

12. RFC 7732 : Forwarder Policy for Multicast with Admin-Local Scope in the Multicast Protocol for Low-Power and Lossy Networks (MPL)

RFC 7732 : 用於低功耗和有損網路 (MPL) 的多播協定中具有 Admin-Local 範圍的多播的轉發器策略

網際網路工程任務組 (IETF)

Request for Comments:7732

分類: 資訊類

ISSN: 2070-1721

P. van der Stok

Consultant

R. Cragie

ARM Ltd.

2016 年 2 月

用於低功耗和有損網路 (MPL) 的多播協定中
具有 Admin-Local 範圍的多播的轉發器策略

摘要

本文的目的是為邊界路由器中，以 Admin-Local 範圍來多播訊息的低功耗和有損網路多播協定路由過程，指定自動化策略。

本文的狀態

本文不是網際網路標準協定；它的出版是用於提供資訊。

本文是網際網路工程任務組 (IETF) 的產品。它代表了 IETF 社群的共識。它已經過公眾審查，並已獲網際網路工程指導小組 (IESG) 的批准發佈。並非所有 IESG 批准的檔都適用於任何級別的網際網路標準；請參閱 RFC 5741 的第 2 部分。

有關本文當前狀態，任何勘誤以及如何提供回饋的資訊，請訪問：
<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7732>。

版權聲明

版權所有 (c) 2016 IETF Trust 和確定為本文作者的人員。版權所有。

本文受 BCP 78 和 IETF Trust 關於 IETF 文件的法律規定 (<http://trustee.ietf.org/license-info>) 的約束，自本文發布之日起生效。請仔細閱讀這些文件，因為它們描述了您對本文的權利和限

制。從本文中提取的代碼組件必須包含《信託法律條款》第 4.e 節中所述的 BSD 簡化許可證文本，並且如 BSD 簡化許可證中所述，不附帶任何保證。

目錄

1.	前言	3
1.1.	需求語言	4
1.2.	術語和縮略語	4
2.	網路識別符	5
2.1.	IEEE 802.15.4	5
2.2.	IEEE 802.11	5
2.3.	ITU-T G.9959	5
2.4.	低功耗藍芽	6
3.	MPL4 路由器	6
3.1.	MPL 介面參數	6
3.2.	MPL4 區的測定	6
4.	Admin-Local 策略	7
4.1.	合法的多播訊息	8
4.2.	轉發合法資料封包	8
4.2.1.	MPL 訊息	9
4.2.2.	沒有 MPL 選項的多播訊息	9
4.3.	加密規則	10
5.	MPL 域和區域	10
6.	默認參數值	11
7.	安全注意事項	11
8.	參考文獻	13
8.1.	規範性參考	13
8.2.	資訊參考	15
	致謝	16
	作者資訊	16

1. 前言

多播範圍在[RFC4291]中被定義。[RFC7346]使用以下文本擴充了範圍定義：

“Interface-Local, Link-Local 和 Realm-Local 範圍邊界自動從物理連接或其他非多播相關配置派生。全域範圍沒有邊界。Admin-Local 或更大的所有其他非保留範圍的邊界,是管理配置。”

因此,必須以管理方式配置 Admin-Local 範圍。在本文中,“管理配置”並不意味著人類在安裝此處指定的協定之外的行為。“管理配置”表示本文中描述的自動派生。

本文描述了用於低功耗和有損網路的多播協定(MPL)[RFC7731]的自動策略,該策略在位於運行 MPL 的網路和其他網路之間的邊界路由器內使用 Admin-Local 範圍轉發多播訊息。該政策符合[RFC7576]中提出的自主網路思想。

MPL 當前使用 Realm-Local 多播位址將多播訊息傳播到網狀網路內的所有接收器和轉發器。多播傳播僅限於具有公共第 2 層的網狀網路。例如,低功耗無線個人區域網路(LoWPAN)由 IEEE 802.15.4 第 2 層網狀網路定義,該網路由共用個人區域網路(PAN) ID [RFC4944]的所有連接節點組成。

