

# PLATFORMA DE CONECTIVITATE PERMANENTĂ PENTRU TRANSPORTUL PUBLIC INTELIGENT

Asigurarea conectivității permanente pentru vehiculele de transport în comun și pentru pasagerii acestora este un obiectiv important în contextul dezvoltării sistemelor de transport inteligente, a tehnologiilor de comunicații ale Viitorului Internet și a orașelor inteligente. O soluție de conectivitate eficientă și ușor implementabilă se bazează pe o arhitectură construită peste rețele radio multi-tehnologie și multi-operator. Soluția dezvoltată și prezentată aici exploatează resursele de transmisie oferite de rețelele radio eterogene fără a utiliza informațiile de stare disponibile în rețelele de transport ale operatorilor. Proiectarea arhitecturii se realizează pe trei nivele distincte și anume: sistem, funcțional și platformă. De asemenea, sunt stabilite principiile de proiectare ale mecanismelor necesare pentru funcționarea sistemului de conectivitate.

## IDEEA DE BAZĂ

Conceptul de Oraș Inteligent primește atenție din ce în ce mai mare atât din partea comunității de cercetare, a administrației publice cât și a industriei. Unul dintre aspectele esențiale pentru realizarea unui oraș inteligent este transportul public, care permite oamenilor și lucrurilor să se miște și care este unul dintre factorii cheie care influențează eficiența globală a unui oraș. Sectorul de transport poate fi îmbunătățit semnificativ prin utilizarea tehnologiilor informației și comunicațiilor, în prezent având loc mai multe inițiative în acest sens. Aceste îmbunătățiri privesc atât serviciile de transport în sine cât și serviciile oferite pasagerilor, iar o condiție necesară pentru a pune în aplicare aceste servicii este oferirea conectivității permanente în mobilitate [1].

Utilizarea rețelelor publice mobile (3G/4G) pentru asigurarea serviciilor de comunicații pentru aplicațiile specifice Orașului Inteligent nu este totdeauna soluția cea mai bună. Capacitățile de transmisie ale acestor tehnologii pot fi insuficiente pentru volumul de informații care este în creștere continuă și care trebuie să fie transmis în anumite condiții de fiabilitate și disponibilitate impuse. Acest lucru este valabil mai ales în situația de față, când conexiunea la Internet trebuie să fie furnizată pentru pasagerii unui autobuz (30 - 40 utilizatori) și pentru alte terminale care necesită rate de bit relativ mari (ex. camere de supraveghere, afișaje de informare, etc.).

O soluție alternativă la problema în discuție este oferită de dezvoltarea rețelelor de nouă generație (Next generation Networks - NGN), capabile să folosească mai multe tehnologii de transmisie într-un mediu multi-operator și să asigure mobilitate generalizată. Rețelele eterogene pot oferi conectivitate fiabilă și permanentă, satisfăcând și cerințele serviciilor de comunicații caracteristice Orașelor Inteligente și Sistemelor de Transport Inteligente [1].

## PROIECTAREA ARHITECTURII PLATFORMEI DE CONECTIVITATE

Proiectarea arhitecturii platformei de conectivitate poate fi realizată în mai multe etape plecând de la arhitectura de sistem prezentată în figura 1. Arhitectura de sistem include patru entități de bază : *Router*-ul Mobil Inteligent (Smart Mobile Router - SMR), instalat în autobuz, *Gateway*-ul (Service Continuity Gateway - SCG), *Serverul de Suport* (Ubiquitous Continuity Support Server - UCSS) și o bază de date centrală (Central Database - CD) care stochează informațiile de stare ale rețelei eterogene (Network State Information - NSI). Entitățile SCG, UCSS și CD formează o Platformă Server de Aplicație (Application Server Platform - ASP), practic o platformă centralizată de suport pentru realizarea conectivității permanente. ASP are rolul de a aduna, procesa și stoca într-o bază de date centrală NSI achiziționată de la rutele SMR. Această bază de date poate fi utilizată pentru a optimiza decizia *router*-elor SMR în selecția rețelelor utilizate pentru transmisie.

