

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В АНАЛИЗЕ ПРИЧИН ДЕФЕКТНЫХ ЗВОНКОВ СЕТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Хакимов Рахматджон Иномович

*Худжандский государственный университет им. академика Б.Гафурова,
г. Худжанд, Республика Таджикистан*

E-mail: rahmatjon at gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос построения вероятностных оценок для анализа причин дефектных звонков в сети сотовой связи. Приводится пример практического применения полученных вероятностных оценок и общеизвестных статистических методов в управлении качеством сети сотовой связи 3G (WCDMA). Приводится пример запроса языка SQL для СУБД MS SQL Server 2008 для вычисления сумм количества событий – причин дефектов звонков.

Ключевые слова: вероятность, оценка, управление качеством, статистические методы, звонок, дефект, 3G, WCDMA.

Keywords: probability, evaluation, quality management, statistical methods, call, defect, 3G, WCDMA.

Введение. Популярность технологий сотовой связи второго (2G, GSM) и третьего поколений (3G, WCDMA), обусловленная возможностью предоставления качественных услуг мобильной телефонии, мобильного доступа в Интернет, видеоконференций и других, породила рынок с высоким уровнем конкуренции. Вопрос поддержания и улучшения качества работы сети сотовой связи актуален в связи с его непосредственным отношением к удовлетворенности абонента (клиента) работой оператора (поставщика услуг).

Запрос подвижной станции абонента к сети оператора на выделение голосового канала будем называть попыткой вызова (call attempt).

Безуспешную попытку вызова будем называть провалом вызова (call failure).

Неправильное завершение вызова будем называть обрывом вызова (call drop).

Вызов, завершившийся провалом или обрывом, будем называть дефектным вызовом (defective call).

В случае подключения к сети сотовой связи для обмена пакетными данными возможен нежелательный разрыв соединения до или вовремя передачи данных, что также считается дефектом. Например, при передаче мультимедийной информации, подключении к Интернету, серверу электронной почты, частной виртуальной сети и т.д. В данной работе будут рассмотрены только звонки канальной коммутации (CS, Circuit Switching) в сети сотовой связи третьего поколения (3G) [10].

Для определения причин провалов звонков в сети сотовой 3G, работающей на технологии WCDMA, нами был использован метод «5 почему» («Пять почему») [12]. Это простой, универсальный и эффективный метод поиска причин возникших дефектов, браков или несоответствий, который позволяет быстро построить причинно-следственные связи. Метод разработан в 40-х годах основателем компании Toyota - Сакиши Тойода (Sakichi Toyoda). Широкое распространение метод получил в 70-х годах после публикации и распространения информации о производственной системе Toyota [11]. Согласно этому методу, для того чтобы найти причину несоответствия, необходимо последовательно задавать один и тот же вопрос – «Почему?» и искать ответ на этот вопрос. Несмотря на то, что метод называется «5 почему», для поиска причин каждого конкретного типа дефекта может задаваться как меньшее, так и большее количество вопросов.

Следующая диаграмма, частично отображающая причинно-следственные связи провалов звонков (call failure) в 3G (WCDMA), была построена в результате использования вышеупомянутого метода:

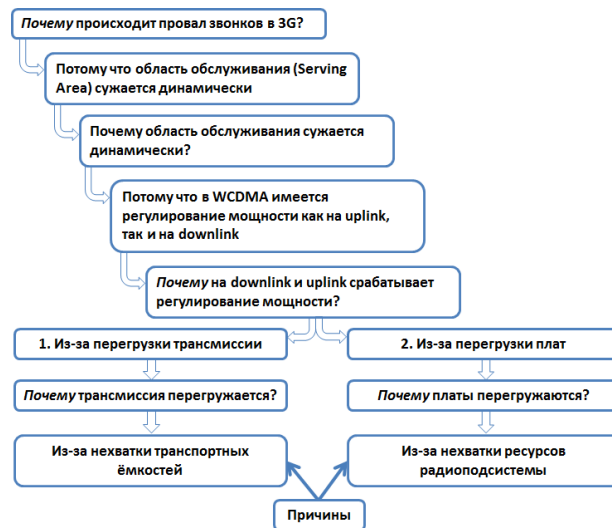


Рис.1. Диаграмма (упрощенная) причинно-следственных связей провалов звонков в 3G (WCDMA)

Диаграмма 1 не претендует на полноту анализа причинно-следственных связей возникновения дефектных звонков в 3G (WCDMA). Однако на её основе можно построить вероятностную модель для оценки вероятностей причин наблюдаемых дефектных звонков.

