

機器型態通訊於下一代行動通訊網路之挑戰

曾啟維 陳灝

國立台灣大學資訊工程研究所

d95922034@ntu.edu.tw r01922111@ntu.edu.tw

摘要

機器對機器通訊 (Machine-to-Machine Communication, M2M Communication) 提供無須人為介入的自動化應用通信服務。3GPP 定義名為機器型態通訊 (Machine-Type Communication, MTC) 之標準作為 M2M 通訊之技術規範。本論文首先描述 3GPP MTC 網路架構，並提出 3GPP MTC 必須關注的挑戰議題，同時我們也提出目前解決這些關鍵議題的相關技術。

關鍵詞：機器對機器通訊、機器型態通訊、長程演進

Abstract

Machine-to-Machine (M2M) communication provides communications services for automation application without human intervention. 3GPP defines standards, namely Machine Type Communications (MTC), for M2M communications. In this paper, we first describe the general network architecture for 3GPP MTC. We discuss the challenges that should be notices in 3GPP MTC. Following by that, we survey the existing works to resolve the issues.

Keywords: Machine-to-Machine Communication, Machine-Type Communication, Long-Term Evolution

1. 前言

第三代合作夥伴計畫 (Third Generation Partnership Project, 3GPP) 提出名為機器型態通訊 (Machine-Type Communication, MTC) [1] 之技術，作為下一代行動通訊網路長程演進 (Long-Term Evolution, LTE) 中，機器對機器通訊 (Machine-to-Machine Communication, M2M Communication) 之標準規格。

有別於傳統人對人 (Human-to-Human, H2H) 通訊模式，MTC 通訊具備幾項特徵，例如：較低的資料傳輸量、較低的移動性、極低的電耗量，及非經常性資料傳輸等。3GPP 制定 LTE 標準流程時，針對 MTC 特性所衍生之重要技術議題包含 MTC 裝置觸發 (MTC Device Triggering) 及壅塞控制

(Congestion Control) 等亦有探討 [2, 3]。

由於 MTC 裝置的數量預計將比傳統 H2H 裝置大上許多，以現有提供 H2H 通訊所設計之標準，用在提供 MTC 通訊服務時，行動通訊網路架構的各個階層都可能面臨頗為嚴重的壅塞。例如，在無線電接取網路 (Radio Access Network, RAN) 的層面，若有大量的裝置同時嘗試要與基地台 (eNB) 連結，就會發生大量的隨機存取 (Random Access, RA) 碰撞，造成 Physical Random Access Channel (PRACH) 壅塞及封包延遲等降低整體服務品質 (Quality of Service, QoS) 的情形。因此，行動網路標準技術 [3] 需要作一些強化，以因應這種新型態的通訊模式。

本論文將針對 MTC 通訊於 LTE 網路中所面臨的挑戰與可能的解決方案。本文各節安排如下：第二節將說明 3GPP MTC 系統架構；第三節說明 MTC 重要研究議題與挑戰；第四節說明 RA 壅塞控制可能解決方案；第五節介紹 MTC 的其他關鍵議題；最後是結論。

2. 3GPP 機器型態通訊系統架構

圖 1 為 3GPP 提出之 LTE 行動通訊網路 MTC 系統架構圖 [2]。MTC 裝置透過 LTE-Uu 介面連接 3GPP LTE 網路。幾個重要的網路元件及介面說明如下：

- MTC Interworking Function (MTC-IWF): 可獨立作為一個網路元件或是存在於 HPLMN 的一個功能單元，透過 Tsp 介面接收外部應用服務之信令 (例如：MTC 裝置觸發信令)。
- Service Capability Server (SCS): 經由 MTC-IWF 連接行動通訊核心網路，與 MTC 裝置進行通訊。MTC 裝置可使用一個或多個應用服務，不同的應用服務則是透過外部 Application Server (AS) 作控制與管理。
- Tsp reference point: SCS 與 MTC-IWF 間用來傳遞裝置觸發信令之介面。
- S6m reference point: MTC-IWF 與 HSS 間之介面，作為國際行動用戶識別碼 (International Mobile Subscriber Identity, IMSI) 與行動用戶識別碼 (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number, MSISDN) 或外部識別

碼對應之用。

- T4 reference point: MTC-IWF 透過本介面，以簡訊服務(SMS)方式傳送觸發訊息至簡訊服務中心(SMS-SC)。

依照電信營運商的網路架構，3GPP 提出三種 MTC 應用服務連線模式，分別為間接連線模式(Indirect Mode)、直接連線模式(Direct Mode)及混合模式(Hybrid Mode)。AS 需透過 SCS 連接核心網路稱之為間接連線模式；倘若 AS 可直接連接核心網路則為直接連線模式；電信營運商也可同時提供直接與間接連線模式供外部 AS 連接核心網路，則稱之為混合模式。3GPP 亦定義幾項 MTC 通訊的特徵，描述如表 1。

