

УДК 621.39(045)

О. П. Нечипорук, канд. техн. наук, доц.,
В. В. Антонов, ст. викл.,
Р. С. Одарченко асист.,
Ю. О. Петрова, студ.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ

Кафедра телекомунікаційних систем Національного авіаційного університету
e-mail: tks@nau.edu.ua

Присвячено вирішенню актуального завдання – вибору оптимальної технології для використання в кабельних мережах передавання даних. Розглянуто підхід до вибору технології залежно від прикладних потреб користувачів, платоспроможності замовників, вимог до конфіденційності й цілісності передаваної інформації.

Ключові слова: кабельні мережі, швидкість передавання даних, пропускна здатність, завадостійкість, багатокритеріальний підхід, кручена пара.

Вступ. Уже декілька десятиліть людство використовує комп'ютерні мережі для забезпечення зв'язку між персоналом, комп'ютерами та серверами, вищими навчальними закладами та містами. Хоча спостерігається тенденція до дедалі ширшого використання безпроводових мереж, однопроводові мережі продовжують впевнено «лідирувати» в наданні фізичного середовища передавання даних. Натепер доступні проводові інтерфейси, які дають змогу використовувати мережеві служби, працювати з електронною поштою та переглядати WEB-сторінки, отримувати високошвидкісний доступ до мережі Інтернет. Ці технології дозволяють розширити робоче місце користувача та отримати в результаті чимало переваг.

Постановка завдання. В усьому світі досі переважають проводові технології передавання даних. Серед них найпоширеніша технологія «кручена пара». Проте часто постає питання про доцільність використання технологій екранованих (STP) та неекранованих (UTP) «кручених пар» у конкретному випадку. Специфіка використання залежить від економічних факторів, необхідної пропускної здатності каналу зв'язку, надійності системи, завадостійкості тощо.

Аналіз основних досліджень та публікацій. У вітчизняній та іноземній літературі проблему вибору оптимальної технології для використання в кабельних мережах передавання даних не раз порушували, проте дослідження з приводу вибору нормованих показників не було опубліковано.

Мета роботи. Визначення нормованих показників для з'ясування доцільності використання технологій UTP і STP. Необхідно чітко окреслити сфери використання передових технологій передавання даних.

Основний матеріал дослідження. Критерій ефективності мережі електрозв'язку як кількісна міра її функціонування має відповідати таким вимогам:

- характеризувати мережу в цілому і враховувати фактори впливу й особливі умови роботи;
- забезпечувати об'єктивність і однозначність порівнювальних оцінок;
- бути гнучкою і універсальною;
- забезпечувати зручність використання в інженерних розрахунках і простоту експериментальної перевірки;
- мати характерний фізичний зміст і можливість нормування.

Можна виокремити три основні підходи до визначення показників ефективності складної системи.

Перший підхід полягає в оцінюванні якості узагальненої системи $K = \Psi(\xi; f(K_i))$, $i = \overline{1, l}$, яка являє собою функціонал і враховує зв'язок l -частинних цільових функцій $f(K_i)$ підсистеми з ваговими коефіцієнтами ξ_i . Така оцінка ефективності є привабливою, оскільки виражається одним числом і дозволяє враховувати всі параметри. Але ця залежність складна і зазвичай не має чіткого фізичного змісту. Тому на практиці частіше доцільно оцінювати ефективність систем і мереж зв'язку за сукупністю окремих показників якості, що відображають різні аспекти функціонування більш повно, конкретизовано і мають чіткий фізичний зміст.

Другий підхід. Узагальнений критерій ефективності за сукупністю l -часткових показників часто набуває вигляду зваженої суми

$$K = \sum_{i=1}^l \xi_i k_i, \quad (1)$$

або полінома:

$$K = \prod_{i=1}^l \xi_i k_i, \quad (2)$$

де ξ_i – вагові коефіцієнти, визначені методом експертних оцінок; k_i – часткові нормовані показники ефективності (параметри) систем.