網狀網路技術的網路概念不同。該文將通用網路識別符映射到現有網格技術的特定網路識別符。

在當前和預計的部署中,需求是將多播訊息傳播到其所源自的網狀網路的邊界之外,這是獨立於與網狀技術(mesh technology)的。

考慮需要在兩個網狀網路上傳播的情況。在一個示例中,每個網狀網路具有一個邊界路由器,並且有兩個邊界路由器與以太網路鏈路連接。在另一示例中,每個網狀網路會與自己的網路介面連接,這個介面匯合同一個邊界路由器相連。在這兩種情況下,源自一個網路的管理員本地多播訊息需要傳播到另一個網狀網路。Admin-Local 範圍的邊界,是管理化配置的。

本文描述了一個“MPL4 路由器”，它具有將管理本地範圍的多播位址的 MPL 訊息轉發出去的功能，如果某些鏈路會連接到其他啟用 MPL 的介面，那訊息會被轉發到這些鏈路的所有介面。MPL4 路由器為 MPL 訊息啟用其所有介面，並分配一個額外的變數 MPL_BLOCKED，允許或禁止轉發 MPL 訊息。

MPL4 路由器使用以下技術來確定必須轉發 MPL4 訊息的連結：MPL4 路由器在其介面上偵聽 MPL4 訊息的到達。當 MPL4 訊息通過介面到達時，MPL4 路由器將此介面記錄在轉發傳入 MPL4 訊息的介面集中。MPL4 路由器定期通過其介面發送 MPL4 訊息，以激發 MPL4 訊息的返回以維護轉發介面組。

預計組織，建築或家庭的私人網路通過 ISP 提供的邊緣路由器連接到網際網路。目的是具有 Admin-Local 範圍的多播位址的 MPL 訊息在私人網路內自由轉發，但不會被邊緣路由器轉發到私人網路之外。

1.1. 需求語言

本檔中的關鍵字“必須(MUST)”、“不得(MUST NOT)”、“必要(REQUIRED)”、“必須(SHALL)”、“不得(SHALL NOT)”、“應該(SHALL NOT)”、“不應該(SHOULD NOT)”、“建議(RECOMMENDED)”、“不建議(RECOMMENDED)”、“可以(MAY)”、“可選(OPTIONAL)”按照[RFC2119]中的描述進行解釋。

1.2. 術語和縮略語

本文使用[RFC7731]和[RFC7346]中定義的術語。此外，本文中使用的以下術語：

MPL4：具有 Admin-Local 範圍 4 的 MPL。

MPL4 訊息：目標多播位址範圍為 4 的 MPL 資料訊息。

MPL4 區域：具有 Admin-Local 範圍的 MPL 訊息傳播的互連介面的凸區域。MPL4 區域由[RFC4007]中定義的區域限定。

MPL4 路由器：自動確定可以傳播具有 Admin-Local 範圍的 MPL 訊息的 MPL4 區域。

2. 網路識別符

連結可能具有頻道的概念。例如，在無線網路中，這種通道與通信頻率相關聯。此外，對於某些連結技術，多個網路可以使用相同的通道共存。對於這些連結技術，存在網路識別符。網路識別符由連結技術規範確定。當給定鏈路不存在網路識別符時，網路識別符具有“any”值。

2.1. IEEE 802.15.4

[RFC4944]中描述了基於 IEEE 802.15.4 的 IPv6。IPv6 低功率無線個人區域網路由通過共用相同 PAN ID 的 IEEE 802.15.4 網格連接的節點組成。PAN ID 標識 IEEE 802.15.4 網格中的網路。具有不同 PAN ID 的多個網路可以在同一通道[IEEE802.15.4]上共存。啟用介面時定義介面的 PAN ID。IEEE 802.15.4 鏈路的網路識別符的值是 PAN ID 的值。

