

4. RFC 6775 : Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks(6LoWPANs)
RFC 6775 : IPv6 低功率無線個人區域網路的鄰居發現
(6LoWPANs)

網際網路工程任務組 (IETF)

Request for Comments:6775

更新: 4944

類別: 標準跟蹤

ISSN: 2070-1721

Z. Shelby, Ed.

Sensinode

S. Chakrabarti

Ericsson

E. Nordmark

Cisco Systems

C. Bormann

Universitaet Bremen TZI

November 2012

IPv6 低功率無線個人區域網路的鄰居發現
(6LoWPANss)

摘要

IETF 在低功率無線個人區域網上的 IPv6 工作 (6LoWPANs) 定義了 6LoWPANss, 如 IEEE 802.15.4。這個和其他類似的連結科技限制或不使用多播節能訊號。此外, 無線網路可能不嚴格遵循傳統的 IP 子網概念和 IP 連結。IPv6 鄰居發現不是為非傳遞無線鏈結所設計, 因為其依賴於傳統的 IPv6 鏈結理念, 並且大量的使用了多播, 這使得其在低功率和有損網路中效率低並且有時候不切實際。因此, 本文更新了 RFC4944, 以便規範定義在這裡的優化的使用。

本文的狀態

這是一個網際網路標準跟蹤文件。

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, 並已獲得網際網路工程指導組 (IESG) 的批准發布。有關網際網路標準的更多資訊請參見 RFC5741 第 2 節。

有關本文當前狀態，任何勘誤以及如何提供反饋的訊息，請訪問
<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6775>。

版權聲明

版權所有 (c) 2012 IETF Trust 和被認定為檔案作者的人員版權所有。

本文受 BCP 78 和 IETF 信託有關 IETF 檔案 (<http://truster.ietf.org/license-info>) 的法律規定的約束，該法律規定自本檔案發佈之日起生效。請仔細閱讀這些檔案，因為它們描述了您對本檔案的權利和限制。從本檔案中選取的程式碼組件必須包括信託法律條款第 4.e 節中所述的簡化 BSD 許可證文字，並且按照簡化 BSD 許可證中所述提供無擔保。

目錄

1.	前言	4
1.1.	IPv6 鄰居發現的不足	5
1.2.	適用性	6
1.3.	目標和假設	7
1.4.	可替代的特徵	8
2.	術語	9
3.	協定概述	11
3.1.	RFC 4861 的擴展	12
3.2.	位址配置	12
3.3.	主機到路由器的交互作用	13
3.4.	路由器到路由器的交互作用	14
3.5.	鄰居緩存管理	14
4.	新的鄰居發現選項和訊息	15
4.1.	位址註冊選項	15
4.2.	6LoWPANs 上下文選項	17
4.3.	權威邊界路由器選項	19
4.4.	重複的位址訊息	20
5.	主機行為	22

5.1.	禁止的行動	22
5.2.	介面初始化	22
5.3.	發送路由器請求	23
5.4.	處理路由器廣告	23
5.4.1.	位址配置	23
5.4.2.	存儲上下文	24
5.4.3.	維護前綴和上下文資訊	24
5.5.	註冊和鄰居不可達性檢測	25
5.5.1.	發送鄰居請求	25
5.5.2.	處理鄰居廣告	25
5.5.3.	從失敗中恢復	26
5.6.	下一跳確定	26
5.7.	位址解析	27
5.8.	休眠	27
5.8.1.	選擇合適的註冊生命週期	27
5.8.2.	喚醒行為	28
6.	6LR和6LBR的路由器行為	28
6.1.	禁止的行動	28
6.2.	介面初始化	29
6.3.	處理路由器請求	29
6.4.	定期路由器廣告	30
6.5.	處理鄰居請求	30
6.5.1.	檢查重複項	30
6.5.2.	返回位址註冊錯誤	31
6.5.3.	更新鄰居緩存	31
6.5.4.	下一跳確定	31
6.5.5.	路由器之間的位址解析	32
7.	邊界路由器行為	32
7.1.	前綴確定	33
7.2.	上下文配置和管理	33
8.	可替代特徵行為	34
8.1.	多跳前綴和上下文分佈	34
8.1.1.	6LBR發送路由器廣告	35
8.1.2.	路由器發送路由器請求	35
8.1.3.	路由器處理路由器廣告	35
8.1.4.	存儲資訊	36

8.1.5.	發送路由器廣告	36
8.2.	多跳重複位址檢測	37
8.2.1.	DAR和DAC的 訊息驗證	38
8.2.2.	概念資料結構	38
8.2.3.	6LR發送重複位址請求	39
8.2.4.	6LBR接收重複位址請求	39
8.2.5.	處理重複位址確認	40
8.2.6.	從失敗中恢復	40
9.	協定常數	40
10.	範例	42
10.1.	訊息示範	42
10.2.	主機引導示範	43
10.2.1.	引導訊息	44
10.3.	路由交互作用示範	46
10.3.1.	自舉路由器	46
10.3.2.	更新鄰居緩存	46
11.	安全考量	47
12.	IANA考量	48
13.	與其他鄰居發現擴展的交互作用	48
14.	新功能指南	49
15.	致謝	50
16.	參考文獻	51
16.1.	規範性引用文獻	51
16.2.	訊息參考	52

1. 前言

IEEE802.15.4 上的 IPv6[rfc4944]檔案指定了如何在自我調整的幫助下 IEEE802.15.4 網路上承載 IPv6 位於媒體存取控制 (MAC) 層和 IP 網路層之間的層。低功率無線個人區域網路 (LoWPANs) 中的連結具有損耗小、功率低、位元速率低、距離短等特點；許多節點通過長休眠時間來節省能源。在這樣一個低功率、低損耗的無線網路中，採用多播的方式進行 IPv6 鄰居發現 (ND) [rfc4861] 是不可取的。而且，低功率無線個人區域網路連結在本質上在性質上，是非對稱和非傳遞的。低功率無線個人區域網路可能由大量重疊的無線電範圍組成。雖然一個給定的無線電範圍具有廣播

能力，但這些能力的聚合是一個複雜的非廣播多重存取 (NBMA) [rfc2491] 結構，一般不具有低泛廣域多播能力。連結局部範圍實際上是由可達性和無線電強度定義的。因此，我們可以考慮用具有 [rfc5889] 中未確定連接內容的連結，以及其中定義的相應位址模型假設。

本規範介紹了針對低功率和有損網路如 (LoWPANs) 的 IPv6 鄰居發現 [RFC4861] 的以下優化：

- 主機啟動的交互作用允許休眠主機。
- 消除主機基於多播的位址解析。
- 在單播鄰居請求 (NS) 和鄰居廣告 (NA) 消息中使用新選項的主機位址註冊功能。
- 一個新的鄰居發現選項，用於將 IPv6 低功率無線個人區域網路標準標頭壓縮上下文分發給主機。
- 前綴和 IPv6 低功率無線個人區域網路標準標頭壓縮上下文的多跳分佈。
- 多跳重複位址檢測 (DAD)，它使用兩種新的 ICMPv6 消息類型。

如果需要，可以用路由式通訊協定機制替換這兩個多跳項目；參見第 1.4 節。

檔案定義了三個新的 ICMPv6 消息選項：位址註冊選項 (ARO)，權威邊界路由器選項 (ABRO) 和 IPv6 低功率無線個人區域網路標準上下文選項 (6CO)。它還定義了兩個新的 ICMPv6 消息類型：重複位址請求 (DAR) 和重複位址確認 (DAC)。

1.1. IPv6 鄰居發現的不足

IPv6 鄰居發現 [rfc4861] 提供了幾種重要的機制，用於路由器發現、位址解析、重複位址檢測和重新導向路由路徑消息，以及前綴和參數發現。

在 IPv6 乙太網路中的網路通電和初始化之後，節點在介面上加入請求的節點多播位址，然後通過向連結發送請求的節點多播消息，對獲取的連結本地位址執行重複位址檢測 (DAD)。之後，它將

多播消息發送到所有路由器的多播位址以請求路由器廣告(RAS)。如果主機收到一個帶有(自治位址配置)標誌的有效 RA，它會使用 RA 消息中廣告的前綴。除此之外，IPv6 路由器通常在網路上定期發送 RAS。RAS 被發送到所有節點的多播位址。節點發送鄰居請求/鄰居廣告消息以解析連結上目標的 IPv6 位址。用於位址解析的鄰居請求消息是多播的。重複位址檢測過程和定期路由器廣告消息的使用假設節點大部分時間都處於通電狀態並且可以訪問。

在鄰居發現中，路由器通過假設子網路前綴映射到一個廣播域來查找主機，然後通過多播鄰居請求消息來查找主機及其連結層位址。此外，DAD 使用多播假設，可以使用連結本地多播消息來連接自動配置同一前綴的 IPv6 位址的主機。

注意，在鄰居發現中，前綴資訊選項(PIO)中的 L(on link)位元可以設定為零，這使得主機不可使用多播鄰居請求(NS)消息來解析其他主機的位址，但是路由器仍然使用多播 NS 消息來查找主機。

由於無線通訊的損耗性和無線電環境的變化，IPv6 連結節點集可能會由於外部物理因素而發生變化。因此，連結通常是不穩定的，並且節點在沒有必需發生移動情況物理移動。

LoWPANs 可以使用兩種類型的連結層位址：如[RFC4944]中定義的 16 位元短位址和 64 位元唯一位址。此外，可用的連結層有效負載大小小於 100 位元組；因此，標頭壓縮非常有用。考慮到低功率網路的上述特點，以及 IPv6 鄰居發現[RFC 4861]協定設計，一些對鄰居發現的優化和擴展對於在低功率和有損網路(例如：IPv6 低功率無線個人區域網路和其他同類低功率網路)上廣泛部署 IPv6 非常有用。

1.2. 適用性

在其第 1 節中，[RFC4861]預見了一個涵蓋特定連結類型上的操作 IP 的檔案，並定義了未修改[RFC 4861]在其他方面的一般適用性的例外。本規範改進了 IPv6 鄰居發現的使用為了節省這些節點

的能量和處理能力。因此，本檔案更新[RFC4944]以指定此處定義的優化的使用。

本規範的適用範圍僅限於 LoWPANs，其中子網路上的所有節點均以相同性質方式實施這些優化。雖然注意到這些優化中有一些可能在 6LoWPANs 之外也適用，例如，通用 IPv6 低功率和有損網路中，並且甚至可能與[RFC4861]相結合 但是這樣的結合的使用不在本文範圍之內

在本檔案中，我們在 LoWPANs 中指定主機和路由器之間的一組行為。遵循本檔案的實現必須完成這些行為。該檔案還指定了路由配置中需要的一組行為（多跳前綴或上下文分發，以及單獨的多跳重複位址檢測）。本規範的實現必須支援這些部分，除非實現支援其他規範中的某些備選方案（“替代”）

文中描述的優化適用於不同的拓撲。它們對於網狀拓撲中的路由和網狀下配置最有用。因此，星狀拓撲配置還將受益於優化，因為減少了信號、對不可傳遞連結的可靠處理以及標頭壓縮上下文處理。

1.3. 目標和假設

本文具有以下主要目標和假設。

- 使用一種機制來優化鄰居發現，這種機制對於配置下的網狀操作和路由操作都是最小的，但仍然足夠。
- 通過避免使用多播淹沒和減少連結範圍多播消息的使用來最小化信號發送。
- 優化主機與其默認路由器之間的介面。
- 為休眠主機提供支援。
- 根據 6LoWPANs 的需要將上下文訊息分發給主機標頭壓縮[RFC6282]。
- 傳播上下文資訊和前綴資訊與 LoWPANs 中所有路由器的邊界。
- 提供適合的多跳重複位址檢測機制穿越低層網路的路線。

假設：

- 64 位元擴展唯一識別字 (EUI -64) [EUI64]位址是全域唯一的，並且 LoWPANs 是同一性質。
- 網路中的所有節點都有一個 EUI-64 介面 ID，以便進行位址自動配置和檢測重複的位址。
- 鏈結層技術被認為是低功率且有損耗的，表現出不確定的連接性，例如 IEEE 802.15.4
- [RFC4944]。但是，位址註冊機制可能是對於其他鏈結層技術很有用。
- 6LoWPANs 配置為共享一個或多個全域 IPv6 位址，使得在 LoWPANs 中，主機在路由器間移動時，不需要改變其 IPv6 位址。
- 當使用多跳 DAD 機制（第 8.2 節）時，每個 IPv6 低功率無線個人區域網路標準，在 LoWPANs 中可用。路由器（6LR）向所有 6LoWPANs 邊界路由器（6LBR）註冊
- 如果使用 IEEE 802.15.4 16 位短位址，則使用一些技術來確保這些鏈結層位址的唯一性。可以使用 DHCPv6（基於位址註冊選項的重複位址檢測）（在 8.2 節）或本文範圍之外的其他技術。
- 為了保護不是來源於 EUI-64 的位址的唯一性(參見 RFC4862] 第 5.4 節)，其必須在整個 LoWPANs 中，以相同方式被重複配置或者驗證。這可以通過 對配置使用 DHCPV6 和/或者使用在第 8.2 節所定義的重複位址檢測機制實現(或為此目的開發的任何其他協定)。
- 為了使 6LoWPANs 標頭壓縮[RFC6282]運行正確地，壓縮上下文必須與所有主機匹配，可以發送，接收或轉發給定封包的 6LR 和 6LBR。如果使用第 8.1 節分發上下文訊息，則此意味著所有 6LBR 必須協調上下文訊息它們分佈在單個 LoWPANs 中。
- 本規範描述了單個 ND 的操作 LoWPANs。一個節點參與多個 LoWPANs 同時可能是可行的，但超出了此範圍文獻。
- 由於 LoWPANs 在整個網路中共享其前綴，LoWPANs 內節點的移動性是透明的。跨 LoWPANs 流動性不在本文範圍內。

