

IoT

สถาปัตยกรรมการสื่อสาร Internet of Things



เทคโนโลยี IoT: ไวไฟ (Wi-Fi), บลูทูธ (Bluetooth), ซิกบี (Zigbee),
NB-IoT, LoRa และเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลบน IPv6 (6LoWPAN)

พศ.ดร. ชัชชัย คุณบัว

1. บทนำ	13
1.1 Internet of Things (IoT).....	14
1.2 สมาร์ทออบเจกต์ (Smart Object).....	15
1.3 สถาปัตยกรรม IoT (IoT Architecture).....	17
1.3.1 สถาปัตยกรรม IoT มาตรฐานของ oneM2M.....	17
1.3.2 The IoT World Forum (IoTWF) Standardize Architecture.....	19
1.4 เทคโนโลยีการสื่อสาร IoT.....	21
1.4.1 การสื่อสารระยะสั้น.....	22
1.4.2 การสื่อสารระยะไกล.....	23
1.5 ตัวอย่างแอปพลิเคชันของ IoT.....	24
1.5.1 บ้านอัจฉริยะ (Smart Home).....	24
1.5.2 เมืองอัจฉริยะ (Smart City).....	25
1.5.3 สมาร์ทเฮลท์แคร์ (Smart Health Care).....	25
1.5.4 อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0).....	26
1.6 การคาดการณ์การเติบโต IoT และการจัดสรรงบประมาณในประเทศไทย.....	27
1.7 เทคโนโลยี IoT ที่จะนำเสนอในที่นี้.....	28
1.8 สรุป.....	30
2. พื้นฐานการทำงานของเน็ตเวิร์ก	31
2.1 อินเทอร์เน็ต (Internet).....	31
2.2 โมเดลการสื่อสารบนอินเทอร์เน็ต.....	32
2.2.1 โมเดลมาตรฐาน OSI.....	32
2.2.2 โมเดลมาตรฐาน TCP/IP.....	35

2.3	เน็ตเวิร์กโทโพโลยี (Network Topology)	36
2.4	แอดเดรส (Address)	38
2.5	Internet Protocol (IP)	40
2.5.1	Internet Protocol (IPv4)	40
2.5.2	แอดเดรสของ IPv4	42
2.6	Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)	43
2.7	Internet Control Message Protocol (ICMP)	44
2.8	การรองรับความน่าเชื่อถือและถูกต้องบนอินเทอร์เน็ต	46
2.8.1	User Datagram Protocol (UDP)	46
2.8.2	Transport Control Protocol (TCP)	48
2.8.3	รูปแบบเซกเมนต์ของ TCP (TCP Segment Format)	49
2.9	สรุป	50
2.10	คำถามท้ายบท	51
3.	พื้นฐานการสื่อสารแบบไร้สาย	53
3.1	คลื่นความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์และการแพทย์	54
3.2	การแพร่กระจายของสัญญาณ (Signal Propagation)	54
3.2.1	การแพร่กระจายของสัญญาณในพื้นที่โล่ง (Free Space Propagation)	55
3.2.2	พื้นฐานการลดทอนของสัญญาณภายในอาคาร	57
3.2.3	การแพร่กระจายแบบหลายทิศทาง (Multipath Propagation)	58
3.3	สัญญาณรบกวน (Noise)	59
3.4	สายอากาศประเภทของสายอากาศ	61
3.5	ลิงก์บัตเจต (Link Budget)	64
3.6	ปัญหาที่พบในระบบเครือข่ายไร้สาย	65
3.7	สรุป	66
3.8	คำถามท้ายบท	67
4.	ไวไฟ (Wi-Fi)	69
4.1	โพรโตคอลของไวไฟ	70
4.2	สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11	71

