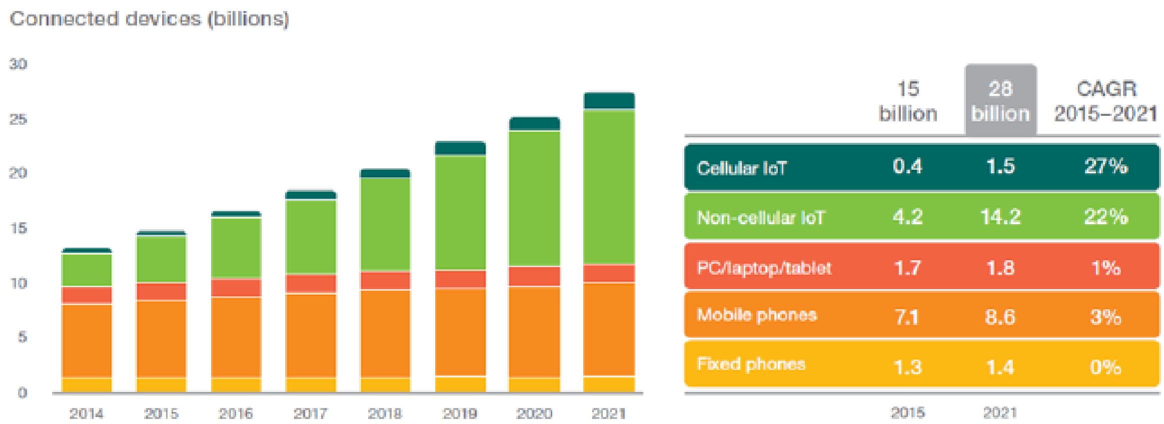
窄帶物聯網(NB-IOT)概述

1 前言

物聯網(IoT)被視為現在及未來無線通信技術的一股重要驅動力量，在第三代合作夥伴計劃(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)Release 13版本已經定義窄帶物聯網(NB-IoT)為一個新的物理層。這篇文章中將簡單介紹窄帶物聯網並提供如何利用羅德史瓦茲的相關儀器設備輕鬆簡易的量測窄帶物聯網產品的相關特性。

2 物聯網(IoT)簡介

物聯網(IoT)被視為現在及未來無線通信技術的一股重要驅動力量，而物聯網這個名詞亦即沒有使用者與機器間的互動行為，純粹為眾多機器間彼此互相通信所行成的網路。舉例來說，使用者從自動提款機提領現金，提款機被提領現金後，必須通知銀行的資料庫，需要將使用者銀行帳戶內扣除提領的現金數。又或者工業用設備會將其所量測的溫度資訊傳送到某固定的雲端，讓人們可藉著應用程式監視工業設備溫度的變化。早在西元2008年，眾多機器設備接連上網際網路(Internet)的數目已經比人還要多，而這個數目還在持續成長中。這些正在成長的裝置有以無線連線的方式直接聯接到網際網路。



圖一: 機器設備接連上網際網路(Internet)的數目，物聯網設備被預期將成為最大的成長動力

相關的應用包括:

- 穿戴式裝置(智慧手表, 感測器,...)
- 智慧家庭
- 智慧城市
- 健康管理

● 汽車工業

● 資產追蹤

● ...

物聯網通信需求非常多樣，舉例來說，簡單的感測器僅需非常低速率的資料量傳輸，及可接受的傳輸延遲。然而，這些裝置在物聯網世界占絕大多數。另一方面，在汽車應用上，需要瞬間傳送大量資量以及非常低傳輸延遲。一般而言，物聯網對通信裝置主要需求包含:

● 低成本

● 低功耗

在網路端有些額外的要求:

●低延遲

● 可存取性

● 覆蓋範圍

● 網路超載控制

系統設計者會針對不同的需求找到對應通信技術來解決:

● 無線廣域網路 (2G/3G/4G)