1.4. 可替代的特徵

本文定義了主機路由器介面的鄰居發現消息的優化，並在路由拓撲中介紹了兩種新機制。

除非另有說明(在定義 6LoWPANs 中使用的路由協定的文件中)，否則該文適用於具有任何路由協定的低功率無線個人區域網路。但是，由於路由協定可以提供良好的替代機制，因此本文將某些功能定義為“可替換的”，意味著它們可以被替代通過提供機制的路由協定規範達到同樣的整體效果。

可替換的功能（單獨或組中）：

- 多跳配置前綴和 6LoWPANs 標頭壓縮上下文
- 多跳重複位址檢測

因此，用於分配頭壓縮上下文的多跳前綴分發（ABRO）和 6LoWPANs 上下文選項（6CO）齊頭並進。如果要替換其中之一，則必須都替換它們。

第 14 節提供了功能實施和部署的準則。

2. 術語

關鍵詞"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)"文件將按照[RFC2119]中的描述進行解釋。

該規範要求讀者熟悉所有術語和“鄰居發現 IP 版本 6（IPv6）中討論的概念” [RFC4861]，“IPv6 無狀態位址自動配置” [RFC4862]，“IPV6 低功率無線個人區域網路（6LoWPANs）：概述，假設，問題陳述，和目標” [RFC4919]，“通過 IEEE 傳輸 IPv6 封包 802.15.4 網路上的傳輸” [RFC4944]，和“Ad Hoc 中的 IP 定址模式” [RFC5889]。

所討論的術語和概念 本標準對定義在[RFC4861]中的相同術語的使用作出了擴展，除非另有定義如下。

6LoWPANs 鏈結：由單個 IP 中繼點可達性確定的無線鏈結相鄰節點。這些被認為是未確定的鏈結連接屬性，如[RFC5889]。

6LoWPANs 節點（6LN）：6LoWPANs 節點是參與 LoWPANs 的任何主機或路由器。當有關主機或者路由器可以發揮作用的情形下的時候，該術語被使用。

6LoWPANs 路由器（6LR）：LoWPANs 中的中間路由器，能夠發送和接收路由器廣告（RA）和路由器請求（RS）以及 IPv6 封包的轉發和路由。6LoWPANs 路由器僅存在於路由拓撲中。

6LoWPANs 邊界路由器（6LBR）：邊界路由器位於單獨的 6LoWPANs 的交界處網路或 6LoWPANs 網路與另一個 IP 網路之間。6LoWPANs 網路邊界可能有一個或多個 6LBR。一個 6LBR 是 IPv6 前綴傳播的負責權限它正在服務的 6LoWPANs 網路。一個獨立的 LoWPANs 也在網路中包含一個 6LBR，它為獨立的網路。提供了前綴

路由器：6LR 或 6LBR。請注意本文中沒有任何內容排除節點，是某些介面上的路由器和主機上的路由器[RFC2460]允許的其他介面。

網狀網路下（Mesh-under）：一種拓撲結構，其中節點使用鏈結層轉發通過網狀低功率無線個人區域網路連接到 6LBR。因此，在網狀底層配置中，LoWPANs 中的所有 IPv6 主機距離 6LBR 僅一個 IP 中繼點。此拓撲模擬一個路由器在同一子網中具有多個節點的典型 IP 子網路拓撲。

在路由之上（Route-over）：主機通過使用連接到 6LBR 的拓撲中間層-3（IP）路由。這裡主機通常是遠離 6LBR 的多個 IP 中繼點。路由拓撲通常由 6LBR，一組 6LR 和主機組成。.

非傳遞性鏈結：顯示不對稱可達性的鏈結，如中所定義 [RFC4861] 的第 2.2 節。

IP-over-foo 文件：涵蓋特定鏈結上的操作 IP 的規範類型，例如，[RFC4944] “IPv6 封包的傳輸 IEEE 802.15.4 網路”。

標頭壓縮上下文：通過 LoWPANs 共享的位址資訊，並由 6LoWPANs 標頭壓縮[RFC6282]使用，以使資訊的選擇得以消除，否則這些資訊將被重複發送。在“上下文”中，（可能是部分）位址與上下文識別符（CID）相關聯，然後將其在標頭壓縮中用作源位址或目標位址（部分位址）的快捷方式。

註冊:LoWPANs 節點將帶有位址註冊選項的鄰居請求訊息發送到路由器的過程，該路由器為具有特定超時的 LoWPANs 節點創建鄰居緩存條目（NCE）。因此，對於 6LoWPANs 路由器，鄰居緩存的行為不像緩存。而是，它充當連接到路由器的所有主機位址的註冊表。

3. 協定概述

這些鄰居發現優化適用於在網狀網路下和在路由之上的配置。在網狀網路下配置時，只存在 6LoWPANs 邊界路由器和主機；有在網狀拓撲中沒有 6LoWPANs 路由器。

優化中最重要的部分是演進的主機與路由器的交互作用，允許休眠節點並避免使用的多播鄰居發現訊息，除了主機外找到一組初始默認路由器，並重做這樣的路由器確定該組路由器何時無法訪問。

該協定還提供了標頭壓縮[RFC6282]在路由中的新選項中攜帶標頭壓縮資訊的廣播資訊。

此外，在 6LR 和 6LBR 之間可以使用單獨的機制來執行多跳重複位址檢測，並將前綴和壓縮上下文資訊從 6LBR 分發到所有 6LR，依次使用正常的鄰居發現機制來傳達此資訊給主機。該協定經過精心設計，以確保主機與路由器之間的交互不受 6LoWPANs 的配置的影響，主機到路由器的交互作用在網狀網路下和在路由之上的配置中是相同的。

3.1. RFC 4861 的擴展

本文指定了以下優化和擴展 IPv6 鄰居發現[RFC4861]：

- 主機初始化更新路由廣告訊息中的資訊。這去除了從路由器到主機的週期性的或者非請求的路由廣告訊息的需要
- 如果基於 EUI-64，則不執行重複位址檢測（DAD）使用 IPv6 位址（假設這些位址是全球獨一無二）。
- 如果使用 DHCPv6 配置位址，則 DAD 是可選的。
- 一個新的位址註冊機制在主機和路由器間使用新的註冊選項。這去除了路由器使用多播鄰居請求 訊息來發現主機的需要，並且支援休眠的主機。這也使在 6LoWPANs 上的路由中可以使用相同的 IPv6 位址前綴。它為重複位址檢測提供了主機到路由器的介面。
- 新的路由器廣告選項，6LoWPANs 上下文選項，用於 6LoWPANs 標頭壓縮使用的上下文資訊。
- 跨機器執行重複位址檢測的新機制 使用新的重複位址請求和路由 6LoWPANs 重複位址確認訊息。
- 配置前綴和上下文資訊的新機制 跨越使用新權威邊界的路由網路 路由器選項，用於控制配置更改的氾濫。
- 引入了一些新的默認協定常數，還有調整一些現有的鄰居發現協定常數。

3.2. 位址配置

在 6LoWPANs 中，主機如 RFC4861 和『RFC4862 所規定的，基於在收到的路由廣告 訊息中的資訊，配置其 IPv6 位址。然而，在優化中，M(管理位址配置)標記的使用比在[RFC4861]中更受限制。當 M 標記置 1 時，主機被假設為使用 DHCPv6 來配置非 EUI-64 位址。當 M 標記置 0 時，在 6LoWPANs 中的節點支援重

複位址檢測，於是，主機能夠安全的使用位址註冊機制來驗證 EUI-64 位址的唯一性。

6LRs 可能使用相同的機制來配置其 IPv6 位址。

6LBRs 使用手動配置、DCHP6 前綴代表[RFC3633]或者其他機制，負責管理配置給 6LoWPANS 的前綴。在一個獨立的 LOWPANS 中，一個唯一的本地位址 (ULA)[RFC4193]前綴應當被 6LBR 生成。

3.3. 主機到路由器的交互作用

當路由器發生故障主機在啟動時以及在發送主機，發送路由器請求訊息鄰居不可達檢測 (NUD) 為其默認值之一。

主機通常收到包含以下內容的路由器廣告訊息：權威邊界路由器選項 (ABRO)，可以選擇包含除以下內容外，一個或多個 6LoWPANs 上下文選項 (6CO) 現有的前綴資訊選項 (PIO)，如[RFC4861]中所述。

主機配置了非鏈接本地 IPv6 位址後，它將使用以下命令向其一個或多個默認路由器註冊該位址 NS 訊息中的位址註冊選項 (ARO)。該主機為其註冊選擇一個生命週期，並且週期性的重複此 ARO(在生命週期到期之前)來維護這個註冊。生命週期應該以關於甚至在主機休眠時也維護該註冊這樣的方式被選擇。同樣地，移動節點(經常改變其附著點的節點)應當使用一個合適的較短的生命週期 參見第 55 節的註冊細節和第 9 節的協定常數。

當 ARO 以一個非 0 的狀態返回到主機時，註冊失敗。原因可能是路由器確定該 IPv6 位址已經被其他主機使用，例如，被具有不同 EUI-64 的主機使用。這可以用於支援基於非 EUI-64 的位址，例如臨時 IPv6 位址 RFC4941 或者基於介面 ID 的位址 (IEEE802.15.416 位短位址)。如果在那個路由器上的鄰居緩存已滿，失敗也可能發生。

位址的重新註冊可能與路由器的鄰居不可達檢測(NUD)相結合起來 因為其都使用單播鄰居請求 訊息。這使得當主機甦醒要發送

一個分組，當主機喚醒以發送封包並需要執行 NUD 以檢查路由器時仍可訪問並刷新其在路由器中的註冊，這使事情變得高效。

對位址註冊的回應可能不是即時的，因為在 route-over 的配置中，6LR 可能執行對 6LBR 的重複位址檢測。主機重新發送位址註冊選項，直到收到位址註冊選項確認為止。

作為優化的一部分，不像[RFC4861]那樣通過多播鄰居請求訊息來執行位址解析。而是，路由器為所有已註冊的 IPv6 位址維護鄰居緩存條目。如果該位址不在路由器的鄰居緩存中，那麼此位址也許不存在，或其被配置給與 6LoWPANs 中的其他路由器相連的主機，抑或在 6LoWPANs 的外部。在 route-over 的配置中，路由協定用於將此類封包路由到目的地。

3.4. 路由器到路由器的交互作用

新的路由器到路由器的交互作用僅適用於存在 6LR 的路由配置。另請參見第 1.4 節。

在系統啟動和前綴配置期間，6LR 與[RFC4861]中的路由器不同，必須通過發送路由器請求消息並自動配置其 IPv6 地址來充當主機。

當使用多跳前綴和上下文分發時，則 6LR 將存儲（直接或間接）從 6LBR 接收到的 ABRO，6CO 和前綴訊息，並在它們發送到其他 6LR 或發送給主機的路由器廣告中重新分配此訊息。路由器請求。ABRO 中有一個“版本號”字段（請參見第 4.3 節），該欄位用於限制 6LR 之間更新訊息的泛洪。

6LR 可以使用新的“重複地址請求”（DAR）和“重複地址確認”（DAC）消息對一個或多個 6LBR 執行重複地址檢測，這些消息攜帶了“地址註冊選項”中的訊息。DAR 和 DAC 消息將在 6LR 和 6LBR 之間轉發。因此，用於檢查跳數限制為 255 的[RFC4861]規則不適用於 DAR 和 DAC 消息。

那些多跳 DAD 訊息必須不改變在路由器上的任何鄰居緩存條目，因為我們沒有跳數限制為 255 的檢驗提供的安全效益。

3.5. 鄰居緩存管理

使用有明確生命週期的註冊，加上不希望主機為多播鄰居請求訊息，這意味著我們管理鄰居緩存條目(NCE)與在 RFC4861 中稍有不同。這導致了 NCE 的三種不同類型，並且這些類型規定了這些條目如何被移除。