4.3	มาตรฐานของไวไฟ.....	72
4.4	ข้อสัญญาของ IEEE 802.11	75
4.5	การทำงานของ MAC เลเยอร์.....	75
4.5.1	รูปแบบเฟรม (Frame Format)	80
4.6	ปัญหาการใช้ไวไฟใน IoT.....	82
4.7	มาตรฐาน IEEE 802.11 ah.....	83
4.8	ฟิสิกอลเลเยอร์.....	83
4.9	MAC Layer.....	84
4.9.1	ชนิดของสเตชัน	84
4.10	การรองรับโหนดจำนวนมาก	85
4.11	การประหยัดพลังงานสำหรับสเตชันแบบ TIM.....	86
4.12	โมดูลไวไฟที่สำคัญ.....	88
4.13	การตั้งค่าอุปกรณ์หรือโมดูลเพื่อใช้งานไวไฟ.....	89
4.14	สรุป.....	90
4.15	คำถามท้ายบท.....	90
5.	บลูทูธ (Bluetooth)	91
5.1	บลูทูธคลาสสิก.....	92
5.1.1	สถาปัตยกรรมเน็ตเวิร์กของบลูทูธคลาสสิก.....	92
5.2	สถาปัตยกรรมของโปรโตคอลบลูทูธคลาสสิก.....	94
5.3	Bluetooth Low Energy (BLE).....	95
5.3.1	Bluetooth 4.0.....	95
5.3.2	Bluetooth 4.1	97
5.3.3	Bluetooth 4.2.....	97
5.3.4	Bluetooth 5 เพิ่มระยะและแบนด์วิดท์.....	98
5.4	ชั้นโปรโตคอล (Protocol Stack) ของบลูทูธพลังงานต่ำ.....	99
5.4.1	โฮสต์ (Host).....	99
5.4.2	คอนโทรลเลอร์ (Controller).....	101
5.5	การใช้งานบลูทูธ.....	102
5.6	Generic Access Profile (GAP).....	103
5.7	แอตทริบิวต์โปรโตคอล (Attribute Protocol: ATT)	105
5.8	Generic Attribute Profile (GATT).....	107

5.9 Logical Link Control and Adaptation Layer Protocol (L2CAP).....	109
5.9.1 Maximum Transfer Unit (MTU).....	109
5.10 การกำหนดหมายเลขให้กับอุปกรณ์บลูทูธ.....	111
5.11 บลูทูธแพ็กเก็ต.....	112
5.11.1 รูปแบบของแอดเวอร์ไทซิ่งแพ็กเก็ต (Advertising Channel PDU).....	113
5.11.2 รูปแบบของแพ็กเก็ตข้อมูล (Data Channel PDU).....	116
5.12 การสื่อสารของบลูทูธพลังงานต่ำ.....	118
5.13 ช่วงเวลาการสื่อสารของบลูทูธพลังงานต่ำ.....	119
5.13.1 การกำหนดช่วงเวลาแอดเวอร์ไทซิ่ง.....	119
5.13.2 การกำหนดช่วงเวลาการสแกน.....	120
5.13.3 การกำหนดช่วงเวลาการเชื่อมต่อ.....	122
5.14 ตัวอย่างโมดูลบลูทูธ.....	124
5.15 สรุป.....	124
5.16 คำถามท้ายบท.....	125
6. ซิกบี (Zigbee).....	127
6.1 สถาปัตยกรรมของโปรโตคอลซิกบี.....	128
6.2 องค์ประกอบของซิกบี (Zigbee Components).....	129
6.3 โทโพโลยีของซิกบี (Zigbee Topology).....	130
6.4 มาตรฐาน IEEE 802.15.4.....	131
6.5 IEEE 802.15.4 ฟิสิคอลลเยอร์.....	132
6.6 IEEE 802.15.4 MAC Layer.....	134
6.6.1 ประเภทของเฟรมใน IEEE 802.15.4.....	134
6.6.2 รูปแบบหัวโปกของเฟรม.....	135
6.7 ชนิดของอุปกรณ์ของ IEEE 802.15.4.....	137
6.8 โทโพโลยีของ IEEE 802.15.4.....	138
6.9 โมเดลการสื่อสารข้อมูล (Data Transfer Model).....	138
6.10 โปรโตคอลอื่นๆ บน IEEE 802.15.4.....	139
6.11 โมดูลซิกบี.....	140
6.12 สรุป.....	141
6.13 คำถามท้ายบท.....	142