– GSM, CDMA, UMTS, LTE

● 無線區域/個人網路

– Bluetooth, ZigBee, Thread, Wi-Fi

● 低功率廣域網路

– Sigfox, Weightless, LoRa, NB-IoT

● 其他

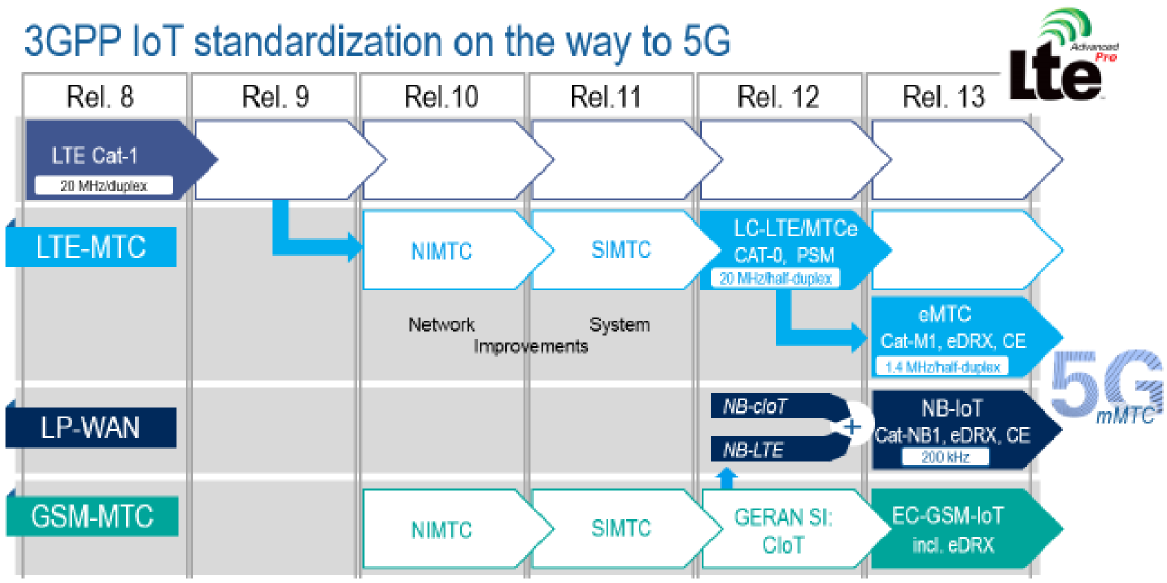
– 衛星通信, DSL, 光纖網路

從Release 10，3GPP組織開始發展所謂的機器型式通信(machine type communications ，MTC)，這成為接下來在Release 12多樣的解決方案的基礎。最3GPP 在Release 13提出的技術主要有三種標準:

● 窄帶物聯網(NB-IoT)

● 增強型機器型式通信(eMTC)

● 擴展覆蓋 GSM 技術(EC-GSM-IoT)



圖二: 在第三代合作夥伴計劃(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)物聯網相關通信技術發展過程

3 窄帶物聯網(NB-IoT)

雖然是被規定在3GPP LTE (Release 13) 的規格中，實際上，窄帶物聯網(NB-IoT)代表一個全新的物理層，這個意思是窄帶物聯網(NB-IoT)並不相容於LTE。從一開始，窄帶物聯網(NB-IoT)規格包含考量它和LTE及GSM的共存性，部分LTE的物理層也被窄帶物聯網(NB-IoT)重新利用，就如同窄帶物聯網的名稱本身，使用一個窄頻寬的信號。因此，窄帶物聯網(NB-IoT)主要為半穩定狀態，低耗能的低傳輸速率應用。這類的應用不需要基地台換手的情境，然而，有相當數量的裝置是屬於這類應用，感測器傳輸就是一個很好的例子。除此之外，資料傳輸量需要較大時，eMTC為另一個較佳的選擇。在3GPP (Release 13) 的規格針對窄帶物聯網(NB-IoT)也同時導入一個新的手機分類: Cat. NB1.。

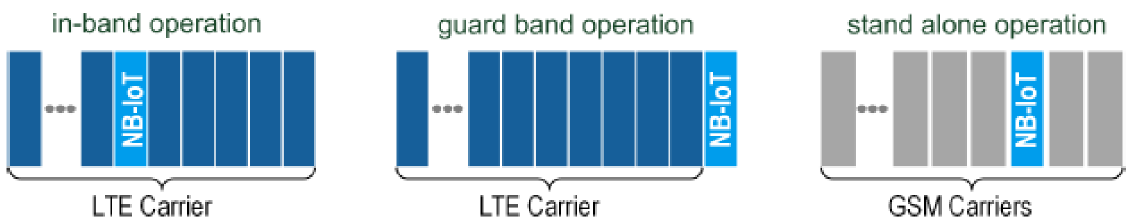
3.1 操作模式

窄帶物聯網(NB-IoT)頻道寬度為200 kHz，而實際上僅占用180 kHz。這等同於一個LTE 資源區塊的大小(1 RB)，這個頻道寬度啟動三種操作模式:

● 獨立操作模式(Standalone operation) – 窄帶物聯網(NB-IoT)個別獨立操作 與LTE信號無關，就如同GSM使用通道的方式相同，GSM使用200KHz頻寬，且在信號兩邊提供各10KHz的保護頻帶。.

● 保護頻帶操作模式(Guard band operation) – 窄帶物聯網(NB-IoT)利用LTE在保護頻帶的資源區塊

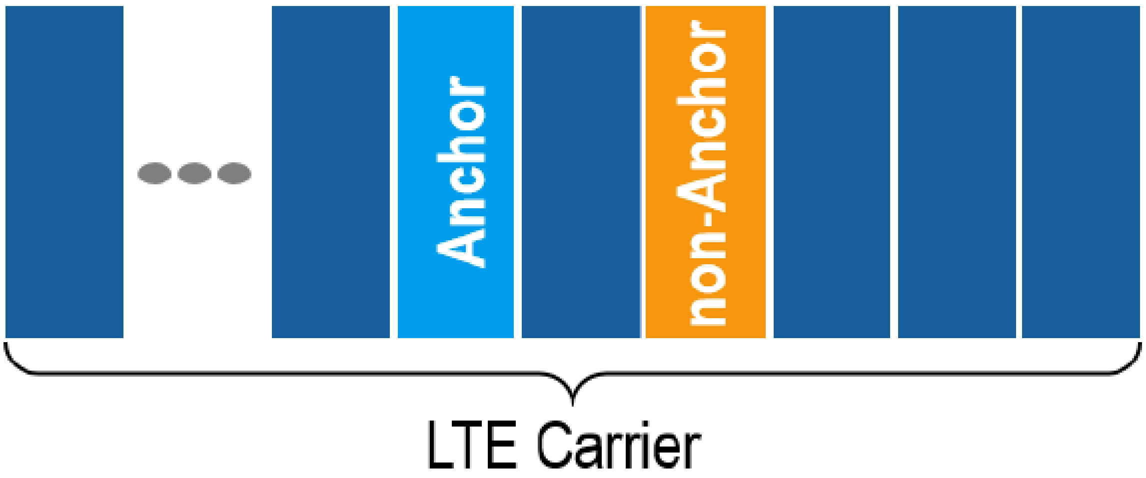
●帶內操作模式(In-band operation) – 窄帶物聯網(NB-IoT) 重新使用當下沒被使用的LTE頻帶內資源區塊



