

## **АРХИТЕКТУРА И ПРОТОКОЛНИ НИВА ПРИ ЧЕТВЪРТА ГЕНЕРАЦИЯ МОБИЛНИ LTE МРЕЖИ**

**Пламен Кътев**

[plamen80@abv.bg](mailto:plamen80@abv.bg)

**ВТУ „Тодор Каблешков”, София 1574, ул. „Гео Милев” 158  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** LTE

**Резюме:** Като еволюционно продължение на 2G и 3G стандартите за безжична комуникация, се явява безжична широколентова технология за дългосрочно развитие (LTE - Long Term Evolution), като най-сериозен претендент за четвърто поколение безжични мобилни мрежи. Изискванията към LTE, и целите които са поставени пред тази технология, включват по-високи скорости за пренос на данни в сравнение с 3G мрежите, малка латентност, повишена производителност със значително намаляване на разходите. Също така се цели и изграждането на опростена архитектура, позволяваща непрекъсната мобилност включваща и останалите мрежи за радио достъп, както и постигането на гъвкавост в използването на честотния спектър, включващ нови и вече съществуващи честотни ленти.

В настоящия доклад се представя информация за централната мрежа и мрежата за достъп, интерфейсите и протоколната структура на LTE технологията.

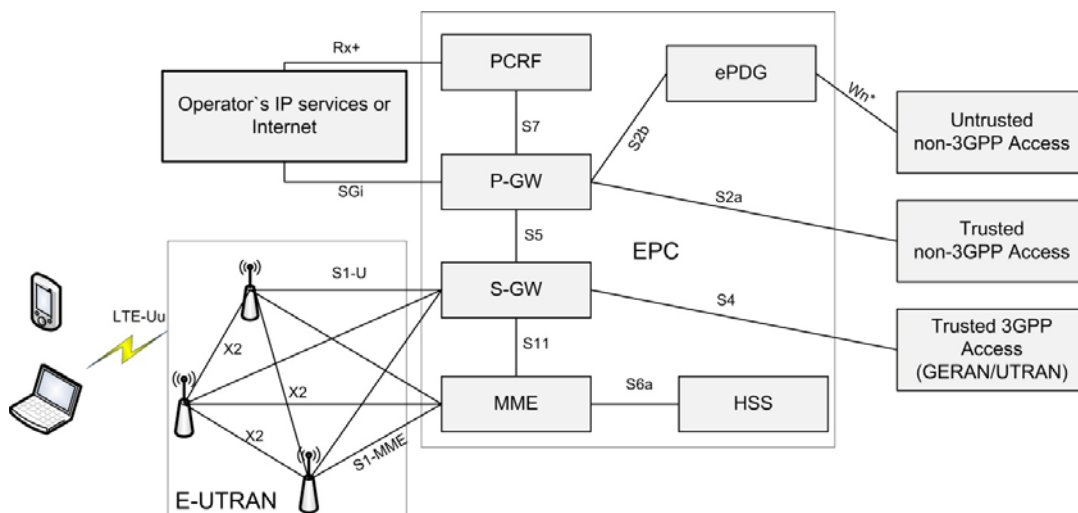
### **1. УВОД.**

Архитектурата LTE, е проектирана да осигурява пакетно ориентирани услуги (Packet Switched services), посредством IP (Internet Protocol) свързаност между терминалното устройство и мрежата за обмен на пакетни данни. В момента има два основни клона : 3GPP (3rd Generation Partnership Project) - Партньорския проект за трета генерация и 3GPP2. Проектите 3GPP и 3GPP2 преминават в единна спецификация, базирана на LTE [1]. Еволюцията на LTE, започва с 3GPP, версия 8 и продължава през версия 10. Основните изисквания към LTE, са поддръжка на множество честотни ленти, висока спектрална ефективност, много ниска латентност, по-голямо покритие и повишени върхови скорости, които да осигуряват съвременни услуги и приложения. Скоростите за пренос на данни, които трябва да бъдат поддържани, са 100 Mb/s – за висока мобилност и 1Gb/s – ниска мобилност.

В настоящия доклад, се разглеждат архитектурната структура на мрежата LTE, която се състои от централна мрежа и мрежа за достъп, протоколната архитектура – съставена от протоколи в контролно и потребителско ниво, и различните LTE интерфейси.