2.2. IEEE 802.11

[RFC5416]中描述了基於 IEEE 802.11 的 IP。服務集識別符(SSID)標識 IEEE 802.11 鏈路中的網路。具有不同 SSID 的若干網路可以在同一通道[IEEE802.11]上共存。介面開啟時定義介面的 SSID。IEEE 802.11 鏈路的網路識別符的值是 SSID 的值。

2.3. ITU-T G.9959

ITU-T G.9959 的 IPv6 在[RFC7428]中規定。HomeID 標識連接節點的網路[G.9959]。多個 HomeID 可以在通信範圍內共存，但是遵循具有給定 HomeID 的網路的節點不能與遵守具有不同 HomeID 的網路的節點通信。G.9959 鏈路的網路識別符的值是 HomeID 的值。

2.4. 低功耗藍芽

低功耗藍芽上的 IPV6(BTLE)在[RFC7668]中規定。介質在[BTLE]中指定。BTLE 不知道一個通道中多個網路的概念。BTLE 鏈路網路識別符的值是“any”。

3. MPL4 路由器

MPL4 路由器的概念用於自動確定具有範圍 4 多播位址的 MPL 訊息可以傳播的 MPL4 區域。MPL4 路由器週期性地執行一種演算法，該演算法用於確認連接到其介面的鏈路上是否存在 MPL 介面。當給定鏈路上不存在 MPL 介面時，相應的 MPL 介面被發信號通知不是 MPL4 區域的一部分。

3.1. MPL 介面參數

一個參數與 MPL4 路由器中的每個 MPL 介面相關聯，並且兩個參數與 MPL4 路由器的整體行為相關聯。

布林值，指示關聯的介面是否屬於 MPL4 區域。

整數，指示 MPL4 路由器演算法連續啟動之間的時間間隔（以秒為單位）。

整數，指示預期接收 MPL 訊息的時間間隔（以秒為單位）。

3.2. MPL4 區的測定

MPL4 路由器的所有介面必須與以下 MPL 協定參數相關聯，如 [RFC7731]：PROACTIVE_FORWARDING，DATA_MESSAGE_IMIN，DATA_MESSAGE_IMAX，DATA_MESSAGE_K 和 DATA_MESSAGE_TIMER_EXPIRATIONS 中所述。在啟動 MPL4 路由器時，與所有介面關聯的參數將分配以下值：PROACTIVE_FORWARDING = TRUE，MPL_BLOCKED = false。

所有介面必須訂閱多播位址 ALL_MPL_FORWARDERS 範圍 3 和範圍 4。

MPL4 路由器為每個介面執行以下演算法：

- 使用由 MPL_CHECK_INT 的值確定的頻率，MPL4 路由器在每個介面上發送 MPL4 訊息，其標頭包括 MPL 選項[RFC7731]；訊息被發送到範圍為 4 的多播地址 ALL_MPL_FORWARDERS。
- 當在由 MPL_TO 的值確定的間隔內沒有接收到 MPL 訊息時，MPL_BLOCKED 的值被設置為 TRUE。
- 在接收到 MPL4 訊息時，接收介面的 MPL_BLOCKED 的值被設置為 FALSE。

當且僅當啟用 MPL 的介面連接到與介面相關聯的鏈路時，該協定導致每個介面 MPL_BLOCKED 被設置為 FALSE 的狀態。當 MPL 訊息被提交到 MPL 路由器中名為“介面 A”的 MPL 使能介面時，啟動 Trickle 演算法[RFC6206]以發送 MPL 訊息。具有多播位址 ALL_MPL_FORWARDERS 範圍 4 的 MPL4 訊息被連接到已經使用範圍 4 訂閱 ALL_MPL_FORWARDERS 的連結的每個介面接受。在通過名為“介面 B”的介面接受 MPL4 訊息時，返回 MPL4 訊息，其中包含 Trickle over 介面 B。因此，MPL4 訊息由始發介面 A 接收，之後 MPL_BLOCKED 被設置為 FALSE。