圖三: 窄帶物聯網(NB-IoT) 三種操作模式

3.1.1 帶內操作模式(In-band operation)

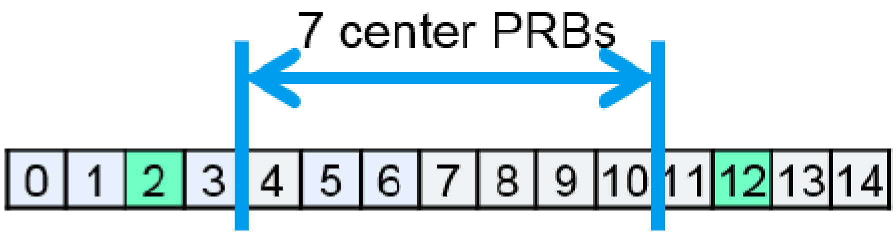
在3GPP (Release 13)並沒有規定在LTE 與 窄帶物聯網(NB-IoT)之間如何安排資源區塊(resource blocks ，RB)，但細胞連接(同步，尋呼手機)時，僅能建立在某些固定資源區塊(resource blocks ，RB)。在所使用頻帶中間的資源區塊(在頻寬10MHz，20MHz中間的6個資源區塊，在頻寬3MHz，5MHz，15MHz中間的7個資源區塊)不能被使用，因為這些資源區塊是LTE用來傳送同步信號。也因為容量限制，窄帶物聯網(NB-IoT)不能指定使用1.4MHz頻寬。資源區塊用來做細胞連接稱之為錨定載波(anchor carriers)，如表一。其他用來做為實際交換用途的資源區塊稱之為非錨定載波(non-anchor carriers)。



圖四: 錨定載波(anchor carriers)和非錨定載波(non-anchor carriers)

LTE system bandwidth	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
LTE PRB indices for NB-IoT syn-chronization	2, 12	2, 7, 17, 22	4, 9, 14, 19, 30, 35, 40, 45	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 42, 47, 52, 57, 62, 67, 72	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95

表一:在NB-IoT 帶內操作模式下，被允許用來做為細胞連接的LTE 資源區塊索引號碼



圖五: 以3MHz頻道頻寬為例，中間的七個資源區塊禁止被使用因為這些資源區塊是LTE用來傳送同步信號.

3.1.2 保護頻帶操作模式(Guard band operation)

在保護頻帶操作模式，窄帶物聯網(NB-IoT)使用LTE
保護頻帶裡的資源區塊，同步信號必須完全地落在保護頻帶裡。

3.1.2.1 半雙工模式(Half-duplex mode)

在3GPP (Release 13)規格中，type B半雙工
FDD被選為雙工模式。這意思是上行和下行在各自的頻率點，即使手機不同時接收或發射信號。除此之外，在每次從上行路徑切換到下行路徑或者下行換到上行，至少要有個保護次框架(guard subframe,SF)的時間，讓手機有足夠的時間做傳送信號或接收信號路徑切換。

3.2 使用頻帶

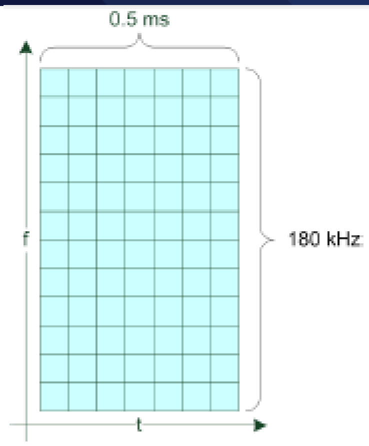
在3GPP (Release 13)規格中提供表二中所列的使用頻帶，窄帶物聯網(NB-IoT)使用與LTE相同號碼定義使用頻帶，但僅取LTE部分頻帶定義為窄帶物聯網(NB-IoT)使用。

Band number	Uplink frequency range / MHz	Downlink frequency range / MHz
1	1920 - 1980	2110 - 2170
2	1850 - 1910	1930 - 1990
3	1710 - 1785	1805 - 1880
5	824 - 849	869 - 894
8	880 - 915	925 - 960
12	699 - 716	729 - 746
13	777 - 787	746 - 756
17	704 - 716	734 - 746
18	815 - 830	860 - 875
19	830 - 845	875 - 890
20	832 - 862	791 - 821
26	814 - 849	859 - 894
28	703 - 748	758 - 803
66	1710 - 1780	2110 - 2200

