

УДК 004.021

Гайдур Г. І. канд. техн. наук (Тел.: +380 67 345 33 38. E-mail: gaydurg@bigmir.net)
(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПРОВОДОВИМИ МЕРЕЖАМИ

Гайдур Г. І. Визначення оптимального маршруту для забезпечення надійності системи управління безпроводовими мережами. Визначено, що для системи управління безпроводовими мережами найбільш ефективною є топологія Mesh. Проведено аналіз роботи мережного обладнання на базі безпроводових пристроїв Mesh-мереж. Показана необхідність динамічної зміни маршруту обслуговування трафіка передачі службових повідомлень. Запропонований алгоритм знаходження оптимального шляху за приведеною пропускною спроможністю. Алгоритм дозволяє знайти оптимальний шлях з урахуванням двох параметрів – надійність та пропускна здатність. Застосування алгоритму забезпечує підвищення надійності системи управління безпроводовими мережами при передачі службових повідомлень.

Ключові слова: безпроводова мережа, топологія, Mesh, система управління, граф, пропускна здатність, надійність, оптимальний маршрут

Гайдур Г. И. Определение оптимального маршрута для обеспечения надежности системы управления беспроводными сетями. Определено, что для системы управления беспроводными сетями наиболее эффективной является топология Mesh. Проведен анализ работы сетевого оборудования на базе беспроводных устройств Mesh-сетей. Показана необходимость динамического изменения маршрута обслуживания трафика передачи служебных сообщений. Предложен алгоритм нахождения оптимального пути по приведенной пропускной способности. Алгоритм позволяет найти оптимальный путь с учетом двух параметров – надежность и пропускная способность. Применения алгоритма обеспечивает повышение надежности системы управления беспроводными сетями при передаче служебных сообщений.

Ключевые слова: беспроводная сеть, топология, Mesh, система управления, граф, пропускная способность, надежность, алгоритм, оптимальный маршрут

Haydur H. I. Determination of the best route to ensure the reliability of wireless management. It is determined that for a system of wireless management the most effective topology is Mesh. The analysis of network equipment based wireless Mesh-networks was conducted. The necessity of dynamic rerouting traffic service transfer service messages was shown. An algorithm was offered for finding the optimal path on the reduced bandwidth. The algorithm allows us to find the optimal path based on two parameters – reliability and capacity. Using application of the algorithm provides increased reliability of the control system of wireless networks in the transmission of service messages.

Keywords: wireless network, topology, Mesh, management system, graph, capacity, reliability, algorithm, optimal route

Вступ. За останні роки широке розповсюдження отримали безпроводові технології. І звичайно інтерес до цієї області не випадковий. Зручність використання незаперечні[1...4]. Побудова таких мереж на базі безпроводових пристроїв вимагає ретельного проектування топології мережі. Це забезпечує ефективність роботи системи управління (СУ) при визначенні оптимального маршруту для розповсюдження та оновлення інформації між вузлами.

Разом з тим визначення самої топології недостатнє для вирішення поставленої задачі. Необхідно також визначити параметри мережі, по яким буде знаходитися оптимальний шлях для обраної топології безпроводової мережі. Тому тут з'являється інша задача, в якій необхідно визначити такий алгоритм, для передачі службових повідомлень, який би динамічно змінювався при заданих умовах обслуговування.

Визначення топології безпроводових мереж. Основою для побудови безпроводових мереж є базові станції BTS (base transceiver station) та контролер базових станцій BSC (base station controller). Контролер базових станцій BSC зв'язаний з системою управління, відповідає діючим стандартам GSM/GPRS, UMTS, WIMAX, LTE). Він повинен сигналізувати операторам швидше реагувати на зміни вимог абонентів і особливостей трафіку. Кожний модуль BSC має працювати незалежно від інших, самостійно обирати

маршрути і зв'язуватися з рештою модулів. Контролер володіє великими резервами процесорної потужності і підтримує складні алгоритми багаторівневих стільникових структур (концентричні стільники, мікростільники і багатодіапазонні мережі). Контролер BSC може бути розміщений віддалено на невеликій відстані від базових станцій BTS або поряд з ним. Тому для з'єднання контролера BSC з базовими станціями BTS можна визначити декілька видів з'єднання, найбільш поширеними з яких є індивідуальне, шеренгове та шеренгове з'єднання з петлею (Рис. 1).

