

Ortsbestimmung mit Place Lab

Distributed Systems Seminar - ETH Zürich

Thomas Gloor

Juni 2005

Betreuer:

Christian Frank

1 Einführung

Der Ort spielt im Bereich des Mobile Computing zunehmend eine wichtigere Rolle. Auf der einen Seite kommt das Proactive Computing [1] immer mehr auf. Geräte sind sich ihrem Umfeld bewusst und passen sich den Umständen entsprechend an oder ziehen aus den aktuellen Daten gar Rückschlüsse über das zukünftige Verhalten des Benutzers. Dies beinhaltet zu einem grossen Teil die Abhängigkeit vom Ort. Auf der anderen Seite existieren immer mehr ortsabhängige Dienste, wie zum Beispiel ortsabhängige Suchmaschinen¹ auf dem Internet. Dieser Bericht soll anhand von Place Lab² zeigen, wie man den Ort mit heutiger Technologie mit vernünftiger Genauigkeit bestimmen kann.

Vor Place Lab, welches von den Intel Labs in Seattle lanciert wurde, existierten bereits einige Verfahren um den eigenen Ort zu bestimmen. Das wohl bekannteste davon ist GPS, welches eine sehr genaue Ortsbestimmung mit Satelliten ermöglicht. Neben der Lokalisierung via Satelliten wurden jedoch verschiedenste andere Verfahren erforscht, wobei die meisten davon gravierende Einschränkungen haben. Der wohl grösste Nachteil ist der, dass die meisten Systeme genau dort am schlechtesten funktionieren, wo der User sich am meisten aufhält. Systeme, die dem entgegenwirken wollen sind aber oftmals sehr aufwändig und teuer und beschränken sich auf ein paar wenige Gebäude oder Areale.

Place Lab hat zwei wichtige Leitsätze [2], die helfen sollen dem System zum Durchbruch zu verhelfen. Erstens soll die Abdeckung maximiert werden und zweitens soll der Einstieg für alle Beteiligten so billig und einfach wie möglich sein. Die grosse Abdeckung soll um jeden Preis erreicht werden, wenn notwendig sogar auf Kosten der Genauigkeit des Systems. Ähnliches kennt man von heutigen Mobiltelefonnetzen, wo die Sprachqualität manchmal ein wenig leidet, die Abdeckung aber gerade in Ländern wie der Schweiz beinahe 100% erreicht. Die tiefe Schwelle für die Einsteiger kann dadurch erreicht werden, dass zum einen bisherige Technologie verwendet wird. Aber vor allem die Verwendung der bereits in der Umgebung platzierten Funksender, wie sie für GSM, 802.11 oder Bluetooth verwendet werden, kann den Preis entscheidend senken. Bei anderen

¹<http://local.google.com>

²<http://www.placelab.org>

Systemen ist vor allem das Anbringen der verschiedenen Sender, alle mit einer eigenen ID versehen, extrem teuer. Beim Ansatz von Place Lab entfallen diese Kosten fast ganz.

2 Architektur

Place Lab besteht aus drei Grundlegenden Teilen und zwar den bereits vorhandenen Funksender in der Umgebung, einer Datenbank zur Verwaltung der Daten der bekannten Sender und dem Client selber.

2.1 Funksender

Anstatt sich nur auf eine Technologie zu konzentrieren versucht man bei Place Lab mehrgleisig zu fahren. Um die maximale Abdeckung zu erreichen verwendet man wenn möglich GPS, GSM, 802.11 und Bluetooth gleichzeitig, wobei in Realität meist nur zwei der vier Systeme verwendet werden. Ein Mobiltelefon verwendet zum Beispiel GPS und Bluetooth, während ein Laptop auf 802.11 und Bluetooth zurückgreift. Mit der zunehmenden Verschmelzung der verschiedenen Geräte und der Verkleinerung der Empfänger können aber in Zukunft sehr wohl alle vier oder gar noch nicht besprochene Systeme verwendet werden.

Da GPS vor allem in Gebäuden und in Grossstädten sehr schlecht bis gar nicht funktioniert, wird oftmals ganz darauf verzichtet. Hinzu kommt, dass GPS Empfänger teuer sind und bei den meisten heutigen Geräten nicht standardmässig dabei sind. Die Anwendung von Bluetooth ist oftmals ebenfalls eingeschränkt, da die Reichweite deren Sender maximal 10 Meter beträgt und viele mit Bluetooth versehene Geräte oftmals mobil sind und sich deshalb nicht als Referenzpunkte eignen. Wichtig sind also vor allem GSM Sender und die stetig zunehmende Anzahl von Wi-Fi Hotspots. GSM kann mit seiner fast totalen Abdeckung alleine schon den ersten Grundsatz von Place Lab erfüllen, wobei man mit Wi-Fi die kleinen Lücken schliesst und, vor allem in Städten, also dort wo sich die Leute aufhalten, die Auflösung massiv steigert.

2.2 Datenbank

Die Datenbank hat die Aufgabe Informationen über die einzelnen Sender zu speichern, so dass diese auch wirklich als Referenzpunkte dienen können. Die wohl wichtigsten Daten sind dabei die Koordinaten der Sender, die in der Regel als ein Paar aus Längen- und Breitengrad gespeichert werden. Die zweiten, unbedingt notwendigen Information zu den Sendern sind deren Identifikatoren, welche eindeutig sein müssen. Dafür werden bereits vorhandene IDs verwendet, wie zum Beispiel die MAC Adressen der Wi-Fi Access Points.

Es gibt verschiedene Ansätze wie die Datenbanken mit Daten gefüllt werden sollen. Zum einen haben grosse Organisationen oder Firmen oftmals genaue Pläne, aufgrund deren man die Koordinaten der einzelnen Sender bestimmen kann. Andererseits existieren auf dem Netz sogenannte Wardriving-Gruppen, welche nach Wi-Fi Access Points Ausschau halten und die gefundenen Resultate dann in ihren Datenbanken speichern. Obwohl diese Daten manchmal nur Annäherungen sind macht die riesige Anzahl an Einträgen dies wieder wett. Falls sich ein System wie Place Lab in Zukunft erst einmal etablieren wird, so

ist anzunehmen, dass sich die Datenbanken durch die Benutzer des Systems selber füllen lassen. Von den Benutzern unterhaltene Systeme wie zum Beispiel Wikipedia³ haben in letzter Zeit gezeigt, dass sie qualitativ wie auch quantitativ mit den besten kommerziellen Produkten mithalten können und durch ihre riesige Abdeckung und Reaktanz sogar einen entscheidenden Vorteil haben.

Eine offene Organisation in dieser Art würde ebenfalls ein weiteres Problem lösen. Falls eine etablierte Grossfirma die Kontrolle über so eine Datenbank hat, könnten Vorwürfe der Manipulation der Inhalte aufkommen. Dies ist kein Thema, wenn eine unabhängige non-profit Organisation die Server bereitstellt und die User selber für die Inhalte verantwortlich sind.

2.3 Der Client

Der Place Lab Client selber hat eine Architektur mit drei wichtigen Bestandteilen - Spotter, Mapper und Tracker. Alle drei werden in Kürze erklärt. Die Spotter, Mapper und Tracker sind fast beliebig austauschbar, was es sehr einfach macht eine Anwendung anzupassen oder sie zu verändern. Es erleichtert ebenfalls Place Lab auf verschiedenen Plattformen laufen zu lassen, da von der Plattform abhängige Teile leicht ausgetauscht werden können.

Spotter

Die Spotter sind die Augen und Ohren des Clients. Sie horchen kontinuierlich und machen Sender in der Umgebung aus. Dabei genügt es oftmals eine ID des Senders zu erkennen, im Idealfall kommen aber noch die Signalstärke und weitere Parameter hinzu. Normalerweise existiert pro Funkprotokoll genau ein Spotter. Ein Mobiltelefon hat zum Beispiel zwei Spotter, einen für GSM und einen für Bluetooth. Die Spotter horchen idealerweise passiv mit, ohne vom Umfeld bemerkt zu werden. Manchmal ist aber ein komplett passives Verhalten nicht möglich, wie zum Beispiel bei GSM, wo man meist einem Sendeturm zugewiesen wird und dieser also weiss, dass sich der User in seiner Zelle befindet.