Следует отметить, что для построения более полной картины причинно-следственных связей возникновения дефектных звонков необходимо изучить техническую документацию от конкретного производителя оборудования радиоподсистемы (RAN) и процедуру установки носителя радиодоступа (RAB Setup flow), например в [9].

Постановка задачи. Рассматривается вопрос об оценке вероятности причин дефектов в телефонных звонках абонентов сотовой связи при функционировании базовых приемопередающих станций (БС [2, с.24]) в определенный конечный промежуток времени.

Предполагается, что известны числа $n_j, m_j, j = 1, \dots, k$, где:

k – общее количество БС в сети оператора;

n_j - общее количество звонков поступивших в j -ю БС;

m_j - количество дефектных звонков среди поступивших в j -ю БС.

Предполагается, что $n_j > 0, j = 1, \dots, k$.

Введем следующие обозначения:

$n = n_1 + \dots + n_k$ – общее количество звонков,

$m = m_1 + \dots + m_k$ – общее количество дефектных звонков,

$\frac{m}{n}$ – итоговая доля дефектных звонков,

$\frac{m_j}{n_j}$ – доля дефектных звонков при обслуживании j -ой БС.

Рассмотрим следующие случайные события:

A - наугад выбираемый звонок из поступивших окажется дефектным;

B_j - наугад выбираемый звонок из поступивших обслуживался j -ой БС, $j=1, \dots, k$.

Каждый звонок (входящий или исходящий) в каждый момент времени обслуживается одной станцией. Следовательно, события B_j , $j=1, \dots, k$, образуют полную систему несовместных событий.

Все причины дефектов разделены на взаимоисключающие типы - события $C_1, C_2, \dots, C_l$, где l – общее количество типов. Таким образом, дефектный звонок случается тогда и только тогда, когда происходит одно из событий C_i , $i = 1, \dots, l$. Следовательно, события C_i , $i=1, \dots, l$, образуют полную систему несовместных событий.

Пусть c_{ij} – количество дефектов на j -й БС по причине C_i , $i = 1, \dots, l$, то есть количество дефектов в случае события $C_i \cap B_j$. Тогда для количества дефектных звонков m_j на j -й БС имеет место

$$m_j = c_{1,j} + \dots + c_{l,j}, \quad \forall j=1, \dots, k.$$

Отсюда тотальное количество дефектных звонков равно

$$m = m_1 + \dots + m_k = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k c_{i,j}.$$

Из выше изложенного следует, что взаимосвязь между итоговой долей дефектных звонков и причинами дефектов C_i , $i=1, \dots, l$, может быть выражена формулой

$$\frac{m}{n} = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k c_{i,j}}{n}.$$

Вероятностные оценки. Вычисления вероятностей будем производить в соответствии с классическим определением вероятности [3, с.18].

А. Имея в виду, что:

1) вероятность того, что звонок будет обслужен j -ой станцией (доля звонков, обслуживаемых j -ой станцией), равна $P(B_j) = \frac{n_j}{n}$;

2) вероятность того, что обслуженный j -ой станцией звонок будет дефектным (доля дефектных звонков при обслуживании j -ой станцией), равна $P(A|B_j) = \frac{m_j}{n_j}$.