7. IPv6	143
7.1 เอตเตอร์ของ IPv6.....	144
7.2 เอตเตอร์ส่วนต่อขยาย (Extension Headers).....	146
7.3 แอดเดรสของ IPv6.....	147
7.3.1 ประเภทของแอดเดรสแบบยูนิคาสต์.....	149
7.3.2 ประเภทของแอดเดรสแบบยูนิคาสต์อื่นๆ.....	150
7.3.3 แอดเดรสแบบแอนนิคาสต์ (Anycast Address).....	150
7.3.4 แอดเดรสแบบมัลติคาสต์.....	151
7.3.5 หมายเลขของอินเทอร์เฟซ(Interface Identifiers:IID).....	153
7.4 Internet Control Message Protocol สำหรับ IPv6 (ICMPv6).....	154
7.4.1 เนเบอร์ดีสคัฟเวอรีโพรโตคอล (Neighbor Discovery Protocol: NDP).....	156
7.4.2 การกำหนดแอดเดรสแบบออโตคอนฟิกูเรชัน (Address Auto-configuration).....	161
7.5 สรุป.....	162
7.6 คำถามท้ายบท.....	162
8. 6LoWPAN	163
8.1 ข้อดีของการกำหนดให้อุปกรณ์สามารถรองรับ การทำงานแบบ IP Address.....	164
8.2 สถาปัตยกรรมของเน็ตเวิร์กใน 6LoWPAN.....	165
8.3 6LoWPAN อะแดปต์เพชันเลเยอร์ (6LoWPAN Adaptation Layer).....	166
8.4 เอตเตอร์คอมเพรสชัน (Header Compression).....	168
8.4.1 Header Compression ด้วย LOWPAN_HC1 และ LOWPAN_HC2.....	168
8.5 เอตเตอร์คอมเพรสชันแบบ LOWPAN_IPHC.....	170
8.6 ส่วนต่อขยายของเฮดเตอร์คอมเพรสชัน (IPv6 Extension Header Compression).....	175
8.6.1 การบีบอัดเฮดเตอร์ของ UDP (UDP Header Compression).....	176
8.7 6LoWPAN เนเบอร์ดีสคัฟเวอรี (ND).....	178
8.8 สรุป.....	181
8.9 คำถามท้ายบท.....	181

9. เร้าตั้งโปรโตคอลสำหรับ 6LoWPAN.....	183
9.1 ลิงก์เมตริกและเร้าตั้งเมตริก	184
9.2 คุณสมบัติพื้นฐานของ RPL.....	186
9.3 กราฟอวัฏจักรระบุทิศทาง (Directed Acyclic Graph: DAG).....	186
9.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function: OF).....	188
9.5 คอนโทรลเลจของ RPL (RPL Control Message).....	188
9.5.1 DODAG Information Object (DIO).....	188
9.5.2 DODAG Information Solicitation (DIS).....	189
9.5.3 DODAG Advertisement Object (DAO).....	189
9.5.4 DODAG Advertisement Object Acknowledge (DAO-ACK).....	189
9.5.5 RPL Control Message Options.....	190
9.6 การสร้าง DODAG.....	191
9.7 โหมดของการทำงาน (Mode of Operation: MOF).....	195
9.8 รูปแบบการสื่อสารของ RPL	196
9.8.1 การทำงานแบบ Multi-Point-to-Point (MP2P)	196
9.8.2 การทำงานแบบ Point-to-Multi-Point (P2MP).....	196
9.8.3 การทำงานแบบ Point-to-Point (P2P).....	197
9.9 รูปแบบการทำงานของ Routing ใน 6LoWPAN.....	197
9.9.1 Mesh under Routing	198
9.9.2 Route-over Routing	199
9.10 Trickle Timer.....	199
9.11 แพลตฟอร์มที่รองรับการทำงานของ RPL.....	200
9.12 สรุป.....	200
9.13 คำถามท้ายบท	201
10. เทคโนโลยี Low Power Wide Area (LPWA).....	203
10.1 Narrow Band Internet of Things (NB-IoT)	204
10.1.1 สถาปัตยกรรมของ NB-IoT.....	205
10.1.2 Control Plane (C-Plane) CIoT EPS Optimization.....	208
10.1.3 User Plane (U-Plane) CIoT EPS Optimization	208
10.1.4 การสื่อสารบนช่องสัญญาณวิทยุของ NB-IoT (NB IoT Radio Access).....	209

