

УДК 004.715

**О.В. Стрельцов**, канд. техн. наук, доц.,  
**И.А. Горшкодёр**, магистр,  
Одес.нац. политехн. ун-т

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ

*О.В. Стрельцов, И.А. Горшкодёр. Дослідження розподілених алгоритмів підтримки і відновлення цілісності мобільної мережі.* Розглянуто проблему підтримки і відновлення цілісності в мобільній бездротовій мережі. Запропоновано алгоритм підтримки цілісності та пошуку найкоротшого шляху відновлення, що дозволяє істотно зменшити енерговитрати при конфігурації і реконфігурації мережі. Проведено оцінку різних алгоритмів реалізації.

*Ключові слова:* алгоритм підтримки цілісності мобільної мережі, алгоритм відновлення цілісності мобільної мережі, відновлення мобільної мережі Wi-Fi.

*О.В. Стрельцов, И.А. Горшкодёр. Исследование распределенных алгоритмов поддержания и восстановления целостности мобильной сети.* Рассмотрена проблема поддержания и восстановления целостности в мобильной беспроводной сети. Предложен алгоритм поддержания целостности и поиска кратчайшего пути восстановления, позволяющий существенно снизить энергозатраты при конфигурации и реконфигурации сети. Проведена оценка различных алгоритмов реализации.

*Ключевые слова:* алгоритм поддержания целостности мобильной сети, алгоритм восстановления целостности мобильной сети, восстановление мобильной сети Wi-Fi.

*O.V. Streltsov, I.A. Gorshkoder. The study of distributed algorithms to maintain and restore the integrity of the mobile network.* The problem of maintaining and restoring the integrity of the mobile wireless network is considered. The algorithm for maintaining the integrity and for finding the shortest path to recovery is proposed, which allows to considerably reduce energy consumption during the configuration and reconfiguration of the network. The evaluation of different implementation algorithms is carried out.

*Keywords:* algorithm for maintaining the integrity of mobile network, mobile network integrity recovery algorithm, Wi-Fi mobile network recovery.

Проблема поддержания целостности мобильной сети является одной из наиболее существенных при проектировании сетей, узлы которых используют автономные источники питания. Существенный вклад в общий объем энергозатрат вносится на этапах начальной конфигурации и последующей реконфигурации беспроводных сетей. Наиболее существенно проблема поддержания целостности сети проявляется при движении мобильных объектов (далее — узлов) в отсутствии базовых станций. Такие сети носят название мобильных Ad hoc сетей [1].

Одним из вариантов решения проблемы поддержания целостности мобильной сети является применение ретрансляторов [2]. Одним из условий реализации данного способа является использование GPS-приемников и другого дополнительного оборудования, снижающего время автономной работы каждого узла сети. Существующие алгоритмы поддержания целостности сети основаны на вычислении единым центром управления координат узлов, получаемых с GPS-приемников непосредственно.

Предлагаемый алгоритм работает в условиях отсутствия, неработоспособности или невозможности использования, в частности, из-за недостатка энергии, навигационного и другого вспомогательного оборудования, и использует только базовые коммуникационные функции мобильного узла. Особенно актуально применение алгоритма для мобильной сети автономных роботов при использовании ими только внутренней коммуникации [3].

При проведенні досліджень введено умовне обмеження відносної швидкості руху мобільних вузлів — 7 м/с, що відповідає реальним можливостям сучасних наземних мобільних роботів. Крім того, дане обмеження дозволяє виключити такі явища, як колізії [4].

Для підтримки цілості мережі необхідно сформувати граф мережі, який дозволить максимально надійно забезпечити взаємодію між вузлами. Для цього необхідно отримати граф, в якому кожна вершина матиме мінімум дві сусідні. Фигурою такого графа з мінімальним числом вершин є трикутник (рис. 1).

Дана фігура ідеально підходить за двома критеріями:

- кожна вершина (передбачуваний вузол мережі) має зв'язок мінімум з двома сусідніми;
- фігуру легко доповнити новими вузлами: якщо кількість мобільних вузлів більше трьох, то кожен доданий вузол формує новий трикутник (рис. 2).