SMR este echipat cu unul sau mai multe interfețe de rețea (radio și prin cablu), care permit conectarea terminalelor pasagerilor (*smartphone*-uri, *laptop*-uri, etc.), precum și a diferitelor terminale ale vehiculului (senzori, com-

puter de bord, cameră de supraveghere, etc.). SMR este echipat de asemenea cu mai multe interfețe celulare (3G/4G), și interfețe WLAN/WiFi folosite pentru a stabili conexiuni cu rețelele publice asigurând conectivitatea la Internet a terminalelor din autobuz.

SCG asigură continuitatea serviciului, atunci când traficul de date este rutat de la o conexiune *wireless* la alta. Soluția de conectivitate propusă se bazează pe cuplarea deschisă (“open-coupling”) a rețelelor *wireless*, adică aceste rețele nu schimbă informații de stare și de management. Router-ele SMR și SCG comunică prin tuneluri virtuale stabilite în rețeaua radio eterogenă (vezi Figura 2). Această abordare permite o implementare rapidă și eficientă a soluției, asigurând independența față de operatorii de rețea. Pe de altă parte, router-ele SMR nu au acces la NSI disponibil în rețelele de transport ale operatorilor și trebuie să realizeze măsurarea parametrilor rețelei eterogene. Datele de semnalizare și de măsurători active sunt transmise prin canalele de date, ceea ce scade eficiența sistemului.

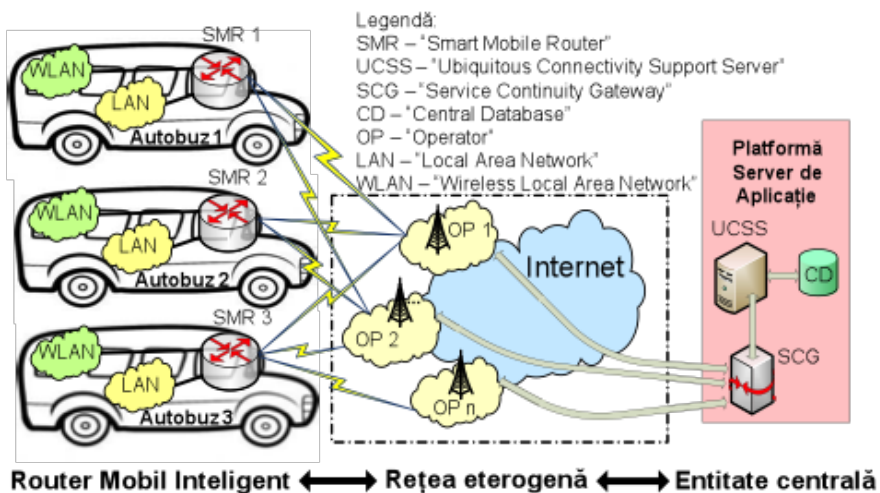


Figura 1. Arhitectura de sistem a platformei de conectivitate

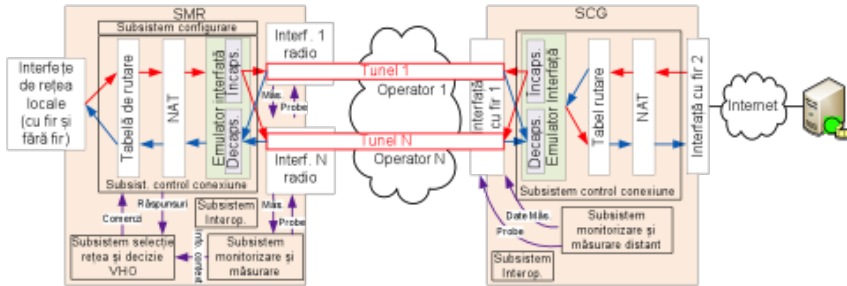


Figura 2. Soluția de conectivitate permanentă. Arhitectura funcțională a sistemului