Максимуми одних показників не обов'язково збігаються з максимумами (мінімумами) інших. Тому при оптимізації з урахуванням декількох показників зазвичай виокремлюють найбільш суттєвий, а на інші допоміжні накладають обмеження, зводячи тим самим векторний аналіз до скалярного.

Третій підхід побудовано на оцінюванні відношення узагальненого (або часткового) показника якості до вартості витрат на обладнання чи експлуатацію. Такий підхід в кожному окремому випадку потребує зваженого застосування, оскільки часто оцінювання якості ґрунтується на співвідношенні «ефективності до вартості», є неефективним.

Отже, вважаючи що всі параметри мають різну вагу для конкретного завдання, визначаємо найбільш оптимальну систему, виразивши вагові коефіцієнти для цієї системи за формулою:

$$\delta = \sum_{i=1}^l \xi_i k_i.$$

До показників, що будуть оцінюватися для технологій UTP і STP, можна віднести такі:

- надійність технології;
- швидкість передавання даних;
- вартість розгортання мережі для заданої технології;
- завадостійкість системи.

Розглянемо ці показники.

Завадостійкість систем. Найбільш вагому різницю для розглянутих технологій має завадостійкість. Постає проблема міжкабельних наведень та боротьби з ними.

За результатами вимірювань міжкабельних наведень неекраниваних і екраниваних кабелів побудовано рис. 1. Для аналізу впливу міжкабельних наведень на роботу Gigabit Ethernet подано граничнодопустимі рівні наведень каналу категорії 5e.

Крім того, показано рівень загасання для каналу категорії 5e й перевищення сигналу над шумом без урахування компенсації NEXT методом цифрового оброблення сигналів (на рис. 2 – ACR Gigabit Ethernet without DSP). Динамічний діапазон, необхідний для роботи протоколу, виділено вертикальним штрихуванням – зона ACR w/out DSP.

Смуга частот протоколу Gigabit Ethernet становить 125 МГц. Це визначається п'ятирівневим кодом PAM 5 із двобітним кодуванням.

Рисунок наочно ілюструє, чому міжкабельні наведення не мають значення на частотах нижчих за 30 МГц, незважаючи на те, що сумарні більші від двонаправлених наведень (NEXT) категорії 5e, а перевищення потужності сигналу над рівнем шумів більш ніж достатнє – близько 30 дБ (або 10^3 разів).

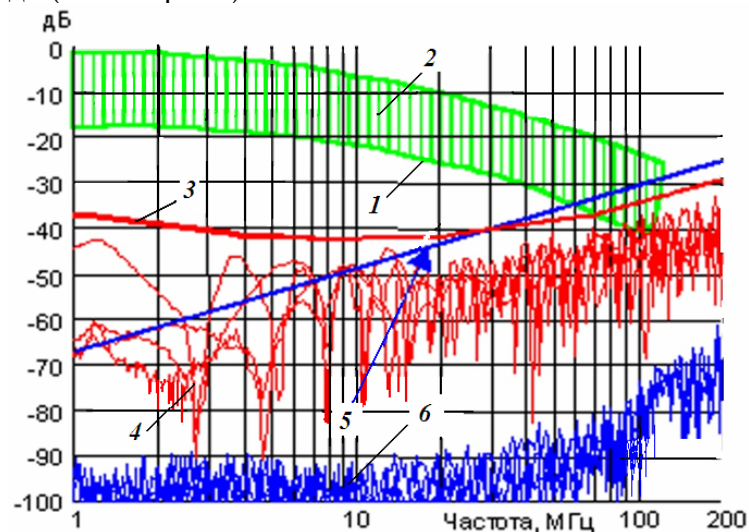


Рис. 1. Міжкабельні наведення в UTP і STP і параметри каналу Gigabit Ethernet: 1 – затування категорії 5e; 2 – ACR w/out DSP; 3 – сумарні UTP; 4 – UTP; 5 – NEXT категорії 5e; 6 – STP