Согласно формуле Байеса [1, с.76], условная вероятность $P(B_j|A)$ вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} P(B_j|A) &= \frac{P(B_j) \cdot P(A|B_j)}{P(B_1) \cdot P(A|B_1) + \dots + P(B_k) \cdot P(A|B_k)} = \\ &= \frac{\frac{n_j}{n} \cdot \frac{m_j}{n_j}}{\frac{n_1}{n} \cdot \frac{m_1}{n_1} + \dots + \frac{n_k}{n} \cdot \frac{m_k}{n_k}} = \frac{\frac{m_j}{n}}{\frac{m_1}{n} + \dots + \frac{m_k}{n}} = \frac{\frac{m_j}{n}}{\frac{m}{n}} = \frac{m_j}{m}. \end{aligned}$$

Получаем следующую формулу для вычисления условной вероятности $P(B_j|A)$ обслуживания дефектного звонка j -ой станцией:

$$P(B_j|A) = \frac{m_j}{m}.$$

В. Вероятность того, что дефектный звонок, случившийся на j -ой станции, произошел из-за события C_i на этой станции, равна $\frac{c_{i,j}}{m_j}$, так как m_j - общее количество дефектных звонков на j -ой станции, а $c_{i,j}$ - количество дефектных звонков на этой станции по причине C_i .

С. Вероятность того, что во время обслуживания звонка j -ой станцией случится событие (авария) C_i , равна $\frac{c_{i,j}}{n_j}$.

D. Вероятность того, что случайно выбранный звонок будет дефектным по причине события C_i на j -ой станции, равна $\frac{c_{i,j}}{n}$.

E. Вычислим условную вероятность $P(C_i | A)$ - вероятность того, что случайно выбранный звонок имеет причину дефекта C_i при условии, что этот звонок оказался дефектным:

$$P(C_i | A) = \frac{P(C_i \cap A)}{P(A)}.$$

Здесь:

$$P(C_i \cap A) = P(C_i) = \frac{\sum_{j=1}^k c_{i,j}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k c_{i,j}, \text{ так как события } C_i \text{ и } A - \text{зависимы и их}$$

пересечение равно C_i ;

$P(A) = \frac{m}{n}$ – вероятность того, что случайно выбранный звонок окажется дефектным.

Таким образом,

$$P(C_i | A) = \frac{\frac{\sum_{j=1}^k c_{i,j}}{n}}{\frac{m}{n}} = \frac{\sum_{j=1}^k c_{i,j}}{n} \cdot \frac{n}{m},$$

$$P(C_i | A) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^k c_{i,j}.$$

Пример анализа причин дефектных звонков сети сотовой связи 3G. В ходе данного исследования были проанализированы причины провалов звонков в сети 3G (WCDMA), обслуживаемой оборудованием компании Huawei ([9], [8]), в одной из компаний, предоставляющих услуги сотовой связи. Ниже таблицы 1 и 2, отображающие статистику за 1 сутки в части зоны покрытия данной сети. Эти данные были получены в начале данного исследования.

Таблица 1. Данные по общему количеству попыток звонков, успешных соединений и провалов звонков

Общее кол-во попыток	Успешных соединений	Провалов
2540751	2520691	20060

Таблица 2. Данные по типам событий, являющимся причинами провалов звонков за рассматриваемый период

№	Тип события – причины дефекта (C _i)	Кол-во	Кол-во событий C _i на общее кол-во попыток звонков, $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k c_{i,j}$, DPMO	Кол-во событий C _i на общее кол-во провалов звонков, $\frac{1}{m} \sum_{j=1}^k c_{i,j}$, %
1.	VS.RAB.FailEstabCS.TNL	14	6	0.07%
2.	VS.RAB.FailEstabCS.Code.Cong	39	15	0.19%
3.	VS.RAB.FailEstabCS.DLCE.Cong	0	0	0.00%
4.	VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong	15646	6158	78.00%
5.	VS.RAB.FailEstabCS.DLPwr.Cong	17	7	0.08%
6.	VS.RAB.FailEstabCS.IubFail	23	9	0.11%
7.	VS.RAB.FailEstabCS.PhyChFail	0	0	0.00%
8.	VS.RAB.FailEstabCS.RBCfgUnsup	0	0	0.00%
9.	VS.RAB.FailEstabCS.RBIncCfg	54	21	0.27%
10.	VS.RAB.FailEstabCS.ULCE.Cong	119	47	0.59%
11.	VS.RAB.FailEstabCS.ULIUBB.Cong	10	4	0.05%
12.	VS.RAB.FailEstabCS.ULPwr.Cong	36	14	0.18%
13.	VS.RAB.FailEstabCS.UuNoReply	322	127	1.61%