當新節點連接到鏈路時，它可以立即發送 MPL4 訊息，或者它可以等待接收 MPL4 訊息以宣佈其意圖成為 MPL4 區域的一部分。

4. Admin-Local 策略

本節首先指定出，到達一個介面的哪些類型的多播訊息是合法的。並且它繼續描述通過其他 MPL 介面轉發合法的 Admin-Local 組播訊息。

將 Admin-Local 組播訊息自動轉發到 MPL 介面的策略被指定為 MPL 介面的狀態和組播訊息的函數。多播訊息的狀態由 MPL 選

項[RFC7731]和目標多播位址的存在確定。MPL 介面的狀態由訂閱的多播位元址，區域索引 [RFC4007] 以及 PROLTIIVE_FORWARDING 參數的值和 MPL 介面的 MPL_BLOCKED 參數確定。

當區域未定義或未啟用時，所有介面都具有相同的區域索引。

4.1. 合法的多播訊息

多播訊息可以由應用程式在節點內創建，也可以到達介面。

當源 (MPL Seed) 創建的多播訊息符合[RFC7731]第 9.1 節中描述的屬性時，它就是合法的。

在以下情況下，在給定介面接收的多播訊息是合法的：

該訊息攜帶 MPL 選項 (MPL 訊息)，並且傳入的 MPL 介面訂閱目標多播位址。

該訊息不帶有 MPL 選項，並且介面已表示有興趣通過多播偵聽器發現 (MLD) [RFC3810]或 IGMP [RFC3376]接收具有指定多播位址的訊息。根據協定無關多播-密集模式 (PIM-DM) [RFC3973]或協定無關多播-稀疏模式 (PIM-SM) [RFC4601]轉發訊息。

不合法的多播訊息會被丟棄。

4.2. 轉發合法資料封包

在給定介面處接收的合法多播訊息會被分配傳入鏈路的介面的網路識別符。在節點內創建的訊息會被分配網路識別符“any”。

第 4.1 節中考慮了兩種類型的合法多播訊息：(1) MPL 訊息和 (2) 不攜帶 MPL 選項的多播訊息。

4.2.1. MPL 訊息

根據以下規則，使用分配給 MPL 介面的 Trickle 參數值在 MPL 介面上轉發 MPL 訊息：

- Link-Local (範圍 2) 不轉發 MPL 訊息。
- Realm-Local (範圍 3) MPL 訊息在所有 MPL 介面上轉發，其中滿足以下所有條件：
 - * MPL 介面訂閱的多播位址與 MPL 訊息的多播位址相同。
 - * MPL 介面的區域索引與接收 MPL 訊息的 MPL 介面的區域索引相同。
 - * MPL 介面將 PROACTIVE_FORWARDING 設置為 TRUE。
 - * MPL 訊息的分配的網路識別符是“任意”，或者 MPL 訊息的分配的網路識別符等於 MPL 介面的網路識別符。
- Admin-Local (範圍 4) MPL 訊息會在訂閱相同多播位址的所有 MPL 介面上轉發，具有相同的區域索引，PROACTIVE_FORWARDING 設置為 TRUE，並且 MPL_BLOCKED 設置為 false。
- 當介面訂閱解封裝訊息的多播位址時，封裝具有 5 或更高的多播範圍的訊息的 MPL 訊息會被解封裝並通過介面轉發。

4.2.2. 沒有 MPL 選項的多播訊息

沒有 MPL 選項的組播訊息根據以下規則在 MPL 介面上轉發：

- 不轉發 Link-Local (範圍 2)，Realm-Local (範圍 3) 和 Admin-Local (範圍 4) 多播訊息。

- 多播範圍為 5 或更高的多播訊息封裝在 MPL 訊息中，目標位址為 ALL_MPL_FORWARDERS，範圍為 4。然後按照第 4.2.1 節中的描述處理生成的訊息。