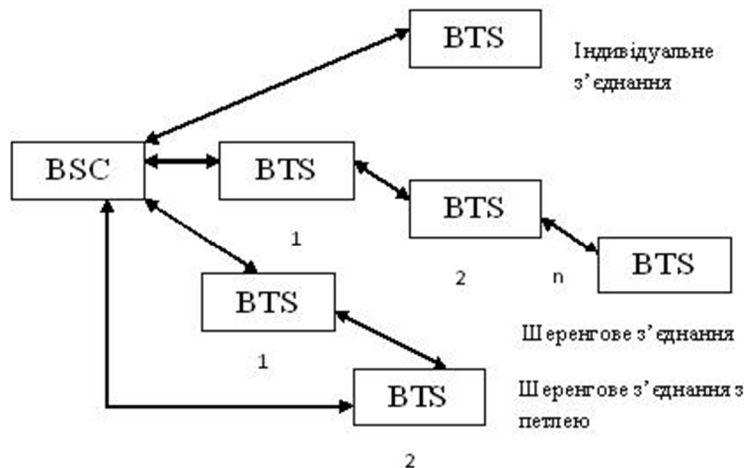


Рис. 1. Варіанти з'єднання обладнання безпроводових мереж

Особливості роботи мереж з Mesh-топологією. Останнім часом, з усієї маси можна виділити топологію мережі у вигляді решітки (Mesh). В даний момент більшість безпроводових мереж (WiFi, WiMax, LTE) побудовані саме за допомогою топології Mesh, тому що вони забезпечують більшу надійність [5].

Wireless Mesh (багатовузлова, mesh peer-to-peer, multi-hop) мережа утворюється на основі великої кількості з'єднань вузлів типу “точка-точка”, які знаходяться в області радіопокриття один одного та розширюють функціональність безпроводового доступу в Інтернет. Це дозволяє реалізовувати точки доступу з охопленням на порядок вище ніж у звичних хот-спотів, та забезпечити захищене безпроводове покриття усередині приміщень, на вулицях, у міській місцевості або у великих населених пунктах. Wireless Mesh мережа може бути використана в умовах швидкого розгортання.

Mesh-мережі будуються як сукупність кластерів. Територія покриття поділяється на кластерні зони, число яких теоретично необмежене. В одному кластері розміщується від 8 до 16 точок доступу. Одна з таких точок є вузловою (gateway) і підключається до магістрального інформаційному каналу за допомогою кабеля (оптичного або електричного) або по радіоканалу (з використанням систем широкосмугового доступу (Рис. 2).

Вузлові точки доступу, так само як і інші точки доступу в кластері, з'єднуються між собою (з найближчими сусідами) по транспортному радіоканалу. Точка доступу може виконувати функції ретранслятора (транспортний канал) або функції ретранслятора і абонентської точки доступу. Для кожної точки доступу створюється таблиця абонентів мережі з контролем стану транспортного каналу і підтримкою динамічної маршрутизації трафіка по оптимальному маршруту між сусідніми точками. При відмові будь-якого з них відбувається автоматичне перенаправлення трафіку по іншому маршруту, що гарантує не просто доставку трафіку адресату, а доставку за мінімальний час.

Процедура розширення мережі в межах кластера обмежується встановленням нових точок доступу, інтеграція яких в існуючу мережу відбувається автоматично.