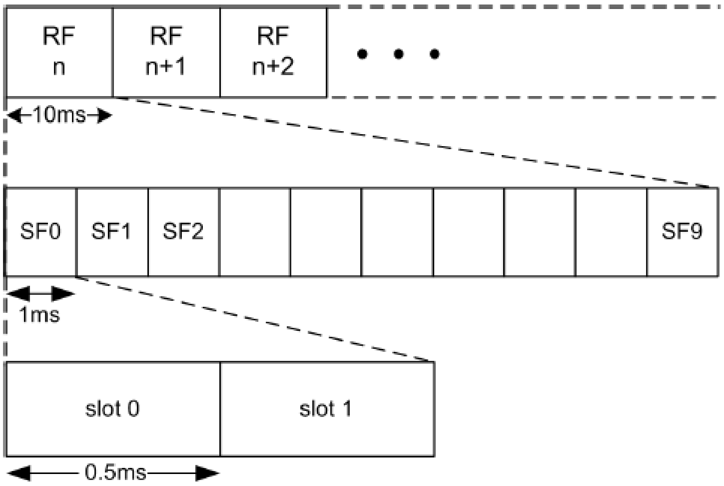
表二:NB-IoT 使用頻帶

3.3 下行路徑

下行方面和LTE相同但包含有限度的簡化，如空間多工(Spatial multiplexing)並沒有被定義，僅單一資料流被傳送，但兩組天線的分散傳送模式(TX diversity)被採用。下行方向使用每個載波間隔15KHz 的OFDMA 調變模式。窄帶物聯網(NB-IoT)使用12個載波，共佔據180KHz頻寬。每個時槽(time slot)由七個OFDMA字符組成，這形成所謂的LTE中的一個資源區塊(resource block ，1 RB)，而一個資源元素(resource element ，RE)為在一個OFDMA的字符裡的一個次載波(subcarrier)，如圖六。窄帶物聯網(NB-IoT)下行信號僅定義QPSK的調變。



圖六: 下行網格: 12 個15KHz 寬載波共佔據180 KHz 頻寬每個時槽(time slot)，由七個OFDMA 字符組成每個次框架(subframe)由兩個時槽(slot)組成，10個次框架為一個射頻框架(radio frame)



圖七: 下行方向， 時槽(slots), 次框架(subframes) 和射頻框架(radio frames) 關係圖

3.3.1 參考及同步信號

如同LTE，窄帶物聯網(NB-IoT)提供手機下行方向控制信號:

●同步信號(Synchronization signals)幫助手機頻估時間與頻率.同步信號有兩種如下表列:

– 窄帶主要同步信號(Narrowband primary synchronization signal ，NPSS)，不帶有分區識別碼(Sector ID)

– 窄帶次要同步信號(Narrowband secondary synchronization signal ，NSSS)，帶有細胞識別碼(Physical Cell ID)

● 窄帶參考信號(narrowband reference signal ，NRS)幫助手機頻估通道品質及支持傳送分散模式(TX diversity)

3.3.2 物理層通道

窄帶物聯網(NB-IoT)定義三個物理層通道如同在LTE

所指定功能，只不過在名稱前多個字母”N”，代表窄帶物聯網(NB-IoT)。

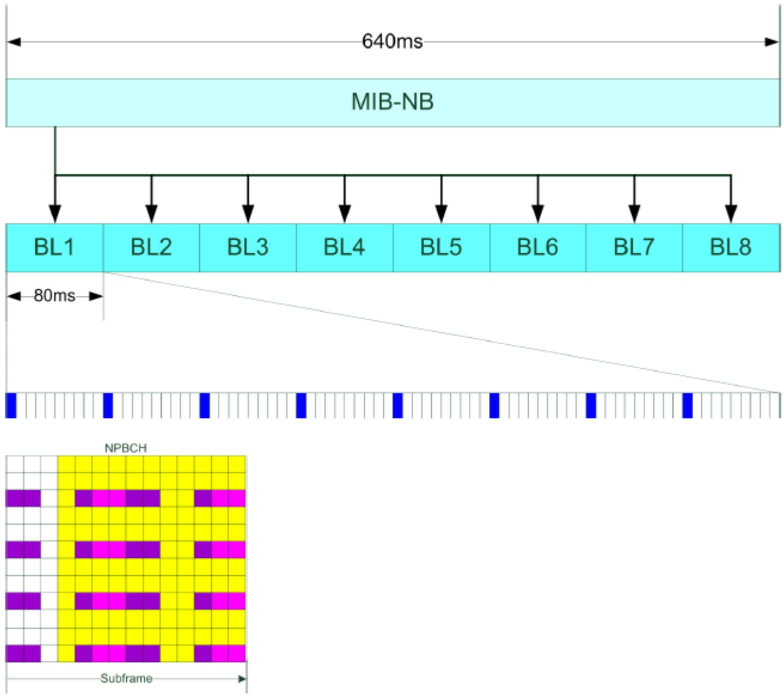
● 窄帶物理層廣播通道(NPBCH ，narrowband physical broadcast channel)–

此通道承載窄帶主資訊區塊(narrowbandmaster information block ，MIB-NB)。

● 窄帶物理層下行控制通道(NPDCCH， narrowband physical downlink control channel) –
此通道提供手機兩個重要資訊:
– 哪些下行資料被指向手機端。
– 甚麼上行資源可被手機使用。
● 窄帶物理層下行分享通道(NPDSCH ， narrowband physical downlink shared channel) –
此通道傳輸使用者下行資料。

