

Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

Contexto da Tecnologia de Medição de Alcance por Wi-Fi

A tecnologia de medição de alcance (ou distância) por Wi-Fi usa medições de tempo de voo (time-of-flight ou ToF) para estimar a distância entre dois dispositivos Wi-Fi. Por mais de uma década, essa tecnologia tem permitido que desenvolvedores de aplicativos e outros implementadores de soluções forneçam uma variedade de serviços, classificados em uma categoria chamada Localização Interna Precisa (Precise Indoor Location), incluindo navegação interna, rastreamento de ativos, delimitação geográfica (cerca eletrônica), gerenciamento de rede, controle de acesso (bloqueio / desbloqueio) e serviços de emergência.

Desde a sua introdução, um progresso significativo ocorreu através de novos padrões da indústria, gerações subsequentes de chipsets e produtos que suportam Wi-Fi. Esse progresso levou a

níveis maiores de precisão e desempenho, permitindo uma ampla gama de potenciais casos de uso.

A tecnologia de medição de alcance por RTT (Wi-Fi Round Trip Timing) foi introduzida pela primeira vez em 2009 como uma forma



de medir a distância entre dois dispositivos Wi-Fi com base nos tempos de propagação (de ida e volta) de um sinal wireless entre dois dispositivos.

Esses tempos de propagação, juntamente com a velocidade do sinal wireless (333 nano-segundos para cada 100 metros), forneceram os meios para se calcular uma

estimativa da distância física entre os dispositivos.

Em 2015, chipsets Wi-Fi com a tecnologia Fine Timing Measurement (FTM) baseada nos padrões 802.11 foram lançados ao mercado.

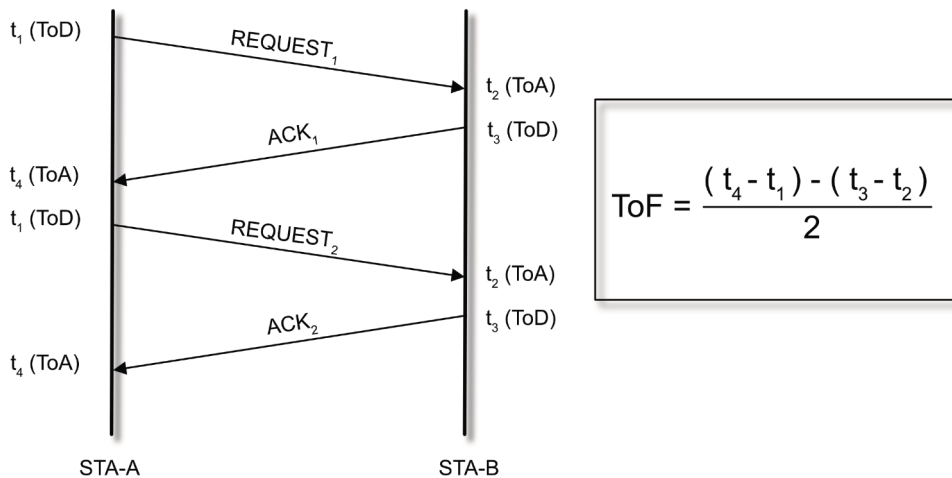
Atualmente, as novas séries de dispositivos ESP32 C e S da Espressif suportam a tecnologia WiFi FTM.

Este projeto pretende implementar uma ferramenta de software abrangente para explorar a medição remota (via TCP/IP) das temporizações e distâncias entre dispositivos WiFi, utilizando a tecnologia FTM em dispositivos baseados no ESP32-S2, como é o caso da placa Franzinho WiFi.

Protocolo de Time-of-Flight (tempo de voo ou ToF)

Protocolo Time-of-Flight (ToF), um novo protocolo de medição de alcance baseado em tempo de alta precisão, fornecendo informações de posicionamento de alta precisão.