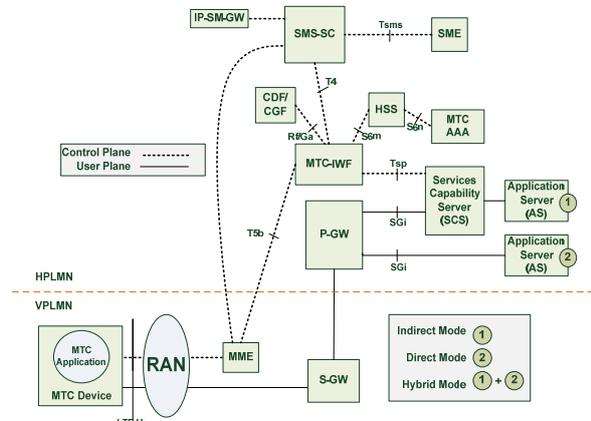


圖 1 3GPP MTC 系統架構

表 1 MTC 特徵

MTC 特徵	描述
Low mobility	MTC 裝置具備低移動性，或是在特定區域移動。
Time controlled	MTC 裝置在特定時間區間內進行資料傳輸。
Small data transmissions	少量的資料傳輸或接收。
Mobile originated only	由 MTC 裝置發起通訊呼叫。
Infrequent mobile terminated	非經常性由 MTC 裝置接收通訊呼叫，主要是由 MTC 裝置發起通訊呼叫。
MTC monitoring	監控 MTC 裝置之行為與事件。
Priority Alarm	發出告警之功能，例如：MTC 裝置遭竊或是遭破壞。
Group based MTC features	系統以群組化來達到最佳化掌握 MTC 裝置

3. 關鍵議題與挑戰

在 3GPP TR 23.887[3]中，特別提到幾項關鍵議

題，本節說明兩項目前較主要關注的研究議題及其面臨的挑戰。

3.1 MTC 裝置觸發(MTC Device Trigger)

MTC 裝置具備非經常性的小資料傳輸，為節省 MTC 裝置電力消耗，AS 若有需要與 MTC 裝置通訊時，會發送觸發訊息，利用 MTC 裝置觸發的方式，啟動 AS 與 MTC 裝置間的通訊連線，用以執行特定的指令。

圖 2 為 3GPP 標準制定之 MTC 裝置觸發程序。SCS 會先向 Domain Name Server (DNS)詢問 MTC 裝置所對應服務之 MTC-IWF 在哪裡，然後再將觸發訊息發送至正確的 MTC-IWF。MTC-IWF 會向 HSS 取得用戶資訊，並依據用戶資訊，選擇適當的觸發方式。MTC-IWF 透過 T4 介面與 SMS-SC 介接，用以傳遞裝置觸發簡訊。除了利用簡訊觸發方式，MTC-IWF 也可透過 T5 介面連接 MME 來傳遞裝置觸發信令。當 MTC 裝置收到觸發訊息後，則會開始進行觸發訊息所要求執行之指令。

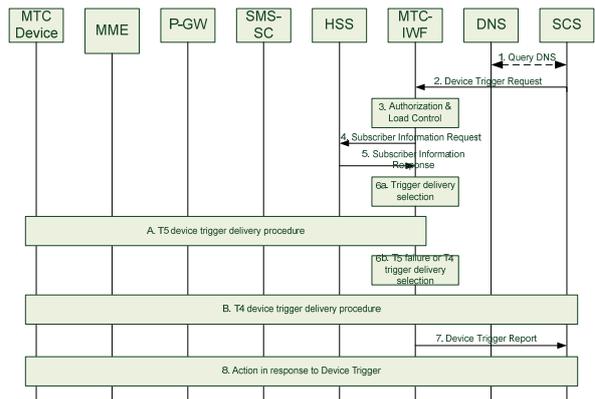


圖 2 MTC 裝置觸發程序

因應未來大量 MTC 裝置使用裝置觸發方式用來觸發裝置執行對應的應用服務，可能會造成網路的壅塞，3GPP 已將裝置觸發列為關鍵議題進行研究。在 3GPP TR 23.887[3]中提出幾項有關 MTC 裝置觸發關鍵議題，包含裝置觸發造成網路過載處理、T5 介面支援裝置觸發及如何將無效之裝置觸發信令召回等。

