

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ЖИВУЧЕСТИ В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Гафуров А.Ш

ТУИТ имени Мухаммада аль-Хорезми,  
ассистент кафедры Технологии мобильной связи,  
E-mail: [gafurovasror686@gmail.com](mailto:gafurovasror686@gmail.com)

**Аннотация:** В данной статье приведен понятие живучести, модели живучести в сетях мобильной систем связи, а также надежность и доступность в сотовых сетях.

**Ключевые слова:** Живучесть, надежность, сетевая модель, модель производительности.

Повышения живучести компонентов реконфигурируемой мобильной системы является обеспечение безопасности данных, хранящихся и обрабатываемых в системе и обеспечение безопасности системы и ее внешней среды при работе с этими данными. Живучесть информационной составляющей реконфигурируемой мобильной системы имеет непосредственное отношение к живучести информационного обеспечения, возможности его восстановления, выполнение им своего функционального назначения при осуществлении мощного электромагнитного воздействия, как на информационное обеспечение, так и на всю систему в целом. Методы и средства обеспечения и повышения живучести информационных компонентов необходимо применять на всех этапах их прохождения в реконфигурируемой мобильной системе.

Для повышения живучести компонентов системы применяются следующие методы:

- Многократное дублирование данных (реализация избыточности данных). Избыточность вводится искусственно при проектировании систем хранения данных, создании информационных ресурсов с целью повышения надежности системы в условиях работы со сбоями. При этом предполагается регулярное осуществление репликации дублирующих блоков информации с проверкой идентичности.

- Реализация резервного и архивного копирования данных. Резервное копирование предусматривает создание копии данных в системе хранения данных (основной или резервной). Такое копирование предназначено для восстановления данных в оригинальном месте их расположения в случае их повреждения или разрушения.

- Резервное дублирование целых аппаратно-программных комплексов (БПЛА, главных БПЛА). Так, в реконфигурируемой мобильной системе предусмотрено автоматическое резервное дублирование задающих цель систем. Это позволяет оперативно и в автоматическом режиме переместить все настройки и задачи с

отказавшего главного БПЛА, на резервный, который затем принимает на себя функции того, что отказал. Эта функция снижает риск потери системных журналов при отказе компонентов системы.

- Использование надежных и зашифрованных каналов передачи входных данных. Безопасность должна обеспечиваться шифрованием трафика. Использование нескольких каналов данных должно проходить процедуру сравнения во время занесения в хранилище данных (репликации).

Живучесть в беспроводных сетях - это способность сети восстанавливаться до нормальной рабочей стадии после возникновения природного или техногенного возмущения [1] [2], или, например, достаточного количества базовых станций, чтобы покрыть некоторый процент географической области. Принимая во внимание, что надежность определяется как способность сети функционировать в течение определенного промежутка времени [4].

**Общая сетевая модель.** На рис. 1 представлена сотовая сеть с базами, размещенными в разных местах, обеспечивающая подключение к различным типам наружных пользователей сотовой связи, транспортным средствам, бытовым устройствам или электроприборам и т.д. Предположим, что общее количество сотовых BSS равно  $N$ . После катастрофы  $n$  обозначает количество активных сотовых BSS в сети, которые пережили катастрофу. Модель аварийного восстановления использует цепочку Маркова на основе матричными экспоненциальными распределениями ME, в которой BSS выходят из строя в соответствии с экспоненциальным распределением с частотой отказов.

В работе по обеспечению живучести принято и считается в целом точным моделировать отказы с использованием экспоненциальных распределений [3]. Свойство экспоненциального распределения без памяти приблизительно соответствует свойству сетевых сбоев, характеризующемуся отсутствием памяти.

