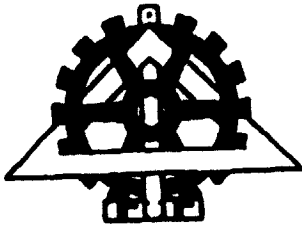
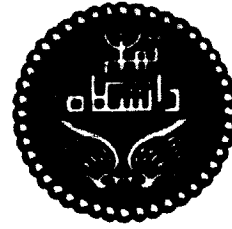


به نام خداوند بخشاینده و مهربان

۱۳۸۰ / ۷ / ۲۰



وزارت آموزش عالی و تحقیقات علمی ایران  
وزارت صنعت، معدن و تجارت ایران



دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان:

استفاده از کدینگ توربو در سیستم

Handwritten signature

013852

WLAN OFDM

Handwritten: کدینگ توربو  
Turbo coding

Block Fading

Handwritten: فیدینگ بلوکی

نگارش: رضا هوشیار جبل کندی

استاد راهنما: دکتر حمید رضا جمالی

رساله برای دریافت درجه دکتری

در

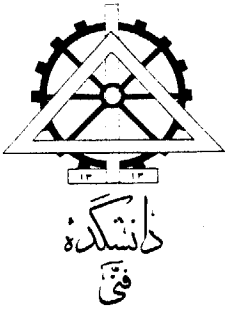
رشته مهندسی برق، گرایش مخابرات

Handwritten notes: سیستم بی سیم محلی  
Wireless local area network

Wireless local Area Network

تابستان ۱۳۸۰

۳۹۵۳۱



تاریخ: ۸۰/۶/۶

«باسمه تعالی»

### صورتجلسه ارزیابی رساله دکترای مهندسی برق

جلسه دفاعیه از رساله دکترای مهندسی برق آقای مهندس رضا هوشیار جبل کندی تحت عنوان: "استفاده از توربو کدینگ در سیستم WLAN OFDM" در تاریخ ۸۰/۶/۶ تشکیل گردید. پس از دفاع نامبرده از رساله و پرسش و پاسخ، هیأت محترم داوران وارد شور گردید و رساله آقای مهندس هوشیار جبل کندی را با درجه..... عالی..... مورد ارزیابی قرار دادند.

استاد راهنما  
داور  
داور  
داور  
داور  
داور و سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه

۱- دکتر حمیدرضا جمالی

۲- دکتر معصومه نصیری کناری

۳- دکتر وحید طباطبائی و کیلی

۴- دکتر ناصر رضایی

۵- دکتر سعید نادر اصفهانی

۶- دکتر جواد فیض

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

رساله برای دریافت درجه دکتری

در

رشته مهندسی برق، گرایش مخابرات

عنوان:

استفاده از کدینگ توربو در سیستم

WLAN OFDM

توسط: رضا هوشیار جبل کندی



از این رساله در تاریخ ۱۳۸۰/۶/۶ در مقابل هیأت داوران دفاع به عمل آمد و

با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

دکتر محمدعلی بنی هاشمی

دکتر محمود کمره‌ای

دکتر جواد فیض

دکتر حمید رضا جمالی

دکتر وحید طباطبائی کیلی

دکتر ناصر رضایی تفرشی

دکتر سعید نادر اصفهانی

دکتر معصومه نصیری کناری

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده:

مدیر گروه آموزشی:

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه:

استاد راهنما:

استاد داور:

استاد داور:

استاد داور:

استاد داور:

به یاد و خاطره پدر مهربانم که مدیون دلسوزیهایش هستم

با تشکر و قدردانی از حمایت‌های بی دریغ اساتید عزیز  
دکتر حمیدرضا جمالی و دکتر احمدرضا شیخ بهایی