4.3. 加密規則

在第 2 層受保護的傳入訊息必須隨後在所有傳出介面的第 2 層重新受到保護。傳入訊息是經過完整性檢查的，且在第 2 層的傳入介面有選擇性的使用適合於傳入介面網路的金鑰和保護演算法進行解密，並使用適合於傳出介面網路的金鑰和保護演算法在傳出介面處重新保護。可能有必要評估相應介面上的相對保護級別並應用策略規則 --- 例如，避免在一個網路的安全級別低於另一個網路時降級安全性。

在第 2 層未受保護的傳入 MPL4 訊息不得在所有傳出介面的第 2 層重新保護。

5. MPL 域和區域

MPL 域是 MPL 介面訂閱相同 MPL 域位址[RFC7731]的範圍區域。根據[RFC4007]，區域邊界會通過節點。例如，小型低功耗和有損網路 (LLN) 節點通常具有一個 MPL 網狀介面，該介面訂閱了 ALL_MPL_FORWARDERS 多播位址，其範圍值為 3 (Realm-Local) [RFC7346]。節點介面屬於該區域，相應的區域邊界不通過該節點。在具有 MPL 介面的邊界路由器中，訂閱了具有範圍值 3 的多播位址 ALL_MPL_FORWARDERS，該區域通常包括該單個介面並且排除所有其他介面。一個節點提供了一個值得注意的例外，其中相同技術的 MPL 介面共用相同的網路識別符。當介面共用相同的區域索引時，這些介面屬於同一個 MPL4 區域。

在 MPL4 路由器中，除了 Realm-Local ALL_MPL_FORWARDERS 位址之外，每個 MPL 介面都訂閱 Admin-Local ALL_MPL_FORWARDERS 多播位址。

屬於通過邊界路由器擴充的 MPL 域的每個介面必須訂閱 Admin-Local ALL_MPL_FORWARDERS 位址。

與具有範圍 4 (Admin-Local) 的 MPL 多播位址 ALL_MPL_FORWARDERS 相對應的 MPL4 區域適用於具有多個介面的邊界路由器，其中至少一個介面啟用 MPL 並且訂閱具有範圍 4 的多播位址 ALL_MPL_FORWARDERS。在邊界路由器中，當介面共用相同的區域索引時，所有訂閱了 ALL_MPL_FORWARDERS 位址且範圍為 4 並且 MPL_BLOCKED 為 false 的所有啟用 MPL 的介面都屬於同一個 MPL4 區域。

MPL4 訊息仍然在[RFC4007]中定義的區域內。因此，不能在屬於不同區域的介面之間路由 MPL4 訊息。當路由器中未知或禁用區域概念時，所有介面都屬於同一區域。例如，考慮具有五個介面的路由器，其中介面 A 和 B 屬於區域 1，介面 C，D 和 E 屬於區域 2。MPL4 訊息可以在介面 A 和 B 之間自由路由，並且可以在介面 C 之間自由路由，D 和 E。但是，MPL4 訊息不能從介面 A 路由到介面 D。

6. 默認參數值

- 本文創建了三個參數。它們的值與 Trickle 計時器間隔有關。
- $MPL_TO = DATA_MESSAGE_IMAX$ 乘以 2，這留下足夠的時間來接收第二回應訊息。
- $MPL_CHECK_INT = 5$ 分鐘，這意味著在 5 分鐘內發生對網路故障的反應。
- $MPL_BLOCKED = TRUE$ ，表示介面未收到啟用 MPL 的訊息，以將介面包含在 MPL4 區域中。

