

INTRODUZIONE

Nel corso dell'ultimo decennio, le comunicazioni e le reti wireless hanno conosciuto una crescita senza precedenti e hanno raggiunto un elevato grado di diffusione, basti pensare ad esempio alla crescita di Internet o al numero di servizi multimediali offerti.

L'obiettivo principale delle reti wireless future è fornire la copertura ubiquista universale attraverso tecnologie radio diverse tramite un singolo terminale offrendo un'ampia gamma di servizi con larghezza di banda variabile e qualità di servizio (QoS) in qualsiasi momento e dovunque. Tali caratteristiche richiedono la connettività attraverso molteplici reti con differenti tecnologie radio su zone geografiche diverse ed accesso a tipi diversi di servizio e sollevano l'esigenza di reti interoperabili.

L'integrazione delle reti wireless LAN e delle reti 3G, quali UMTS e CDMA 2000, si trasforma nella tendenza a fornire tali servizi. WLAN IEEE 802.11 sta guadagnando velocemente popolarità per fornire accesso wireless ad alta velocità per le reti indoor, le reti di impresa e gli hot spot pubblici. Specialmente questi ultimi, che includono aeroporti, caffè, hotel, città universitarie e biblioteche, hanno molta richiesta di servizi wireless di dati. Il successo di WLAN IEEE 802.11 è dovuto al prezzo basso delle schede WLAN e alle alte velocità di trasmissione. Lo standard originale di IEEE 802.11 specificato nel 1997 usa la banda libera centrata a 2.4 GHz con velocità fino ad un massimo di 2 Mbps. Gli standard 802.11b e 802.11a di IEEE specificati nel 1999 possono fornire fino ad un massimo di 11 e 54 Mbps usando le bande centrate a 2.4 e 5 GHz rispettivamente. IEEE 802.11g specificato nel 2003 può fornire fino a 54 Mbps nella banda dei 2.4 GHz. Lo standard emergente IEEE 802.11n fornirà velocità molto più alte. Tuttavia, un basic service set di IEEE 802.11 (BSS) copre soltanto alcune centinaia di metri quadrati senza un supporto specifico per la mobilità. Invece, gli standard 3G, CDMA 2000 ed UMTS, forniscono copertura di parecchi chilometri con grosso supporto alla gestione della mobilità, ma velocità relativamente basse, da 64 Kbps a 2 Mbps (un massimo

Introduzione

teorico). UMTS adotta la tecnologia a larga banda WCDMA, fornendo servizi molto migliori e più alti data rate rispetto alle reti cellulari 2G o 2.5G. NTT DoCoMo ha lanciato la prima rete WCDMA del mondo nel 2001 nel Giappone, rendendo l'UMTS una realtà e le reti commerciali WCDMA ora stanno funzionando in Australia, in Austria, in Italia, in Svezia e nel Regno Unito. Anche se i sistemi cellulari wireless forniscono la maggior parte dell'accesso wireless pubblico, i sistemi WLAN si sono trasformati velocemente in un accesso wireless pubblico a banda larga importante. Ancora, i costi per ottenere lo spettro radio come pure i dispositivi per le reti 3G sono molto costosi, mentre una rete WLAN usa uno spettro radio libero da autorizzazione per fornire servizi radio a più alta velocità. Di conseguenza, 3G e WLAN sono tecnologie complementari e l'integrazione di WLAN con 3G porta benefici sia agli utilizzatori finali che ai fornitori di servizio con i vantaggi di entrambe le tecnologie.

Ci sono due modalità di funzionamento negli standard IEEE 802.11: a infrastruttura e ad-hoc. In una rete a modalità a infrastruttura, è presente un Access Point (AP) e i terminali possono comunicare soltanto con un AP in un dato momento, mentre in una rete ad-hoc non è presente alcun AP ed i terminali possono comunicare fra loro finché il collegamento radio può sostenere la comunicazione.