تقدیم به همسر خوبم نسرین و دختر کوچکم ثمین

## چکیده

با افزایش نرخ داده در کاربردهای امروز بخصوص سیستم WLAN IEEE 802.11، که از روش OFDM به منظور کنترل رفتار فیدینگ انتخابی حوزه فرکانس سود می‌برد، تغییرات کانال در مقایسه با زمان مخابره بلوکهای داده بسیار کند می‌شود. در چنین شرایطی به علت محدودیتهای پیاده‌سازی ایتترلیوینگ قادر به شکستن کامل حافظه کانال نشده و سیستم با پدیده فیدینگ بلوکی مواجه می‌شود. در این حالت نمادهای منتقل شده از طریق کانال به تعداد محدودی از بلوکها بطوریکه تمامی نمادهای متعلق به یک بلوک با فیدینگ کاملاً یکسان روبرو هستند، افزاز می‌شوند. پدیده فیدینگ بلوکی در عملکرد سیستم تأثیر گذاشته و معیارهای متداول طراحی را به کل بر هم می‌زند. بر خلاف کانالهای متداول، ظرفیت کانال فیدینگ بلوکی تصادفی بوده و در بعضی از شرایط ظرفیت کانال زیر نرخ داده کانال قرار گرفته و به اصطلاح گذر از ظرفیت رخ می‌دهد.

با توجه به کارایی کدهای توربو در تصحیح خطاهای کانال هدف کار تحقیقی این رساله بررسی عملکرد این کدها در سیستم WLAN IEEE 802.11 با در نظر گرفتن رفتار فیدینگ بلوکی در این سیستم و بدست آوردن معیارهای مؤثر در عملکرد کانالهای با فیدینگ بلوکی می‌باشد. محاسبه احتمال خطای زوج به همراه خطای تخمین کانال، بکارگیری کران اجتماعی، و در نهایت بررسی و محاسبه کرانهای بالا و پایین قضایای کدینگ و همچنین محاسبه احتمال گذر از ظرفیت از جمله تحلیلهای مهم ارائه شده در این رساله در راستای بررسی اثر فیدینگ بلوکی در عملکرد سیستم می‌باشند. نشان داده می‌شود که در چنین شرایطی عملکرد سیستم بطور عمده توسط احتمال گذر از ظرفیت مشخص می‌شود. احتمال گذر از ظرفیت تنها به رفتار بلوکی فیدینگ و نرخ کد بستگی داشته و ساختار وزنی کد که موجب تفاوت عملکرد کدها در کانالهای متداول می‌شود، از اهمیت کمی



برخوردار خواهد بود. با بکارگیری کد توربو در سیستم WLAN IEEE 802.11 ملاحظه شد که این کد با احتمال گذر از ظرفیت سیستم تنها ۱ dB فاصله دارد، در حالیکه این کد در مقایسه با کد کانولوشنال با حافظه شش دارای عملکرد یکسان از لحاظ احتمال خطای بیت و بهره ۲ dB از لحاظ احتمال خطای بلوک می‌باشد.

رضا هوشیار جبل کندي

تابستان ۱۳۸۰

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول:

|    |       |  |
|----|-------|--|
| ۱  | ..... | مقدمه                                  |
| ۱  | ..... | ۱-۱ کد توربو: نزدیک شدن به حد شانون    |
| ۴  | ..... | ۲-۱ سیستمهای چند حاملی متعامد OFDM     |
| ۷  | ..... | ۳-۱ کاربردهای سیستم OFDM               |
| ۸  | ..... | ۴-۱ بکارگیری کدهای توربو در سیستم OFDM |
| ۹  | ..... | ۵-۱ کارهای انجام شده                   |
| ۱۲ | ..... | ۶-۱ روش تحقیق و نتایج حاصل شده         |