垃圾收集(Garbage-collectible)：遵從 RFC4861 中的標準規則，當記憶體不足時，允許垃圾收集。

註冊(Registered)：具有明顯註冊的生命週期和被維持直到生命週期到期或它們明確地未註冊。

試探(Tentative)：生命週期短的臨時條目，通常會轉換為已註冊條目。

請注意，NCE 的類型與[RFC4861]中指定的狀態是正交的。

當主機通過發送路由器請求與路由器交互時，這導致了試探的 NCE。一旦路由器成功擁有一個節點向它註冊，結果是一個註冊的 NCE。什麼時候路由器向主機發送 RA，當路由器收到 RA 訊息或從其他路由器接收多播 NS 訊息，結果是垃圾收集 NCE。一個 NCE 只能有一種一次 IP 位址。

可以另外添加或添加路由器上的鄰居緩存條目由 6LoWPANs 中使用的路由協定刪除。如果，這很有用路由協定攜帶的鏈結層位址 鄰居路由器。取決於此類路由的詳細資訊協定，這樣的 NCE 可以是註冊的或垃圾收集。

4. 新的鄰居發現選項和訊息

本節定義了使用的新鄰居發現 訊息選項 這個規範。位址註冊選項由。使用 主機，而權威邊界路由器選項和 6LoWPANs 上下文選項用於可替代的路由器到路由器相互作用。本節還定義了新的路由器到路由器重複位址請求和重複位址確認訊息。

4.1. 位址註冊選項

路由器需要知道主機 IP 位址集合可直接到達及其對應的鏈結層位址。這需要在無線電可達性改變時保持。為此，引入了位址註冊選項 (ARO)，它可以包含在主機發送的單播 NS 訊息中。因

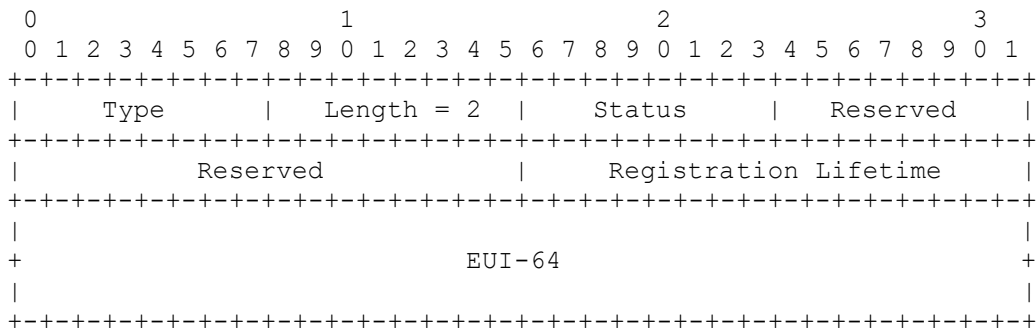
此，它可以包含在主機作為一部分發送的單播 NS 訊息中 NUD 確定它仍然可以到達默認路由器。該接收路由器使用 ARO 可靠地維護其鄰居緩存。相同的選項也包括在回應的 NA 訊息中，其具有一個狀態欄位，該欄位說明註冊是成功的或失敗的此選項始終是主機啟動的。

ARO 中包含的資訊也包含在多跳中在 6LR 和 6LBR 之間使用的 DAR 和 DAC 訊息，但是選項本身不用於這些訊息。

ARO 必須具備可靠性和節能性。生命週期欄位在其預定的休眠時間表中，給主機註冊一個應當為可用的位址(在路由式通訊協定中，持續被 6LR 廣告等等)。

NS 的發送者還包括 EUI-64[EUI64]從中註冊位址的界面。這被用作於檢測重複位址的唯一 ID。它習慣了告訴同一節點重新註冊其位址的區別和不同的節點（具有不同的 EUI-64）註冊位址已被其他人使用。EUI-64 也習慣了將帶有錯誤狀態代碼的 NA 發送到基於 EUI-64 的主機的鏈結本地 IPv6 位址（參見第 6.5.2 節）。

當主機使用 ARO 時，SLLAO（源鏈結層位址 選項）[RFC4861]必須包括在內，以及要包含的位址註冊必須是 NS 訊息的 IPv6 來源位址。



欄位：

類型：33

長度：8 位元無符號整數。選項的長度選項以 8 個位元組為單位。
總是為 2。

狀態：8 位無符號整數。指示 NA 回應中註冊的狀態。在 NS 訊息中必須設置為 0。見下文。

保留：未使用此欄位。發送者必須將其初始化為零，接收者必須將其忽略。

註冊生命週期：16 位元無符號整數。時間量以路由器應該以 60 秒為單位保留 NCE 為 NS 的發送者包括此選項。

EUI-64：64 位。該欄位用於唯一識別已註冊的界面位址包括 EUI-64 識別符 [EUI64] 未經修改地配置給它。

NAs 中使用的狀態值是：

Status	Description
0	Success
1	Duplicate Address
2	Neighbor Cache Full
3-255	Allocated using Standards Action [RFC5226]

表 1

4.2. 6LoWPANs 上下文選項

6LoWPANs 上下文選項（6CO）攜帶前綴資訊 LoWPANs 標頭壓縮與[RFC4861]的 PIO 類似。但是，前綴可以是遠程的，也可以是 LoWPANs 的本地前綴，因為標頭壓縮可能適用於所有 IPv6 位址。此選項允許傳播多個上下文由 CID 標識以供[RFC6282]中規定的使用。背景可能是任何長度或位址（/128）的前綴，最多 16 個 6CO 在 RA 訊息中攜帶。

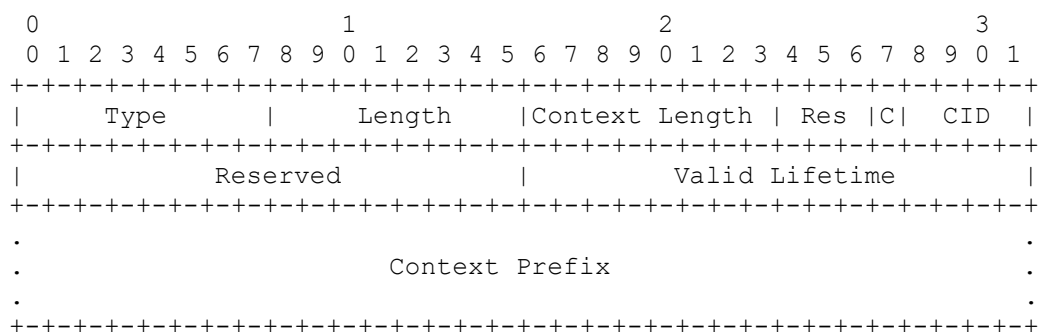


圖 1：6LoWPANs 上下文選項格式

類型：34

長度：8 位無符號整數。選項的長度（包括“類型”和“長度”欄位），以 8 個位元為單位。可以是 2 或 3，具體取決於上下文前綴欄位的長度。

上下文長度：8 位無符號整數。前導位數在上下文前綴欄位中有效。取值範圍為 0 到 128.如果大於 64，然後長度必須是 3。

C：1 位元上下文壓縮標誌。這個標誌表示 如果上下文有效用於壓縮。無效的上下文不得用於壓縮，而應在解壓縮中使用，以防其他壓縮器尚未接收到更新的上下文資訊。該標誌用於根據 7.2 節中的建議管理上下文生命週期。

CID：此前綴的 4 位元上下文識別符資訊。CID 由[RFC6282]中指定的基於上下文的標頭壓縮使用。LoWPANs 的 CID 列表在 6LBR 上配置，該 6LBR 發起 6LoWPANs 的上下文資訊。

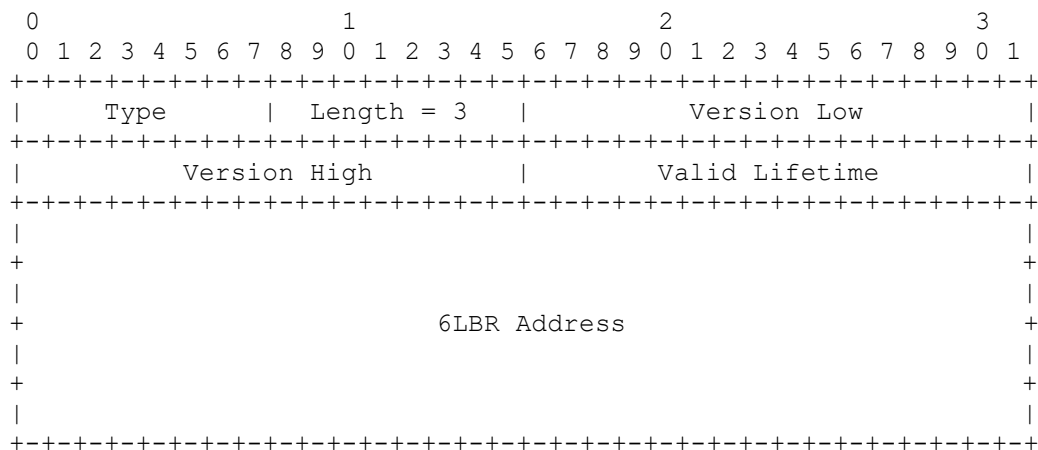
Res，預留(Res, Reserved)：此欄位未使用。發送者必須將其初始化為零，接收者必須將其忽略。

有效期限(Valid Lifetime)：16 位無符號整數。為了標頭壓縮或解壓縮，上下文有效的時間長度（以 60 秒為單位）（相對於接收封包的時間）。全零位（0x0）的值指示此上下文條目必須立即刪除。

上下文前綴：與 CID 對應的 IPv6 前綴或位址 欄位。包含此欄位的有效長度在“上下文長度”欄位中。這個欄位是使用零填充的以使選項成為倍數 8 個位元組。

4.3. 權威邊界路由器選項

RA 時需要權威邊界路由器選項 (ABRO) 訊息用於傳播前綴和上下文資訊跨越路由拓撲。在這種情況下，6LR 接收來自的 PIO 其他 6LR。這意味著 6LRs 不能只讓最近的獲得 RA 勝利。為了能夠可靠地添加和刪除來自 6LoWPANs 的前綴，我們需要攜帶來自的資訊權威的 6LBR。這是通過引入版本號來完成的 6LBR 設置和 6LRs 傳播時傳播此 ABRO 的前綴和上下文資訊。什麼時候有多個 6LBR，它們將具有單獨的版本號空間。因此，該選項需要攜帶 6LBR 的 IP 位址起源於那組資訊。在 RA 的情況下，ABRO 必須包含在所有 RA 訊息中用於在路由器之間傳播資訊(如 第 8.2 節)。



欄位：

類型：35

長度：8 位無符號整數。選項的長度，以 8 個位元組為單位。總是 3。

Version Low，Version High:：一起，低版本和高版本構成版本號欄位，32 位無符號整數，其中 Version Low 是最低有效 16 位，而 Version High 是最高有效 16 位。與 RA 訊息中包含的

此資訊集相對應的版本號。每當其前綴或上下文資訊集更改時，生成該前綴的權威 6LBR 都會增加該版本號。

有效期限：16 位無符號整數。長度以 60 秒為單位的時間（相對於接收封包的時間），這組邊界路由器資訊有效。全零位(0x0)的值假設默認值為 10,000（～一個星期）。

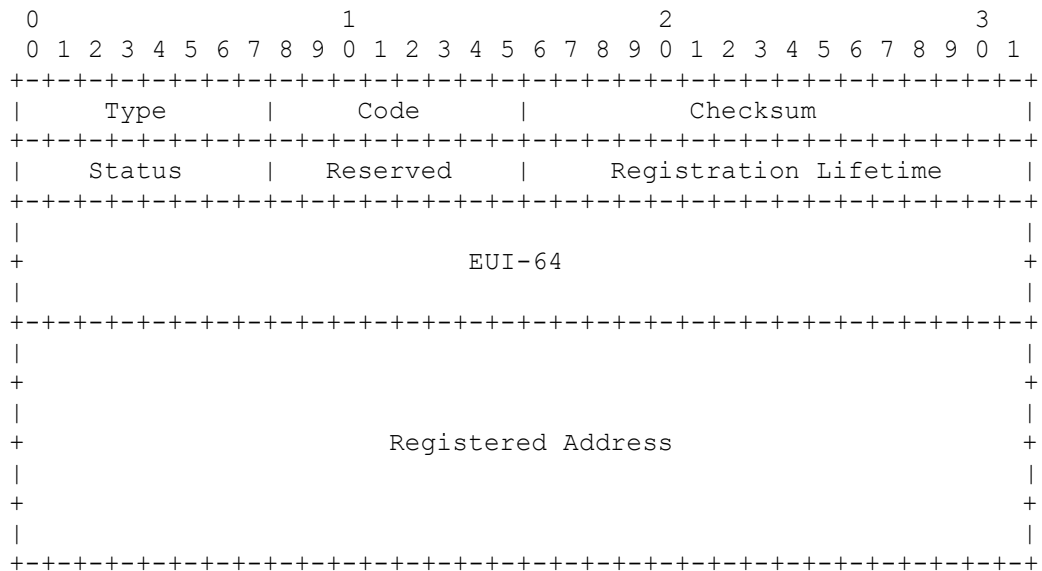
保留：未使用此欄位。發送者必須將其初始化為零，接收者必須將其忽略。

6LBR 位址：6LBR 的 IPv6 位址，它是所包含版本號的來源。

4.4. 重複的位址訊息

對於 6LR 和 6LBR 之間的多跳 DAD 交換，如規定在 8.2 節中，有兩種新的 ICMPv6 訊息類型稱為重複位址請求（DAR）和重複位址確認（DAC）。我們避免重複使用 NS 和 NA 訊息目的，因為這些訊息不受跳躍限制=255 的限制檢查它們是由中間 6LR 轉發的。資訊訊息中包含的內容與 NS 中的相同帶有 ARO，訊息格式內嵌了以下欄位在 ARO 中。

