

# 一种基于 6LoWPAN 的 TCP 报头压缩方案<sup>①</sup>

梁 保<sup>1,2</sup>, 李鸿彬<sup>2</sup>, 贾军营<sup>2</sup>, 于 波<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 研究生院, 北京 100049)

<sup>2</sup>(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

**摘要:** TCP 是一种可靠的传输层协议, 许多应用有强烈的可靠性要求, 需要 TCP 的支持. 6LoWPAN 网络受节点硬件资源与底层通信协议限制, 需要对 TCP 报头进行压缩, 然而目前尚无相关标准. 在研究现有 TCP 报头压缩方案的基础上, 针对 6LoWPAN 网络的特点, 提出了一种适用于 6LoWPAN 网络的 TCP 报头压缩方案 LOWPAN\_TCP\_HC, 并进行了测试. 实验结果表明 LOWPAN\_TCP\_HC 能够有效压缩 TCP 报头, 减少传感器节点能量消耗, 延长节点使用时间.

**关键词:** IPv6; TCP; 报头压缩; 6LoWPAN

## TCP Header Compression Scheme Based on 6LoWPAN

LIANG Bao<sup>1,2</sup>, LI Hong-Bin<sup>2</sup>, JIA Jun-Ying<sup>2</sup>, YU Bo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>2</sup>(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** Many applications are not fault-tolerant and require a reliable service which only TCP can provide. In 6LoWPAN network, because of the restrictions of node hardware and the underlying communication protocol, the compression of TCP packet must be done. However, there is no related standard currently. The TCP header compression Scheme named LOWPAN\_TCP\_HC for 6LoWPAN network based on the characteristics of 6LoWPAN networks and the study of existing TCP header compression scheme had been proposed in this paper. The experimental results show that LOWPAN\_TCH\_HC can effectively compress TCP header, reduce the sensor node energy consumption and extend the node's working time.

**Key words:** IPv6; TCP; Header Compression; 6LoWPAN

## 1 引言

以无线传感器网络(WSN)为代表的低功耗松散网络(LLN)近年来逐渐流行起来并成为研究热点. 大部分 LLN 设备采用 IEEE 802.15.4 之类的低功耗无线通信协议标准. 受节点硬件资源及底层通信协议限制, IP 协议无法直接应用在低功耗松散网络中.

为了将 IPv6 引入以 IEEE 802.15.4 为底层通信协议标准的无线传感器网络中, IETF 成立了 IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN)工作组. 6LoWPAN 工作组致力于适配层分片与重组、报头压缩、邻居发现协议修改等工作<sup>[1]</sup>.

工作组已经提出 LOWPAN\_HC1、LOAPAN\_IPHC 两种 IPv6 报头压缩方案以及相应的 LOWPAN\_HC2、LOWPAN\_NHC 两种 UDP 报头压缩方案<sup>[2,3]</sup>. 关于 6LoWPAN 网络 TCP 报头压缩目前尚无标准, 然而许多应用例如 SSH、HTTP 需要可靠的传输层协议 TCP 的支持, 并且 LLN 的一些典型应用(医疗、军事等)都有强烈的可靠性要求.

本文在研究现有 TCP 报头压缩方案的基础上, 针对 6LoWPAN 网络的特点, 提出了一种适用于 6LoWPAN 网络的 TCP 报头压缩方案 LOWPAN\_TCP\_HC(6LoWPAN TCP Header Compression), 并进

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-12-06;收到修改稿时间:2013-01-06

行了测试. 实验结果表明 LOWPAN\_TCP\_HC 能够有效压缩 TCP 报头, 减少传感器节点能量消耗, 延长节点使用时间.

### 2 现有TCP报头压缩方案

Jacobson 在文献[4]中提出了 CTCP. CTCP 将 TCP 报头分为动态域和静态域两部分. 静态域部分(如源地址、源端口等)仅在两种情况下传输: 连接初始化以及丢失同步 SYN 后刷新时. 动态域部分(如序号、确认号等)仅传输本报文和之前报文的差值. 但 CTCP 的一个重要缺陷是不支持 TCP 选项, 而有些 TCP 选项在当今的 IP 网中是普遍存在的.

文献[5]提出了名为 TWICE 的机制以加强 CTCP, 并修正了不正确的头部解压缩机制. 文献[5]也描述了一种显式请求传输较少压缩或未压缩头部的机制, 这种机制特别适用于纯 TCP 确认报文. 然而由于 6LoWPAN 网络的低传输速率和严格的功耗限制这种头部请求机制并不适合 6LoWPAN 网络.