3.3.2.1 窄帶物理層廣播通道

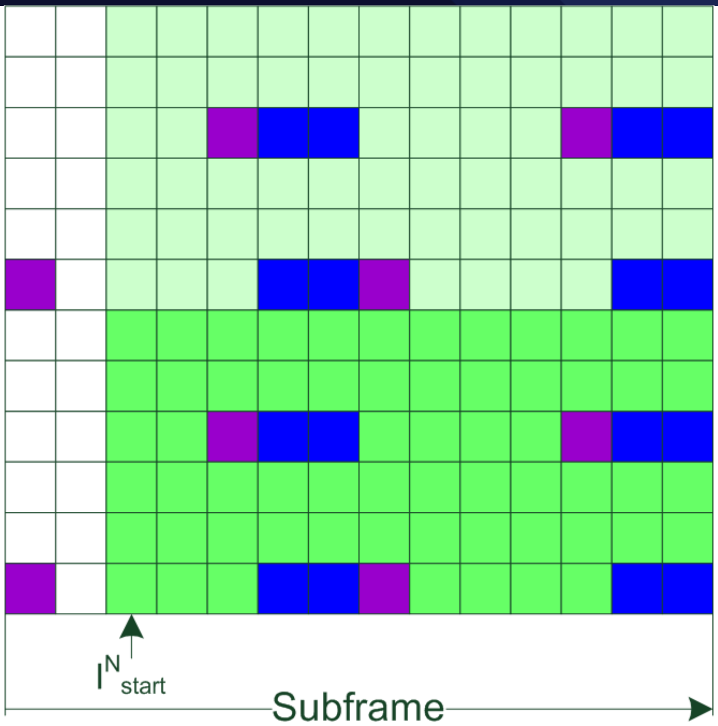
窄帶物理層廣播通道(NBPCH)由八個獨立的80ms 時間長的區塊組成，這些區塊都是在射頻框架的次框架0的位置傳送然後重覆傳送八次(也就是每個射頻框架傳送一次)。然而，窄帶物理層廣播通道(NBPCH)不會在次框架的前三個字符被傳送以避免與LTE的控指通道衝突。



圖八:黃色部分代表窄帶物理層廣播通道(NBPCH)所佔據的資源元素(RE)。其它顏色代表參考信號所佔據(粉紅色: NB-IoT窄帶參考信號(NRS)，紫色:LTE 細胞參考信號(CRS))

3.3.2.2 窄帶物理層下行控制通道

窄帶物理層下行控制通道(NPDCCH)有三種新的下行控制資訊(DCI) 格式:
● N0:分配資源到手機上，能用來透過窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH)傳送資料。
● N1:通知手機何時資料在窄帶物理層下行分享通道 (NPDSCH)。
● N2: 用來尋呼手機及方向指示。
窄帶物理層下行控制通道在一個次框架中可以占據前六個低位次載波或者所有12個次載波。在圖九中，I^{N}_{start} 參數定義在次載波中起始字符的位置。



圖九:綠色部分代表窄帶物理層下行控制通道(NPDCCH)(深綠色:NCCE 1，淺綠色:NCCE 2)。其它顏色代表參考信號所佔據(藍色: NB-IoT窄帶參考信號(NRS)，紫色:LTE 細胞參考信號(CRS)) ，這是在帶內操作模式LTE 使用一隻天線，NB-IoT使用兩隻天線的例子。

然而有些固定的延遲會發生在窄帶物理層下行控制通道下命令到手機與手機實際執行動作之間。例如，至少有五個次框架的時間延遲會發生在窄帶物理層下行控制通道(NPDCCH)和窄帶物理層下行分享通道(NPDSCH)之間，或者有八個次框架的時間延遲會發生在窄帶物理層下行控制通道(NPDCCH)和窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH)之間。

3.3.2.3　窄帶物理層下行分享通道

窄帶物理層下行分享通道(NPDSCH)與窄帶物理層下行控制通道(NPDCCH)得格式相同，如圖九。資料能夠擴展到幾個次框架，窄帶物理層下行分享通道能夠重複資料傳送以增加傳輸距離。透過窄帶物理層下行控制通道手機可被通知最多2048次重傳數目。