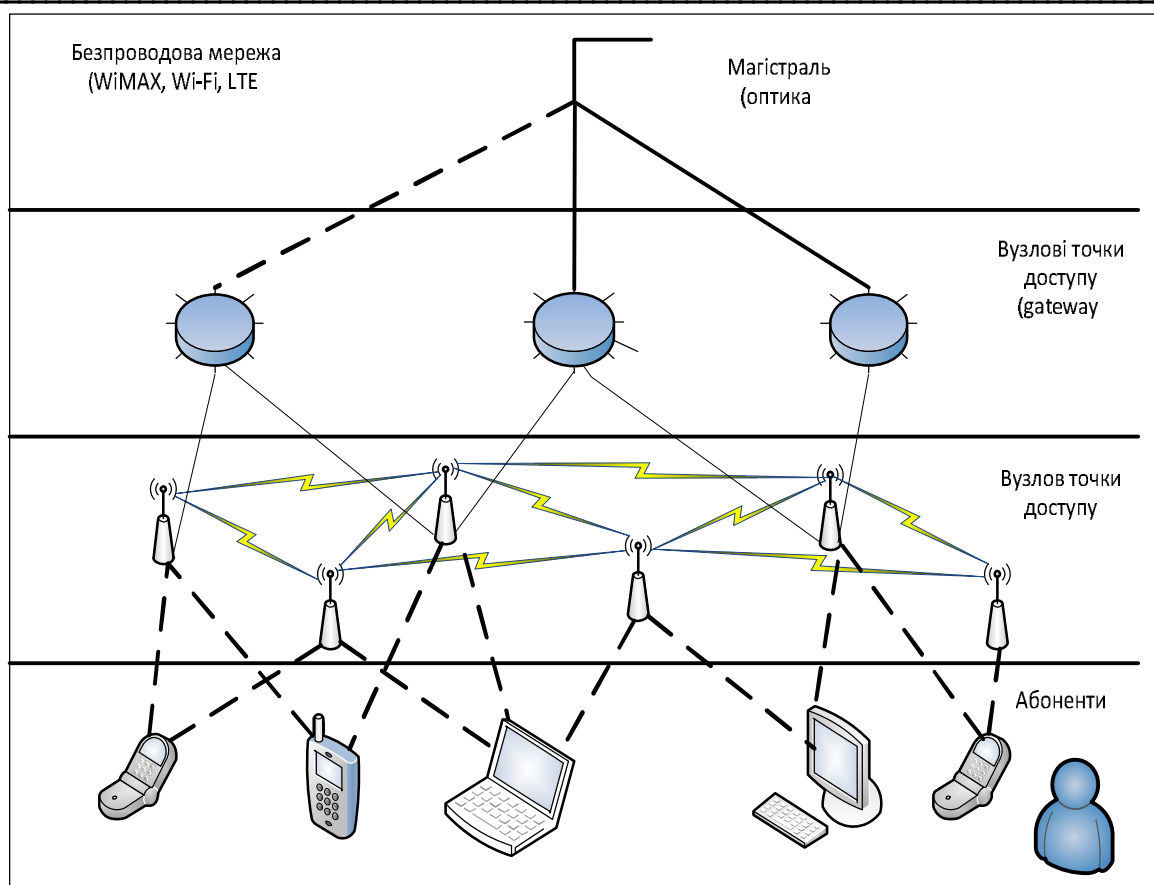


Рис. 2. Структура мережі Wireless Mesh

Недолік подібних мереж полягає в тому, що вони використовують проміжні пункти для передачі даних; це може викликати затримку при пересиланні інформації і, як наслідок, знизити якість трафіку реального часу (наприклад, мови або відео). У зв'язку з цим існують обмеження на кількість точок доступу в одному кластері.

Технічна сторона питання. Мережевий процесор, логіка і безпроводовий інтерфейс зосереджені всередині кожного вузла – учасника мережі, тому необхідність в централізованій комутації зникає. Іншими словами, топологія чарункових мереж передбачає або прямий зв'язок між утворюючими їх вузлами, або транзитну передачу даних між джерелом і одержувачем. Отже, перед тим як почати обмін даними, кожний вузол повинен “вирішити”, чи буде він виконувати функції точки доступу, служити транзитним пристроєм або поєднувати обидві ролі.

Далі індивідуальні вузли визначають своїх сусідів, використовуючи протокол типу “запит / відповідь”. Після закінчення процедури виявлення вузли заміряють характеристики комунікаційних каналів: потужність прийнятого сигналу, пропускну здатність, затримку і частоту помилок. Вузлы обмінюються цими значеннями, а потім на їх основі кожен вузол вибирає найкращий маршрут комунікацій зі своїми сусідами. Процеси виявлення і вибору найбільш сприятливого маршруту виконуються у фоновому режимі, так що кожен вузол має використовувати актуальний список сусідів. У випадку недоступності, по тим чи іншим причинам якогось вузла, сусідні можуть швидко реконфігурувати свої таблиці і обчислити новий оптимальний маршрут.