Tipicamente, per l'integrazione di 3G e di WLAN sono usate le reti con modalità ad infrastruttura. Per accedere a 802.11 WLAN, in primo luogo una stazione deve passare attraverso le procedure di associazione e di autenticazione. Le trasmissioni a pacchetto fra l'AP e le stazioni mobili possono facoltativamente essere protette usando una chiave simmetrica basata su RC4 chiamato Wired Equivalency Privacy (WEP). Gli AP si collegano ad un sistema distribuito, il quale si collega a Internet con la suite di protocolli TCP/IP. Un server DHCP è necessario per la configurazione della pila di protocolli IP delle stazioni mobili WLAN. Una stazione mobile in WLAN è tipicamente un laptop o un PDA con un modulo WLAN incorporato o una scheda PCMCIA. In un BSS di WLAN, l'Access Point funge da bridge (ponte) per le parti cablate e wireless della rete. Lo standard 802.11 definisce soltanto il MAC, gli strati fisici e quindi le procedure di autenticazione, la QoS ed i meccanismi di gestione di mobilità, se disponibili, variano da fornitore a fornitore. Poiché gli standard 3G inoltre definiscono i protocolli sopra il MAC, possono gestire tutte queste funzionalità. Ancora, WLAN difetta di capacità quali

Introduzione

l'abbonamento e i servizi di roaming, che invece sono forniti dalle reti 3G. Problemi di compatibilità inoltre aumentano quando si estendono queste caratteristiche alle WLAN. In più, in una rete integrata 3G/WLAN è necessaria la fornitura costante di QoS.

Molti ricercatori hanno riportato il loro lavoro sull'integrazione di 3G e di 802.11 WLAN negli ultimi anni. 3GPP inoltre sviluppa un'architettura di interlavoro cellulare-WLAN per gli standard cellulari del sistema 3GPP. 3GPP2 recentemente ha iniziato a esaminare le questioni di interlavoro 3G/WLAN.

Esistono diverse architetture di integrazione WLAN/3G segnalate in letteratura, basate sulla quantità di interdipendenza fra reti WLAN e 3G. Le architetture di integrazione includono l'integrazione tightly-coupled, l'integrazione loosely-coupled, l'integrazione peer e l'integrazione hybrid-coupled. Nell'integrazione tightly-coupled, la rete 802.11 appare alla core network 3G come un'altra rete di accesso 3G e comunica (compresi dati e segnalazione) con la rete esterna attraverso la core network della rete cellulare. Nell'integrazione loosely-coupled, la rete 802.11 si collega alla core network 3G attraverso Internet, solo la segnalazione è trasportata fra i due sistemi, mentre i dati WLAN fluiscono direttamente alla rete esterna IP. In un'architettura di rete peer, la rete 802.11 si comporta come una rete peer. Infine, l'integrazione hybrid-coupled è proposta per differenziare i percorsi di dati secondo il tipo di traffico.

I requisiti necessari per l'interlavoro fra reti diverse sono:

1. La mobilità (Handover da UMTS a WLAN) dovrebbe essere supportata. L'utente dovrebbe essere informato di una possibile degradazione della qualità del servizio (QoS) dovuta al cambiamento della rete di accesso.
2. Partnership o accordi di roaming fra un operatore di rete di UMTS e un operatore di rete WLAN dovrebbero dare all'utente gli stessi benefici, come se l'interlavoro fosse offerto da un solo operatore di rete.
3. Identificazione dell'abbonato, fatturazione e contabilità fra i soci di roaming devono essere supportate.

L'interoperabilità di diverse reti wireless è la caratteristica principale dei sistemi mobili di prossima generazione (ai quali ci si riferisce solitamente come sistemi oltre 3G) e ha la finalità di assicurare la continuità del servizio e la mobilità globale. Infatti, poiché gli utenti che accedono a Internet sono liberi di muoversi, uno schema

Introduzione

efficiente per la gestione della mobilità è cruciale. La gestione della mobilità consiste nel sostegno per il roaming, che fornisce la raggiungibilità degli utenti mobili, e nel supporto all'handover che fornisce la continuità del collegamento nonostante i movimenti attraverso le reti. La conseguenza è che il traffico deve essere commutato attraverso reti differenti ed è appunto necessario l'handover verticale citato anche come handoff nella letteratura.