## 2. МРЕЖОВА АРХИТЕКТУРА НА LTE.

Терминът LTE, обхваща развитието на мрежата за радио достъп чрез Evolved-UTRAN (E-UTRAN), придружено от еволюцията на аспекти, които не са в радио частта под термина SAE (System Architecture Evolution – Еволюция на системната Архитектура). Мрежата LTE се основава на така наречената EPS (Evolved Packet System – развита пакетна система), която от своя страна е съставена от E-UTRAN и EPC (Evolved Packet Core – развито пакетно ядро), което всъщност представлява IP (Internet Protocol) базирана централна мрежа. Развита пакетна система интегрира в себе си всички възможни приложения на комуникационната система, чрез опростена архитектура. Ядрото EPC, осигурява така нареченото QoS (Quality of Service) – набор от различни правила и технологии в мрежата, позволяващи гарантирането на определено качество на телекомуникационните услуги, предоставяни на абонатите. Това се постига, чрез използването на така наречените EPS параметри за всяко едно приложение. Тези параметри са асоциирани с ARP (Allocation and Retention Priority – разпределение и запазване на приоритета) и QCI (Quality Class Identifier – идентификатор за класа на качество). Параметърът ARP решава конфликтите при търсенето на мрежови ресурси, а параметърът QCI специфицира приоритета на услугите, време закъснението на предаваните пакети, както и допустимият процент загуба на пакети. Както се вижда от Фиг.1, където е показана цялостната архитектура на LTE мрежата, EPS осигурява взаимна работа с други 3GPP и не-3GPP безжични технологии (например WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access). Развита пакетно ядро (EPC) отговаря за задачи, които не са свързани с радио разпространението и осигурява смесената работа на различни мрежи за достъп например WiMAX или WiFi. За разлика от EPC, E-UTRAN отговаря за процеси, свързани с радио разпространението, като: технологии с множество антени, управление на радио ресурсите, препредаване на сигналите, кодиране и др.



Фигура 1: Цялостна архитектура на LTE мрежата.

### 2.1. ЦЕНТРАЛНА МРЕЖА НА LTE.

Терминалното устройство може да се свързва към EPC, използвайки множество технологии за достъп. Тези технологии за достъп са съставени от:

- 3GPP достъп: тези технологии за достъп са специфицирани от 3GPP. Те включват GPRS (General Packet Radio Service), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), HSPA (High Speed Packet Access), LTE и LTE Advanced.

- Не-3GPP технологии за достъп: тези технологии за достъп не са специфицирани от 3GPP. Те включват технологии като cdma2000, WiFi или фиксираните мрежи. 3GPP специфицира два класа на не-3GPP технологии за достъп с различни механизми за сигурност:

- ✓ Trusted access (доверен достъп) – това са мрежи при които операторът счита че мрежата е доверена от гледна точка на сигурността и ни са необходими допълнителни механизми за сигурност. Такава мрежа е например cdma2000.
- ✓ Untrusted access (недоверен достъп) – това са мрежи, при които за свързването на терминалното устройство с мрежата е необходим допълнителен възел, наречен ePDG (evolved Packet Data Gateway – развит маршрутизатор за пакетна информация данни), който осигурява допълнителни механизми за сигурност (IPsec тунелиране) [2].

Развитото пакетно ядро е съставено от множество функционални устройства, които са отговорни за установяване на параметрите на мрежата, както и за управлението на терминалните устройства в мрежата. Централната мрежа (CN – Core Network) или наричано още EPC има следните възли:

- HSS (Home Subscriber Server – Сървър на домашния потребител). Този възел функционира като профил за качество на услугата (QoS) и информация за външните PDNs (мрежи за пакетни данни), към които абонатът може да получи достъпи до MME до който абонатът е свързан. Също така HSS може да съдържа центъра за автентичността AUC (Authentication center), който генерира векторите за идентификация и ключове за сигурност.