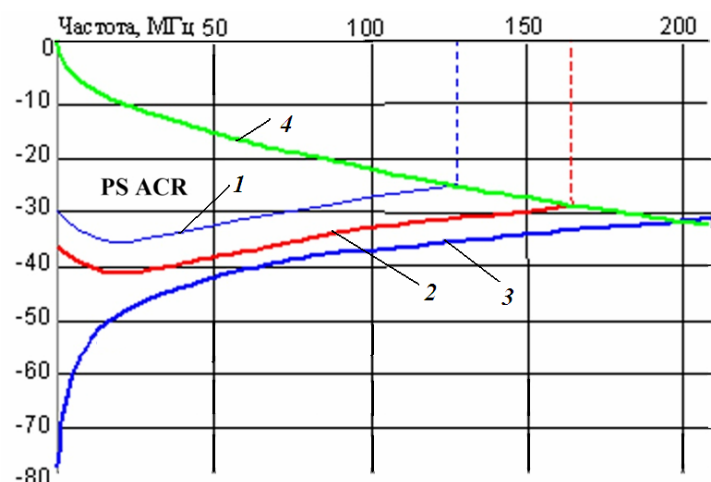


Рис. 2. Параметри каналу категорії 6: 1 – наведення з врахуванням DSP; 2 – сумарні міжкабельні наведення; 3 – сумарні двонаправлені наведення (PS NEXT); 4 – затування (Attenuation)

На частотах понад 30 МГц сумарні міжкабельні наведення неекраниваних кабелів не перевищують допустимих значень NEXT категорії 5e. Проте вони можуть впливати на роботу гігабітних додатків, оскільки їх неможливо компенсувати процесорним обробленням.

В околі максимальних частот на графіку можна бачити, що сигнал буквально виокремлюється із шумів. Фактично так і відбувається.

Обернені втрати (Return Loss), однонаправлені (FEXT) і міжкабельні (Alien NEXT, Alien FEXT) наведення дуже важко зменшити. Інакше кажучи, рівень міжкабельних наведень повинен бути на 6 дБ меншим, ніж міжпарних. Різниця на графіку в діапазоні частот 70 – 125 МГц не перевищує 4 дБ.

У результаті можливі збільшення бітового коефіцієнта помилок і поява інших проблем у роботі протоколу Gigabit Ethernet у системах категорії 5e на каналах максимальної довжини.

Слід зазначити, що вимірювання виконували між парами двох суміжних кабелів. Це не гірший з можливих варіантів прокладання, які можуть мати джугути до 12 кабелів.

Проект стандарту категорії 6 визначає діапазон частот каналу 200 МГц. Результати вимірювань компанії ITT NS&S показав зменшення частотного діапазону навіть для з'єднання із двох неекраниваних кабелів. З урахуванням сумарних міжкабельних наведень частотний діапазон становить близько 160 МГц. Беручи до уваги неможливість компенсації міжкабельних двонапрямлених наведень методом цифрового оброблення сигналів, для джгутів із шести й більше кабелів смуга частот може звужитися до 120 – 130 МГц.

Міжнародна організація стандартизації (ISO) вивчає обмеження смуги частот категорії 6, зумовлені міжкабельними наведеннями. Варіантом вирішення проблеми є розроблення методики їх вимірювань. Якщо виявиться, що міжкабельні наведення перевищують допустимі значення, потрібно вжити спеціальних заходів, зокрема таких, як жорсткість параметрів кабелів або зміна правил прокладання.

Міжкабельні наведення можна контролювати трьома методами:

- зменшенням джерел шумів, що поліпшує параметр сигнал / шум кабелю. Для цього удосконалюють специфікації категорії 6;
- зміною параметрів монтажу. Це призведе до обмежень використання кабельних зв'язувань, неприпустимості повного заповнення коробів;
- застосуванням екраниваних кабелів.