Здатність самоконфігурації і самовідновлення робить чарункові мережі дуже надійними. Безпроводові чарункові мережі можуть складатися із сотень і навіть тисяч вузлів, що дозволяє легко розширювати їх і забезпечувати необхідну надмірність. На більш коротких відстанях пропускну здатність мережі вище. Причиною можуть бути завади або інші чинники, які впливають на втрату даних у міру збільшення відстані. І тому одним із способів

підвищення пропускної здатності мережі стає передача даних через декілька вузлів, розділених невеликими відстанями. Завдяки тому, що для передачі даних на більш короткі відстані потрібна менша потужність, багатовузлова мережа може забезпечити більш високу загальну пропускну здатність.

Завдання системи управління безпроводовими мережами. Таким чином забезпечення якісної доставки повідомлень (звук, дані, відео) необхідно забезпечити мережу такою системою управління, яка має наступні характерні ознаки: великі розміри, складність, розвинені функціональні можливості, конкурентоздатність, забезпечення безпеки інформації, висок чутливість до помилок.

Тому при проектуванні СУ дуже важливо знаходження такого шляху до контрольованих об'єктів, який забезпечить надійність передачі інформації управління [6...9].

Зобразимо СУ у вигляді графа з топологією Mesh. Для мережі з такою топологією потрібно знайти такий шлях, який буде не тільки найкоротшим, але й надійним, адже від цього залежить кількість та якість переданої керуючої інформації.

У Рекомендації ІТУ-Т М.3010 в основу побудови автоматизованих СУМЗ (система управління мережами зв'язку) лежить мережа TMN (Telecommunications Management Network). TMN проектувалась як інструмент управління мережами електрозв'язку. Така мережа може використовуватись для системи управління безпроводовими мережами.

Для вирішення поставленої задачі розглянемо випадок, в якому система управління TMN для Mesh-мережі повинна використати доступний шлях для обслуговування навантаження, що має найбільшу ймовірність успішного обслуговування.

Алгоритм визначення оптимального шляху. Мережа у цілому та окремі її елементи мають цілком визначену межу пропускної здатності та надійності [10, 11]. Надійність в нашому випадку може бути відношення сигнал/шум в каналі або ймовірність достовірно переданої інформації. Ці параметри дуже важливі при передачі інформації.

Розглянемо детальніше мережу підтримки даних, яку представимо у вигляді графа (Рис. 3), де кожна з дуг матиме помітку (a, b) , при цьому a – це пропускна здатність, b – надійність [10].

Тут ми будемо шукати приведену пропускну здатність від вершини s до вершини t графа $G = (X, A)$. Під приведеною пропускну здатністю розуміємо:

$$e = Q_{\rho} \times \bar{\rho}.$$

Цей метод полягає у виключенні тих дуг, які не можуть належати оптимальному шляху.

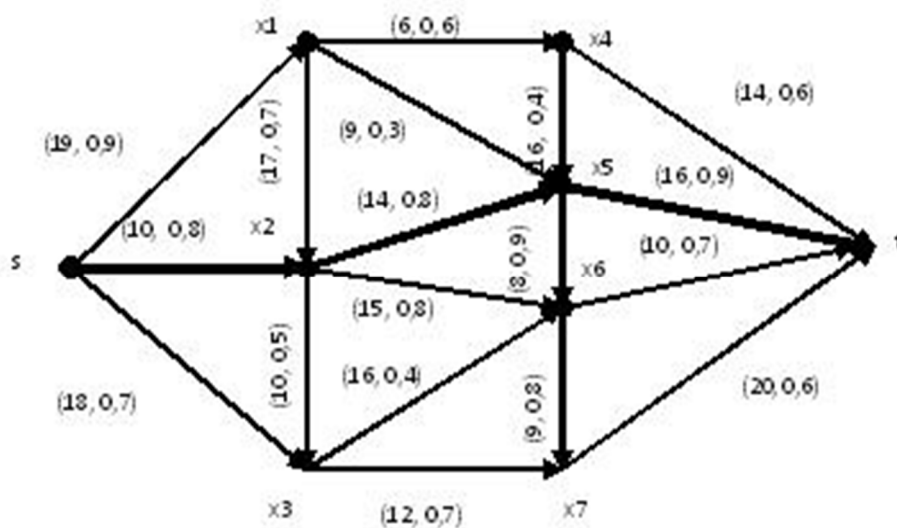


Рис. 3 Приклад Wireless Mesh мережі

Спочатку знаходимо шлях P_{ρ} між s та t , який має найбільшу надійність.

