

KAMIŃSKI Tomasz¹
NOWACKI Gabriel¹
NIEZGODA Michał¹
KRUSZEWSKI Mikołaj¹
LIPKA Adam²
NISKI Rafał²

TRANSMISJA DANYCH W SYSTEMIE ECALL PRZY UŻYCIU METODY IN-BAND

W artykule przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące techniki transmisji danych w kanale głosowym GSM, tzw. in-band modem opracowanej z myślą o systemie automatycznego powiadamiania o wypadkach drogowych - eCall. Technika ta została opracowana przez amerykańską firmę Qualcomm i umożliwia realizację transmisji tzw. Minimalnego Zestawu Danych (MSD – Minimum Set of Data), a także prowadzenie rozmowy między osobami poszkodowanymi, znajdującymi się w pojeździe, który uległ wypadkowi, a dyspozytorem w centrum ratunkowym. Przedstawiony opis sposobu transmisji opiera się na dokumentach standaryzacyjnych stowarzyszenia 3GPP. Dzięki standaryzacji każdy pojazd wyposażony w urządzenie pokładowe eCall będzie mógł nawiązać połączenie z centrum powiadamiania ratunkowego na terenie całej Europy.

DATA TRANSMISSION IN ECALL SYSTEM WITH USING OF IN-BAND METHOD

This article presents key information about the so-called in-band modem technique, which is a solution for data transmission in the GSM voice channel. This technology was developed by the USA-based company Qualcomm purely for the purpose of the eCall system. It substantially simplifies the Minimum Set of Data (MSD) transmission process and at the same time it supports a verbal communication between the people injured in the accident and the dispatcher in a rescue center. The in-band modem technical description provided in this article is mostly based on the relevant standardization documents created by the 3GPP. Thanks to the standardization, each and every vehicle equipped with an on-board eCall device will be able to connect with the emergency center throughout Europe.

¹Instytut Transportu Samochodowego, 03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 80, tel. +48 22 8113231, fax. +48 22 8110906, e-mail: tomasz.kaminski@its.waw.pl, gabriel.nowacki@its.waw.pl, michal.niezgoda@its.waw.pl, mikolaj.kruszewski@its.waw.pl

²Instytut Łączności Państwowy Instytut Badawczy, 04-894 Warszawa, ul. Szachowa 1, tel.: +48 58 341 71 21, fax: +48 58 341 71 12, e-mail: A.Lipka@itl.waw.pl, R.Niski@itl.waw.pl

1. WSTĘP

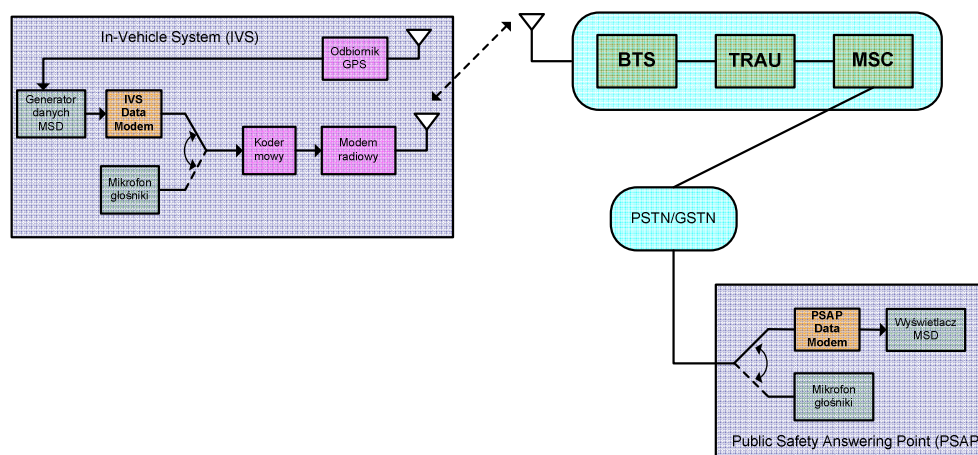
Idea transmisji radiowej realizowanej w systemie eCall między modułem IVS (zainstalowanym w pojeździe) a modułem PSAP (po stronie dyspozytorskiej) zakłada, że oba wykorzystywane w tym systemie strumienie, tj. sygnały mowy oraz dane (MSD, a także komunikaty sterujące) przesyłane będą przy wykorzystaniu infrastruktury telekomunikacyjnej (komórkowej) w tym samym kanale głosowym. W związku z powyższym, z punktu widzenia operatora sieci telekomunikacyjnej, cały strumień informacji powiązany z systemem eCall będzie przesyłany przez sieć jako „klasyczne” połączenie głosowe. Do jego obsługi stosowane będą te same procedury i wykorzystywane będą te same zasoby sieciowe, które byłyby niezbędne dla obsługi dwóch abonentów rozmawiających ze sobą za pośrednictwem telefonu komórkowego. Dlatego też połączenie w systemie eCall, z punktu widzenia operatora i infrastruktury, będzie dla sieci komórkowej transparentne, to znaczy podczas transmisji w systemie eCall z technicznego punktu widzenia przesyłane będą sygnały mowy. W efekcie dla operatora obsługa połączeń eCall nie będzie powodowała konieczności modyfikacji infrastruktury telekomunikacyjnej. W dwukierunkowym łańcuchu transmisji eCall: IVS – sieć komórkowa – PSAP, zdecydowanie najbardziej odpowiedzialne i skomplikowane technicznie funkcje pełnią dwa skrajne elementy tego łańcucha, ponieważ do modułu IVS i PSAP należy wykonanie większości procedur związanych z przygotowaniem strumienia danych do postaci umożliwiającej jego późniejszą transmisję w kanale głosowym, a także pozyskanie z odebranych pakietów danych części głosowej oraz części zawierającej dane.