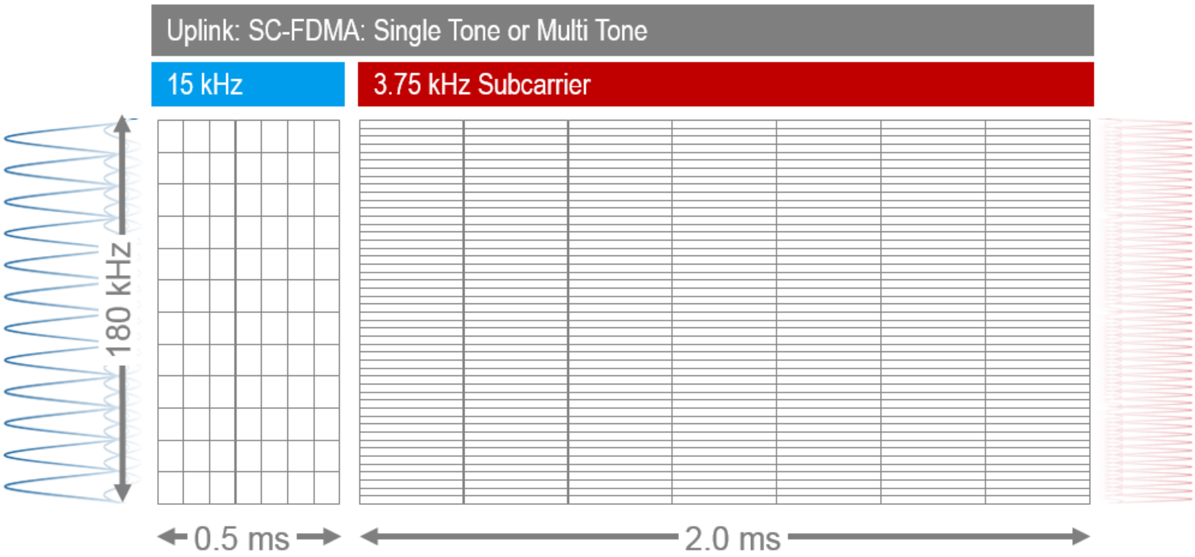
基站能夠要求從手機回覆的回應(ACK)，這個回應定義在窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH) DCI 格示2。窄帶物理層下行分享通道(NPDSCH)也支持多重載波操作模式。在閒置狀態時，手機與定錨載波同步，在連接狀態時，其它的載波(非定錨載波)可以做為資料傳輸用。

3.4　上行路徑

有兩種不同的可能性被定義，單一載波或者多重載波。

● 單一載波(Single-tone): 15 kHz 或者3.75 kHz 這兩種載波間距，而單一載波是每個NB-IOT的裝置都必須要具備的。

● 多重載波(Multitone): SC-FDMA 調變方式，15 kHz載波間距，而這個功能並不是每個NB-IOT裝置都必須的， 而上行多重載波的處理方式與下行方式及LTE相同。



圖十: 上行方向資源元素的網格

當載波間距為15 kHz，則在一個資頻源區塊180KHz頻寬中則有12個載波，而在載波間距為3.75 kHz時則可得48個載波。窄帶物聯網(NB-IoT)定義兩個物理層通道和解調變參考信號(DMRS)，如同在LTE所指定功能，只不過在名稱前多個字母”N”，代表窄帶物聯網(NB-IoT):

- 窄帶物理層上行分享通道(narrowband physical uplink channel，NPUSCH)
- 窄帶物理層隨機存取通道(narrowband physical random access channel，NPRACH)

3.4.1 窄帶物理層上行分享通道

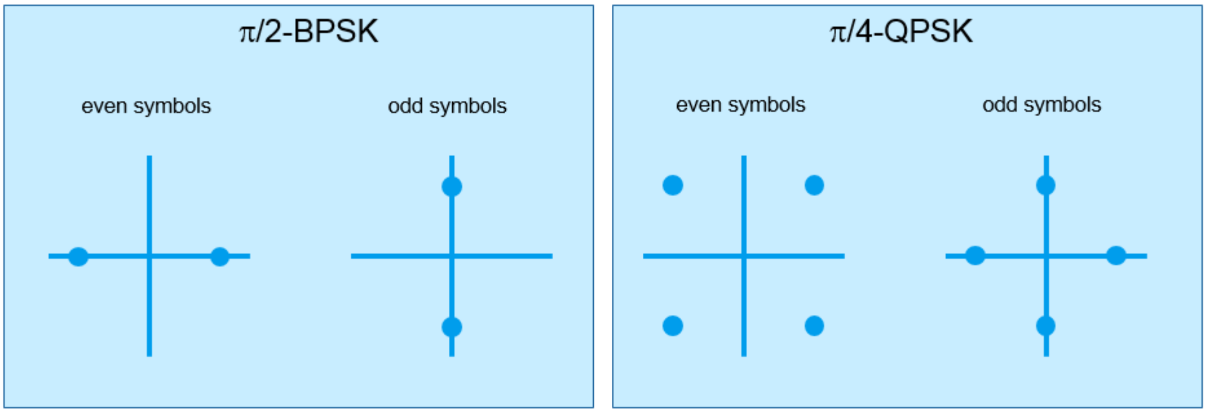
窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH) 傳輸兩種形式的資訊:

- 在上行路徑的真實資料 (NPUSCH 格式 1)
- 上行路徑控制資訊(Uplink control information ，UCI) (NPUSCH 格式 2)

格式2
(控制資訊)總是使用一個以二進位相位移動鍵(BPSK)調變方式的載波，承載回應下行資料通道(NPDSCH) ACK功能 。格式 1(使用者資料)能夠使用一個或多個載波，如果是單一載波，其使用調變方式為π/2-BPSK或者 π/4-QPSK。但為多個載波時，則使用QPSK。窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH)
可以重複重送資料128次以增加傳送距離。

Physical channel	Transport channel	Number of carri-ers	Modulation scheme	Channel coding
NPUSCH format 1	UL-SCH	1 (single-tone)	π/2-BPSK π/4-QPSK	Turbo 1/3
		> 1 (multitone)	QPSK	
NPUSCH format 2	UCI	1 (single-tone)	π/2-BPSK	Block 1/16