文献[6]中提出了 ROHC-TCP, ROHC-TCP 改进了文献[5]并提出一种新的 TCP 报头压缩机制. ROHC-TCP 建议通过从先前或并发的 TCP 连接中获取参数, 实现从 SYN 报文开始进行压缩. 这将带来明显的性能提升, 特别对于简短的 TCP 数据流. 然而 ROHC-TCP 过于复杂并对内存资源要求过高, 并不适合 6LoWPAN 网络.

现有的压缩方案只考虑了传统的基于 PC 的网络, 并未考虑到 6LoWPAN 网络这种节点硬件资源及底层

通信协议均受限制的情况. 所以必须针对 6LoWPAN 网络特点重新设计一种 TCP 报头压缩方案.

### 3 LOWPAN\_TCP\_HC方案

#### 3.1 LOWPAN\_TCP\_HC 方案概述

6LoWPAN 网络由 LoWPAN 节点和边缘路由器(Edge Router)组成, LoWPAN 节点通过边缘路由器和外部 IP 网络相连. 边缘路由器计算和存储资源相对丰富, 负责压缩报文与普通报文的转换, 使用压缩报文与 LoWPAN 节点通信, 使用普通报文与外部主机通信. 6LoWPAN 网络典型拓扑结构如图 1 所示.

LOWPAN\_TCP\_HC 不仅适用于外部主机与 LoWPAN 节点进行 TCP 连接的情况, 还适用于两个 LoWPAN 节点进行 TCP 连接的情况. 在 TCP 连接的建立阶段, 并不压缩 TCP 报文. LoWPAN 节点和边缘路由器通过交换上下文标识符(CID)标识新连接, 为之后的压缩做准备. CID 由 LoWPAN 节点确定. TCP 连接建立过程如图 2 所示.

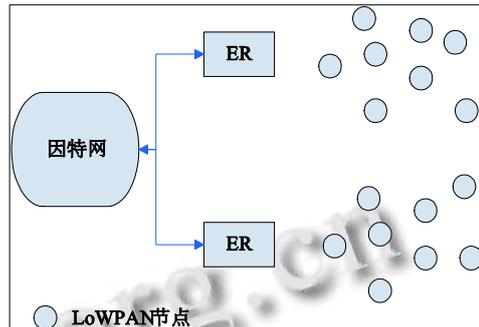


图 1 6LoWPAN 网络拓扑结构

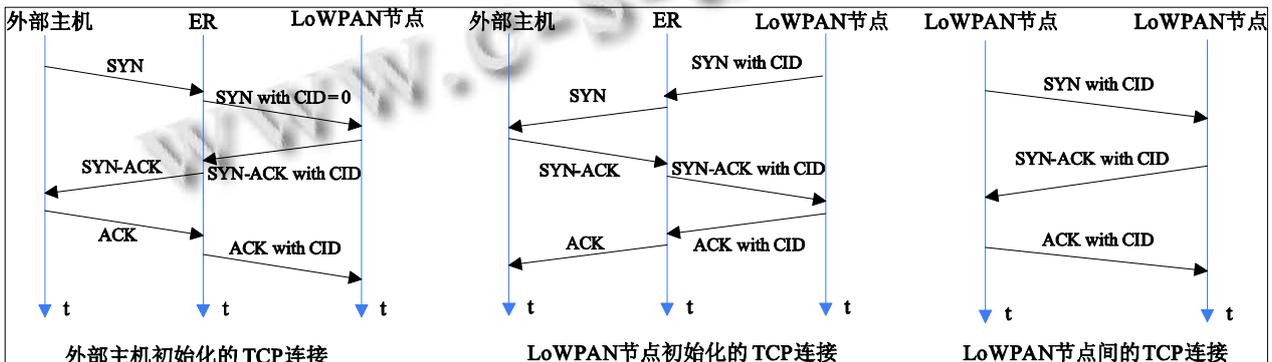


图 2 TCP 连接建立过程

LoWPAN 节点和边缘路由器在连接过程中保持 TCP 连接上下文信息. 其中 CID 和 IPv6 地址唯一的标

识了一个连接, 除此之外, 上下文信息还包括源端口、目的端口、上次接收的序号、确认号、窗口值以及上

次发送的序号、确认号、窗口值和连接状态。

在 TCP 连接建立后, 外部主机与边缘路由器使用普通 TCP 报文进行通信, 而边缘路由器与 LoWPAN 节点使用压缩报文进行通信. 当发生数据包丢失进行重传时, 使用完整 TCP 报文进行通信, 以便于边缘路由器和 LoWPAN 节点进行上下文信息更新.