Контроль міжкабельних наведень потребує врахування багатьох факторів. Неможливість тестування під час або після монтажу ставить під сумнів ефективність вирішення проблеми тільки дотриманням рекомендацій монтажу.

Однак для вже встановлених систем категорій 5e й 6 такі заходи не застосовні, що може зумовити проблеми не тільки для майбутніх додатків класу E але й для діючого протоколу Gigabit Ethernet. Варто також урахувати той факт, що припустиме загасання в системах категорії 5e на кілька децибелів вище, ніж категорії 6. У результаті діапазон частот виявляється зменшеним ще на 15 – 20 МГц.

До того часу, поки не буде вирішено проблеми міжкабельних наведень, найпростішим й найбільш ефективним залишається вибір екраниваних систем. Вони забезпечують контроль міжкабельних наведень і безпроблемне функціонування гігабітних додатків.

Для мінімізації міжкабельних наведень неекраниваних кабелів їх варто розміщувати вільно й не паралельно. Заповнення коробів не повинно перевищувати 40 %.

Поширена натеper практика фіксації кабелів стяжками може бути скасована. Для вертикальних каналів ці рекомендації буде особливо складно виконати, оскільки фіксація в цьому випадку запобігає надмірним поздовжнім навантаженням, що призводять до розтягування кабелів і погіршення їхніх параметрів.

Якщо всі ці заходи виявляться неефективними, залишається вдаватися до зменшення довжини каналів, що дозволить досягти заданого відношення сигнал / шум через зменшення загасання.

Таким чином, аналіз результатів тестування показує, що неекранивані кабелі не є стабільною платформою для майбутніх високошвидкісних додатків. Екранивані системи забезпечують надійний захист від міжкабельних наведень і більш придатні для гігабітних протоколів.

Організації стандартизації будуть змушені переглянути специфікації проекту стандарту категорії 6, або змінити практику прокладки неекраниваних кабелів.

Беручи до уваги серйозність порушеної проблеми, варто оцінити неекранивані системи щодо досягнення ними своєї межі.

Вартість розгортання систем. Вартість систем у багатьох випадках є одним з ключових питань при виборі тієї або іншої технології. Для багатокритеріальної оцінки розглядуваних систем необхідно провести моніторинг ринку та визначити вагові коефіцієнти щодо вартості розгортання та експлуатації цих систем.

Для порівняння вартості систем були вибрані виробники компаній, що спеціалізуються на продажі телекомунікаційного обладнання. Порівняння цін за 1 м кабелів UTP та STP cat 5e наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння цін кабелів UTP та STP

Вид кабелю	Ціна кабелю в конкретній компанії, грн					
	Софіт	Ефес	SCC	Prom.ua	Nets	Vint
Екранована кручена пара (UTP)	1,62	1,6	1,97	1,57	1,6	1,7
Неекранована кручена пара (STP)	2,33	2,49	2,35	2,2	2,51	2,71
Різниця ціни за 1 м (STP-UTP)	0,71	0,89	0,38	0,63	0,91	1,01
Середня різниця цін по компаніях	0,76					
Середня ціна за кручену пару (UTP)	1,676666667					

Проте вартість одного метра кабелю не включає вартості, яку телекомунікаційні компанії беруть за розгортання мережі (табл. 2).

Таблиця 2

Затрати на розгортання мережі

Вид роботи	Ціна монтажних робіт, грн
Прокладка 1 м кабелю UTP	5,54
Прокладка 1 м кабелю STP	6,34
Монтаж комунікаційної розетки для UTP кабелю	43,88
Монтаж комунікаційної розетки для STP кабелю	27,72
Установлення розподільної шафи	237,6
Монтаж обладнання всередині розподільної шафи	79,2

З наведених табл. 1 і 2 випливає, що вартість на розгортання одного метра мережі для UTP становить 7,21 грн., а вартість на розгортання одного метра кабелю STP – 8,77 грн. Оскільки STP потрібно використовувати у високочастотному діапазоні, то це означає, що треба переглянути витрати на купівлю високошвидкісного обладнання (табл. 3).