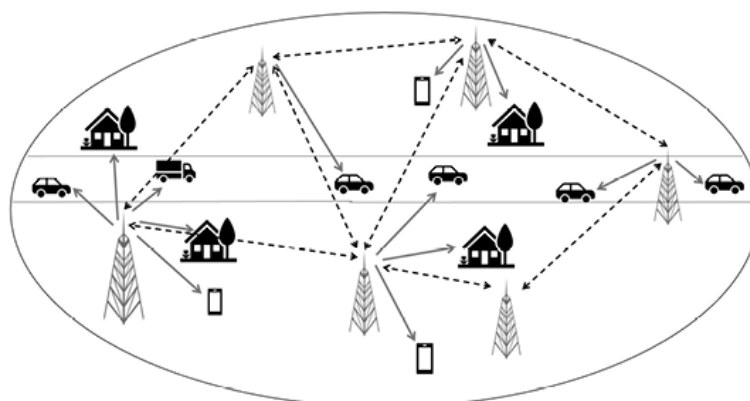


Рисунок 1. Иллюстрация гетерогенной сети

Модель, описанная в этой работе, может быть использована для количественной оценки процесса ремонта для любой сети базовых станций. Процессы ремонта базовых станций представлены ME вместо чисто



экспоненциальных распределений, поскольку процессы ремонта часто зависят от серии выполняемых шагов. Модель ME предоставляет возможность моделировать общее распределение, а не единичную экспоненциальную скорость восстановления. Это общее распределение может включать в себя несколько типов ремонта (быстрый, медленный и т.д.) и процессы ремонта с несколькими этапами. Экспоненциального распределения без памяти с одним параметром недостаточно для моделирования общих неэкспоненциальных распределений или для учета множества этапов процесса восстановления. Вместо этого все эти случаи очень хорошо могут быть проанализированы и изучены с помощью распределений ME, подробности и вывод которых приведены в следующих разделах. Модель цепи Маркова с экспоненциальной частотой отказов и матричным экспоненциальным ремонтом показана на рис. 2, где состояние  $i$  представляет количество BS, работающих правильно (и, следовательно,  $N - i$  вышло из строя), с одной ремонтной бригадой неэкспоненциальный процесс.

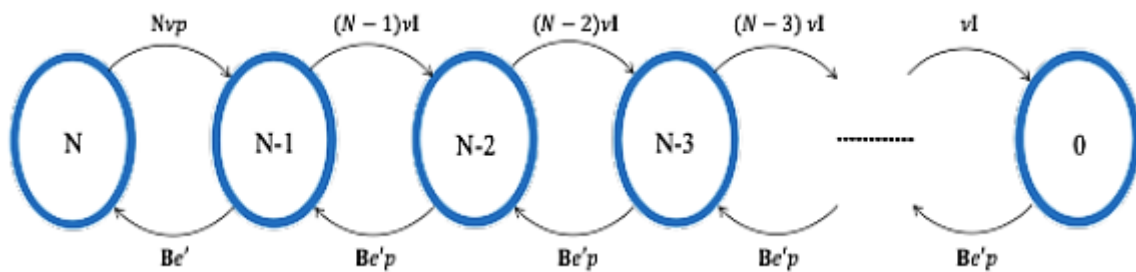


Рисунок 2: Цепочка Маркова системы с  $N$  базовыми станциями и одной неэкспоненциальной ремонтной бригадой. Крайнее левое состояние представляет все  $N$  станций, работающих правильно.

**Модель оценки живучести в сотовых сетях.** Эта работа подходит к этой проблеме с использованием моделей матричные экспоненциальные (ME) распределения с различиями в процессах ремонта, количестве сетевых ремонтных бригад и т.д.

Эта работа предполагает, что базовые станции выходят из строя независимо друг от друга, и их ремонт возвращает им возможность предоставлять услуги клиентам. Мы не рассматриваем коррелированные сбои в обратном пути, которые также необходимо было бы устранить до восстановления обслуживания клиентов. Это предположение о независимости наиболее применимо к сбоям, связанным с ветром (штормы, торнадо, ураганы), где заглубленный обратный путь не был бы, так сильно затронут.

Это может быть неприменимо для наводнений, землетрясений или для небольших ячеек, которые полагаются на обратную связь через макроэлементы. Однако будущая работа по модификации представленных здесь цепей Маркова может объяснить такие коррелированные сбои. Эта модель обладает как общими преимуществами для многих областей применения, так и специфическими

преимуществами для процесса восстановления сотовых сетей. С одной стороны, приведенная здесь модель является общей и также может быть очень полезна для других типов отказов объектов (подстанции электросетей или линии электропередач, погодные условия или авиационные радары и т.д.), которые могут иметь независимые сбои, быстрый или медленный ремонт и несколько ремонтных бригад. С другой стороны, эта работа особенно полезна в отношении мобильных базовых станций, поскольку у них, скорее всего, будут независимые сбои, а быстрый ремонт более возможен благодаря возможностям удаленного быстрого ремонта.