Na base do protocolo ToF existem quatro medições de tempo: duas medições de instante de chegada (ToA) e duas medições de instante de partida (ToD). Esses registros de tempo são denotados como t_1 , t_2 , t_3 e t_4 na figura abaixo, onde a Estação-A envia um pacote para a Estação-B. Quando essas medições são calculadas com precisão, o ToF é obtido da seguinte forma:



$$\text{ToF} = \frac{(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)}{2}$$

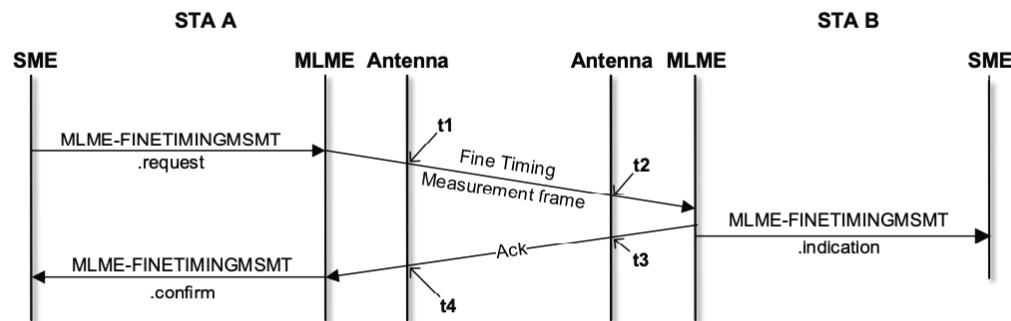
O tempo total de ida e volta é $(t_4 - t_1)$ e o tempo de processamento em STA-B é $(t_3 - t_2)$. Subtraindo-se o último do primeiro nos dá o tempo total no ar. Obtemos o ToF dividindo-se o tempo total no ar por dois. Multiplicando-se o ToF pela velocidade da luz resulta na distância entre as duas estações. A figura acima ilustra um exemplo de tal protocolo. A estação-A calcula o instante de partida, denotada por t_1 , e a estação-B, o instante de chegada, denotada por t_2 . Após um breve período, normalmente algumas dezenas de micro-segundos, a Estação-B responde com um segundo pacote, neste caso, um pacote de reconhecimento (ACK). A estação-B mede o tempo de partida do pacote ACK, denotado por t_3 , e a estação-A mede o tempo de chegada do pacote ACK, denotado por t_4 . Depois de transferir t_3 e t_4 de STA-B para STA-A, todas as medições de tempo estão disponíveis para o cálculo do ToF, e uma estimativa da distância entre as duas estações é então obtida.

Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

O seguinte conjunto de primitivas suporta a troca de informações FTM de um SME para outro:

■ MLME-FINETIMINGMSMT.request()	Solicita a transmissão de um frame FTM para uma entidade par (peer entity)
■ MLME-FINETIMINGMSMT.confirm()	Indica que um frame TFM foi recebido pela estação par para a qual foi enviado.
■ MLME-FINETIMINGMSMT.indication()	Indica que um frame FTM foi recebido e o frame Ack correspondente foi transmitido.

O diagrama informativo na figura a seguir descreve vários instantes de interesse para o procedimento FTM.



Fine timing measurement primitives and timestamps capture

MLME : Media Access Control (MAC) Sublayer Management Entity (where the PHY MAC state machines reside).