### 3.2 TCP 报头各字段分析

(1) 源端口和目的端口: 在一个 TCP 连接中固定不变, 可由 CID 代替.

(2) 序号: 在一个 TCP 连接中, 连续的报文段中序号值在 0 和最大报文段长度(MSS)之间递增. 在 6LoWPAN 网络中, 受节点硬件资源与 IEEE 802.15.4 网络带宽限制, MSS 值较小. 序号仅在一个较小范围内递增, 每次只需发送变化的部分. 例如 MSS 为 256 字节, 当前序号为 0x12345678, 则下一个报文的序号小于等于 0x12345778. 压缩报文可以只发送最低两字节 0x5778, 这样序号部分减少了 50%的长度. 当接收方只是对发送方进行确认而不发送数据即发送纯 ACK 报文时, 序号字段可以省略.

(3) 确认号: 在 6LoWPAN 网络中类似序号字段, 每次只需发送变化的部分或省略.

(4) 保留字段: 值为全 0, 可以省略.

(5) 窗口: 当窗口值未改变时可以省略, 当发生变化时只需发送变化的部分.

(6) 校验和: 用于错误检测, 不能被压缩.

(7) 紧急指针: 当紧急标识被置为 1 时发送, 否则省略掉.

### 3.3 LOWPAN\_TCP\_HC 报文格式

在一个 TCP 连接中使用 3 种报文格式:

a) 普通 TCP 报文格式. 头部未压缩, 不包含 CID, 报文格式如图 3 所示.

IPHC (NHC=0)	TCP header	Payload
--------------	------------	---------

图 3 普通 TCP 报文格式

b) 完整 TCP 报文格式. 包含 CID 和未压缩头部, 用于更新上下文信息, 当发生丢包重传时使用此种报文. 报文格式如图 4 所示.

IPHC (NHC=1)	00000001	CID	TCP header	Payload
--------------	----------	-----	------------	---------

图 4 完整 TCP 报文格式

c) 压缩 TCP 报文格式. 报文格式如图 5 所示.

IPHC (NHC=1)	LOWPAN_TCP_HC	CID	uncompressed TCP fields	Payload
--------------	---------------	-----	-------------------------	---------

图 5 压缩 TCP 报文格式

其中 LOWPAN\_TCP\_HC 字段格式如图 6 所示.

0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	Id	Seq	Ack		
W		CWR	ECE	F	P	T	S

图 6 LOWPAN\_TCP\_HC 字段格式

ID: 指定 CID 大小. 0: 8 位; 1: 16 位.

Seq: 00: 32 位序列号全部省略掉.

01: 仅传送最低 8 位的序列号.

10: 仅传送最低 16 位的序列号.

11: 传送全部 32 位序列号.

Ack: 00: 32 位确认号全部省略掉.

01: 仅传送最低 8 位的确认号.

10: 仅传送最低 16 位的确认号.

11: 传送全部 32 位确认号.

W: 00: 16 位窗口值全部省略掉.

01: 仅传送最低 4 位的窗口值.

10: 仅传送最低 8 位的窗口值.

11: 传送全部 16 位窗口值.

CWR: 拥塞窗口减少标识.

ECE: ECN-Echo 标识.

F: FIN 标识.

P: PUSH 标识.

T: 当 TCP 头部包含时间戳选项时置为 1.

S: 当 TCP 头部包含 SACK 选项时置为 1.

## 4 实验

### 4.1 实验环境

本实验采用 6 个 LoWPAN 节点和一个边缘路由器, 节点间距离大约相等. 节点摆放位置如图 7 所示.

节点 A-E 作为终端节点接收 TCP 数据或作为转发节点转发边缘路由器和终端节点间的 TCP 数据. 节点 F 作为干扰源发送 UDP 干扰数据, 用以测试网络处于不同丢包率情况下的性能.

节点使用 CrossBow 公司的 TelosB, 内含 TI 公司

的MSP430单片机和CC2420射频芯片. 软件环境使用Contiki 操作系统, Contiki 操作系统提供了对节点运行时能量消耗的统计.