**Модель производительности.**

**Матричные экспоненциальные распределения.** Матричные экспоненциальные (ME) распределения - это распределения вероятностей, функции плотности которых представлены

$$F(t) = pe^{-Bt} Be' \quad \text{for } t \geq 0 \quad (1)$$

где  $p$  -  $m$ -мерный вектор строк (начальный вектор), матрица  $m \times m$   $B$  (генератор скорости прогресса) и  $m$ -мерный вектор столбцов  $e'$  (суммирующий или закрывающий вектор), который в этой работе состоит из всех единиц. Ряд хорошо известных распределений имеют свои представления, такие как экспоненциальные, эрланговы, гипер- и гипоекспоненциальные, фазовые типы, коксианы, обобщенные гиперэрланговы, а также их смеси и свертки. Распределение ME несет в себе простоту захвата анализа цепи Маркова где вместо одного экспоненциального параметра скорости перехода моделируются матрицами.

В этой работе в первую очередь используются возможности ME для моделирования этапов процесса ремонта, но также можно использовать множество дистрибутивов для представления процесса ремонта.

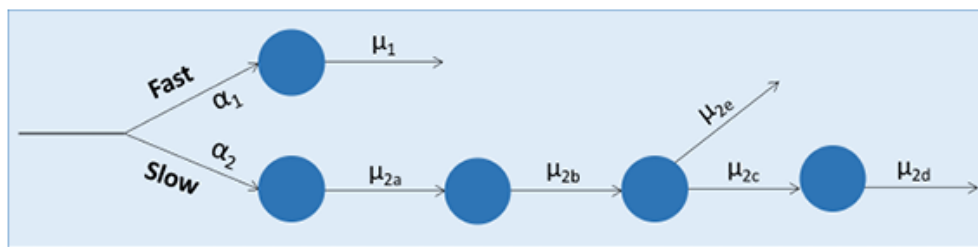


Рисунок 3: Сценарий экспоненциального восстановления матрицы с быстрой ветвью и медленной ветвью.

Дистрибутивы ME могут учитывать все факторы, влияющие на восстановление одной вышедшей из строя BS. Различные причины могут привести к сбою BS, такие как плохие погодные условия / стихийные бедствия, сбои в сети, сбои физического соединения, перегрузка сети, проблемы с конфигурацией и т.д. [7]. Процесс ремонта, аналогичным образом, должен быть достаточно гибким, чтобы охватывать различные возможные сценарии. Мы классифицируем их как смесь быстрого и медленного ремонта. Быстрый ремонт связан с кратковременными отключениями сотовой связи (STCOs), которые являются скрытыми отключениями. Ремонт относится к быстрым



исправлениям программного обеспечения, которые могут быть выполнены удаленно. Медленный ремонт, с другой стороны, связан с длительными отключениями сотовой связи (LTCOs), которые отнимают больше времени на процесс ремонта. Медленный ремонт, вероятно, потребует присутствия бригады на месте для выполнения ремонта. С вероятностью  $\alpha_1$  это происходит быстро и длится значительное время со скоростью  $\mu_1$ . В противном случае он выполняется медленно с вероятностью  $\alpha_2$  и состоит из последовательности экспоненциальных шагов с экспоненциальными скоростями от  $\mu_{2a}$  до  $\mu_{2e}$ , каждый шаг представляет собой подзадачи, такие как поездка на объект, диагностика причины сбоя, а также развертывание и тестирование корректирующих мер для восстановления нормальной работы BS. Если какой-либо аппаратный компонент, такой как канальная карта, маршрутизатор, блок распределения питания (PDU), вышел из строя, с помощью rate  $\mu_{2e}$  устанавливается запасная деталь или, если необходимо доставить или заказать запасной компонент, доставка завершается с помощью rate  $\mu_{2c}$  и установка с помощью rate  $\mu_{2d}$ . Это распределение ремонта упоминается как базовая модель с вектором  $P_B$  и матрицей  $B_B$  на фиг. 5, которые являются:

$$\begin{aligned}
 P_B &= \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 B_B &= \begin{pmatrix} \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_{2a} & -\mu_{2a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{2b} & -\mu_{2b} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (\mu_{2c} + \mu_{2e}) & -\mu_{2c} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_{2d} \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Значения для этой базовой модели были выбраны только в целях иллюстрации. Для практической реализации потребуется исследование в реальном мире. Эти значения составляют  $\alpha_1 = 0,60$ ,  $\alpha_2 = 0,40$ ,  $\mu_1 = 4$ ,  $\mu_{2a}, \mu_{2b} = 5$ ,  $\mu_{2c} = 1$ ,  $\mu_{2d} = 1$  и  $\mu_{2e} = 0,51$ . Среднее значение этого распределения составляет 0:5633 часа (33:8 минут), а квадратный коэффициент вариации (SCV) равен  $C^2 = 2,00$ . Размерность базовых матриц равна 5, что приводит к увеличению размеров матриц в сетевой модели, см. Ниже. Поэтому, когда это необходимо, мы используем другие распределения с меньшей размерностью, но сохраняем разделение на 60-40 и имеем то же среднее значение и тот же SCV. В разделе 2.5 мы покажем, как результаты сопоставимы для этих матриц меньшего размера.

Кроме того, мы изучаем производительность других распределений, где среднее значение снова сохраняется на уровне 33 минут, где разделение по-прежнему составляет 60-40 и где SCV составляет  $C^2 = 4$  и  $C^2 = 8$  см.

### **Вывод**

Живучесть на уровне канала и узла была подробно изучена для телефонных абонентских сетей. Даже в отсутствие крупных катастроф живучесть беспроводной

сети жизненно важна для расширения возможностей беспроводной связи для поддержки критически важных инфраструктур и приложений. Важными примерами, где потребуются высокодоступные беспроводные сети, являются интеллектуальная сеть, управление воздушным движением, операции по обеспечению общественной безопасности (полиция, пожарные, скорая помощь) и дистанционная медицина.

В большинстве смежных исследований рассматривались модели экспоненциального распределения для процедур восстановления после аварии. Аналогичный подход к анализу живучести обсуждается в, используя экспоненциальные распределения для моделирования процессов отказа и восстановления. При использовании экспоненциальных распределений не хватает деталей в отношении вычисления скорости восстановления для пошагового процесса восстановления и, следовательно, ограничивает глубину знаний, встроенных в модель. Матричные экспоненциальные модели (ME) обеспечивают масштабируемую сложность для моделирования практически любой ситуации и распределения вероятностей. Их сложностью можно управлять в зависимости от точности и интересующих показателей. Тогда живучесть сети может быть эффективно спроектирована.

#### **ИСПОЛЬЗУВАЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРЫ:**

- [1]. Величко В. В., Попков Г. В., Попков В. К. В27 Модели и методы повышения живучести современных систем связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. – 270 с.
- [2]. M. Modarres, M. Kaminskiy, and V. Krivtsov, *Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide* (3rd ed.). CRC Press, 2016.109
- [3]. J. Lorincz, L. Chiaraviglio, and F. Cuomo, "A measurement study of short-time cell outages in mobile cellular networks," *Computer Communications*, vol. 79, pp. 92–102, 2016.
- [4]. M. Al-Kuwaiti, N. Kyriakopoulos, and S. Hussein, "A comparative analysis of network dependability, fault-tolerance, reliability, security, and survivability," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 11, no. 2, pp. 106–124, 2009.
- [5]. J. Murphy and T. W. Mogan, "Availability, reliability, and survivability: An introduction and some contractual implications," *The Journal of Defense Engineering*, pp. 26–29, 2006.
- [6]. J. Koroma, W. Li, and D. Kazakos, "A generalized model for network survivability," in *Proceedings of the 2003 conference on Diversity in computing*, 2003, pp. 47–51.
- [7]. L. Xie, P. E. Heegaard, and Y. Jiang, "Network survivability under disaster propagation: Modeling and analysis," in *2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2013, pp. 4730–4735.