2. TRANSMISJA DANYCH W KANALE GŁOSOWYM

Realizacja transmisji danych w kanale głosowym jest zadaniem złożonym. Kodery mowy są projektowane w taki sposób, aby możliwie najlepiej dopasować je do charakterystyki ludzkiego głosu, z kolei właściwości strumienia danych są diametralnie różne od sygnałów mowy. Zatem próba bezpośredniej transmisji danych przy użyciu kodera mowy skutkować będzie wyraźnymi zniekształceniami odebranego sygnału, często nawet uniemożliwiającymi odtworzenie strumienia nadanego przy zachowaniu dopuszczalnej wartości stopy błędów. Aby częściowo rozwiązać ten problem, dla potrzeb systemu eCall postanowiono wykorzystać rozwiązanie zwane „in-band modem” w wariantcie zaproponowanym przez amerykańską firmę Qualcomm i zatwierdzone przez 3GPP w stosownych specyfikacjach [1, 2]. Rozwiązanie to sprowadza się do implementacji w torze nadawczo-odbiorczym systemu eCall pary modemów (po jednym w module IVS i PSAP), które działają w trybie pełnego duplexu. Dzięki wykorzystaniu odpowiednich algorytmów przetwarzania sygnałów umożliwiają one wiarygodną transmisję Minimalnego Zestawu Danych z IVS do PSAP w kanale głosowym zestawionym przez operatora komórkowego na potrzeby obsługi wywołania alarmowego eCall. Tryb pełnego duplexu, w jakim działają oba modemy oznacza, że każdy z tych modułów pełni zarówno funkcje nadawcze, jak i odbiorcze, tzn. modem IVS zawiera elementy nadajnika w łączy „w górę” (do PSAP), jak i odbiornika w łączy „w dół” (do IVS). Z kolei modem PSAP stanowi nadajnik dla łączy „w dół” oraz odbiornik dla łączy „w górę”. Podstawowym powodem, który przesądził o wyborze tego rozwiązania na potrzeby systemu eCall był fakt, że umożliwia ono transmisję danych przez większość powszechnie wykorzystywanych

koderów mowy z bardzo niewielkimi zniekształceniami, a dodatkowo zapewnia dostatecznie duże prędkości transmisji, pozwalające na spełnienie kryteriów czasowych stawianych w systemie eCall [3]. Najważniejszym z nich jest konieczność dostarczenia pakietu MSD do Centrum Powiadamiania Ratunkowego w czasie nie dłuższym niż 4 sekundy [2, 4].

Ogólny schemat architektury telekomunikacyjnej systemu eCall, z uwzględnieniem elementów charakterystycznych dla techniki in-band modem przedstawiono na rysunku 1.