SME : Station Management Entity

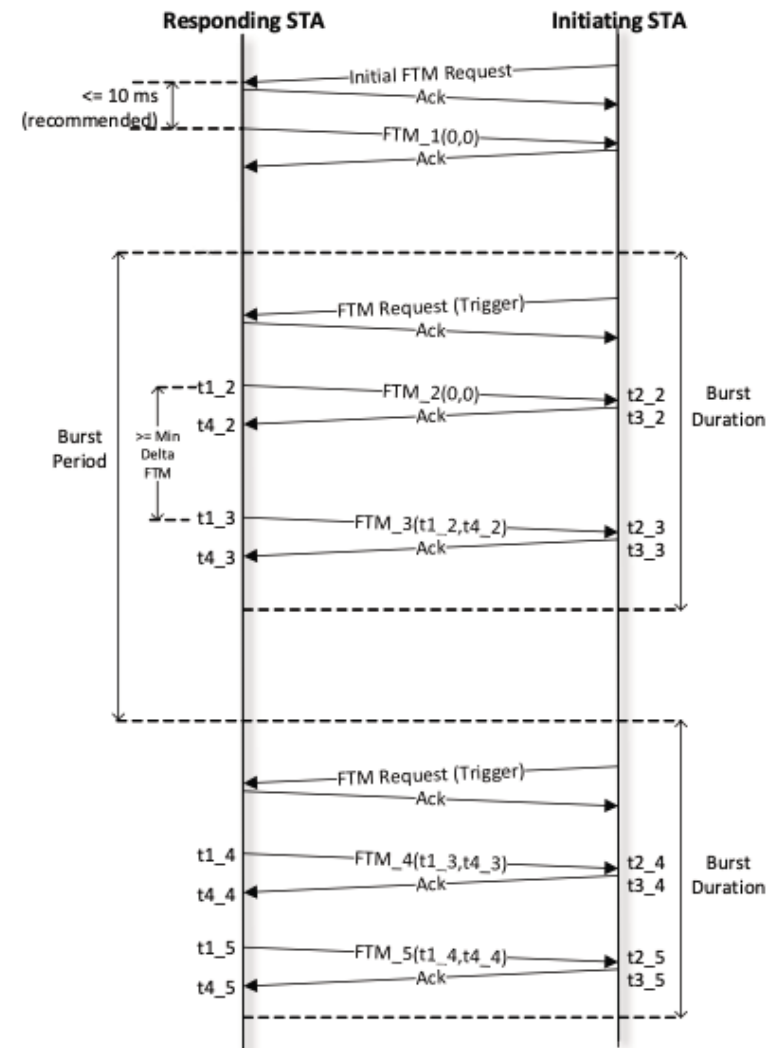
NOTA 1 : t_1 e t_3 correspondem ao instante em que o início do preâmbulo para o frame transmitido aparece no conector da antena de transmissão. Uma implementação pode capturar um timestamp durante o processamento de transmissão antes ou depois do instante em que realmente ocorre, e aplicar um offset ao valor visando compensar a diferença de tempo.

NOTA 2 : t_2 e t_4 correspondem ao instante em que o início do preâmbulo para o frame de entrada chega ao conector da antena de recepção. Como algum tempo é necessário para se detectar o frame e sincronizá-lo à sua estrutura lógica, uma implementação pode determinar quando o início do preâmbulo para o frame de entrada chegou ao conector da antena de recepção, capturando um timestamp posterior, compensando seu atraso através da subtração de um offset do valor capturado.

Intercâmbio de medição (Measurement Exchange) FTM

Frames FTM são enviados durante janelas de tempo chamadas instâncias de burst (burst instances). Uma sessão FTM é composta de uma negociação, troca de medição e encerramento. Frames de Medição FTM para um determinada estação par (peer STA) devem ser espaçados por pelo menos Min Delta FTM. Dentro de uma instância de burst, a estação iniciante (initiating STA) deve realizar FTM em cada quadro de Medição FTM endereçado a ela, exceto o último quadro de medição FTM. Uma sessão de FTM termina após a última instância de burst.

The scheduling parameters of an FTM session are illustrated



Example negotiation and measurement exchange sequence, ASAP=0, and FTMs per Burst = 2

Referências

- [1] IEEE 802.11-2020 by IEEE Computer Society , Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [2] Qualcomm Wi-Fi Ranging: Delivering ranging and location technologies of tomorrow today (C. Zhang, A. Raissinia and R. Vegt).
- [3] Next Generation Indoor Positioning System Based on WiFi Time of Flight (L. Banin, U. Schatzberg, Y. Amizur – Intel Corp.).
- [4] ESP-IDF Programming Guide (ESP32-S2) ► API Guides ► Wi-Fi Driver ► Wi-Fi Location (Espressif Systems).