DAR 和 DAC 使用與不同 ICMPv6 相同的訊息格式類型值，狀態欄位僅在 DAC 中有意義訊息。



IP 欄位：

IPv6 來源：發送方的非鏈接本地地址路由器。

IPv6 目標：在 DAR 中，是 6LBR 的非鏈接本地地址。在 DAC 中，這只是 DAR 的來源。

跳數限制：在發送時設置為 MULTI HOP_HOPLIMIT。接收時必須忽略。

ICMP 欄位：

類型：DAR 157 和 DAC 158。

代碼(Code)：發送時設置為零。接收時必須忽略。

核對和(Checksum)：ICMP 核對和。參見[RFC4443]。

狀態(Status)：8 位元無符號整數。指示 DAC 中註冊的狀態。必須設置為

DAR 中的 0。參見表 1。

保留(Reserved)：未使用此欄位。發送者必須將其初始化為零，接收者必須將其忽略。

註冊生命週期(Registration Lifetime)：16 位無符號整數。時間量 6LBR 應以 60 秒為單位保留 DAD 表條目（第 8.2.2 節）作為註冊位址。值 0 表示在 DAR 中應刪除 DAD 表條目。

EUI-64：64 位元。通過包含分配給它的未修改的 EUI-64 識別符[EUI64]，此欄位用於唯一標識註冊位址的介面。

註冊位址(Registered Address)：128 位元欄位。承載的主機位址包含在包含主機發送的 ARO 的 NS 的 IPv6 源欄位中。

5. 主機行為

LoWPANs 中的主機在它們發送的 NS 訊息中使用 ARO 作為一種方式維護路由器中的鄰居緩存，從而刪除需要多播 NS 來進行位址解析。不同於[RFC4861]，主機發起更新他們收到的資訊，在資訊到期之前通過發送 RS 來實現 RA。最後，當 NUD 表示已成為一個或所有默認路由器無法訪問，然後主機使用 RS 來查找一組新的默認值路由器。

5.1. 禁止的行動

主機絕不能多播 NS 訊息。

5.2. 介面初始化

當主機上的介面初始化時，它遵循[RFC4861]中的規範。基於鏈結本地位址形成 按照配置給介面的 EUI-64 識別符[EUI64][RFC4944]或鏈結的相應 IP-over-foo 文件，以及然後主機發送 RS 訊息，如[RFC4861]中所述第 6.3.7 節。

因此，無需加入請求，節點多播位址的需要，因此在此類型的網路中，沒有節點多播 NS 訊息。一個主機必須加入所有節點多播位址。

位址配置遵循[RFC4862]。對於不是從 EUI-64 衍生的位址，RA 的 M 標誌確定如何配置位址。如果在 RA 中設置了 M 標誌，那麼必須使用 DHCPv6 來配置位址。如果未設置 M 標誌，則可以通過任何其他方式配置位址（並且作為註冊過程的一部分執行重複檢測）。一旦配置了位址，就會通過將帶有 ARO 的 NS 單播到一個或多個路由器來註冊。

5.3. 發送路由器請求

RS 的格式與[RFC4861]中指定的格式相同，並發送到 IPv6 所有路由器多播位址（參見[RFC4861]第 6.3.7 節）細節）。必須包含 SLLAO 以啟用單播 RA 響應。不得在 RS 中使用未指定的源位址訊息。

如果鏈結層支援將封包發送到某種所有路由器任意傳送法鏈結層位址，然後可以用於將這些封包傳送到路由器。由於主機不依賴於多播 RA 來發現路由器，所以主機需要在默認情況下智慧地重新傳輸 RS 路由器列表為空，其默認路由器之一變得無法訪問，或者前一個 RA 中前綴和上下文的生命週期是即將到期。推薦的重傳率是最初發送最多 3 條（MAX_RTR_SOLICITATIONS）RS 訊息分開按照規定至少 10 秒（RTR_SOLICITATION_INTERVAL）[RFC4861]，然後切換到較慢的重新傳輸。之後初始重傳時，主機應截斷二進位指數後移，每個的重傳計時器隨後的重傳，截斷了 60 秒（MAX_RTR_SOLICITATION_INTERVAL）的重傳計時器。在所有情況下，當 RA 為 0 時，RS 重傳終止收到。有關協定常數，請參見第 9 節。

5.4. 處理路由器廣告

RA 的處理與[RFC4861]中一樣，增加了處理 6CO 並在配置新位址時觸發位址註冊。此外，SLLAO 必須包含在 RA 中。與[RFC4861]不同，RA 路由器生命週期欄位的最大值可能高達 0xFFFF（約 18 小時）。如果主機錯誤地接收到設置了 L（on-link）標誌的 PIO，則必須忽略該 PIO。

5.4.1. 位址配置

位址配置遵循[RFC4862]。對於不是從 EUI-64 衍生的位址，RA 的 M 標誌確定如何配置位址。如果在 RA 中設置了 M 標誌，那麼必須使用 DHCPv6 來配置位址。如果未設置 M 標誌，則可以通過任何其他方式配置位址（並且作為註冊過程的一部分執行重複檢測）。一旦配置了位址，就會通過將帶有 ARO 的 NS 單播到一個或多個路由器來註冊。

5.4.2. 存儲上下文

主機維護上下文的概念資料結構。它從路由器收到的資訊。這種結構被稱為上下文表。它包括 CID，前綴（來自 Context 6CO 中的前綴欄位，壓縮位和有效生命週期。壓縮位清除的上下文表條目接收封包時用於解壓縮，但不得使用發送封包時的壓縮。

當在 RA 中接收到 6CO 時，它用於添加或更新上下文表中的資訊。如果 6CO 中的 CID 欄位與現有上下文表條目匹配，則使用 6CO 中的資訊更新該條目。如果 6CO 中的有效生命週期欄位為零，則立即刪除該條目。

如果上下文表中沒有匹配的條目，則有效生命週期欄位不為零，然後將新的上下文添加到上下文表格。6CO 用於更新創建的條目。

當 6LBR 更改上下文資訊時，主機可能不會立即通知。在最糟糕的情況下，主機可能已陳舊上下文資訊。因此，6LBR 使用建議在第 7.2 節中，仔細管理上下文生命週期。節點 RA 訊息中使用標頭壓縮應該小心包括 6CO。

5.4.3. 維護前綴和上下文資訊

前綴資訊按[RFC4861]中的規定超時。當上下文表條目的有效生命週期到期時，該條目將被置於僅接收模式，這相當於為 $C = 0$ 的上下文接收 6CO。該條目保持在僅接收模式，持續時間為默認路由器生命週期的兩倍，之後將刪除該條目。

主機應檢查各種生命週期，以確定何時應該發送 RS 以請求對資訊進行任何更新。重要的生命週期是默認路由器生命週期，PIO 中的有效生命週期以及 6CO 中的有效生命週期。主機應該在這些生命週期中的最短時間（跨所有前綴和所有上下文）到期之前將一個或多個 RS 單播到路由器，然後如果沒有對單播的響應則切換到多播 RS 訊息。RS 的重傳行為在 5.3 節中規定。

5.5. 註冊和鄰居不可達性檢測

主機發送單播 NS 訊息以註冊其 IPv6 位址，並且 還要做 NUD 以驗證其默認路由器是否仍然 可達的。註冊由主機執行，，包括它發送的 NS 中的 ARO。即使主機沒有要發送的數據，但期望其他人嘗試將封包發送到主機 需要在路由器中維護其 NCE。通過發送完成的帶有 ARO 的 NS 訊息提前到路由器註冊生命週期即將到期。NS 訊息被重傳到 使用 RETRANS_TIMER 的最小超時時間為 MAX_UNICAST_SOLICIT 次直到主機收到帶有 ARO 的 NA 訊息為止。

從多個默認路由器接收 RA 訊息的主機應該是 嘗試註冊其中一個以上以增加 網路的穩健性。

請注意，可通過可達性確認來抑制 NUD 探測 來自[RFC4861]中規定的傳輸協定或應用程序。

當主機知道它將不再使用它註冊的路由器時，它應該通過發送帶有 ARO 的 NS 來註銷路由器的註冊 包含生命週期為 0 的事件。處理主機丟失時的情況與默認路由器的非自願連接 主機應適當使用低的註冊生命週期。

5.5.1. 發送鄰居請求

當一個新的位址被配置時，主機觸發發送包括一個 ARO 的 NS 訊息，在其發現一個新的路由器的時候或者正好在註冊生命週期超時之前。這樣的 NS 訊息必須包括一個 SLAO，因為路由器需要記錄主機的鏈結層位址。一個未指定的源位址必須不用於 NS 訊息

5.5.2. 處理鄰居廣告

主機處理[RFC4861]中指定的 NA 訊息，並添加本節中描述的用於處理 ARO 的邏輯。

除了 NA 及其選項的正常驗證之外，還有 ARO（如果存在）驗證如下。如果長度欄位不為二，默認忽略該選項。如果 EUI-64 欄位沒有匹配介面的 EUI-64，該選項被默默忽略。

如果狀態欄位為 0，則位址註冊為成功的。主機從 ARO 保存註冊生命週期 用於在生命週期到期之前觸發新的 NS。如果狀態欄位不等於零，位址註冊已經是失敗的。

5.5.3. 從失敗中恢復

維護鄰居的可達性資訊的程序除了不執行位址解析以外，與 RFC4861 第 7.3 節所定義的相同。

位址註冊過程可能由於兩個原因而失敗：可能由於以下兩個原因而失敗：沒有收到對 NS 的響應（NUD 失敗），或者收到了狀態為失敗（狀態 > 0）的 ARO。如果 NUD 發生故障，該路由器的條目將被刪除；因此，位址註冊不再重要。當收到狀態欄位為非零的 ARO 時，表明該位址的註冊失敗。失敗狀態為 1 表示檢測到重複位址，並遵循[RFC4862]第 5.4.5 節中描述的過程。主機不得使用其嘗試註冊的位址。如果主機與其他路由器有有效的註冊，則必須通過使用零 ARO 生命週期註冊每個路由器來刪除這些路由器。

狀態碼為 2 表示該路由器的鄰居緩存已滿。在這種情況下，主機應該從其默認路由器列表中刪除此路由器，並嘗試向另一個路由器註冊。如果主機的默認路由器列表為空，則需要恢復為發送 RS，如第 5.3 節所述。

其他故障代碼可以在將來的文件中定義。

5.6. 下一跳確定

目的地的下一跳的 IP 位址被確定為如下。鏈結本地前綴 (fe80::) 的目標始終是發送到該目的地的鏈結。假設鏈結本地位址按照 EUI-64 第 5.2 節的規定形成不執行位址解析。封包將發送到本地鏈結目的地通過顛倒[RFC4291]附錄 A 中的程序。多播位址被認為是在鏈結上並被解析為在 [RFC4944] 中指定或適當的 IP-over-foo 文件。注意 [RFC4944] 僅定義瞭如何表示多播目的地 LoWPANs 標頭中的位址。支援更大的多播範圍比本地鏈結需要適當的多播路由演算法

假設所有其他前綴都是脫離鏈結[RFC5889]。任意傳送法位址始終被視為 off-link。因此他們是發送到默認路由器列表中的一個路由器。

LoWPANs 節點不需要每個節點至少維護一個緩衝區[RFC4861]中指定的鄰居，因為封包從不排隊在等待位址解析時。

5.7. 位址解析

RA 訊息中的位址註冊機制和 SLLAO 在路由器和主機中提供足夠的先驗狀態來解析 IPv6 位址及其關聯的鏈結層位址。由於除了鏈結本地前綴和多播位址以外的所有前綴始終被認為是脫離鏈結的，因此鄰居之間不需要基於多播的位址解析。

鄰居的鏈結層位址存儲在 NCE[RFC4861]中。在為了實現 LoWPANs 壓縮，形成了大多數全域位址使用鏈接層位址。因此，主機可以通過以下方式減少內存使用量：針對這種情況進行優化，僅存儲鏈接層位址訊息如果它與對應於 IPv6 位址的介面 ID 的鏈結層位址不同（即，與反向的在線鏈接/全域位址相比，差別更大）。