Таблиця 3

Вартість обладнання

Назва комутатора	Ціна комутатора, грн
Encore ENH905-NWY	80
Gembird NS-5P2	95
Planet SW-504	110
ASUS GigaX1005B	118
D-Link DES-1005D	119
ASUS GigaX 1108	170
TP-LINK TL-SG1005D	215
D-LINK DGS-1005D	230
Belkin 5 Port Gigabit Networking	287
3Com Gigabit Switch 5 (3CGSU05A-ME)	365
Середня вартість обладнання Fast Ethernet	104,4
Середня вартість обладнання Gigabit Ethernet	253,4

Отже, визначимо нормований показник вартості систем для багатокритеріальної оцінки:

- для UTP $k = 1$;
- для STP $k = 9,21/13,77 = 0,67$.

Надійність систем. Для визначення нормованого показника надійності треба зважати на той факт, що неекранована кручена пара є більш залежною від механічних пошкоджень, тому беремо для надійності: STP: $k = 1$; UTP: $k = 0,9$.

Швидкість передавання даних. Нормовані показники для швидкості передавання визначаємо для технологій Fast Ethernet та Gigabit Ethernet, тому: STP: $k = 1$; UTP: $k = 100/1000 = 0,1$.

Оскільки було виокремлено сфери використання UTP і STP для різних швидкостей передавання даних, то завадостійкість систем приблизно однакова, тому нормовані показники взято за одиницю.

Наведені вище розраховані показники зведено до табл. 4.

Таблиця 4

Зведена таблиця нормованих показників для технологій UTP і STP

Технологія	Надійність	Швидкість передавання даних	Завадостійкість	Вартість розгортання систем
UTP	0,9	0,1	1	1
STP	1	1	1	0,67

Висновки. Розглянуто багатокритеріальну модель оцінювання доцільності використання технологій UTP і STP, наведено основні критерії оцінювання і розраховано нормовані показники, що дає змогу оцінювати доцільність використання систем залежно від потреб користувачів, платоспроможності, вимог до захищеності систем тощо за формулами (1) і (2). Якщо вважати всі показники рівноспроможними, то кращою обирається система STP. Проте не враховано те, що UTP можна використовувати для Gigabit Ethernet, а в цьому випадку зазвичай зменшується завадостійкість, а відповідно і нормований показник, але взагалі система з використанням UTP буде оптимальною.

Список літератури

1. Галкин В. А. Телекоммуникации и сети: учеб. пособие для вузов / В. А. Галкин, Ю. А. Григорьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003 – 608 с.
2. Брайан Хилл Полный справочник по CISCO / Брайан Хилл – М: Издат. дом «Вильямс», 2004. – 1079 с.
3. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006 – 958 с.
4. <http://www.dlink.ru> – прайс-лист на сайті компанії D-LINK.

Р. С. Одарченко, О. П. Нечипорук, Ю. О. Петрова, В. В. Антонов

Многокритериальный подход к определению целесообразности использования технологии кабельных сетей

Посвящена решению актуальной задачи – выбора оптимальной технологии для использования в кабельных сетях передачи данных. Рассмотрен подход к выбору технологии в зависимости от прикладных потребностей пользователей, платежеспособности заказчиков, требований к конфиденциальности и целостности передаваемой информации.

R. S. Odarchenko, O. P. Nechiporuk, J. O. Petrova, V. V. Antonov

Multistandard approach to define the feasibility of use of technology wire networks

This article devoted to address the problem, which includes in itself address the issue on the choice of the best technology for use in wired networks of data transfer. Approach, considered in article permit to provide choice of technology, depending on the needs of users application, users ability, and requirements to secured transmitted information.