Как видно из таблицы 2, в рассматриваемой ситуации число независимых факторов достаточно велико. Очевидно, что проведение работ одновременно по всем этим факторам с целью уменьшения количества причин дефектных звонков, как с технической, так и с экономической точки зрения, может потребовать значительных ресурсов. Согласно Ефимову В.В. и Барту Т.В.: «Особенно важно выявить причины несоответствий, приводящие к большим экономическим потерям. Для этого сначала целесообразно провести ранжирование несоответствий (дефектов) по их потенциальному ущербу производству» [Ефимов]. Из таблицы 2 видно, что причиной большинства (78.00%) всех провалов звонков было событие типа «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong». Таким образом, в данном пункте дальнейший ход исследования будет сосредоточен на взаимосвязи итоговой доли дефектных звонков и событий типа «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong».

Ниже в таблице 3 приведена информация о первых 10 БС, имеющих наибольшие количества события типа «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» за рассматриваемый период.

Таблица 3. Данные по количеству событий типа «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» на БПСС. Ton10

№ БС	Тип транс-миссии	Кол-во попыток звонков	Кол-во успешных звонков	Кол-во провалов звонков	Кол-во событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong
162	IP	15242	14938	304	289
171	IP	17775	17494	281	245
149	IP	19327	19054	273	244
262	TDM	6609	6358	251	242
34	IP	8837	8590	247	240
280	IP	7046	6791	255	239
135	IP	10858	10606	252	236
297	IP	24587	24303	284	236
151	IP	7650	7399	251	233
172	IP	7581	7325	256	229
				СУММА:	2433

Нужно заметить, что суммарное количество событий типа «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» в «худшей» десятке (2433) составляет 15,55% от общего количества событий типа «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» (15646) за рассматриваемый период.

Приведем три из многих возможных причин возникновения события «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» и варианты их устранения:

- перегруз интерфейса IuB (между RNC и NodeB). Расширение пропускной способности данного интерфейса, например, путем замены несущих с TDM (E1) на IP;

- «узким местом» (bottleneck) данной проблемы может являться элемент сети уровнем выше NodeB. Нужно проверить, наблюдается ли на RNC в часы наибольшей нагрузки перегруз плат, например, платы FG2. Если да, то расширить эти платы;

- нехватка канальных элементов (Channel Elements, CE). Увеличение количества CE на базовых станциях путем расширения лицензий и/или добавления/расширения плат WBBP.

Вполне вероятно, что перегруз может наблюдаться на нескольких базовых станциях одновременно. Вопрос о повышении эффективности обслуживания звонков перераспределением нагрузок между станциями в некоторой степени обсуждается в [4]. В [6] и [7] исследуется алгоритм, который

может быть использован для поддержки принятия решения по выбору БС, улучшение работы которых даст наилучший эффект в уменьшении итоговой доли дефектных звонков в общем количестве звонков, произведенных в рассматриваемый промежуток времени.

В исследуемом нами случае оптимизационные работы заключались в следующем:

- обслуживание ряда базовых станций с большим объемом трафика пакетных данных было перенесено в RNC из одной (более загруженной) платы FG2 на другую (менее загруженную) плату FG2;
- в ряде базовых станций было произведено расширение плат WBBP.

Для отображения эффекта данной операции воспользуемся блочными диаграммами. Напомним, что блочные диаграммы являются средствами графической визуализации таких ключевых статистических мер, как наименьшее значение, нижний квартиль, медиана, верхний квартиль и наибольшее значение [5, с.139]. На рисунке 2 приведены блочные диаграммы, соответствующие двум периодам: сравниваются 40 дней до оптимизационных работ и 40 дней после.

