



СТРУКТУРИЗАЦІЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ РЕЗЕРВОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ НАЗЕМНОГО РАДІОДОСТУПУ UTRAN

ТЕРЕНТЬЄВА І. Є.

Проводиться класифікація обладнання системи радіодоступу UTRAN з урахуванням структури резервування. Аналізується середовище резервування та взаємодія конструктивних модулів для базових станцій, контролера радіомережі й модулів програмного забезпечення. Розглядається резервування на рівні макроелементів системи. Показується вплив резервування на готовність телекомунікаційного обладнання. Класифікація та структурування проводиться на прикладі обладнання компанії Huawei.

Ключові слова: система радіодоступу UTRAN, телекомунікації, базова станція, контролер мережі, резервування, коефіцієнт готовності.

1. Вступ

У процесі глобальної інформатизації важливу роль відіграють телекомунікаційні системи (ТКС), які зазнали стрімкого розвитку в останні десятиліття. Згідно з сьогоденними прогнозами кількість бездротових пристроїв буде складати 7 трильйонів на 7 мільярдів чоловік до 2017-2020 років. Слід зазначити, що широкосмугові бездротові мережі передачі інформації стають одним з основних напрямків розвитку телекомунікаційної індустрії. А для країн, у яких велика територія збігається з невеликою щільністю населення, бездротові мережі мають особливе значення, бо дозволяють економічно та оперативно створювати телекомунікаційну інфраструктуру на цих територіях [1].

Від якості надаваних послуг і надійності телекомунікаційних систем залежить виконання великої кількості задач в різних сферах суспільства. Тому до готовності ТКС висуваються жорсткі вимоги. Але проблемою на сьогоднішній день є відсутність систем, які гарантують 100% відмовостійкість.

Отже, розроблення та оптимізація технологій резервування є важливою проблемою, вирішення якої дозволить забезпечити задані рівні готовності й доступності сучасних ТКС.

Питанням розроблення моделей для оцінювання готовності та надійності цифрових систем присвячено

фундаментальні праці [1, 2]. Проте в них розглянуто тільки класичні види структур резервування та не врахована велика кількість структур збитковості телекомунікаційного обладнання (ТКО). В роботах [3, 4] представлено моделі оцінювання надійності і готовності ТКС третього покоління, але також не досліджено різноманітні структури резервування ТКО та розглянуто тільки марковські моделі процесу експлуатації.

З огляду на зазначене вище, метою дослідження є проведення структуризації технологій резервування ТКО системи наземного радіодоступу UTRAN та оцінювання готовності конструктивних блоків (КБ) при резервуванні.

2. Постановка задачі дослідження

Для забезпечення вимог до готовності ТКС застосовуються два основних напрямки при побудові відмовостійких систем.

Перший спосіб – використання тільки відмовостійких компонентів. При реалізації цього напрямку кожен компонент системи може продовжувати своє функціонування, навіть якщо один або декілька підкомпонентів системи виходять з ладу.

Другий спосіб – це розробка методів, що гарантують побудову відмовостійкої системи з компонентів, які не є відмовостійкими. В таких системах відмовостійкість реалізована за рахунок технології резервування та застосування спеціального програмного забезпечення, елементних взаємозв'язків і алгоритмів функціонування. Саме цей спосіб використовується для дослідження.

Для забезпечення необхідного рівня готовності за допомогою резервування слід розглянути архітектуру ТКС, провести аналіз ТКО та можливих варіантів технологій резервування. Далі необхідно оцінити коефіцієнт готовності системи при застосуванні різних видів резервування і обрати оптимальний варіант за встановленим критерієм.

3. Архітектура UMTS

Універсальна служба мобільного зв'язку UMTS (Universal Mobile Telecommunications Services) є європейським стандартом третього покоління WCDMA. Архітектура мережі UMTS (рис. 1) підрозділяється на дві складові частини: мережа радіодоступу та базова мережа.

З функціональної точки зору елементи мережі радіодоступу RAN (Radio Access Network, наземна UMTS RAN - UTRAN) забезпечують широкосмуговий радіодоступ. Базова мережа CN (Core Network) здійснює перемикання та маршрутизацію викликів, а також підключення даних до зовнішніх мереж. Крім того, до складу мережі входить обладнання користувачів (UE) [6-8].