表三: 窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH) 格式

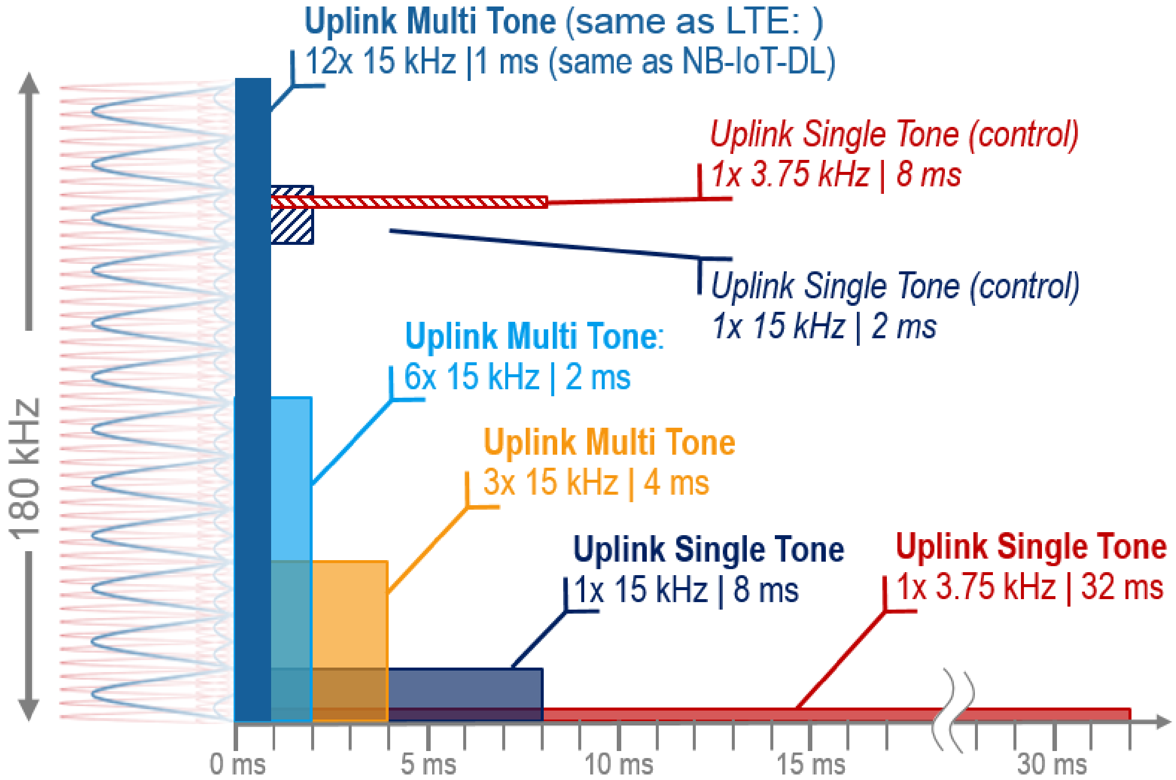


圖十一: 上行調變架構

窄帶物聯網(NB-IoT)定義一個新的資源單位(resource unit ，RU)以描述一個窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH)如何被安置到載波及時槽，其中，一個時槽有七個SC-FDMA的字符組成。表四提供一個概述，圖十二則以圖式方式方便大家了解。

NPUSCH format	**Transport channel**	**Δf in kHz**	**Number of carriers**	**Number of slots**	**Number of symbols**	**T^{slot} in ms**	**T^{RU} in ms**
1	UL-SCH	3.75	1	16	7	2	32
		15	1	16		0.5	8
			3	8		0.5	4
			6	4		0.5	2
			12	2		0.5	1
2	UCI	3.75	1	4		2	8
		15	1	4		0.5	2

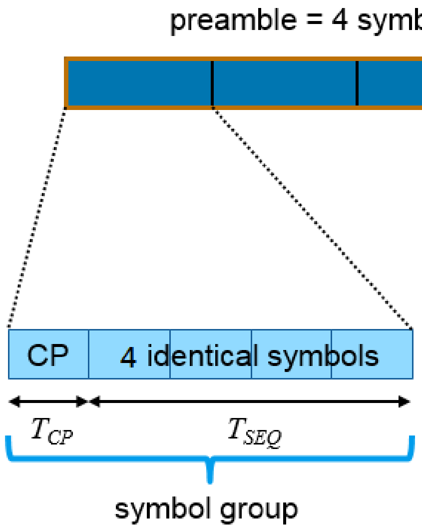
表四: 窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH)資源單位一覽表