5.8. 休眠

本文中描述的優化使主機進入休眠狀態，如本節的進一步所描述的。路由器可能想緩存發送往正在休眠的主機的流量，但是此功能超出了本文的範圍。

5.8.1. 選擇合適的註冊生命週期

由於所有 ND 訊息都是由主機發起的，因此允許主機在 NS / NA 訊息交換之間休眠或以其他方式無法訪問。附加到 NS 訊息的 ARO 向路由器指示使該位址的 NCE 在註冊生命週期欄位中保持有效。主機應選擇適合其能量特性的休眠時間，並將註冊生命設置為大於休眠時間，以確保註冊成功更新（例如，考慮時鐘漂移和重新註冊的潛在重傳的額外時間）。主機的外部配置還應在選擇休眠時考慮網路的穩定性（拓撲變化的速度）時間（以及註冊生命週期）。動態低功率無線個人區域網路需要較短的休眠時間，以使路由器不會為節點保留無效的 NCE 超過必要的時間。

5.8.2. 喚醒行為

當主機從休眠期中醒來，其應當更新其當前位址註冊(該註冊在下次醒來前 將會超時)。這通過發送帶有 ARO 的 NS 訊息實現，如第 5.5.1 節所描述。主機可能也需要通過發送一個新的單播 RS 訊息(最大路由生存期大約為 18 小時而最大註冊生存期大約為 45.5 天)，更新其前綴和文本資訊。如果主機醒來之後 (使用 NUD)確定一些或者所有先前的默認路由變為不可達，然後主機將發送多播 RS 以發現新的默認值路由器並重新啟動位址註冊過程。

6. 6LR 和 6LBR 的路由器行為

6LR 和 6LBR 都基於以下內容維護鄰居緩存[RFC4861] 他們從主機收到的 NA 訊息中收到的 ARO，來自其他節點，以及可能在 6LoWPANs 中使用的路由協定如第 3.5 節所述。

路由器不應該垃圾收集已註冊的 NCE（請參閱第 3.4 節），因為它們需要保留它們，直到註冊生存期到期為止。同樣，如果路由器上的 NUD 確定主機為不可達（基於[RFC4861]中的邏輯），則不應刪除 NCE，而應保留 NCE，直到註冊生存期到期為止。更新的 ARO 應該將緩存項標記為 STALE。因此，對於 6LoWPANs 路由器，鄰居緩存的行為不像緩存。而是，它充當連接到路由器的所有主機位址的註冊表

路由器可以實現默認路由器首優選（Prf）擴展[RFC4191]並使用它向主機指示路由器是否為 6LBR 或 6LR。如果實現了，則沒有路由的 6LR 邊界路由器必須將 Prf 設置為(11)以獲得低優先級，其他 6LR 正常情況下，必須將 Prf 設置為（00），並且 6LBR 必須將 Prf 設置為（01）為高度優先。

6.1. 禁止的行動

即使路由拓撲中的路由器可以同時到達主機和另一個目標，但無線電傳播一般無法知道主機是否可以直接到達其他目標。因此，它不能假設重定向實際上可以從一個主機工作另一個。因此，它不應該發送重定向訊息。

唯一的這個“應避免”的潛在例外是部署/實現有一種方法可以了解主機如何達到預期目標。因此，建議默認執行不發送重定向訊息，但可以配置部署要求這樣做。相反，對於網狀拓撲，有關重定向的相同注意事項適用於[RFC4861]。

路由器絕不能在 PIO 中設置 L (on-link) 標誌，因為那樣可能會觸發主機發送多播 NS。

6.2. 介面初始化

6LBR 路由器介面的初始化行為與[RFC4861]中的相同。但是，在動態配置方案中（請參閱第 8.1 節），6LR 作為非路由器出現並等待接收，先用於配置自己的介面位址的廣告，再將其介面設置為廣告介面並轉變為路由器。

6.3. 處理路由器請求

路由器處理[RFC4861]中指定的 RS 訊息。這些差異涉及在 RA 訊息中包含 ABRO 以及單播 RA 的獨占使用。如果 6LR 已從 6LBR 收到 ABRO，則它將在其發送的 RA 訊息中包括未修改的該選項。並且，如果 6LR 已經從不同的 6LBR 接收到 RA（無論具有相同的前綴和上下文資訊還是不同），那麼它將需要分別保留這些前綴和該上下文資訊，以便 6LR 發送的 RA 將保持 ABRO 與前綴和上下文資訊之間的關聯。路由器可以告訴哪個 6LBR 從 ABRO 中的 6LBR 位址欄位發起前綴和上下文資訊。當路由器具有與多個 ABRO 相關聯的資訊時，單個 RS 將導致多個 RA，每個 RA 包含不同的 ABRO。

當與 6LBR 相關的 ABRO 有效生命超時時，必須刪除與該 6LBR 相關的所有資訊。作為實施說明，建議比 ABRO 有效生命週期更頻繁地發送 RA，以便丟失 RA 不會導致刪除與 6LBR 相關的所有資訊。

可能從尚未向路由器註冊其位址的主機接收 RS。因此，路由器不得基於來自 RS 的 SLLAO 修改現有 NCE(Neighbor Cache Entry，鄰居緩存條目)。但是，路由器可以基於 SLLAO 創建試探 NCE。這樣的試探 NCE 應該在 TENTATIVE_NCE_LIFETIME 秒內超時，

除非註冊將其轉換為註冊 NCE6LR 或 6LBR 必須在其發送的 RA 中包含 SLLAO; 這是必需的，以便主機知道鏈接層位址路由器。與[RFC4861]不同，RA 路由器的最大值生命週期欄位可能高達 0xFFFF（大約 18 小時）。

與建議多播 RA 的[RFC4861]不同，此規範通過始終單獨響應 RS 來改進交換。這是可能的，因為 RS 總是包括 SLLAO，即路由器用來單播 RA。

6.4. 定期路由器廣告

路由器不需要發送任何週期性的 RA 訊息，因為主機將通過發送 RS 之前徵求更新的訊息生命期限。

然而，但是，如果路由器使用 RA 在整個路由拓撲上分發前綴和/或上下文訊息，則可能需要定期的 RA 消息。根據[RFC4861]，使用可配置的 MinRtrAdvInterval 和 MaxRtrAdvInterval 發送此類 RA。

6.5. 處理鄰居請求

路由器處理[RFC4861]中指定的 NS 訊息，並添加本節中描述的用於處理 ARO 的邏輯。

除了 NS 及其選項的正常驗證之外，還有 ARO 驗證如下（如果存在）。如果長度欄位不是兩個，或者如果狀態欄位不為零，那麼 NS 就會被默默地忽略。

如果 NS 的源位址是未指定的位址，或者如果沒有包含 SLLAO，然後忽略任何包含的 ARO，即 NS 被處理就像它不包含 ARO 一樣。

6.5.1. 檢查重複項

如果 NS 包含有效的 ARO，則路由器在到達的介面上檢查其鄰居緩存，以查看其是否重複。如果(1)NS 的 IPv6 源位址沒有 NCE，或者(2)這樣的 NCE 與 EUI-64 相同，則不是重複項。否則，它是重複的位址。請注意，如果使用多跳 DAD（第 8.2 節），則考慮到暫定 NCE，檢查會略有不同。如果它是重複位址，則路由器

會發出單播 NA 訊息，並將 ARO 狀態欄位設置為 1（指示該位址是重複位址），如第 6.5.2 節所述。在這種情況下，不會對鄰居緩存進行任何修改。

6.5.2. 返回位址註冊錯誤

位址註冊錯誤不會發送回源位址，由於可能存在 L2 位址衝突的風險而導致的 NS。反而 NA 通過介面 ID 發送到鏈結本地 IPv6 位址 根據[RFC4944]從 ARO 的 EUI-64 欄位得到的部分。特別是，這意味著通用/本地位元需要顛倒。NA 的格式為 NS 的 ARO 副本，但設置狀態欄位以指示相應的錯誤。錯誤將通過介面 ID 發送到鏈結本地位址源自 EUI-64。因此，如果 ARO 來自並且是短暫的位址，具有 ARO 錯誤的 NA 的 L2 目標位址將是 64 位唯一位址。

6.5.3. 更新鄰居緩存

如果 ARO 沒有導致重複位址被檢測為如上所述，如果註冊生命週期為非零的路由器創建（如果它不存在）或更新（否則）為 NCE NS 的 IPv6 源位址。如果鄰居緩存已滿並且 a 需要創建新條目，然後路由器響應單播 NA，ARO 狀態欄位設置為 2（表示路由器的鄰居緩存已滿，如第 6.5.2 節所述。

註冊生命週期和 EUI-64 記錄在 NCE 中。然後發送一個單播 NA 以響應 NS。這個 NA 應該包括 ARO 的副本，Status 欄位設置為零。一個 TLLAO（目標鏈結層位址選項）[RFC4861]不需要 NA，因為主機已經知道來自 RA 的路由器的鏈結層位址。

如果 ARO 包含零註冊生命週期，那麼任何現有的 必須刪除 NS 的 IPv6 源位址的 NCE 和 NA 如上發送。

萬一 NCE 中的註冊生命週期到期，那麼路由器必須刪除緩存條目。已註冊的 NCE 的添加和刪除將導致通知路由協定。

注意：如果使用可替換的多跳 DAD（第 8.2 節），則由於暫定 NCE，鄰居緩存的更新會略有不同。

6.5.4. 下一跳確定

為了傳送一個以6LN註冊的封包路由器，下一跳確定與路由器略有不同對於主機（參見第5.6節）。檢查路由表確定下一跳IP位址。已註冊的NCE確定下一跳IP位址是否在線。路由器的路由協定負責維護有關其已註冊鄰居的鏈接資訊。暫定NCE不得用於確定已註冊節點的鏈接狀態。

6.5.5. 路由器之間的位址解析

路由器需要某種機制來發現彼此的鏈結層位址。如果路由器之間使用的路由協定提供了此協定，則路由器之間就無需使用ARO。否則，路由器應該使用ARO。當路由器使用ARO相互註冊並且使用多跳DAD（第8.2節）時，必須注意確保當每個路由器聽到ARO時，不會有大量ARO承載消息發送到6LBR。從他們的相鄰路由器。此方案的詳細訊息超出了本文的範圍。

路由器也可以使用[RFC4861]中的多播NS來解析每個NS其他鏈結層位址。因此，路由器可以多播NS其他路由器，例如，由於接收一些路由協定更新。路由器必須響應多播NS。這個意味著路由器必須加入請求節點多播位址如[RFC4861]中所述。

7. 邊界路由器行為

6LBR按照上面第6節中的規定處理來自主機的RA發送和NS的處理。6LBR應該在其發送的RA中始終包含ABRO，並將其自身列為6LBR位址。這要求6LBR在穩定的存儲器中維護版本號，並在其RA中的某些資訊發生更改時增加版本號。更改影響版本的資訊在PIO（前綴或生存期）和6CO（前綴，CID或生存期）中。

另外，以某種方式為6LBR配置分配給LoWPANs的一個或多個前綴，並像[RFC4861]中那樣在RA中發布這些前綴。在進行路由切換的情況下，可以使用討論的技術將這些前綴分發給所有6LR。

第8.1節。但是，可能有一些超出本文範圍的機制可以替代路由拓撲中的前綴分發（請參見第1.4節）。

如果 6LoWPANs 在上下文中使用標頭壓縮[RFC6282]，則 6LBR 需要管理 CID 並通過在 RA 中包含 6CO 來在 RA 中廣告這些 CID，以便將直接 CID 通知直接連接的主機。下面，我們指定 6LBR 需要添加，刪除或更改上下文資訊時要考慮的事項。在路由的情況下，除非使用不同的規範來替代此多跳分佈，否則將使用第 8 節中討論的技術將上下文資訊分發給所有 6LR。

7.1. 前綴確定

LoWPANs 中使用的前綴或前綴可以手動配置或可以使用 DHCPv6 前綴委派[RFC3633]獲取。為一個永久或與網路隔離的 LoWPANs 偶爾，6LBR 可以使用[RFC4193]配置 ULA 前綴。該 ULA 前綴應存儲在穩定存儲中，以便使用相同的前綴在 6LBR 發生故障後使用。如果 LoWPANs 有多個 6LBR，然後應配置相同的前綴集。前綴集包含在 RA 訊息中，如中所述 [RFC4861]。

7.2. 上下文配置和管理

如果 LoWPANs 使用帶有上下文的頭壓縮[RFC6282]，那麼 6LBR 必須配置上下文資訊和相關資訊 CID 組。如果 LoWPANs 有多個 6LBR，則必須配置它們具有相同的上下文資訊和 CID。如 [RFC6282]中所述，保持上下文資訊的一致性至關重要 確保封包正確解壓縮。