A doua etapă în proiectarea arhitecturii constă în analiza funcțională a operațiunilor efectuate de către SMR obținându-se arhitectura funcțională așa cum este prezentată în *Figura 2*. Subsistemele arhitecturii funcționale a SMR pot fi organizate în următoarele categorii: decizie, execuție, monitorizare, comunicare și configurare. Fiecare dintre aceste subsisteme include una sau mai multe module funcționale și sub-module. Modulul de decizie este reprezentat de Subsistemul de Selecție a Rețelei și Decizie de Handover Vertical (Vertical Handover - VHO). Acest subsistem decide momentul inițierii procesului de *handover* și selectează rețeaua țintă pe baza informației de stare a rețelei obținută de la Subsistemul de Monitorizare. Entitatea de execuție este reprezentată de Subsistemul de Control al Conexiunii, care creează și controlează tunelurile IP stabilite peste rețelele disponibile și efectuează operațiunile de *handover* pe baza deciziilor primite de la Subsistemul de Decizie. Subsistemul include mai multe sub-module cum ar fi Tabelul de rutare, modulul de control NAT (Network Address Translation), Încapsulare-Decapsulare. Modulul de monitorizare este reprezentat de Subsistemul de Monitorizare și Măsurare, care include toate sub-modulele pentru achiziționarea informațiilor de stare a rețelelor, a informațiilor legate de trafic și stocarea acestora într-o bază de date locală, parte a Subsistemului de Monitorizare. Modulul de interoperabilitate este reprezentat de Subsistemul de Interoperabilitate care asigură transmiterea mesajelor între subsistemele locale și cele distante. Acest subsistem, care acționează ca un comutator de mesaje, permite modularizarea arhitecturii SMR și o integrare ușoară a subsistemelor care efectuează diferite operațiuni. Subsistemul de Configurare permite configurarea interfețelor radio, precizarea politicilor de control ale operațiunilor de *handover* și stabilirea cerințelor QoS ale serviciilor oferite

pasagerilor.

Arhitectura funcțională a SCG este similară cu cea a arhitecturii SMR-lui, principala diferență constând în lipsa subsistemului de decizie. Nicio decizie nu este luată de către SCG în ceea ce privește operațiunile de *handover*, iar Subsistemul de Monitorizare a rețelei are o structură simplificată, acesta oferind doar un sprijin pentru SMR în efectuarea măsurătorilor active.

Arhitectura funcțională a UCSS este mai simplă și include Subsistemul de Management al NSI. Această entitate oferă suport pentru SMR în luarea deciziilor de *handover*. Este important de menționat că deciziile de *handover* pot fi luate și fără intervenția UCSS, doar pe baza măsurătorilor locale.

A treia etapă de proiectare a platformei constă în asocierea entităților arhitecturii funcționale cu arhitectura platformei *hardware* utilizate. SMR a fost implementat pe un microcalculator care are performanțele necesare pentru efectuarea operațiunilor solicitate de sistemul de conectivitate. *Figura 3* prezintă arhitectura platformei *hardware* care este echipat cu mai multe interfețe radio 3G/4G și WiFi. Platforma este echipată și cu o unitate GPS care permite poziționarea SMR în aria de acoperire a rețelei eterogene. Sistemul de operare care rulează pe microcalculator este un sistem de operare Linux minimal, ce include numai bibliotecile necesare pentru operațiunile efectuate de către SMR. *Figura 3* prezintă de asemenea detalii despre comunicația dintre modulele arhitecturii funcționale a SMR.

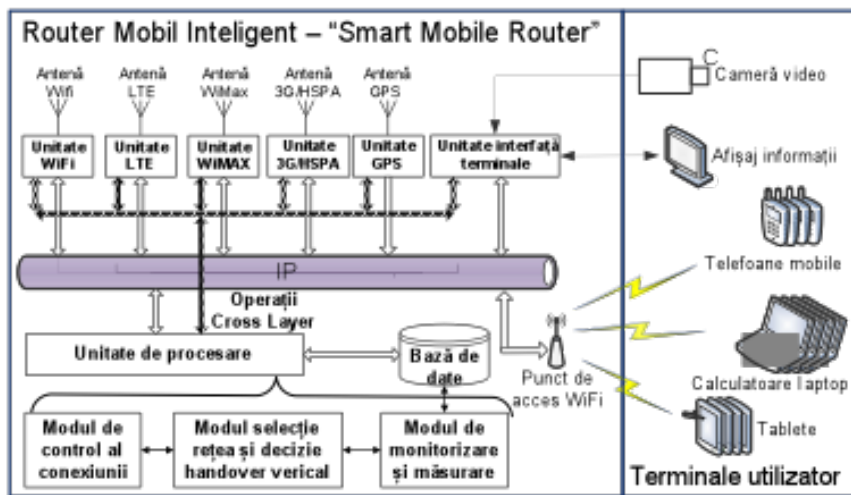


Figura 3. Arhitectura platformei hardware și maparea modulelor funcționale

## PRINCIPII DE PROIECTARE ȘI IMPLEMENTARE A MECANISMELOR

Asigurarea conectivității permanente în rețele eterogene multi-operator și multi-tehnologie necesită o serie de mecanisme specifice, care trebuie să îndeplinească și anumite cerințe de flexibilitate și adaptabilitate la schimbările parametrilor rețelei eterogene.