圖十二: 窄帶物理層上行分享通道(NPUSCH)資源單位分配圖

3.4.2 窄帶物理層隨機存取通道

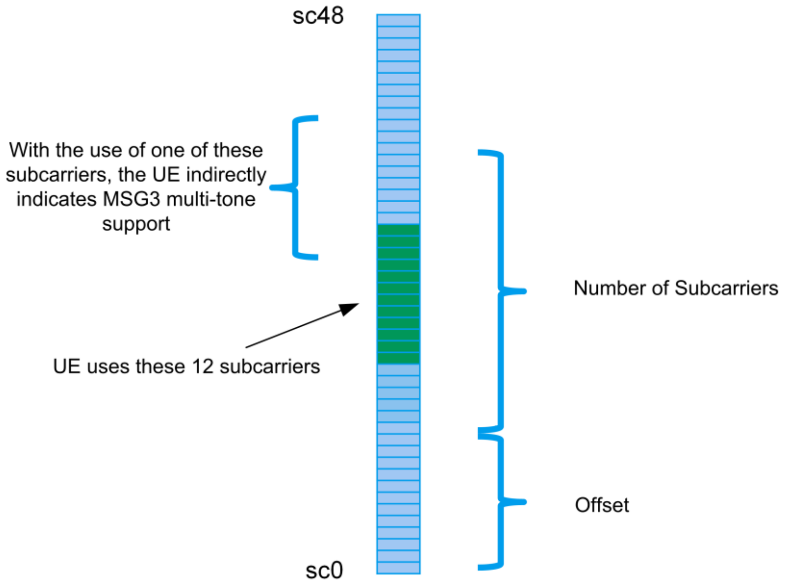
窄帶物理層隨機存取通道(Random access channel ，NPRACH)
使用單一載波及頻率跳頻方式，載波頻寬為3.75 kHz。載波前置部分包含四組字符群組，可以重覆重送1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 或 128 次。四個群組的每一個是由循環前置字符和四個相同的字符組成。



圖十三:
窄帶物理層隨機存取通道(NPRACH)由四個字符群組組成，每一個字符群組包含一個循環前置字符和四個相同的字符

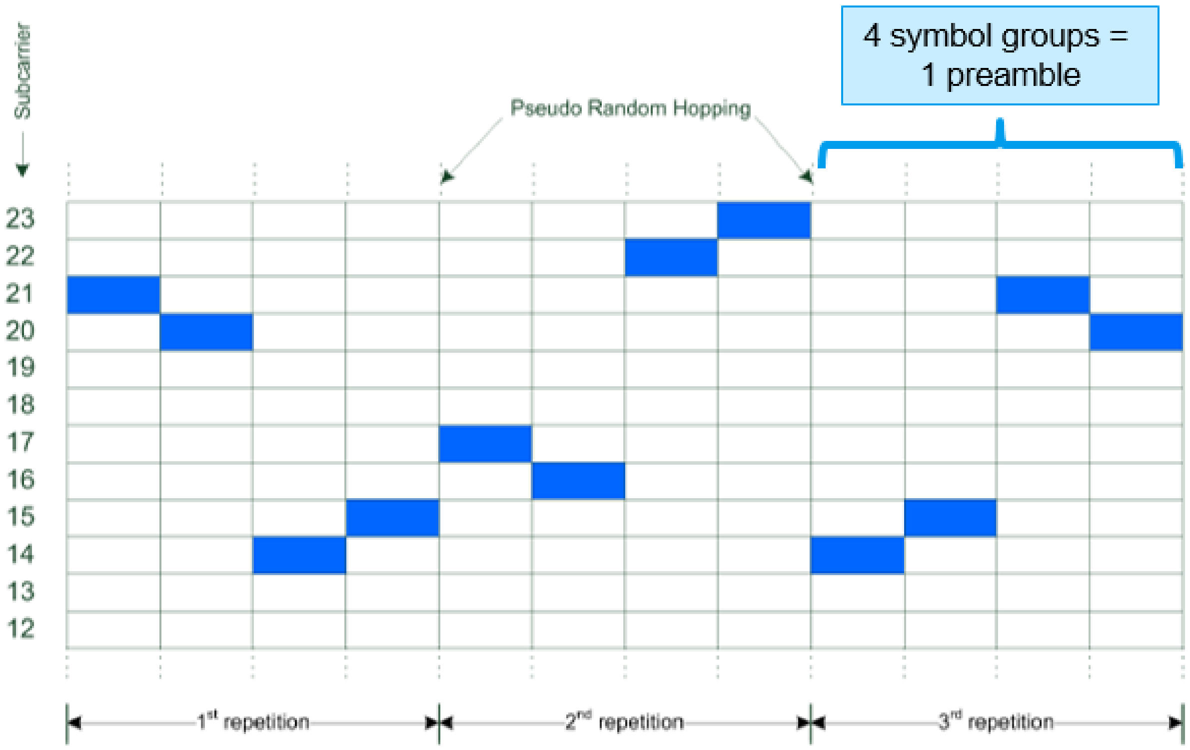
窄帶物理層隨機存取通道(NPRACH)跳頻範圍在鄰近的12個載波，基地台指定一個頻率範圍給被允許跳頻載波和透過SIB

通知雙方延遲大小及允許範圍 ，另一方面，手機可以選擇12個子載波。假如手機選擇特定範圍數個指定載波，這個會讓基地台知道手機支持多重載波。



圖十四:
窄帶物理層隨機存取通道(NPRACH)跳頻範圍指定的例子，手機已經從基地台所提供的範圍選擇綠色範圍(12個子載波)，然後利用這個範圍做隨機存取

然而，跳頻所使用的頻點則由某個特別的演算法來決定



圖十五: 窄帶物理層隨機存取通道(NPRACH)跳頻的例子

4 總結

目前市面上，很多通信技術都與物聯網相關，其中 3 GPP
提出的增強型機器型式通信(eMTC)及窄帶物聯網(NB-
IoT)在長距離物聯網通信應用中最為大家廣泛應用，原因不外乎跟現行LTE通信技術類似且網路架構可以並行使用，在從LTE通信技術精簡後的窄帶物聯網(NB-
IoT)，讓其模組生產成本更低廉且耗電量更低，讓這些裝置應用於家庭自動化及國土安全監控等範疇，讓我們生活中所存在的科技，更加便利、也更加符合人性。