### فصل دوم:

|    |       |  |
|----|-------|--|
| ۱۵ | ..... | کدهای توربو                                    |
| ۱۵ | ..... | ۱-۲ اساس کدینگ توربو                           |
| ۱۷ | ..... | ۲-۲ ساختار شبه تصادفی                          |
| ۱۷ | ..... | ۳-۲ آشکارسازی تکراری                           |
| ۲۱ | ..... | ۴-۲ الگوریتمهای ورودی-خروجی نرم SISO           |
| ۲۲ | ..... | ۵-۲ ارزیابی تحلیلی عملکرد                      |
| ۲۵ | ..... | ۱-۵-۲ ایترلیونگ تصادفی                         |
| ۲۷ | ..... | ۲-۵-۲ ارزیابی عملکرد برای الگوی ایترلیونگ مشخص |
| ۳۰ | ..... | ۶-۲ طراحی کد توربو                             |
| ۳۱ | ..... | ۱-۶-۲ طراحی کدهای تشکیل دهنده                  |
| ۳۲ | ..... | ۲-۶-۲ طراحی ایترلیور                           |

## فصل سوم:

|    |  |        |
|----|--|--------|
| ۳۶ | سیستمهای چند حاملی OFDM .....                            |        |
| ۳۶ | سیگنال OFDM .....  | ۱ - ۳  |
| ۳۸ | ارسال سیگنال OFDM از طریق کانال چند مسیره .....          | ۲ - ۳  |
| ۴۳ | تحقق دیجیتال سیگنال OFDM .....                           | ۳ - ۳  |
| ۴۶ | تخمین پارامتر در سیستم مخابراتی OFDM .....               | ۴ - ۳  |
| ۴۷ | حساسیت سیستم OFDM به آفست فرکانس و نویز فاز .....        | ۵ - ۳  |
| ۵۱ | حساسیت سیستم OFDM به آفست زمان .....                     | ۶ - ۳  |
| ۵۲ | تخمین کانال .....  | ۷ - ۳  |
| ۵۶ | حساسیت سیستم OFDM به اثرات غیر خطی .....                 | ۸ - ۳  |
| ۵۷ | مقایسه سیستم OFDM با سیستمهای تک حاملی .....             | ۹ - ۳  |
| ۵۸ | سیستم OFDM برای WLAN بر اساس استاندارد IEEE 802.11 ..... | ۱۰ - ۳ |

## فصل چهارم:

|    |  |       |
|----|--|-------|
| ۶۲ | پدیده فیدینگ بلوکی .....                           |       |
| ۶۳ | حافظه و دایورسیتی کانال .....                      | ۱ - ۴ |
| ۶۵ | سیستم WLAN IEEE 802.11 و فیدینگ بلوکی .....        | ۲ - ۴ |
| ۶۶ | اینترلیونگ بیت و نماد .....                        | ۳ - ۴ |
| ۶۸ | سیستم مخابراتی با کانال با حافظه بلوکی .....       | ۴ - ۴ |
| ۷۰ | نتایج شبیه سازی عملکرد سیستم WLAN IEEE802.11 ..... | ۵ - ۴ |

## فصل پنجم:

|    |  |       |
|----|--|-------|
| ۷۵ | تحلیل عملکرد سیستمهای کد شده در کانال فیدینگ بلوکی ..... |       |
| ۷۷ | عملکرد سیستمهای کد شده در کانالهای با فیدینگ بلوکی ..... | ۱ - ۵ |

|     |       |  |       |
|-----|-------|--|-------|
| ۷۷  | ..... | احتمال خطای زوج شرطی در سیستم BICM                                     | ۱-۱-۵ |
| ۸۴  | ..... | احتمال خطای زوج شرطی در سیستم SICM                                     | ۲-۱-۵ |
| ۸۶  | ..... | احتمال خطای زوج سیستم BICM در کانال فیدینگ بلوکی                       | ۳-۱-۵ |
| ۹۳  | ..... | احتمال خطای زوج سیستم SICM در کانال فیدینگ بلوکی                       | ۴-۱-۵ |
| ۹۵  | ..... | مقایسه روشهای اینترلیوینگ بیت و نماد در کانال فیدینگ بلوکی             | ۵-۱-۵ |
| ۹۶  | ..... | تحلیل عملکرد کل سیستم کد شده   | ۶-۱-۵ |
| ۱۰۰ | ..... | کرانه‌های بالا و پایین قضیه کدینگ: تحلیل عملکرد مجموعه سیستمهای کد شده | ۲-۵   |
| ۱۰۸ | ..... | عملکرد کد توربو و احتمال گذر از ظرفیت در سیستم WLAN OFDM               | ۳-۵   |

