристики. Щоби пояснити фізичний зміст функцій $\eta(t, \xi, \varphi) \div V(f, \nu, \varphi)$, використовуємо гіпотетичну антенну (поміщену в області \vec{D}), яка дає змогу сортувати сигнали з кутом прибуття φ . Функція $\eta(t, \xi, \varphi)$ визначає реакцію в антені, що здійснює селекцію сигналів з кутом прибуття φ у момент t на дельта-імпульс, що подається на вхід каналу у момент $t - \xi$. Подібним чином визначається решта системних функцій.

Залежність між всіма вісьмома системними функціями зручно проілюструвати діаграмою рис. 3, що є розвитком діаграми рис. 2.

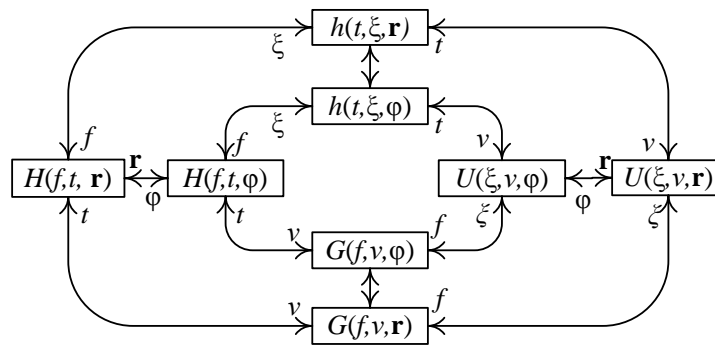


Рис. 3. Зв'язок між системними функціями каналу, що залежать від просторового аргументу

За допомогою названих системних функцій легко встановити зв'язок між сигналом $s(t)$, що подається на вхід каналу, і сигналом $u(t, \vec{r})$ або $u(t, \varphi)$ на виході каналу.

Фізична інтерпретація моделей каналів

Співвідношення між системними функціями дають змогу ввести неперервні моделі каналів, які розглядаються. Наприклад, запис: $u(t, \vec{r}) = \int_0^\infty s(t - \xi) h(t, \xi, \vec{r}) d\xi$ надає можливість розглядати канал як багатоканальне середовище поширення, причому канали розрізняються часовими зсувами ξ , доплерівськими зсувами ν і кутами прибуття φ , кожний шлях характеризується комплексним коефіцієнтом $V(\xi, \nu, \varphi)$, що визначає інтенсивність і фазу у каналі.

За наявності обмежень, накладених на системні функції (кінцеву пам'ять каналу і т.д.), можна від неперервних моделей каналів перейти до дискретних моделей.

Найбільш загальний метод досліджень основних характеристик лінійного каналу є статистичним [3; 4]. У цьому випадку системні функції каналів розглядаються як випадкові поля. В більшості випадків такі характеристики розглядаються в рамках кореляційної теорії. Тобто визначаються математичні сподівання, кореляційна функція просторово-часових і спектральних характеристик випадкового лінійного каналу передачі інформації. Такі статистичні характеристики системних функцій зазвичай становлять найбільший інтерес для практики, а у випадку гауссівських випадкових полів повністю описують їх. Але поки що існує дуже мала кількість експериментальних даних для того, щоб обґрунтовано прийняти ту чи іншу статистичну модель каналу у кожному конкретному випадкові.

Висновки

У даній статті коротко розглянуті основні характеристики лінійного каналу для детермінованого випадку. Насамперед це системні функції: імпульсна реакція, передавальна функція, функція, що характеризує інтенсивність сигналу у канал розповсюдження, та функція, що описує спектр замирань при подачі на вхід каналу сигналу $\exp\{j2\pi ft\}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bello P.* Time Frequency Duality. IEEE Trans. Inform. Theory. — 1964, 1, 18—33.
2. *Bramley E. N.* Diversity Effects in Spaced Aerial Reception of Ionospheric Waves Proc. // IRE. — 1951. — Part III, 1, 19—25.
3. *Рытов С.М.* Введение в статистическую радиофизику. — М. : Наука, 1966. — 540 с.
4. *Кириллов Н. Е., Сойфер В. А.* Пространственно-временные характеристики линейных каналов с переменными параметрами // Проблемы передачи информации. — Т. VIII. — 1972. — Вып. 2. — С. 18—26.