Mentre l'handover orizzontale è il rilancio di un collegamento attivo da una cella ad un'altra della stessa tecnologia di accesso radio (RAT, Radio Access Technology), un handover verticale o inter-sistema implica la commutazione da una cella di un dato RAT ad una di un altro RAT. Uno dei motivi principali per innescare l'handover inter-sistema è fornire il bilanciamento del carico, poiché, quando il traffico in una rete come ad esempio UMTS, aumenta, può essere conveniente che una parte faccia handover ad un altro RAT, per esempio WLAN. Altri motivi possono essere l'espansione della copertura di una rete o requisiti di qualità del servizio (QoS).

Per risolvere il problema della gestione della mobilità in reti wireless eterogenee sono stati proposti molti metodi, ad esempio Mobile IP che è una soluzione dello strato di rete. Mobile IP mantiene le sessioni dell'utente quando questo vaga fra reti eterogenee, permette che l'utente mantenga lo stesso indirizzo IP e mantenga le connessioni mentre effettua il roaming fra le reti IP. In Mobile IP, una stazione mobile mantiene un indirizzo IP fisso nella home network denominato home address (HoA). Due agenti sono adottati, un home agent (HA) nella home network e un foreign agent (FA) nella foreign network. Sia gli HA che i FA sono routers con alcune funzioni predefinite. Una stazione mobile in una foreign network, registra l'indirizzo locale del FA nel suo HA come CoA (Care of Address). L'HA effettua un'associazione fra l'indirizzo IP domestico della stazione mobile ed il relativo CoA e spedisce i pacchetti da tutti i nodi corrispondenti (CN) alla stazione mobile attraverso il tunneling dei pacchetti IP incapsulati al FA, il quale spedisce i pacchetti alla stazione mobile. La stazione mobile trasmette i pacchetti usando il suo indirizzo IP domestico, anche in una foreign network. In Mobile IP, tutti i messaggi fra la stazione mobile e l'HA sono protetti da una chiave simmetrica di 128-bit ed autenticati da una particolare procedura. Fra la stazione mobile e il FA può essere usata un'autenticazione facoltativa. I server AAA (autenticazione, autorizzazione,

Introduzione

contabilità), quali RADIUS e DIAMETER, sono utilizzati per l'autenticazione e l'autorizzazione.

Altre soluzioni sono SIP, che è un protocollo dello strato di applicazione e SCTP che è un protocollo dello strato di trasporto.

Oltre alla mobilità, altre sfide si presentano in reti interoperabili. Infatti, poiché ad un utente può essere offerto l'accesso da più di una tecnologia wireless, è necessario considerare come il terminale e la rete sceglieranno la tecnologia ottimale di accesso più adatta ai servizi richiesti e una decisione può essere presa in base a vari criteri (qualità del collegamento, profili degli utenti, servizi richiesti e tipo di terminale).

Ancora, devono essere introdotti meccanismi di autorizzazione, autenticazione e fatturazione più complessi e più flessibili.

E' necessario studiare meccanismi di adattamento per rispondere alle esigenze di QoS visto che gli utenti si muovono in ambienti di propagazione diversi e la qualità del collegamento è difficile da prevedere.

L'ultima questione importante da considerare è la riconfigurabilità. Riguarda le procedure del livello collegamento usate alla stazione base e al terminale mobile, procedure che dovrebbero adattarsi ai cambiamenti dell'ambiente di propagazione, agli stati di interferenza, alla velocità dell'utente e così via.