### MECANISMUL DE INTEROPERABILITATE

Acest mecanism, parte a Subsistemului de Interoperabilitate, permite schimbul flexibil de mesaje între procesele care colaborează pentru asigurarea conectivității omniprezente transmițând mai departe atât mesajele destinate proceselor locale cât și a celor distante. Procesele locale sau distante, care schimbă mesaje trebuie să fie conectate la un Modul de Interoperabilitate local, respectiv la unul similar care rulează pe dispozitivul distant. Mecanismul de interoperabilitate permite exploatarea deplină a caracterului modular al arhitecturii platformei, fiind posibilă înlocuirea sau actualizarea mecanismelor și a algoritmilor, fără a fi necesară schimbarea mecanismelor care interacționează cu cele în curs de actualizare. Fiecare modul *software* care comunică cu alte module trebuie să aibă un ID unic în cadrul platformei.

După ce un modul *software* se conectează la modulul de interoperabilitate, prima operație efectuată este de a trimite ID-ul său unic. Din acel moment, orice alt proces poate schimba mesaje cu cea actuală. Mesajele schimbate între procesele trebuie să aibă următorul format: <dest IP>,<ID dest>,<src IP>,<src ID>,<Mesaj>

### MECANISMUL DE ACHIZIȚIE A INFORMAȚIEI DE STARE A REȚELEI

Acest mecanism, parte a Subsistemului de Monitorizare și Măsurare, achiziționează parametrii de stare ai rețelei eterogene prin efectuarea unor operații de monitorizare pasivă și prin măsurători active. Informația de stare achiziționată este procesată și apoi stocată într-o bază de date locală. Subsistemul de monitorizare are o structură modulară, un modul separat fiind dedicat fiecărui tip de interfață radio (WiFi, 3G/HSPA, 4G/LTE, WiMAX, etc.). În acest fel extinderea platformei cu interfețe de rețea pentru noi teh-

nologii de acces se poate face ușor și fără să fie afectată monitorizarea tehnologiilor de acces deja integrate în platformă.

Informațiile de stare sunt grupate în trei categorii principale: parametrii legăturii radio (ex. puterea semnalului, SINR, etc.), parametrii de trafic (ex. numărul de pachete primite/transmise, clasa de trafic, debitul instantaneu sau cel mediu, etc.) și parametrii de rețea (ex. tipul rețelei, clasa de serviciu, numele operatorului, etc.). Această clasificare a parametrilor rețelei permite o procesare mai flexibilă în condițiile în care se integrează în platformă noi tehnologii de acces radio.

Mecanismul de monitorizarea parametrilor rețelelor WiFi se bazează în special pe funcțiile oferite de instrumentele integrate în sistemul de operare Linux (*iw tools*), care rulează pe platforma de conectivitate. Sistemul de operare Linux oferă, de asemenea, un sistem de fișiere virtual, */proc/net/wireless*, care stochează mai mulți parametri ai conexiunilor WiFi active. Folosirea unor seturi specifice de funcții oferite de programe Daemon (ex. *WPA supplicant*), reprezintă o altă alternativă pentru monitorizarea WiFi.

Mecanismul de monitorizare a interfețelor de rețea celulară poate fi implementată prin utilizarea comenzilor AT specifice interfeței sau a unor protocoale de interfațare a echipamentelor modem cu terminalele de date, cum este protocolul QMI (Qualcomm Station Mobile Modem Interface).