由於同一個觸發訊息可能會再同一時間傳遞給大量的 MTC 裝置，因此，如何有效率的發送大量的觸發訊息，並減少 MTC 裝置觸發後對於網路負載之影響將會是 MTC 裝置觸發關鍵議題中的一項研究挑戰。

3.2 基於隨機存取之 MTC 通訊(RA-Based MTC Communication)

MTC 裝置開機或接收到觸發訊息後，會嘗試透過無線電接取網路與 AS 連接。在 MTC 裝置建立 PS 連線之前，必須要先透過 RA 程序，取得無線電資源後方能進行 Packet Switch Domain(PS)連線程序。

圖 3 為 LTE 隨機存取程序 [4]。MTC 裝置首先由 64 個 preamble sequences 中隨機選一個，送出 Random Access Preamble 訊息，經由 PRACH 送至 eNB。當 eNB 正確收到 preamble 後，會回傳 Random Access Response (RAR) 訊息給 MTC 裝置。MTC 裝置收到 RAR 訊息後，透過 Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)傳送 RRC Connection Request 訊息。當 MTC 裝置收到 RRC Connection Setup 訊息後，即完成隨機存取程序。

當有兩個以上的 MTC 裝置同一時間選擇相同的 preamble sequence 送給相同的 eNB 進行隨機存取程序，則會發生 preamble 碰撞。當此碰撞情形發生時，MTC 裝置則會隨機選一個 backoff 時間，並開始等待 back-off 時間結束後，再嘗試進行 RA 程序，直到成功完成 RA 程序或是 RA 重送次數到達上限後，RA 程序便宣告失敗。

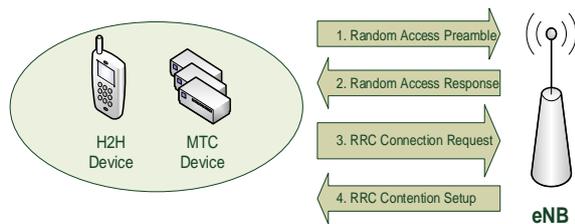


圖 3 LTE Random Access Procedure

MTC 裝置傳輸的資料量通常很小，然而在一 eNB 涵蓋範圍下的 MTC 裝置數量可能很多，且其進行通訊連線的頻率也會大於一般 H2H 裝置。當大量的 MTC 裝置同時嘗試接取行動網路，將會造成 RA 成功機率降低，以及 PRACH 壅塞，使得封包傳輸延遲變長，甚至造成服務中斷。

若 MTC 裝置於 RA 程序發生碰撞後，重複發出接取需求，PRACH 將會面臨過載的問題。因此，如何有效控制 PRACH 過載，將會是基於隨機存取 MTC 通訊中最重要的研究挑戰。

4. 可能之解決方案

有許多文獻[5-10]主要都在探討 MTC 通訊對於行動通訊網路所造成的壅塞現象，以下分別說明目前文獻中提出解決 RAN 壅塞之可能解決方案。

4.1 限制存取層級機制(Access Class Barring, ACB)

ACB [5]的作法是由 eNB 廣播系統存取機率 p ，及存取層級限制時間 τ 。當 H2H 裝置開始進行 RA 程序前，會從 0 到 1 之間，隨機取一個數值 q ，並與 p 比較。若 $q \leq p$ ，則 H2H 裝置可以與 eNB 開始進行 RA 程序；若 $q > p$ ，則 H2H 裝置必須等待 τ 時間後方得再嘗試執行 RA 程序。在目前 3GPP LTE 標準中也開始討論，於 ACB 機制中提供多種存取層級(指定不同 p 與 τ)給 MTC 裝置，藉以降低大量 MTC 裝置同時執行 RA 程序時，對 PRACH 所造成的負載。

4.2 PRACH 資源分配 (PRACH resource separation)

將 PRACH 的 RA preamble 分別配置給 H2H 裝置及 MTC 裝置。在[10]中，作者提出兩種分配方式。第一種分配方式是將 RA preamble 分成兩個部分，分別專屬於 H2H 裝置及 MTC 裝置，彼此間的資源不會互相影響。另一種分配方式也是將 RA preamble 分成兩個部分，第一部分的 preamble 是給 H2H 裝置專用，另一部分是給 H2H 裝置及 MTC 裝置共享。藉以降低 MTC 裝置接取網路對原有 H2H 裝置的影響。