- MME (Mobility Management Entity – единица за управление на мобилността). Това е контролен възел на мрежата за радио достъп. Този възел отговаря за функциите за управление на параметрите които включват сигнални процедури използвани за формиране на пакетите данни. Възелът MME отговаря за сигнализацията между терминалното устройство (UE – User Equipment) и централната мрежа CN. Тази единица за управление на мобилността отговаря и за процедурите по сигурността и за договарянето на параметри като QoS. Една основна функция на MME е да проследява и поддържа текущото положение на терминалното устройство. Протоколите, използвани между терминалното устройство и централната мрежа са наричани още NAS (Non-Access Stratum)

- S-GW (Serving Gateway – обслужващ маршрутизатор). Това е възел на потребителско ниво. Неговата функция е да свърже E-UTRAN с EPC, както и да осигури връзка с други 3GPP технологии като GSM (Global System for Mobile Communications) и UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

- P-GW (PDN Gateway - Packet Data Network Gateway – маршрутизатор на мрежата за обмен на пакетна информация). Този маршрутизатор свързва терминалното устройство към външните мрежи за пакетна данни – PDNs (Packet Data Networks) и играе ролята на главен рутер към Internet. Този възел също така е отговорен за раздаването на IP адреси на мобилните устройства. Този възел действа също така като домашен агент (HA – Home Agent), осигурявайки безпроблемна мобилност на терминалното устройство между LTE мрежата и не-3GPP мрежи като WiMAX.

- PCRF (Policy Control and Charging Rules Function – политика на контрол и правила за функция за таксуване) – това е софтуерна компонента, която дава достъп до базата данни на абоната, както и за осигуряване на специализирани функции за взимане на решения при извършването на контролни функции. Тази функция е отговорна за формирането на политика за отчитането на QoS и дава инструкции на P-GW, кой клас

за идентифициране да се използва в зависимост от абонаментния профил на терминалното устройство [3].

- ePDG (evolved Packet Data Gateway – развит маршрутизатор за пакетна информация данни). Този възел е отговорен за съвместната работа между EPC не-3GPP мрежи които изискват сигурен достъп, като WiFi. Този възел извършва много важна функционалност по сигурността, тунелиране на съобщения за проверка за автентичност и оторизация и IPsec (Internet Protocol Security - закодиращ протокол, с който се целят удостоверение, взаимно доверие и целокупност на информацията между две машини) капсулиране и разкапсулиране на пакети.

## **2.2. LTE РАДИО МРЕЖА ЗА ДОСТЪП.**

Както се вижда от Фиг.1, LTE мрежата за радио достъп се състои само от един възел eNB (evolved Node Bs – развита базова приемо-предавателна станция), който комуникира с терминалното устройство. Целта на това опростяване е да се намали времезакъснението на всички операции по радио интерфейса. Всеки възел eNodeB е свързан с останалите, чрез интерфейса X2 и съответно този възел комуникира с EPC, чрез S1 интерфейса. Поради липсата на мрежов контролер, можем да кажем че това представлява плоска архитектура. Тази организация значително намалява сложността на системата, а съответно и разходите и намалява латентността. От гледна точка на функционалност, eNB отговаря за:

- Избирането на MME, по време на разговор.
- Контрол на мобилността между различните eNB.
- Кодирание и компресиране на потребителския поток данни.
- Контрол на радио ресурсите, отнасящи се до предаването по радио интерфейса между терминалното устройство и eNB.

Възлите eNB, са свързани по между си, чрез интерфейса X2. Интерфейса S1-MME, свързва eNB с MME, докато интерфейса S1-U, свързва eNB с S-GW.

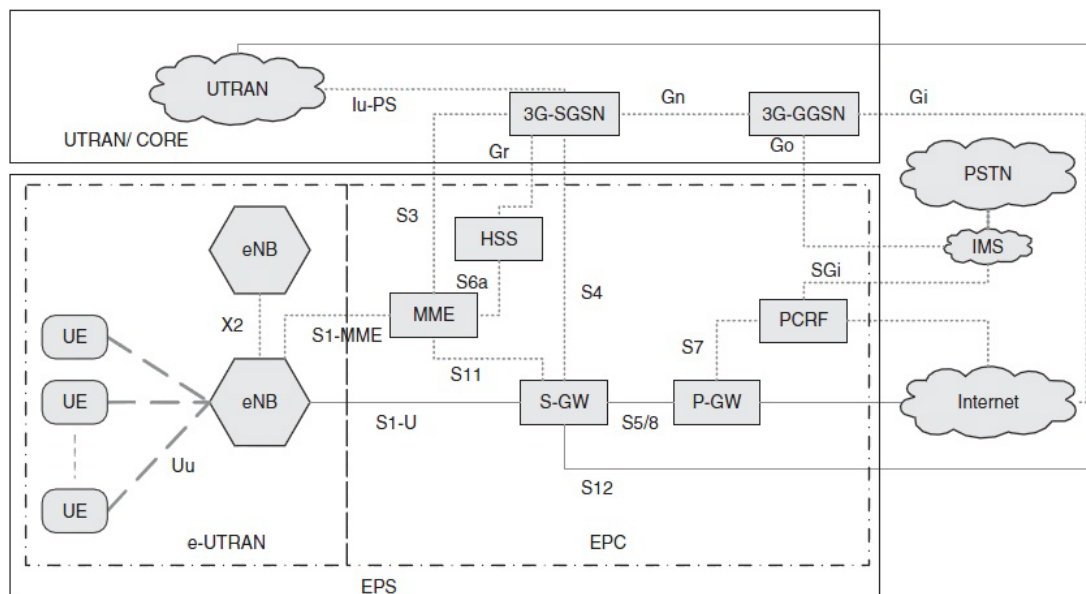
## **3. LTE ИНТЕРФЕЙСИ.**

На Фиг. 2 [3], са показани основните възли и всички съществуващи интерфейси в LTE архитектурата.

1. LTE-Uu е радио интерфейса между терминалното устройство и eNB. На Фиг.3 и Фиг.4, са показани интерфейсите между терминалното устройство и MME, както и използваните протоколи за връзка.

2. Интерфейсът S1, свързва E-UTRAN с ядрото EPC. Този интерфейс бива две разновидности – S1-MME и S1-U. Интерфейса S1-MME свързва eNB с контролния възел на ядрото MME. Този интерфейс осигурява надеждно предаване на данни, чрез използването на протокола SCTP (Stream Control Transmission Protocol – предавателен протокол за контролен поток данни) през IP (показано на Фиг.3). Протокола S1-U, свързва възела eNB с S-GW в потребителското протоколно ниво (показано на Фиг.4) и отговаря за надеждното предаване на данни между тези два възела. Този интерфейс се осъществява посредством протоколите GTP-U (GPRS Tunneling Protocol-User) през UDP/IP.

3. Интерфейсът X2 е интерфейса за осъществяване на връзка между отделните базови станции eNB. Този интерфейс бива два вида – в контролното и контролно ниво. В потребителско ниво X2 осигурява буферирано предаване на данни към терминалното устройство към терминалното устройство, когато то се предвижда от една базова станция към друга. В контролно ниво, интерфейса X2 отговаря за осигуряването на множество контролни функции и процедури между възлите eNB, като информация, свързана с процеса handover.



Фигура 2: Интерфейси в LTE мрежата

4. Интерфейсът S6a осигурява трансфера на данни необходими за установяване на автентичността и вида на абонента на терминалното устройство, за осигуряването на разрешен достъп потребителски до развитата система.

5. Интерфейса S11 отговаря за осъществяването на връзка между възлите MME и S-GW.

6. Интерфейсът S5 осигурява тунелирана връзка между S-GW и P-GW. Този интерфейс се използва при промяната на S-GW, поради преместването на терминалното устройство.

7. Интерфейсът S7 осъществява връзката между P-GW и PCRF [3].

8. Интерфейсът S4 служи за осигуряване на контрол и осигуряване на мобилност между SGSN (Serving GPRS Support Node) и S-GW и е базиран на Gn интерфейса, който служи за връзка между SGSN и GGSN (Gateway GPRS Support Node).

9. Интерфейсът S2a осъществява връзка на потребителско ниво между възела P-GW и доверени не-3GPP мрежи (показано на Фиг.1). Този интерфейс е базиран на

10. Интерфейсът S2b осигурява контролни функции в потребителско протоколно ниво и осигурява функциите на мобилност между възлите ePDG и P-GW. Този интерфейс е базиран на протокола Mobile IP (протокол позволяващ мобилни терминални устройства да се преместват от една мрежа в друга, докато използват постоянен IP адрес).

11. Интерфейсът Wn\* представлява връзката между недовени не-3GPP IP мрежи и възела ePDG.

12. Интерфейсът SGi, осигурява връзката между P-GW и мрежата за обмен на пакетни данни. Мрежата за обмен на пакети (Packet Data Network) може да бъде обществена външна или частна мрежа за пренос на пакетни данни.

13. Интерфейсът Rx+ осъществява връзката между приложните функции в доставчика на услуги или Интернет и възела PCRF.

14. Интерфейса S2c осигурява потребителско ниво със свързан контрол и поддръжка на мобилност между терминалното устройство и възела P-GW. Този интерфейс е базиран на протокола Mobile IP.

15. Интерфейсът S3 представлява връзката между SGSN и MME и позволява обмяната на потребителска и служебна информация в 3GPP мрежите в активен режим и режим на готовност.

16. Интерфейсът S8, представлява връзките в PLMN мрежите и дава връзките между S-GW в VPLMN (Visitor Public Land Mobile Network) и възела P-GW в HPLMN (Home Public Land Mobile Network).

17. Интерфейсът S9 осигурява политика за QoS и информация за контрол на таксуването между домашния възел PCRF и посещения PCRF.

18. Интерфейсът S10 представлява връзката между различни възли MME.

#### 4. LTE ПРОТОКОЛНИ НИВА.

На Фиг. 3 и Фиг. 4 [3], са показани съответно протоколните нива съответно за контролно и потребителски стек.

Функцията на слоя L1 е да осигури предаването на информация по физическите на по-горните слоеве от контролния и потребителски протоколен стек – RLC и MAC. Поради това той включва кодиране, модулация и функции за намаляване на грешките.

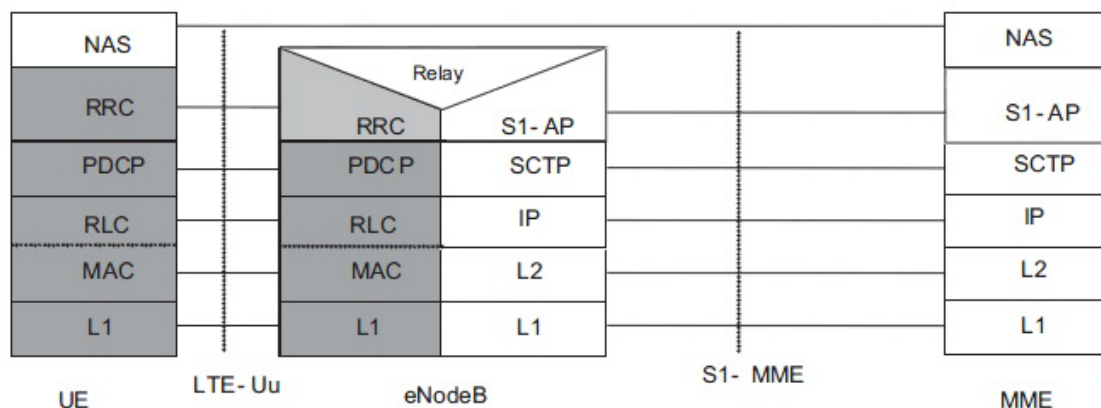
В слоя MAC (Medium Access Control) се съхранява графика за предаването възходяща и низходяща посока, логическия канал за мултиплексиране. Този слой определя дали транспортния канал да се използва или не.

Слоя RLC (Radio Link Control) изпълнява функцията сегментиране и съединяване на пакети със цел да се получи най-добро и пълноценно използването на наличния радио ресурс на мрежата. За тази цел този слой следи за всички получени и изпратени пакети.

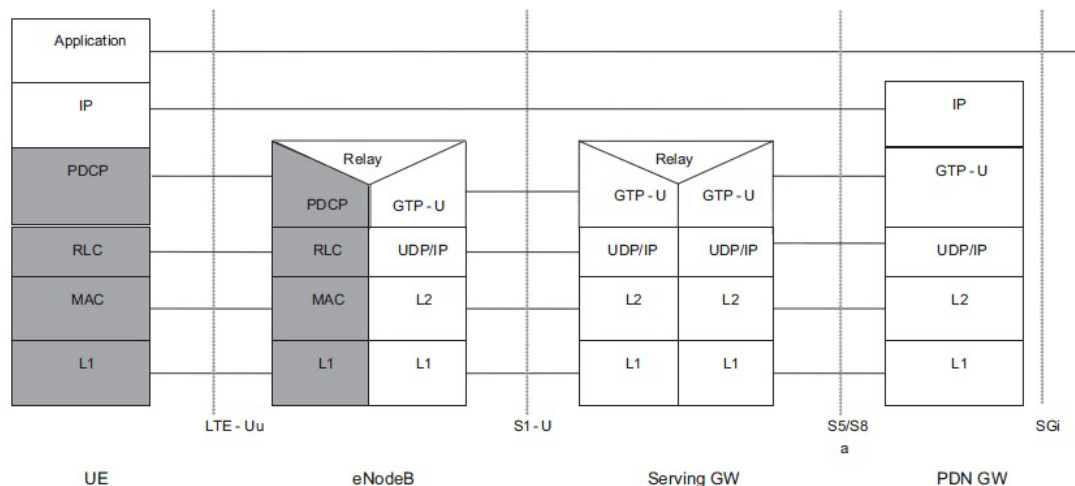
Слоя PDCP (Packet Data Convergence Protocol – протокол за сходство на пакетите данни) изпълнява функциите на компресиране и декомпресиране на заглавната част на пакета, шифриране и дешифриране, трансфер на потребителски данни и т.н. Основната функция на този слой е да включи процеса шифриране е да осигури целостта на предаваните пакети данни.

Протоколът RRC (Radio Resource Control) е връзка да сигнализация, чрез интерфейса LTE-Uu. Някои от основните услуги и функции на този слой включват контрол на мобилността, управление на функциите по управление на контрола на качеството QoS, управление на връзките и измервателен контрол.

Слоят NAS (Non Access Stratum) се намира между терминалното устройство и MME. Този слой изпълнява функции и процедури, които са напълно независими от технологиите за достъп. Тези функции са: удостоверяване на автентичността, таксуване и управление на сесиите, контролни процедури за сигурността на мрежата и др.



Фигура 3: Контролни протоколни нива в LTE мрежата



**Фигура 4: Потребителски протоколни нива в LTE мрежата**

Слоят S1 е базиран на протокола SCTP/IP (Stream Control Transmission Protocol/IP). Както TCP протокола (Transmission Control Protocol – мрежов протокол за управление на обмена на информация) лесно и безпроблемно доставя съобщения за сигнализация. Протокола S1-AP (S1 – Application Protocol) обработва индивидуални връзки и след това мултиплексира множество връзки в SCTP.

Протоколният потребителски стек използва протокола UDP/IP (User Datagram Protocol/IP) за пренасянето на информация на абоната на терминалното устройство, през интерфейса S1.

Протокола IP може да бъде версия 4 или версия 6.

Протоколът GTP-U (GPRS Tunneling Protocol - User) се използва в потребителското протоколно ниво за предаване на пакети в крайната страна.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Архитектурата на мрежите LTE е сравнително проста. Наричана още “плоска архитектура”, тя преобразува много сложни системи в една плоска архитектура. Това се постига, чрез използването на IP базираната мрежа. Това и предимствата, че има мащабируемост на използваните честотни ленти, както и използването на единна централна мрежа довежда до достигането на много ниска себестойност на мрежата, а съответно и на предлаганите услуги. Протоколната структура се състои от две области – контролен и потребителски протоколен стек.

Като едно голямо предимство на LTE мрежите е възможността да работят с мрежи от втора и трета генерация за разлика от WiMAX, използвайки една изцяло IP базирана мрежа.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Пламен Кътев, Вера Гугова, “Техникоикономически съображения при избор на WiMAX или LTE при преминаване към следващо поколение мобилни мрежи.”, Mechanics Transport Communications, 2011г.

[2] [http://en.wikipedia.org/wiki/System\\_Architecture\\_Evolution](http://en.wikipedia.org/wiki/System_Architecture_Evolution)

[3] Leonhard Korowajczuk, “LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis”, John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

[4] Stefania Sesia, Issam Toufik, “LTE – The UMTS Long Term Evolution”, John Wiley & Sons, Ltd, 2011.