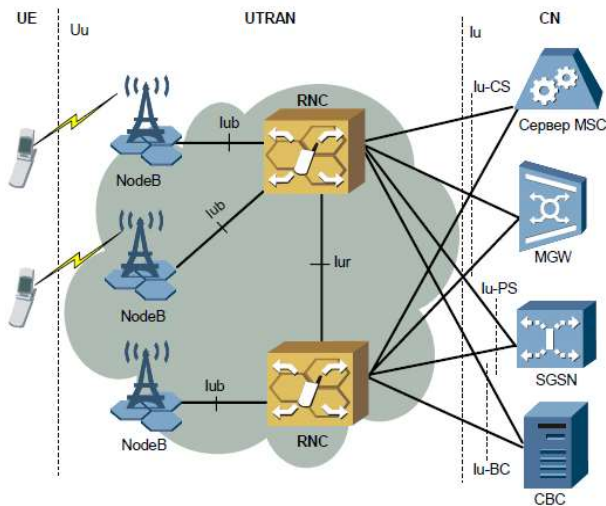


Рис. 1. Архітектура мережі UMTS

Об'єктами дослідження є базові станції Node B та контролери радіодоступу RNC, які є структурними елементами UTRAN.

4. Структуризація видів резервування обладнання UTRAN

Архітектурні та технічні рішення, спрямовані на забезпечення надійності функціонування обладнання UTRAN, полягають в наступному:

1. Застосування модульного принципу побудови елементів апаратного й програмного забезпечення обладнання RNC, що сприяє використанню різних схем експлуатаційного резервування елементів цього обладнання.

2. Забезпечення підтримки таких схем резервування обладнання:

– навантажене дублювання ($2N$), коли кожен активний (основний) елемент обладнання має ідентичний запасний елемент, який перебуває в стані гарячого резерву (якщо кількість активних елементів дорівнює N_{OCH} , то повинна існувати така ж кількість елементів гарячого резерву N_H , тобто загальна кількість елементів обладнання ($N_{OCH} + K_H$));

– m -кратне ненавантажене резервування (nN), коли кожен активний елемент обладнання має n ідентичних запасних елементів, що перебувають в стані ненавантаженого резерву, де $n = 1, 2, \dots$ (якщо кількість активних елементів дорівнює N_{OCH} , то повинно існувати nN_{HH} елементів ненавантаженого резерву);

– навантажене заміщення ($N_{OCH} + K_H$), коли на групі з N_{OCH} ідентичних активних елементів існує K_{HH} додаткових елементів, що перебувають в стані навантаженого резерву, де $N_{OCH} \geq K_H$;

– ненавантажене заміщення ($N_{OCH} + K_{HH}$), коли на групі з N_{OCH} ідентичних активних елементів існує K_{HH} додаткових елементів, що перебувають в стані холодного резерву, де $N_{OCH} \geq K_{HH}$;

– функціонально надлишкове забезпечення ($SN_{OCH} +$), коли група з N_{OCH} функціонально надлишкових елементів обладнання функціонує як пул певного функціонального ресурсу, кількість якого в S разів перевищує його номінальну потребу. В цьому випадку, якщо один з елементів обладнання вийде з ладу, потребу у використанні необхідного ресурсу задовольняють інші елементи цього пулу. S – коефіцієнт функціональної надмірності ресурсного пулу, де $2 > S > 1$. Якщо, наприклад, $S = 1,1$, то має місце десятипроцентна функціональна надлишковість, тобто забезпечено одночасне резервування функціональних можливостей тільки десятої частки від елементів пулу.

Слід виділити такі методи резервування макроелементів обладнання UTRAN:

1. Загальне навантажене резервування кожного контролера RNC ідентичним фізично відокремленим макроелементом за схемою $RNC_{OCH} + mRNC_H$, де зазвичай кратність резервування $m = 1$.

2. Загальне ковзне навантажене резервування базових станцій $nNB_{OCH} + mNB_H$ ($n = 1, 2, 3, \dots$ - кількість основних базових станцій), коли на групі з nNB_{OCH} базових станцій існує mNB_H додаткових, які перебувають у стані навантаженого резерву (необхідний час для підключення навантаженого резерву - не більше 1 с).

3. Загальне ковзне ненавантажене резервування базових станцій $nNB_{OCH} + mNB_{HH}$, коли на групі з nNB_{OCH} базових станцій існує mNB_{HH} додаткових, які перебувають у стані ненавантаженого резерву (необхідний час для здійснення заміщення - не більше 90 с).

4. Ковзне навантажене і ненавантажене резервування базових станцій

$$nNB_{OCH} + m_1NB_H + m_2NB_{HH},$$

коли на групі з nNB_{OCH} базових станцій існує m_1NB_H додаткових, які перебувають у стані навантаженого резерву, та m_2NB_{HH} додаткових базових станцій, які перебувають у стані ненавантаженого резерву.