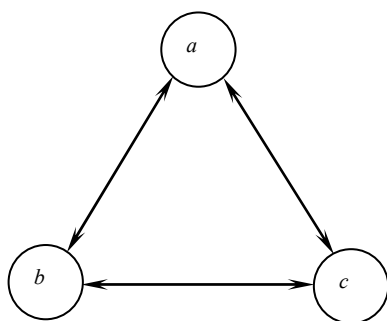


Рис. 1. Варіант графа зв'язу між вузлами мобільної мережі

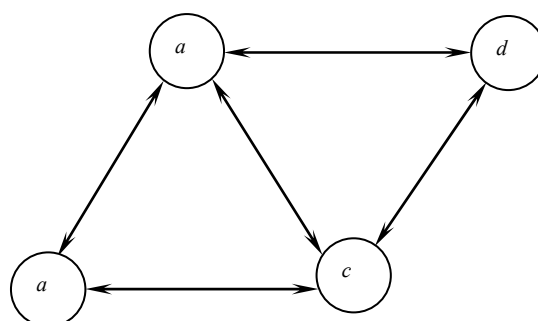


Рис. 2. Приклад заповнення графа зв'язу додатковими вузлами

Пропонується підтримувати цілісність мережі згідно наступному алгоритму:

- перевірка потужності сигналу Wi-Fi від сусідніх вузлів і порівняння з заданою;
- корекція маршруту руху мобільного вузла для відновлення або збереження потужності прийнятого сигналу;
- повернення до першого кроку з заданою періодичністю.

Представлений алгоритм оснований на фізичних властивостях радіохвилі. Кожен вузол використовує Wi-Fi приймач-передатчик, дальність дії якого обмежена довжиною хвилі в просторі. Якщо вузол не отримує сигнал хоча б від одного з сусідніх — цілісність мережі порушена. Для підтримки і відновлення цілісності мережі пропонується при кожному наступному опитуванні рівня сигналу між вузлами коректувати швидкість і напрямок їх руху в залежності від рівня сигналу. Даний алгоритм суттєво знижує ймовірність обриву зв'язу між вузлами і не потребує передачі координат від їх сусідів. Для роботи алгоритма достатньо кожному вузлом визначити своє місцеположення в трикутнику, відносну швидкість руху і рівень сигналу між сусідніми вузлами, мінімальний допустимий рівень якого задається як початкове значення.

Для визначення ефективності запропонованого алгоритму була побудована математична модель, реалізована на мові програмування Java [5]. Кожен мобільний вузол представлений в ній в вигляді окремого обчислювального потоку. Помилка визначення відстані між вузлами при моделюванні обчислюється як випадкове число в діапазоні 0...0,5 м. Швидкість руху, мінімальний рівень сигналу і напрямок задаються вручну. В моделі реалізована можливість роботи, як з урахуванням запропонованого алгоритму, так і без нього.

В табл. 1 наведені дані, отримані, при використанні алгоритму з наступними початковими умовами:

- швидкість мобільних вузлів — 2 м/с;
- напрямок руху — паралельно осі  $OX$ .

В табл. 2 приведенные результаты работы математической модели, полученные без использования алгоритма, при тех же начальных условиях.

Таблица 1

Результаты работы математической модели с использованием алгоритма поддержания целостности

Время моделирования, с	Уровень мощности принимаемого сигнала, %		
	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>ac</i>
0:02	20,48	20,80	19,94
1:01	20,49	20,66	19,70
2:01	20,54	20,45	19,56
3:01	20,34	20,16	19,21
4:00	20,52	20,40	19,13
5:00	20,55	20,45	19,39
6:00	20,51	19,88	19,91
7:01	20,64	19,93	19,77
8:01	20,04	19,92	19,99

Таблица 2

Результаты работы математической модели без использования алгоритма поддержания целостности

Время моделирования, с	Уровень мощности принимаемого сигнала, %		
	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>ac</i>
0:01	20,54	20,00	19,54
1:00	19,65	21,34	19,86
2:00	18,17	21,34	18,15
3:00	17,75	22,23	19,54
4:01	16,43	23,98	19,13

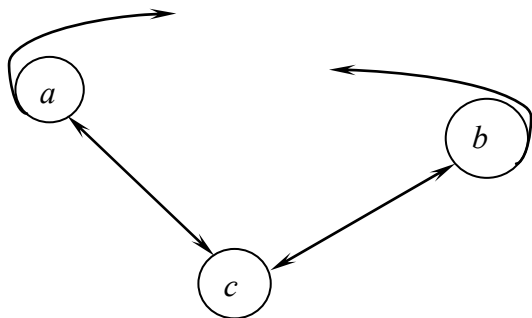


Рис. 3. Пример восстановления связи между узлами *a* и *b*

В экспериментах узлы были размещены друг от друга на расстоянии  $0,8 R_{\text{WiFi}}$ , где  $R_{\text{WiFi}}=120$  м — радиус действия Wi-Fi передатчика на открытой местности [6]. Сравнительный анализ результатов моделирования показывает, что в случае применения алгоритма при движении узлов мощность принимаемого сигнала изменяется в пределах 1%. Связь остается устойчивой и стабильной. Если алгоритм не применяется, то уровень мощности сигнала быстро падает ниже допустимого — 19%.