RA 訊息中攜帶的上下文資訊源自 6LBR 並且必須傳播給所有路由器和主機 LoWPANs。RA 為每個上下文包括一個 6CO。

為了使用 6CO 傳播上下文資訊，應該使用嚴格的生命週期，以確保上下文資訊在整個 LoWPANs 中保持同步。新的上下文資訊應該被引入到具有 $C = 0$ 的 LoWPANs 中，以確保所有可能必須基於該上下文資訊執行標頭解壓縮的節點知道它。只有當假設成功傳播此資訊是合理的時，才應發送一個 $C = 1$ 的選項，以便實際使用上下文資訊進行壓縮。

相反，為了避免節點發送使用先前上下文值的封包的情況 - 這會在接收使用最近更改的上下文的封包時導致模糊 - 上下文的舊值應該被取消用於在將新值配置給此特定上下文之前。

也就是說，在準備更改上下文資訊時，它的傳播應該至少持續 MIN_CONTEXT_CHANGE_DELAY， $C = 0$ 。只有當合理地假設上下文現在無效的事實被成功傳播時，才應該將 CID 從傳播中取出或者與不同的上下文前綴欄位一起重用。在後一種情況下，再次傳播新值應該從 $C = 0$ 開始，如上所述。

8. 可替代特徵行為

通常，在 6LoWPANs 多跳網路中，RA 訊息用於向路由拓撲中的所有 6LR 傳播前綴和上下文資訊。如果所有路由器都配置為使用替代機制進行此類資訊分發，則 6LoWPANs-ND 機制的任何剩餘使用均由替代規範控制。

通過使用 DAR 和 DAC 訊息，還可以選擇 6LR 在路由拓撲中對 6LBR 執行多跳 DAD（對於不是從 EUI-64 衍生的 IPv6 位址）。這是可替代的，因為可能有其他方法來配置唯一的位址，例如 DHCPv6 [RFC3315]，或者使用其他未來的機制來實現多跳 DAD。同樣，在這種情況下，6LoWPANs-ND 機制的任何剩餘使用都由替代規範控制。

需要明確的是：實現必須支援 8.1 和 8.2 節中描述的功能，除非實現支援某些其他規範中的替代（“替代”）。

8.1. 多跳前綴和上下文分佈

多跳分發依賴於 RS 訊息和發送的 RA 訊息在路由器之間，並使用 ABRO 版本號來控制傳播資訊（前綴和上下文資訊）這是在 RA 中發送的。

這種多跳分發機制可以處理任意資訊來自任意數量的 6LBR。但是，語義上下文資訊要求所有 6LN 使用相同的資訊是否發送，轉發或接收壓縮封包。因此，6LBR 的經理需要以某種方式確保這一點上下文資訊在 6LBR 之間是同步的。這個可以以不同的方式處理。確保它的一種可能方法是將上下文和前綴資訊視為源自

某些人邏輯或虛擬源，實質上意味著它看起來像資訊從單一來源分發。

如果一組 6LBR 表現為單個（使用機制）本文的範圍）使前綴和上下文和 所有 6LBR 的 ABRO 版本號將是相同的，然後是那些 6LBR 可以選擇在 ABRO 中使用的單個 IP 位址。

8.1.1. 6LBR 發送路由器廣告

支援多跳前綴和上下文分配的 6LBR 必須在其每個 RA 中都包含 ABRO。ABRO 版本號欄位用於在整個 LoWPANs 中保持前綴和上下文訊息的一致性，以及第 7.2 節中的準則。每當 PIO 或 6CO 集中的任何訊息更改時，ABRO 版本都會增加一個。

這要求 6LBR 保持 PIO, 6CO 和 ABRO 版本以穩定存儲中的數字，因為舊的版本號將會被 6LR 默默地忽略了。

8.1.2. 路由器發送路由器請求

在 6LoWPANs 中，除非被替換，否則使用多跳分發 RA 訊息。因此，在介面初始化時，路由器（6LR）必按照為主機指定的規則發送 RS 訊息 [RFC4861]。反過來，這將導致路由器以 RA 訊息進行響應，以致於最初可以使用 RA 訊息對前綴和上下文資訊進行傳播。

8.1.3. 路由器處理路由器廣告

如果沒有使用 RA 訊息進行多跳分發，那麼路由器遵循 [RFC4861]，聲明它們只是做了一些一致性檢查；在這種情況下，8.1 節中的任何內容均不適用。否則，路由器將檢查並記錄接收到的 RA 中的前綴和上下文訊息，並按以下方式使用該訊息。

如果收到的 RA 不包含 ABRO，則必須靜默地忽略該 RA。

路由器使用 ABRO 中的 6LBR 位址欄位來檢查它是否有以前從 6LBR 收到的資訊。如果沒有發現這樣的資訊的話，則僅記錄 6LBR 位址，版本，有效生命期以及關聯的前綴和上下文訊息。

如果 6LBR 以前是已知的，那麼版本號欄位必須是 [Page 35] 與該 6LBR 的記錄版本號進行比較。如果封包中收到的版本號小於存儲的版本號數字，則無聲地忽略 RA 中的資訊。否則，更新記錄的資訊和版本號。

8.1.4. 存儲資訊

路由器為 ABRO 看到的每個 6LBR 保持狀態。包括版本號，有效生命週期和完整集 PIO 和 6CO。前綴基於有效時間超時 PIO 的生命週期。上下文前綴基於時間超時 6CO 中的有效生命週期。

雖然前綴和上下文資訊存儲在路由器中，隨著時間的推移，它們的有效和首選生命週期會減少。這樣可以確保當路由器隨後在其發送的 RA 中廣告該訊息時，“到期時間”不會意外地移到未來。例如，如果在時間 T 收到有效生命期為 10 分鐘的 6CO，並且路由器將其包含在它在時間 T + 5 分鐘發送的 RA 中，則在它發送的 6CO 中的有效生命期將僅為 5 分鐘。

8.1.5. 發送路由器廣告

當使用 RA 消息執行多跳分發時，路由器必須確保 ABRO 始終與該 ABRO 收到的前綴和上下文訊息保持在一起。因此，如果路由器已經收到帶有來自一個 6LBR 的 ABRO 的前綴 P1，以及來自另一個 6LBR 的前綴 P2，則路由器務必在同一 RA 消息中不包含兩個前綴。前綴 P1 必須位於包含第一個 6LBR 等來的 ABRO 的 RA 中。請注意，多個 6LBR 可能會廣告相同的前綴和上下文訊息，但仍需要與廣告它們的 6LBR 關聯。

路由器按照 [RFC4861] 的規定定期發送 RA。這是為了使其他路由器接收前綴和上下文訊息。路由器還通過單播 RA 消息來響應 RS。在這兩種情況下，保持 ABRO 的上述約束在這兩種情況下，上述將 ABRO 與其“前綴”和上下文訊息保持在一起的限制都適用。當路由器從 6LBR 接收到新訊息時，也就是說，它從新的 6LBR（ABRO 中的新 6LBR 位址）聽到消息，或者現有 6LBR 的 ABRO 版本號增加了，那麼發送一些觸發更新。建議的行為與 [RFC4861] 中描述的介面已成為廣告介面時相同，即，最多發送三個 RA 消息。這樣可以確保將新訊息快速

傳播到所有6LR。

8.2. 多跳重複位址檢測

除了在6LR中註冊位址外，還可以使用ARO來讓6LR驗證該位址是否未被6LR已知的其他主機使用。但是，這在路由拓撲中（或在具有多個6LBR的LoWPANs中）是不夠的，因為連接到另一個6LR的某些主機可能使用相同的位址。6LR將來可能會有不同的方式來協調這種重複的位址檢測，或者可以使用DHCPv6服務器分配位址，該服務器會驗證唯一性作為分配的一部分。

該規範為6LR和6LBR提供了可替代的簡單技術來執行DAD，該DAD重用了DAR和DAC消息中來自ARO的訊息。當位址中的介面ID基於EUI-64時，不需要此技術，因為它們被認為是全域唯一的。該技術假設6LR向所有6LBR進行註冊，或者低功率無線個人區域網路使用某種範圍外的機制來使6LBR中的DAD表保持同步。

多跳DAD機制在第一次同步時使用位址是使用特定的6LR註冊的。也就是說，ARO不是返回到主機，直到針對6LBR的多跳DAD都沒有將ARO返回給主機。對於6LR中的現有註冊，需要對6LBR重複多跳DAD，以確保6LBR中的位址輸入不會超時，但這可以與對主機的響應異步進行。實現此目的的一種方法是跟蹤6LR向6LBR註冊的剩餘生命，並在該生命即將用盡時向6LBR重新註冊。

對於同步多跳DAD，6LR會執行一些其他檢查，以確保它具有一個NCE，當它收到6LBR的響應時可以用來響應主機。這包括檢查具有不同EUI-64的已註冊位址的現有NCE（暫定或已註冊）。如果存在這樣的註冊NCE，則6LR應該響應該位址是重複的。如果存在這樣的暫定NCE，則6LR應該靜默忽略ARO，從而依靠主機重傳ARO。當多個主機嘗試同時註冊同一IPv6位址時，需要使用此方法。如果不存在NCE，則6LR必須使用EUI-64和SLLAO創建一個暫定NCE。當6LBR做出肯定響應時，此條目將用於將響應發送到主機。

當 6LR 接收含有非零的 ARO 的 NS 時註冊生命週期，它沒有現有的註冊 NCE 則使用這種機制，6LR 將調用同步多跳 DAD。6LR 將 DAR 訊息單播到一個或多個 6LBR，其中 DAR 在“已註冊的位址”欄位中包含主機的位址。該 DAR 將由 6LR 轉發，直到達到 6LBR;因此，它當 6LBR 收到 IPv6 Hop Limit 欄位時，它不會是 255。該 6LBR 將響應 DAC 訊息，該訊息將具有跳躍限制到達 6LR 時小於 255。

當 6LR 從 6LBR 接收到 DAC 時，它將尋找一個匹配（相同的 IP 位址和 EUI-64）（暫定或已註冊）NCE。如果未找到此類條目，則將忽略 DAC。如果找到一個條目並且 DAC 的狀態為= 0，則 6LR 將把暫定 NCE 標記為已註冊。在所有情況下，找到條目後，6LR 就會使用 NA 對主機做出響應，將 Status 和 EUI-64 欄位從 DAC 複製到 NA 中的 ARO。如果狀態是錯誤的，則 NA 的目標 IP 位址源自 DAC 的 EUI-64 欄位。

試探的 NCE 應該超時 TENTATIVE_NCE_LIFETIME 秒之後創建它，允許其他主機嘗試註冊 IPv6 位址。

8.2.1. DAR 和 DAC 的訊息驗證

節點必須以靜默方式丟棄任何收到的 DAR 和 DAC 訊息 只要其中有一項有效性檢查不滿足：

- 如果訊息包含 IP 身份驗證標頭，則為該訊息正確。
- ICMP 核對和有效。
- ICMP 長度（從 IP 長度衍生）為 32 或更多位元組。
- 註冊位址不是多播位址。
- 所有包含的選項的長度都大於零。
- IP 源位址不是未指定的位址，也不是多播位址。

保留欄位和任何無法識別的選項的內容必須被忽略。協定的未來向後兼容更改 可以指定保留欄位的內容或添加新選項;向後不兼容的更改可能使用不同的代碼值。

請注意，由於在 6LR 和 6LBR 之間轉發 DAR 和 DAC 消息，因此對於這些 ICMPv6 消息類型，在接收時沒有跳躍限制檢查。

8.2.2. 概念資料結構

實現多跳DAD的6LBR需要維持某種狀態 與Neighbor Cache 分開。我們稱之為概念資料結構DAD表。它由IPv6位址索引 - DAR中的註冊位址 - 包含EUI-64和 註冊使用該位址的主機的生命週期。

8.2.3. 6LR 發送重複位址請求

當實現多跳 DAD 的 6LR 從主機接收到 NS 並經過上述檢查時，6LR 形成 DAR 並將其發送到至少一個 6LBR。DAR 包含以下訊息：

- 在 IPv6 源位址中，是 6LR 的全域位址。
- 在 IPv6 目標位址中，是 6LBR 的位址。
- 在 IPv6 跳數限制中，為 MULTIHOP_HOPLIMIT。
- 狀態欄位必須設置為零。
- 從主機收到的 ARO 複製 EUI-64 和註冊生存時間。
- 已註冊位址設置為主機的 IPv6 位址，即觸發 NS 的發送者。

當 6LR 從主機接收到的 NS 的註冊生存期為零時，則除了按照第 6 節中的規定刪除主機的 NCE 之外，還會如上所述將 DAR 發送到 6LBR。

路由器不得由於收到 DAR 而修改鄰居緩存。

8.2.4. 6LBR 接收重複位址請求

當實現可替代多跳 DAD 的 6LBR 接收到來自 6LR 的 DAR，它執行指定的訊息驗證 第 8.2.1 節。如果 DAR 有效，則 6LBR 繼續尋找 DAD 表中的註冊位址。如果找到條目並且記錄的 EUI-64 與 DAR 中的 EUI-64 不同， 然後返回 DAC NA，狀態設置為 1（'重複位址'）。否則，它返回狀態設置為零的 DAC 並更新生命週期。如果在 DAD 表和註冊生命週期中未找到任何條目 非零，然