Per gli utenti mobili la soluzione migliore sarebbe avere un terminale mobile dotato di due schede di interfaccia di rete o di una scheda di interfaccia doppia di rete, per esempio che supporta IEEE 802.11b ed UMTS. Il terminale dovrebbe potere commutare fra le reti senza che l'utente lo noti e Mobile IP può fornire tale meccanismo. In generale, il terminale mobile si dovrebbe collegare a Internet attraverso WLAN con il vantaggio di un più alto bit rate e quando lascia la zona di copertura della WLAN, dovrebbe commutare automaticamente a UMTS. In un posto affollato in cui molta gente usa WLAN contemporaneamente, l'efficienza dell'accesso ad Internet usando WLAN potrebbe peggiorare molto rispetto a quando si sta usando UMTS. La congestione può accadere all'interfaccia radio (terminali multipli che provano ad accedere allo stesso AP contemporaneamente), nella LAN che collega tutti gli AP nella WLAN con un Gateway di Internet o sul link che collega il Gateway a Internet (per esempio, un collegamento di 2Mbit DSL).

Introduzione

In questo lavoro di tesi, innanzitutto si fa una breve panoramica sulle tecnologie di comunicazione wireless. Vengono classificate in base al raggio d'azione di ognuna di esse, a partire da quelle che coprono brevi distanze, ossia le WPAN (Wireless Personal Area Network) fino ai sistemi cellulari. Senza la pretesa di essere esaustivi, di ciascuna di tali tecnologie è data una breve descrizione tecnica, l'ambito di utilizzo, l'evoluzione e l'attuale o il più recente livello di standardizzazione.

Successivamente sono state trattate le Wireless LAN più nello specifico, con particolare enfasi sullo standard 802.11. Dopo un'introduzione riguardo gli ambienti di utilizzo e i vantaggi rispetto alle reti cablate, sono state analizzate le caratteristiche tecniche. Dapprima viene descritta l'architettura cellulare generica di una WLAN e le modalità ad hoc e infrastruttura. Il tipo di rete a infrastruttura è costituito da molteplici BSS (Basic Service Set) controllati da singoli AP i quali sono interconnessi da una rete di distribuzione, che nell'insieme vanno a formare un Extended Service Set. In una rete ad hoc non è presente l'AP e le stazioni comunicano fra loro direttamente.

Si sono presi in considerazione i tipi di servizi forniti dalle stazioni base che riguardano la gestione dell'appartenenza alle celle e i servizi stazione che riguardano le attività in ciascuna cella.

Poi viene dato uno sguardo al livello fisico di 802.11 e alle tecniche di trasmissione utilizzate in ciascuna versione dello standard.

Per finire, si è descritto il sottostrato MAC, il cui compito è quello di controllare l'accesso al mezzo wireless da parte di più stazioni. Sono definite due modalità, DCF (Distributed Coordination Function) e PCF (Point Coordination Function), di cui la prima è obbligatoria e serve a gestire il traffico non in tempo reale e la seconda è opzionale ed è più adatta per servizi in tempo reale.

La parte che segue inizia con una breve storia dell'evoluzione del sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) a partire dai primi progetti degli anni 80 fino alla Release 00 che descrive la tecnologia HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). L'architettura di rete è suddivisa in tre entità: la core network, l'UTRAN e lo user equipment. La core network consiste di due domini, il dominio a commutazione di circuito e il dominio a commutazione di pacchetto e si occupa di fornire agli utenti i diversi servizi. UTRAN è dedicata al controllo dell'accesso alla rete tramite la gestione delle risorse radio disponibili. Infine, lo user

Introduzione

equipment è il terminale mobile di cui si serve l'utente per usufruire dei servizi offerti dalla rete. E' descritto il livello fisico e le sue funzioni, le classi di QoS ed infine la mobilità.

Sono poi presentati vari tipi di architetture di integrazione WLAN/UMTS. Nella pletora di proposte sull'argomento, quattro tipi di architetture spiccano: *tight coupling* (accoppiamento stretto), *very tight coupling* (accoppiamento molto stretto) o *integrazione*, *loose coupling* (accoppiamento largo), e reti *peer*.