5. Ковзне навантажене, полегшене та ненавантажене резервування базових станцій

$$nNB_{OCH} + m_1NB_H + m_2NB_{ПОЛ} + m_3NB_{HH},$$

коли на групу з nNB_{OCH} базових станцій існує m_1NB_H додаткових, які перебувають у стані навантаженого резерву, $m_2NB_{ПОЛ}$ додаткових Node B, які перебувають у стані полегшеного резерву, та m_3NB_{HH} додаткових Node B, які перебувають у стані ненавантаженого резерву.

б. Функціональне резервування базових станцій ($S_nNB_{OCH} +$), коли група з nNB_{OCH} функціонує як пул абонентського ресурсу, в якому кількість станцій в S разів перевищує його номінальну потребу в обробці обсягів трафіка (в цьому випадку, якщо одна з базових станцій вийде з ладу, то потребу у використанні її ресурсу задовольняють інші станції цього пулу). Якщо S – коефіцієнт функціональної надмірності ресурсного пулу Node B, тоді при $S = 2$ маємо стовідсоткову ресурсну абонентську надмірність. Необхідний час для здійснення функціонально надлишкового забезпечення Node B – не більше 1 с.

5. Структура середовища резервування конструктивних блоків базової станції та контролера базових станцій RNC

Об'єктами резервування є:

- конструктивні блоки (КБ) базової станції WAM і SW;
- конструктивні блоки контролера базових станцій FAM, VAM і LMT.

Слід виділити такі методи резервування КБ базової станції:

1. Загальне навантажене резервування (дублювання) ідентичним фізично відокремленим блоком кожного КБ в Node B за схемою $nKB_{OCH} + mKB_H$, де зазвичай кратність резервування $m = 1$.
2. Загальне ненавантажене резервування ідентичним фізично відокремленим блоком кожного КБ за схемою $nKB_{OCH} + mKB_H$.
3. Загальне одночасне навантажене та ненавантажене резервування КБ ідентичними фізично відокремленими блоками за схемою $nKB_{OCH} + m_1KB_H + m_2KB_{HH}$.
4. Загальне ковзне навантажене резервування блоків $nLMT_{OCH} + mLMT_H$, коли на групу з $nLMT_{OCH}$ існує $mLMT_H$, які перебувають в стані навантаженого резерву (зазвичай $m < n$).

Можливі варіанти схем резервування КБ в RNC:

1. Загальне ковзне навантажене резервування блоків $nLMT_{OCH} + mLMT_H$, коли на групу з $nLMT_{OCH}$ існує $mLMT_H$, які перебувають в стані навантаженого резерву.
2. Загальне ковзне ненавантажене резервування блоків $nLMT_{OCH} + mLMT_{HH}$, коли на групу з $nLMT_{OCH}$

існує $mLMT_{HH}$, які перебувають в стані ненавантаженого резерву.

3. Ковзне навантажене та ненавантажене резервування блоків $nLMT_{OCH} + mLMT_H + mLMT_{HH}$, коли на групу з $nLMT_{OCH}$ блоків існує m_1LMT_H додаткових блоків LMT, які перебувають в стані навантаженого резерву, та m_2LMT_{HH} додаткових LMT, які перебувають в стані ненавантаженого резерву.

6. Структура середовища резервування нижнього рівня (програмні модулі)

Об'єктами резервування є:

- програмні модулі (ПМ) «master O&M» і «telecom master» блоку WAM в BTS;
- програмні модулі «BTS Manager» і «manager AXC» блоку SW в BTS.

Можливі варіанти схем резервування ПМ:

1. Навантажене дублювання ідентичним логічно ізолюваним модулем кожного ПМ в BTS за схемою $N_{ПМ_{OCH}} + N_{ПМ_H}$.
2. Взаємне стовідсоткове функціонально надмірне забезпечення кожного ПМ з пари «master O&M» і «telecom master» та пари «BTS Manager» і «manager AXC» за схемою $2N_{ПМ_{OCH}} + 2N_{OCH}$. Наприклад, якщо у ПМ «master O&M» виникнуть проблеми невідповідності, тоді виконання його функцій візьме на себе ПМ «telecom master». Те ж саме стосується пари «BTS Manager» і «manager AXC».

Розроблена класифікація дозволить формалізувати структуру технологій резервування та виділити альтернативні практично значущі структури резервування для вибору оптимального варіанту.

7. Особливості резервування обладнання на рівні макроелементів RAN

Основний варіант забезпечення експлуатаційної надійності будь-якого макроелемента RAN показано на рис. 2.

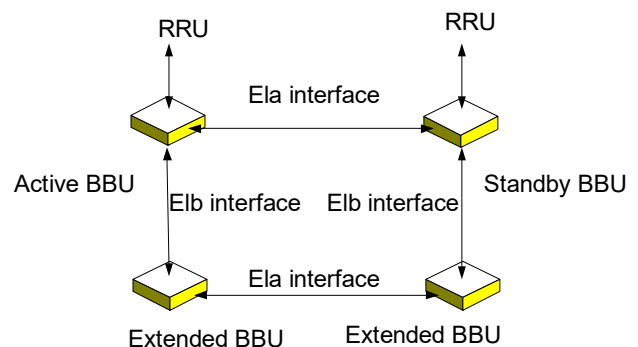


Рис. 2. Основний варіант резервування макроелементів RAN

Як бачимо, основний системний блок (ВВU) макроелемента резервується за схемою $KБ_{ОСН} + 1КБ_{Н} + 2КБ_{НН}$. Отже, маємо один активний системний блок Active ВВU, який на заданому інтервалі часу бере на себе робоче навантаження; один системний блок Standby ВВU, який здійснює функцію навантаженого резервування активного блоку; два додаткових пасивних системних блоки extended ВВU, які здійснюють функції ненавантаженого резервування як основного активного, так і резервного навантаженого системного блоку.

До основного системного блоку можуть бути підключені віддалені блоки RRU, які розміщуються у можливих місцях концентрації абонентського навантаження. Цим забезпечується надійність каналу транспортування інформації між основним та віддаленим блоками макроелемента.

8. Розрахунок готовності основного варіанту резервування макроелементів UTRAN

Для оцінювання коефіцієнта готовності резервованої системи використаємо методику, яку запропоновано в роботах [9, 10]. Процес експлуатації представляється як послідовність зміни різних станів (інтервалів) процесу, в яких може знаходитися i -й КБ. Таким чином, поведінку КБ на інтервалі експлуатації $(0, \infty)$ можна описати випадковим процесом $Li(t)$, $(i = \overline{1, m})$, $(t \geq 0)$ з кінцевим простором станів $E = \bigcup E_i$.

Кожний з КБ може перебувати в одному з наступних станів випадкового процесу $Li(t)$ [9]:

$G_1^{(i)}$ – якщо в момент часу t КБ використовувався за призначенням і перебував в працездатному стані;

$G_2^{(i)}$ – якщо в момент часу t КБ не використовувався за призначенням і проводився контроль його працездатності за допомогою вбудованої системи контролю (ВСК);

$G_3^{(i)}$ – якщо в момент часу t КБ не використовувався за призначенням і проводився його демонтаж або монтаж;

$G_4^{(i)}$ – якщо в момент часу t забракований КБ не за планом простоював через відсутність запасного КБ;

$G_5^{(i)}$ – якщо в момент часу t проводилося «хибне відновлення» КБ в сервісному центрі;

$G_6^{(i)}$ – якщо в момент часу t проводилося «вірне» відновлення КБ.

Для паралельної структури резервування коефіцієнт готовності визначається за формулою

$$K_{\Gamma} = 1 - (1 - EG_1/EG_0)^m, \quad (1)$$

де $EG_0 = EG_1 + EG_2 + EG_4$ – сума математичних сподівань перебування КБ у станах $G_1^{(i)}$, $G_2^{(i)}$ і $G_4^{(i)}$ відповідно.

При експоненціальному законі розподілу наробки до відмови використовуються вирази [10]

$$EG_1 = \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda [1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda\tau}]}; \quad (2)$$

$$EG_2 = \frac{1}{1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda\tau}} \left[\frac{\tau(1 - \beta e^{-\lambda\tau})}{1 - \beta} - \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda} \right], \quad (3)$$

де τ – періодичність контролю; λ – інтенсивність раптових відмов КБ; α і β – умовні ймовірності «хибної відмови» та «невиявленої відмови» під час контролю працездатності КБ відповідно.

Приклад. Визначимо коефіцієнт готовності блоку ВВU, якщо інтенсивність раптових відмов ВВU $\lambda_1 = 5,0 \cdot 10^{-5}$

1/год, $\alpha = \beta = 0,001$, $\tau = 1$ год, $MS_5 = 0$ (об'єм запасних частин необмежений). Порядок розрахунку коефіцієнта готовності полягає в наступному:

– визначаємо середній час перебування ВВU в працездатному стані за середній цикл регенерації за формулою (2)

$$EG_1 = \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda [1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda\tau}]} = 952,4 \text{ год};$$

– визначаємо середній час перебування ВВU в стані прихованої відмови за середній цикл регенерації за формулою (3)

$$EG_2 = \frac{1}{1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda\tau}} \left[\frac{\tau(1 - \beta e^{-\lambda\tau})}{1 - \beta} - \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda} \right] = 0,18 \text{ год};$$

– визначаємо середній цикл регенерації ВВU за формулою $EG_0 = EG_1 + EG_2 = 952,4$ год;

– визначаємо коефіцієнт готовності одного комплекту апаратури за формулою (1)

$$K_{\Gamma} = 1 - (1 - EG_1/EG_0)^m.$$

За відсутності резервування ($m = 1$) отримуємо

$$K_{\Gamma} = 0,9996.$$

При паралельному резервуванні ($m = 2$):

$$K_{\Gamma} = 0,999999.$$

Отримані результати свідчать про те, що за відсутності резервування готовність ВВU не відповідає вимогам «п'яти дев'яток». За допомогою резервування мож-

ливо істотно підвищити готовність системи й забезпечити задані вимоги. Однак при збільшенні кратності резервування необхідно враховувати вартість резервних комплектів. Вплив на вибір варіанту резервування експлуатаційних витрат є метою подальших досліджень.

9. Висновки

Проаналізовано блоки та макроелементи системи радіодоступу UTRAN. Проведено класифікацію видів резервування на прикладі обладнання компанії Huawei. Запропоновано класифікацію резервування для всіх рівнів обладнання та програмного забезпечення. Надана класифікація дозволяє визначити оптимальну технологію резервування блоків та макроелементів для забезпечення заданого рівня готовності. Показано на прикладі, що без застосування резервування не завжди вдається забезпечити необхідний рівень готовності ТКО. Отримані результати можуть бути використані виробниками ТКО, а також компаніями стільникового зв'язку в процесі впровадження та експлуатації обладнання 3G. Подальшим продовженням досліджень є розробка критерію оптимізації технологій резервування й оцінювання експлуатаційних витрат.

Література: 1. *Системи зв'язку з рухомими об'єктами* [Текст] : підручник // С. О. Кравчук, О. Г. Голубничий, А. Г. Тараненко та ін. К. : Вид-во ТОВ «Спринт-Сервіс», 2012. 452 с. 2. *Nakagava, T. Maintenance Theory of Reliability* [Text] / T. Nakagava. Springer Verlag, 2005. 258 p. 3. *Pham, H. Handbook of reliability engineering* [Text] / H. Pham.

London : Springer, 2003. 298 p. 4. *Dharmaraja, S. Reliability And Survivability Analysis For UMTS Networks* [Text] : An Analytical Approach / S. Dharmaraja, U. Varshney // IEEE Transactions On Network And Service Management. September 2008. Vol. 5, No. 3. P. 132-142. 5. *Lin, Yi-Bing. Per-User Checkpointing for Mobility Database Failure Restoration* [Text] / Yi-Bing Lin // IEEE Transactions On Mobile Computing. January-March 2005. Vol. 4, No. 1. P. 1-12. 6. *BSC6900 GSM. Hardware Description* [Text]. Huawei Technologies Co., Ltd., 2010. P. 9-12. 7. *Airbridge BTS3900C CDMA Base Station. Hardware Description* [Text]. Huawei Technologies Co., Ltd., 2010. P. 4-33. 8. *RAN12.0 3900 Series NodeB. Product Description* [Text]. – Huawei Technologies Co., Ltd., 2010. 70 p. 9. *Уланский В. В. Показатели эффективности эксплуатации резервированных авиационных радиоэлектронных систем* [Текст] / В. В. Уланский, И. А. Мачалин // Математичні машини і системи. – 2006. № 4. С. 155-163. 10. *Уланский В. В. Математическая модель процесса эксплуатации легкозаменяемых блоков систем авионики* [Текст] / В. В. Уланский, И. А. Мачалин // Авиационно-космическая техника и технология. 2006. № 6(32). С. 74-80.

Надійшла до редколегії 11.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Бараннік В.В.

Терентьєва Ірина Євгенівна, аспірантка каф. телекомунікаційних систем Національного авіаційного університету, E-mail: i.terentyeva@ukr.net.

Terentyeva Irina Evgenevna, aspirant, telecommunication systems, national aviation University. E-mail: i.terentyeva@ukr.net.