10.1.5 NB-IoT MAC Protocol.....	210
10.2 ฟังก์ชันที่สำคัญของ NB-IoT.....	212
10.2.1 การจัดเก็บสถานะและเรียกคืนสถานะ.....	212
10.2.2 ไม่รองรับการสื่อสารในขณะที่เคลื่อนที่.....	212
10.2.3 Extended Discontinuous Reception (eDRX).....	212
10.2.4 โหมดประหยัดพลังงาน (Power Saving Mode: PSM).....	213
10.3 โหมดการทำงานของอุปกรณ์.....	214
10.4 ขนาดของ NB-IoT.....	215
10.5 Long Range (LoRa).....	215
10.5.1 สถาปัตยกรรมเน็ตเวิร์ก LoRa.....	218
10.5.2 LoRa Protocol Stack.....	217
10.5.3 ฟิสิคอลละเยอร์.....	218
10.5.4 พารามิเตอร์ของฟิสิคอลละเยอร์.....	218
10.5.5 รูปแบบเฟรม (Frame Format).....	221
10.5.6 โปรโตคอล LoRaWAN.....	222
10.5.7 องค์ประกอบของ LoRaWAN เน็ตเวิร์ก.....	222
10.5.8 รูปแบบของเฟรม ใน LoRaWAN (LoRaWANFrame Format).....	224
10.6 เปรียบเทียบ NB-IoT กับ LoRa.....	226
10.6.1 ช่องสัญญาณเพื่อการสื่อสาร.....	226
10.6.2 คุณภาพการให้บริการ (QoS).....	227
10.6.3 อายุการใช้งานและเวลาหน่วง (Latency).....	227
10.6.4 การขยายตัวของระบบ (Scalability) และความจุของข้อมูล (Payload).....	227
10.6.5 ระยะเวลาของสัญญาณ.....	227
10.6.6 ราคา และโมดูล.....	228
10.7 สรุป.....	229
10.8 คำถามท้ายบท.....	230

11. แอปพลิเคชันโปรโตคอล..... 231

11.1 Message Queue Telemetry Transport (MQTT).....	232
11.1.1 MQTT โมเดล.....	233
11.1.2 รูปแบบเมสเสจของ MQTT.....	234

11.1.3	ขั้นตอนการสื่อสารใน CoS แบบต่างๆ.....	237
11.2	Constrained Application Protocol (COAP).....	239
11.2.1	สถาปัตยกรรมของ CoAP.....	241
11.2.2	เซตเตอร์ของเมสเสจ CoAP.....	242
11.2.3	การสื่อสาร CoAP ในรูปแบบต่างๆ.....	243
11.2.4	การจัดการกับการสูญหายของข้อมูล.....	244
11.2.5	การเข้าถึงข้อมูลของโปรโตคอล CoAP.....	245
11.2.6	การสื่อสารผ่านพรีอิกซ์ของ CoAP.....	245
11.2.7	การติดตามการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรใน CoAP (Observing Resources in CoAP).....	246
11.3	เปรียบเทียบการใช้งาน MQTT และ CoAP.....	247
11.4	โปรโตคอลเซอว์ริสดีคัฟเวอรี (Service Discovery Protocols).....	248
11.4.1	Multicast DNS (mDNS).....	248
11.4.2	DNS Service Discovery (DNS-SD).....	249
11.5	สรุป.....	250
11.6	คำถามท้ายบท.....	250
12.	เทคโนโลยี 5G.....	251
12.1	เทคโนโลยี 5G.....	253
12.2	5G ในประเทศไทย.....	255
12.3	สรุป.....	256
	เอกสารอ้างอิง.....	257
	ดัชนี (Index).....	267