## فصل ششم:

|     |       |  |         |
|-----|-------|--|---------|
| ۱۱۱ | ..... | نتیجه‌گیری و پیشنهاد                   |         |
| ۱۱۱ | ..... | نتیجه‌گیری                             | ۱-۶     |
| ۱۱۴ | ..... | پیشنهاد                                | ۲-۶     |
| ۱۱۴ | ..... | افزایش منبع دایورسیتی کانال            | ۱-۲-۶   |
| ۱۱۴ | ..... | استفاده از تعدد آنتنهای ارسال و دریافت | ۱-۱-۲-۶ |
| ۱۱۶ | ..... | اینترلیوینگ بین بسته‌ای                | ۲-۱-۲-۶ |
| ۱۱۴ | ..... | بهبود روشهای تخمین کانال               | ۲-۲-۶   |
| ۱۱۸ | ..... | پیشنهادات دیگر                         | ۳-۲-۶   |
| ۱۱۹ | ..... | ضمائم:                                 |         |

|     |       |  |         |
|-----|-------|--|---------|
| ۱۱۹ | ..... | اثبات قضایای (۱-۵) و (۲-۵)                       | ضمیمه ۱ |
| ۱۲۰ | ..... | محاسبه کران اجتماعی تعمیم یافته کدهای کانولوشنال | ضمیمه ۲ |

|     |       |       |  |
|-----|-------|-------|--|
| ۱۲۴ | ..... | مراجع |  |
|-----|-------|-------|--|

## فهرست اشکال و جداول

صفحه

عنوان

### فصل اول:

|   |       |  |
|---|-------|--|
| ۱ | ..... | مقدمه  |
| ۲ | ..... | انکدر کد توربو ..... شکل (۱-۱)                     |
| ۳ | ..... | عملکرد اولین کد توربو ..... شکل (۲-۱)              |
| ۵ | ..... | تقسیم فرکانسی در سیستمهای چندحاملی ..... شکل (۳-۱) |

### فصل دوم:

|    |       |  |
|----|-------|--|
| ۱۵ | ..... | کدهای توربو  |
| ۱۹ | ..... | آشکارسازی تکراری با استفاده از دیکدرهای SISO ..... شکل (۱-۲)                 |
| ۲۰ | ..... | نتایج شبیه‌سازی عملکرد کد توربو (تلفیق موازی) ..... شکل (۲-۲)                |
| ۲۰ | ..... | نتایج شبیه‌سازی عملکرد کد تلفیق سری ..... شکل (۳-۲)                          |
| ۲۹ | ..... | محاسبه تقریبی توزیع وزنی کد توربو با استفاده از الگوهای تست ..... شکل (۴-۲)  |
| ۳۰ | ..... | نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد برای کد توربو با اینترلیونگ ..... شکل (۵-۲) |
| ۳۰ | ..... | مشخص   |
| ۳۵ | ..... | نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد برای کد توربو با اینترلیور ..... شکل (۶-۲)  |
| ۳۵ | ..... | بدست آمده از الگوریتم کولونی مورچه   |
| ۲۹ | ..... | مجموعه الگوهای تست برای یک کد کانولوشنال ..... جدول (۱-۲)                    |