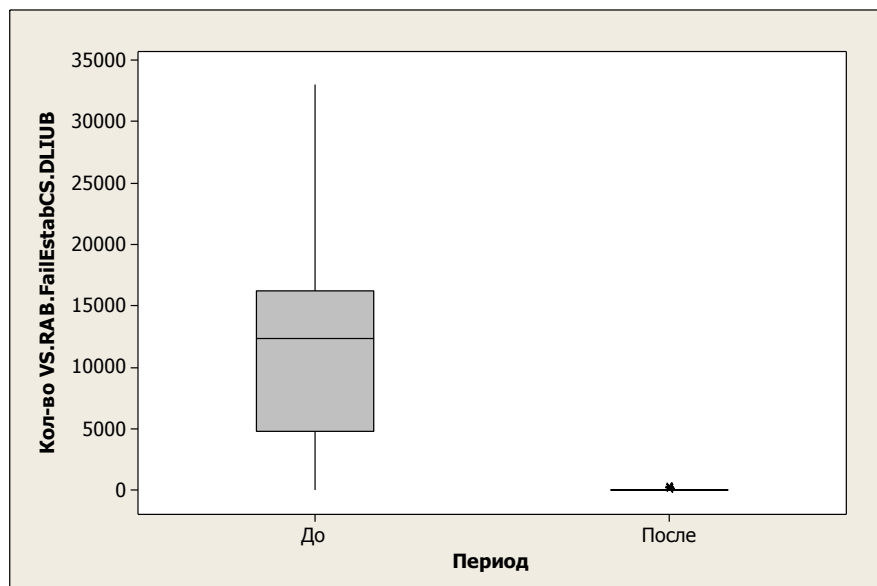


Рис.2. Блочные диаграммы количества событий «VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» до оптимизации (слева) и после оптимизации (справа).

В таблица 3 сравниваются статистические характеристики количества событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong до и после оптимизации.

**Таблица 3. Статистические характеристики количества событий
«VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong» до и после оптимизации (округлено до целого)**

	VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong	
	До	После
Минимум	25	0
Максимум	32979	279
Нижний квартиль (25-я перцентиль)	5211	0
Медиана	12366	1
Верхний квартиль (75-я перцентиль)	15841	42
Среднее значение	11867	38
Стандартное отклонение	7538	73

Рассмотрим изменения в итоговой доле дефектных звонков.

Есть понятие дефектов на миллион единиц (англ., Defects Per Million Opportunities, DPMO): $DPMO = \frac{\text{количество дефектов}}{\text{общее количество}} * 1000000$.

Для обозначения доли дефектных звонков далее воспользуемся аббревиатурой MCDR (англ., Mobile Call Defects Ratio).

После проведения оптимизационных работ наблюдалось улучшение итогового 3G MCDR:

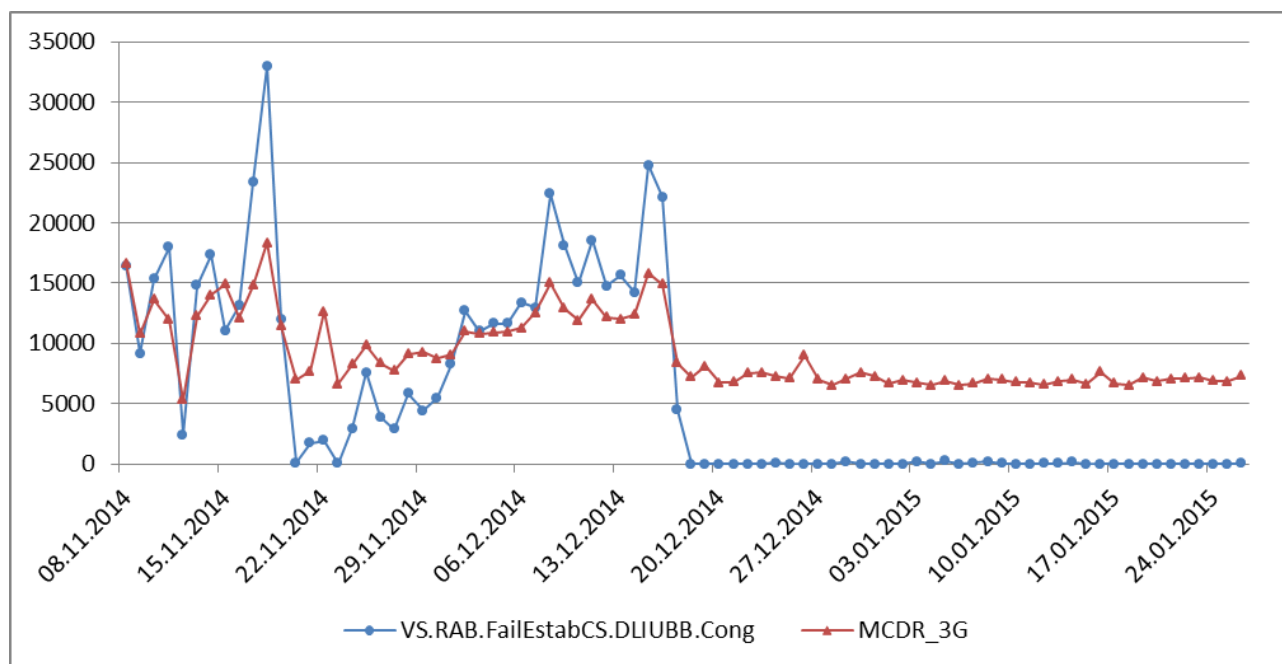


Рис.3. Ежедневные значения 3G MCDR, DPMO и количества VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong.

На рисунке 3 приведен график ежедневных значений 3G MCDR, DPMO и количества событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong за 80 дней: 40 дней до дня проведения оптимизационных работ и 40 дней после. Из графика видно, что показатель 3G MCDR сохранил достигнутый положительный уровень даже

в праздничные дни, когда традиционно нагрузки на сети сотовой связи возрастают как по голосовому трафику, так и по трафику пакетных данных.

Коэффициент корреляции между значениями 3G MCDR, DPMO и количества событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong равен 0,944 (округлено до тысячной), что можно интерпретировать как наличие сильной положительной взаимосвязи между двумя этими показателями [5, с.523].

Для прогноза значений 3G MCDR, DPMO на основе количества событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong было построено уравнение линии наименьших квадратов со стандартной ошибкой оценки S_e , равной 1002,06, и коэффициентом детерминации R^2 , равным 89,2%:

$$3G\ MCDR, DPMO = 7098 + 0.3588 * \text{Кол-во VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong}$$