Нехай Q_{ρ} – пропускна здатність цього шляху, тобто

$$Q_{\rho} = \min_{(x_i, x_j) \in P_{\rho}} [q_{ij}].$$

При цьому через P_{ρ} означає також і множину дуг, які утворюють шлях, який ми розглядаємо. Якщо з A видалити множину дуг $A_0 \equiv \{(x_i, x_j) | (x_i, x_j) \in A, q_{ij} \leq Q_{\rho}\}$, та утворити множину $A' = A - A_0$, то граф $G' = (X, A')$, який є підграфом графа G , що має в собі оптимальний шлях G , або P_{ρ} буде оптимальний шлях.

Оптимальний шлях у G повинен мати визначену надійність, яка має бути не більша ніж надійність шляху P_{ρ} . Тому значення приведеної пропускної здатності має бути не менше, ніж значення цієї величини для P_{ρ} . Якщо P_{ρ} неоптимальний шлях, то пропускна здатність оптимального шляху в G більша ніж Q_{ρ} , і тому йому не належить ніяка інша дуга з A_0 .

Далі вже у графі G' шукаємо шлях P'_{ρ} з найбільшою пропускною здатністю. Пропускна здатність Q'_{ρ} цього шляху більша, ніж Q_{ρ} , його надійність не перевищує надійність шляху P_{ρ} . Якщо значення приведеної пропускної спроможності шляху P'_{ρ} більше ніж значення цієї величини для P_{ρ} , то P'_{ρ} будемо брати як кращий шлях, і зберігати до тих пір, поки не буде знайдено шлях з більшою приведеною пропускною спроможністю. Потім з A видаляється відповідна множина дуг

$$A_1 \equiv \{(x_i, x_j) | (x_i, x_j) \in A', q_{ij} \leq Q'_{\rho}\}.$$

Цей процес продовжуємо до тих пір поки, поки не отримаємо підграф G^l , який задовольнить одну з вимог.

Тепер повернемося до Рис. 3, де шлях з найбільшою пропускною спроможністю графа G зображено жирними лініями. Тут $\bar{\rho} = 0,504$, $Q_{\rho} = 10$, тому приведена пропускна здатність цього шляху $e = 5,04$. видалимо з G усі дуги з пропускними спроможностями ≤ 10 , та отримаємо граф G' , який зображено на Рис. 4а.