後創建一個條目，EUI-64和註冊來自 DAR 的位址存儲在該條目中。如果在 DAD 表中找到條目，則 EUI-64 匹配，並且註冊生命週期為零，然後從中刪除條目表。在上述兩種情況下，6LBR 與資訊形成 DAC 從 DAR 複製並將“狀態”欄位設置為零。DAC 是送回 6LR，即返回 DAR 的來源。IPv6 跳數限制設置為 MULTIHOP_HOPLIMIT。

8.2.5. 處理重複位址確認

當實現多跳 DAD 的 6LR 收到 DAC 消息時，它將首先根據第 8.2.1 節驗證消息。對於有效的 DAC，如果沒有與註冊位址和 EUI-64 匹配的暫定 NCE，則將忽略 DAC。否則，將使用 DAC 和暫定 NCE 中的訊息來形成要發送給主機의 NA。狀態代碼從 DAC 複製到發送到主機的 ARO。在 DAC 指示錯誤（狀態非零）的情況下，如 6.5.2 節所述將 NA 返回給主機，並刪除暫定 NCE 的註冊位址。否則，將其註冊為 NCE。

除非收到與 IPv6 位址和 EUI-64 匹配的暫定 NCE，否則路由器不得由於接收到 DAC 而修改鄰居緩存。

8.2.6. 從失敗中恢復

如果在 RETRANS_TIMER [RFC4861] 之後沒有來自 6LBR 的響應，那麼 6LR 會將 DAR 重新傳輸到 6LBR 到 MAX_UNICAST_SOLICIT [RFC4861] 次。在此之後，6LR 應該響應 ARO 狀態為零的主機。

9. 協定常數

本節基於[RFC4861]常數的子集定義本文中使用的相關協定常數。“*”表示從[RFC4861]修改的常數，“+”表示新的常數。

其他協定常數在第 4 節中定義。6LBR 常數：

MIN_CONTEXT_CHANGE_DELAY + 300 秒

6LR 常數：

MAX_RTR_ADVERTISEMENTS 3 次傳輸

$\text{MIN_DELAY_BETWEEN_RAS} * 10 \text{ 秒}$

$\text{MAX_RA_DELAY_TIME} * 2 \text{ 秒}$

$\text{TENTATIVE_NCE_LIFETIME} + 20 \text{ 秒}$

路由器常數：

$\text{MULTIHOP_HOPLIMIT} + 64$

主機常數：

$\text{RTR_SOLICITATION_INTERVAL} * 10 \text{ 秒}$

$\text{MAX_RTR_SOLICITATIONS} \quad 3 \text{ 次傳輸}$

$\text{MAX_RTR_SOLICITATION_INTERVAL} + 60 \text{ 秒}$

10. 範例

10.1. 訊息示範

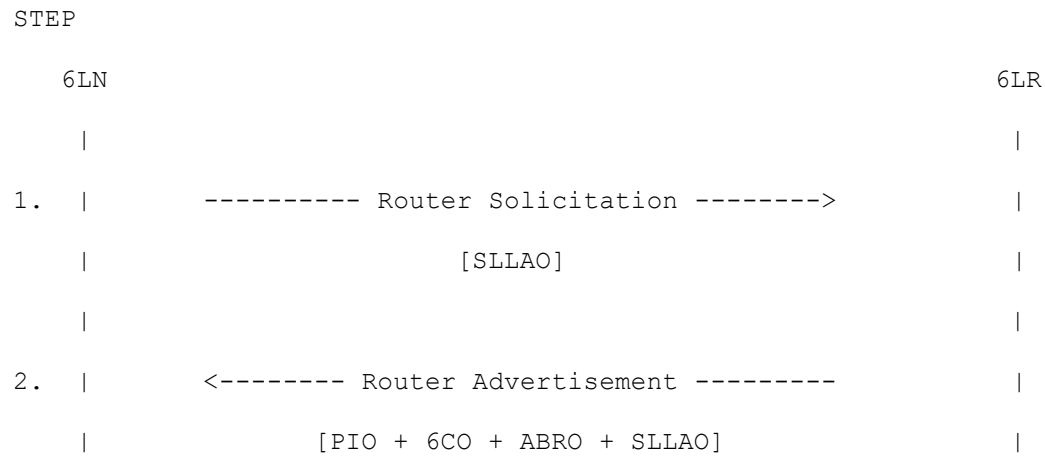


圖 2：基本路由器請求/路由器廣告交換 在節點和 6LR 或 6LBR 之間

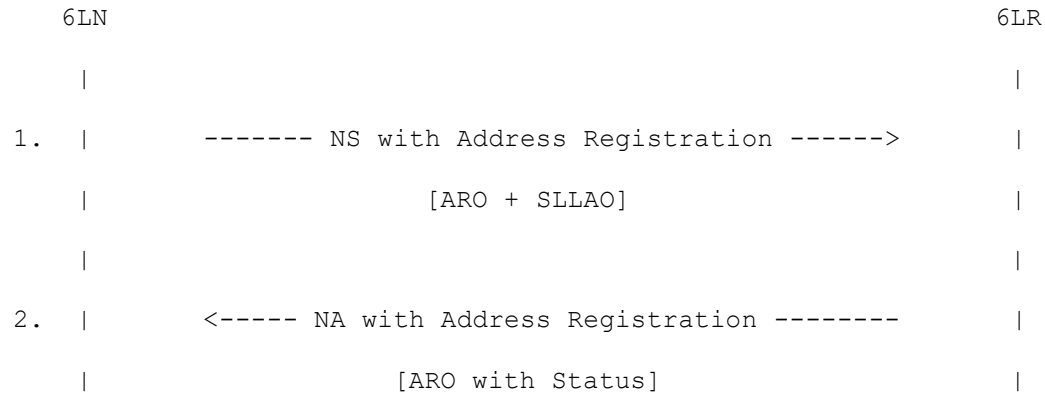


圖 3：鄰居發現位址註冊



圖 4：使用多跳 DAD 註冊鄰居發現位址

10.2. 主機引導示範

以下示範描述了位址引導方案使用本文中指定的改進的 ND 機制。它是 假設 6LN 首先按順序執行一系列操作 在 LoWPANs 的鏈結層獲得安全訪問並獲得密鑰 用於鏈結層安全性。如何建立鏈結層的方法 安全性超出了本文的範圍。在這個例子中，IEEE 802.15.4 6LN 在不使用 DHCPv6 的情況下形成 16 位短 IPv6 位址（即，在 RA 中沒有設置 M 標誌）。

1. 獲得鏈結層安全性後，6LN 配置本地鏈結 IPv6 位址本身。配置鏈結本地 IPv6 位址 基於 6LN 的 EUI-64 鏈結層位址形成 [RFC4944]。
2. 接下來，6LN 確定中的一個或多個默認路由器 通過向所有路由器多播位址發送 RS 來實現網路連接 將 SLLAO 設置為其 EUI-64 鏈結本地位址。如果是 6LN 能夠通過它獲取路由器的鏈結層位址 鏈結層操作，然後 6LN 可以形成鏈結本地 目標路由器的 IPv6 位址，並向其發送單播 RS。
3. 6LR 使用單播 RA 響應 IP 源位址 來自 RS 的 SLLAO（它可能已經創建了一個試探的 NCE）。請看圖 2。

4. 為了通訊多個 IP 跳數，6LN 配置全域 IPv6 位址。為了節省開銷，6LN 希望基於 16 位元配置其 IPv6 位址 根據[RFC4944] 的短位址。由於網路是不受管理的（在 RA 中沒有設置 M 標誌），6LN 隨機選擇一個 16 位鏈結層位址並從中形成試探的 IPv6 位址。
5. 接下來，6LN 註冊其中一個或多個位址 通過發送帶有 ARO 的單播 NS 訊息的默認路由器 包含其試探的全域 IPv6 位址進行註冊 註冊生命週期及其 EUI-64。SLLAO 也包括在內鏈結層位址對應於位址註冊。如果收到成功（狀態 0）NA 訊息，然後可以使用該位址，並且 6LN 假設它具有已成功檢查重複項。如果是重複的位址（狀態 1）收到 NA 訊息，然後 6LN 刪除臨時 IPv6 位址和 16 位鏈結層位址 返回步驟 3.如果是“鄰居緩存已滿（狀態 2）” 訊息收到後，6LN 嘗試註冊另一個默認值路由器，如果沒有，則返回步驟 2.參見圖 3.注意 返回錯誤的 NA 訊息將被發送回 鏈結本地基於 EUI-64 的 6LN 的 IPv6 位址而不是 16 位元(重複) 位址。
6. 6LN 現在通過發送新的 NS 位址來執行維護在生命週期到期之前註冊。

如果使用多跳 DAD 和多跳前綴以及上下文分配，則遵循上述引導過程的 6LR 和主機的作用是配置 6LR 和主機的“波前”，並從 6LBR 向外擴展：首先，可以進行複製的主機和 6LR 直接到達 6LBR 將接收一個或多個 RA，然後配置並註冊其 IPv6 位址。一旦完成，他們將啟用路由協定並開始發送 RA。這將導致一組新的 6LR 和主機接收對其 RS 的響應，形成並註冊其位址等。重複此操作，直到所有 6LR 和主機均已配置。

10.2.1. 引導訊息

本節提供與上述引導過程有關的特定消息示例。在討論消息時，使用以下表示法：

LL64：基於 EUI-64 的本地鏈接位址，也是 802.15.4 長位址。

GP16：基於 802.15.4 短位址的全域位址。該位址可能不是唯一的。

GP64：從[RFC4944]中指定的 EUI-64 位址衍生的全域位址。

MAC64：EUI-64 位址用作鏈結層位址。MAC16：IEEE 802.15.4 16 位短位址。

請注意，某些實現可能使用 LL64 和 GP16 樣式位址而不是 LL64 和 GP64。在下面，我們將顯示一個示例消息流，該消息流涉及節點如何使用 LL64 註冊 GP16 位址以進行多跳 DAD 驗證。

```
6LN-----RS----->6LR
  Src= LL64 (6LN)
  Dst= all-router-link-scope-multicast
  SLLAO= MAC64 (6LN)
```

```
6LR-----RA----->6LN
  Src= LL64 (6LR)
  Dst= LL64 (6LN)
```

注意：RA 的源地址必須是本地鏈接地址（RFC 4861 的 4.2 節）。

```
6LN-----NS Reg----->6LR
  Src= GP16 (6LN)
  Dst= LL64 (6LR)
  ARO
  SLLAO= MAC16 (6LN)

6LR-----DAR----->6LBR
  Src= GP64 or GP16 (6LR)
  Dst= GP64 or GP16 (6LBR)
  Registered Address= GP16 (6LN) and EUI-64 (6LN)
```

```
6LBR-----DAC----->6LR
  Src= GP64 or GP16 (6LBR)
  Dst= GP64 or GP16 (6LR)
  Copy of information from DAR
```

假設為成功狀態：

```

6LR -----NA-Reg----->6LN
Src= LL64 (6LR)
Dst= GP16 (6LN)
ARO with Status = 0

```

假設為非成功狀態：

```

6LR -----NA-Reg----->6LN
Src= LL64 (6LR)
Dst= LL64 (6LN) --> Derived from the EUI-64 of ARO
ARO with Status > 0

```

圖 5：詳細的訊息位址示範

10.3. 路由交互作用示範

在路由拓撲中，運行路由協定時 6LR，自舉和鄰居緩存管理都是處理的一點點不同。本段中的描述僅提供實施指南。在初始化 6LR 時，它可以選擇作為主機引導。如果可替代多跳 DAD，則在父 6LR 的幫助下用 6LBR 進行。路由器的鄰居緩存管理和相鄰路由器之間的位址解析在中描述第 6.5.3 和 6.5.5 節分別。在這個例子中，我們假設相鄰的 6LoWPANs 鏈結是安全的。

10.3.1. 自舉路由器

在這種情況下，自舉 6LR“R1”距離 6LBR 多跳，並被其他 6LR 鄰居包圍。最初，R1 充當主機。它發送多播 RS，並從一個或多個相鄰 6LR 接收 RA。R1 選擇一個 6LR 作為其臨時默認路由器，並通過該默認路由器執行位址解析。注意，如果不需要多跳 DAD（例如，在託管網路或使用基於 EUI-64 的位址），然後它沒有需要選擇臨時默認路由器；但是，它可能仍然想要。如果想要自動配置它，則發送初始 RS 訊息。位址與 6LBR 傳播的全域前綴。根據 RA 中收到的資訊，R1 更新其緩存包含所有相鄰 6LR 的條目。完成後位址註冊，bootstrapping 路由器刪除臨時輸入默認路由器，並啟動路由協定。另請注意，R1 可以直接更新其多跳 DAD 註冊使用 6LBR（使用下一跳相鄰的 6LR 確定到達 6LBR 的路由協定）。