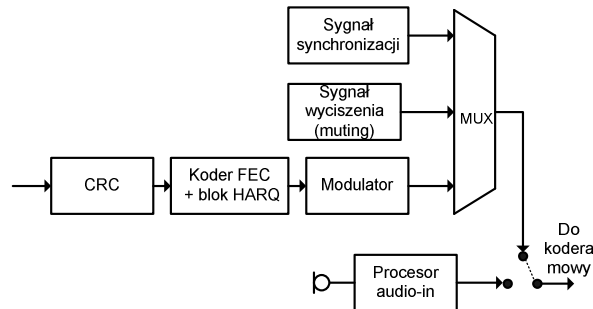
Rys. 1. Architektura systemu eCall z uwzględnieniem elementów typowych dla techniki in-band modem

Na rysunku 1 kolorem pomarańczowym zaznaczono modemy IVS oraz PSAP. W przypadku modułów IVS oraz PSAP, zaznaczono dwa równoległe tory, które symbolizują oba obsługiwane strumienie, tj. mowy i danych. Strumień danych reprezentowany jest przez tor „górnny”, zawierający modem, natomiast strumień mowy symbolizuje tor „dolny”, oznaczony na rysunku 1 jako „Mikrofon głośniki”.

Od momentu zestawienia połączenia alarmowego w systemie eCall, odbiornik w modemie IVS rozpoczyna proces ciągłego nasłuchu sygnałów pochodzących z wyjścia dekodera mowy. W momencie otrzymania ze strony PSAP żądania nadania bloku MSD, modem IVS zostaje podłączony do wejścia kodera mowy i cała procedura związana z wysłaniem MSD zostaje zainicjowana, natomiast sygnał przenoszący rozmowę (między osobą znajdującą się w pojeździe a dyspozytorem) zostaje na czas transmisji MSD zagłuszony. Ma to na celu zapobieżenie wzajemnemu zakłócaniu się strumieni mowy i danych. Opisany powyżej tryb, w którym transmisja MSD jest inicjowana w wyniku bezpośredniego żądania ze strony PSAP, określany jest jako tryb „pull”. Możliwy jest również wariant, w którym to IVS sam inicjuje rozpoczęcie nadawania MSD. Odbywa się to w taki sposób, że IVS wysyła do PSAP zgłoszenie o przesłaniu stosownego żądania, a po jego odebraniu przystępuje do realizacji transmisji MSD analogicznie jak w trybie „pull”. Drugi z opisanych trybów w anglojęzycznej nomenklaturze systemu eCall nazywany jest trybem „push”.

3. NADAJNIK IVS

Zadaniem nadajnika IVS jest przygotowanie danych MSD do formatu odpowiedniego do transmisji w kanale głosowym. Dane z wyjścia nadajnika IVS trafiają bezpośrednio na wejście kodera mowy. Na rysunku 2 przedstawiono schemat funkcjonalny nadajnika IVS.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny nadajnika IVS

Dane MSD, które pojawiają się na wejściu nadajnika IVS, podlegają kodowaniu kodem detekcyjnym CRC (Cyclic Redundancy Check). Po zakodowaniu długość tak zabezpieczonego ciągu wynosi $N=1148$ bitów. Transmitowana wiadomość MSD składa się ze 140 bajtów ($K=1120$ bitów), zatem wielomian generujący kod CRC jest stopnia $N-K=28$ i ma następującą postać:

$$g_{CRC28}(D) = D^{28} + D^{26} + D^{24} + D^{23} + D^{18} + D^{17} + D^{16} + D^{15} + D^{14} + D^{11} + D^8 + D^4 + D^3 + 1$$

Następnie dane są poddawane kodowaniu HARQ obejmującemu trzy etapy: skramblowanie, turbokodowanie oraz algorytm HARQ. Skramblowaniu poddawany jest ciąg MSD uzupełniony o bity CRC, zgodnie z formułą:

$$a_s(i) = a_{crc}(i) \text{ XOR } b_{scm}(i), i = 0, \dots, 1147$$

gdzie:

a_{crc} – ciąg bitów MSD uzupełniony o bity CRC,

b_{scm} – sekwencja skramblująca,

XOR – funkcja logiczna alternatywy wykluczającej (*Exclusive OR*).