Tight coupling e loose coupling sono stati definiti da ETSI (European Telecommunications Standards Institute) e di essi viene fatta una breve descrizione. Il tight coupling prevede l'accoppiamento della WLAN alla rete UMTS tramite SGSN (Serving GPRS Service Node), nel loose coupling la WLAN è collegata a Internet, nell'integrazione sono connesse al livello di RNC (Radio Network Controller), mentre nelle reti peer non c'è un reale sforzo di accoppiamento e le reti risultano completamente indipendenti.

Oltre a questi quattro tipi di architetture, sono state proposte altre soluzioni che prevedono un accoppiamento di tipo ibrido. Tale tipo di accoppiamento offre la possibilità di differenziare i percorsi di traffico proprio in base al tipo di traffico. In una prima soluzione, per il traffico real-time è stata scelta la tecnica tight coupling, mentre per il traffico non real-time è stata scelta la tecnica loose coupling.

Vengono successivamente analizzate due architetture di integrazione ibride, HCRAS (Hybrid Coupling with Radio Access System) e TCWA (Tight Coupling with Wireless Access) che si basano sulle tecniche di accoppiamento largo e stretto, rispettivamente. Entrambe le soluzioni creano un link wireless utilizzando lo standard 802.16 (WiMax). Infine, è descritta una proposta di rete peer.

Per tutti questi tipi di architetture sono descritte le procedure di handover che nell'ambito di questo lavoro non sono state approfondite.

Infine, sono presentate alcune problematiche che si presentano quando si interconnettono reti eterogenee, con diverse caratteristiche e diversi requisiti di qualità del servizio. Infatti, il problema principale da risolvere è garantire la continuità e la qualità dei collegamenti quando un utente mobile si sposta attraverso le reti. Questo processo è proprio l'handover verticale.

Nelle due sezioni principali sono presentati alcuni studi effettuati in un ambiente integrato UMTS/WLAN, nei quali sono considerati alcuni scenari allo scopo di

Introduzione

valutare come e quanto la WLAN, e quindi l'handover da UMTS a WLAN e viceversa, possa migliorare le prestazioni del sistema UMTS.

Il primo studio preso in esame considera l'utilizzo della larghezza di banda supplementare fornita da una WLAN sviluppata sui contorni delle celle UMTS per migliorare le prestazioni di una chiamata di handover. Per modellare il sistema integrato è proposta una catena di Markov 3-D, e sono state calcolate diverse prestazioni, quali la probabilità di blocco di handover, la probabilità di accodamento e il ritardo di accodamento di nuove chiamate, ma soltanto la probabilità di blocco di handover è stata considerata in questo lavoro.

I risultati numerici hanno indicato che, per realizzare una probabilità di blocco di handover soddisfacente, l'uso di WLAN può ridurre significativamente il numero di canali riservati di UMTS per handover. Ciò a sua volta conduce a un uso migliore della larghezza di banda.

La secondo studio presentato ha studiato vari scenari di bilanciamento del carico allo scopo di migliorare la qualità di servizio delle applicazioni multimediali. Ciò è realizzato offrendo più capacità alle applicazioni dati commutandole dalle celle UMTS agli hot spot WLAN ed allo stesso tempo liberando la larghezza di banda per future chiamate in tempo reale UMTS alleviando così le celle congestionate UMTS. I risultati indicano chiaramente che gli hot spot che sono in condizioni di carico leggero o medio offrono un potenziale enorme per ammettere il traffico dati dalle celle UMTS vicine congestionate. La deviazione del traffico di dati a WLAN in queste circostanze risulta essere una strategia eccellente.

La ricerca successiva, considera degli abbonati UMTS con sessioni video in corso che fanno handover ad una WLAN. L'obiettivo è quantificare in numero massimo di utenti UMTS che possono essere ammessi alla WLAN senza provocare un degradamento della qualità del servizio.

