

УДК 621.391; 51-7; 519.8

Бишовець Г. Ю., аспірант (Тел.: +380 44 407 35 21. E-mail : rabotat@bigmir.net)

Козелков С. В., докт. техн. наук, проф. (Тел.: +380 44 249 25 83. E-mail : kozelkov@duikt.edu.ua)
(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСОВОЇ ЗАТРИМКИ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ У МЕРЕЖІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ LTE

Бишовець Г. Ю, Козелков С. В. Оптимізація часової затримки доставки інформаційних ресурсів у мережі за технологією LTE. Розглянуто модель типової структури системи стільникового рухомого зв'язку яка містить одну станцію з функціональними можливостями MSC. Показана модель оптимальної системи стільникового рухомого зв'язку. Запропоновано новий підхід до оптимізації типової моделі системи стільникового рухомого зв'язку, який дозволить скоротити середню затримку передачі пакетів.

Ключові слова: стільниковий зв'язок, LTE, MSC, BS, затримка передачі пакетів, модель рухомого зв'язку, оптимізація, Mathcad, якість обслуговування

Бышовец А. Ю., Козелков С. В. Оптимизация временной задержки доставки информационных ресурсов в сети по технологии LTE. Рассмотрена модель типовой системы сотовой подвижной связи, которая содержит одну станцию с функциональными возможностями MSC. Показана модель оптимальной структуры системы сотовой подвижной связи. Предложен новый подход к оптимизации типовой модели системы сотовой подвижной связи, который позволит сократить среднюю задержку передачи пакетов.

Ключевые слова: сотовая связь, LTE, MSC, BS, задержка передачи пакетов, модель подвижной связи, оптимизация, Mathcad, качество обслуживания

Byshovets H. Yu., Kozelkov S. V. Optimization the time delay of delivery of information resources in the network on LTE technology. The standard model of the cellular mobile communication system, that contains one station with functionality MSC was described. The new approach of the optimal structure of cellular mobile communication system was described. A new approach to the optimization of the standard model of the cellular mobile communication system, which allow to reduce the average latency packet was proposed.

Keywords: cellular communication, LTE, MSC, BS, latency packet, mobile communication model, optimization, Mathcad, quality of service

Вступ. Сучасними телекомунікаційними мережами передаються і обробляються усі види трафіку, у тому числі й інформація, що користується широким попитом у споживача (мова, відео, аудіо) і повинна бути оброблена в реальному часі і з високою якістю обслуговування. Потреби мобільних користувачів стрімко зростають, що призводить до необхідності пошуку шляхів вирішення проблем, пов'язаних із якісною передачею даних, збільшенням пропускну здатності та зменшенням затримок. В статті представлений новий підхід до оптимізації типової моделі системи стільникового рухомого зв'язку, який дозволить скоротити середню затримку передачі пакетів у декілька разів.

Стандарт LTE (англ. – Long-Term Evolution) або стандарт зв'язку четвертого покоління вважається перспективним напрямком розвитку мереж. Стандарт 3GPP LTE, під яким найчастіше мається на увазі його версія 9 і більш ранні, формально не є стандартом безпроводового зв'язку четвертого покоління (4G), тому що він не задовольняв всім вимогам Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) щодо 4G. Однак стандарт LTE Advanced, під яким розуміється реліз 10 і більш пізні релізи LTE, затверджений МСЕ як стандарт, який відповідає всім вимогам безпроводового зв'язку четвертого покоління, і включений в ІМТ-Advanced (ІМТ – International Mobile Telecommunications). Стандарт 3GPP LTE стали відносити до pre-4G, тобто попередньої версії стандартів 4-го покоління.

Разом зі стандартом WiMAX Release 2 (або просто WiMAX 2, що частіше використовується як назва стандарту IEEE 802.16m) LTE Advanced є на даний момент стандартом, затвердженими в ІМТ-Advanced. Всі наявні на даний момент впровадження мереж LTE відносяться до версій 8 і 9.

Однією з основних характеристик такої мережі, що забезпечує реальність часового масштабу, є наявність "часового запасу", тобто мінімальної часової затримки при передачі й обробці інформації [1].

При використанні станцій LTE радіус покриття сягає від 5 км (оптимально) до 30 км або навіть 100 км (при необхідності).

В рекомендаціях МСЕ приведені середні значення часу затримки шести класів якості передачі пакетів. Особливо слід зазначити величини затримок при переносі і варіації IP пакетів (від 50 до 400 мс). Крім того вимірювання, показали, що до зниження якості телефонного зв'язку приводить затримка понад 150 мс.

При переносі IP пакетів величини затримки визначені для максимальної довжини інформаційного пакета 1500 байтів. При великому часі розповсюдження сигналів можуть виникати складності з дотриманням норм на середнє значення часу затримки IP пакетів.

При варіації IP пакетів величина затримки залежить від ємності тракту обміну пакетами з пропускною здатністю 2048 кбіт/с і більше, а також при довжині інформаційних пакетів менше 1500 байтів. Завдяки короткому часу відгуку (менше 50 мс), LTE-інтернет набагато зручніший, використовуваного зараз 3G., і за відчуттями вже мало відрізняється від кабельного з'єднання. За спостереженнями аналітиків, впровадження стандарту LTE дозволить операторам знизити собівартість послуг передачі даних в 6 разів у порівнянні з 3G. В результаті вартість мобільного інтернету для кінцевих користувачів знизиться. До того ж LTE надає розширені технічні можливості для надання мультимедійних послуг, наприклад, якісного мобільного телебачення, тому впровадження цих сервісів також дозволить операторам отримати джерело додаткового заробітку. Інакше кажучи, підвищується швидкість передачі даних і, відповідно, підвищується якість послуг, що в свою чергу, сприяє поширенню сучасних мультимедійних сервісів (соціальні мережі, онлайн і мережеві ігри, різні інтерактивні додатки, відеодзвінки, відеоконференції та ін) [2].

Радіус дії базової станції LTE залежить від потужності випромінювання, а максимальна швидкість передачі даних залежить від радіочастоти і віддаленості від базової станції. Теоретична межа для швидкості до 1 Мбіт/сек – від 3,2 км (2600 МГц) до 19,7 км (450 МГц). Оператори працюють в діапазоні 800 МГц, і здатні забезпечити таку швидкість на відстані до 13,4 км.

Модель типової структури системи стільникового рухомого зв'язку. У даній статті розглядається приклад зміни технології передачі існуючої типової структури системи стільникового рухомого зв'язку [3], площа, якої підлягає телефонізації, що покрита мережею базових приймачів (Base Transceiver Station – BTS). Зменшення часу затримки передачі інформації досягається за рахунок оптимізації кількості BS (базова станція) та відстані BS від центру комутації рухомого зв'язку (Mobile Service Switching Center – MSC).

При переміщенні MS (мобільна станція) через границю зони обслуговування BS (соти) повинно забезпечуватися автоматичне (і непомітне для абонента) перемикання обслуговування з однієї базової станції на іншу. Перемикання здійснює MSC. Центр комутації рухомого зв'язку має вихід на комутовану телефонну мережу загального користування (PSTN – Public Switched Telephone Network). Більш ефективною вважається система, яка у виділеному спектрі частот обслуговує більшу кількість BS.

З аналізу випливає, що збільшення доступних абонентам каналів може бути досягнуто шляхом зменшення відстані між BS і MSC [4]. Зменшення відстані дозволить зменшити також коефіцієнт повторюваності, отримати великі значення відношення сигнал/завада на вході MS, але призведе до зростання кількості перемикань між базовими станціями, що збільшує навантаження на пристрої керування BS і MSC, а також кількість перерв у зв'язку.

Таким чином, зменшення відстані забезпечує підвищення ефективності використання спектра радіочастот, але підвищує вимоги до забезпечення безперервності зв'язку з MS.

На Рис. 1 приведено модель типової структури системи стільникового рухомого зв'язку.

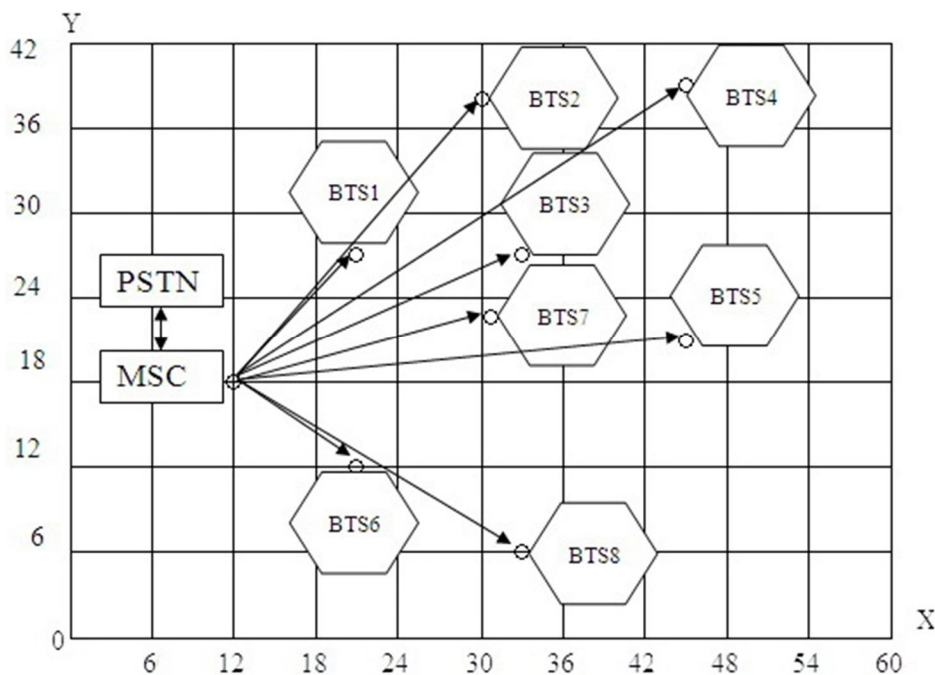


Рис. 1. Модель типової структури системи стільникового рухомого зв'язку

Загальна довжина і розташування BS (BTS) може визначитися в залежності від географічного чи адміністративного простору. Наприклад, при рівномірному розподілі BTS на обраній території прямокутної форми можна визначити умовні координати розташування тієї чи іншої BS. Відповідно Рис.1 позначимо:

Y_0 – кореневий вузол (MSC,0);

Y_i – кінцеві вузли (BTS1, BTS3, BTS4, BTS5, BTS6, BTS7, BTS8);

L_i – довжина маршруту, який включає всі гілки від Y_i до Y_0 ($L_i = L_{31} + L_{43} + L_{10}$) і т.д.;

Умовні координати вузлів: BTS0 (x_0, y_0), BTS1 (x_1, y_1), BTS2 (x_2, y_2), BTS3 (x_3, y_3), BTS4 (x_4, y_4), BTS5 (x_5, y_5), BTS6 (x_6, y_6), BTS7 (x_7, y_7), BTS8 (x_8, y_8).

Розрахунок середньої оптимальної затримки часу сигналу на ділянках мережі стільникового рухомого. Для розрахунку середньої затримки часу сигналу на ділянках мобільної мережі необхідно використовувати дані, які приведено у Табл. 1...3, та формули (1)...(18).

Табл. 1

№ з/п	Позначення параметрів	Номери BTS									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
		Умовні координати BTS, кількість абонентів									
1	$X_i \cdot 10$	12	21	30	33	45	45	21	30.7	33	
2	$Y_i \cdot 10$	18	27	38	27	39	21	12	22.7	60	
3	N_i	0	1000	1500	2000	3000	4000	10000	15000	20000	

Табл. 2

Значення параметрів			
λ_0	M	C	τ_N
10	9	$3 \cdot 10^5$	$30 \cdot 10^{-3}$

Табл. 3

№ з/п	Позначення параметрів	Номер і довжина ділянки							
		01	21	31	43	53	60	76	86
1	$L_i \cdot 10$	12.73	26.94	24.73	41.70	38.14	10.82	24.33	24.23
2	λ_i	$1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
3	P_i	0.018	0.027	0.035	0.053	0.071	0.177	0.265	0.354
4	TC_i	2	3	3	4	4	2	3	3
5	$\tau_{Li} \cdot 10^{-3}$	0.707	1.497	1,374	2.317	2.119	0.601	1.351	1.346

Скориставшись відомими формулами теорії масового обслуговування проведено наступні розрахунки:

– довжина маршрутів L_i :

$$L_{10} = \sqrt{(X_1 - x_0)^2 + (Y_1 - y_0)^2}, \quad L_1 = L_{10}, \quad (1)$$

$$L_{21} = \sqrt{(X_2 - x_1)^2 + (Y_2 - y_1)^2}, \quad L_2 = L_{21} + L_{10}, \quad (2)$$

.....
.....

$$L_{ij} = \sqrt{(X_8 - x_6)^2 + (Y_8 - y_6)^2}, \quad L_i = L_{86} + L_{60}; \quad (8)$$

– середня кількість вимог на послуги від кожної BS у годину найбільшого навантаження (ГНН) відповідно за формулою:

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot N_i, \quad (9)$$

де λ_0 – середня кількість вимог в ГНН від одного абонентського номера за одиницю часу,

N_i – кількість абонентських номерів i -тої BS;

– сумарна інтенсивність вимог, які надходять на MSC від усіх BS

$$\Lambda = \sum_{i=1}^M \lambda_i, \quad (10)$$

де M – загальна кількість BS, які підключені до MSC;

– імовірність проходження вимоги по маршруту L_i , яка пропорційна інтенсивності вимог, що надходять від i -тої BS

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\Lambda}; \quad (11)$$

– середня довжина шляху, по якому інформація вимоги надходить з MSC на BS від імовірності проходження вимоги на i -тої BS

$$L_c = \sum_{i=1}^M (P_i \cdot L_i); \quad (12)$$

– середня кількість BS на маршруті L_i , по яких повинна пройти сигнальна інформація вимоги [5];

$$M_c = \sum_{i=1}^M (P_i \cdot M_i). \quad (13)$$

Швидкість розповсюдження сигналу на лінійній ділянці мережі V_c розраховується на основі типових величин:

– швидкість поширення сигналу в волоконно-оптичному кабелі, яка дорівнює 0,6...0,8 від швидкості поширення світла у вакуумі:

$$V_i = c \cdot 0,6; \quad (14)$$

– середня затримка часу розповсюдження сигналу в мережі

$$\tau_L = \frac{L_c}{V_c}; \quad (15)$$

– середня сумарна затримка часу вимог при проходженні їх по BS мережі

$$\tau_M = M_c \cdot \tau_N, \quad (16)$$

де $\tau_N = 30 \cdot 10^{-3}$ с – середня часова затримка кожної BS.

– середня затримка часу розповсюдження сигналу на ділянках мережі;

$$\tau_R = \sum_i \tau_{L_i}. \quad (17)$$

Таким чином, розгалужена мережа умовно може бути замінена еквівалентною нерозгалуженою ланкою [6], що характеризується середньою затримкою часу розповсюдження сигналу в лініях і середньою сумарною затримкою сигналу у BS мережі

$$\tau_\Sigma = \tau_R + \tau_M. \quad (18)$$

Результати розрахунку наведено у Табл. 4.

Табл. 4

Значення параметрів							
L	L_c	M_c	V_c	τ_L	τ_M	τ_R	τ_Z
$5.65 \cdot 10^5$	151.031	3	$1.8 \cdot 10^5$	$8.39 \cdot 10^{-4}$	0.09	0.011	0.101

У даному випадку, коли задані координати BS даного регіону, використання оптимізації повинно мінімізувати відстань визначеного MSC до BS даного регіону. Визначивши місце розташування MSC, ми забезпечуємо базу, необхідну для рішення такої проблеми як мінімізація затримки часу при передачі і розподілі інформації [3].

$$\begin{cases} X = (x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8), \\ Y = (y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8), \end{cases} \quad (19)$$

$$P_{ts} = \text{Stack}(X^T, Y^T)^*. \quad (20)$$

* Оператор $\text{Stack}(X, Y)$ об'єднує дві матриці X та Y шляхом розміщення X понад Y :

$$P_{ts} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_9 \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^M \left| \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - P_{ts}^{(i-1)} \right| \quad (22)$$

Щоб знайти MSC з координатами (X, Y) і мінімальну відстань до кожного з інших BS даного регіону необхідно мінімізувати функцію D , визначивши оптимальні координати вузла MSC.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \text{Minimize}(D, x, y). \quad (23)$$

Графічне представлення оптимального розташування ліній зв'язку між MSC і кожною з BS даного регіону наведено на Рис. 2.

$$i=0 \dots (M-1), \quad Mx^{(i)} = \begin{pmatrix} x \\ X_i \end{pmatrix}, \quad My^{(i)} = \begin{pmatrix} y \\ Y_i \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Розрахунок середньої оптимальної затримки часу сигналу на ділянках мережі стільникового рухомого зв'язку необхідно використовувати дані, які приведені у Табл. 3...5 та формули (1)...(18). Результати розрахунку занесено у Табл. 6.

На Рис. 2 показано модель оптимальної структури системи стільникового рухомого зв'язку побудованої на базі типової структури системи стільникового рухомого зв'язку.

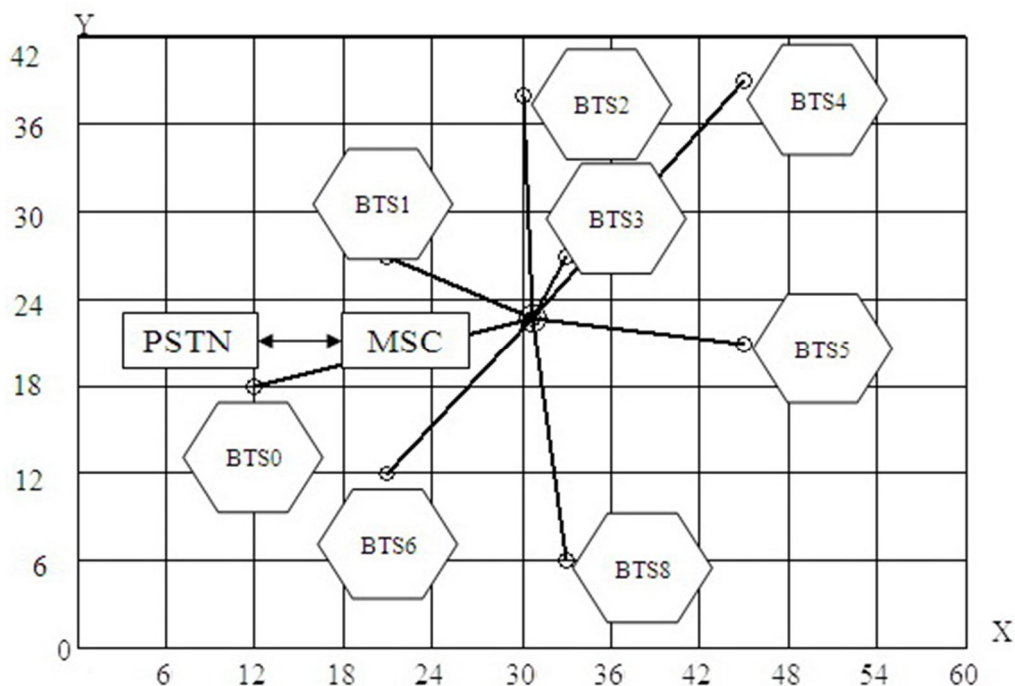


Рис. 2. Модель оптимальної структури системи стільникового рухомого зв'язку

Табл. 5

№ з/п	Позначення параметрів	Номер і довжина ділянки							
		07	17	27	37	47	57	67	87
1	$L_i \cdot 10$	19.28	10.57	15.26	48.32	21.65	14.42	14.47	16.92
2	λ_i	$1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
3	P_i	0.018	0.027	0.035	0.053	0.071	0.177	0.265	0.354
4	BTS	1	1	1	1	1	1	1	1
5	$\tau_{Li} \cdot 10^{-8}$	10.071	5.874	8.476	2.685	10.203	8.013	8.042	9.398

Табл. 6

Значення параметрів							
L	L_C	M_C	V_C	τ_L	τ_M	τ_R	τ_Z
$5.65 \cdot 10^5$	114.84	$1.8 \cdot 10^5$	1	$6.38 \cdot 10^{-8}$	0.03	$5.452 \cdot 10^{-7}$	0.03

Таким чином, модель оптимальної структури стільникового рухомого зв'язку (Рис. 2) також, як і модель типової структури стільникового рухомого зв'язку характеризується сумарною середньою затримкою часу розповсюдження сигналу в лініях і середньою

сумарною затримкою сигналу у BS мережі. Але при порівнянні сумарних середніх затримок (τ_{Σ}) моделей видно, що при однакових вхідних параметрах затримка передачі пакетів у 3 рази менша у моделі оптимальної структури стільникового рухомого зв'язку.

Висновки.

1. Формування концепції оптимальної структури стільникового рухомого зв'язку, що містить ідеологію мультисервісної мережі, пов'язане з однією з основних характеристик мережі, яка забезпечує реальність часового масштабу, є наявність "часового запасу", тобто мінімальної часової затримки при передачі й обробці інформації.

2. Затримка кожного пакету складається з двох величин з практично нульовою дисперсією:

– часу розповсюдження сигналу, що залежить в основному від відстані між BS та MSC і типу використовуваних середовищ переносу інформації;

– сумарної тривалості затримки пакету в комутаційних вузлах, задіяних у встановленому з'єднанні.

3. Істотне підвищення якості роботи мережі при оптимізації досягається комутаторами MSC з точністю, яку можна порівняти з результатами роботи прямого з'єднання між станційних зв'язків.

4. Оптимізований процес маршрутизації має багато переваг перед традиційною маршрутизацією на мережному рівні і сприяє досягненню мінімальної часової затримки при передачі й обробці інформації.

5. Технологія LTE орієнтована на оптимізацію процесу маршрутизації трафіку таким чином, щоб забезпечити максимально вигідне сполучення всіх BS задіяних у мережі і підвищити ефективність боротьби з міжсимвольною інтерференцією.

Процес оптимізації міжстанційних зв'язків виконувався із використанням математичного пакету Mathcad [7].

Література

1. Гольденберг Л. М. Цифровая обработка сигналов / Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. – Москва: Радио и связь, 1990. – 150 с.

2. Лихтциндер Б. Я. Интеллектуальные сети связи / Б. Я. Лихтциндер, М. А. Кузякин, А. В. Росляков, С. М. Фомичев. – Москва : Эко-Трендз, 2000. – 205 с.

3. Захарченко Н. В. Оптимизация и моделирование систем связи: учеб. пособие. Ч. 1 / Н. В. Захарченко, П. Я. Нудельман. – Одесса : ОЭИС им. А.С. Попова, 1988. – 86 с.

4. Алексеев Е. Б. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей : учебное пособие для вузов / Е. Б. Алексеев, Н. В. Гордиенко, В. В. Крухмалев, А. Д. Моченов, М. С. Тверецкий ; под ред. В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. – Москва : Горячая линия, Телеком, 2008. – 392 с.

5. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2004. – 482 с.

6. Артеменко М. Ю. Принципи побудови інтелектуальних систем управління мережами зв'язку / М. Ю. Артеменко, Л. Н. Беркман, Т. І. Олешко та ін. // Зв'язок 2006. – №7. – 43-46 с.

7. Кирьянов Д. В. Самоучитель Mathcad 14 / Д. В. Кирьянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 528 с.