Turbokodowanie zaimplementowane w systemie eCall wykorzystuje turbokoder złożony z dwóch identycznych 8-stanowych koderów opisywanych wielomianem generującym:

$$g_0(D) = g_1(D) = 1 + D^2 + D^3$$

oraz pojedynczego bloku realizującego przeplot danych (tzw. „*interleaver*”).

Wynikiem działania hybrydowego algorytmu ARQ (czyli po prostu algorytmu HARQ) w przypadku systemu eCall jest wygenerowanie 8 różnych wersji zakodowanego bloku MSD, które są wykorzystywane przy kolejnych retransmisjach MSD. Kolejne wersje oznaczane są w nomenklaturze systemu eCall jako rv_0, rv_1, \dots, rv_7 (RV – *redundancy version*). Wszystkie te wersje powstają w oparciu o ciąg bitów uzyskany z turbodekodera i każda z wersji składa się z 1380 bitów dzięki wykluczaniu (punktowaniu) określonych bitów. Pozycje bitów podlegających wykluczaniu stanowią podstawowy czynnik różniący między sobą kolejne wersje RV.

Przed rozpoczęciem procesu modulacji, zakodowane bity przenoszące wiadomość MSD są grupowane w symbole. W przypadku systemu eCall każdy symbol złożony jest z trzech bitów i moduluje tzw. falę bazową w łączu „w górę” (*basic uplink waveform*) – $w_0(k)$, która jest równoważna pojedynczej ramce modulacyjnej.

W ogólności w łączu w górę zdefiniowano dwa tryby modulacji:

- Tryb fast – tryb standardowy, stosowany w przypadku normalnych warunków w kanale,
- Tryb robust – tryb zapasowy, wykorzystywany przy wyjątkowo złych warunkach w kanale.

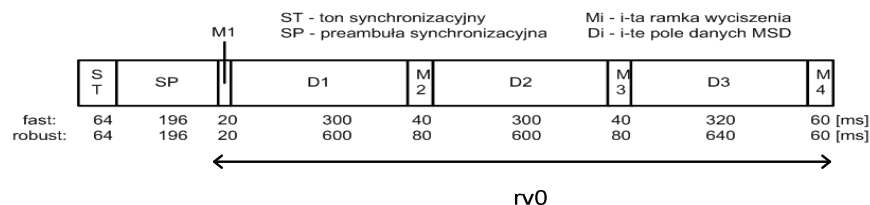
4. SYNCHRONIZACJA I MULTIPLEKSACJA DANYCH

W celu zapewnienia stabilności procesu transmisji danych zastosowano synchronizację przy użyciu ramki synchronizacyjnej zbudowanej z tonu synchronizacyjnego i preambuły synchronizacyjnej. Ton synchronizacyjny stanowi sygnał sinusoidalny o czasie trwania 64 ms i częstotliwości 500 Hz lub 800 Hz. Częstotliwość określa tryb modulacji jaki został zastosowany w ramach MSD następujących bezpośrednio po bieżącej ramce synchronizacyjnej: 500 Hz wskazuje tryb „fast”, zaś 800 Hz – tryb „robust”.

Ramkę synchronizacyjną uzupełnia preambuła synchronizacyjna, czyli znana po stronie odbiorczej sekwencja próbek, dobrana tak, aby postać jej funkcji autokorelacji była możliwie optymalna, co ma zwiększać wiarygodność detekcji preambuły po stronie odbiorczej. Preambułę wyznacza się w oparciu o ustalony pseudoprzykładowy ciąg bazowy złożony z 15 elementów: $\{1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1, -1\}$, przy czym amplituda każdego z nich wynosi 20000 – w zapisie 16-bitowym ze znakiem.

Zarówno tony synchronizacyjne, jak i preambuła mogą być przechowywane w pamięci ROM (Read-Only Memory) dla uniknięcia konieczności wyznaczania ich w czasie rzeczywistym. Całkowity czas trwania ramki synchronizacyjnej jest równy 260 ms.