7. 安全注意事項

[RFC7731]的安全注意事項也適用於 MPL4 路由器。

惡意節點發送 MPL4 訊息可能會產生不必要的後果，如以下示例所述。有線（例如，乙太網路）鏈路在 LLN 的兩個樓層或部分之間使用並不罕見，因為通過鋼筋混凝土的無線電傳播通常很差。因此，MPL4 區域可以包含多個路由器，網格和連結。惡意節點可能連接到未預見到 MPL 啟用節點的有線鏈路。在此示例配置中，惡意節點可以將 MPL4 訊息發送到 MPL4 路由器介面。當沒有做任何事情時，MPL4 路由器將由此通過有線鏈路將 MPL4 訊息從一個網格分發到下一個網格，儘管有線鏈路不會傳輸 MPL4 訊息。

要瞭解此不良行為的後果，應區分以下情況：

- 源網格使用第 2 層加密。
- 可以管理 MPL4 路由器。

下面討論四種可能的組合：

第 2 層不安全，路由器不受管理：在這種情況下，MPL4 訊息可以自由地分佈在由區域內的 MPL4 路由器互連的網格和鏈路上。啟用 MPL（惡意）的節點可以讀取所有 MPL4 訊息，並通過受區域限制的網路分發 MPL4 訊息。這種情況對於明確定義的空間內的隔離網路是可接受的，其中可以嚴格控制節點的連接。完全有線的 LLN，例如在 BACnet（用於建築物自動化和控制網路的協定）中看到的[BACnet]是未被加密的 LLN 的示例，其在物理層面上被認為是安全的。

第 2 層安全，路由器不受管理：在這種情況下，MPL4 訊息可以自由地分佈在由區域內的 MPL4 路由器互連的網格和鏈路上。遵循 4.3 節的規則，啟用 MPL4（惡意）的節點無法讀取 MPL4 訊息，並且其他節點不接受惡意節點發送的 MPL4 訊息。這種情況對於僅在一個區域上延伸的家用網路或管理網路是可接受的，佔據明確定義的物理空間，其中安裝的簡易性是重要的。在這樣的網路中，惡意節點的存在與嘗試通過第 2 層受保護鏈路發送訊息的任何其他惡意節點沒有區別。由於網路僅佔用一個區域，因此無法在網路外部擴充 MPL4 訊息分發。

第2層不安全，路由器受管理：在這種情況下，通過 MPL4 路由器介面的 MPL4 訊息的分發可以限於管理器已啟用 MPL 的那些介面，以及一組多播位址。惡意節點無法通過不需要的介面擴充 MPL4 訊息的分發。重要的是管理器對介面的處理受到保護。但是，通過網格發送的 MPL4 訊息可以被惡意節點解釋，並且惡意訊息可以被注入到由管理器啟用介面的 MPL4 路由器連接的網格和連結集中。這種情況對於在有限時間內連接到 LAN 的互連鏈路和網格是可行的 - 例如，在安裝互連網格和鏈路期間。

第2層安全，路由器受管理：在這種情況下，通過 MPL4 路由器介面的 MPL4 訊息的分發可以限於管理器已啟用 MPL 的那些介面，以及一組多播位址。遵循 4.3 節的規則，惡意節點不能通過不需要的介面擴充 MPL4 訊息的分發，並且惡意節點發送的 MPL4 訊息不被其他節點接受。重要的是管理器對介面的處理受到保護。啟用 MPL（惡意）的節點無法讀取 MPL4 訊息，並且其他節點不接受惡意節點發送的 MPL4 訊息。根據託管介面的數量，網路可以逐步從自動配置傳遞到完全管理控制。

8. 參考文獻

8.1. 規範性參考

[RFC2119] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels", BCP 14, RFC 2119, DOI 10.17487/RFC2119, March 1997, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc2119>>.

[RFC3810] Vida, R., Ed., and L. Costa, Ed., "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6", RFC 3810, DOI 10.17487/RFC3810, June 2004, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3810>>.