4.3 MTC 回退 (MTC Specific Backoff)

當 RA 過程中發生碰撞時，裝置會等待一個 backoff 時間後再重新嘗試執行 RA 程序[10]。在 H2H 通訊通常會設定一個較小的數值，然而在 MTC 裝置則會設定一個較大數值。目的在於希望利用延展 backoff 時間來緩解重新執行 RA 時對於 PRACH 造成的負載。

4.4 群組 MTC 裝置 (Grouping MTC Device)

MTC 裝置可依據應用型態與實際地理位置來建立群組，如圖 4 所示，並在群組中選擇一個 MTC 裝置作為 group head，用以代表其他全組成員與 eNB 通訊。在同一個群組之下的成員則利用 LTE 所提供的 peer-to-peer 通訊模式互動，由 group head 來接收群組成員的需求，並傳遞給 eNB。

近期有研究利用感知無線電(Cognitive Radio, CR)作為群組間相互通訊的方式。在[8]中作者分析，隨著群組增加可有效降低 MTC 裝置對於 eNB 的負載。但隨著群組增加，對於 eNB 之下的干擾影響會增加，使得封包傳輸速率降低。

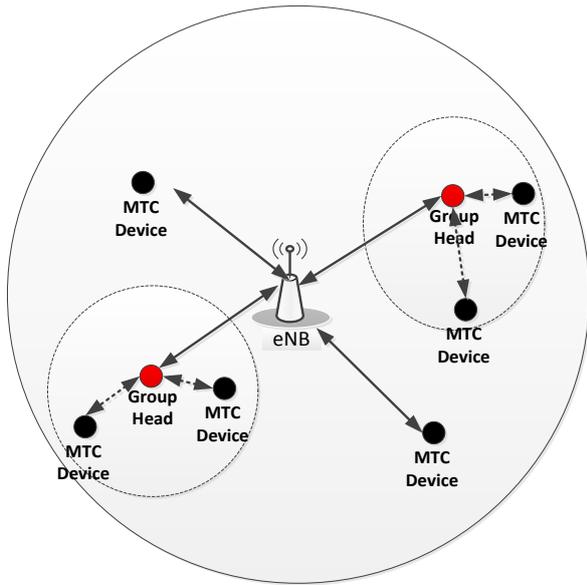


圖 4 MTC Grouping Architecture

4.5 詢問機制 (Pull-based)

當 AS 需要與 MTC 裝置建立通訊連線時，透過 eNB 對 MTC 裝置進行傳呼(Paging) [7]。當 MTC 裝置收到 paging 訊息之後，方得進行 RA 程序。以集中控制方式，由 eNB 依據 PRACH 的負載及可用之無線電資源，來決定是否要對 MTC 裝置進行 paging。本方案可能需要額外的控制通道資源來支援大量 MTC 裝置的 paging 訊息

5. 其他關鍵議題

在 3GPP TR 23.888[11]中也提及了其他關鍵議題，本節對這些關鍵議題進行簡單的介紹。

5.1 IP 地址 (IP Addressing)

在部分 MTC 應用中，MTC 伺服器需要主動嘗試與 MTC 裝置通訊。故 MTC 裝置需要一個通訊地址提供 MTC 伺服器聯絡

在 Rel-11 [11]中，MTC 使用者與 MTC 伺服器所使用的地址預計為 Internet Protocol version 6 (IPv6)地址。因為在 IPv6 地址中可用的前綴數量非常多，IPv6 地址空間的大小是幾乎沒有限制的，所以兩者可以處於相同的路由地址空間。

而在使用 IPv4 地址的情況下，由於 IPv4 公用網路的地址有限，加上未來 MTC 裝置數量的快速增加，可能無法配給所有 MTC 裝置一個專屬的 IP 地址，固給予 MTC 裝置的是 IPv4 專用網路的地址。而 MTC 伺服器則是使用與 MTC 裝置一樣的 IPv4 專用網路地址或是 IPv4 公用網路的地址。若是前者，則 MTC 裝置與 MTC 伺服器是位於同一路由地址空間，後者則否。

5.2 小量資料傳輸 (Small Data Transmission)

小量資料傳輸特徵是指 MTC 裝置只傳送或接收非常小量的資料，而小量的定義則需要各個系統更進一步的定義。線上的小量資料傳輸須滿足無論 MTC 裝置原是處於連線或是離線的狀態，都能在任何需要傳送資料的時刻進行傳送並且完成傳送。

5.3 低移動性 (Low Mobility)