10.3.2. 更新鄰居緩存

在此示範中，有三個 6LR：R1，R2 和 R3。原來，當 R2 啟動時，它只能看到 R1，因此 R2 會為其創建一個 NCE R1。現在假設 R2 從路由器接收有效的路由更新 R3。R2 沒有任何針對 R3 的 NCE。如果執行 R2 支援從路由資訊中檢測鏈結層位址封包，然後使用它直接更新其鄰居緩存鏈結層資訊。如果這是不可能的，則 R2 應該根據路由更新封包中接收到的源 IP 位址的範圍，使用源集及其鏈接本地或全域位址來執行多播 NS。NS 消息的目標位址是收到的路由更新包的源 IPv6 位址。NS 消息的格式如[RFC4861]的 4.3 節所述。一般而言，如上所述，需要從沒有任何 NCE 的鄰居路由器接收到有效路由更新的任何 6LR 來更新其鄰居緩存。通過 ND 學習到的路由器（6LR 和 6LBR）IP 位址不會重新分配給路由協定。

11. 安全考量

適用 IPv6 ND [RFC4861]和位址自動配置[RFC4862]的安全考量。其他考量可以在[RFC3756]中找到。由於在本規範中 RA 中的 M 標誌禁止對非 EUI-64 衍生的位址使用無狀態位址自動配置，因此對這些考量進行了一些修改。因此，鏈結上的流氓路由器可以強制僅將 DHCP 用於短位址，而在[RFC4861]和[RFC4862]中，流氓路由器只能導致添加 DHCP，而不會禁用短位址的無狀態位址自動配置。

本規範假設鏈結層受到了充分的保護，例如通過使用 MAC 子層加密技術。因此，其威脅模型與 IPv6 ND [RFC4861]相同。[RFC3756]第 3 節中列出的第一個信任模型在此處適用。但是，將來任何適用於 6LoWPANs 協定的 ND 的 6LoWPANs 安全協定均不在本文的範圍之內。

多跳 DAD 機制依賴於 6LR 轉發的 DAR 和 DAC 消息，因此接收器上的 hop_limit = 255 檢查不適用於這些消息。這意味著網際網路上的任何節點都可以成功發送此類消息。我們通過要求路由器永遠不要由於此類消息而修改 NCE，並且除非在已明確配置為使用這些優化的介面上接收到它們，否則它們將丟棄它們，從而避免了由此帶來的任何其他安全問題。

在某些將來的部署中，可能要使用 SEcure 鄰居發現（SEND）[RFC3971][RFC3972]。由於正在註冊的位址是 NS 的 IPv6 源位址，

並且 SEND 會驗證封包的 IPv6 源位址，因此在主機和路由器之間發送的 ARO 可以做到這一點。將 SEND 應用於本文中的路由器-路由器通訊超出了範圍。

12. IANA 考量

本文在子註冊表“IPv6 鄰居發現選項格式”下註冊了三種新的 ND 選項類型：

- 位址註冊選項（33）
- 6LoWPANs 上下文選項（34）
- 權威邊界路由器選件（35）

該文在子註冊表“ICMPv6“類型”編號”下註冊了兩個新的 ICMPv6“類型”編號：

- 重複位址請求（157）
- 重複位址確認（158）

IANA 還在 ICMPv6 參數註冊表下為位址註冊選項的狀態值創建了一個新的子註冊表。

位址註冊選項狀態值註冊表：

- 可能的值為 8 位無符號整數（0..255）。
- 註冊過程是“標準操作”[RFC5226]。
- 初始分配如表 2 所示：

Status	Description
0	Success
1	Duplicate Address
2	Neighbor Cache Full
3-255	Allocated using Standards Action [RFC5226]

表 2

13. 與其他鄰居發現擴展的交互作用

有兩類與此交互作用的 ND 擴展規範以不同的方式。一類包含 [RFC4861] 中 DAD 機制的擴展和 [RFC4862]。另一個是 Optimistic

DAD [RFC4429]。使用此規範時，此類擴展名將不適用，因為它對 DAD 使用了 ARO(既不樂觀也不悲觀-總是往返於路由器以檢查 DAD)。所有其他(非 DAD) ND 擴展，無論路徑選擇類型是如何默認路由器首選項[RFC4191]，配置類型，如 DNS 配置[RFC6106]，或其他類型，如檢測網路附件[RFC6059]與本規範完全正交並將按原樣運作。

14. 新功能指南

本節討論定義新協定功能的準則。它還為實現和部署這些功能設置了一些期望。本節本質上是提供訊息的：它不會覆蓋前幾節的詳細規範，而是對其進行總結並以緊湊的形式呈現，以用作清單。清單用作指導，指示根據文件撰寫時可用的訊息，在部署方面某個功能的重要性。請注意，在某些情況下，部署是“應該”，而實施是“必須”。這是由於存在可替換特徵。部署可以使用替代方法。因此，建議為可替代功能實現配置旋鈕。清單強調簡潔而不是完整性。

Section	Description	Deploy	Implement
3.1	Host-initiated RA	MUST	MUST
3.2	EUI-64-based IPv6 address	MUST	MUST
	16-bit MAC-based address	MAY	SHOULD
	Other non-unique addresses	MAY	MAY
3.3	Host-initiated RS	MUST	MUST
	ABRO processing	SHOULD	MUST
4.1	Registration with ARO	MUST	MUST
4.2, 5.4	6CO	SHOULD	SHOULD
5.2	Joining solicited-node multicast	N/A	N/A
	Joining all-nodes multicast	MUST	MUST
	Using link-layer indication for NUD	MAY	MAY
5.5	6LoWPAN-ND NUD	MUST	MUST
5.8.2	Behavior on wakeup	SHOULD	SHOULD

表 3：主機的 6LoWPANs-ND 功能指南

Section	Description	Deploy	Implement
3.1	Periodic RA	SHOULD NOT	SHOULD NOT
3.2	Address assignment during startup	SHOULD	MUST
3.3	Supporting EUI-64-based MAC hosts	MUST	MUST
	Supporting 16-bit MAC hosts	MAY	SHOULD
3.4' 4.3'	ABRO processing/sending	SHOULD	MUST
8.1.3 8.1.4			
8.1	Multihop prefix storing and redistribution	SHOULD	MUST
3.5	Tentative NCE	MUST	MUST
8.2	Multihop DAD	SHOULD	MUST
4.1' 6.5'	ARO support	MUST	MUST
6.5.1 - 6.5.5			
4.2	6CO	SHOULD	SHOULD
6.3	Process RS/ABRO	MUST	MUST

表 4：6LoWPANs-ND 中 6LR 特徵的指南

Section	Description	Deploy	Implement
3.1	Periodic RA	SHOULD NOT	SHOULD NOT
3.2	Address autoconf on router interface	MUST NOT	MUST NOT
3.3	EUI-64 MAC support on 6LoWPAN interface	MUST	MUST
8.1 - 8.1.1, 8.1.5	Multihop prefix distribution	SHOULD	MUST
8.2	Multihop DAD	SHOULD	MUST

表 5：6LoWPAN-ND 中的 6LBR 功能指南

15. 致謝

作者感謝 Pascal Thubert，Jonathan Hui，Richard Kelsey，Geoff Mulligan，Julien Abeille，Alexandru Petrescu，Peter Siklosi，Pieter De Mil，Fred Baker，Anthony Schoofs，Phil Roberts，Daniel Gavelle，Joseph Reddy，Robert Cragie，Mathilde Durvy，Colin O'Flynn，Dario Tedeschi，Esko Dijk 和 Joakim Eriksson 進行了有益的討論和評論，有助於形成和完善此文件。此外，作者還要感謝 Pascal Thubert 貢獻了最初的註冊想法並為文件的早期版本做出了廣泛的貢獻，Jonathan Hui 給出了有關前綴/上下文分配

的原創思想以及對文件的早期版本 Colin O'的廣泛貢獻。 Flynn 提出了有用的“錯誤提示”建議（第 6.5.2 節），並對“示例”部分做出了貢獻，Geoff Mulligan 提出了將位址註冊用作現有 IPv6 ND 消息的一部分的建議，而 Mathilde Durvy 提出了幫助闡明路由器交互的建議。

16. 參考文獻

16.1. 規範性引用文獻

- [ETHERNET] "IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications" , IEEE Std 802.3-2008 , December 2008 ,
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2008_section1.pdf>.
- [RFC2119] Bradner , S. , "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels" , BCP 14 , RFC 2119 , March1997.
- [RFC2460] Deering , S. and R. Hinden , "Internet Protocol , Version6 (IPv6) Specification" , RFC 2460 , December 1998.
- [RFC2491] Armitage , G. , Schuler , P. , Jork , M. , and G. Harter , "IPv6 over Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks" , RFC 2491 , January 1999.
- [RFC4191] Draves , R. and D. Thaler , "Default Router Preferences and More-Specific Routes" , RFC 4191 , November 2005.

- [RFC4193] Hinden , R. and B. Haberman , "Unique Local IPv6Unicast Addresses" , RFC 4193 , October 2005.
- [RFC4291] Hinden , R. and S. Deering , "IP Version 6 Addressing Architecture" , RFC 4291 , February 2006.
- [RFC4443] Conta , A. , Deering , S. , and M. Gupta , "InternetControl Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification" , RFC 4443 , March2006.
- [RFC4861] Narten , T. , Nordmark , E. , Simpson , W. , and H. Soliman , "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)" , RFC4861 , September 2007.
- [RFC4862] Thomson , S. , Narten , T. , and T. Jinmei , "IPv6Stateless Address Autoconfiguration" , RFC 4862 , September2007.
- [RFC4944] Montenegro , G. , Kushalnagar , N. , Hui , J. , and D.Culler , "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks" , RFC 4944 , September 2007.
- [RFC5226] Narten , T. and H. Alvestrand , "Guidelines for Writingan IANA Considerations Section in RFCs" , BCP 26 , RFC 5226 , May 2008.
- [RFC6282] Hui , J. and P. Thubert , "Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks" , RFC6282 , September 2011.

16.2. 訊息參考

- [EUI64] IEEE , "Guidelines for 64-bit Global Identifier (EUI-64(TM)) Registration Authority" ,
<<http://standards.ieee.org/regauth/oui/tutorials/EUI64.html>>.
- [RFC3315] Droms , R. , Bound , J. , Volz , B. , Lemon , T. , Perkins , C. , and M. Carney , "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)" , RFC 3315 , July 2003.
- [RFC3633] Troan , O. and R. Droms , "IPv6 Prefix Options for Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) version 6" , RFC 3633 , December 2003.
- [RFC3756] Nikander , P. , Kempf , J. , and E. Nordmark , "IPv6 Neighbor Discovery (ND) Trust Models and Threats" , RFC 3756 ,
May 2004.
- [RFC3971] Arkko , J. , Kempf , J. , Zill , B. , and P. Nikander , "SEcure Neighbor Discovery (SEND)" , RFC 3971 , March 2005.
- [RFC3972] Aura , T. , "Cryptographically Generated Addresses(CGA)" , RFC 3972 , March 2005.
- [RFC4429] Moore , N. , "Optimistic Duplicate Address Detection(DAD) for IPv6" , RFC 4429 , April 2006.
- [RFC4919] Kushalnagar , N. , Montenegro , G. , and C. Schumacher , "IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks(6LoWPANss): Overview , Assumptions , Problem Statement , and Goals" , RFC 4919 , August 2007.
- [RFC4941] Narten , T. , Draves , R. , and S. Krishnan , "Privacy Extensions for Stateless Address

Autoconfiguration in IPv6" , RFC 4941 ,
September 2007.

[RFC5889] Baccelli , E. and M. Townsley , "IP
Addressing Model in Ad Hoc Networks" , RFC
5889 , September 2010.

[RFC6059] Krishnan , S. and G. Daley , "Simple
Procedures for Detecting Network Attachment in
IPv6" , RFC 6059 , November 2010.

[RFC6106] Jeong , J. , Park , S. , Beloeil , L. , and S.
Madanapalli , "IPv6 Router Advertisement
Options for DNS Configuration" , RFC 6106 ,
November 2010.

作者的資訊

Zach Shelby (編輯) Sensinode
Konekuja 2
Oulu 90620 芬蘭

電話：+358407796297
電子郵件：zach@sensinode.com

Samita Chakrabarti Ericsson

電子郵件：samita.chakrabarti@ericsson.com

Erik Nordmark Cisco Systems

電子郵件：nordmark@cisco.com

Carsten Bormann Universitaet Bremen TZI Postfach 330440
Bremen D-28359

電話：+ 49-421-218-63921
電子郵件：cabo@tzi.org