W bloku multiplexera łączone (multiplesowane) są ramki synchronizacyjne, ramki danych MSD oraz tzw. ramki wyciszenia (muting frames), w wyniku czego powstaje ramka danych w łączu „w górę”. Jej strukturę przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Ramka danych w łączu „w górę”

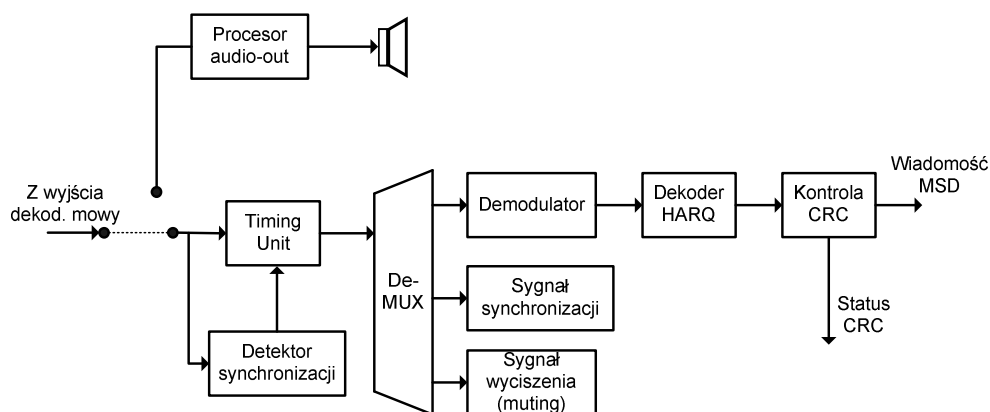
Na rysunku 3 zaznaczono czasy trwania poszczególnych elementów ramki. Czasy te są różne w zależności od wykorzystywanego trybu modulacji. Zawartość ramki przedstawiono w tabeli 1, przy czym nie uwzględniono elementów ramki synchronizacyjnej, pokazanych na rysunku 3 i oznaczonych skrótami „ST” oraz „SP”.

Tab. 1. Format ramki w łączu „w górę”

Poz.	Tryb fast	Tryb robust
1	1 ramka wyciszenia M1 (20 ms)	1 ramka wyciszenia M1 (20 ms)
2	15 ramek zmodulowanych danych D1 (300 ms)	30 ramek zmodulowanych danych D1 (600 ms)
3	2 ramki wyciszenia M2 (40 ms)	4 ramki wyciszenia M2 (80 ms)
4	15 ramek zmodulowanych danych D2 (300 ms)	30 ramek zmodulowanych danych D2 (6300 ms)
5	2 ramki wyciszenia M3 (40 ms)	4 ramki wyciszenia M3 (80 ms)
6	16 ramek zmodulowanych danych D3 (320 ms)	32 ramek zmodulowanych danych D3 (640 ms)
7	3 ramki wyciszenia M4 (60 ms)	3 ramki wyciszenia M4 (60 ms)
Suma	54 ramki (1080 ms)	104 ramki (2080 ms)

5. ODBIORNIK PSAP

Schemat funkcjonalny odbiornika PSAP przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat funkcjonalny odbiornika zawartego w bloku PSAP

Od momentu zainicjowania transmisji MSD, co zarówno w trybie „pull”, jak i „push”, zawsze sprowadza się do żądania przesłanego przez PSAP (anglojęzyczne oznaczenie Centrum Powiadamiania Ratunkowego) do IVS, blok PSAP (moduł detektora synchronizacji) rozpoczyna monitorowanie sygnałów przychodzących z sieci telekomunikacyjnej w celu detekcji początku transmisji eCall. Kolejną funkcją realizowaną przez detektor jest wyznaczenie relacji czasowych w odebranych sygnałach. W oparciu o tę informację w następnych krokach wyznaczane jest między innymi dokładne umiejscowienie początku pola danych. Dla wstępnej detekcji rozpoczęcia transmisji eCall wystarczy wykrycie pojedynczej preambuły synchronizacyjnej. Rozpoczyna to proces odbioru wiadomości MSD, z tym zastrzeżeniem, iż po wykryciu pierwszej preambuły synchronizacyjnej odpowiedni moduł odbiornika sprawdza preambułę jeszcze w 10 kolejnych ramkach. Może się bowiem zdarzyć, iż w którejś z nich preambuła będzie „lepiej” (tzn. będzie ona wykryta z większym prawdopodobieństwem), niż w pierwszym przypadku. W takiej sytuacji oznaczałoby to, iż w pierwszym przypadku detekcja preambuły była błędna i konieczna jest powtórna transmisja MSD.