## MECANISMUL DE MONITORIZARE ȘI ANALIZĂ A TRAFICULUI

Mecanismul este parte a Subsistemului de Monitorizare și Măsurare, și are rolul de a identifica fluxurile de date care tranzitează *router*-ul SMR precum și de a măsura parametrii acestor fluxuri. Informațiile generate de acest mecanism sunt utilizate pentru implementarea unor operații de *handover* și agregare de bandă mai complexe și mai eficiente. Principalele operații efectuate de acest mecanism sunt:

- Identificare flux: un flux aplicație este clasificat pe baza antetului IP al pachetelor care ajung la SMR, antet care include cicni câmpuri: adresa IP sursă și destinație, identificatorul protocolului de transport, portul sursă și destinație.
- Monitorizare trafic în timp real: fiecare flux este împărțit în două fluxuri simplex și numărul de pachete/octeți trimiși în fiecare direcție este contorizat fiind calculat periodic debitul instantaneu și cel mediu.



- **Selecția fluxurilor:** majoritatea fluxurilor care traversează *router*-ul SMR sunt de scurtă durată (ex. trafic web, interogări DNS, cererile ARP, etc.). Deoarece metoda de identificare a fluxurilor este precisă, numărul fluxurilor detectate crește foarte rapid și este foarte dinamic. Deși este posibilă utilizarea în procesul de decizie a statisticilor colectate de la toate fluxurile detectate, este mai practic să fie luate în considerare numai fluxurile relevante, adică cele care au o durată minimă și un debit mai mare decât un prag minim impus. Fluxurile scurte în rafală sunt grupate într-un flux unic care este gestionat ca și oricare flux relevant. În acest fel complexitatea proceselor de decizie și execuție *handover* este păstrată la un nivel acceptabil.

### MECANISMUL DE DECIZIE

Arhitectura modulară a platformei permite integrarea mecanismelor de decizie cu complexitate și performanțe diferite. În funcție de puterea de procesare și memoria instalată a platformei hardware se pot implementa mecanisme de decizie cu complexitate redusă care realizează o “simplă” operație VHO sau mecanisme de decizie cu complexitate mare capabile de agregarea lărgimii de bandă disponibilă într-o rețea eterogenă. Pentru a realiza această flexibilitate mecanismele de decizie trebuie să fie separate de cele de monitorizare și cele de rutare. Mecanismul de decizie trebuie să lucreze pe baza unui număr limitat de parametri de rețea și de trafic stocați în baza de date locală a SMR-ului de către mecanismele de monitorizare. Parametrii utilizați trebuie să fie atent selecționați pentru a fi posibilă luarea unor decizii rapide și cât mai apropiate de cea optimă. Drept consecință, schimbarea interfețelor radio sau ale API-urilor care permit accesul la aceste interfețe nu are nici un efect asupra procesului de decizie. Pe de altă parte schimbarea mecanismului de decizie nu necesită modificarea mecanismelor de monitorizare și de rutare. Mecanismul de decizie este unul bazat pe evenimente, ceea ce înseamnă că acesta reacționează la evenimente sesizate de mecanismele de monitorizare a rețelei și a traficului sau la evenimente legate de expirarea unor temporizatoare, ceea ce reduce puterea de procesare necesară. Comenzile generate de procesul de decizie stabilesc pentru fiecare flux de date identificat care este rețeaua operatorului care trebuie folosită pentru transmiterea acestui flux și aceste comenzi sunt trimise mecanismului de control al conexiunii, care efectuează operațiile de rutare necesare.



## MECANISMUL DE CONTROL AL CONEXIUNII

În funcție de complexitatea procesului de decizie și de cuplajul dintre rețelele operatorilor pot fi utilizate diferite mecanisme de management al mobilității și control al conexiunii, cum ar fi mecanismul *Mobile IP*, mecanisme bazate pe protocolul *SIP* sau mecanisme bazate pe instrumentele *iproute*. O soluție alternativă, integrată în arhitectura platformei și testată în condiții reale, este reprezentată de utilizarea tuneluri virtuale *VPN* (Virtual Private Networks) create între fiecare *router* SMR și *gateway*-ul SCG, peste toate rețelele de acces radio disponibile. Acest mecanism rutează fluxurile de date pe tuneluri pe baza comenzilor primite de la mecanismul de decizie. Tunelurile virtuale sunt create cu ajutorul *software*-ului OpenVPN, iar rutarea peste aceste tuneluri este implementată prin utilizarea mai multor tabele de rutare virtuale, unul pentru fiecare conexiune disponibilă. Pentru a ruta fluxurile de date pe diferite tuneluri se precizează care tabelă de rutare virtuală trebuie utilizată pentru fiecare flux în parte. Această operație se poate realiza cu instrumentele disponibile în biblioteca de funcții *iptables* integrate în sistemul de operare Linux. Cu ajutorul acestor instrumente se poate atașa un marcaj pentru orice pachet care are un set specific de proprietăți (ex. adresă IP sursă și destinație, port sursă și destinație și protocol de transport utilizat). Întregul proces trebuie să fie efectuate atât pe SMR și SCG, astfel încât setările să fie consistente pe ambele dispozitive.