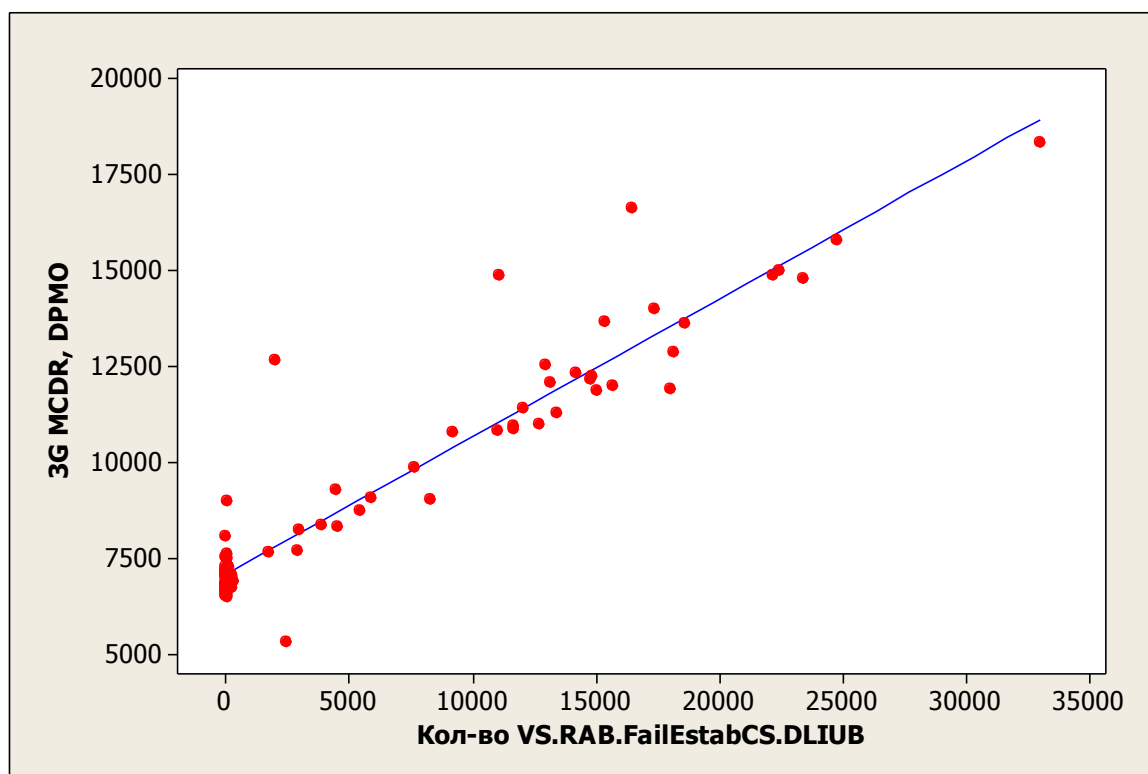


Рис.4. Диаграмма рассеяния и линия наименьших квадратов для ежедневных значений 3G MCDR, DPMO и количества событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong за рассматриваемый период.

На основе полученного уравнения линии наименьших квадратов можно предположить, что сведение к нулю количества событий VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong может свести MCDR 3G до 7100 DPMO приблизительно. Таким образом, для дальнейшего уменьшения значения 3G

MCDR также будет необходимо анализировать и исправлять другие причины возникновения дефектных звонков.

Пример автоматизации подсчета количества событий – причин дефектных звонков. Ниже пример запроса языка SQL для СУБД MS SQL Server 2008 для вычисления сумм количества событий – причин дефектов звонков (сгруппировано по типам на БС). В зависимости от имеющихся данных запрос можно переписать как для сот, так и для других типов элементов сети:

```
select
    b.BBTSN,
    q1.*,
    q2.[VS.RAB.AttEstabCS.Conv],
    q2.[VS.RAB.SuccEstabCS.Conv],
    q2.[VS.RAB.AttEstab.AMR],
    q2.[VS.RAB.SuccEstabCS.AMR]
from
(select
    c.BTS_ID,
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.TNL]) "VS.RAB.FailEstabCS.TNL",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.Code.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.Code.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.DLCE.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.DLCE.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.DLIUBB.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.DLPwr.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.DLPwr.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.IubFail]) "VS.RAB.FailEstabCS.IubFail",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.PhyChFail]) "VS.RAB.FailEstabCS.PhyChFail",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.RBCfgUnsup]) "VS.RAB.FailEstabCS.RBCfgUnsup",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.RBIncCfg]) "VS.RAB.FailEstabCS.RBIncCfg",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.ULCE.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.ULCE.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.ULIUBB.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.ULIUBB.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.ULPwr.Cong]) "VS.RAB.FailEstabCS.ULPwr.Cong",
    sum([VS.RAB.FailEstabCS.UuNoReply]) "VS.RAB.FailEstabCS.UuNoReply"
from Stat.RncHua.T_69 t1
inner join Info.CELL c
    on t1.CELL_ID = c.CELL_ID
WHERE t1.date_time >= dateadd(dd, datediff(dd,0, getDate())-30, 0)
    and t1.date_time < CONVERT(date, getDate())
GROUP BY c.BTS_ID) q1
inner join
(select
    c.BTS_ID,
    sum([VS.RAB.AttEstabCS.Conv]) "VS.RAB.AttEstabCS.Conv",
    sum([VS.RAB.SuccEstabCS.Conv]) "VS.RAB.SuccEstabCS.Conv",
    sum([VS.RAB.AttEstab.AMR]) "VS.RAB.AttEstab.AMR",
    sum([VS.RAB.SuccEstabCS.AMR]) "VS.RAB.SuccEstabCS.AMR"
from Stat.RncHua.T_68 t1
inner join Info.CELL c
    on t1.CELL_ID = c.CELL_ID
WHERE t1.date_time >= dateadd(dd, datediff(dd,0, getDate())-30, 0)
```

```

        and t1.date_time < CONVERT(date, getDate())
GROUP BY c.BTS_ID) q2
    on q1.BTS_ID = q2.BTS_ID
inner join Info.BTS b
    on q1.BTS_ID = b.BTS_ID

```

Здесь Stat.RncHua.T_68 и Stat.RncHua.T_69 – это таблицы, хранящие показания счетчиков событий с периодом (granularity) 60 минут, а Info.CELL и Info.BTS – таблицы, хранящие справочную информацию о сотах и БС соответственно.

Выводы. Полученные в данной работе формулы вероятностных оценок и ход анализа, изложенный на примере сети 3G (WCDMA), обслуживаемой оборудованием компании Huawei, могут быть использованы в работах по определению наиболее вероятных причин дефектных звонков абонентов сетей сотовой связи других поколений и производителей. Для построения более полной картины причинно-следственных связей возникновения дефектных звонков необходимо изучить техническую документацию от конкретного производителя оборудования радиоподсистемы (RAN). Необходимо также помнить, что использование статистических методов в поиске причин дефектных звонков является лишь одним из многочисленных средств обеспечения качества обслуживания абонентов сети сотовой связи. Крайне важно правильное сочетание всех имеющихся средств, в зависимости от конкретных условий.

Литература

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с: ил.
2. Зингеренко Ю.А. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / Конспект лекций. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. -143с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://books.ifmo.ru/file/pdf/85.pdf> (дата обращения: 14.11.2014)

3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. - 573 с.
4. Наимов А.Н., Хакимов Р.И. Математические вопросы эффективного обслуживания телефонных звонков абонентов сотовой связи // Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий (ПМТУКТ-2014). Сборник трудов VII международной конференции (Воронеж, 14-21 сентября 2014 г.) – Воронеж: Издательство "Научная книга" 2014. – С. 270-275.
5. Сигел Э. Практическая бизнес-статистика.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. - 1056с.
6. Хакимов Р.И. Алгоритм поддержки принятия решения по повышению качества сети сотовой связи // Наука и современность – 2014: сборник материалов XXXIII Международной научно-практической конференции (Новосибирск, 17 ноября 2014 г.) – Новосибирск: Изд. ЦРНС, 2014. – С. 141-151.
7. Хакимов Р.И. Числовая оценка эффективности и ранжирование БППС сотовой связи // Естественные и математические науки в современном мире / Сб. ст. по материалам XXV междунар. науч.-практ. конф. № 12 (24). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. – С. 54-65.
8. 3G Huawei RAN Resource Monitoring and management [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.academia.edu/6572434/3G_Huawei_RAN_Resource_Monitoring_and_management (дата обращения: 19.12.2014)
9. BSC6900 UMTS Product Documentation // Library Version: 03. Date: 4/25/2012 - Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2012
10. David J. Goodman. "3G CELLULAR STANDARDS AND PATENTS". IEEE Wireless com. Polytechnic Institute of New York University. Retrieved 2012-06-24 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eeweb.poly.edu/dgoodman/wirelesscom2005.pdf> (дата обращения: 22.12.2014)

11. Ohno Taiichi. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production (English translation ed.). Portland, Oregon: Productivity Press. ISBN 0-915299-14-3.
12. Robert B. Pojasek. Asking "Why?" five times // Environmental Quality Management; Autumn 2000; 10, 1; ABI/INFORM Trade & Industry - pg. 79