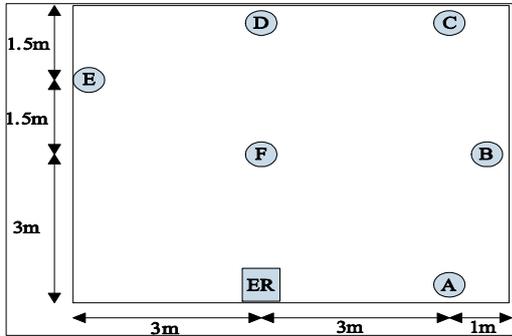


图 7 节点拓扑结构图

在实验中 TCP 源节点向接收节点发送 48kB 的数据. 最大报文段长度为 48 字节, 所以 TCP 源节点总共发送 1000 个 TCP 报文段. 我们测试分两种情况, 一种情况是没有干扰源, 另一种情况是节点 F 作为干扰源不停的发送 UDP 数据.

### 4.2 无干扰源时实验结果

没有干扰源的情况下 Radio 传输和 CPU 的能量消耗如图 8、图 9 所示:

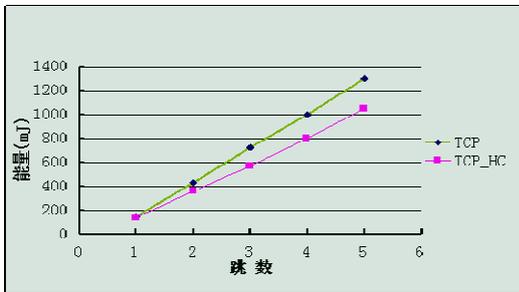


图 8 Radio 传输能量

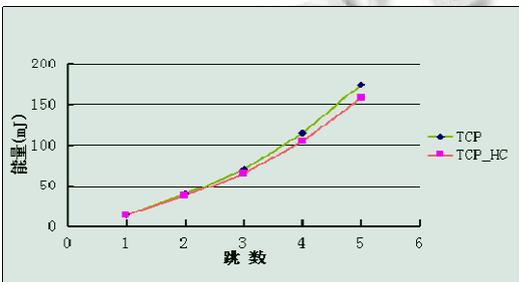


图 9 CPU 能量

由图 8 可以看出, 采用 LOWPAN\_TCP\_HC 可以有效的减少传输能量消耗, 在 5 跳的情况下相比原始 TCP 能够减少大约 16% 的能量消耗.

由图 9 可以看出, 采用 LOWPAN\_TCP\_HC 不仅没有增加 CPU 的能量消耗, 反而减少 CPU 能量消耗.

### 4.3 有干扰源时实验结果

在有干扰的情况下能量消耗如图 10 所示.

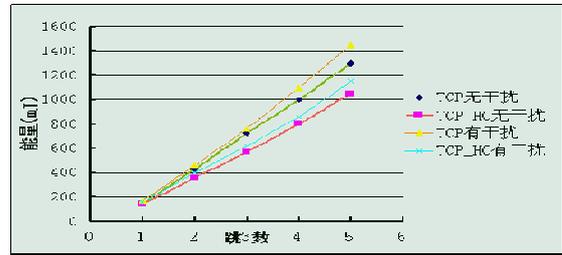


图 10 传输能量对比

由图 10 可以看出, 在有干扰的情况下能量消耗明显上升, 而采用 LOWPAN\_TCP\_HC 依然能够有效减少能量消耗.

## 5 结语

为了使 6LoWPAN 网络能够有效的使用 TCP, 本文提出了 LOWPAN\_TCP\_HC 方案, 本方案能够有效压缩 6LoWPAN 网络的 TCP 报头. 同时实验结果表明采用该压缩方案能够降低节点的能量消耗, 延长节点使用时间, 且跳数越多传输距离越远节能效果越好.

### 参考文献

- 1 Kushalnagar N, Montenegro G, Schumacher C. IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals. IETF RFC 4919, Aug 2007.
- 2 Montenegro G, Kushalnagar N, Hui J, Culler D. Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks. IETF RFC 4944, Sep 2007.
- 3 Hui J, Thubert P, ed. Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks. IETF RFC 6282, Sep 2011.
- 4 Jacobson V. Compressing TCP/IP Headers for Low-Speed Serial Links. IETF RFC1144, Feb 1990.
- 5 Degermark M, Nordgren B, Pink S. IP Header Compression. IETF RFC 2507, Feb 1999.
- 6 Pelletier G, Sandlund K, Ericsson L, Jonsson E. Robust Header Compression (ROHC): A Profile for TCP/IP (ROHC-TCP). IETF RFC 4996, July 2007.