С целью восстановления связи предлагается рассмотреть движение мобильных узлов по кривой, близкой к окружности (рис. 3).

Если связь между узлами *a* и *b* утеряна, то для оптимального поиска осуществляется движение этих узлов навстречу друг другу. В этом случае *ac* и *bc* — радиусы окружностей, к которым стремится траектория движения узлов *a* и *b*. Аналогично происходит взаимный поиск любых соседних узлов в сети, что обеспечивает максимально быстрое восстановление связи между ними. Если узел одновременно утерял две связи, восстановление невозможно.

Разработанный алгоритм позволяет минимизировать количество обрывов мобильной сети и максимально быстро обнаружить потерянный узел при нарушении ее целостности.

### Литература

1. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях / В.М. Винокуров, А.В. Пуговкин, А.А. Пшенников и др. // Упр. вычисл. техника и информатика. Докл. ТУСУРа. — Томск, 2010. — № 2 (22). — С. 288 — 292.
2. Скуднов, В. Анализ алгоритмов автоматического восстановления связи с использованием ретрансляторов / В, Скуднов. — М: Ин-т трансп. и связи, 2003. — 66 с.

3. Баранов, Д.Н. Разработка интеллектуальной системы управления мобильными роботами на основе следящей системы технического зрения и нечеткой логики: автореф. дис. канд. техн. наук: 12.06.08 / Д.Н. Баранов; [Ун-т “СТАНКИН”]. — М., 2008. — 24 с.
4. Совлу, Я. “Тонкие” точки доступа — новый уровень безопасности корпоративных сетей Wi-Fi / Я. Совлу // Inform. Security = Информ. безопасность. — М., 2008. — № 2. — С. 28 — 29.
5. Арнольд, К. Язык программирования Java / К. Арнольд, Дж. Гослинг, Д. Холмс — Пер. с англ. — М.: Издат. дом “Вильямс”, 2001. — 624 с.
6. Шахнович, И. Современные технологии беспроводной связи / И. Шахнович. — М.: Техносфера, 2006. — 288 с.

## References

1. Marshrutizaciya v besprovodnyh mobil'nyh Ad hoc-setyah [Routing in Wireless Mobile Ad hoc-Networks] / V.M. Vinokurov, A.V. Pugovkin, A.A. Pshennikov i dr. // Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika [Management, Computer Science and Informatics]. Doklady TUSURa. — Tomsk, 2010. — # 2 (22). — pp. 288 — 292.
2. Skudnov, V. Analiz algoritmov avtomaticheskogo vosstanovleniya svyazi s ispolzovaniyem retranslyatorov. [Analysis of Algorithms for Automatic Communication Recovery with the use of Repeaters] / V. Skudnov. — М: In-t trans.i svyazi [Transport and Telecommunication Institute], 2003. — 66 p.
3. Baranov, D.N. Razrabotka intellectual'noy sistemy upravleniya mobil'nymi robotami na osnove sledyashchey sistemy tekhnicheskogo zreniya i nechetkoy logiki [The Development of Intelligent System for Controlling Mobile Robots Based on the Tracking Vision System and Fuzzy Logic]: Author. dis. cand. tech. sciences: 12.06.08 / D.N. Baranov /Un-t “STANKIN”[University “STANKIN”] — М., 2008. — 24 p.
4. Sovlu, Y. “Tonkiye” tochki dostupa — novyy uroven' bezopasnosti korporativnykh setey Wi-Fi [“Thin“ Access Points — a New Level of Security for Corporate Networks, Wi-Fi] / Y. Sovlu // Information Security/ Informatsionnaya bezopasnost — М., — 2008. — # 2. — pp. 28 — 29.
5. Shahnovich, I. Arnol'd, K. Yazyk programmirovaniya Java [The Java Programming Language] / K. Arnol'd, Dzh. Gosling, D. Holms; per. s angl [transl. from English]. — М.: Izdatel'skii dom “Vil'yams” [Publishing house “Williams”], 2001. — 624 p.
6. Sovremennye tehnologii besprovodnoi svyazi [Modern Wireless Communication Technologies] / I. Shahnovich. — М.: Tehnosfera [Technosphere], 2006. — 288 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Ситников В.С.

Поступила в редакцию 14 сентября 2012 г.