[RFC4291] Hinden, R. and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC 4291, DOI 10.17487/RFC4291, February 2006, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc4291>>.

[RFC4944] Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., and D. Culler, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks", RFC 4944, DOI

10.17487/RFC4944, September 2007,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc4944>>.

[RFC3376] Cain, B., Deering, S., Kouvelas, I., Fenner, B., and A. Thyagarajan, "Internet Group Management Protocol, Version 3", RFC 3376, DOI 10.17487/RFC3376, October 2002,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3376>>.

[RFC4007] Deering, S., Haberman, B., Jinmei, T., Nordmark, E., and B. Zill, "IPv6 Scoped Address Architecture", RFC 4007, DOI 10.17487/RFC4007, March 2005,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc4007>>.

[RFC5416] Calhoun, P., Ed., Montemurro, M., Ed., and D. Stanley, Ed., "Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) Protocol Binding for IEEE 802.11", RFC 5416, DOI 10.17487/RFC5416, March 2009,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc5416>>.

[RFC6206] Levis, P., Clausen, T., Hui, J., Gnawali, O., and J. Ko, "The Trickle Algorithm", RFC 6206, DOI 10.17487/RFC6206, March 2011,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6206>>.

[RFC7346] Droms, R., "IPv6 Multicast Address Scopes", RFC 7346, DOI 10.17487/RFC7346, August 2014,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7346>>.

[RFC7731] Hui, J. and R. Kelsey, "Multicast Protocol for Low-Power and Lossy Networks (MPL)", RFC 7731, DOI 10.17487/RFC7731, February 2016,
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7731>>.

[IEEE802.15.4] IEEE, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", IEEE 802.15.4, DOI 10.1109/ieeestd.2011.6012487,
<<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6012485>>.

[IEEE802.11] IEEE, "IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", IEEE 802.11-2012, DOI 10.1109/ieeestd.2012.6178212, <<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6178209>>.

[G.9959] International Telecommunication Union, "Short range narrow-band digital radiocommunication transceivers - PHY, MAC, SAR and LLC layer specifications", ITU-T Recommendation G.9959, January 2015, <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959>>.

[BTLE] Bluetooth Special Interest Group, "Bluetooth Core Specification Version 4.1", December 2013, <<https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>>.

8.2. 資訊參考

[RFC3973] Adams, A., Nicholas, J., and W. Siadak, "Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)", RFC 3973, DOI 10.17487/RFC3973, January 2005, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3973>>.

[RFC4601] Fenner, B., Handley, M., Holbrook, H., and I. Kouvelas, "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)", RFC 4601, DOI 10.17487/RFC4601, August 2006, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc4601>>.

[RFC7576] Jiang, S., Carpenter, B., and M. Behringer, "General

Gap Analysis for Autonomic Networking", RFC 7576, DOI 10.17487/RFC7576, June 2015, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7576>>.

[RFC7428] Brandt, A. and J. Buron, "Transmission of IPv6 Packets over ITU-T G.9959 Networks", RFC 7428, DOI 10.17487/RFC7428, February 2015, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7428>>.

[RFC7668] Nieminen, J., Savolainen, T., Isomaki, M., Patil, B., Shelby, Z., and C. Gomez, "IPv6 over BLUETOOTH(R) Low Energy", RFC 7668, DOI 10.17487/RFC7668, October 2015, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc7668>>.

[BACnet] "BACnet Webpage", <<http://www.bacnet.org>>.

致謝

本文反映了來自多個人的討論和評論，包括（按字母順序）Scott Bradner, Esko Dijk, Adrian Farrel, Matthew Gillmore, Joel Halpern, Steve Hanna, Michael Richardson 和 Pascal Thubert。

作者資訊

Peter van der Stok
Consultant

Email: consultancy@vanderstok.org

Robert Cragie
ARM Ltd.
110 Fulbourn Road
Cambridge CB1 9NJ
United Kingdom

Email: robert.cragie@arm.com