Nella parte finale sono presentati alcuni metodi che potrebbero essere utili per migliorare le prestazioni dell'handover.

Il primo metodo discute il problema del bilanciamento del carico per le reti integrate cellulare/WLAN, che trae buon vantaggio dalle caratteristiche delle due reti quali la struttura della copertura a due stadi (ci sono zone in cui è disponibile la copertura di entrambe le reti e zone con la sola copertura di UMTS) ed il supporto complementare della QoS.

Introduzione

E' presentata una struttura di gestione delle risorse basata sulla policy per la rete integrata cellulare/WLAN loosely-coupled. Un'alta utilizzazione è realizzabile equilibrando dinamicamente il carico di traffico offerto dalle due reti mediante il controllo di ammissione e l'handoff verticale. Un miglioramento significativo di prestazioni è osservato in paragone ad altri due schemi di riferimento. Il primo schema di riferimento applica una selezione casuale della rete in cui una richiesta di servizio nella zona coperta da entrambe le reti può essere diretta ad una delle due con la stessa probabilità. Il secondo schema di riferimento usa invece in meccanismo di selezione della rete. Dai risultati di simulazione la probabilità di blocking/dropping di chiamate voce e il throughput delle chiamate dati dei tre schemi a confronto migliorano significativamente con lo schema proposto di bilanciamento del carico, che trae vantaggio dall'handover verticale.

Un altro metodo di ottimizzazione dell'handover è quello che propone una base di dati della probabilità di handover che può essere usata negli schieramenti di hot spot di UMTS-WLAN per effettuare o blind handover inter-sistema, o fornire ad un terminale mobile le liste delle celle o AP vicini.

I risultati di simulazione hanno indicato che la base di dati di probabilità di handover aumenta le prestazioni di blind handover da UMTS a WLAN, se paragonate ad un blind handover diretto. Conduce a prestazioni soddisfacenti se il numero di AP è limitato. La base di dati di probabilità di handover può anche essere usata per handover da WLAN a UMTS, per ottimizzare l'handover, usando liste delle celle vicine molto ristrette. L'integrazione della base di dati di probabilità di handover in un'architettura di interlavoro UMTS/WLAN può essere realizzata a livelli differenti, secondo il livello di cooperazione fra UMTS e WLAN. La base di dati di probabilità di handover potrebbe infatti essere esterna in modo da trasmettere direttamente le liste delle celle vicine ai terminali mobili o potrebbe anche essere integrata in un'entità centralizzata ed usata come componente della procedura di handover, per ottimizzare e ridurre le misure dei terminali mobili il più possibile.

L'ultimo studio proposto considera tre questioni. Innanzitutto, in un sistema eterogeneo non esiste un pilota comune, inoltre si devono mantenere i requisiti di QoS e si deve evitare l'effetto di ping-pong, fenomeno relativo al terminale mobile che effettua continuamente l'handover fra due stazioni base. Una nuova procedura di handover verticale considera il mapping di SNR efficace, la soglia dinamica basata

Introduzione

su QoS e il timer di controllo basato sulle prestazioni per risolvere i tre problemi rispettivamente. Da un'analisi semi-analitica, la procedura proposta può migliorare il rendimento della trasmissione per i servizi non in tempo reale e può ridurre sostanzialmente il tasso di perdita dei pacchetti per i servizi in tempo reale riducendo la frequenza di handover verticale.

In questo lavoro di tesi è stata approfondita, quindi, la problematica fondamentale che interessa l'integrazione delle due tecnologie wireless, nonché lo studio e l'analisi dei risultati ottenuti dagli esperti in materia, al fine di dare al lettore una ampia e quanto più approfondita panoramica sulle attuali tecniche di risoluzione dei problemi relativi all'integrazione di reti basate su tecnologie diverse, quali WLAN e UMTS.