مرکز اطلاعات آران علمی ایران  
تیم مهندسی آران

## فصل سوم:

|    |   |            |
|----|---|------------|
| ۳۶ | سیستمهای چند حاملی OFDM                             |            |
| ۳۷ | شکل موج سیگنال OFDM و پارامترهای مربوطه             | شکل (۱-۳)  |
| ۴۵ | بلوک دیاگرام ساده تحقق دیجیتال سیستم چند حاملی OFDM | شکل (۲-۳)  |
| ۵۸ | تخصیص کانالهای فرکانسی برای سیستم IEEE 802.11 OFDM  | شکل (۳-۳)  |
| ۵۹ | بلوک دیاگرام کلی سیستم IEEE 802.11 OFDM             | شکل (۴-۳)  |
| ۶۰ | مشخصات عمده سیستم IEEE 802.11 OFDM                  | جدول (۱-۳) |

## فصل چهارم:

|    |   |            |
|----|---|------------|
| ۶۲ | پدیده فیدینگ بلوکی  |            |
| ۶۸ | سیستم مخابراتی با حافظه بلوکی                                 | شکل (۱-۴)  |
|    | نتایج شبیه سازی عملکرد کدهای کانولوشنال مختلف در سیستم        | شکل (۲-۴)  |
| ۷۲ | WLAN OFDM-QPSK  |            |
|    | نتایج شبیه سازی عملکرد کد کانولوشنال و توربو در سیستم         | شکل (۳-۴)  |
| ۷۳ | WLAN OFDM-QPSK  |            |
|    | نتایج شبیه سازی عملکرد کدهای توربو مختلف در سیستم             | شکل (۴-۴)  |
| ۷۴ | WLAN OFDM-QPSK  |            |
| ۷۱ | پارامترهای اصلی سیستم IEEE 802.11 OFDM                        | جدول (۱-۴) |
| ۷۱ | پارامترهای کانال مخابراتی و فیلترهای ارسال و دریافت بکار رفته | جدول (۲-۴) |
|    | در ارزیابی سیستم IEEE 802.11 OFDM                             |            |

## فصل پنجم:

- ۷۵ ..... تحلیل عملکرد سیستمهای کد شده در کانال فیدینگ بلوکی
- ۷۸ ..... مدل نگاشت تصادفی برای تحلیل عملکرد سیستم BICM ..... شکل (۱-۵)
- ۸۵ ..... BICM-8PSK با برجسب Gray ..... شکل (۲-۵)  
نتایج شبیه‌سازی و کران بالای عملکرد کد کانولوشنال در سیستم
- ۹۲ ..... WLAN OFDM-BPSK ..... شکل (۳-۵)  
نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی احتمال خطای زوج برای سیستم
- ۹۳ ..... WLAN OFDM-16PSK ..... شکل (۴-۵)  
نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی احتمال خطای زوج برای سیستم
- ۹۸ ..... WLAN OFDM-QPSK با کدینگ کانولوشنال ..... شکل (۵-۵)  
نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی احتمال خطای بیت برای سیستم
- ۹۹ ..... BPSK در کانال فیدینگ بلوکی با دو بلوک مستقل ..... شکل (۶-۵)  
نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی احتمال خطای بیت برای سیستم
- ۱۰۰ ..... WLAN OFDM-QPSK با کدینگ کانولوشنال ..... شکل (۷-۵)  
احتمال گذر از ظرفیت و کرانهای بالا و پایین قضیه کدینگ برای سیستم با نگاشت BPSK در کانال فیدینگ بلوکی با سه بلوک مستقل
- ۱۰۷ ..... WLAN OFDM-QPSK ..... شکل (۸-۵)  
احتمال گذر از ظرفیت و کرانهای بالا و پایین قضیه کدینگ برای سیستم
- ۱۰۷ ..... WLAN OFDM-QPSK ..... شکل (۹-۵)  
احتمال گذر از ظرفیت سیستم WLAN OFDM-QPSK برای نرخ کدهای مختلف
- ۱۰۸ ..... WLAN ..... شکل (۱۰-۵)  
عملکرد کد توربو و احتمال گذر از ظرفیت سیستم WLAN
- ۱۰۹ ..... OFDM-QPSK