部分 MTC 裝置擁有低移動性 (Low Mobility) 之特徵。在[11]中提出了擁有此特徵之 MTC 裝置使用場景，其中又可根據移動行為做初步區分，例如：小區域內不頻繁的移動行為、大範圍不頻繁的移動行為與幾乎沒有移動行為等。若實際舉例，前者可以是家用健康監測裝置，後者則為智慧型水電錶。

5.4 時間控制 (Time Controlled)

時間控制是透過訂定之可以傳送與接收資料的時間區間來控制 MTC 裝置對網路存取的行為。這些時間區間可由營運商事先訂定，或是事後以網路傳送通知的方式告知 MTC 裝置時間區間的相關資訊。此議題主要描述如何透過限制 MTC 裝置對網路的存取來避免不必要的網路負擔。

5.5 MTC 監控 (MTC Monitoring)

許多 MTC 裝置可能裝設在有安全風險區域，像是容易發生裝置被破壞、被竊盜之區域。當狀況發生時，網路需要能及時偵測並且回報狀況，以便採取對應的措施，例如限制該裝置對網路資源的存取。

5.6 信令壅塞控制 (Signaling Congestion Control)

MTC 相關信令的壅塞與過載是極需面對的問題。不只是提供 MTC 服務的電信營運商會受到影響，使用該服務的裝置所漫遊使用的網路之電信營運商也會受到 MTC 相關信令壅塞與過載的影響。一些情況容易造成信令壅塞與過載，例如：有事件觸發大量的 MTC 裝置同時進行連線行為、應用程式頻繁的進行時間同步行為等等。

為了解決信令壅塞的狀況，網路節點需能拒絕特定的連線要求。要能夠拒絕造成壅塞狀況的 MTC 應用資料傳輸，同時不影響其他 MTC 甚至是非 MTC 使用者的資料傳輸則是此議題的困難所在。專用的 Access Point Name (APN)或 MTC 群組識別雖然可以協助標明特定的 MTC 應用，要如何分辨出造成網路壅塞的 MTC 應用仍是一大挑戰。

6. 結論

本論文中，我們於 MTC 通訊的系統架構及關鍵議題與可能解決方案提出描述，相關關鍵議題在 3GPP 標準組織持續制定中。對於大量的 MTC 裝置執行 RA 程序，造成 eNB 無線電資源壅塞，是目前 MTC 研究的主要議題。文中所提的可能解決方案皆是目前 H2H 通訊已存在之解決無線電資源壅塞之作。這些解決方案也需要作適當修改，方能適用於 MTC 通訊的特性。

參考文獻

- [1] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for Machine-Type Communications (MTC); Stage 1 (Release 12)," 3GPP, Tech. Spec. 3G TS 22.368, Dec. 2012.
- [2] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications (Release 11)," 3GPP, Tech. Spec. 3G TS 23.682, Dec. 2012.
- [3] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Machine-Type and other Mobile Data Applications Communications Enhancements (Release 12)," 3GPP, Tech. Spec. 3G TS 23.887, Feb. 2012.
- [4] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 11)," 3GPP, Tech. Spec. 3G TS 36.300, March. 2013.
- [5] Lien, S.-Y., Liao, T.-H., Kao, C.-Y., and Chen, K.-C., "Cooperative Access Class Barring for Machine-to-Machine Communications," *IEEE Trans. on Wireless Comm.*, Vol. 11, No. 1, Jan 2012.
- [6] P. Jain, P. Hedman, and H. Zisimopoulos, "Machine Type Communications in 3GPP Systems," *IEEE Comm. Magazine*, Vol. 50, No. 11, pp.28-35, Nov. 2012.
- [7] M. Hasan, E. Hossain, and D. Niyato, "Random access for machine-to-machine communication in LTE-advanced networks: issues and approaches," *IEEE Communication Magazine*, Vol. 51, No. 6, pp.86-93, June 2013.
- [8] Lee, H-K, Kim, D.-M. and Hwang, Y., Yu, S.-M. Yu and Kim, S.-L., "Feasibility of cognitive machine-to-machine communication using cellular bands," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 20, No. 2, pp.97-103, April 2013.
- [9] T. Taleb and A. Ksentini, "On alleviating MTC overload in EPS," *Ad Hoc Networks* (in press).
- [10] Lien, S.-Y., Chen, K.-C., and Lin, Y., "Toward Ubiquitous Massive Accesses in 3GPP Machine-to-Machine Communications," *IEEE Communication Mag.*, vol. 49, no. 4, pp.66-74, Apr. 2011.
- [11] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System improvements for Machine-Type Communications (MTC) (Release 11)," 3GPP, Tech. Rpt. 3G TR 23.888, Sept. 2012.