## EVALUAREA ARHITECTURII PLATFORMEI ȘI A MECANISMELOR DE CONECTIVITATE

Conceptele și principiile de arhitectură precum și principiile de proiectare ale mecanismelor de conectivitate expuse au fost utilizate pentru implementarea unei platforme de conectivitate în cadrul proiectului de cercetare FP7-UCONNECT, finanțat de Comisia Europeană. Această platformă a fost testată în medii de transmisie eterogene compuse din rețele WiFi și celulare 3G/HSPA atât în condiții de mobilitate redusă cât și în condiții de mobilitate vehiculară. Rezultatele acestor teste au validat pe deplin conceptele de arhitectură cât și proiectarea și implementarea mecanismelor de conectivitate. Rezultatele testelor au fost raportate în mai multe publicații științifice [2] [3] [4] [5] și rapoartele interne ale proiectului FP7-UCONNECT.

## CONCLUZII

În contextul oferirii de conectivitate radio vehiculelor, au fost dezvoltate și standardizate diferite sisteme de comunicații radio. Un astfel de exemplu este sistemul CALM [6] dezvoltat pentru Sisteme de Transport Inteligente. Arhitectura sistemului este concepută pe baza funcționalităților oferite de stiva de protocoale TCP/IP și oferă conectivitate multi-tehnologie, dar nu definește mecanismul de execuție al procesului de *handover* vertical. În acest caz procesul VHO se realizează prin protocolul Mobile IPv6 și, prin urmare, este nevoie de un grad ridicat de interoperabilitate a rețelelor. În comparație sistemul CALM arhitectura prezentată în această lucrare integrează mecanismele de decizie și de execuție VHO, ceea ce permite oferirea de conectivitate atât în rețelele IPv4 cât și IPv6 fără a utiliza funcționalități oferite de operatori. Sistemul prezentat permite de asemenea și funcționalități suplimentare, cum ar fi agregarea de bandă de la mai multe tehnologii de acces fără fir, ceea ce asigură conectivitate la Internet chiar și în zonele cu acoperire slabă sau în rețele supraîncărcate.

## REFERINȚE

- [1] UCONNECT FP7 project website, <http://idi.gowex.com/uconnect/index.html>
- [2] Z. A. Polgar, A. B. Rus, Z. I. Kiss, A. Consoli, J. Ayadi, M. Egado, "Ubiquitous Connectivity Platform for Public Transport Communication Services", Future Network and Mobile Summit 2013, 3-5 July 2013, Lisboa, Portugal
- [3] A. C. Hosu, Z. I. Kiss, Z. A. Polgar, "A cellular - WLAN vertical handover management system for public transport", 36<sup>th</sup> International Conference on Telecommunications and Signal Processing 2013 TSP 2013, 2-4 July 2013, Rome, Italy
- [4] Z. I. Kiss, A. B. Rus, V. Dobrota, A. Consoli, M. Egado, Z. A. Polgar, "Seamless Connectivity Platform Architecture for Public Transportation", 21<sup>st</sup> International Conference on Software, telecommunications and Computer Networks 2013, 18-20 September 2013, Primosten, Croatia.
- [5] A. C. Hosu, Z. I. Kiss, I. A. Ivanciu, Z. A. Polgar, A. Consoli, M. Egado, "Ubiquitous Connectivity Platform for Intelligent Public Transportation Systems", 10<sup>th</sup> ITS European Congress 2014, 16-19 June 2014, Helsinki, Finland.
- [6] ISO 21210:2012: "Intelligent transport systems-Communications access for land mobiles (CALM)-IPv6 Networking", <http://www.iso.org/iso/>

**Autori**

**Zsolt Alfred Polgar, Andrei Ciprian Hosu, Zsuzsanna Ilona Kiss,  
Andrei Bogdan Rus, Gabriel Lazăr, Virgil Dobrotă**  
@ Departamentul Comunicații, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca