

Review Paper

Nama : Fadilla Sukma Alfiani

NRP : 05111640000024

Judul

Improving indoor positioning precision by using received signal strength fingerprint and footprint based on weighted ambient Wi-Fi signals

Pengarang

Jenq-Shiou Leu, Min-Chieh Yu, Hung-Jie Tzeng

Penerbit & Tahun

Computer Networks (2015)

1. Abstrak

Salah satu proses penting dalam *location based service* (LBS) adalah penentuan posisi. Namun, untuk lingkungan *indoor* pengguna sulit untuk mendapatkan posisi yang akurat karena sinyal GPS terhalang dinding bangunan. Sehingga banyak *indoor positioning system* menggunakan *received signal strength* (RSS) dari Wi-Fi akses poin (AP). Dalam penelitian ini, penulis mengusulkan skema baru *indoor positioning* dengan bantuan *RSS fingerprint* dan *footprint*. Sehingga pengguna *smartphone* bisa mendapatkan posisi mereka menggunakan RSS dari Wi-Fi AP di sekitarnya. Skema yang diusulkan tidak hanya menggunakan AP intrinsik, tetapi juga AP ekstrinsik, kemudian memfilter RSS berdasarkan orientasi, mengatasi masalah ketidakstabilan sinyal, dan meningkatkan akurasi. Penulis merancang algoritma *close designated location set* (CDLS) untuk mengurangi kompleksitas waktu. Algoritma ini hanya menggunakan lokasi yang telah ditentukan dengan *footprint* yang sama dari posisi pengguna saat ini untuk menentukan lokasi pengguna. RSS dengan pencocokan *fingerprint* dan *footprint* yang diusulkan dapat mempercepat proses penentuan posisi. Selain itu, penulis juga menggunakan algoritma *weighted voting positioning* (WVP) untuk mengurangi efek negatif dari AP ekstrinsik. Algoritma ini akan menetapkan bobot yang tinggi untuk sinyal dari AP intrinsik, dan menyesuaikan bobot dengan AP ekstrinsik tergantung dari kemungkinan kegagalannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa skema yang diusulkan dapat meningkatkan akurasi pada lingkungan *indoor*.

2. Latar Belakang

LBS dapat membantu orang saat mengunjungi tempat yang tidak dikenal. Misalnya, *backpacker* dapat dengan mudah mendapatkan informasi ketika tiba di tempat asing. LBS juga dapat diterapkan untuk promosi. Misalnya, ketika orang berjalan-jalan di pusat perbelanjaan, toko terdekat dapat mengirimkan kupon elektronik untuk mencapai iklan yang efektif. Namun, masalah penting dalam LBS adalah bagaimana cara mendapatkan posisi secara akurat. Semakin akurat posisi yang dapat ditentukan, akan semakin presisi/tepat informasi yang akan diberikan.

Dengan bantuan GPS, orang yang berada di lingkungan *outdoor* akan lebih mudah dalam mendapatkan posisi. Namun, untuk *indoor positioning* masih sedikit *improvement*. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada *indoor positioning* menggunakan pemancar radio seperti Wi-Fi AP atau ZigBee *sensor nodes* sebagai titik tetap. Kemudian posisi target akan diestimasi berdasarkan RSS dari titik ini. Saat ini banyak Wi-Fi AP yang dibuat oleh beberapa pemilik jaringan atau individual. Sinyal Wi-Fi ada dimana-mana. Oleh karena itu, keakuratan posisi dapat ditingkatkan dengan menggunakan sinyal Wi-Fi tidak hanya dari AP intrinsik (*stable & reliable*), tetapi juga AP ekstrinsik. Sementara itu dengan perkembangan teknologi komunikasi seluler seperti sekarang ini, *smartphone* menjadi alat yang sangat dibutuhkan dibanding dengan laptop atau komputer bagi kebanyakan orang. Meningkatkan kerja *positioning* pada *smartphone* tentu akan sangat bermanfaat bagi banyak pihak.

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis mengusulkan skema *indoor positioning* menggunakan Wi-Fi AP. Skema tersebut terdiri dari dua tahap. Tahap pertama disebut tahap *offline*. Sistem akan mengumpulkan kekuatan sinyal pada beberapa lokasi yang telah ditentukan untuk membangun RSS *fingerprint*. Sinyal berasal dari AP intrinsik dan ekstrinsik. Perlu dilakukan *filtering* untuk menghilangkan sinyal *noise*. Sementara sinyal yang diterima dari AP intrinsik dalam RSS *footprint* juga dicatat untuk meningkatkan ketepatan *positioning*.

Tahap kedua disebut tahap *online*. *Smartphone* dengan Wi-Fi yang aktif dapat diposisikan berdasarkan informasi yang dikumpulkan pada tahap *offline*. Kekuatan sinyal dari AP di sekitar *smartphone* akan dikumpulkan terlebih dahulu. Kemudian *smartphone* meneruskan sinyal yang telah dikumpulkan tersebut ke *positioning system*. Untuk mengurangi kompleksitas waktu, penulis merancang algoritma *close designated location set* (CDLS). Algoritma ini hanya memilih lokasi yang telah ditentukan dengan *footprint* yang sama dari posisi pengguna saat ini untuk menentukan lokasi pengguna. Setelah itu, penulis juga menggunakan algoritma WVP untuk menentukan posisi akhir berdasarkan sinyal yang telah dikumpulkan dengan membandingkan *database RSS fingerprint* dan *footprint* dalam *positioning system*.

Kontribusi utama dalam skema yang diusulkan adalah gagasan untuk menggunakan AP ekstrinsik. Karena penempatan AP ekstrinsik tidak dapat dikontrol oleh pemilik layanan dan kemungkinan dapat menghilang, maka AP ekstrinsik mungkin tidak berfungsi secara stabil seperti yang dilakukan AP intrinsik. Oleh karena itu, bagaimana memberikan bobot yang sesuai pada AP ekstrinsik merupakan hal penting pada sistem ini. Untuk mengurangi efek negatif AP ekstrinsik digunakan algoritma WVP yang akan memberikan bobot yang tinggi pada sinyal dari AP intrinsik, dan menyesuaikan bobot sinyal dari AP ekstrinsik tergantung kemungkinan kegagalannya. Dengan demikian AP ekstrinsik masih dapat membantu meningkatkan akurasi dari *positioning system*.

Penelitian Lain yang Terkait

Nomor	Link	Metode	Kekurangan
1	[1] Hyo-Sung Ahn, Wonpil Yu, Environmental-adaptive rssi-based indoor localization, IEEE Trans. Automat. Sci. Eng. 6 (4) (2009) Oct.	<i>Received-signal-strength index</i> (RSSI) dari sinyal radio yang memancar dari titik tertentu untuk mendeteksi lokasi pengguna	Sinyal hanya berasal dari radio radiator, tidak mengambil sinyal yang ada di sekeliling

2	[2] JongBae Kim, HeeSung Jun, Vision-based location positioning using augmented reality for indoor navigation, IEEE Trans. Consum. Electron. 54 (3) (2008) Aug.	Mekanisme berbasis visi menggunakan <i>layout</i> dari lingkungan <i>indoor</i>	Membutuhkan memori yang besar untuk menyimpan <i>image</i> dan waktu yang lama untuk pencocokan <i>image</i>
3	[3] Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan, RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system, IEEE INFOCOM, 2000.	Radio frequency (RF) berbasis sistem RADAR (merekam dan memproses kekuatan sinyal dari beberapa stasiun induk untuk menentukan lokasi pengguna)	(Tidak dijelaskan dalam <i>paper</i>)
4	[4] K. Hattori, R. Kimura, N. Nakajima, T. Fujii, Y. Kado, Bing Zhang, T. Hazu-gawa, K. Takadama, Hybrid indoor location estimation system using image processing and Wi-Fi strength, Proceedings of International Conference on Wireless Networks and Information Systems, (WNIS '09), Dec. 2009, pp. 406–411.	Two-dimensional marker untuk melengkapi kekuatan Wi-Fi	(Tidak dijelaskan dalam <i>paper</i>)
5	[5] Fang Shih-Hau, Tsung-Nan Lin, Cooperative multi-radio localization in heterogeneous wireless networks, IEEE Trans. Wireless Commun. 9 (5) (May 2010).	Teknologi nirkabel yang melibatkan GSM seluler, DVB, FM, dan WLAN untuk mendeteksi lokasi pengguna	Kurang berkontribusi dalam <i>indoor positioning</i> karena membutuhkan skala yang lebih baik
6	[6] A. Papapostolou, H. Chaouchi, Integrating RFID and WLAN for indoor positioning and IP movement detection, Wireless Netw. 18 (7) (2012) Apr.	RFID	Membutuhkan banyak <i>device</i> untuk mendukung proses <i>positioning</i>
7	[7] Fang Shih-Hau, Chu-Hsuan Wang, Ting-Yu Huang, Chin-Huang Yang, Yung-Sheng Chen, An enhanced zigbee indoor positioning system with an ensemble approach, IEEE Commun. Lett. 16 (4) (April 2012).	ZigBee	
8	[8] Deng Zhongliang, Yanpei Yu, Xie Yuan, Neng Wan, Lei Yang, Situation and development tendency of indoor positioning, Communications, China 10 (3) (2013) Mar.	Multi-source data digabungkan dengan teknologi <i>positioning</i>	Cost sistem meningkat tajam
9	[9] Fang Shih-Hau, Tsung-Nan Lin, A novel access point placement approach for WLAN-based location systems, in: Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010.	Mendefinisikan SNR baru untuk memaksimalkan sinyal dan meminimalkan <i>noise</i> secara bersamaan sehingga dapat mengurangi eror <i>positioning</i>	Biaya komputasi tinggi
10	[11] Fang Shih-Hau, Tsung-Nan Lin, Accurate WLAN indoor localization based on RSS fluctuations modeling, in: Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2009. [12] Shih-Hau Fang, Tsung-Nan Lin, A dynamic system approach for ra-dio location fingerprinting in wireless local area networks, IEEE Trans. Commun. 58 (4) (2010) Apr.	Machine learning berbasis <i>fingerprinting</i> untuk mengatasi dampak <i>temporal variation</i> yang disebabkan oleh <i>multipath effect</i>	
11	[13] K. Chintalapudi, A. Padmanabha Iyer, V.N. Padmanabhan, Indoor lo-calization without the pain, in: Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2010, pp. 173–184.	Genetic algorithm berbasis <i>indoor positioning system</i>	

12	<p>[14] Hyojeong Shin, Yohan Chon, Hojung Cha, Unsupervised construction of an indoor floor plan using a smartphone, IEEE Trans. Syst., Man, Cybernet.-PART C: Appl. Rev., Online, (2012).</p> <p>[15] M. Azizyan, I. Constandache, R.R. Choudhury, Surround-sense: Mobile phone localization via ambience fingerprinting, in: Proceedings of the 15th ACM MobiCom, 2009, pp. 261–272.</p>	<p>SmartSLAM [14] dan SurroundSense [15] menggunakan <i>smartphone</i> untuk membangun denah lantai dalam ruangan dan <i>radio fingerprint map</i> untuk bangunan</p>	(Tidak dijelaskan dalam <i>paper</i>)
13	<p>[16] Kim Yungeun, Yohan Chon, Hojung Cha, Smartphone-based collaborative and autonomous radio fingerprinting, IEEE Trans. Syst., Man, Cybernet.-PART C: Appl. Rev. 42 (1) (2012) Jan.</p>	<p>Pengguna perangkat bergerak dapat melacak posisi mereka dengan RSS yang diukur dari AP di sekitarnya dengan merujuk <i>database fingerprint</i> yang ada di <i>server</i></p>	(Tidak dijelaskan dalam <i>paper</i>)
14	<p>[18] Yang Liu, M. Dashti, M.A. Abd Rahman, Jie Zhang, Indoor localization using smartphone inertial sensors, in: Proceedings of the 11th Work-shop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), 2014, 2014, pp. 1–6.</p>	<p><i>Indoor positioning system</i> dengan RSS <i>fingerprint</i> dan <i>inertial sensor</i> pada <i>smartphone</i>. Selain itu, penulis juga menggunakan algoritma <i>backtracking</i> untuk menghitung <i>indoor position</i> yang menghasilkan akurasi sangat tinggi</p>	Penjelasan rinci dari algoritma yang digunakan tidak dijelaskan pada <i>paper</i>
15	<p>[19] W.W.-L. Li, R.A. Iltis, M.Z. Win, A smartphone localization algorithm using rssi and inertial sensor measurement fusion, in: Proceedings of IEEE Global Telecomm. Conference, IEEE GLOBECOM, 2013.</p>	<p>Wi-Fi dan <i>inertial sensor</i> untuk pengimplementasian <i>indoor navigation system</i></p>	(Tidak dijelaskan dalam <i>paper</i>)
16	<p>[20] G.V. Zaruba, M. Huber, F.A. Kamangar, I. Chlamtac, Indoor location tracking using rssi readings from a single WI-FI access point, Wireless Networks, 13 (2) (2007) 221–235 Apr.</p>	<p><i>Indoor positioning system</i> menggunakan konsep RSS <i>fingerprint</i></p>	(Tidak dijelaskan dalam <i>paper</i>)

Berdasarkan penjelasan nomor 3-8 maka penulis tidak menggunakan sinyal nirkabel dalam *indoor positioning system* yang diusulkan. Beberapa penelitian sebelumnya (ditunjukkan oleh nomor 12-16) hanya menggunakan AP intrinsik untuk *indoor positioning*. Padahal pada saat ini, AP dibangun di mana-mana oleh penyedia layanan yang berbeda-beda. Jika proses *positioning* dapat memperoleh lebih banyak informasi tentu akurasi dari *positioning* akan meningkat. Oleh karena itu, sistem yang diusulkan penulis tidak hanya merujuk pada ekstraksi informasi RSS dari AP intrinsik, tetapi juga AP ekstrinsik.

Data RSS *fingerprint* dan *footprint* yang dikumpulkan pada *smartphone* merupakan kombinasi data RSS dari AP intrinsik dan ekstrinsik. Penulis mengusulkan prosedur CDLS dan algoritma WVP untuk mengurangi efek negatif dari AP ekstrinsik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa AP ekstrinsik dapat membantu

meningkatkan akurasi dari proses *indoor positioning* walaupun AP tersebut bukan milik penyedia layanan *positioning*.

3. Metodologi Penelitian

Skema *positioning* yang penulis usulkan didasarkan pada kedekatan kekuatan sinyal yang diterima di lokasi yang ditentukan dan lokasi pengguna saat ini. *Indoor positioning system* yang diusulkan terdiri dari dua tahap, yaitu tahap *offline* dan *online*.

Pada tahap *offline*, *smartphone* dengan Wi-Fi yang aktif digunakan untuk mengumpulkan data RSS *fingerprint*, yang mana berisi informasi *Media Access Control* (MAC) dari semua AP yang dipindai dan RSS yang sesuai setelah dilakukan *removing noise* dalam hal lokasi dan arah dari *smartphone* di semua lokasi yang ditentukan. Kemudian RSS *footprint*, yang melakukan perbandingan AP intrinsik berdasarkan kekuatan sinyal yang diterima, di semua lokasi yang ditentukan juga dibangun berdasarkan kekuatan sinyal terkait yang diterima dari AP intrinsik. RSS *fingerprint* dan *footprint* di setiap lokasi yang ditentukan disimpan dalam sistem untuk dirujuk pada tahap kedua.

Pada tahap *online*, ketika pengguna baru harus dideteksi lokasinya, pengguna harus menggunakan *smartphone* untuk memindai sinyal di sekitarnya dan kemudian mengirim informasi semua RSS dan arah *smartphone* ke sistem. *Positioning system* akan menghapus RSS yang tidak sesuai menggunakan *noise filter* dan kemudian mengambil rata-rata dari RSS yang terfilter sebagai RSS saat ini untuk semua AP yang dipindai. Berdasarkan arah *smartphone* saat ini, sistem akan menghitung lokasi pengguna dengan bantuan dari *fingerprint* dan *footprint database*.

Pada tahap *offline* tidak perlu memperbarui *database* setelah *database* dibuat, kecuali apabila lingkungan berubah. Namun, begitu lingkungan berubah, frekuensi untuk memperbarui *database* yang dibangun pada tahap *offline* dapat diubah secara adaptif berdasarkan permintaan dari akurasi *positioning* untuk tahap *online*.

3.1. Membangun *database* RSS *fingerprint*

Untuk mengumpulkan data RSS *fingerprint* dari semua AP yang dipindai, baik AP intrinsik maupun ekstrinsik, digunakan *smartphone* yang dilengkapi dengan fasilitas Wi-Fi. *Smartphone* dengan Wi-Fi digunakan untuk mengumpulkan informasi RSS pada beberapa lokasi yang telah ditentukan.

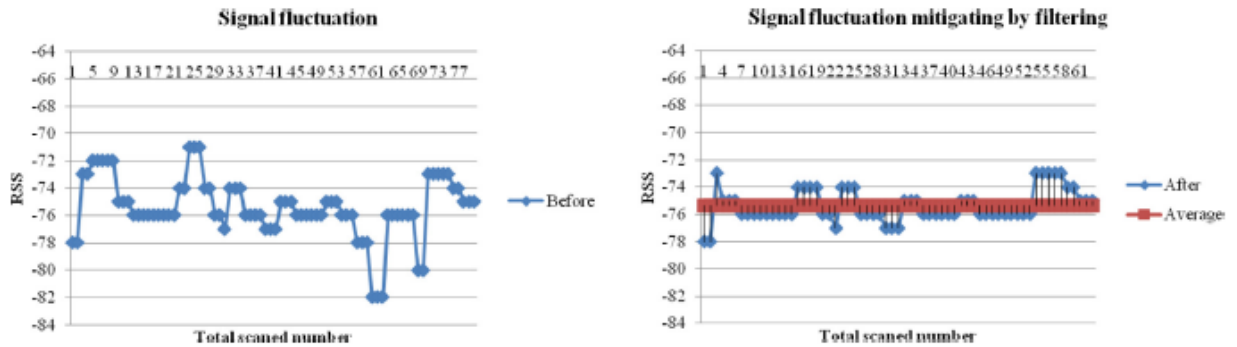
Memfilter data RSS yang telah dikumpulkan dengan melihat informasi arah dan orientasi. Penulis menggunakan gyrometer pada *smartphone* untuk mendapatkan orientasi berdasarkan azimuth (γ), yaitu sudut antara arah utara magnetik dan sumbu y, di sekitar sumbu z (0-359). Sedangkan arah dapat diperoleh berdasarkan nilai *pitch* (θ), yaitu sudut rotasi antara sumbu x (-180 sampai 180) dengan nilai positif ketika sumbu z bergerak ke arah sumbu y.

$$\text{Orientation} = \begin{cases} \text{North(N), if } 315 < \gamma \leq 45 \\ \text{East(E), if } 45 < \gamma \leq 135 \\ \text{South(S), if } 135 < \gamma \leq 225 \\ \text{West(W), if } 225 < \gamma \leq 315 \end{cases} \quad \text{Rotation} = \begin{cases} \text{Horizontal(H), if } -22.5 \leq \theta < 22.5 \\ \text{Rotate 45(R), if } -67.5 \leq \theta < -22.5 \\ \text{Vertical(V), if } -112.5 \leq \theta < -67.5 \end{cases}$$

Semua RSS yang dikumpulkan di setiap lokasi yang telah ditentukan akan diurutkan dalam urutan menurun pada *database*. Untuk mengurangi fluktuasi sinyal, penulis hanya mempertimbangkan nilai tengah n RSS dengan menghapus RSS yang sangat tinggi atau sangat rendah. Jika n kecil, *range* dari

RSS terpusat sehingga untuk menghitung rata-rata RSS dari setiap AP membutuhkan waktu komputasi yang singkat tetapi mungkin hasilnya terbatas. Di sisi lain, jika n besar, *range* dari RSS luas sehingga rata-rata hasil RSS untuk setiap AP mungkin lebih akurat tetapi membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama. Pengaturan n merupakan masalah antara untuk mendapatkan rata-rata RSS yang lebih akurat dan mengambil waktu komputasi yang lebih banyak.

Selanjutnya penulis mengambil rata-rata RSS dari semua AP sebagai RSS *fingerprint* untuk setiap lokasi yang ditentukan. Penulis juga menghitung standar deviasi dari RSS dan menetapkan sebagai bobot referensi untuk *positioning*. Semakin sedikit standar deviasi maka semakin sedikit keanekaragaman RSS yang dianggap. Contoh distribusi sinyal dan perhitungan RSS sebelum/setelah mitigasi fluktuasi sinyal digambarkan sebagai berikut:



Semua data RSS *fingerprint* di semua lokasi yang ditentukan akan dikumpulkan untuk membangun *database* RSS *fingerprint*. Himpunan *fingerprint* dimodelkan secara logis sebagai berikut:

$FGPS = \{(L, D, S_1, \dots, S_{|Mac_{in}|}, \dots, S_{|Mac|}, F) | L \in Loc, D \in Dir, F \subseteq Mac\}$, dimana:

- Loc menunjukkan himpunan lokasi yang berisi semua kekuatan dari semua AP; element L yang dimiliki Loc merupakan koordinat dua dimensi (x, y) .
- Dir menunjukkan himpunan arah; anggota D yang dimiliki Dir merupakan *binary tuple* (o, r) , dimana $o \in Ori = \{N, E, S, W\}$, $r \in Rot = \{H, R, V\}$
- $S_1, \dots, S_{|Mac_{in}|}, \dots, S_{|Mac|}$ menunjukkan informasi sinyal yang dipindai untuk semua AP dan setiap S_i berisi 3 jenis informasi dengan *ternary tuple* (m, ss, sd) , dimana $m \in Mac$, $ss, sd \in R$.
 - Mac menunjukkan himpunan alamat MAC termasuk subset Mac_{in} yang mencakup alamat MAC dari semua AP intrinsik, dan alamat MAC subset Mac_{ex} yang mencakup alamat MAC dari semua AP ekstrinsik. Artinya $Mac = Mac_{in} \cup Mac_{ex}$, $Mac_{in} \cap Mac_{ex} = \emptyset$
 - ss merupakan rata-rata kekuatan sinyal yang dipindai dari AP tertentu dengan alamat MAC m setelah mitigasi fluktuasi sinyal.
 - sd merupakan standar deviasi dari semua kekuatan sinyal yang dipindai dari AP tertentu dengan alamat MAC m setelah mitigasi fluktuasi sinyal.
- F menunjukkan subset Mac yang berisi semua alamat MAC yang sinyalnya dapat dipindai dan kekuatan sinyalnya dapat dibedakan.

Dari penjelasan di atas, penulis mendefinisikan fungsi *LocRetrievingFromFGPS* untuk mendapatkan himpunan yang berisi semua lokasi yang ditentukan yang dapat mendeteksi sinyal yang dipancarkan

dari AP dengan alamat MAC mac dalam hal arah dir . Fungsi $LocRetrievingFromFGPS$ dapat memperoleh subset dari Loc dan didefinisikan sebagai berikut:

$$LocRetrievingFromFGPS(mac, dir) = \{x.L | x \in FGPS, \text{ such that } mac \in x.F, x.D = dir\}$$

3.2. Membangun database RSS footprint

AP ekstrinsik dapat memberikan informasi tambahan untuk membantu meningkatkan ketepatan *positioning* dari pengguna. AP ekstrinsik mungkin ditempatkan secara acak sehingga sinyalnya mungkin tidak stabil. Berbeda dengan penempatan AP intrinsik yang memang diatur agar memiliki sinyal yang stabil. Data RSS *footprint* dihasilkan berdasarkan kekuatan sinyal dari AP intrinsik. Setiap RSS *footprint* berisi alamat MAC dari AP intrinsik, yang berada dalam urutan menurun RSS. Semua data RSS *footprint* di semua lokasi yang telah ditentukan akan dikumpulkan untuk membangun database RSS *footprint*. Himpunan *footprint* dimodelkan secara logis sebagai berikut:

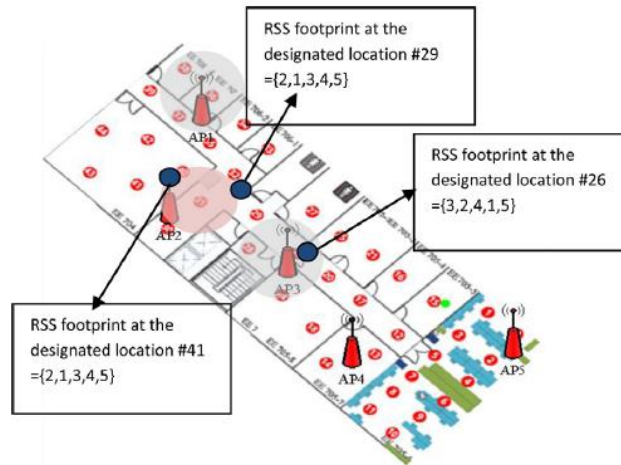
$FTPS = \{(L, D, FT) | L \in Loc, D \in Dir, FT \subset Mac_{in}\}$, dimana:

- Loc , Dir , dan Mac_{in} sama seperti yang dijelaskan pada bagian 3.1.
- FT merupakan subset terurut dari Mac_{in} berdasarkan pada besarnya sinyal yang diterima dari AP yang dipindai dalam urutan menurun. Artinya FT berisi daftar urutan alamat MAC dari AP yang dipindai berdasarkan besarnya sinyal yang diterima dari AP yang dipindai tersebut.

Dari penjelasan di atas, penulis mendefinisikan fungsi $FTRetrievingFromFTPS$ untuk memperoleh *footprint* dalam hal arah dir pada lokasi loc . $FTRetrievingFromFTPS$ didefinisikan sebagai berikut:

$$FTRetrievingFromFTPS(loc, dir) = \{x.F T | x.L = loc, x.D = dir, x \in FTPS\}$$

Beberapa contoh daftar *footprint* di beberapa lokasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



3.3. Menghapus lokasi yang tidak sesuai saat proses *positioning*

Ketika mendeteksi lokasi pengguna *smartphone*, pengguna perlu mengirim arah perangkat seluler saat ini (D_{cur}) dan semua RSS mentah dari AP di sekitarnya ke dalam sistem. Setelah memfilter RSS yang tidak normal, sistem akan menetapkan semua informasi sinyal yang dipindai saat ini ke dalam $S_{cur_1}^{Cur} \dots, S_{cur_{|Mac_{in}|}}^{Cur} \dots, S_{cur_{|Mac|}}^{Cur}$. Sistem juga akan menetapkan *footprint* pengguna (FT_{cur}), yaitu subset terurut dari Mac_{in} berdasarkan besarnya sinyal yang diterima saat ini dari AP yang dipindai dalam urutan menurun. Karena untuk membandingkan keseluruhan data dalam database memakan waktu yang lama, maka sistem hanya akan berfokus pada lokasi yang ditunjuk dimana sinyal dapat dideteksi

sama seperti lokasi saat ini. Hal tersebut berarti menghilangkan kandidat lokasi yang tidak mungkin sehingga dapat mengurangi biaya komputasi. Oleh karena itu, menghitung *close designated location set* (CDLS) berdasarkan informasi yang dikirim oleh pengguna dapat mempersempit area sehingga dapat mempercepat proses *positioning*. CDLS dimodelkan secara logis seperti berikut:

$$CDLS = \bigcup_{m \in \{S^{Cur}_i . m | \forall i \in N, 1 \leq i \leq |Mac|\}} LocRetrievingFromFGPS(m, D_{cur})$$

3.4. Memperbaiki CDLS menggunakan *pattern similarity* kekuatan sinyal dengan *footprint* dari lokasi

Footprint yang berisi pola kekuatan sinyal dapat membantu memahami *pattern similarity* sinyal antara lokasi pengguna saat ini dengan lokasi yang ditentukan. Semakin mirip pola kekuatan sinyal di beberapa lokasi yang ditentukan dalam CDLS dan di lokasi saat ini, maka semakin banyak bobot yang diberikan pada lokasi untuk *footprint* tersebut. Di sisi lain, jika pola kekuatan sinyal di beberapa lokasi yang ditentukan dalam CDLS berbeda secara signifikan dari yang ada di lokasi saat ini, *footprint* seharusnya tidak terlalu mempengaruhi hasil akhir *positioning*.

Semakin besar sinyal yang diterima dari beberapa AP intrinsik, maka semakin banyak *similarity* yang diberikan oleh AP tersebut. Oleh karena itu, ketika menghitung *footprint similarity* AP intrinsik dengan kekuatan sinyal yang lebih tinggi akan diberi bobot yang lebih tinggi daripada AP intrinsik dengan kekuatan sinyal yang lebih rendah.

Sistem hanya akan mengambil lokasi-lokasi yang memiliki tingkat *footprint similarity* tertentu dengan mempertimbangkan *footprint* pengguna. Dengan mengkombinasikan prosedur CDLS, skema yang penulis usulkan akan menggunakan lokasi yang ditentukan dengan *footprint* yang sama dari posisi pengguna saat ini untuk menentukan lokasi pengguna.

3.5. Menemukan posisi pengguna

Ketika sistem mencari posisi pengguna, semua lokasi dalam CDLS akan dihitung. Setiap lokasi memiliki bobot yang berbeda tergantung seberapa mirip sinyal yang diterima oleh pengguna dengan sinyal pada setiap lokasi yang ditentukan. Karena sinyal berasal dari AP di lingkungan sekitar, maka kemungkinan terdapat AP intrinsik dan ekstrinsik. Sistem memberikan bobot yang lebih tinggi untuk data RSS *fingerprinth* dari AP intrinsik karena AP intrinsik lebih *reliable* dibandingkan AP ekstrinsik. Selain itu, ketika membuat *database* RSS *fingerprinth*, stabilitas sinyal yang diukur juga harus diperhitungkan. Oleh karena itu, standar deviasi dari RSS menjadi faktor penting. Sehingga penulis mengusulkan skema *Weighted Voting Positionin* (WVP) yang memberikan bobot yang berbeda pada setiap posisi. Bobot untuk AP intrinsik lebih tinggi dibandingkan dengan AP ekstrinsik.

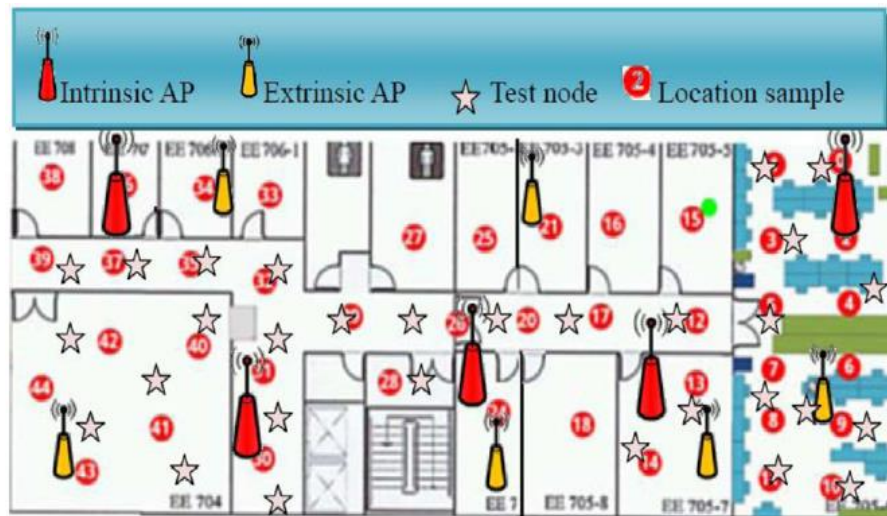
Penulis menggunakan skema *weighted interpolation* untuk menentukan lokasi yang memungkinkan bagi pengguna. Alasan utama penggunaan skema interpolasi adalah karena kompleksitas komputasi yang rendah.

4. Uji Coba

4.1. Lingkungan Uji Coba

Untuk mengevaluasi sistem yang diusulkan, penulis mengimplementasikan sebuah aplikasi *positioning* pada Samsung Galaxy i9000 yang merupakan *Android Smartphone* yang dilengkapi

giroskop. Untuk mengevaluasi kinerja dari skema yang diusulkan, penulis telah mengumpulkan data RSS pada lingkungan WLAN dengan dimensi 36 m × 15 m seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

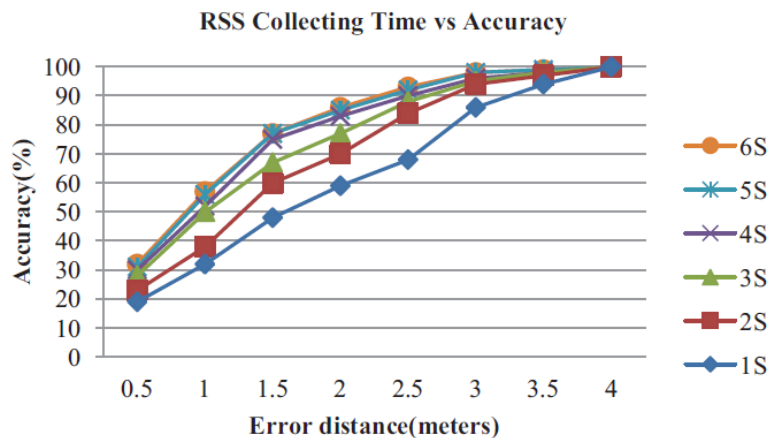


Terdapat lima AP Wi-Fi intrinsik (D-Link Dir635) dan enam AP Wi-Fi ekstrinsik yang dapat dideteksi di sekitar lingkungan tersebut. Pada tahap offline, penulis mengumpulkan data RSS *fingerprint* pada 12 arah (4 kali orientasi, 3 *range* rotasi) dan data sample *footprint* di 44 lokasi yang telah ditentukan. Setelah *database* dibuat, penulis melakukan validasi akurasi *positioning* pada 30 lokasi uji (setiap lokasi dilambangkan dengan tanda bintang). Selain itu, penulis juga berhasil mengimplementasikan satu aplikasi *positioning* pada *smartphone* yang dapat terhubung ke server *positioning* untuk mengevaluasi kinerja sistem.

4.2. Hasil dan Analisis Uji Coba

Penulis melakukan uji coba untuk mengetahui bagaimana waktu pengumpulan data RSS berpengaruh pada akurasi penentuan posisi akhir.

Perbedaan kurva menunjukkan bahwa waktu pengumpulan data yang berbeda menghasilkan nilai akurasi yang berbeda. *Error distance* merupakan kesalahan jarak yang dapat ditoleransi antara estimasi posisi dan posisi sebenarnya. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pengumpulan data untuk mengumpulkan informasi RSS, maka akurasi *positioning* akan semakin meningkat.

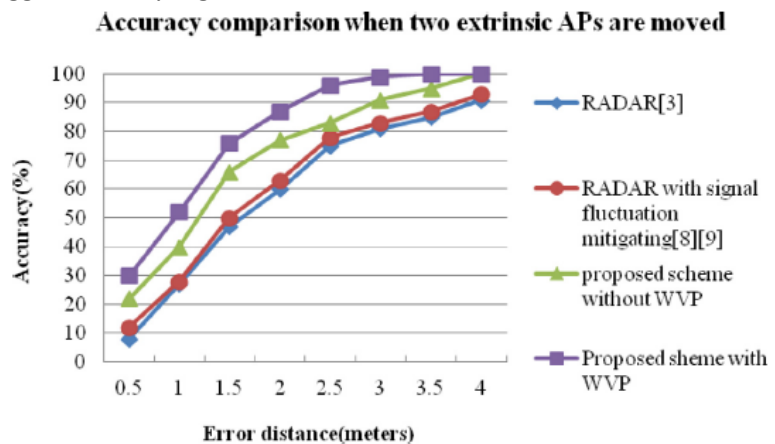
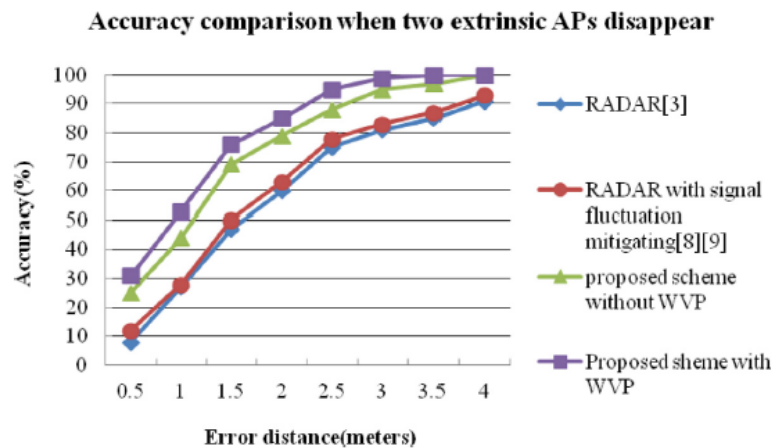
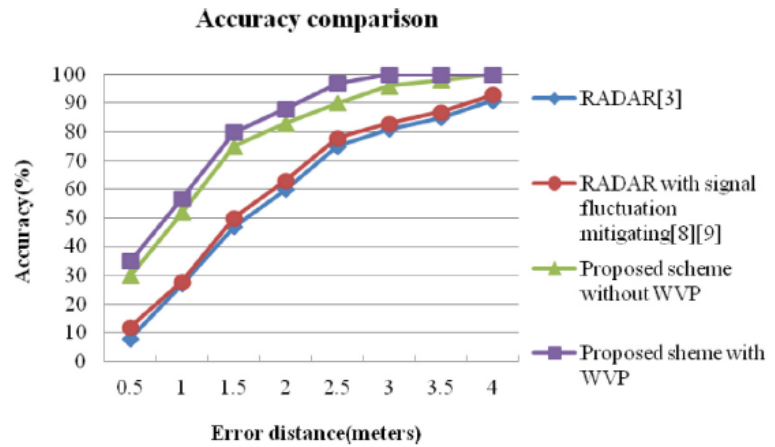


Penulis juga membandingkan akurasi penentuan posisi dengan berbagai skema *positioning*. Penulis membandingkan RADAR (solusi *positioning* pertama berdasarkan RSS di lingkungan sekitar) dan RADAR dengan tambahan fungsi filter *noise*, dengan skema yang diusulkan dengan/tanpa WVP. Dengan bantuan RSS dari lingkungan sekitar, filter RSS berdasarkan

arah, filter *noise*, dan pencocokan pola RSS pada *database fingerprint* dan *footprint*, dapat dikatakan bahwa skema yang diusulkan dengan WVP dapat mengungguli skema yang lain.

Skema yang diusulkan tidak hanya bergantung pada RSS dari AP intrinsik tetapi juga AP ekstrinsik untuk penentuan posisi. Jika AP ekstrinsik yang tidak terkontrol atau tidak stabil menghilang saat proses deteksi lokasi pengguna, maka akurasi penentuan posisi mungkin akan terpengaruh. Berdasarkan konsep ini, penulis melakukan evaluasi tentang bagaimana AP ekstrinsik yang hilang akan mempengaruhi akurasi penentuan posisi. Akurasi untuk skema yang diusulkan dengan/tanpa WVP memang menurun jika AP ekstrinsik menghilang. Namun, skema yang diusulkan dengan WVP masih dapat mengungguli skema yang lain.

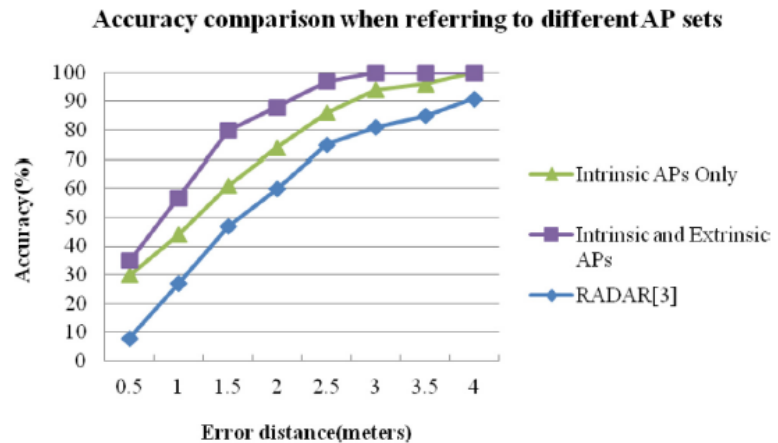
Selain itu, jika AP ekstrinsik yang tidak terkontrol atau tidak stabil dipindahkan setelah *database footprint* dan *footprint* RSS dibuat, maka akurasi penentuan posisi juga dapat berubah. Terutama jika RSS yang salah dari AP ekstrinsik yang dipindahkan dapat memberikan informasi yang salah untuk penentuan



posisi. Namun, karena skema yang diusulkan dengan WVP selalu memberikan bobot yang lebih rendah untuk AP ekstrinsik, informasi tidak langsung dari AP ekstrinsik yang dipindahkan mungkin memiliki sedikit efek pada hasil akhir *positioning*. Berdasarkan konsep ini, penulis juga melakukan evaluasi tentang bagaimana AP ekstrinsik yang dipindahkan akan mempengaruhi akurasi penentuan posisi. Akurasi untuk skema yang diusulkan dengan/tanpa WVP memang menurun jika AP ekstrinsik dipindahkan. Namun, skema yang diusulkan dengan WVP masih dapat mengungguli skema yang lain.

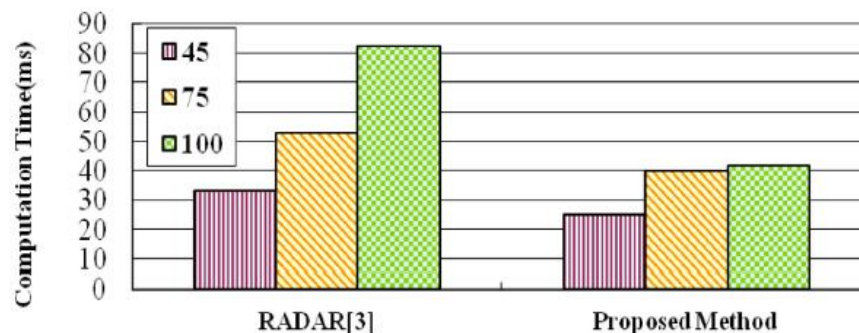
Selanjutnya, untuk memahami jika sinyal tidak hanya berasal dari AP intrinsik saja tetapi juga berasal dari AP ekstrinsik yang benar-benar dapat secara efektif meningkatkan akurasi penentuan posisi, penulis melakukan evaluasi akurasi dengan dua skenario. Skenario pertama hanya mengacu pada sinyal dari AP intrinsik saja dan yang lain mengacu pada sinyal

dari kedua jenis AP. Ditemukan kesenjangan akurasi yang sangat jelas ketika *error distance* berkisar dari 1 hingga 2,2 m. Di atas 2,5 m, perbedaan akurasi tidak terlalu signifikan karena *error distance* yang ditoleransi cukup besar untuk *positioning*.



Skema yang diusulkan akan memfilter lokasi yang tidak mungkin dan memperbaiki lokasi yang ditetapkan berdasarkan *pattern similarity* kekuatan sinyal. Akibatnya, biaya komputasi untuk skema mungkin tidak meningkat secara proporsional karena jumlah lokasi yang ditunjuk meningkat.

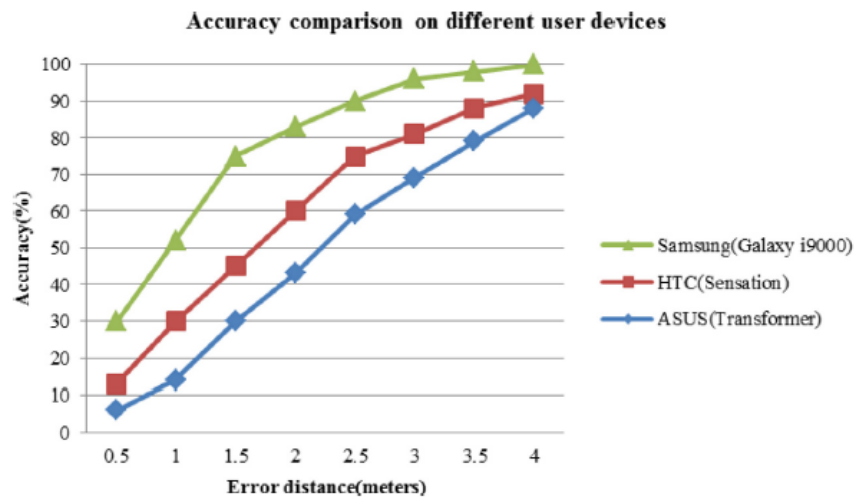
Computing time comparison in different amounts of designated locations



Pada grafik digambarkan bahwa waktu perhitungan dari skema *positioning* tradisional - RADAR meningkat secara proporsional ketika jumlah lokasi yang ditunjuk meningkat. Namun, salah satu skema *positioning* yang diusulkan hanya sedikit mengalami peningkatan untuk situasi yang sama. Khususnya, ketika jumlah lokasi yang ditunjuk ditingkatkan dari 75 menjadi 100, peningkatan biaya komputasi untuk RADAR lebih tinggi daripada skema yang diusulkan. Ini karena RADAR akan menggunakan semua *footprint* dari semua lokasi yang ditunjuk untuk menghitung posisi *indoor* sementara skema yang diusulkan dengan prosedur CDLS hanya menggunakan lokasi yang ditunjuk dengan *footprint* yang sama dari posisi pengguna saat ini untuk menentukan lokasi pengguna.

Secara keseluruhan, algoritma yang diusulkan memiliki kompleksitas yang sama dengan melibatkan proses *positioning* - $O(n)$, di mana n adalah jumlah semua AP. Namun, skema yang diusulkan dapat mengungguli RADAR karena menggunakan prosedur CDLS dan algoritma WVP untuk meningkatkan efisiensi komputasi dalam *indoor positioning*. Prosedur CDLS dapat mengurangi kompleksitas waktu hanya dengan menggunakan AP yang terkait dan bukan semua AP untuk menghitung posisi *indoor*. Algoritma WVP dapat menggunakan bobot adaptif untuk AP intrinsik dan AP ekstrinsik untuk meningkatkan akurasi *indoor positioning*.

Untuk memvalidasi akurasi *positioning* dalam hal perangkat pengguna yang berbeda, penulis menggunakan tiga jenis *smartphone* atau *tablet* untuk mengevaluasi sistem. *Smartphone* dan *tablet* yang digunakan adalah *smartphone* Samsung Galaxy i9000, *smartphone* HTC Sensation dan *tablet*



ASUS Transformer. Berbagai jenis perangkat mungkin memiliki kemampuan yang berbeda, seperti kondisi perangkat keras dan sistem operasinya. Hasil evaluasi mungkin sangat tergantung pada perangkat. Namun, hasil evaluasi menunjukkan bahwa perangkat apapun yang digunakan pengguna, akurasi dapat dinaikkan ketika ambang batas *error distance* yang ditoleransi meningkat.