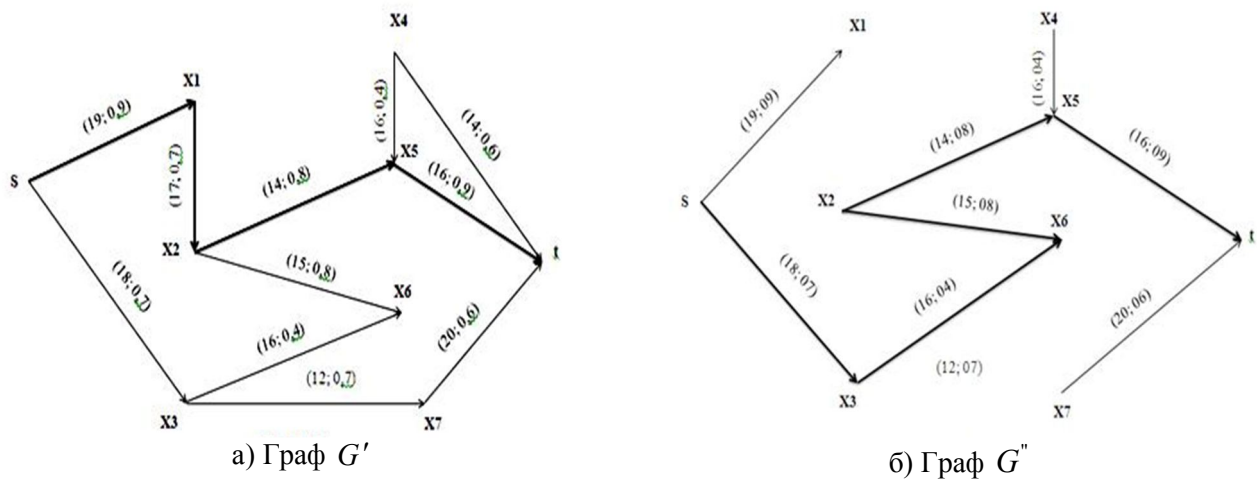


Рис. 4. Результати розрахунку для вибору оптимального маршруту

Шлях P'_ρ з найбільшою надійністю показано жирними лініями. Для цього шляху $\bar{\rho} = 0,454$, $Q'_\rho = 14$, тому приведена пропускна здатність шляху P'_ρ дорівнює $e = 14 * 0,454 = 6,36$, що більше отриманої раніше величини (5,04), і тому заміняє її. Видаляємо з G^I усі дуги з пропускною спроможністю ≤ 14 , та отримуємо граф G'' (Рис. 4б). У цьому графі існує тільки один шлях між s та t ; $\bar{\rho} = 0,141$, $Q''_\rho = 15$, тому $e = 2,12$, що є гірше ніж попередні значення цієї величини. Видалимо усі дуги з пропускною спроможністю ≤ 15 з G'' . Ми бачимо, що вершини s і t роз'єднані. Краща буде попередня відповідь, тобто шлях $(s, x1, x2, 5x, xt)$ з приведеною пропускною здатністю 6,36 буде оптимальним для поставленої задачі.

Висновок. Визначено, що для безпроводових мереж найбільш доцільно використовувати MESH топологію. Для забезпечення ефективної роботи СУ такими мережами запропоновано застосувати алгоритм який дозволяє визначити оптимальний маршрут для передачі інформації управління. Визначення маршруту відбувається на основі двох критеріїв оптимальності – пропускної здатності та надійності. Запропонований алгоритм забезпечує працездатність мережі на заданому проміжку часу та підвищує ефективність роботи безпроводових мереж при передачі службових повідомлень.

Література:

1. Рашич А. В. Сети беспроводного доступа WiMAX / А. В. Рашич. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 179с.
2. Рошан Педжман. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / Педжман Рошан, Джонатан Лиэри ; пер. с англ. – Москва : Издательский дом "Вильямс", 2004. – 304 с.
3. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О.Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – Москва : Экотрендз, 2010. – 281 с.
4. Вишнеvский В. М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В. М. Вишнеvский, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва : Техносфера, 2009. – 650 с.
5. Вишнеvский В. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s: протоколы маршрутизации / В. Вишнеvский // Первая миля. – 2009. – № 1. – С. 16–21.
6. Стеклоv В. К. Системы управления для глобальной информационной инфраструктуры / В. К. Стеклоv, Л. Н. Беркман // Труды IV Международной научно-технической конференции по телекоммуникациям «Телеком-99». – Одесса: 1999. – С. 16-19.
7. Стеклоv В. К. Многокритериальная оптимизация системы управления телекоммуникационными сетями / В. К. Стеклоv, Л. Н. Беркман, Н. Ф Карпенко // Зв'язок. – 1999. – № 6. – С. 13-16.
8. Стеклоv В. К. Выбор обобщенного критерия оптимальности систем управления информационными сетями / В. К. Стеклоv, Л. Н. Беркман, Н. М. Стародуб // Зв'язок. – 2000. – №5. – С.12-16.
9. Френк Г. Сети, связь и потоки / Г. Френк, И. Фриш ; пер. с англ. под ред. Д. А. Поспелова. – Москва : Связь, 1978. – 448 с.
10. Оре Ойстин. Теория графов / Оре Ойстин. – Москва : Наука, 1980. – 336 с
11. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н Кристофидес ; пер. с англ., ред. Г. П. Гаврилов. – М. : Мир, 1978. – 432 с.

Дата надходження в редакцію: 23.10.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В. В. Вишнівський