Mapper

Die Mapper liefern die Daten, die zur Lokalisierung benötigt werden, also mindestens die Koordinaten der Sender und deren IDs. Unter Umständen können ebenfalls weitere Informationen zur Gewichtung der einzelnen Sender mitgereicht werden. Dazu gehören das Alter der Einträge, die Genauigkeit der Daten (tief, falls die Signale des Senders oft reflektiert werden) und die Stärke oder gar Höhe des Senders. Die Daten kommen entweder direkt aus der zentralen Datenbank aus dem Internet oder sind lokal in einem Cache gespeichert.

Tracker

Die Spotter und Mapper liefern ihre Daten an den Tracker, welcher damit die momentanen Koordinaten des Users abschätzt. Da weder die Einträge in der Datenbank, noch die Messungen der Spotter immer ganz genau sind, muss der Tracker versuchen die Schätzung so gut wie möglich zu verbessern. Dies kann dadurch geschehen, dass vergangene Resultate hinzugenommen werden,

³<http://www.wikipedia.org>

um das Hin-und-her-Springen der gelieferten Resultate abzuglätten. Dies geschieht oftmals durch eine Serieschaltung [3] verschiedener Tracker. Eine weitere Möglichkeit wäre es, die Koordinaten zu bestimmen und anhand einer Strassenkarte den Ort auf die am nächsten gelegene Strasse zu projizieren. Dies könnte vor allem Sinn machen, wenn der Client zum Beispiel fest in einem Auto angebracht ist oder von Touristen in einer Stadt verwendet wird.

3 Algorithmen

In dieser Sektion werden drei verschiedene Algorithmen zur genauen Abschätzung der Position erläutert. Bei den ersten beiden, Centroid und Fingerprint [4], handelt es sich um deterministische Algorithmen, während der Particle Filter [5] probabilistischer Natur ist.

3.1 Centroid

Der Centroid Algorithmus ist der einfachste aller Algorithmen. In der Datenbank existiert pro Sender ein Eintrag mit seinen Koordinaten. Nachdem der Client einen oder mehrere Sender gesichtet hat, platziert er sich selber ganz einfach in der Mitte zwischen allen gesichteten Sendern. Dies ist natürlich unter Umständen recht ungenau, abhängig von der Reichweite der Sender. Das Verfahren kann verbessert werden, indem die Sender gewichtet werden. Es ist naheliegend dafür die Signalstärke zu verwenden, da diese normalerweise mit steigender Distanz zum Sender sinkt. Es können jedoch beliebige andere Faktoren die Gewichtung verbessern, falls solche existieren.

3.2 Fingerprint

Im Gegensatz zu Centroid benötigt der Fingerprint Algorithmus nicht die Koordinaten der Sender, sondern es werden für verschiedene Orte die dort sichtbaren Sender zusammen mit deren Signalstärken gespeichert. Man weiss also was man an diesen Orten genau sehen wird, was einen einzigartigen Fingerabdruck bildet. Interessanterweise kann man dafür die Rohdaten des War-driving verwenden und muss nicht wie bei Centroid aus diesen Daten zuerst die Koordinaten der Access Points abschätzen.

Die Berechnung der eigenen Position ist relativ einfach. Vom Spotter erhält man zum Beispiel die Daten von drei Sendern, also deren ID und eine gemessene Signalstärke (SS). Nun lokalisiert man in der Datenbank alle Einträge, in denen ebenfalls genau diese Sender vorkommen und liest die gespeicherten Signalstärken (SS') aus. Für jeden Eintrag berechnet man nun die euklidische Distanz d zum Fingerabdruck. In unserem Beispiel mit drei Sender sieht das wie folgt aus:

$$d = \sqrt{(SS_A - SS'_A)^2 + (SS_B - SS'_B)^2 + (SS_C - SS'_C)^2}$$

Aus allen gefundenen Einträgen werden die mit den k kleinsten Distanzen gewählt, wobei $k = 4$ in der Regel am besten funktioniert. Aus diesen k Longituden/Latituden-Paaren wird dann ein Durchschnitt bestimmt, welcher die geschätzte eigene Position ergibt. Um das Verfahren zu verbessern können

ebenfalls die Einträge verwendet werden, die entweder einen zusätzlichen Sender oder einen Sender weniger aufweisen. Dies ist wichtig, da sonst bei einem defekten oder deaktivierten Sender viele Einträge nicht mehr brauchbar sind.

3.3 Particle Filter

Der Particle Filter ist eine Variante eines Bayes Filters [6]. Das Ziel eines Bayes Filters ist probabilistisch den Zustand eines dynamischen Systemes abzuschätzen und das obwohl die erhaltenen Daten teils Rauschen aufweisen. In unserem Fall ist der Zustand ganz einfach der aktuelle Ort.

Ein Bayes Filter stellt die Unsicherheit über den Zustand zu jedem Zeitpunkt mit der Wahrscheinlichkeitsfunktion $Bel(x_t)$ dar. $Bel(x_t)$ ist dabei definiert als $p(x_t|z_{1:t})$, wobei $z_{1:t}$ die Menge alter Sensordaten darstellt. Sprachlich formuliert heisst das soviel wie: "Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt t am Ort x zu sein, vorausgesetzt dass vorher die Sensordaten $z_{1:t}$ gesammelt wurden." Da mit laufender Anwendung des Algorithmus die Zahl der gesammelten Daten ins Unermessliche steigt, wird die Berechnung zunehmend schwieriger. Um dem entgegenzuwirken wendet man das Prinzip von Markov an. Es sind also nur aktuelle Messungen und der Ort zum Zeitpunkt $t - 1$ relevant. Alle anderen Informationen sind implizit in diesen mit enthalten.

Der eigentliche Algorithmus besteht nun aus zwei Phasen. Der erste ist die *Vorhersage*, wo geschätzt wird wie man sich seit dem letzten Zeitschritt bewegt hat.

$$Bel^-(x_t) \leftarrow \int p(x_t|x_{t-1})Bel(x_{t-1})dx_{t-1}$$

$p(x_t|x_{t-1})$ ist hier die Systemdynamik, welche manuell angepasst werden muss. Sie sagt aus wie man sich am wahrscheinlichsten bewegt. In unserem Fall ist das ganz einfach das Bewegungsmodell. Nach der Schätzung wird das Resultat anhand neuer Messungen korrigiert. Die zweite Phase heisst also *Korrektur*.

$$Bel(x_t) \leftarrow \alpha_t p(z_t|x_t)Bel^-(x_t)$$

Bei $p(z_t|x_t)$ handelt es sich dabei um das Wahrnehmungsmodell, welches die Wahrscheinlichkeit beschreibt die Beobachtung z_t am Ort x_t zu machen. α_t ist eine Normalisierungskonstante. Das Wahrnehmungsmodell muss ebenfalls vorher definiert werden [7], in unserem Beispiel vielleicht pro Sender oder Sendertyp. Der Algorithmus führt jetzt kontinuierlich die Schätzungen und die Korrektur aus, so dass man für jeden Ort die Wahrscheinlichkeit kennt, mit der man dort ist.

Der Particle Filter ist eine Erweiterung des bisherigen Bayes Filter. Da es schwierig ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilung zu modellieren verwendet man beim Particle Filter diskrete Punkte oder eben Partikel. Die Partikel sind dabei nicht etwa wie ein Gitter verteilt, sondern werden am Anfang zufällig gesetzt. Im Verlauf der Ausführung werden die Partikel aber so verschoben, dass an Orten mit grosser Wahrscheinlichkeiten mehr Partikel zu finden sind. Genau dort ist ja eine bessere Auflösung gerade erwünscht. Particle Filters können deshalb beliebige Verteilungen darstellen.

Der Particle Filter ist etwa 25% schneller [4] als etwa Centroid oder Fingerprint. Davon abgesehen sind Informationen über die aktuelle Geschwindigkeit

oder die Bewegungsrichtung im Bayes'schen Ansatz implizit enthalten, es ist also nicht mehr nötig diese zu berechnen. Ebenfalls ist es nicht notwendig die Daten weiter zu glätten.

4 Performance

Nachdem das Setup klar ist, stellt sich die Frage nach der Performance von Place Lab. Wie exakt ist das System und kann die versprochene vollständige Abdeckung auch tatsächlich erreicht werden? Um diese Fragen zu beantworten wurden verschiedene Tests [2] durchgeführt. Die Resultate sollen hier kurz zusammengefasst werden.

Beim ersten Test ging es darum die Abdeckung der einzelnen Technologien genau zu quantifizieren. Dazu wurden drei Testpersonen mit drei verschiedenen Empfängern ausgestattet, die jeweils aufzeichneten, ob sie einen Sender sehen oder nicht. In diesem Test ging es jedoch nicht um die Ortsbestimmung selber.

Test Subject	GPS		GSM		802.11	
	coverage	avg. gap	coverage	avg. gap	coverage	avg. gap
Immunologist	12.8%	68 min	100%	-	87.7%	1.6 min
Home maker	0.6%	78 min	98.7%	2 min	95.8%	1 min
Retail clerk	0%	171 min	100%	-	100%	-
Average	4.5%	105 min	99.6%	1 min	94.5%	1.3 min

Wie man in der Tabelle ablesen kann schneidet GPS hier enorm schwach ab. Da die Testpersonen sich während ihrem Alltag oftmals in Gebäuden aufhielten, liegt die Abdeckung bei gerade mal 4.5%. Wenn das Signal verloren ging dauerte es durchschnittlich über 100 Minuten bis das nächste Mal ein Signal der Satelliten empfangen wurde. Ganz anders dabei GSM, welches beinahe 100% Abdeckung erreicht und die Lücken im Schnitt nur 1 Minute dauern. WLAN schneidet bei der Abdeckung ein wenig schlechter ab, wegen der kleinere Zellgrößen bei WLAN liegt diese Technologie jedoch im Vorteil.

Der zweite Test hatte die Absicht die Ungenauigkeit von GSM, WLAN und einer Kombination der beiden Technologien zu bestimmen. Dabei führte man im Grossraum Seattle drei verschiedene Feldversuche durch. Der erste fand im urbanen Downtown Seattle statt, der zweite in Ravenna einem Wohnviertel und der dritte in Kirkland, einem Vorort. Für die Tests wurde ein Particle Filter verwendet.

	802.11		GSM		802.11 + GSM	
	accuracy	coverage	accuracy	coverage	accuracy	coverage
Downtown Seattle (Urban)	20.5 m	100.0%	107.2 m	100.0%	21.8 m	100.0%
Ravenna (Residential)	13.5 m	90.6%	161.4 m	100.0%	13.4 m	100.0%
Kirkland (Suburban)	22.6 m	42.0%	216.2 m	99.7%	31.3 m	100.0%

WLAN alleine hat ausser im urbanen Bereich das Problem der ungenügenden Abdeckung. Falls aber Signale empfangen werden ist die Genauigkeit um die 20 Meter. GSM andererseits hat eine totale Abdeckung, doch die Genauigkeit leidet unter den grossen Zellen. Die Kombination von GSM und WLAN vermochte die grosse Abdeckung beizubehalten, während die Genauigkeit an allen Orten sehr akzeptabel ausfiel. Die 13.4 Meter in Ravenna kommen bereits sehr nahe an die 10 Meter Auflösung des normalen GPS heran und die gut 30 Meter in Kirkland sind immer noch recht akzeptabel.

5 Privatsphäre

Ein wichtiger Teil von Place Lab ist die Wahrung der Privatsphäre der Benutzer. Genauer soll der Client Informationen über das Umfeld sammeln können, ohne dabei selber Informationen preisgeben zu müssen. Damit dies gelingt sollten Funksender in der Umgebung alle passiv erkannt werden, das heisst ohne selber Signale zu senden. Wie jedoch früher schon erwähnt geht das zum Beispiel bei GSM nicht immer. Bluetooth kreiert ähnliche Probleme, da ein Bluetooth Device aktiv nach anderen Komponenten suchen muss.

Für die Besitzer der Wi-Fi Access Points oder der GSM Türme stellt sich andererseits die Frage, ob andere ihre Sender überhaupt benutzen und kennen sollen oder dürfen. Ein Hotel ist vielleicht froh, wenn Informationen über deren Access Points auf dem Internet abrufbar sind. Ein Heimanwender mag jedoch Probleme damit haben und macht sich Sorgen um seine Privatsphäre oder die Sicherheit seines Computernetzes. Obwohl unterdessen Wireless Netze gesichert sein sollten, ist man in Realität noch weit davon entfernt.

Ein entscheidender Vorteil von Place Lab ist jedoch, dass die Koordinaten alle lokal berechnet werden. Es ist für Aussenstehende also nicht möglich die aktuellen Koordinaten einfach abzufangen oder zu speichern. Alleine der Besitzer der Onlinedatenbank hat die Möglichkeit die Position des Users grob zu schätzen. Jedesmal wenn der Client via Internet ein Update für ein gewisses Gebiet anfordert, lässt sich die ungefähre Position schätzen. Ein Laptop, der eventuell die Informationen von ganz Europa auf einmal anfordert ist dabei sicherer, als ein Mobiltelefon, welches nur die Angaben einer kleinen Stadt auf einmal im Cache speichern kann. Die Grösse des Caches bestimmt also die Auflösung mit der man die ungefähre Position des Clients bestimmen kann.

6 Fazit

Die Idee von Place Lab ist definitiv clever. Indem sie GSM verwenden erreicht die Abdeckung praktisch 100% und in Städten, wo die Dichte der 802.11 Access Points schon recht gross ist, funktioniert die Ortsbestimmung bereits relativ gut. Ohne zusätzlich Geld zu investieren wird die Auflösung in Zukunft garantiert noch steigen, denn die Anzahl an GSM Antennen und Wireless Access Points wird sicher weiterhin steigen. Und falls eine noch feinere Auflösung von Nöten ist, kann das problemlos durch das Anbringen von weiteren Sendern erreicht werden. In anderen Systemen ist dies jedoch immer der Fall, Place Lab ist also im schlimmsten Fall genauso aufwändig wie andere Systeme.

Place Lab ist aber noch längst nicht perfekt. Bisher werden einem lediglich

Koordinaten geliefert, welche alleine noch nicht sehr aussagekräftig sind. Die Benutzer müssen mindestens in der Lage sein den Koordinaten eigene Namen zuzuordnen. Idealerweise würde so etwas aber automatisch erledigt, indem vielleicht die Adresse oder ähnliches angezeigt wird und alternativ eigene Namen hinzugefügt werden können. Ein weiteres Problem ist, dass Place Lab zweidimensional denkt. Longitude und Latitude alleine bringen in einem Hochhaus unter Umständen reichlich wenig. Eine dritte Achse sollte also hinzugefügt werden, um das System noch nützlicher zu machen. All diese Änderungen werden angeblich in zukünftigen Versionen enthalten sein. Die Technologie hat aber sicher das Potential den Durchbruch zu schaffen.

Literatur

- [1] David Pescovitz. Place lab and the bootstrapping of location-enhanced computing, May 2004.
- [2] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, J. Scott, T. Sohn, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powledge, G. Borriello, and B. Schilit. Place lab: Device positioning using radio beacons in the wild. In *Proceedings of PERVASIVE 2005, Third International Conference on Pervasive Computing*, Munich, Germany, 2005.
- [3] Timothy Sohn, William G. Griswold, James Scott, Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, and Ian Smith. Place lab – an open architecture for location-based computing. 2005. Submitted to ESEC/FSE 2005.
- [4] Yu-Chung Cheng, Yatin Chawathe, Anthony LaMarca, and John Krumm. Accuracy characterization for metropolitan-scale wi-fi localization. 2005. IRS-TR-05-003 (to appear in Proceedings of Mobisys 2005).
- [5] Dieter Fox, Jeffrey Hightower, Lin Liao, Dirk Schulz, and Gaetano Borriello. Bayesian filtering for location estimation. volume 2, pages 24–33. IEEE Computer Society Press, July-September 2003.
- [6] Dieter Fox, Jeffrey Hightower, Henry Kautz, Lin Liao, and Don Patterson. Bayesian techniques for location estimation. In *Proceedings of The 2003 Workshop on Location-Aware Computing*, pages 16–18, October 2003. part of the 2003 Ubiquitous Computing Conference.
- [7] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello. Particle filters for location estimation in ubiquitous computing: A case study. In Nigel Davies, Elizabeth Mynatt, and Itiro Siio, editors, *Proceedings of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004)*, volume 3205 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 88–106. Springer-Verlag, September 2004.