Jak już wspomniano, preambuła synchronizacyjna została dobrana w taki sposób, aby jej funkcja autokorelacji miała odpowiednie właściwości dla zapewnienia możliwie optymalnej detekcji po stronie odbiorczej. Algorytm w bloku detektora synchronizacji wyznacza wartość opóźnienia poprzez analizę poprawności odległości między pięcioma „pikami” funkcji autokorelacji. Preambułę uznaje się za wykrytą poprawnie, jeśli odległość między parą pików jest poprawna przy dodatkowym założeniu, iż uwarunkowania dotyczące amplitud tychże pików są spełnione.

Podstawową funkcją bloku Timing Unit jest korekcja odebranego sygnału w funkcji czasu, tak aby możliwa była poprawna realizacja kolejnych etapów algorytmu odbiorczego (rys. 4). Wartości wszelkich przesunięć czasowych, jakim podlega odebrany sygnał są dobierane na podstawie informacji uzyskanych w bloku detektora synchronizacji.

Z kolei zadaniem demultipleksera jest rozdzielenie w odebranych sygnałach komponentów wyciszenia oraz synchronizacji od pól przenoszących dane MSD. Od tego momentu dalsze procedury odbiorcze realizowane są wyłącznie na tych właśnie polach danych.

Kolejny moduł odbiornika PSAP stanowi demodulator danych realizowany jako korelator dopasowany do zmodulowanych fal generowanych w bloku modulatora w nadajniku IVS. Dla przeprowadzenia demodulacji konieczne jest wykonanie operacji korelacji względem wszystkich możliwych symboli modulacyjnych, co przekłada się na pewną czasochłonność tej procedury. Po zakończeniu korelacji, uzyskane wartości konwertowane są na tzw. „symbole miękkie” (soft symbols), które trafiają na wejście kolejnego elementu toru odbiorczego, tj. dekodera FEC HARQ.

Blok dekodera FEC HARQ łączy zdemodulowane sygnały z wersjami nadanymi podczas wcześniejszych transmisji. Aby było to możliwe, wykorzystywane są: dwustopniowy algorytm dopasowywania szybkości (rate matching scheme) oraz turbodekodowanie symboli miękkich uzyskanych w poprzednim etapie algorytmu odbiorczego.

Blok kontrolera CRC (CRC handler) sprawdza wartość sumy kontrolnej CRC i następnie ustawia flagę CRC. W zależności od wartości, jaką przyjmuje ta flaga, nadajnik PSAP transmituje stosowną wiadomość systemową – tj. ACK (w przypadku pomyślnego odbioru MSD) lub NACK (w przypadku przeciwnym).

6. PODSUMOWANIE

Wybrana w przypadku systemu eCall technika in-band modem ma zapewnić odpowiednią niezawodność nawiązania połączenia i transmisji danych ponieważ chodzi o bezpieczeństwo i życie ludzi znajdujących się w pojeździe, który uległ kolizji. Transmisja danych w kanale głosowym ma zapewnić niskie koszty infrastruktury telekomunikacyjnej, która nie będzie wymagać przystosowania do współpracy z urządzeniami systemu eCall. Transmisja danych w kanale głosowym wymaga jednak zastosowania wysokiej jakości urządzeń nadawczo-odbiorczych, które sprostają wymaganiom związanym przede wszystkim z odpowiednią synchronizacją podczas transmisji danych.

W wyniku realizacji badawczego projektu rozwojowego nr *NR10-0016-06/2009* opracowano urządzenie nadawczo-odbiorcze symulujące działanie pokładowego urządzenia eCall. Opracowano również moduł-nadawczo odbiorczy, który symuluje działanie urządzenia, które będzie w przyszłości instalowane w Centrach Powiadamiania Ratunkowego.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] 3GPP TS 26.267, eCall Data Transfer; In-band modem solution; General description (Release 9), 2009.
- [2] 3GPP TS 26.268, eCall Data Transfer; In-band modem solution; ANSI-C reference code (Release 9), 2009.
- [3] M. Werner, Pietsch C, et al., Cellular In-Band Modem Solution for eCall Emergency Data Transmission, IEEE VTC Conference, Spring 2009.
- [4] General description (Release 9), 2009, 3GPP TS 22.101, v.11.0.0, Service Aspects, Service Principles, Sep 2010.